

# 二重管式標準貫入試験器による 砂-粘性土地盤の原位置密度測定

田平健二<sup>1</sup>・平松浩三<sup>1</sup>・藤原身江子<sup>2</sup>・奥山一典<sup>3</sup>・八木則男<sup>4</sup>

<sup>1</sup>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)

<sup>2</sup>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 イカービル)

<sup>3</sup>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)

<sup>4</sup>フェローメンバー 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原位置の密度測定方法を砂層と粘性土層からなる二層地盤に適用し、その精度評価を試みた。評価方法は、ラジオアイソトープコーン貫入試験機で測定された湿潤密度や含水比等と二重管式標準貫入試験器を用いて測定したそれらとの比較により行うこととした。また、粘性土地盤においては、シンウォールサンプラーで採取した試料の湿潤密度や含水比等と二重管式標準貫入試験器およびラジオアイソトープコーン貫入試験機によるそれらとの比較を行った。その結果、二重管式標準貫入試験器による原位置の密度測定方法は十分実用化できることが判明した。

**Key Words :** *in-situ bulk density, sand, cohesive soil, split spoon sampler with built-in tube, radio isotope cone penetrometer*

## 1. はじめに

土木構造物の設計における各種地盤定数は、調査・試験コストの問題等から、一般値や推定値を用いて決定されることが多い。例えば、 $N$ 値から砂地盤のせん断抵抗角 $\phi_d$ を推定する方法<sup>1)</sup>、粒度分布から透水係数を推定する方法<sup>2)</sup>がよく利用されている。しかし、これらの推定精度は低く、あまりにも安全側あるいは危険側に推定する場合がある。そこで、筆者らのグループは、経済的かつ精度の良い地盤定数を推定することを目的に、二重管式標準貫入試験器による地盤の密度測定方法<sup>3), 4)</sup>とその応用に関する研究<sup>5), 6), 7)</sup>を行い、ある程度の成果を得た。しかし、砂地盤への密度測定の適用性については、室内土槽実験レベルに留まっており、現場実証には至っていなかった。

今回、ラジオアイソトープコーン貫入試験機(以下R I Cと称す)による地盤の密度測定の機会を得ることができたので、二重管式標準貫入試験器による原位置密度測定方法の現場実証実験を行い、その精度評価を試みた。なお、当該地盤は、砂層と粘性土層からなる二層地盤である。

R I Cは原位置における湿潤密度や含水比等を精度よく測定できる<sup>8), 9)</sup>。そこで本実験では、二重管式標準貫入試験器を用いて測定したそれらの値との

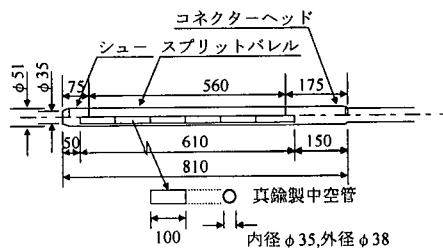


図-1 二重管式標準貫入試験器(単位:mm)

比較を行うことにした。また、粘性土層においては、シンウォールサンプラー(以下TWSと称す)で採取した乱れが少ない試料の湿潤密度や含水比等の値と二重管式標準貫入試験器およびR I Cによるそれらとの比較を行った。

## 2. 二重管式標準貫入試験器の構造と密度測定方法

### (1) 二重管式標準貫入試験器の構造

二重管式標準貫入試験器は、図-1に示すように標準貫入試験用サンプラー<sup>10)</sup>の中に密度測定用の真鍮製中空管(長さ10cm、内径35mm、外径38mm)を先端から5個、最後に長さだけが11cmの中空管を並べ

て装填できるように工夫されたもので、以前から市販されている。本試験器を用いて標準貫入試験を行えば、貫入時に土が中空管内に採取され、 $N$  値の測定と共に現場で簡単に密度を測定することができる。

## (2) 二重管式標準貫入試験器による密度測定方法

### a) 砂地盤における密度測定方法

- 飽和砂地盤の密度測定は、以下の手順で行う<sup>3)</sup>。
- ① ポーリングロッドに二重管式標準貫入試験器を接続し、通常の標準貫入試験<sup>10)</sup>を実施する。
  - ② 標準貫入試験終了後、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へッドを取り外し、スプリットバレルを二つに割る。
  - ③ 貫入試験器の先端から 2 番目の中空管を慎重に取り出し、両端面をエッジナイフで整形する。
  - ④ 試料が詰まった中空管の重量を測定する。なお、中空管の重量は予め測定しておく。
  - ⑤ 中空管内の試料を容器に密封する。
  - ⑥ その他の中空管に採取された試料も別の容器に密封した後、全ての中空管を洗浄する。
  - ⑦ 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。
  - ⑧ 所要の作業終了後、試料を試験室に持ち帰り、各種物理試験を行う。

