

不透水材の種類と準備方法が与える透水係数の確認

中部土質試験協同組合○竹内 啓介、法安 章二

1. はじめに

不攪乱試料を用いた土の透水試験において、供試体の成型が困難な場合は周囲を不透水材で止水し、透水円筒との間を充填することで供試体の透水係数の計測を行っている。特に緩い砂質土や中間土の場合、飽和過程や通水中に供試体内部に不透水材が侵入し、透水係数に影響を与えることが懸念される。

本研究では、砂と粘土、緩詰めと密詰め、の供試体を作製し、不透水材と準備方法を変化させた場合の透水係数および作業性に与える影響について検討した。

2. 試験試料と作製条件

今回の実験では、三河珪砂 6 号と青粘土を乾燥重量比 1:9 および 9:1 の 2 種類で混合したものを用意した。それぞれを試料 A および試料 B とした。これらの試料の粒度分布を図-1 に示す。更に、各試料で密度の異なる供試体を用意し比較した。緩詰めと密詰め、砂質土と粘性土の極端な条件を採用し、透水係数の傾向を明確に把握できるようにこのような条件とした。

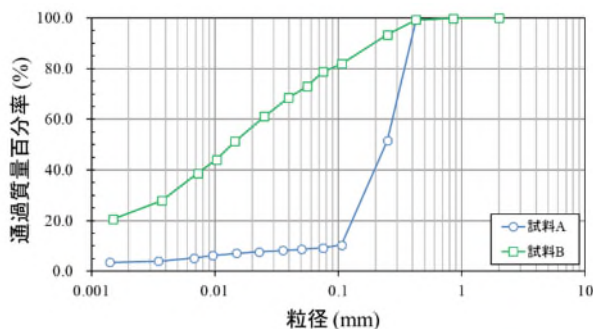


図-1 各混合試料の粒度分布

実験を始めるにあたり、事前準備として突固めによる土の締固め試験(A-c 法)¹⁾を実施した。

今回の実験では、試料 A と試料 B を最適含水比(試料 A: $w_{opt}=17.7\%$ 、試料 B: $w_{opt}=15.9\%$)に調整し、締固め度 80%(緩詰め)と 95%(密詰め)の 2 パターンで作製した。締固め度毎に A-1～B-2 まで下記の通りに設定した。

- ・試料 A(砂質土)： ・ A-1 (80%) ・ A-2 (95%)
- ・試料 B(粘性土)： ・ B-1 (80%) ・ B-2 (95%)

各パターンの乾燥密度をまとめたものを表-1 に示す。

表-1 供試体作製時の乾燥密度

乾燥密度(g/cm ³)			
試料 A-1	試料 A-2	試料 B-1	試料 B-2
1.309	1.554	1.361	1.616

3. 試験方法

今回の実験では、試料 A と試料 B に対して異なる飽和方法と透水試験方法を適用した。砂分が主成分の試料 A では、供試体の底部から水を浸透させることによって飽和、定水位法を用いて計測を行った。また、細粒分が主成分の試料 B では、真空ポンプを使用して水浸脱気、変水位法を用いて計測を行った。²⁾

供試体サイズは直径 50mm、高さ 100mm で作製し、透水円筒はそれよりも大きな直径 100mm、高さ 127.3mm のものを使用した。不透水材にはパラフィン(蠟に松やにを混合したもの)とベントナイトを用いた、これらを用いて透水試験を 4 通りの準備方法で実施した。

また、透水係数への影響を比較するにあたり、不透水材を使用せず透水円筒の容器サイズのままで供試体を作製した透水試験結果を基準値として用いることとした。

(1)方法 1:パラフィンのみで充填

パラフィンを 2 層に分けて供試体と透水円筒の間に流し込み、固化するまで静置した。

(2)方法 2:練ったベントナイトのみで充填

水で練ったベントナイトを供試体と透水円筒の間に充填し、飽和過程で供試体上端を覆わないようにした。

(3)方法 3:練ったベントナイトの両端をパラフィンで覆う

下部にパラフィンを流し込み、その上に練ったベントナイトを充填する。その後上からパラフィンを流し込んで上端を覆う。

(4)方法 4:粉体のベントナイトの両端をパラフィンで覆う

方法 3 の練ったベントナイトの代替えとして、粉体のベントナイトを用いた。

これらの準備方法の一例としてパラフィンで覆った上端側の様子を写真-1 として示す。いずれの方法においても透水円筒の中心に供試体を置き、その周囲を不透水材で充填したものとなっている。



写真-1 パラフィンで覆われた上端の様子

4. 試験結果と各種作業性について

最初に、透水試験結果をまとめたものを表-2に示す。表内の基準値よりも透水係数が小さくなったものは赤色、大きくなったものは青色で示している。各準備方法における作業性については、作業時間および不透水材の扱いやすさ(供試体への接触・影響)の観点から評価した。

