

## 堆積軟岩の室内試験と原位置試験による変形係数の関係

東京大学生産技術研究所 龍岡文夫・金有性

応用地質(株)

橋口稔・稲垣隆二

はじめに： 圧縮強度が10~100kgf/cm<sup>2</sup>程度の堆積軟岩は剛性率が大きい。従って、地盤の変形・応力解析の為に「ひずみレベル=載荷応力/変形係数」が10<sup>-3</sup>程度以下の微小ひずみレベルでの正確な変形係数が必要となる。しかし以下の問題がある。(1)原位置せん断波速度による変形係数 $E_r$ と孔内載荷試験による変形係数 $E_{BHLT}$ との関連。(2) $E_r$ と $E_{BHLT}$ とマスとしての地盤の変形係数の関連。原地盤内にマクロクラックが発達していれば、地盤のマスとしての変形係数はその動きに支配される(特に、破壊に近い状態では)。その場合の $E_r$ と $E_{BHLT}$ の値(特に前者)が大きすぎる可能性。しかし、堆積軟岩ではこの問題は相対的に小さいと思われる。(3)サンプリング試料で室内試験から求まる変形係数と、マスとしての地盤の変形係数及び $E_r$ と $E_{BHLT}$ の値との関連。

3-1:良質な選ばれた小さな供試体の室内試験による変形係数が、地盤のマスとしての平均的変形係数を過大評価する可能性。3-2:サンプリング時に試料に形成されたマイクロクラックのため、供試体の変形係数は原位置での変形係数より小さくなる可能性。3-3:一軸圧縮試験や三軸圧縮試験でのBedding errorによる変形係数の過小評価<sup>1, 2)</sup>。本報告は、 $E_r$ と $E_{BHLT}$ と三軸圧縮試験での変形係数の関連についてである。

地盤・試験方法： 孔内載荷試験(図1)は直径66mmのボーリング孔内で行い、圧力変化 $\Delta p$ と孔半径変化 $\Delta r$ から、ひずみ量 $\Delta \varepsilon_1 = -\Delta \varepsilon_3 = -\Delta r / r_m$ 、割線変形係数 $E_{BHLT} = (1+\nu) \cdot \Delta p / \Delta \varepsilon_1$  ( $\nu=0.3$ ) を求めた。 $E_{BHLT}$ は、処女載荷での値を $E_1$ 、第一・二回目の繰返し載荷試験での値を $E_{u1}$ 、 $E_{u2}$ とした。なお、 $5 \times 10^{-4}$ 以下のひずみレベルでのデータは、ひずみの測定精度を超えているので用いなかった。 $E_r = 2(1+\nu)(\rho/g)V_s^2$  ( $V_s$ は原位置せん断波速度)の計算には、 $\nu$ =超音波パルス試験での平均値(0.42)、 $\rho$ =室内試験供試体の平均値(2.3g/cm<sup>3</sup>)を用いた。なお本稿での三軸圧縮試験のデータは、軸ひずみを供試体側面で測定したものである<sup>2)</sup>。

変形係数のひずみレベル・応力レベル依存性(三軸圧縮試験、図2, 3)： 図3に双曲線関係： $E_{sec}/E_{max} + q/q_{max} = 1$  ( $q = \sigma_1 - \sigma_3$ ,  $E_{sec} = q/\varepsilon_1$ ) も示す。次のことが言える。(1)供試体による傾向の差は小さい。一つの標準的曲線を提案できそうである。(2)ひずみレベル依存性は0.01%以下のひずみでは極めて小さく、それ以上大きいひずみでは大きくなる。(3)応力レベル $q/q_{max}$ の増加によって $E_{sec}/E_{max}$ は確実に減少する。載荷初期は双曲線関係における応力レベル依存性よりも大きい、破壊近くなると逆に小さくなる。

