

平成21年 6月 5日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：1976033

研究課題名（和文）大型模型地盤を利用した種々の地盤調査方法の比較と適用性の評価

研究課題名（英文）EVALUATION OF VARIOUS FIELD INVESTIGATIONS BASED ON THEIR COMPARISON AT LARGE-SCALE MODEL GROUNDS

研究代表者

田端 憲太郎（TABATA KENTARO）

防災科学技術研究所・兵庫耐震工学研究センター・主任研究員

研究者番号：30282958

研究成果の概要：地盤調査から耐震設計に信頼性の高い地盤特性を提供することに資するため、条件が既知の大型模型地盤において、同一条件下で実施された各種地盤調査の結果を比較・評価した。これらの結果に基づいて地盤特性の推定式を提示するとともに、実際の液状化地盤においても適用し得ることを検証した。また地盤調査時の挙動を把握するため、模型地盤と同じ砂質土に対する室内試験結果を取得した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	0	1,400,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	390,000	3,090,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：地盤調査，貫入試験， $N$ 値，相対密度，模型実験，液状化

## 1. 研究開始当初の背景

1995年の兵庫県南部地震以降、土構造物などの地盤にかかわる耐震設計に、性能規定型設計（性能設計）という概念が数多く導入されてきている。この性能設計では地震に伴う地盤変位の予測が重要であるため、耐震性の高い設計には高精度の地盤変位の解析予測結果が必要である。高精度の解析結果を得るためには、設計対象地盤の物理特性や変形・強度といった力学特性を詳細に把握する必要があり、その方法として地盤調査と室内試験がある。

地盤調査は実際の地盤（実地盤）で実施さ

れ、調査対象の地盤特性を直接反映した結果を得ることができる。地盤調査には多種・多様な方法があるが、この中で標準貫入試験（SPT）は代表的かつ重要な方法である。多くの設計指針では、SPTにより得られた $N$ 値を用いて、設計に必要な地盤特性を推定式により算出する。これらの $N$ 値からの推定式は、一般的に膨大な実績から統計的に定式化されているが、 $N$ 値と地盤特性との推定式における関連の理論的背景は、現状においてもそれほど明確になっていない。SPTには、多数の実績や土を直接目視できるといった利点がある反面、結果が調査地点の状態（密度や

土の種類等)の影響を受けることや調査実施者によって結果が左右されるといった欠点も広く認識されている。すなわち、 $N$  値は地盤を定量的に評価するパラメータであるとは言い難く、 $N$  値から求められた地盤特性は信頼性や精度がそれほど高くない。

一方、SPT に比べて地盤特性をより高精度で求めることができる調査も多く存在するが、設計指針が  $N$  値を中心に構築されているため、SPT 以外の調査を実施しなくても設計を行うことができる場合が多い。したがって、地盤調査から設計指針に必要とされる対象地盤特性の信頼性や精度を高めるため、 $N$  値からの推定式を種々の調査結果で比較・評価する必要がある。この比較・評価のためには、種々の調査を同一条件下で実施しなければならないが、均一な条件の地盤は実在しない。均一地盤での調査のために人工的な模型地盤を土槽内に作製した事例もあるが、自然地盤より範囲が限定された小さな模型地盤では応力状態が実際に再現しているとは言い難い。このことが、地盤調査の結果比較を困難にさせる最も大きな要因である。

もう一つの方法である室内試験は、実地盤から採取された土の供試体に対して室内の装置で実施されるため、地盤調査に比べて特性を詳細に調査することができるが、採取時の乱れの影響や装置の仕様により、供試体に実地盤の状況を完全に再現できない。このことから、室内試験と地盤調査の整合性は必ずしも良くはない。しかし、室内試験が特性を詳細に把握し得る方法であることは否めなく、地盤調査から求められた特性を室内試験によって評価することは重要である。

## 2. 研究の目的

先述の背景をふまえ本研究では、地盤調査から耐震設計に信頼性の高い地盤特性を提供することに資することを目的として、大型模型地盤の同一条件下で実施された各種地盤調査の結果の比較と、その結果に基づく地盤特性に対する評価を行った。