表-2 各種準備方法毎の透水係数一覧

方法	透水係数(m/s)			
	試料 A-1	試料 A-2	試料 B-1	試料 B-2
基準値	5.97×10^{-5}	7.78×10^{-6}	2.29×10^{-7}	3.29×10^{-8}
方法 1	6.02×10^{-4}	4.45×10^{-5}	4.68×10^{-5}	2.43×10^{-5}
方法 2	3.65×10^{-6}	4.97×10^{-6}	1.68×10^{-8}	1.67×10^{-8}
方法 3	6.94×10^{-5}	6.65×10^{-6}	2.08×10^{-7}	3.68×10^{-8}
方法 4	1.14×10^{-5}	3.62×10^{-6}	3.04×10^{-7}	3.02×10^{-8}

方法1（パラフィンのみ）においては、透水係数が基準値よりも大きくなる傾向が見られた。これは、パラフィンが冷却・固化時に収縮し、透水円筒との間に隙間が生じたことが原因と考えられる。

作業性に関しては、不透水材が直接供試体に接触しないため、供試体損傷のリスクが低い。作業はパラフィンを流し込む工程と固化を待つのみであり、手間は少ない。ただし、透水係数が大きく計測されている可能性がある。

方法 2（練ったベントナイトのみ）の試験結果では全体として透水係数が基準値より小さい値になる傾向が見られ、最大で 10 倍の差が確認された。試験後に供試体を確認したところ、膨潤したベントナイトが供試体の上端を覆うような状態で広がっており、水の流れが遮られることで透水係数が小さく計測されている可能性がある。

方法 3（練ったベントナイトの両端をパラフィンで覆う）では基準値に近い試験結果を得られた。地盤材料試験の方法と解説によると、円筒と供試体の隙間をペースト状の止水剤で密封する、止水剤はパラフィンと松やにを等量混合したものを何層にも塗布すると表記されている。²⁾ 方法 3 はこの方法に沿って実施している。

両端をパラフィンで覆うことにより、飽和過程や試験中に膨潤したベントナイトが上端を覆うのを防ぎ、方法 1 で確認された見えない隙間を膨潤したベントナイトが埋めることで、問題点を相互に解決できており、4 つの準備方法の中で測定精度がもっとも優れていた。

方法2および方法3(練ったベントナイト使用)では、不透水材の粘性のため、充填時に供試体の側面に付着しやすく、供試体の巻き込みや変形が発生する可能性がある。また、慎重な設置作業が必要であり、全体に作業時間が長くなる傾向がある。

さらに、ベントナイトが作業台や器具などに付着しや

すく、扱いづらさもあるが、試料の性質に関わらず方法 3では高い測定精度が確認できている。

方法 4（粉体のベントナイトの両端をパラフィンで覆う）は、試料 A の 2 条件（特に A-1）において透水係数が大幅に小さくなった。一方で、試料 B では基準値に近い値が得られた。

試験後に透水円筒内の状態を確認したところ、水浸飽和を行った試料 A では粉体のベントナイトが十分に飽和されず、供試体に一部が混入していた。一方、水浸脱気を用いた試料 B では、ベントナイト部分まで十分に飽和され、方法 3 と同様の効果が得られたと考えられる。

作業性の観点から見ると、粉体には粘性がないため、供試体との接触が起こりにくく、作業が容易で再現性が高い。供試体の上端に付着することに注意すれば、供試体の損傷リスクも低く抑えられる。供試体の種類や飽和方法によって性能に差異が生じることはあるが、正しく取り扱えば、作業性と性能の両立が可能である。

これらの結果から、不透水材の種類および準備方法が透水係数に顕著な影響を与えることが明らかとなった。特に、パラフィンのみの使用では隙間の発生によって透水係数が大きく計測され、ベントナイトのみを使用した場合は上端を不透水材が覆うことで小さく計測される可能性が示された。一方で、ベントナイトとパラフィンを組み合わせた方法（方法 3 および方法 4）は、試料や飽和方法によって結果にばらつきが出るものの、特に方法 3 については安定した透水係数が得られた。

5. まとめ

本研究では、不攪乱の供試体を想定し、透水試験における不透水材の種類と準備方法が測定結果に与える影響について検討した。パラフィンとベントナイトを用いた4通りの準備方法にて、それぞれの透水係数および作業性について比較・評価を行った。

試験の結果、不透水材の種類および準備方法が透水係数に大きく影響を与えることがわかった。条件によっては正確な測定が困難であることが示されたが、ベントナイトとパラフィンを併用した方法3にて最も安定した結果を得ることができた。作業性については、供試体への影響が小さく、作業性に優れる方法もあったが、試験精度との両立ができない方法もあった。作業性を優先すると、精度が低下する可能性もあるため、手間を惜しまないことも大切である。

