

円弧すべり解析に適用する中間土材料の強度定数設定に関する一考察（その2）

日本工営(株) 仙台支店 正会員 ○佐藤 信宏  
正会員 石井 篤志

1. はじめに

別報<sup>1)</sup>にて土の非排水条件下での初期密度による有効応力経路の違い、円弧すべり解析手法の特徴およびモール・クーロン破壊規準におけるせん断強さの推定等に関する一般論について報告を行った。本論文では実際の盛土から採取された“乱れの少ない土試料”を用いた室内土質試験結果の分析と強度定数が円弧すべり解析の最小安全率  $F_{S_{min}}$  に与える影響および円弧すべり解析への適用強度定数に関する考察について述べる。

2. 盛土の室内土質試験データ例

道路および堤防盛土から採取された乱れの少ない土試料を用いた室内土質試験データを表-1 および図-1 にそれぞれ示す。土試料は砂・礫分が平均 80 %程度、IP = NP~22 の中間土に分類される。なお、表中の“分類”とは別報<sup>1)</sup>で報告した吉嶺<sup>3)</sup>による一般的な非排水せん断挙動の分類であり、本稿では Very Loose~Very Dense までを分類 I~IV と称するものとした。図-2、図-3 に各試料の有効応力経路を示す。なお、図中には最大主応力差  $(\sigma_a - \sigma_r)_{max}$  の位置を赤印で表記した。

表-1 室内土質試験結果

分類	試料No.	粒度組成(%)				$D_{50}$	$U_c$	$U_c'$	IP	有効応力表示		全応力表示	
		G	S	M	C					$c'$	$\phi'$	$c_{cu}$	$\phi_{cu}$
IV	試料1(道路盛土)	4.9	87.4	3.2	4.5	0.380	3.75	24.50	NP	0	35.7	195.3	11.36
IV	試料2(堤防盛土)	4.5	91.4	1.0	3.1	0.560	2.40	1.08	NP	1.77	37.4	40.06	26.2
II~III	試料3(堤防盛土)	25.9	41.8	19.7	12.6	0.435	319.22	2.17	22.0	7.7	32.7	24.96	17.1
II~III	試料4(堤防盛土)	30.9	35.9	17.1	16.1	0.425	489.47	0.67	17.4	22.31	29.3	26.17	18.1
II~III	試料5(堤防盛土)	26.3	57.5	7.4	8.8	0.594	92.30	5.32	15.7	5.75	36.6	9.32	21.3
	平均値									9.4	34.0	25.1	20.7
	標準偏差 $\sigma$									9.0	3.7	12.6	4.1
	平均- $\sigma/2$									4.9	32.1	18.8	18.6

※表中の平均値、標準偏差値は試料1を除いた値である。

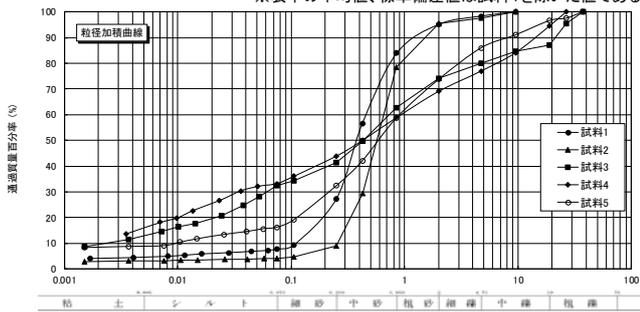


図-1 粒径加積曲線図

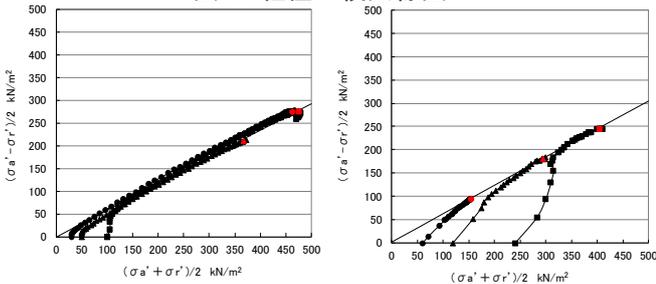


図-2 有効応力経路図 (タイプIV: Very Dense)