上記の密度測定結果に基づき、原位置の各種物理定数の推定方法を以下に列挙する。

まず、貫入試験器の先端から 2 番目の中空管に採取された試料の湿潤密度  $\rho_{d2}$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )、含水比  $w_2$  (%) を次式に代入し、その乾燥密度  $\rho_{d2}$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) を求める。

$$\rho_{d2} = \rho_{t2} / (1 + w_2 / 100) \quad (1)$$

つぎに、大型土槽実験により導かれた上載圧による密度補正式<sup>3)</sup>である次式から、原位置の乾燥密度を推定する。

$$\hat{\rho}_{d(\text{SPT})} = \rho_{d2} / (0.000371\sigma'_v + 1.013) \quad (2)$$

ここに、 $\hat{\rho}_{d(\text{SPT})}$ ：原位置の乾燥密度の推定値、 $\sigma'_v$ ： $\rho_{d2}$  と土粒子の密度  $\rho_{s2}$  から計算された有効土被り圧 ( $\text{kPa}$ ) である。

ここで、含水比  $w_2$  (%) は試料採取時の逸水により変化した可能性があるため、 $\hat{\rho}_{d(\text{SPT})}$  と  $\rho_{s2}$  を次式に適用し、原位置の含水比を推定する。

$$\hat{w}_{(\text{SPT})} = \rho_w \left( \frac{1}{\hat{\rho}_{d(\text{SPT})}} - \frac{1}{\rho_{s2}} \right) \times 100 \quad (3)$$

ここに、 $\hat{w}_{(\text{SPT})}$ ：原位置の含水比の推定値(飽和砂地盤を仮定している)、 $\rho_w$ ：水の密度である。なお、 $\rho_w = 1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$  と仮定する。

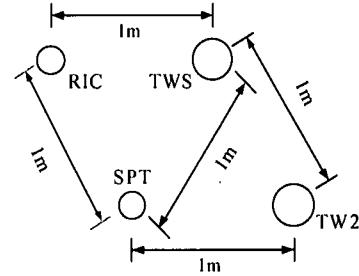


図-2 密度測定実験平面位置

そして、 $\hat{\rho}_{d(\text{SPT})}$  と  $\hat{w}_{(\text{SPT})}$  を次式に代入すれば、原位置の湿潤密度が推定できる。

$$\hat{\rho}_d(\text{SPT}) = \hat{\rho}_{d(\text{SPT})} \left\{ 1 + (\hat{w}_{(\text{SPT})} / 100) \right\} \quad (4)$$

ここに、 $\hat{\rho}_d(\text{SPT})$ ：原位置の湿潤密度の推定値である。

さらに、 $\rho_{s2}$  と  $\hat{\rho}_d(\text{SPT})$  を次式に代入すれば、原位置の間隙比が推定できる。

$$\hat{e}_{(\text{SPT})} = \frac{\rho_{s2}}{\hat{\rho}_d(\text{SPT})} - 1 \quad (5)$$

ここに、 $\hat{e}_{(\text{SPT})}$ ：原位置の間隙比の推定値である。

なお、本密度測定方法の最大粒径制限は以下のようである。まず、砂の粒径分布に次式を用いて平均粒径  $D_m$  を求める。

$$D_m = \sum p_i D_i \quad (6)$$

ここに、 $D_i$ ：最小粒径から数えて  $i$  番目のふるい径を通過した粒径、 $p_i$ ：最小粒径から数えて  $i$  番目のふるい径を通過し ( $i-1$ ) 番目のふるい径に留まる試料の質量を試料の全質量で除した値である ( $\sum p_i = 1$ )。

つぎに、 $D^* \geq D_m$  となれば密度測定方法の適用が可能と判定する。ここに、 $D^*$  は 1mm とする。

### b) 粘性土地盤における密度測定方法

粘性土地盤の密度測定は、以下の手順で行う<sup>4)</sup>。

- ① ポーリングロッドに二重管式標準貫入試験器を接続し、通常の標準貫入試験<sup>10)</sup>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へッドを取り外し、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整形する。
- 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。