今後は本研究の成果を踏まえ、より精度の高い透水試験を実現するための不透水材の選定および準備方法の効率化に向けて検討をしていく予定である。

《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 1 回改訂版]、pp393-396、2020
- 2) 地盤工学会:地盤材料試験の方法と解説[第 1 回改訂版]、pp467-471、pp473 2020

沈降分析浮ひょう読取り自動化システムの開発

(協)関西地盤環境研究センター ○三好 功季, 中山 義久, 八谷 誠,
松川 尚史, 藤村 亮, 細川 奏太

1. はじめに

土の粒度試験 (JIS A 1204) は 1950 年に制定され、ふるい分析 (粒径が 75mm～75μm) および沈降分析 (75μm 未満) で実施される¹⁾。制定から約 75 年が経過した現在においても、沈降分析の試験方法は大きく変わることなく運用されている。沈降分析では、試験開始から 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ず、さらに開始後 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課題が存在する。

筆者らはこの課題を解決すべく、7 年前より粒度試験 (沈降分析) における浮ひょう読取りの自動化について取り組んできた。成果として、浮ひょうの頭部変位をレーザー測器で読取り、浮ひょう読み値に変換することを可能にした²⁾。さらに 2024 年度には中小企業団体中央会の補助金を活用し、『レーザー測器を用いた沈降分析浮ひょう読取り自動化システム』 (=沈降くん) として開発を進め、実用化が可能になったので報告する。

2. 自動化システムの測定概要

自動化システムの全体構成は写真-1に示す通りである。本システムでは、従来の試験器具とは異なり、レーザー測器を専用の固定器具により机上に直接設置し、1 台の机に最大16台のレーザー測器を取り付ける構成としている。これにより、複数試料の同時測定が可能となり、試験処理能力の向上が図られた。

従来の実証実験では、浮ひょう頭部にレーザーを照射するためにターゲット板を貼り付けていたが、今回のシステムでは、浮ひょう頭部を平坦に改良し、黒色絵具を塗布することにより、ターゲット板を使用せずとも安定した測定が可能となった (写真-2)。

また、浮ひょうの浮遊防止 (揺れ止め) としては、木製 (黒檀) のフタを採用している (写真-2)。これが試験結果に与える影響については、過年度の研究により有意な差がないことを確認している³⁾。

測定開始は、操作スイッチの押下により自動的に攪拌カウンタダウン (60秒) が開始され、その後レーザーによる測定が自動でスタートする。試験中の測定状況は卓上モニターにリアルタイムで表示されるため、攪拌後に浮ひょうをメスシリンダー内に設置すれば、試験者はその場を離れても問題ない。なお、自動化システムにおけ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する。浮ひょうの出し入れが



写真-1 自動化システム

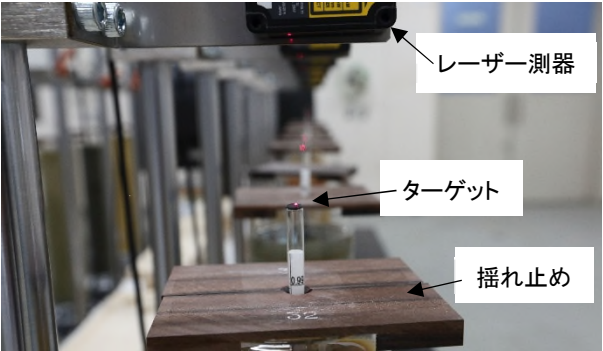


写真-2 測定状況

沈降分析に及ぼす影響についても過年度の研究により有意な差がみられない事を確認している³⁾。

本システムでは、測定時間ごとに浮ひょう頭部の高さをレーザー測器で読取り、整理ソフトにより浮ひょうの読み値に自動変換する。

3. JIS 法と自動化システムの比較試験結果

比較試験は物理的性質の異なる試料を7種類使用し、1試料を16台の試験機で沈降分析を実施した。表-1にはそれらの液性限界、塑性限界、塑性指数を示す。比較試験における試験方法は、従来通り炉乾燥質量に換算した約50gを分取し、1lの懸濁液にして試験を行った。JIS 法による試験を16台の試験機で実施した後、同一の懸濁液を用いて自動化システムによる試験を行った。これらを

表-1 使用した試料の物性値

試料名	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数
笠岡	57.5	21.7	35.8
荒木田	46.5	24.0	22.5
藤ノ森	39.8	19.7	20.1
カオリン	24.2	17.6	6.6
中間土①	37.2	17.7	19.5
中間土②	30.4	16.4	14
砂質土	NP	NP	NP

