平成 28 年度

一般財団法人　先端建設技術センター研究開発助成

研究開発成果報告書

骨材再生処理に伴い発生する微粉末の建設資材への適用性に関する研究

平成 29 年 12 月 31 日

（一社）泥土リサイクル協会

愛知工業大学

株式会社アイコ

成友興業株式会社

※本研究は，（一財）先端建設技術センターの研究開発助成（助成番号　2801）を受けて実施したものである

報告書要約

目的

コンクリート塊の再資源化率は 2000 年以降 95 %を超える高い値で推移しており，ほぼ全量が再生砕石としてリサイクルされてきた．しかし，2000 年頃には「今後は需給バランスが不均衡になり再生砕石が余剰する」と予測された．その後の統計データによれば，砕石を含めた骨材需要量は減少もしくは横ばい傾向にあり，コンクリート塊搬出量も減少し，しかも骨材需要量より 1 オーダー小さな値となっており，全国平均で見ればその予測は現時点では当たっていない．但し，地域別にみると，先の東日本大震災で被災した東北 3 県においては復興資材としての再生骨材が絶対的に不足しており，新材を使用している現状がある反面，東京をはじめとする首都圏では再生砕石の滞留が顕在化し．需給ギャップが生じ始めていることが報告されている．

一方，コンクリート用骨材は，従前は河川産の良質な天然骨材の入手が容易だったが，資源の枯渇や環境保全の関係から，天然骨材はもとより人工骨材である砕石・砕砂も年々その確保が困難になってきている．

こうした背景を受けて注目されたのが再生骨材である．再生骨材とは，コンクリート塊を原材料として，破砕・磨砕・分級等の処理を行って製造したコンクリート用骨材で，その品質によって再生骨材H（高品質），再生骨材M（中品質），再生骨材L（低品質）に分類される．再生骨材のうち最も活用が期待されるのはレディーミクストコンクリートに使うことができる再生骨材Hであるが，2012 年度における再生骨材Hを使用したコンクリートの利用実績は全国の生コン出荷量の 0.03 %にも満たない．その理由として

ア）再生品に対する忌避感
イ）製造コストが高いため新材と比べて価格的に不利なこと
ウ）再生骨材H製造に伴い副次的に微粉（Crushing Powder，以下，CP と称す.）が発生するがその利用用途が確立されていないため産業廃棄物として処分しなければならないこと

などが挙げられる．

コンクリート塊を再生骨材として利用しようとする研究は 1970 年代から取り組まれ，再生処理技術と再生骨材を使用したコンクリートの特性を中心に行われた結果，2005 年から 2007 年にかけて，コンクリート用再生骨材とそれを用いたコンクリートの規格が JIS 化されるに至っている．しかし，再生骨材Hの製造に伴って副次的に発生する CP については，コンクリート材料や地盤材料として利用する研究が行われてきたが，利用用途確立にまでには至らず，結果として再生骨材の普及を阻害する要因の一つとなっている．そこで，再生

骨材Hの普及阻害要因のうち，今回は前記ウ）について着目し，CP の利用用途を確立することを試みた．

本研究開発は，コンクリート塊のリサイクル技術を確立することにより，天然資源の消費と廃棄物の発生量を抑制することで，循環型社会の形成に寄与することを目的としている．

研究方法

CP の利用用途に関する研究は，コンクリート分野と地盤分野とに大別されるが，我々研究グループの母体が副産物を利用した泥土のリサイクルであることに鑑み，建設汚泥をはじめとする高含水比泥土の改質材としての CP の適用性を評価することとした．

研究開発の端緒は CP に関する文献調査である．

既往の研究において，CP の利活用用途を確立することは喫緊の課題であり，重要事項であることは共通認識されているが，実用には至っていない．また，2000 年頃に再生砕石が余剰すると予測され，2005～2007 年にかけて再生骨材に関する JIS が制定されたにも拘わらず，再生骨材Hを用いたコンクリートが普及していない事実がある．さらに，コンクリートはセメント，水，骨材（再骨材・粗骨材），混和材料（混和材，混和剤）及び若干の空気から構成される複合材料であり，使用材料はいずれも規格に適合し，品質が確保されたものであるが，その使用材料や配合は目的用途によって異なり，材齢（ここでいう材齢とは，コンクリートの製造から廃棄に至るまでの期間）も異なることから，コンクリート塊の特性は様々である．また，再生骨材Hの製造方法も異なることから，CP の特性は一定ではないことは想像に難くない．

そこで，文献調査により

①CP の物理・化学特性
②CP の硬化・固化特性
③CP の利用技術
④CP の環境安全性
⑤CP を用いたコンクリートの特性
⑥CP を地盤材料として用いたソイルセメントや処理土の特性
⑦コンクリート塊の再資源化
⑧コンクリートの水和機構

等を把握した．

次に，実際に再生骨材Hを製造している中間処理施設から CP を入手し，その物理特性，化学特性を調べて既往の研究値と比較するとともに，CP の地盤材料としての適用性，すなわち，再水和特性について調べた．

これと併せて，改質対象となる原泥の物理特性，化学特性を把握した．

最後に，原泥に CP を添加した配合試験を実施して，CP の地盤材料としての適用性を評価した．適用性評価に際しては建設汚泥処理土技術基準（国土交通省，平成 18 年 6 月 12 日）に準拠し，品質区分及び環境安全性（溶出量，含有量）を確認した．また，改質土を実際の工事に使用することを想定して，強度特性である一軸圧縮強さを調べるとともに，地下水面が上昇するなどして改質土が水浸した場合を想定して再泥化・軟化試験も実施した．

調査･実験等の結果

１．文献調査

（１）CP の物理・化学特性

CP の物理特性としては，密度と粉末度（比表面積）を，化学特性としては化学組成を調べた．いずれも原コンクリートの配合や材齢といった特性及び再生骨材に影響されることが報告されており，本研究開発に使用した CP の立ち位置（位置づけ）を確認した．

（２）CP の再水和性

文献調査によれば CP の再水和性は乏しいとされているが，コンクリート中のセメントは水と反応しても全てが水和するわけではなく，セメント粒子の表面にできた“殻”を剥ぎ取ると未水和のセメント粒子が露出して再水和することが知られている．また，CP の副産過程或いは発生後に加熱処理することで，ペースト強度が増進することが報告されている．

今回の研究開発に使用した CP は，コンクリート塊を 300 ℃に加熱処理した後にすりもみして再生骨材を製造した際に副次的に得たものであることから，セメント粒子表面の剥ぎ取りと加熱処理を受けていることを踏まえ，CP 単味或いは改質土の性状変化が水和反応によるものであるか否かを判定できる実験計画を立案した．

（３）CP の利用技術

既往の研究では CP はコンクリート分野及び地盤分野への適用を主体に利活用用途が研究されており，建設汚泥をはじめとする高含水比泥土の改質材としての研究は行われておらず，本研究開発に新規性があり，実施意義があることを確認した．

（４）CP の環境安全性

セメントには六価クロムが含まれるため，CP を地盤材料として使用する場合には六価クロムの溶出が懸念される．また，CP を建設汚泥の改質材として用いる場合には，「建設汚泥処理土利用技術基準」（国土交通省，平成 18 年 6 月 12 日）に基づき，溶出量及び含有量といった生活環境保全上の基準を確認する必要がある．（国研）土木研究所の報告によれば，コンクリート塊から製造した再生砕石からの六価クロムの溶出に関して，中性化の進行，粒度が小さくなるほど六価クロムの溶出濃度が濃くなるとされていることから，既往の研究で使用した各種 CP の六価クロム溶出量を把握し，本研究開発で使用する CP と比較するとともに，配合試験の結果に応じて六価クロム溶出抑制対策検討の準備を行った．

（５）CP を用いたコンクリートの特性

CP のコンクリート材料としての利用法に関する研究は，セメント置換（内割り）と細骨材置換（外割り）した場合の特性解明が行われている．

セメント置換の場合は

ア）同一スランプを得る場合の単位水量が多くなること
イ）乾燥収縮が大きくなること
ウ）中性化深さはセメント種類によって異なること
エ）置換率が大きくなるにつれて圧縮強度が低下すること

などが報告されている．

再骨材置換の場合は

ア）ブリージング率が小さくなること
イ）自己収縮ひずみ・乾燥収縮ひずみが大きくなること
ウ）相対動弾性係数が小さくなること
エ）中性化深さが小さくなること
オ）圧縮強さが大きくなること

などが報告されている．

（６）CP を地盤材料として用いた場合の特性

CP の地盤分野における利用法に関する研究は，地盤改良材やソイルセメントの材料として使用した場合の特性解明が行われている．

地盤改良材としては，CP 単味ではなく，CP が高炉スラグ微粉末（BFS）の潜在水硬性に対するアルカリ刺激材として作用することに着目し，混合材料として添加した事例等が

報告されている．それによれば

ア）CP は BFS の刺激材として有効に作用すること
イ）BFS を CP で置換する場合，置換率が大きくなると強度が低下すること
ウ）同一強度を得るための CP の添加量は OPC（普通ポルトランドセメント）や汎用固化材に比べて多くなるが，長期強度の増加率は大きくなること
エ）CP と BFS の混合体は地盤改良材として適用可能である

ことなどが報告されている．

ソイルセメントの材料としては，ベントナイト及びセメントの代替品としての研究が行われており

ア）ベントナイトの全てとセメントの一部を CP で置換した場合のソイルセメント強度は，地盤の土質や含水比によって変化すること
イ）CP はソイルセメントのベントナイトやセメントの削減を可能にすること

などが報告されている．

２．原泥の物理・化学特性

改質対象となる原泥は，自硬性汚泥と非自硬性汚泥とに大別されるが，本研究開発は CP の改質効果を評価することが目的の一つであることと，原泥の入手・保管を考慮して非自硬性汚泥を対象とした．

原泥は宮城県で採取した浚渫土砂で，その物理・化学特性は**表－１**に示すとおりである．

土粒子密度は ρ_s=2.696 Mg/m^3 で，海成粘土の一般的な値を示した．自然含水比は w_n=112.5 %で液性限界（w_L=113.3 %）に近いため，液性指数が I_L=0.99 という鋭敏な粘土であることが確認された．なお，細粒分（75 μm 未満）含有率は F_c=81.1 %で，土質材料の工学的分類では〔CH〕に分類される．また，強熱減量が L_i=9.3 %と 1 %を大きく上回っていることから，改質対象土としては厳しい部類に入る．

表－１　原泥の物理・化学試験結果

項　　目				港湾浚渫土	備　考
一般	土粒子の密度	ρ_s	Mg/m³	2.696	
	自然含水比	w_n	%	112.5	
	湿潤密度	ρ_t	Mg/m³	1.414	試料を容器に充填したときの密度
粒度組成	礫分	(2~75mm)	%	1.3	
	砂分	(0.075~2mm)	%	17.6	
	シルト分	(0.005~0.075mm)	%	27.7	
	粘土分	(0.005mm 未満)	%	53.4	
	最大粒径	Gmax	mm	4.75	
	細粒分	F_d(0.075mm 未満)	%	81.1	
コンシステンシー特性	液性限界	w_L	%	113.3	
	塑性限界	w_P	%	36.8	
	塑性指数	I_P		76.5	
分類	地盤材料の 分　類　名			粘土 (高液性限界)	
	分類記号			(CH)	
	フロー値		mm	85	自然含水比状態でのフロー値
	強熱減量	L_i	%	9.3	

３．CP の物理・化学特性

CP の物理試験結果を**表－２**に示す.

密度は ρ_s=2.44 Mg/m³ で，既往の試験値のほぼ平均的な値を示した.

粉末度はブレーン比表面積で評価したが，13,000 cm²/g で既往の試験値に比べると高い値を示し，BB（高炉セメント B 種）や FSⅡ（フライアッシュⅡ種）の規格値の 4～5 倍の値を示した.

凝結に関しては，始発は BB とほぼ同じであるが，終結は 1 日以上となり，硬化までに時間を要することが分かったが，同時に CP に硬化特性があることが確認された.

安定性試験の結果，煮沸後 15 分程度でパットは粉砕し，安定性の定義からすると“不良”と評価されるが，この試験からも CP に硬化特性があることが確認された.

強度に関しては，材齢 28 日の圧縮強度は BB の 1/40 程度であるが，強度増進モードは類似しており，CP に再水和の可能性があることが示唆された.

粒度に関しては，比較対象で行った BB 及び FAⅡの左側に粒径加積曲線が位置したことから，粉末度（ブレーン比表面積）と併せて考えると微細な粒子であるといえる.

表－２　ＣＰの物理試験結果

区分	試験項目		単位	試料名			既往の研究	JIS規格値	
				CP	BB	FAⅡ	CP	高炉セメントB種 JIS R 5211	FAⅡ種 JIS A 6201
物理特性	密度		Mg/m^3	2.44	3.05	2.30	2.19～2.73	－	1.95以上
	ブレーン比表面積		cm^2/g	13,000	3,720	3,580	2,180～15,320	3,000以上	2,500以上
	安定性		－	不良	良	試験不可	－	良	－
	凝結	標準軟度水量	%	61.0	29.5	(24.4)	－	－	－
		始発	h:min	02:35	02:25	試験不可	－	60min以上	－
		終結	h:min	28:15	03:35		－	10h以下	－
	粒度(レーザ回折・散乱法)		－	(粒径加積曲線参照)				－	－
強度特性	曲げ強度	養生3日	N/mm^2	0.140	6.06	試験不可	－	－	－
		養生7日	N/mm^2	0.242	7.14		－	－	－
		養生28日	N/mm^2	0.624	9.58		－	－	－
	圧縮強度	養生3日	N/mm^2	0.583	27.5		－	10.0以上	－
		養生7日	N/mm^2	0.835	38.9		－	17.5以上	－
		養生28日	N/mm^2	1.690	67.2		－	42.5以上	－

CP の化学試験結果を**表－３**に示す.

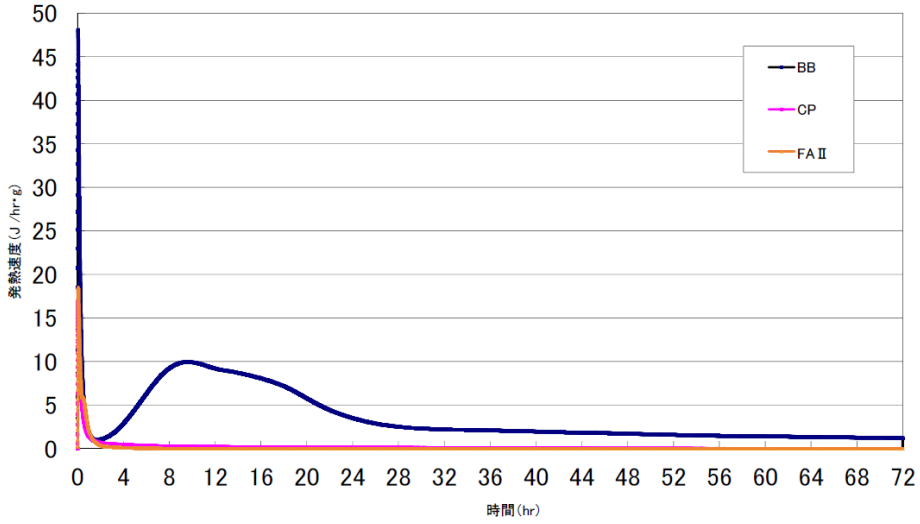
表－３　ＣＰの化学試験結果

区分	試験項目		単位	試料名			既往の研究	JIS規格値	
				CP	BB	FAⅡ	CP	高炉セメントB種 JIS R 5211	FAⅡ種 JIS A 6201
セメントの化学分析	二酸化ケイ素(SiO_2)		mass%	14.16	24.15	59.13	4.18～70.20	－	45以上
	酸化アルミニウム(Al_2O_3)		mass%	3.09	7.59	22.41	1.85～12.0	－	－
	酸化第二鉄(Fe_2O_3)		mass%	1.49	1.76	3.98	1.11～37.00	－	－
	酸化カルシウム(CaO)		mass%	44.56	56.26	2.22	11.00～41.70	－	－
	酸化マグネシウム(MgO)		mass%	0.82	2.69	1.09	0.62～ 3.30	6.0以下	－
	三酸化イオウ(SO_3)		mass%	1.01	2.24	0.62	0.29～ 1.50	4.0以下	－
	強熱減量(ig-loss)		mass%	33.54	0.96	1.82	6.78～58.30	5.0以下	5.0以下
	不溶残分(insol)		mass%	8.51	1.26	90.40	8.10～64.78	－	－
リートベルト解析による鉱物組成	$3CaO·SiO_2$	エーライト(C_3S monoclinic)	mass%	2.3	37.2	不検出		－	－
	$2CaO·SiO_2$	ビーライト(β-C_2S)	mass%	3.3	11.9	不検出		－	－
	$3CaO·Al_2O_3$	アルミネート(C_3A cubic)	mass%	不検出	5.2	不検出		－	－
		アルミネート(C_3A orthorhombic)	mass%	不検出	0.5	不検出		－	－
	$4CaO·Al_2O_3·Fe_2O_3$	フェライト(C_4AF)	mass%	2.1	4.5	不検出		－	－
	その他成分		mass%	59.6	6.1	18.4		－	－
	非晶質相		mass%	32.7	34.6	81.6		－	－

組成分析の結果特徴的だったのは，既往の研究値と比べて SiO_2 が少なく，CaO が多いことで，原コンクリートの粗骨材に石灰石を用いていることが関係していることが推察された．

CP の再水和性を評価するために行ったクリンカー鉱物の XRD/リートベルト法であるが，C_3S（エーライト），C_2S（ビーライト），C_4AF（フェライト）は確認されたが，組成分析で Al_2O_3 と CaO が検出されたにも拘わらず，C_3A（アルミネート相）は確認できなかった．

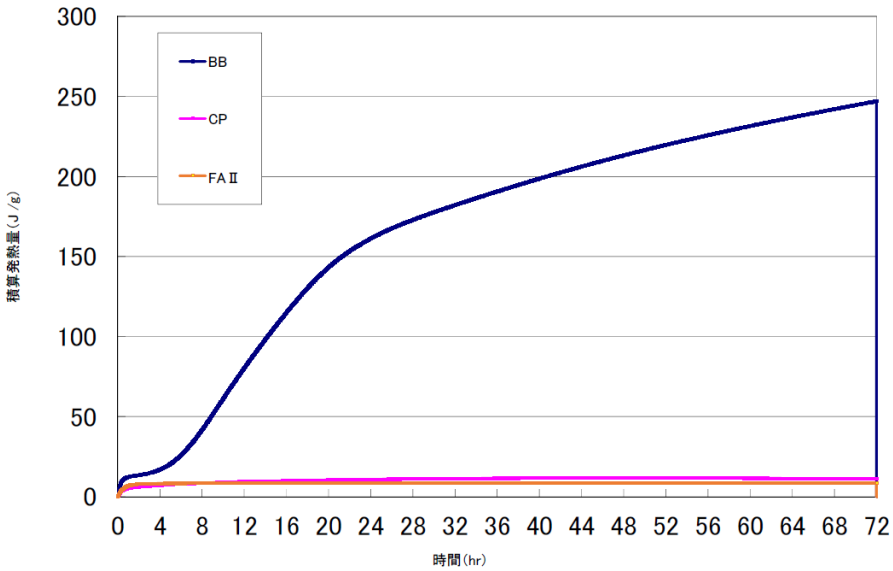
また，CP の硬化が水和反応によるものなのかを検証するために，伝導型微小熱量計により加水直後からの発熱速度を観測した．**図－１**に測定結果を示す．



図－１　水和熱発熱度

誘導期における第 1 発熱ピークが確認されたが，BB に比べると小さく，C_3A が 検出されなかったことと関連していることが考えられる．その後 BB は加速期から減衰期にかけての第 2 発熱ピークが認められたが，CP では確認できなかった．なお，発熱速度は発熱量の時間変化であり，発熱変化が緩慢な場合はピークを示さないことがある．また，セメントの水和熱とは所定の材齢までに発生した熱の総和をいい，瞬間的な発熱量は小さくても，発熱期間が長くなると相当量の水和熱が蓄積される．

図－２は積算発熱量を示す．CP の積算発熱量は BB の約 4 %と小さく，活性は低いが発熱反応があることが確認された．

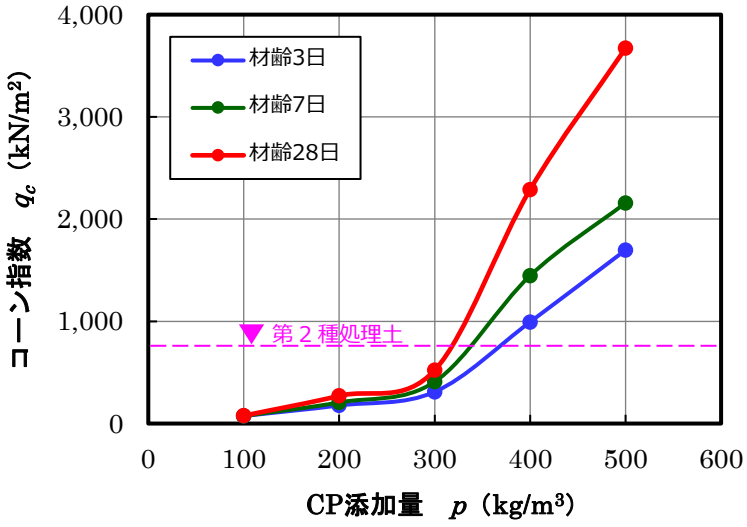


図－２　積算発熱量

４．配合試験

（１）コーン指数

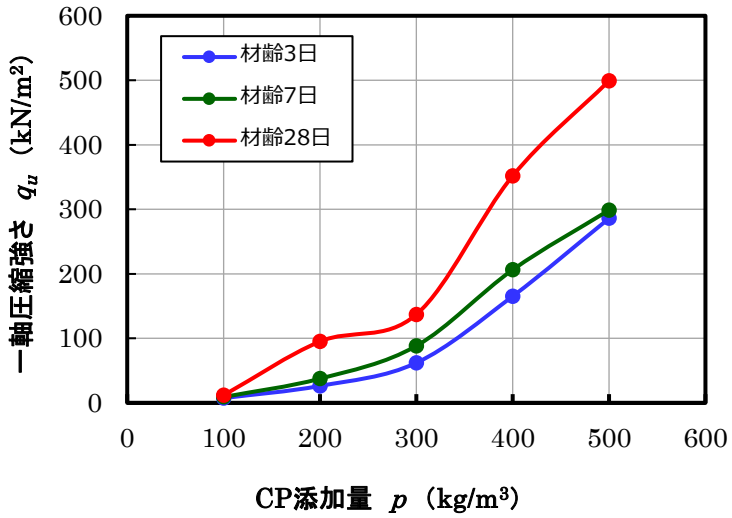
図－３は CP の添加量 p とコーン指数 q_c の関係を示す．CP の添加量増加に伴い q_c も増加し，特に p≧400 kg/m³ の場合，材齢 3 日で第 2 種処理土（q_c≧800 kN/m²）の基準を満足することが確認された．また，材齢とともに q_c の増加が顕著となっていることから，q_c の増加は solid 分増加による物理的効果だけでなく，CP の水和反応によるものであることが示差された．



図－３　ＣＰ添加量とコーン指数の関係

（２）一軸圧縮強さ

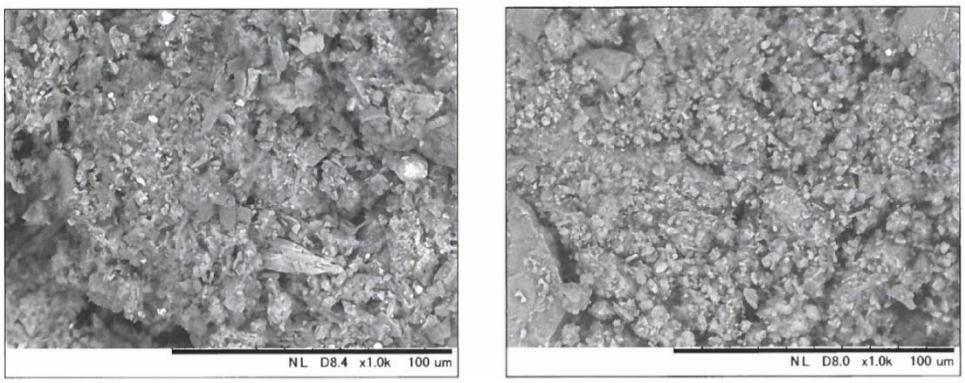
図－４は CP 添加量 p と一軸圧縮強さ q_u の関係を示す．CP の添加量増加に伴い q_u も増加し，特に p≧400 kg/m³ の場合，材齢 3 日で流動化処理土の一般的な要求品質である q_u≧100 kN/m² を満足することが確認された．また，材齢とともに q_u の増加が顕著となっていることから，q_u の増加は solid 分増加による物理的効果だけでなく，CP の水和反応によるものであることが示差された．



図－４　ＣＰ添加量と一軸圧縮強さの関係

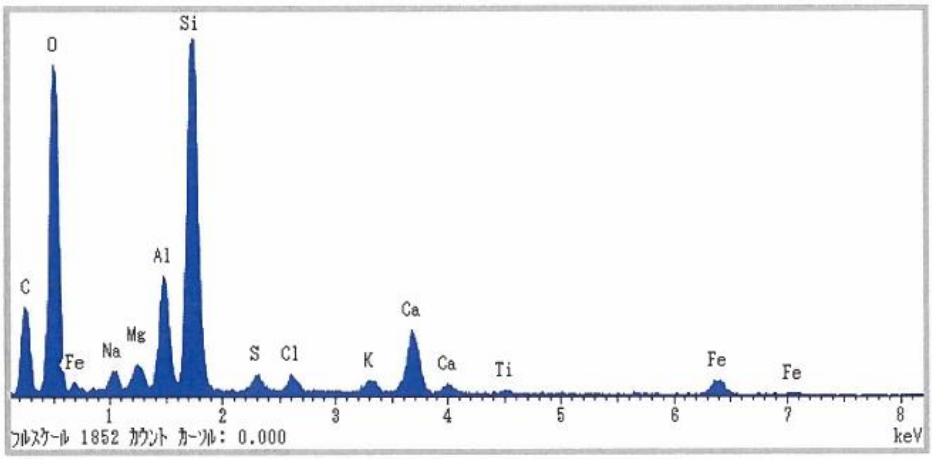
（３）水和生成物

コーン指数及び一軸圧縮強さから，CP の添加量が p≦300 kg/m³ と p≧400 kg/m³ とで改質土の特性に明らかな違いが認められた．その理由を水和生成物の量の違いと仮定し，それを検証するために電子プローブマイクロアナライザー（EPMA）を用いて確認した．分析に供した試料は，p=100 kg/m³ と 400 kg/m³ の一軸圧縮試験供試体の残渣物である．**写真－１**に改質土の SEM 画像を，**図－５**に改質土のＸ線スペクトルを示す．

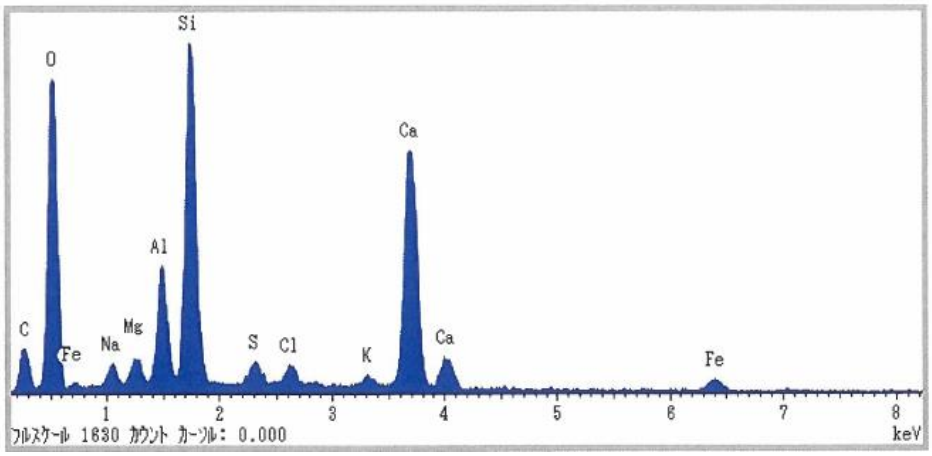


（ａ）p=100 kg/m³　　（ｂ）p=400 kg/m³

写真－１　改質土の SEM 画像



（ａ）p=100 kg/m^3



（ｂ）p=400 kg/m^3

図－５　改質土のＸ線スペクトル

Ｘ線スペクトルより p=400 kg/m^3 の方が Ca 濃度が高く，SEM 画像から水和生成物と思われる結晶が確認されたが，その物質の特定はできていない．

（４）再泥化・軟化

高含水比泥土に固化材を添加して改質し，締固め度や強度等の特性が改善された場合でも，そこに水分が供給されて吸水したり，改質土自体が水浸した場合には軟化したり場合によっては泥濘化することがある．この現象を再泥化と称している．再泥化を評価する明確な試験法は規定されていないが，岩石のスレーキング試験（JGS 2124）などに準じて再泥化の有無を確認した．

試験に供した試料は配合試験で作製した一軸圧縮試験用の円柱供試体で，所定材齢（混練り後 3，7，28 日）経過後，1 昼夜浸漬して供試体の変状観察を行った．結果，全ケースと

も，供試体の崩壊はもとより，面落ち，亀裂，軟化等のいずれの変状も認められなかった．

（５）環境安全性

建設汚泥処理土利用技術基準によれば，処理土（改質土）は生活環境保全上の基準，すなわち環境基本法に基づく土壌環境基準（溶出量基準）と，土壌汚染対策法に基づく特定有害物質の含有量基準を満足することとされている．

溶出量に関しては，泥土に混合する固化材成分の固定化機能によるところがあり，混練り後の材齢によって変わることが想定されるが，「セメント及びセメント系固化材を使用した改良土の六価クロム溶出試験実施要領（案）」に基づき，材齢 7 日の一軸圧縮試験供試体残渣物を検体とした．また，配合については，第 2 種処理土の基準（$q_c \geqq 800$ kg/m^2）を満足した最少添加量である p=400 kg/m^3 を選定した．なお，平成 28 年 3 月 29 日に「土壌環境基準及び地下水環境基準の一部を改正する告示」が公布され，土壌の汚染に係る環境基準項目に「クロロエチレン」及び「1,4 - ジオキサン」が追加（平成 29 年 4 月 1 日施行）されたことから，同物質についても溶出試験を実施した．

表－４は検定結果を示すが，溶出量，含有量とも基準値以内であることを確認した．

表－４　改質土の土砂検定結果

分　類	物　質　名	溶出量			含有量		
		基準値(mg/ℓ)	分析結果	判定	基準値(mg/kg)	分析結果	判定
第1種特定有害物質（揮発性有機化合物等）	四塩化炭素	≦0.002	＜0.0002	OK	－	－	－
	クロロエチレン	≦0.002	＜0.0002	OK	－	－	－
	1,2ジクロロエタン	≦0.004	＜0.0004	OK	－	－	－
	1,1-ジクロロエチレン	≦0.02	＜0.002	OK	－	－	－
	シス-1,2-ジクロロエチレン	≦0.04	＜0.004	OK	－	－	－
	1,3-ジクロロプロペン	≦0.002	＜0.0002	OK	－	－	－
	ジクロロメタン	≦0.02	＜0.002	OK	－	－	－
	トリクロロエチレン	≦0.03	＜0.002	OK	－	－	－
	1,1,1-トリクロロエタン	≦1	＜0.001	OK	－	－	－
	1,1,2-トリクロロエタン	≦0.006	＜0.0006	OK	－	－	－
	テトラクロロエチレン	≦0.01	＜0.0005	OK	－	－	－
	ベンゼン	≦0.01	＜0.001	OK	－	－	－
	1,4-ジオキサン	≦0.05	＜0.005	OK	－	－	－
第2種特定有害物質（重金属等）	カドミウム及びその化合物	≦0.01	＜0.001	OK	≦150	＜5	OK
	六価クロム化合物	≦0.05	0.05	OK	≦250	＜2	OK
	シアン化合物	ND	ND	OK	≦50	＜1	OK
	水銀及びその化合物	≦0.0005	＜0.0005	OK	≦15	＜0.05	OK
	アルキル水銀	ND	ND	OK	－	－	－
	セレン及びその化合物	≦0.01	0.002	OK	≦150	＜0.5	OK
	鉛及びその化合物	≦0.01	＜0.005	OK	≦150	13	OK
	ヒ素及びその化合物	≦0.01	＜0.005	OK	≦150	6.1	OK
	フッ素及びその化合物	≦0.8	＜0.05	OK	≦4,000	81	OK
	ホウ素及びその化合物	≦1	0.29	OK	≦4,000	27	OK
第3種特定有害物質（農薬等）	チウラム	≦0.006	＜0.0006	OK	－	－	－
	シマジン	≦0.003	＜0.0003	OK	－	－	－
	チオベンカルブ	≦0.02	＜0.002	OK	－	－	－
	PCB	ND	ND	OK	－	－	－
	有機リン化合物	ND	ND	OK	－	－	－

注1）検体はCP添加量400kg/m^{3}の材齢7日供試体
注2）土壌溶出量は平成3年環境庁告示第46号（JLT-46）に基づいて検定
注3）土壌含有量は平成15年環境省告示第19号（JLT-19）に基づいて検定

結論

CP の特性は，フライアッシュの特性が原材料の石炭の炭化度及び産地，燃焼方式によって異なるように，原コンクリートの材料，配合，材齢や再生骨材の製造方法に影響されるといわれている．今回実験に使用した CP は，石灰石粗骨材を主体とした原コンクリートから再生骨材Hを加熱すりもみ法により製造する際に副次的に得られたもので，今回の実験結果はあらゆる CP に対して普遍的にいえることではないが，実験を通して得られた主な知見を列挙すれば次のとおりである．

（１）CP の物理・化学特性

①密度（ρ_s=2.44 Mg/m^3）は既往の研究結果の平均的な値を示した（既往研究範囲；ρ_s=2.19～2.73 Mg/m^3，平均 2.52 Mg/m^3）が，原コンクリート構成材料の密度を考えると，CP を構成する粒子には閉鎖空間があることが推察される．

②粉末度（ブレーン比表面積；13,000 cm^2/g）は既往の研究結果の範囲内（既往研究範囲；2,180～15,320 cm^2/g，平均 7,573 cm^2/g）にあるが，比較的大きな値を示し，微細であることが確認された．

③同一軟度のペーストを得るのに必要な水量が多く，それが CP そのものに起因するのか，粒度に起因するのか結論付けられていないが，粉末度の高いセメントを使用した場合，セメントペーストの粘性が高くなり，流動性が小さくなることと関連性があると考えられる．

④CP の組成は，既往の研究と比べ SiO_2 が少なく（既往研究範囲；4.18～70.2 %，平均 35.28 %，今回；14.16 %），CaO が多い（既往研究範囲；11.0～41.7 %，平均 25.75 %，今回；44.56 %）が，原コンクリートの粗骨材に石灰石（砕石）を使用していることと関連があると考えられ，クリンカー鉱物が Ca を主体としていることから，再水和を期待させるものである．

⑤CP の化学分析では Al_2O_3 が検出（既往研究範囲；1.85～12.00%，平均 7.25 %，今回；3.09 %）されたが，XRD/リートベルト法による CP 中のクリンカー鉱物観察では C_3A は確認されなかった（C_3S，C_2S，C_4AF は XRD で確認）ことから，改質効果（硬化）は期待されるが，強度発現が遅いことが想定される

⑥BB に比べると低強度（材齢 28 日の圧縮強度は BB の 1/40 程度）ながら，材齢とともに強度が増進することから，水和反応による高含水比泥土の改質効果が期待される．

⑦水和熱試験の結果，BB に比べると小さいものの加水直後の発熱（第 1 ピーク）が確認されたが，BB に見られた加水して 8～10 時間後の発熱（第 2 ピーク）は見られなかった．

（２）配合試験

①CP 添加量の増加に伴って q_c 及び q_u が増加したが，特に，CP 添加量が p≧400 kg/m^3 になると強度が急増した．

②CP 添加量が p=400 kg/m^3 を超えると，材齢 3 日で第 2 種処理土（q_c≧800 kN/m^2）の品質区分を満足するとともに，流動化処理土の一般的な要求品質 q_u≧100 kN/m^2 も満足することが確認された．

③今回の配合試験における改質材としての CP は，汎用固化材に比べるとその添加量が多いが，添加量と強度の関係において曲線が下に凸になったことから，過添加ではないと判断される．

④q_c 及び q_u とも材齢とともに増進していることから，改質効果は時間要素が関係しており，CP の再水和反応性が示唆された．

⑤上記を裏付ける根拠として以下が挙げられる

1）CP の XRD からクリンカー鉱物（C_3S，C_2S，C_4AF）が確認された

2）水和熱が認められた（但し，水硬性がないとされる FA も同様の結果）

3）含水比が材齢とともに低下（自由水⇒結合水）

4）水浸しても再泥化，軟化しない

5）SEM 観察の結果，水和生成物のようなもの（特定未）が確認された

⑥環境基本法に基づく土壌環境基準（溶出量）も，土壌汚染対策法に基づく特定有害物質の含有量も基準値をクリアした．

⑦建設汚泥をはじめとする高含水比泥土の改質材として，CP は有効に活用できることが示唆された．

今後の課題

本研究により，CP が高含水比泥土の改質材として適用できることが示唆されたが，CP の性状は一律ではないことからまだ未解明なことも多く，今後の探求・研究の必要性は大きい．以下に技術面と制度・体制面から見た今後の課題について列挙する．

（１）技術面

①改質対象土の汎用性

・今回配合試験の対象とした原泥は改質条件としては厳しい部類（Fc=81.1%，Li=9.3%，〔CH〕）に属するが，一定の水準に改質できることが確認できた．しかし，CP の地盤材料としての適用性を評価するためには，異なる土質や含水比が変

化した場合にどのような性状を示すかデータの蓄積が必要である．

②多様な CP への対応

・今回実験に使用した CP は，浚渫土を改質することができることを確認できたが，原コンクリートの材料，配合，材齢等や，再生骨材の製造方法によってその性質が多様に変化する CP について，基本特性を含め，地盤材料として評価できるデータの蓄積が必要である．特に，コンクリート塊の大部分を占める解体コンクリートから副産される CP を対象としないことには天然資源の消費と廃棄物発生量の抑制には至らないので，制度上の課題はあるが，先行して特性解明を進めていく必要がある．

③長期安定性

・近年，副産物を利用した材料・製品・処理物・建造物等に対して，環境安全性を含めた長期安定性が求められている．今回の研究開発により，CP によって改質した処理土の地盤材料としての短期的な力学特性，環境安全性は一定水準を満足することが確認できたが，長期的なことについては分かっていない．従って，経年劣化を含め，CP によって改質した処理土の長期安定性について検証する必要がある．

（２）制度・体制面

①再生骨材コンクリートの活用促進

・「リサイクルに関して行政が介入するのは本当の意味でのリサイクルにつながらない」という声を聞くが，やはり再生品というといろいろな意味で使用者（購入者）側に忌避感があるため，新材に替えて自らが積極的に活用するモチベーションは生まれない．従って，再生砕石や再生加熱合材のように，発注者が特記仕様書等で再生骨材コンクリートの活用を指定することが天然資源の消費と廃棄物発生量の抑制には不可欠で，そのためにも CP の利用用途を確立する意義は大きいと考える．

②廃棄物処理法

・廃棄物を再生処理したものが“End of Waste（卒廃棄物）”となることに関しては「建設汚泥処理物の廃棄物該当性の判断指針について」（環廃産発第 050725002 号，平成 17 年 7 月 25 日）等で示された総合判断説における“有価物判断要素”が拠り所となり，建設汚泥以外にも準用されている．コンクリート塊は資源有効利用促進法でいうところの「再生資源」,「指定副産物」, 建設リサイクル法でいう「特定建設資材」であるが，同時に廃棄物処理法でいう「産業廃棄物」でもある．従って，その処理に際しては“End of Waste”までは廃棄物処理法の適用を受けることから，どの時点で“卒廃棄物”となるのかの関係者への周知・徹底と，コンクリート塊及びその処理物に対してもできれば先の建設汚泥処理物のような通知の発翰が望ましいと考える．

③支援・助成・優遇制度

・再生砕石と異なり，再生骨材は高度な処理を必要とすることから，がれき類の中間処理業者が JIS の認証を取得して再生骨材製造を行おうとする場合，新たな設備の導入が必要（厳密には設備が整い，管理システムが構築されないと認証は取得できない）となる．また，既にがれき類の中間処理を営んでいる場合には，再生砕石と再生骨材が混在しないように新たなストックヤードも必要となる．しかし，現在 JIS A 5021（コンクリート用再生骨材の製造又は加工）の認証を取得している再資源化施設は全国に 3 箇所しかなく，これでは到底再生骨材コンクリートの普及は望めない．再生骨材コンクリートの普及には解決すべき課題が山積しており，本研究開発で取り組んだ CP の利用用途確立も重要な課題であるが，処理（製造）設備設置に係る支援・助成・優遇制度も不可欠と考える．

助成研究者所属・氏名

一般社団法人　泥土リサイクル協会	野口　真一
愛知工業大学　工学部土木工学課	中村　吉男
株式会社アイコ　技術部	鴇田　稔
成友興業株式会社　城南島第二事業所	金子　守

目　次

第Ⅰ章　序論 …… 1
１．１　はじめに …… 1
１．２　研究の背景 …… 1
１．３　研究の目的 …… 2
１．４　ＣＰに関する既往の研究 …… 3
１．５　本報告書の構成 …… 6
参考文献 …… 8

第Ⅱ章　コンクリート塊のリサイクル …… 9
２．１　コンクリート塊のリサイクルの現状 …… 9
２．２　リサイクルについて …… 15
２．３　残コン・戻りコンと解体コンクリート …… 17
　２．３．１　はじめに …… 17
　２．３．２　残コン・戻りコン …… 18
　２．３．３　解体コンクリートの法的扱い …… 23
　２．３．４　まとめ …… 23
２．４　コンクリート塊リサイクルの課題と対応 …… 23
参考文献 …… 25

第Ⅲ章　再生骨材とＣＰ …… 28
３．１　再生骨材とは …… 28
３．２　再生骨材の利用状況 …… 30
３．３　再生骨材の課題 …… 31
　３．３．１　製造・活用に係る課題 …… 31
　３．３．２　アルカリシリカ反応性 …… 32
　３．３．３　ＣＰ …… 40
参考文献 …… 41

第Ⅳ章　ＣＰの地盤改良材としての適性評価 …… 42
４．１　原泥の物理的・化学的特性 …… 42
　４．１．１　はじめに …… 42
　４．１．２　試験試料 …… 42
　４．１．３　物理試験 …… 43
　４．１．４　化学試験 …… 46

４．１．５　試験結果と考察 …… 47
４．２　ＣＰの物理的・化学的特性 …… 49
４．２．１　はじめに …… 49
４．２．２　試験試料 …… 51
４．２．３　物理試験 …… 51
４．２．４　化学試験 …… 54
４．２．５　試験結果と考察 …… 56
４．３　配合試験 …… 73
４．３．１　はじめに …… 73
４．３．２　試験の項目と目的 …… 73
４．３．３　使用材料 …… 74
４．３．４　試験フロー …… 75
４．３．５　試験方法 …… 79
４．４　試験結果と考察 …… 82
４．４．１　コーン指数試験 …… 82
４．４．２　一軸圧縮強度試験 …… 88
４．４．３　ＣＰによる水和生成物 …… 92
４．４．４　再泥化・軟化試験 …… 99
４．４．５　環境安全性試験 …… 99
４．４．６　要求品質指定材齢の場合の添加量 …… 101
参考文献 …… 102

第Ⅴ章　結論 …… 104
５．１　本研究開発のまとめ …… 104
５．２　今後の課題 …… 107

第Ⅰ章　序論

１．１　はじめに

一般社団法人泥土リサイクル協会は，産業副産物を主材とする固化材等により，高含水比泥土を改質して地盤材料として再利用することをはじめとし，各種廃棄物や副産物のリサイクルに関する普及啓発活動を推進している団体である．

今回，一般財団法人先端建設技術センターの研究開発助成を受け，コンクリート塊をリサイクルして再生骨材Hを製造する際に副産される微粉末（Crushing Power，以下 CP と称す.）の地盤改良材としての適用性について実験的に検証したので，その結果について報告する．

１．２　研究の背景

コンクリート塊は，建設工事に係る資材の再資源化に関する法律（建設リサイクル法）で特定建設資材に指定され，リサイクルが義務付けられていることから再資源化率は高い値で推移している．平成 24 年度建設副産物実態調査によれば，コンクリート塊の再資源化率は平成 12 年以降 95 %を超える高い値を示しており，ほぼ全量が再生砕石として路盤材や裏込め材等に利用されている．しかし，今後は公共投資の縮小や，道路整備率の向上により，再生砕石はこれまでのような右肩上がりの需要は望めないことに加え，高度経済成長期に築造されたコンクリート構造物の更新に伴って解体コンクリートの発生量が増加することから，需給バランスが不均衡になると予測された．

また，コンクリートの製造量は一時期より減少したとはいえ，依然，建設工事において最も主要な資材の一つである．その中で，骨材はコンクリート体積の約 7 割を占め，従前は河川産の良質な天然骨材の入手が容易だったが，資源の枯渇や環境保全の関係から，天然骨材はもとより人工骨材である砕石や砕砂も年々その確保が困難になってきている．

こうした背景と，前述の再生砕石の余剰予測を受けて注目されたのが再生骨材である．再生骨材とは，コンクリート塊を原材料として，破砕・磨砕・分級等の処理を行って製造したコンクリート用骨材を指す．再生砕石と異なり要求品質が高いことから高度な処理が必要となるが，長年にわたる技術開発の結果，原骨材と同等の品質を有する再生骨材の製造技術が確立され，再生骨材の規格制定も行われた．

再生骨材はその品質によって再生骨材H（高品質），再生骨材M（中品質），再生骨材L（低品質）の 3 種類に分類されるが，そのうち JIS A 5021 は再生骨材Hがレディーミクストコンクリートに引用されることを目標に制定された骨材規格である．しかし平成 24 年度における再生骨材Hを使用したコンクリートの利用実績は 5.2 万トン[1)] であり，同年における全国の生コン出荷量である 2.1 億トン（公表値である 9,210 万 m^3[2)] を比重 2.3 t/m^3 とし

て質量換算）の 0.03 %にも満たない.

再生骨材Hを用いたレディーミクストコンクリートが普及しない要因の一つに，再生骨材Hを製造する認証取得工場が全国に 3 箇所[3)]しかないことが挙げられる．そして再生骨材H製造の認証取得工場が増加しない理由として，再生品に対する忌避感や骨材価格が高いために需要が確約されないことがある．忌避感については再生骨材に限ったことではなく再生品全般に言えることであり，その解決策は決して簡単ではないが，再生品の品質確保やリサイクルの必要性を丁寧に説明することで解決への道が開かれると考える．一方，価格に関しては

ア）骨材製造のために新規設備投資が必要であること
イ）高度な品質を満足させるため製造コストが高くなること
ウ）再生砕石と異なり再生骨材Hはコンクリートの品質確保のため，骨材に付着しているモルタル分を可能な限り除去しなければならないが，その結果，骨材再生に伴って CP が原コンクリートの 20～60 mass%発生し，その利用用途が確立されていないため，産業廃棄物（ガラスくず，コンクリートくず及び陶磁器くず）として処分しなければならず，処理費が発生すること

などが影響していると考えられる.

勿論，再生骨材Hの製造者は製造から流通までのコスト合理化に不断の努力をしなければならならないが，同時に設備投資に対する行政の助成・優遇制度や，再生骨材Hを用いたレディーミクストコンクリートの活用を促進するための特記仕様書整備等，普及に向けて検討・実施すべきことは山積している.

その中で，CP の利用用途についての研究も進められており，CP をコンクリート材料や地盤材料として用いた場合の特性解明を中心に進められたが，置換率が大きくなったり添加量が多くなると強度が低下するなど品質に悪影響を及ぼすことが報告されており，実用には至っていない.

そこで，本研究グループは，CP の利用用途として，大量消費が可能でリサイクル率が低迷している建設汚泥等，高含水比泥土を地盤材料として再利用するための改質材に着目した．CP の利用用途が確立されれば再生骨材Hの価格を抑えて需要拡大が期待され，廃棄物処理の観点だけでなく，資源の有効利用の面からも意義のあることと考える.

１．３　研究の目的

CP の地盤分野への適用性に関する研究は，地盤改良における固化材の置換材，増量材としての研究が主体で，一定の成果が得られている．しかし，建設汚泥をはじめとする高含水

比泥土の改質材としての研究はほとんどなく，これが実用化されれば，CP の利用用途を確立することで再生骨材Hの普及が促進されるだけでなく，建設汚泥をはじめとする高含水比泥土のリサイクル率の向上が期待される．そこで，CP がコンクリート由来の副産物であることに着目し，高含水比泥土の改質材としての適用性について検討することとした．

本研究開発は，コンクリート塊のリサイクル技術を確立することにより，天然資源の消費と廃棄物の発生量を抑制することで，循環型社会の形成に寄与することを目的としており，具体的には，CP が高含水比泥土の改質材として利活用できるかどうかを実験的に吟味・検証し，CP の建設資材としての適用性を評価するものである．

１．４　ＣＰに関する既往の研究

図１－１は CP に関する既往の研究を取りまとめたものである．

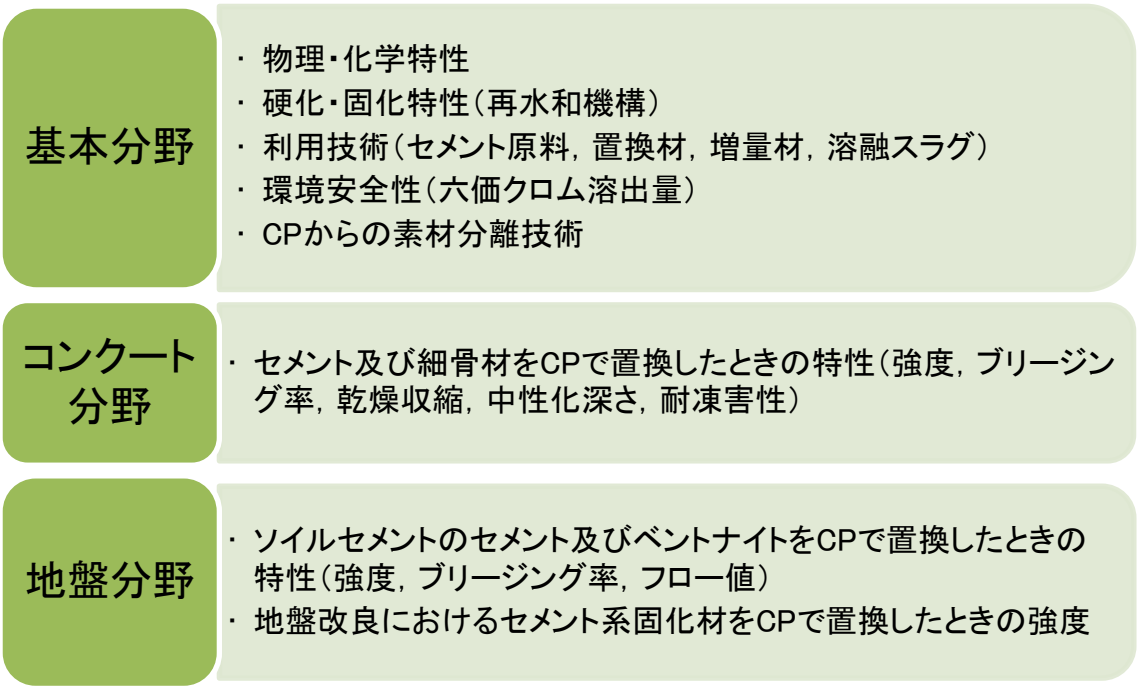


図１－１　ＣＰに関する既往の研究

コンクリート用再生骨材Hの普及・促進を図るうえで，再生骨材H製造時に副産される CP の利活用用途を確立することが重要かつ喫緊の課題であることは多くの研究者・技術者の共通認識であり，再生骨材Hを用いたコンクリートの特性解明と並行して進められてきたところである．

CP に関する研究は，その分野から

①基本分野
②コンクリート分野
③地盤分野

の 3 つに大別できる.

基本分野に関する研究は，CP の利活用を念頭に，CP の基本的な物理・化学特性の解明，利活用において期待する再水和メカニズムからとらえた硬化・固化特性，再利用用途，実際に利活用した場合に生活環境保全上問題がないかの環境安全性，CP から各種素材（元素）を分離・抽出する技術などが取り組まれている.

CP の硬化・固化特性に関する主な研究は以下のとおりである.

黒田ら[4)]は，加熱処理した微粉末の自硬性に着目して再水和メカニズムの検討を行い，CP の化学特性及び強度発現に及ぼす影響を調査した結果，CP の再水和にはクリンカー鉱物（C_3A，C_2S），シリカゲル，未水和スラグに起因する反応があることを明らかにした．また，依田ら[5)]は，加熱温度の違いによる CP の物理・化学特性及び強度特性に関する実験から，600 ℃で焼成したときに最も再水和が活発になり，強度が大きくなることを見出した.

CP の利用技術に関して，石倉ら[6)]は原子力発電所の解体コンクリートから再生骨材Hを製造する過程で発生する CP を廃棄することなく有効利用するために，コンクリート原料，セメント原料，微粉末利用製品原料，地盤改良材といった各種用途ごとに具体的な実験を行い，利用用途ごとにどの程度多量に利用できるかを検証した結果について概説している．また，黒田[7)]は，加熱すりもみ法によって得られた CP の性質と再水和メカニズム，現場摘要事例を紹介するとともに，CP の有効利用技術に関するその他の検討例を示し，CP はセメント成分を多く含むことから，セメント原料として用いたり，セメントの混合材や地盤改良用固化材として利用することが望ましいと述べている．一方，羽原ら[8)]は，フライアッシュ及び石灰石を副原料として CP を溶融スラグ化してリサイクルすることに取り組んだ結果，電気炉で 1,350 ℃で焼成することにより JIS 規格の密度を満足し，吸水率が小さい溶融スラグの製造できることを明らかにした.

CP の環境安全性に関して，黒田ら[9)]は．加熱すりもみ法で得られた微粉末を対象に，地盤改良工法への利用を模擬して行った室内配合試験から，地盤改良の用途に応じて強度を確保しつつ，土壌環境基準にも適合する微粉末の適用条件を明らかにした.

竹本ら[10)]は，廃コンクリート微粉末を一般工業に使用可能な原料水準までの素材に分離することに着目し，素材分離方法と適切な分離のための条件を検討した結果，不溶残分，ケイ酸，鉄とアルミニウムの不純物及び炭酸カルシウムに分離するプロセスを作成したことを報告している.

CP をコンクリート材料としての研究は，セメント置換（内割り），細骨材置換（外割り，混和材）として利活用した場合の特性解明が進められている.

桜井ら[11)]は回転式遠心破壊装置により再生骨材を製造する際に発生する CP を，コンク

リートの混和材として使用（再骨材置換・混入量 200 kg/m^3）した場合の適用性について検討した結果，プレーンコンクリートに比べて

ア）ブリージング率が約 1/3 の 1 %以下になること
イ）自己収縮ひずみ・乾燥収縮ひずみがともに 100 μ 程度増加すること
ウ）凍結融解サイクルの繰返しに伴う相対動弾性係数の低下が若干大きくなること
エ）中性化深さが小さくなること
オ）圧縮強度が 2 割程度増加すること

などを確認した.

一方大池ら[12)]は加熱すりもみ法で再生骨材を製造した際に得られた CP をセメント置換した場合のコンクリートの特性をプレーンコンクリートと比較し

ア）同一スランプを得るための単位水量が多くなること
イ）乾燥収縮が大きくなること
ウ）中性化深さはプレーンコンクリートのセメント種類によって異なり，高炉セメントの場合はほぼ同等であるが，普通ポルトランドセメントの場合は大きくなること
エ）置換率が大きくなるにつれて圧縮強度は低下し，W/C が小さいほど顕著なこと

などを明らかにした.

地盤分野では地盤改良材やソイルセメント壁の材料としての研究が行われている.

笠井ら[13)]は CP が高炉スラグ微粉末（BFS）の潜在水硬性に対するアルカリ刺激材として作用することに着目し，両微粉末の混合粉体を軟弱地盤の改良材として再利用するための検討を行った．その結果

ア）CP は BFS の刺激材として有効に作用し，CP 混合率が 50～80%の範囲では材齢 28 日のモルタル強度は σ_c=10～14 N/mm^2 を示すこと
イ）混合粉体を地盤改良材として用いる場合，BFS を CP で置換する場合，置換率が 70 %より 40 %の方が強度が大きいこと
ウ）地盤改良材として混合粉体を用いる場合，普通ポルトランドセメントや汎用固化材に比べて同一強度を得るための添加量が多くなるが，長期材齢強度の増加率は大きくなること
エ）混合微粉は地盤改良材として適用可能である

ことなどを示した.

一方，内山ら[14)]は解体コンクリートの再生過程で発生する CP が有する弱い硬化特性

に着目し，ソイルセメント壁の固化材構成材料であるベントナイト及びセメントの代替材料としての有効性を評価した．はじめに室内配合試験を行い，標準配合に対してベントナイトの全部とセメントの一部を CP で置き換えたところ，置換量の増加に伴って一軸圧縮強さ q_u が低下する原位置土と，ほとんど変化しない原位置土があることを確認した．ただ，q_u が低下した原位置土に対しても，最も置換率が多い場合でも目標強度はクリアしていることから，強度の割り増しを考慮した配合により実現場での実証を行い

ア）CP 置換時のソイルセメント強度特性は，土質や含水比によって変化すること
イ）CP はソイルセメントのベントナイトやセメントの削減を可能にすること

などを明らかにした．

１．５　本報告書の構成

本報告書は第Ⅰ章から第Ⅴ章までの５章で構成されており，各章の概要は以下に示すとおりである．

第Ⅰ章は「序論」であり，本研究の背景と目的を述べた．また，それを受けて研究の意義・必要性を明確にするとともに，本研究課題に関する既往の研究の概観，報告書構成について述べた．

第Ⅱ章はコンクリート塊のリサイクルに関して，原コンクリート（再生骨材を製造するための原料となるコンクリート塊）である「残コン・戻りコン」及び「解体コンクリート」について解説するとともに，コンクリート塊のリサイクルの現状とリサイクルに際しての課題について述べた．

第Ⅲ章はコンクリート塊の新たなリサイクル用途として着目されている「再生骨材」とその副産物である「CP」について述べた．再生骨材はそのグレードにより 3 種類に分類されるが，それぞれの特徴について概説した．また，「再生骨材」の利用状況及び活用に際しての課題について述べるとともに，本研究課題として取り上げた CP について論じた．特に，本研究課題で使用した CP は残コン・戻りコンから再生骨材Ｈを製造する際に副次的に得られたものであるが，解体コンクリートではなく残コン・戻りコンを原コンクリートとした理由について述べた．

第Ⅳ章は CP の地盤工学分野への適用性を評価するために行った実験について述べた．再生骨材の普及阻害要因の一つとなっている CP に関して，建設汚泥をはじめとする高含水比泥土の改質材としての適用性を検証するために行った物理・化学試験，配合試験の内容と結果を述べ，それに対して考察し，適用性を評価した．

第Ⅴ章は本報告書の結論であり，本研究で得られた知見を整理するとともに，今後の研究

課題と展望について述べた.

【参考文献】

1）国土交通省：平成 24 年度建設副産物実態調査，平成 26 年 3 月 27 日

2）全国生コンクリート工業連合会・全国生コンクリート協同組合連合会：生コンクリート製造業の概要

3）日本工業標準調査会：JIS マーク認証取得者一覧

4）黒田泰弘，竹本喜明，内山伸：再生骨材に伴い発生する副産微粉末の再水和メカニズムに関する研究，Cement Science and Concrete Technology，No.58，pp.533-540，2004

5）依田和久，新谷彰，間宮尚，青木孝一：加熱した再生微粉末の再水和に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.2，pp.415-420，2008

6）石倉武，大西一彦，小川秀夫，横山勝彦：再生骨材副産微粉の利用技術，コンクリート工学，Vol.41，No.6，pp.26-35，2003.6

7）黒田泰弘：副産微粉末の有効利用技術，コンクリート工学，Vol.46，No.5，pp.73-76，2008.5

8）羽原俊佑，廣瀬裕之，小山田哲也，平塚貞人，伊東賢伸，須永修吾，藤原一成：廃コンクリート微粉末の溶融スラグ化によるリサイクル，第 18 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，C4-8，2007.11

9）黒田泰弘，内山伸：再生骨材に伴い発生する副産粉末を用いた改良土の固化強度と Cr（VI）溶出量，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，No.1，pp.1459-1464，2005

10）竹本喜明，橋田浩，黒田泰弘，榎本尚也，赤津隆，田中亨二：骨材除去後の廃コンクリート微粉末からの素材分離，日本建築学会構造系論文集，第 73 巻，第 633 号，pp.1891-1898，2008.11

11）桜井邦昭，近松竜一，賀谷隆人，板谷昭雄：回転式遠心破壊装置により製造した再生骨材を用いたコンクリートの品質と再生微粉の混和材料への適用性，コンクリート工学，Vol.46，No.8，pp.11-17，2008.8

12）大池武，一瀬賢一，神代泰道：再生骨材・再生微粉を用いたコンクリートの実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.1445-1450，2006

13）笠井哲郎．見冨基裕，関竜馬，東野隼人：コンクリート再生微粉の地盤改良材としての有効利用に関する研究，Cement Science and Concrete Technology，No.55，pp.639-644，2001

14）内山伸，黒田泰弘：加熱すりもみ処理した解体コンクリート微粉のソイルセメント壁への適用，土木学会第 58 回年次学術講演会，pp.1259-1260，2003.9

第Ⅱ章　コンクリート塊のリサイクル

２．１　コンクリート塊のリサイクルの現状

大量生産・大量消費・大量廃棄型の経済活動を続けてきた我が国は，廃棄物の最終処分場の逼迫や生活環境の悪化といった環境問題や，資源の枯渇問題に直面し，環境負荷低減と資源の有効活用といった循環型社会形成への政策転換を余儀なくされた．これを受け，国は3R 政策を推進し，リサイクル関連法案の制定又は改正により，廃棄物の発生量抑制と資源の有効活用に取り組んだ．

我が国における資源利用量（総物資投入量）は約 15 億 7,100 万トン（平成 23 年度環境省調べ）であり，このうち主要建設資材の需要量はおおよそ 5 億 9,000 万トン（平成 25 年国土交通省調べ）で，資源利用量の約 3 割を占めている[1)]．

一方，2014 年度における廃棄物の総排出量は，**図２－１**に示すように 4 億 3,716 万トンで，そのうちの約 9 割にあたる 3 億 9,284 万トンが産業廃棄物である．

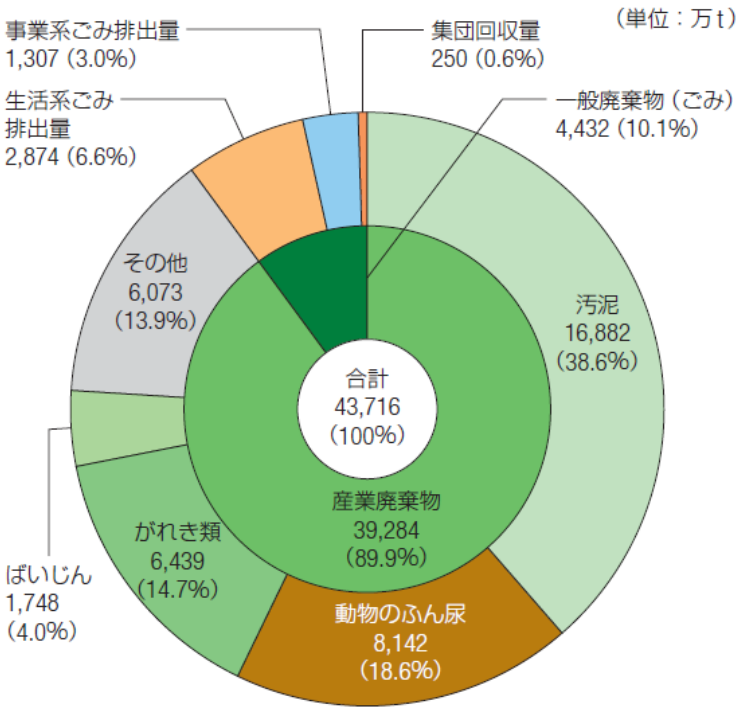


図２－１　廃棄物の種別排出量（2014 年度）[2)]

そして，**図２－２**に示すように，産業廃棄物のうちの約 2 割にあたる 8,161 万トンが建設廃棄物である.また，**図２－３**に示すように，産業廃棄物のうちおおよそ 16 %ががれき類で，そのうちの 95 %が建設業から発生している[2)]．

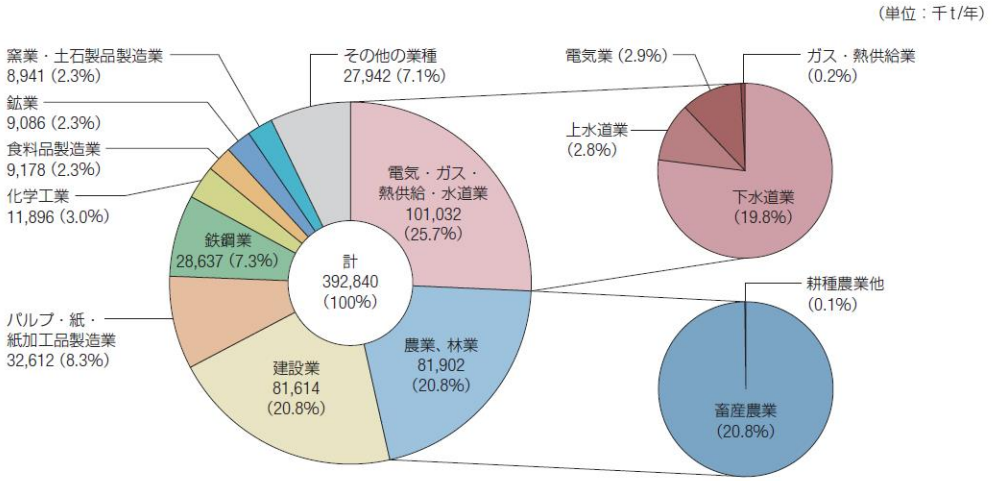


図２－２　産業廃棄物の業種別排出量（2014 年度）[2)]

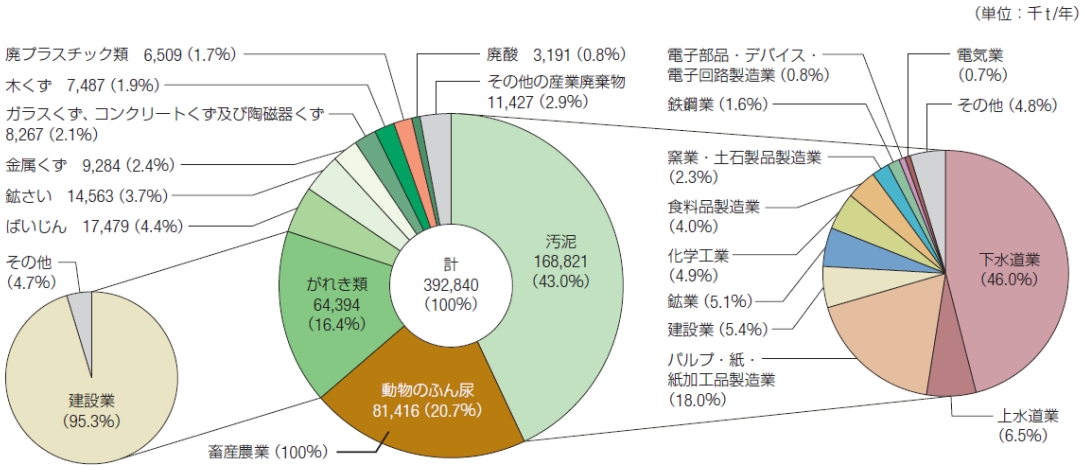


図２－３　産業廃棄物の種類別排出量（2014 年度）[2)]

がれき類に分類されるコンクリート塊及びアスファルトコンクリート塊の再資源化率は高い値で推移しており，このうちコンクリート塊については，**図２－４**に示すように 2000 年以降 95 %を超えている[3)]．これは平成 3 年（1991 年）に「再生資源の利用の促進に関する法律」（平成 12 年（2000 年）に「再生資源の利用の促進に関する法律」に改正）が制定され，同法の趣旨を踏まえて建設副産物のうち排出量・最終処分量が多いコンクリート塊などを対象品目として，公共工事を主な対象としてリサイクル原則化ルールなどの規制的手法を中心とした施策を推進したからとされている[4)]．

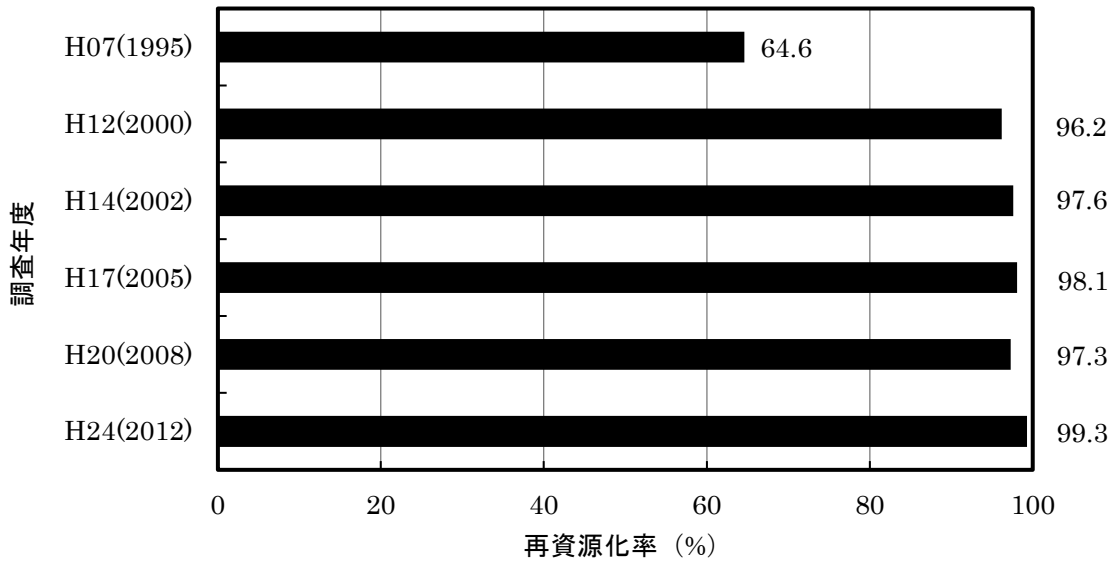


図２－４　コンクリート塊の再資源化等率[3)]

