

# 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

本研究では、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を明らかにし、試験において、より信頼性の高い結果を得るための知見を提供する。具体的には、粒度の異なる材料を3試料作製後、それぞれ三軸CU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。加えて、供試体を密詰めと緩詰めで作製し、低拘束圧と高拘束圧に分け、応力の関係性を考察する。

## 2. 材料および試験方法

### (1)試験に用いた試料

土層の変わるサンプリング試料のモデルケースを図-1に示す。この中で、シルト質砂主体に均質な3供試体を確保するのは困難で、礫が多く混入する箇所を極力避けた場合、図-1に示すような土質の異なる箇所での試験を実施するほかない。

本研究では、青粘土と珪砂6号、5~26.5mmの硬質礫を準備し、図-1のようなイメージで3種類の粒度の異なる試料を作製した。青粘土と珪砂6号を $F_c$ 60%で混合したものを試料A、 $F_c$ 40%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の物理特性と図-2に粒径加積曲線を示す。

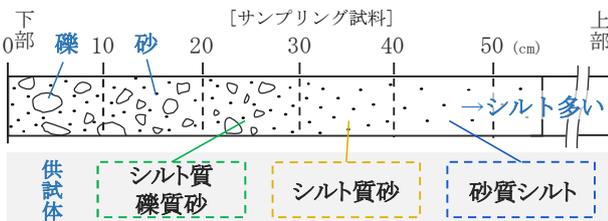


図-1 モデルケース

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 $P_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.708	2.695	2.695
最大粒径 $G_{max}$ (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

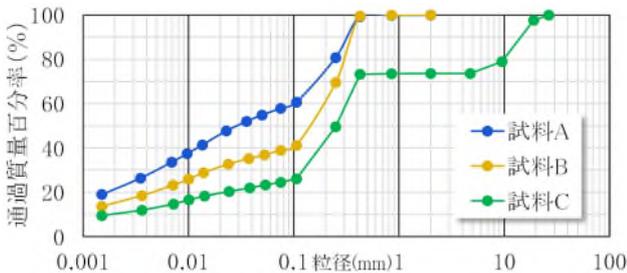


図-2 粒径加積曲線

### (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(CU)三軸圧縮試験方法<sup>1)</sup>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： $\sigma$ 30, 60, 120, 240, 480kN/m<sup>2</sup>の拘束圧を設定し、結果のまとめとして、低拘束圧  $\sigma$ 30, 60, 120kN/m<sup>2</sup>、高拘束圧  $\sigma$ 120, 240, 480kN/m<sup>2</sup>に分けて整理した。また設定密度は、湿潤単位体積重量  $\gamma_t$ 20kN/m<sup>3</sup>を密詰めとし、 $\gamma_t$ 16kN/m<sup>3</sup>を緩詰めとした。ただし、試料Cの密詰めのみ、 $\gamma_t$ 20kN/m<sup>3</sup>では、供試体に緩さがみられたので、 $\gamma_t$ 21kN/m<sup>3</sup>で供試体を作製した。再現性を確認するため、同条件でそれぞれ2回ずつ試験を行った。

## 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試料の平均値を正解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

密詰め条件での、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に示す。低拘束圧と高拘束圧の供試体No.3に、試料Cと試料Aを設定したパターンに着目する。試料Cは、 $c' < 0$ を示す傾向が強く、試料Aは、低拘束圧で全応力におけるモール円の整合がとれず、破壊包絡線の算出が不能となった。高拘束圧においても、 $c$ 、 $c'$ 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。CU試験の場合、間隙水

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 <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)
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	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	密	54	59.6	6	36.0	100	20.9	5	36.7
	緩	7	8.0	2	24.0	3	9.9	1	27.6
平均値	密	42	35.0	3	34.3	79	18.2	3	34.3
	緩	5	10.6	1	27.9	3	11.8	0	29.3

表-3 密詰め条件における強度定数(低拘束圧)

拘束圧(kN/m <sup>2</sup> )/供試体順			全応力		有効応力	
30 No.1	60 No.2	120 No.3	c (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	c' (kN/m <sup>2</sup> )	φ' (°)
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
密詰め条件 平均値			42	35.0	3	34.3

表-4 密詰め条件における強度定数(高拘束圧)

拘束圧(kN/m <sup>2</sup> )/供試体順			全応力		有効応力	
120 No.1	240 No.2	480 No.3	c (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	c' (kN/m <sup>2</sup> )	φ' (°)
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
密詰め条件 平均値			79	18.2	3	34.3

表-5 緩詰め条件における強度定数(低拘束圧)

