

インドに分布する膨潤性粘土の簡易判定法に関する検討

鉄道総合技術研究所 正会員 ○渡辺 健治

1. 目的：インドの陸上のほぼ5分の1には、ブラックコットンソイルと呼ばれる膨潤性粘土（以下、BCS）が分布しており、乾期には収縮性、雨期には強い膨潤性を示す。近年、インドにおいて大規模な鉄道建設プロジェクトが進行中であるが、日本の鉄道基準¹⁾ではこのような粘土上に土構造物を構築することを想定していない。一口にBCSと言ってもその性質（膨潤度）は地域により大きく異なり、盛土の施工の際にはBCSの膨潤度に応じた支持地盤対策が必要となるが、膨潤度の評価方法は確立していない。本論文では、4箇所で採取したBCSの物理試験および膨潤圧測定試験を実施し、膨潤度と相関性の高い指標について検討した。

2. 膨潤性粘土の評価法：実務的には、一般的な物理試験で得られる指標や、できるだけ簡易な試験によって得られる指標により、膨潤性を評価できることが望ましい。インドの実務においては簡易に実施可能である差分自由膨張試験（DFS：Differential Free Swell）により評価する場合が多く、インド地盤工学会においてはこの試験による膨張度が20%以上の場合に膨潤性の高い土質と評価している^{2), 3)}。しかしながら、DFS試験は原試料から0.42mm以下成分を抽出した試料に対して実施するため、必ずしも母材全体の膨潤度を評価できない場合もある⁴⁾。BCSに限定した膨潤圧の検討事例は限定的であるが、Kattiら³⁾はBCSの膨潤圧について粘土分含有率と間隙比を用いて整理している。一方、インド以外の国において、(BCS以外の)膨潤性粘土の検討事例は数多く存在し、その中でも簡易な指標による膨潤度の評価法としては、例えばHoltz & Gibbs (1956)⁵⁾や、Seedら(1962)⁶⁾による提案がある。Holtz & Gibbsは粘土分含有率（ $<2\mu\text{m}$ ）、塑性指数（Ip）および収縮限界（ w_s ）を用いた評価、Seedらは粘土の活性度に着目した評価法を提案している。

本報告では、インド西部の異なる4箇所採取した5種類の試料（試料A、B、C、D-a、D-b）について、膨潤性と各物理指標を比較する。試料A、B、D-aはBharuch近郊の原地盤（深さ約0.5m～1m位置）で採取し、試料D-bはD-aと同一サイトで異なる深度で採取した。試料Cは盛土（のり尻表層で採取）で採取した。

3. 物理試験結果および膨潤圧測定試験：表1に各試料の物理試験結果および膨潤圧測定結果を示す。試験は、それぞれの試料を採取した原位置における密度に調整し、直径60mm、高さ20mmのモールド内に設置した。供試体を定体積状態に維持した状態で下面より給水し、その際の膨潤圧を測定した。実験は各試料に対して同条件で2度ずつ実施した。初期含水比は現場での自然含水比（乾期に計測）としたが、膨潤圧に及ぼす初期含水比の影響を検討するため、試料D-a、D-bのみ初期含水比を変化させた実験を行った（試料D-a'、D-b'）。表2に各供試体の実験前後の含水比、飽和度を示すが、いずれの供試体も実験後にはかなり飽和度の高い状態まで達した（ $S_r=94\sim100\%$ ）。表1最右列に各試料の膨潤圧の最大値、図1に各試料の膨潤圧の時刻歴を示す

