

Ⅲ - A 269

掘削時の地盤内のひずみと変形係数

西松建設技術研究所

○宮崎啓一

東京大学生産技術研究所 早野公敏, 古関潤一

東京大学工学部

龍岡文夫

1.はじめに 開削工において除荷に伴う掘削底面以深の地盤の変位測定結果から地盤内のひずみを算定する場合に、異なる2点間の変位差によって異なる平均ひずみが得られる。しかし、一連の収束するひずみ系列として考えられる場合には、得られたひずみ値を合理的に解釈する事ができる¹⁾。ここでは、掘削に伴う地盤内の応力とひずみの関係を検討し、変形係数の推定結果について考える。

2.弾性体としての地盤内の応力分布と変位 地盤を半無限弾性体とし、開削工における荷重条件を表面における等分布円形荷重と考えると、地盤のヤング率を E 、ポアソン比を ν 、分布荷重強度を p 、載荷円の半径を a 、求める位置の深度を z 、 n を z/a とすると、載荷円中心軸下の地盤内の応力および変位を弾性論によって下記の式(1)および(2)のように求めることができる²⁾。

$$\sigma = p \left\{ 1 - \frac{1}{(1+n^2)^{3/2}} \right\} \quad (1) \quad w = \frac{2ap(1-\nu^2)}{E} \left(\sqrt{1+n^2} - n \right) \left\{ 1 + \frac{1}{2(1-\nu)\sqrt{1+n^2}} \right\} \quad (2)$$

実際の工事条件から、除荷荷重分布は円形等分布と帯状等分布の中間的なものと思われるが、帯荷重とした場合には通常では変位の計算値が発散してしまうため、ここでは載荷(除荷)重を円形等分布荷重として扱った。掘削に伴う地盤内の除荷応力を式(1)により求めた結果を図1に示した。掘削面に近い位置では掘削に伴い除荷応力が急激に増加するが、深部ではその増加は少ない。また、各変位計測深度での掘削の進行に伴う変位を式(2)によって求めた結果を図2に示した。掘削面に近いほど変位が大きいが、三次元的な応力分散により掘削面から離れると変位は小さくなる。なお、計測箇所での最大有効除荷応力は約 2.6 kgf/cm^2 であるが、図にはもっと大きな荷重まで示してある。

3.地盤の応力とひずみ 堆積軟岩地盤での変位測定結果から求めた $\varepsilon_{1k} (k=2, \dots, 5)$ と測点 P1 と測点 Pk(文献1参照)の中央点での除荷応力を式(1)によって求めた結果を図3に示した。各測定値において除荷応力(σ)とそれによるひずみ(ε)を双曲線でフィッティングした結果も図中に示してある。係数 a_0 および a_1 の決定に当たっ

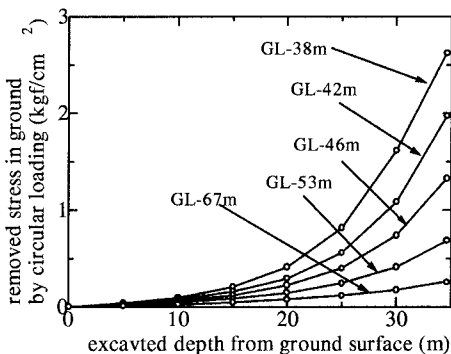


図1 除荷に伴う地盤内の鉛直応力

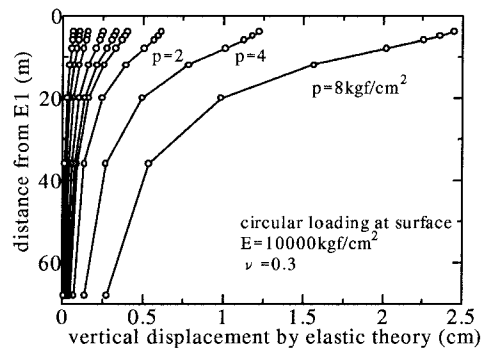


図2 除荷に伴う地盤内の応力

キーワード: 除荷, ひずみ, 変形係数, 拘束圧依存性, 非線形性

連絡先: 西松建設技術研究所 神奈川県大和市下鶴間 2570-4, 東京大学生産技術研究所 東京都港区六本木 7-22-1, 東京大学工学部 東京都文京区本郷 7-3-1

てはひずみが急激に増加し始めた 7～8 次掘削段階以降のデータを用いた。ε₁₂～ε₁₄ はひずみの小さい部分では曲線との一致が良くないが、ε₁₅ は全体に比較的良く一致している。

4. 変形係数の推定 双曲線でフィッティングした結果から、疑似変形係数 $M_{tan} = d\sigma/d\varepsilon$ を求めた(図 4)。地盤内の応力変化は水平応力一定という条件ではないので、 M_{tan} はヤング率 E_{tan} とは異なるが、ほぼ類似したものである。ここでは M_{tan} の検討をする。