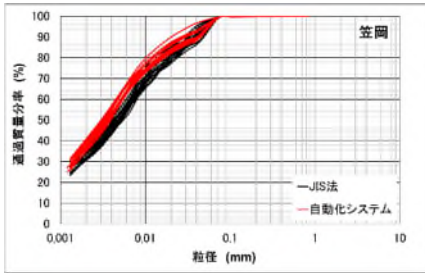


図-1 笠岡 粒径加積曲線

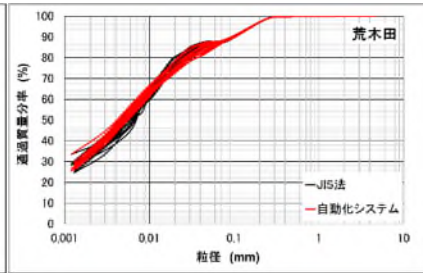


図-2 荒木田 粒径加積曲線

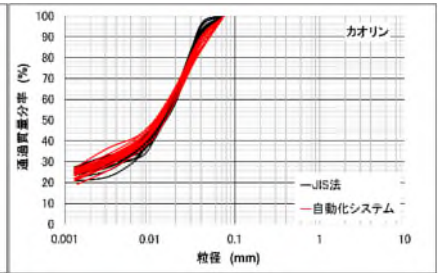


図-3 カオリン 粒径加積曲線

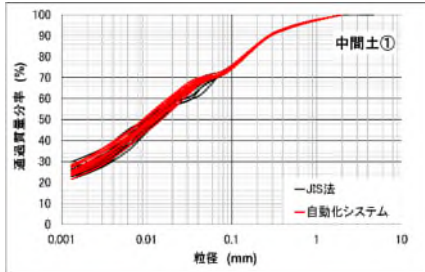


図-4 中間土① 粒径加積曲線

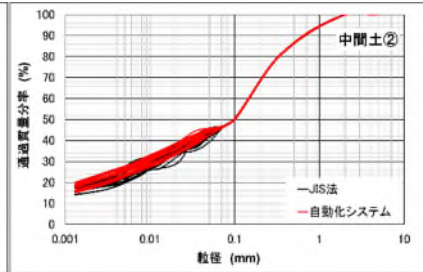


図-5 中間土② 粒径加積曲線

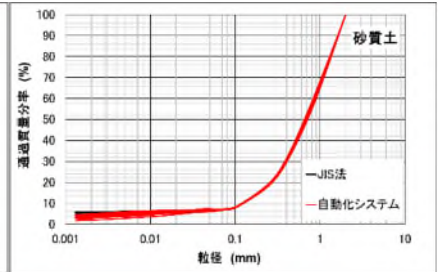


図-6 砂質土 粒径加積曲線

同時に行うことで、試料ごとのばらつきが除かれ、測定法の違いによる影響のみに着目できる。

図-1～6に今回用いた7試料のうち、代表的な6試料のJIS法および自動化システムの結果を示す。これらの結果から、JIS法と自動化システムから得られた粒径加積曲線に顕著な差はなく、ほぼ同等の結果が得られていることが確認できる。さらに、JIS法および自動化システム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、粒径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²⁾した(図-6)。この結果からもJIS法と自動化システムにより得られた通過率は、実用上無視できる程度⁴⁾であり、自動化システムを実務に供しても十分に信頼できる試験結果が得られることが確認された。

4. まとめ

中小企業団体中央会の補助金を活用し、レーザー測器を用いた沈降分析浮ひょう読取り自動化システムを開発した。本システムを実務に供するための検証を行い、実用化に向けて問題がないことを確認した。今後は、今年度中の実用化を目指して、さらなる改良と検証を進めていく予定である。

本システムを導入することで、従来のJIS法において試験者が長時間拘束されるという課題を大幅に軽減でき、作業の効率化・省力化が実現される。これにより、土質試験業務における働き方改革の推進にも大きく寄与することが期待される。

