

二重管式標準貫入試験器による 粘性土地盤の密度測定精度の評価

藤原身江子¹・田平健二²・伊豫屋紀子³・奥山一典⁴・八木則男⁵

¹正会員 工博 株式会社ウエスコ 広島支社 (〒733-0006 広島市西区三篠北町 19-27)

²正会員 株式会社ウエスコ 岡山支社 (〒700-0033 岡山市島田本町 2-5-35)

³正会員 工修 株式会社ウエスコ 九州支社 (〒812-0016 福岡市博多区博多駅南 2-4-11)

⁴正会員 工博 株式会社ウエスコ 九州支社 (〒812-0016 福岡市博多区博多駅南 2-4-11)

⁵フェロー会員 工博 株式会社ウエスコ (〒700-0033 岡山市島田本町 2-5-35)

本報告では、二重管式標準貫入試験器による粘性土地盤の密度測定方法の提案を目的とした研究を行った。まず、二重管式標準貫入試験器で採取した粘性土試料の湿潤密度の測定方法を検討し、二重管式標準貫入試験器による粘性土地盤の密度測定方法を提案する。つぎに現場密度測定実験を行い、二重管式標準貫入試験器で採取した粘性土試料の各種測定値とシンウォールサンプラーで採取した粘性土試料のそれらと比較した。その結果、二重管式標準貫入試験器による湿潤密度、含水比、乾燥密度および細粒分含有率の測定値は、原位置のそれらをほぼ妥当に評価しており、提案法は十分実用に供することが判明した。

Key Words : split spoon sampler with built-in tube, standard penetration test, measurement of density, cohesive soil

1. はじめに

二重管式標準貫入試験器は、図-1 および写真-1 に示すように、標準貫入試験用サンプラー¹⁾の中に内径 35mm、外径 38mm、長さ 100mm の真鍮製中空管が装填できるように工夫されたサンプラーである。標準貫入試験時に本貫入試験器を使用すれば、中空管内に試料が格納され、N値の測定と共に簡易に原位置の湿潤密度、含水比等を測定できる。筆者らのグループは、二重管式標準貫入試験器による砂地盤の密度測定方法²⁾とその応用に関する研究^{3),4),5)}を行い、ある程度の成果を得た。応用の一つに、各種締固め工法による砂質地盤の改良効果の評価、すなわち改良前後の密度測定が考えられる。しかし、埋立地などの砂質地盤は砂だけではなく粘性土の層からも構成されていることが多いため、本密度測定方法の適用範囲を粘性土にまで拡張する必要がある。

飽和砂地盤の場合、①採取試料の乾燥密度は原位置のそれよりも大きくなる、②貫入試験器の引抜き過程の脱水によって採取試料の含水比は原位置のそれよりも小さくなるため、それらの補正が必要である。一方、飽和粘性土地盤では、砂地盤におけるような補正は必要なく、本貫入試験器を容易に適用できると思われる⁶⁾。

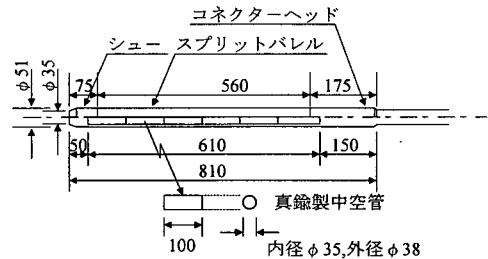


図-1 二重管式標準貫入試験器 (単位: mm)

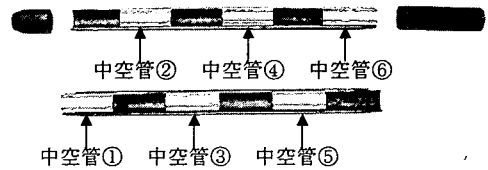


写真-1 二重管式標準貫入試験器

このような背景から、本報告では、海成粘性土を対象とし、二重管式標準貫入試験器による粘性土地盤の密度測定方法の提案を目的とした研究を行う。まず寒天試料を用いて、本貫入試験器により採取した試料の湿潤密度測定方法について検討する。つぎに二重管式標準貫入試験器による密度測定方法を提案する。最後に現場密度測定実験を行い、二重管式

