

[37]

二方向メガトルク载荷装置によるひずみ速度を変えた非排水繰返し試験

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 ○ 井上 大地, 山田 真一

1. はじめに

ひずみ制御による非排水繰返し試験の需要が増加している。そこで、この需要に対応するため新規に二方向メガトルク载荷装置を開発した。同装置は鉛直方向及び、ねじり方向の繰返し载荷が可能という特徴を有している。

本報告は、同装置の特徴、および同装置を用いて実施したひずみ速度を変えた非排水繰返し三軸試験結果及び、通常の応力制御による繰返し試験との比較である。

2. 試験方法

(1) 試験装置

試験装置を写真-1に示す。同装置は、鉛直方向及び、ねじり方向の繰返し载荷が可能である（同時载荷も可能）。また、パルスジェネレーターを導入したことにより実績でひずみ速度10% (h:10cm 換算、鉛直方向)の繰返し载荷を実現した。

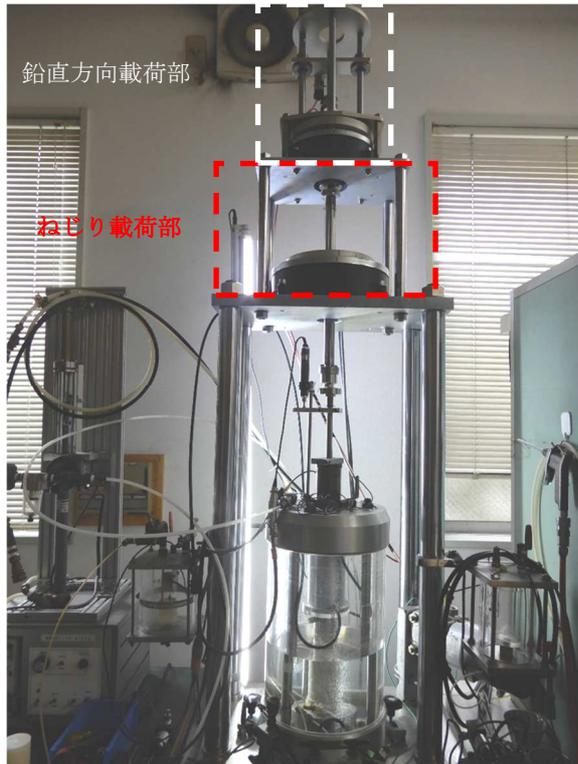


写真-1 二方向メガトルク载荷装置

(2) 試験条件

- ① 試料: 豊浦砂 $D_r=60\%$
- ② 供試体寸法: 直径5cm, 高さ10cm
- ③ 飽和条件: B 値 ≥ 0.95 , 背圧 $=100\text{kN/m}^2$
- ④ 応力条件: 等方応力状態 $\sigma'_c=100\text{kN/m}^2$
- ⑤ 供試体作製方法: 5層湿潤締固め法
 $w=8\%$ で作成し、凍結
- ⑥ 载荷条件: 非排水応力振幅一定繰返し载荷
Case1: ひずみ制御 1, 2, 5, 10%/min
Case2: 応力制御 载荷周波数 0.1Hz

3. 試験結果

試験結果一覧表を、表-1に Case1, 表-2に Case2をそれぞれ示す。

(1) ひずみ速度を変えた応力振幅一定繰返し三軸試験

図-1に10%/minの典型的な試験結果を示す。応力振幅が60kPa (応力比=0.3)で良く制御されていることがわかる。

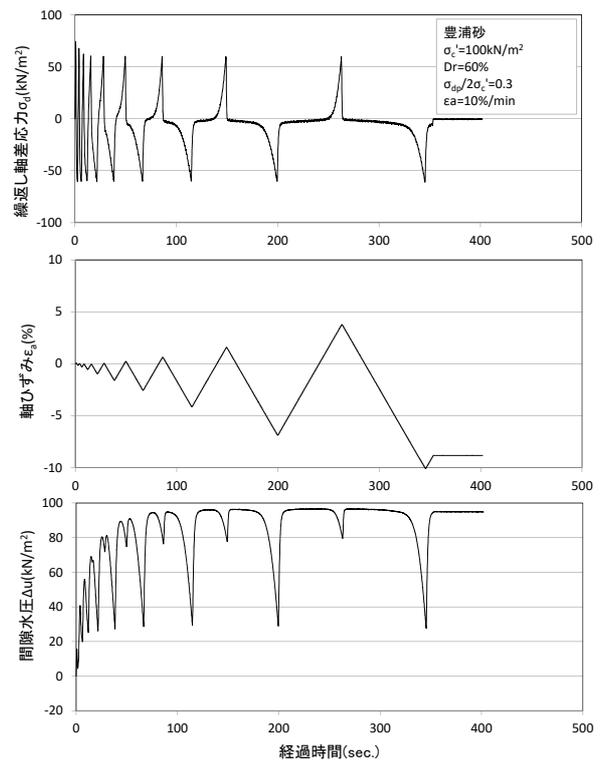


図-1 ひずみ制御試験の典型的時刻歴

表-1 ひずみ速度、応力振幅一定非排水繰返し三軸一覧表

供試体No.	1	2	3	4	5	6	7
ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_a$ (%/min)	1	2	5	10	1	1	1
繰返し応力振幅比 $\sigma_{dp}/2\sigma'_c$	0.3				0.4	0.25	0.23
繰返し载荷回数 N_c (DA=5%)	14, 14.5	10.5, 12	7	7.5	3.8	18.6	56.5

表-2 応力振幅一定非排水繰返し三軸試験一覧表

供試体No.	1	2	3
载荷周波数(Hz)	0.1		
繰返し応力振幅比 $\sigma_{dp}/2\sigma'_c$	0.252	0.302	0.404
繰返し载荷回数 N_c (DA=5%)	25.6	11.5	4

*) ひずみ速度 1, 2%は再現性確認のため2回実施。

図-2にひずみ速度 $\sim N_c(\epsilon_{DA}=5\%)$ の関係を示す。図から、ひずみ速度の増加に伴い $N_c(\epsilon_{DA}=5\%)$ が低下していることがわかる。この原因は、図-3過剰間隙水圧 $\sim N_c$ 関係からわかるように、過剰間隙水圧がひずみ速度が速くなると大きくなる傾向にあるためと考える。それに応じて、図-4繰返し回数 $N_c\sim$ ひずみ関係に示すように軸ひずみが増加する傾向を示している。今後、詳細な検討が必要と考える。

ところで、応力制御試験では荷重周波数0.1~1Hzで速度の影響はないとされている。しかしながら、応力制御ではひずみ速度が荷重中に非常に大きく変化しておりひずみ速度の依存性は評価することはできない。図-2, 3, 4の結果からわかるようにひずみ速度依存性は存在する。