今後は、ソフトウェアの機能強化、測定対象土の拡張、さらには他の試験への応用を通じて、土質試験業務のさらなる効率化を目指したい。

5. 謝辞

本研究の一部は、2024年度中小企業団体中央会の補助

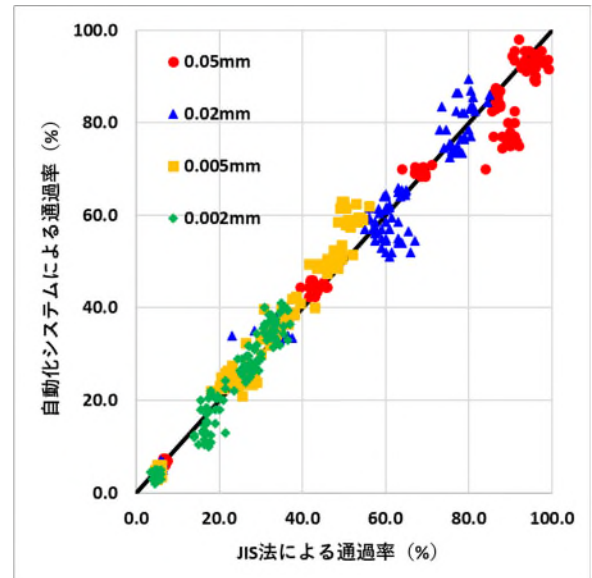


図-6 同一粒径での通過率の比較

金による助成を受けて実施したものである。ここに記して感謝の意を表する。

《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) 三好功季，藤村亮，松川尚史，中山義久，澤孝平，西形達明：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），全地連技術フォーラム2022論文集，論文No. 40，2022。
- 3) 三好功季，藤村亮，中山義久，松川尚史，澤孝平，西形達明：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，kansai Geo-Symposium2022論文集，pp. 241～244，2022。
- 4) 中山義久，日置和昭：土質試験結果のばらつき要因と技能評価，基礎工，Vol. 52，No. 9，pp. 90～93，2024。

高有機質火山灰土の安定改良試験

株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング東北支社 庄司正幸
株式会社シムラ ○志村智之

1. はじめに

高有機質火山灰土は、通常の締固めでは過転圧になる事に加え、盛土材への転用時に強度の確保に課題を持つことが多い特殊土である。本発表は安定改良によって必要強度を確保する材料試験と配合試験の手順と試験方法に経済的で効果的な手法を立案し、その結果を報告する。

土質の特徴や現場条件から施工含水比の調整は困難と考え、自然含水比での施工を前提とした。そのため、通常の締固め試験（A-c 法）での最適含水比や最大乾燥密度を求める試験では施工条件を反映できないと考えた。

試験では、セメント系固化材（US-60）の添加量と突固め回数を変えた締固め試験を行い、過転圧を防ぐ効果的な締固めエネルギーを求めた。そのエネルギーでの締固め土の密度を設定し、この密度に調整した改良土の一軸圧縮試験で強度を確認した。

その結果、標準プロクターエネルギーの約 65（%）での締固めと、固化材添加量 200（kg/m³）で、目標の室内強度 $q_u=200$ （kN/m²）（現場/室内強度比=0.5 として）を満足できた。この試験手順と方法は、現在地盤工学会で基準規格化されてはいない。今回の発表で今後の特殊土の試験に参考になればと考える。

2. 調査対象土の土質性状

(1) 対象土の土質性状

調査対象とした土の土質試験結果を表 - 2.1.1、表 - 2.1.2 に示す。また、粒径加積曲線を図 - 2.1.1 に示す。

表 - 2.1.1 物理的性質試験結果

項 目	試験結果
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.132
自然含水比 w_n (%)	363.49
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.085
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	0.234
間 隙 比 e	8.099
飽 和 度 S_r (%)	95.70
液性限界 WL (%)	118.50
塑性限界 WP (%)	26.80
塑性指数 IP	26.80
pH試験	5.89
強熱減量 Li (%)	40.0

自然含水比は、363.49（%）と非常に高含水比であり、湿潤密度も小さい。自然含水比は液性限界の3倍で不安定な土質である。間隙比は約8.1（%）と高く、飽和度は95.7（%）で保水性の高い土質である。強熱減量は40.0（%）で、高有機質土と判断される。

表 - 2.1.2 粒度試験結果と土質分類

項 目	試験結果
石分 G (%)	0.0
礫分 g (%)	2.4
砂分 S (%)	14.0
シルト分 M (%)	69.0
粘土分 C (%)	14.6
最大粒径 (mm)	9.5
均等係数 U (%)	21.50
土質分類	分類名
	分類記号
	砂混じりシルト
	(MH-S)

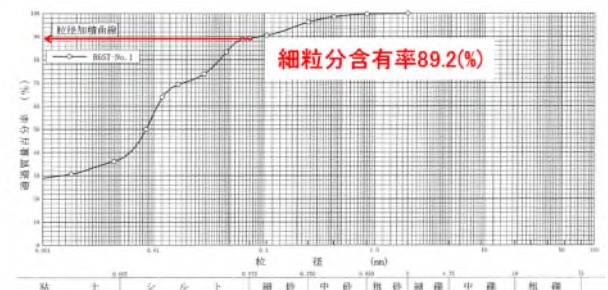


図 - 2.1.1 粒径加積曲線

(2) 対象土の強度特性と施工に向けての課題

地盤工学会の資料¹⁾に拠れば、締固めた土のコーン指数試験において、層当たりの締固め回数（N）とコーン指数 q_c の関係は、一般に図 - 2.2.1 に示す様な3つのタイプの曲線に分類している。3つのタイプの内、極大値を有する物を〔Ⅰ〕型、極大値を示さないで曲線が単調に減少する物を〔Ⅱ〕型に分類している。当該試料（無処理土）については、コーン指数が単調減少する〔Ⅱ〕型に相当すると判断された。