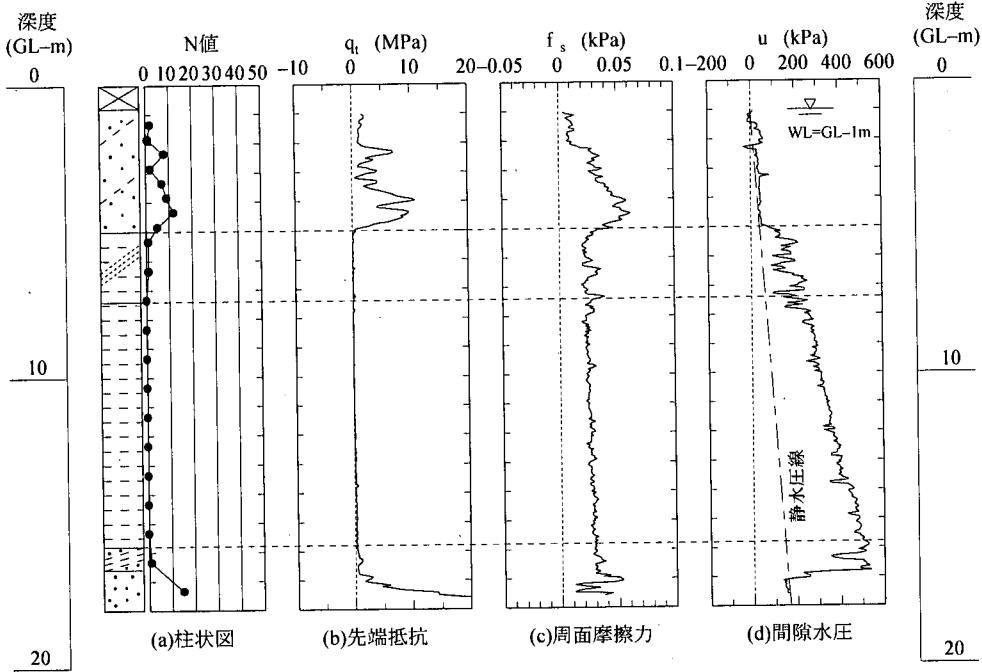


図-3 標準貫入試験と三成分コーン測定結果

⑦ 所要の作業終了後、試料を密封した状態で試験室へ持ち帰り、各種土質試験を実施する。

### 3. 二重管式標準貫入試験器による原位置密度測定実験

#### (1) 実験サイトの地盤特性

実験サイトは、岡山県岡山市地内の軟弱地盤地帯である臨海地に位置する。実験対象地盤は層厚11m程度の完新世の海成粘性土の上位に、層厚4m程度の砂が堆積した砂-粘性土の二層地盤である。GL-0.90m～-5.00mの砂層はシルト混じり砂よりなり、GL-5.00m～-15.80mの粘性土層は砂質シルトおよびシルトよりなる。なお、地下水位はGL-1.00mで確認されている。

#### (2) 測定方法

二重管式標準貫入試験器による密度測定、RICによる密度測定およびTWSによる乱れが少ない試料採取<sup>11)</sup>を、図-2に示すように、おののおの水平方向に1m間隔の位置で行った。なお、砂層については、数多くのデータを得るために、N値の測定を深度方向に50cm間隔で実施した。

RICによる密度測定には、三村ら<sup>8),9)</sup>が開発した試験機を用いた。測定は、まず三成分コーンによる

貫入試験を行い、バックグラウンド測定、密度測定、水分測定の順で行った。貫入速度は1m/minとし、1秒毎すなわち深度方向に1.67cmピッチで測定した。

TWSによる乱れが少ない試料採取は、サンプラーの先端深度が二重管式標準貫入試験器の先端深度と同じ深度になるように実施した。採取した粘性土は、シンウォールチューブの刃先から5cm取り除いた後、長さ10cmの試料として切り出した。切り出した粘性土試料のうち刃先から3本目までの試料の湿潤密度  $\rho_{l(TWS)}$  をノギス法<sup>12)</sup>により測定した。試料毎に各種物理試験を行い、その結果得られる含水比  $w_{(TWS)}$  および  $\rho_{l(TWS)}$  から乾燥密度  $\rho_d(TWS)$  を算出した。

#### (3) 測定結果と考察

図-3に三成分コーンによる貫入試験結果と標準貫入試験結果を示す。以下、砂層と粘性土層ごとに測定結果と考察を記す。

##### a) 砂層の測定結果と考察

表-1(a)に二重管式標準貫入試験器による各種物理定数の実測値を示す。表中の  $e_{max2}$  および  $e_{min2}$  は二重管式標準貫入試験器の先端から2番目の中空管に採取された試料の最大間隙比および最小間隙比であり、奥山ら<sup>13)</sup>が提案した方法で求めた。また、 $F_{c2}$  は細粒分含有率である。 $F_{c2}$  が5%以上の砂の場合、平間の提案方法で  $e_{max2}$ ,  $e_{min2}$  を求めた。なお、試