ひずみレベルを考慮した各種変形係数の比較： 図4に、三軸圧縮試験での変形係数 $E_{sec} \sim q_{max}$ 関係と孔内載荷試験による $E_{BHLT} \sim$ 「その深度の一軸圧縮強度 $q_{max}$ の平均値」関係の類似のひずみレベルでの比較を示す。この図から次のことが分かる。(1) $\Delta \varepsilon_1$ が大きいほど $E_{BHLT}$ は大きく、ひずみレベル依存性を示している。(2)同一のひずみレベルでは、原位置調査と室内試験の変形係数は似ている。(3)図4(b)で、 $2 \times 10^{-2}$ 以上のひずみレベルでの $E_{BHLT}$ は極端に小さい。これは、三軸圧縮試験での破壊ひずみは10<sup>-2</sup>程度であることを考えると、破壊後の小さい変形係数である可能性がある。図5に、次の三者の「変形係数/圧縮強度」をひずみレベルの関数として示す。(a) $E_r$ をその層での一軸圧縮強度 $q_{max}$ の平均値で除した値。但し、10kgf/cm<sup>2</sup>以下の極端に低い $q_{max}$ は除外した。ひずみレベルは10<sup>-6</sup>と仮定した。(b)三軸圧縮試験で得られた $E_{sec}/q_{max}$ 。(3) $E_{BHLT}$ と測定地点周辺の一軸圧縮強度 $q_{max}$ の比。 $E_r/q_{max}$ と $E_{BHLT}/q_{max}$ の値の安定性が良くないのは、一軸圧縮強度の値の安定性が良くないこと(一般には強度の過小評価)と、地盤の非一様性のために $E$ と $q_{max}$ が整合していないためであろう。また、 $E_{sec} = q/\varepsilon_1$  から  $\log(E_{sec}/q_{max}) = \log(q/q_{max}) - \log(\varepsilon_1)$  であり、ピーク応力状態  $q/q_{max} = 1.0$  では、 $\log(E_{sec}/q_{max}) + \log(\varepsilon_1) = 0.0$  になる(図5の破線F)。 $q_{max}$ と変形係数を一つの供試体から得た場合は、データポイントはこの破線の右側には来ない。孔内載荷試験のデータの一部が破線の右側にあるのは、変形係数と圧縮強度を異なる試験から得たために整合していないからである。図5から、次のことが言える。(1)三者の変形係数は、ひずみレベルを考慮すれば良く対応している。従って、原位置弾性波探査や孔内載荷試験による変形係数はひずみレベルを考慮して用いるべきである。(2)データのばらつ

きはあるが、全体的には孔内載荷試験と三軸圧縮試験での変形係数のひずみレベル依存性は似ている。

まとめ： 今回調査した様なマクロなクラックが卓越していない堆積軟岩地盤では、原位置せん断波速度による変形係数は「原位置地盤の $10^{-6}$ 程度のひずみレベルでの平均的変形係数」である可能性がある。また、孔内載荷試験での変形係数は大きなひずみレベルでの値である。一方、三軸圧縮試験での変形係数にははじめに述べた3-1, 3-2の問題があるため、原位置の値ではない場合がある。しかし、そのひずみレベル依存性は信頼できると考えられる。以上から、原位置弾性波探査と孔内載荷試験による変形係数、及び三軸圧縮試験による変形係数のひずみレベル依存性を組み合わせて原位置の変形係数を推定する方法が、今後検討に値すると思われる。

参考文献： (1)橋口・稲垣・金・龍岡・遊谷・佐藤(1990):堆積軟岩の変形係数と圧縮強度の関係、土木学会年次学術講演会Ⅲ、(2)金・龍岡・佐藤・橋口・稲垣(1990):堆積軟岩の一軸・三軸圧縮試験における微小ひずみレベルでの変形係数、土木学会年次学術講演会Ⅲ、同上