原位置 PS 検層の結果から算出したヤング率(E_p)は約 10000～12000kgf/cm²であるが、図 4 でのフィッティングではひずみの大きい部分を重視したため、ひずみの小さい ε₁₅ 以外の M_{tan} は通常考えられている値よりも非常に小さい。なお、 M_{tan} には顕著なひずみ依存性が見られている。

三軸圧縮試験を主体とした研究から、堆積軟岩等の応力ひずみ関係には拘束圧依存性が見られることが知られている。ここでは、変形係数の拘束圧依存性を掘削前の初期鉛直応力を σ_{v0} 、掘削による除荷鉛直応力を $\Delta\sigma_v$ として、式(3)によって評価する。

$$M_{tan} = M_{tan0} \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0} - \Delta\sigma_v} \right)^m \quad (3)$$

各 ε_{1k} に対する $M_{tan} \sim \varepsilon_{1k}$ 関係での ε_{1k}=0 での M_{tan} の値を求めた。この値から式(3)により求めた M_{tan0} を $[M_{tan0}]_0$ とする。この値は図 5 に示したように、m によって異なり、線形弾性変形を多く含む ε₁₅ は E_r に近い値となっており、除荷の影響も小さい。しかし、掘削面に近い部分で考えた ε₁₂ や ε₁₃ には、非線形的な変形が含まれており、除荷に伴う拘束圧の変化も大きい。三軸圧縮試験から、砂岩では m=0.7 程度であるが、泥岩では 0～0.3 程度と報告されている³⁾が、掘削は除荷問題であり拘束圧の減少は圧縮過程よりもその物性に顕著に影響すると考えられる。

また、深部の掘削の影響が少ない小ひずみ領域の挙動は弾性的なものであり、PS 検層により推定した E_r とほぼ一致する⁴⁾。しかし、掘削面に近い領域では変形が進み比較的大きなひずみ領域となると、非線形性が卓越し、実挙動から推定される変形係数は E_r よりも小さいものとなる。

5. まとめ 掘削問題は除荷過程であり、挙動を合理的に推定するためには、圧縮過程の試験から物性を評価するのではなく、除荷試験によって物性を評価することが必要であろう。除荷問題では拘束圧の影響が載荷問題よりも大きく影響する可能性がある。しかし、小ひずみ領域の挙動は原位置試験等で十分に推定可能であろう。

参考文献 1)宮崎 他(1998):地盤掘削時の計測鉛直変位とひずみ、第 53 回土木学会年次学術講演会(投稿中)、2)最上 他(1969):土質力学, pp. 234-235, 技報堂、3)水本 他(1993):堆積軟岩の変形係数の拘束圧依存性について、第 28 回地盤工学研究発表会, pp.1369-1372、4)宮崎 他(1998):堆積軟岩地盤内の開削工事における地盤内のひずみと剛性の推定、第 33 回地盤工学会研究発表会(投稿中)

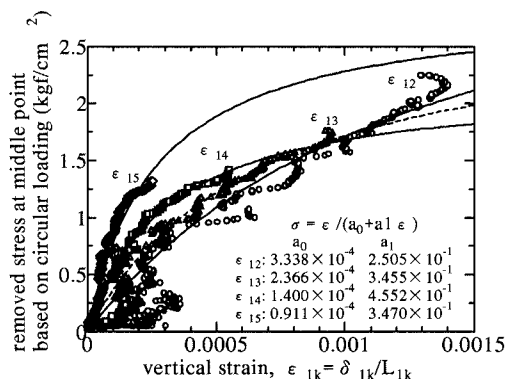


図 3 掘削面以深での地盤の応力とひずみ

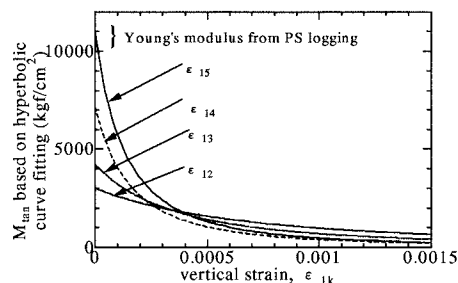


図 4 各測定ひずみと M_{tan}

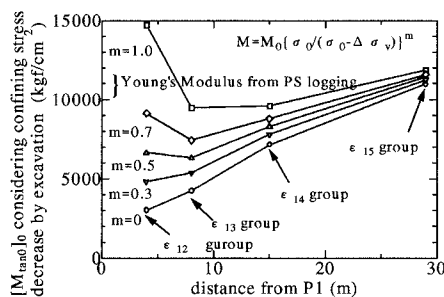


図 5 除荷応力と鉛直ひずみの測定結果