

インドネシアの膨張性風化泥岩の乾湿繰返し条件を考慮した締固め土供試体の強度特性評価

東急建設株式会社 正会員 ○平神 拓真 岡田 久輝 富田 佑一
東急建設株式会社 新福 浩之

1. 概要

インドネシア共和国の東ジャワ州では、「膨張土」を路床とした道路のせん断強度低下によるすべり崩壊等の道路被害が確認されている。しかし、同国において「膨張土」への対策を想定した技術的な指針や仕様書などは十分に整備されていない。今回、インドネシア東ジャワ州における第三紀に堆積した風化泥岩（以下 WMs）を盛土材とした土工事計画に先立ち、メチレンブルー吸着量測定試験²⁾による分析を実施した結果、膨潤性粘土鉱物が確認された。そこで、当盛土材で締め固めて作製した供試体の水浸特性および三軸圧縮試験による強度特性の評価を試みたので、その結果を報告する。

2. 材料特性

実験に用いる WMs の物理特性を表 1 に示す。「膨張土」は乾湿繰返しによるスレーキング現象との関連も高く、盛土材として利用する場合はこれによるせん断強度の低下を適切に評価し、施工計画に反映する必要がある。当盛土材の水浸特性評価に際し、スレーキング試験（ASTM D4644-08）を実施した。スレーキング試験結果を表 2 に示す。ASTM で規定された乾湿繰返し 2 回実施後の平均 SDI=74.5%であった。ここで、SDI は耐スレーキング性指数であり、乾湿繰返し後の残留試料の割合である。当盛土材料の細粒化が継続傾向であったため、乾湿繰返しを 4 回まで実施したところ、乾湿繰返し回数の増加とともに細粒化した試料が流失し、耐スレーキング性指数平均 SDI=43.8%まで減少したが、尚も収束傾向は確認されない。WMs が乾湿繰返し回数 4 回で耐スレーキング性指数が低下し続けるため、乾湿繰返し後の細粒化の進行による強度低下が懸念された。

3. 供試体作製方法

土の三軸圧縮試験は WMs を締め固めた盛土の強度定数を得る事を目的に実施した。スレーキングによる強度低下が懸念される盛土材料の供試体作製には、国内では「NEXCO 試験法 125-2013 スレーキング性材料の三軸試験の供試体作製方法³⁾」が挙げられる。インドネシアで実施する試験器具にも限りがあったため、突固めによる締固め試験に用いたモールド内(直径 ϕ 100mm×高さ h 120mm)に目標乾燥密度となるよう密度調整して 3 層に分けて締め固めた後、12 時間の炉乾燥と 24 時間の水浸の乾湿繰返しを 5 回実施し、乱れが少ないよう注意深くコアを採取した。図 2 に供試体作製方法を示す。締固め試験に用いたモールドは上面のみ解放しており、水浸中に側面、下面からの水の出入りはない。水浸後の水には濁りや沈降・浮遊物は認められず、土粒子のモールド外への流失は確認されなかった。三軸圧縮試験の供試体は直径 ϕ 38mm×高さ h 76mm であるが、ハンドリング中に供試体を乱さないようコアは h =100mm 程度以上採取し、押し出し器で取り出した後で上下端面を所定の供試体高さ h =76mm となるように丁寧に整形した。

表 1 物理特性 (WMs)

土粒子の密度	湿潤密度	乾燥密度	含水比	液性限界	塑性限界	塑性指数	間隙比
Gs	ρ_m	ρ_d	WL	LL	PL	PL	e
g/cm ³	kN/m ³	kN/m ³	%	%	%	%	
2.71	18.3	14.2	29.2	81.3	25.6	55.6	0.88

表 2 スレーキング試験結果 (WMs)

試料番号	初期	乾湿繰返し							
		1回目		2回目		3回目		4回目	
	試料重量	残留試料重量	耐スレーキング性	試料重量	残留試料重量	耐スレーキング性	試料重量	残留試料重量	耐スレーキング性
	W ₀ (g)	W ₁ (g)	指数SDI(%)	W ₂ (g)	W ₃ (g)	指数SDI(%)	W ₄ (g)	W ₅ (g)	指数SDI(%)
1	45.5	41.7	91.6	33.9	81.3	21.7	63.9	9.8	45.1
2	38.2	35.1	91.8	32.1	91.7	21.0	65.2	12.5	59.5
3	91.7	73.9	80.7	39.2	53.0	19.9	50.7	5.8	29.1
4	60.1	51.6	85.8	37.1	71.9	21.8	58.7	9.0	41.3
平均	-	-	87.4	-	74.5	-	59.6	-	43.8