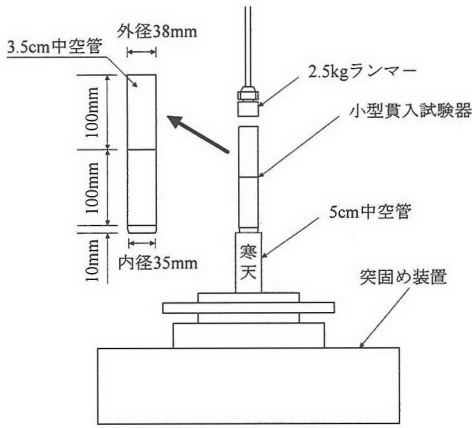


図-2 小型貫入試験器による試料採取

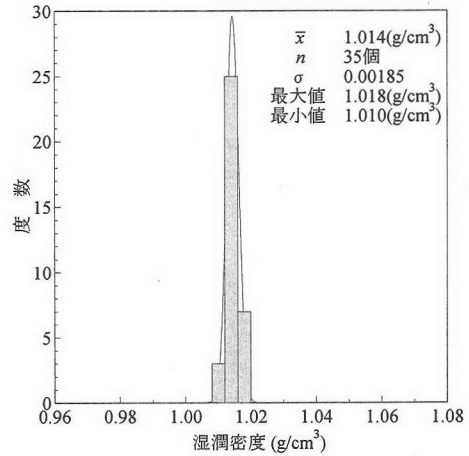


図-3 寒天地盤の湿潤密度の度数分布
(5cm中空管, 中空管法による)

標準貫入試験器による粘性土地盤の密度測定精度を評価する。

2. 採取試料の湿潤密度測定方法の検討

二重管式標準貫入試験器により採取した粘性土試料の湿潤密度測定方法には次の2つの方法が考えられる。①二重管式標準貫入試験器から取り出した中空管の両端面を直ナイフで成形し、質量を測定する。中空管の質量と容積から湿潤密度を求める(中空管法と称す)。②中空管の両端面を直ナイフで成形した後、中空管より粘性土試料を抜き出し、抜き出された粘性土試料の湿潤密度をノギス法⁷⁾で求める。

試料の湿潤密度を求める場合、いずれの方法においても、円柱状試料の質量測定および長さ(直径, 高さ)の測定を行って試料の体積を得る必要がある。湿潤密度の誤差は、長さの測定誤差による影響が大きく、質量の測定誤差による影響は無視し得る。また、長さの測定誤差は、試料の材質が軟らかいほど大きくなることが判っている⁸⁾。中空管法の場合、中空管の容積を試料の体積とみなすため、中空管の高さと内径をノギスで測定することになる。中空管の材質は粘性土よりもはるかに硬い真鍮であるから、中空管法における長さの測定誤差は、ノギス法のそれよりも小さくなると予測される。

本章では、上記2つの方法で求めた湿潤密度の測定精度を、以下の実験により検討する。

(1) 実験用材料と実験方法

実験用材料には、手軽に均質な実験用地盤を作製できる粉末寒天⁹⁾を用いることにした。実験に用いた濃度5%の寒天試料の変形係数は0.183MN/m²、一

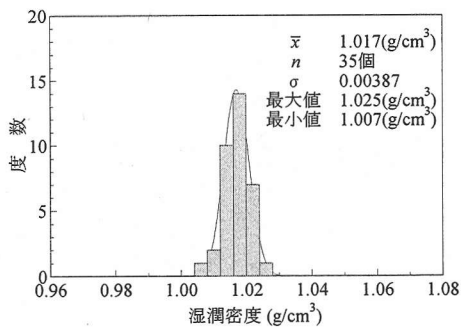
軸圧縮強さは24.41kN/m²である。また、作製した寒天地盤から採取した円筒状試料の長さ(直径, 高さ)の測定誤差は、粘性土試料のそれと同程度である⁸⁾。

実験用の寒天地盤をつぎのようにして35個作製した。粉末寒天を濃度5%になるよう計量し、弱火で30分間煮溶かす。内径49mm, 外径51mm, 長さ120mmの真鍮製中空管(5cm中空管と称す)3本をビニールテープで固定し、その中に煮溶かした寒天溶液を注入する。寒天溶液注入後、室温20℃に保たれた実験室内に約3時間静置する。中空管固定用のビニールテープを取り除き、両端の中空管をワイヤソーで切り離す。残った5cm中空管内の寒天の湿潤密度を中空管法で測定する。

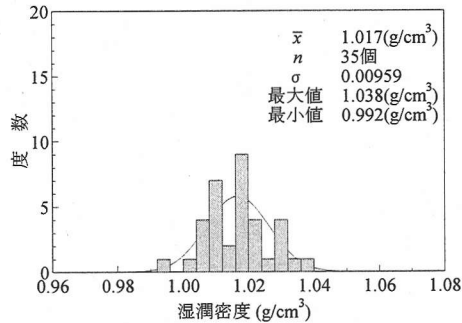
5cm中空管内に作製した寒天地盤からの寒天試料の採取および湿潤密度測定方法はつぎのとおりである。湿潤密度測定が終了した5cm中空管を突固め装置の台上に固定する。つぎに、内径35mm, 外径38mm, 長さ100mmの真鍮製中空管(3.5cm中空管と称す)2個と小型シューをビニールテープで固定して小型貫入試験器を作製する。この小型貫入試験器を図-2に示すように5cm中空管の寒天の表面に設置し、2.5kgのランマーで圧入する。その後、ビニールテープを取り除き、3.5cm中空管をワイヤソーで切り離し、3.5cm中空管に採取された寒天の湿潤密度を中空管法で測定する。湿潤密度測定後、中空管から寒天を抜き出し、抜き出された寒天試料の湿潤密度をノギス法により測定する。