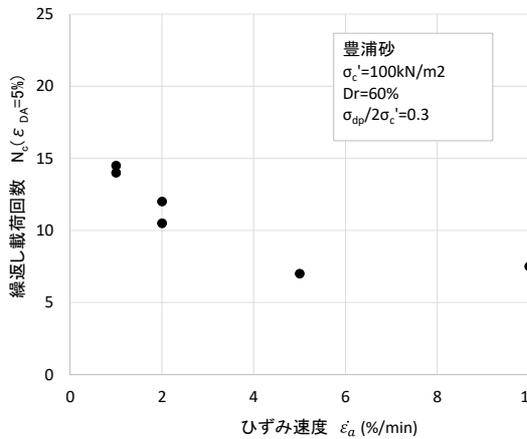


図-2 ひずみ速度 $\epsilon_a \sim$ 繰返し荷回数 $N_c(\epsilon_{DA}=5\%)$ 関係

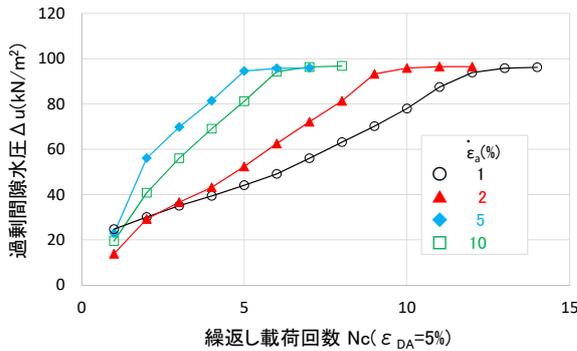


図-3 繰返し回数 $N_c(\epsilon_{DA}=5\%) \sim$ 過剰間隙水圧 Δu 関係

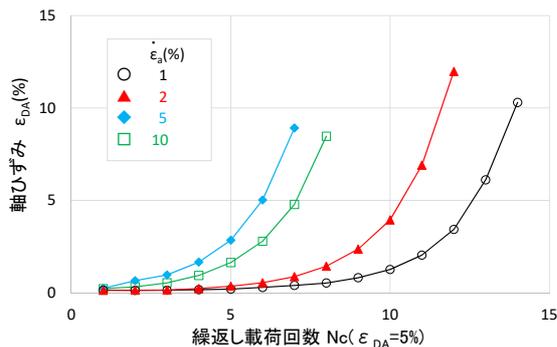


図-4 繰返し回数 $N_c(\epsilon_{DA}=5\%) \sim$ 軸ひずみ ϵ_{DA} 関係

(2) 通常の非排水繰返し試験との比較

図-5はひずみ制御、応力制御試験結果の比較である。図から、液状化強度の指標 $\epsilon_{DA}=5\%, N_c=20$ は、ひずみ速度 $=1\%$ の結果が応力制御とほぼ整合していることがわかる。

但し、これは豊浦砂のようなきれいな砂の結果であり、すべての材料に当てはまる訳ではない。また、図-6に有効応力径路の比較図を示す。図から○印で示した原点付近の挙動は応力制御では把握できない。原点付近の挙動、各種解析パラメータを把握するためにはひずみ制御の試験の併用、通常の応力制御4供試体+ひずみ制御1供試体という組み合わせが有効と思われる。

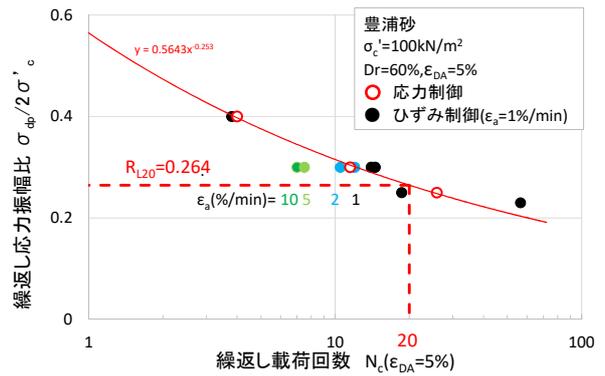


図-5 液状化強度曲線

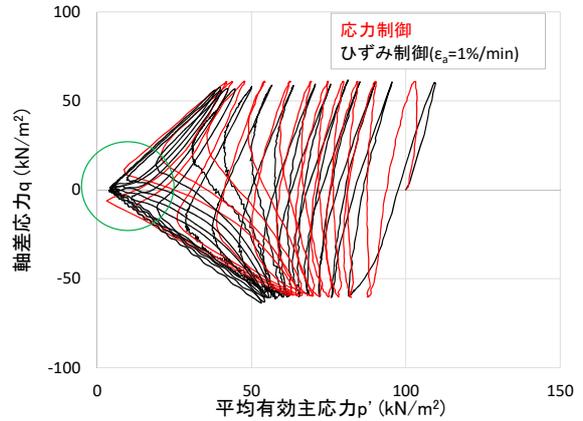


図-6 有効応力径路

4. まとめ

今回の実験結果から

- ① ひずみ速度の増加に伴い $N_c(\epsilon_{DA}=5\%)$ は減少する。
- ② 応力制御とひずみ制御 $\epsilon_a=1\%$ の液状化の指標である R_{L20} はほぼ整合する。但し、豊浦砂のようなきれいな砂に限定される。

今後、以下のことを実施する予定である。

- ・ひずみ速度0.1%/min(遅い速度)の試験を実施する。
- ・密度を変えた試験を実施する。
- ・荷重速度を段階的に変化させた試験を実施する。
- ・ねじり試験で同様な試験を実施する。
- ・累積エネルギーを求めひずみ制御、応力制御の相違について検討する。

中空ねじり試験機を用いた液状化強度試験

中部土質試験協同組合 ○ 久保裕一, 法安章二
名城大学 小高猛司

1. はじめに

地盤工学会関東支部では「中空ねじりによる液状化強度試験の高精度化に関する研究委員会」が設立され「土の変形特性を求めめるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験」JGS 0543-2020 (以下, 中空ねじり試験) での試験機を用いた液状化強度試験の基準化に向けて活動している。本報では, 密度の異なる豊浦標準砂を用いて実験を行ったので, 試験結果の一部を報告する。

2. 試験方法と使用試験機

試験機は空圧式サーボ, アクチュエーターを採用し, 回転はラックアンドピニオンギアにより, 水平方向の動きを鉛直軸回転方向に変化させる。フィードバックは応力制御, ひずみ制御のどちらかを選択可能である。各計測器具は, 鉛直軸変位に外部変位計 (最大15mm), 大回転計にポテンシオメーター (最大30度), 小回転計にギャップセンサー (最大2度) を使用した。材料は豊浦標準砂を使用し, 空中落下法により中空供試体を作成, 相対密度 $Dr=40, 60, 80$ の3種類。周波数は正弦波0.1Hz, 応力制御, ゴムスリーブ厚さ0.3mm 補正無し, 拘束圧は100kPa とした。