表-1(a) 二重管式標準貫入試験器による砂層の各種物理定数の実測値

試料採取深度 (GL-m)	N値	$\rho_{t2}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$w_2$ (%)	$\rho_{d2}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{s2}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$F_{c2}$ (%)	$e_{\max 2}$	$e_{\min 2}$
1.25-1.35	2	—	—	—	—	—	—	—
1.75-1.85	1	1.905	29.4	1.472	2.673	15.7	1.157	0.612
2.25-2.35	8	1.925	28.7	1.496	2.646	9.5	1.127	0.602
2.75-2.85	2	—	—	—	—	—	—	—
3.25-3.35	7	1.847	35.0	1.368	2.667	15.9	1.140	0.597
3.75-3.85	9	—	—	—	—	—	—	—
4.25-4.35	12	1.917	30.0	1.475	2.663	3.6	1.249	0.747
4.75-4.85	5	1.931	29.3	1.493	2.662	4.2	1.226	0.719

表-1(b) 二重管式標準貫入試験器による砂層の各種物理定数の推定値

試料採取深度 (GL-m)	$\sigma'_v$ (kPa)	$\hat{\rho}_d(SPT)$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\hat{w}(SPT)$ (%)	$\hat{\rho}_i(SPT)$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\hat{e}(SPT)$
1.25-1.35	—	—	—	—	—
1.75-1.85	23.13	1.441	32.0	1.902	0.855
2.25-2.35	27.65	1.462	30.6	1.909	0.810
2.75-2.85	—	—	—	—	—
3.25-3.35	36.08	1.333	37.5	1.833	1.000
3.75-3.85	—	—	—	—	—
4.25-4.35	45.12	1.432	32.3	1.894	0.860
4.75-4.85	49.63	1.448	31.5	1.904	0.839

表-2 R I Cによる砂層の各種物理定数

試料採取深度 (GL-m)	$\rho_i(RIC)$ (g/cm <sup>3</sup> )	$w_{(RIC)}$ (%)	$\rho_d(RIC)$ (g/cm <sup>3</sup> )
1.25-1.35	—	—	—
1.75-1.85	1.906	31.0	1.455
2.25-2.35	1.880	31.0	1.435
2.75-2.85	—	—	—
3.25-3.35	1.833	36.8	1.340
3.75-3.85	—	—	—
4.25-4.35	1.807	40.0	1.292
4.75-4.85	1.765	47.6	1.196

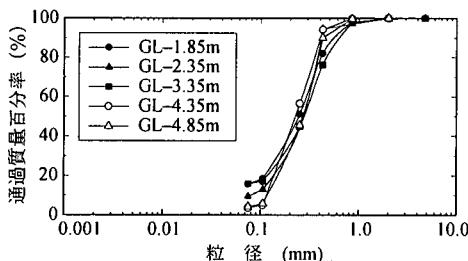


図-4 砂層の粒径分布

験深度GL-1.25m～-1.35mおよびGL-3.75m～-3.85mでは、二重管式標準貫入試験器を引き上げた際に試料が落下したため、データが得られなかった。GL-2.75m～-2.85mでは、採取した試料に粘性土がシーム状に介在していたため、データを除外した。

表-1(b)には、式(2)で推定した原位置の乾燥密度 $\hat{\rho}_d(SPT)$ 、式(3)で推定した原位置の含水比 $\hat{w}(SPT)$ 、式(4)で推定した原位置の湿潤密度 $\hat{\rho}_i(SPT)$ 、式(5)で推定した原位置の間隙比 $\hat{e}(SPT)$ を示す。

図-4に採取試料の粒径分布を示す。

表-2にR I Cにより求めた各種物理定数を示す。表中の $\rho_i(RIC)$ および $w_{(RIC)}$ は、密度コーンおよび水分コーンにより深度方向に1.67cm毎に測定した湿潤密度および含水比を10cm区間にについて平均した値である。 $\rho_d(RIC)$ は、 $\rho_i(RIC)$ と $w_{(RIC)}$ から計算して求めた原位置の乾燥密度である。

図-5に各密度測定方法の測定結果の一覧を示す。

同図の砂層では、二重管式標準貫入試験器による測定から求めた $\hat{\rho}_i(SPT)$ 、 $\hat{\rho}_d(SPT)$ および $\hat{w}(SPT)$ をプロットしている。これらの値は、GL-4.00m以浅では、R I Cによる $\rho_i(RIC)$ 、 $\rho_d(RIC)$ および $w_{(RIC)}$ とそれぞれ非常によく一致している。しかし、GL-4.00m～-5.00m区間ではそれぞれの値が大きく異なっている。また、図-3の間隙水圧および、図-5の細粒分含有率からみてGL-0.90m～-5.00mは工学的に典型的な砂層と判断できる。ゆえに、GL-4.00m～-5.00m区間の砂層において $\rho_i(RIC)$ および $w_{(RIC)}$ の値が連続的に変化して層境で粘性土層のそれらの値に近づくという現象は極めて不自然である。このような現象が生じた主な原因としては、密度および水分測定の測定前に、三成分コーンおよびバックグラウンド測定用コーンの貫入・引き抜きを行ったことにより、軟弱な粘性土層との層境付近で貫入孔や周辺地盤に緩みが生じたことが考えられる。