(2) 実験結果と考察

図-3は中空管法で求めた寒天地盤の湿潤密度を度数分布の形に整理したものである。図中の \bar{x} は測



(a) 中空管法で求めた寒天試料の湿潤密度



(b) ノギス法で求めた寒天試料の湿潤密度

図-4 3.5cm 中空管に採取された寒天試料の湿潤密度の度数分布

定値の平均値、 n は測定値の個数、 σ は標準偏差を示している。このような記号表示は以下も同じである。なお、湿潤密度の測定値は χ^2 適合度検定の結果、有意水準5%で正規分布に従うことが確認されている。

図-3より、5cm 中空管内に作製した寒天地盤の湿潤密度のバラツキは極めて小さく、均質に寒天地盤が作製されていることがわかる。

図-4(a)、図-4(b)に、3.5cm 中空管に採取された寒天の湿潤密度の度数分布を示す。図-4(a)は中空管法で測定した場合の度数分布であり、図-4(b)はノギス法で測定した場合の度数分布である。 χ^2 適合度検定の結果、それぞれの度数分布は有意水準5%で正規分布に従うことが確認されている。

図-3と図-4(a)を比較すると、どちらも中空管法で測定した寒天試料の湿潤密度の度数分布であるが、図-4(a)の \bar{x} と σ は図-3のそれらよりも大きい。 \bar{x} については、5cm 中空管内に作製された寒天地盤から3.5cm 中空管による試料採取時の若干の脱水によるものであろう。 σ については、試料体積が小さくなるため、長さ(直径、高さ)の測定誤差の影響が大きく現れたと考えられる⁸⁾。

図-4(a)、図-4(b)をみると、中空管法で測定し

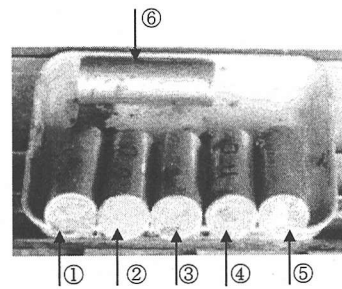


写真-2 試料採取状況

(写真中の番号は写真-1に対応している)

た寒天試料の湿潤密度の \bar{x} はノギス法のそれに等しいことがわかる。一方、中空管法で測定した寒天試料の湿潤密度の σ の方がノギス法のそれよりも小さいことがわかる。なお、中空管法で測定した湿潤密度の分散とノギス法のそれに有意な差があるかを F 検定によって調べた結果、有意水準5%で有意な差が認められた。このような結果になった主な原因は、前述したように、中空管の材質が粘性土よりもはるかに硬いことによると考えられる。

以上より、二重管式標準貫入試験器を用いて採取した試料の湿潤密度を求める場合には、①標準偏差 σ が小さい、②質量などの測定が容易である、③採取した試料を運搬・保管し易いことなどから、中空管法を適用するのが有効であろう。

3. 密度測定方法の提案

上記の結果から、二重管式標準貫入試験器による飽和粘性土地盤の密度測定方法を以下のように提案する¹⁰⁾。なお、粘性土は海成粘性土を対象とする。
①ボーリングロッドに二重管式標準貫入試験器を接続し、土の標準貫入試験方法(JIS A 1219-1995)¹⁾にしたがって試験を実施する。

②標準貫入試験終了後、慎重に二重管式標準貫入試験器を引き上げ、シューおよびコネクターヘッドを取り外し、スプリットバレルを二つに割る。

③先端から3番目までの中空管を慎重に取り出し、両端面をエッジナイフで成形する。

④試料が詰まった中空管の質量を測定する。なお、中空管の質量、容積は予め測定しておく。

⑤質量測定後、中空管をラップフィルムやビニール袋などに入れて密封する。残りの試料が詰まった状態の中空管も同様に密封する。

⑥新しい中空管を二重管式標準貫入試験器にセットし、削孔後、①からの作業を繰り返す。

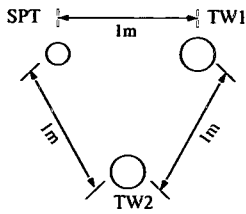


図-5 水平方向の調査位置関係

⑦所要の作業終了後、試料を密封した状態で慎重に試験室へ持ち帰り、中空管ごとに含水比試験を実施し原地盤の乾燥密度を算定する。

⑧各種土質試験を実施する。

次章の現場密度測定実験では、掘削孔底から予備打ち15cm、本打ち30cm、後打ち5cmの標準貫入試験を行った。その結果、写真-2に示すように、全ケースで二重管式標準貫入試験器の先端から5番目の中空管まで粘性土が侵入し、4番目の中空管まで確実に試料採取できた。そこで採取した試料の湿潤密度および含水比は、先端から3番目の中空管までに採取された3個の試料より求めた各値の平均値とする。