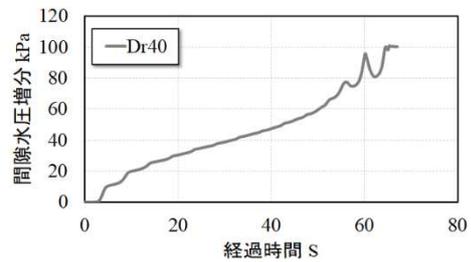
3. 試験結果

(1) 間隙水圧増分～経過時間

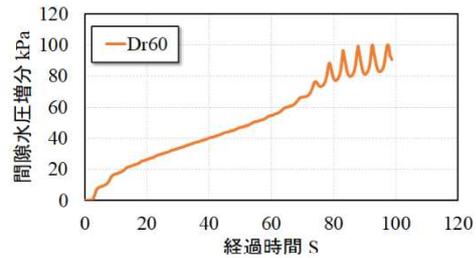
図-1に間隙水圧増分～経過時間を示す。図は各相対密度のせん断応力15kPa のみを示したものである。間隙水圧増分は, 全ての密度条件において, 载荷直後に大きく上昇。その後, 時間経過とともに小さな上下動で緩やかに上昇, 間隙水圧増分が80kPa 付近から急激に大きく変動し液状化に至る。この現象は特に緩詰の $Dr=40$ で顕著で, 間隙水圧増分80kPa 付近から1波で液状化に至っている。また, 初期载荷でも他の密度と比較して上下動がやや大きいのが特徴である。この現象は他のせん断応力, 17.5kPa, 20kPa でも同様に観察された。

(2) せん断応力～有効応力

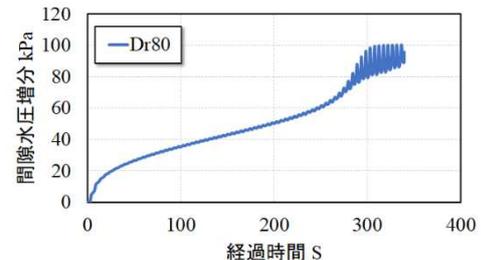
図-2にせん断応力～有効応力を示す。図は各相対密度のせん断応力15kPa のみを示したものである。有効応力は全ての密度条件において初期载荷で大きく低下, その後, 液状化前の20kPa 付近で再び大きく減少し, 液状化に至る。液状化前に大きく有効応力が減少する値はいずれも20kPa 付近で, 前述した間隙水圧増分が影響していると考えられる。せん断応力は左右均等に载荷され, 液状化に至る直前にやや低下する程度である。液状化前に観察される変相は比較的明瞭で, 大きく有効応力が低下した直後に現れている。この現象は他のせん断応力 17.5kPa, 20kPa でも同様に観察された。



(a) $Dr=40$ での間隙水圧増分

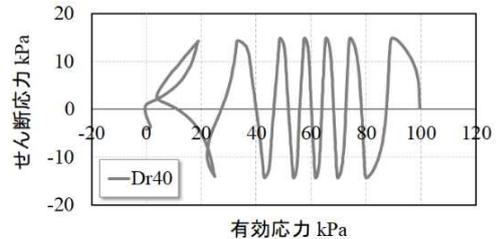


(b) $Dr=60$ での間隙水圧増分

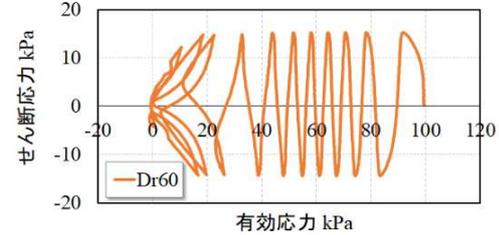


(c) $Dr=80$ での間隙水圧増分

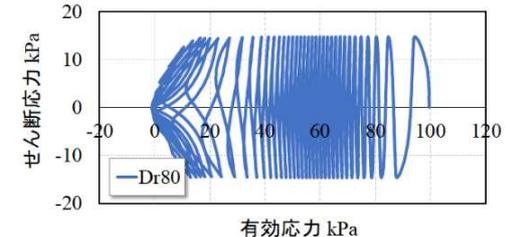
図-1 間隙水圧増分～経過時間関係



(d) $Dr=40$ での有効応力



(e) $Dr=60$ での有効応力

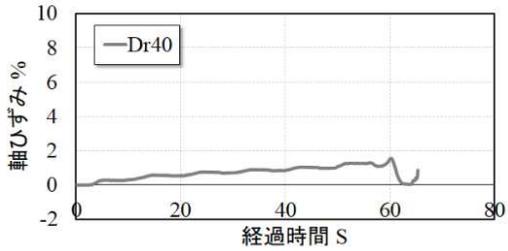


(f) $Dr=80$ での有効応力

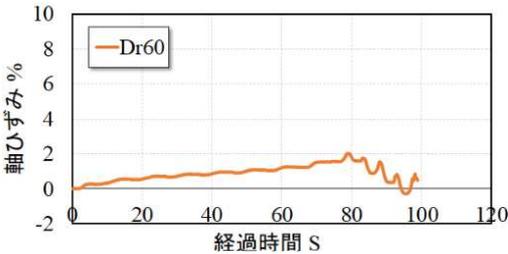
図-2 せん断応力～有効応力関係

(3) 軸ひずみ～経過時間

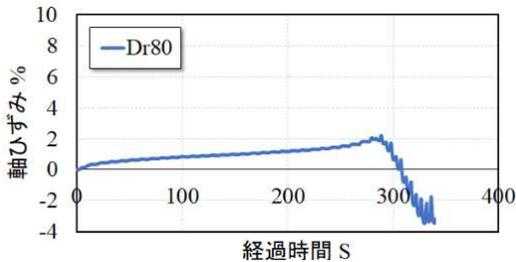
図-3に軸ひずみ～経過時間を示す。図は各相対密度のせん断応力15kPaのみを示したものである。軸ひずみは全ての密度条件において経過時間とともに圧縮方向（正の値）に徐々に増加し、ピーク後に伸張方向に転じ液状化に至る。この傾向は、密詰めになるほど顕著に現れ、Dr=80では最終的に初期状態より4%程伸張して液状化に至っている。Dr=40では沈下から伸張に転じ液状化するが、初期状態より伸張するまでには至っていない。これはダイレイタンスの影響であると考えられ、密詰めほど液状化時の伸張が顕著となっている。この現象は他のせん断応力17.5kPa, 20kPaでも同様に観察された。