## 3. 研究の方法

本研究では、次に示す項目を実施した。

### (1) 大型模型地盤での各種地盤調査結果の比較と地盤特性の評価

地盤性状が既知の大型模型地盤において実施された各種地盤調査の結果に対し、 $N$  値等の地盤特性に対する評価を行った。

### (2) 実地盤での地盤調査結果の評価

実地盤において実施された地盤調査の結果に基づき、大型模型地盤での調査で得られた結果への実地盤への適用性を評価した。

### (3) 室内試験による地盤特性に関するデータの取得

大型模型地盤と同じ材料に対する室内試験の結果より、調査時の地盤挙動等を詳細に把握するためのデータを取得した。

## 4. 研究成果

### (1) 大型模型地盤での各種地盤調査結果の比較と地盤特性の評価

密度等の地盤条件が既知の大型模型地盤において実施された標準貫入試験以外の地盤調査結果を用いて、 $N$  値の推定と地盤性状の評価を行った。模型地盤には実地盤の状態に近づけるために均一かつ十分な大きさが必要であることから、防災科学技術研究所・実大三次元震動破壊実験施設 (E-ディフェンス) の直方体土槽 (長さ 16m, 幅 4m, 高さ 5m) 内に作製された砂質土地盤 (写真 1) を対象とした。本研究では、この大型模型地盤において実施されたオランダ式二重管コーン貫入試験、オートマチックラムサウンディング、および軽量簡易動的貫入試験 (ULD-CPT) の結果を対象としたが、ここでは ULD-CPT の結果を報告する。

図 1 に、ULD-CPT の結果である貫入抵抗  $q_d$  の深度分布を示す。この図より、 $q_d$  が約



写真 1 調査を実施した直方体土槽内の大型模型地盤

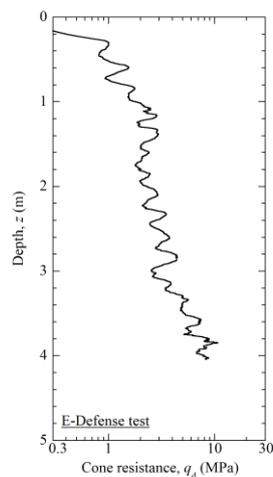


図 1 ULD-CPT 結果の深度分布

20cm の層厚毎に締固めて作製された大型模型地盤の状況を反映していることがわかる。

図2に、 $q_d$ から推定された $N$ 値と、オートマテックラムサウンディングから直接求められた $N_d$  ( $N$ 値と等しい)との深度方向の比較を示す。この $q_d$ による $N$ 値は、本研究で求められた関係式

$$q_d \approx 0.55N \quad (1)$$

を用いた。この図より、 $q_d$ による $N$ 値は直接求められた $N$ 値と良い相関を示していることがわかる。また、ULD-CPTは $q_d$ を連続的に取得できることから、その結果から推定される $N$ 値も連続的な深度分布となるため、離散的に結果を得るSPTより深度方向の地盤性状を詳細に把握し得ると言える。

図3に、 $q_d$ による $N$ 値を用いて求めた相対密度 $D_r$ と、模型地盤から直接求められた $D_r$ との深度分布の比較を示す。 $q_d$ による $D_r$ は、(1)式により推定された $N$ 値を、実務でSPTの結果に対して用いられるMeyerhof (1956)の式

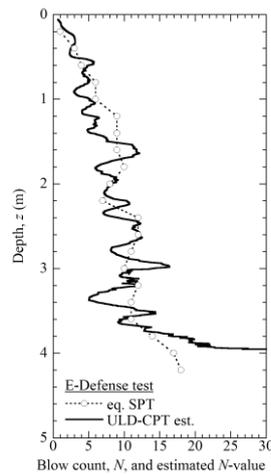


図2  $N$ 値の計測値と推定値の比較

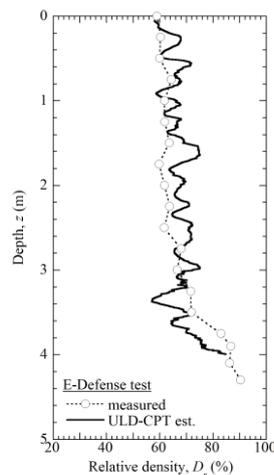


図3 相対密度の計測値と推定値の比較

$$D_r = 208 \sqrt{\frac{N}{\sigma' + 69}} \quad (2)$$

( $\sigma'$ は有効載圧( $\text{kN/m}^2$ ))に適用して求めた。この図より、 $q_d$ による $D_r$ は直接求められた $D_r$ と同じ傾向であるとともに、地盤作製時の状況を反映していることがわかる。