4. 現場密度測定精度の検証

(1) 現場密度測定実験

a) 実験サイトの概要

実験サイトは沖積世の海成粘性土が5~11m程度

堆積している瀬戸内海沿岸の岡山市内、広島市内および岡山県瀬崎町内の3箇所である。現場密度測定実験はこの海成粘性土層を対象として実施した。密度測定実験では、シンウォールサンプラーで採取した乱さない試料から求めた湿潤密度、含水比および乾燥密度等を原位置のそれらとし、二重管式標準貫入試験器による各種測定結果と比較する。なお、実験サイトの地下水位は地表面付近にあり、対象粘性土層は飽和状態と考えられる。

b) 実験方法

二重管式標準貫入試験器による試料採取(SPT)および乱さない試料採取(TW1)は、図-5に示すように水平距離で1m離れた位置で実施する。また、試料採取深度は押し込み完了時のサンプラーの先端深度が同じになるようにする。

二重管式標準貫入試験器による密度測定は、前章で提案した密度測定方法に従って実施する。

乱さない粘性土試料の採取は固定ピストン式シンウォールサンプラーによる土の乱さない試料の採取方法(JGS 1221-1995)¹¹⁾に従い、水圧式サンプラーで行う。採取した乱さない粘性土試料は、シンウォールチューブを立てた状態で刃先方向に押し出し、最先端部を5cm取り除いた後、10cmの長さで3試料切取る。切取ったままの状態の試料を供試体として粘性土試料の湿潤密度をノギス法により測定する。

c) 実験結果と考察

図-6、図-7および図-8に岡山、広島および瀬崎の各実験サイトにおける湿潤密度 ρ_w 、乾燥密度 ρ_d 、含水比 w_n および細粒分含有率 F_c の深度分布を

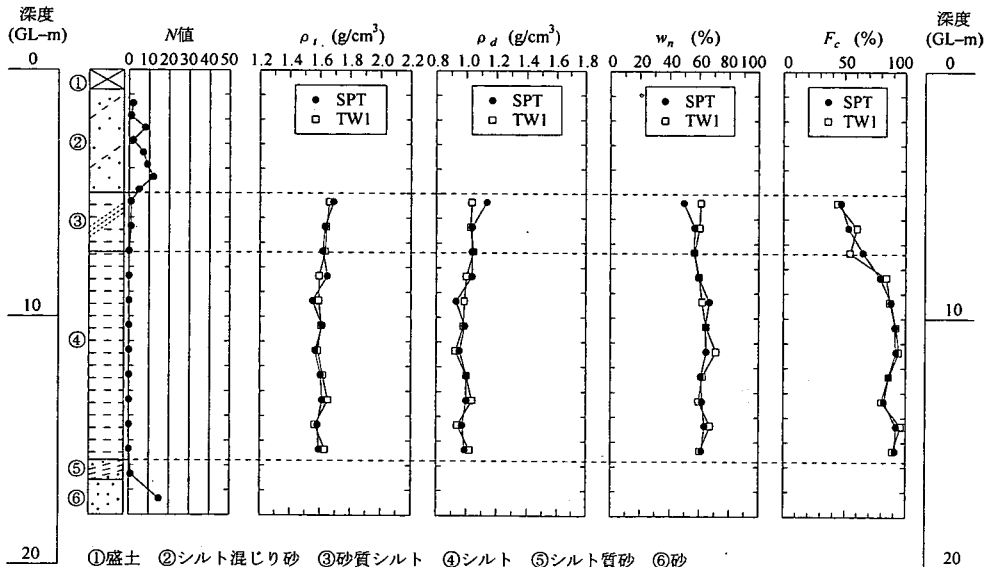


図-6 測定値の深度分布 (岡山)