コンクリート塊の再生利用用途は調査年度によって多少の差はあるが，再生砕石が 90 %弱，再生砂が 10 %弱，残りが再生骨材となっており，大部分が再生砕石として利用され，再生骨材としての利用はほとんど普及していない[5)]．

次に骨材需要量とコンクリート塊の発生・排出量について述べる．

図２－５は 2006 年に報告（オリジナルデータは 2000 年に報告）された骨材需要量とコンクリート発生材の関係を示す[6)]．予測の社会的背景条件としては，道路をはじめとする社会資本整備の整備率向上に加え，公共投資の縮小により，今後は再生砕石の需要が高い水準で望めないことに加え，高度経済成長期に建造された構造物が更新時期を迎え，コンクリート解体材が多量に発生するというものである．これによれば，コンクリート塊を道路用砕石としてのみ利用した場合には，2020 年頃には両者の需給バランスが崩れ，再生砕石が余剰すると予測している．

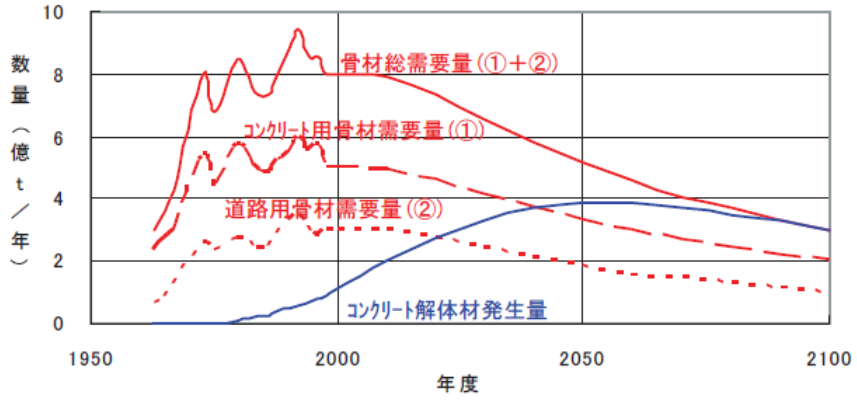


図２－５　骨材需要量とコンクリート解体発生材の将来予測[6)]

これに対し，骨材需要量（砕石を含むので，比較対象は**図２－５**の①+②の骨材総需要量となる）の実績[7)]は**図２－６**に示すとおりで，数値的には予測とやや乖離しており，ここ数年は横ばいで推移しているが，全体的には減少傾向にある点で共通している．

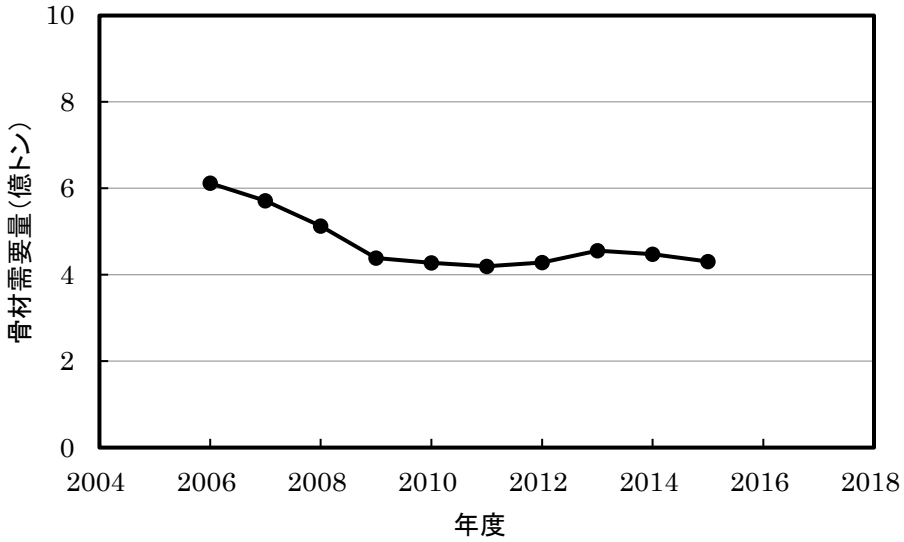


図２－６　骨材需要量の推移[7)]

一方，路盤材の需要が予測当時のまま一定と仮定し，過去のセメント販売量から構造物の平均寿命を建築 37 年，土木 50 年としてコンクリート塊の発生量を予測して比較[8)]したものが**図２－７**である．これによれば，2005 年には需給量が一致し，その後はコンクリート塊の発生量が需要量を上回るので，路盤材以外の再利用の方策が強く求められるとしている．

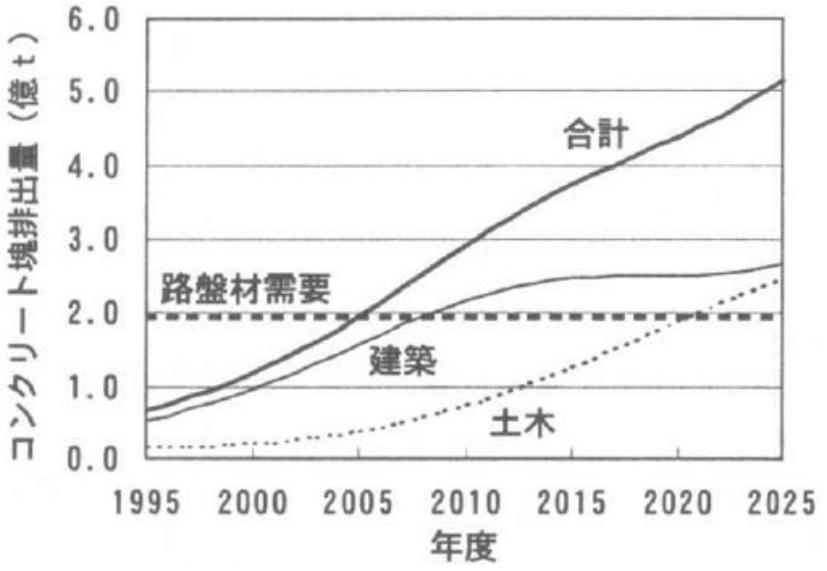


図２－７　コンクリート塊の排出量予測[8)]

これに対し，コンクリート塊の場外搬出量の実績[9)]は**図２－８**に示すようにおおむね横ばいに推移，どちらかというと減少傾向にあり，しかも，その値は予測より１オーダー小さくなっている．

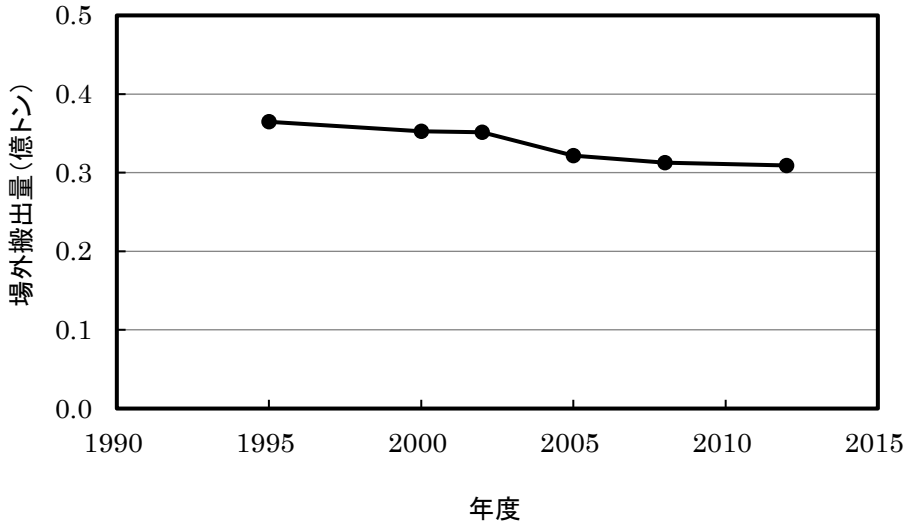


図２－８　コンクリート塊場外搬出量の推移[9)]

以上からすると，骨材の需要量が減少する一方でコンクリート塊の排出量が急増しないことから，“再生砕石の需給バランスが崩れて余剰する”という予測は杞憂だったかの感がある．しかし，これには地域差があり，東日本大震災で被災した東北３県では骨材を含めた復興資材が全般的に不足している一方，東京をはじめとする大都市圏では再生砕石の需給ギャップが顕在化し始めていることが報告されている[10)，11)，12)，13)，14)]．

従って，今すぐに我が国で再生砕石が余剰してコンクリート塊の処理に窮することはないかもしれないが，そうした事態の発生を見据えて，コンクリート塊の新たな利用用途を確立すべくその課題を解決することは，持続可能な循環型社会形成のためには不可欠なことである．

環境への負荷が少なく，持続的発展が可能な社会を構築することを目指し，我が国の環境政策の根幹を定める環境基本法の下位法に位置付けられる循環型社会形成推進基本法は，廃棄物等の発生抑制と適正な循環的利用・処分により，天然資源の消費を抑制し，環境への負荷ができる限り低減される社会（循環型社会）を構築するため，廃棄物の処理方法とその優先順位を初めて法定化（第５条～第７条）した．それによれば廃棄物処理の優先順位は

①発生抑制（Reduce）
②再使用（Reuse）
③再生利用（Recycle）
④熱回収（Thermal Recycle）

⑤適正処分（Proper Disposal）

とされている．

また，EU においても廃棄物枠組み指令（2008/98/EC）の第 4 条において廃棄物処理方法の優先順位と考え方を明確に規定しており

①prevention（予防）
②preparing for reuse（再使用のための準備）
③recycling（再生利用）
④other recovery,e.g.energy recovery（ほかの回復，例えば熱回収）
⑤disposal（処分）

となっている．

我が国と EU とで廃棄物処理の考え方には若干の差異が見受けられるが，基本的には廃棄物の発生抑制，使用後の材料や製品のモノとしての再利用もしくは熱源（燃料）としての利用，再利用不可能なものは適正に処理，という点では共通している．

コンクリートはセメント，水，細骨材，粗骨材及び若干の空気によって構成される材料である．強度や耐久性などの品質に対して安価であることに加え，目的用途に応じてその形状や強度を自在に変えたり，任意の場所に打ち込むことができるなどの施工性に優れ，材料の調達も比較的容易であり，性能向上（例えば高強度コンクリートの開発，温度ひび割れ抑制，劣化対策など）に関する技術も実用化されたことなどから，鋼材とともに土木・建築工事に欠かせない材料となっている．また，コンクリートの欠点とされる引張強度が小さいこと，自重が大きいこと，施工管理が難しいことなどに関しても，補強材料の開発や，複合材料の使用，設計・意匠の工夫，施工管理システムの改善等により対応できている．さらに，コンクリート主要構成材料であるセメントの製造工場は，単にセメントを造るだけでなく，廃棄物や副産物をセメント製造の原料またはエネルギー源として活用する“再資源化施設”であり，循環型社会構築に大きく貢献している．

このように，コンクリートは建設材料として優れた特性を有し，コンクリート塊の再資源化率も高い値で推移していることもあり，コンクリートの代替材料開発に関する研究はほとんどなく，副産物の有効利用と生物親和性を追求した製鋼スラグ硬化体[15)]の開発や，コンクリート品質に影響を及ぼす打設時の材料分離を抑制するための構造躯体用モルタルの開発[16)]などが散見する程度である．また，セメント製造時の CO_2 発生量を大幅に削減して環境負荷を軽減するために，コンクリートにセメントを使用しないジオポリマーコンクリート[17)]や，セメント使用量を大幅に抑えた環境配慮コンクリート[18)]などの研究開発が行われたが，いずれも耐用年数が経過して更新時期を迎えたときには取り壊されてコンクリート塊となるため，その利用用途を確保する点では従前のコンクリートと変わらない．

そうした中，1990 年代半ばに，コンクリート塊を全てセメント材料及び骨材として使用する“完全リサイクルコンクリート”[19]の考え方が誕生した．完全リサイクルコンクリートにはセメント回収型と骨材回収型の 2 種類があり，セメント回収型は「セメント及びセメント原料となる物質のみがコンクリートの結合材，混和材及び骨材として用いられ，硬化後，再度すべての材料がセメント原料及び再生骨材として利用可能であるコンクリート」とされ，一方，骨材回収型は「コンクリートの力学特性に過度な低下が生じない程度に骨材表面に改質処理を施して，骨材 - マトリックス間の付着力を低減し，原骨材を容易に回収することを可能とし，かつそれ自身がセメント原料となるコンクリート」と定義されている．勿論，完全リサイクルコンクリート実現のためには課題[20]もあり，特に骨材回収型の場合は，コンクリートの力学特性（骨材と結合材の付着力確保）と骨材リサイクル性能（骨材と結合材の剥離性向上）のトレードオフが実用化の妨げとなっていたが，マイクロ波加熱技術を利用[21]することでトレードオフ関係の克服が可能となり，コンクリート構造物の輪廻転生が実現されるといわれている．

骨材回収技術をはじめとする諸課題が解決されれば，完全リサイクルコンクリートが実現し，構造物等を解体して得られたコンクリート塊はセメントまたは骨材として全量が再利用され，廃棄物の発生は皆無となる．しかし，完全リサイクルコンクリートの技術が確立し，全てのコンクリート塊が完全リサイクルコンクリート材料としての条件を満足するまでは，発生するコンクリート塊を有効利用することが不可欠となる．

２．２　リサイクルについて

今後我が国が持続的に発展していくためには，廃棄物・リサイクル問題に積極的に取り組み，環境と経済が両立した循環型社会を構築する必要がある．そのためには 3R（Reduce ; 発生抑制，Reuse ; 再利用，Recycle ; 再生利用，再資源化）の取組みを充実させることが重要である．

コンクリートに関してはコンクリート二次製品の撤去材を再利用する事例がごく一部に見受けられるが，通常，リデュースやリユースはほとんどなく，専らリサイクルが適用されている．リサイクルとはいまさらここでいうまでもなく，使い終わった材料や製品を再資源化し，新たな製品またはその原料として利用することである．

リサイクルは廃棄物の利用方法からは**表２－１**に示すように３つに，利用形態からは**表２－２**に示すように２つに分類される．

表２－１　廃棄物の再生利用方法別リサイクルの種類

リサイクルの種類	内　　容
マテリアルリサイクル	廃棄物を原料として再生利用することで，使用済み製品や製造工程などから出るごみを回収し，利用できるように処理して新しい製品の原材料として使用する．具体的には飲料用空き缶や鉄くずから鉄鋼を製造することなどが相当する．
ケミカルリサイクル	使用済の資源をそのままでなく，化学反応により組成変換したうえで再生利用することで，広義にはマテリアルリサイクルに含まれる.具体的にはペットボトルから作成する繊維や，廃食用油から作る石鹸などが相当する．
サーマルリサイクル	製品として再生利用できない廃棄物を単に焼却処理するのではなく，焼却の際に発生するエネルギーを回収・利用すること．具体的にはセメント工場におけるごみ発電や，清掃工場の温水プールの熱源利用などがある．

表２－２　廃棄物の再生利用形態別リサイクルの種類

リサイクルの種類	内　　容
カスケードリサイクル	リサイクル物質が元の製品に利用されず，他のグレードの低い製品に流れていくリサイクルをいう．厳密にはサイクルを形成していないが，リサイクルの一形態として扱われる．カスケードリサイクルは，下位製品のクローズドリサイクルが進むと需要が減少し，リサイクル製品に供給に見合う需要があるとは限らない．また，クローズドリサイクルに比べてリサイクルが容易であるが，有限のリサイクルであり，最終的には廃棄処分となる．オープンリサイクル，ダウンサイクルとも呼ばれる．
クローズドリサイクル	使用済製品を構成している物質を再び製造工程に戻して同一製品にリサイクルすることをいう．クローズドリサイクルではリサイクル製品に必ず需要が存在する．また，クローズドリサイクルはカスケードリサイクルに比べて一般に高い品質が要求されるため，多くのプロセスエネルギーを必要としたり，歩留まりが発生（収率の低下）する場合がある．水平リサイクル，完全リサイクルとも呼ばれる．

コンクリート塊の場合，**図２－９**に示すように，従前行われていた再生砕石へのリサイクルはカスケードリサイクルであり，構造用コンクリートを再び構造用コンクルートとして使用する再生骨材や完全リサイクルコンクリートはクローズドリサイクルである．

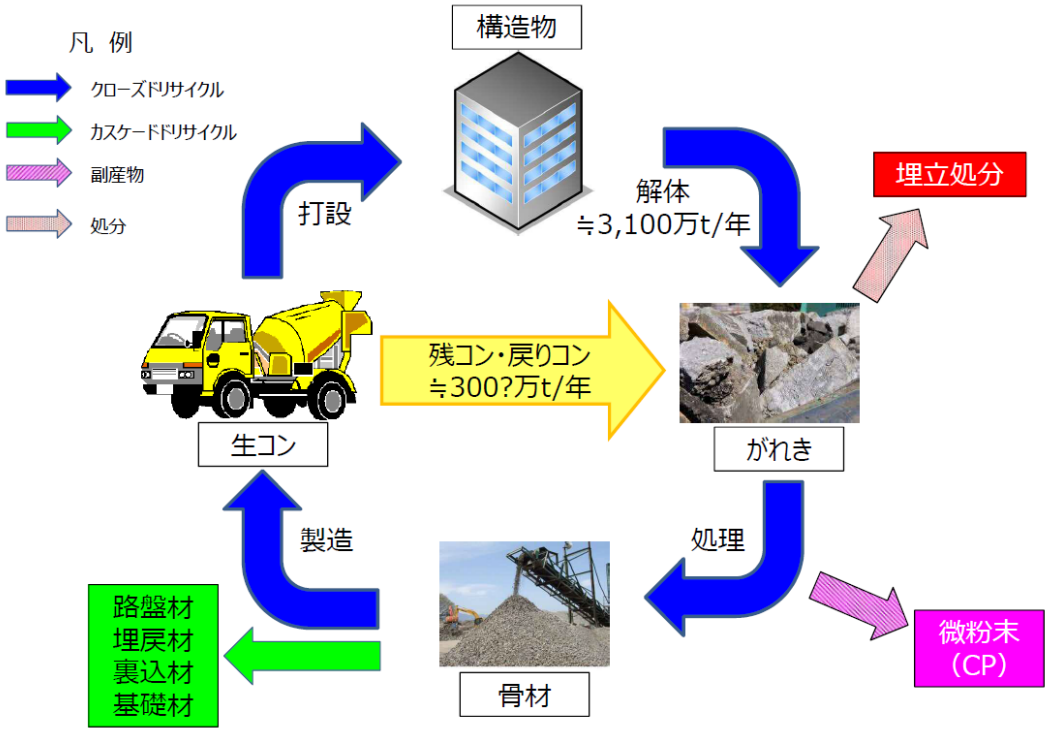


図２－９　コンクリート塊リサイクルのイメージ

２．３　残コン・戻りコンと解体コンクリート

２．３．１　はじめに

不要になったコンクリートの名称や分類はその状態や適用される法令によって異なる．例えば硬化コンクリートの場合，副産物やリサイクル関係では「コンクリート塊」[22),23),24)25)]，廃棄物処理関係では工作物の新築，改築又は除去に伴って生じたものは「がれき類（コンクリートの破片)」[26)]，製品等の製造過程で生ずるものは「コンクリートくず」[26)]，まだ固まらないコンクリートは「汚泥」[27),28)]とされる．

ここでは，再資源化の観点からコンクリート塊に着目し，残コン・戻りコンと解体コンクリートについて概括する．なお，再生骨材に関する JIS 規格制定検討時には，十分硬化していない戻りコンクリート固形物は，骨材の品質低下を招くだけでなく，処理設備に付着して作業に支障をきたす恐れがあることから，「原コンクリートは十分に硬化していないものを

使用してはならない」とされていたが，現行の JIS 規格では「コンクリート塊には，構造物の解体によって発生したもの以外に，コンクリート製品やレディーミクストコンクリートの戻りコンクリートを硬化させたものなどがある」とされており，硬化していることが前提であるが，解体コンクリートだけでなく戻りコンクリートも再生骨材の原コンクリートとして認められている．

２．３．２　残コン・戻りコン

（１）残コン・戻りコンの法的取扱い

レディーミクストコンクリートの出荷単位は地域によって異なるが，一般的には 0.5 m^3 ないし 0.25 m^3 単位となっているところが多い．このため，仮に現場で 0.4 m^3 のレディーミクストコンクリートが必要だとしても，注文時には 0.5 m^3 でオーダーすることになり，現場での食い込みやロスがない場合には 0.1 m^3 余剰することになる．一方，施工中の型枠の変形や，打設中の型枠からの漏洩等によりコンクリートが計算数量より食い込むことも想定され，コールドジョイントを未然に防ぎ連続打設するために，余裕をもってレディーミクストコンクリートを注文することが一般的である．さらに，ポンプ打設の場合には，ポンプ車のホッパーや輸送管内にコンクリートが残ることは避けられず，これらのことにより現場では処分しなければならないコンクリートが少なからずとも発生する．

また，近年では生コン工場の品質管理もかなり厳密になっているため，荷下ろし地点で検査不合格になるケースは極めてまれであるが，不合格の場合は生コン工場に返却することになる．

こうした現場で不要になったコンクリートを俗に“残コン・戻りコン”と呼んでおり，一般的には“残コン”は「現場で余ったコンクリート」，“戻りコン”は「現場で不要になって生コン工場に戻されるコンクリート」と解釈されているが，生コン製造者は“戻りコン”を「荷下ろし地点で検査に不合格となったコンクリート」と解釈している[29)]．2010 年 2 月に開催された「『残コン・戻りコンの発生抑制と有効利用』に関するシンポジウム」（日本コンクリート工学協会主催）では，製造されたコンクリートが処分される形態別に，不要となったコンクリートの名称に関するステークホルダーごとの実態調査結果が紹介され，それぞれの認識が異なることが浮き彫りになった．

用語の定義に拘る理由は，処理の仕方を間違えると廃棄物処理法に抵触することになるからであり，生コン工場で製造されて現場で余ったコンクリートに関する廃棄物処理法関連の疑問点を列挙すると

①残コン・戻りコンの占有者（排出事業者）は誰か？
②残コン・戻りコンは産業廃棄物か？
③産業廃棄物の場合，その種類は何か？

④産業廃棄物の場合，どの時点で産業廃棄物になるのか？
⑤残コン・戻りコンを生コンプラントまで運搬する場合，収集運搬許可は要るのか？
⑥残コン・戻りコンを生コンプラントで処理する場合，処理業の許可は要るのか？
⑦産業廃棄物とした場合，マニフェストは発行しなくていいのか？
⑧残コン・戻りコンの処理費は誰が負担すべきか？
⑨残コン・戻りコンから骨材を回収したり，ブロック化するなど有効利用する場合はどう扱うのか？

などが挙げられる．

厚生省は，コンクリートミキサーの洗浄等に伴って生ずる汚泥を脱水・固化等の処理を行ったもの，すなわち生コンクリート汚泥を脱水・固化等の処理を行ったものの廃棄物処理法上の取り扱いについて，平成 8 年 6 月 4 日付で以下のような内容の通知[30)]を発翰している．

・生コン車の洗浄に伴って生ずる汚泥及び不要となった生コンからの骨材回収に伴って生じた汚泥を脱水・固化し，一定の養生を行ったもので，固化したモルタルと同等の性状を有するものについては，施行令第 2 条第 7 号の「ガラスくず及び陶磁器くず」[注)]に該当する

注）環境省としては“コンクリート製品の製造工程から発生するコンクリート製品の不良品等の廃棄物は廃掃法施行令第 2 条第 7 項の「ガラスくず及び陶磁器くず」に含まれる”という見解であったが，名古屋高裁金沢支部においてその運用が否定される判決が下されたことから，平成 14 年 1 月 17 日付，環廃産第 28 号，29 号で，廃掃法施行令第 2 条第 7 項にコンクリートくず（工作物の新築，改築又は除去によって生ずるものを除く）を明示的に規定し，「ガラスくず，コンクリートくず及び陶磁器くず」と改正したことを通知している．

これにより，建設現場で余り，生コン工場に持ち帰ったコンクリートの廃掃法上の取り扱いが一部明らかになったが

①持ち帰った生コンを処理せずに自然に硬化したものはどう考えるか？
②硬化したモルタルと同等の性状とは？

といった疑問が生じ，その後，同通知の取扱い細目について，平成 8 年 8 月 21 日付で以下の内容について事務連絡[31)]として示達している．

①処理した生コン汚泥が「ガラ陶くず」に該当すると判断されるためには，脱水・固化（機械的脱水及び圧密）及び適正な養生が行われ，かつ，以下に示す性状を有していることが必要で，脱水・固化とは，機械的脱水及び圧密が行われることをいう

③“固化したモルタルと同等の性状”とは，強度及び成分について固化したモルタルやコンクリート製品と同等であることをいい，具体的には次により判断する

・一軸圧縮強度が 80kgf/cm^2 程度

・セメント，水，骨材及びコンクリート用混和剤のみにより構成され，これ以外のものが混入していない

④要件を満たさない場合は汚泥として扱い，管理型廃棄物として適正処理する

これにより 6 月通知の疑問の一つである“硬化したモルタルと同等の性状”は明確になったが，何の処理もしない残コン・戻りコンの扱いや，処理するまでの間の生コン汚泥の法的取扱いは不明である．

また，北海道は，建設現場から発生する生コンクリート汚泥の処理に関して，平成 8 年 9 月 6 日付で排出事業者に関する道としての取扱いを通知[32)]した．

①コンクリート製造業者が元請業者から発注を受けて現場に搬入したが，現場で使用されずに不要となった生コンに関して，排出事業者は元受業者

②コンクリート製造業者が元請業者から発注を受けて現場発注分を下した後にミキサー内に残った生コンに関して，排出事業者は製造業者

③コンクリート圧送業者が元請業者から生コンの支給を受け圧送終了後に残った生コンに関して，排出事業者は元受業者

④ポンプ車及び圧送管内に残った生コンで洗浄しなければ除去できないものの排出事業者は圧送業者

鹿児島県は，平成 25 年 4 月 16 日付で，コンクリートポンプ協同組合から照会があった残コン・戻りコンの排出事業者に関して，上記と同じ回答をした旨とその周知依頼を平成 25 年 8 月 6 日に通知[33)]している．

また，愛知県は平成 25 年 11 月 1 日付で，不要となった生コンクリートの適正処理の徹底について，「不要生コンは自社の生コンクリート製造工場へ持ち帰り，骨材の回収，コンクリート二次製品の原材料としての利用若しくは硬化・破砕して RC-40 としての再生利用又は産業廃棄物処理業者への委託により，適正処理を行う必要がある」旨の通知[34)]をしている．同通知は不要生コンの具体的な処理方法について示している点ではわかりやすいが

①不要生コンの占有者（排出事業者）が誰であるかは言及しておらず，不要生コンはすべからく自社プラントへ持ち帰るよう指導している

②不要生コンの持ち帰り，処理に際しての業の許可要否については言及していない

などの疑問もある．

さらに，平成 27 年の第 189 回国会（常会）では，残コン・戻りコンが産業廃棄物に該当するのかなどが質問主意書[35)]として挙げられたが，政府は地方自治法第 245 条の 4 第 1 項の規定に基づく技術的な助言である「行政処分の指針について（通知）」（平成 25 年 3 月 29 日付，環廃産発第 1303299 号，環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部産業廃棄物課長通知）を踏まえ，「都道府県知事等において適切に判断すべきものと考えており，政府としては、お尋ねについて一概にお答えすることは困難である」と答弁[36)]し回答を避けている．

残コン・戻りコンが産業廃棄物であるか否かについて国は回答を避けたが，大阪府や豊橋市などが示しているように，産業廃棄物と考えるのが適当であろう．しかしその種類については，豊橋市が示したように，不要になった時点の性状によって判断（不要になった時点で泥状を示していれば，その後時間が経過して硬化しても“汚泥”として扱う）するのか，不要になった時点で泥状を呈していても，処理する際に硬化（$\sigma_c \geqq 8$ N/mm^2）していれば事前処理（機械的脱水及び圧密）等の有無に拘わらず“ガラ陶くず”として取り扱うのかは明確ではない．一方で，残コン・戻りコンは生コン工場に持ち帰って二次製品にしたり骨材を回収するので廃棄物ではない，という考えや，仮に廃棄物であったとしても，生コン車の中にある時は生コンメーカーのものなので，持ち帰りの際に収集運搬の許可は不要とする意見もある．

廃棄物処理法第 11 条第 1 項によれば，「事業者はその産業廃棄物を自ら処理しなければならない」とされており，自ら処理には自己処理と委託処理がある．委託処理の場合は許可を有する処理業者と委託契約を締結し，マニフェストを交付しなければならないが，自己処理の場合は収集・運搬業（廃掃法第 14 条第 1 項），処分業（廃掃法第 14 条第 6 項）の許可並びにマニフェストの交付（廃掃法第 12 条の 3）は不要である．従って，残コン・戻りコンが産業廃棄物だとした場合，不要となった生コンの占有者（排出事業者）が誰なのかは極めて重要なことであるが，一部の自治体の環境部局がその扱いを示しているに留まっている．

このように，残コン・戻りコンは用語の定義から始まり，その取扱いについては非常にあいまいな扱いになっているのが現状である．

（2）残コン・戻りコンの発生量

前述のように，残コン・戻りコンはその定義が明確に規定されておらず，その量を計測し把握している機関がないこともあり，我が国で年間どれくらい発生しているのか正確に把握することは難しいとされている．

そうした中，国交省が平成 18 年に実施した建設資材流通実態アンケート調査[37)]では，

残コン・戻りコンの発生率は生コン出荷量の約 1.6 %という結果を得ている. このときの“残コン・戻りコン”の定義は「生コン事業所から出荷されたコンクリートが，何らかの利用により現場で余ってしまい，処理される生コンクリート」としている. 調査対象期間は平成 17 年の 1 ヶ年であることから，当該期間（集計の関係で平成 17 年 4 月から平成 18 年 3 月の 1 ヶ年）の生コン出荷量 121,549 千 m^3[38)] より残コン・戻りコンの発生量は

121,549 千 m^3×1.6 % ＝ 1,945 千 m^3 ≒200 万 m^3

と推定される．また，やや古い資料では 300 万 m^3[39)] という値や，2010 年に試算した結果 150～200 万 m^3[40)] という報告もある.

（3）残コン・戻りコンの有効利用[41)]

残コン・戻りコンの定義が明確ではないが，余剰コンクリートということで“生コン工場から出荷して現場で打設せずに生コン工場に持ち帰ったコンクリート”と定義した場合，解体コンクリートとの大きな違いは Reduce が可能ということと，フレッシュ性状（また固まらないコンクリート）の状態がありうるということである.

現場において余剰した生コンは，現場内の仮設道路等の簡易舗装，段切り部のラップルコンクリート，置きガードレールや仮設標識のカウンターウエイトなどに利用することができる. 但し，これらは目的を達して余剰すれば廃棄物として適正処理しなければならない.

生コン工場に持ち帰った余剰コンクリートは，硬化する前であれば水洗いして骨材を回収し，使用量の制限やスラッジケーキの発生という課題があるが，レディーミクストコンクリートの骨材（回収骨材）として利用することができる．また，型枠内に打設して二次製品を製造する例も見受けられる. また，余剰コンクリートから骨材を回収した残渣物であるスラッジを，脱水・分級・乾燥・粉砕してスラッジ再生セメントを製造し，コンクリートの結合材，地盤改良の固化材及び中間処理施設における汚泥改質材の代替材として利用する技術が実用の途についている[42)]．さらには，余剰コンクリートに特殊な薬剤を混入し，コンクリートを団粒化させて再生骨材を製造する研究[43)]も行われているが，レディーミクストコンクリートには使用できず，コンクリートの代用としての利用をターゲットとしている

一方，硬化した場合には，解体コンクリート同様，硬化した残コン・戻りコンを破砕，分級して再生砕石や再生骨材にして再利用したり，産業廃棄物（廃棄物処理法上，残コン・戻りコンが硬化したものががれき類なのかガラ陶くずなのか，或いは汚泥なのかは明確ではない）として処理している.

２．３．３　解体コンクリートの法的扱い

コンクリート構造物の解体に伴って発生する解体コンクリートは，廃棄物処理法上は産業廃棄物の「がれき類（コンクリートの破片)」に分類されると同時に，資源有効利用促進法における「指定副産物」，建設リサイクル法における「特定建設資材」である．

コンクリート塊の収集・運搬及び処理に際しては，自己処理の場合以外は許可を有する処理業者と委託契約を締結し，破砕・磨砕・粉砕，分級して再生砕石及び再生骨材を製造する場合は都道府県知事等の施設設置許可を受ける必要がある．なお，コンクリート塊を再生資材として利用する場合，どの時点で廃棄物ではなくなるのかは法律には明記されていないため，所管の環境部局に確認することが必要である．

２．３．４　まとめ

建設副産物実態調査票は再生資源利用促進計画と対応しており，現場から搬出した調査対象品目の数量を報告することから，マニフェストを交付していない残コン．戻りコンはコンクリート塊の場外搬出数量や再資源化率等にはカウントされていないと考えられる．

既に述べたように，残コン・戻りコンの実態数量を正確に把握することは困難であるが，残コン・戻りコンの発生率として平成 18 年に国交省から報告された 1.6 %，生コン出荷量として平成 28 年度実績の 83,912 千 m^3，単位質量を ρ =2.3 t/m^3 として試算すると

$$83{,}912 \text{ 千 } m^3 \times 1.6\ \% \times 2.3 \text{ t/}m^3 \fallingdotseq 300 \text{ 万トン}$$

となり，比較時期は異なるが，解体コンクリートのおおよそ十分の一となる．また，本節で述べたように，残コン・戻りコンは再生利用の選択肢が広いのに対し，解体コンクリートは再生砕石（再生砂含む）か再生骨材と用途が限られる．従って，廃棄物を抑制する観点から見たコンクリートのリサイクルに関しては，解体コンクリートをターゲットとすることが重要となる．

しかし，再生骨材の製造に関して解体コンクリートは利用し難く，残コン・戻りコンをターゲットとせざるを得ない事情があり，詳しくは第Ⅲ章で述べる．

２．４　コンクリート塊リサイクルの課題と対応

コンクリート塊は他の建設廃棄物に比べて再資源化率等が高いことから，リサイクルに際しての課題も比較的少ない．コンクリート塊発生量と骨材需要量のバランス不均衡による再生砕石の滞留に関しては，大都市圏で顕在化してきているものの，全国的にみればかつての予測は現在のところ的中していない．

一般論として，副産物等の有効活用率を上げるためには，従前の用途での利用を促進する方法と，新たな利用用途を開発する方法が考えられる．従前の用途での利用を促進するためには，現状の問題点と課題を抽出し，それを解決する施策を講ずることで達成することが可能となる．一方，新たな用途の開発は，聞こえは実にいいが，現実には技術面や制度面で大きな課題があることが多い．

本研究開発はコンクリート塊の新たな利用用途として再生骨材に着目し，それを普及するうえでの諸問題のうち，副産される CP の利用用途を確立することを目指したものであるが，それだけについても解決すべき課題は山積している．

一方，従前の用途である再生砕石にしても，コンクリート塊自体の再資源化率等は高いが，再生砕石は新材に比べて安価であるにも拘らず，建設工事での利用率が 32 %と低いことが指摘されている[44]．

これを受けて国[45]は，再生砕石のストック状況や利用状況のモニタリングを行い，利用が不十分な場合は利用徹底を要請する，としている．コンクリート塊のリサイクルフローによれば，建設工事における砕石使用量のうち，再生砕石は約 3 割で，残りは大部分が新材となっている．しかし，コンクリート塊の再資源化等率は既に 99 %を超えており，建設工事に使用する砕石の全量を再生砕石で賄うことはできない．勿論，再生砕石を使用できる部分には積極的に使用することが望ましいが，単純に再生砕石の使用率を上げることを目標とすることには疑問が残る．

また，東京都はコンクリート塊の再生建設資材の利用を促進するため，再生砕石利用率という新たな目標指標を追加[46]したほか，再生砕石が滞留している状況に鑑みて，再生砕石のさらなる利用拡大[47]に取り組んでいる．

【参考文献】

1）建設副産物リサイクル広報推進会議：よくわかる建設リサイクル 2014 - 15,

2）（一社）産業環境管理協会：リサイクルデータブック 2017，平成 29 年 7 月

3）国土交通省：平成 24 年度建設副産物実態調査，平成 26 年 3 月 27 日

4) 社会資本整備審議会環境部会建設リサイクル推進施策検討小委員会, 交通政策審議会交通体系分科会環境部会建設リサイクル推進施策検討小委員会：建設リサイクル推進に係る方策，p.5，平成 26 年 8 月

5）例えば，国土交通省建設リサイクル推進施策検討小委員会：「建設リサイクル推進に係る方策」のとりまとめについて，平成 26 年度第 1 回 3R 連絡会資料，平成 26 年 8 月 29 日

6）（国研）寒地土木研究所：コンクリート用再生骨材の品質基準・規格について，寒地土木研究所月報，No.642，pp.56-62，2006 年 11 月

7）国土交通省：主要建設資材需給見通し

8）島裕和，鴻巣一巳，橋本光一，古賀康男：加熱すりもみ法によるコンクリート塊からの高品質骨材改修技術，コンクリート工学年次路文集，Ｖｏｌ.②2，Ｎｏ.2，ｐｐ.Ⅰ093-1098，2

9）前掲 3）

10）日報ビジネス㈱：新たな用途開発など　砕石利用は次の局面へ，イーコンテクチャー，p.11，2013 年 9 月号

11）東京都環境局：東京都「持続可能な資源利用」に向けた取組方針，p.12，2015 年 3 月

12）東京都：東京都建設リサイクル推進計画，p.19，平成 28 年 4 月

13) 野口貴文：コンクリートの完全リサイクル化に向けて，建設リサイクル，Vol.76，pp.17-22，2016．夏号

14）和田信一郎：産業副産物・災害廃棄物の地盤工学的利用　8.講座を終えるにあたって，地盤工学会誌，Vol.65，No.9，Ser.No.716，pp.40-41，2017.9

15）高木正人，松永久宏，谷敷多穂：コンクリートの代替が可能なやさしい製鋼スラグ水和固化体，川崎製鉄技報，Vol.34，No.4，pp.53-58，2002

16）寺西浩司，谷川恭雄：コンクリートの代替材料としてのモルタルの構造躯体利用に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第 73 巻，第 623 号，pp.35-41，2008 年 1 月

17）上原元樹：ジオポリマーコンクリート，RRR（鉄道総研レビュー），Vol.71，No.11，p.33，2014.11

18）荻野正貴，岡本礼子，宮原茂禎，大脇英司，松元淳一，坂本淳，丸屋剛：ポルトランドセメント使用量ゼロの環境配慮コンクリートの開発, 大成建設技術センター報, No.46, pp.13 - 1-13 - 7，2013

19）田村雅紀：完全リサイクルコンクリート，Journal of the Society of Inorgnic Materials,Japan，10，pp.397-405，2003

20）友澤史紀，野口貴文，大塩明，五十畑達夫：コンクリートの完全リサイクル化と骨材対策，コンクリート工学，Vol.34，No.7，pp.110-114，1996.7
21）前掲 13）
22）資源の有効な利用の促進に関する法律施行令
23）建設業に属する事業を行う者の指定副産物に係る再生資源の利用の促進に関する判断の基準となるべき事項を定める省令
24）前掲 1）
25）前掲 3）
26）廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令
27）大阪府：建設工事から生ずる産業廃棄物のよくあるご質問（FAQ）
28）豊橋市：産業廃棄物処理の手引き
29）十河茂幸，中田善久，小山明男，宮里心一：残コンクリートの削減と有効利用に向けて，コンクリート工学，Vol.48，No.9，pp.83-86，2010.9
30）厚生省：生コンクリート汚泥を脱水・固化等の処理を行ったものの廃棄物処理法上の取扱いについて，衛産第 41 号，平成 8 年 6 月 4 日
31）厚生省：生コンクリート汚泥を脱水・固化等の処理を行ったものの廃棄物処理法上の取扱いに係る取扱い細目について，事務連絡，平成 8 年 8 月 21 日
32）北海道：建設現場から発生する生コンクリート汚泥の適正処理について，網環生第 1472 号，平成 18 年 9 月 6 日
33）鹿児島県：廃棄物処理法に係る疑義への回答の周知依頼について（通知），廃リ第 173 号，平成 25 年 8 月 6 日
34）愛知県：不要となったコンクリートの適性処理の徹底について（通知），25 循環第 529 号，平成 25 年 11 月 1 日
35）入手先〈http://www.shugiin.go.jp/Internet/itdb_shitsumon.nsf/html/shitsumon/a189181.htm〉（参照　2017.12.13）
36）入手先〈http://www.shugiin.go.jp/Internet/itdb_shitsumon.nsf/html/shitsumon/b189181.htm〉（参照　2017.12.13）
37）国交省：残コン・戻りコンの発生抑制，有効利用に関するアンケート調査の結果概要について，平成 18 年 9 月 1 日
38）入手先〈http://www.zennama.or.jp/3-toukei/gaiyou/index.html〉（参照　2017.12.13）
39）阿部道彦：ゼロエミッション化とコンクリート材料，コンクリート工学，Vol.37，No.12，pp.3-9，1999.12
40）（公社）日本コンクリート工学会：残コンを減らす工夫
41）澤本武博，中田善久，十河茂幸，陣内浩：残コン・戻りコンの発生に関する意識調査，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp.1913-1918，2011
42）鹿島建設㈱：戻りコンを再びコンクリートに，究極の資源循環を実現，PRESS

RELEASE，2016 年 11 月 24 日
43）大森建設㈱，能代中央生コン㈱，秋田工業高等専門学校：リミックスコン
44）前掲 4），P14
45）国土交通省：建設リサイクル推進計画 2014，平成 26 年 9 月
46）前掲 12），p.12
47）入手先〈https://www.kankyo.metro.tokyo.jp/resource/industrial_waste/rctokyo/rctokyo01.html〉（参照　2017.12.13）

第Ⅲ章　再生骨材とＣＰ

３．１　再生骨材とは

再生骨材とは，JIS A 0203（コンクリート用語）によれば「解体したコンクリート塊などを破砕などの処理を行うことによって製造したコンクリート用の骨材．再生骨材 H（JIS A 5021 参照），再生骨材 M（JIS A 5022 参照），再生骨材 L（JIS A 5023 参照）に分類し，それぞれに細骨材及び粗骨材がある．」とされている．

再生骨材は調達が困難になったコンクリート用骨材の確保と併せて，コンクリート塊のリサイクルを視野に研究が進められ，2005 年から 2007 年にかけて JIS 規格が制定されたが，一例として再生骨材Hの基準制定までの来歴を**表３－１**[1)] に示す．

表３－１　再生骨材Ｈの基準制定までの来歴[1)]

西暦	和暦	できごと
1974年	昭和49年	建設業協会が委員会を設置して「コンクリート解体物の再利用に関する研究」に着手
1981年	昭和56年	廃棄物総プロにおいて「建設事業への廃棄物利用技術の開発に関する調査研究」取組み
1985年頃	昭和60年頃	コンクリート用再生骨材製造に関する技術開発取組み
1992年	平成 4年	副産物総プロにおいて「建設副産物の発生抑制，再生利用技術の開発」に取組み
2002年	平成14年	経産省の委託を受け，日本コンクリート工学協会が「コンクリートへのリサイクル資材活用技術の標準化に関する調査研究委員会」を設置し，標準化に取組み
2005年	平成17年	JIS A 5021（コンクリート用再生骨材H）制定
2009年	平成21年	JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）の附属書A（規定）にレディーミクストコンクリート用骨材に再生骨材Ｈ取込み

2005 年から 2007 年にかけて規格化されたた再生骨材の JIS は，コンクリート塊をコンクリート用骨材として有効に活用することを目的として制定されたものであるが，これら 3 規格は制定後 5 年が経過したことに加え，再生骨材コンクリートの使用量が少ないことに鑑みて，再生骨材コンクリートの積極的な活用と普及を促進するために JIS A 5021 は 2011 年に，JIS A 5022 及び 5023 は 2012 年に改正されたのち，2016 年に追補改正が行われ今日に至っている．

表３－２は再生骨材に関する現行の JIS 規格の概要で，JIS A 5308 のレディーミクストコンクリート附属書 A のレディーミクストコンクリート用骨材も併記している．

表３－２　コンクリート用再生骨材の JIS 規格

名　称		コンクリート用再生骨材Ｈ	再生骨材Ｍを用いたコンクリート	再生骨材Ｌを用いたコンクリート	レディーミクストコンクリート附属書A
規格番号		JIS A 5021	JIS A 5022	JIS A 5023	JIS A 5308
制　定		平成17年（2005年）	平成19年（2007年）	平成18年（2006年）	昭和28年（1953年）
最終改正		平成28年（2016年）	平成28年（2016年）	平成28年（2016年）	平成26年（2014年）
摘　要		・構造物の解体などにより発生したコンクリート塊に対し，破砕・磨砕・分級等の高度な処理を行って製造したコンクリート用再生骨材Ｈについて規定する ・JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）に引用されることを目標にした再生骨材規格（平成21年（2009年）規定）． ・再生粗骨材ＨのASR性は原粗骨材の全てが"特定"された場合無害とする． ・原骨材の種類及び産地又は品名を明らかにできる場合"特定"されたものとして扱う．	・構造物の解体などによって発生したコンクリート塊に対し，破砕・磨砕・分級などの処理を行い製造したコンクリート用再生骨材Ｍ及びそれを骨材の全部又は一部に用いたコンクリートについて規定する． ・標準品は乾燥収縮及び凍結融解の影響を受けにくい部材及び部位に使用できる． ・再生骨材Ｍの規格は附属書として規定	・構造物の解体などによって発生したコンクリート塊に対し，破砕・磨砕・分級などの処理を行い製造したコンクリート用再生骨材Ｌ及びそれを骨材の全部又は一部に用いたコンクリートについて規定する． ・標準品は高い強度・高い耐久性が要求されない部材又は部位に使用する． ・再生骨材Ｌの規格は附属書として規定．	・骨材は附属書Aに適合するものを用いる． ・再生骨材Ｈは普通コンクリート及び舗装コンクリートに適用する． ・再生骨材Ｈを使用する場合にはASR抑制対策としてB.4（混合セメントの使用）又はB.5（安全と認められる骨材の使用⇒区分Aの骨材）の抑制対策を適用しなければならない． ・ASR性による区分はA（無害と判定されたもの）の骨材を使用する．
粗骨材	乾燥密度(Mg/m^3)	2.5以上	2.3以上	—	—
	吸水率(%)	3.0以下	5.0以下	7.0以下	—
	微粒分量(%)	1.0以下	2.0以下	3.0以下	—
	すりへり減量(%)	35以下	—	—	—
細骨材	乾燥密度(Mg/m^3)	2.5以上	2.2以上	—	—
	吸水率(%)	3.5以下	7.0以下	13.0以下	—
	微粒分量(%)	7.0以下	8.0以下	10.0以下	—
	すりへり減量(%)	—	—	—	—

2011 年及び 2012 年の改正は再生骨材の積極的な活用を目的としていることから，粒度による区分の追加，アルカリシリカ反応性に関する検査の緩和など普及促進に資する改正であるが，一方で，再生骨材を用いたコンクリートの品質への影響を考慮して，タイルやレンガ，プラスチック片などの不純物に関する規制値を厳しくするとともに，アルミニウム片と亜鉛片の両性金属（酸とも塩基とも反応する金属）の有害量判定試験方法と含有量の上限値が規定された．

なお，再生骨材の製造方法として「加熱すりもみ方式」，「偏心ローター方式」，「スクリュー磨砕方式」，「比重選別方式」などが実用化されているが，詳細についてはメーカー資料を参照願いたい．

３．２　再生骨材の利用状況

再生骨材の利用実績に関する報告としては，再生骨材コンクリート普及連絡協議会（略称；ACRAC）の統計データと，国土交通省の平成 24 年度建設副産物実態調査結果がある．

図３－１[2)]は ACRAC が公開している再生骨材コンクリートの出荷量で，2006 年には約 110,000 m³ であったものが，2012 年には 63,000 m³ まで落ち込んだとしており，2014 年にはこれが 43,000 m³ までさらに落ち込んだことが報告[3)]されている．

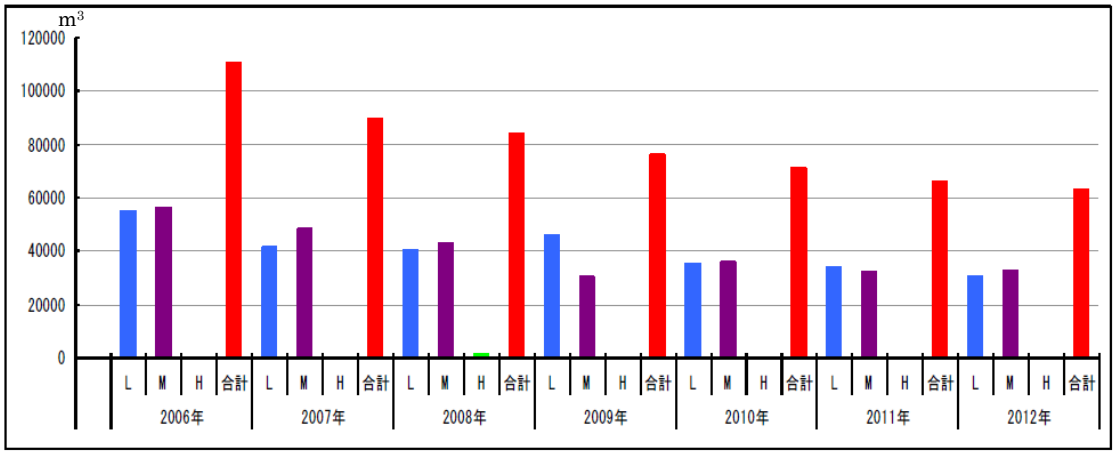


図３－１　再生骨材コンクリートの種類別年間出荷量[2)]

その理由として，建設不況に起因したコンクリート出荷量の減少に加え，再生骨材コンクリートの使用に関する法整備の遅れと，仕様書への再生骨材コンクリート仕様の記載がないことと分析している．特に，再生骨材Hを用いたコンクリートの出荷量が少ないのは，建築基準法第 37 条（建築材料の品質；法令で定める部分に使用するコンクリートは JIS 又は JAS に適合，もしくは国交大臣の認定を受けたもの）の規定による制約があったが，2016

年 6 月に JIS A 5308 の改正年が再生骨材Hの JIS 制定年以降に改正になったことなどから，今後はその縛りは解消される．

一方，平成 24 年度の建設副産物実態調査[4)]によれば，精度的に問題があるとしながら**表３－３**に示す数値を提示しているが，同一時期（2012 年，平成 24 年）の集計値でありながら先の ACRAC の統計データと 2.5 倍以上の違いが認められる．なお，国交省の公表値は質量表示であるため，**表３－３**には生コンクリートの一般的な単位体積質量 ρ=2.3 t/m^3 を用いて体積換算した値も併記している．

表３－３　再生骨材コンクリートの利用実績[4)]

区　　分	利用実績	
	M（t）	V（m^3）注)
コンクリート用再生骨材Hを用いた生コンクリート	52,000	22,600
コンクリート用再生骨材Mを用いた生コンクリート	2,000	900
コンクリート用再生骨材Ｌを用いた生コンクリート	1,000	400
合　計	55,000	23,900

※四捨五入の関係上，合計値が合わない
※再生骨材コンクリートの利用実績については，回収された調査票の利用実績が少ないことから，拡大推計の精度が確保されないため，単純集計結果を公表している
注) 利用実績の体積は，国交省が公表している質量を生コンクリートの一般的な単位体積質量 ρ=2.3 t/m^3 で除して算出

３．３　再生骨材の課題

３．３．１　製造・活用に係る課題

再生骨材は，再生骨材を用いたコンクリートの品質確保のため，骨材に付着したモルタル分をできるだけ除去するなど，再生砕石に比べて高度な処理を必要とする．このため，再生砕石を製造する従前の破砕・分級設備だけでは不十分で，新たな処理設備が必要になり，また，製造した再生骨材が再生砕石と混じらないような貯蔵ヤードの確保も不可欠で，初期投資の負担が大きくなる．また，再生骨材の品質を高めれば高めるほど運用コストも高くなる．例えば，加熱すりもみ方式ではコンクリート塊を加熱することによりモルタル分を脆弱化させて骨材から剥離させるため，加熱に要する燃料代がかさみ，機械すりもみ方式では骨材の品質目標値を達成するまで処理を繰り返すため，原コンクリートの特性によっては複数回の処理工程を要する．そして，いずれのケースでも高品質な再生骨材を得ると同時に，多量の CP が副次的に発生し，現行では産業廃棄物として処理せざるを得ない状況となっており，高品質の再生骨材を製造すればするほど産業廃棄物の処分費が増大するというジレンマが発生し，これが再生骨材普及の大きなネックとなっている．

流通面においては，再生骨材を製造する再資源化施設と，再生骨材を用いたコンクリートを製造する生コン工場とは近接している方が材料の輸送コスト削減につながるといわれるが，コンクリート塊の発生現場と再資源化施設の位置関係も重要である．コンクリート塊にはリサイクル原則化ルールが適用されるものの，全国に 8 箇所[5]（2017.8 現在，コンクリート用再生骨材Hの製造又は加工；3 箇所，再生骨材Mを用いたコンクリートの製造又は加工；2 箇所，再生骨材Ｌを用いたコンクリートの製造又は加工；3 箇所）しかない JIS の認証を取得した再資源化工場へコンクリート塊を運び入れる機運を高めることは現状では難しいと思われ，何らかの行政サイドのバックアップが必要と考える．また，レディーミクストコンクリートの JIS A 5308 の認証は使用材料，使用設備ごとに取得しなければならず[6]，必ずしも再資源化施設の近隣に再生骨材Hを用いたレディーミクストコンクリートの製造認証取得工場があるとは限らない．これを受けて，東京都は再生骨材を用いたコンクリート工場の立地を促進することにより再生骨材コンクリートの利用拡大を図ろうとしている[7]．

一方，JIS A 5022 及び 5023 の規格名称はそれぞれ“再生骨材Mを用いたコンクリート”及び“再生骨材Ｌを用いたコンクリート”であるが，序文には「コンクリート用再生骨材M（又はＬ）及びそれを骨材の全部又は一部に用いたコンクリートについて規定する」とある．この場合，再生骨材M又はＬを用いたコンクリートの製造にかかる JIS 認証を取得した生コンプラントが，再生骨材製造の JIS 認証を取得した再資源化工場が製造した再生骨材M及びＬを受け入れて再生骨材コンクリートを製造して出荷するが，ここにもハードルがあり，生コンプラントへのヒアリングによれば，「原則として JIS A 5022 及び 5023 の認証対象工場は JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）の認証取得プラント以外が対象とされており，我が国には JIS A 5308 の認証を取得し，かつ JIS A 5023（コンクリート製造）の認証を取得したプラントが 1 つだけあるが，JIS A 5023 の製品を出荷する条件として，その日一日は JIS A 5308 の出荷は不可とされており，交互出荷は認められていない．」とのことである．こうした複雑な仕組み・制度が再生骨材コンクリート及び再生骨材の普及を阻害する一要因となっている．

３．３．２　アルカリシリカ反応性

（１）はじめに

再生骨材の原材料となるコンクリート塊（原コンクリート）は解体コンクリートと残コン・戻りコンに大別される．第Ⅱ章で述べたように解体コンクリートは年間約 3,100 万トン発生するのに対し，残コン・戻りコンはその 1/10 程度といわれているが，現実に再生骨材コンクリートの原コンクリートとして使われているのは残コン・戻りコンである．

コンクリート塊の新たなリサイクル用途を確立するためには発生量の大部分を占める解体コンクリートから再生骨材Hを製造する必要があるが，そこにはアルカリシリカ反応性の問題が絡んでくる．

コンクリートは，その品質及び耐久性を確保する観点から劣化抑制対策が規定されているが，その中の一つであるアルカリ骨材反応抑制対策[8)]については３つの対策が打ち出され，骨材に関しては，“安全と認められる骨材の使用”ということが規定されている．

コンクリート用骨材の規格については JIS A 5005（コンクリート用砕石及び砕砂），JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）の附属書 A でそれぞれ規定されており，アルカリシリカ反応性試験方法，判定，区分が明記されている．

一方，再生骨材についても，JIS A 5021（コンクリート用再生骨材H），JIS A 5022（再生骨材Mを用いたコンクリート），JIS A 5023（再生骨材Ｌを用いたコンクリート）で試験方法，判定，区分が規定されている．

表３－４にコンクリート用骨材規格とアルカリシリカ反応性に関連する基準を示す．

表３－４　骨材規格とアルカリシリカ反応性関連基準

種　別 及び規格	試験方法	判　定	区　分	対　策
再生骨材H JIS A 5021	7.7 JIS A 1145 JIS A 1146 附属書 D	5.3 7.7 附属書 A JIS A 1145 JIS A 1146 附属書 D	4.3 5.3	—
再生骨材M JIS A 5022	JIS A 1145 JIS A 1146 JIS A 5021 附属書 D	A.2.3 A.4.7 JIS A 1145 JIS A 1146 JIS A 5021 附属書 D	A.1.3	5.3 附属書 C
再生骨材Ｌ JIS A 5023	JIS A 1145 JIS A 1146 JIS A 5021 附属書 D	A.2.3 A.4.5 JIS A 1145 JIS A 1146 JIS A 5021 附属書 D	A.1.3	—
レディーミクストコンクリート JIS A 5308 附属書 A	JIS A 1145 JIS A 1146	JIS A 1145 JIS A 1146	A.3	付属書 B
砕石・砕砂 JIS A 5005	6.8 JIS A 1145 JIS A 1146	4.6 6.8 JIS A 1145 JIS A 1146	3.2	—

以下，コンクリート用骨材のアルカリシリカ反応性による区分について述べる．

（2）アルカリ骨材反応

アルカリ骨材反応（AAR；Alkali Aggregate Reaction）とは，骨材中の特定の鉱物とコンクリート中のアルカリ性細孔溶液との間の化学反応のことである．この反応によってコンクリート内部で局部的な容積膨張が生じ，コンクリートにひび割れを生じさせるとともに，強度低下あるいは弾性の低下という物性の変化が生じる．

アルカリ骨材反応は大きく以下のように3種類に分類される．

①アルカリシリカ反応（ASR；Alkali Silica Reaction）

・骨材中に含まれている不安定なシリカ（非結晶のシリカ，クリストバライト，トリジマイト，etc.）と，セメントなどから供給されるアルカリ（Na_2O，K_2O）とが化学反応を起こしてゲル状の物質を生成し，このゲル状物質が吸水膨張することによりコンクリートにひび割れが発生する現象

②アルカリ炭酸塩反応（ACR；Alkali Carbonate Reaction）

・セメント中のアルカリとドロマイト質石灰岩が反応して膨張を起こす現象

③アルカリシリケート反応（ASR；Alkali Silicate Reaction）

・骨材中の活性度の高いシリカ質とセメントその他に含まれるナトリウム分との反応によりコンクリートの膨張を引き起こす現象で，アルカリシリカ反応とほぼ同じであるが，アルカリシリカ反応よりも長期間にわたって継続し，生成するゲルの量は少ない

アルカリ骨材反応の中で最も多く発生しているのはアルカリシリカ反応であり，アルカリシリケート反応はアルカリシリカ反応の一種とも考えられていたが，最近の研究ではアルカリ炭酸塩反応とされていたものも石灰岩中の微結晶シリカによるアルカリシリカ反応という説が極めて有力になってきたことから，以下アルカリシリカ反応の概要について述べる．

アルカリシリカ反応が進むとコンクリート構造物にはひび割れ，ゲルの滲出，目地のずれ，ポップアウトなどの劣化が生じる．無筋コンクリート構造物では亀甲状のひび割れが，鉄筋コンクリートでは主筋方向のひび割れが生ずる．アルカリシリカ反応によりひび割れが生じてもコンクリート構造物や部材耐力が直ちに低下することはないが，凍害や化学的侵食に対する抵抗性が低下し，コンクリート中の鋼材が腐食する可能性が増大する．

アルカリ骨材反応抑制対策としては，「アルカリ骨材反応抑制対策」[8)] 及び JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）附属書Bで

①コンクリート中のアルカリ総量の抑制

②抑制効果のある混合セメント等の使用

③安全と認められる骨材の使用

が規定されている．

（３）アルカリシリカ反応性の判定

前述のアルカリ骨材反応抑制対策によれば，骨材のアルカリシリカ反応性を確認する試験方法は以下の２つの方法とされている．

①JIS A 1145　骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（化学法）
②JIS A 1146　骨材のアルカリシリカ反応性試験法（モルタルバー法）

化学法はコンクリート用骨材のアルカリシリカ反応性を化学的な方法により比較的迅速に判定できるが，モルタルバー法に比べて判定基準が厳しいと言われている．一方，モルタルバー法はモルタルバーの長さを測定することによって骨材のアルカリシリカ反応性を判定するもので，試験期間が 6 か月以上と長いため，骨材の反応性の有無を判定するまでに長時間を要するのが欠点である．通常は化学法によって反応性の有無を確認し，“無害でない”と判定された場合にモルタルバー法を行うのが一般的である．化学法で“無害でない”と判定され，モルタルバー法で“無害”と判定された場合は，その骨材の反応性は“無害”と判定する（モルタルバー法を優先）．なお，複数の骨材を混合して使用する場合は，それぞれの骨材について試験を行い，１種類でも“無害でない”と判定された場合はこの骨材全体を“無害でない”と判定する．これはペシマム[注)]を考慮して規定された判定基準である．

注）アルカリシリカ反応には反応性骨材単体で用いた場合よりも反応性骨材と非反応性骨材を混合して用いた場合に膨張量が大きくなる場合があり、膨張量が最も大きくなる場合の骨材に含まれる反応性骨材の割合のことをいう（Pessimum Condition=最悪条件）

以下にそれぞれの試験方法の概要と判定基準を述べる．

１）化学法

化学法はアルカリに対する骨材の潜在的な反応性を化学的に試験する方法である．所定の粒度に粉砕した骨材を 80 ℃のアルカリ溶液で反応させ，その溶液のアルカリ濃度減少量（Rc）と溶解シリカ量（Sc）の関係から骨材の反応性を判定する．

アルカリシリカ反応性の判定は

ⅰ）Sc≧10mmol/ℓ，Rc＜700 mmol/ℓの範囲のとき

Sc＜Rc　⇒　”無害“

Sc≧Rc　⇒　“無害でない”

ⅱ）Sc＜10mmol/ℓ，Rc＜700 mmol/ℓのとき　⇒　“無害”

ⅲ）Rc≧700 mmol/ℓのとき　⇒　判定せず

２）モルタルバー法

モルタルバー法はモルタルの長さ変化を測定することにより，骨材の潜在的な反応性を判定する方法である．まず試料（細骨材，粗骨材）を粉砕・分級して所定の粒度分布に調整する．セメント，水，表乾状態の細骨材を質量比 1:0.5:2.25 で配合してモルタルを練り，水酸化ナトリウムを添加してセメントのアルカリ量を 1.2%に調整してモルタルバー（40×40×160）を作製する．モルタルバーを温度 40+2 ℃，相対湿度 95 %以上の条件下で 6 箇月保存し，膨張量を測定する．モルタルバーの膨張率が 0.1 %以上の場合“無害でない”，それ以外を“無害”と判定する．

コンクリート用再生骨材Hのアルカリシリカ反応性試験方法は JIS A 1145，JIS A 1146 又は JIS A 5021 の附属書 D（再生骨材迅速法）によることとされており，再生骨材M，再生骨材Ｌも再生骨材Hに倣っている．附属書 D の再生骨材迅速法はモルタルバーを高温・高圧で養生し，その特性の変化を測定することによってコンクリート用再生骨材Hのアルカリシリカ反応性を迅速に測定するもので，試験方法は JIS A 1804（骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（迅速法））に基づき，超音波伝ぱ速度又は動弾性係数もしくは長さ変化率を測定して判定する．なお，JIS A 1145，JIS A 1146 は硬化したコンクリートから取り出した骨材には適用しない旨の注意書きがあるが，JIS A 5021～5023 では，アルカリシリカ反応試験を JIS A 1145 によって行う場合は，原骨材及び再生骨材に付着したセメントペースト分を塩酸等によって溶解させ，水洗によって除去した後に試験を行うこととされている．

（４）アルカリシリカ反応性による再生骨材の区分

アルカリシリカ反応性による再生骨材の区分は JIS で規定されているが，以下にその判定基準を示す．

１）再生骨材H

再生骨材Hのアルカリシリカ反応性は，次のすべての条件を満足する場合“無害”とする．

ⅰ）粗骨材

①原粗骨材の全てが特定[注)]される

②原粗骨材の全て又は再生粗骨材Hがアルカリシリカ反応性試験で無害と判定される

ⅱ）細骨材

①原粗骨材及び原細骨材の全てが特定される

②原粗骨材及び原細骨材の全て又は再生細骨材Hがアルカリシリカ反応性試験で無害と判定される

注）特定

①原骨材に関する記録がある場合

・解体構造物等の工事記録，原コンクリートの配合報告書，原骨材の試験報告書などによって原骨材の種類及び産地又は品名を明らかにできる場合，原骨材は特定されたものとして扱う

②原骨材に関する記録がない場合

・解体構造物等の工事記録，原コンクリートの配合報告書，原骨材の試験報告書などによって原骨材の種類及び産地又は品名を明らかにできない場合，原コンクリートの一部を取り出し，原骨材の色，形，大きさなどを観察する

・観察の結果，原骨材の種類とその数が判別できる場合，原コンクリートに含まれる原骨材の全てを産地及び品名が不明のまま特定されたものとして扱う

再生骨材Hのアルカリシリカ反応性による区分は以下のとおりとする．

区　分	摘　　要
A	アルカリシリカ反応性が“無害”と判定されたもの
B	アルカリシリカ反応性が“無害”と判定された以外のもの

2）再生骨材M

再生骨材Mのアルカリシリカ反応性は，次のすべての条件を満足する場合無害とする．

ⅰ）粗骨材

①原粗骨材及び原細骨材の全てが特定[注)]される

②原粗骨材及び原細骨材の全て又は再生粗骨材Mがアルカリシリカ反応性試験で無害と判定される

ⅱ）細骨材

①原粗骨材及び原細骨材の全てが特定される

②原粗骨材及び原細骨材の全て又は再生細骨材Mがアルカリシリカ反応性試験で無害と判定される

注）原骨材の特定方法はJIS A 5021の附属書Aによる

3）再生骨材L

再生骨材Lのアルカリシリカ反応性は，次のすべての条件を満足する場合無害とする．

ⅰ）粗骨材

①原粗骨材及び原細骨材の全てが特定[注)]される

②原粗骨材及び原細骨材の全て又は再生粗骨材Ｌがアルカリシリカ反応性試験で無害と判定される

ⅱ）細骨材

①原粗骨材及び原細骨材の全てが特定される

②原粗骨材及び原細骨材の全て又は再生細骨材Ｌがアルカリシリカ反応性試験で無害と判定される

注）原骨材の特定方法は JIS A 5021 の附属書 A による

再生骨材M，Ｌとも，アルカリシリカ反応性による区分は以下のとおりとする　.

区　分	摘　　要
A	アルカリシリカ反応性が“無害”と判定されたもの
B	アルカリシリカ反応性が“無害”と判定された以外のもの

なお，再生骨材Ｌは，アルカリシリカ反応性による区分を“B”として扱うことを標準とするとされている[9)].

（５）アルカリシリカ反応抑制対策の方法

再生骨材Mを再生骨材コンクリートM用骨材として用いる場合のアルカリシリカ反応抑制対策の方法は以下のとおりである.

