

コーン指数によるコンクリートガラ混じり分別土砂の締固め特性評価

災害廃棄物 締固め特性 コーン指数

(株) アイコ 正会員 ○ 鍋田 稔
 (一社) 泥土リサイクル協会 正会員 野口 真一
 愛知工業大学 国際会員 中村 吉男
 名古屋大学 国際会員 酒井 崇之
 名古屋大学 国際会員 中野 正樹

1. はじめに

災害廃棄物等から分別した土砂（以下、「分別土砂」と称す。）には木くずやコンクリートガラ（以下、「コンガラ」と称す。）等の夾雑物が混入しているが、これを完全に除去することは時間的にも費用的にも極めて困難である。夾雑物混じりの分別土砂を復興資材として積極的に活用するためには、夾雑物が混入した分別土砂の地盤工学的特性を把握し、それに応じた部位に適用することが合理的と考えられる。木くず混じりの分別土砂については、木くずが混入したことによる性状変化や腐朽に伴う長期安定性に懸念があったことから多くの研究が行われ、一定の成果を得ている。しかし、腐朽や変質の恐れがないコンガラ混じりの分別土砂については、ほとんど着目されなかった。度重なる豪雨災害や、今後起こる可能性が高い巨大地震において、土砂混じりの災害廃棄物等が大量に発生することは想像に難くなく、分別土砂が有効利用されない場合には、復旧・復興の妨げになるだけでなく、廃棄物として処分しなければならない。本研究は、災害からの早期復旧・復興と資材の有効利用を目的として、実験室でコンガラ混じりの模擬分別土砂を作製し、その地盤工学的特性のうち締固め特性について調べたものであり、コーン指数を用いて評価した。

2. 試験概要

2. 1 試験に用いた試料

本研究では、南海トラフ巨大地震を想定し、三重県四日市港で採取した2種類の浚渫土を用いた。1つは粗粒分が卓越した河川堆積物（砂：以下「S」と称す。）で、4.75mmふるい通過試料を用いた。もう1つは細粒分が卓越した海底堆積物（粘土：以下「C」と称す。）で、425 μ mふるい通過試料を用いた。この2つの試料を、乾燥質量比3:1、1:1、1:3で混合したものを母材（混合土砂）とし、それぞれS75C25、S50C50、S25C75と呼ぶ。また、コンガラとしては再生砕石（RC-40）の4.75mm通過試料を用いた。模擬分別土砂は、母材にコンガラを混入させて作製したもので、コンガラ混入率（母材に対する乾燥質量比）pは、0、10、20、30の4水準とした。試験に用いた試料の物理的性質を表-1に示す。

表-1 試料の物理特性

項目	単体試料(参考)		コンガラ(RC-40)				模擬分別土砂 ²⁾											
	砂(S) [有染]	粘土(C) [有染]	有染	粒度調整 ¹⁾ [5-0]	S75C25				S50C50				S25C75					
					p=0%	p=10%	p=20%	p=30%	p=0%	p=10%	p=20%	p=30%	p=0%	p=10%	p=30%			
土粒子の密度 ρ_s [Mg/m ³]	2.627	2.694	2.669	2.669	2.653	2.646	2.659	2.649	2.670	2.665	2.664	2.665	2.684	2.682	2.679			
最大粒径 D_{max} [mm]	26.5	4.75	53	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75			
水分 [%]	25.3	0.1	83.1	37.4	24.3	27.4	32.4	29.4	17.0	19.1	20.7	21.9	8.3	11.0	15.0			
砂分 [%]	72.6	13.4	14.1	52.3	48.9	48.3	46.2	48.9	36.7	37.6	38.8	39.8	25.1	27.6	31.4			
粒度	細粒分 F_c [%]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
	シルト分 [%]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
	粘土分 [%]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
	60%粒径 D_{60} [mm]	1.316	0.010	15.058	1.793	1.182	1.313	1.577	1.368	0.444	0.600	0.701	0.791	0.029	0.054	0.156		
	50%粒径 D_{50} [mm]	1.042	0.006	11.185	1.178	0.841	0.927	1.155	0.957	0.125	0.203	0.292	0.368	0.012	0.017	0.039		
	30%粒径 D_{30} [mm]	0.660	0.002	5.361	0.474	0.161	0.269	0.406	0.308	0.011	0.010	0.012	0.015	0.002	0.003	0.005		
	10%粒径 D_{10} [mm]	0.346	—	0.666	0.068	—	0.002	—	0.003	—	—	—	—	—	—	—		
	均等係数 U_c	3.8	—	22.6	26.3	—	656.5	—	456.0	—	—	—	—	—	—	—		
曲率係数 U_c'	1.0	—	2.9	1.8	—	27.6	—	23.1	—	—	—	—	—	—	—			
コンシステンシー	液性限界 w_L [%]	NP	48.6	NP	NP	44.9	45.6	45.0	44.3	51.5	51.8	50.9	48.4	55.7	54.0	52.6		
	塑性限界 w_p [%]	NP	25.8	NP	NP	23.0	28.0	21.9	29.6	28.0	25.9	26.1	29.0	27.2	28.0	29.5		
	塑性指数 I_p	—	22.8	—	—	21.9	17.6	23.1	14.7	23.5	25.9	24.8	19.4	28.5	26.0	23.1		
分類	地盤材料の分類名	分級された 確質砂	砂混じり 粘土	砂混じり 礫	砂質礫	細粒分質 確質砂	細粒分質 確質砂	細粒分質 確質砂	細粒分質 確質砂	細粒分質 確質砂	細粒分質 確質砂	細粒分質 確質砂	細粒分質 確質砂	粘土 (高塑性限界)	粘土 (高塑性限界)	シルト (高塑性限界)		
	記号	{SPG}	{CL-S}	{G-S}	{GS}	{SFG}	{SFG}	{SFG}	{SFG}	{SFG}	{SFG}	{SFG}	{SFG}	{CH}	{CH}	{MH}		