(g) Dr=40での軸ひずみ



(h) Dr=60での軸ひずみ

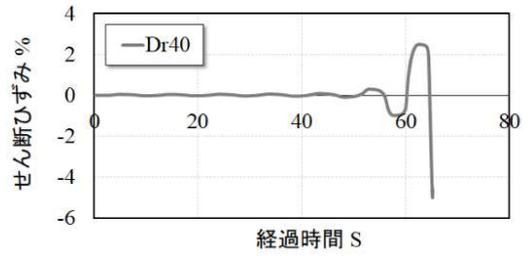


(i) Dr=80での軸ひずみ

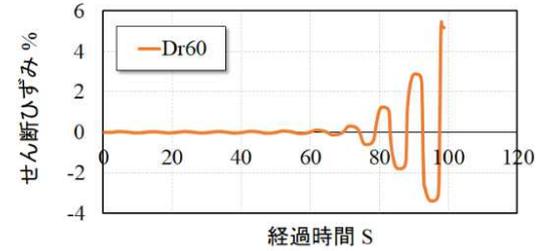
図-3 軸ひずみ～経過時間関係

(4) せん断ひずみ～経過時間

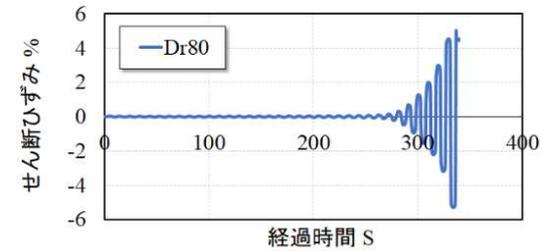
図-4にせん断ひずみ～経過時間を示す。図は各相対密度のせん断応力15kPaのみを示したものである。図から、全ての密度条件において、せん断ひずみは荷重初期から小さいひずみのまま進行するが、ある経過時間から大きく上下に変動し液状化に至る。Dr=40では、特に急激に液状化に至っている。せん断ひずみが増加し液状化に至る経過時間に着目すると Dr=40で約60秒、Dr=60で約80秒、Dr=80で約280秒となり、図-3の軸ひずみのピークの経過時間とはほぼ同調する。また、図-1の間隙水圧増分が変動する時間も同様である。これらの現象は他のせん断応力でも観察され、液状化に至る経過時間は、軸ひずみ、間隙水圧増分と深く関係することが推察できる。



(j) Dr=40でのせん断ひずみ



(k) Dr=60でのせん断ひずみ



(l) Dr=80でのせん断ひずみ

図-4 せん断ひずみ～経過時間関係

(5) せん断応力～繰返し回数

図-5に両振幅軸ひずみ7.5%で整理した、せん断応力～繰返し回数を示す。図から、三軸試験機を使用した場合と同様に、密度変化、せん断応力の増加に応じ、繰返し回数が減少し、中空ねじり試験機でも所定の繰返し回数の液状化強度を求めることが可能である。

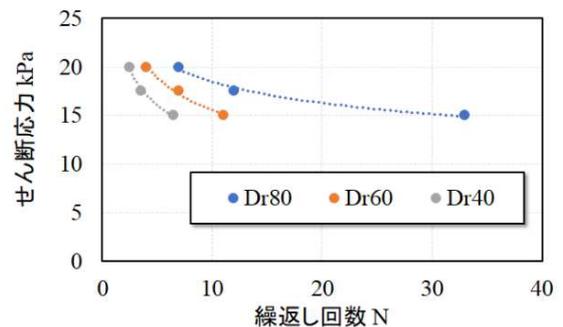


図-5 せん断応力～繰返し回数関係

4. まとめ

相対密度を変化させた豊浦標準砂を用い、中空ねじり試験機にて液状化強度試験を実施し、各計測データを報告した。中空ねじり試験機を用いることにより、現地盤に近い単純せん断モードでの繰返し荷重が可能であり、鉛直縦軸方向のひずみを計測する事が可能であることなど三軸試験機を用いるよりも多くの情報を得ることが可能であった。今後も本研究委員会のもと、基準化に向け積極的に活動していきたい。

パラフィン法による礫まじり土等の湿潤密度試験

株式会社東建ジオテック ○ 前野 和史, 井上 純一, 若林 信

1. はじめに

ブロックサンプリングによって採取された写真-1のような試料の湿潤密度を得る為には、通常のノギス法に規定されている形状に成形することが困難である。そこでパラフィン法により湿潤密度試験を行った。

本報告はその試験結果の妥当性を評価するため、様々な試料に対してパラフィン法とノギス法で比較試験を実施した結果についてまとめたものである。



写真-1 成形が困難な礫まじり土

2. 湿潤密度試験方法の種類と適応土質

湿潤密度試験方法の種類と適応土質について表-1に示す。ノギス法は、力学試験用の供試体をそのまま測定することも可能で、試験器具が比較的簡単かつ安価、および所定の精度が得られることなどから最も多く用いられている。適応する土質は所定の形状に成形可能かつ表面がなめらかに仕上げられる試料である。一方、礫や砂が多く混入し成形が困難な試料に対してはパラフィン法が用いられ、あらゆる土質に適応可能とされている。

表-1 試験方法の種類と適応土質¹⁾

	試験方法の種類	適応土質
寸法測定法	ノギス法	成形しやすく試料表面が比較的なめらかに仕上げられる粘性土および砂質土（一軸圧縮試験などの供試体）
	テープ法	ノギスでは測定が困難なほど柔らかい粘性土で、試料表面がなめらかに仕上げられるもの（一軸圧縮試験などの供試体）
	レーザー測定法	ノギス法に準じる
体積置換法	パラフィン法	あらゆる土質に適応できる（飽和・不飽和粘性土、砂質土、乾燥土）
	ケロシン法	あらゆる飽和粘性土、および成形状態と飽和状態が保てる砂質土（一軸圧縮試験などの供試体）
	水銀法	主として粘性土に適応（試料が少ない場合）

3. 試験試料および供試体

比較を行った試料の粒度試験結果および分類を表-2に示す。供試体の体積が測定精度に影響を与えるので、可能な限り大きな供試体を作成した。また、比較した供試体は同一のものを使用した。細粒分が少なく自立しない砂質試料に対しては事前に凍結させたうえで試験を行った。また、まさ土については締め固めによって高さ約100mm、直径約50mmの円柱供試体を作成したうえで試験を行った。

ノギス法の成形は、トリマー、ワイヤソー、直ナイフ、マイターボックスを使用した。

表-2 各試料の粒度試験結果および分類

番号	粒度				分類
	礫分%	砂分%	細粒分%	最大粒径mm	
①	0	2.5	97.5	0.106	シルト (高液性限界)
②	0	20.7	79.3	2	砂まじり火山灰質粘性土(Ⅱ型)
③	0.5	13.2	86.3	4.75	砂まじり火山灰質粘性土(Ⅱ型)
④	1.6	14.9	83.5	4.75	砂まじり火山灰質粘性土(Ⅱ型)
⑤	0	4.3	94.7	0.425	砂まじり火山灰質粘性土(Ⅱ型)
⑥	0	23.3	76.7	2	砂質シルト (低液性限界)
⑦	0	20.7	79.3	2	砂質シルト (高液性限界)
⑧	粒度試験対象外				泥炭
⑨	55.7	36	8.3	19	細粒分まじり砂質礫(まさ土)
⑩	55.7	36	8.3	19	細粒分まじり砂質礫(まさ土)
⑪	16.7	76.1	7.2	26.5	細粒分まじり礫質砂
⑫	18.8	70.8	10.4	26.5	細粒分まじり礫質砂
⑬	0	98.7	1.3	2	分級された砂

4. 比較試験結果および考察

ノギス法およびパラフィン法の比較試験結果を図-1に示す。

沖積粘性土ではノギス法が0.02Mg/m³大きく測定された。これは対象試料が非常に柔らかい粘性土だったため、注意深く測定してもノギスが試料にわずかに食い込み体積が小さく測定されたこと並びにトリマーカット時の若干変形が要因として考えられる。