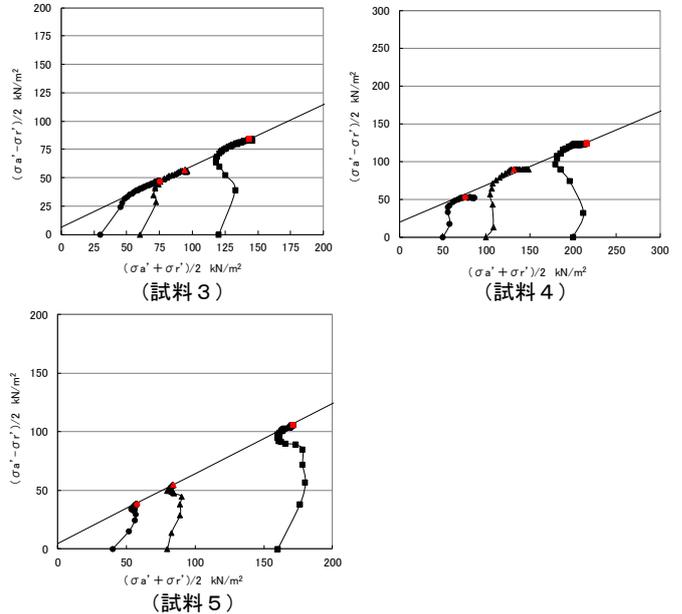


図-3 有効応力経路図 (タイプII~III: Loose~Dense)

全応力表示、有効応力表示の  $(c, \phi)$  の分布状況について図-4、図-5 に示す。全般の傾向として全応力表示の  $c_{cu}$  は大きめ、反対に  $\phi_{cu}$  は小さめの値を示し、有効応力表示の場合には  $c'$  は小さめかつ  $\phi'$  は一般的な砂質土材料の内部摩擦角相当値を示す。一方、非常に密な土では  $c_{cu}$  が大きい値となる傾向が認められる。図-6 に、代表的なモール円を示す。これらの関係は、既往研究報告<sup>2), 3)</sup>で示した傾向と概ね一致しており、盛土材料の強度特性の一端を示す結果と考えられる。

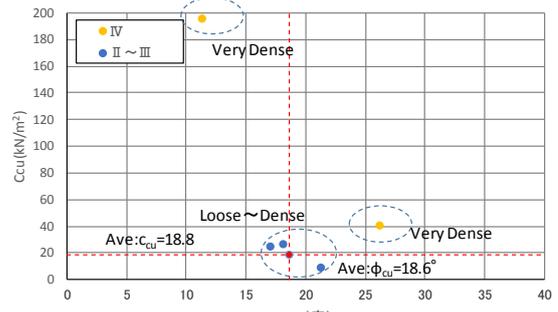


図-4  $(c_{cu}, \phi_{cu})$  分布図

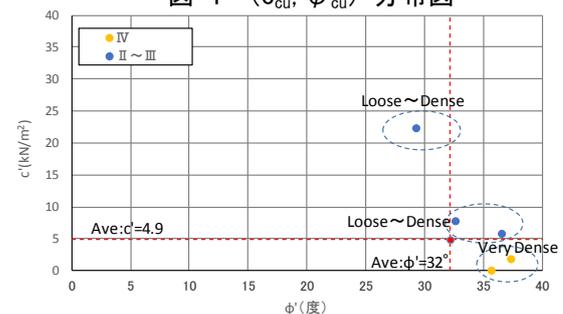
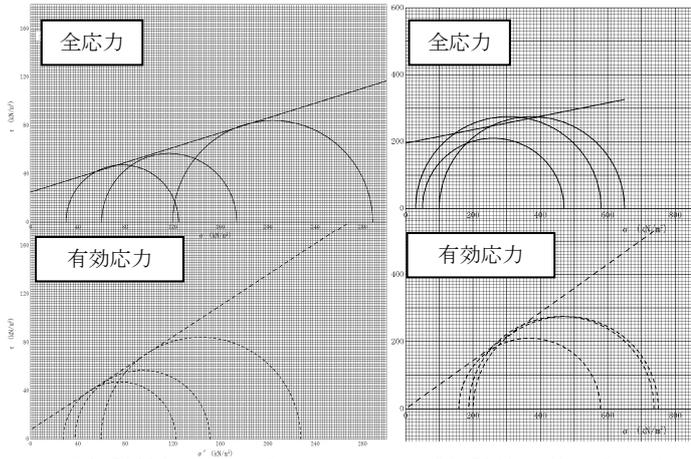