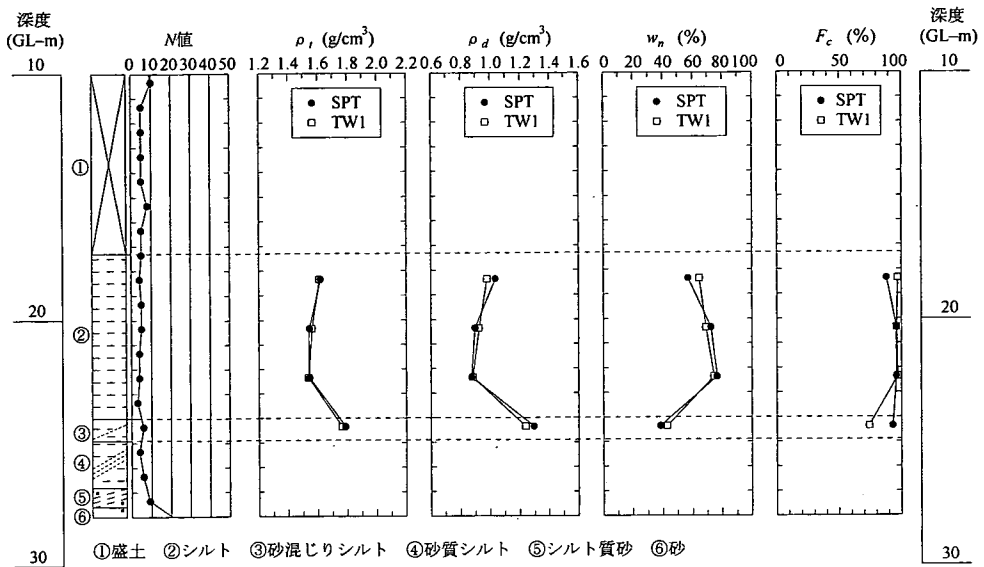


図-7 測定値の深度分布 (広島)

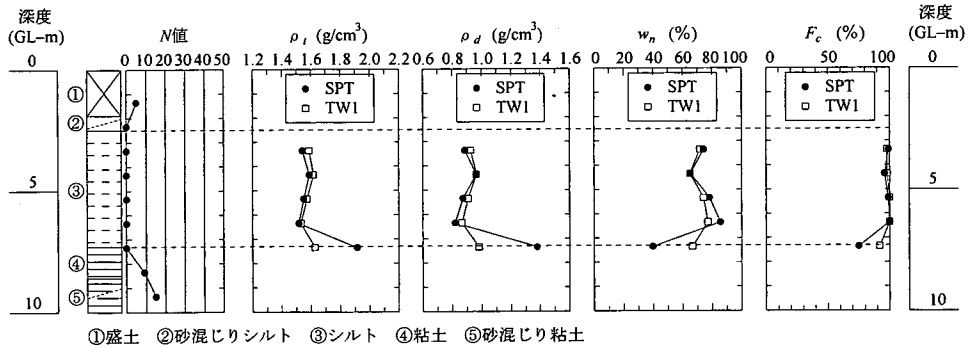


図-8 測定値の深度分布 (灘崎)

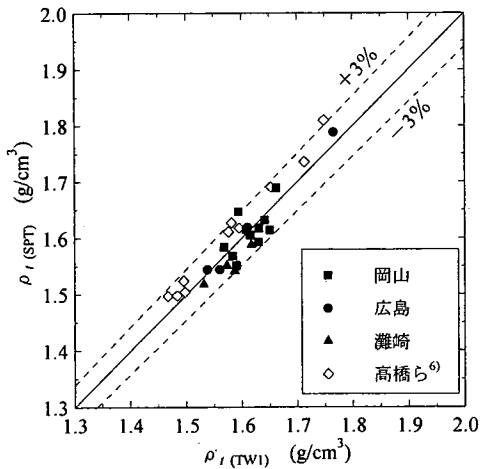


図-9 $\rho_i(TW1) \sim \rho_i(SPT)$ 関係

示す。図中の SPT は二重管式標準貫入試験器により採取した試料の測定結果、TW1 は乱さない試料の測定結果である。これらの図に示すように、灘崎の最深部の測定値を除外すれば、各測定値はよく一致している。なお、 ρ_i 、 w_n および各試料の土粒子の密度 ρ_s から求めた飽和度は概ね 100% であった。

図-8 に示す灘崎の最深部の値が大きく異なる原因は、つぎのように考えられる。二重管式標準貫入試験器による試料採取位置と乱さない試料の採取位置では、下位層の出現深度が若干異なったことにより、各々の測定結果に差異が生じた。以下の検討では灘崎の最深部の各測定値は除外する。

図-9 に乱さない試料の湿潤密度 $\rho_i(TW1)$ と二重管式標準貫入試験器で採取した試料の湿潤密度 $\rho_i(SPT)$ の関係を示す。同図には、高橋ら⁶⁾ が二重管式標準貫入試験器と同様の構造である SPT 用サンプラー

