

不均質材料における供試体の組み合わせが三軸圧縮試験結果におよぼす影響

中部土質試験協同組合 ○岩田 暁 池田 謙信
石原 聖子 神谷 真以

1. はじめに

不均質材料で三軸圧縮試験を実施した場合、供試体間のばらつきが発生しやすく、試験結果の応力や挙動が一樣ではなくなる。各拘束圧に対する供試体の選定は、試験者判断に委ねられることが多く、その組み合わせによって試験結果が変わるケースも少なくない。このような材料の評価においては、適切な供試体の組み合わせが重要となる。

本研究では、異なる供試体の組み合わせが三軸圧縮試験結果におよぼす影響を明らかにし、不均質材料の特性や挙動理解のための知見を提供する。

具体的には、3つの異なる材料の供試体を作製した後、それぞれ三軸 Cub 試験を実施し、供試体の組み合わせパターンを変えた強度定数について比較検討を行う。

また、試験条件の違いによる影響についても検討する。供試体を蜜詰めと緩詰めで作製した場合、低拘束圧と高拘束圧の場合で、応力の異質性を考察する。

2. 材料および試験方法

(1)試験に用いた試料

実際の業務で発生するサンプリング試料のモデルケースを図-1に示す。試験選定箇所が限られている中で、均質な3供試体を確保するのは困難で、礫混入箇所を極力避けた場合、図が示す箇所での試験を実施するほかない。

本研究の試料は、このモデルケースを用い、青粘土と珪砂6号、5~26.5mmの硬質礫を準備し、3種類の試料を作製した。

青粘土と珪砂6号をF_c60%で混合したものを試料A、F_c40%の混合を試料B、試料Bに礫を25%混入させた試料を、試料Cとした。表-1に試料A、B、Cの物理特性を示す。

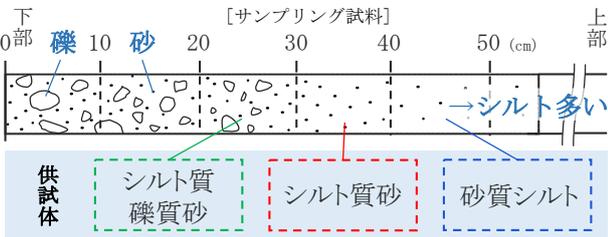


図-1 モデルケース

表-1 物理特性

試料名 土質名称	A 砂質粘土	B 細粒分質砂	C 細粒分質 礫質砂
土粒子密度 $P_s(\text{g}/\text{cm}^3)$	2.708	2.695	2.695
最大粒径 $G_{\text{max}}(\text{mm})$	2	2	26.5
礫分含有率 $G_c(\%)$	0	0	26.4
砂分含有率 $S_c(\%)$	42.1	61.0	49.1
細粒分含有率 $F_c(\%)$	57.9	39.0	24.5
塑性指数 I_p	20.9	11.5	11.9

(2)試験の概要

①供試体作製方法

供試体のサイズは、直径50mm、高さ100mmの円柱供試体とし、作製方法は所定の密度になるよう、試料を直径50mmのモールド内に詰めて作製した。

②試験方法

土の圧密非排水(Cub)三軸圧縮試験方法¹⁾に準拠した。供試体を三軸圧縮試験装置に設置し、二重負圧法による飽和化を行った後、所定の拘束圧により、等方圧密、その後非排水せん断を実施した。なお、載荷速度は0.05%/minとした。

③試験条件

拘束圧の設定を σ_3 30, 60, 120, 240, 480kN/m² とし、低拘束圧 σ_3 30, 60, 120kN/m²、高拘束圧 σ_3 120, 240, 480kN/m² に分けて結果を整理した。また、蜜詰め γ_t 20~21kN/m³ と緩詰め γ_t 16~17kN/m³ の密度で供試体を作製。再現性を確認するため、同条件でそれぞれ2回ずつ、試験結果がばらついた場合は、3回試験を行った。