#### b) 粘性土層の測定結果と考察

図-5および表-3に粘性土層の密度測定結果を示す。表中の $\rho_i(SPT)$ 、 $\rho_d(SPT)$ および $w(SPT)$ は、二重管式標準貫入試験器の先端から3番目までの3つの中空管に採取された粘性土試料の湿潤密度、乾燥密度および含水比の平均値である。また、 $\rho_i(RIC)$ 、 $\rho_d(RIC)$ および $w_{(RIC)}$ は、密度コーンおよび水分コーンにより深度方向に1.67cm毎に測定した湿潤密度、乾燥密度および含水比を30cm区間にについて平均した値である。さらに、 $\rho_i(TWS)$ 、 $\rho_d(TWS)$ および含水比 $w_{(TWS)}$ は、

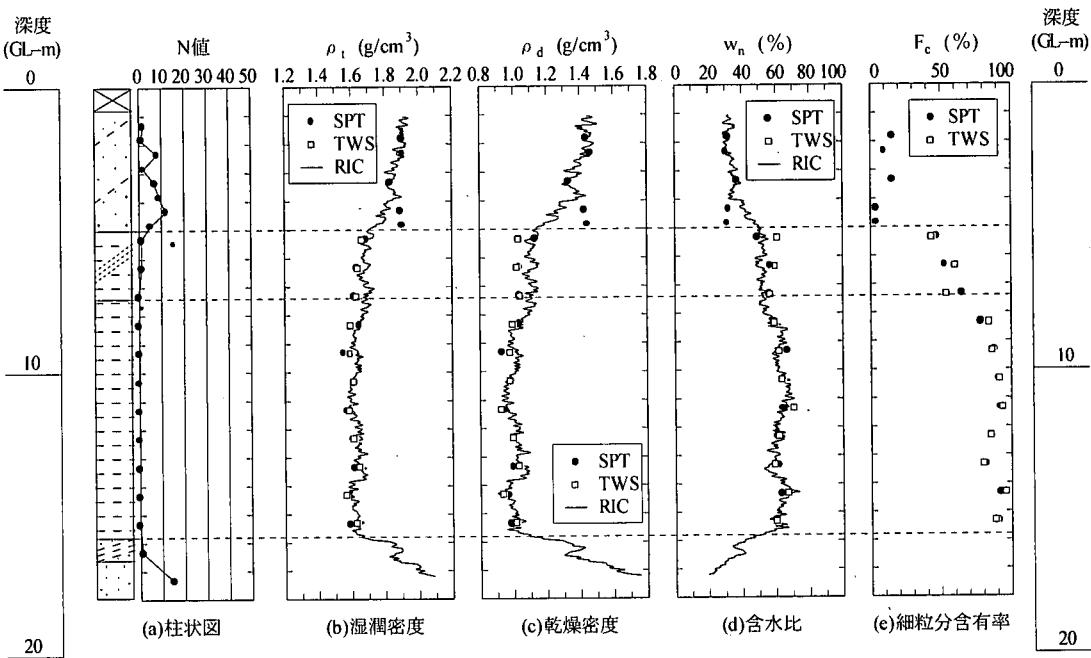


図-5 各種密度測定方法の測定結果一覧

表-3 粘性土層の密度測定結果

測定方法 採取深度 (GL-m)	二重管式標準貫入試験器			RIC			TWSで採取した乱れが少ない試料		
	$\rho_i(\text{SPT})$ (g/cm³)	$\rho_d(\text{SPT})$ (g/cm³)	$w(\text{SPT})$ (%)	$\rho_i(\text{RIC})$ (g/cm³)	$\rho_d(\text{RIC})$ (g/cm³)	$w(\text{RIC})$ (%)	$\rho_i(\text{TWS})$ (g/cm³)	$\rho_d(\text{TWS})$ (g/cm³)	$w(\text{TWS})$ (%)
5.15-5.45	1.689	1.133	49.4	1.696	1.109	53.0	1.662	1.034	60.9
6.15-6.45	1.632	1.027	58.9	1.695	1.130	50.0	1.641	1.026	59.9
7.15-7.45	1.618	1.036	56.3	1.690	1.107	52.6	1.631	1.043	56.5
8.15-8.45	1.647	1.034	59.4	1.640	1.040	57.8	1.594	0.999	59.7
9.15-9.45	1.551	0.930	66.6	1.637	1.024	60.0	1.590	0.984	61.8