ロームおよび火山灰質粘性土ではわずかな差異があったもののおおむね近い値を示した。

砂質シルトでは硬質の試料でノギス法が $0.03\text{Mg}/\text{m}^3$ 小さく測定された。これは非常に硬い試料であり注意深く成形しても表面が滑らかに仕上げることができず、ノギスでの測定時にやや過大に直径が測定されたことが要因として考えられる。

高有機質土ではわずかに差異が生じたが実用上問題のない程度であるとする。今回は1供試体のみでの比較となったが、高有機質土はその状態によってノギス法とパラフィン法による差異が大きくなることが予想できる。今後、より未分解の試料や軟弱な高有機質土についても検証したい。

まさ土では最大で $0.04\text{Mg}/\text{m}^3$ ノギス法の方が小さく測定された。いずれの試料も礫分が50%以上(最大粒径19mm)であり、今回比較した試料の中で最も供試体表面の凹凸が目立つものだった。この凹凸によりノギス法での測定時に体積を過大に算出したことが要因として考えられる。

凍結試料では最大 $0.02\text{Mg}/\text{m}^3$ の誤差が生じたが実用上問題ない精度で測定可能であるとする。

5. 凍結試料に対するパラフィン法

当初凍結試料はパラフィン塗布中に試料が溶けてしまうためパラフィン法は困難であると考えていた。しかし実際には手早く行えば試料が解ける前にパラフィンを塗布することが可能であった。これは砂質試料に限らず礫が70%以上混入した礫質試料であっても同様であった。ただし礫径が大きく、礫間に砂や粘性土が詰まっておらず間隙が比較的大きい試料などは供試体内部の間隙までパラフィンが浸透してしまうことが考えられるため結果の扱いには注意が必要である。

いずれの凍結試料もパラフィン塗布中および塗布直後はパラフィンと供試体の温度差によりパラフィンにクラックが生じることがあった。そこでパラフィンをやや厚く塗布し、さらに水中へ投入する前にクラックの有無を注意深く観察する必要がある。万が一水中での質量測定中に供試体周辺から断続的に気泡が発生する場合はクラックやパラフィンに覆われていない箇所が存在し供試体に水がしみ込んでいる可能性があるため再試験が必要となる。また凍結試料にパラフィン塗布した後は供試体温度と室温が大きく異なり結露により質量の測定に誤差が生じることから室温になるまで静置したのちに質量を測定する必要がある。

6. まとめ

表面を滑らかに仕上げるのが困難な試料ほどパラフィン法の方が供試体の凹凸を含んだ体積を測定することとなり、体積がより小さく測定されることから湿潤密度は大きくなる傾向を予測していた。結果としてわずかにあるが予測通りの傾向が確認された。また今回のすべての試験結果のノギス法とパラフィン法の差を平均するとおおよそ $0.01\text{Mg}/\text{m}^3$ となり、今回比較した試料では2種類の試験方法の結果に大きな差は見られなかった。しかし、軟弱な粘性土に関しては、ノギス法での試験結果には成形時の影響が大きく、十分注意が必要であると言える。

これらの比較試験結果からはじめに述べた成形困難な礫まじり土に対して行ったパラフィン法による湿潤密度試験の結果は妥当であると評価した。

《引用・参考文献》

- 1) 地盤工学会:地盤材料試験の方法と解説[第一回改訂版]-二分冊の1-, pp199~209, 2020

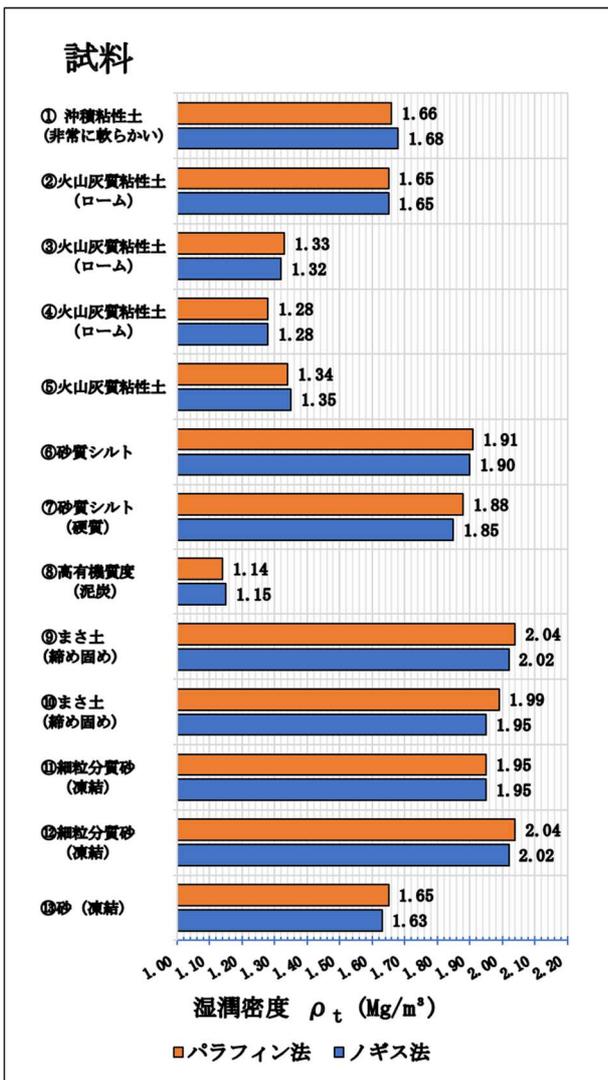


図-1 比較試験結果一覧

【40】

粒度試験（沈降分析）における浮ひょう読み取りの自動化への試み（その3）

（協）関西地盤環境研究センター ○三好 功季、藤村 亮、林 峻平、
中山 義久、松川 尚史、澤 孝平、西形 達明

1. はじめに

土の粒度試験(JIS A 1204)は、ふるい分析(土粒子の粒径が 75mm~75 μ m)と沈降分析(75 μ m 未満)で実施される。沈降分析では、浮ひょうによる測定については、「静置後 1 分及び 2 分の読み取りでは、メスシリンダー内に浮ひょうを入れたままでよいが、その後の読み取りでは読み取り後に浮ひょうを必ず抜き出し、浮ひょうに付着した汚れを拭いとる。」と規定されている¹⁾。この方法の課題として、浮ひょうの出し入れによる土懸濁液の攪拌や、浮ひょうの上下動による読み取り値への影響が挙げられている。また、土質試験の実務面でみると沈降分析開始から 60 分間、試験者はメスシリンダーの近傍を離れることができない。さらに、JIS 規格では沈降分析開始後 240 分および 1440 分まで測定することになっており、試験者の長時間拘束という大きな負担を抱えている。

本報告では、同一試料を用いて従来型の計測方法（以下、JIS 法と呼ぶ）とレーザー測器による自動計測方法（以下、提案法と呼ぶ）の2つの方法で沈降分析を実施し、両者の粒径加積曲線を比較し、沈降分析の自動化への試みを検討する。