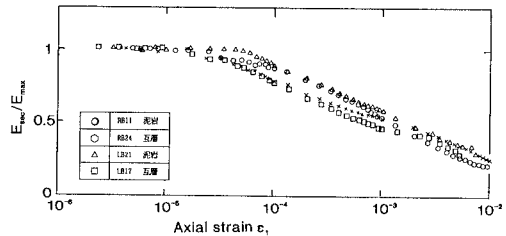
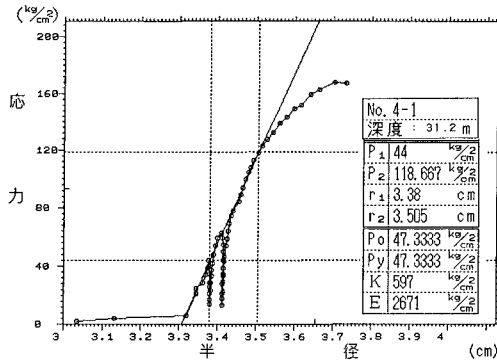


図2 三軸圧縮試験での  $E_{sec}/E_{max} \sim \log \varepsilon_1$  関係

図1 孔内載荷試験（エラストメータ試験）の結果例（No. 4-1, 深さ31.2m）。

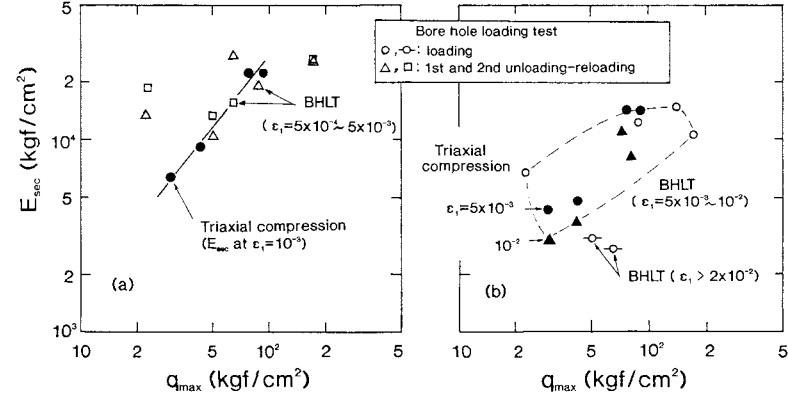


図4(a)、(b) 三軸圧縮試験での変形係数  $E_{sec}$  と  $E_{BHLT}$  の比較

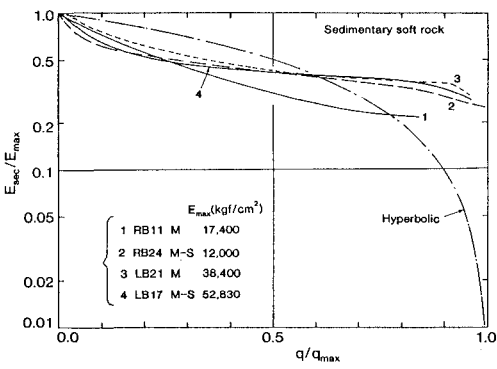


図3 三軸圧縮試験で得られたデータの  $\log E_{sec}/E_{max} \sim q/q_{max}$  関係

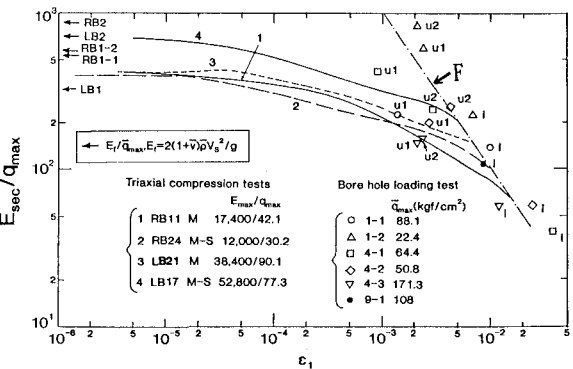


図5 「変形係数/圧縮強度」～ひずみレベル関係のまとめ