



盛土材料としての堆積軟岩の諸特性と盛土事例

5. 堆積軟岩を用いた宅地造成盛土 (その1)

山口 晴 幸 (やまぐち はれゆき)

防衛大学校土木工学教室

黒島 一郎 (くろしま いちろう)

三井建設㈱技術研究所

大山 英 治 (おおやま えいじ)

㈱アイコ

中岡 時 春 (なかおか ときはる)

大木建設㈱技術研究所

5.1 はじめに

宅地造成は生活の場を築き、居住にふさわしい快適な環境を創るものである。そのためには、建物等の支持地盤として優れ、崖崩れや河川氾濫等の災害がなく、日常的に排水・日照・通風が良好で、道路等の生活の機能が確保されることである。このような宅地を造成するためには、工事の基本である盛土工事を適切に行う必要がある。

宅地造成工事では、一般に工事区域内で切土量と盛土量とのバランスがとれるような設計がなされており、この場合には切土された材料が盛土材料となる。切土された材料が盛土材料として好ましくない場合でも、土工計画や安定処理などの創意工夫によって、盛土材料として利用するのが得策と考えられている。

特に本講座のテーマとなっている堆積軟岩は、一般にスレーキング現象を呈するので、盛土中でスレーキングによって岩塊が細粒化し、沈下することが懸念されている。そこで、沈下に対する慎重な施工が必要で、堆積軟岩が盛土材料として切土された時の粒径、粒度や含水比および強度の状態によって、施工性や施工管理方法にも幾とおりかの方法が採用されているように、施工方法の検討が大きな課題となっている。

本章では、宅地造成工事について、堆積軟岩を盛土材に用いた実際の事例を示しながら紹介する。

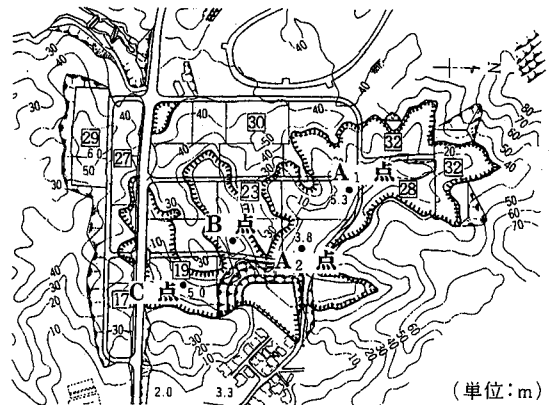
5.2 紹介事例の概要

5.2.1 N 造成工事

図-5.1¹⁾に、現況と造成計画の平面を示した。

工事は工区内南側および西側の尾根部に互層状態で分布する田辺層群の砂質泥岩とシルト質泥岩(標高40~60m)を切土し、東側の谷部(標高約5m)を盛土するので、図中に切盛境界線(斜線内は盛土域)と沈下計測地点を示している。また口絵写真-19は、盛土材料となる砂質泥岩とシルト質泥岩の分布状況を示している。

施工は、尾根部をリッピング掘削し、ダンプトラックおよびキャリアオールスクレーパーで谷部に運搬し、敷均し・転圧して広さ約12ha、最大盛土高さ約20m、盛土量約50万m³の盛土を行う造成工事で、施工管理は締固め度(D値)で行い、沈下板による沈下計測も行った。



●: 沈下計測地点, 斜線内: 切盛境界線の盛土区域, □は数値: 造成計画平均地盤高さ

図-5.1 現況平面と造成計画

5.2.2 S 造成工事

開発面積は約200haであり、設計の切土量が1200万m³でその80%は泥岩である。土工事は尾根部をリッピング掘削し、ダンプトラックで谷部に運搬し、敷均し・転圧を行った。施工管理は空気間隙率(v_a)で行い、層別沈下計および沈下計による計測を行った。土量の設計は、切土量と盛土量が開発区域内でバランスするようになっている。

5.2.3 M 造成工事

岐阜県瑞浪市土岐町地内の宅地造成工事(開発面積36ha)であり、土工事は尾根部をリッピング掘削し、キャリアオールスクレーパーで谷部に運搬し、敷均し・転圧して行った。施工管理は岩塊との密度比(E値)で行い、層別沈下計による計測も行った。土工量は152万m³でそのうち約70%の107万m³は新第三紀中新世に属する瑞浪層群の砂質シルト岩およびシルト質砂岩である(図-5.2²⁾, 表-5.1²⁾)