拘束圧(kN/m <sup>2</sup> )/供試体順			全応力		有効応力	
30 No.1	60 No.2	120 No.3	c (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	c' (kN/m <sup>2</sup> )	φ' (°)
A	B	C	8	7.7	5	21.3
A	C	B	7	7.9	3	25.7
B	A	C	10	7.2	4	22.6
C	A	B	9	7.6	0	29.0
B	C	A	-1	16.4	-2	33.7
C	B	A	-1	16.5	-3	34.2
緩詰め条件 平均値			5	10.6	1	27.9

表-6 緩詰め条件における強度定数(高拘束圧)

拘束圧(kN/m <sup>2</sup> )/供試体順			全応力		有効応力	
120 No.1	240 No.2	480 No.3	c (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	c' (kN/m <sup>2</sup> )	φ' (°)
A	B	C	20	8.0	13	24.2
A	C	B	19	8.3	1	30.6
B	A	C	16	9.2	2	26.6
C	A	B	15	9.5	-4	29.8
B	C	A	-24	17.2	-1	30.0
C	B	A	-24	17.3	0	30.0
緩詰め条件 平均値			3	11.8	0	29.3

圧の影響により、c、φの値が大きく変動することから、c'、φ'が正解値に近いことが重要と考えられる。正解値のc'、φ'に最も近い値を示したのは、低拘束圧・高拘束圧ともに試料A、C、Bのパターンである。

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。低拘束圧と高拘束圧の供試体No.3に試料Aを設定したパターンでc<0、c'≤0を示した。正解値のc'、φ'に最も近い値を示したのは、低拘束圧で試料C、A、B、高拘束圧で試料A、C、Bのパターンである。

これらから、供試体No.3の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、正解値と近くなることが分かった。

### (3)密詰めと緩詰め条件での主応力差の比較

図-3と図-4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、拘束圧や有効拘束圧に対する試料A、B、Cの主応力差の差が小さいことが必要条件となる。

密詰め条件では、図-3から試料B、C間の主応力差の

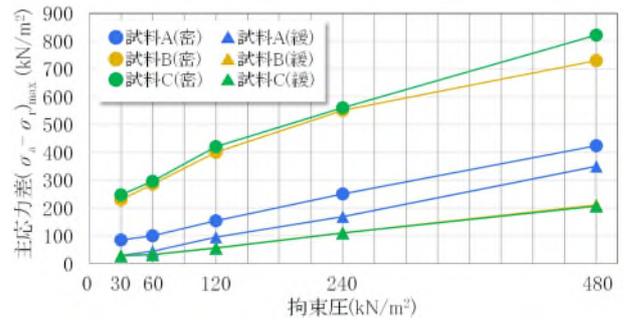


図-3 拘束圧に対する主応力差の関係

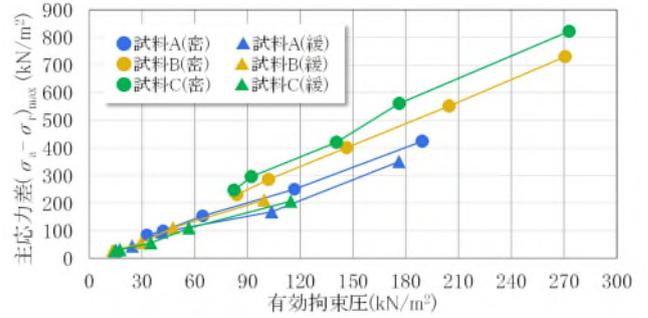


図-4 有効拘束圧に対する主応力差の関係

差はσ480kN/m<sup>2</sup>以外ほとんどなく、試料Aの主応力差が、極端に小さい値を示した。また、図-4からも試料A、B、Cの主応力差の差がやや大きいことから、密詰め条件では、全応力・有効応力ともにせん断強度にばらつきが見られたと考える。

緩詰め条件では、図-3から試料B、C間でグラフが重なり識別できないほど、主応力差の差は小さく、試料Aは密詰め条件とは逆に、試料B、Cより大きい主応力差を示した。また、図-4から試料A、B、C間の主応力差の差は、拘束圧全域にわたり小さく、緩詰め条件では、c'、φ'にばらつきの小さい結果が得られたと考える。

## 4. まとめ

本研究で試験を実施した結果、以下の知見を得た。

- ・不均質材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、正解値と近くなることがわかった。
- ・密詰め条件では、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、乱れの少ない状態での密度を計測し、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、土の状態を考慮して慎重に選定する必要がある。

### 《引用・参考文献》

- 1) 地盤工学会編:地盤材料試験の方法と解説[第一回改訂版]-二分冊の2-, pp.616~619, 2020.12