①コンクリート中のアルカリ総量を 3 kg/m^3 以下に規制する

②アルカリシリカ反応抑制効果のある混合セメント等を使用し，かつ，コンクリート中のアルカリ総量を 3.5 kg/m^3 以下に規制する

③アルカリシリカ反応抑制効果のある混合セメント等を使用し，かつ，コンクリート中のアルカリ総量を 4.2 kg/m^3 以下に規制する

④アルカリシリカ反応抑制効果のある混合セメント等を使用し，かつ，単位セメント量の上限値を規制する

⑤安全と認められる骨材を使用する

※②と③は混合セメント中の高炉スラグ又はフライアッシュの分量が異なる

（6）再生骨材に供する原コンクリート

前述のように，アルカリ骨材反応抑制対策は

①コンクリート中のアルカリ総量の抑制
②抑制効果のある混合セメント等の使用
③安全と認められる骨材の使用

の 3 つの対策の中のいずれか 1 つについて確認を取らなければならないとされており，土木構造物については①，②を優先するとされている．その背景には，良質な河川産骨材の枯渇により地域で算出する砕石を使用しなければならないことや，現行試験方法で“無害”と判定された骨材を使用した構造物でアルカリシリカ反応が生じたことが報告[10]されたことなどが関連すると推察される．

再生骨材をコンクリートに用いる場合，必ずしも区分“A”（アルカリシリカ反応性が“無害”と判定されたもの）を使用しなければならないとは規定されていないが，昭和 62 年に当時の通産省が行った調査結果[11]のように，現在でも多くの生コン工場でアルカリシリカ反応抑制対策の方法として“A”（安全と認められる骨材の使用）実施している．

実際に，コンクリート用再生骨材の JIS 適合性認証工場にヒアリングを行った結果，「区分“B”の再生骨材は生コンプラントが嫌う」という回答が返ってきており，また，「骨材業者にとって，自社製品を区分 A とするか区分 B とするかは死活問題」[12]という所見もある．

再生骨材Hが区分“A”と判定されるためには原骨材が“特定”されることが条件の一つであるが，解体コンクリートの“特定”は非常に困難と考えられ，その結果，区分“A”と判定することが容易である残コン・戻りコンを原コンクリートにしていると考えられる．

（7）まとめ

解体コンクリートと残コン・戻りコンの大きな違いは原骨材の“特定”の難易であるが，解体コンの場合記録がないことが多く，また，原骨材の種類と数を判別することは現実的には無理なため，アルカリシリカ反応性による区分は“B”（“無害”と判定されたもの以外）となることが多い．

JIS A 5308-2014（レディーミクストコンクリート）では，「再生骨材Hを使用する場合には B.4 又は B.5 の抑制対策を適用しなければならない」とされている．

これは

B.4：アルカリシリカ反応抑制効果のある混合セメントなどを使用する抑制対策の方法
B.5：安全と認められる骨材を使用する抑制対策の方法

を指しており，「アルカリ骨材反応抑制対策」及びJIS A 5308（レディーミクストコンクリート）附属書 B で示されている“コンクリート中のアルカリ総量の抑制”は含まれていない.

具体的には，B.4 の場合「高炉セメント若しくはフライアッシュセメントの使用（分量規定あり）」，B.5 の場合「区分 A の骨材使用」とある.

混和材の使用に際し，その種類と量は購入者と生産者の協議事項となっているが，混和材のストックヤードや製造手間，コストなどは生コンクリート製造者の負担となり，再生骨材製造業者へのヒアリングによれば，「生コンプラントにアルカリ骨材抑制対策を依存する前提で区分“B”の再生骨材を販売しようとしても購入してもらえない」というのが現実であるため，再生骨材製造業者は残コン・戻りコンを使用することで区分 A の再生骨材Hを製造していると考えられる.

３．３．３　ＣＰ

コンクリート塊から再生骨材を製造する際には，コンクリートの品質確保の観点から，骨材表面に付着しているモルタル分を剥ぎ落す必要があり，“精米歩合”が小さいほど良質な再生骨材となる．しかし，良質な再生骨材を製造しようとすればするほど，副産微粉が大量に発生する.

再生骨材の製造方法はいくつかあるが，いずれもコンクリート塊を破砕・粉砕・磨砕するなどして骨材表面の付着モルタルを取り除くことを基本としている．骨材から剥離したモルタル分はセメント，再骨材，粗骨材片の混合体であり，処理過程で細粒化して微粉となるが，その成分はセメント及び骨材鉱物の元素又は化合物である．我々の研究グループではこの微粉をその発生過程から CP（Crushing Powder）と命名した.

既往の研究によれば CP の発生量は原コンクリートの 20～60 mass%とされており，発生量は原コンクリートの材料，配合，材齢といった特性のほか，再生骨材の製造方法に左右されるといわれている.

CP はその発生過程より高い粉末度を有し，コンクリート由来であることから再水和の可能性を有しているが，これらの性質も原コンクリートの特性や再生骨材の製造方法の影響を受ける.

また，環境安全性に関して，セメント業界ではセメント生産時の水溶性六価クロムの上限値として 20 mg/kg[13)] という自主規制値を設けており，セメント中の六価クロムはコンクリートの硬化に伴って固定化されるので溶出の恐れはないが，コンクリート塊をリサイクルした再生砕石からの溶出が危惧され，中性化の進行，粒度が小さくなるとその濃度が高くなることなどが報告[14)] されている．前述のように CP は粉末度が高いため，大気及び地下水との接触面積が相対的に大きいため，再生砕石等に比べて六価クロム溶出濃度が高いことが懸念される.

【参考文献】

1）阿部道彦：再生骨材コンクリートの基準化の経緯～建築分野を中心に～，ACRAC 第 5 回技術認定講習会資料，2016.11.10

2）入手先〈http://acrac.org/wp-content/uploads/2015/12/acrac_kouhou_new.pdf〉（参照 2017.12.13）

3）柴谷啓一：コンクリート廃材の効率良い再生利用－再生骨材コンクリート－，土木学会誌，Vol.102，No.7，pp.24-25，July2017

4）国土交通省：平成 24 年度建設副産物実態調査，平成 26 年 3 月 27 日

5）日本工業標準調査会：JIS マーク認証取得者一覧

6）MSA（㈱マネジメントシステム評価センター）：レディーミクストコンクリート認証基準，2014.03.25 改定

7）東京都：東京都建設リサイクル推進計画，p.20，H28.4

8）国土交通省技術調査課：アルカリ骨材反応抑制対策について，平成 14 年 8 月 1 日

9）JIS A 5023-2012，8.2 骨材，注 8）

10）例えば，尾花祥隆，鳥居和之：プレストレストコンクリート・プレキャストコンクリート部材における ASR 劣化の事例検証，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.1，pp.1065-1070、2008.6

11）岩永明男，熊川誠一生：生コンクリート JIS 工場におけるアルカリ骨材反応抑制対策に関するアンケート調査結果，コンクリート工学，Vol.26，No.2，Feb.1988

12）廣野真一：わが国の反応性骨材の地質学的な分布と岩石学的試験による骨材のアルカリシリカ反応性の判定に関する基礎的研究，金沢大学大学院自然科学研究科，博士論文，p.3

13）（一社）セメント協会：セメント中の水溶性六価クロム含有量に関するガイドライン

14）例えば，森濱和正，渡辺博志，片平博，新田弘之：コンクリート解体材からの 6 価クロム溶出の特性，簡易試験法および抑制対策に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.1505-1510，2010

第Ⅳ章　ＣＰの地盤改良材としての適性評価

４．１　原泥の物理的・化学的特性

４．１．１　はじめに

コンクリート塊から再生骨材を製造する際に副次的に発生する CP の地盤改良材としての適用性を評価するに先立ち，改質対象である原泥の特性を明らかにするために物理・化学試験を行った．

４．１．２　試験試料

改質対象となる汚泥は，自硬性汚泥と非自硬性汚泥に大別される．

今回の試験目的は CP の汚泥改質材としての適性評価であり，改質効果として求められる固化機能，含水比低下機能，粒度調整機能などのうち，固化機能に着目した．このため，発生から時間が経過すると硬化し始める自硬性汚泥は，CP の特性を適正に評価できない恐れがあることから，非自硬性汚泥を試験の対象とした．

非自硬性汚泥の発生源としては，シールド工法からの掘削ズリやプレボーリング工法の基礎杭から発生する建設汚泥，河川・湖沼・港湾等からの浚渫土などがあるが，今回は入手等の関係から港湾浚渫土砂を改質対象汚泥とした．

原泥は宮城県塩釜市寒風沢地区より採取したもので，2011 年 3 月の東日本大震災により浅くなってしまった島周辺沿岸部の浚渫土砂である．試験に供する試料は 4.75 mm ふるい通過試料とし，4.75 mm 以上のごみや貝殻片を取り除いた．スクリーニングした原泥と，混入していた貝殻片の状況を**写真４－１**，**写真４－２**に示す．

写真４－１　原泥
（4.75 mm ふるい通過試料）

写真４－２　原泥に混入していた貝殻片

４．１．３　物理試験

（１）試験項目

物理試験は原泥の物理特性として，土に固有な性質や状態を把握することを目的とするもので，**表４－１**に示す項目について実施した.

表４－１　原泥の物理試験項目

試験項目	規　格	摘　　要
土粒子の密度試験	JIS A 1202	9.5 mm ふるい通過試料
土の含水比試験	JIS A 1203	
土の粒度試験	JIS A 1204	75 mm ふるい通過試料
土の液性限界試験	JIS A 1205	425 μm ふるい通過試料
土の塑性限界試験	JIS A 1205	425 μm ふるい通過試料
フロー試験	NEXCO 313	

（２）各種試験の意義と目的

各試験の意義と目的は以下のとおりである.

１）土粒子の密度試験

土は固体（solid）・液体（liquid）・気体（gas）の三相から構成され，土の固体部分は無機物と有機物とからなるが，土粒子の密度試験は土の固体部分，すなわち（110±5）℃の炉乾燥による残留部分を構成する鉱物及び有機物の単位体積当たりの平均質量を求める試験である．従って，土を構成している土粒子個々の密度を表すものではなく，土粒子内に閉鎖空隙がある場合には，それを含む密度であるから，破砕して空隙をなくした物とは値が異なる.

試験の主な内容は，土粒子の質量とその体積を測ることであり，質量測定は比較的容易であるが，体積測定は土粒子間に含まれる空隙の影響を受けるため，正確さを期すためには脱気などの工夫が必要となる.

土粒子の密度は土の構成鉱物や含まれる有機物の量によって異なり，一般的に，密度の高い鉱物を含む土ほどその値は大きく，有機物含有量が多くなると逆に小さくなる．土粒子の密度は間隙比・間隙率や飽和度の算出，沈降分析等に使用されるとともに，その土の主な鉱物組成や有機物含有量を推定する手掛かりとなる.

主な鉱物，土質の密度を**表４－２**に示す.

表４－２　主な鉱物と土粒子の密度[1)]

鉱物名	密度 ρ_s（Mg/m³）	土質名	密度 ρ_s（Mg/m³）
石英	2.6～2.7	豊浦沙	2.64
長石	2.5～2.8	沖積砂質土	2.6～2.8
雲母	2.7～3.2	沖積粘性土	2.50～2.75
角閃石	2.9～3.5	洪積砂質土	2.6～2.8
輝石	2.8～3.7	洪積粘性土	2.50～2.75
磁鉄鉱	5.1～5.2	泥炭（ピート）	1.4～2.3
クロライト	2.6～3.0	関東ローム	2.7～3.0
イライト	2.6～2.7	まさ土	2.6～2.8
カオリナイト	2.5～2.7	しらす	1.8～2.4
モンモリロナイト	2.0～24	黒ぼく	2.3～26

２）土の含水比試験

土の含水比とは，土を構成している土粒子に対する水の質量比を百分率であらわしたものである．土粒子質量は，固相のうち恒温乾燥炉や電子レンジにより乾燥して残留する質量で，水の質量は，液相のうち同手法により失われる質量である．

含水比試験の主な操作は，試料を乾燥させることと，乾燥前後の質量を測ることである．

含水比は間隙比・間隙率，飽和度や土の乾燥密度の計算などに使用される．含水比はその土の性状に大きく関わることから，土質や土性の説明でよく使われ，説明の中で「含水比が高い」とか「含水比が低い」といわれるが，このときの“高い”,”低い“は絶対値としての値ではなく，その土としては”高い“或いは”低い“という具合に，相対的な状態を示すものである．

また，砂質土の場合，含水比 w=30 %はかなり湿潤な状態であるが，粘性土ではかなり乾いた状態であり，同じ 30 %でも土質によって性状は大きく異なる．

なお，実施工においては，あらかじめ室内試験で把握した含水比とフロー値の関係から，現場の施工管理において原泥の性状を迅速に把握し，配合試験の結果に基づいて固化材の添加量を決定する際の判断指標として利用する．

原泥の含水比とフロー値の関係の一例を**図４－１**に示す．

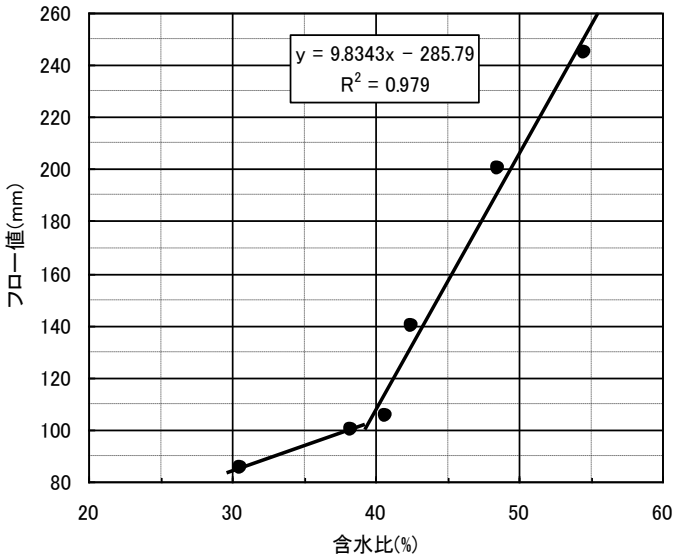


図４－１　含水比とフロー値の関係[2)]
（河川浚渫土，砂質土の例）

３）土の粒度試験

土の粒度構成は，土粒子径の分布状態を全質量に対する百分率で表す.

粒度試験の結果は主として土の分類に使用されるが，粘土やシルトなどの細粒土は粒度試験結果より液性限界・塑性限界試験結果が優先される.

粒度試験は土の粒度分布状態を把握できるだけでなく，透水性の判断，液状化強度の推定，一軸圧縮強さの補正などにも使用される.

４）土の液性限界・塑性限界試験

土の液性限界・塑性限界試験は，土が塑性状態から液状に変わるときの含水比である液性限界（w_L）と，土が塑性状態から半固体に移るときの含水比である塑性限界（w_P）を求める試験である.

粘土やシルト分を多く含む細粒土は，含水比が変化するとその土の性状も変化する．非常に乾いているときは固体的にふるまい，含水比が少し上昇すると半固体的に，塑性限界を超えると塑性的に，さらに含水比が上昇して液性限界を超えると液体と同様な性状を示す．このような硬さや変形に対する抵抗性の大小や状態変化を総称して「コンシステンシー」という.

液性限界は塑性限界及び塑性指数（$I_P=w_L-w_P$）などと合わせて，土の物理的性質を推定することや，塑性図を用いた土の分類などに利用される.

５）フロー試験

フロー試験の規格である 313 は「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」という名称の NEXCO のコンシステンシー試験法である．

平坦な盤上に置いた内径 80 mm，高さ 80 mm のシリンダーコーンの中に試料を詰め，シリンダーを引き上げた時の試料の広がり（直径）を mm 単位で読んだ値をフロー値とする．試験状況を**写真４ - ３**に示す．

写真４－３　フロー試験状況[2)]

過去の実績より，フロー値は原泥の性状を表す指標として便利であり，装置の取扱いが容易で，迅速に判定できる利点を有する．

前述の含水比との相関関係を把握し，現場における施工管理資料とする．

４．１．４　化学試験

（１）試験項目

試験項目及び規格を**表４－３**に示す．

表４－３　原泥の化学試験項目

試験項目	規　格	摘　　要
土の強熱減量試験	JIS A 1226	

（２）試験の意義と目的

強熱減量は，試料を燃焼することにより揮発・消失する物質の質量の，強熱前の質量に対する比で表されるが，分野及び規格により試験方法（前処理，強熱温度，強熱時間）が異なっている．

JIS A 1226 に規定される土の強熱減量試験は，予め（110±5）℃で炉乾燥した土を，（750±50）℃で恒量になるまで加熱することにより揮発・消失した質量の減少量から，

土に含まれている有機物量及び結合水や結晶水の水分量を把握するものである．

固化材を使用した地盤改良等において，改良効果を阻害する要因として有機物（特に腐植物）の含有が挙げられ，強熱減量はその有機物含有量を示す指標であるが，前述のように有機物以外にも土に含まれる水分や，揮発性の化合物や塩類も含んだ値である．

使用する固化材や有機物の種類にもよるが，例えば固化材にセメントを使用した場合，土中の腐食物質含有量が概ね 1.0 %を超えると改良効果が大幅に低下する[3)]といわれており，その場合は有機質土用の特殊固化材を選定する必要がある．

本試験は，CP を用いて汚泥を改質する際に，改質対象土から見た固化材の適否（相性）を判断する目安として実施した．

４．１．５　試験結果と考察

土粒子の密度は ρ_s=2.696 Mg/m^3 で，海成粘土の一般的な値を示した．海成粘土の土粒子密度は間隙水中の塩分の影響を受ける[4)]ことが報告されているが，今回の試験においては特に脱塩等の前処理は行っていない．

自然含水比は w_n=112.5 %で液性限界（w_L=113.3 %）に近いため，液性指数が I_L=0.99 となり鋭敏（練返しによる強度低下が顕著）な粘土といえる．なお，細粒分（75 μm 未満）含有率が F_c=81.1 %ということもあり，自然含水比が高い割にはフロー値は 85 mm であった．土質材料区分では細粒土〔Fm〕に，土質材料の工学的分類体系（小分類）では高液性限界粘性土（CH）に分類される．

原泥の粒径加積曲線を**図４－２**に，物理・化学試験結果の総括を**表４－４**に示す．

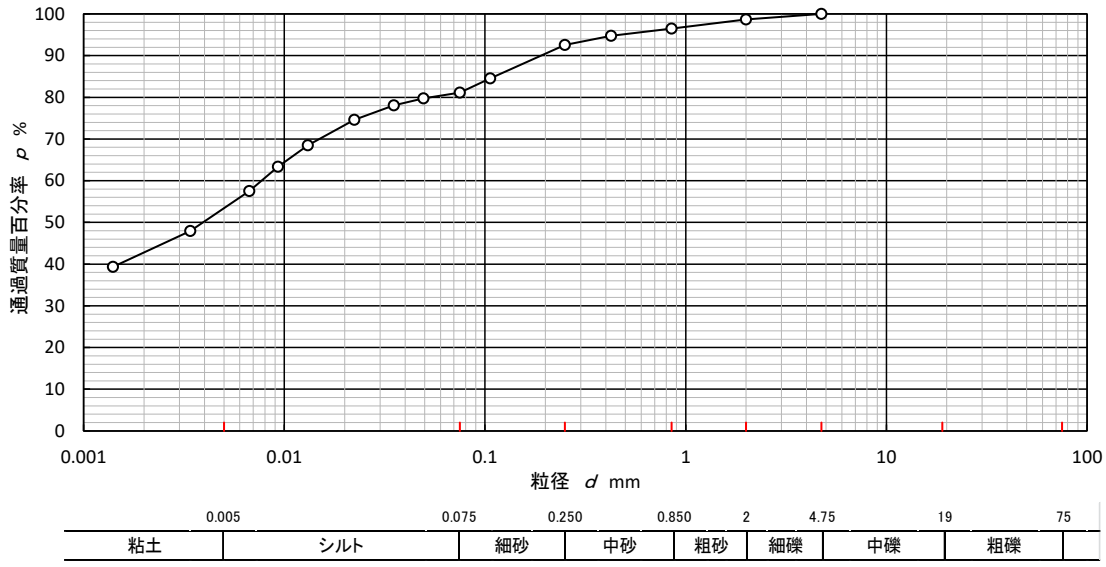


図４－２　原泥の粒径加積曲線（4.75 mm ふるい通過試料）

表４－４　原泥の物理・化学試験結果

項　　目				港湾浚渫土	備　考
一般	土粒子の密度		ρ_s Mg/m³	2.696	
	自然含水比		w_n %	112.5	
	湿潤密度		ρ_t Mg/m³	1.414	試料を容器に充填したときの密度
粒度組成	礫分	(2~75mm)	%	1.3	
	砂分	(0.075~2mm)	%	17.6	
	シルト分	(0.005~0.075mm)	%	27.7	
	粘土分	(0.005mm 未満)	%	53.4	
	最大粒径	Gmax	mm	4.75	
	細粒分	F_c(0.075mm 未満)	%	81.1	
コンシステンシー特性	液性限界		w_L %	113.3	
	塑性限界		w_P %	36.8	
	塑性指数		I_P −	76.5	
	ｺﾝｼｽﾃﾝｼｰ指数		I_C −	0.01	
	液性指数		I_L −	0.99	
分類	地盤材料の分　類　名			粘土 (高液性限界)	
	分類記号			(CH)	
	フロー値		mm	85	自然含水比状態でのフロー値
	強熱減量		L_i %	9.3	

フロー値と含水比の関係を**図４－３**に示す.

自然含水比状態のものだけが回帰曲線からやや外れるが，含水比とフロー値とは高い相関性を示し，フロー値が施工管理の指標として使えることを示唆している.

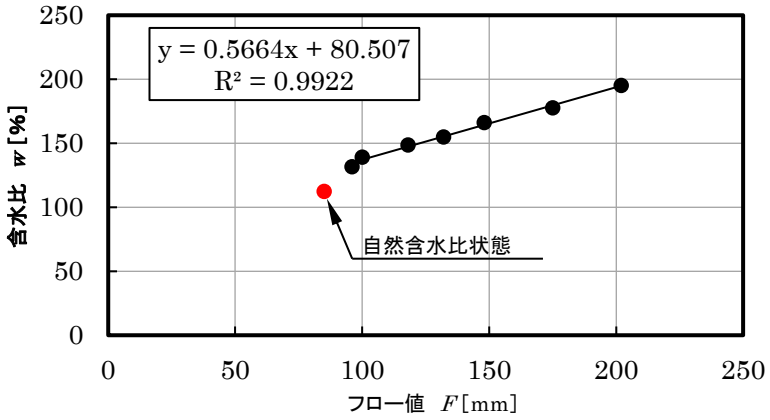


図４－３　原泥フロー値と含水比の関係

４．２　ＣＰの物理的・化学的特性

４．２．１　はじめに

骨材再生処理に伴い発生するCPの汚泥改質材としての適用性を評価するに際し，CPの特性を明らかにするために物理・化学試験を行った.

試験はJIS R 5201及び5202に規定されたセメントの物理試験及び化学試験に準じて行ったため，文中“セメント”の語句を使用しているが，試験の主体はCPである．なお，物理・化学試験はCP自体の特性を把握するとともに，汎用的な固化材のひとつである高炉セメントＢ種（以下BBと称す.）及び副産物であるフライアッシュⅡ種（以下FAⅡと称す.）についても実施し，試験結果を比較することでCPの立ち位置（位置づけ）を推定した.

なお，原コンクリートは石灰石骨材を主体としたレディーミクストコンクリートの残コン・戻りコンで，その配合は**表４－５**に示すとおりである.

表４－５　試験に供したCPの原コンクリートの配合表

生コン工場	呼び強度	slump	Gmax	セメント種類	細骨材①	細骨材②	粗骨材①	粗骨材②	混和剤①	混和剤②	C	W	S①	S②	G①	G②	A①	A②	W/C	S/a
1.（株)F	24	18	20	N	K市産山砂	S市産砕砂 （珪岩）	T市産砕石 （石灰石）		AE減水材標準型	AE剤	314	182	533	355	914		3.77	0.94	58.0	50.1
2. N商事(有)	21	12	20	N	K市産砂		M市産砕石 （石灰石）		AE減水材標準Ⅰ種		261	163	868		1,012		2.09		62.5	47.1
4.（株)T建材	27	18	20	N	K市産砂		M市産砕石 （石灰石）		AE減水材標準Ⅰ種	AE剤Ⅰ種	343	180	829		937		3.43	2.40	52.5	47.9
5.（株)K建材	24	18	20	N	M市砕砂 K市山砂		M町砕石 （硬質砂岩）		AE減水材標準Ⅰ種		324	183	894		882		3.24		56.5	50.8
6. Kコンクリート(株)	24	18	20	N	F市産山砂	H市産山砂	H市産砕石 （石灰石）		AE減水材標準Ⅰ種		304	181	596	256	952		3.04		59.6	47.8
7. Kレミコン(株)	30	18	20	N	F市産砂		H市産砕石 （石灰石）	T市産砕石 （石灰石）	高性能AE減水剤標準型		339	168	788		508	508	3.36		49.5	44.6
8. T建材(株)	18	18	20	N	K市産山砂		K県産砕石 （石灰石）		AE減水材遅延型Ⅰ種		267	180	897		935		2.67		67.5	49.9
9.（株)K	27	18	20	N	K市産山砂		T市産砕石 （石灰石）		AE減水材標準Ⅰ種		336	180	794		988		3.36		53.5	45.3
10. M(株)	36	15	20	N	K市産砂		M市産砕石 （石灰石）		高性能AE減水剤標準Ⅰ型		359	165	779		1,025		2.52		46.0	43.7
11. Uコンクリート工業(株)	39	21	20	BB	K市産砂	S市産砕砂 （珪岩）	M市産 （石灰石）		高性能AE減水剤標準Ⅰ型		427	175	526	226	936		4.70		41.0	45.5
12. UJコンクリート工業(株)	24	8	20	BB	K市産砂		K県産砕石 （石灰石）		AE減水材標準型		264	155	803		1,092		2.38		58.7	43.5

４．２．２　試験試料

試験試料は，加熱すりもみ方式で再生骨材Ｈを製造する過程で副次的に発生する CP を集塵機で回収したもので，特に分級はしていない．

写真４－４に CP，**写真４－５**に BB それぞれの有姿を示す．

写真４－４　ＣＰ有姿

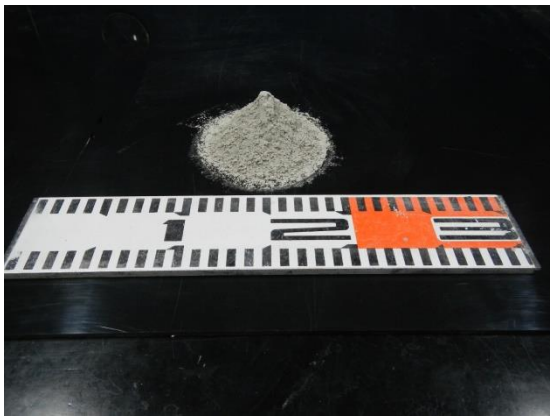


写真４－５　ＢＢ有姿

４．２．３　物理試験

（１）試験項目

物理試験は CP の物理特性として，CP に固有な性質や状態を把握することを目的とするもので，**表４－６**に示す項目について実施した．

表４－６　CP の物理試験項目

試験項目	規　格	摘　　要
セメントの密度試験	JIS R 5201	CP，BB，FAⅡ
セメントの粉末度試験	JIS R 5201	CP，BB，FAⅡ
セメントの凝結試験	JIS R 5201	CP，BB，FAⅡ
セメントの安定性試験	JIS R 5201	CP，BB，FAⅡ
セメントの強さ試験	JIS R 5201	CP，BB，FAⅡ
セメントの粒度試験	レーザー回折･散乱法	CP，BB，FAⅡ

（２）各種試験の意義と目的

１）密度試験

セメントの密度は，モルタルやコンクリートの配合設計に際し，セメントの絶対容積を求めるときに不可欠な物性値である．

セメントの密度は，セメントの焼成程度や化学成分による密度の変化の把握，セメントの

風化の目安の把握，未知のセメント種類の判定等に利用されている．

BB は JIS 規格値が規定されていないが，FAⅡ種は 1.95 Mg/m^3 以上とされている．

CP の密度は，汎用的な土木資材である BB や FAⅡ種の値，及び既往の研究で得られた値と比較した．

２）粉末度試験

セメント粉末の細かさの程度を確認するもので，JIS R 5201 ではブレーン空気透過法による比表面積試験と標準網ふるい（網目 90 μm）を用いた網ふるい試験とが規定されている．本件においては，セメント及びフライアッシュの粉末度の JIS 規格値が比表面積で規定されていることから，比表面積試験を行った．

セメントの比表面積の大小は，セメントが水と接触する面積の大小に連動し，水和の進行に大きな影響を及ぼし，モルタルおよびコンクリートの諸性質を左右する物理的な重要因子であるとともに，固化材に含まれている重金属等の溶出とも関連があると考えられている[5)]．

JIS 規格値は，BB が 3,000 cm^2/g 以上，FAⅡが 2,500 cm^2/g 以上となっている．

CP の粉末度は，汎用的な土木資材である BB や FAⅡ種の値，及び既往の研究で得られた値と比較した．

３）凝結試験

セメントに適量の水を加えて練り混ぜると，可塑性のセメントペーストが得られるが，時間の経過に伴い，セメントペーストは少しずつその可塑性を失い始め，ついには全く可塑性を失い固化するが，この現象を凝結という．

実際のコンクリート工事に際して，セメントの凝結時間が長すぎても短すぎても不都合が生じるので，使用するセメントの凝結の初め（始発）と終わり（終結）を把握しておく必要がある．JIS では始発と終結時間が規定されており，BB の場合それぞれ 60 分以上 10 時間以内とされている．

地盤改良に用いる固化材は凝結時間についての規定はないが，土と接触直後に硬化したり，長時間経過しても硬化しない場合には施工性や処理後の強度発現性に影響することから，汎用的な固化材のひとつである BB の値と比較した．

４）安定性試験

セメントが安定した水和作用を行うかを測定する試験である．

標準軟度程度となるようにペーストを練り混ぜ，直径約 100 mm のパットを作製し，これを 90 分間煮沸してひび割れや反りを観察して良否判定を行うもので，未反応の石灰（CaO），酸化マグネシウム（MgO）が過剰に含まれていることによる，硬化過程の異常膨張の有無を確認するものである．

不安定なセメントを使用すると，これを使用したコンクリートが膨張性ひび割れや反りなどを生じる可能性があり，コンクリートの耐久性を害する原因となるので，セメントの安定性の把握が必要となる．

安定性に関しても固化材について規定はないが，汎用的な固化材のひとつである BB と比較した．

5）強さ試験

セメントの強さ試験は，モルタルを練り混ぜてその成型供試体の強さの発現状態を知るものである．セメントの強さを知ることは，セメントの品質管理上のほかに，コンクリートの配合設計上でも有用であり，さらに，力学的性質などの多くの性質を把握するのに有効な指標となる．

一定の配合並びに水量のモルタルを作製し，これらの強度特性からセメントの持つ強さを知るとともに，同一のセメントを使用したコンクリートの強度発現性状をある程度予測するために行われる．

試験に供するモルタルの配合及び形状寸法は，JIS A 5201 で，セメント：標準砂：水＝1：3：0.5（質量比），4×4×16 cm の直方体と規定されている．

セメントの場合，JIS では材齢ごとの強度が規定されており，BB の場合 3 日；10.0 N/mm^2，7 日；17.5 N/mm^2，28 日；42.5 N/mm^2 となっている．

本研究においては，CP に水硬性があるかどうかを検証することと，水硬性が確認された場合，汎用的な固化材である BB に対してどの程度の強度を有するか確認する目的で行った．

6）粒度試験

土の粒度試験の目的は，地盤材料の粒度を求めることにある．そして，粒度試験の結果は主として土の分類に使われる．土の場合は試験方法が JIS A 1204 で規定されており，粒径 0.075 mm 以上の土粒子に適用されるふるい分析と，0.075 mm 未満の土粒子に適用される沈降分析に分けられる．

CP の場合，水硬性が想定されるため沈降分析は適用困難と考え，細粒粉体の粒度分析法のうち，レーザー回折・散乱法によって分析することとした．レーザー回折・散乱法の詳細は専門書に譲るが，本法は一度に測定できる粒子径範囲が非常に広く（数十 nm～mm），短時間で再現性よく高分解能の結果が得られることから，現在微細粉体の粒度分布測定法として一般的となっている．

CP の粒度試験の目的は，今回試験に供した CP が汎用的な土木資材である BB や FA Ⅱ種に対して，及び既往の研究で得られた粒度分布に対してどの程度であるかを把握することにある．

４．２．４　化学試験

（１）試験項目

試験項目及び規格を**表４－７**に示す.

表４－７　CP の化学試験項目

試験項目	規　格	摘　　要
二酸化ケイ素（SiO_2）の定量	JIS R 5202	
酸化アルミニウム（Al_2O_3）の定量	JIS R 5202	
酸化鉄（Fe_2O_3）の定量	JIS R 5202	
酸化カルシウム（CaO）の定量	JIS R 5202	
酸化マグネシウム（MgO）の定量	JIS R 5202	
三酸化硫黄（SO_3）の定量	JIS R 5202	
強熱減量の定量	JIS R 5202	
不溶残分の定量	JIS R 5202	
クリンカー鉱物の同定・定量	XRD/ﾘｰﾄﾍﾞﾙﾄ解析	
CP の水和熱測定	双子型電動熱量計（ﾏﾙﾁﾏｲｸﾛｶﾛﾘｰﾒｰﾀｰ）	MMC-511C6（東京理工製）

（２）各種試験の意義と目的

１）化学成分の定量

本規格は，セメントを酸で溶解し，溶解した試料溶液中の目的の化学成分量を湿式分析により測定し，セメント中の目的の化学成分の含有率を求める方法を規定したものである.

CP が汚泥改質材（固化材）としての機能を有するか否かは，CP の化学組成が重要となる．そこで，セメントの化学成分のうち，組成全体の 98 %以上を占める主要 6 化合物について，CP，BB 及び FAⅡ種を対象に定量した.

２）強熱減量の定量

強熱減量（ignition loss）とは，試料をある一定の温度で強熱した場合の質量の減少量を示すものであり，各種基準によって温度や時間などの強熱条件が異なる.

セメントの場合，強熱条件は 950±25 ℃で 15 分間とされている.

強熱減量により，セメントの場合は不純物含有量や風化の程度を，フライアッシュの場合は未燃炭素量を把握することができる.

CP の場合強熱減量は結合水量を表わし，CP 中に残存する未水和セメントの再水和の程度を示す指標として考えられる[6)]ことから，材齢との関係を把握することで再水和進行程度を評価できる.

強熱減量の JIS 規格値は，BB，FAⅡ種とも 5%以下となっている.

BB 及び FAⅡの比較，並びに CP に関する既往の研究と比較することで，本研究開発に用いた CP の特性を評価する参考とした.

３）不溶残分の定量

不溶残分（insol.）とは，セメントを酸で溶解した際の未溶解分のことをいう.

セメントの場合，これが多いということは，一般的にはクリンカー中に遊離酸化ケイ素（SiO_2）が多いことを意味する. 遊離酸化ケイ素は原料の中で最も粉砕され難い材料の一つであり，原料の粉砕不足，混合不足または焼成不足が疑われる.

一方，CP の場合，不溶残分は微粉中に混入している土砂や骨材分を示す.

BB，FAⅡ種とも JIS 規格値は規定されていない.

BB 及び FAⅡの比較，並びに CP に関する既往の研究と比較することで，本研究開発に用いた CP の特性を評価する際の参考とした.

４）クリンカー鉱物の同定・定量

CP に地盤改良材としての特性があるか否かを判断するに際し，組成分析は重要な判断材料となるが, それは単にクリンカー鉱物の構成物質が CP に含まれていることを確認するに過ぎない．CP が再水和するためには，CP に水和化合物の構成物質が含まれていることが必要であるが，CP に対し焼成などの二次処理をしない場合には，骨材再生時に副次的に得られた CP に水和反応に必要なクリンカー鉱物（C_3S，C_2S，C_3A，C_4AF）が含まれていることが不可欠となる.

そこで, CP, BB, FAⅡの 3 試料を対象として, 粉末 X 線回折（XRD；X-Ray Diffraction ）により鉱物種の定性分析及びリートベルト法により定量解析を行った.

内部標準物質としてはコランダム構造のアルミナ（Al_20_3）を内割 10 mass%添加し，XRD の測定条件は, ターゲット CuK α , 管電圧 40 kV, 管電流 40 mA, 走査範囲 2θ =5～70 °，検出器は半導体高速検出器を用いた.

５）水和熱の測定

セメント等の固化材により地盤改良を行って改良強度が発現されるのは，クリンカー鉱物が水と化学反応を起こし，ケイ酸カルシウム水和物（C-S-H；$nCaO \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$）や水酸化カルシウム（CH；$Ca(OH)_2$）などの水和物が生成されるからである．この反応を水和反応といい, 発熱反応であることが知られている. そこで, CP の水硬性を評価するため, 水和熱を測定した.

JIS R 5203 では溶解熱法（所定の材齢まで養生した水和セメントと未水和セメントを酸液に溶解し, その溶解熱から間接的に水和熱を求める方法）による水和熱測定方法が既知されているが，これは

①水和熱を直接しているものではない
②測定に熟練を要する
③初期（1 日以内）の水和熱を測定できない
④水和熱の変化を連続的に取り出すことができない

などの課題があることが指摘[7)]されている.

これに対し，伝導型微小熱量計は水和熱の変化を加水直後から連続的に直接測定することができることから，本件においては双子型電動熱量計（マルチマイクロカロリーメーター；東京理工製）を用いて水和熱を測定（水／粉体＝0.5，温度 20 ℃）した.

なお，JIS においてセメント水和熱の規格値はない.

４．２．５　試験結果と考察

（１）物理試験

CP の物理試験結果を**表４－８**に示す.

表４－８　ＣＰの物理試験結果

区分	試験項目		単位	試料名			既往の研究	JIS規格値	
				CP	BB	FAⅡ	CP	高炉セメントB種 JIS R 5211	FAⅡ種 JIS A 6201
物理特性	密度		Mg/m^3	2.44	3.05	2.30	2.19～2.73	－	1.95以上
	ブレーン比表面積		cm^2/g	13,000	3,720	3,580	2,180～15,320	3,000以上	2,500以上
	安定性		－	不良	良	試験不可	－	良	－
	凝結	標準軟度水量	%	61.0	29.5	(24.4)	－	－	－
		始発	h:min	02:35	02:25	試験不可	－	60min以上	－
		終結	h:min	28:15	03:35		－	10h以下	－
	粒度(レーザ回折・散乱法)		－	(粒径加積曲線参照)				－	－
強度特性	曲げ強度	養生3日	N/mm^2	0.140	6.06	試験不可	－	－	－
		養生7日	N/mm^2	0.242	7.14		－	－	－
		養生28日	N/mm^2	0.624	9.58		－	－	－
	圧縮強度	養生3日	N/mm^2	0.583	27.5		－	10.0以上	－
		養生7日	N/mm^2	0.835	38.9		－	17.5以上	－
		養生28日	N/mm^2	1.690	67.2		－	42.5以上	－

１）密度

密度は ρ_s=2.44 Mg/m^3 で，**図４－４**に示すように既往の試験値のほぼ平均的な値を示した.

CP はコンクリートの微粉であり，その中にはセメント，粗骨材，細骨材が粉砕されたものが混じっているが，原コンクリートの構成材料の密度が**表４－９**に示すとおりであることを踏まえれば，CP を構成する粒子には閉鎖空間があると推察される．

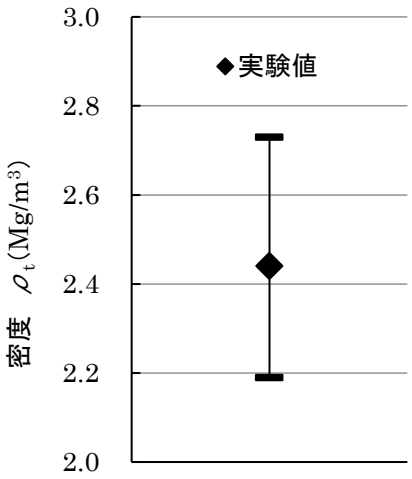


図４－４　ＣＰの密度

表４－９　原コンクリート構成材料の密度

材　　料	密度（Mg/m³）	摘　　要
セメント	3.15～3.16 （3.04）	普通ポルトランドセメント （一部高炉セメントＢ種）
細骨材	2.58～2.69	山砂，砕砂（珪岩）
粗骨材	2.68～2.72	石灰石（一部砂岩）

２）粉末度

粉末度を表す比表面積は 13,000 cm²/g で，BB や FAⅡの JIS 規格値の 4～5 倍，また，**図４－５**に示すように既往の試験値に比べても大きな値を示した．

セメントの水和反応はセメント粒子表面と水の接触により行われることから，セメント量が同じ場合，セメントの表面積が大きいほど水との接触面積が増え，その結果化学反応が促進され，早期に強度が発現される．

今回実験に供した CP は粉末度が大きいことから粒子が細かく破砕されていることとなり，セメント粒子を被覆している“殻”（水和化合物）が剥ぎ取られ，未水和のセメント粒子が露出すること，水との接触面積が大きいので，CP に再水和性があれば早期に水和反応が進行する可能性があることが示唆された．

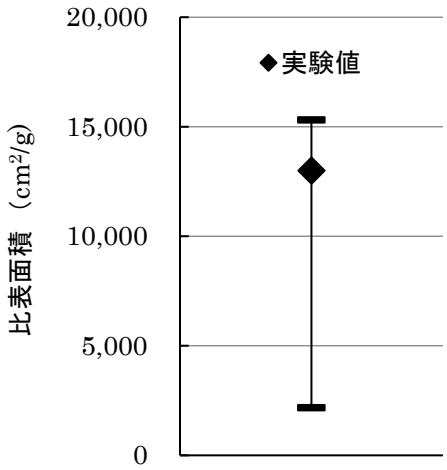


図４－５　ＣＰの比表面積

３）凝結

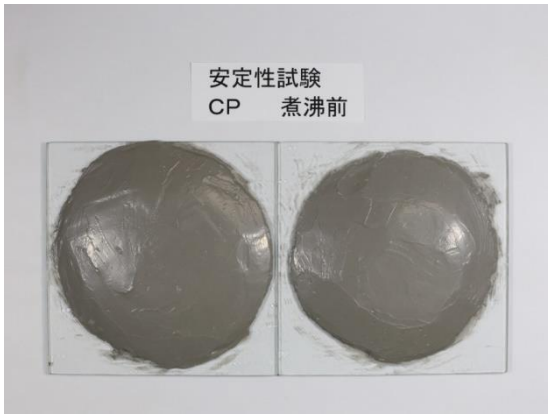
凝結に関しては，始発は BB とほぼ同じであったが，終結は 1 日以上（28° 15′ ）となった．BB に比べると硬化するまでの時間が長いが，この結果からも CP に硬化する特性があることが伺える．

凝結試験で特徴的だったのは，試験に供するペーストは標準軟度のセメントペーストとするが，規定のセメントペーストを作製する際に加える水量（標準軟度水量）が BB の 2 倍以上だったことで，前述の強さ試験の供試体作製における標準配合のモルタルの性状の結果と一致しているとともに，CP を泥土改質材として用いた場合に，流動性を低下させる機能が期待できることが示唆された．

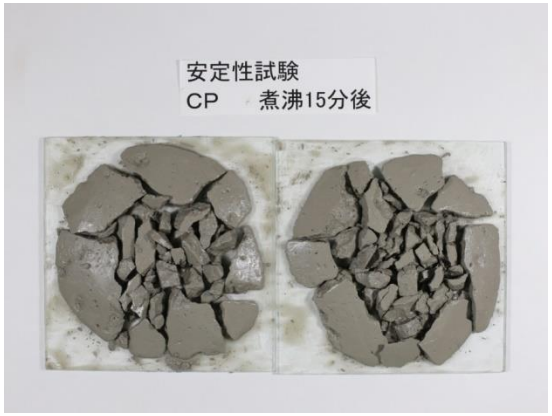
４）安定性

安定性は，**写真４－６～４－８**に示すように，BB では煮沸前後で反りや割れは認められなかったが，CP はパットが破砕した．なお，FAⅡについては煮沸容器内に水浸する加水後 24 時間経過では硬化せず，水浸すると溶解することが想定されたため煮沸はしなかった．

安定性の定義からすれば CP は“不良”と判定されるが，本試験により CP に硬化する特性があることが確認された．

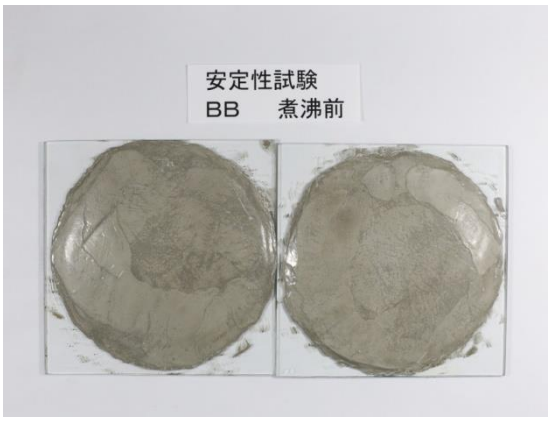


（ａ）煮沸前

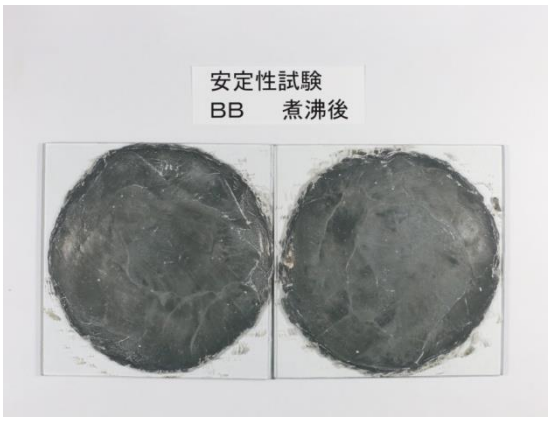


（ｂ）煮沸後（15 分）

写真４－６　ＣＰの安定性試験

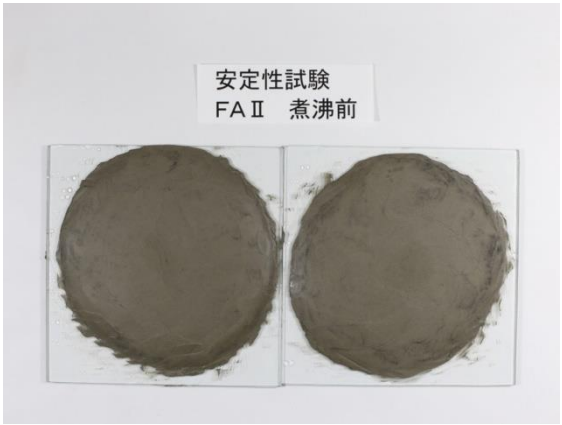


（ａ）煮沸前



（ｂ）煮沸後（90 分）

写真４－７　ＢＢの安定性試験



（ａ）煮沸前

写真４－８　ＦＡⅡの安定性試験

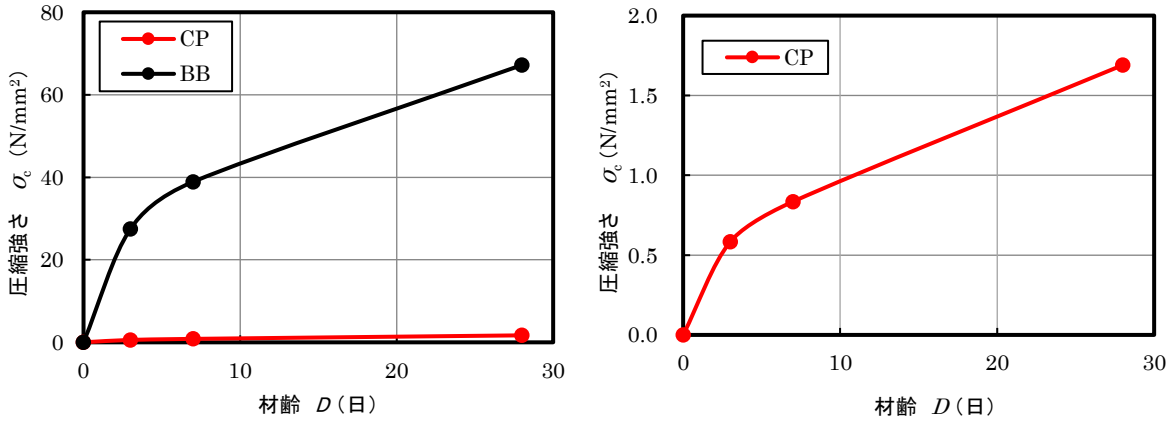
５）強度

図４－６に強度試験結果のうち，圧縮強度の経時変化を示す．材齢 28 日における CP の圧縮強度は BB の約 1/40 であるが，材齢とともに強度増進していることから，水和反応による強度発現と考えられる．

図４－７に曲げ強度の経時変化を示す．材齢 28 日における CP の曲げ強度は BB の約 1/15 となっている．

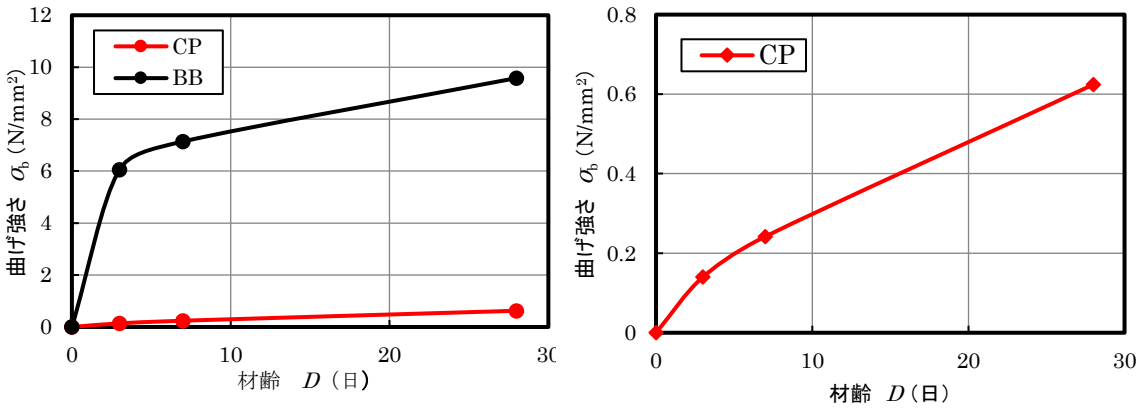
一般に，コンクリートの圧縮強度に対する曲げ強度の比率は 1/5～1/8 といわれているが，強さ試験の結果，材齢 28 日における曲げ強度と圧縮強度の比は，CP が 1/3，BB が 1/7 であった．**図４－８**は，材齢 3 日における曲げ強度に対する圧縮強度の比率を 1 としたときの材齢と強度比の変化を示したものである．BB が材齢ともに圧縮強度の伸び率が卓越するのに対し，CP は曲げ強度の伸び率が卓越することが分かる．

なお，強さ試験の標準配合は，JIS R 5201 ではセメント：標準砂：水＝1：3：0.5（質量比）と規定されているが，試験練りの結果，規定配合ではワーカブルではなくガサガサであったため，CP に関しては配合比をセメント：標準砂：水＝1：3：0.7（質量比）とした．既往の研究でも標準配合では練り混ぜが困難で，水結合材比を 50～65 %で行った[8)]ことが報告されている．



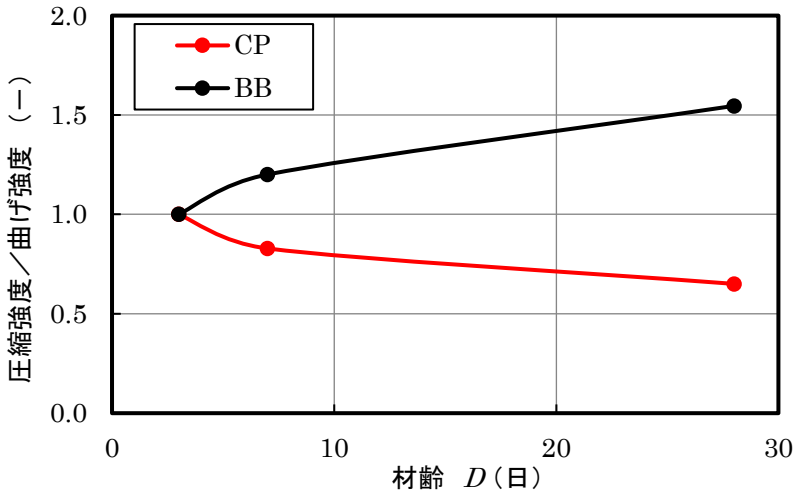
（ａ）ＣＰ及びＢＢ　　（ｂ）ＣＰ

図４－６　強さ試験（圧縮強度）



（ａ）ＣＰ及びＢＢ　　（ｂ）ＣＰ

図４－７　強さ試験（曲げ強度）



（材齢3日における強度比を1とする）

図４－８　材齢と強度比の関係

６）粒度

CP の粒径加積曲線を**図４－９**に示す.

同図には比較対象としての BB 及び FAⅡ，更には**図４－２**に示した原泥も併記した．CP の粒度分布は BB や FAⅡと比べて左に寄っているので，それらより粒度が細かい（細粒分が多い）ことがわかる.

また，粒度試験結果からは CP の均等径数は U_c＝6.7/0.4≒17＞10 なので，“粒度幅が広い（粒度分布がよい）”ことになるが，粒径加積曲線を見てわかるように粒度分布が 2 段になっており，“分級された”粒度となっている.

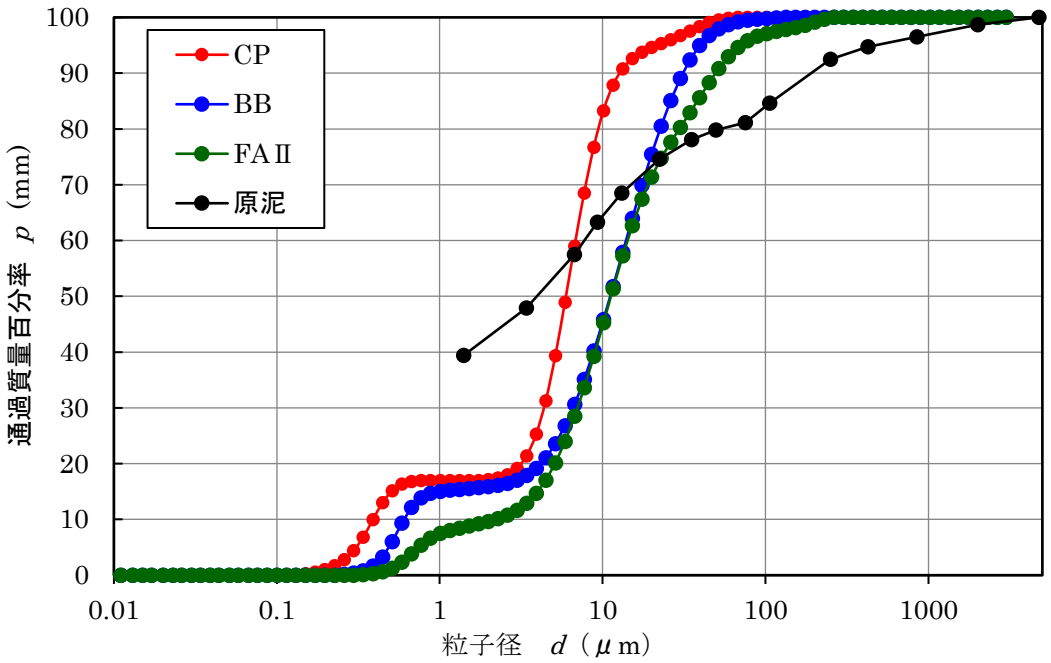

100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
通過質量百分率　p（mm）
CP
BB
FAⅡ
原泥
0.01
0.1
1
10
100
1000
粒子径　d（μm）

図４－９　粒径加積曲線

（２）化学試験

CP の化学試験結果を**表４－１０**に示す.

表４－１０　CP の化学試験結果

区分	試験項目		単位	試料名			既往の研究	JIS規格値	
				CP	BB	FAⅡ	CP	高炉セメントB種 JIS R 5211	FAⅡ種 JIS A 6201
セメントの化学分析	二酸化ケイ素(SiO_2)		mass%	14.16	24.15	59.13	4.18～70.20	－	45以上
	酸化アルミニウム(Al_2O_3)		mass%	3.09	7.59	22.41	1.85～12.0	－	－
	酸化第二鉄(Fe_2O_3)		mass%	1.49	1.76	3.98	1.11～37.00	－	－
	酸化カルシウム(CaO)		mass%	44.56	56.26	2.22	11.00～41.70	－	－
	酸化マグネシウム(MgO)		mass%	0.82	2.69	1.09	0.62～ 3.30	6.0以下	－
	三酸化イオウ(SO_3)		mass%	1.01	2.24	0.62	0.29～ 1.50	4.0以下	－
	強熱減量(ig-loss)		mass%	33.54	0.96	1.82	6.78～58.30	5.0以下	5.0以下
	不溶残分(insol)		mass%	8.51	1.26	90.40	8.10～64.78	－	－
リートベルト解析による鉱物組成	$3CaO·SiO_2$	エーライト(C_3S monoclinic)	mass%	2.3	37.2	不検出		－	－
	$2CaO·SiO_2$	ビーライト(β-C_2S)	mass%	3.3	11.9	不検出		－	－
	$3CaO·Al_2O_3$	アルミネート(C_3A cubic)	mass%	不検出	5.2	不検出		－	－
		アルミネート(C_3A orthorhombic)	mass%	不検出	0.5	不検出		－	－
	$4CaO·Al_2O_3·Fe_2O_3$	フェライト(C_4AF)	mass%	2.1	4.5	不検出		－	－
	その他成分		mass%	59.6	6.1	18.4		－	－
	非晶質相		mass%	32.7	34.6	81.6		－	－

１）化学成分の定量

SiO_2（二酸化ケイ素）はクリンカー鉱物である C_3S（エーライト；$3CaO・SiO_2$），C_2S（ビーライト；$2CaO・SiO_2$）の構成物質で，セメント 3 主成分の一つである．セメントの材料である粘土に多く含まれているとともに，石灰石を除く骨材の主要成分である．

Al_2O_3(酸化アルミニウム)はクリンカー鉱物である C_3A(アルミネート相;$3CaO・Al_2O_3$)，C_4AF（フェライト相；$4CaO・Al_2O_3・Fe_2O_3$）の構成物質で，セメントの材料である粘土に含まれており，セメント 3 主成分の一つである．

Fe_2O_3（酸化第二鉄）はクリンカー鉱物である C_4AF の構成物質で，セメント原料である酸化鉄から供給される．

CaO（酸化カルシウム）は全クリンカー鉱物の構成物質で，セメント 3 主成分の一つであり，セメント原料である石灰石に含まれている．

一般に，BB のように水硬性を有する粉体は CaO の比率が高く，SiO_2 の比率が低いとされる．また，それ自体に水硬性はないが，$Ca(OH)_2$ と反応して不溶性かつ硬化性の化合物を生成する“ポゾラン反応”特性[注)] がある FAⅡは，BB に比べると SiO_2 が多く，CaO が少

ないとされる.

注) 水の存在下で, $Ca(OH)_2$ またはカルシウムイオンと反応して新たな水和物を生成する特性を有する SiO_2 や Al_2O_3 に富む組成物をいい, フライアッシュ, 高炉スラグ, シリカフリューム, もみ殻灰などの人工ポゾランと, シラスや白土, 火山灰に起因する天然ポゾランがある

本件で用いた CP の化学組成に関する特徴は, 既往の研究[9)]に比べて SiO_2 が少なく CaO が多いことで, 原コンクリートの骨材に石灰石を使用していることが関係していると思われる. 化学組成相互の関連については, 粒度が小さいほど ig-loss や CaO が多くなり, 逆に SiO_2 や insol.が減少しているという報告[10)]があるが, 石灰石は骨材の中ですり減り抵抗性が比較的小さい[11)]ために骨材再生時に微細粉砕されて粒度が小さくなること, SiO_2 を主成分とする安山岩や砂岩などは硬質であるため微粒分が少なくなることが本質ではないかと考える.

図４－１０に CP の組成分析結果を示す.

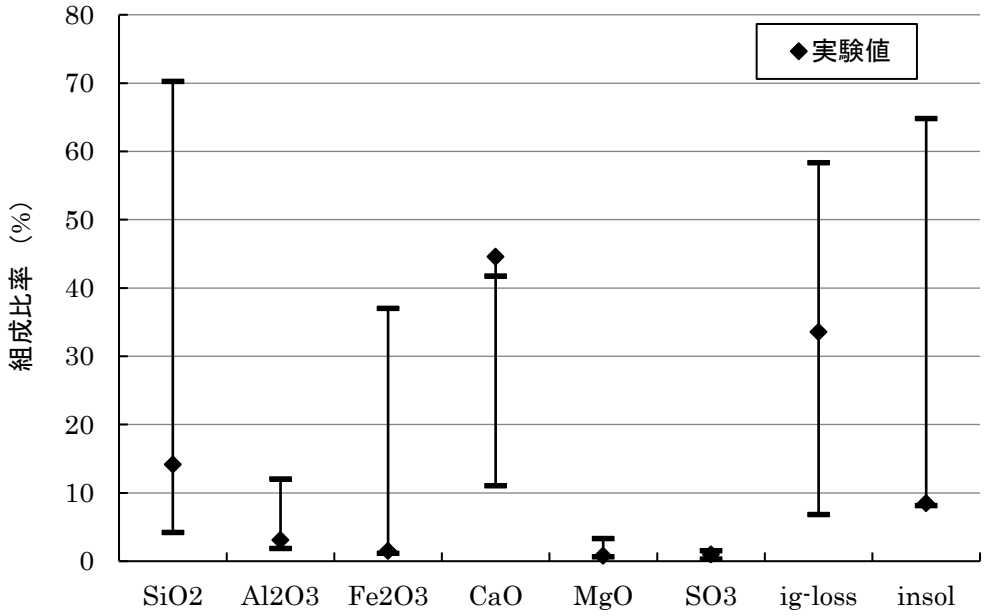


図４－１０　ＣＰの組成分析結果

２）クリンカー鉱物の定量

水和反応に必要なクリンカー鉱物が CP に含まれているかを確認したX線回折（リートベルト法）結果を BB, FAⅡと合わせて**図４－１１～４－１３**に示す.

CP の解析結果から以下のことがわかった.