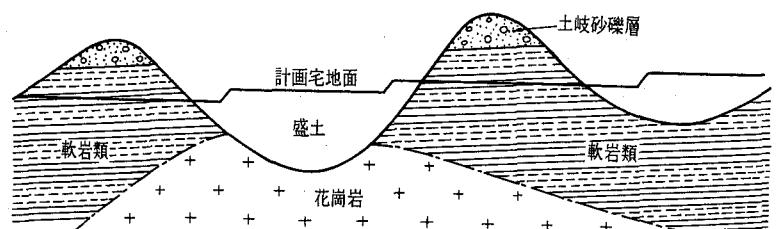


図-5.2 地質概要図

表-5.1 地質層序表

時代	柱状図	地質名	記事
第四紀		造成土・盛土	礫、砂および粘土よりなる。
		沖積層	礫まじりシルト～シルト。 (現河床・氾濫原堆積物)
		崖錐堆積物	礫まじりシルト、粘土質砂礫よりなる。
更新世		段丘堆積物	礫まじりシルト～シルト質砂礫、シルト層よりなる。
		土岐砂礫物(瀬戸層群)	主に粘土質砂礫からなる。調査地域南部山頂付近に分布。
新第三紀		瑞浪層群	主に砂質シルト岩、シルト質砂岩からなる褐炭の薄層を挟在する。
		土岐花崗岩	粗粒のものが多い。瑞浪層群との境界面はかなりの凸凹あり。
中生代 白亜紀		土岐花崗岩	粗粒のものが多い。瑞浪層群との境界面はかなりの凸凹あり。

5.3 調査および試験

5.3.1 調査

宅地造成工事における調査は、土工事、道路工事、排水管渠工事、公園緑地工事等広い分野の工事を調和良く組み合わせるため総合的であること、また道路や鉄道のような線的なものでなく面的広がりをもつこと、地域内で切盛土量をバランスさせるので土量変化率に関する事項が重視されることなどの特徴がある³⁾。

調査の目的は主に、

- ① 盛土基礎地盤の性状の把握：盛土に対する支持力およびその位置、地層分布や軟弱地盤の判定
- ② 地下水の状況の把握：地下水位や湧水の位置等
- ③ 切土の難易性の把握と土工機械の選定
- ④ 切土、盛土法面の安定の検討と保護工の選定
- ⑤ 盛土材料の性状の把握：土軟岩の判定、締固めや沈下、スレーキングの有無等

などが挙げられる。

調査は、大きく予備調査・本調査・施工時の調査測定・施工後の調査測定に分けられる。ここでは、これらの区分の中で本調査までについて盛土材料に関連したことを中心に述べる。

予備調査は主に文献調査と現地踏査に重点がおかれ、なかで最も直接的に役立つものは、付近で行われた宅地造成工事における転圧方法、法面勾配や補強工法、水対策等についての資料である。そして、その関係者より施工時の状況を聞くことができた場合、より貴重なデータとなる。

文献調査には、地形図、古地図、地質図、土地条件図および付近で実施された土質調査報告書などがある。

堆積軟岩は、主として新第三紀の泥岩、砂岩のような碎屑岩および凝灰岩のような火山碎屑岩であり、第四紀更新世の一部が含まれており、この地質年代を参考にして分布等を判断する。

また現地調査では、はじめに文献で調査した時点でのイメージと現地との比較を行う。そして、崩壊、地すべりなどの有無、湧水および排水状況、水系、河道、用水等の変遷状況といった一般的踏査事項を調査する。この

ほか、特に既設住宅地の切土面や盛土法面の法勾配および保護状況なども調査する。

本調査は、合理的な設計・施工をするための資料を得ることが大切であり、機械的に画一的な調査を行うことは避けるとともに、調査により得られた結果だけに固執せず、ほかの情報と総合して判断するように心がける必要がある。切土部についても、切土材が盛土材となることを考慮して、なるべく調査地点を多くし、盛土材としての評価がなるべく精度良く把握できるようにする。