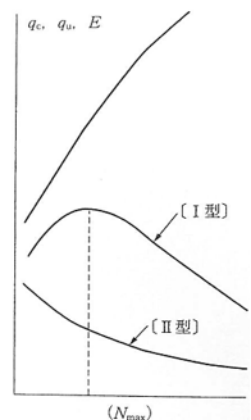


図 - 2.2.1 コーン指数試験による分類¹⁾

即ち、現場において、盛土に転用した際に転圧機械による転圧エネルギーが大きくなる程に強度低下する「過転圧」が懸念される土質であった。

このように、高含水比で過転圧が懸念され、盛土転圧時に施工機械のトラフィカビリティ確保が難しい状態であり、盛土において所要の強度を確保することは困難と想定された。従って、安定処理による土質改良は必須であった。安定処理配合試験における課題は、高有機質火山灰土の締固めにおける強度低下の問題であるが、この様な材料で経済的な固化材添加量とするために配合試験において念頭に置くべきことは、過転圧が生じない範

囲で効率的な締固めエネルギーで供試体を作製し、その土の持つポテンシャルを把握する事であると考えた。

3. 配合試験

(1) 供試体作製時の締固めエネルギー決定

課題に対応するため、配合試験においては、予め固化材添加量毎に締固めエネルギー（締固め回数）と湿潤密度、乾燥密度、コーン指数の相関を求めて、最も効率的な締固め条件（回数）を把握する事とした。即ち、図 - 3.1.1 に示す様な極大点を見つけ、そのエネルギーに対応する供試体を作製して一軸圧縮試験を行うことが、過転圧を避け、最も効果的な強度を確認できると考えた。

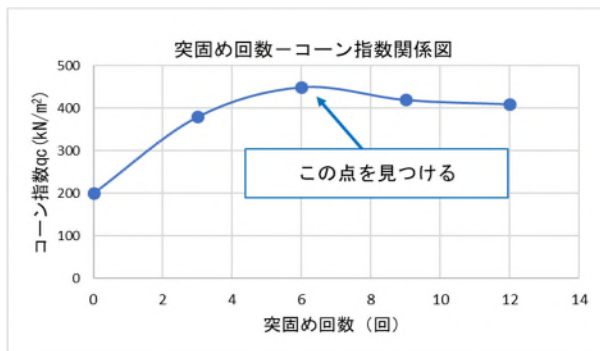


図-3.1.1 締固めエネルギー決定のイメージ図

締固めエネルギー決定の為の締固め試験における供試体作製条件は、表 - 3.1.1 に示すとおりである。

表-3.1.1 締固め試験条件

固化材	US60	締固めエネルギー (回/層)	(kJ/m³)
モールド体積	1000 (cm³)	5	110.4
ランマー質量	2.5 (kg)	9	198.7
落下高さ	30 (cm)	13	287.0
添加量	100 (kg/m³)	17	375.3
	150 (kg/m³)	21	463.6
	200 (kg/m³)	25	551.9
	250 (kg/m³)		

上記条件に従い、締固め試験を実施した結果を図 - 3.1.2 ～図 - 3.1.3 に示す。両図から、締固めエネルギーが300～400 (kJ/m³) で密度、強度共に概ね最大値を示し、その後は平衡状態を示す結果となった。