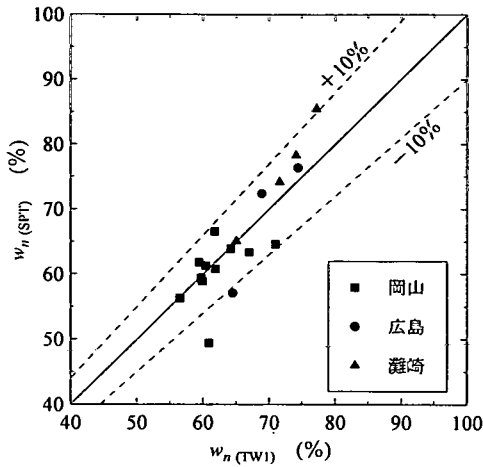


図-10 $w_n(TW1) \sim w_n(SPT)$ 関係

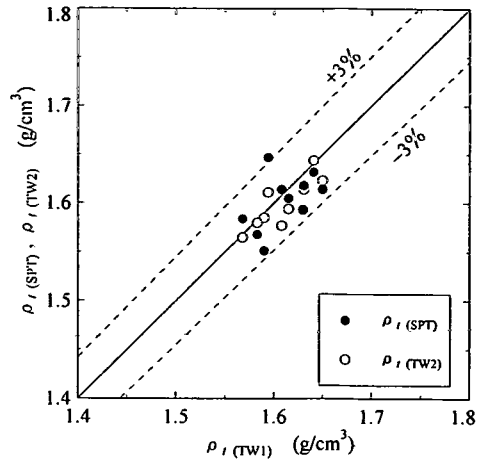


図-13 $\rho_{l(TW1)} \sim \rho_{l(SPT)}, \rho_{l(TW2)}$ 関係

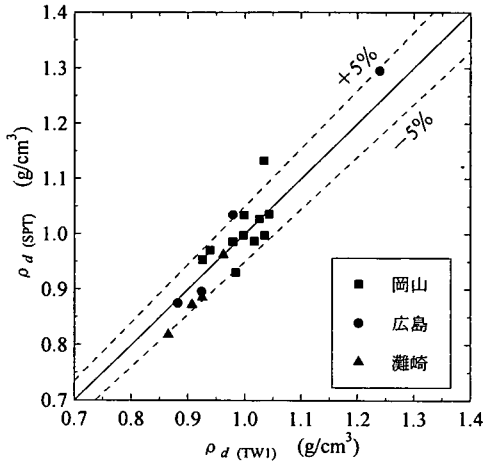


図-11 $\rho_d(TW1) \sim \rho_d(SPT)$ 関係

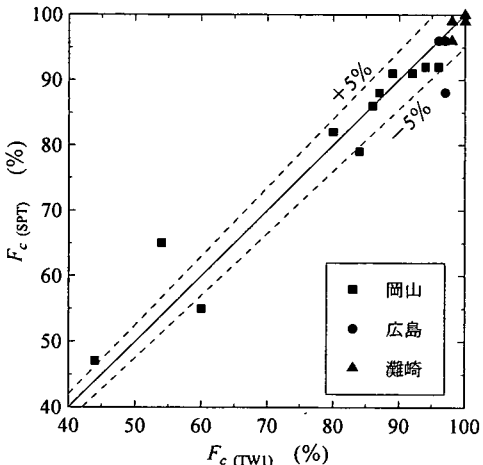


図-12 $F_c(TW1) \sim F_c(SPT)$ 関係

により採取した試料の湿潤密度測定結果を併せて示す。 $\rho_{l(SPT)}$ および高橋らの湿潤密度測定結果は、 $\rho_{l(TW1)}$ に対して±3%程度のバラツキが見られる。

図-10 に乱さない試料の含水比 $w_n(TW1)$ と二重管式標準貫入試験器で採取した試料の含水比 $w_n(SPT)$ の関係を示すが、±10%程度のバラツキが見られる。

図-11 に乱さない試料の乾燥密度 $\rho_d(TW1)$ と二重管式標準貫入試験器で採取した試料の乾燥密度 $\rho_d(SPT)$ の関係を示すが、±5%程度のバラツキが見られる。

図-12 に乱さない試料の細粒分含有率 $F_c(TW1)$ と二重管式標準貫入試験器で採取した試料の細粒分含有率 $F_c(SPT)$ を示すが、±5%程度のバラツキが見られる。

乱さない試料と二重管式標準貫入試験器による試料の採取位置は水平方向に 1m しか離れていないにもかかわらず、各測定値には±数%～±10%のバラツキが見られる。このバラツキの主な原因としては、①試料採取方法の違い、②地盤の水平方向の不均質性が考えられる。そこで、次節では、TW1 と同じ採取方法を用いて本節と同様の実験を行い、地盤の水平方向の不均質性の程度を確認する。

(2) 粘性土地盤の不均質性の確認実験

a) 実験方法

岡山の現場サイトにおいて、図-5 に示すように、二重管式標準貫入試験器による試料採取 (SPT) と乱さない試料採取 (TW1) 位置から水平距離で 1m 離れた位置に、TW1 と同じように固定ピストン式シンウォールサンプラーによる乱さない試料採取 (TW2) を行い、採取した粘性土試料の湿潤密度、含水比および細粒分含有率を測定した。