これらのことを含め本研究では、SPT以外の地盤調査により、SPTより地盤性状を良く反映した結果を求めることができ、その結果を従来の地盤特性を求める式に適用できることを示した。

## (2) 実地盤での地盤調査結果の評価

実際の液状化地盤で実施された地盤調査(SPT, ULD-CPT)の結果に基づいて、大型模型地盤での調査で得られた結果の実務への適用性の評価を行った。調査が実施された地盤(写真2)では人工的に液状化を発生させており、本研究では液状化前と直後の調査結果を対象とした。

図4に、液状化前と直後の $q_d$ の深度分布を示す。この図より、 $q_d$ が液状化の影響を受け大きく低下しており、ULD-CPTが地盤の液状化に伴う性状変化を捉え得ることがわかる。

図5に、 $q_d$ から推定された $N$ 値と、SPTか



写真2 調査を実施した液状化地盤

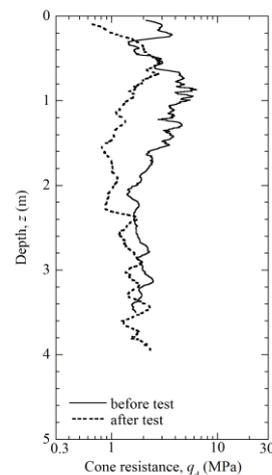


図4 液状化前と直後のULD-CPT結果の深度分布

ら直接求められた  $N$  値との深度方向の比較を示す。なお、装置の制限等から SPT と同等の深さまで ULD-CPT を実施することができず、 $q_d$  による  $N$  値と比較できる  $N$  値は 3 点である。この深度の範囲内において、値は多少異なるものの  $q_d$  による  $N$  値は  $N$  値とほぼ同様の傾向を示しているため、ULD-CPT による  $N$  値の推定が適切であると言える。また、SPT では深さ 1.15m からの  $N$  値が離散的に得られているが、ULD-CPT は地盤表面から連続的に  $N$  値を求めることができることから、ULD-CPT は深さ方向の詳細な把握に適している。

これらのことを含め本研究では、大型模型地盤での調査で得られた結果が実際の液状化地盤でも適用可能であることを確認し、液状化前と直後の地盤性状の変化を把握することができた。

### (3) 室内実験による地盤特性に関するデータの取得

大型模型地盤の材料と同じ砂質土に対して、中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験と繰返し非排水三軸試験データの取得を行った。これらの試験は種々の応力条件や載荷速さ、相対密度の供試体に対して実施されたため、そのデータは調査時の地盤挙動等を把握する際に有用である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- (1) 田端憲太郎：ポータブル動的貫入試験装置による液状化地盤の性状評価。実物大の空港施設を用いた液状化実験に関するシンポジウム資料集，国土交通省・国土技術政策総合研究所・港湾空港技術研究所編，

77-81，2008。

- (2) 菅野高弘，中澤博志 (研究代表者を含む他 59 名)：液状化対策に関する実物大の空港施設を用いた実験的研究，港湾空港技術研究所資料，2009 (印刷中)。
- (3) 田端憲太郎，中澤博志，徳山英之：軽量簡易動的貫入試験による液状化地盤への適応性の評価。最近のサウンディング技術と地盤評価シンポジウム，2009 (査読有)。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田端 憲太郎 (TABATA KENTARO)  
 防災科学技術研究所・兵庫耐震工学研究センター・主任研究員  
 研究者番号：3 0 2 8 2 9 5 8

### (2) 連携研究者

規矩 大義 (KIKU HIROYOSHI)  
 関東学院大学・工学部・教授

中澤 博志 (NAKAZAWA HIROSHI)  
 港湾空港技術研究所・研究員

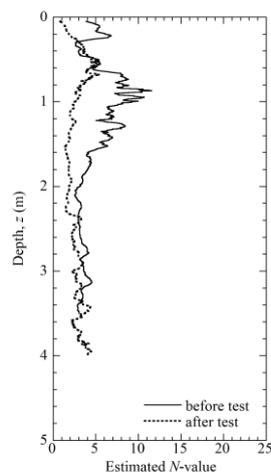


図 5  $N$  値の計測値と推定値の比較