この結果で一軸圧縮試験用供試体は締固めエネルギー 375.3 (kJ/m³) での密度に調整して作製する事とした。

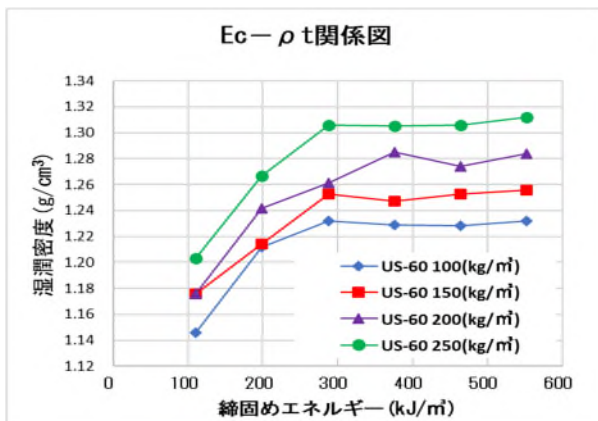


図-3.1.2 締固めエネルギー-湿潤密度の関係

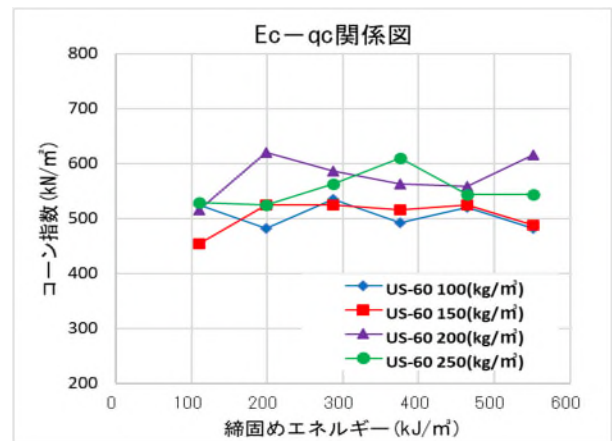


図-3.1.3 締固めエネルギー-コーン指数の関係

(2) 配合試験結果

定めた締固めエネルギーで供試体を作製し、標準養生後に1週強度、4週強度を求めた結果を図 - 3.2.1 に示す。

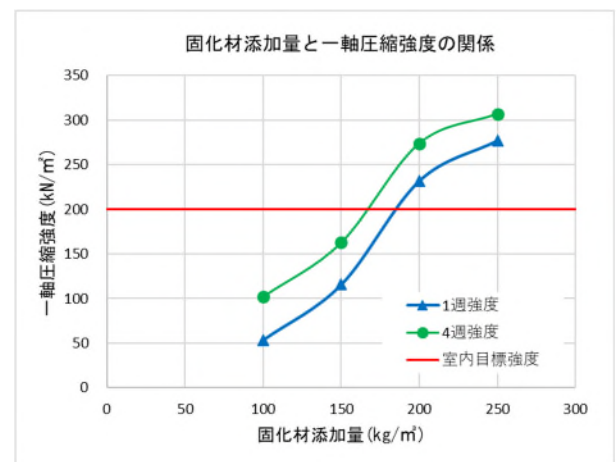


図-3.2.1 一軸圧縮試験結果

図-3.2.1 より、室内目標強度 $q_u=200$ (kN/m²) を満足する固化材添加量を200 (kg/m³) に設定した。

4. まとめ

高含水比の火山灰質土は、締固めエネルギーを与えずに泥濘化や過転圧による強度低下を起こすことが知られている。本報告では過転圧を防ぎ、かつ最も効果的な締固めエネルギーを把握した上で、配合試験を実施する事で効果的に強度を発現する固化材添加量を決める事ができると考えられる方法を紹介した。また、試験を通して以下のような知見を得る事ができた。

- ① 高有機質火山灰土の配合試験では、締固めエネルギーと密度やコーン指数の関係を把握することで、効果的で経済的な安定改良の計画を提案できた。
- ② 今後は、締固めエネルギーを変化させた締固め試験の基準化の必要性について更に考えて行きたい。

《引用・参考文献》

- 1) 地盤材料試験の方法と解説（2009）：公益社団法人地盤工学会, p. 974.
- 2) 地盤改良マニュアル第4版（2012）：社団法人セメント協会.

旧軍化学兵器の調査について

日本物理探鑑株式会社 ○金子 綾乃, 草野 晋子, 蟹江 大介, 林田 彩

1. はじめに

当社では国内および中華人民共和国における旧軍化学兵器の発掘・回収関連の調査業務に携わっている。

本稿では、化学兵器の概要及びその調査手順について紹介する。

2. 旧軍化学兵器について

化学兵器が本格的に使用されたのは第一次世界大戦時であり、日本陸軍は化学兵器の装備化を図るべく1914年に研究を開始した。その後1929年には大久野島の陸軍造兵廠忠海製造所で毒ガス製造が開始、1939年には満州関東軍部隊による中国大陆での化学戦研究が行われ、終戦までの間、化学兵器の製造や貯蔵が続けられた。

終戦後は化学兵器禁止条約に則り日本は毒ガス弾等の生産をしていないが、近年でも国内における旧軍化学兵器の発見事案がある。平成15年9月に環境省が行った調査によると、旧軍毒ガス弾等の生産・保有状況については全国で34か所、廃棄・遺棄状況については44か所の報告がされ、発見・被災・掃海等処理状況については823件の報告があった。

化学兵器には投下弾、砲弾、発煙筒タイプの他、ビンやドラム缶様の特殊容器に詰められた状態で発見されるものもある。旧日本軍が使用した化学剤を表-1に、旧日本軍化学兵器の一例を写真-1・2に示す。