2. 試料と比較試験方法

比較試験に用いた試料は自然地盤よりサンプリングした30試料（内訳：粘性土14、砂質粘土8、粘性土質砂8試料）である。表-1にはそれらの液性限界、塑性限界、塑性指数を示す。比較試験では炉乾燥質量に換算した約50gを分取し、1lの懸濁液にしてメスシリンダーに入れ攪拌・分散後、沈降分析を実施した。沈降分析は浮ひょうとメスシリンダーの組合わせを変えずに、JIS 法と提案法について、それぞれ1試料当たり3供試体づつ実施した。提案法の測定概要は図-1の通りであり、測定時間ごとに浮ひょうの頂点のターゲットの高さをレーザー測器で読取り、浮ひょうの読みに変換する。なお、提案法による浮ひょうの読取りでは、沈降分析中の浮ひょうの出し入れが作業上困難であるため、浮ひょうは実験開始から終了まで、入れたままで測定した。浮ひょうの出し入れが沈降分析に及ぼす影響については、過年度の研究により有意な影響がみられないことを確認している^{2),3)}。

表-1 使用した試料の物性値

物性(試料数)	液性限界(%)	塑性限界(%)	塑性指数
粘性土(14)	47.5~114.4	24.4~46.3	19.1~77.2
砂質粘土(8)	41.7~69.7	21.4~29.7	13.2~40.0
粘性土質砂(8)	30.6~47.5	17.4~30.3	13.2~22.4

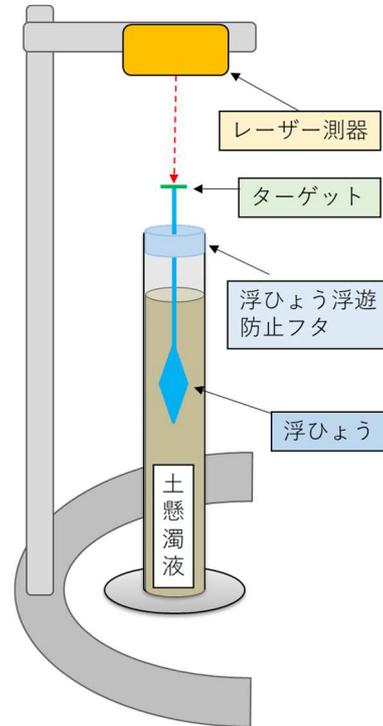


図-1 提案法の概略図

3. JIS 法と提案法の試験結果とその検討

図-2に今回試験した試料の中から物性が異なる代表的な4試料の JIS 法および提案法それぞれ3回の粒径加積曲線とその平均の粒径加積曲線を示す。これらによると、JIS 法及び提案法の粒径加積曲線は全く同一な形状とは言い難い。そこで、JIS 法および提案法で求められた粒径加積曲線の形状の違いを明確にするために、粒径が 0.05mm, 0.02mm, 0.005mm, 0.002mm における通過質量分率を求め、両者を比較した（図-3）。物性値の違いをコンシステンシー特性のひとつである塑性指数 I_p で表し、塑性指数 I_p が 20 未満, 20 以上 40 未満, 40 以上の3区分に分けて整理した。これらの結果より、塑性指数 I_p がどの場合でも JIS 法と提案法による通過質量分率に大きな差はないことが確認できる。また、それぞれの相関係数は (a) $I_p < 20$ で 0.998, (b) $20 \leq I_p < 40$ で 0.998, (c) $I_p \geq 40$ で 0.979 であり、非常に高い相関係数であることが確認できる。これらのことから、JIS 法と提案法による測定方法の違いが粒径加積曲線の形状に与える影響は、非常に小さいことが明らかである。今回実施した比較試験から、浮ひょうの自動計測（提案法）を実務に用いても問題がないものと考えられる。

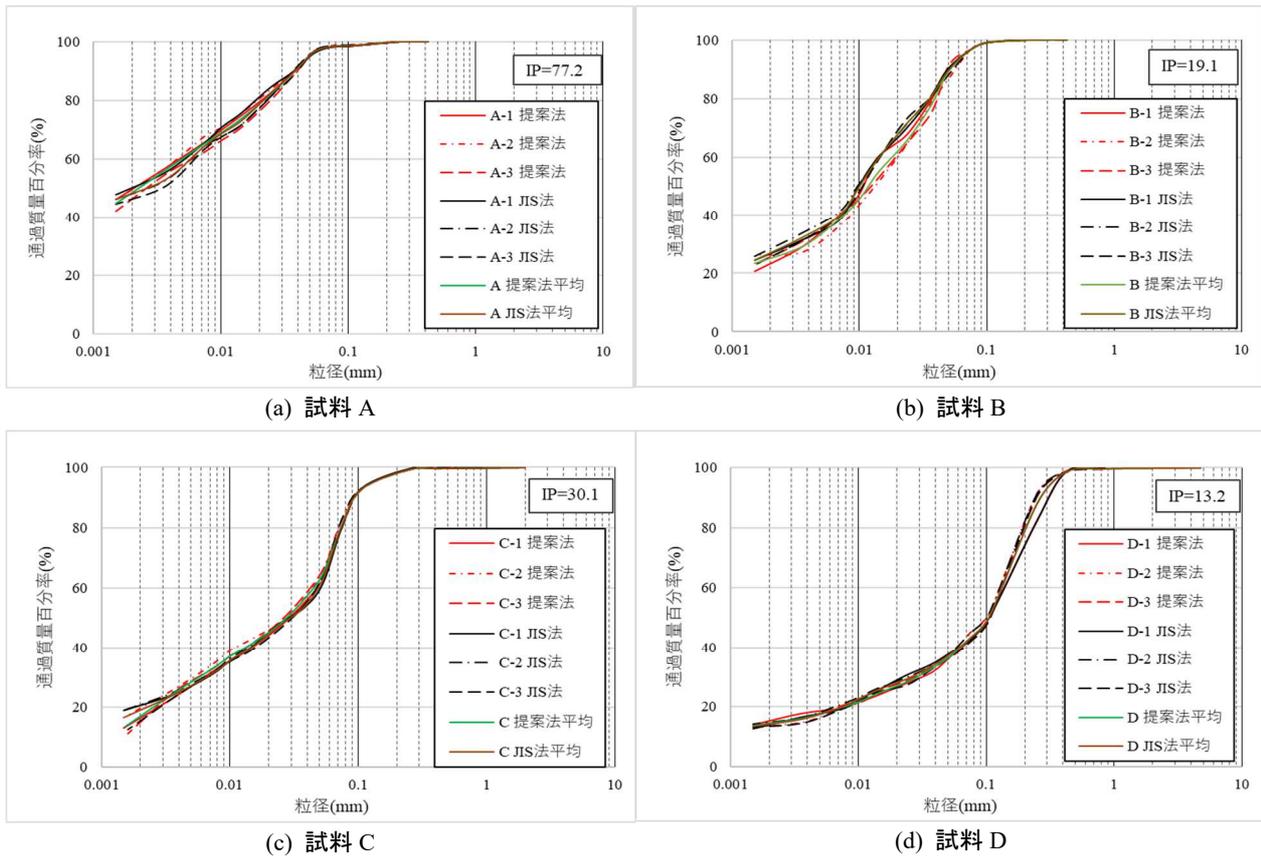


図-2 JIS 法・提案法での粒径加積曲線(代表4試料)