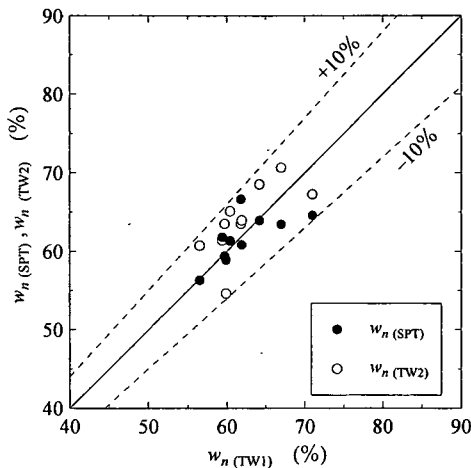


図-14 $w_n(TW1) \sim w_n(SPT), w_n(TW2)$ 関係

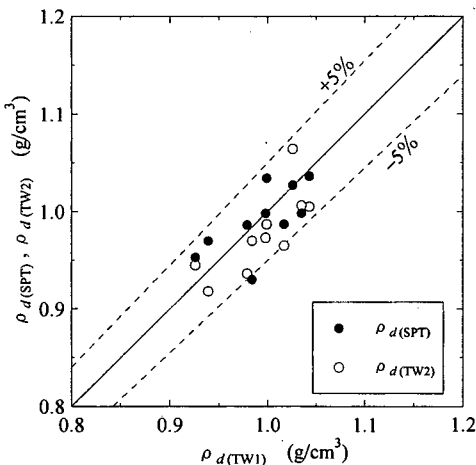


図-15 $\rho_d(TW1) \sim \rho_d(SPT), \rho_d(TW2)$ 関係

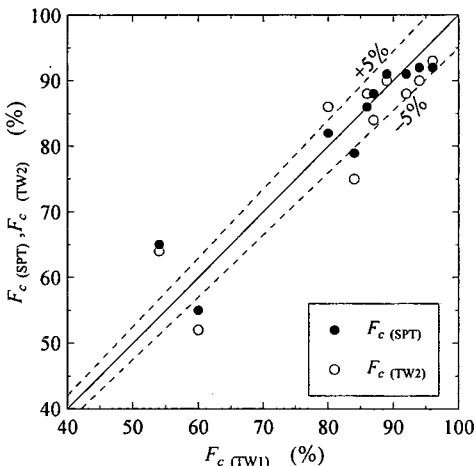


図-16 $F_c(TW1) \sim F_c(SPT), F_c(TW2)$ 関係

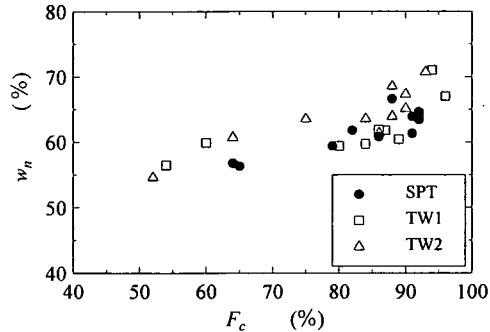


図-17 $F_c \sim w_n$ 関係

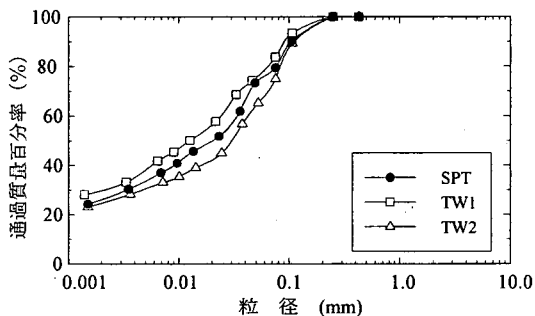


図-18 粘性土試料の粒径分布
(採取深度: GL-8.15m~8.45m)

b) 実験結果と考察

図-13 から図-16 に乱さない試料(TW1)の測定値を横軸に、二重管式標準貫入試験器により採取した試料(SPT)および新たに採取した乱さない試料(TW2)の測定値を縦軸に、湿潤密度 ρ_t 、含水比 w_n 、乾燥密度 ρ_d および細粒分含有率 F_c についてそれぞれ整理した。なお、各記号の()内の添字は試料採取方法及び採取位置を表している。

図-13 から図-16 をみると、TW1 と同じ採取方法、同じ測定方法で得られた TW2 の各測定値のパラツキは SPT のそれと同程度である。また、図-9 から図-12 に示す湿潤密度、含水比、乾燥密度および細粒分含有率のパラツキと図-13 から図-16 に示すそれらは同程度である。

図-17 に SPT, TW1 および TW2 の細粒分含有率 F_c と含水比 w_n の関係を示す。図-17 より F_c と w_n には相関関係(相関係数 $r=0.755$)があり、採取方法の違いによる差異は見られない。

図-18 に深度 GL-8.15~8.45m で採取した粘性土試料の粒径分布を示す。同じ深度から同じ方法で採取した TW1 と TW2 の粒径分布は明らかに違う。

