

## 原位置摩擦試験から得られた地盤変形係数の検討 ——軟弱地盤における変形係数について

(株) コンサルタント大地 正会員 徐 光黎 ○中谷 隆生  
九州共立大学 工学部 正会員 前田 良刀  
九州大学 工学部 フェロー 落合 英俊

### 1. まえがき

地震時保有水平耐力法は、非常に強い地震動が作用する条件での設計法である。このような厳しい条件での基礎構造物の耐震性を合理的に照査するためには、地盤強度・変形など地盤の力学定数をいかに精度よく推定することが要求されていきている。特に、軟弱地盤での基礎の水平抵抗問題における地盤定数の役割は非常に重要である。そこで、ボーリング孔を縦方向に利用する原位置摩擦試験 SBIFT (Self Boring-typed In-situ Friction Test) 装置を開発した<sup>1), 2), 3)</sup>。これまで SBIFT 試験により、地盤のせん断試験及び変形係数を推定することができることを報告しているが、その精度を高めるために、同一地盤において実施した各種の試験方法より得られる地盤定数を相互に比較・検討することが必要である。

本文は、東京外環自動車三郷 IC 付近の杭基礎と、第一東名高速道路粟窪高架橋、坂部高架橋及び勝間田高架橋などの軟弱地盤における SBIFT 試験において得られた変形係数と他の試験結果を比較・検討したものである。

### 2. 変形係数の評価方法

SBIFT 試験により、壁面に垂直応力  $q_v$  と孔壁変位量  $\delta_v$  または体積変化量  $\Delta V$  の関係から変形係数  $E$  を求めることができる。推定の手法は孔内水平載荷試験方法と同一である。すなわち、孔壁に垂直応力のみを載荷する場合に、弾性論から孔内における垂直応力  $q_v$  ~ 孔径の変化あるいは送水量曲線の勾配から、変形係数を式 (1) により求める。

$$E = 2(1+\nu)(V_0 + V_m) \frac{dq_v}{dv} \quad (1)$$

ここで、 $\nu$  : ポアソン比、通常  $\nu = 0.3$  と仮定する；  $dq_v$  : 圧力～変位量曲線の直線部分における圧力増分；  $\frac{dq_v}{dv}$  : 圧力～体積変化量曲線の直線区間の勾配である；  $V_0$  : SBIFT 測定管セルの初期体積あるいは無加圧時の体積；  $v_m$  :  $\frac{dq_v}{dv}$  算定直線区間の中間に対応する注水量。

SBIFT 試験では、地盤の力学定数を求めるために、多段階載荷法を採用している。このため、各垂直応力  $q_v$  の載荷段階における変形係数を推定することが可能となる。図-1 は第一東名高速道路 粟窪高架橋基礎の沖積粘土 (GL-9.5m) において SBIFT 試験から得られた垂直応力～送水量の関係曲線である。5 載荷段階に対する垂直応力～送水量の曲線の勾配から、推定した変形係数は、56.1, 123.5, 127.6, 135.8 及び 144.6 ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ) である。初期載荷段階に対する変形係数は 56.1 ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ) で、後続載荷段階に対する値はほぼ同じ、平均で 132.9 ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ) である。

初期段階に対する変形係数を  $E_1$  (SBIFT) とし、後続段階に対する平均変形係数を  $E_2$  (SBIFT) とすると、整理した両者の関係を図-2 に示す。図-2 により、両者の比は約 1:2 の比例であった。この関係は、他の試験結果による処女荷重に対して求めた値と繰返し曲線から求めた値の比と同程度と考える。

SBIFT では、多段階載荷のため、地盤のせん断ひずみはその都度異なるが、この多段階載荷は変形係数には影響しないようである。

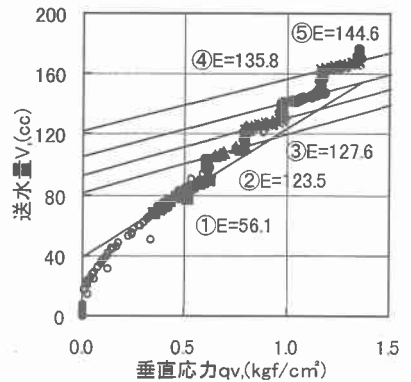


図-1 SBIFTから推定した変形係数 (坂部VA, 粘土, GL-9.5m)

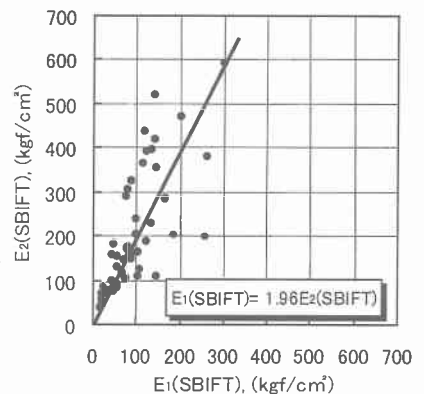


図-2  $E_1$ (SBIFT)と $E_2$ (SBIFT)の関係

3. 試験結果と比較

変形係数を求める代表的な方法として、以下の4つの方法がある：a) 直径30cmの剛体円板による平板載荷試験；b) 孔内水平載荷試験；c) 標準貫入試験；及びd) 供試体の一軸または三軸圧縮試験。道路橋示方書では試験方法によって変形係数  $E_0$  を換算係数  $\alpha$  で補正としている<sup>4)</sup>。以下に、 $E_2$  (SBIFT) を用いた場合について標準貫入試験、孔内水平載荷試験及び三軸圧縮試験から求めた変形係数と比較する。

