

突固め試験で得られた供試体の降伏応力について

中央大学	学生会員	○Nyein Hsu Wai
(株)日建設シビル	正会員	本田 道識
中央大学研究開発機構	正会員	石井 武司
中央大学	正会員	齋藤 邦夫

1. はじめに

盛土や埋戻土等の締固め工事では、突固め試験結果に基づいて施工時の品質管理仕様が決定される。これまで膨大な量の施工実績が積み重ねられてはいるが、施工中や施工後に、沈下や強度不足の問題がしばしば生じる。こうした不都合を避けるには、極力設計段階で品質管理仕様と力学特性の関連性を把握しておくことが望ましいと考えられる。

本報告では、突固め試験のモールドから採取した供試体で圧密試験を実施し、突固め試験によって供試体与えられる荷重履歴や締固め含水比の違いによる圧縮特性の違いを実験的に調べた結果を報告する。その上で、締固め曲線と水浸状態の飽和圧縮曲線から不飽和状態の降伏応力を推定する手法を提案し、その妥当性を確認した結果を示す。

2. 試験方法

2.1 試料：実験に使用した試料は、土木用粘土として人工調整されたトクレーである。試料の物性を表-1に示す。

表-1 試料の物性値

$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.73
$w_L(\%)$	30.0
$w_p(\%)$	22.5
I_p	7.5

2.2 突固め試験：初期含水比をおよそ5%に調整した試料に対し、JIS A 1210に準拠して突固め試験を実施した。また、比較のため締固めエネルギーを1/2.5にした試験も併せて実施した。両試験の締固め曲線を図-1に示す。

2.3 圧密試験：突固め試験の結果、締固め度 $D_c=100$ 、95、90および85%の密度を有する試料に着目し、圧密試験を実施した。図-1に、圧密試験に供した各試料の ρ_d-w 上の位置を示す。また、圧密試験は、突固めた試料を直に圧密試験に供する場合（非水浸試験）と24時間水浸した後に載荷する場合（水浸試験）の2通りを行った。

3. 圧密試験を実施する狙い

今回は文献1)と同様の視点で実験結果を整理する方針とする。試験における着目点の概念図を図-2に示す。

突固め試験においては、含水比の異なる供試体に対して

同じ荷重条件を与えて得られる密度の違いを調べる。最適含水比の乾燥側では、含水比の低下に伴って負の間隙水圧であるサクションが増加することにより、土粒子間のすべりが妨げられて、密度が小さくなると考えられる。最適含水比の湿潤側では含水比の増加に伴って飽和度が大きくなることにより、与えた荷重を間隙水が負担する割合が増える。その結果、土粒子骨格構造に伝達される荷重が減少し、得られる密度が小さくなると考えられる。非排水条件で実施されているため、含水比が高く、飽和度が高い領域では、間隙水の存在によって、与える荷重と土粒子骨格構造に伝達される荷重に差異が生じる。しかしながら、最適含水比の乾燥側のように含水比が低く飽和度が低い領域においては、間隙空気の圧縮もしくは排気による体積圧縮が支配的であるため、与える荷重と土粒子骨格構造に伝達される荷重はほぼ同じと考えられる。

このような考えに基づいた場合、最適含水比の乾燥側の締固め曲線の延長線とゼロ空隙曲線の交わる点

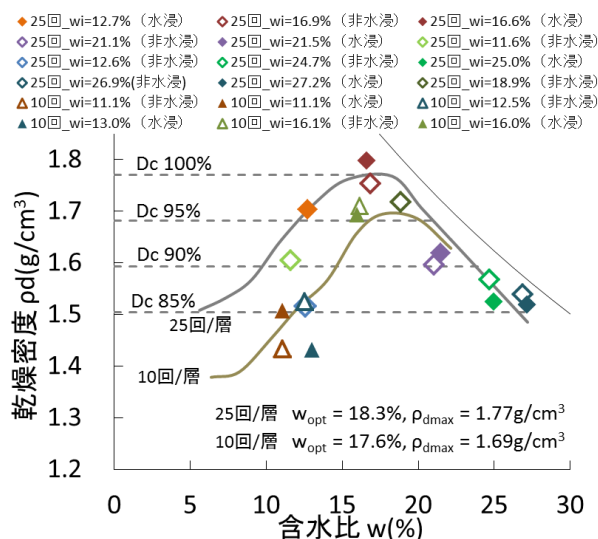


図-1 圧密試験の初期含水比と初期乾燥密度

キーワード 突固め試験 締固め土 圧密試験 降伏応力

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 地盤環境研究室 TEL. 03-3817-1804 E-mail: nsuwai@gmail.com