以上より、各測定値のパラツキの原因は、試料採取方法の違いではなく、粘性土地盤の水平方向の不

均質性によるものと考えられる。採取試料を注意深く観察すると細砂がシーム状に混在しており、これが粘性土地盤の水平方向の不均質性すなわち各測定値のバラツキの主たる原因と想定される。なお、他の実験サイトの採取試料にも細砂がシーム状に混在していたことを付記しておく。

以上より、二重管式標準貫入試験器により採取した試料の湿潤密度、含水比、乾燥密度および細粒分含有率の測定値は、原地盤のそれらをほぼ妥当に評価し得ていると言えよう。

5. おわりに

本研究で得られた主要な結論をまとめると以下のようである。

- ① 二重管式標準貫入試験器により採取した試料の湿潤密度を求める場合には、中空管法を適用するのが有効である。
- ② 乱さない粘性土試料と二重管式標準貫入試験器により採取した粘性土試料の湿潤密度、含水比、乾燥密度および細粒分含有率を比較した結果、湿潤密度は±3%、含水比は±10%、乾燥密度は±5%および細粒分含有率は±5%程度のバラツキが見られた。
- ③ ②のバラツキが生じた主な原因は、試料採取方法の違いではなく、粘性土地盤の水平方向の不均質性であることが確認された。
- ④ 二重管式標準貫入試験器により採取した試料の湿潤密度、含水比、乾燥密度および細粒分含有率の測定値は、原地盤のそれらをほぼ妥当に評価し得ていると考えられる。

以上より、本報告で提案した二重管式標準貫入試験器による粘性土地盤の密度測定方法は十分実用に供しうると考えられる。

今後、腐植土など特殊土への本密度測定方法の適用を検討する予定である。

謝辞：本論文をまとめるにあたり、福山大学工学部教授 森 忠次先生には、非常に有益な助言と激励を頂きました。末筆ながらここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤調査法，pp. 193～207，1995。
- 2) 奥山一典，藤原身江子，大西智佳，八木則男：二重管式標準貫入試験器による砂地盤の密度測定方法，土木学会論文集，No. 652/Ⅲ-51，pp. 141～153，2000。
- 3) 奥山一典，与那城稔，藤原身江子，田平健二，真田博司：密度による砂地盤のせん断抵抗角 ϕ_d の推定システム，土木学会論文集，No. 652/Ⅲ-51，pp. 155～169，2000。
- 4) 奥山一典，河原敏之，藤原身江子，平川 武，北川隆司，八木則男：二重管式標準貫入試験器によるマサ土のせん断抵抗角 ϕ_d の推定システム，土木学会論文集，No. 666/Ⅲ-53，pp. 321～331，2000。
- 5) Okuyama, K., Fujiwara, M., Ohnishi, C., Watanabe, H., Taira, K. and Nishigaki, M.: SYSTEM FOR ESTIMATING COEFFICIENTS OF PEREABILITY IN REGIONAL GROUND WATER SURVEY, *J. Geotech. Eng., JSCE*, No. 701/Ⅲ-58, pp. 17～28, 2002.
- 6) 高橋昭一，小松田清吉，小室篤示：SPT用サンブラーによる土の湿潤密度測定，第22回土質工学会研究発表会講演集，土質工学会，pp. 89～90，1987。
- 7) 地盤工学会：土質試験の方法と解説，第一回改訂版，pp. 146～153，2000。
- 8) 藤原身江子，奥山一典，八木則男，森 忠次：供試体の作製方法が粘性土の湿潤密度に及ぼす影響，土木学会論文集，No. 708/Ⅲ-59，pp. 221～226，2002。
- 9) 伊那食品工業株式会社：寒天の知識，No. 4。
- 10) 伊豫屋紀子，藤原身江子，田平健二，八木則男：二重管式標準貫入試験器による粘性土地盤の密度測定，土木学会第57回年次学術講演会概要集(CD-ROM)，Ⅲ-698，2002。
- 11) 文献1)，pp. 420～423，1995。

(2002. 10. 8 受付)

EVALUATION OF ACCURACY IN MEASURING DENSITY OF COHESIVE-SOIL GROUND WITH SPLIT SPOON SAMPLER WITH BUILT-IN TUBES

Mieko FUJIWARA, Kenji TABIRA, Noriko IYOYA, Kazunori OKUYAMA
and Norio YAGHI

The purpose of this study is to propose a method of measuring the density of cohesive-soil ground with a split spoon sampler with built-in tubes. An optimal method was devised for measuring the density of samples taken from cohesive-soil ground with a split spoon sampler with built-in tubes. Then, a field experiment was carried out using a split spoon sampler with built-in tubes and a thin-wall sampler. The wet density, water content, dry density, and fine-grained fraction of samples by the split spoon sampler with built-in tubes were checked well with those of samples by the thin-wall sampler, proving the proposed method to be practical enough.