注1) 模擬分別土砂に用いるコンガラは、RC-40の粒度調整(4.75mmふるい通過)試料
 注2) 模擬分別土砂に用いる砂は4.75mmふるい通過試料、粘土は425 μ mふるい通過試料

2. 2 試験方法

コーン指数は、JIS A 1228（締固めた土のコーン指数試験）に基づき、JIS A 1210（突固めによる土の締固め試験）のA-a法（突固め方法：10cm モールド、2.5kg ランマー3層@25回、試料の準備及び使用方法：乾燥法で繰返し法）で作製した供試体を用いて求めた。なお、JIS A 1228の適用範囲は $q_c=1.0\sim 1.5\text{MN/m}^2$ ($Q_c=324\sim 486\text{kN}$)とされている¹⁾が、模擬分別土砂の締固め特性を評価するため、適用範囲を超える値も求められるように、自動貫入試験機を用いて1cm/secの速度でコーンを貫入させた。

Evaluation of Compaction Properties of Recovered Soils mixed with Concrete Debris by Cone Index.

Minoru TOKITA : AICO Co.,Ltd.
 Shin-ichi NOGUUCHI : Mud Recycling Association
 Yoshio NAKAMURA : Aichi Institute of Technology
 Takayuki SAKAI, Masaki NAKANO : Nagoya University

3. 試験結果

図-1は、本研究における模擬分別土砂の締固め特性（含水比と乾燥密度の関係）及び含水比とコーン指数の標準的な関係を示す。含水比の増加とともにコーン指数は減少し、含水比が最適含水比より乾燥側に移行して、乾燥密度が最大乾燥密度より減少してもコーン指数が増加することが確認された。

図-2は、母材の粒度組成比率及びコンガラ混入率をパラメータとした含水比とコーン指数の関係を示す。これより以下のことが分かる。

- ① 模擬分別土砂のコーン指数は、母材の粒度組成比率に拘わらず、含水比の増加に伴って低下する。
- ② 含水比の増加に伴う模擬分別土砂のコーン指数の低下は、母材の粗粒分組成比率が多い方が顕著である。
- ③ 同一含水比の場合、コンガラ混入率の増加に伴って模擬分別土砂のコーン指数は増加する。
- ④ コンガラ混入率の増加に伴う模擬分別土砂のコーン指数の増加は、母材の粗粒分組成比率が多いほど顕著である。
- ⑤ あるコーン指数を得るための模擬分別土砂の含水比は、母材の細粒分組成比率が多くなるほど大きくなる。
- ⑥ あるコーン指数を得るための模擬分別土砂の含水比は、コンガラ混入率が多くなるほど大きくなる。
- ⑦ 模擬分別土砂の細粒分組成比率が多くなるにつれ、コンガラ混入に伴う含水比及びコーン指数の変化は小さくなる。

上記③～⑦に関しては、母材の細粒分組成、或いはコンガラ混入率の増加に伴って締固め曲線が右下にシフト²⁾し、細粒分組成比率が多くなるとコンガラ混入の影響が小さくなることによるものである。

