

異なる材料の締固め後のせん断挙動と骨格構造の働きに基づく解釈

名古屋大学大学院 正会員 中野正樹 ○酒井崇之

名古屋大学大学院 学生会員 津本翔太

1. 序論

近年、地震や豪雨による盛土の崩壊事例が数多く起こり、盛土など土構造物の耐震性能について注目されている。しかし、現地で発生した土を極力盛土材として利用することから、材料の物性が締固めの規定に反映されていないのが現状である。盛土管理のための締固めや締固められた盛土など土構造物の変形挙動の把握などについて、経験を越えた理論による説明も必要になってきている。本研究では、理論的に解釈する基礎的なデータとして、河川堤防に使用が予定されている採取場所の異なる土材料を2種類取り上げ、室内試験を行い、締固め度を変えた土の三軸圧縮試験を実施し、力学挙動を把握し、さらに弾塑性構成モデル SYS Cam-clay model¹⁾を用いて、骨格構造の概念に基づいて異なる土供試体の力学挙動を解釈する。

2. 研究で用いた2種類の土試料の物理的性質

試験には2種類の試料を用いた。試料A^{2),3)}、試料Bともに河川堤防で使用される粒度調整された材料であり、試料Aは東海地方、試料Bは東北地方より採取された。図1に粒径加積曲線を示す。試料Bは礫が多く含まれているが、最大粒径9.5mmのせん頭粒径として室内試験に用いている。同様に試料Aも9.5mmのせん頭粒径としている。表1には、密度や液・塑性限界を示した。図2には両試験の締固め曲線を示している。試料Bの最大乾燥密度が大きく、最適含水比も高くなっている。

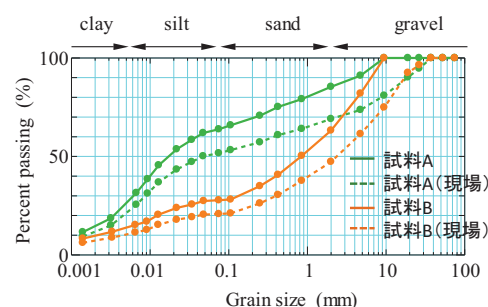


図-1 粒度分布

表-1 液性・塑性限界

	液性限界	塑性限界	塑性指数
試料A	42.7	19.6	23.1
試料B	39.2	25.2	14.0

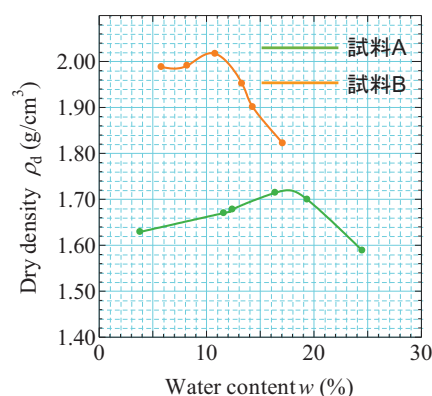


図-2 締固め曲線

3. 締固め度を変えた土供試体の非排水三軸圧縮試験結果

図2で示した最大乾燥密度 ρ_{dmax} を基準に、締固め度 Dc が 85%, 90%, 95% となるような3種類の供試体を作製した。含水比は最適含水比とし、3種類の締固め度は締固めエネルギーを変えることにより作製している。試料Aについては、供試体の寸法は $\phi 7.5 \times 15 \text{ cm}$ とし、60kPa, 100kPa, 150kPa の拘束圧でそれぞれ24時間等方圧密した後、およそ 0.021mm/min の軸ひずみ速度で単調せん断を行った。試料Bについては、供試体の寸法は $\phi 5.0 \times 10 \text{ cm}$, 50kPa, 100kPa, 150kPa の拘束圧で、軸ひずみ速度は 1.0mm/min としている。なお、試験結果は拘束圧 100kPa の結果のみを示す。

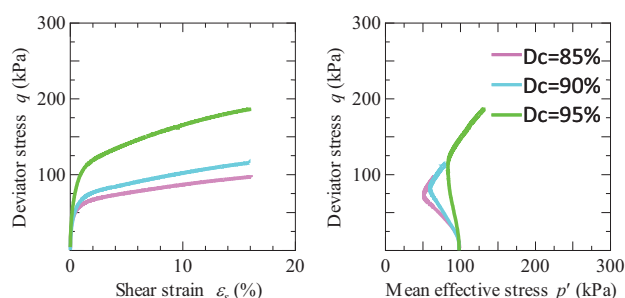


図-3 試料Aの非排水三軸試験結果

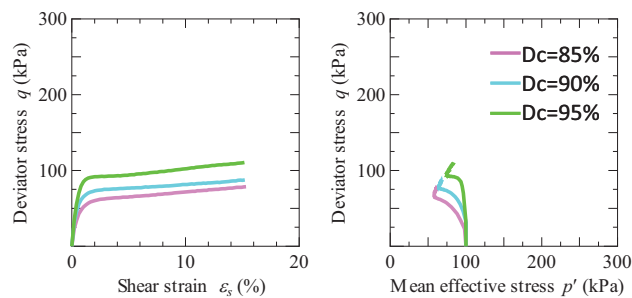


図-4 試料Bの非排水三軸試験結果

締固め・土の骨格構造, 弾塑性構成モデル

〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL:052-789-4622

図3と図4を比較すると、試料Aの方が、締固め度の増加に応じて破壊時の軸差応力の増加が著しい。また、せん断時の比体積は試料Aの方が大きいにも拘わらず、破壊時軸差応力は試料Aの方が試料Bよりも大きい。有効応力パス ($p' \sim q$ 図) については、試料Aの方が、平均有効応力 p' が減少から増加に転じる点以降の軸差応力の増加が大きく、中密な砂の挙動に類似している。試料Bはその度合いは小さく、締固め度にほとんどよらない。