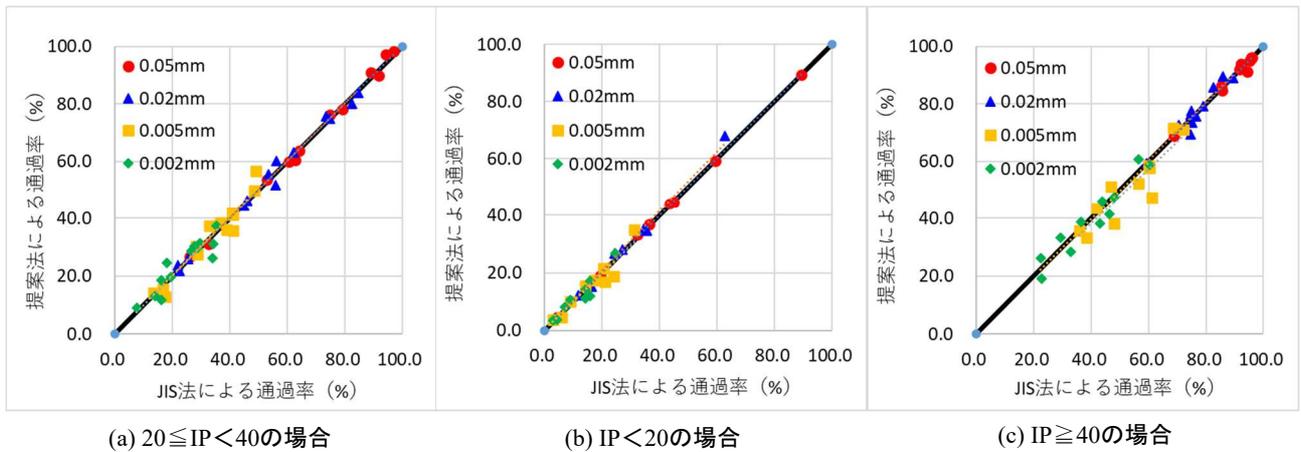


図-3 JIS 法・提案法での同一粒径での通過率の比較

4. まとめ

沈降分析の浮ひょうの読み取りの自動化を目的として、自然地盤よりサンプリングした土試料を用いて JIS 法と提案法の2つの方法での沈降分析を行い、求められた粒径加積曲線を比較検討した。その結果、今回用いた土試料においては、JIS 法と提案法の結果には有意な差はみられず、提案法の実用化への可能性が示された。

今後も測定器具の改善・改良とともに、より広範囲な物性値を有する試料を用いて試験を重ね、レーザー測器を用いた沈降分析の自動計測化を実用化したいと考えている。

《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、二分冊の1、pp.132-157,2020.
- 2) 藤村亮, 松川尚史, 三好功季, 澤孝平, 中山義久：粒度（沈降分析）試験の測定方法の検討, 第54回地盤工学研究発表論文集, 地盤工学会, No.1, pp.19～20, 2019.
- 3) 藤村亮, 中山義久, 三好功季, 林峻平, 松川尚史, 澤孝平, 西形達明：粒度試験（沈降分析）自動計測への試み, kansai Geo-Symposium2020論文集, pp.76～79, 2020.

室内土質試験のデータ整理方法についての1 考察

富士開発株式会社 ○田中史郎、鶴岡賢太郎

1. はじめに

地質調査報告書では、ボーリング調査結果から地盤定数を設定することが一般的に行われている。N 値や室内土質試験の結果から単位体積重量や強度定数(c, φ)を算定し、提案値として報告書に記載している。しかし、既往の報告書の中には、間違った解釈で定数を設定しているものも多く認められる。本稿では、「湿潤密度試験から求められる単位体積重量γ_tと「土の三軸圧縮試験から求められるせん断抵抗角φと粘着力cの設定方法」について、整理手法の1例として考察したものである。

2. 単位体積重量γ_tの求め方

単位体積重量γ_tを地盤定数として提案する場合、湿潤密度試験(JIS A 1225)結果をそのまま採用することは以下の観点から注意が必要である。

- ・地下水位以深の飽和した地層で採取した試料は、本来の地盤中では飽和度が100%に近いと考えられる。そのため飽和度の低い試料の湿潤密度試験結果をそのまま使用すると、本来の単位体積重量より低い値を示してしまう。
- ・特にサンドサンプリング試料は試験室に搬入する前に脱水を行うため、本来の含水比や飽和度よりも低い値を示すことが多い。

よって、単位体積重量を提案するにあたっては、以下の式を用いた「飽和度100%の湿潤密度(飽和密度)」を算出する必要がある。

$$\text{湿潤密度}(\rho_t) : \rho_{\text{sat}} = \frac{\rho_s + \rho_w \cdot e \cdot S_r / 100}{1 + e}$$

ここで水の密度をρ_w=1.0(g/cm³)、S_r=100%とすると以下の通りである。

$$\text{飽和密度}(\rho_{\text{sat}}) : \rho_{\text{sat}} = \frac{\rho_s + e}{1 + e}$$

ρ_s : 土粒子密度 e : 間隙比

よって単位体積重量γ_tは以下の式により求められる。

$$\text{単位体積重量} \gamma_t : \gamma_t = \rho_{\text{sat}} \times g \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$g : \text{重力加速度 [g=9.8} \div 10 \text{ (m/s}^2\text{)]}$$

以上の式より、脱水したサンプリング試料においても正確な単位体積重量γ_tを算出することができる。

3. 土の三軸圧縮試験結果から得られるせん断抵抗角φと粘着力cの求め方

本章では、土の三軸圧縮試験結果のまとめ方について

考察する。土の三軸圧縮試験は主に地盤のせん断抵抗角(以下φ)や粘着力(以下c)を求めるための試験である。また沖積地盤をN値より求める場合には、以下の原則が使用されることが多い。

- ・粘性土の場合、φ=0(°)として提案する。(φ=0法)
- ・砂質土の場合、c=0(kN/m²)として提案する。(c=0法)

三軸圧縮試験結果では粘性土であってもφが得られ、砂質土であってもcが得られることが多い。以上のことを踏まえ、土の各種三軸圧縮試験結果の整理方法を考察する。本稿で対象とする土の三軸圧縮試験は、使用頻度の高い非圧密非排水条件(UU)と圧密排水条件(CD)とした。

(1) 土の三軸圧縮試験(UU)

土の三軸圧縮試験(UU)(JGS 0521-2009)は主に粘性土を対象として、非圧密非排水条件の下で行われる試験である。その試験結果は図-1のようなモール円で示される。その際、これらのモール円の共通の接線(破壊包絡線:図中の赤線に相当)の値が粘着力c、接線の勾配をせん断抵抗角φとして求められる。

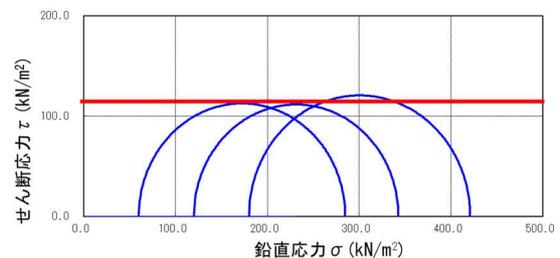


図-1 土の三軸圧縮試験(UU)結果の例(1)