早期強度の発現に関与する C_3S, 及び長期強度の発現に関与する C_2S がそれぞれ BB の

6％，28％程度確認された．また，組成分析で Al_2O_3 が確認されたが，初期強度の発現に関与する C_3A は確認できなかった．

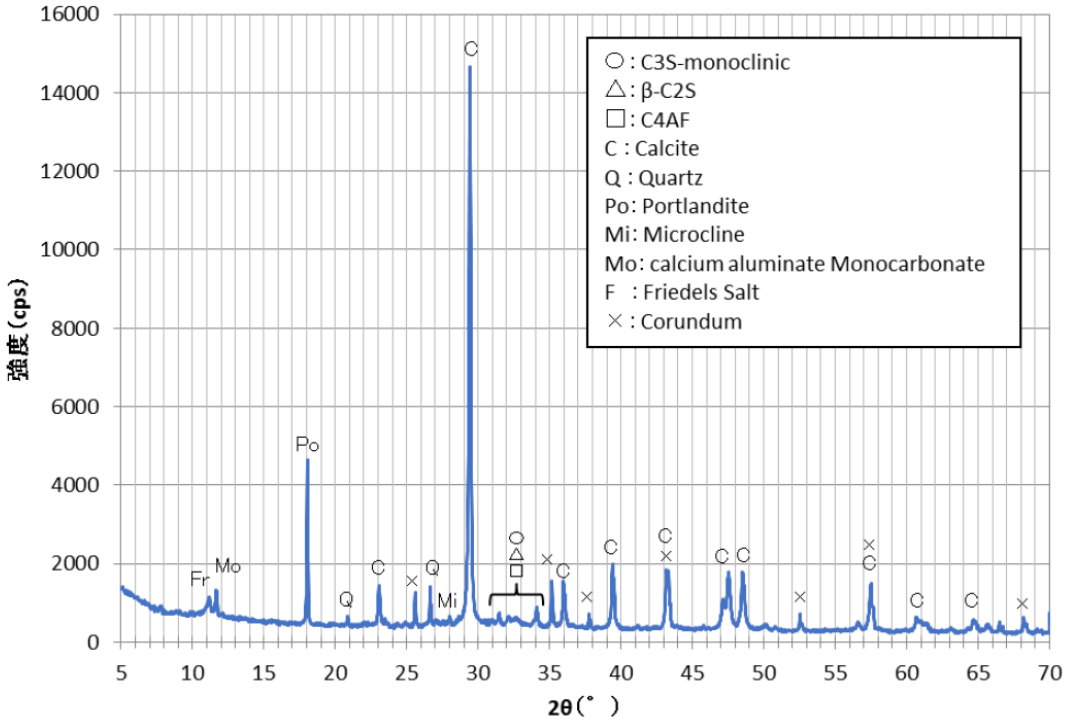


図４－１１　ＣＰのＸ線回折／ライブラリー検索結果

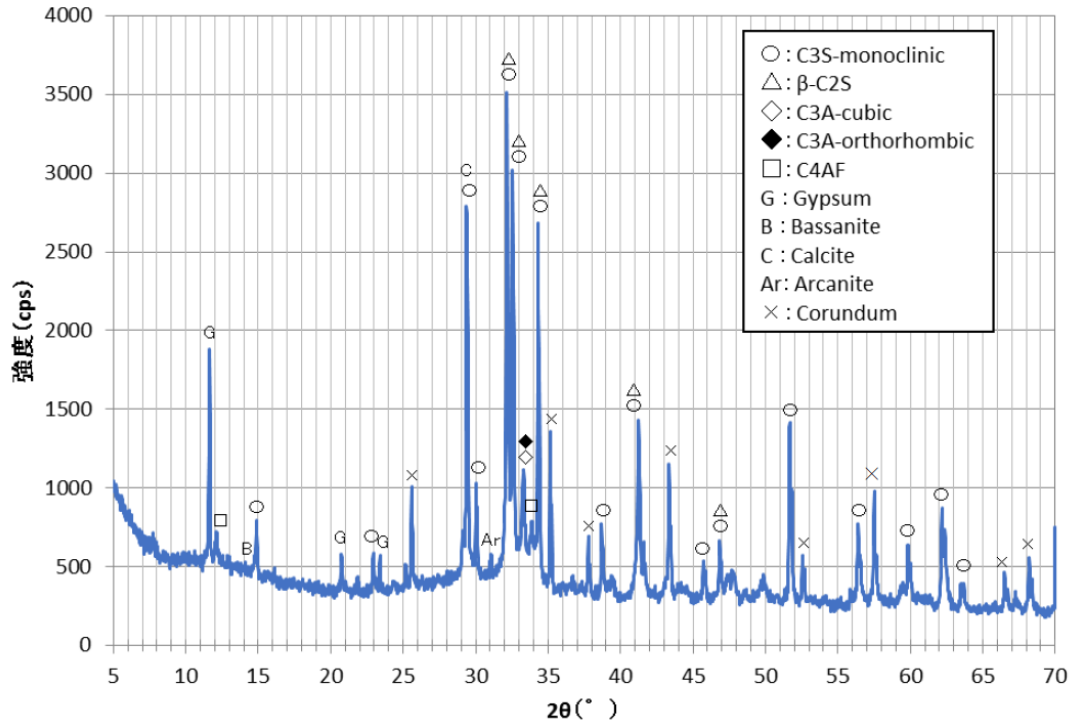


図４－１２　ＢＢのＸ線回折／ライブラリー検索結果

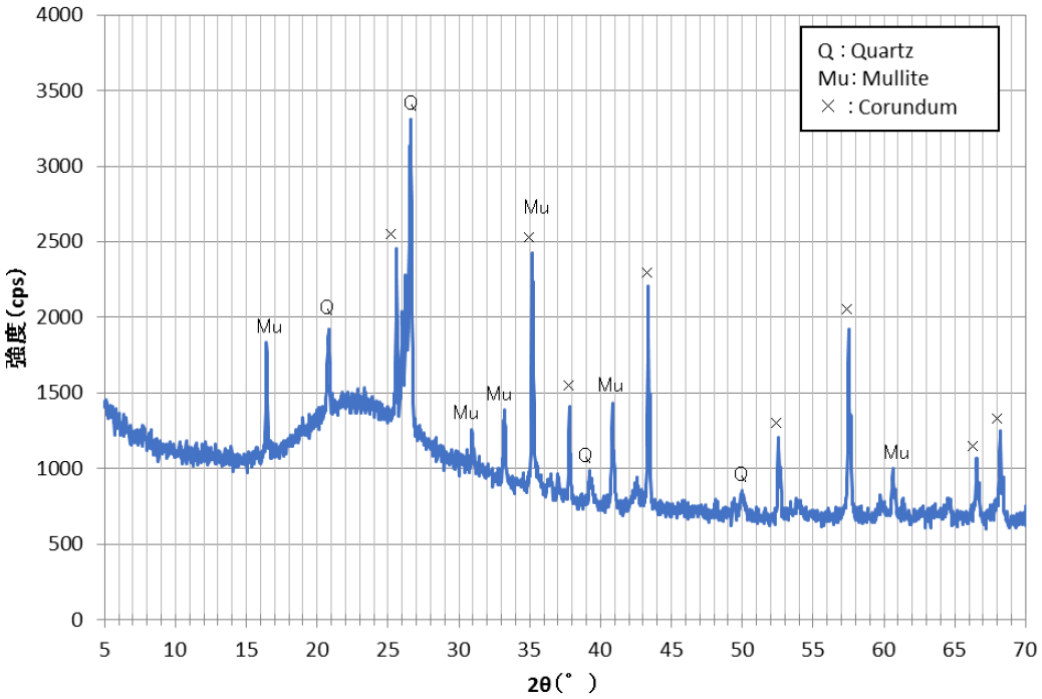


図４－１３　ＦＡⅡのＸ線回折／ライブラリー検索結果

３）水和熱

物理試験の結果，CP は硬化することが確認されたが，硬化が水和反応によるものかを確認するために行った水和熱試験結果のうち，水和発熱速度曲線を**図４－１４～４－１７**に示す．全体感としては．CP の水和発熱速度曲線は，水硬性がある BB ではなく，水硬性がないといわれる FAⅡと類似したモードを示した．

なお，水和発熱速度は水和反応熱の時間変化を示すもので，水和熱の大小について言及するものではないことに留意されたい．

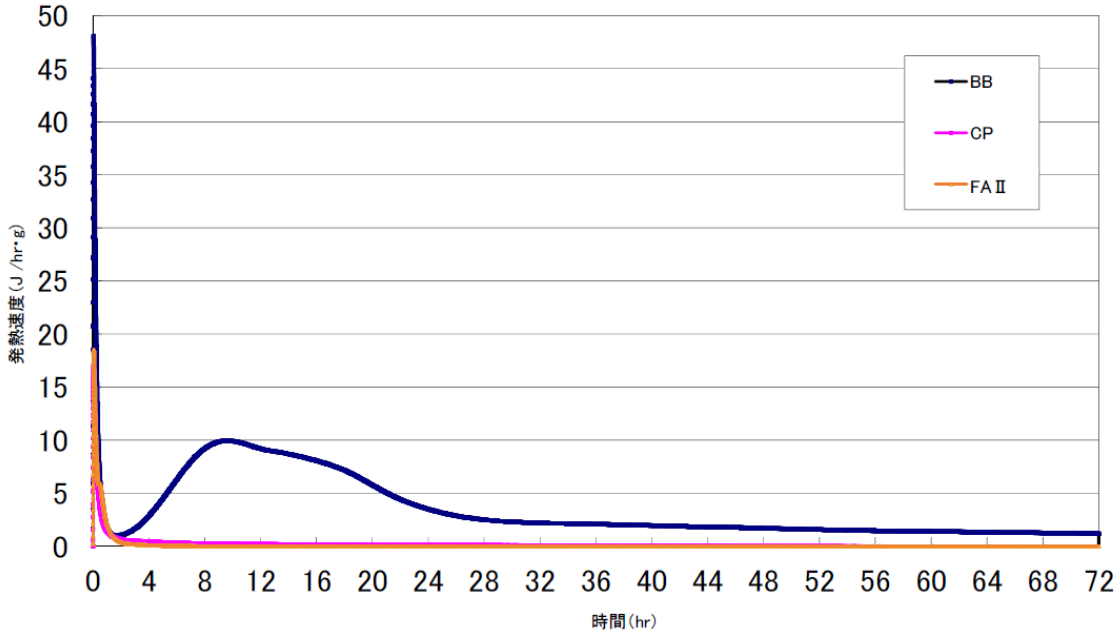


図４－１４　水和熱発熱度（その１）

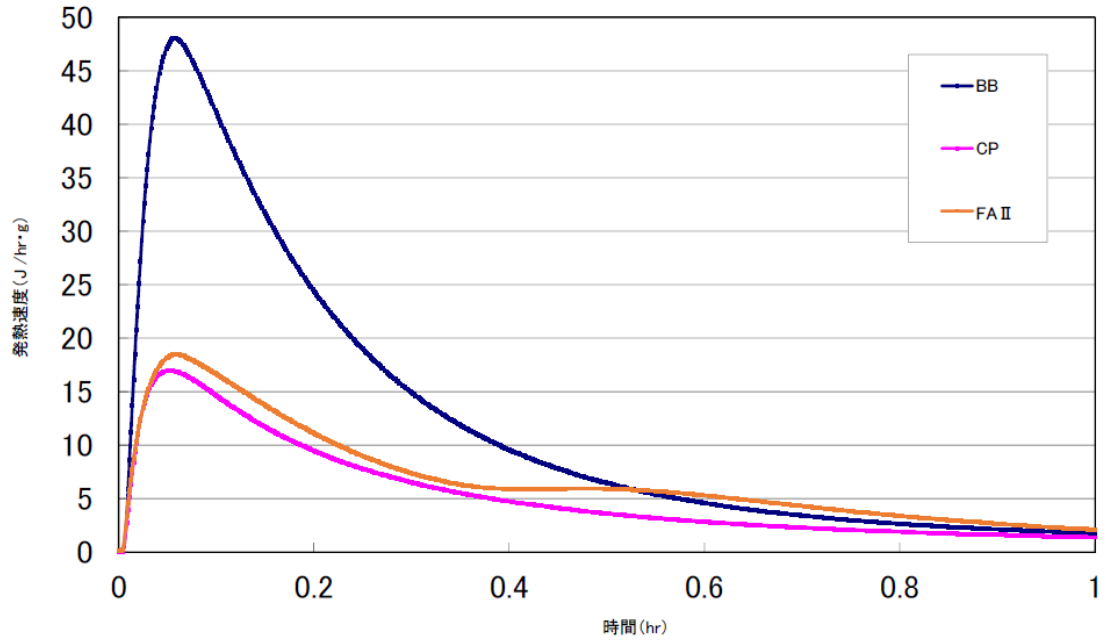


図４－１５　水和熱発熱度（その２）

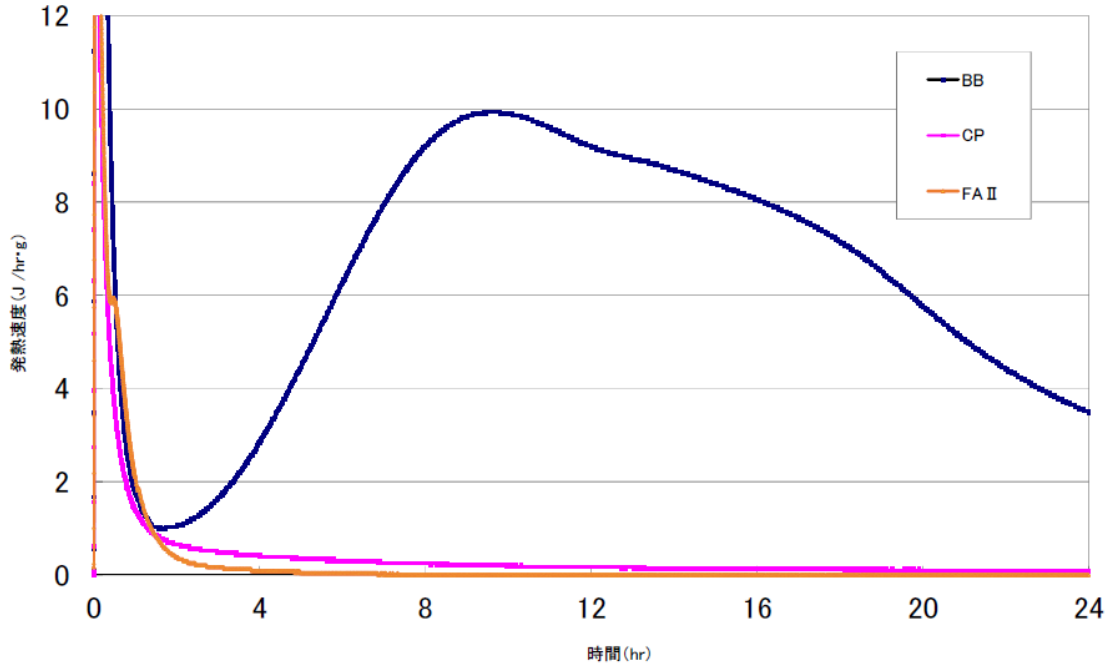


図４－１６　水和熱発熱度（その３）

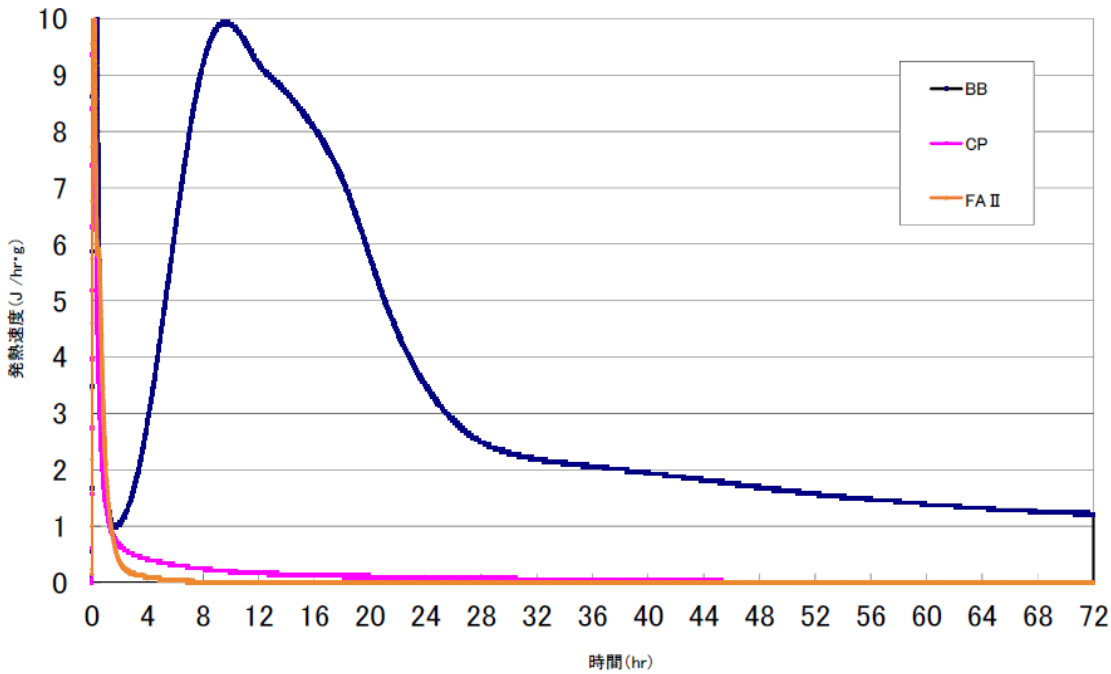


図４－１７　水和熱発熱度（その４）

ポルトランドセメントの水和熱の発熱パターンに関して，峯岸[12)]によれば以下のとおりとされている．

セメントの水和熱発熱パターンは大きく 3 つのステージに区分され，発熱速度が極小値になるまでの反応を誘導期といい，コンクリートが流動性を保つ期間に対応する．続く最大値までを加速期といい，凝結を完結し硬化状態へ移行する期間に対応する．それ以降は反応の減衰期といい，硬化の進行する期間に対応する．

以上を模式的に示したものが**図４－１８**である．

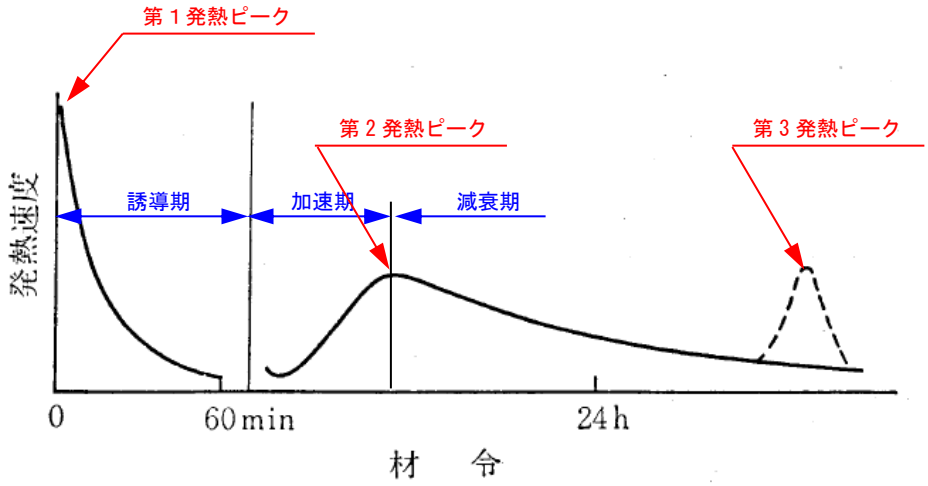


図４－１８　ポルトランドセメントの水和発熱パターン[12)]

通常は，セメントは水を混ぜてから 1～2 日間に最も激しく水和し，水和熱もこの期間において激しいとされ，大きな発熱変化は練り混ぜ直後（第 1 発熱ピーク）と 8～10 時間後（第 2 発熱ピーク）に現れる．また，通常のセメントではほとんど見られないが，セメントの化学組成によっては第 3 発熱ピークが見られることもある．なお，第 1 発熱ピークは練り混ぜ中に起こっているので，実用上の意味は小さいといわれている

また，クリンカー鉱物ごとの発熱パターンは**図４－１９**に示すとおりとされている．

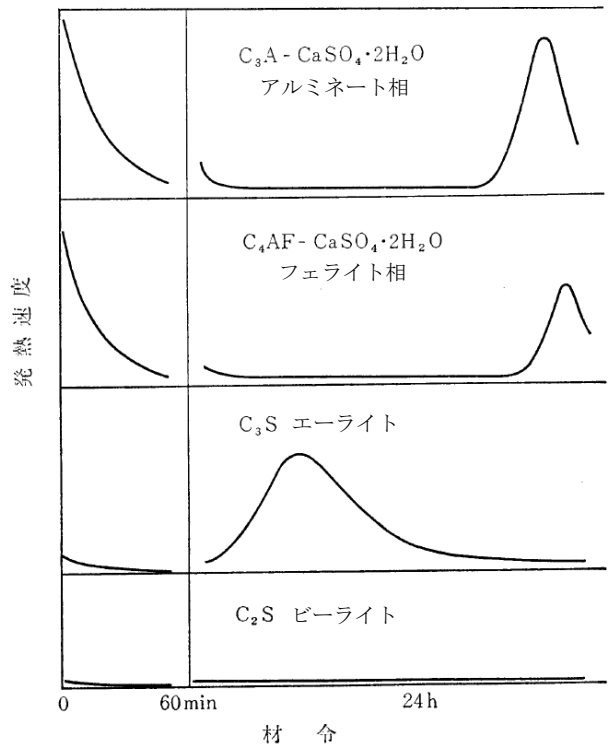


図４－１９　各種クリンカー鉱物の水和発熱パターン[12)]

図４－１８の最初の反応は C_3A 及び C_4AF と石膏（$CaSO_4 \cdot 2H_2O$，以降 $C\bar{S}H_2$ と略す））との反応に，誘導期はこれらの反応と C_3S の反応に，加速期は C_3S の反応に，そして減衰期は C_3S と C_2S の反応に，それぞれ対応させて考えられるといわれている．

図４－１５より CP も BB の 1/3 程度であるが，第 1 発熱ピーク（練り混ぜ直後）が認められた．この結果より，CP に発熱反応があることが確認された．前述のように，一般に第 1 発熱ピークは C_3A 及び C_4AF と $C\bar{S}H_2$ との反応といわれているが，**表４－１０**に示すように，XRD の結果 C_3A は未検出であったことから，C_4AF と $C\bar{S}H_2$ との反応によるものと考えられる．また，**図４－１６**においては第 2 発熱ピーク（加水後 8～10 時間）は認められなかった．これは XRD で CP の C_3S が検出されたが，BB の 6 %強と微量であったことに由来するものなのか，或いは発熱速度が極めて緩慢であることに起因するかは不明である．

図４－２０[10)] は解体コンクリートから加熱すりもみ方式で再生骨材を製造した際に副産された微粉を 30 μm で分級した“分級微粉”の水和発熱速度を示す．同微粉のクリンカー鉱物である C_4AF 組成比率は不明であるが，Al_2O_3 の化学組成は 9.6 %となっており，本件の CP（3.09 %）の 3 倍となっている．分級微粉も本件の CP 同様第 1 発熱ピークしか出現していないが，その発熱速度は CP の約 3 倍の 60 J/g・h となっており，Al_2O_3 の化学組成が関係していると思われる．

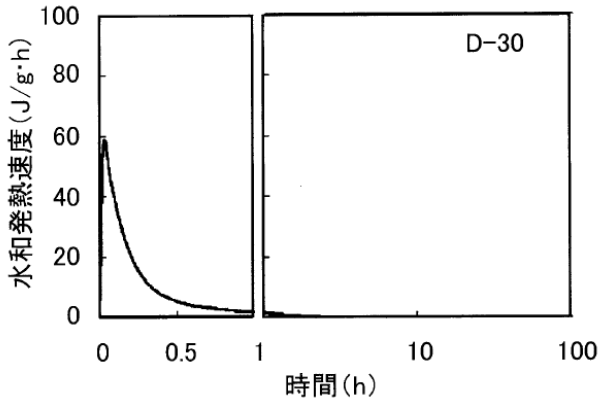


図４－２０　分級微粉の水和発熱速度[10)]

図４－２１，４－２２は水和熱試験結果のうち，積算発熱量を示す.

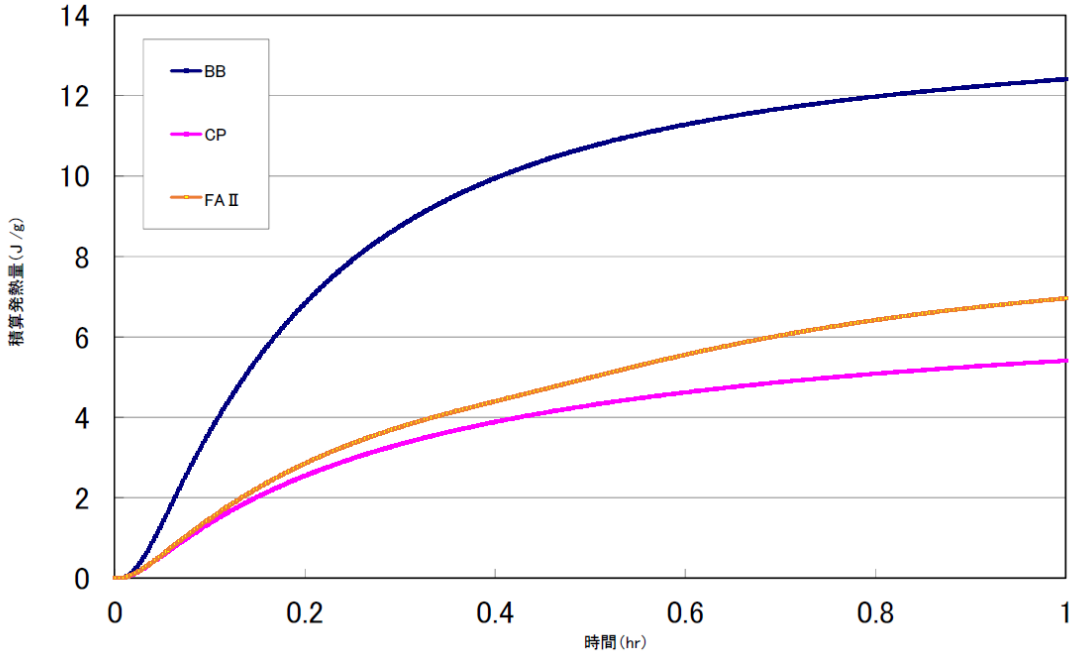


図４－２１　積算発熱量（その１）

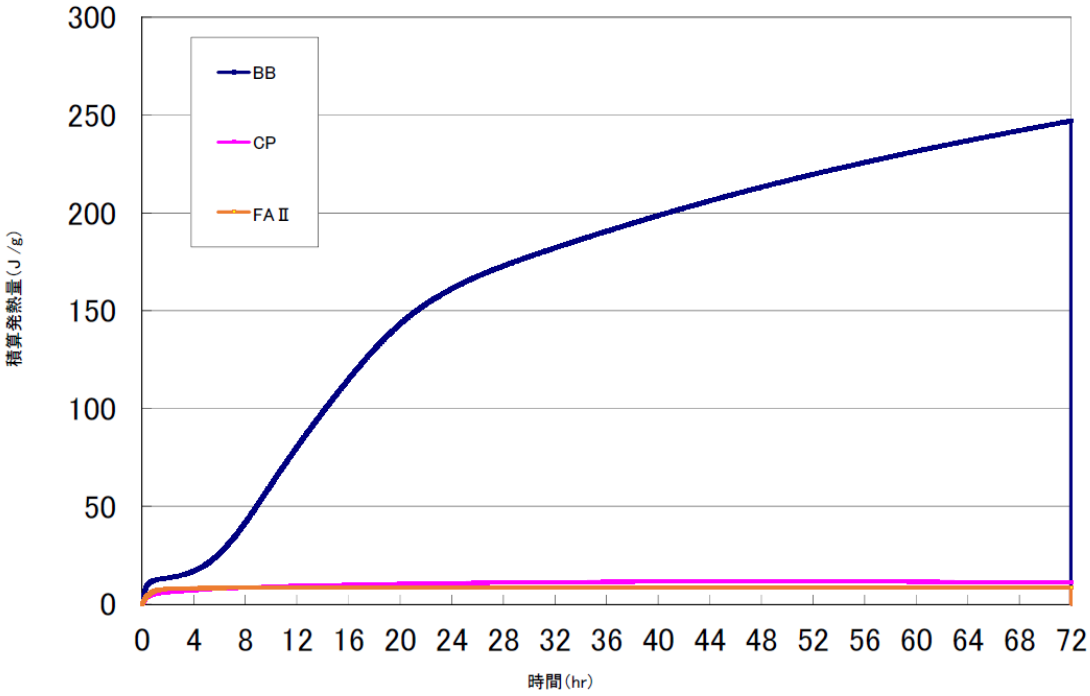


図４－２２　積算発熱量（その２）

セメントの水和熱とは所定の材齢までに発生した熱量の総和をいい，瞬間の発熱量は小さくても，発熱期間が長くなると相当量の水和熱が蓄積される．

図４－２３[13)]は，コンクリート塊を加熱して再生骨材を製造する加熱すりもみ法（全体加熱法）と，加熱せずに再生骨材を製造する機械すりもみ法（スクリュー磨砕法）で得られた微粉の積算発熱量で，普通ポルトランドセメント（OPT）も併記している．

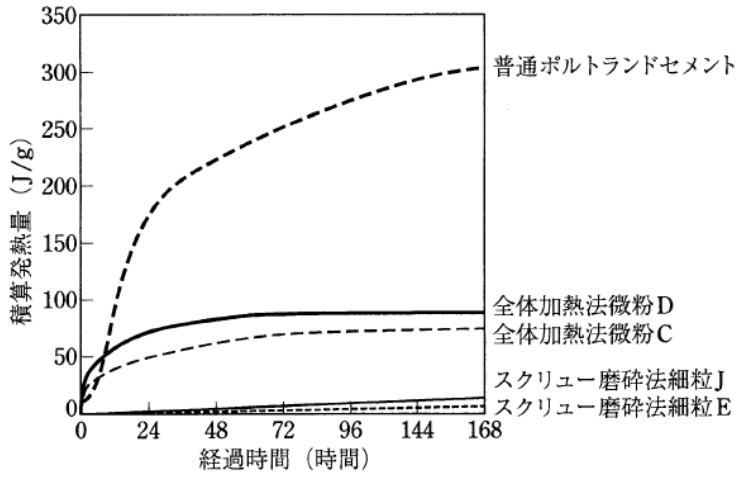


図４－２３　微粉の積算発熱量[13)]

比較対象となるセメントの種類が違うが，材齢 72 時間における積算発熱量は BB，OPT とも 250 J/g となっている．**図４－２３**において，コンクリート塊を加熱して得た微粉 C，D の積算発熱量は OPT の約 30 %であり，一方，コンクリート塊を加熱しないで得た微粉 E，J のそれは OPT の約 3 %となっている．

これに対し本件の CP は BB の積算発熱量の約 4 %で，既往の研究の約 1/8 となっており，加熱しないで得た微粉とほぼ同じ値を示した．

以上のことから，本件 CP はセメントに比べると活性が低いが，発熱反応があることが確認された．

４．３　配合試験

４．３．１　はじめに

本項では，骨材再生処理に伴い発生する CP の泥土改質材としての適用性を評価するための配合試験について述べる．

４．３．２　試験の項目と目的

泥土改質における一般的な配合試験は，要求基準を満たすための固化材の種類と添加量を決定することである．しかし，本件においては，CP の固化材としての適用性を評価することにあるため，CP が泥土の改質性能を有するかどうかを判定した．具体的には**表４－１１**に示すように，原泥を「建設汚泥処理土利用技術基準」（平成 18 年 06 月，国土交通省）における土の品質区分（判定指標はコーン指数）に改質できるかを確認した．なお，地盤材料としての品質区分と強度との関係を把握するために一軸圧縮強さを確認するとともに，改質後の変状有無を確認するため再泥化・軟化の観察を行った．また，環境安全性についても確認した．試験項目と目的を**表４－１２**に示す．

表４－１１　建設汚泥処理土の土質材料としての品質区分と品質基準値[14)]

基準値 / 区分	コーン指数 q_c（kN/m²）	備　　考
第１種処理土	—	固結強度が高く礫，砂状を呈するもの
第２種処理土	800 以上	
第３種処理土	400 以上	
第４種処理土	200 以上	

表４－１２　配合試験の試験項目と目的

試験項目	目　　的	摘　　要
コーン指数試験	改質土の品質区分 ⇒材料特性（改質土の適用用途）	建設汚泥処理土利用技術基準 JIS A 1228 に準拠
一軸圧縮試験	改質土の強度 ⇒強度特性	供試体作製；JCAS L-01:2006 注) 圧縮試験；JIS A 1226
再泥化・軟化試験	処理土の性状変化 ⇒水浸・吸水による変化	
環境安全性	生活環境，土壌汚染 ⇒人体及び環境への影響有無	溶出量；JLT-46 含有量；JLT-19

注）セメント系固化材による改良体の強さ試験方法，（一社）セメント協会，2006.03

４．３．３　使用材料

（１）改質対象土

改質対象土は**４．１．２**で述べた浚渫土で，配合試験には 4.75 mm ふるい通過試料を用いた．

（２）固化材

固化材は，加熱すりもみ方式で再生骨材Ｈを製造する過程で副次的に発生する CP を集塵機で集めたもので，原コンクリートは石灰石骨材を主体とした戻りコンクリートである．

なお，物理・化学試験の結果，原泥は高液性限界の粘性土{CH}で，強熱減量 ig.loss が 9.3 %と改良効果に影響する（CP による改質効果が認められないのは，CP に改質性能がないからではなく，原泥に改質効果を阻害する要因がある）ことが懸念されることから，比較対象として高炉セメント B 種を使用した配合試験も行った．

（３）高吸水性樹脂注１)

高吸水性樹脂は，多量の水分を吸水してゲル化し，その吸水した水分を保持する性能を有するもので，泥土の流動性を低下してハンドリング性を向上させることと，泥土を粒状にする機能がある．高吸水性樹脂自体には固化能力や強度発現作用はないが，スラリー状の泥土を粒状に改質することで，見かけ上強度を発揮する．

本件では，過去の実績に基づき，珪石（SiO_2）の微粉末を主成分とし，ポリアクリルアミド注２)と Al_2O_3 などから構成されているエコハード B S-1T（チヨダウーテ社製）を使用し，原泥 1 m^3 当たり 10 kg 添加した．

注１）泥土改質に用いられる高分子について「高分子凝集剤」と呼んでいる文献やカタ

ログがある．これは高吸水性樹脂と高分子凝集剤とが主成分（ポリアクリルアミド）が同じで，反応機構が類似していることから混同されている．しかし，凝集剤とは本来「水質汚濁の原因となっている懸濁物質と水を効率よく分離するための物質」を指す．一方，泥土改質で使用する高分子剤は，紙おむつ等に使用されているものと同じく，「多量の水分を吸水してゲル化し，その吸水した水分を保持する物質」であり，本来，高吸水性樹脂（SAP：Super Absorbent Polymer），高吸水性高分子，高吸水性ポリマーと呼ぶべきものであることから，本研究開発においてはSAPの一般的和訳である「高吸水性樹脂」の名称を用いる．

注２）アクリルアミド（C_3H_5NO）には分子が一つのもの（モノマー；(C_3H_5NO)）と２個以上がくっついたもの（ポリマー；$(C_3H_5NO)_n$）とがあり，健康への影響が問題となるのはアクリルアミドのモノマーといわれている（http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/acryl_amide/a_kiso/about.html）

４．３．４　試験フロー

配合試験の要因と水準を**表４－１３**に，試験の流れを**図４－２４**及び**４－２５**にそれぞれ示す．

表４－１３　配合試験の要因と水準

試験の種類	要因（因子）	水　準	摘　　要
固化材適性判定試験	原泥種類	1	寒風沢浚渫土
	原泥含水比	1	自然含水比
	固化材種類	1	戻りコンを原コンとし，加熱すりもみ方式で得た微粉末（CP）
	固化材添加量	5	100，200，300，400，500kg/m^3(g/ℓ)
	高吸水性樹脂種類	1	S-1T
	高吸水性樹脂添加量	1	10kg/m^3(g/ℓ)
	材齢	3	3，7，28日
原泥固化特性確認試験	原泥種類	1	寒風沢浚渫土
	原泥含水比	1	自然含水比
	固化材種類	1	高炉セメントB種（BB）
	固化材添加量	3	100，150，200kg/m^3(g/ℓ)
	高吸水性樹脂種類	1	S-1T
	高吸水性樹脂添加量	1	10kg/m^3(g/ℓ)
	材齢	3	3，7，28日

本研究は，CPが建設汚泥等の泥土を土質材料として再生利用できる性状に改質できるかどうかを評価することが目的であることから，都市再生機構の基準[15)]や国交省の指針[16)]に適合する材料特性（盛土材料としての品質特性）を有するかを確認した．

配合試験は，CPの固化材の適性判定試験と，原泥の固化特性確認試験の２段階で行った．

固化材適性判定試験は，固化材添加量と改質土の品質区分との関係を把握するために行った．原泥固化特性確認試験は，CPによる改質効果が認められなかった場合に，固化材に起因するものなのか，原泥に起因するものなのかを判断するために実施したものであ

る．いずれも建設汚泥処理土技術基準に基づき，コーン指数試験で判定した．

一般に，現場で改質した泥土を利活用する場合，改質したものを一時仮置きし，使用時に仮置状態の改質土を掘削（解きほぐし）して使用場所に運搬・転圧・締固めすることから，配合試験もその状況を考慮した条件で行った．

一方，CP による泥土改質効果を評価するに際し，水和反応によるものか否かの判断材料の一つとして，材齢と強度の関係を調べた．この場合，改質の原理が水和反応による化学反応だとすれば，固化したものを解きほぐして再度転圧したものは水和生成物の結合構造が壊れるなどして強度が低下する[17)]ことから，一軸圧縮試験用の供試体は，練り混ぜ後固化が始まる前（混合してから概ね 1 時間以内）に作製し，試験に供するまで恒温恒湿室（20±3 ℃，≧95 %RH）で養生した．

また，改質効果とその後の変状を評価するため，岩石のスレーキング試験（JGS 2124）におけるスレーキング区分[18)]や，佐藤らが提唱した再泥化区分[19)]を参考に，一軸圧縮試験用に作製した供試体を用いて再泥化判定を行った．

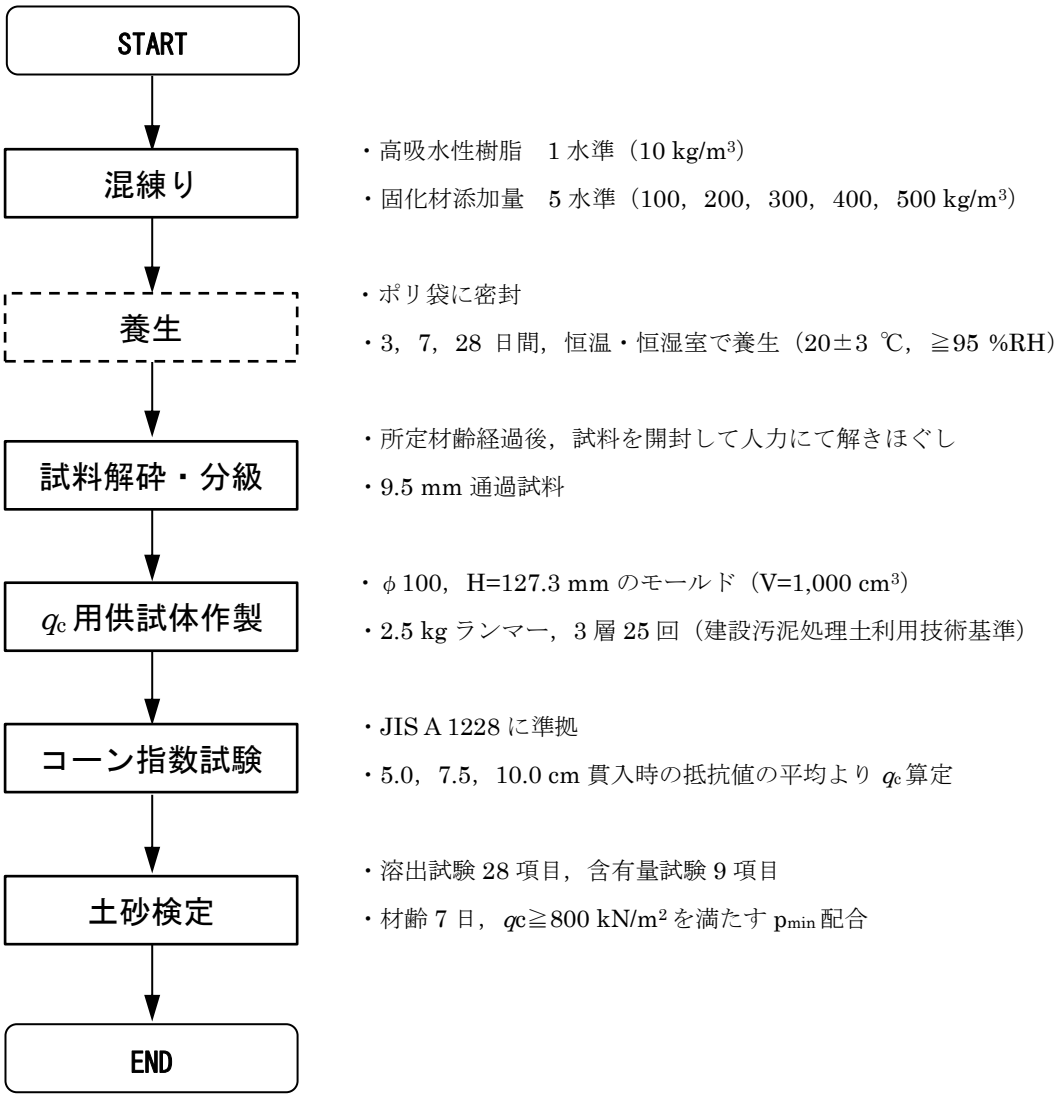
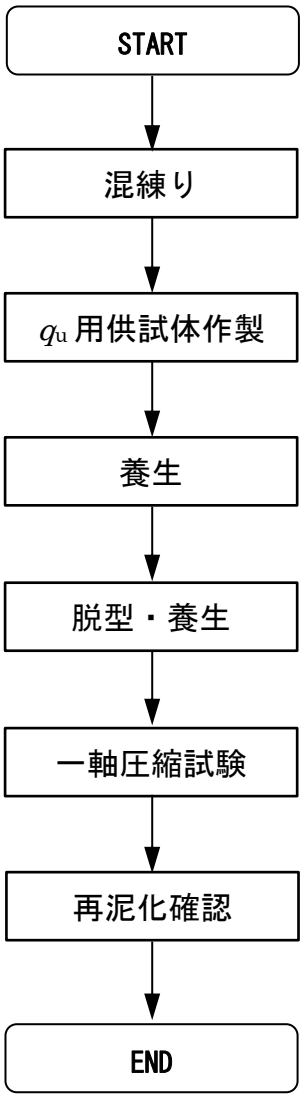


図４－２４　配合試験の流れ（その１）

（品質区分判定；コーン指数試験）



・高吸水性樹脂　1 水準（10 kg/m^3）
・固化材添加量　5 水準（100，200，300，400，500 kg/m^3）

・φ50，H=100 mm のモールド（V≒200 cm^3）
・1.5 kg ランマー，3 層 12 回（JCAS L-01:2006），N=4P 注）

・供試体上面をラッピング
・試験前日まで恒温・恒湿室で養生（20±3 ℃，≧95 %RH）

・試験前日に脱型して全体をラッピング
・試験当日まで恒温・恒湿室で養生（20±3 ℃，≧95 %RH）

・JIS A 1226 に準拠

・圧縮試験に供さなかった供試体をビーカーに入れて浸漬
・24 時間後に供試体形状を観察

注）作製した 4 本の供試体のうち，3 本は一軸圧縮試験，1 本は再泥化試験に使用

図４－２５　配合試験の流れ（その２）
（強度確認；一軸圧縮試験）

４．３．５　試験方法

（１）試料の作製

練り混ぜには 1 回の練上がり量（混練バッチが異なることによる改質土の性状のバラツキを回避）と，実機[20)]を考慮し，**写真４－９**に示す配合試験用に作製した専用撹拌機を使用した.

写真４－９　電動ドリルを改良した専用撹拌機

最初に原泥に S-T1（高吸水性樹脂）を添加し，専用撹拌機で 1 分程度撹拌した．混合撹拌時間の目安は実機での処理に合わせ，S-T1 が原泥の水分を吸水し，団粒状になる程度とした.

次に CP を所定量添加し，専用撹拌機で撹拌した．混合撹拌時間の目安は 5～10 分とし，改質土中に粉体が確認されない程度とした．混練り完了後改質土をポリ袋に入れて，含水比が変化しないように密封した.

改質土はポリ袋に入れた状態で所定材齢（3，7，28 日）まで 20±3 ℃，相対湿度 95 %以上の環境下で養生した.

（２）コーン指数試験

所定材齢経過後，ポリ袋から改質土を取り出し，試料を解きほぐして 9.5 mm ふるい通過分をバットに集積した．供試体の作製，測定及びコーン指数の計算は**表４－１４**に示すように，「建設汚泥処理土利用技術基準」に基づいて実施した.

表４－１４　建設汚泥処理土のコーン指数の試験方法[13)]

供試体の作製	試料	試料土を一旦解きほぐし，9.5 mm ふるいを通過させたもの
	モールド	内径 100±0.4 mm，容量 1,000±12 cm^3
	ランマー	質量 2.5±0.01 kg
	突固め	3 層に分けて突き固める．各層ごとに 30±0.15 cm の高さから 25 回突き固める
測定	コーンペネトロメーター	底面の断面積 3.24 cm^2，先端角度 30 度のもの
	貫入速度	約 1 cm/sec
	方法	モールドをつけたまま，鉛直にコーンの先端を供試体上端部から 5 cm，7.5 cm，10 cm 貫入した時の貫入抵抗力を求める
計算	貫入抵抗力	貫入量 5 cm，7.5cm，10cm に対する貫入抵抗力を平均して，平均貫入力を求める
	コーン指数（q_c）	平均貫入抵抗量をコーン先端の底面積 3.24 cm^2 で除す

（３）一軸圧縮試験

供試体は，セメント協会標準試験方法「JCAS L-01:2006，セメント系固化材による改良体の強さ試験方法」に基づいて作製した．供試体は 1 条件当り 4 本（一軸圧縮試験用：4 本，再泥化確認用：1 本）作製した．

モールドは内径 50 mm，高さ 100 mm（容量 200 cm^3）のサミットモールドを使用し，1.5 kg ランマーを使用して落下高 20 cm，各層 12 回，3 層に分けて突き固めた．

供試体作製後上面をポリフィルムでラッピングし，表面を被覆した供試体を 20±3 ℃，相対湿度 95 %以上の環境下で，試験前日まで養生した．

供試体は一軸圧縮試験の前日に脱型し，脱型後はポリフィルム等でラッピングして試験当日まで 20±3 ℃，相対湿度 95 %以上の環境下で養生した．

一軸圧縮試験は JIS A 1216 に準拠して行った．

（４）再泥化・軟化試験

改質土の再泥化・軟化確認試験は岩石のスレーキング試験（JGS 2124）に準じて行った．

供試体をビーカーに入れ，水道水を注いで供試体を浸漬させ，水浸 24 時間経過後の状況を観察した．

再泥化・軟化の判定は，**表４－１５**に示すスレーキング区分[18)]及び**表４－１６**に示す再泥化区分[19)]を参考として行った．

表４－１５　岩石のスレーキング区分[18)]

区分	0	1	2	3	4
A					
	変化なし。	割れ目が少しできるが供試体の原形を保っている。	全体に割れ目が多数でき，幾つかの岩片にわかれる。供試体の原形はおおむね判別できる。	全体が細粒化し，供試体の原形は判別できない。泥状化の進行は顕著でない。	全体が泥状化。
B					
	変化なし。	割れ目が少しできるか，周辺が少し崩れる。供試体の原形を保っている。	周辺がかなり崩れ，供試体の原形は判別が難しい。	周辺がほとんど崩れ，粒子の分離が顕著。供試体の原形はほとんど判別できない。	全体が砂状化。

A：泥岩・凝灰岩（細粒）によくみられるタイプ　　B：シルト岩・砂岩・凝灰岩（粗粒）によくみられるタイプ

表４－１６　再生半水石膏地盤改良土の再泥化区分[19)]

区分	1	2	3	4	5	6
形状						
状態	変化なし	角が崩れる程度	周囲のひび割れが顕著	再泥化開始	半分が再泥化	完全に再泥化

（５）環境安全性試験

セメント及びセメント系固化材を使用した改良土の六価クロム溶出試験要領（案）（2001.04.20, 国土交通省）に準じ，材齢 7 日で第 2 種処理土の品質区分（qc≧800 kN/m^2）を満たす最小添加量の配合の一軸圧縮試験供試体の残渣物を用いて，建設汚泥処理土利用技術基準に基づき，生活環境保全上の基準として環境基本法に基づく土壌環境基準（溶出量基準）と，土壌汚染対策法に基づく特定有害物質の含有量基準を分析した．溶出量の測定は環境庁告示第 46 号（JLT-46）に，含有量の測定は環境省告示第 19 号（JLT-19）に，それぞれ定められた方法で行った．

４．４　試験結果と考察

４．４．１　コーン指数試験

（１）ＣＰ添加量，材齢と改質土のコーン指数の関係

図４－２６は CP の添加量と改質土のコーン指数の関係を示す．

CP の添加量の増加に伴いコーン指数 q_c も増加することが確認された．添加量が p=300 kg/m³ までは q_c の材齢の違いによる差はほとんどないが，p=300 kg/m³ を超えると q_c の増加率が大きくなり，材齢が経過するにつれて顕著となった．また，p=400kg/m³ 以上の場合，材齢 3 日で第 2 種処理土（q_c≧800 kN/m²）の品質区分を満足することが確認された．

CP の添加量増加に伴って q_c が増加した理由として，solid 分増加に伴う含水比低下（CP 添加量の増加に伴い最適含水比に漸近）や，CP の水和反応が考えられる．

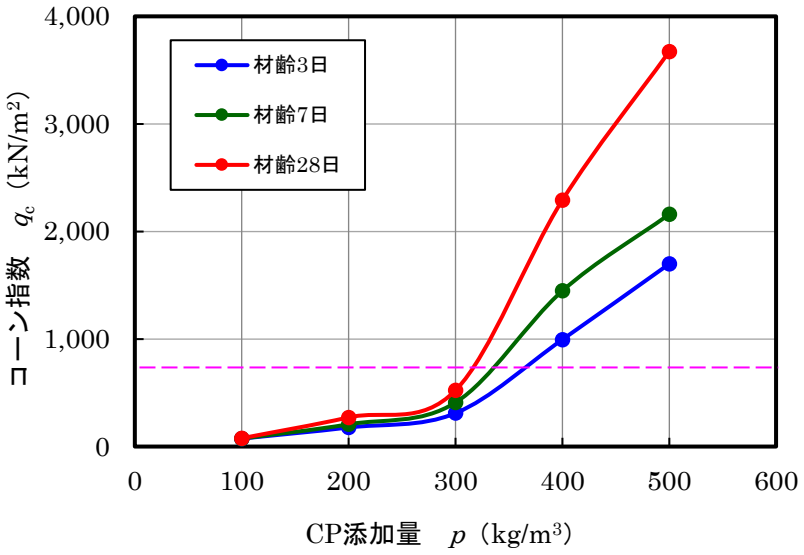


図４－２６　ＣＰ添加量とコーン指数の関係

図４－２７は改質土の材齢とコーン指数の関係を示す．

添加量が p≧200 kg/m³ の場合，材齢とともに q_c が増加し，添加量が多くなるにつれて q_c の伸び率が大きくなっている．この結果より，q_c の増加は時間的要素が関係しており，水和反応であることが示唆される．

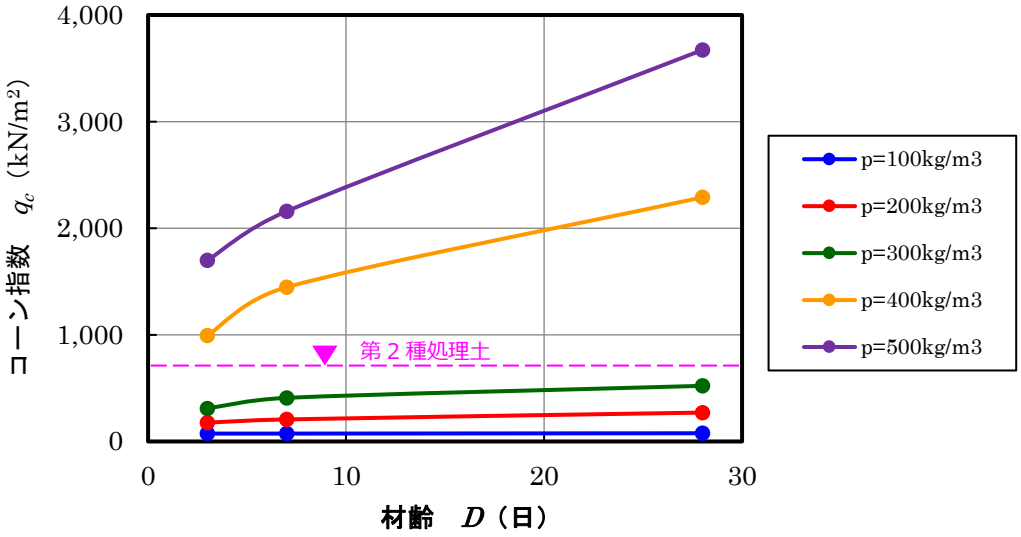


図４－２７　材齢とコーン指数の関係

（２）ＣＰ添加量と改質土の含水比，密度の関係

図４－２８はコーン指数試験に用いた供試体の CP 添加量と含水比の関係を示す．原泥の自然含水比は w_n=114.0 %[注)]，CP の自然含水比は w_n=0.3 %であることから，CP の添加量が増えるに従って相対的に solid 分が増加するため，改質土の含水比が低下するのは自明のことである．図中には含水比の理論値（計算値）も併記したが，いずれの条件の供試体もほぼ対応しており，供試体の養生方法に特段問題はなかったと判断される．

注）原泥の物理試験実施時には w_n=112.5 %だったが，配合試験実施前に再測した結果記載のとおりであったため，以降の計算では自然含水比として w_n=114.0 %を用いる．

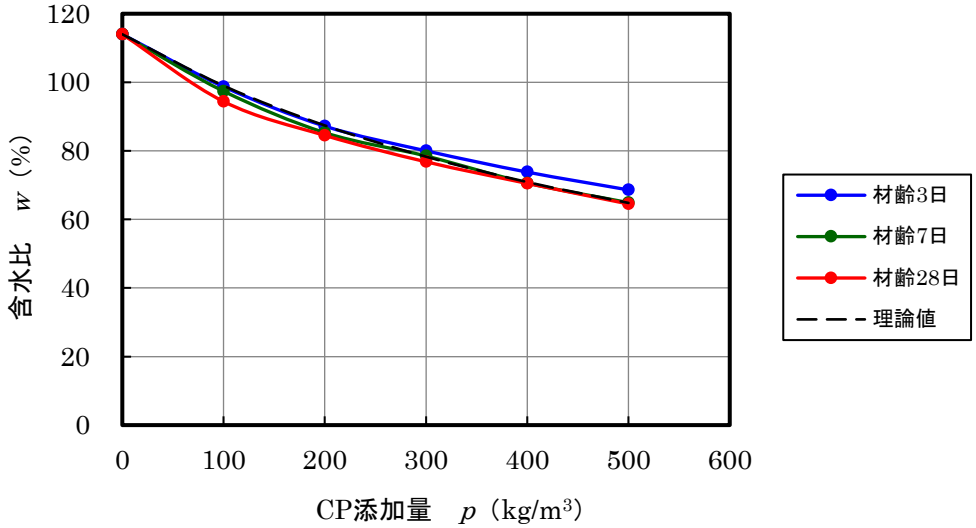


図４－２８　ＣＰ添加量と改質土の含水比の関係（コーン貫入試験）

図４－２９はコーン指数試験に用いた供試体の材齢と含水比の関係を示す．

いずれの添加量においても含水比は材齢の経過に伴って低下している．コーン指数試験用供試体は，混練り後養生期間をおいて作製しているため，養生期間中における自由水（間隙水）の蒸発や結晶水化等により，供試体作成時の含水比は混練り直後の含水比より低下していることが考えられる．

図４－２９　材齢と改質土含水比の関係（コーン貫入試験）

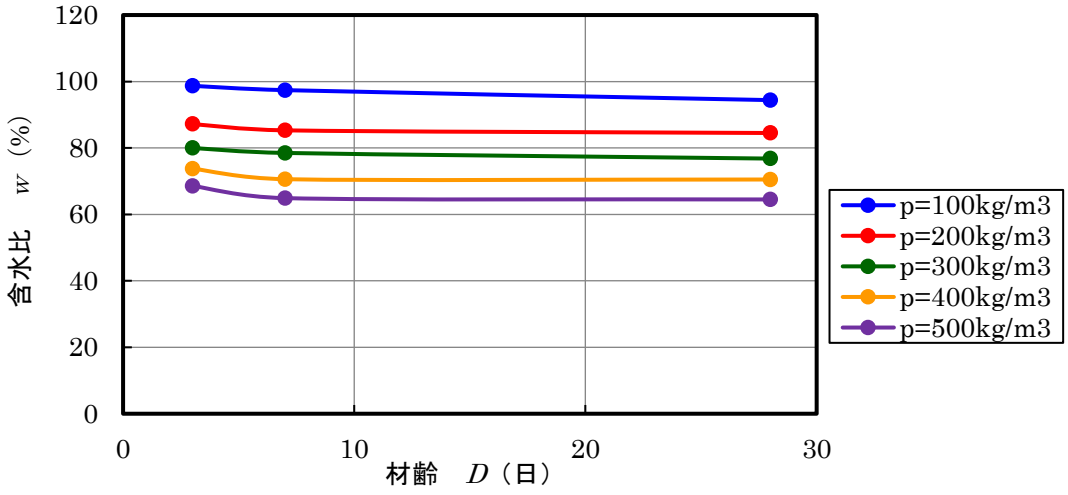
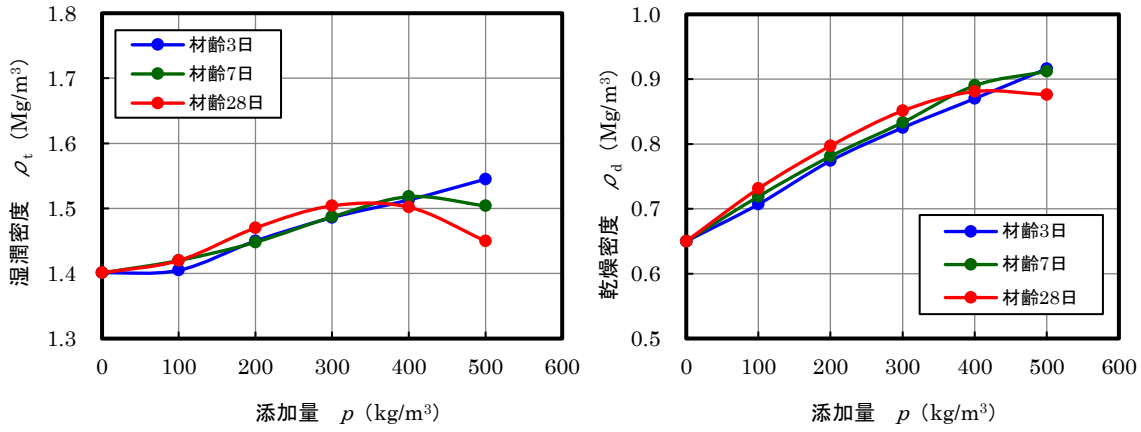


表４－１７及び図４－３０はCP添加量と改質土の密度の関係を示す．

表４－１７　ＣＰ添加量と改質土の密度の関係（コーン貫入試験）

固化材	添加量 kg/m^3	材齢 日	q_c kN/m^2	ρ_t Mg/m^3	ρ_d Mg/m^3	w(実測値) %	w(理論値) %	
CP	100	3	74	1.405	0.707	98.7	99.0	100-3
		7	74	1.420	0.719	97.4		100-7
		28	77	1.420	0.731	94.4		100-28
	200	3	177	1.450	0.774	87.2	87.4	200-3
		7	207	1.448	0.781	85.3		200-7
		28	271	1.470	0.797	84.5		200-28
	300	3	310	1.486	0.825	80.0	78.3	300-3
		7	409	1.487	0.833	78.5		300-7
		28	522	1.504	0.851	76.8		300-28
	400	3	994	1.513	0.870	73.8	70.9	400-3
		7	1,447	1.518	0.890	70.6		400-7
		28	2,290	1.502	0.881	70.5		400-28
	500	3	1,698	1.545	0.916	68.6	64.8	500-3
		7	2,159	1.504	0.912	64.9		500-7
		28	3,672	1.450	0.876	64.5		500-28



（ａ）湿潤密度　　（ｂ）乾燥密度

図４－３０　添加量と改質土の密度の関係（コーン貫入試験）

材齢によってばらつきが生じているが，CP 添加量の増加に伴って湿潤密度・乾燥密度とも増加していることがわかる．CP の添加量が増えるに従い，原泥の初期含水比から改質土の最適含水比（CP 添加量によって異なると考えられる）に近付く過程で乾燥密度は増加するが，含水比が最適含水比を下回ると乾燥密度は低下することから，CP 添加量が p=500 kg/m³ 程度になると含水比が最適含水比を下回っていることが想定されるが，添加量が増加して乾燥密度が低下したのは**図４－３０（ｂ）**に示すように材齢 28 日のみで確認された．
配合試験に先立って確認した原泥と CP の物性値は**表４－１８**に示すとおりであり，また，原泥及び CP の物性値を踏まえ，土の状態を表す基本量の算定式に基づいて原泥 1 m³ 及び CP100 kg 当たりの組成は**表４－１９**に，それぞれ示すとおりである．

表４－１８　原泥及びＣＰの基本量

名　称	記　号	単　位	基本量	
			原泥	CP
粉体粒子密度	ρ_s	Mg/m³	2.696	2.440
湿潤密度[注)]	ρ_t	Mg/m³	1.401	0.570
含水比	w	%	114.0	0.3

注）容積が既知の容器に試料を詰め，コンクリート床上で 20 回ジッキング後，容器天端の下がった部分に試料を充填して質量を測定して算出

表４－１９　原泥及びＣＰの組成　　[%]

区　分		solid	water	air	Sum.
原泥	mass	46.8	53.2	0	100
	vol.	24.3	74.6	0.1	100
CP	mass	99.7	0.3	0	100
	vol.	23.3	0.2	76.5	100

表４－１９から，原泥も CP も固相部分を除くと原泥は水が，CP は空気が残りの部分のほとんどを占めることが分かる．

原泥と CP を混練りしたときに空気が全く逃げないとすれば，原泥には自身より小さい密度の粉体が添加されたことになるので改質土の湿潤密度は原泥のそれより小さくなる（改質土の体積は原泥と添加した CP の和となる）．しかし，空気が排除され，CP の湿潤密度が原泥のそれより大きくなると，CP の添加量が増えるほど改質土の湿潤密度は大きくなる．

図４－３１は以上の両極端，すなわち原泥に CP を添加して混練りしたとき，空気が全く逃げない場合と，空気が完全に排除された場合の CP 添加量と湿潤密度の関係を示す．同図と**図４－３０（ａ）**を比べると，CP 中の空気は全てではないが大部分が排除されたことが想定される．

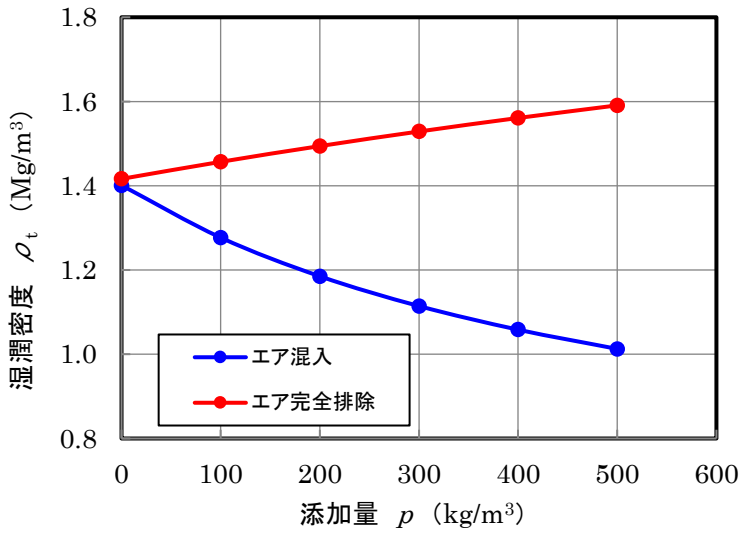


図４－３１　添加量と密度の関係（理論値）

（３）改質土の含水比と密度の関係

改質土に関して，締固め試験として行ったわけではないが，コーン指数試験用に作製した供試体に対して，含水比と密度の関係をプロットすると**図４－３２**が得られる．

同図における締固め曲線は仮定であるが，組成（CP 添加量）が異なる試料でありながら，

含水比と乾燥密度は概ね同一曲線上に載ることが確認された．その中で，CP 添加量 p=500 kg/m^3 の材齢 7 日及び 28 日のみが締固め曲線から離脱しているが，原因は不明である．

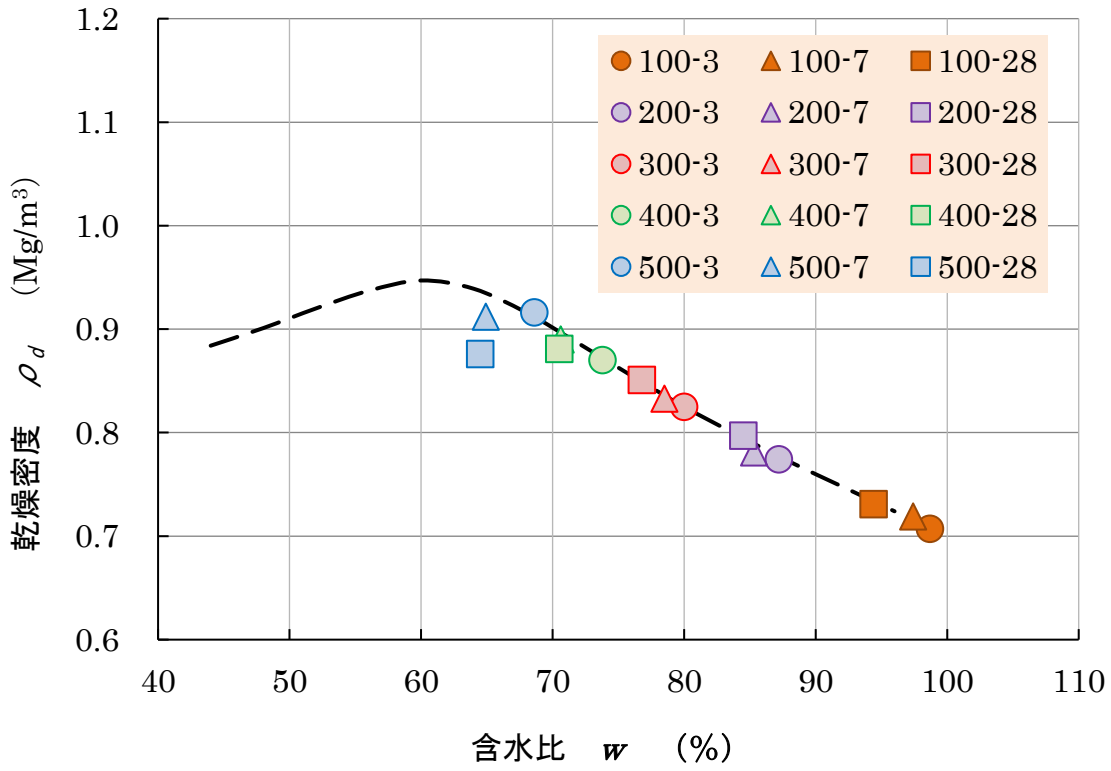
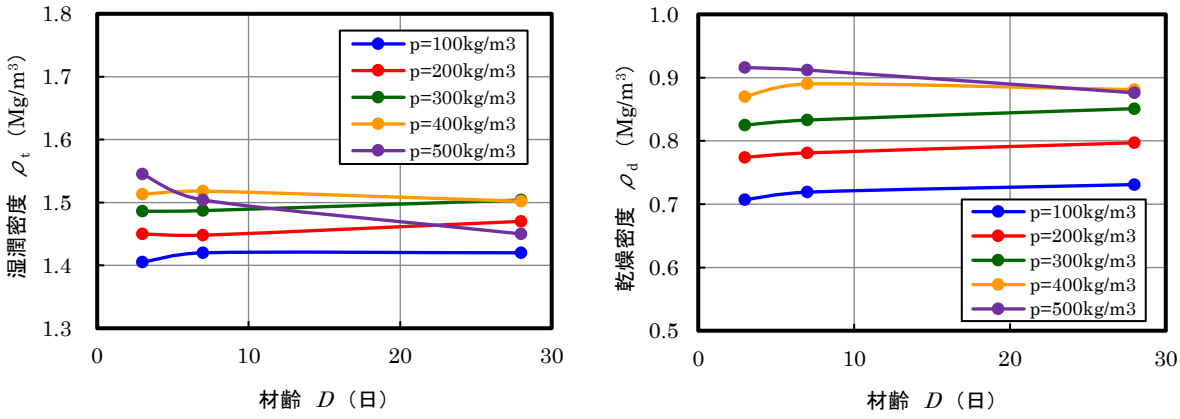


図４－３２　改質土の含水比と密度の関係（コーン貫入試験）

（４）改質土の材齢と密度の関係

図４－３３は改質土の材齢と密度の関係を示す．

p=100～300 kg/m^3 の場合には湿潤密度，乾燥密度とも材齢とともに増加しているが，p=400 及び 500 kg/m^3 の場合には，材齢の経過に伴って湿潤密度，乾燥密度とも減少している．コーン指数試験の供試体は，混練り後養生期間をおいて作製しているため，改質土の密度は養生期間中の自由水（間隙水）の蒸発や結晶水化の影響を受けることが考えられるが，添加量によってその傾向が異なる理由については検討中である．



（ａ）湿潤密度　　（ｂ）乾燥密度

図４－３３　材齢と改質土の密度の関係（コーン貫入試験）

４．４．２　一軸圧縮強度試験

（１）ＣＰ添加量，材齢と改質土の軸圧縮強さの関係

図４－３４は CP の添加量と改質土の一軸圧縮強さの関係を示す．

コーン指数同様，CP 添加量の増加に伴い一軸圧縮強さ q_u も増加することが確認され，添加量が p=300 kg/m³ までに比べ，p=300 kg/m³ を超えた場合の q_u の増加率が大きくなっている．また，p=400 kg/m³ 以上の場合，材齢 3 日で流動化処理土の一般的な要求品質である q_u≧100 kN/m²[22 1)] を満足することが確認された．

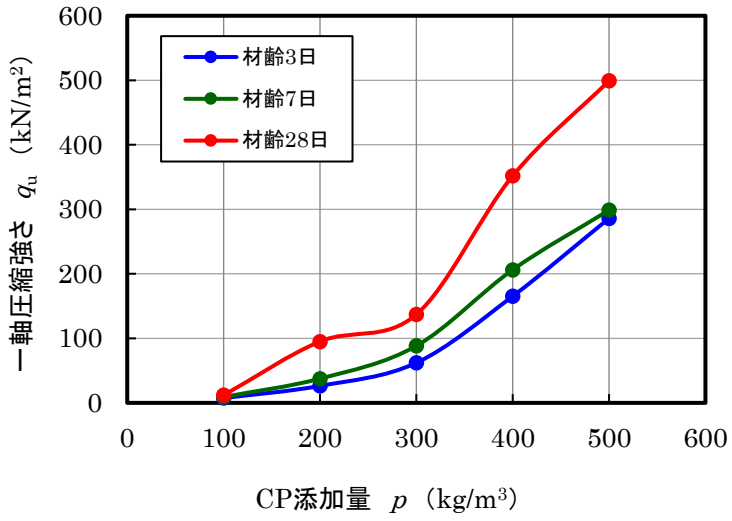


図４－３４　ＣＰ添加量と一軸圧縮強さの関係

図４－３５は改質土の材齢と一軸圧縮強さの関係を示す.

添加量が $p \geqq 200$ kg/m^3 の場合，材齢とともに q_u が増加し，添加量が多くなるにつれて q_u の伸び率が大きくなる傾向が伺える．この結果より，q_u の増加は時間的要素が関係しており，水和反応であることが示唆される.

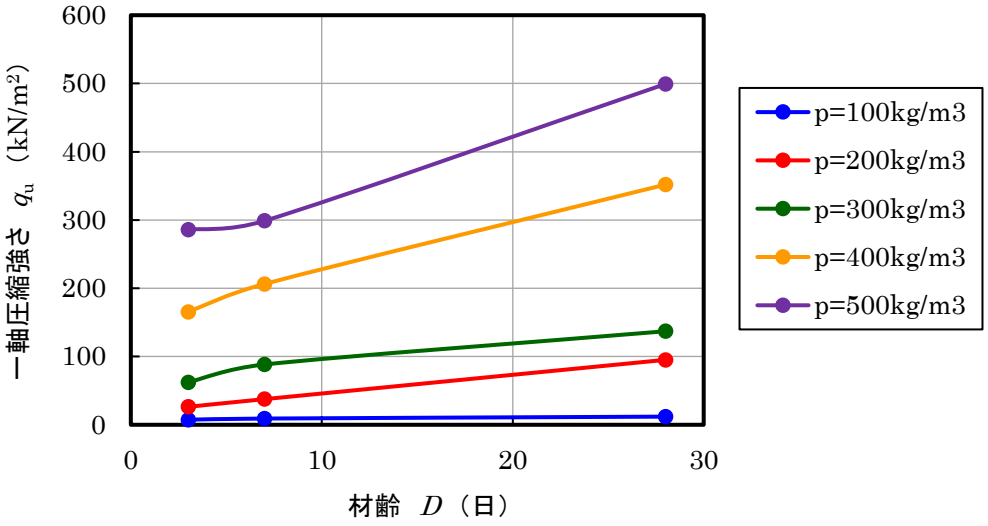


図４－３５　材齢と一軸圧縮強さの関係

（２）ＣＰ添加量と改質土の含水比，密度の関係

図４－３６は一軸圧縮試験に用いた供試体の CP 添加量と含水比の関係を示す.

コーン指数試験同様，CP の添加量の増加に伴い含水比は低下している．また，同図には含水比の理論値も併記しており，概ね対応しているが，材齢 28 日における乖離（理論値との差）がやや目立つ.

