

III-409

硬質地盤の弾性係数(ヤング率)についての考察

西松建設 技術研究所

宮崎啓一, HAMEED, R. A. 佐藤靖彦

東京大学 生産技術研究所

木幡行宏, 龍岡文夫

1. はじめに

硬質地盤での開削工事のような場合には、掘削による掘削底面の鉛直ひずみは一般に小さく、地盤はほぼ弾性体としての挙動が卓越したものとなる。本報告は地盤のヤング率について、排水条件による差異、固結シルト層と砂層の互層である洪積層(江戸川層)の三軸圧縮試験とPS検層および現位置での開削時の挙動からの評価値を検討したものである。

2. 弾性波速度から求めた弾性常数

ボーリング孔を利用したPS検層によりP波速度(V_p)およびS波速度(V_s)を測定する事によって、次式から地盤の弾性常数を求めることができる。

$$G = \rho V_s^2 \dots (1) \quad E = 2G(1 + \nu) \dots (2) \quad \nu = \frac{1 - 2(V_s/V_p)^2}{2\{1 - (V_s/V_p)^2\}} \dots (3)$$

ここに、 G :せん断弾性係数、 E :ヤング率、 ν :ポアソン比、 ρ :地盤の密度である。

基盤が洪積層である開削工事の現場¹⁾で、PS検層によって弾性波速度を求めた。上式から深度約18m以深の洪積層における弾性常数は、 $G=3900\text{kgf/cm}^2$ 、 $E=9100\text{kgf/cm}^2$ 、 $\nu=0.47$ となる。

弾性波探査では生じるひずみが非常に小さく、波の伝搬速度が速いので、現象は非排水状態で生じると考えられる。すなわち、弾性波速度 V_p および V_s から求めた弾性常数は非排水状態でのものを意味することになる。P波の伝搬は地盤内の間げき流体の量や状態等に大きく影響される。しかし、せん断波(S波)はほとんど間げき流体の影響を受けない。

前記の(2)式から $G=E/2(1+\nu)$ となるが、上記のように G が排水状態によらないので

$$\frac{E(\text{drained})}{1+\nu(\text{drained})} = \frac{E(\text{undrained})}{1+\nu(\text{undrained})} \quad (= G = \rho V_s^2) \quad \dots (4)$$

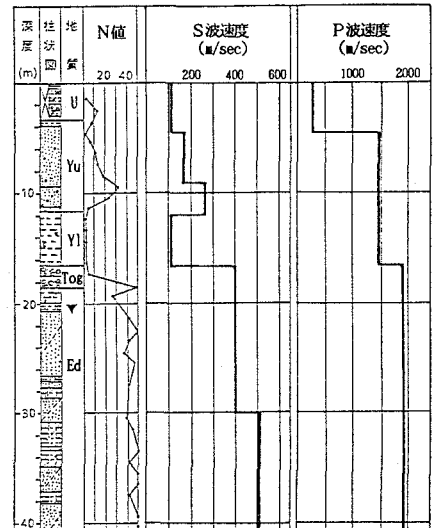
となる。したがって、排水および非排水状態でのヤング率およびポアソン比が相互に関連づけられる。

3. 三軸圧縮試験から求めた弾性係数

深さ26mの掘削を行った上記の現場において、深度20m地点からブロックサンプリングによって洪積層の乱さない試料を採取し、大型および小型の三軸圧縮試験を排水条件で行った。採取した試料は固結シルト層と砂層の互層であり、大型三軸試験は互層状態で25cm×25cm×約50cmの立方体の供試体を用い、小型三軸試験では固結シルトおよび砂の単体としてφ7.5cm×15cmの円柱供試体を用いた。試験ではLDTおよびlinear-LDTを用いて微小ひずみの測定を行い、割線ヤング率 E_{sec} を求めた。各ひずみレベルにおける E_{sec} を図2に示した。

大型三軸試験では、供試体中の固結シルト部分のひずみを長さ13cmのLDTを用いて求めた。この場合、 E_{sec} は図2(a)に示したようにひずみの小さい領域ではかなり大きな値を示している。しかし、長さ40cmのLDTにより測定した供試体全体のひずみから求めた E_{sec} はかなり小さい。

図2(b)に示した小型三軸試験の結果では、固結シルトの E_{sec} にかなりばらつきが見られる。これは、供試体寸法が小さいため、現地盤の不均一性に基づく試料の不均一性が大きく影響したものである。また、砂層はサンプリングによる応力解放により乱れが生じているものと思われ、 E_{sec} は固結シルト層に比べてかなり小さい値となっている。