また、堆積軟岩が地すべりの原因となっていることもあるので、この点を考慮した調査も行う必要がある。

5.3.2 材料試験

盛土材料の望ましい条件としては、

- ① 締固め密度やせん断強さが大きいこと
- ② 締固めやすいこと
- ③ 盛土の安定に支障を及ぼすような膨張あるいは収縮のないこと

等が挙げられ、宅地造成工事では一般的にほとんどの材料は盛土材料として使用できる。しかし、圧縮性、膨張性の大きい堆積軟岩等は、使用に際して注意する事項があり、特別な試験が必要である。

以下に堆積軟岩を盛土材料とするときの、試験項目・留意事項・試験結果例について述べる。

(1) 一般的な試験項目

盛土材料の特性を把握するための材料試験には、一般に以下に示す試験がある。これらについては、標準化されているので、各々について説明は省略する。

- ① 土粒子の密度試験
- ② 含水比試験
- ③ 粒度試験
- ④ 液性限界試験
- ⑤ 塑性限界試験
- ⑥ 締固め試験

そのほか、以下のような試験が必要に応じて行われる。

- ⑦ 圧密試験
- ⑧ 一面せん断試験
- ⑨ 三軸圧縮試験

(2) 試験の留意事項

堆積軟岩は、粗粒径でかつ水や乾燥により材質が変化するという特徴があり、ほかの盛土材料に比べて各試験ごとに留意する事項が多い。以下に主な留意事項を述べる。

1) 土粒子の密度試験

堆積軟岩を盛土材料とする場合、土採状況から最大粒径が大きくなり、そのままの状態では直接的に室内試験で特性が求められないので、原粒度を基準に調整した試験試料の試験結果から原粒度材の特性を推定する方法が採られる。

この時、原粒度材全体の土粒子密度(加重平均値)を求める必要があるため、試験試料の最大粒径以上の粒径をいくつかグルーピングし、それぞれの土粒子密度を求めておく必要がある。

2) 粒度試験

堆積軟岩は、水の影響により細粒化する特徴を持っており、粒度分析の方法により同一材料でも粒度特性が異なった結果となることがあるので、試験方法に注意する必要がある。

図-5.3¹⁾に、N 造成工事における原粒度材料の粒径加積曲線を示し、表-5.2¹⁾はその特性を示している。図中には参考のため、水洗いした場合の粒径加積曲線も示したが、スレーキングを起こしやすい材料のため、粒度は自然含水比のままふるい分けした結果を採用した。

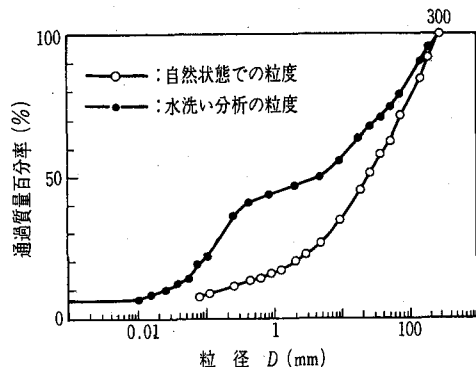


図-5.3 原粒度材料の粒径加積曲線

表-5.2 盛土材料と岩質の特性

盛土材料の特性	砂質泥岩：シルト質泥岩 = 1：1	
最大粒径 D_{max} (mm)	300	
50%粒径 D_{50} (mm)	25	
礫分*1 (%)	80	
均等係数 U_c	233	
統一分類法による分類名	粘土まじり礫	
自然含水比 w_n (%)	10.8	
土粒子密度 ρ_s *2	2.68	
スレーキング率 (%)	39.4	
地山強度*3 (kgf/cm ²)	100~300	
岩質の特性	砂質泥岩	シルト質泥岩
圧縮強度 q_u (kgf/cm ²)	199	125
密度 ρ_t (t/m ³)	2.41	2.35
乾湿繰返し載荷試験	10サイクル 変化なし	2サイクルで 崩壊
スレーキング率 (%)	12.2	55.9

* 1 JIS A 1204における土質分類の礫以上の割合。
 * 2 土粒子の密度は、各粒径に対して求めた土粒子の密度の加重平均。
 * 3 ロック用シュミットハンマーによる測定値。