10.15-10.45	1.614	0.986	63.9	1.609	0.976	64.9	1.608	0.979	64.2
11.15-11.45	1.568	0.953	64.6	1.597	0.962	66.1	1.583	0.926	71.0
12.15-12.45	1.605	0.998	60.8	1.636	0.997	64.0	1.615	0.998	61.9
13.15-13.45	1.614	0.998	61.8	1.651	1.056	56.4	1.650	1.035	59.4
14.15-14.45	1.584	0.970	63.4	1.587	0.945	68.1	1.568	0.939	67.0
15.15-15.45	1.593	0.987	61.3	1.640	1.024	60.2	1.630	1.017	60.4

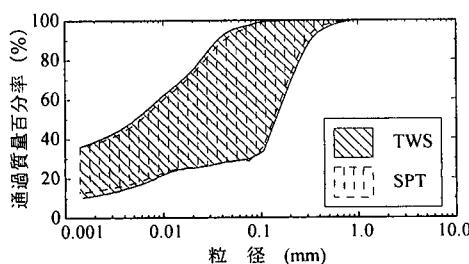


図-6 粘性土層の粒径分布

シンウォールチューブの刃先から 10cm 毎に切り出した 3 本の粘性土試料の湿潤密度、乾燥密度および含水比の平均値である。

図-6 に二重管式標準貫入試験器で採取した試料の粒径分布範囲と TWS による乱れが少ない試料のそれを併せて示すが、両者の粒径分布範囲は概ね一致している。

図-5 によれば、二重管式標準貫入試験器、RIC および TWS による測定値は、そこそこ一致しているが、TWS で採取した乱れが少ない試料の密度測定結果を基準にし、二重管式標準貫入試験器と RIC の密度測定精度の吟味をつぎに行う。

図-7 に  $\rho_i(\text{TWS}) \sim \rho_i(\text{SPT})$ ,  $\rho_i(\text{RIC})$  の関係を、図-8 に  $w(\text{TWS}) \sim w(\text{SPT})$ ,  $w(\text{RIC})$  の関係を、図-9 に  $\rho_d(\text{TWS}) \sim \rho_d(\text{SPT})$ ,  $\rho_d(\text{RIC})$  の関係を示す。いずれの関係においても、TWS による乱れが少ない試料の測定値