表1 ブラックコットンソイルの物理試験結果および膨潤圧測定結果

試料名	物理試験結果											膨潤圧測定試験		
	砂分含有率	細粒分含有率	粘土分含有率（ $<5\mu\text{m}$ ）	粘土分含有率（ $<2\mu\text{m}$ ）	土質区分	分類名	液性限界（%）	塑性限界（%）	塑性指数（%）	土粒子の密度	活性度	初期間隙比	初期含水比（%）	膨潤圧※（kPa）
A	17.9	82.1	69.1	60	FS	砂質粘性土	72.9	18.6	54.3	2.727	0.91	0.721	20.1	187
B	4.8	95.2	58.0	54	F	粘性土	72.3	17.2	55.1	2.751	1.02	0.741	19.1	109
C	35.5	33.8	12.1	10	SFG	粘性土質礫質砂	39.2	14.3	24.9	2.768	2.49	0.352	11.5	27
D-a	11.0	88.6	53.8	48	F-S	砂まじり粘土	69.7	21.1	48.6	2.788	1.01	0.829	11.8	221
D-b	12.5	86.7	55.2	46	F-S	砂まじり粘土	76.0	18.7	57.3	2.794	1.25	0.832	12.0	229

※ 膨潤圧は各試料2回実施した試験の平均値（初期含水比を自然含水比と設定）

キーワード：膨潤圧、スメクタイト、ブラックコットンソイル

連絡先：東京都国分寺市光町2-8-38 鉄道総合技術研究所構造物技術研究部基礎・土構造 Tel.042-573-7261

表 2 実験前後における湿潤密度、含水比、飽和度の変化 (実験 1 回目のデータ)

	試料 A		試料 B		試料 C		試料 D-a		試料 D-b		試料 D-a'		試料 D-b'	
	実験前	実験後	実験前	実験後	実験前	実験後	実験前	実験後	実験前	実験後	実験前	実験後	実験前	実験後
湿潤密度 (g/cm ³)	1.903	2.008	1.882	1.976	2.282	2.298	1.704	1.963	1.708	1.962	1.856	1.986	1.841	19.55
含水比 (%)	20.1	25.0	19.1	25.7	11.5	13.5	11.8	29.1	12.0	28.9	21.8	28.7	20.3	27.0
飽和度 (%)	76.0	97.7	70.9	94.2	90.3	100.0	39.7	97.4	40.3	96.6	73.3	99.2	68.7	92.6

※試料 A、B、D-a、D-b の初期含水比は現場の自然含水比、試料 C は推定現場含水比、試料 D-a' と D-b' は初期含水比を塑性限界付近に設定

が、粘土分含有率の最も低い試料 C の膨潤圧がもっと低い。また、初期含水比を高めた試料 D-a' と D-b' は試料 D-a と D-b よりも膨潤圧が低いものの、吸水量がほぼ半減したのに比して膨潤圧の減少は小さい。なお、X 線回折により全試料が含有するスメクタイトの性質は同一であることが確認されている⁴⁾。

膨潤度の簡易評価指標の検討のために、粘土分含有率あるいは活性度に着目した既往の提案手法^{3), 6)}と本研究の実験結果を比較した (図 2、図 3)。いずれの手法も本研究の結果を正確に再現できているとは言い難い。これは既往の手法があくまで実務で対応可能な簡易指標に着目しており、当然ながらここに示した以外の影響因子 (例えば密度、膨潤圧の測定方法、攪乱試料で実施している影響等) が多く存在するためだと考えられる。しかしながら、インドで一般的な DFS 試験も併用し、さらにデータの蓄積をすれば、対策の必要性の有無の判定には応用できると考えられる。今後も検討を継続していきたい。

謝辞：本論文の作成にあたり、インド工科大学の G. Venkatappa Rao 教授には資料提供および膨潤性粘土の特性について助言をいただいた。末筆ながら深謝の意を表する。

参考文献 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 (土構造物), 2007、2) D.Mohan, R.K.Bhandari: インドのブラックコットン土、土と基礎、No.26、Vol.11、1978、地盤工学会、3) R.K. Katti et. al.: Behavior of Saturated Expansive Soil and Control Methods (Revised), 2002、4) 渡辺健治: インドに分布するブラックコットンソイルの膨潤性に関する検討、第 52 回地盤工学研究発表会 (投稿中)、2017、5) Holtz, W. G. & Gibbs, J. J.: Engineering Properties of Expansive Clays, ASCE Transactions Paper No. 2814, Vol. 121, 1956 6) Seed, H. B. et.al.: Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays, Journal ASCE, Soil Mechanics and Foundations Div., Vol.88, 1962