表-5.3に、これら二つの分析方法により行った粒度分析の結果を示したが、その特性にかなりの違いがある。このように、同一材料でも試験方法の違いにより、異なった特性を有する試料と判断される。特に、原粒度を基準にして室内試験用試料を調整する場合、試験結果に大きな違いが生じることがあるので、試験方法に留意する必要がある。

堆積軟岩を盛土材料とする場合の粒度試験の方法は、水の影響により粒度特性が変わるので、一般的に自然含水比状態で施工が行われる等を考慮すると、JISに定める「水洗い分析法」より、「自然状態の試料をそのまま

表-5.3 粒度試験方法の違いによる盛土材料の特性

	自然状態でのふるい分け	水洗いのふるい分け
最大粒径 D_{max} (mm)	300	300
50%粒径 D_{50} (mm)	25	5
礫分*1 (%)	79.9	53.3
2mm通過分 (%)	20.1	46.7
0.075mm通過分 (%)	7.5	18.9
均等係数 U_c	233.3	630.4
統一分類法による分類名	G-C：粘土まじり礫	GC：礫質土

* 1 JIS A 1204における土質分類の礫以上の割合。

ふるい分けする方法」の方が適していると言える。

3) 締固め試験

本講座「第3章 堆積軟岩材料の締固め特性」を参照されたい。

(3) 軟岩の試験項目

岩石の特性を把握するためには次の試験があり、堆積軟岩もこれに準ずる。

- ① 比重・吸水率試験
- ② スレーキング試験
- ③ 一軸圧縮強度試験
- ④ 乾湿繰返しに伴う強度低下試験
- ⑤ 沈下試験

以下に、主な試験について説明する。

1) 比重・吸水率試験

岩石の比重は、試料の質量と同体積の純粋な水の質量との比で表され、実質部(粒子)の体積によって得られる“真比重”と、見かけの体積によって得られる“見かけ比重”、さらには測定過程で岩石試料の体積が変化するような材料や水に溶解するような材料の場合に、整形された試料の寸法から体積を求めることによって得られる“かさ比重”に区分できる。

試験を実施する場合、どの比重を求めるかを事前に検討しておく必要がある。また岩石は多くの間隙が存在しているが、必ずしも均質ではないため、試料によってはばらつきがあることを考慮して試験する。

吸水率は、岩石の間隙に水がどの程度浸透するかを示すもので、吸水率が高いということは間隙が大きいことを意味し、軟岩の吸水率の範囲は数%~60%程度であ

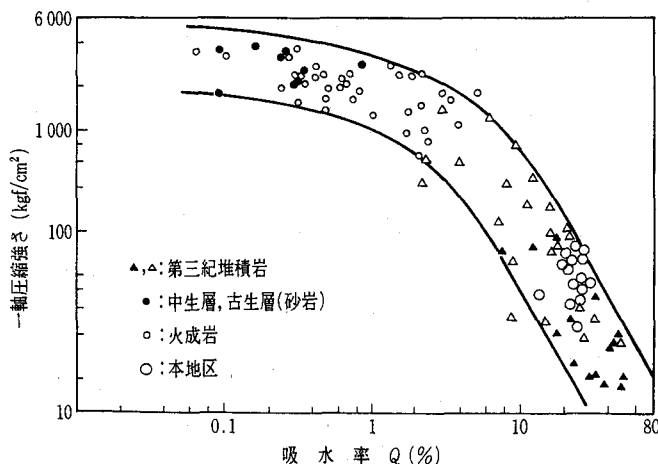


図-5.4 吸水率と一軸圧縮強さの関係

る。間隙の量の指標となる吸水率は、図-5.4⁴⁾に示したように一軸圧縮強さと比較的良好の関係にある。大まかには、吸水率>5%になると強度は低く、>10%では極端に小さくなる。

2) スレーキング試験

スレーキング試験方法については、本講座「第2章 堆積軟岩材料の物理的性質」を参照されたい。

以下に、堆積軟岩のスレーキングを考える上で参考となる事例を述べる。

<N造成工事の例>

盛土材料となる砂質泥岩とシルト質泥岩について、日本道路公団の岩のスレーキング率試験⁵⁾を行うと、砂質泥岩は10回サイクルでも変化しないのに対して、シルト質泥岩では2サイクル目で細粒化する結果となった。同じ層群の材料でもこのようにスレーキング特性が大きく違うので、地質年代だけではスレーキングを判定できないといえる(口絵写真-20参照)。