から得られる乾燥密度 ρ_a は、突固め試験で与えられた荷重履歴（≒先行圧縮応力）を有した飽和状態の乾燥密度と見なすことが、可能と考えられる。

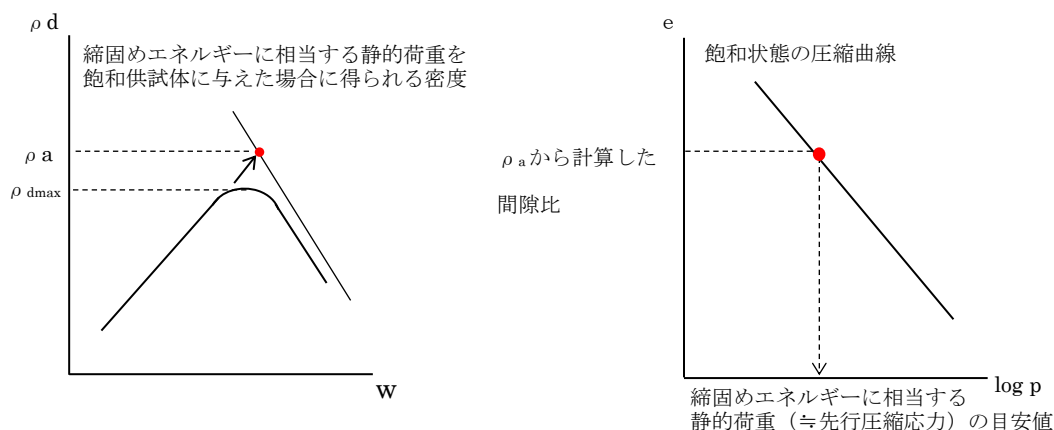


図-2 試験における着目点¹⁾

上記の仮説の妥当性を確認するために、以下の仮定に基づいて試験結果を図-3 のように整理をする。なお仮説②については、過去の研究成果²⁾により、飽和状態においては降伏応力が初期密度の増加とともに大きくなる傾向にあり、降伏後の圧縮曲線の傾きは供試体の初期状態によらず同じとなるという結果が得られていることを踏まえて設定している。図-3 の方法で推定した降伏応力と圧密試験における圧縮曲線から直接算出した降伏応力とを比較することにより上記の仮説の妥当性を確認する。

仮定①：不飽和状態の場合、乾燥側の締固め曲線の延長線とゼロ空隙曲線との交点における乾燥密度 ρ_a に相当する間隙比 e_a に達する上載荷重と概ね同じ値となる。

仮定②：飽和状態の場合、初期乾燥密度 ρ_b を有する供試体の飽和状態での降伏応力は、飽和状態の圧縮曲線上で ρ_b に相当する間隙比 e_b に達する上載荷重と概ね同じ値となる。

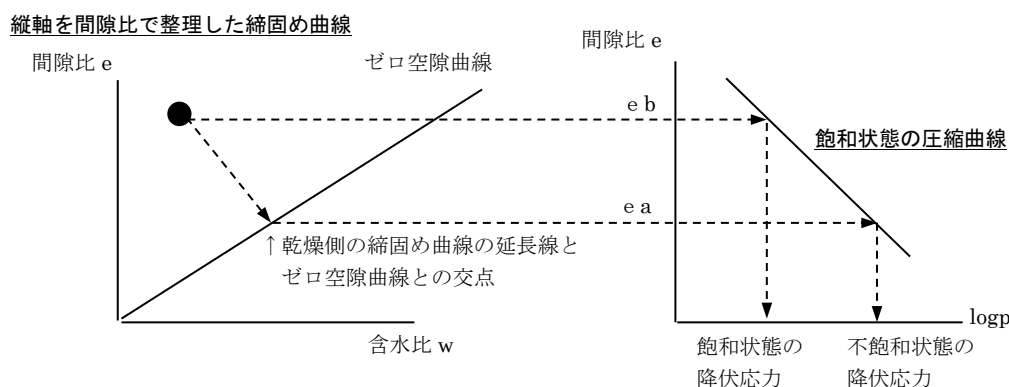


図-3 試験結果の整理方針

4. 試験結果

図-3 の考え方で整理した試験結果を図-4～8 に示す。右側の図の圧縮曲線において、乾燥側の非水浸状態の試験結果では降伏応力が高い値となっているが、水浸状態では乾燥側においても降伏応力が低くなっている。水浸によって土粒子間のすべりを抑制するサクションが消失した影響によるものと考えられる。湿潤側においては非水浸においても降伏応力が低い値を示している。湿潤側では飽和度が高くサクションが低いためと考えられる。