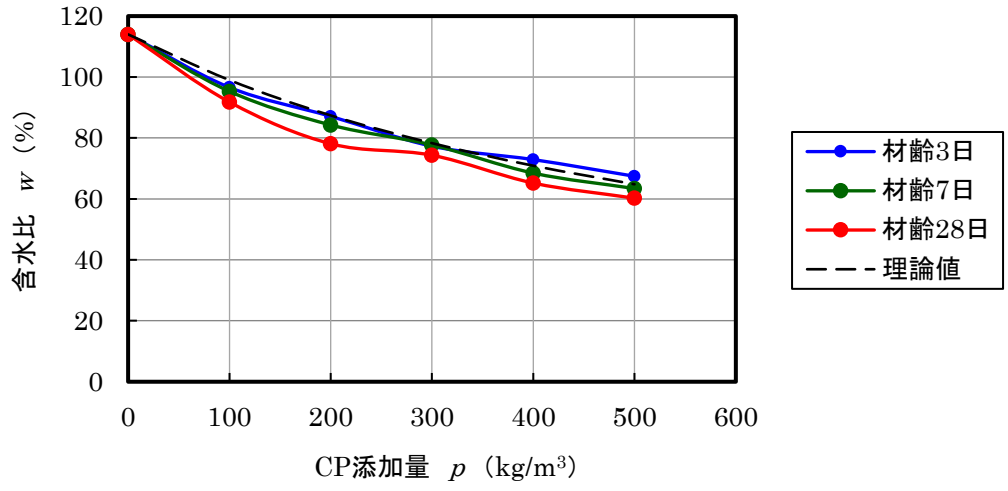


図４－３６　ＣＰ添加量と改質土の含水比の関係（一軸圧縮試験）

図４－３７は一軸圧縮試験に用いた供試体の材齢と含水比の関係を示す．

コーン指数試験同様，いずれの添加量においても含水比は材齢とともに低下しており，その低下要因としては，自由水（間隙水）の蒸発と水和反応による結晶水化が考えられる．なお，同一条件における含水比はコーン指数試験用供試体の方が大きくなっている．一軸圧縮試験用供試体は混練り直後に製作しているため，コーン指数試験用試料と比べて養生期間中における空気との接触面積が小さい（蒸発量が少ない）半面，締固めにより水和反応が促進することなどが考えられるが，特定には至っていない．

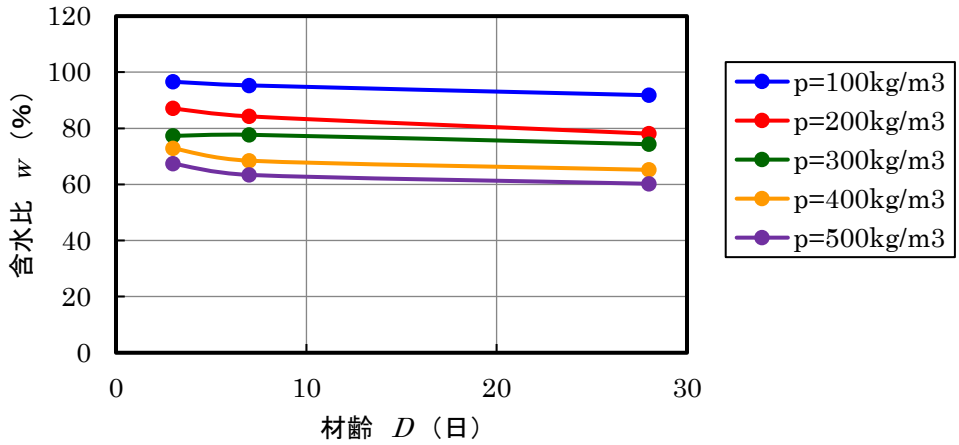
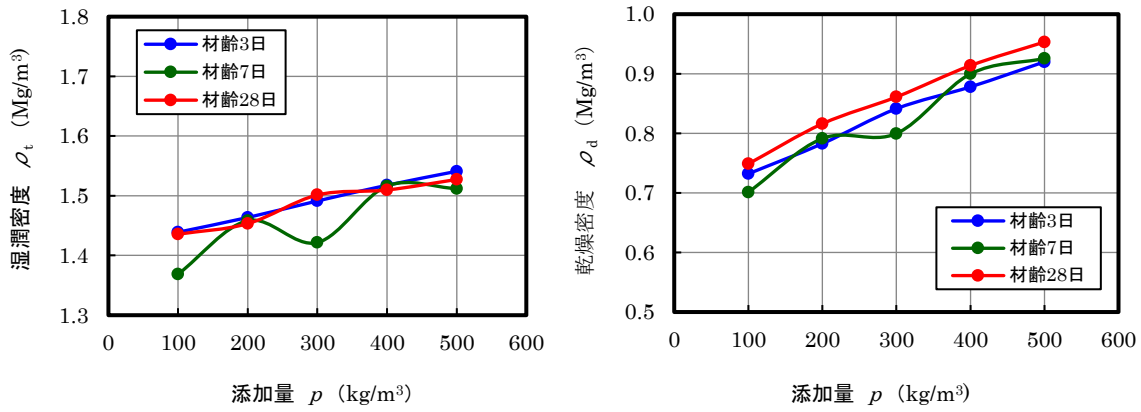


図４－３７　改質土の材齢と含水比の関係（一軸圧縮試験）

図４－３８は CP 添加量と改質土の密度の関係を示す．

材齢 7 日の測定データに一部ばらつきがみられるが，コーン貫入試験供試体同様，CP の添加量の増加に伴い，湿潤密度・乾燥密度とも増加した．CP を添加することで含水比が低下し，最適含水比に近付いたことにより乾燥密度が増加したと考えられる．なお，p=300 kg/m^3 の材齢 7 日の乾燥密度が落ち込んでいるが，**図４－３４**に示すように，一軸圧縮強度は落ち込みが見受けられないことから，一軸圧縮強さは締固め（密度増加）効果だけではないことが伺える．



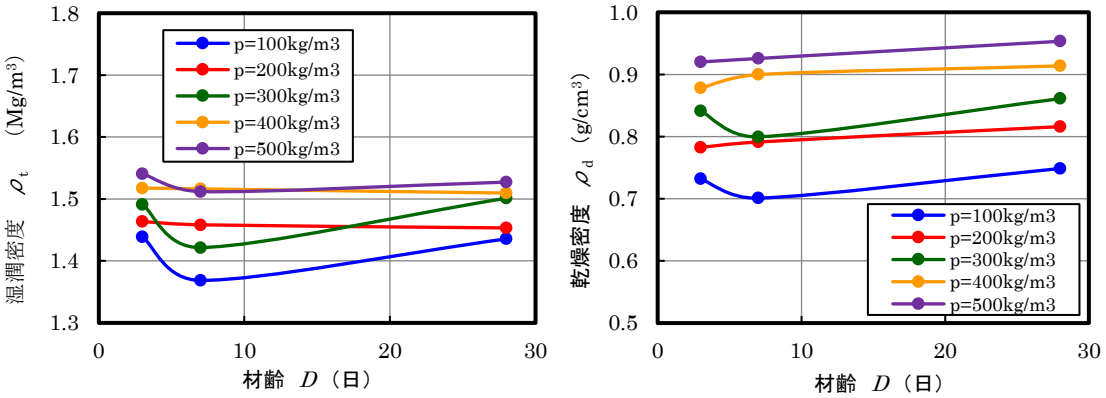
（ａ）湿潤密度　　（ｂ）乾燥密度

図４－３８　添加量と改質土の密度の関係（一軸圧縮試験）

（３）材齢と改質土の密度の関係

図４－３９は改質土の材齢と密度の関係を示す．

湿潤密度，乾燥密度とも，p=100 と 300 kg/m³，p=200 と 400 kg/m³ がそれぞれ類似した関係を示している．また，図４－３３に示すように，コーン指数供試体の場合は p≦300 kg/m³ の場合は材齢とともに密度が増加し，p≦400 kg/m³ の場合には，材齢の経過に伴って密度が減少したが，一軸圧縮試験供試体に関しては，p=100 と 300 kg/m³ の材齢 7 日以外はいずれの条件でも密度は材齢とともに増加している．



（ａ）湿潤密度

（ｂ）乾燥密度

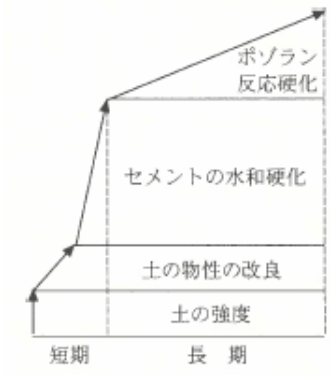
図４－３９　材齢と改質土の密度の関係（一軸圧縮試験）

４．４．３　ＣＰによる水和生成物

（１）はじめに

コンクリートはセメントペーストと骨材の複合材料であり，セメントペーストはセメントが水と化学反応を生じることで生成された水和物が，物理化学的，機械的に連結することで強度を発現するとされている[22)]．ポルトランドセメントの水和生成物には，ケイ酸カルシウム水和物（$nCaO \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; C-S-H），ポルトランダイト（水酸化カルシウム，$Ca(OH)_2$; CH），エトリンガイト（$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$; AF_t），モノサルフェート（$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$; AF_m）などがあり，これらの水和物の水素結合や分子間力によりセメントの強度が得られているものと考えられているが，未だにその詳細は明らかにされていない[23)]　．

一方，セメント及びセメント系固化材（以下，セメント等と呼ぶ.）による土の改質効果は，**図４－４０**に示すように



①土自体の強度
②土の物性の改良
③セメントの水和反応
④ポゾラン反応

図４－４０　改良土の強度発現モデル[3)]

の４つの要素による作用と考えられている[3)].

セメント等による土質改良において，高含水比泥土の場合①の土自体の強度はほとんど期待できないが，セメント等の粉体を混合することで吸水作用により含水比が低下するとともに，イオン交換反応によって凝集・団粒化し，粒子間距離が小さくなり土の流動性が低下して②の効果が得られる．しかし，地盤材料として利用するためにはある程度の強度が必要であり，そのためには③の水和反応を期待することになる．ポルトランドセメントの場合，水和反応は**図４－４１**[24)]に示すような概念とされており，改良材としてバージン材のセメント等ではなく，CP を用いる場合，再水和がどの程度期待できるかが改質効果に大きく影響すると考えられる．

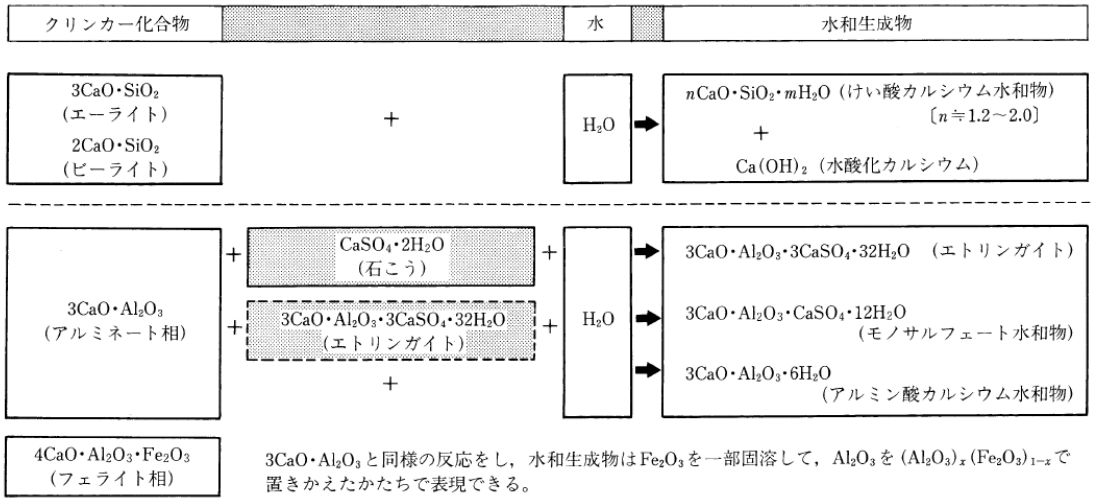


図４－４１　改良土の強度発現モデル[24)]

コンクリート中のセメントは全てが水和反応するわけではなく，中には未水和のセメント粒子が残存していること，また，水和したセメント粒子も表面の殻を剥ぐと再水和するといわれているが，再水和のメカニズムは水和反応以上に未解明なことが多い．今回，コンクリート塊から再生骨材を製造する際に副次的に得られる CP に再水和機能が備えられていることを期待して，土質改良材としての適用性評価に取り組み，その結果，コーン指数，一軸圧縮強さとも，高含水比泥土を地盤材料として使用することができる一定基準を満足することが確認された．

しかし，コーン指数試験及び一軸圧縮試験から，$p \leqq 300$ kg/m^3 と $p \geqq 400$ kg/m^3 とで改質土の特性に明らかな違いが認められた．そこで，その原因を探るべく，電子プローブマイクロアナライザー（Electron Probe Micro Analyzer；EPMA）[注)] を用いて改質土中の水和化合物の生成状況を確認した．

分析試料は**写真４－１０**に示すように，p=100 kg/m^3 と p=400 kg/m^3 の 2 種類で，一軸圧縮試験後の供試体残渣物を用いた．

注）走査型電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope；SEM）にエネルギー分散型Ｘ線分析装置（Energy Dispersive X-ray Spectroscopy；EDS または EDX）が付属した分析装置で，試料の表面組織及び形態を観察して物質の構成元素を分析する

（ａ）p=100 kg/m^3　　（ｂ）p=400 kg/m^3

写真４－１０　分析対象改質土の有姿

（2）エトリンガイト

C_3A と C_4AF が石膏（$CaSO_4 \cdot 2H_2O$）と反応して生成されるもので，**写真４－１１**に示すような針状結晶構造[25)]を有することから，特別な技量を要せず比較的判定が容易と判断して．分析対象として選定した．

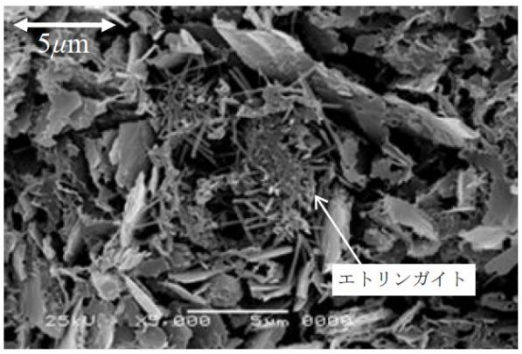
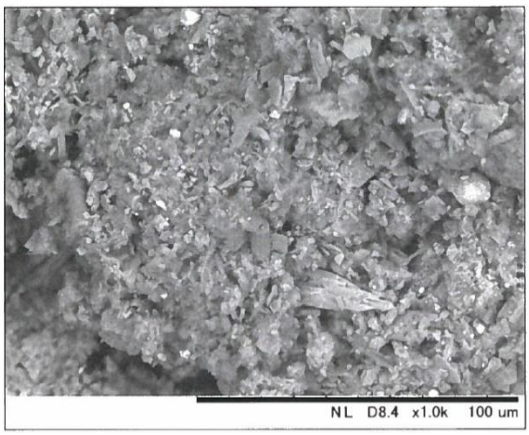
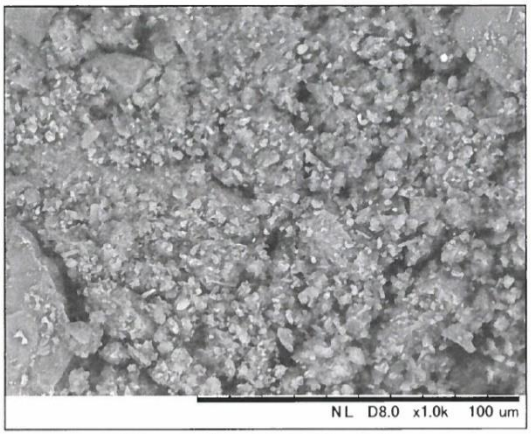


写真４－１１　エトリンガイトの SEM 画像例[25)]

写真４－１２は SEM 観察画像，**図４－４２**は分析スペクトルをぞれぞれ示す．

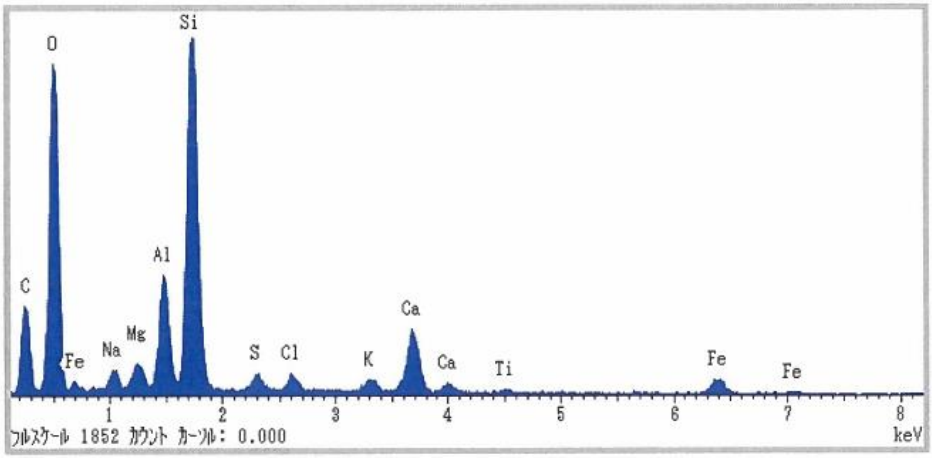


（ａ）p=100 kg/m^3

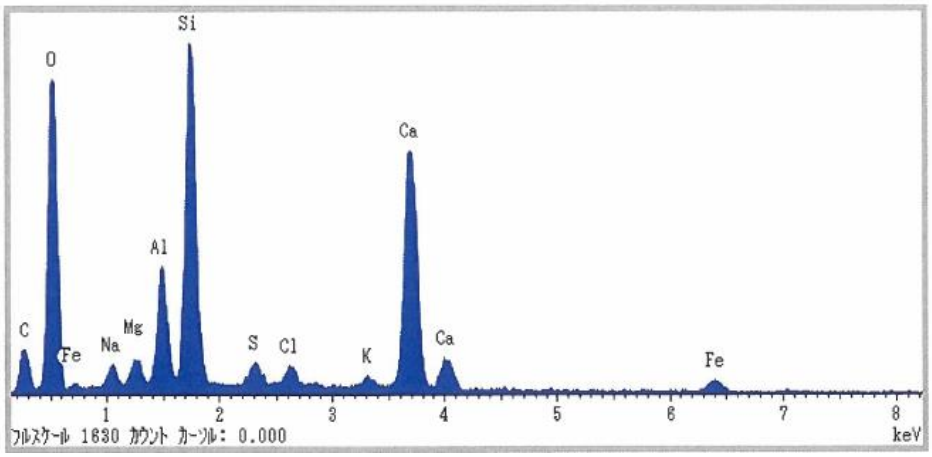


（ｂ）p=400 kg/m^3

写真４－１２　改質土の SEM 画像



（ａ）p=100 kg/m^3



（ｂ）p=400 kg/m^3

図４－４２　改質土のＸ線スペクトル

図４－４２に示すように，X線スペクトルから水和化合物である C-S-H，CH，AF_t，AF_m などの構成元素である Ca，Si，O，Al などが確認できたが，Ca に関して p=400 kg/m^3 の方が p=100 kg/m^3 より多いこと以外は大きな違いは見当たらなかった．また，**写真４－１２**の SEM 画像からは AF_t の明確な針状結晶は確認できなかった．

SEM 画像で AF_t の針状結晶が確認できなかった理由として以下が考えられる．すなわち，AF_t は C_3A 及び C_4AF と石膏が反応して水和反応の初期段階で生成されるが，原コンクリートが水和する過程で石膏が反応して消失してしまったことや，仮に CP 中に石膏が残存していたとしても今回分析に供した試料は混練り後 1 か月以上経過していることから，**図４－４１**及び**４－４３**[26)]に示すように，AF_t が AF_m に転化して消失したことが考えられる．

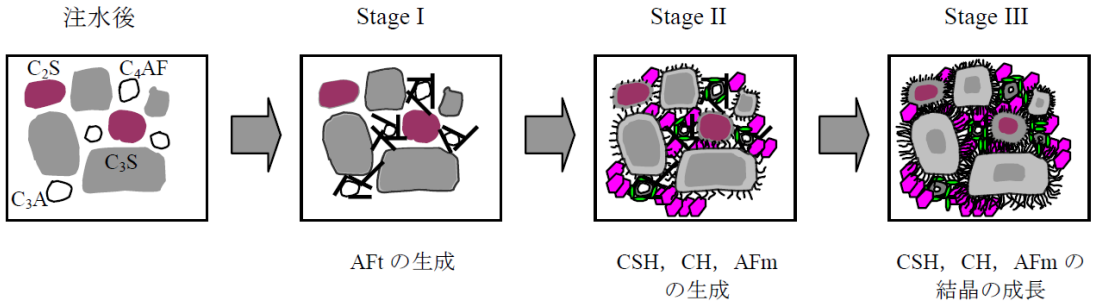
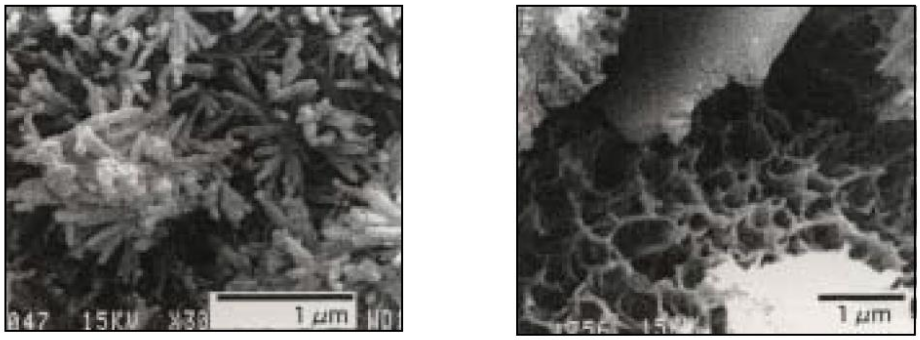


図４－４３　ポルトランドセメントの水和反応過程の概念図[26)]

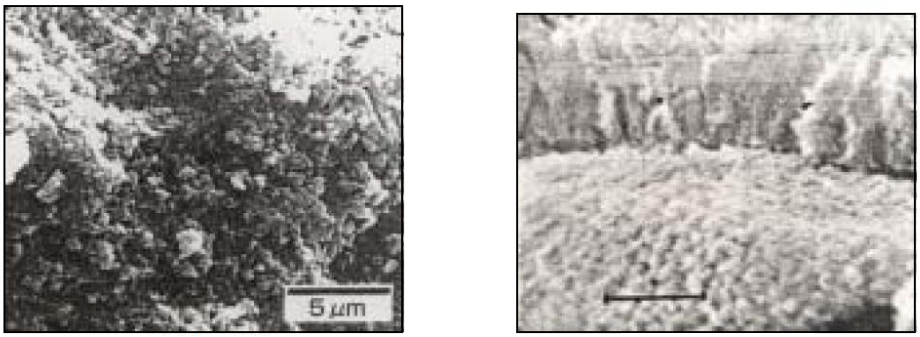
（３）ケイ酸カルシウム水和物

C-S-H は AF_t に比べると特徴的な結晶構造ではないため，SEM 画像による判定に高度な技量を要する．しかし，セメント水和物の大半を占め，材齢に伴って増殖し消失することがないことから，EPMA により C-S-H の生成状況を確認した．試料は CP を添加していない原泥と，CP を p=500 kg/m^3 添加した 2 検体とした．

写真４－１３は生成する C-S-H の形態を示す[26)]．C-S-H には 4 種類あり，その生成順序は**図４－４４**[26)]に示すように TypeⅡ⇒TypeⅠ⇒TypeⅢ・Ⅳの順序で，TypeⅠは繊維状もしくは箔状，TypeⅡは網目または蜂の巣状，TypeⅢ及びⅣは不定形で密実な形態を示すといわれる．



(a)Type Ⅰ　　(b)Type Ⅱ



(c)Type Ⅲ　　(d)Type Ⅳ

写真４－１３　生成する C-S-H の形態[26)]

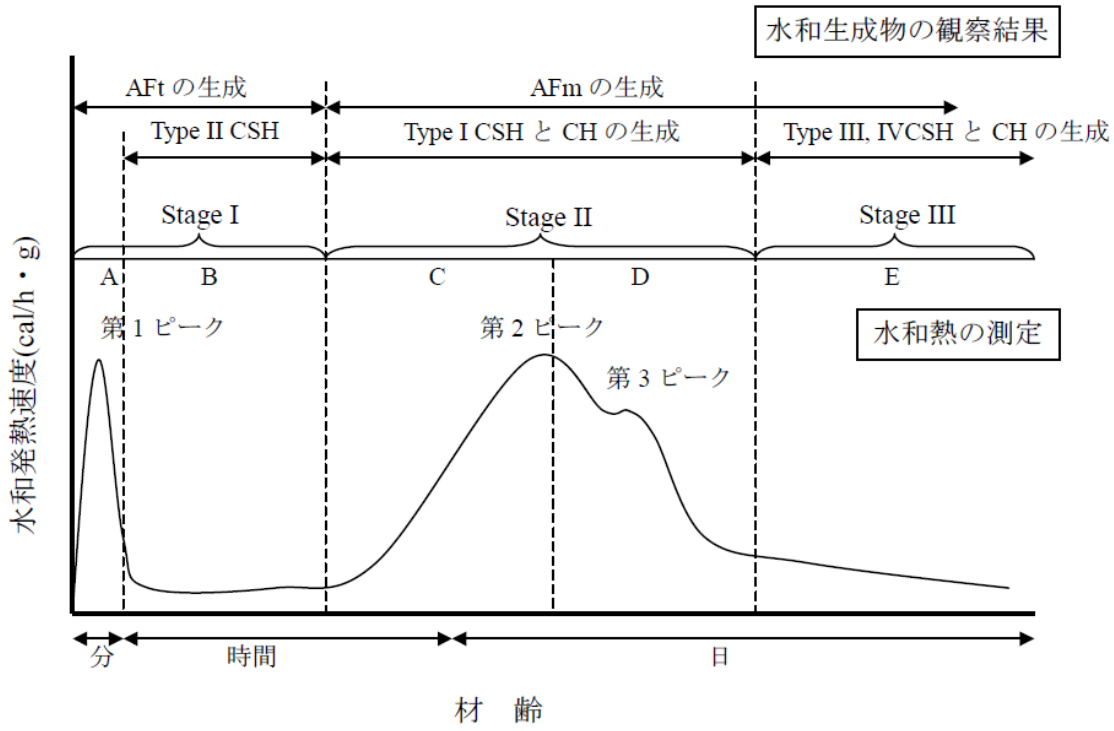
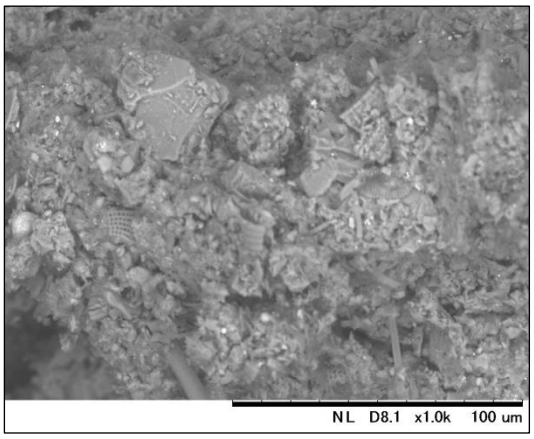
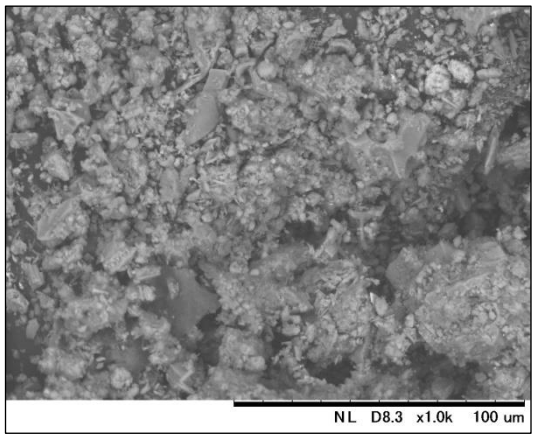


図４－４４　ポルトランドセメントの水和反応過程[26)]

写真４－１４は原泥と改質土（CP 添加量；p=500 kg/m^3）の SEM 画像，**図４－４５**は分析スペクトルをぞれぞれ示す．

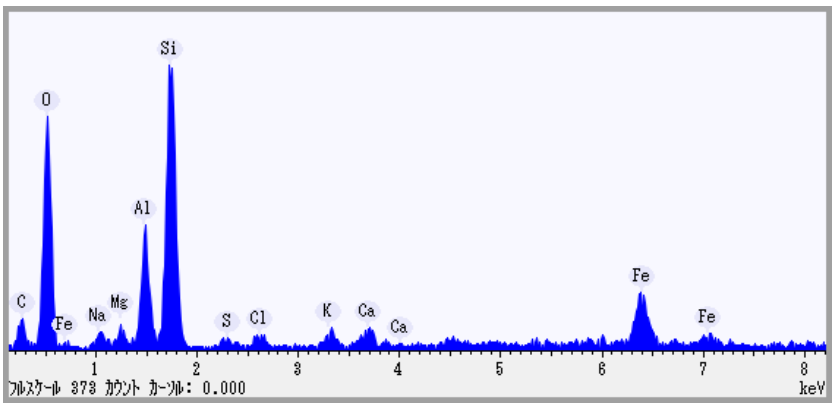


（ａ）原泥

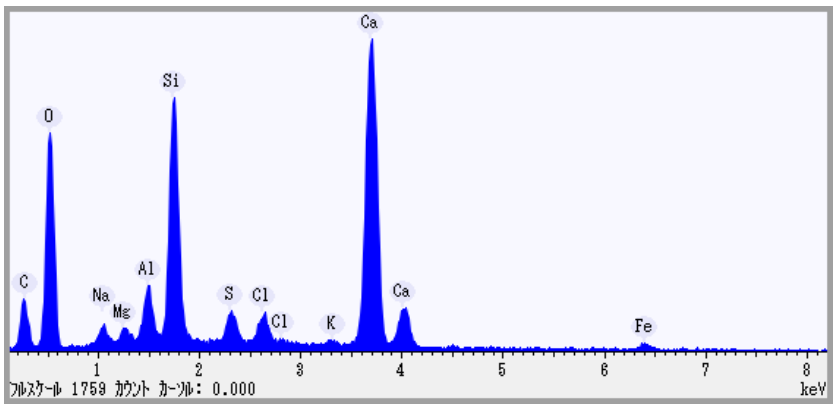


（ｂ）改質土 p=500 kg/m^3

写真４－１４　SEM 画像



（ａ）原泥



（ｂ）改質土（p=500 kg/m^3）

図４－４５　Ｘ線スペクトル

原泥と改質土とでは明らかに性状が異なるが，SEM 画像からは原泥と改質土の明確な違いは見て取れない．また，X線スペクトルにおいては，原泥も改質土も構成元素は同じであるが，改質土は原泥に比べて Ca の含有量が遥かに多く，S も 3～4 倍となっている．

EPMA により試料表面に含まれる元素の特定はできたが，原泥と改質土の大きな違いは Ca と S の含有量であり，SEM 画像から水和化合物と思われる結晶が確認されたが，それがなんであるかの特定には至らなかった．

４．４．４　再泥化・軟化試験

高含水比泥土に固化材を添加して改質し，締固め度や強度等の特性が改善された場合でも，そこに水分が供給されて吸水したり，改質土自体が水浸した場合には軟化したり場合によっては泥濘化することがあり，この現象を再泥化と称している．改質土が再泥化した場合には，地盤材料としての要求性能が低下するだけでなく，場合によっては上部構造に悪影響を及ぼすことがあるため，CP の地盤改良材としての適用性を評価する場合には，このような現象が生じないことを確認しておく必要がある．

改質土の再泥化を評価する明確な試験法は規定されていないが，岩石のスレーキング試験（JGS 2124）に準拠して再泥化の有無を確認した．なお，再泥化の判定は目視となるため，佐藤ら[19)]の判定法も参考にした．

再泥化は吸水膨張や改質土の固化成分の溶出が原因と考えられるが，全配合とも，供試体の崩壊はもとより，面落ち，亀裂，軟化のいずれも認められず，再泥化しないことを確認した．

４．４．５　環境安全性試験

建設汚泥処理土利用技術基準によれば，処理土（改質土）は生活環境保全上の基準，すなわち，環境基本法に基づく土壌環境基準（溶出量基準）と，土壌汚染対策法に基づく特定有害物質の含有量基準を満足することとされている．

溶出量に関しては，泥土に混合する固化材成分の固定化機能によるところがあり，混練り後の材齢によって変わることが想定されるが，「セメント及びセメント系固化材を使用した改良土の六価クロム溶出試験実施要領（案）」に基づき，材齢 7 日の一軸圧縮試験供試体残渣物を検体とした．また，配合については，第 2 種処理土の基準（q_c≧800 kg/m^2）を満足した最小添加量である p=400 kg/m^3 を選定した．なお，平成 28 年 3 月 29 日に「土壌環境基準及び地下水環境基準の一部を改正する告示」が公布され，土壌の汚染に係る環境基準項目に「クロロエチレン」及び「1,4 - ジオキサン」が追加（平成 29 年 4 月 1 日施行）されたことから，同物質についても溶出試験を実施した．

表４－２０は検定結果を示すが，溶出量，含有量とも基準値以内であることを確認した．

表４－２０　改質土の土砂検定結果

分　類	物　質　名	溶出量			含有量		
		基準値(mg/ℓ)	分析結果	判定	基準値(mg/kg)	分析結果	判定
第1種特定有害物質（揮発性有機化合物等）	四塩化炭素	≦0.002	＜0.0002	OK	－	－	－
	クロロエチレン	≦0.002	＜0.0002	OK	－	－	－
	1,2ジクロロエタン	≦0.004	＜0.0004	OK	－	－	－
	1,1-ジクロロエチレン	≦0.02	＜0.002	OK	－	－	－
	シス-1,2-ジクロロエチレン	≦0.04	＜0.004	OK	－	－	－
	1,3-ジクロロプロペン	≦0.002	＜0.0002	OK	－	－	－
	ジクロロメタン	≦0.02	＜0.002	OK	－	－	－
	トリクロロエチレン	≦0.03	＜0.002	OK	－	－	－
	1,1,1-トリクロロエタン	≦1	＜0.001	OK	－	－	－
	1,1,2-トリクロロエタン	≦0.006	＜0.0006	OK	－	－	－
	テトラクロロエチレン	≦0.01	＜0.0005	OK	－	－	－
	ベンゼン	≦0.01	＜0.001	OK	－	－	－
	1,4-ジオキサン	≦0.05	＜0.005	OK	－	－	－
第2種特定有害物質（重金属等）	カドミウム及びその化合物	≦0.01	＜0.001	OK	≦150	＜5	OK
	六価クロム化合物	≦0.05	0.05	OK	≦250	＜2	OK
	シアン化合物	ND	ND	OK	≦50	＜1	OK
	水銀及びその化合物	≦0.0005	＜0.0005	OK	≦15	＜0.05	OK
	アルキル水銀	ND	ND	OK	－	－	－
	セレン及びその化合物	≦0.01	0.002	OK	≦150	＜0.5	OK
	鉛及びその化合物	≦0.01	＜0.005	OK	≦150	13	OK
	ヒ素及びその化合物	≦0.01	＜0.005	OK	≦150	6.1	OK
	フッ素及びその化合物	≦0.8	＜0.05	OK	≦4,000	81	OK
	ホウ素及びその化合物	≦1	0.29	OK	≦4,000	27	OK
第3種特定有害物質（農薬等）	チウラム	≦0.006	＜0.0006	OK	－	－	－
	シマジン	≦0.003	＜0.0003	OK	－	－	－
	チオベンカルブ	≦0.02	＜0.002	OK	－	－	－
	PCB	ND	ND	OK	－	－	－
	有機リン化合物	ND	ND	OK	－	－	－

注1）検体はCP添加量400kg/m^{3}の材齢7日供試体
注2）土壌溶出量は平成3年環境庁告示第46号（JLT-46）に基づいて検定
注3）土壌含有量は平成15年環境省告示第19号（JLT-19）に基づいて検定

４．４．６　要求品質指定材齢の場合の添加量

通常のコンクリートの場合，呼び強度の保証材齢は 28 日とされており，地盤分野でも柱列式連続壁のソイルセメントや高圧噴射撹拌工法の改良体の設計基準強度保証材齢は 28 日となっている．

これに対し，地盤改良や泥土改質においては，施工条件によって品質（q_c または q_u）保証材齢が異なってくる．

一般に，早期に所定品質を確保したい場合には固化材等の添加量が多くなるが，施工または供用までに時間的余裕がある場合には固化材等の添加量を減らし，経済性を追求することが可能となる．

配合試験結果より，要求品質に対する養生日数（仮置期間）と CP 添加量との関係を示す**図４－４６**が得られる．

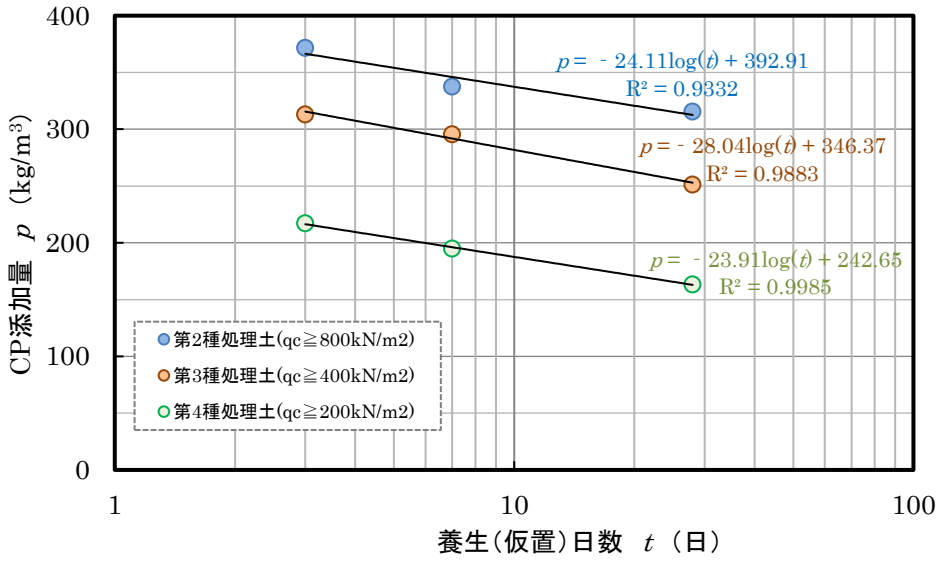


図４－４６　養生（仮置）日数とＣＰ添加量の関係

【参考文献】

1）（公社）地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，p.101

2）（一社）泥土リサイクル協会：泥土を適正に処理するための手引書（新規改訂版），p.35

3）（一社）セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル第４版，p.45

4）髙山昌照，濱田龍寿，金山素平，松尾英幸：間隙水中の塩が土粒子の密度試験結果に及ぼす影響，農業土木学会路文集，No.203，pp.101-106，1999.10

5）黒田康弘，輿石直幸：セメントコンクリートからの六価クロム溶出に及ぼす各種要因の影響，日本建築学会構造系論文集，Vol.75，No.650，pp.715-722，2010.4

6）葛西哲郎，見冨基裕，関竜馬，東野隼人士：コンクリート再生微粉の地盤改良材としての有効利用に関する研究，Cement Science and Concrete Technology，No.55，pp.639-644，2001

7）内田清彦，榊原弘幸，斉藤豊：積算発熱量に基づくセメントの水和発熱速度の定式化と温度上昇の予測，コンクリート工学論文，Vol.24，No.4，pp.105-113，April 1986

8）依田和久，新谷彰，間宮尚，青木孝一：加熱した再生微粉末の再水和性に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.2，pp.415-420，2008

9）例えば，内山伸，桂豊，黒田康弘：加熱すりもみ処理した解体コンクリート微粉の固化特性，土木学会第 57 回年次学術講演会，pp.73-74，2002.9

10）島裕和，立屋敷久志，松橋隆治，吉田好邦：副産微粉を土壌固化材として利用したときの高品質再生骨材のライフサイクル分析，コンクリート工学論文集，pp.81-91，Vol.15，No.1，2004.1

11）石灰石工業協会：石灰石骨材とコンクリート，増補・改訂版，2005

12）峯岸敬一：セメントの水和と熱，コンクリート工学，pp.5-12，Vol.22，No.3，March1984

13）石倉武，大西一彦，小川秀夫，横山勝彦：再生骨材製造副産微粉の利用技術，コンクリート工学，pp.26-35，Vol.41，No.6，2003.6

14）国土交通省：建設汚泥処理土利用技術基準，2006.6.12

15）都市再生機構：基盤整備工事共通仕様書・施工関係基準，平成 24 年度版

16）国土交通省 都市局 都市安全課：迅速な復旧・復興に資する再生資材の宅地造成盛土への活用に向けた基本的考え方，平成 24 年 3 月

17）国土技術政策総合研究所：深谷渉，榊原隆：下水道管路施設埋め戻し部へのセメント系改良土の適用に関する検討報告書，国土技術政策総合研究所資料，No.531，April2009

18）地盤材料試験の方法と解説，地盤工学会，p.286

19）佐藤研一，押方利朗，武下俊宏：廃石膏ボードリサイクル技術の総合化に関する研究（K2144，K22101，K2359），平成 23 年度環境研究総合推進費補助金研究事業，相応研究報告書，p.71，2012.4

20）http://www.deido-recycling.jp/E3system/E3system01.htm

21）久野悟郎，流動化処理工法研究機構，流動化処理工法技術管理委員会：土の流動化処理

工法［第二版］，技報堂出版，p.144，2007
22）五十嵐豪 : ポルトランドセメント系カルシウムシリケート水和物の水蒸気吸着性状に関する研究，名古屋大学学位論文，平成 26 年 3 月
23）玉岡洋裕，白神達也 : 重水素化したポルトランダイトおよびエトリンガイトの熱分解の速度論的解析，Cement Science and Concrete Technology，Vol.67，pp.87-94
24）後藤孝治：セメントコンクリートの反応モデル解析の研究について，コンクリート工学，Vol.35，No.2，pp.3-8，1997.2
25）亀井健史，小川康弘，志比利秀：半水石膏と石炭灰を添加したセメント安定処理土の強度変形特性とその内部構造―ハイブリッド型地盤材料の創出―，地盤工学ジャーナル，Vol.5，No.1，pp.35-43，2010
26）Agus Santosa SUDJONO：ポルトランドセメントの複合水和反応と組織形成モデルに関する研究，早稲田大学大学院理工学研究科博士論文，2002.09

第Ⅴ章　結論

５．１　本研究開発のまとめ

本報告書は，コンクリート塊を再生骨材にリサイクルする際に副産される CP の利用用途を確立することで，天然資源の消費と廃棄物の発生を抑制して循環型社会の形成に寄与することを目的として，CP が高含水比泥土等の改質材として利活用できるかどうかの検証結果を取りまとめたものである．

以下に，各章の内容と得られた結果を総括する．

第Ⅰ章「序論」では，本研究の背景と目的並びに CP に関する既往の研究結果について示すことにより，本研究開発の意義について述べた．

コンクリート塊は法律等の後押しもあり，再資源化率は高い値で推移しており，その用途は大部分が再生砕石である．しかし，コンクリート塊の発生量と再生砕石の需要予測から，今後はその需給バランスが崩れ再生砕石が余剰することが指摘された．一方，コンクリート用骨材は，資源の枯渇や環境保全の関係から年々その確保が困難になってきている．

こうした背景を受け，コンクリート塊を再生骨材にリサイクルする研究が進められた結果，天然或いは人工骨材と同等の品質を有する再生骨材の製造技術が確立され，再生骨材の規格制定も行われた．

しかし，規格制定後も再生骨材を用いたコンクリートの普及は低迷し，平成 24 年度における再生骨材Hを用いたコンクリート利用実績は全国の生コン出荷量の 0.03 %未満であった．その理由として

ア）再生品に対する忌避感
イ）新材に比べて製造コストが高いこと
ウ）再生骨材H製造過程で副次的に発生する CP の利用用途が確立されていない（処理費が別途発生）こと

などが挙げられる．

こうした課題に対し，CP の利用用途に関する研究はコンクリート材料や地盤材料として用いた場合の特性解明を中心に進められたが，置換率が大きくなったり添加量が増えると強度が低下するなど，品質に影響を及ぼすことなどが報告されており，実用には至っていない．そこで，CP がコンクリートを起源とすることに着目し，高含水比泥土等の改質材としての適用性を評価することとした．

第Ⅱ章「コンクリート塊のリサイクル」では，CP の原材料であるコンクリート塊に関して，原コンクリート（再生骨材を製造するための原料となるコンクリート塊）である「残コ

ン・戻りコン」及び「解体コンクリート」について法的な扱いを中心に概括するとともに，コンクリート塊のリサイクルの現状とリサイクルに際しての課題について述べた．

第Ⅲ章「再生骨材とＣＰ」では，コンクリート塊の新たなリサイクル用途として着目されている“再生骨材”とその副産物である“CP”について述べた．

再生骨材はコンクリート用骨材として利用することを目的にコンクリート塊から製造されるもので，コンクリートの用途に応じて 3 種類の骨材規格が規定されている．しかし，再生骨材を用いたコンクリートの利用実績は低迷しており，その原因を究明すべく，製造・活用に係る課題を整理した．再生骨材は再生砕石に比べて高い品質が要求されるため，それを満足するための処理設備の導入や，製造した再生骨材が再生砕石と混じらないような製造ラインやストックヤードの確保など，新たな設備投資が必要になるとともに，CP の利用用途が確立されない限り CP の処理費用が発生し，再生骨材の価格に跳ね返るために再生骨材の普及を阻害している．また，再生骨材を用いたコンクリートの製造には JIS の認証を取得する必要があるが，認証取得に際しての複雑な仕組みや制度が再生骨材及び再生骨材コンクリートの普及を阻害している実態について紹介した．

一方，再生骨材の原コンクリートには「残コン・戻りコン」と「解体コンクリート」とがあるが，後者は前者の 1/10 程度であるにも拘わらず，レディーミクストコンクリートに使用できる再生骨材Hの原コンクリートは，「残コン・戻りコン」を使用している実態について考察した．

アルカリ骨材反応抑制対策に関して，平成 14 年 8 月 1 日の国交省通達では

①コンクリート中のアルカリ総量の規制
②抑制効果のある混合セメント等の使用
③安全と認められる骨材の使用

の 3 つの対策が示されているが，JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）では，再生骨材Hを用いる場合には②ないし③の抑制対策を適用しなければならないとされている．しかし解体コンクリートの場合，③，すなわち原骨材を“特定”することは非常に困難であり，再生骨材製造側から需要家に対して②の対策を前提に再生骨材を納入する図式は現実問題としては成立しがたい．このため，再生骨材製造業者は③が容易な「残コン・戻りコン」を原コンクリートとしている実態について紹介した．

また，CP は再生骨材製造に伴う副産物であること，再生骨材の品質を高めれば高めるほど大量に発生すること，CP の発生量は原コンクリートの特性や，再生骨材の製造方法に左右されることなどを示すとともに，近年，再生砕石からの六価クロムの溶出が問題視されており，CP は再生砕石に比べて溶出濃度が高くなることが懸念されることを示した．

第Ⅳ章「ＣＰの地盤材料としての適性評価」では，CP の利用用途として，建設汚泥をはじめとする高含水比泥土等の改質材としての適用性を検証するために行った実験結果について述べた．

実験より得られた主な知見は以下のとおりである．

（１）CP の物理・化学特性

①密度（ρ_s=2.44 Mg/m^3）は既往の研究結果の平均的な値を示した（既往研究範囲；ρ_s=2.19～2.73 Mg/m^3，平均 2.52 Mg/m^3）が，原コンクリート構成材料の密度を考えると，CP を構成する粒子には閉鎖空間があることが推察される．

②粉末度（ブレーン比表面積；13,000 cm^2/g）は既往の研究結果の範囲内（既往研究範囲；2,180～15,320 cm^2/g，平均 7,573 cm^2/g）にあるが，比較的大きな値を示し，微細であることが確認された．

③同一軟度のペーストを得るのに必要な水量が多く，それが CP そのものに起因するのか，粒度に起因するのか結論付けられていないが，粉末度の高いセメントを使用した場合，セメントペーストの粘性が高くなり，流動性が小さくなることと関連性があると考えられる．

④CP の組成は，既往の研究と比べ SiO_2 が少なく（既往研究範囲；4.18～70.2 %，平均 35.28 %，今回；14.16 %），CaO が多い（既往研究範囲；11.0～41.7 %，平均 25.75 %，今回；44.56 %）が，原コンクリートの粗骨材に石灰石（砕石）を使用していることと関連があると考えられ，クリンカー鉱物が Ca を主体としていることから，再水和を期待させるものである．

⑤CP の化学分析では Al_2O_3 が検出（既往研究範囲；1.85～12.00%，平均 7.25 %，今回；3.09 %）されたが，XRD/リートベルト法による CP 中のクリンカー鉱物観察では C_3A は確認されなかった（C_3S，C_2S，C_4AF は XRD で確認）ことから，改質効果（硬化）は期待されるが，強度発現が遅いことが想定される．

⑥BB に比べると低強度（材齢 28 日の圧縮強度は BB の 1/40 程度）ながら，材齢とともに強度が増進することから，水和反応による高含水比泥土の改質効果が期待される．

⑦水和熱試験の結果，BB に比べると小さいものの加水直後の発熱（第 1 ピーク）が確認されたが，BB に見られた加水して 8～10 時間後の発熱（第 2 ピーク）は見られなかった．

（２）配合試験

①CP 添加量の増加に伴って q_c 及び q_u が増加したが，特に，CP 添加量が $p \geqq 400$ kg/m^3 になると強度が急増した．

②CP 添加量が p=400 kg/m^3 を超えると，材齢 3 日で第 2 種処理土（$q_c \geqq 800$ kN/m^2）

の品質区分を満足するとともに，流動化処理土の一般的な要求品質 $q_u \geqq 100$ kN/m^2 も満足することが確認された．

③今回の配合試験における改質材としての CP は，汎用固化材に比べるとその添加量が多いが，添加量と強度の関係において曲線が下に凸になったことから，過添加ではないと判断される．

④q_c 及び q_u とも材齢とともに増進していることから，改質効果は時間要素が関係しており，CP の再水和反応性が示唆された．

⑤上記を裏付ける根拠として以下が挙げられる．

1）CP の XRD からクリンカー鉱物（C_3S，C_2S，C_4AF）が確認された

2）水和熱が認められた（但し，水硬性がないとされる FA も同様の結果）

3）含水比が材齢とともに低下（自由水⇒結合水）

4）水浸しても再泥化，軟化しない

5）SEM 観察の結果，水和生成物のようなもの（特定未）が確認された

⑥環境基本法に基づく土壌環境基準（溶出量）も，土壌汚染対策法に基づく特定有害物質の含有量も基準値をクリアした．

⑦建設汚泥をはじめとする高含水比泥土の改質材として，CP は有効に活用できることが示唆された．

５．２　今後の課題

本研究により，CP が高含水比泥土の改質材として適用できることが示唆されたが，CP の性状は一律ではないことからまだ未解明なことも多く，今後の探求・研究の必要性は大きい．以下に技術面と制度・体制面から見た今後の課題について列挙する．

（１）技術面

①改質対象土の汎用性

・今回配合試験の対象とした原泥は改質条件としては厳しい部類（F_c=81.1%，L_i=9.3 %，〔CH〕）に属するが，一定水準に改質できることが確認できた．しかし，CP の地盤材料としての適用性を評価するためには，異なる土質や含水比が変化した場合にどのような性状を示すかデータの蓄積が必要である．

②多様な CP への対応

・今回実験に使用した CP は浚渫土の改質効果を確認できたが，原コンクリートの材料，配合，材齢等や，再生骨材の製造方法によってその性質が多様に変化する CP について，基本特性を含め，地盤材料として評価できるデータの蓄積が必要である．特に，コンクリート塊の大部分を占める解体コンクリートから副産される CP を対象としないことには天然資源の消費と廃棄物発生量の抑制には至らないので，制

度上の課題はあるが，先行して特性解明を進めていく必要がある．

③長期安定性

・近年，副産物を利用した材料・製品・処理物・建造物等に対して，環境安全性を含めた長期安定性が求められている．今回の研究開発により，CP によって改質した処理土の地盤材料としての短期的な力学特性，環境安全性は一定水準を満足することが確認できたが，長期的なことについては分かっていない．従って，経年劣化を含め，CP によって改質した処理土の長期安定性について検証する必要がある．

（２）制度・体制面

①再生骨材コンクリートの活用促進

・「リサイクルに関して行政が介入するのは本当の意味でのリサイクルにつながらない」という声を聞くが，やはり再生品というといろいろな意味で使用者（購入者）側に忌避感があるため，新材に替えて自らが積極的に活用するモチベーションは生まれない．従って，再生砕石や再生加熱合材のように，発注者が特記仕様書等で再生骨材コンクリートの活用を指定することが天然資源の消費と廃棄物発生量の抑制には不可欠で，そのためにも CP の利用用途を確立する意義は大きいと考える．

②廃棄物処理法

・廃棄物を再生処理したものが“End of Waste（卒廃棄物）”となることに関しては「建設汚泥処理物の廃棄物該当性の判断指針について」（環廃産発第 050725002 号，平成 17 年 7 月 25 日）等で示された総合判断説における“有価物判断要素”が拠り所となり，建設汚泥以外にも準用されている．コンクリート塊は資源有効利用促進法でいうところの「再生資源」，「指定副産物」，建設リサイクル法でいう「特定建設資材」であるが，同時に廃棄物処理法でいう「産業廃棄物」でもある．従って，その処理に際しては“End of Waste”までは廃棄物処理法の適用を受けることから，どの時点で“卒廃棄物”となるのかの関係者への周知・徹底と，コンクリート塊及びその処理物に対してもできれば先の建設汚泥処理物のような通知の発翰が望ましいと考える．

③支援・助成・優遇制度

・再生砕石と異なり，再生骨材は高度な処理を必要とすることから，がれき類の中間処理業者が JIS の認証を取得して再生骨材製造を行おうとする場合，新たな設備の導入が必要（厳密には設備が整い，管理システムが構築されないと認証は取得できない）となる．また，既にがれき類の中間処理を営んでいる場合には，再生砕石と再生骨材が混在しないように新たなストックヤードも必要となる．しかし，現在 JIS A 5021（コンクリート用再生骨材の製造又は加工）の認証を取得している再資源化施設は全国に 3 箇所しかなく，これでは到底再生骨材コンクリートの普及は

望めない.

再生骨材コンクリートの普及には解決すべき課題が山積しており，本研究開発で取り組んだ CP の利用用途確立も需要な課題であるが，処理（製造）設備設置に係る支援・助成・優遇制度も不可欠と考える.

APPENDIX

１．原泥の物理・化学特性 …… 1
（１）土粒子の密度試験（JIS A 1202） …… 2
（２）土の含水比試験（JIS A 1203） …… 3
（３）土の粒度試験（JIS A 1204）…… 4
（４）土の液性限界・塑性限界試験（JIS A 1205） …… 5
（５）地盤材料の工学的分類（JGS 0051） …… 6
（６）土の強熱減量試験（JIS A 1226） …… 7
（７）試験状況写真 …… 8

２．ＣＰの物理・化学特性 …… 12
（１）セメントの密度試験（JIS R 5201） …… 13
（２）セメントの粉末度試験（JIS R 5201） …… 13
（３）セメントの強さ試験（JIS R 5201） …… 14
（４）セメントの化学分析（JIS R 5202） …… 15
（５）クリンカー鉱物の同定と定量 …… 17
（６）試験状況写真 …… 20

３．改質土の特性 …… 25
（１）コーン指数試験 …… 26
（２）一軸圧縮試験 …… 36
（３）改質土の特性 …… 61
（４）環境安全性 …… 68
（５）試験状況写真 …… 71

１．原泥の物理・化学的特性

（1）土粒子の密度試験（JIS A 1202）

JIS A 1202 JGS 0111	土 粒 子 の 密 度 試 験 （ 測 定 ）	

調 査 件 名 ： 寒風沢　　試験年月日 平成29年1月11日

試 験 者 鈴木 達史

試料番号（深さ）			寒風沢					
ピクノメーター No.			No.101	No.106	No.113			
ピクノメーターの質量	mf	g	51.068	51.865	46.640			
（蒸留水＋ﾋﾟｸﾉﾒｰﾀｰ）質量	m'a	g	149.302	148.352	151.682			
m'aをはかったときの蒸留水の温度			21.0	21.0	21.0			
T'℃における蒸留水の密度	ρw(T')	g/cm³	0.99799	0.99799	0.99799			
（試料＋蒸留水＋ﾋﾟｸﾉﾒｰﾀｰ）質量	mb	g	162.696	160.670	163.940			
mbを測ったときの内容物の温度	T	℃	20.0	20.0	20.0			
T℃における蒸留水の密度	ρw(T)	g/cm³	0.9982	0.9982	0.9982			
温度T℃の蒸留水を満たしたときの（蒸留水＋ﾋﾟｸﾉﾒｰﾀｰ）質量	ma	g	149.323	148.372	151.704			
試料の炉乾燥質量	容器 No.		D83	D4	D119			
	（炉乾燥試料＋容器）質量	g	53.719	51.971	52.117			
	容器質量	g	32.454	32.450	32.703			
	ms	g	21.265	19.521	19.414			
土粒子の密度	ρs	g/cm³	2.690	2.698	2.700			
平均値	ρs	g/cm³	2.696					

試料番号（深さ）								
ピクノメーター No.								
ピクノメーターの質量	mf	g						
（蒸留水＋ﾋﾟｸﾉﾒｰﾀｰ）質量	m'a	g						
m'aをはかったときの蒸留水の温度								
T'℃における蒸留水の密度	ρw(T')	g/cm³						
（試料＋蒸留水＋ﾋﾟｸﾉﾒｰﾀｰ）質量	mb	g						
mbを測ったときの内容物の温度	T	℃						
T℃における蒸留水の密度	ρw(T)	g/cm³						
温度T℃の蒸留水を満たしたときの（蒸留水＋ﾋﾟｸﾉﾒｰﾀｰ）質量	ma	g						
試料の炉乾燥質量	容器 No.							
	（炉乾燥試料＋容器）質量	g						
	容器質量	g						
	ms	g						
土粒子の密度	ρs	g/cm³						
平均値	ρs	g/cm³						

特記事項

（２）土の含水比試験（JIS A 1203）

土 の 含 水 比 試 験, 湿潤密度試験, フロー試験, ~~ブリーディング試験~~

調査件名:　　試 験 年 月 日　平成29年2月20日

港湾浚渫土　　試　験　者　鈴木 達史

試料番号(深さ)				●湿潤密度測定(2000cc)		
容器No.	B14	B15	L8	土+容器質量(g)	容器の質量(g)	土の質量(g)
ma g	553.3	501.3	656.6	4216.1	1387.8	2828.3
mb g	332.8	309.1	406.3	湿潤密度(g/cm^3)		1.414
mc g	137.1	137.4	184.6	●フロー	85 × 85 = 85 mm	
W %	112.7	112.0	112.8	●ブリーディング		
平均値W %	112.5			全容積(cc)	ﾌﾞﾘｰﾃﾞｨﾝｸﾞ量(g)	ﾌﾞﾘｰﾃﾞｨﾝｸﾞ率(%)
特記事項						
				avg		

試料番号(深さ)				●湿潤密度測定(2000cc)		
容器No.				土+容器質量(g)	容器の質量(g)	土の質量(g)
ma g						
mb g				湿潤密度(g/cm^3)		
mc g				●フロー		
W %				●ブリーディング		
平均値W %				全容積(cc)	ﾌﾞﾘｰﾃﾞｨﾝｸﾞ量(g)	ﾌﾞﾘｰﾃﾞｨﾝｸﾞ率(%)
特記事項						
				avg		

試料番号(深さ)				●湿潤密度測定(2000cc)		
容器No.				土+容器質量(g)	容器の質量(g)	土の質量(g)
ma g						
mb g				湿潤密度(g/cm^3)		
mc g				●フロー		
W %				●ブリーディング		
平均値W %				全容積(cc)	ﾌﾞﾘｰﾃﾞｨﾝｸﾞ量(g)	ﾌﾞﾘｰﾃﾞｨﾝｸﾞ率(%)
特記事項						
				avg		

試料番号(深さ)				●湿潤密度測定(2000cc)		
容器No.				土+容器質量(g)	容器の質量(g)	土の質量(g)
ma g						
mb g				湿潤密度(g/cm^3)		
mc g				●フロー		
W %				●ブリーディング		
平均値W %				全容積(cc)	ﾌﾞﾘｰﾃﾞｨﾝｸﾞ量(g)	ﾌﾞﾘｰﾃﾞｨﾝｸﾞ率(%)
特記事項						
				avg		

$$W = \frac{ma - mb}{mb - mc} \times 100$$

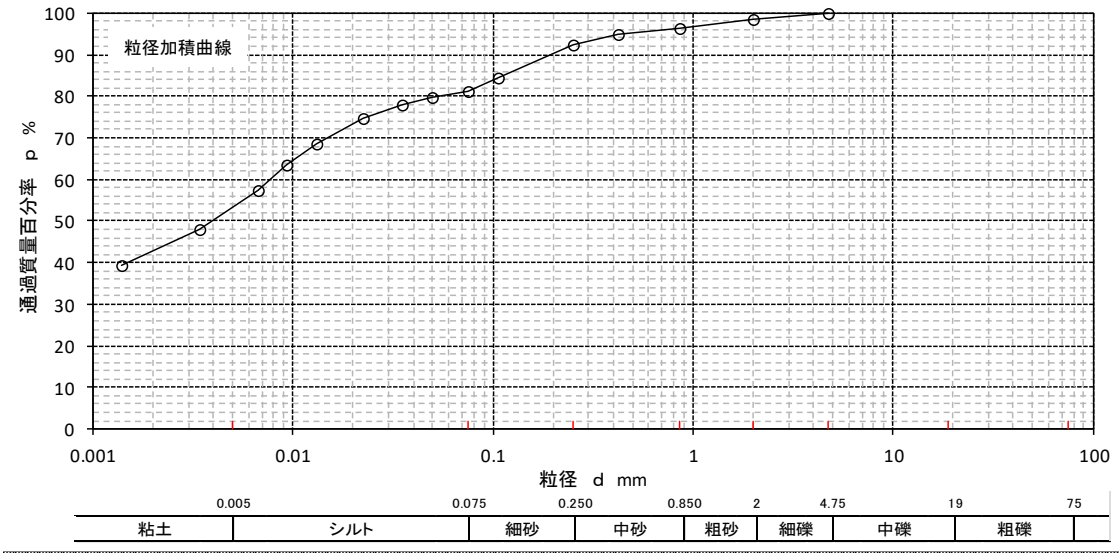
ma:(試料+容器)質量
mb:(炉乾燥試料+容器)質量
mc:容器質量

（３）土の粒度試験（JIS A 1204）

JIS A 1204 JGS　0131	土の粒度試験(粒径加積曲線)	

調査件名：　港湾浚渫土　　試験年月日　平成29年2月20日　　試験者　鈴木　達史

試料番号 (深さ)					試料番号 (深さ)		
	粒径 mm	通過質量 百分率 %	粒径 mm	通過質量 百分率 %			
ふるい分析					粗礫分 %	0.00	
					中礫分 %	0.00	
	75.0				細礫分 %	1.33	
	53.0				粗砂分 %	2.20	
	37.5				中砂分 %	3.93	
	26.5				細砂分 %	11.42	
	19.0				シルト分 %	27.74	
	9.5				粘土分 %	53.38	
	4.75	100.0			2mmふるい通過質量百分率 %	98.67	
	2.00	98.7			425μmふるい通過質量百分率 %	94.74	
	0.850	96.5			75μmふるい通過質量百分率 %	81.12	
	0.425	94.7			最大粒径 mm	4.75	
	0.250	92.5			60 % 粒径 D60 mm	0.008	
	0.106	84.6			50 % 粒径 D50 mm	0.004	
	0.075	81.1			30 % 粒径 D30 mm	－	
沈降分析	0.0494	79.8			10 % 粒径 D10 mm	－	
	0.0351	78.1			均等係数 Uc	－	
	0.0223	74.6			曲率係数 U'c	－	
	0.0131	68.5			土粒子の密度 ρs g/cm^3	2.696	
	0.0093	63.3			使用した分散剤 溶液濃度，溶液添加量		
	0.0067	57.5					
	0.0034	47.9					
	0.0014	39.4			石分 %	0.0	



特記事項

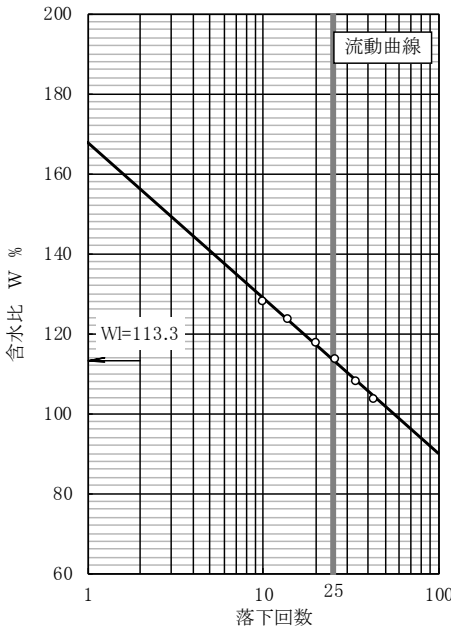
（4）土の液性限界・塑性限界試験（JIS A 1205）

JIS A 1205	土の液性限界・塑性限界試験　（測定）	

調査件名: 港湾浚渫土　　試験年月日 平成29年2月20日　　試験者 鈴木 達史

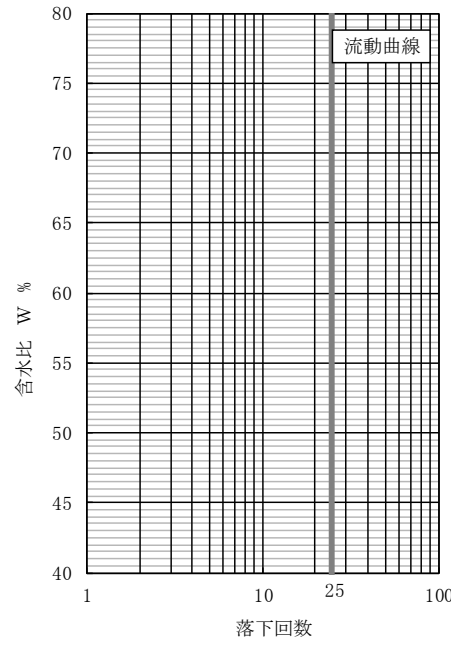
試料番号(深　さ)		東三百浦Ⅳ		
液性限界試験				
落下回数		10	14	20
含水比	容器No.	C57	C25	C8
	ma g	21.387	21.301	22.438
	mb g	16.367	17.270	17.200
	mc g	12.447	14.005	12.740
	W %	128.1	123.5	117.4
落下回数		26	34	43
含水比	容器No.	C15	C14	C17
	ma g	23.168	19.829	25.473
	mb g	17.684	16.211	18.954
	mc g	12.847	12.864	12.654
	W %	113.4	108.1	103.5
塑性限界試験				
含水比	容器No.	C13	C44	C54
	ma g	14.157	19.909	18.781
	mb g	13.744	18.024	17.008
	mc g	12.626	12.847	12.214
	W %	36.9	36.4	37.0

液性限界 W_L %	塑性限界 W_p %	塑性指数 I_p
113.3	36.8	76.5



試料番号(深　さ)				
液性限界試験				
落下回数				
含水比	容器No.			
	ma g			
	mb g			
	mc g			
	W %			
落下回数				
含水比	容器No.			
	ma g			
	mb g			
	mc g			
	W %			
塑性限界試験				
含水比	容器No.			
	ma g			
	mb g			
	mc g			
	W %			

液性限界 W_L %	塑性限界 W_p %	塑性指数 I_p



特記事項

（5）地盤材料の工学的分類（JGS 0051）

JGS 0051	地盤材料の工学的分類	

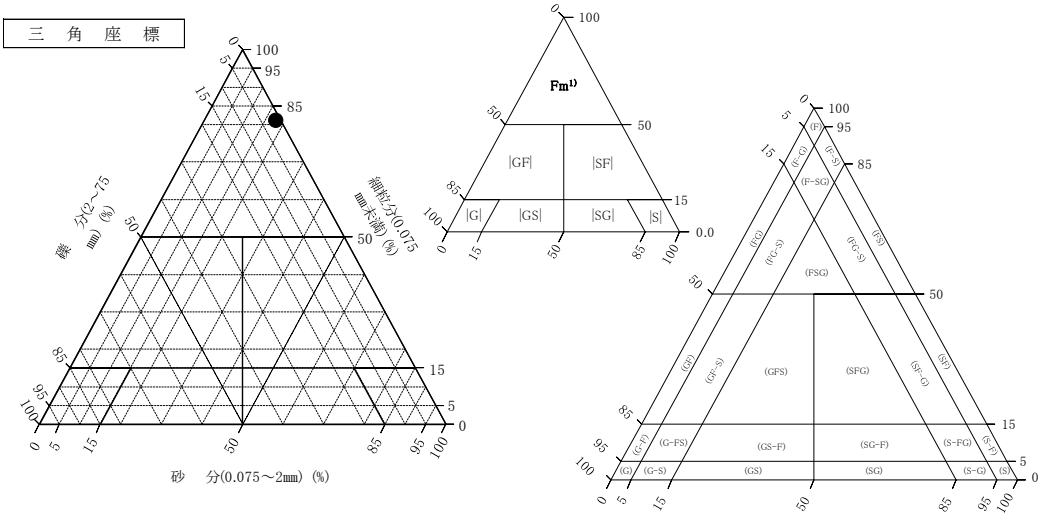
調査件名　港湾浚渫土

試験年月日　2017年 2月 20日

試験者　鈴木 達史

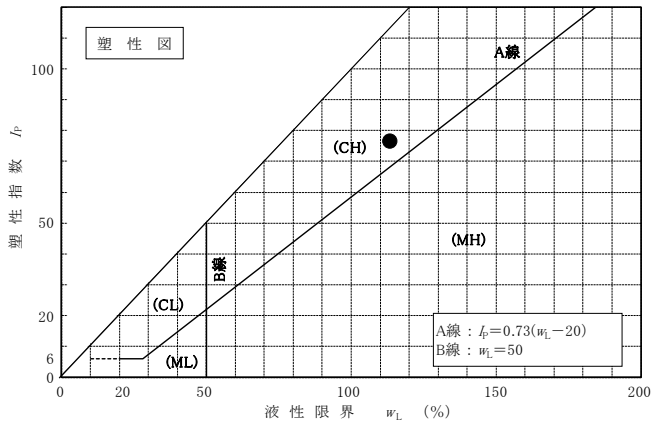
試料番号（深さ）						
石分（75mm以上） %	－					
礫分（2.00～75mm） %	1.3					
砂分（0.075～2.00mm） %	17.6					
細粒分（0.075mm未満） %	81.1					
シルト分（0.005～0.075mm） %	27.7					
粘土分（0.005mm未満） %	53.4					
最大粒径 mm	4.75					
均等係数 U_C	－					
液性限界 w_L %	113.3					
塑性限界 w_P %	36.8					
塑性指数 I_P	76.5					
地盤材料の分類名	粘土（高液性限界）					
分類記号	(CH)					
凡例記号	●					

三角座標



(b) 粗粒土の小分類および細粒土の細分類用三角座標

塑性図



特記事項　1）主に観察と塑性図で判別分類

（６）土の強熱減量試験（JIS A 1226）

JIS A 1226 JGS 0221	土の強熱減量試験	

調査件名　骨材再生処理に伴い発生する微粉末の建設資材への適用に関する研究(原泥の物理化学試験)　　試験年月日　平成 29年 2月 17日

試　験　者　鈴木 達也

試料番号(深さ)	0080-001 浚渫土					
容器 No.	125	208	216			
m_a g	21.148	21.446	21.683			
m_{b1h} g	20.955	21.244	21.493			
m_{b2h} g	20.953	21.242	21.491			
m_{b3h} g	20.953	21.242	21.491			
m_{b4h} g						
m_c g	19.058	19.229	19.644			
L_i %	9.330	9.202	9.416			
平均値 L_i %	9.3					
強熱時間 h	2					
特記事項						

試料番号(深さ)						
容器 No.						
m_a g						
m_{b1h} g						
m_{b2h} g						
m_{b3h} g						
m_{b4h} g						
m_c g						
L_i g						
平均値 L_i %						
強熱時間 h						
特記事項						