図-5  $(c', \phi')$  分布図



(a) 試料 3 (Loose~Dense) (b) 試料 1 (Very Dense)  
 図-6 代表的なモール円の例

### 3. 円弧すべり解析による試算

強度定数 ( $c, \phi$ ) と最小安全率との関係について、図-7 に示すモデルを用いて検討を行った。

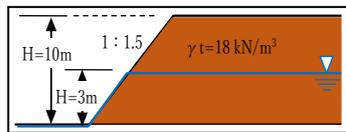


図-7 検討モデル図

強度定数 ( $c, \phi$ ) を各々変化させた時の最小安全率  $F_{S_{min}}$  のコンター図を図-8 に示す。同図より今回の検討モデルでは最小安全率  $F_{S_{min}}$  に対する粘着力  $c$  の感度が高い傾向が認められた。この理由の一つとして、「円弧すべり解析の特徴」が考えられる。仮に図-9 (a) に示すように円弧すべり領域を領域 A, B, C に区分した場合、各領域では  $\tau_f = c_l + \sigma' \tan \phi$  なる抵抗を示すが、領域 A, C では  $\sigma'$  の低下にともない摩擦抵抗分が小さくなるのに対し、 $c_l$  はすべり面上で一様に作用する。一方、( $c, \phi$ ) の最小安全率に対する寄与効果を概算すると、 $\phi = 20^\circ \Rightarrow 35^\circ$  と増加させた場合は  $\tan \phi \approx 0.36 \sim 0.70$  と 2 倍程度、 $c = 5 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow 15 \text{ kN/m}^2$  とした場合は 3 倍分が直接的に安全率に寄与する。今回の検討モデル規模では、すべり面上の  $\sigma'$  が比較的小さいため、 $\phi$  よりも  $c$  の項が最小安全率に対して感度が高い傾向を示したものと考えられる。また図-8 にはせん断にともなう間隙水圧を考慮しない場合の有効応力表示 ( $c', \phi'$ ) 適用時と全応力表示 ( $c_{cu}, \phi_{cu}$ ) 適用時の  $F_{S_{min}}$  の関係を比較するため、前掲表-1 に示す三軸圧縮試験 (CUB) 結果を併記した。これより全応力表示の場合は  $F_{S_{min}} = 0.75 \sim 1.75$  に点在し平均的には  $F_{S_{min}} = 1.25 \sim 1.50$  程度を、有効応力表示の場合は  $F_{S_{min}} = 1.0 \sim 1.25$  に集中するとともに平均的には  $F_{S_{min}} = 1.0 \sim 1.25$  付近を示し、有効応力表示の方が小さい最小安全率が得られている。このことから、盛土の排水条件に応じた強度パラメータ設定上の留意点が示唆される。すなわち、有効応力表示の強度パラメータを用いて非排水条件下でのせん断強さを推定する場合は、せん断にともなう間隙水圧の適切な評価が重要であり、例えば今回のようにすべり面上の  $\sigma'$  が小さく低拘束圧条件下にある場合は図-9 (b) に示すようにせん断時の間隙水圧を考慮せずに有効応力表示の ( $c', \phi'$ ) より非排水せん断強さを求めた場合は過小評価となる。一方、排水条件下の安定問題に全応力表示 ( $c_{cu}, \phi_{cu}$ ) を適用する場合は過大評価となる。