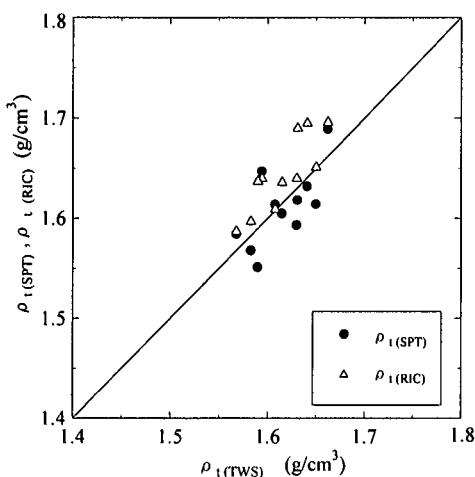


図-7  $\rho_i(\text{TWS}) \sim \rho_i(\text{SPT}), \rho_i(\text{RIC})$  の関係

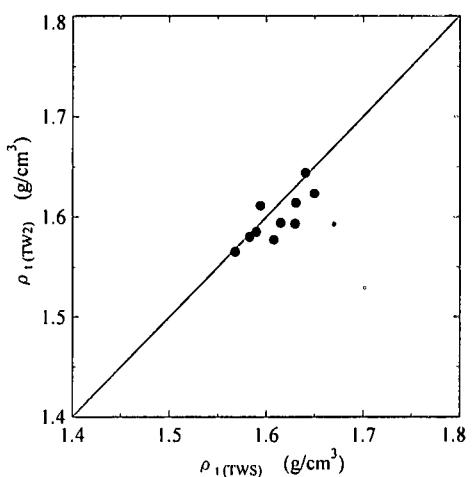


図-10  $\rho_i(\text{TWS}) \sim \rho_i(\text{TW2})$  の関係

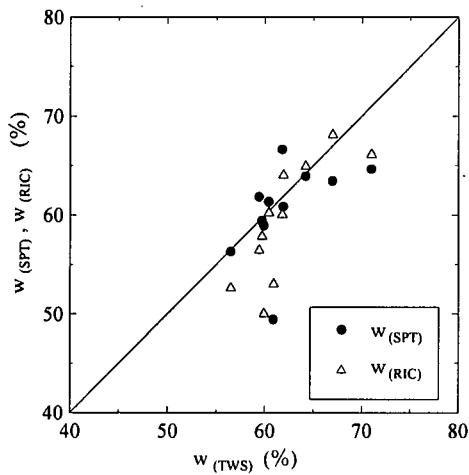


図-8  $w(\text{TWS}) \sim w(\text{SPT}), w(\text{RIC})$  の関係

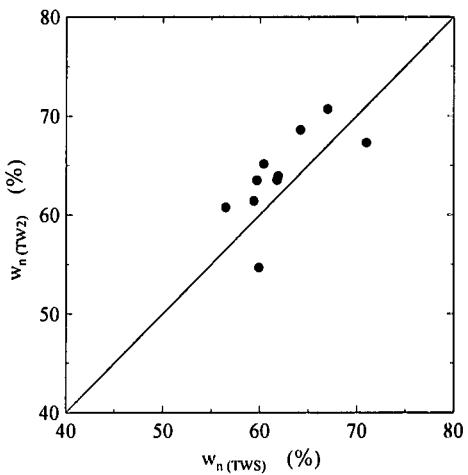


図-11  $w_n(\text{TWS}) \sim w_n(\text{TW2})$  の関係

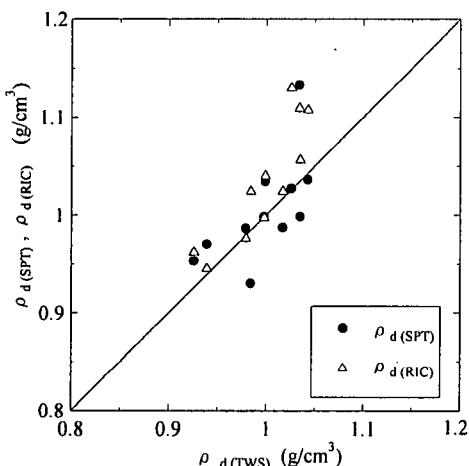


図-9  $\rho_d(\text{TWS}) \sim \rho_d(\text{SPT}), \rho_d(\text{RIC})$  の関係

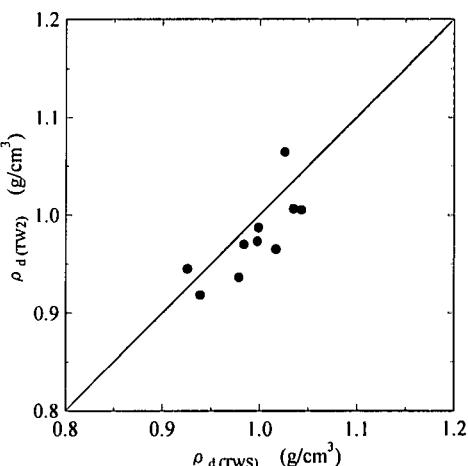


図-12  $\rho_d(\text{TWS}) \sim \rho_d(\text{TW2})$  の関係

表-4 TW2による粘性土層の密度測定結果

測定方法	TW2で採取した乱れが少ない試料		
採取深度 (GL-m)	$\rho_i(TW2)$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_d(TW2)$ (g/cm <sup>3</sup> )	$w(TW2)$ (%)
5.15-5.45	—	—	—
6.15-6.45	1.644	1.064	54.63
7.15-7.45	1.614	1.005	60.72
8.15-8.45	1.611	0.987	63.47
9.15-9.45	1.585	0.970	63.48
10.15-10.45	1.577	0.936	68.53
11.15-11.45	1.580	0.945	67.25
12.15-12.45	1.594	0.973	63.91
13.15-13.45	1.623	1.006	61.38
14.15-14.45	1.565	0.918	70.66
15.15-15.45	1.593	0.965	65.11

に対して二重管式標準貫入試験器およびR I Cの測定値は同程度のバラツキで分布しており、二重管式標準貫入試験器およびR I Cの測定精度は同程度と評価できる。しかし、二重管式標準貫入試験器およびR I Cの測定値は、TWSによる乱れが少ない試料の測定値とかなりの差異がある。この差異の原因を明らかにするため、以下のような追加実験を行った。

図-2に示すTWS位置から水平方向に1m離した位置で乱れが少ない試料の密度測定(TW2と称す)を実施した。その結果を表-4に示す。なお、TW2では、上部の砂層が厚く、GL-5.15m~-5.45m間の試料は採取できなかった。