<S造成工事⁶⁾の例>

泥岩を盛土材として造成工事を行ってから20数年経過した盛土に調査ピットを掘り、泥岩の長期劣化の調査を行った。調査の結果、盛土内の泥岩は20数年経過しても劣化していないことを下記の2点より確認した。

- ① 調査ピット内の泥岩の岩塊、調査地点付近の地山から採取した試料および新鮮な岩塊の3試料について、日本道路公団の岩のスレーキング率試験⁵⁾と同じ乾湿繰返しでスレーキング率の変化を調べると図-5.5に示したように3試料とも同様のスレーキング状況であった。これはスレーキングする材料が、20数年間スレーキングを起こさずに盛土内にあったことになる。
- ② 目視観察においても、岩塊のまわりの細粒化現象は認められなかった。

また、泥岩の岩塊の乾燥時間を変化させて種々の飽和度にある泥岩を水浸してスレーキング率を測定し、その結果を図-5.6に示した。この図より岩塊の飽和度を80%以上に保っていればスレーキングが発生しないこ

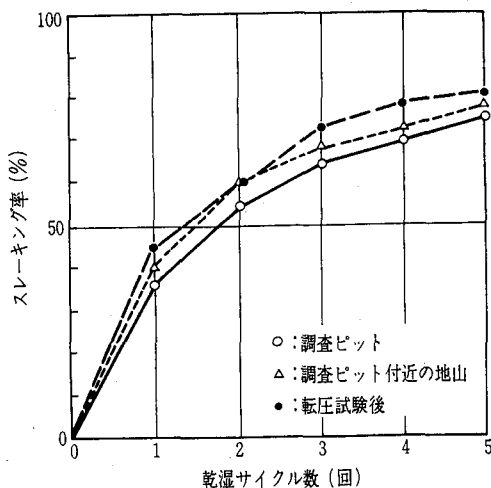


図-5.5 乾湿サイクル数とスレーキング率の関係

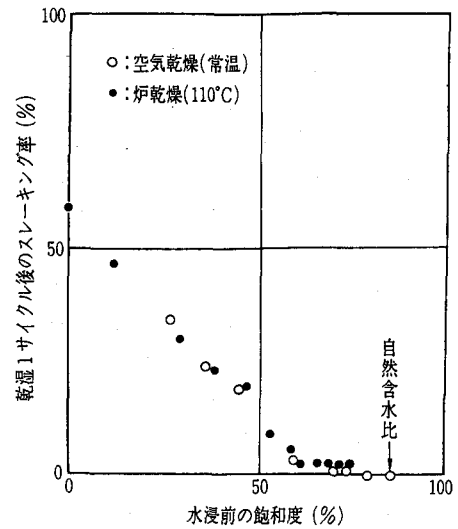


図-5.6 飽和度とスレーキング率の関係

表-5.4 岩区分参考表

岩分類	群	地山弾性波速度 V (km/s)	岩の一軸圧縮強度 q_u (kgf/cm ²)	A, B 両群に入る代表的な岩石名
硬岩II	A	4.2以上	1600以上	Y 群 片麻岩, 砂質片岩, 緑色片岩 珪岩, 角岩, 石灰岩, 砂岩 輝緑凝灰岩, 礫岩, 花崗岩 閃緑岩, 斑礫岩, 橄欖岩 蛇紋岩, 流紋岩, 玢岩 安山岩, 玄武岩
	B	2.9~4.2	1300~1600	
硬岩I	A	4.1以上	800以上	
	B	2.8~4.1	500~800	
中硬岩	A	1.9~2.9	1000~1300	
	B	2.8~4.1	500~800	
軟岩II	A	1.2~1.9	700~1000	B 群 黒色片岩, 緑色片岩, 千枚岩 粘板岩, 輝緑凝灰岩, 頁岩 泥岩, 凝灰岩, 集塊岩
	B	1.8~2.8	200~500	
軟岩I	A	0.7~1.2	300~700	
	B	1.0~1.8	50~200	