図-3はSBIFT試験と標準貫入試験のN値から推定した変形係数を比較したものである。図-3により、 $E_2$  (SBIFT) が  $E$  (7N) の約4倍となっている。即ち、 $E_2$  (SBIFT) の値が直径30cmの剛体円板による平板載荷試験の値に相当することと推察される。すなわち、補正係数  $\alpha$  が必要ない。ただし、ここで示したデータはN値が小さく、ほとんどのN値が0~5の範囲にある軟弱地盤であるため、N値と変形係数との相関がよくないので、データを蓄積したうえ、上記の関係を検討する必要がある。

図-4はSBIFT試験と孔内水平載荷試験 (LLT) から推定した変形係数を比較したものである。 $E_2$  (SBIFT) と  $E$  (LLT) の間に相関性が見られ、前者の値が後者の5.5倍程度となる。即ち、SBIFT試験値が孔内水平載荷試験値より比較的大きくとなっている。それは、LLT試験値は軟弱地盤において、一般的に  $E$  (LLT) = (4~6)N という関係があり、既往の孔内水平載荷試験では試験孔壁が乱れやすいからと考えられる。

また、SBIFT試験と三軸圧縮試験から推定した変形係数の比較を図-5に示す。両者の間にもよい相関があるといえ、 $E_2$  (SBIFT) が  $E_{50}$  の約3倍近くにある。なお、変形係数は拘束圧力にも依存するので、三軸圧縮試験に際しては、ある拘束圧を水平方向の地盤の静止土圧と対応する必要がある。

以上のように、SBIFTにより変形係数を測定し、実務へ適用できる可能性がある。軟弱地盤におけるSBIFT試験から推定した変形係数と標準貫入試験、孔内水平載荷試験及び三軸圧縮試験の推定値との関係から、 $E_2$  (SBIFT) からほぼ換算係数  $\alpha=1$  として変形係数  $E_0$  を推定することができる。これらの相関を式(2)にまとめる。

$$\begin{aligned} E_2 \text{ (SBIFT)} &\approx 4 \cdot E \text{ (7N)} \\ E_2 \text{ (SBIFT)} &\approx 5.5 \cdot E \text{ (7N)} \quad (0 < N < 10) \\ E_2 \text{ (SBIFT)} &\approx 3 \cdot E_{50} \end{aligned} \tag{2}$$

4. まとめ

SBIFT試験により、原位置地盤摩擦強度の測定のために、多段階載荷することにより、附随して初期段階及び後続段階における地盤の変形係数が求められる。SBIFT試験から推定した変形係数は他の方法から推定した結果と比べ大きな値となり、補正係数が小さく、すなわち、精度が高くなることがわかる。軟弱地盤におけるSBIFT試験から推定した変形係数は補正係数を設けなくても合理的な値を得る可能性がある。

参考文献

- 1) 日本道路公団：設計要領 第二集、新しい原位置地盤調査法、pp. 4-5-4-6、平成9年11月
- 2) Maeda, Y., Xu, X. L., Ochiai, H., Sakate, M., Sakata, T., Ogata and Uno K.: A New Self Boring In-situ Friction Testing Technique, *1st Int. Conf on Site Characteristics*, Atlanta, USA, pp.831-836, 1998.
- 3) 徐光黎, 前田良刀, 落合英俊, 安福規之, 坂手道明: 原位置摩擦試験による地盤の強度・変形定数の推定と実務への適用, 土木学会論文集, No. 3/III, 1999
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説, IV下部構造編, pp. 235-241, 平成8年12月

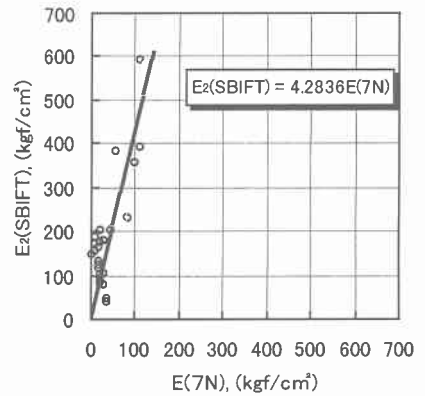


図-3  $E_2$ (SBIFT)と  $E$ (7N)の関係

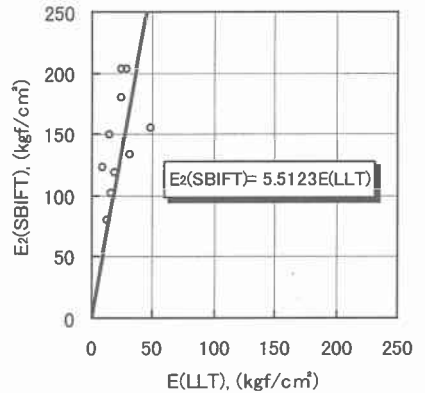


図-4  $E_2$ (SBIFT)と  $E$ (LLT)の関係

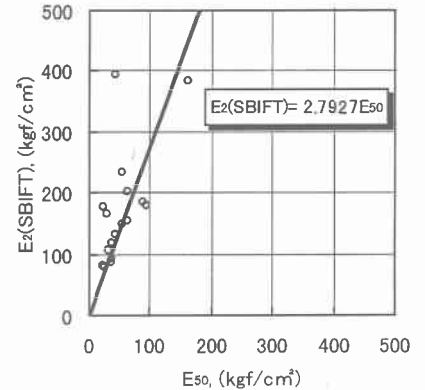


図-5  $E_2$ (SBIFT)と  $E_{50}$ の関係