試料番号(深さ)						
容器 No.						
m_a g						
m_{b1h} g						
m_{b2h} g						
m_{b3h} g						
m_{b4h} g						
m_c g						
L_i g						
平均値 L_i %						
強熱時間 h						
特記事項						

$$L_i = \frac{m_a - m_b}{m_a - m_c} \times 100$$

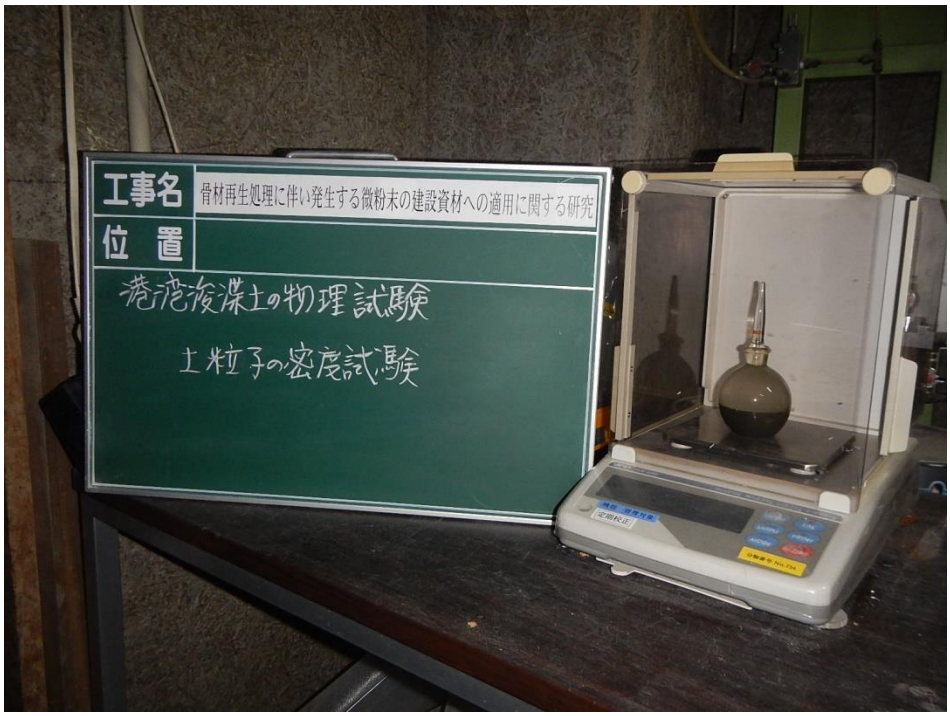
m_a ： (炉乾燥試料＋るつぼ)質量

m_b ： (強熱後の試料＋るつぼ)質量

(添字の 1h, 2h, 3h, 4h は強熱時間を表す。)

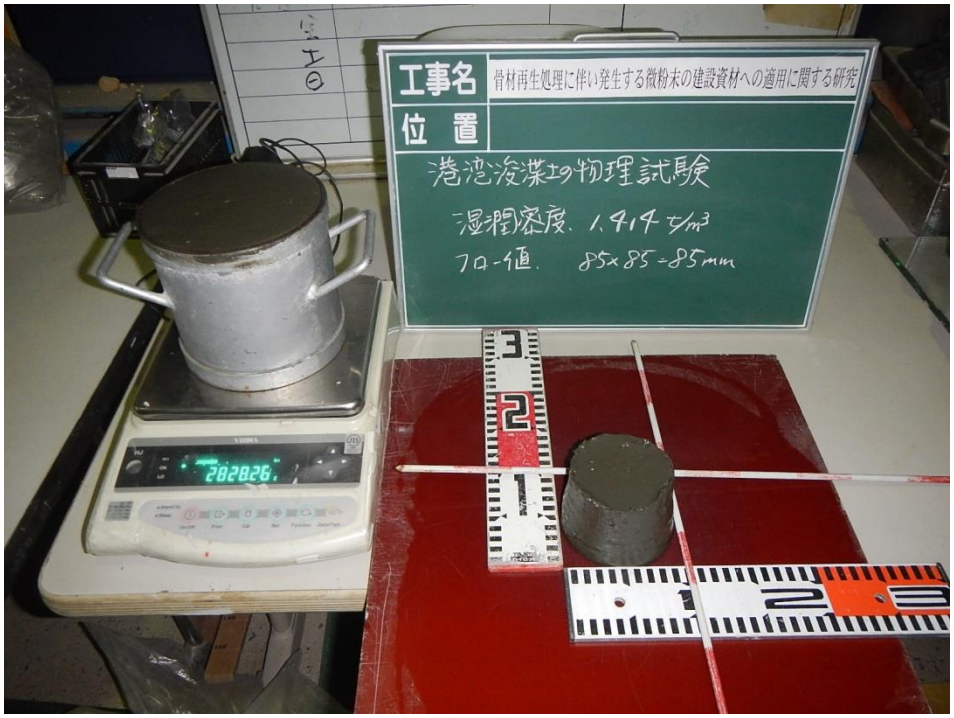
m_c ： るつぼ質量

（７）試験状況写真

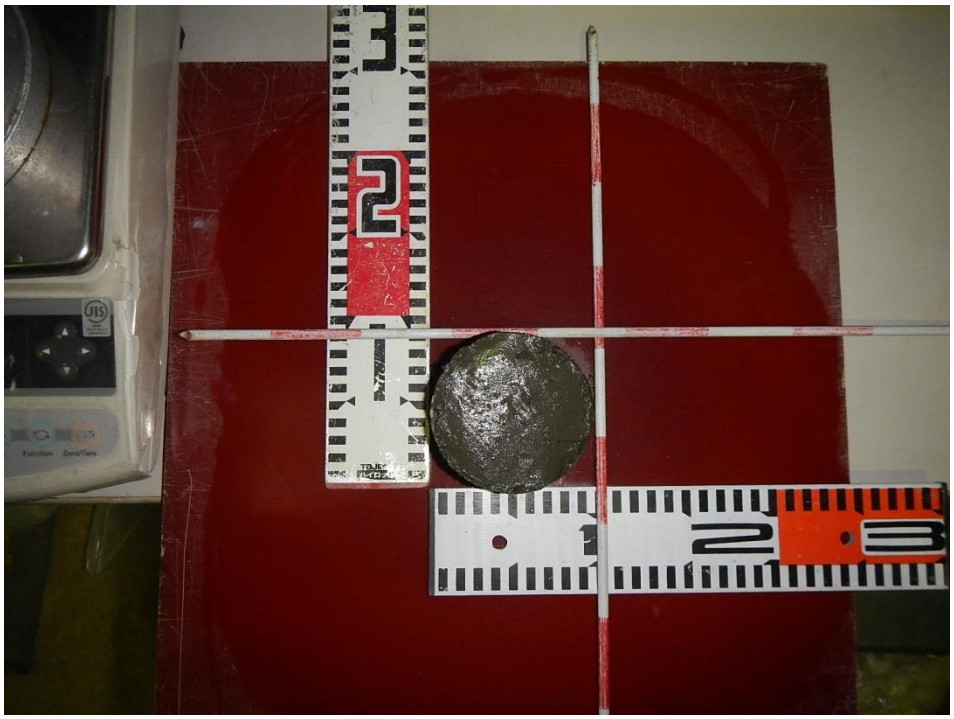


（ａ）土粒子の密度試験

（ｂ）土粒子の含水比試験

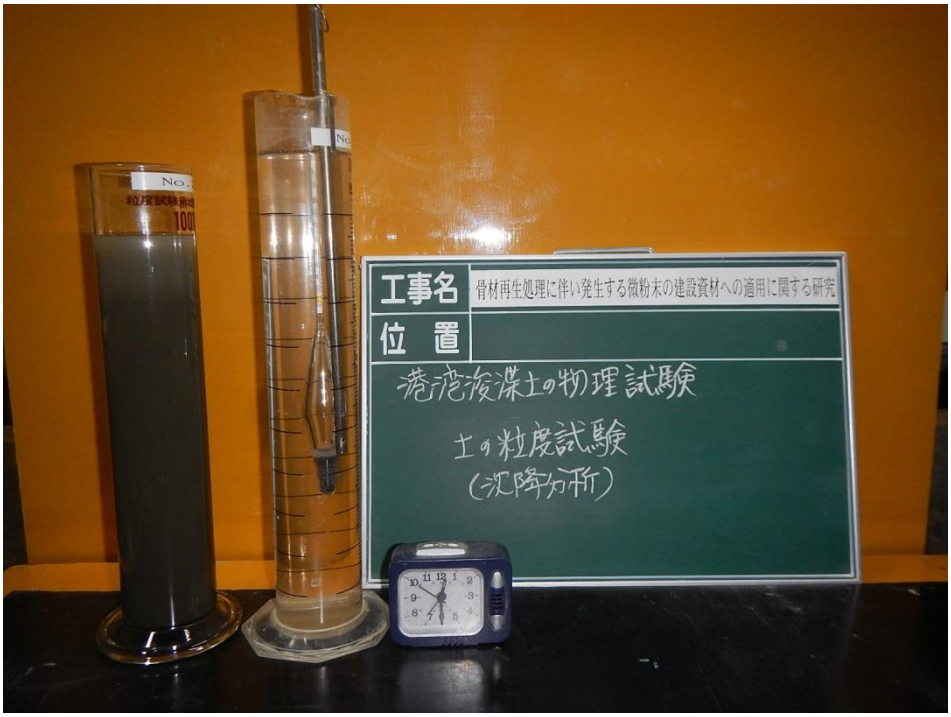


（ｃ）土の湿潤密度，フロー試験



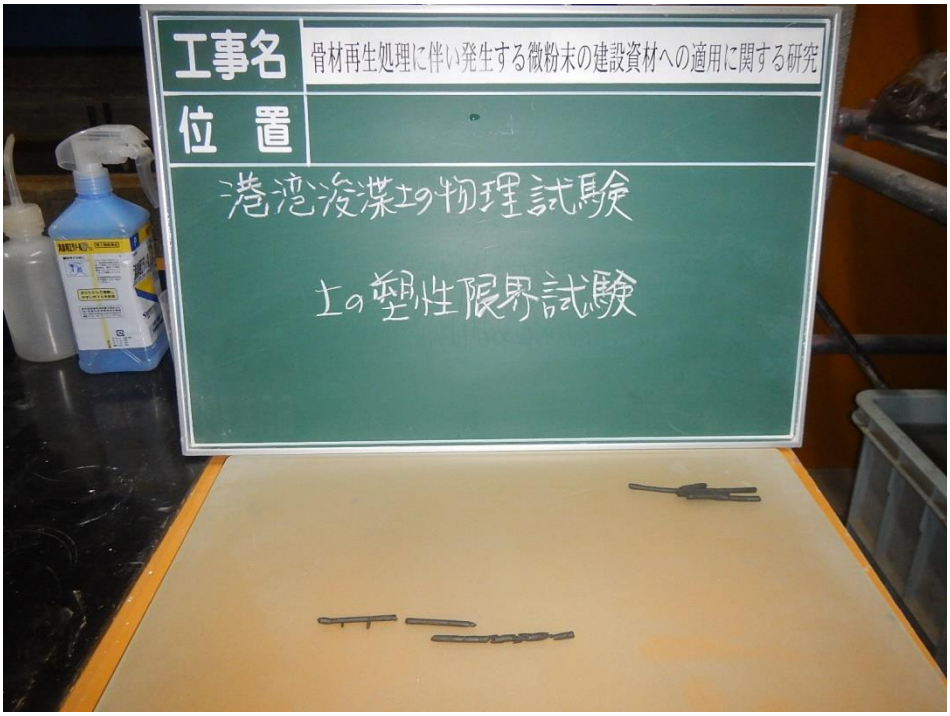
（ｄ）土のフロー試験

（ｅ）土の粒度試験（ふるい分け）



（ｆ）土の粒度試験（沈降分析）

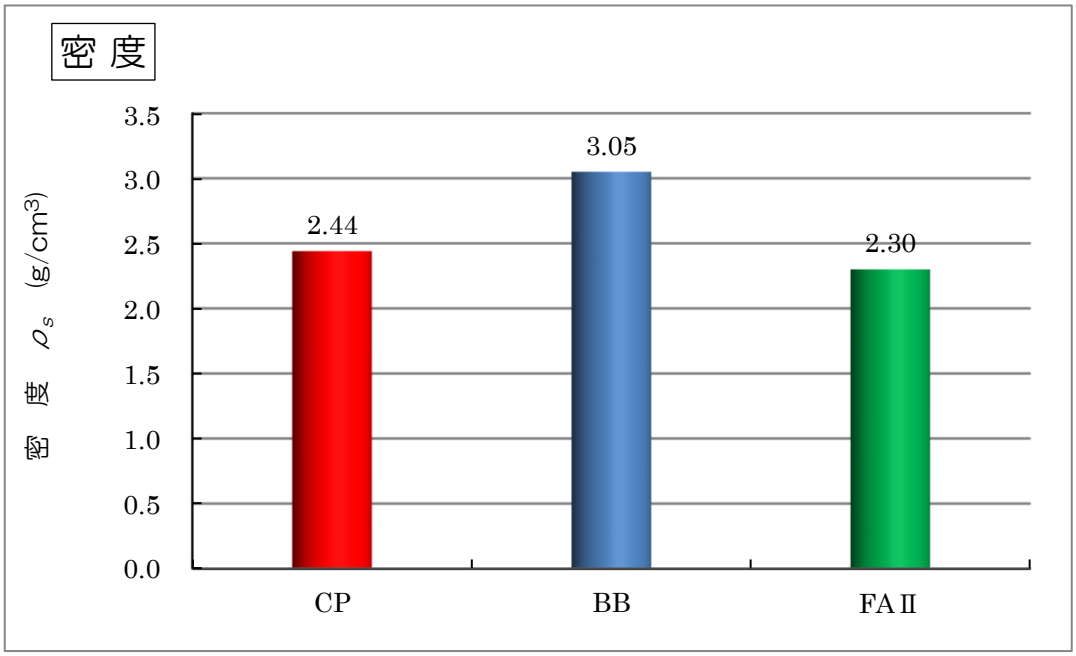
（ｇ）土の液性限界試験



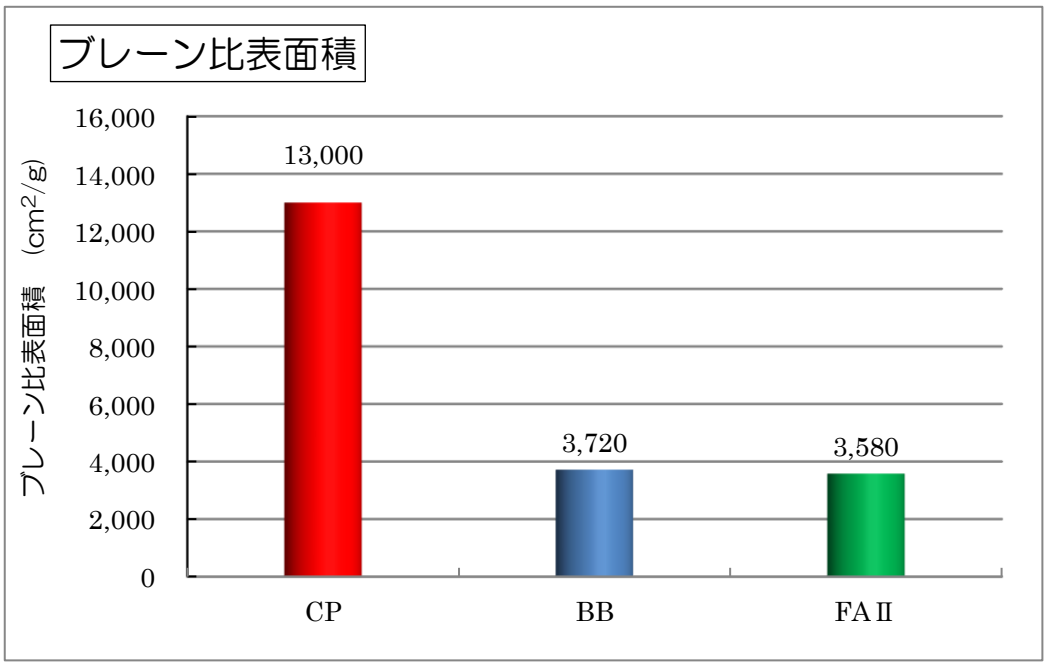
（ｈ）土の組成限界試験

２．CP の物理・化学的特性

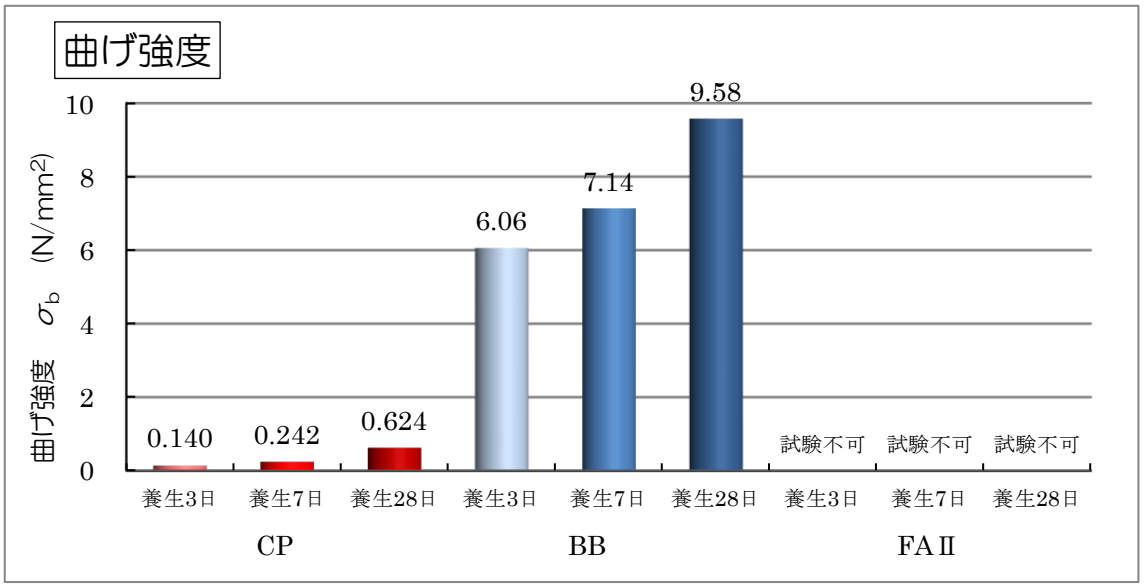
（1）セメントの密度試験（JIS R 5201）

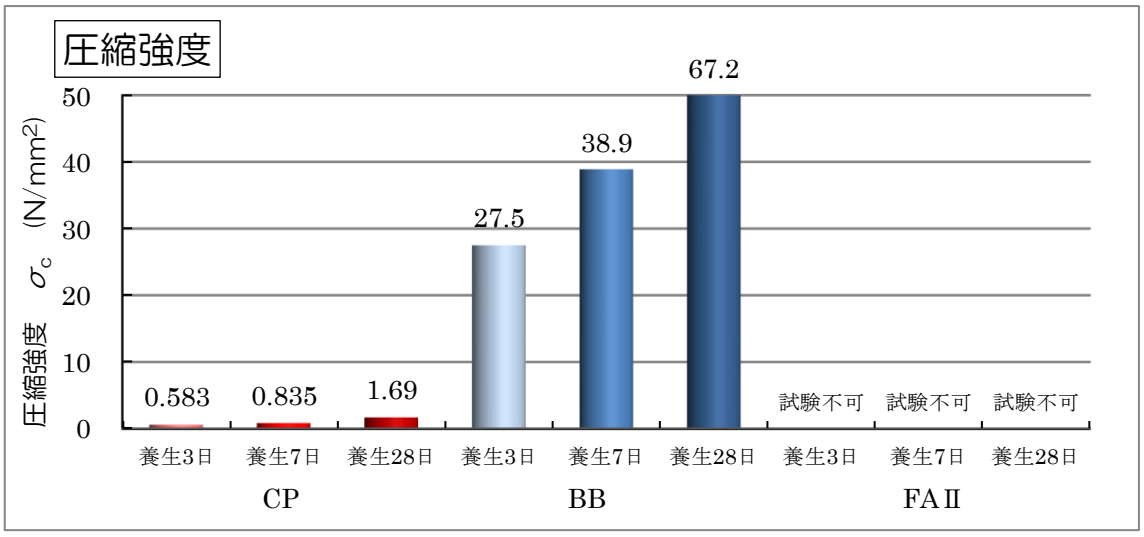


（2）セメントの粉末度試験（JIS R 5201）

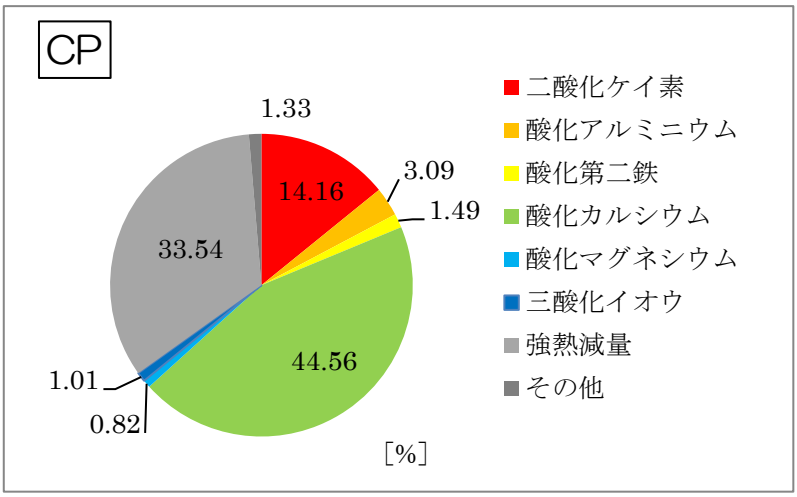


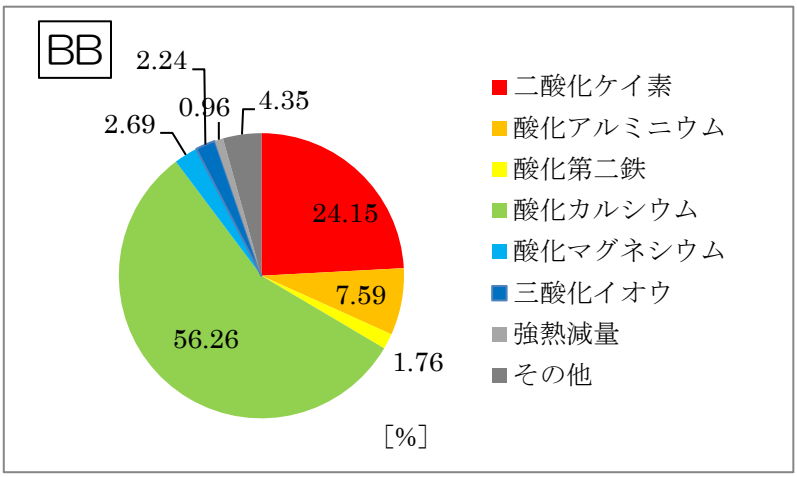
（３）セメントの強さ試験（JIS R 5201）

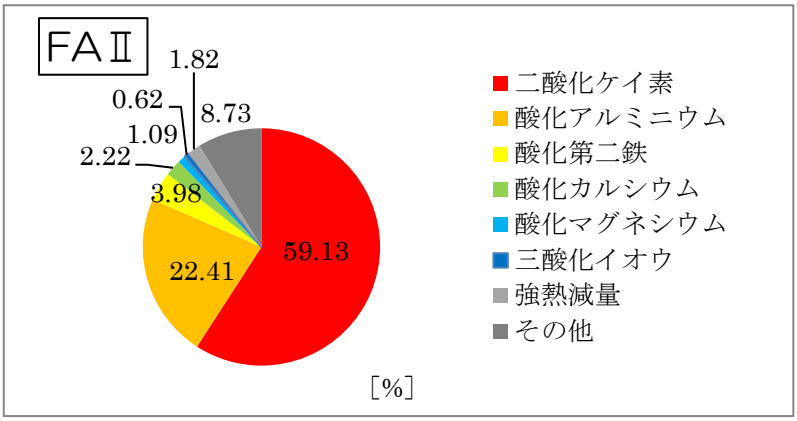


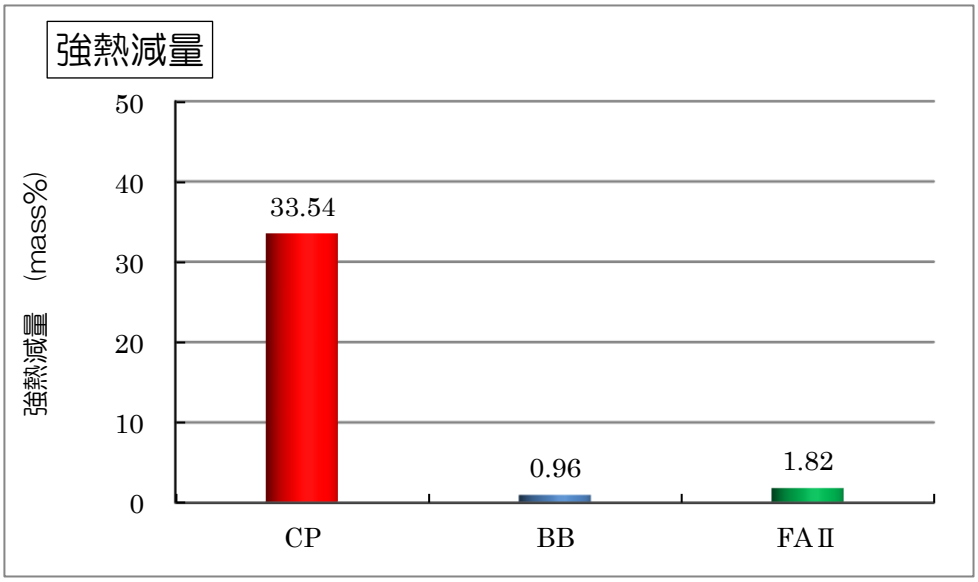


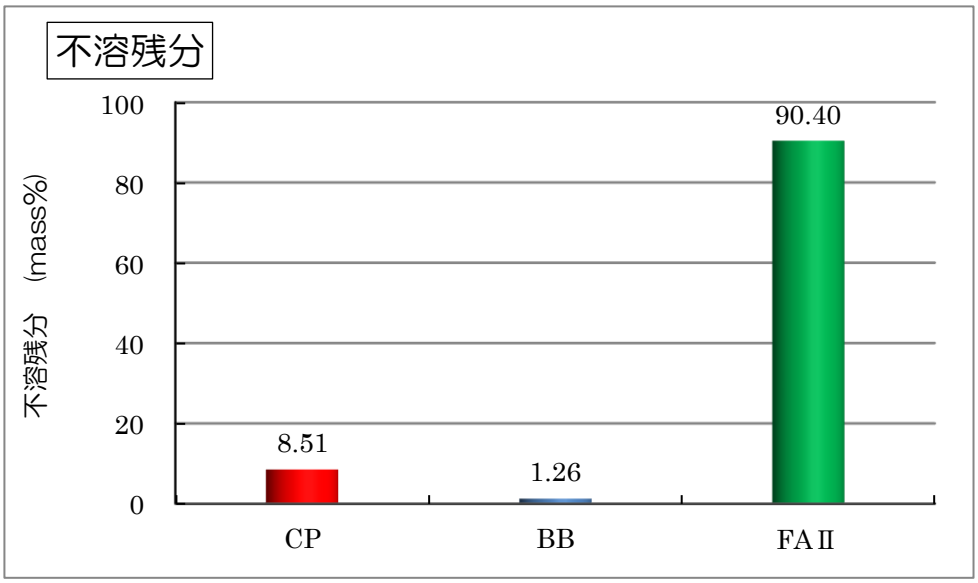
（4）セメントの化学分析（JIS R 5202）



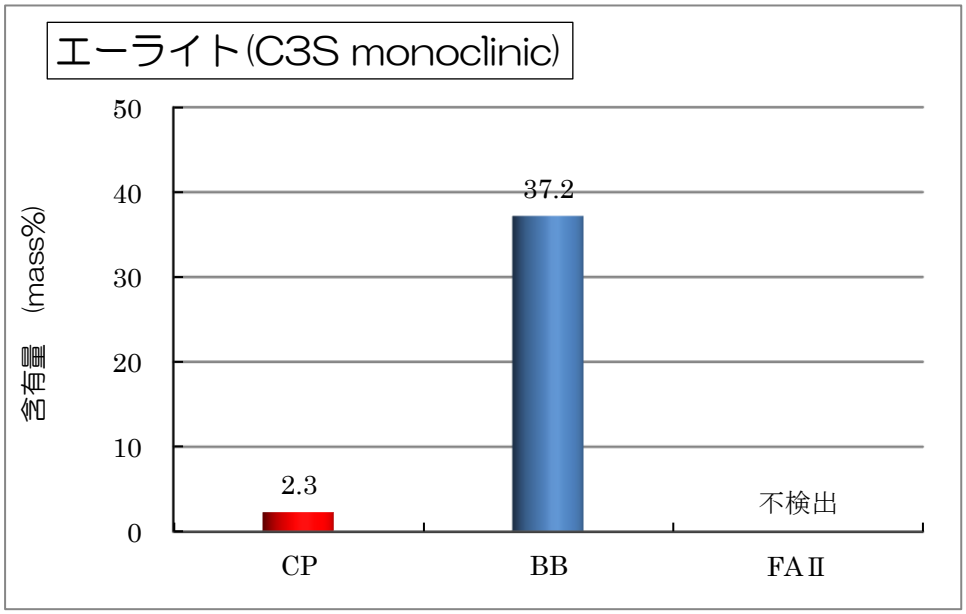


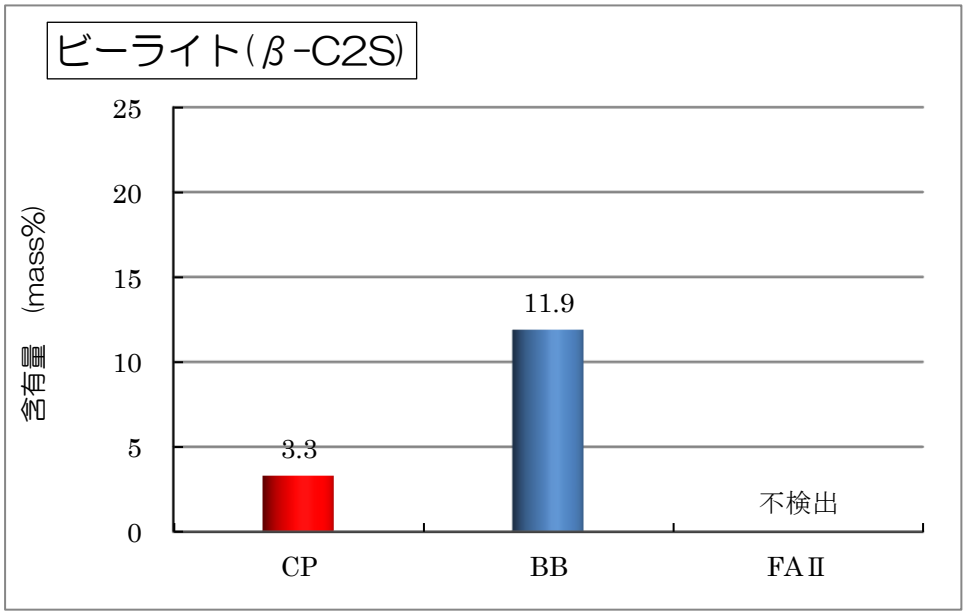


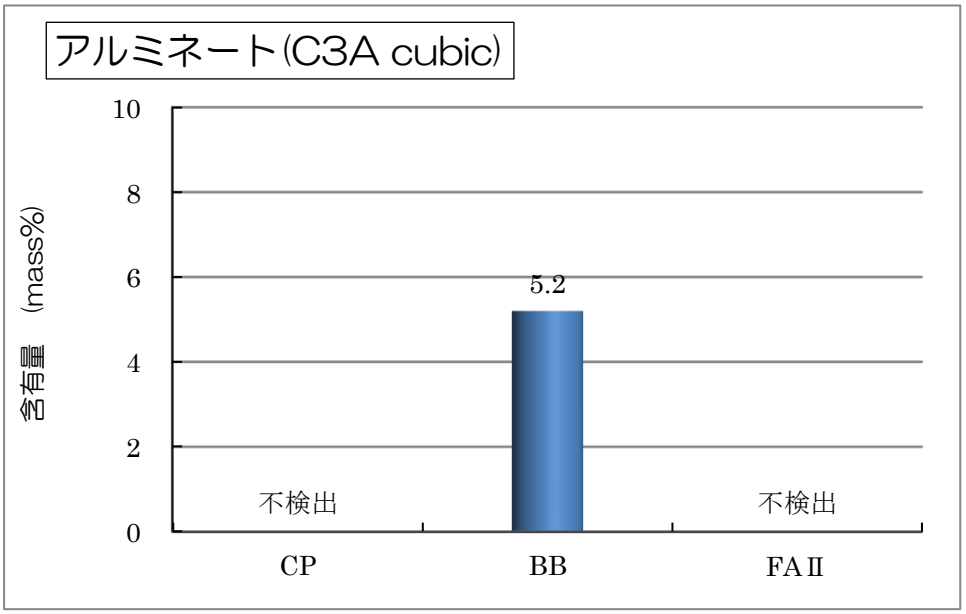

強熱減量
強熱減量　(mass%)
50
40
30
20
10
0
33.54
0.96
1.82
CP
BB
FAⅡ

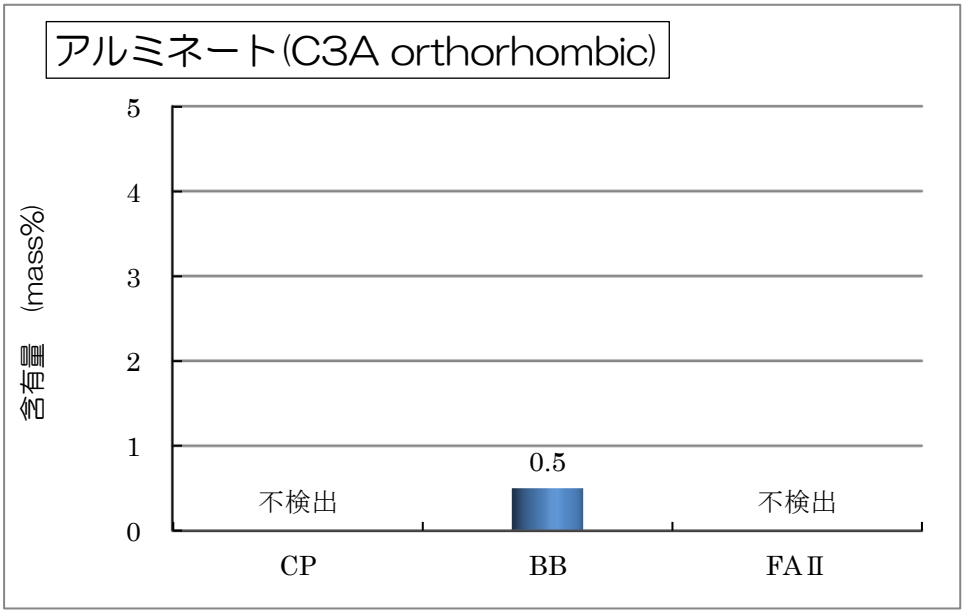

不溶残分
不溶残分　(mass%)
100
80
60
40
20
0
8.51
1.26
90.40
CP
BB
FAⅡ

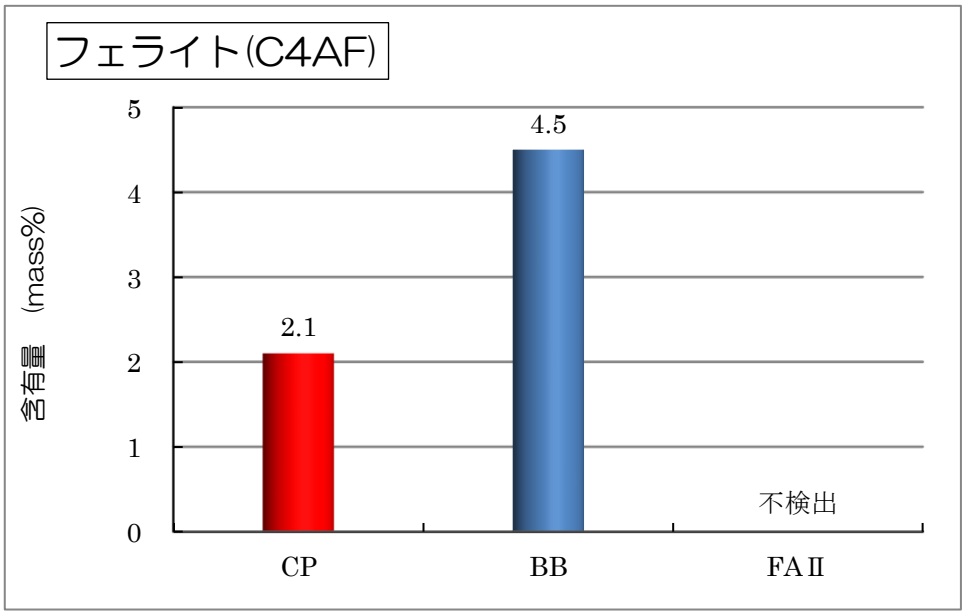
（５）クリンカー鉱物の同定と定量






アルミネート(C3A cubic)
含有量 (mass%)
10
8
6
4
2
0
5.2
不検出
不検出
CP
BB
FAⅡ

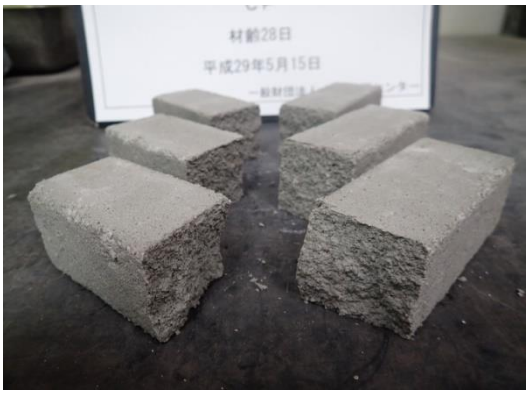

アルミネート(C3A orthorhombic)
含有量 (mass%)
5
4
3
2
1
0
0.5
不検出
不検出
CP
BB
FAⅡ


フェライト(C4AF)
含有量 (mass%)
5
4
3
2
1
0
2.1
4.5
不検出
CP
BB
FAⅡ

（６）試験状況写真

（ａ）曲げ試験前

（ｂ）曲げ試験後

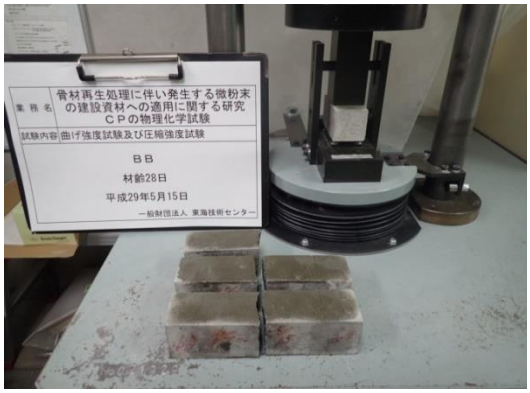


（ｃ）曲げ試験破断面

（ｄ）圧縮試験後

ＣＰの強さ試験

（ａ）曲げ試験前



（ｂ）曲げ試験後

（ｃ）曲げ試験破断面

（ｄ）圧縮試験後

ＢＢの強さ試験

（ａ）ＣＰ

（ｂ）ＢＢ

（ｃ）ＦＡⅡ

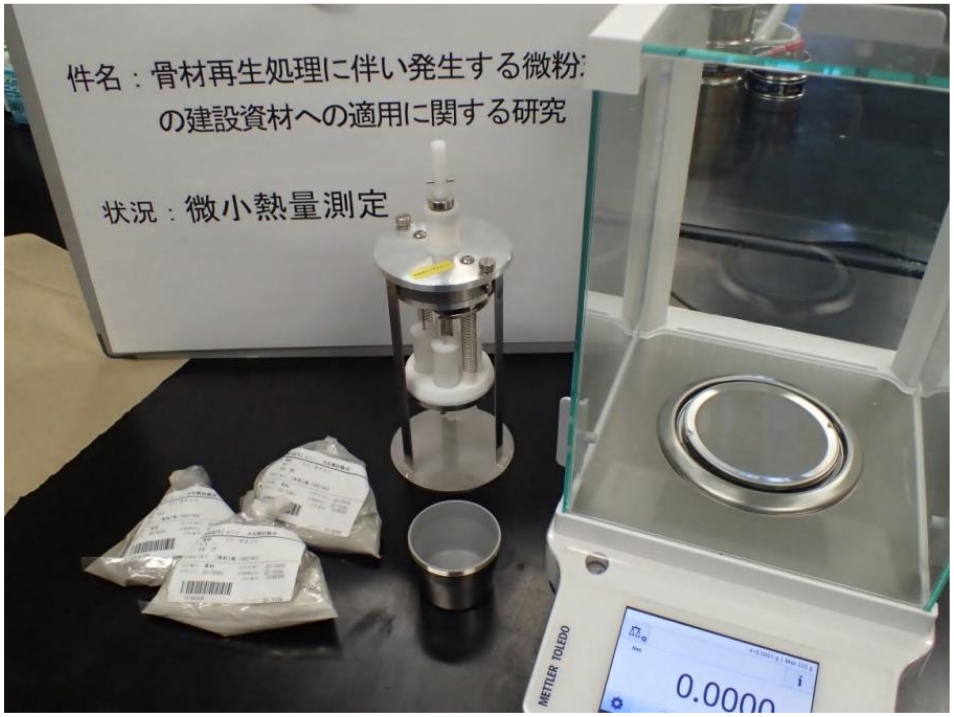
密度試験

（ａ）ＣＰ

（ｂ）ＢＢ

（ｃ）ＦＡⅡ

粉末度試験（比表面積試験）



（ａ）試験装置及び試料

（ｂ）測定状況

水和熱測定試験（マルチマイクロカロリーメーター）

３．改質土の特性

（1）コーン指数試験

①試験結果総括

固化材	添加量	材齢	q_c	ρ_t	ρ_d	w（実測値）	w（理論値）
	kg/m^3	日	kN/m^2	Mg/m^3	Mg/m^3	%	%
CP	100	3	74	1.405	0.707	98.7	99.0
		7	74	1.420	0.719	97.4	
		28	77	1.420	0.731	94.4	
	200	3	177	1.450	0.774	87.2	87.4
		7	207	1.448	0.781	85.3	
		28	271	1.470	0.797	84.5	
	300	3	310	1.486	0.825	80.0	78.3
		7	409	1.487	0.833	78.5	
		28	522	1.504	0.851	76.8	
	400	3	994	1.513	0.870	73.8	70.9
		7	1,447	1.518	0.890	70.6	
		28	2,290	1.502	0.881	70.5	
	500	3	1,698	1.545	0.916	68.6	64.8
		7	2,159	1.504	0.912	64.9	
		28	3,672	1.450	0.876	64.5	
BB	100	3	1,634	1.428	0.737	93.6	
		7	1,917	1.415	0.742	90.8	
		28	3,309	1.426	0.762	87.2	
	150	3	1,211	1.407	0.750	87.6	
		7	5,529	1.318	0.708	86.1	
		28	7,476	1.239	0.705	83.5	
	200	3	1,130	1.331	0.731	81.9	
		7	7,900	1.266	0.712	77.9	
		28	9,464	1.230	0.697	76.3	

②CP ; p=100,200,300,400 kg/m^3, t=3 day

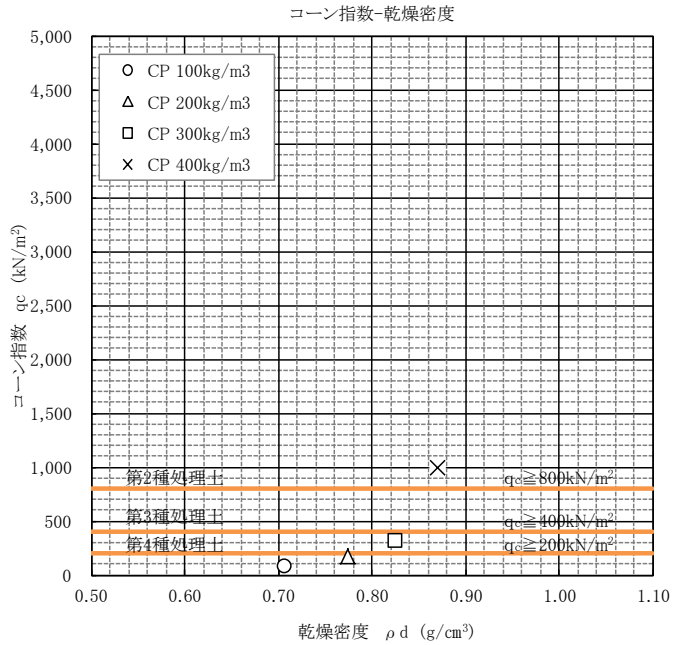
JIS A 1228	締固めた土のコーン指数試験	

調 査 件 名 骨材再生処理に伴い発生する微粉末の建設資材への適用に関する研究　試験年月日

試料番号(深さ) 配合試験 改質土(養生3日後) 固化材:クラッシングパウダー(CP)　試 験 者 鈴木 達史

土質名称	改質土	モールド	No.	-	荷重計	No	1232
土粒子の密度 ρ_s g/cm^3	−		容 量 V cm^3	1,000		容 量 N	1,000
コーンの底面積 A cm^2	3.24		(ﾓｰﾙﾄﾞ+底板)質量m_1 g	4,726		較正係数K N/目盛	4.785

試料名※)			10-100kg/m^3		10-200kg/m^3		10-300kg/m^3		10-400kg/m^3	
含水比	容器 No.	g	P96		P96		K444		K153	
	ma	g	2,254.8		2,300.5		2,318.9		2,379.9	
	mb	g	1,559.8		1,627.5		1,661.0		1,741.0	
	mc	g	856.0		855.7		839.0		875.1	
	w	%	98.7		87.2		80.0		73.8	
	平均値w	%	98.7		87.2		80.0		73.8	
供試体	(供試体+ﾓｰﾙﾄﾞ+底板)質量 m_2 g		6,130.5		6,175.3		6,211.5		6,238.2	
	湿潤密度 ρ_t	g/cm^3	1.405		1.450		1.486		1.513	
	乾燥密度 ρ_d	g/cm^3	0.707		0.774		0.825		0.870	
	飽和度 S_r	%	−		−		−		−	
	空気間隙率v_a	%	−		−		−		−	
コーン指数	貫入抵抗力 N	貫入量	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力
		5 cm	4	19	10	48	16	77	57	273
		7.5 cm	5	24	12	57	21	100	70	335
		10 cm	6	29	14	67	26	124	75	359
	平均貫入抵抗力 Q_c	N	24		57		100		322	
	コーン指数 q_c	kN/m^2	74		177		310		994	



※) 試料名称記載
高吸収性樹脂添加量 - 固化材添加量 kg/m^3
【 高吸収性樹脂名 : エコハードB S-1T 】
【 固化材名 : クラッシングパウダー 】

[1kN≒102kgf]
[1kN/m^2≒0.0102kgf/m^2]

③CP ; p=500 kg/m^3, t=3 day

JIS A 1228	締固めた土のコーン指数試験	

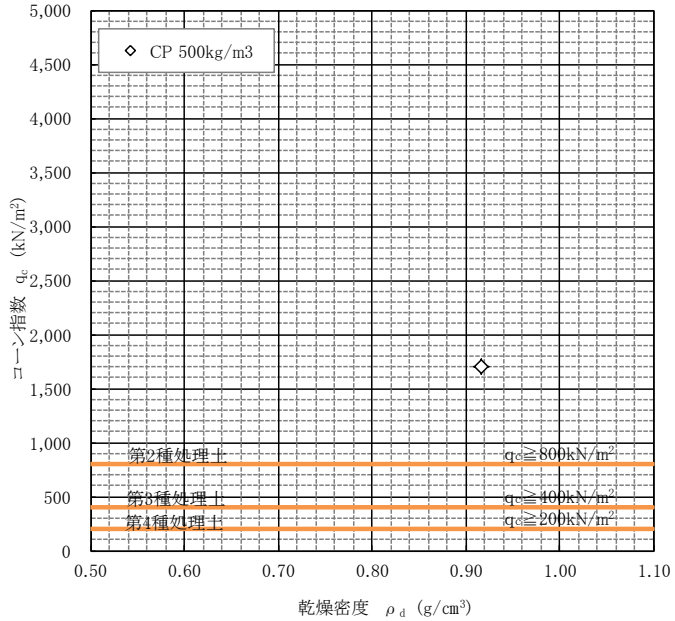
調 査 件 名　骨材再生処理に伴い発生する微粉末の建設資材への適用に関する研究　　試験年月日

試料番号(深さ)　配合試験　改質土(養生3日後)　固化材:クラッシングパウダー(CP)　　試 験 者　鈴木 達史

土質名称	改質土	モールド	No.	−	荷重計	No	1232
土粒子の密度 ρ_s g/cm^3	−		容 量 V cm^3	1,000		容 量 N	1,000
コーンの底面積 A cm^2	3.24		(ﾓｰﾙﾄﾞ+底板)質量m_1 g	4,726		較正係数K N/目盛	4.785

	試料名※)		10-500kg/m^3							
含水比	容器 No.	g	P96							
	ma	g	2,394.2							
	mb	g	1,768.5							
	mc	g	855.8							
	w	%	68.6							
	平均値w	%	68.6							
供試体	(供試体+ﾓｰﾙﾄﾞ+底板)質量 m_2 g		6,270.3							
	湿潤密度 ρ_t	g/cm^3	1.545							
	乾燥密度 ρ_d	g/cm^3	0.916							
	飽和度 S_r	%	−		−		−		−	
	空気間隙率v_a	%	−		−		−		−	
コーン指数	貫入量		荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力
	貫入抵抗力 N	5 cm	102	488						
		7.5 cm	112	536						
		10 cm	131	627						
	平均貫入抵抗力 Q_c	N	550							
	コーン指数 q_c	kN/m^2	1,698							

コーン指数-乾燥密度



※) 試料名称記載
高吸収性樹脂添加量 − 固化材添加量 kg/m^3

【 高吸収性樹脂名 : エコハードB S-1T 】

【 固化材名 : クラッシングパウダー 】

[1kN≒102kgf]
[1kN/m^2≒0.0102kgf/m^2]

④CP ; p=100,200,300,400 kg/m^3, t=7 day

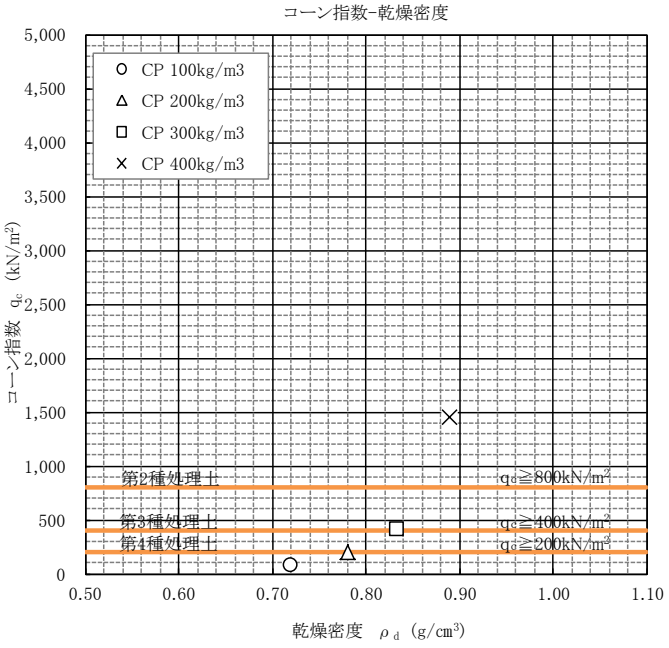
JIS A 1228	締固めた土のコーン指数試験	

調 査 件 名 骨材再生処理に伴い発生する微粉末の建設資材への適用に関する研究　　試験年月日

試料番号(深さ) 配合試験 改質土(養生7日後) 固化材:CP　　試 験 者 鈴木 達史

土質名称	改質土	モールド	No.	−	荷重計	No	1232
土粒子の密度 ρ_s g/cm^3	−		容 量 V cm^3	1,000		容 量 N	1,000
コーンの底面積 A cm^2	3.24		(ﾓｰﾙﾄﾞ+底板)質量m_1 g	4,726		較正係数K N/目盛	4.785

試料名※)			10-100kg/m^3		10-200kg/m^3		10-300kg/m^3		10-400kg/m^3	
含水比	容器 No.	g	M34		K153		M32		B2	
	ma	g	2,175.7		2,315.4		2,191.4		213.9	
	mb	g	1,478.7		1,652.2		1,544.8		158.7	
	mc	g	763.1		874.9		720.8		80.5	
	w	%	97.4		85.3		78.5		70.6	
	平均値w	%	97.4		85.3		78.5		70.6	
供試体	(供試体+ﾓｰﾙﾄﾞ+底板)質量 m_2 g		6,145.8		6,173.7		6,212.5		6,244.0	
	湿潤密度 ρ_t	g/cm^3	1.420		1.448		1.487		1.518	
	乾燥密度 ρ_d	g/cm^3	0.719		0.781		0.833		0.890	
	飽和度 S_r	%	−		−		−		−	
	空気間隙率v_a	%	−		−		−		−	
コーン指数	貫入抵抗力 N	貫入量	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力
		5 cm	4	19	12	57	25	120	90	431
		7.5 cm	5	24	14	67	28	134	94	450
		10 cm	6	29	16	77	30	144	110	526
	平均貫入抵抗力 Q_c	N	24		67		132		469	
	コーン指数 q_c	kN/m^2	74		207		409		1,447	



※) 試料名称記載
高吸収性樹脂添加量 − 固化材添加量 kg/m^3

【 高吸収性樹脂名 : エコハードB S-1T 】

【 固化材名 : クラッシングパウダー 】

[1kN≒102kgf]
[1kN/m^2≒0.0102kgf/m^2]

⑤CP ; p=500 kg/m^3, t=7 day

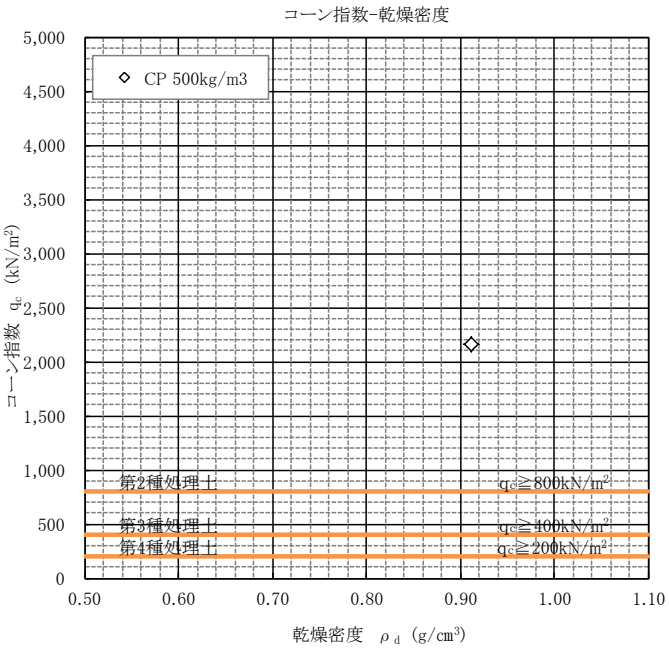
JIS A 1228	締固めた土のコーン指数試験	

調 査 件 名　骨材再生処理に伴い発生する微粉末の建設資材への適用に関する研究　　試験年月日

試料番号(深さ)　配合試験 改質土(養生7日後) 固化材:CP　　試 験 者　鈴木 達史

土質名称	改質土	モールド	No.	−	荷重計	No	TCLZ−5KNA
土粒子の密度 ρ_s g/cm^3	−		容 量 V cm^3	1,000		容 量 N	5,000
コーンの底面積 A cm^2	3.24		(ﾓｰﾙﾄﾞ+底板)質量m_1 g	4,726		較正係数K N/目盛	1.000

試料名※)			10−500kg/m^3							
含水比	容器 No.	g	K153							
	ma	g	2,372.5							
	mb	g	1,782.9							
	mc	g	875.0							
	w	%	64.9							
	平均値w	%	64.9							
供試体	(供試体+ﾓｰﾙﾄﾞ+底板)質量 m_2 g		6,230.0							
	湿潤密度 ρ_t	g/cm^3	1.504							
	乾燥密度 ρ_d	g/cm^3	0.912							
	飽和度 S_r	%	−		−		−		−	
	空気間隙率v_a	%	−		−		−		−	
コーン指数	貫入量		荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力
	貫入抵抗力 N	5 cm		598						
		7.5 cm		745						
		10 cm		755						
	平均貫入抵抗力 Q_c	N	700							
	コーン指数 q_c	kN/m^2	2,159							



※) 試料名称記載
高吸収性樹脂添加量 − 固化材添加量 kg/m^3

【 高吸収性樹脂名 : エコハードB S-1T 】

【 固化材名 : クラッシングパウダー 】

[1kN≒102kgf]
[1kN/m^2≒0.0102kgf/m^2]

⑥CP ; p=100,200,300 kg/m^3, t=28 day

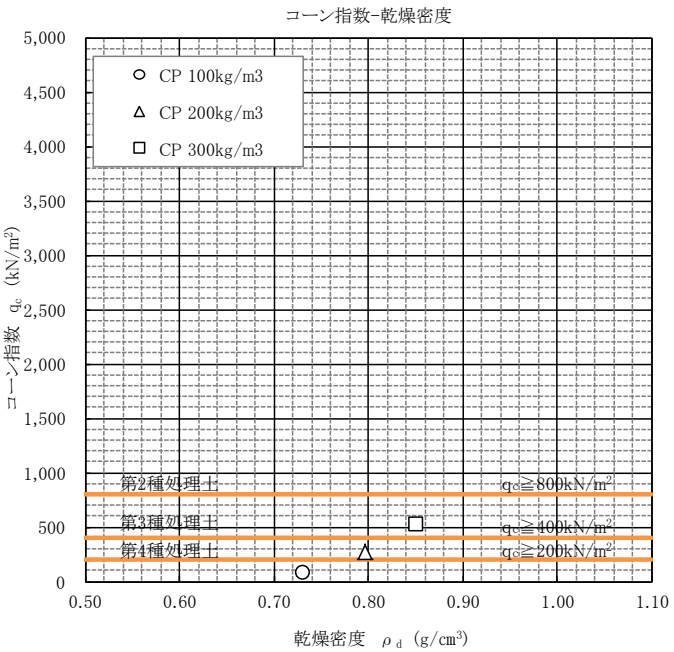
JIS A 1228	締固めた土のコーン指数試験	

調 査 件 名 骨材再生処理に伴い発生する微粉末の建設資材への適用に関する研究　　試験年月日

試料番号(深さ) 配合試験 改質土(養生28日後) 固化材:クラッシングパウダー(CP)　　試 験 者 鈴木 達史

土質名称	改質土	モールド	No.	−	荷重計	No	838
土粒子の密度 ρ_s g/cm^3	−		容 量 V cm^3	1,000		容 量 N	1,000
コーンの底面積 A cm^2	3.24		(モールド+底板)質量m_1 g	4,051		較正係数K N/目盛	4.971

試料名※)			10-100kg/m^3		10-200kg/m^3		10-300kg/m^3			
含水比	容器 No.	g	K78		E-13		K73			
	ma	g	1,860.1		1,931.6		1,980.5			
	mb	g	1,173.8		1,263.2		1,335.7			
	mc	g	446.9		472.3		495.8			
	w	%	94.4		84.5		76.8			
	平均値w	%	94.4		84.5		76.8			
供試体	(供試体+モールド+底板)質量 m_2 g		5,471.5		5,521.1		5,554.8			
	湿潤密度 ρ_t	g/cm^3	1.420		1.470		1.504			
	乾燥密度 ρ_d	g/cm^3	0.731		0.797		0.851			
	飽和度 S_r	%	−		−		−		−	
	空気間隙率v_a	%	−		−		−		−	
コーン指数	貫入量		荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力
	貫入抵抗力 N	5 cm	4	20	16	80	32	159		
		7.5 cm	5	25	18	89	35	174		
		10 cm	6	30	19	94	35	174		
	平均貫入抵抗力 Q_c	N	25		88		169			
	コーン指数 q_c	kN/m^2	77		271		522			



※) 試料名称記載
高吸収性樹脂添加量 − 固化材添加量 kg/m^3

【 高吸収性樹脂名 : エコハードB S-1T 】

【 固化材名 : クラッシングパウダー 】

[1kN≒102kgf]
[1kN/m$_2$≒0.0102kgf/m^2]

⑦CP ; p=400,500 kg/m^3, t=28 day

JIS A 1228	締固めた土のコーン指数試験	

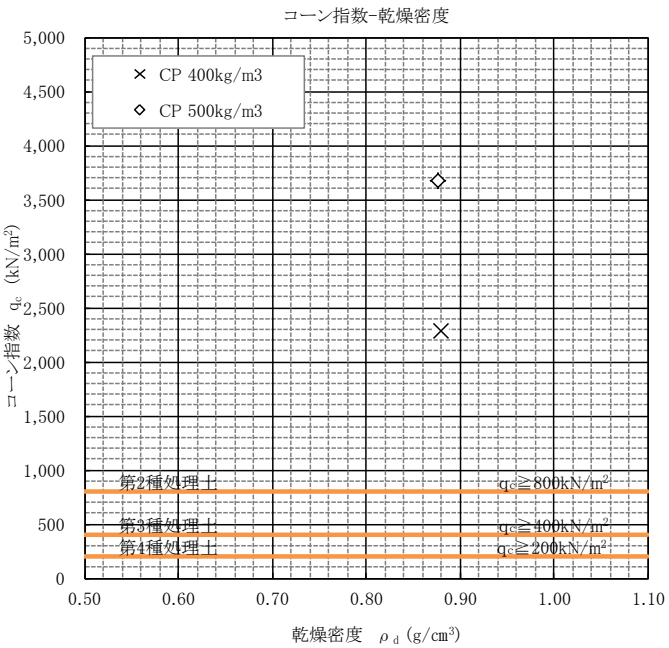
調 査 件 名 骨材再生処理に伴い発生する微粉末の建設資材への適用に関する研究　　試験年月日

試料番号(深さ) 配合試験 改質土(養生28日後) 固化材:CP　　試 験 者 鈴木 達史

土質名称	改質土	モールド	No.	−	荷重計	No	TCLZ-5KNA
土粒子の密度 ρ_s g/cm^3	−		容 量 V cm^3	1,000		容 量 N	5,000
コーンの底面積 A cm^2	3.24		(ﾓｰﾙﾄﾞ+底板)質量m_1 g	4,051		較正係数K N/目盛	1.000

	試料名※)		10-400kg/m^3		10-500kg/m^3					
含水比	容器 No.	g	M-18		K112					
	ma	g	2,200.7		2,119.0					
	mb	g	1,585.8		1,552.8					
	mc	g	713.5		687.5					
	w	%	70.5		65.4					
	平均値w	%	70.5		65.4					
供試体	(供試体+ﾓｰﾙﾄﾞ+底板)質量 m_2 g		5,552.8		5,501.1					
	湿潤密度 ρ_t	g/cm^3	1.502		1.450					
	乾燥密度 ρ_d	g/cm^3	0.881		0.876					
	飽和度 S_r	%	−		−		−		−	
	空気間隙率v_a	%	−		−		−		−	

コーン指数	貫入量	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力
貫入抵抗力 N	5 cm		637		1,128				
	7.5 cm		775		1,098				
	10 cm		814		1,344				
平均貫入抵抗力 Q_c N		742		1,190					
コーン指数 q_c kN/m^2		2,290		3,672					



※) 試料名称記載
高吸収性樹脂添加量 − 固化材添加量 kg/m^3

【 高吸収性樹脂名 : エコハードB S-1T 】

【 固化材名 : クラッシングパウダー 】

[1kN≒102kgf]
[1kN/m^2≒0.0102kgf/m^2]

⑧BB ; p=100,150,200 kg/m^3, t=3 day

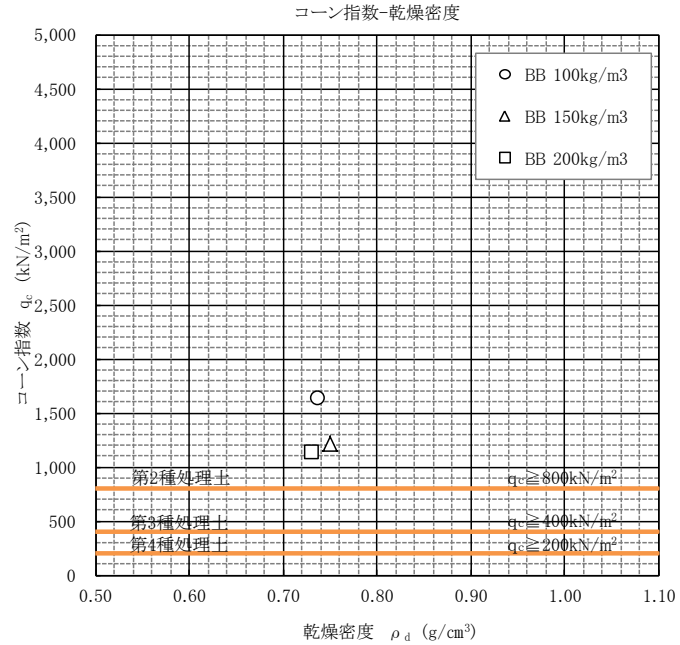
JIS A 1228	締固めた土のコーン指数試験	

調 査 件 名 骨材再生処理に伴い発生する微粉末の建設資材への適用に関する研究　　試験年月日

試料番号(深さ) 配合試験 改質土(養生3日後) 固化材:高炉セメントB種(BB)　　試 験 者 鈴木 達史

土質名称	改質土	モールド	No.	−	荷重計	No	1232
土粒子の密度 ρ_s g/cm^3	−		容 量 V cm^3	1,000		容 量 N	1,000
コーンの底面積 A cm^2	3.24		(モールド+底板)質量m_1 g	4,726		較正係数K N/目盛	4.785

試料名※)			10−100kg/m^3		10−150kg/m^3		10−200kg/m^3			
含水比	容器 No.	g	K153		K153		K444			
	ma	g	2,297.0		2,276.5		2,156.0			
	mb	g	1,609.6		1,622.2		1,562.8			
	mc	g	875.0		875.0		838.9			
	w	%	93.6		87.6		81.9			
	平均値w	%	93.6		87.6		81.9			
供試体	(供試体+モールド+底板)質量 m_2 g		6,153.2		6,132.2		6,056.4			
	湿潤密度 ρ_t	g/cm^3	1.428		1.407		1.331			
	乾燥密度 ρ_d	g/cm^3	0.737		0.750		0.731			
	飽和度 S_r	%	−		−		−		−	
	空気間隙率V_a	%	−		−		−		−	
コーン指数	貫入量		荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力
	貫入抵抗力 N	5 cm	100	479	160	766	150	718		
		7.5 cm	112	536	4	19	3	14		
		10 cm	120	574						
	平均貫入抵抗力 Q_c	N	530		392		366			
	コーン指数 q_c	kN/m^2	1,634		1,211		1,130			



※) 試料名称記載
高吸収性樹脂添加量 − 固化材添加量 kg/m^3
【 高吸収性樹脂名 : エコハードB S-1T 】
【 固化材名 : 高炉セメントB種 】

[1kN≒102kgf]
[1kN/m^2≒0.0102kgf/m^2]

⑨BB ; p=100,150,200 kg/m^3, t=7 day

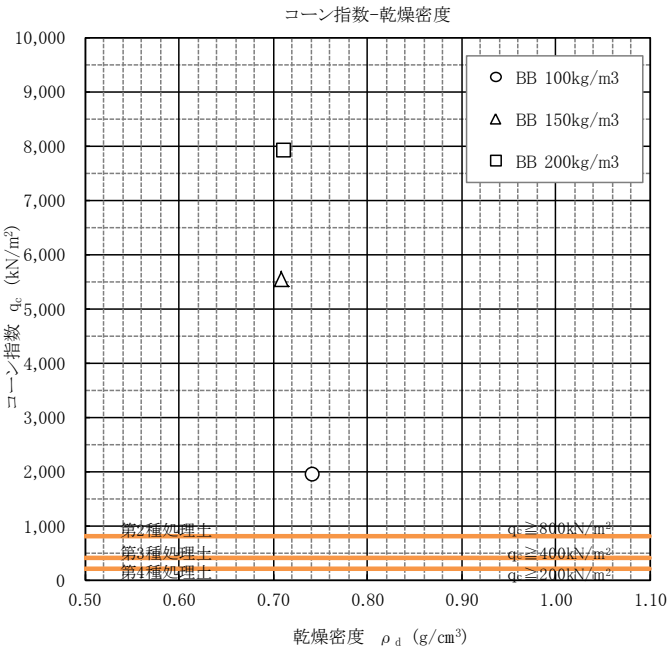
JIS A 1228	締固めた土のコーン指数試験	

調 査 件 名 骨材再生処理に伴い発生する微粉末の建設資材への適用に関する研究　試験年月日

試料番号(深さ) 配合試験 改質土(養生7日後) 固化材:高炉セメントB種(BB)　試 験 者 鈴木 達史

土質名称	改質土	モールド	No.	-	荷重計	No	TCLZ-5KNA
土粒子の密度 ρ_s g/cm^3	—		容 量 V cm^3	1,000		容 量 N	5,000
コーンの底面積 A cm^2	3.24		(モールド+底板)質量m_1 g	4,726		較正係数K N/目盛	1.000

試料名※)			10-100kg/m^3		10-150kg/m^3		10-200kg/m^3			
含水比	容器 No.	g	K444		D111		P96			
	ma	g	2,226.8		1,982.8		2,115.1			
	mb	g	1,566.2		1,394.1		1,563.8			
	mc	g	838.8		710.5		855.7			
	w	%	90.8		86.1		77.9			
	平均値w	%	90.8		86.1		77.9			
供試体	(供試体+モールド+底板)質量 m_2 g		6,141.0		6,044.0		5,992.1			
	湿潤密度 ρ_t	g/cm^3	1.415		1.318		1.266			
	乾燥密度 ρ_d	g/cm^3	0.742		0.708		0.712			
	飽和度 S_r	%	—		—		—		—	
	空気間隙率v_a	%	—		—		—		—	
コーン指数	貫入抵抗力 N	貫入量	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力
		5 cm		510		1,432		2,177		
		7.5 cm		647		1,932		2,638		
		10 cm		706		2,010		2,864		
	平均貫入抵抗力 Q_c	N	621		1,791		2,560			
	コーン指数 q_c	kN/m^2	1,917		5,529		7,900			