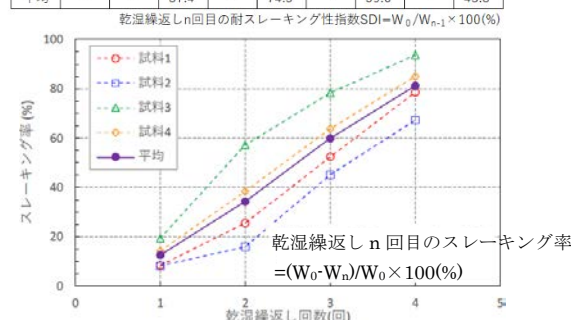


図 1 スレーキング率 - 乾湿繰返し回数

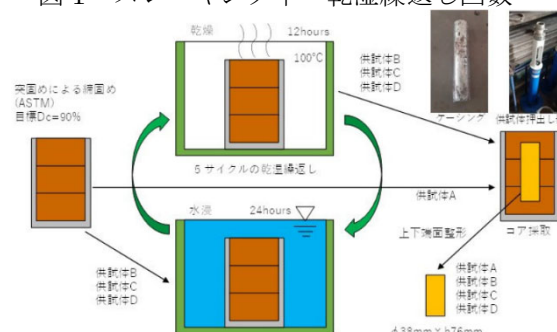


図 2 乾湿繰返しからコア採取までの工程

キーワード 膨張土, スレーキング, 三軸圧縮試験

連絡先 〒150-8340 東京都渋谷区渋谷 1-16-14 渋谷地下鉄ビル 東急建設株式会社 土木事業本部 TEL03-5466-6058

4. 圧密非排水三軸圧縮試験結果

突固めによる締固め供試体条件を表3に示す。供試体Aは乾湿繰返しを実施せずにコア採取し、供試体B, C, Dは5回の乾湿繰返し後にコア採取した。その結果、コア採取後の乾燥密度は $(\rho_d)_c=1.215\sim 1.261\text{g/cm}^3$ と、乾湿繰返し前のモールド内の乾燥密度 $(\rho_d)_m$ に比べて

10%程度の低下が確認された。乾湿繰返しを実施していない供試体Aは同じ方法でコア採取したにも関わらず、乾燥密度の低下は見られないことから、供試体B, C, Dの乾燥密度の低下は膨潤によるものと推定され、吸水膨張率 L_s を $(\rho_d)_m/(\rho_d)_c-1$ と仮定すると6.9~12.6%程度であった。

コア採取した供試体A~Dそれぞれの圧密非排水三軸圧縮試験(CU試験)を実施した。供試体はそれぞれ三軸セル内で十分に通水し、間隙圧係数B値が0.95以上であることを確認し、等方圧密後に所定の有効拘束圧 σ'_c (供試体A, B: 30kPa, C: 50kPa, D: 100kPa)で载荷する。

表4, 図3にWMsの圧密非排水三軸圧縮試験結果を示す。有効拘束圧 σ'_c の等しい条件の供試体AとBでは最大軸差応力 q_{max} の違いが大きい。供試体BがAの1/3倍程度であり、供試体Bは乾湿繰返しの影響による強度低下が大きいことが確認された。この結果は、供試体の吸水による膨潤とスレーキング現象が生じた可能性があり、特に拘束圧の低い盛土のり面表層付近は不安定化しやすいことを示唆している。供試体B, C, Dで有効拘束圧が大きくなると最大軸差応力が大きくなっている。

今回、吸水した供試体内の浸潤状態の一様性評価は出来ていない。また、乾湿繰返し回数は5回の供試体を作製したが、図1に示すようにスレーキング率の収束傾向が確認できていないことや、乾湿繰返し回数20回で強度低下が進行する例⁴⁾もあることから、現場の水浸条件を再現した強度特性評価方法の確立は今後の課題である。

5. まとめ

(1) 締固め土の乾湿繰返しと供試体のコア採取により、吸水膨張に伴う乾燥密度が10%低下した供試体の強度特性を調べることができた。(2) 締固め土の吸水による膨潤とスレーキング現象により、拘束圧が低い場合は供試体の最大軸差応力は非水浸供試体に比べて1/3程度に低下することを確認した。

謝辞: インドネシア国内での室内試験ではBandung State PolytechnicのDr. Hasbullah Nawirに多大なご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) インドネシア国膨張性粘土によるインフラ施設被害への多孔質コンクリート製品導入に関する基礎調査, 2010年9月, (独法) 国際協力機構, 北海道ポラコン (株)
- 2) Suitability of the methylene blue test for surface area, cation exchange capacity and swell potential determination of clayey soils, 2008, Yeliz Yukselen, Abidin Kaya,
- 3) NEXCO 試験方法 第I編 土質関係試験方法, 平成28年8月版, 2016, (株) 高速道路総合技術研究所,
- 4) 軟岩の乾湿スレーキングとせん断特性について, 1986年10月, 北海道工業大学 神谷光彦

表3 突固めによる締固め供試体条件

供試体	乾湿繰返し前				供試体B, C, Dの乾湿繰返し後		
	モールド内含水比	モールド内乾燥密度	目標乾燥密度	$(\rho_d)_m/(\rho_d)_{target}$	コア採取後の乾燥密度	$(\rho_d)_c/(\rho_d)_{target}$	吸水膨張率 L_s
	W_m	$(\rho_d)_m$	$(\rho_d)_{target}$	$\times 100$	$(\rho_d)_c$	$\times 100(\%)$	$(\rho_d)_m/(\rho_d)_c-1$
	(%)	(g/cm^3)	(g/cm^3)	(%)	(g/cm^3)	(%)	(%)
A	23.52	1.359	1.347	100.9	1.378	102.3	-
B	25.14	1.352		100.4	1.231	91.4	9.8
C	28.58	1.368		101.6	1.215	90.2	12.6
D	26.65	1.348		100.1	1.261	93.6	6.9

表4 圧密非排水三軸圧縮試験結果

供試体	有効水平応力 σ'_3 (kPa)	最大軸差応力 $(\sigma'_1 - \sigma'_3)_{max}$ (kPa)
A	30	181.7
B	30	57.1
C	50	60.6
D	100	192.3

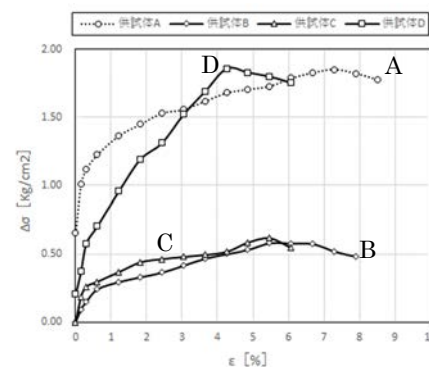


図3 圧密非排水三軸圧縮試験結果