表-1 旧日本軍化学剤の種類と急性症状

種類	物質名	急性症状
びらん剤 【さい剤】	硫黄マスタード (H) (イペリット) ルイサイト (L)	びらん、水疱、 目の痛みや充血、 呼吸困難（致死性）
くしゃみ剤 (嘔吐剤) 【あか剤】	ジフェニルシアノアルシン (DC) ジフェニルクロロアルシン (DA)	くしゃみ、咳、 嘔吐、眩暈、腹痛、 呼吸困難
催涙剤 【みどり剤】	クロロアセトフェノン (CN)	目・皮膚の痛み、 一時的な失明、 呼吸困難
窒息剤 【あお剤】	ホスゲン (CG)	目の痛み、 咳、胸部圧迫感、 呼吸困難
血液剤 【ちゃ剤】	青酸 (AC) (シアン化水素)	頭痛、動機、眩暈、 嘔吐、無呼吸

【】内は、旧日本陸軍における名称を示す。

写真-1 旧日本軍が使用した化学兵器¹⁾写真-2 日本国内で確認されたビン様の化学兵器²⁾

毒ガス弾等の存在に関する情報の確実性が高く、且つ、地域も特定されている事案をA事案³⁾と呼び、これに該当する区域は「A事案区域」とされる。次章ではこのA事案区域での安全確認調査の大まかな流れについて紹介する。

3. 調査手順紹介

(1) 化学兵器の調査

通常の不発弾探査であれば金属探知器等を用いての探査になるが、化学兵器を対象とする場合、写真-2のように金属容器を使用していないものが遺棄されている事例もある。そのため、化学兵器調査の際には金属探査だけでなく地中レーダ探査も併用する。(写真-3)

金属探知器はセンサが埋没金属に近づくと金属反応が検出され、それと同時に探査員に物の大きさや埋没深度に応じて音で伝達される。そのため、探査を行ったその場で検知点を落とすことができる。

地中レーダ探査は地下埋設物からの電磁波の反射を利用した探査法である。測線上を一定の速度で歩いて記録を測定し、その記録を解析して検知点を挙げる。



写真-3 金属探査(左)と地中レーダ探査(右)の様子

(2) 検知点確認時の対処

金属探査・地中レーダ探査の実施後、調査地の安全確認として検知点の掘削を行うが、地中で化学剤が容器から漏洩している可能性もある為、写真-4のような携帯型化学剤検知器を稼働させながら慎重に掘削を進める。検知器の中には化学剤ではない物質を化学剤と判定してしまう特性を持つものがあり、誤検知を防ぐために複数の検知器を併用して化学剤の有無及び種類を判断する。



写真-4 携帯型化学剤検知器

さらに、安全確認の際には防護装備一式を用意し、検知器が作動した際にはこれらを装着して作業に当たる。(写真-5)

掘削時に化学兵器らしき不審物が確認された場合は、掘り上げず掘削箇所をブルーシートで覆う等の飛散養生をして汚染の拡大を防止する。不審物の鑑定及び安全化処理等の作業は



写真-5 防護装備装着例

自衛隊・警察等の専門機関が担当する。

(3) 汚染発生時の対処

もし作業時に防護装備を装着した作業員や使用資器材に化学剤による汚染が生じた場合は、次亜塩素酸水溶液等を用いて汚染部をふき取り除染する。

除染の際には表-2に示す3つの汚染管理区域を厳格に設定することにより、作業員の安全を確保している。

表-2 汚染管理区域

名称	概要
ホットゾーン	化学兵器が存在する可能性がある付近一帯。携帯型化学剤検知器等で継続的に汚染の発生を監視。
ウォームゾーン	ホットゾーンとコールドゾーンの中間区域であるグレーゾーン。除染所を設置しコールドゾーンへの汚染拡大を防止。
コールドゾーン	化学剤による汚染が存在しない区域。

除染の際、作業員の動線はホットゾーン→ウォームゾーン→コールドゾーンとなり、ウォームゾーンでは除染作業そのものには関わらない作業員による安全確認を行う。

防護装備の装着および除染作業については、有事の際により安全でスムーズな動作ができるよう、社内教育等の訓練を行っている。

4. まとめ

終戦後80年を迎えようとする現在でも、A 事案区域等において旧日本軍が遺棄した化学兵器に遭遇する可能性があり、化学剤が機能を有していることは十分考えられる。

化学兵器は投下弾や砲弾のみでなく、ビン様の容器に詰められた状態でも発見されている。このように金属以外の容器で構成されている事例もある為、通常の不発弾が対象の調査とは異なるアプローチを用いて調査を行っている。

《引用・参考文献》

- 1) 遺棄化学兵器等：遺棄化学兵器処理担当室-内閣府（最終閲覧日2025年6月3日）
<https://wwwa.cao.go.jp/acw/heiki.html>
- 2) A 事案区域内における土地改変時の対応について-環境省（最終閲覧日2025年6月3日）p. 3
https://www.env.go.jp/chemi/gas_inform/pamph8/pamph8.pdf
- 3) A 事案区域内における土地改変時の対応について-環境省（最終閲覧日2025年6月3日）p. 1
https://www.env.go.jp/chemi/gas_inform/pamph8/pamph8.pdf