一方、砂分が多く含まれる試料や不飽和の試料の場合には前述の水平な破壊包絡線ではなく、図-2のような傾きを持った破壊包絡線が得られることがある。

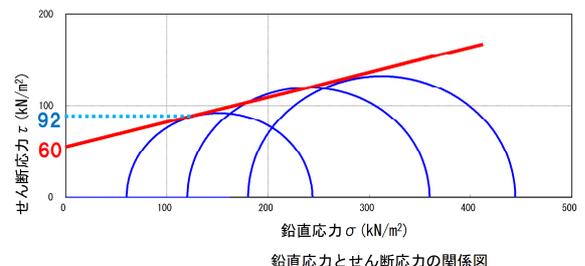


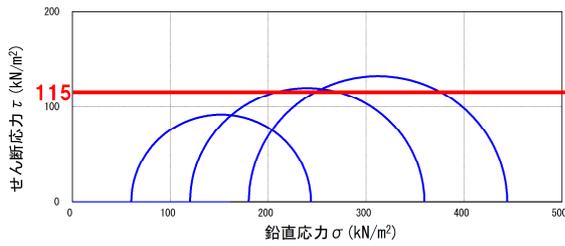
図-2 土の三軸圧縮試験(UU)結果の例(2)

図-2のような試験結果の場合、φ_{UU}、c_{UU}として地盤定数に設定すれば問題は無いが、上記のφ=0法の観点から、そのままφ=0(°)として粘着力をc=60(kN/m²)とい

う結果を出している例が多く認められる。

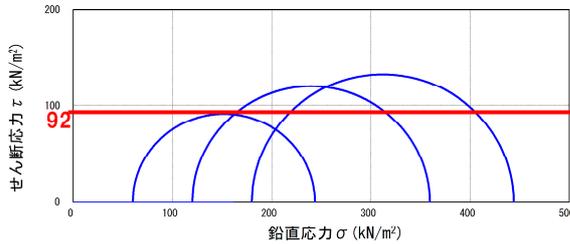
しかし、この結果では図中の最も小さなモール円の92 (kN/m²)よりも小さな値となってしまう、地盤の強度を過小評価しており、この値を設計で使用すれば過剰設計となる危険性が高い。

このような場合のモール円の整理方法の一例として図-3を示す。φ=0法を適応する場合、モール円の段階からφ=0とする必要がある。各モール円の平均値を粘着力cとし、包絡線をφ=0(水平線)で求める。その結果、c=115 (kN/m²)となり、図-2で求めた粘着力cと比べて大きな値を得ることができた。



鉛直応力とせん断応力の関係図
図-3 土の三軸圧縮試験(UU)結果の例(3)

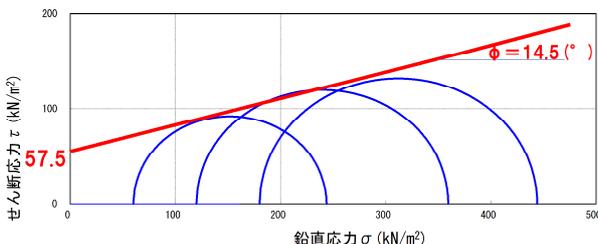
また、図-4のように安全側の見地から最小のモール円の値を粘着力cとして採用する方法も考えられる。この場合、粘着力c=92 (kN/m²)となる。この手法は、データが大きくばらつく場合などに有効である。



鉛直応力とせん断応力の関係図
図-4 土の三軸圧縮試験(UU)結果の例(4)

(2) 土の三軸圧縮試験(CD)

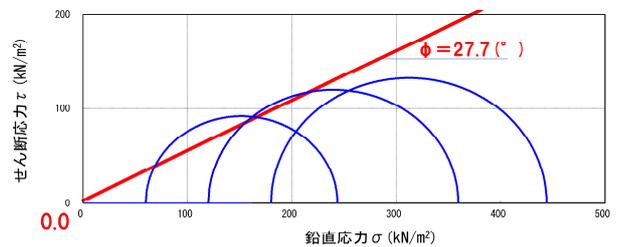
土の三軸圧縮試験(CD)(JGS 0524-2009)は主に飽和した砂質土を対象として、圧密排水条件の下で行われる試験である。その試験結果は図-5のようなモール円で示される。その際、これらのモール円の共通の接線(破壊包絡線: 図中の赤線に相当)は最小二乗法を用いて求められ、相関式からせん断抵抗角φおよび粘着力cが算出される。



鉛直応力とせん断応力の関係図
図-5 土の三軸圧縮試験(CD)結果の例(1)

この時、図-5に示すような試験結果では粘着力cが得られている。この結果をφ_{CD}、c_{CD}としてそのまま地盤定数に設定すれば問題は無いが、上記のc=0法の観点から、そのままc=0 (kN/m²)とし、せん断抵抗角をφ=14.5(°)としている例が多く認められる。これではφ=14.5°という非常に低い強度を示しており、地盤強度を過小評価し、この値を設計に使用すれば過大設計となる危険性が高い。

この場合の強度の算定方法を、一例として図-6を示す。図-6の場合、粘着力cである切片を0 (kN/m²)とし、各モール円の平均的な破壊包絡線を引き、そこからせん断抵抗角φを算出した。その結果、φ=27.7(°)となり、図-5で求めたせん断抵抗角φよりもより大きな値を得ることができた。



鉛直応力とせん断応力の関係図
図-6 土の三軸圧縮試験(CD)結果の例(2)

また、もう一つの手法として、図-7のように最も鉛直応力の大きいモール円を用いてせん断抵抗角φを求める手法もある。この手法ではせん断抵抗角φ=25.0(°)という値を得られた。但し、この手法を用いる際には、鉛直応力によっては元の式より危険側になる可能性があることに留意する必要がある。

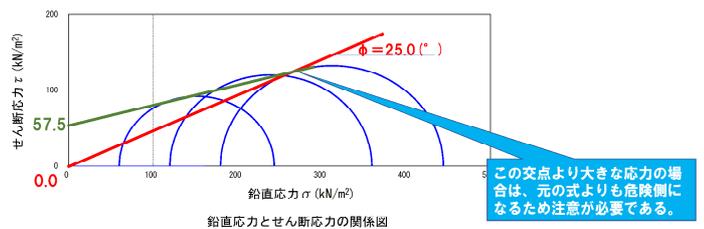


図-7 土の三軸圧縮試験(CD)結果の例(3)

4. まとめ

以上のように同じ試験結果であっても、解釈の違いからそれぞれ異なる値が得られることが分かる。この他にも、透水係数の平均の仕方や、三軸CUB試験の全応力と有効応力の使い分けなど、手法や解釈を間違えてしまう例が多く認められた。我々技術者はそれぞれの試験法や解析法を熟知し、特にデータ整理や地盤定数の設定方法には細心の注意をもって、地盤に応じたそれぞれの手法で検討する必要がある。

参考文献

1) 地盤材料試験の方法と解説 2020 12