U:埋土 Yu,YI:有楽町層 Toe:東京れき層 Ed:江戸川層 ▼:試料採取

図1 開削工事現場でのPS検層結果

4. 現位置での弾性係数

硬質地盤における開削工施工時の掘削底面地盤の挙動は、水平応力一定($\Delta\sigma_h=0$)と水平ひずみ一定($\Delta\varepsilon_h=0$)という2つの変形モードの間にあると考えられる²⁾。現位置での掘削底面の鉛直変位の測定値から、排水状態でのポアソン比 $\nu=0.23$ を用いて評価した E_{sec} を図2中に破線で示した。ここで排水状態の ν としたのは、地下水位変動と鉛直変位の測定結果等から非排水状態ではないと判断したためである。また、図2中にはPS検層による V_p および V_s から求めた E_f (undrained)を排水状態での E_f (drained)に変換した結果も示してある。

PS検層から求めた E_f (drained)は、大型三軸試験での短いLDTによる E_{max} および砂質シルトの小型供試体の E_{max} の平均値に近い。これに対して、長いLDTで求めた大型供試体全体の E_{max} と砂の小型供試体の E_{max} は、はるかに小さい。これは、固結シルト部のサンプリング等による乱れは比較的小さかったのに対して、砂の部分の乱れが大きかったためであろう。また、砂質シルト部の E_{max} のばらつきが大きい、これは地盤の不均一性のためであろう。

また、図2中に破線で示した掘削底面の鉛直変位の挙動から求めた E_{sec} も、供試体の不均一性を考慮すると排水条件での三軸圧縮試験から求めた乱れの少ないと思われる砂質シルト部の E_{sec} の結果とほぼ一致していると云えるであろう。また、 E_f (drained)に対しては、やや低めの値となっている。

現位置での鉛直変位の測定値を用い、洪積層を対象として線形弾性FEM解析により、鉛直変位測定点に該当する解析メッシュの格子点の変位量が実測値に一致するようなヤング率を、 $\nu=0.23$ として逆解析によって求めた。その結果を図2中に E_{BC} として▲で示してある。その値は固結シルト部の実験値と比較的良好に対応しているが、現位置挙動から $\Delta\varepsilon_h=0$ を仮定して求めた E_{sec} (破線)よりは大きくなっている。これは、このFEM解析では、 $\Delta\sigma_h=0$ と $\Delta\varepsilon_h=0$ の中間的な性質を示しているが、 E_{sec} (破線)は $\Delta\varepsilon_h=0$ と仮定して求めたため、小さめの値が求まったものであろう。

5. おわりに

排水条件での室内三軸試験結果には乱れの影響も見られたが、非排水条件での値である原位置弾性波速度から求めたヤング率を排水条件での値に変換したものと比較することで、ほぼ整合性のある結果となった。また現位置地盤挙動から求めたヤング率も、原位置試験および室内試験の結果とほぼ一致するものであった。今後、更に他の現場でのデータの検討を行っていくことが必要であろう。

参考文献

- 1)宮崎 他：洪積地盤の変形強度特性と開削工事における鉛直変位計測，都市地下空間利用における大深度地盤に関するシンポジウム，pp157-164，1993
- 2)宮崎 他：原位置挙動による洪積層地盤の変形係数の推定，第29回土質工学研究発表会，1994

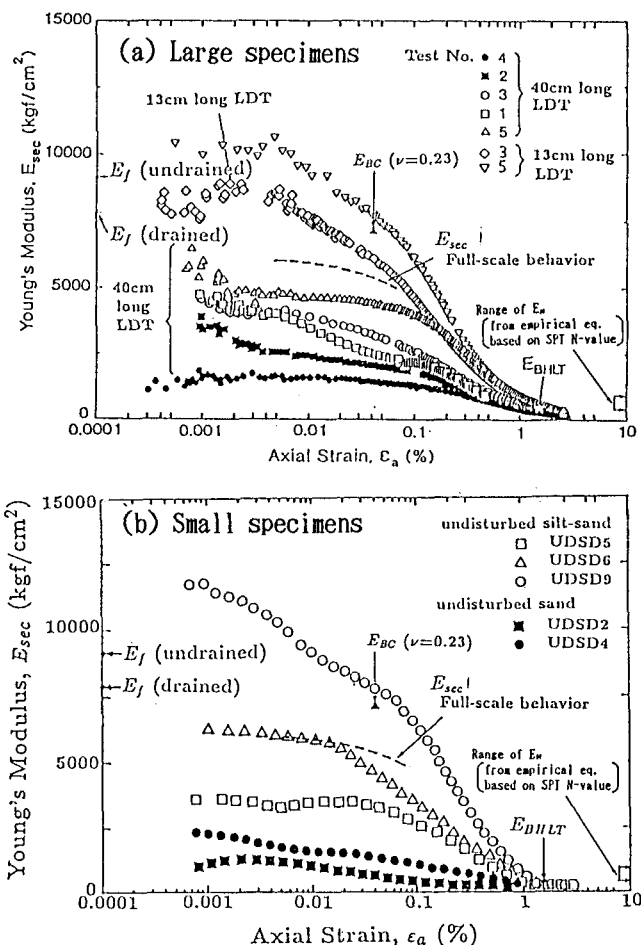


図2 検討した各手法による E_{sec}