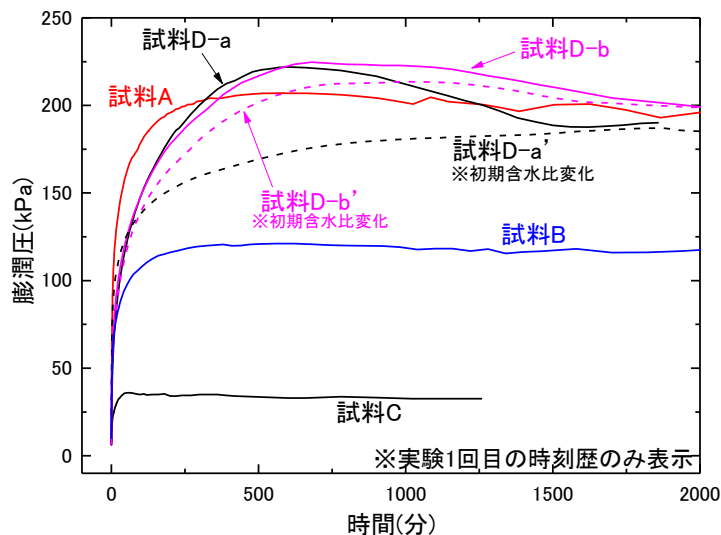


図 1 各試料の膨潤圧の時刻歴

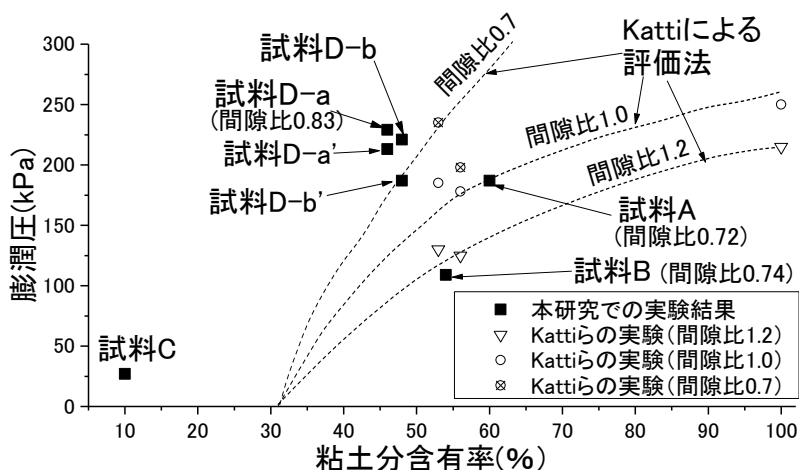


図 2 粘土分含有率と膨潤圧の関係 (既往の実験との比較)

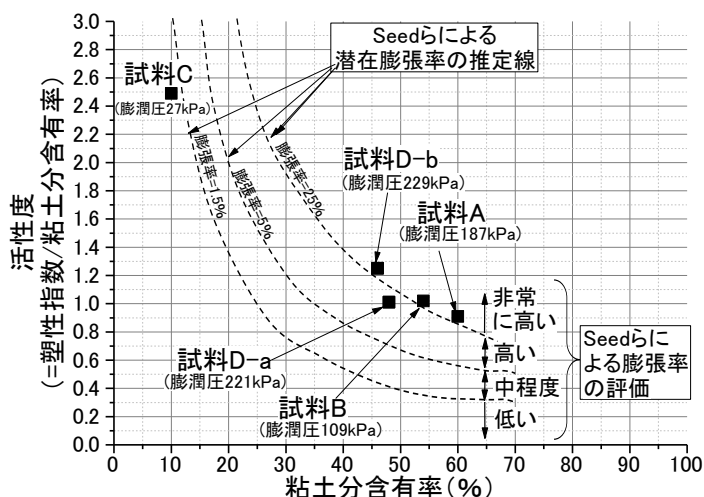


図 3 活性度と粘土分含有率の関係 (既往の評価法と比較)