※) 試料名称記載
高吸収性樹脂添加量 - 固化材添加量 kg/m^3

【 高吸収性樹脂名 : エコハードB S-1T 】

【 固化材名 : 高炉セメントB種 】

[1kN≒102kgf]
[1kN/m^2≒0.0102kgf/m^2]

⑩BB ; p=100,150,200 kg/m^3, t=28 day

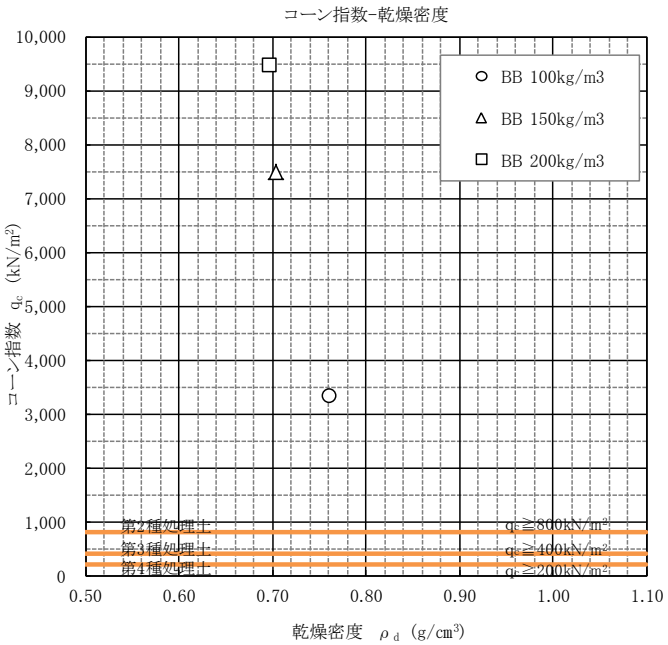
JIS A 1228	締固めた土のコーン指数試験	

調 査 件 名 骨材再生処理に伴い発生する微粉末の建設資材への適用に関する研究　　試験年月日

試料番号(深さ) 配合試験 改質土(養生7日後) 固化材:高炉セメントB種(BB)　　試 験 者 鈴木 達史

土質名称	改質土	モールド	No.	-	荷重計	No	TCLZ-5KNA
土粒子の密度 ρ_s g/cm^3	―		容 量 V cm^3	1,000		容 量 N	5,000
コーンの底面積 A cm^2	3.24		(ﾓｰﾙﾄﾞ+底板)質量m_1 g	4,051		較正係数K N/目盛	1.000

	試料名※)		10-100kg/m^3		10-150kg/m^3		10-200kg/m^3			
含水比	容器 No.	g	D25		P23		E48			
	ma	g	1,873.1		1,709.6		1,629.5			
	mb	g	1,220.9		1,170.6		1,123.4			
	mc	g	472.9		525.2		460.5			
	w	%	87.2		83.5		76.3			
	平均値w	%	87.2		83.5		76.3			
供試体	(供試体+ﾓｰﾙﾄﾞ+底板)質量 m_2 g		5,477.7		5,344.5		5,281.0			
	湿潤密度 ρ_t	g/cm^3	1.426		1.293		1.230			
	乾燥密度 ρ_d	g/cm^3	0.762		0.705		0.697			
	飽和度 S_r	%	―		―		―		―	
	空気間隙率v_a	%	―		―		―		―	
コーン指数	貫入抵抗力 N	貫入量	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力	荷重計の読み	貫入抵抗力
		5 cm		951		1,893		2,246		
		7.5 cm		1,089		2,677		3,364		
		10 cm		1,177		2,697		3,589		
	平均貫入抵抗力 Q_c	N	1,072		2,422		3,066			
	コーン指数 q_c	kN/m^2	3,309		7,476		9,464			



※) 試料名称記載
高吸収性樹脂添加量 - 固化材添加量 kg/m^3
【 高吸収性樹脂名 : エコハードB S-1T 】
【 固化材名 : 高炉セメントB種 】

[1kN≒102kgf]
[1kN/m^2≒0.0102kgf/m^2]

（2）一軸圧縮試験

①試験結果総括

固化材	添加量	材齢	q_u				ρ_t				ρ_d				w				w
			①	②	③	平均	①	②	③	平均	①	②	③	平均	①	②	③	平均	(理論値)
	kg/m^3	日	kN/m^2				Mg/m^3				Mg/m^3				%				%
CP	100	3	7.9	8.2	6.2	7.4	1.447	1.429	1.441	1.439	0.735	0.727	0.734	0.732	96.8	96.5	96.5	96.6	99.0
		7	9.3	10.0	8.1	9.1	1.374	1.362	1.370	1.369	0.703	0.699	0.701	0.701	95.6	94.9	95.4	95.3	
		28	11.4	12.6	11.8	11.9	1.428	1.445	1.434	1.436	0.741	0.757	0.748	0.749	92.7	91.0	91.7	91.8	
	200	3	25.2	23.2	30.5	26.3	1.471	1.454	1.466	1.464	0.787	0.776	0.785	0.783	87.0	87.5	86.8	87.1	87.4
		7	32.1	41.3	39.3	37.6	1.464	1.455	1.456	1.458	0.792	0.791	0.791	0.791	84.9	83.8	84.1	84.3	
		28	93.1	99.1	93.2	95.1	1.448	1.458	1.454	1.453	0.812	0.818	0.818	0.816	78.3	78.2	77.8	78.1	
	300	3	61.6	59.5	65.1	62.1	1.491	1.487	1.496	1.491	0.859	0.830	0.835	0.841	73.6	79.2	79.1	77.3	78.3
		7	88.2	86.9	89.9	88.3	1.416	1.414	1.435	1.422	0.797	0.793	0.809	0.800	77.5	78.2	77.4	77.7	
		28	134.8	131.0	145.3	137.0	1.510	1.488	1.506	1.501	0.866	0.853	0.864	0.861	74.2	74.6	74.2	74.3	
	400	3	154.3	165.9	175.8	165.3	1.519	1.512	1.522	1.518	0.881	0.871	0.882	0.878	72.5	73.6	72.6	72.9	70.9
		7	203.5	214.5	200.9	206.3	1.517	1.519	1.513	1.516	0.899	0.904	0.896	0.900	68.6	67.9	68.9	68.5	
		28	360.9	327.4	367.3	351.9	1.517	1.501	1.511	1.510	0.922	0.904	0.915	0.914	64.6	66.0	65.0	65.2	
	500	3	327.5	271.2	259.4	286.0	1.539	1.541	1.543	1.541	0.918	0.918	0.924	0.920	67.5	67.8	67.0	67.4	64.8
		7	234.8	330.7	330.8	298.8	1.457	1.533	1.546	1.512	0.886	0.942	0.949	0.926	64.5	62.7	63.0	63.4	
		28	509.4	495.8	492.6	499.3	1.528	1.524	1.530	1.527	0.955	0.949	0.956	0.953	60.0	60.6	60.1	60.2	
BB	100	3	389.3	335.8	368.5	364.5	1.419	1.419	1.422	1.420	0.735	0.735	0.736	0.735	93.0	93.2	93.1	93.1	
		7	479.2	497.4	379.9	452.2	1.402	1.415	1.425	1.414	0.741	0.747	0.750	0.746	89.2	89.4	90.0	89.5	
		28	782.4	1,038.4	991.4	937.4	1.392	1.412	1.404	1.403	0.763	0.776	0.774	0.771	82.5	81.9	81.4	81.9	
	150	3	898.6	740.3	729.2	789.4	1.439	1.421	1.430	1.430	0.769	0.761	0.768	0.766	87.2	86.8	86.1	86.7	
		7	1,082.7	1,308.8	1,066.6	1,152.7	1.434	1.444	1.430	1.436	0.778	0.781	0.776	0.778	84.2	84.8	84.3	84.4	
		28	1,453.4	1,599.0	1,992.9	1,681.8	1.418	1.434	1.455	1.436	0.786	0.797	0.811	0.798	80.4	80.1	79.5	80.0	
	200	3	1,549.4	1,200.5	1,275.8	1,341.9	1.459	1.415	1.435	1.436	0.811	0.783	0.794	0.796	79.9	80.7	80.6	80.4	
		7	2,108.9	2,108.6	1,340.7	1,852.7	1.457	1.452	1.419	1.443	0.826	0.820	0.806	0.817	76.4	77.2	76.1	76.6	
		28	2,849.4	3,128.8	1,614.6	2,530.9	1.444	1.454	1.396	1.431	0.866	0.901	0.841	0.869	66.7	61.3	66.0	64.7	

②CP ; p=100 kg/m^3, t=3 day

JIS A 1216

土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)

調査件名 CP配合試験関係

試験年月日 2017年7月13日

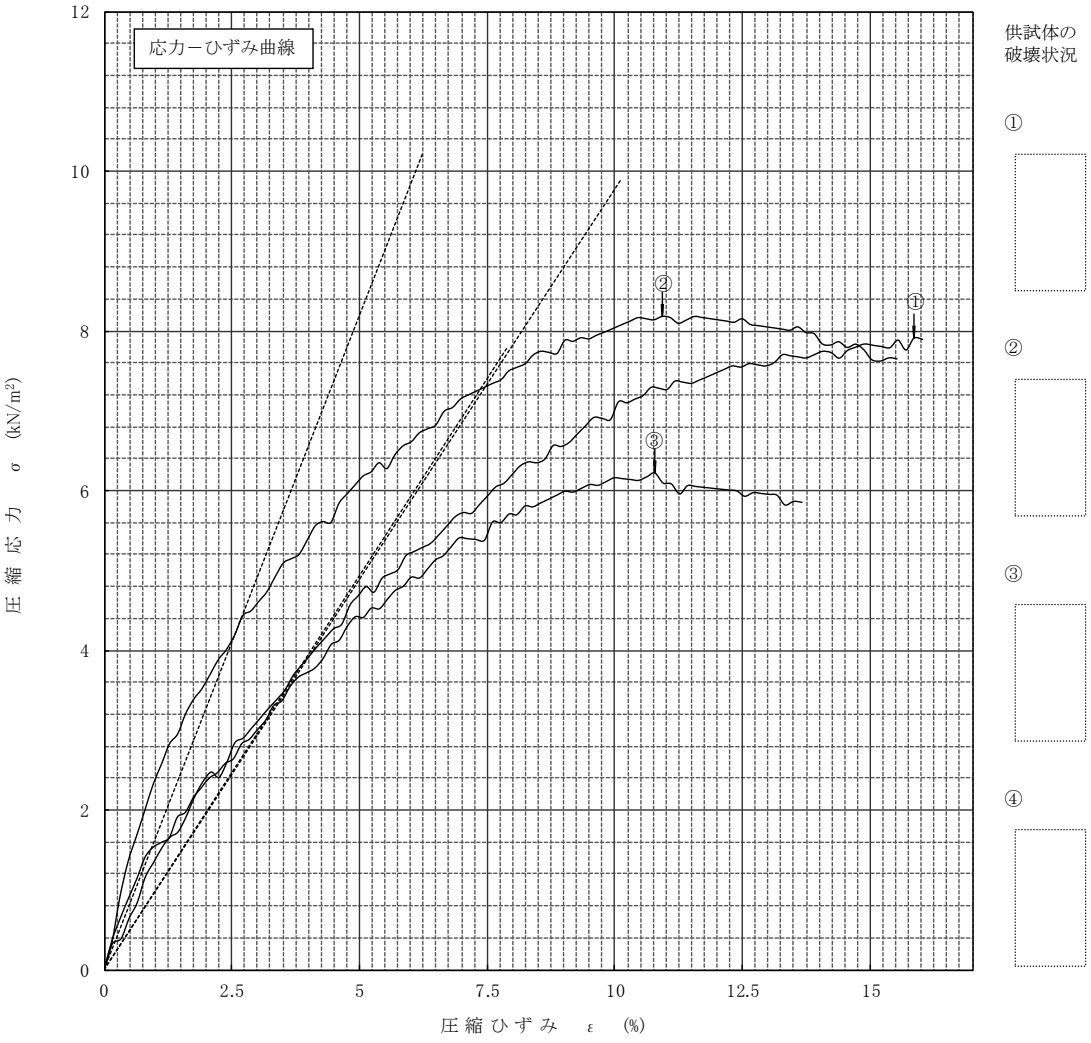
試料番号 CP;p=100kg/m^3, q_u3

試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	1
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③	
試料の状態					
高さ	H_0 cm	9.93	10.00	9.97	
直径	D_0 cm	4.96	4.94	4.97	
質量	m g	277.1	274.2	278.3	
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.447	1.429	1.441	
含水比	W %	96.8	96.5	96.5	
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.735	0.727	0.734	
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	7.9	8.2	6.2	
破壊ひずみ	ε_f %	15.86	10.93	10.78	
E_{50}	MN/m^2	0.10	0.16	0.10	
鋭敏比	S_t				



供試体の破壊状況

①

②

③

④

③CP ; p=100 kg/m^3, t=7 day

JIS A 1216

土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)

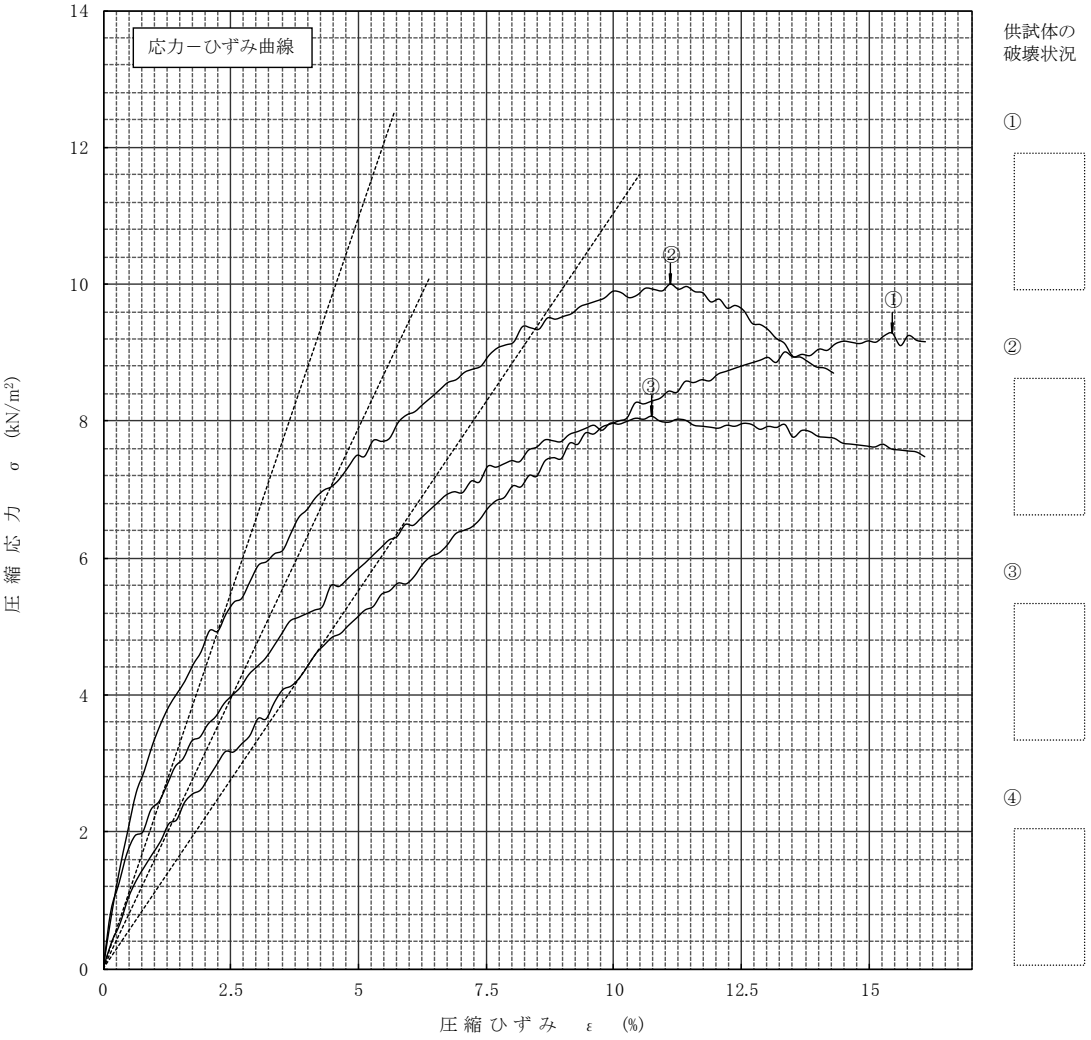
調査件名 CP配合試験関係　　試験年月日 2017年7月17日

試料番号 CP;p=100kg/m^3,q_u7　　試験者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量		kN 1
ひずみ速度		%/min 1.00

特記事項

供試体No.			①	②	③	
試料の状態						
高さ	H_0	cm	9.94	9.94	9.92	
直径	D_0	cm	4.95	4.96	4.95	
質量	m	g	262.7	261.7	261.1	
湿潤密度	ρ_t	g/cm^3	1.374	1.362	1.370	
含水比	W	%	95.6	94.9	95.4	
乾燥密度	ρ_d	g/cm^3	0.703	0.699	0.701	
一軸圧縮強さ	q_u	kN/m^2	9.3	10.0	8.1	
破壊ひずみ	ε_f	%	15.45	11.11	10.74	
E_{50}		MN/m^2	0.11	0.22	0.16	
鋭敏比	S_t					



④CP ; p=100 kg/m^3, t=28 day

JIS A 1216

土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)

調査件名 CP配合試験関係

試験年月日 2017年8月7日

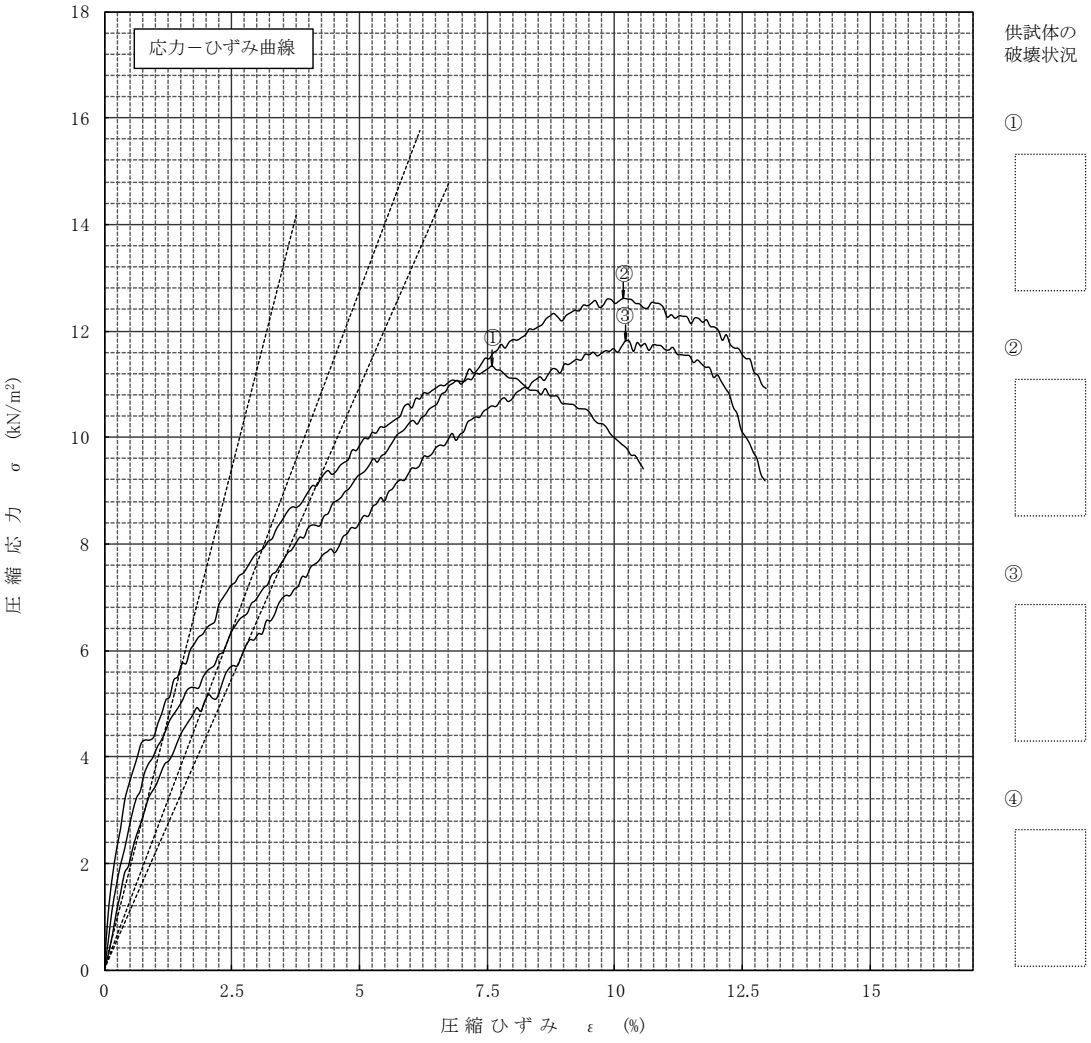
試料番号 CP;p=100kg/m^3, q_u28

試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	1
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③
試料の状態				
高さ	H_0 cm	10.00	10.01	10.07
直径	D_0 cm	4.95	4.95	4.94
質量	m g	275.0	278.2	277.2
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.428	1.445	1.434
含水比	W %	92.7	91.0	91.7
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.741	0.757	0.748
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	11.3	12.6	11.8
破壊ひずみ	ε_f %	7.60	10.17	10.21
E_{50}	MN/m^2	0.38	0.25	0.22
鋭敏比	S_t			



供試体の破壊状況

①

②

③

④

⑤CP ; p=200 kg/m^3, t=3 day

JIS A 1216

土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)

調査件名 CP配合試験関係

試験年月日 2017年7月15日

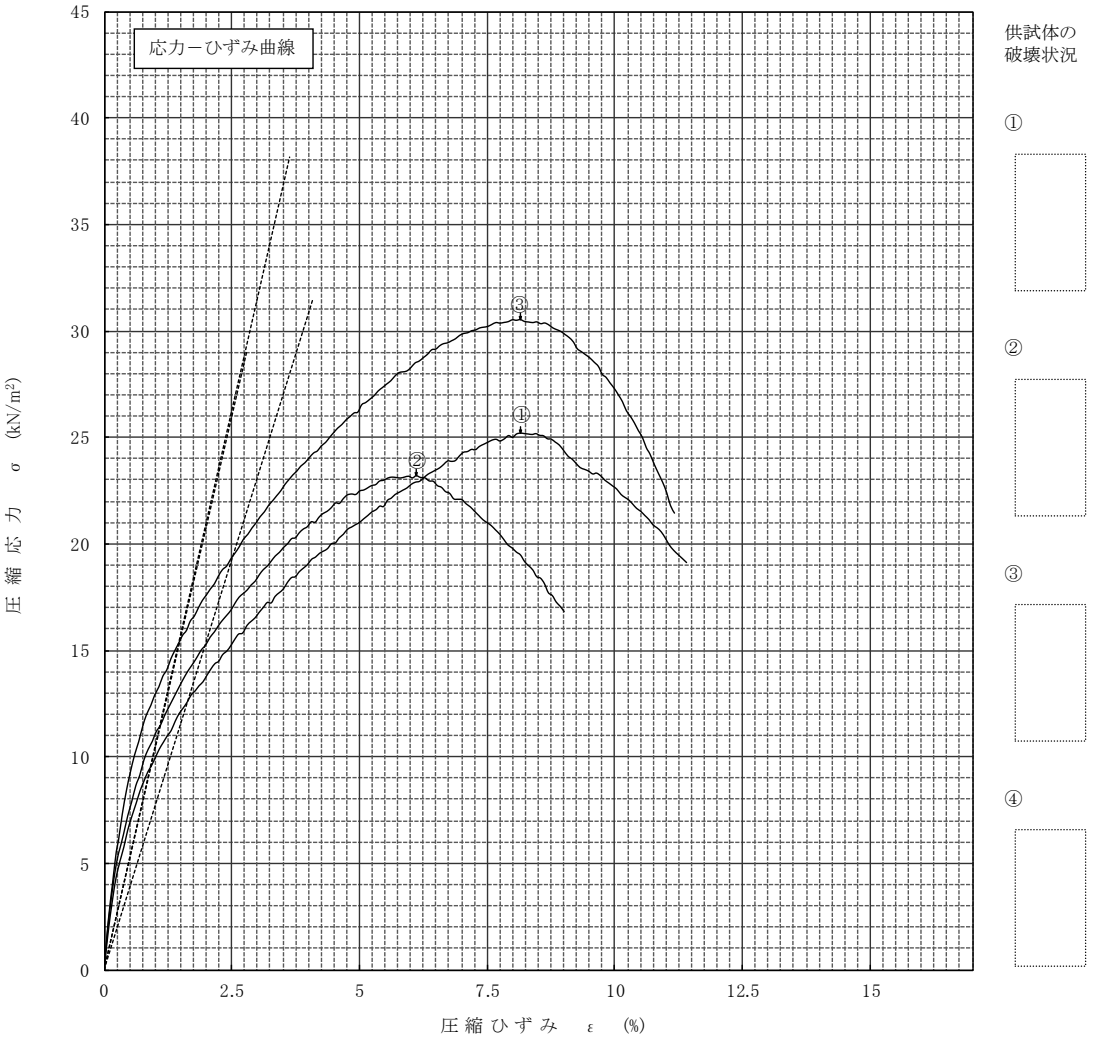
試料番号 CP;p=200kg/m^3, q_u3

試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	1
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③
試料の状態				
高さ	H_0 cm	10.05	10.05	10.03
直径	D_0 cm	4.95	4.95	4.97
質量	m g	284.3	281.6	284.8
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.471	1.454	1.466
含水比	W %	87.0	87.5	86.8
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.787	0.776	0.785
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	25.2	23.2	30.5
破壊ひずみ	ε_f %	8.15	6.11	8.15
E_{50}	MN/m^2	0.77	1.04	1.05
鋭敏比	S_t			



供試体の破壊状況

①

②

③

④

⑥CP ; p=200 kg/m^3, t=7 day

JIS A 1216	土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)	

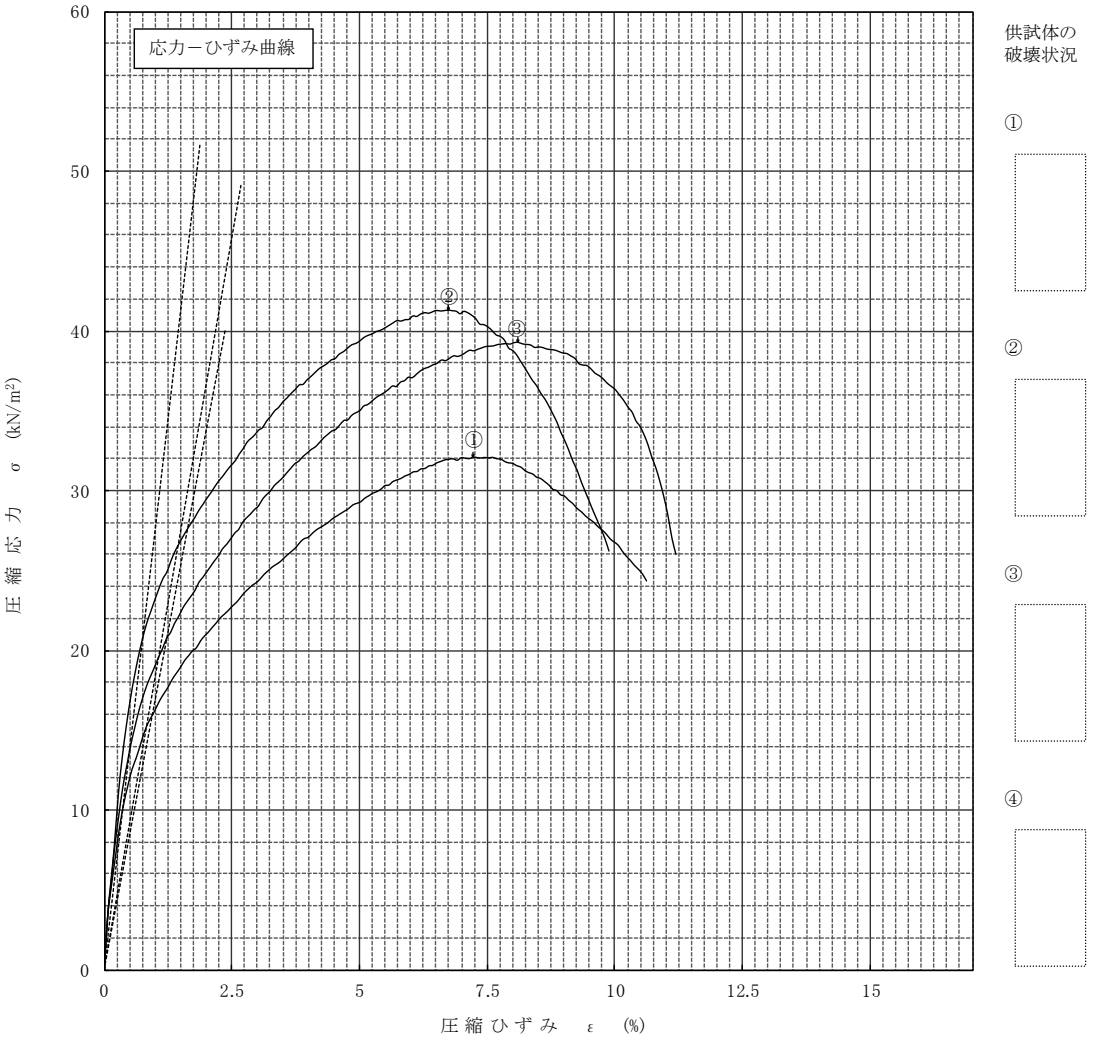
調査件名 CP配合試験関係　　試験年月日 2017年7月19日

試料番号 CP;p=200kg/m^3, q_u7　　試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	1
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③	
試料の状態					
高さ	H_0 cm	10.01	10.01	10.02	
直径	D_0 cm	4.97	4.96	4.96	
質量	m g	283.9	281.7	281.9	
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.464	1.455	1.456	
含水比	W %	84.9	83.8	84.1	
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.792	0.791	0.791	
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	32.1	41.3	39.3	
破壊ひずみ	ε_f %	7.22	6.74	8.10	
E_{50}	MN/m^2	1.69	2.75	1.83	
鋭敏比	S_t				



供試体の破壊状況

①

②

③

④

⑦CP ; p=200 kg/m^3, t=28 day

JIS A 1216

土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)

調査件名 CP配合試験関係

試験年月日 2017年8月9日

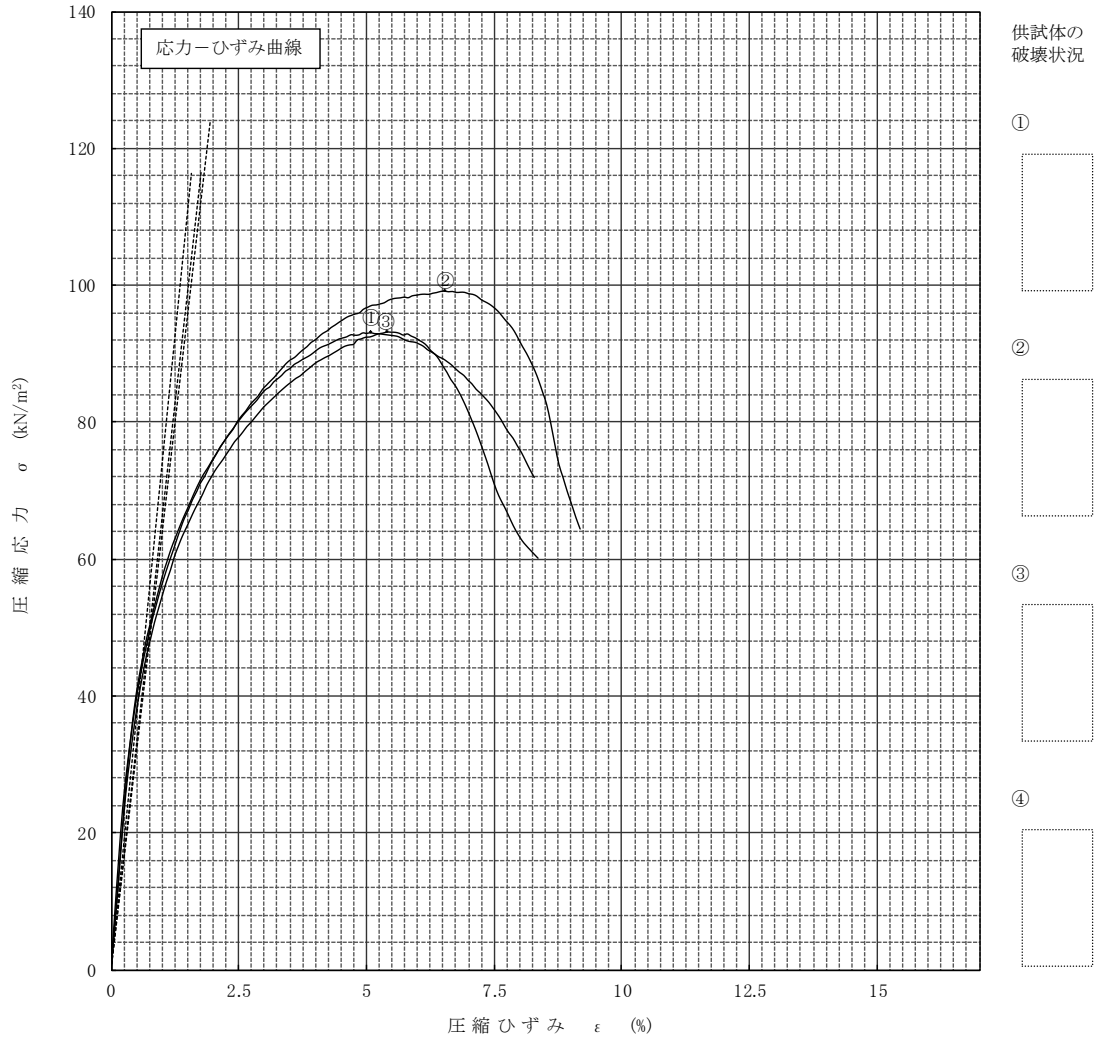
試料番号 CP;p＝200kg/m^3, q_u28

試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	1
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③	
試料の状態					
高さ	H_0 cm	10.05	10.01	10.03	
直径	D_0 cm	4.96	4.96	4.95	
質量	m g	281.6	281.8	280.6	
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.448	1.458	1.454	
含水比	W %	78.3	78.2	77.8	
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.812	0.818	0.818	
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	93.1	99.1	93.2	
破壊ひずみ	ε_f %	5.08	6.53	5.40	
E_{50}	MN/m^2	7.40	6.38	6.61	
鋭敏比	S_t				



供試体の破壊状況

①

②

③

④

⑧CP ; p=300 kg/m^3, t=3 day

JIS A 1216

土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)

調査件名 CP配合試験関係

試験年月日 2017年7月13日

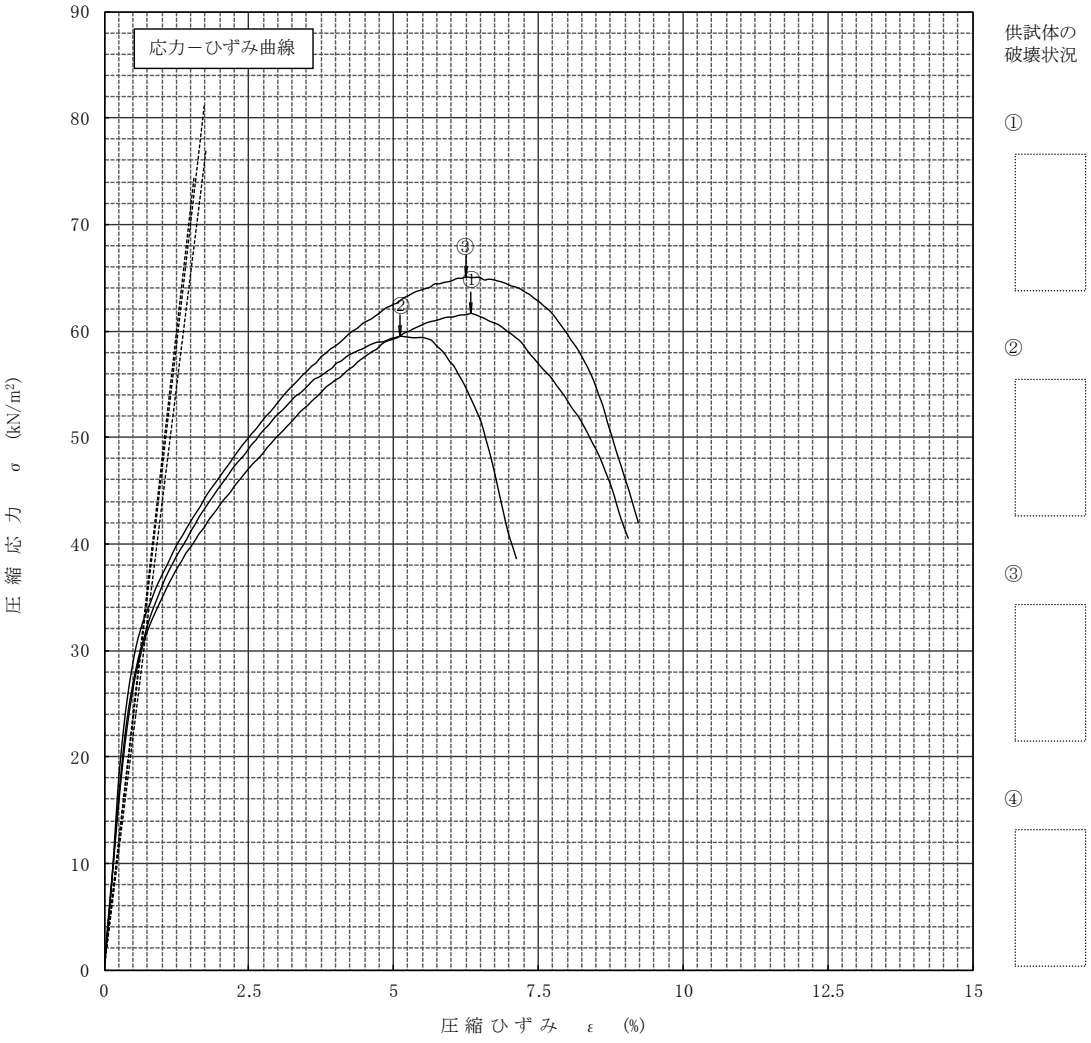
試料番号 CP;p=300kg/m^3, q_u3

試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	1
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.			①	②	③	
試料の状態						
高さ	H_0	cm	10.05	10.02	10.02	
直径	D_0	cm	4.98	4.96	4.97	
質量	m	g	291.7	288.3	291.2	
湿潤密度	ρ_t	g/cm^3	1.491	1.487	1.496	
含水比	W	%	73.6	79.2	79.1	
乾燥密度	ρ_d	g/cm^3	0.859	0.830	0.835	
一軸圧縮強さ	q_u	kN/m^2	61.6	59.5	65.1	
破壊ひずみ	ε_f	%	6.34	5.11	6.25	
E_{50}		MN/m^2	4.37	4.79	4.69	
鋭敏比	S_t					



供試体の破壊状況

①

②

③

④

⑨CP ; p=300 kg/m^3, t=7 day

JIS A 1216	土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)	

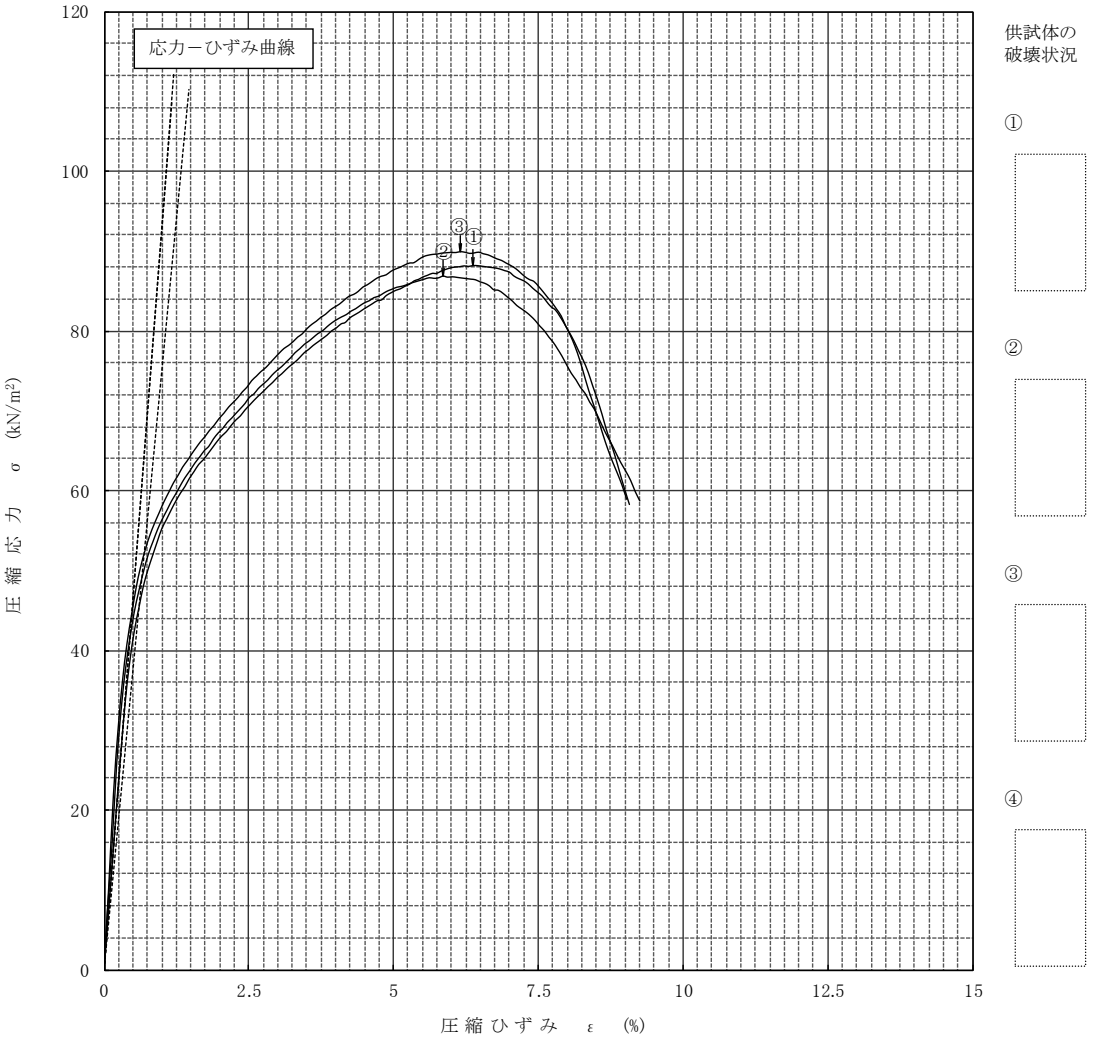
調査件名 CP配合試験関係　　試験年月日 2017年7月17日

試料番号 CP;p=300kg/m^3, q_u7　　試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L %	
塑性限界	W_P %	
荷重計容量	kN	1
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③	
試料の状態					
高さ	H_0 cm	10.08	10.05	10.00	
直径	D_0 cm	4.97	4.97	4.96	
質量	m g	276.6	275.9	277.3	
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.416	1.414	1.435	
含水比	W %	77.5	78.2	77.4	
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.797	0.793	0.809	
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	88.2	86.9	89.9	
破壊ひずみ	ε_f %	6.37	5.86	6.15	
E_{50}	MN/m^2	7.52	9.28	9.32	
鋭敏比	S_t				



供試体の破壊状況

①

②

③

④

⑩CP ; p=300 kg/m^3, t=28 day

JIS A 1216

土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)

調査件名 CP配合試験関係

試験年月日 2017年8月7日

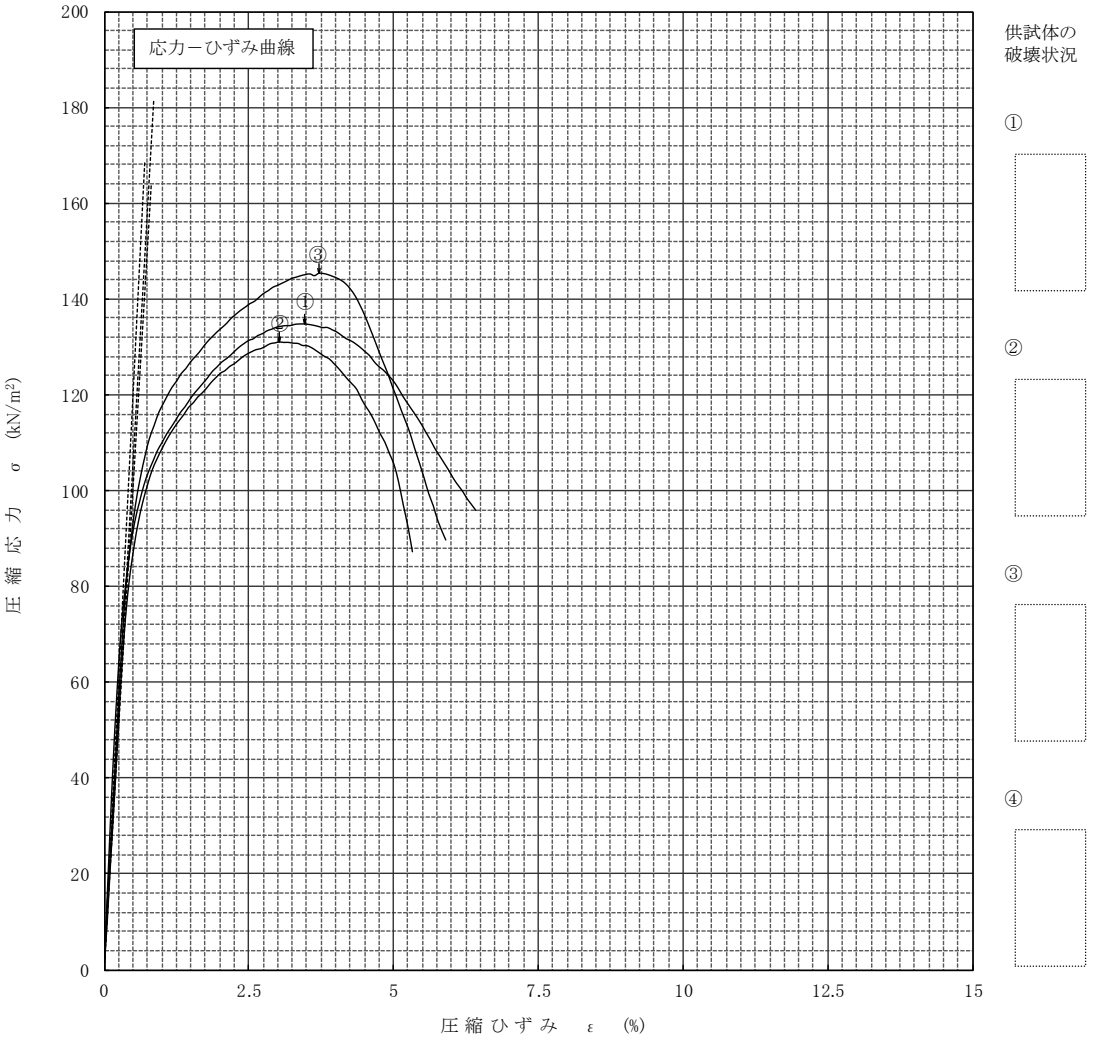
試料番号 CP;p=300kg/m^3, q_u28

試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	1
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③	
試料の状態					
高さ	H_0 cm	9.99	10.00	9.99	
直径	D_0 cm	4.95	4.96	4.97	
質量	m g	290.4	287.2	291.5	
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.510	1.488	1.506	
含水比	W %	74.2	74.6	74.2	
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.866	0.853	0.864	
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	134.8	131.0	145.3	
破壊ひずみ	ε_f %	3.47	3.03	3.71	
E_{50}	MN/m^2	23.98	20.09	21.14	
鋭敏比	S_t				



供試体の破壊状況

①

②

③

④

⑪CP ; p=400 kg/m^3, t=3 day

JIS A 1216	土の一軸圧縮試験 (強度･変形特性)	

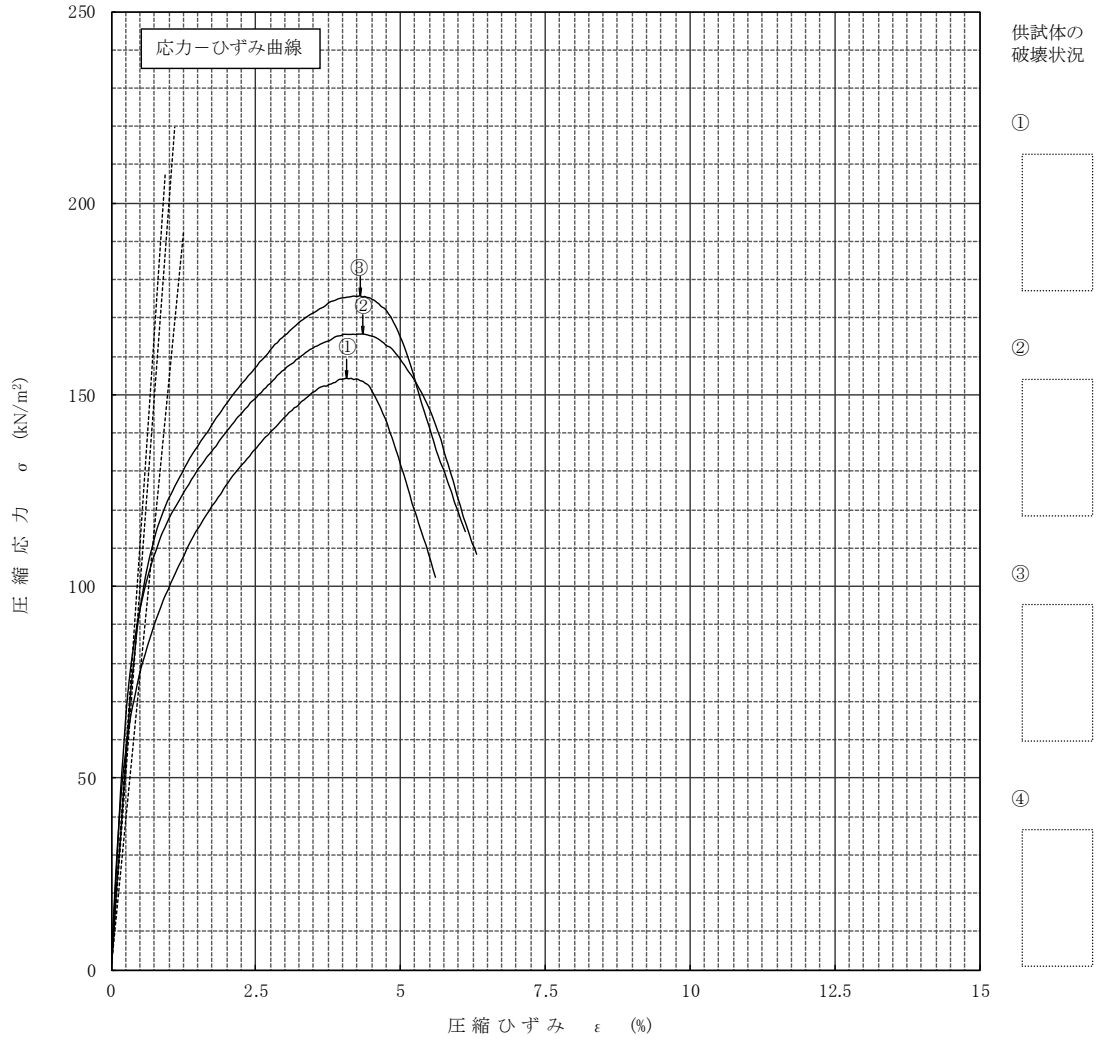
調査件名 CP配合試験関係　　試験年月日 2017年7月14日

試料番号 CP;p=400kg/m^3, q_u3　　試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	1
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③
試料の状態				
高さ	H_0 cm	10.02	10.05	10.02
直径	D_0 cm	4.97	4.98	4.97
質量	m g	295.8	295.7	296.1
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.519	1.512	1.522
含水比	W %	72.5	73.6	72.6
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.881	0.871	0.882
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	154.3	165.9	175.8
破壊ひずみ	ε_f %	4.07	4.35	4.31
E_{50}	MN/m^2	15.37	22.18	19.98
鋭敏比	S_t			



供試体の破壊状況

①

②

③

④

⑫CP ; p=400 kg/m^3, t=7 day

JIS A 1216	土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)	

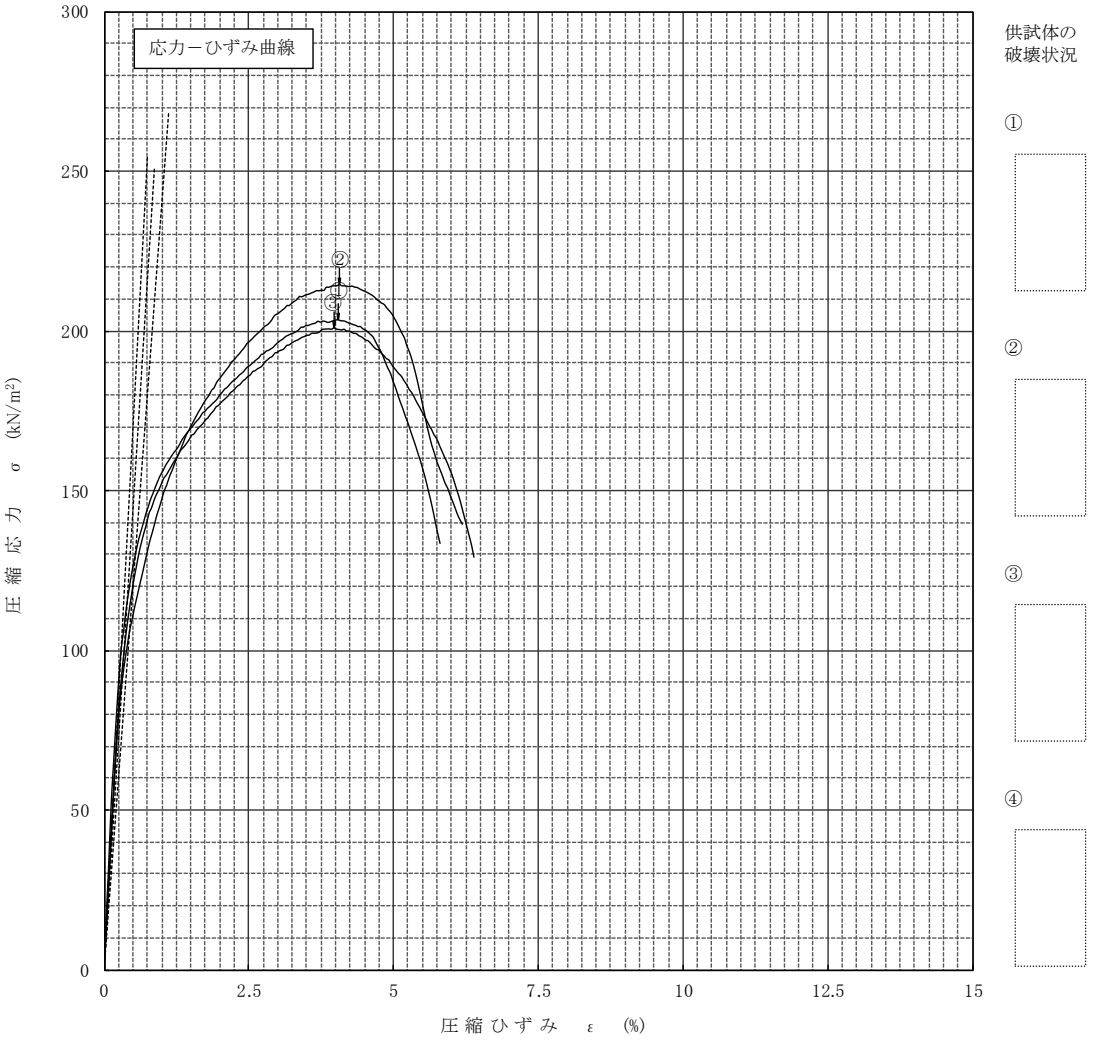
調査件名 CP配合試験関係　　試験年月日 2017年7月18日

試料番号 CP;p=400kg/m^3, q_u7　　試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	1
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.			①	②	③	
試料の状態						
高さ	H_0	cm	10.02	10.02	10.01	
直径	D_0	cm	4.97	4.96	4.97	
質量	m	g	294.9	294.5	294.2	
湿潤密度	ρ_t	g/cm^3	1.517	1.519	1.513	
含水比	W	%	68.8	67.9	68.9	
乾燥密度	ρ_d	g/cm^3	0.899	0.904	0.896	
一軸圧縮強さ	q_u	kN/m^2	203.5	214.5	200.9	
破壊ひずみ	ε_f	%	4.05	4.07	3.97	
E_{50}		MN/m^2	33.94	24.04	28.83	
鋭敏比	S_t					



供試体の破壊状況

①

②

③

④

⑬CP ; p=400 kg/m^3, t=28 day

JIS A 1216	土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)	

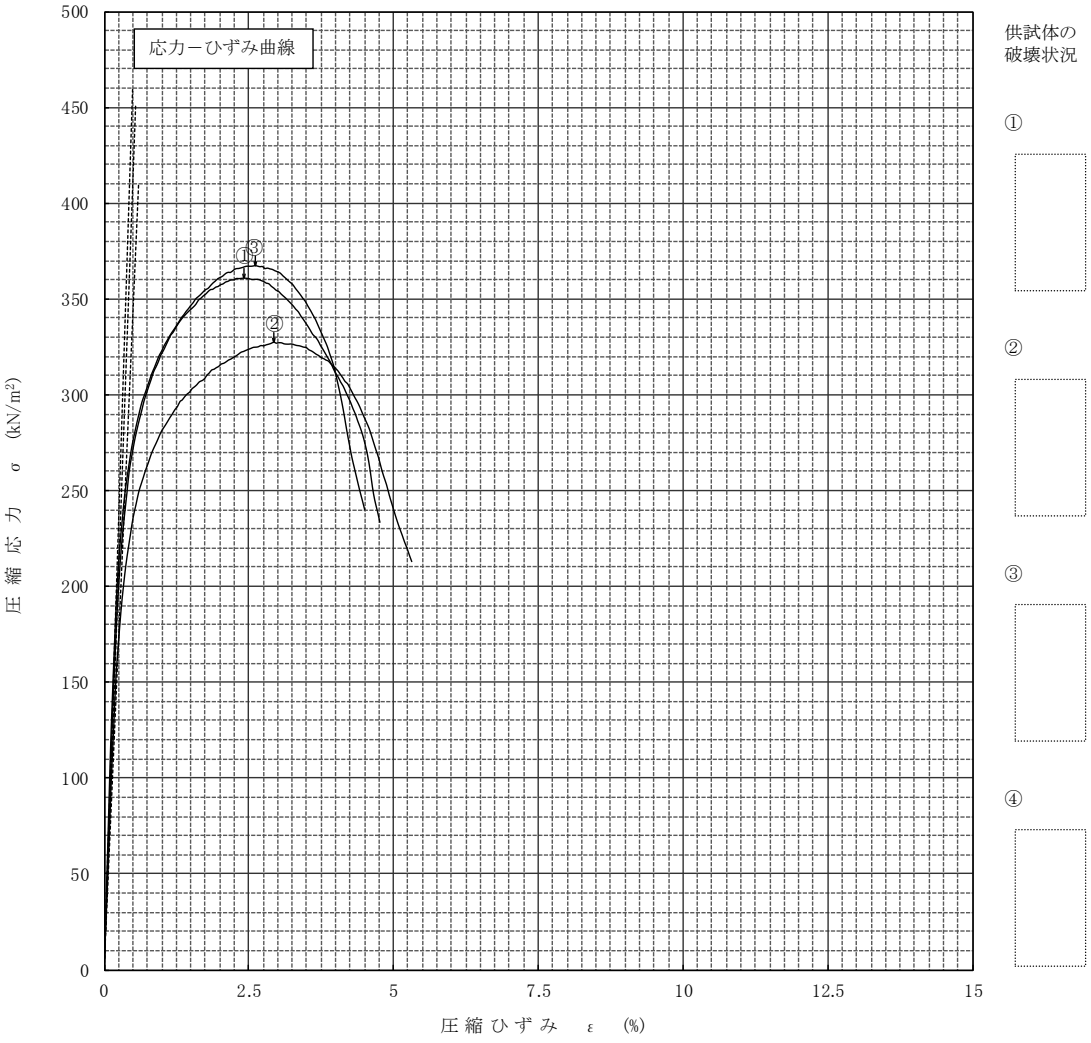
調査件名 CP配合試験関係　　試験年月日 2017年8月8日

試料番号 CP;p=400kg/m^3, q_u28　　試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	1
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③	
試料の状態					
高さ	H_0 cm	10.04	10.04	10.03	
直径	D_0 cm	4.97	4.98	4.99	
質量	m g	295.7	293.6	295.9	
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.517	1.501	1.511	
含水比	W %	64.6	66.0	65.0	
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.922	0.904	0.915	
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	360.9	327.4	367.3	
破壊ひずみ	ε_f %	2.42	2.93	2.61	
E_{50}	MN/m^2	82.65	68.69	93.16	
鋭敏比	S_t				



供試体の破壊状況

①

②

③

④

⑭CP ; p=500 kg/m^3, t=3 day

JIS A 1216

土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)

調査件名 CP配合試験関係

試験年月日 2017年7月14日

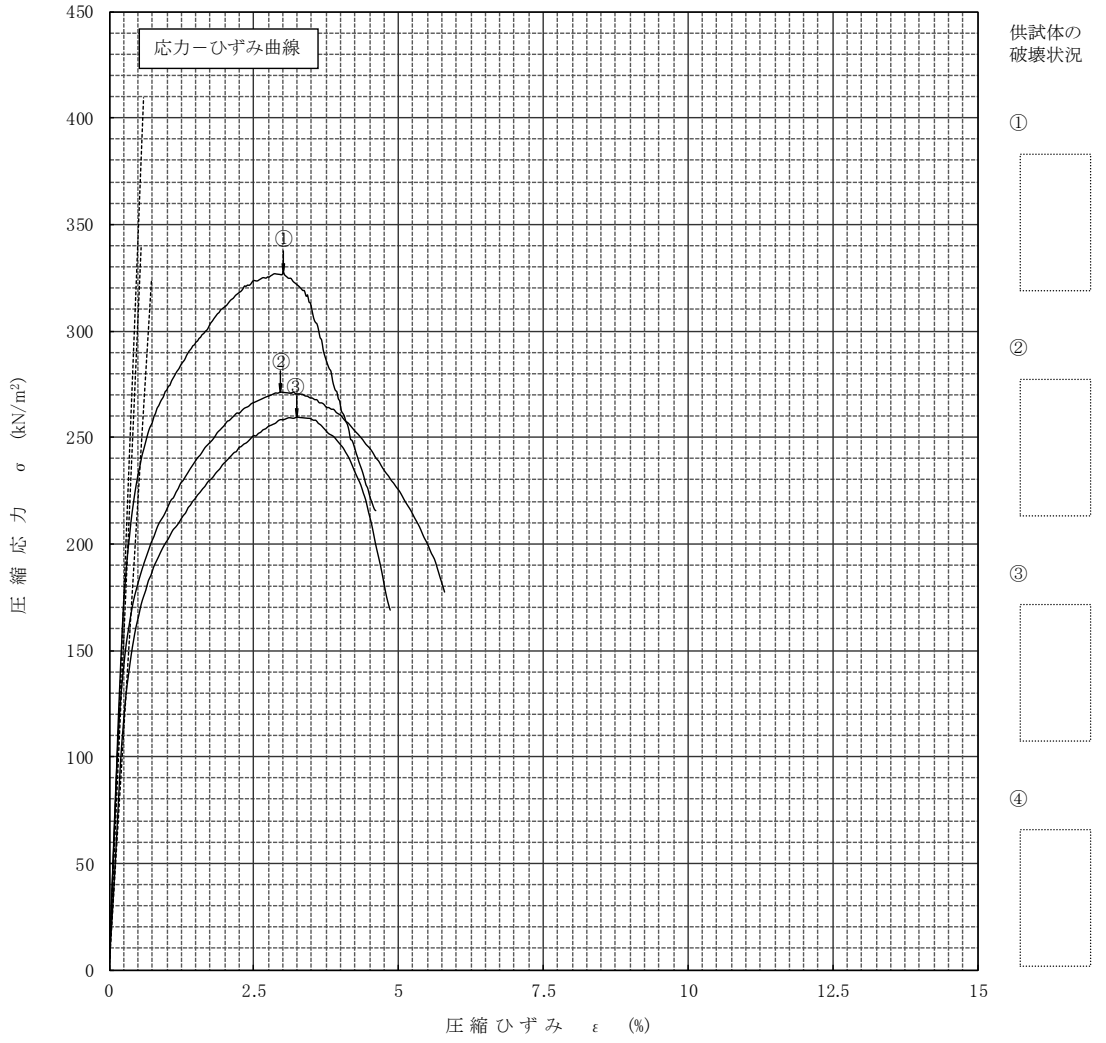
試料番号 CP;p=500kg/m^3, q_u3

試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	5
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③
試料の状態				
高さ	H_0 cm	10.04	10.01	10.01
直径	D_0 cm	4.98	4.98	4.98
質量	m g	300.6	300.2	300.3
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.539	1.541	1.543
含水比	W %	67.5	67.8	67.0
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.918	0.918	0.924
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	327.5	271.2	259.4
破壊ひずみ	ε_f %	3.01	2.96	3.24
E_{50}	MN/m^2	68.68	61.22	44.18
鋭敏比	S_t			



供試体の破壊状況

①

②

③

④

⑮CP ; p=500 kg/m^3, t=7 day

JIS A 1216	土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)	

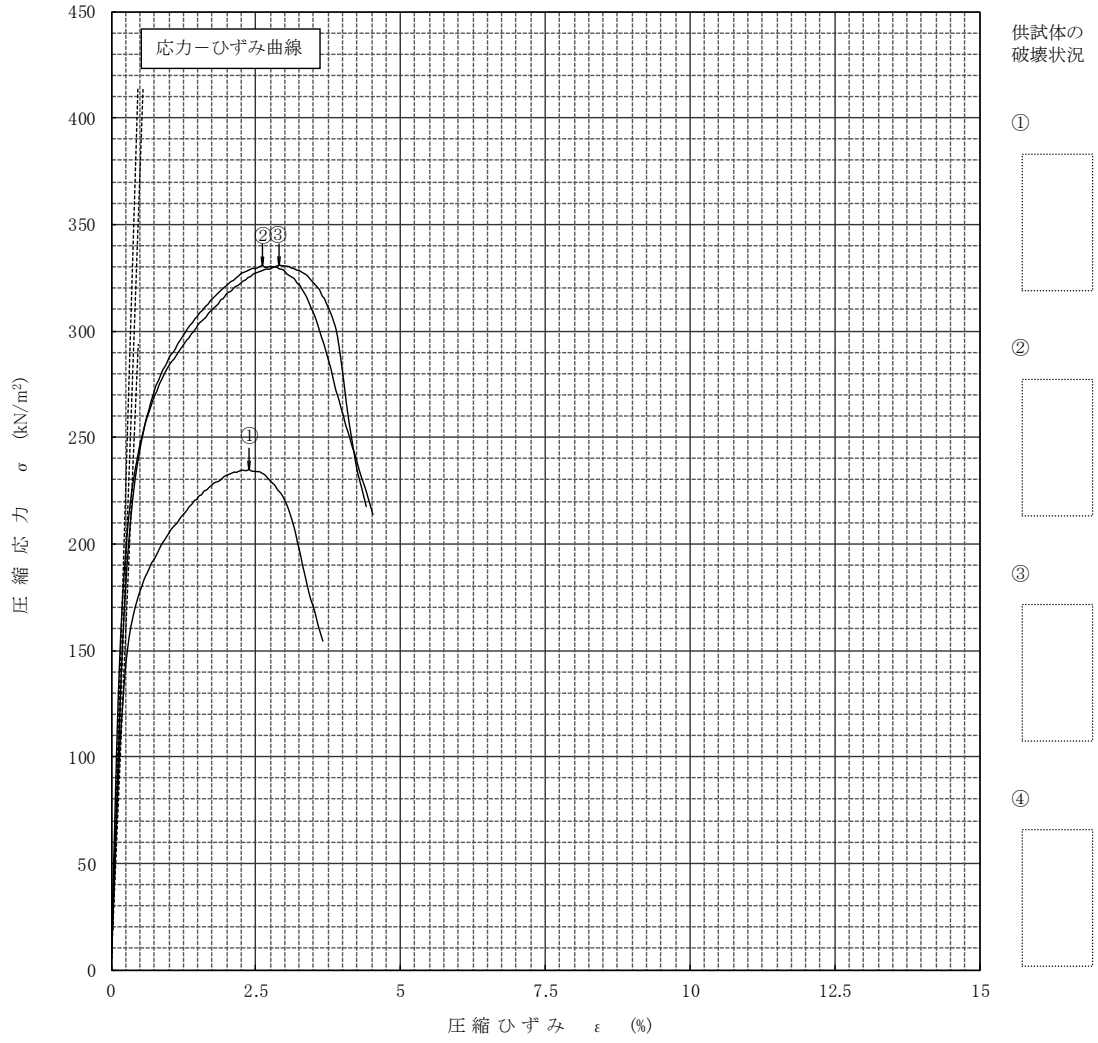
調査件名 CP配合試験関係　　試験年月日 2017年7月18日

試料番号 CP;p=500kg/m^3, q_u7　　試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	5
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③
試料の状態				
高さ	H_0 cm	10.04	10.01	10.01
直径	D_0 cm	5.11	4.99	4.98
質量	m g	300.0	300.0	300.9
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.457	1.533	1.546
含水比	W %	64.5	62.7	63.0
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.886	0.942	0.949
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	234.8	330.7	330.8
破壊ひずみ	ε_f %	2.38	2.62	2.90
E_{50}	MN/m^2	62.55	74.89	89.20
鋭敏比	S_t			