4. 材料の違いと締固め度の違いについての骨格構造の働きによる解釈

3章で示した2種類の材料に対する締固め度90%の力学試験結果を、弾塑性構成モデル SYS Cam-clay model によって再現し、骨格構造の働きから解釈する。本モデルでは、骨格構造の発展速さの違いによって、典型的な粘土と砂の力学挙動の違いを同一理論で説明できる。また、粘土や砂の間に稠密に存在する中間土にも適用できるモデルである¹⁾。

図5、図6に試料A、試料Bの再現計算をそれぞれ示す。また表2、3に再現計算に用いた両試料の初期状態、材料定数をそれぞれ示す。計算は実験結果を概ね再現している。図5から、試料Aはせん断に伴い構造劣化 (R^* の増加) と過圧密の解消 (R の増加) が同時に起こっている。一方、図6から、試料Bは構造劣化が起こりにくい材料と見なすことができる。また表2より、両試料ともに、締固め度の高い土ほど、構造が低位で過圧密比が高い。締固め度の上昇は「過圧密の蓄積」および「構造の劣化」として表現できる。しかし初期値の値は材料によって異なり、試料Aは低い締固め度のものでも構造の値は小さくなった。

5. まとめ

河川堤防で使用する粒度調整された材料といえども、採取場所や地質条件が異なると、締固め度の違いに伴う力学挙動の違いが現れる。今回は、せん断試験での挙動の違いと、弾塑性構成モデルによる再現計算での骨格構造の働きの違いを示した。今後、さらに異なる材料に同様の研究を行い、材料特性と締固めやすさや締固め後の力学挙動についての実験結果の蓄積と骨格構造の働きによる解釈、さらには設計強度との比較もする予定である。

なお本報告は、平成22年度国土交通省建設技術研究開発制度(実用化公募)の補助を受けたものである。また(独)土木研究所寒地土木研究所の佐藤厚子氏よりデータを提供して頂いた。ここに記して感謝申し上げる。

表-2 各供試体の初期状態

締固め度 (%) 拘束圧 (kPa)		85%			90%			95%		
		50	100	150	50	100	150	50	100	150
初期比体積 v_0	試料A	1.79	1.82	1.8	1.71	1.72	1.75	1.67	1.64	1.62
	試料B	1.62	1.62	1.62	1.53	1.53	1.53	1.44	1.45	1.45
初期構造の程度 $1/R_0$	試料A	1.58	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.45	1.4	1.4
	試料B	4.7	4.5	4.7	2.0	2.0	2.0	1.1	1.1	1.1
初期過圧密比 $1/R_0$	試料A	5.9	6.7	5.4	16	15	11	23	31	19
	試料B	1.0	1.0	1.0	3.1	3.3	3.4	11	10	10

表-3 各試料の材料定数

<弾塑性パラメータ>			<発展則パラメータ>		
試料A 試料B			試料A 試料B		
圧縮指数 λ	0.10	0.06	正規圧密土化指数 m	0.80	2.00
膨潤指数 κ	0.01	0.02	構造劣化指数 a	0.800	0.001
限界状態定数 M	1.40	1.15	b	1.00	1.00
NCLの切片 N	1.70	1.41	c	1.00	1.00
ポアソン比 ν	0.30	0.30	c_s	0.90	1.00
			回転硬化指数 b_r	0.80	3.00
			回転硬化限界定数 m_b	0.10	0.20

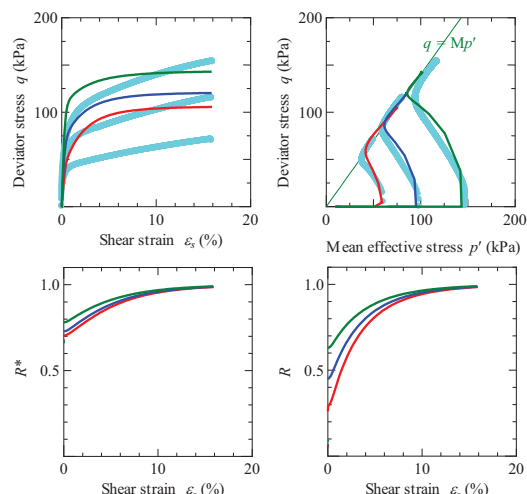


図-5 試料A(Dc90%)の再現計算結果

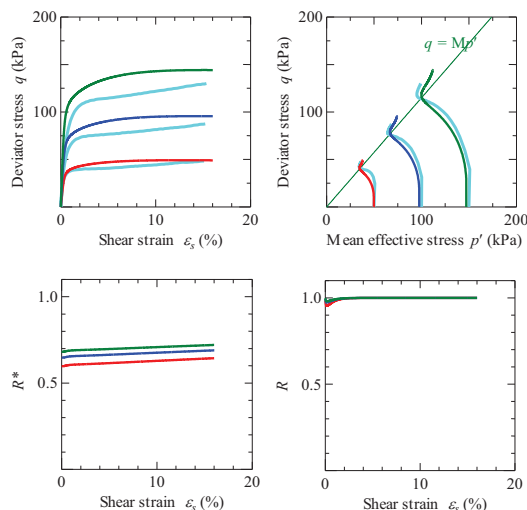


図-6 試料B(Dc90%)の再現計算結果

参考文献 1) Asaoka et al.(2002): An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, S & F, 42(5), pp.47-57. 2)津本翔太他(2011): 締固め度の異なる地盤材料のせん断挙動についての弾塑性力学に基づく解釈, 平成23年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.213-214. 3)中野正樹他(2010): 締固め特性の異なる2種類の土材料における力学挙動の比較, 第45回地盤工学研究発表会, pp.625-626.