3. 試験結果

(1)試料A、B、Cの試験結果

試料A、B、Cについて、それぞれ単独で試験を行った場合の強度定数を表-2に示す。試料B、C間での値の差は、比較的小さく、試料Aは、全応力・有効応力ともに粘着力・内部摩擦角の値がやや小さい。今回は、3試料の平均値を正の値として扱うことにする。

(2)試料A、B、Cの組み合わせの違いによる強度定数

蜜詰め条件での、各試料の供試体順を変えた強度定数を低拘束圧と高拘束圧に分け、表-3と表-4にまとめた。供試体No.3に試料Cと試料Aが設定されたパターンに着目する。試料Cは、有効応力 c' がすべて $c' < 0$ を示した。一方、試料Aは、低拘束圧では全応力 c のモールドの整合がとれず、破壊包絡線の算出が不能となった。また、高拘束圧においても、全応力 c 、有効応力 c' ともに、強度定数が他と比べて極端に異なる結果となった。

表-2 各試料の強度定数

供試体 No.	密度 条件	低拘束圧				高拘束圧					
		全応力		有効応力		全応力		有効応力			
		c (kN/m ²)	ϕ (°)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)		
A	A	A	密	21	16.4	2	31.8	25	15.8	2	31.4
			緩	1	15.8	0	31.6	2	15.3	0	29.2
B	B	B	密	51	29.1	1	35.1	113	18.0	3	34.8
			緩	7	8.0	1	28.1	3	10.1	0	31.2
C	C	C	密	54	59.6	6	36.0	100	20.9	5	36.7
			緩	5	12.6	0	36.7	7	12.5	3	34.5
平均値	密	緩	密	42	35.0	3	34.3	79	18.2	3	34.3
			緩	4	12.1	0	32.1	3	12.6	1	31.6

表-3 蜜詰め条件における強度定数(低拘束圧)

拘束圧(kN/m ²)/供試体順			全応力		有効応力	
No.1	No.2	No.3	c (KN/m ²)	φ (°)	c' (KN/m ²)	φ' (°)
30	60	120				
A	B	C	4	39.6	-5	37.4
A	C	B	8	38.3	2	35.7
B	A	C	18	34.3	-10	38.3
C	A	B	27	31.4	-2	35.9
B	C	A	-	-	-35	45.3
C	B	A	-	-	-15	39.5

表-4 蜜詰め条件における強度定数(高拘束圧)

拘束圧(kN/m ²)/供試体順			全応力		有効応力	
No.1	No.2	No.3	c (KN/m ²)	φ (°)	c' (KN/m ²)	φ' (°)
120	240	480				
A	B	C	5	27.8	-12	37.5
A	C	B	22	25.1	0	35.8
B	A	C	37	23.7	-34	39.8
C	A	B	63	19.8	-10	36.1
B	C	A	238	-0.8	74	24.0
C	B	A	251	-2.0	54	26.6

表-5 緩詰め条件における強度定数(低拘束圧)

拘束圧(kN/m ²)/供試体順			全応力		有効応力	
No.1	No.2	No.3	c (KN/m ²)	φ (°)	c' (KN/m ²)	φ' (°)
30	60	120				
A	B	C	2	13.5	-3	38.7
A	C	B	10	7.3	5	24.2
B	A	C	4	13.1	-4	37.5
C	A	B	11	6.7	6	21.8
B	C	A	1	15.9	0	21.8
C	B	A	0	15.9	1	31.5

表-6 緩詰め条件における強度定数(高拘束圧)

拘束圧(kN/m ²)/供試体順			全応力		有効応力	
No.1	No.2	No.3	c (KN/m ²)	φ (°)	c' (KN/m ²)	φ' (°)
120	240	480				
A	B	C	4	12.4	-8	37.0
A	C	B	29	7.7	12	27.9
B	A	C	0	13.4	-3	32.2
C	A	B	26	8.2	14	24.6
B	C	A	-16	16.8	8	28.9
C	B	A	-15	16.3	8	28.5