注: 地山弾性波速度は掘削前の原地形の状態から測定したもの

とが読み取れる。

3) 一軸圧縮強度試験

一軸圧縮強さは、表-5.4⁷⁾に示す岩区分参考表などにより掘削機械の選定に用いられる。現場ではシュミットハンマーなどによって岩の一軸圧縮強さを推定し、機械の選択などに用いられる。

4) 乾湿繰返しに伴う強度低下試験

堆積軟岩は乾湿繰返しを受けることにより、細粒化するとともに強度低下を起こすことが知られている。そこ

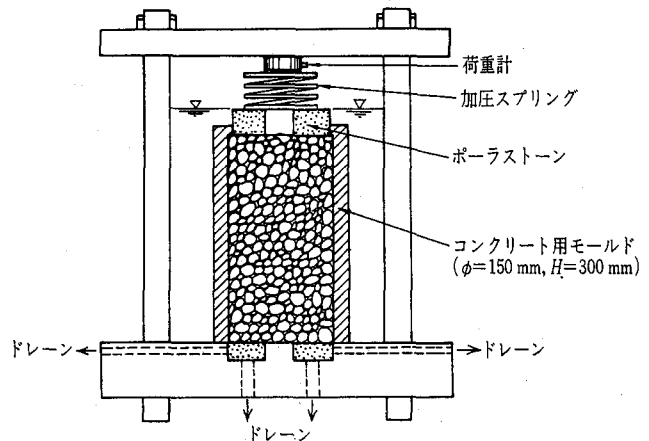


図-5.7 風化試験の装置

で、堆積軟岩を盛土材に用いるにあたって、室内であらかじめ盛土材の強度低下を推定した M 宅地造成工事の試験方法について述べる。

〈M 造成工事の例〉

試験方法の詳細は参考文献 2) に譲る。試験は直径 15 cm、高さ 30 cm の供試体を所定の拘束圧力で風化させる。風化は図-5.7 に示す装置を使用し、乾湿を 5 回繰り返した。その後、供試体を取り出し、三軸圧縮試験用カプセルで 24 時間等方圧密した後、ひずみ制御により三軸圧縮試験を実施する。これによって、乾湿繰返しを受けた盛土材の強度を確認する。

試験結果を図-5.8 にまとめた。盛土の強度は粒度組成 (タルボット指数: n)、岩塊と密度比 (E 値) および強度比 R (風化試験前後における破壊時の軸差応力の比) 等によって異なっているので、各要素の組み合わせによって多くの断面が考えられるが、近傍の実績などを考慮して、タルボット指数を考慮する。締固め度は、締固めの試験結果より推定し、これらより盛土の強度を推定して安定計算に用い、ゾーニングの検討などを行う。

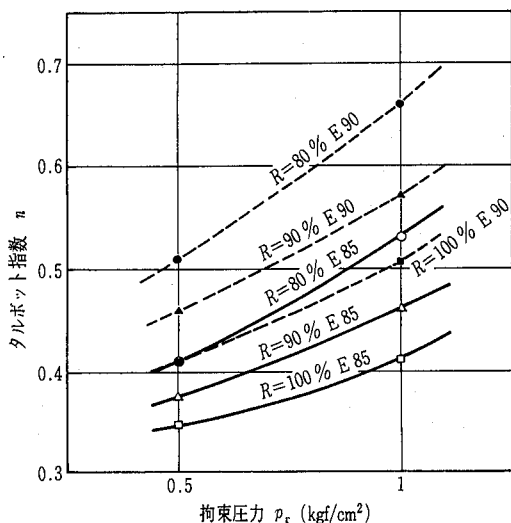


図-5.8 タルボット指数と拘束荷重の関係

タルボット指数 n は、式(1)により定義できる。

$$P = (d/D_{max})^n \times 100(\%) \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 P : 加積通過率 (%)

d : 任意の粒径 (mm)

D_{max} : 最大粒径 (mm)

n : 粒度組成を表す指数 (タルボット指数)

岩塊との密度比 E 値は式(2)により定義できる。

$$E = (\rho_{ds}/\rho_t) \times 100(\%) \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 ρ_{ds} : 締固め状態の乾燥密度 (t/m^3)