図-3 の考え方で乾燥側の締固め曲線の傾きと水浸状態の圧縮曲線を用いて推定した降伏応力は概ね圧縮曲線における変曲点のあたりを示している。なお、推定に用いる水浸状態の圧縮曲線は、今回得られた水浸状態の正規圧密領域の圧縮曲線ののうち 100～5000kPa あたりの範囲において最も代表的と考えられる図-6 の 25 回 $w_i=27.2\%$ (水浸) の圧縮曲線を採用し、それを全ての推定に用いた。

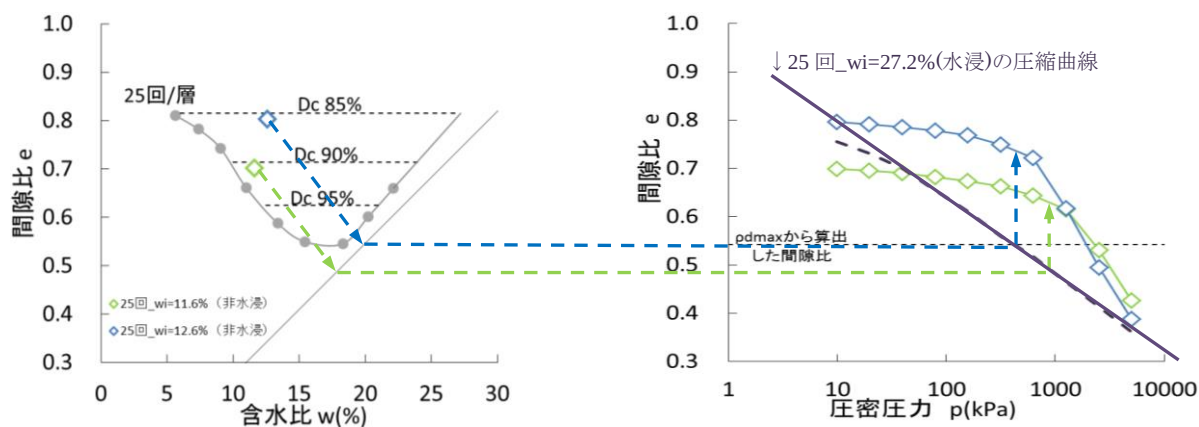


図-4 乾燥側_非水浸状態における降伏応力の推定結果 (突固め回数 25 回)

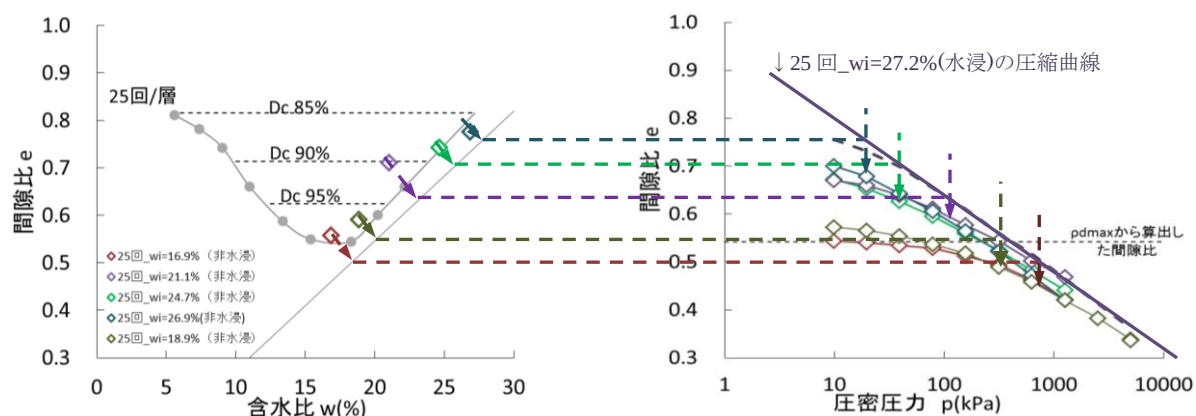


図-5 湿潤側_非水浸状態における降伏応力の推定結果 (突固め回数 25 回)