供試体の破壊状況

①

②

③

④

⑯CP ; p=500 kg/m^3, t=28 day

JIS A 1216

土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)

調査件名 CP配合試験関係

試験年月日 2017年8月8日

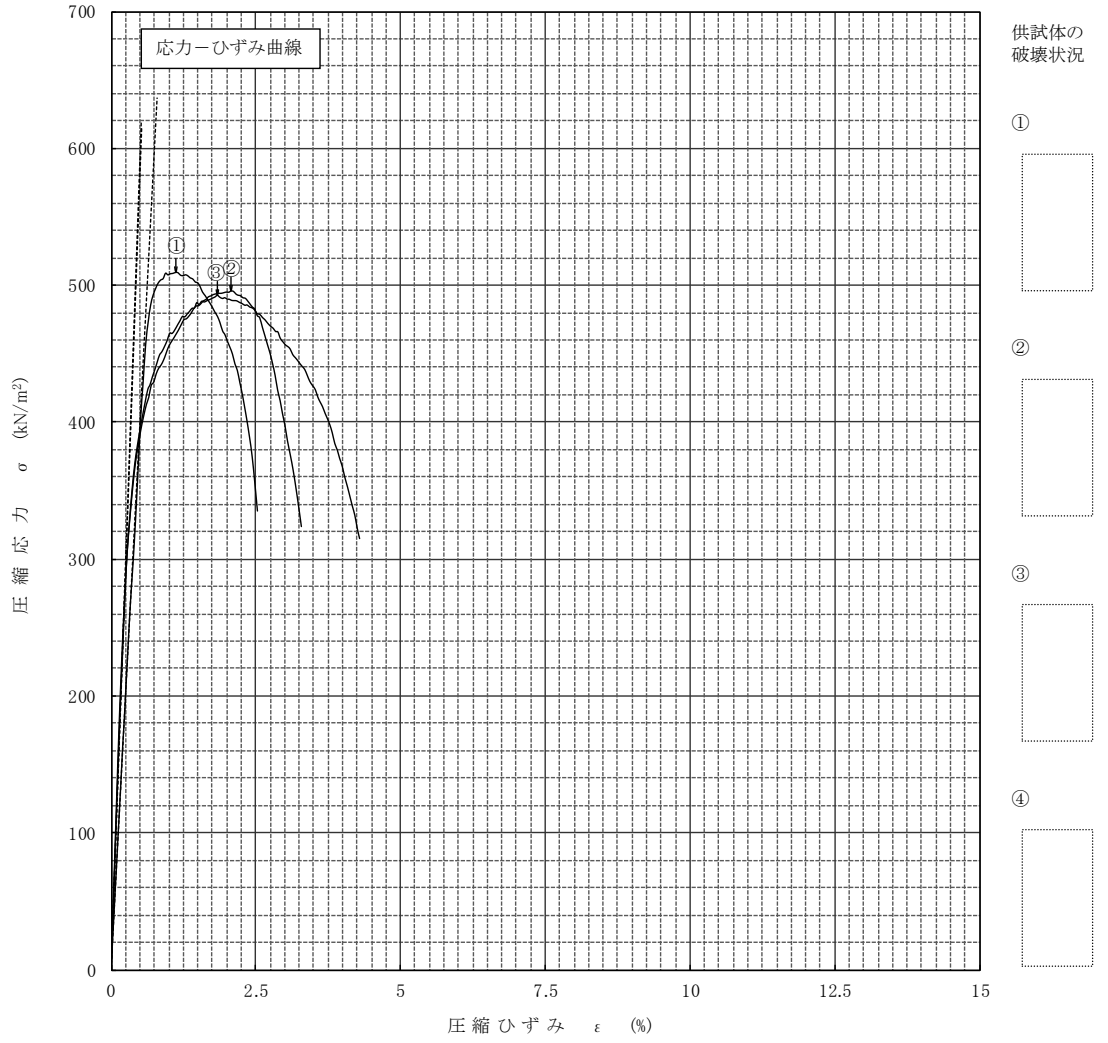
試料番号 CP;p=500kg/m^3, q_u28

試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	1
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③	
試料の状態					
高さ	H_0 cm	10.00	10.07	10.03	
直径	D_0 cm	4.99	4.98	4.99	
質量	m g	298.9	299.3	299.7	
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.528	1.524	1.530	
含水比	W %	60.0	60.6	60.1	
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.955	0.949	0.956	
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	509.4	495.8	492.6	
破壊ひずみ	ε_f %	1.12	2.07	1.84	
E_{50}	MN/m^2	80.03	118.71	116.24	
鋭敏比	S_t				



供試体の破壊状況

①

②

③

④

⑰BB ; p=100 kg/m^3, t=3 day

JIS A 1216

土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)

調査件名 CP配合試験関係

試験年月日 2017年7月15日

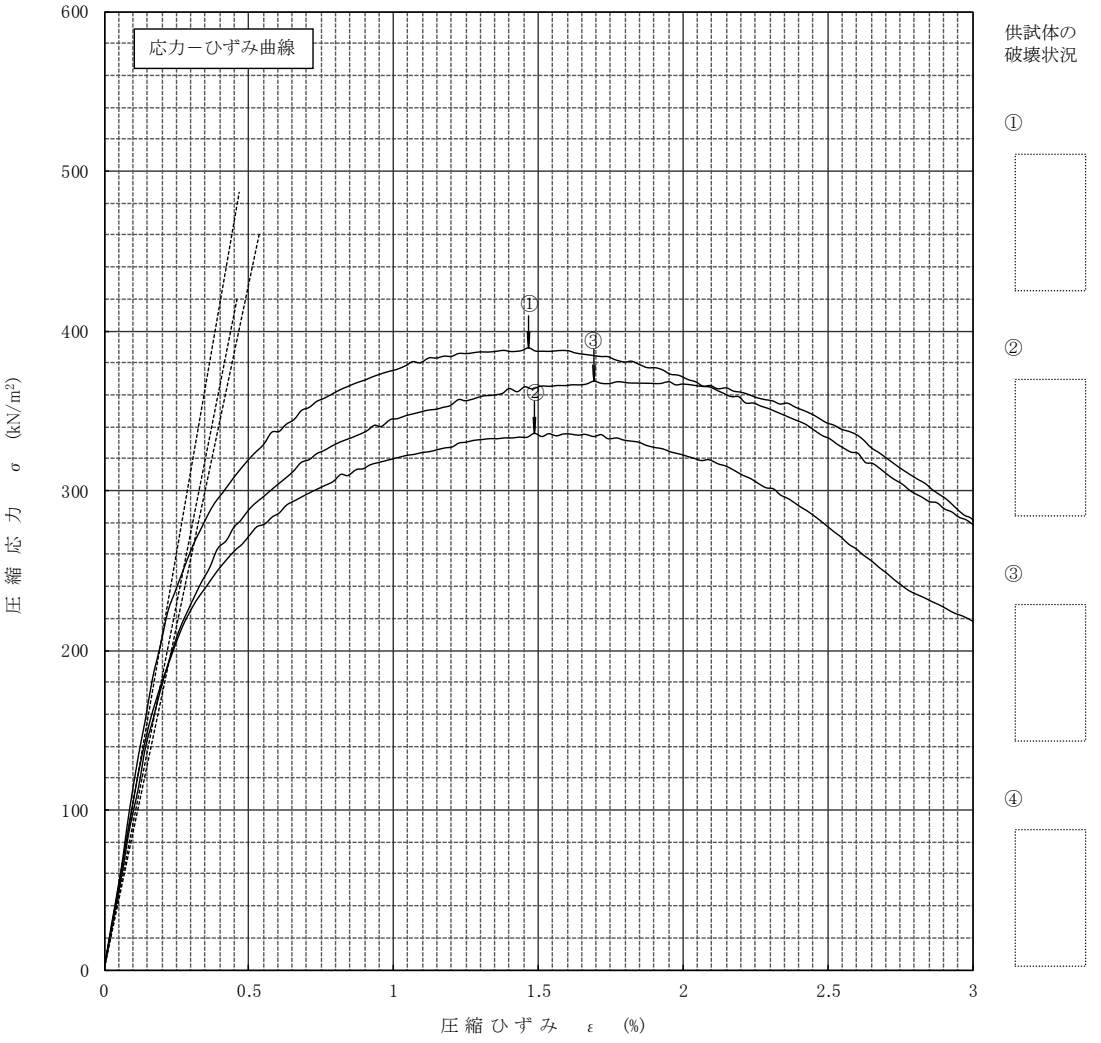
試料番号 BB;p=100kg/m^3, q_u3

試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	5
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③	
試料の状態					
高さ	H_0 cm	10.05	10.05	10.04	
直径	D_0 cm	4.97	4.98	4.98	
質量	m g	276.6	278.2	278.6	
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.419	1.419	1.422	
含水比	W %	93.0	93.2	93.1	
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.735	0.735	0.736	
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	389.3	335.8	368.5	
破壊ひずみ	ε_f %	1.47	1.49	1.69	
E_{50}	MN/m^2	104.24	91.40	85.89	
鋭敏比	S_t				



⑱BB ; p=100 kg/m^3, t=7 day

JIS A 1216	土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)	

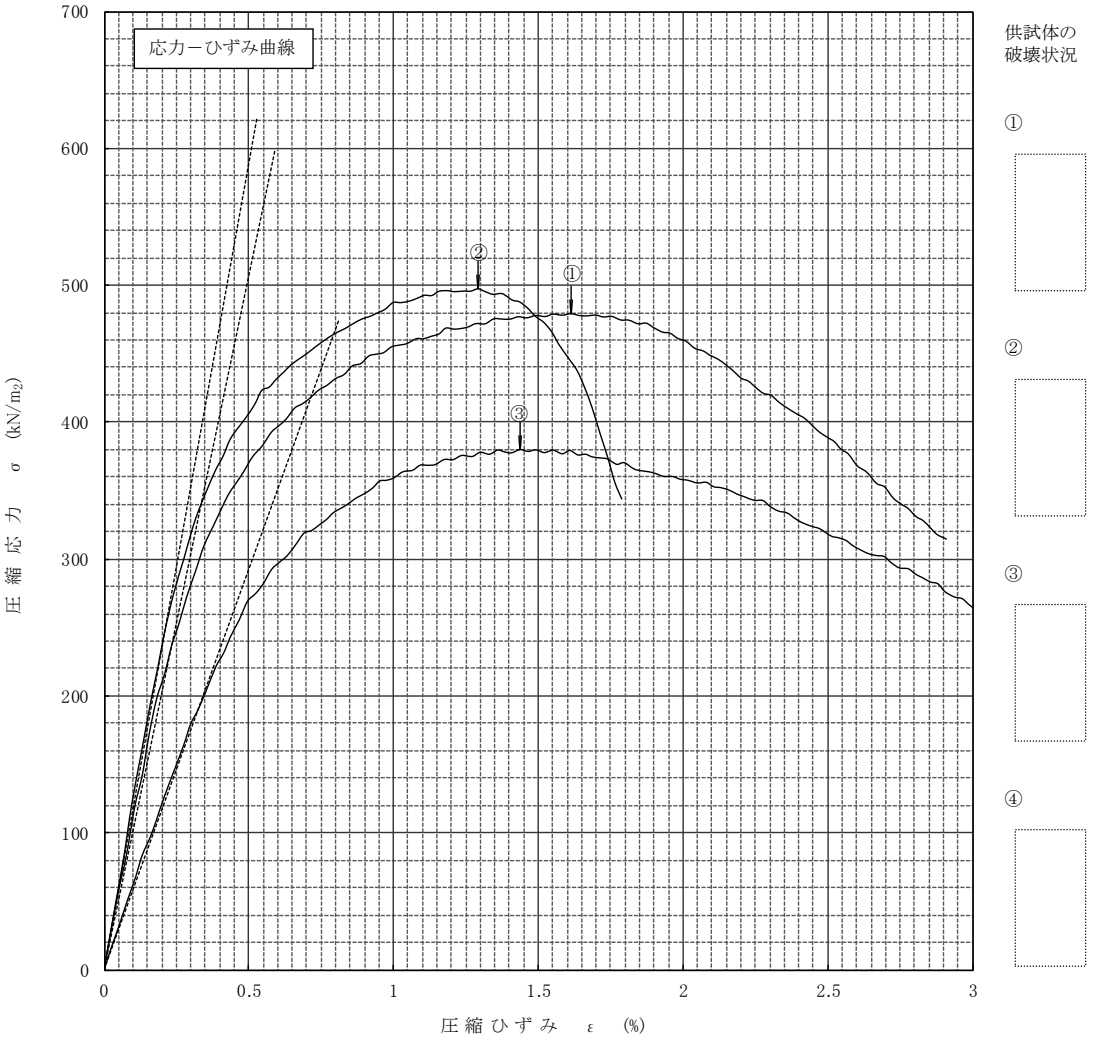
調査件名 CP配合試験関係　　試験年月日 2017年7月19日

試料番号 BB;p=100kg/m^3, q_u7　　試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	5
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③	
試料の状態					
高さ	H_0 cm	10.03	10.03	10.02	
直径	D_0 cm	4.99	4.97	4.97	
質量	m g	274.9	275.6	277.3	
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.402	1.415	1.425	
含水比	W %	89.2	89.4	90.0	
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.741	0.747	0.750	
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	479.2	497.4	379.9	
破壊ひずみ	ε_f %	1.61	1.29	1.44	
E_{50}	MN/m^2	101.37	117.77	58.50	
鋭敏比	S_t				



⑲BB ; p=100 kg/m^3, t=28 day

JIS A 1216

土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)

調査件名 CP配合試験関係

試験年月日 2017年8月9日

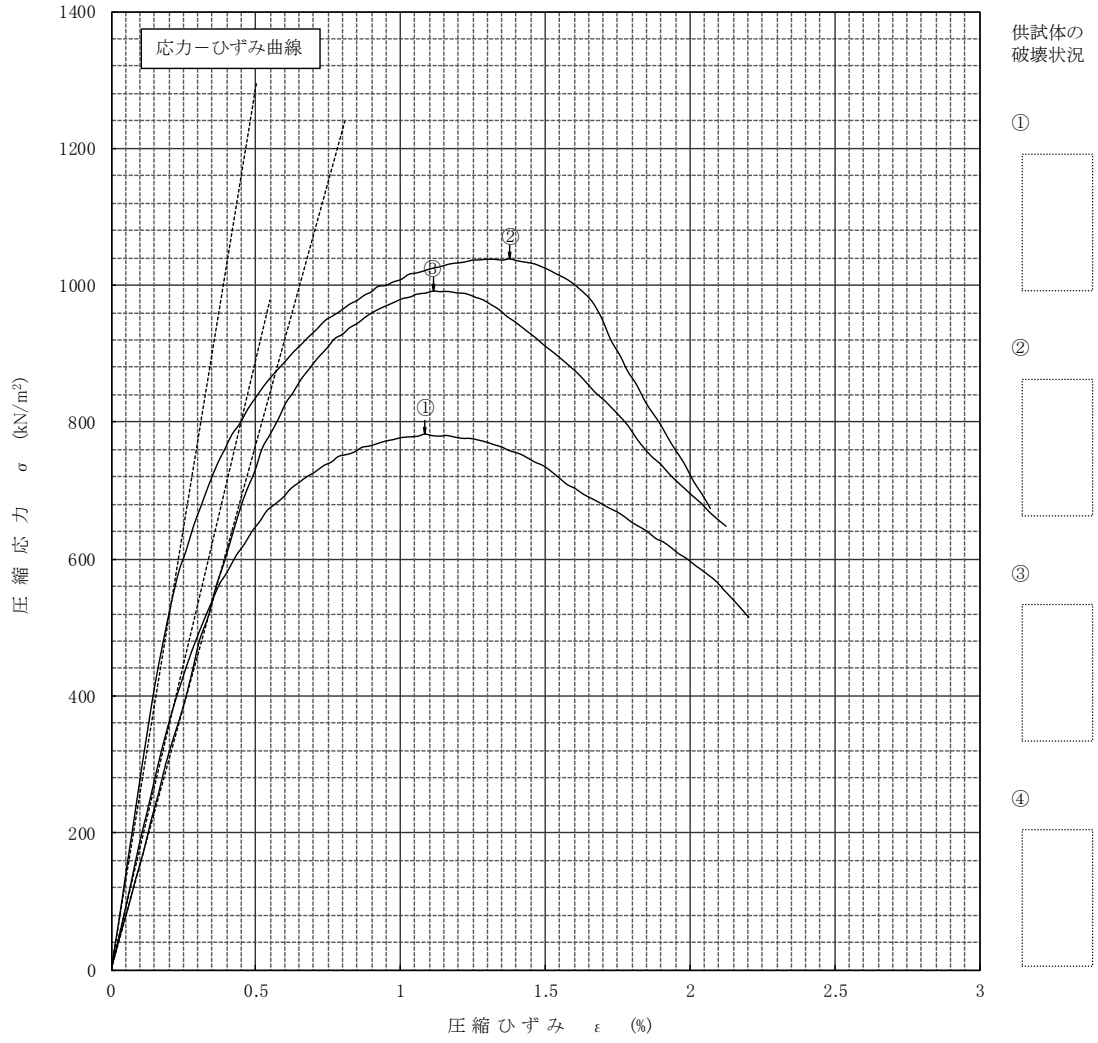
試料番号 BB;p=100kg/m^3, q_u28

試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	5
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③	
試料の状態					
高さ	H_0 cm	10.06	10.06	10.07	
直径	D_0 cm	4.99	4.98	4.99	
質量	m g	273.3	277.1	276.1	
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.392	1.412	1.404	
含水比	W %	82.5	81.9	81.4	
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.763	0.776	0.774	
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	782.4	1038.4	991.4	
破壊ひずみ	ε_f %	1.08	1.38	1.11	
E_{50}	MN/m^2	178.24	257.91	153.45	
鋭敏比	S_t				



⑳BB ; p=150 kg/m^3, t=3 day

JIS A 1216

土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)

調査件名 CP配合試験関係

試験年月日 2017年7月13日

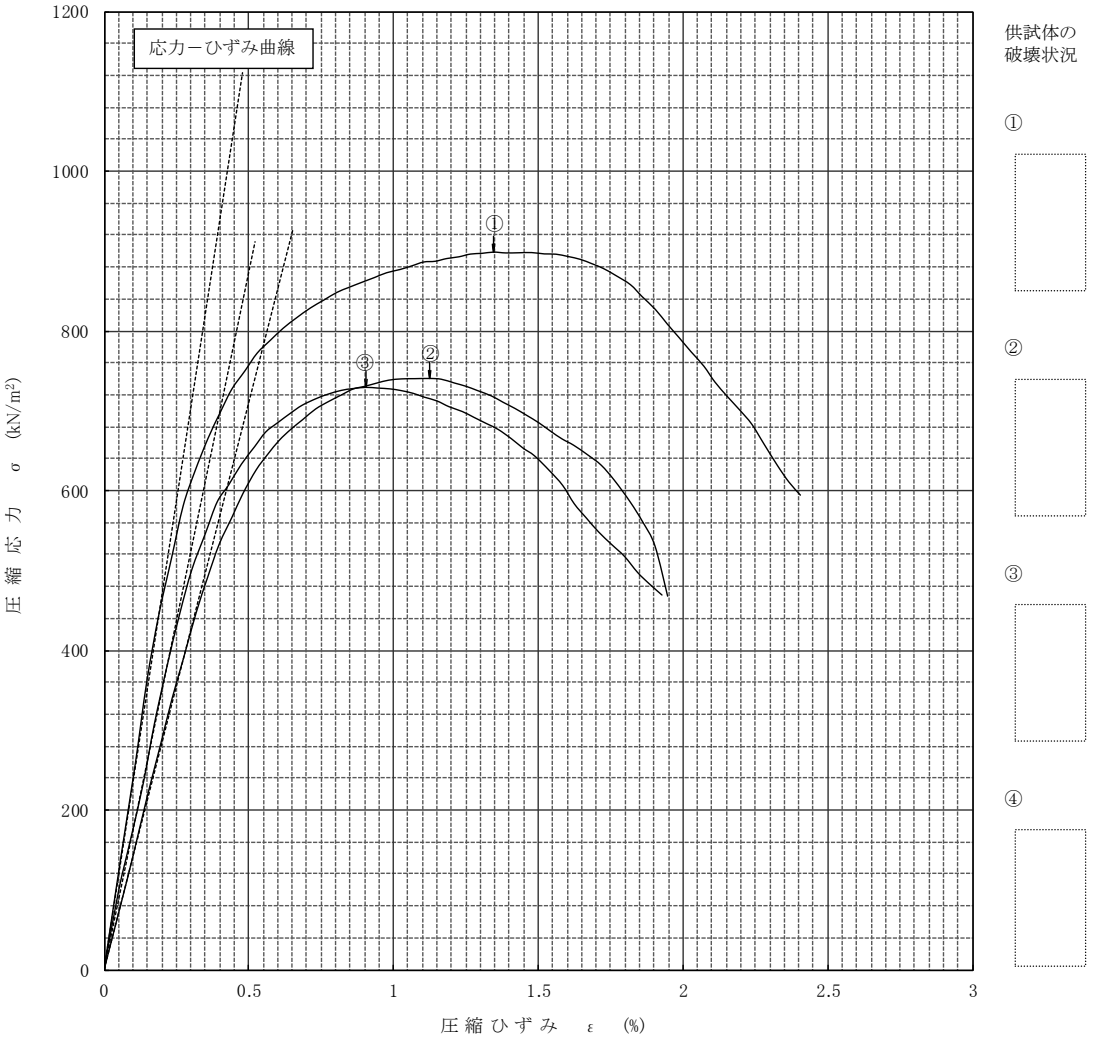
試料番号 BB;p=150kg/m^3, q_u3

試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	5
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③	
試料の状態					
高さ	H_0 cm	10.02	10.05	10.03	
直径	D_0 cm	4.98	4.99	4.99	
質量	m g	281.2	279.1	280.0	
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.439	1.421	1.430	
含水比	W %	87.2	86.8	86.1	
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.769	0.761	0.768	
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	898.6	740.3	729.2	
破壊ひずみ	ε_f %	1.35	1.12	0.91	
E_{50}	MN/m^2	234.75	142.03	174.71	
鋭敏比	S_t				



供試体の破壊状況

①

②

③

④

㉑BB ; p=150 kg/m^3, t=7 day

JIS A 1216

土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)

調査件名 CP配合試験関係

試験年月日 2017年7月17日

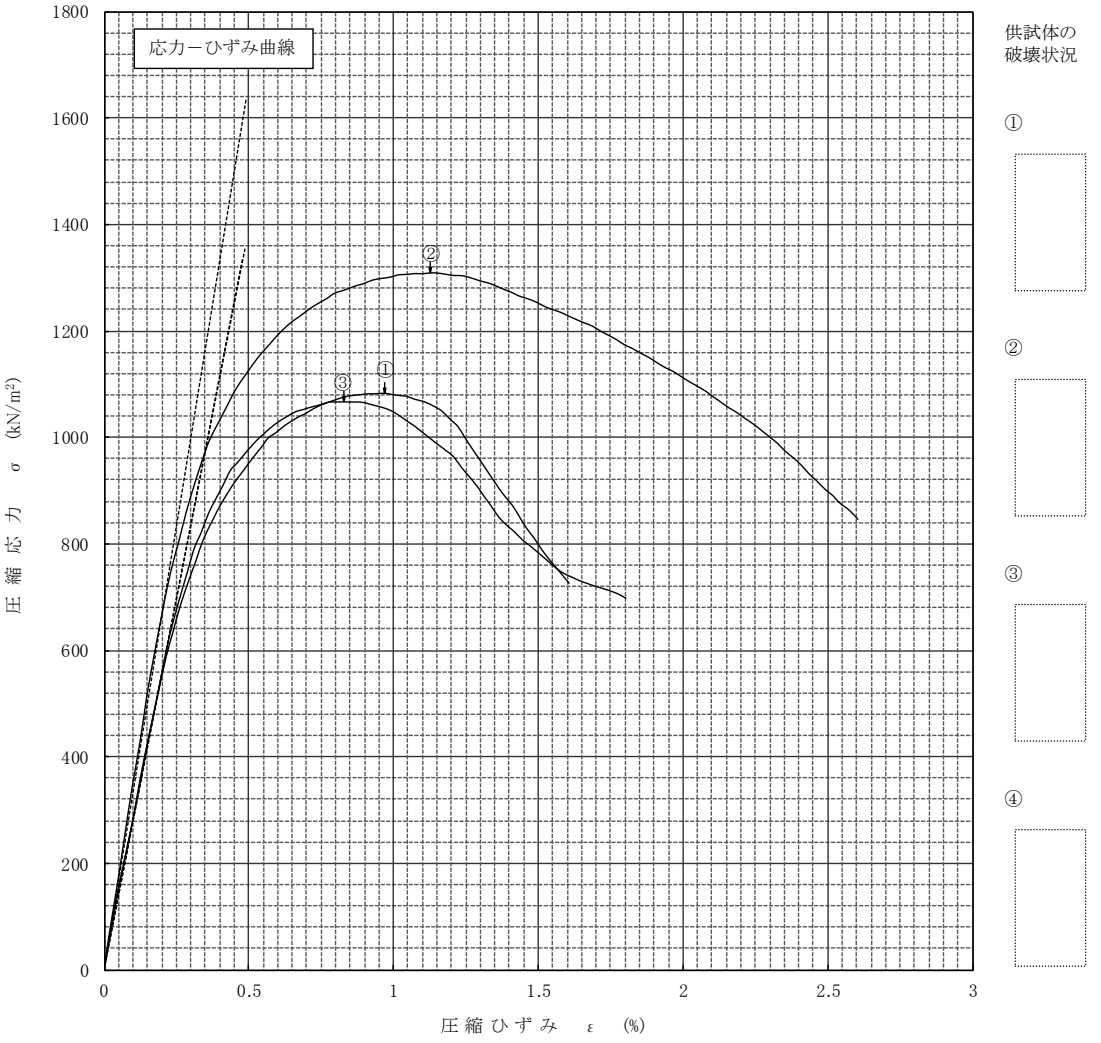
試料番号 BB;p=150kg/m^3, q_u7

試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	5
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③	
試料の状態					
高さ	H_0 cm	10.05	10.04	10.04	
直径	D_0 cm	4.98	4.99	4.99	
質量	m g	280.4	283.6	280.3	
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.434	1.444	1.430	
含水比	W %	84.2	84.8	84.3	
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.778	0.781	0.776	
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	1,082.7	1,308.8	1,066.6	
破壊ひずみ	ε_f %	0.97	1.13	0.83	
E_{50}	MN/m^2	278.12	333.22	279.19	
鋭敏比	S_t				



供試体の破壊状況

①

②

③

④

㉒BB ; p=150 kg/m^3, t=28 day

JIS A 1216

土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)

調査件名 CP配合試験関係

試験年月日 2017年8月7日

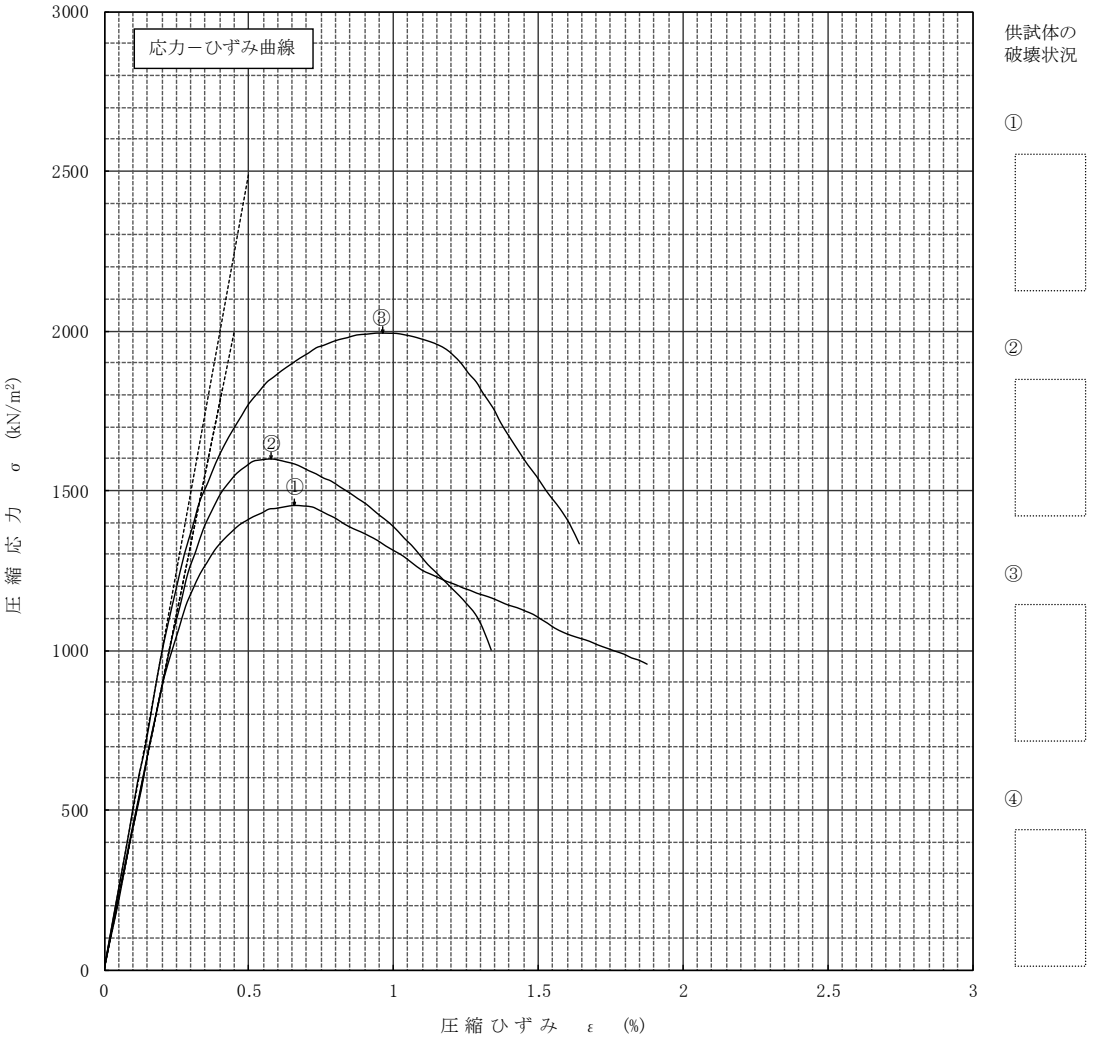
試料番号 BB;p=150kg/m^3, q_u28

試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	5
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③	
試料の状態					
高さ	H_0 cm	10.01	10.02	10.01	
直径	D_0 cm	4.97	4.96	4.97	
質量	m g	274.9	278.0	282.5	
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.418	1.434	1.455	
含水比	W %	80.4	80.1	79.5	
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.786	0.797	0.811	
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	1,453.4	1,599.0	1,992.9	
破壊ひずみ	ε_f %	0.66	0.58	0.96	
E_{50}	MN/m^2	444.52	444.16	498.82	
鋭敏比	S_t				



供試体の破壊状況

①

②

③

④

㉓BB ; p=200 kg/m^3, t=3 day

JIS A 1216

土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)

調査件名 CP配合試験関係

試験年月日 2017年7月15日

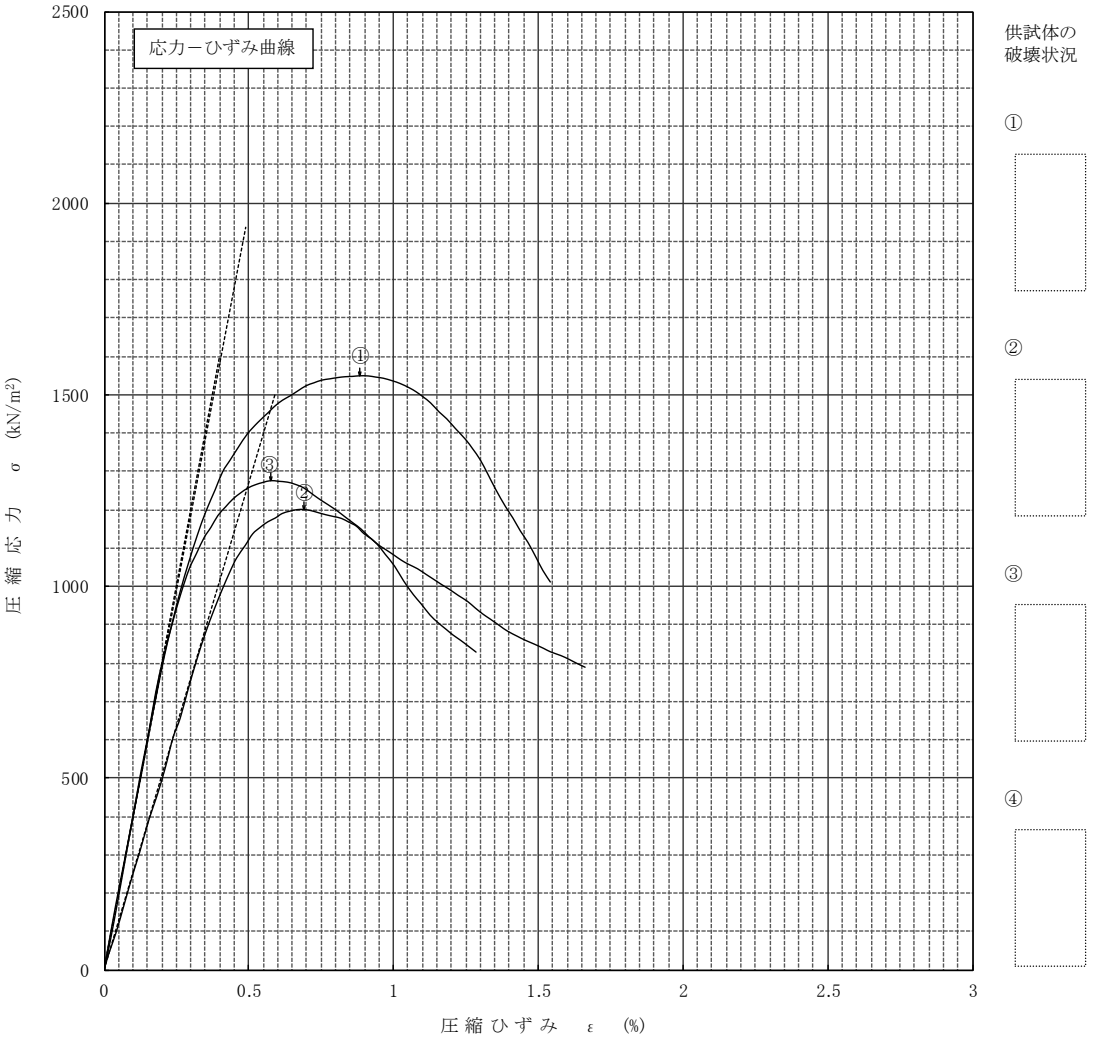
試料番号 BB;p=200kg/m^3, q_u3

試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	5
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③	
試料の状態					
高さ	H_0 cm	10.05	10.05	10.07	
直径	D_0 cm	4.97	4.98	4.98	
質量	m g	285.0	277.3	281.2	
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.459	1.415	1.435	
含水比	W %	79.9	80.7	80.6	
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.811	0.783	0.794	
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	1,549.4	1,200.5	1,275.8	
破壊ひずみ	ε_f %	0.88	0.69	0.58	
E_{50}	MN/m^2	395.69	254.06	401.03	
鋭敏比	S_t				



供試体の破壊状況

①

②

③

④

㉔BB ; p=200 kg/m^3, t=7 day

JIS A 1216

土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)

調査件名 CP配合試験関係

試験年月日 2017年7月19日

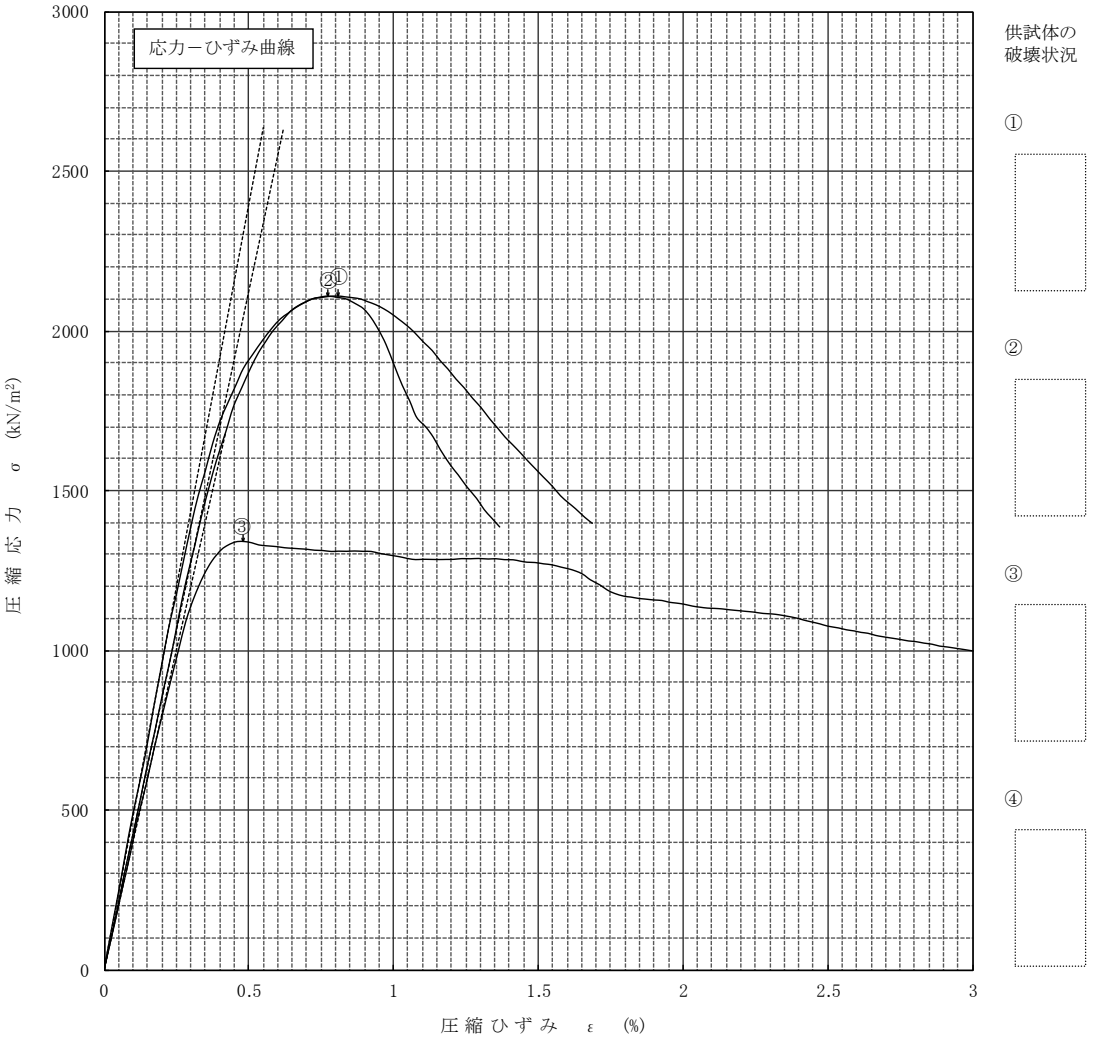
試料番号 BB;p=200kg/m^3, q_u7

試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	5
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③	
試料の状態					
高さ	H_0 cm	10.02	10.04	10.03	
直径	D_0 cm	4.98	4.98	4.98	
質量	m g	284.3	283.8	277.6	
湿潤密度	ρ_t g/cm^3	1.457	1.452	1.419	
含水比	W %	76.4	77.2	76.1	
乾燥密度	ρ_d g/cm^3	0.826	0.820	0.806	
一軸圧縮強さ	q_u kN/m^2	2,108.9	2,108.6	1,340.7	
破壊ひずみ	ε_f %	0.81	0.77	0.48	
	E_{50} MN/m^2	479.09	424.74	400.28	
鋭敏比	S_t				



供試体の破壊状況

①

②

③

④

㉕BB ; p=200 kg/m^3, t=28 day

JIS A 1216

土の一軸圧縮試験 (強度・変形特性)

調査件名 CP配合試験関係

試験年月日 2017年8月9日

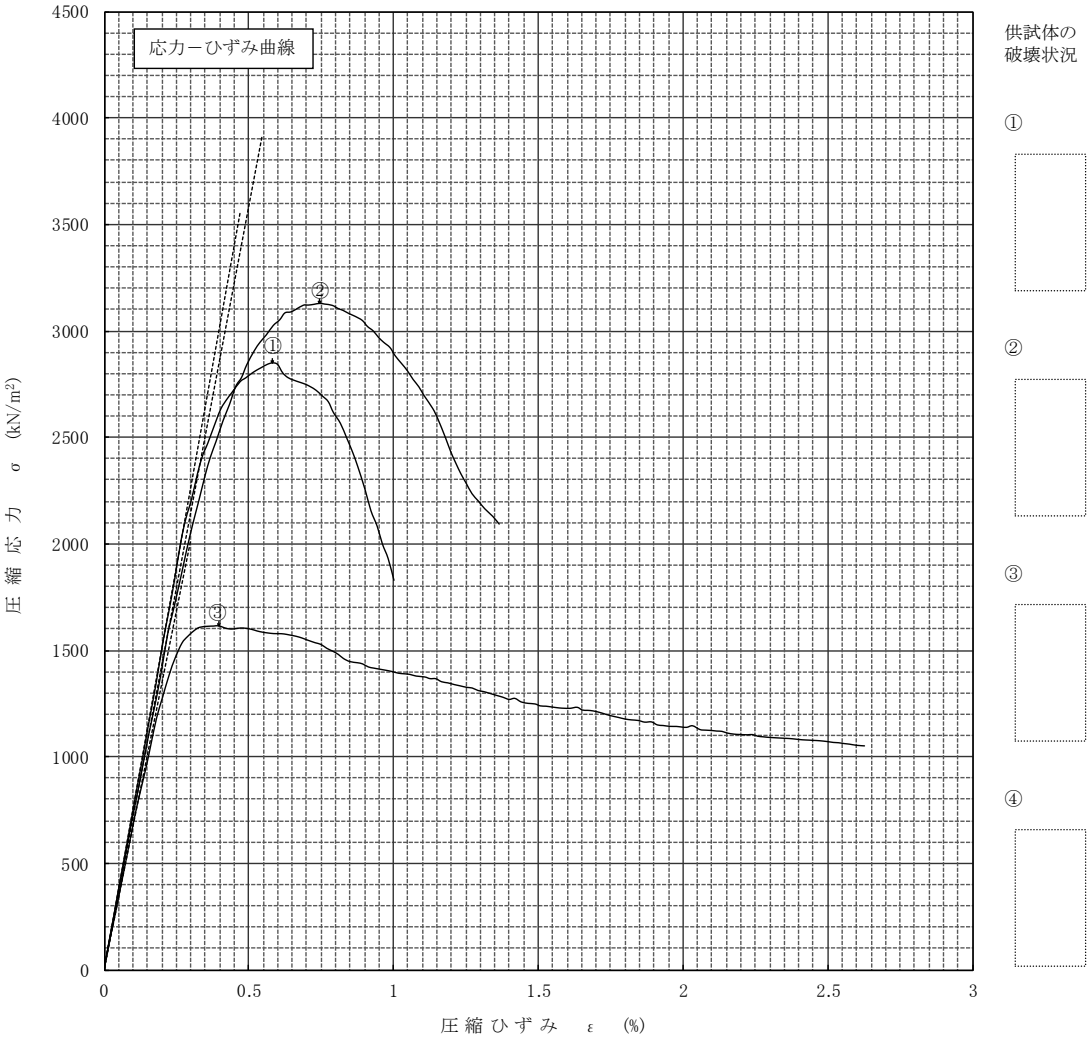
試料番号 BB;p=200kg/m^3, q_u28

試 験 者 鈴木 達史

土質名称		
液性限界	W_L	%
塑性限界	W_P	%
荷重計容量	kN	10
ひずみ速度	%/min	1.00

特記事項

供試体No.		①	②	③	
試料の状態					
高さ	H_0 cm	10.04	10.02	10.03	
直径	D_0 cm	4.99	4.98	4.98	
質量	m g	283.6	283.8	272.8	
湿潤密度	ρt g/cm^3	1.444	1.454	1.396	
含水比	W %	66.7	61.3	66.0	
乾燥密度	ρd g/cm^3	0.866	0.901	0.841	
一軸圧縮強さ	qu kN/m^2	2,849.4	3,128.8	1,614.6	
破壊ひずみ	εf %	0.58	0.74	0.40	
E50	MN/m^2	756.26	716.93	673.62	
鋭敏比	St				



供試体の破壊状況

①

②

③

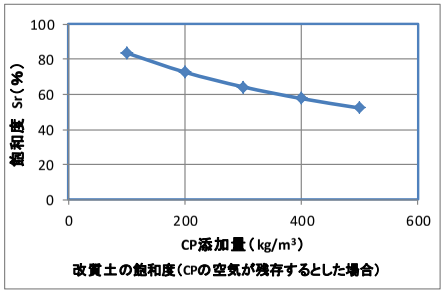
④

（３）改質土の特性

①改質土の湿潤密度と飽和度（試算）

基本量

名称	記号	単位	基本量	
			原泥	CP
粒子密度	ρs	Mg/m^3	2.696	2.440
湿潤密度	ρt	Mg/m^3	1.401	0.570
含水比	w	%	114.0	0.3



単位量

添加量	原泥1m^{3}当たり								CP添加量当たり							
	体積(ℓ)				質量(kg)				質量(kg)				体積(ℓ)			
kg/m^3	Silid	Water	Air	subtotal	Silid	Water	Air	subtotal	Silid	Water	Air	subtotal	Silid	Water	Air	subtotal
100	242.83	746.33	10.84	1,000.00	654.67	746.33	0.00	1,401.00	99.70	0.30	0.00	100.00	40.86	0.30	134.28	175.44
200	242.83	746.33	10.84	1,000.00	654.67	746.33	0.00	1,401.00	199.40	0.60	0.00	200.00	81.72	0.60	268.56	350.88
300	242.83	746.33	10.84	1,000.00	654.67	746.33	0.00	1,401.00	299.10	0.90	0.00	300.00	122.58	0.90	402.84	526.32
400	242.83	746.33	10.84	1,000.00	654.67	746.33	0.00	1,401.00	398.80	1.20	0.00	400.00	163.44	1.20	537.11	701.75
500	242.83	746.33	10.84	1,000.00	654.67	746.33	0.00	1,401.00	498.50	1.50	0.00	500.00	204.31	1.50	671.39	877.19

複合体(改質土，処理土)

添加量	質量							含水比	粒子密度	体積(ℓ)				湿潤密度		飽和度	
	水			粒子			複合体							cont.-air	non-air	cont.-air	non-air
	kg			kg			kg	w	ρs	空気除外			空気込	ρt		Sr	
kg/m^3	原泥	CP	subtotal	原泥	CP	subtotal	total	%	Mg/m^3	原泥	CP	subtotal		Mg/m^3		%	
100	746.33	0.30	746.63	654.67	99.70	754.37	1,501.00	99.0	2.662	989.16	41.16	1,030.32	1,175.44	1.277	1.457	83.7	100.0
200	746.33	0.60	746.93	654.67	199.40	854.07	1,601.00	87.5	2.636	989.16	82.32	1,071.48	1,350.88	1.185	1.494	72.7	99.9
300	746.33	0.90	747.22	654.67	299.10	953.78	1,701.00	78.3	2.616	989.16	123.48	1,112.64	1,526.32	1.114	1.529	64.3	99.9
400	746.33	1.20	747.52	654.67	398.80	1,053.48	1,801.00	71.0	2.599	989.16	164.64	1,153.80	1,701.75	1.058	1.561	57.7	99.9
500	746.33	1.50	747.82	654.67	498.50	1,153.18	1,901.00	64.8	2.585	989.16	205.80	1,194.96	1,877.19	1.013	1.591	52.3	99.9

［原泥1m^{3}当たり］

p	Solid			Water			Air			total	w_{im}（処理土）
	原泥	CP	subtotal	原泥	CP	subtotal	原泥	CP	subtotal		
kg/m^3	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	%
0	654.67	0.00	654.67	746.33	0.00	746.33	0.00	0.00	0.00	1,401	114.0
100	654.67	99.70	754.37	746.33	0.30	746.63	0.00	0.00	0.00	1,501	99.0
200	654.67	199.40	854.07	746.33	0.60	746.93	0.00	0.00	0.00	1,601	87.5
300	654.67	299.10	953.78	746.33	0.90	747.22	0.00	0.00	0.00	1,701	78.3
400	654.67	398.80	1,053.48	746.33	1.20	747.52	0.00	0.00	0.00	1,801	71.0
500	654.67	498.50	1,153.18	746.33	1.50	747.82	0.00	0.00	0.00	1,901	64.8

◆CP添加量が増加するほど，処理土の含水比は低下する（実測結果と一致）

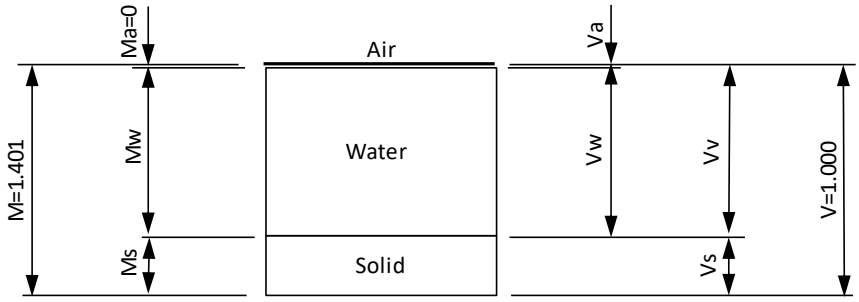
［原泥1m^{3}当たり］

p	Solid			Water			Air			total		ρt_{im}（処理土）	
	原泥	CP	subtotal	原泥	CP	subtotal	原泥	CP	subtotal	cont.-air	non-air	cont.-air	non-air
kg/m^3	ℓ	ℓ	ℓ	ℓ	ℓ	ℓ	ℓ	ℓ	ℓ	ℓ	ℓ	Mg/m^3	Mg/m^3
0	242.83	0.00	242.83	746.33	0.00	746.33	10.84	0.00	10.84	1,000	989	1.401	1.416
100	242.83	40.86	283.69	746.33	0.30	746.63	10.84	134.28	145.12	1,175	1,030	1.277	1.457
200	242.83	81.72	324.55	746.33	0.60	746.93	10.84	268.56	279.40	1,351	1,071	1.185	1.494
300	242.83	122.58	365.41	746.33	0.90	747.22	10.84	402.84	413.68	1,526	1,113	1.114	1.529
400	242.83	163.44	406.28	746.33	1.20	747.52	10.84	537.11	547.96	1,702	1,154	1.058	1.561
500	242.83	204.31	447.14	746.33	1.50	747.82	10.84	671.39	682.23	1,877	1,195	1.013	1.591

◆処理過程でCPに含まれている空気が追い出されないとすれば，CP添加量が増加すると改質土の湿潤密度は小さくなる
◆処理過程でCPに含まれている空気が追い出されるとすれば，CP添加量が増加すると改質土の湿潤密度は大きくなる

③原泥の基本特性

【原泥】



土粒子密度	$\rho s=$	Ms/Vs=	2.696 Mg/m^3
自然含水比	w=	Mw/Ms=	114.0 %
湿潤密度	$\rho t=$	M/V=	1.401 Mg/m^3

乾燥密度

ρd= Ms/V
= $\rho t/(1+w)$
= 1.401/(1+1.14)
= 0.65 Mg/m^3

間隙水が占める体積[原泥1cm^{3}当たり)]

Vw= Mw/ρw
= w/(w+1)・$\rho t/\rho w$・V
= 1.14/(1.14+1)×1.401/1.00×V
0.75 cm^3

間隙全体(間隙水+間隙空気)が占める体積[原泥1cm^{3}当たり]

Vv= V-Vs
= {1-$\rho t/\rho s$・1/(1+w)}・V
= {1-1.401/2.696×1/(1+1.14)}×V
= 0.76 cm^3

空気が占める体積[原泥1cm^{3}当たり)]

Va= Vv-Vw
= 0.76-0.75
= 0.01 cm^3

土粒子の占める体積[原泥1cm^{3}当たり)]

Vs= $\rho t/\rho s$・V/(1+w)
= 1.401/2.696×V/(1+1.14)
= 0.24 cm^3

間隙比

$$
\begin{aligned}
e &= Vv/Vs \\
&= \rho s/\rho t\cdot(1+w)-1 \\
&= 2.696/1.401\times(1+1.14)-1 \\
&= 3.12
\end{aligned}
$$

間隙率

$$
\begin{aligned}
n &= Vv/V \\
&= 1-1/(1+w)\cdot\rho t/\rho s \\
&= 1-1/(1+1.14)\times 1.401/2.696 \\
&= 75.7\ \%
\end{aligned}
$$

飽和度

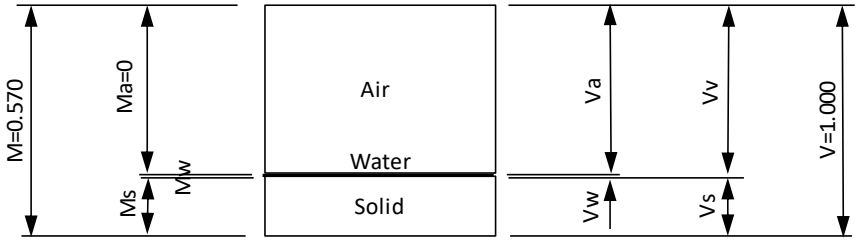
$$
\begin{aligned}
Sr &= Vw/Vv \\
&= (w/\rho w)/\{(w+1)/\rho t-1/\rho s\} \\
&= (1.14/1.00)/\{(1.14+1)/1.401-1/2.696\} \\
&= 98.57\ \%
\end{aligned}
$$

原泥1m^{3}の組成

		Solid	Water	Air	SUM
M	kg	655	746	0	1,401
ρ	kg/ℓ	2.696	1.000	0	1.401
V	ℓ	243	746	11	1,000

④ＣＰの基本特性

【CP】



土粒子(微粉)密度　　ρs= Ms/Vs= 2.440 Mg/m^3
自然含水比　　w= Mw/Ms= 0.3 %
湿潤密度　　ρt= M/V= 0.570 Mg/m^3　(looseな嵩密度)

乾燥密度

ρd= Ms/V
= ρt/(1+w)
= 0.570/(1+0.003)
= 0.57 Mg/m^3

間隙水が占める体積[CP1cm^{3}当たり)]

Vw= Mw/ρw
= w/(w+1)・ρt/ρw・V
= 0.003/(0.003+1)×0.570/1.000×V
0.00 cm^3

間隙水の質量[CP500kg当たり]

Mw= ρw・Vw・α
1.000×0.00×(0.500/0.570)
1.50 kg

間隙全体(間隙水+間隙空気)が占める体積[CP1cm^{3}当たり)]

Vv= V−Vs
= {1−ρt/ρs・1/(1+w)}・V
= {1−0.570/2.440×1/(1+0.003)}×V
= 0.77 cm^3

空気が占める体積[CP1cm^{3}当たり)]

Va= Vv−Vw
= 0.77−0
= 0.77 cm^3

土粒子（微粉）の占める体積[CP1cm^{3}当たり]

$$Vs = \rho t / \rho s \cdot V / (1+w)$$
$$= 0.570/2.440 \times V/(1+0.003)$$
$$= 0.23\ cm^3$$

土粒子（微粉）の質量（CP500kg当たり）

$$Ms = \rho s \cdot Vs \cdot \alpha$$
$$= 2.440 \times 0.23 \times (0.500/0.570)$$
$$= 498.50\ kg$$

間隙比

$$e = Vv/Vs$$
$$= \rho s / \rho t \cdot (1+w) - 1$$
$$= 2.440/0.570 \times (1+0.003) - 1$$
$$= 3.29$$

間隙率

$$n = Vv/V$$
$$= 1 - 1/(1+w) \cdot \rho t / \rho s$$
$$= 1 - 1/(1+0.003) \times 0.570/2.440$$
$$= 76.7\ \%$$

飽和度

$$Sr = Vw/Vv$$
$$= (w/\rho w)/\{(w+1)/\rho t - 1/\rho s\}$$
$$= (0.003/1.00)/\{(0.003+1)/0.570 - 1/2.440\}$$
$$= 0.22\ \%$$

CP500kgの組成

		Solid	Water	Air	SUM
M	kg	498.50	1.50	0.00	500.00
ρ	kg/ℓ	2.440	1.000	0	0.570
V	ℓ	204.31	1.50	671.39	877.19

⑤各種配合（添加量）ごとの処理土中のＣＰの組成

p	Solid	Water	Air	SUM
kg/m^3	kg	kg	kg	kg
0	0	0	0	0
100	99.70	0.30	0.00	100.00
200	199.40	0.60	0.00	200.00
300	299.10	0.90	0.00	300.00
400	398.80	1.20	0.00	400.00
500	498.50	1.50	0.00	500.00

p	Solid	Water	Air	SUM
kg/m^3	ℓ	ℓ	ℓ	ℓ
0	0	0	0	0
100	40.86	0.30	134.28	175.44
200	81.72	0.60	268.56	350.88
300	122.58	0.90	402.84	526.32
400	163.44	1.20	537.11	701.75
500	204.31	1.50	671.39	877.19

（４）環境安全性

①溶出量

分析結果報告書

東海技水第　17104742-001　号
平成 29 年 8 月 7 日

一般社団法人泥土リサイクル協会　　様

計量証明事業　東海県知事登録　第262号
一般財団法人　東海技術センター
理事長　平井　修司
名古屋市名東区[illegible]二丁目[illegible]番地
TEL(052)771-6161㈹　〒465-0021

持込	（平成 29 年 7 月 18 日受入）		試料の種類・採取場所・採取日時・天候・採取者名は依頼者のお申し出により記入しました。
試料の種類	改質土（養生7日後）		
採取場所			
採取日時	平成 29年 7月 18日	天候	
採取者名			

上記試料に対する分析結果を次のとおり報告します。

	分析対象	単位	分析結果	備考
1	カドミウム	mg/L	0.001未満	アルキル水銀の「検出されず」とは、定量下限値(0.0005mg/L)を下回ることを示す。 全シアンの「検出されず」とは、定量下限値(0.1mg/L)を下回ることを示す。 PCBの「検出されず」とは、定量下限値(0.0005mg/L)を下回ることを示す。 有機燐の「検出されず」とは、定量下限値(0.1mg/L)を下回ることを示す。
2	鉛	mg/L	0.005未満	
3	六価クロム	mg/L	0.05	
4	砒素	mg/L	0.005未満	
5	総水銀	mg/L	0.0005未満	
6	アルキル水銀	mg/L	検出されず	
7	セレン	mg/L	0.002	
8	ふっ素	mg/L	0.05未満	
9	ほう素	mg/L	0.29	
10	全シアン	mg/L	検出されず	
11	ジクロロメタン	mg/L	0.002未満	
12	四塩化炭素	mg/L	0.0002未満	
13	１，２－ジクロロエタン	mg/L	0.0004未満	
14	１，１－ジクロロエチレン	mg/L	0.002未満	
15	シス－１，２－ジクロロエチレン	mg/L	0.004未満	
16	１，１，１－トリクロロエタン	mg/L	0.001未満	
17	１，１，２－トリクロロエタン	mg/L	0.0006未満	
	（別紙につづく）			

［備考］　環境基本法（平成５年法律第９１号）第１６条第１項の規定に基づく土壌の汚染に係る環境基準（環境庁告示第４６号）
高吸収性樹脂：エコハードB S-1T 10kg/m3添加
固化材名：クラッシングパウダー 400kg/m3添加
骨材再生処理に伴い発生する微粉末の建設資材への適用に関する研究

	分　析　対　象	単　位	分析結果	備　　考
18	トリクロロエチレン	mg/L	0.002未満	
19	テトラクロロエチレン	mg/L	0.0005未満	
20	1，3－ジクロロプロペン	mg/L	0.0002未満	
21	ＰＣＢ	mg/L	検出されず	
22	ベンゼン	mg/L	0.001未満	
23	シマジン	mg/L	0.0003未満	
24	チウラム	mg/L	0.0006未満	
25	チオベンカルブ	mg/L	0.002未満	
26	有機燐	mg/L	検出されず	
27	クロロエチレン	mg/L	0.0002未満	
28	1，4－ジオキサン	mg/L	0.005未満	
	(以下余白)			

②含有量

分析結果報告書

東海技水第　17104742-002　号
平成 29 年 8 月 7 日

一般社団法人泥土リサイクル協会　様

計量証明事業　愛知県知事登録　第262号
一般財団法人　東海技術センター
理事長　平井修明
名古屋市名東区猪子石二丁目701番地
TEL(052)721-5161㈹　〒465-0021

持込	（平成 29 年 7 月 18 日受入）		試料の種類・採取場所・採取日時・天候・採取者名は依頼者のお申し出により記入しました。
試料の種類	改質土（養生7日後）		
採取場所			
採取日時	平成 29年 7月 18日	天候	
採取者名			

上記試料に対する分析結果を次のとおり報告します。

	分析対象	単位	分析結果	備考
1	カドミウム及びその化合物	mg/kg	5未満	
2	六価クロム化合物	mg/kg	2未満	
3	シアン化合物	mg/kg	1未満	
4	水銀及びその化合物	mg/kg	0.05未満	
5	セレン及びその化合物	mg/kg	0.5未満	
6	鉛及びその化合物	mg/kg	13	
7	砒素及びその化合物	mg/kg	6.1	
8	ふっ素及びその化合物	mg/kg	81	
9	ほう素及びその化合物	mg/kg	27	
	（以下余白）			

［備考］　土壌含有量調査に係る測定方法（平成１５年３月６日環境省告示第１９号）（乾燥試料に対する濃度）
高吸収性樹脂：エコハードB S-1T 10kg/m3添加
固化材名：クラッシングパウダー 400kg/m3添加
骨材再生処理に伴い発生する微粉末の建設資材への適用に関する研究

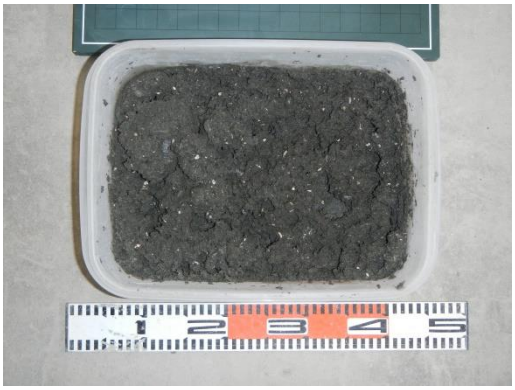
（５）試験状況写真

①改質土作製

（ａ）改良型撹拌装置

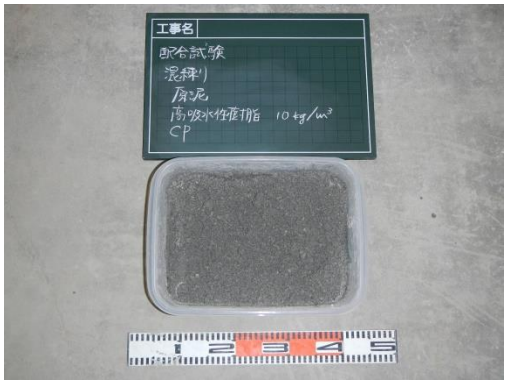
（ｂ）原泥

（ｃ）高吸水性樹脂混合・撹拌



（ｄ）高吸水性樹脂混練完了

（ｅ）ＣＰ混合・撹拌



（ｆ）ＣＰ混練完了

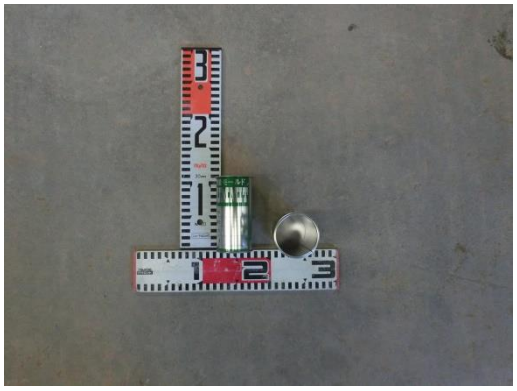
②コーン指数試験

（ａ）モールド（ϕ100，　V≒1,000 cm^3）

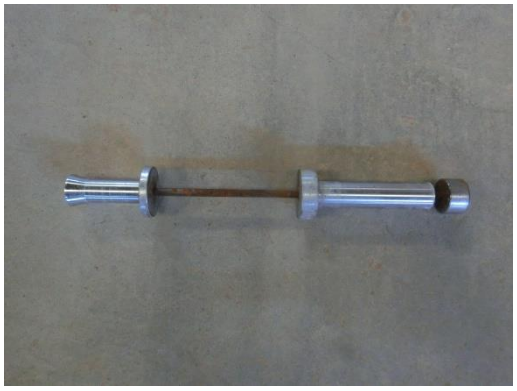
（ｂ）ランマー（2.5 kg）

（ｃ）コーン貫入状況

③一軸圧縮試験

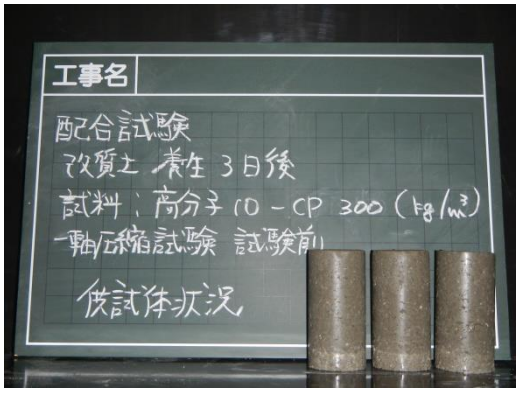


（ａ）モールド（φ50，H=100）

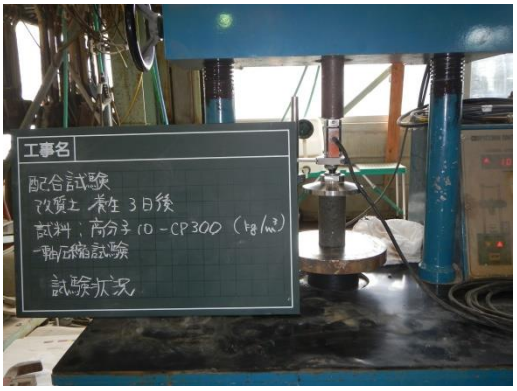


（ｂ）ランマー（1.5 kg）

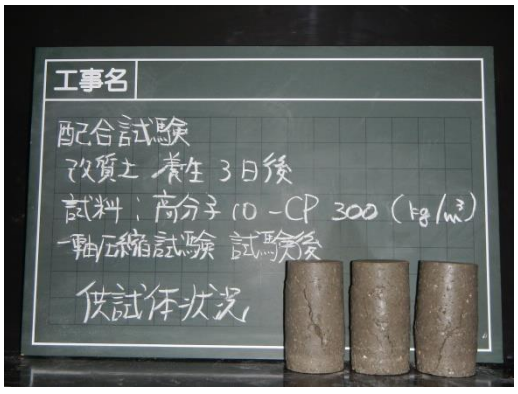
（ｃ）一軸圧縮試験機



（ｄ）試験前供試体（CP300，t=3）

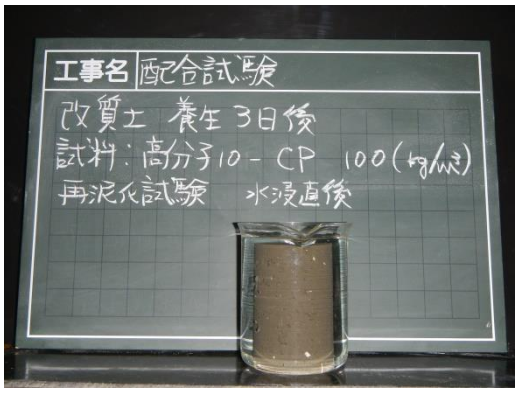


（ｅ）載荷状況

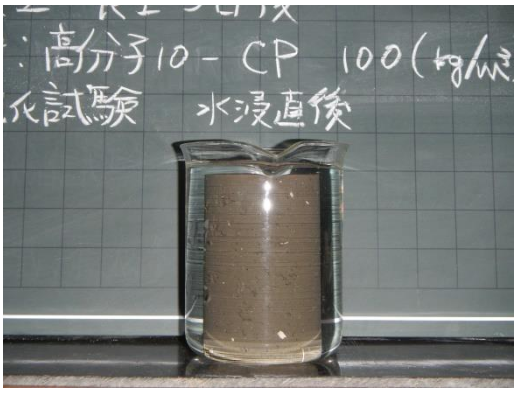


（ｆ）試験後供試体（CP300，t=3）

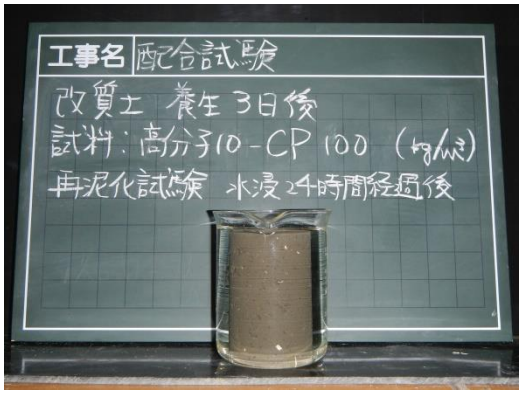
④再泥化・軟化試験



（ａ）水浸直後（CP100，t=3）



（ｂ）水浸直後_近景（CP100，t=3）



（ｃ）水浸後 24 時間経過（CP100，t=3）

（ｄ）水浸後 24 時間経過_近景（CP100，t=3）