緩詰め条件の強度定数を低拘束圧と高拘束圧に分け、表-5と表-6に示す。蜜詰め条件同様、供試体 No. 3に試料 C を設定するパターンでは $c' < 0$ 、試料 A のパターンでは高拘束圧の全応力で $c < 0$ を示した。これらのことから、供試体 No. 3の試料設定がポイントとなり、総合的に見て試料 A, C より試料 B を選ぶことで、安定した結果が得られ、正の値と近くなることが分かった。

(3)蜜詰めと緩詰め条件での主応力差の比較

図-2と図-3に試料 A, B, C の拘束圧に対する主応力差の関係と有効拘束圧に対する主応力差の関係を密度条件別に示す。まず、ばらつきの少ない強度定数が得られるためには、拘束圧や有効拘束に対する主応力差が試料 A, B, C の間での差が小さいことが必要条件となる。

蜜詰め条件は、図-2から試料 B, C 間の差はほとんどないが、試料 A の主応力差は、極端に小さい値を示し、試料 B, C との差が大きい。また、図-3からも試料 A, B, C の差がやや大きいことから、蜜詰め条件では、全応力・有効応力ともに強度定数のばらつきが大きいことは理解できる。

緩詰め条件は、図-2から、試料 B, C 間ではほとんど差

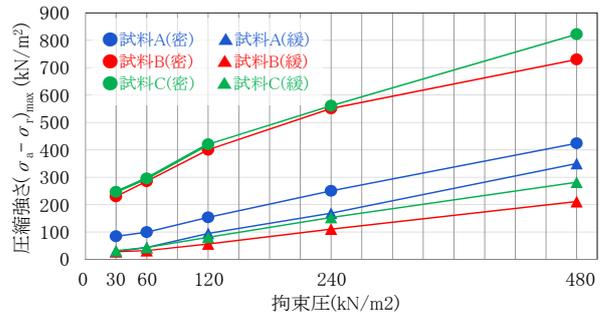


図-2 拘束圧に対する主応力差の関係

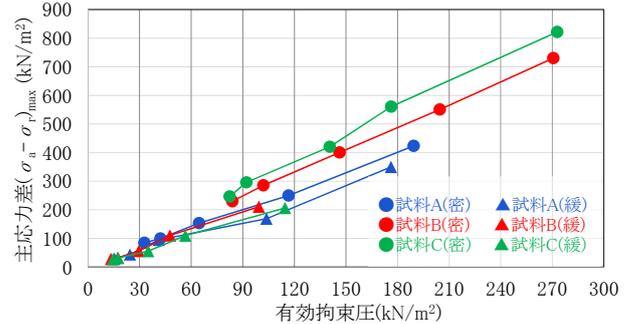


図-3 有効拘束圧に対する主応力差の関係

はないが、試料 A は、蜜詰め条件とは逆に、試料 B, C より大きい値を示した。ただし、その差は比較的小さい。また、図-3からも試料 A, B, C 間の差は、同様に小さいことから、緩詰め条件の強度定数は全応力・有効応力ともに、ばらつきが少ない結果が得られたと考えられる。

4. まとめ

3種類の不均質材料を組み合わせる試験を実施した結果、以下の知見を得た。

- 不均質試料を乱れの少ない状態で三軸圧縮試験を行う場合、拘束圧が高い供試体 No. 3には、最も平均的な粒度の供試体を設定することにより、強度定数は安定した結果が得られ、正の値と近くなることがわかった。
- 蜜詰め条件では、全応力・有効応力ともに強度定数のばらつきが大きい傾向が見られたため、注意が必要である。密な不均質材料を三軸圧縮試験する場合は、乱れの少ない状態の密度を計測し、再構成した供試体を用いて三軸圧縮試験を行うことも選択肢の一つとして検討しても良いと考える。
- 緩詰め条件では、強度定数のばらつきが比較的小さい結果が得られたことから、乱れの少ない試料を用いて三軸圧縮試験を行うことは可能であると考えられる。ただし、供試体 No. 1, No. 2に設定する供試体は、土の状態を考慮し、慎重に選定する必要がある。

《引用・参考文献》

地盤工学会編：地盤材料試験の方法と解説—二分の2—，pp. 616～619，2020. 12