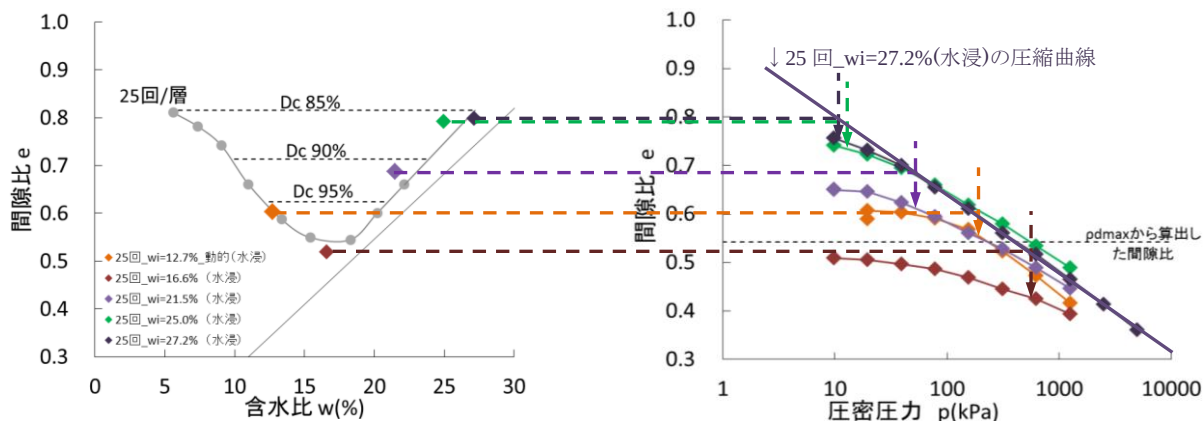


図-6 乾燥側、湿潤側_水浸状態における降伏応力の推定結果 (突固め回数 25 回)

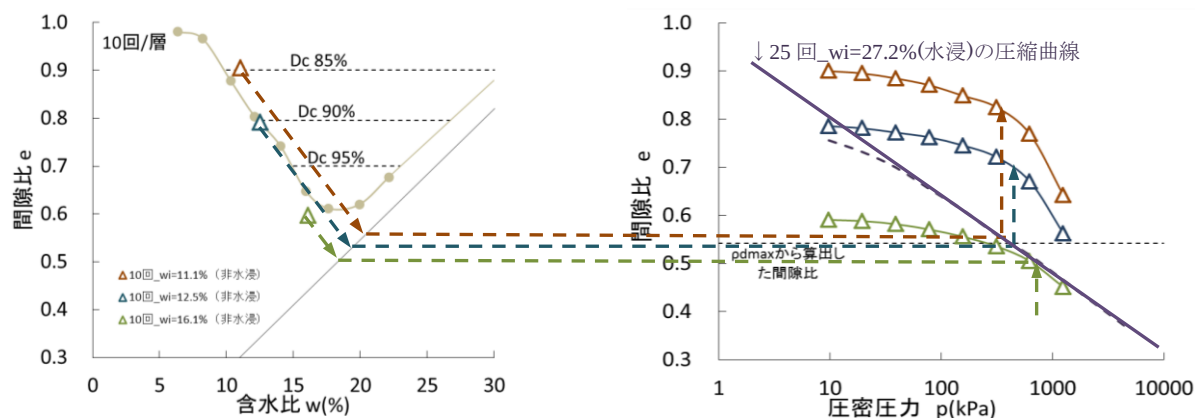


図-7 乾燥側_非水浸状態における降伏応力の推定結果 (突固め回数 10 回)