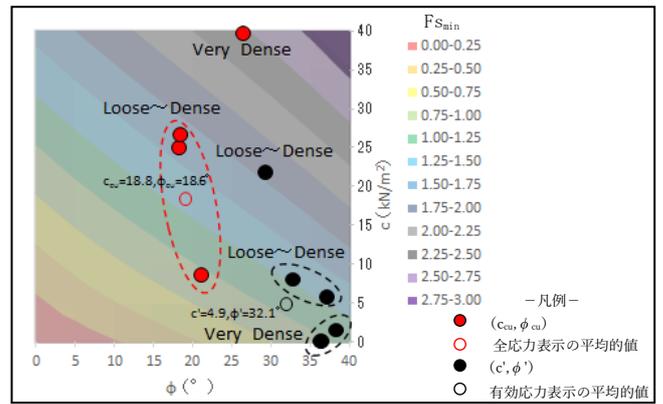


図-8 安全率コンター図

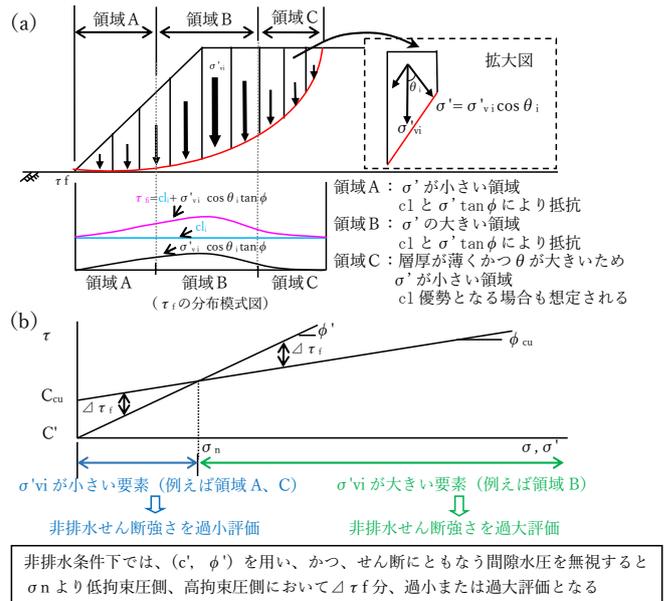


図-9 すべり面応力に関する模式図

### 4. 考察

盛土の安定性を円弧すべり解析法で検討する場合において、非排水条件下では全応力表示の ( $c_{cu}, \phi_{cu}$ ) を、排水条件下では ( $c', \phi'$ ) を適用するのが望ましいと考えられる。逆に排水条件と合わない強度パラメータを適用した場合は過大あるいは危険側の設計となることが懸念される。なお、非常に密な盛土材の場合には  $c_{cu}$  が大きく得られる傾向に加え、比較的小規模な盛土に対する円弧すべり解析手法では最小安全率に対する粘着力  $c$  の感度が高い傾向を勘案すると、解析結果が過大評価となる可能性があり留意が必要と考えられる。特に中間土材料からなる盛土材の場合には、透水試験等により盛土材料の排水条件の十分な評価を行い、適切な強度パラメータを設定することが重要と考えられる。

(謝辞)

本論文の作成に際し、日本大学理工学部 重村智准教授には論文内容および構成等について多大なるご助言を賜りました。ここに深く感謝致します。

#### 《引用・参考文献》

- 1) 佐藤、石井, 円弧すべり解析に適用する中間土材料の強度定数設定に関する一考察 (その1), 土木学会東北支部技術研究発表会 (H29)
- 2) 持田ら, 堤体砂質土・礫質土の強度定数設定のための三軸圧縮試験法, 応用地質技術年報 (29), 95-113, 2009
- 3) 吉嶺充俊, さまざまな応力・ひずみ条件における砂の非排水せん断挙動, 第44回地盤工学シンポジウム発表論文集, 145-152