図-10に $\rho_i(TWS) \sim \rho_i(TW2)$ の関係を、図-11に $w(TWS) \sim w(TW2)$ の関係を、図-12に $\rho_d(TWS) \sim \rho_d(TW2)$ の関係を示す。これらの関係のバラツキは、図-7から図-9に示す湿潤密度、含水比および乾燥密度のバラツキと同程度である。つまり、各測定値のバラツキの原因是、密度測定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。

以上より、二重管式標準貫入試験器による粘性土層の密度測定精度は、R I CおよびTWSのそれと同程度であり、十分実用に供すると思われる。

#### 4.まとめ

本実験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 GL-0.90m~-4.00m間に分布する砂層では、二重管式標準貫入試験器による密度測定精度はR I Cのそれと同程度である。しかし、GL-4.00m~-5.00m間に分布する砂層では、二重管式標準貫入試験器による密度測定値とR I Cによる測定値が著しく異なり、精度評価ができなかった。

② GL-4.00m~-5.00m間に分布する砂層においては、R I Cの測定値が不自然な傾向を示している。これは、密度および水分測定の測定前に、数種類のコーンの貫入・引き抜きにより軟弱な粘性土層との層境付近の貫入孔や周辺地盤に緩みが生じたことが原因と考えられる。今後、当実験サイトのような砂-粘性土の二層地盤にR I Cを適用する場合、十分留意する必要がある。

③ 二重管式標準貫入試験器による粘性土層の密度測定精度は、R I CおよびTWSのそれと同程度であり、十分実用に供すると思われる。

今回の現場実証実験は砂-粘性土の二層地盤の1サイトのみであるが、二重管式標準貫入試験器による原位置の密度測定方法は十分実用化できることが判明した。今後、いくつかの現場実証実験を行い、本測定方法の実務への適用を図りたい。

#### 参考文献

- 1) 例えれば、地盤工学会：地盤調査法, pp. 200~202, 1995.
- 2) 例えれば、地盤工学会：土質試験の方法と解説、第一回改訂版, pp. 84~85, 2000.
- 3) 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.
- 4) 藤原身江子, 田平健二, 伊豫屋紀子, 奥山一典, 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精度の評価, 土木学会論文集, No. 736/III-63, pp. 305~312, 2003.
- 5) 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 $\phi_d$ の推定システム, 土木学会論文集, No. 652/III-51, pp. 155~169, 2000.
- 6) 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 $\phi_d$ の推定システム, 土木学会論文集, No. 666/III-53, pp. 321~331, 2000.
- 7) Okuyama, K., Fujiwara, M., Ohnishi, C., Watanabe, H., Tabira, 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.
- 8) 三村衛, 柴田徹, Abhay K SHRIVASTAVA : R I コーンによる粘性土地盤の検層について, 京都大学防災研究所年報, 第36号B-2, pp. 53~65, 1993.
- 9) 三村衛, Abhay K SHRIVASTAVA, 柴田徹, 延山政之 : R I コーンによる砂質地盤の原位置含水比・湿潤密度検層とその精度評価について, 土木学会論文集, No. 638/III-49, pp. 227~240, 1999.
- 10) 地盤工学会:地盤調査法, pp. 193~207, 1995.

- 11) 地盤工学会:地盤調査法, pp. 420~423, 1995.
- 12) 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.
- 13) 奥山一典, 藤原身江子, 越智洋秀, 井上真理子:砂の最大・最小密度試験における最大粒径制限値の拡大に関する研究, 土木学会論文集, No. 638/III-49, pp. 11~27, 1999.
- 14) 平間邦興:相対密度の適応に関する 2,3 の私見, 砂の相対密度と工学的性質に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 53~56, 1981.

(2003. 1. 24. 受付)

## METHOD OF MEASURING DENSITY OF SAND-AND-COHESIVE-SOIL GROUND IN SITU WITH SPLIT SPOON SAMPLER WITH BUILT-IN TUBES

Kenji TABIRA, Kouzou HIRAMATSU, Mieko FUJIWARA, Kazunori OKUYAMA  
and Norio YAGHI

In this study, the method of measuring the density of soil in situ with a split spoon sampler with built-in tubes was applied to a double-layer ground consisting of a sand layer and a cohesive-soil layer and its measuring accuracy was evaluated. The evaluation was made by comparing the wet densities, water contents, etc. measured with a radioisotope-cone penetration tester and those measured with the split spoon sampler. As to the cohesive soil, the wet densities, water contents, etc. measured with a thin-wall sampler were compared with those measured with the split spoon sampler and the radioisotope-cone penetration tester. As the result, the method of measuring the density of soil in situ with a split spoon sampler proved to be practical enough.