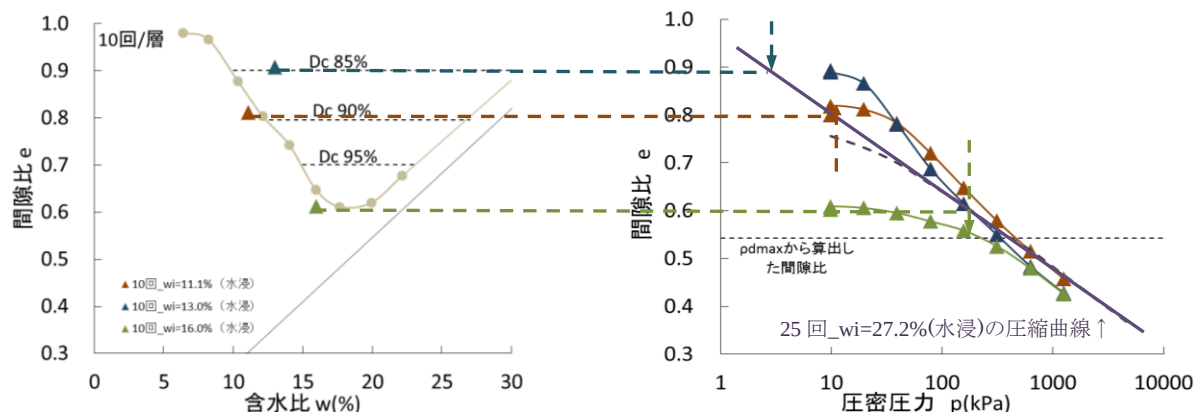


図-8 乾燥側_水浸状態における降伏応力の推定結果（突固め回数 10 回）

5. 降伏応力の推定方法の妥当性

圧縮曲線から三笠の方法³⁾を用いて直接算定した降伏応力と図-3の方法で推定した降伏応力を比較した結果を図-9に示す。なお $e \sim \log p$ 関係で整理される圧縮曲線の荷重は対数軸で整理されていることを踏まえて、対数軸で整理した結果を図-10に示している。実際の圧縮曲線から算定した降伏応力が高くなるにつれて、図-3の方法で推定した降伏応力も高くなる傾向を示しており³⁾における仮説はおおむね妥当と考えられる。

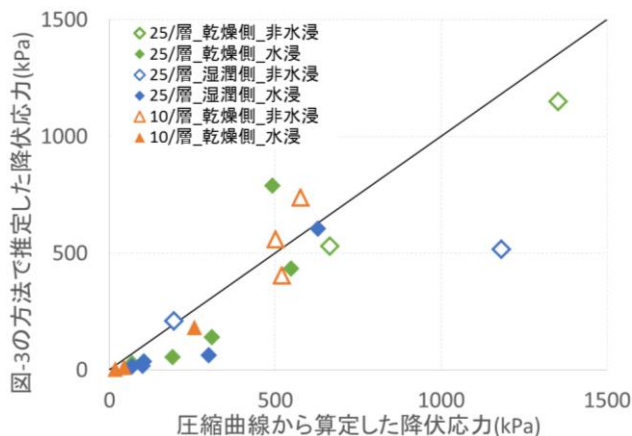
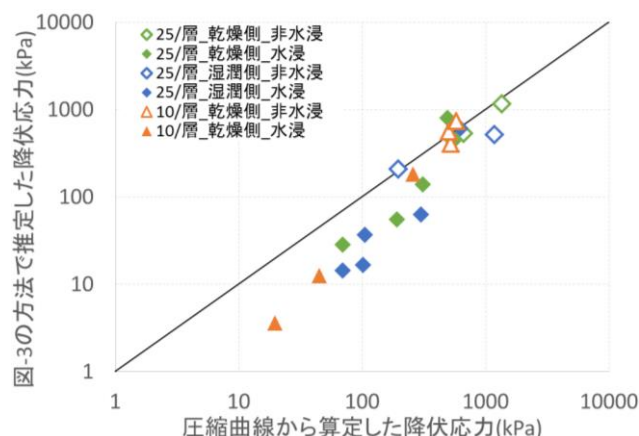


図-9 降伏応力の実測値と推定値の比較結果

図-10 降伏応力の実測値と推定値の比較結果
（両対数軸による整理結果）

6. まとめ

突固め試験のモールドから採取した供試体を用いて、非水浸と水浸状態の圧密試験を実施した。

実験結果に基づいて、締固め土における降伏応力の推定法の妥当性を確認したところ概ね妥当であることを確認した。今回の推定法は、水浸状態の降伏応力は初期密度に依存して決まること、最適含水比の乾燥側の供試体の荷重履歴は、締固めエネルギーが同じであればほぼ同じであることを仮定しており、これらの仮説はおおむね妥当と考えられる。

推定法に必要な土質試験は、従来から実施されている突固め試験と水浸状態の圧密試験の2種類である。今後異なる土質材料に対する適用性の確認や適用限界の把握等が必要であるが、設計段階の土質調査において水浸状態の圧密試験を実施しておくことで、締固め施工の品質管理に関する有益な情報を得ることができると考えられる。

参考文献

- 1) Nyein Hsu Wai ら：圧密試験結果にもとづいた締固め土の圧縮特性の把握：第12回地盤工学会関東支部発表会概要集：pp.195-198,2015.
- 2) 本田ら：締固め土の圧縮特性に関する評価手法の検討：土木学会論文集 No.806/III-73, pp.33-44, 2005.
- 3) 三笠：地盤工学会「地盤材料試験の方法と解説-2 分冊の1」 pp.467-469.