ρ_t : 岩塊自体の乾燥密度 (t/m^3)

5) 沈下試験

盛土材料がスレーキングを起こすことがわかっている場合、室内乾湿繰返し試験を実施して得た、荷重および水浸・乾燥による沈下特性を用いて、現場の沈下量を予測する必要がある。

以下に堆積軟岩の盛土材の沈下量を予測するために実

施した N 造成工事の沈下試験について述べる。

〈N 造成工事の例〉

試験方法の詳細は参考文献 1) に譲る。試験は図-5.9 に示した試験装置を用いて行った。モールド内に現場の締固め度 (D 値) と同程度になるよう試験試料を締固めて供試体を作成し、荷重を数段階に分けて載荷して、各荷重段階ごとに 2 時間沈下計測をした。その後、最大載荷重を載荷したまま、最も厳しい気象条件を想定して水浸 3 日間・熱風を送って 7 日間を 1 サイクルとして 6 サイクル行い、この間沈下量を測定した。

なお、現場の締固め度 (D 値) については、「第 3 章 堆積軟岩材料の締固め特性」に紹介した礫粒度補正試験法により求めた外挿密度を基準密度し、これに対する締

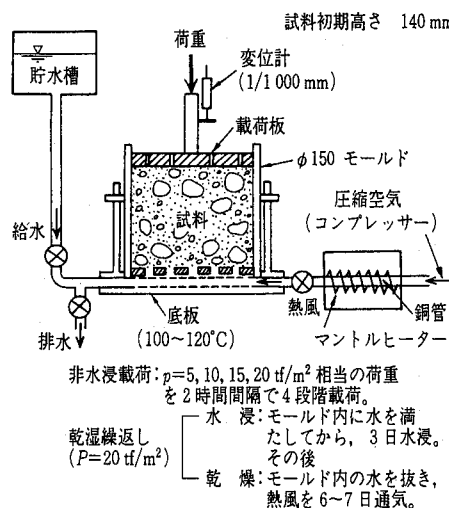


図-5.9 試験装置概略図

表-5.5 室内圧縮試験結果

供試体初期値	最大粒径 D_{max} (mm)	19								
	供試体高さ h_0 (cm)	14								
	供試体名	RH19100	OC19100							
	締固め度 D (%)	100	100							
	乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	1.888	1.906							
圧縮ひずみ (%)		ϵ^*1	$\Sigma\epsilon^*2$	ϵ^*1	$\Sigma\epsilon^*2$					
非水浸載荷	$P=0.50$ (kgf/cm^2)	0.95	0.95	1.06	1.06					
	$P=1.00$ (kgf/cm^2)	0.64	1.59	0.48	1.54					
	$P=1.50$ (kgf/cm^2)	0.43	2.02	0.55	2.09					
	$P=2.00$ (kgf/cm^2)	0.34	2.36	0.53	2.62					
乾湿繰返し載荷	水浸 1	$P=2.00$ (kgf/cm^2)	0.39	2.75	0.45	3.07				
	乾燥 1						1.01	3.77	1.26	4.33
	水浸 2						0.00	3.77	0.00	4.33
	乾燥 2									
	水浸 3						0.00	4.08	-0.01	4.63
	乾燥 3									
	水浸 4						0.00	4.28	-0.01	4.83
	乾燥 4									
	水浸 5						0.01	4.47	0.00	4.95
	乾燥 5									
	水浸 6						0.00	4.59	0.00	5.42
	乾燥 6									

* 1 各荷重段階ごとのひずみ $= \Delta h/h_0$

* 2 各荷重段階ごとのひずみ累積 $= \Sigma(\Delta h/h_0)$

固めた盛土材の乾燥密度の比率を百分率で表したものである。また試験試料の締固め度 (D 値) は、突固めによる土に締固め試験により求めた最大乾燥密度 ρ_{dmax} を基準密度とした。

試験結果を表-5.5¹⁾にまとめた。荷重増加段階では各荷重ごとに、また乾湿繰返し段階では1回目の沈下が大きく、その後はわずかな沈下が進む傾向を示している。

図-5.10¹⁾は、試験結果の荷重増加段階の関係を片対数紙上に示したもので、荷重と沈下の関係はほぼ直線となり、式(3)が求まる。なお、盛土自重による沈下は、盛土施工中に終了すると考える。

$$\epsilon = a + b \cdot \log(p/p_0) \dots\dots\dots(3)$$

ここに、a, b: 回帰定数 (a=1.7, b=2.4)

p: 荷重

p₀: 単位荷重 (1 kgf/cm²)