なお、模擬分別土砂のコーン指数は、含水比の低下に伴って増加するが、S75C25に関しては、含水比がある値を下回るとコーン指数が減少する挙動が見受けられ、これが母材の組成によるものなのか、試料固有の含水比を下回るとこうした現象が生ずるのかについては不明である。

図-3は同じく乾燥密度とコーン指数の関係を示す。これより以下のことが分かる。

- ① 模擬分別土砂のコーン指数と乾燥密度は、 $qc \approx 2,000 \text{ kN/m}^2$ 以下では正、以上では負の強い相関性が認められ、それは細粒分組成比率が多い模擬分別土砂ほど明確である。
- ② 試験実施範囲の中では、母材の粗粒分組成比率が多いほど、模擬分別土砂のコーン指数は大きくなる傾向を示す。
- ③ 模擬分別土砂の細粒分組成比率が多くなるに従い、コンガラ混入に伴う乾燥密度の変化は小さくなる。

なお、上記①に関して、 $qc \approx 2,000 \text{ kN/m}^2$ となる含水比は母材の粒度組成比率、コンガラ混入率に拘わらず、概ね最適含水比に等しい。また、②に関して、母材の粗粒分組成比率が多いほど締固め曲線は左上にシフトし、含水比が小さくなるためと考えられる。そして、③に関しては、母材の細粒分組成比率が多くなると、締固め曲線は右下にシフトし、曲線形状はなだらかになって、乾燥密度のレンジが狭まることに起因していると考えられる。

4. おわりに

コンガラ混じりの模擬分別土砂の締固め特性をコーン指数で評価した。コーン指数は母材の粒度組成比率、含水比、コンガラ混入率の影響を受けるが、含水比を調整することでコーン指数を管理し、目的に応じた用途に利用できることが示唆された。なお、本研究は（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（3K163011）の助成を受けて実施したものである。

【参考文献】

- 1) JIS A 1228-2009：締固めた土のコーン指数試験
- 2) 鴫田稔他：コンクリートがら混じり分別土砂の地盤工学的特性，土木学会第74回全国大会，Ⅲ-446，2019

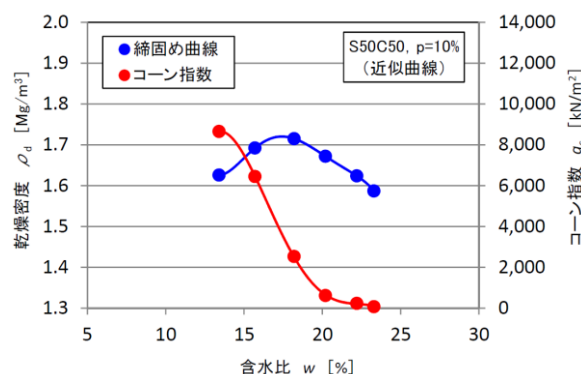


図-1 模擬分別土砂の締固め特性及び含水比とコーン指数の関係

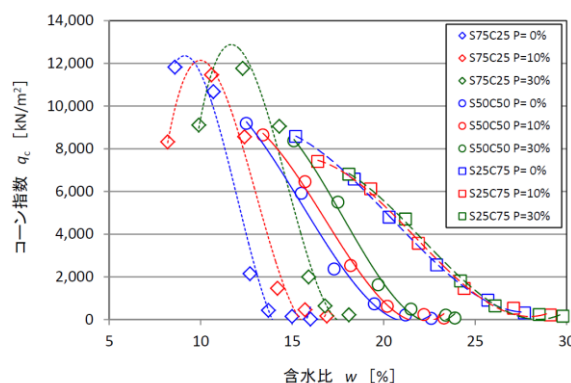


図-2 含水比とコーン指数の関係

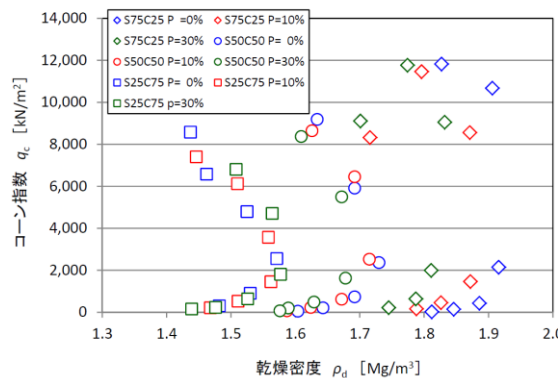


図-3 乾燥密度とコーン指数の関係