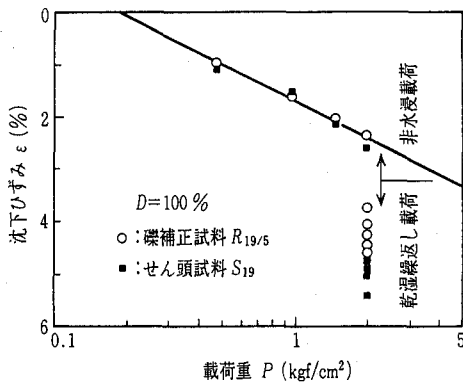


図-5.10 荷重-沈下ひずみ関係

図-5.11¹⁾は、乾湿繰返し段階の結果を示している。1回目の水浸・乾燥による沈下ひずみが最も大きく、「水浸によるひずみ」は全水浸ひずみ量のほとんどが、「乾燥によるひずみ」は全乾燥ひずみ量の約55%が1回目で生じた。

しかし実施工においては、室内試験のように盛土が繰返して完全に水没あるいは乾燥することは一般に考えられないので、「1回目の水浸および乾燥」で生じた沈下ひずみが生じるものとし、この特性は応力に関係がないものと仮定した。

よって、試験結果から水浸による推定沈下ひずみは、 $\epsilon = 0.39\%$ となり、乾燥による推定沈下ひずみは、 $\epsilon = 1.01\%$ となる (礫補正試料の場合)。

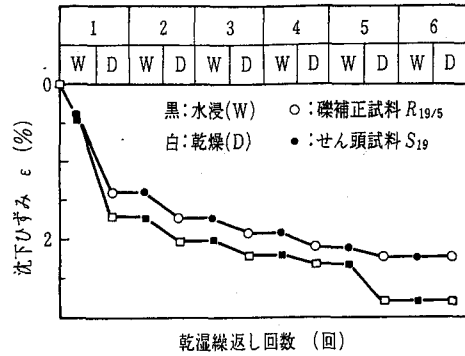


図-5.11 乾湿繰返し回数-沈下ひずみ関係

また、今回の試料は供試体作成時の締固めでかなり土砂化し、なおかつ供試体高さが14cmと比較的厚かったので、水浸3日、乾燥7日を1サイクルとしたが、一般的には、おおむね水浸1日、乾燥2日がよく採用される1サイクルである。また供試体の厚さの理想値は不明であるが、スレーキングが起こる範囲を考慮すると、もう少し薄くてもよいのではないかと考える。日本道路公団では、供試体の厚さを4cmで行っている⁸⁾。

参 考 文 献

- 1) 中岡時春・望月秋利・阪口 理: 堆積軟岩を用いた盛土造成工事の施工管理, 堆積軟岩による盛土の工学的諸問題に関するシンポジウム, 土質工学会, pp. 205~212, 1995.
- 2) 大山英治・中村吉男・大根義男・成田国朝: 堆積軟岩を使用した高盛土の調査・設計および施工, 堆積軟岩による盛土の工学的諸問題に関するシンポジウム, 土質工学会, pp. 213~220, 1995.
- 3) 秀島敏彦・浅谷陽治・三宮満雄・野々村宗逸・山崎慶一: 土木施工法講座21巻 宅地造成施工法, pp. 224~227, 山海堂, 1979.
- 4) 土質工学会編: 堆積軟岩の工学的性質とその応用, p. 56, 1987.
- 5) 日本道路公団: 日本道路公団試験方法, pp. 1-238~1-240, 1992.
- 6) 土質工学会: 堆積軟岩による盛土の工学的諸問題に関するシンポジウム, pp. 50~55, 1995.
- 7) 安達経治: 掘削施工性から見た岩分類, 応用地質, 特別号, pp. 119~131, 1984.
- 8) 日本道路公団: 日本道路公団試験方法, pp. 1-264~1-268, 1992.

(以下、次号に続く)