

III-217 堆積軟岩の変形係数と圧縮強度の関係

応用地質 橋口稔・稲垣隆二

東京大学生産技術研究所 金有性・龍岡文夫・澁谷啓・佐藤剛司

はじめに： 堆積軟岩の変形係数 E と圧縮強度 $q_{max}=(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ の関係を検討する。しかし、弾性波速度・一軸試験・三軸圧縮試験による変形係数の関係の系統的研究例が少ないため、この関係には検討の余地がある。

地盤： 砂岩・泥岩・砂泥互層の相良層群地盤のボーリング孔内でのPS検層(Down hole法)・孔内載荷試験と、コアボーリングで得た直径5cmの試料(ほぼ飽和)の一軸試験・三軸圧縮試験・超音波パルス試験を行った^{1, 2)}

(図1)。2400-500万年前の中新世後期に赤石山地からの盛んな土砂流出で海底で堆積した日本の代表的堆積軟岩地盤である。表面層・第一層・第二層に分類でき、礫岩層を含まず地盤の均一性は比較的高い。第一層には若干マクロクラックがありクラック面は若干風化していたが、第二層には風化が無くマクロクラックも殆ど無い。

実験結果： 図1を見ると、原位置と室内での弾性波速度は全体的に大体一致している(特に、基盤層で)。しかし、-30LBの第二層では室内での速度の方が大きい。これは、比較的クラックの無い試料を選択して試験に供した為である可能性がある。また、室内試験結果の方がばらつきが大きいのは、主に地盤の非一様性の為であろう。また、図2に示すようにデータのばらつきが大きい。大半のデータでは(超音波パルス法による変形係数 E_d) / (一軸圧縮強度 q_{max})の比は300~3000であり、通常言われている比(100 - 200)よりも大きい。

図3に、次の三種の変形係数と q_{max} の相関を示す。①三軸圧縮試験で $q \sim$ (供試体側面で測定した軸ひずみ $(\varepsilon_1)_{LDT}$)関係がS字型にならなかった場合の各ひずみレベルでの割線変形係数 E_{sec} 。 $(\varepsilon_1)_{LDT}=10^{-5}$ での E_{sec} を E_{max} とする。②三軸圧縮試験での $q \sim$ (三軸セル外部で測定した軸ひずみ)関係の初期の直線に見える部分の変形係数 $E_{initial}$ 。③原位置せん断波速度から求めた E_r 。 $E_{max} \sim E_r$ であり、三軸圧縮試験でも弾性波速度から求まる変形係数と類似な値が得られると言える。また、 $E_{max}/q_{max} \sim 500$ であり、これも $E_d/(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ と同様に通常言われている値よりも大きい。また図4から、今回試験した軟岩の E_{max}/q_{max} は他の土質材料の値と似ているが、マイクロクラックが無いセメント改良土での比1,000~2,000よりも小さい。

更に、破壊近くの 10^{-2} のひずみレベルでの E_{sec} は E_{max} の1/5程度である。また、Bedding error(以下BEと略記)の影響を含む $E_{initial}$ は 10^{-2} のひずみレベルでの E_{sec} とたまたま類似であり、 $E_{initial}/q_{max}$ は100-200程度で小さい。この様な傾向は、図5に示す様に他の土質材料でも得られている。ほとんどの一軸圧縮試験と二つの砂岩の三軸圧縮試験では、載荷初期の応力・ひずみ関係はS字型になり載荷とともに接線変形係数 E_{tan} が増加した。この場合、意味のある初期剛性率を定義出来ないで $q \sim (\varepsilon_1)_{LDT}$ 関係の $(E_{tan})_{max}$ を求めた(図6a,b)。S字型でない場合は $(E_{tan})_{max} = E_{max}$ である。 $(E_{tan})_{max}/q_{max} = 100 \sim 200$ であり、 E_{max}/q_{max} 、 E_d/q_{max} 、 E_r/q_{max} の比よりも低い。このことは、軸ひずみを供試体側面で測定しても一軸試験では、また三軸圧縮試験でも応力・ひずみ関係がS字型になる場合は、変形係数を過小評価することを示している。

図7に、一軸圧縮試験の $q \sim$ (外部測定 ε_1)関係の直線部から求めた変形係数 $E_{initial}$ を示す。S字型の応力・ひずみ関係の場合は後半の直線部の傾きから求めた。 $E_{initial}/q_{max}$ の比は100~200程度であり相当小さい。これは、BEと供試体内部のマイクロクラックの存在のためであると思われる。この関係も、図中に示す三軸圧縮試験での $(\varepsilon_1)_{LDT} = 5 \times 10^{-5}$ 、 10^{-2} での E_{sec} とたまたま類似であり、図5に示す傾向と類似である。

結論： (1)三軸圧縮試験でのマイクロクラックが卓越していない、或いは圧密で閉じたと思われる供試体側面で測定した小ひずみレベルでの変形係数 E_{max} は、原位置弾性波速度から得た変形係数と類似であった。(2)上記 E_{max} と圧縮強度 q_{max} の比は500程度であり、通常の方法で一軸圧縮試験から得られる初期変形係数の q_{max} に対する比100~200よりもかなり大きい。

参考文献： (1)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、(2)龍岡・金・橋口・稲垣(1990):堆積軟岩の室内試験と現場試験による変形係数の関係、同上。

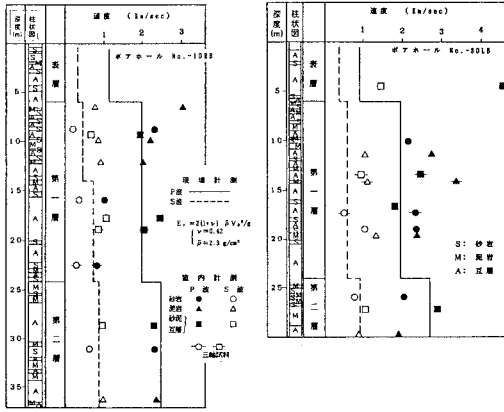


図1 地盤調査のボーリング柱状図

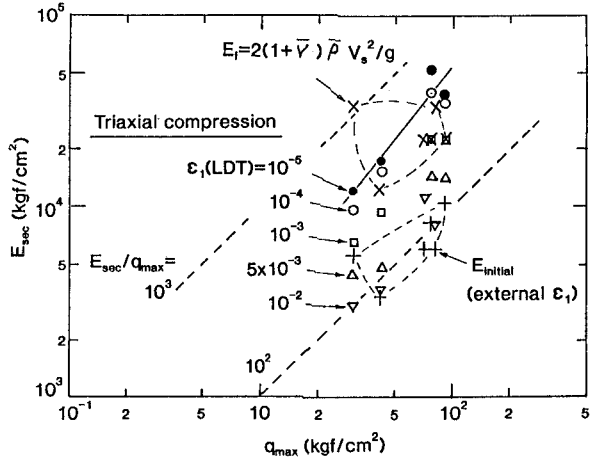


図3 三軸圧縮試験での各種の変形係数と原位置弾性波探査による E_r と q_{max} の関係

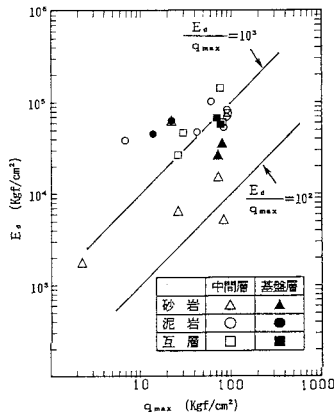


図2 超音波パルス法による変形係数 E_* ~ 一軸・三軸圧縮強度 q_{max} の相関

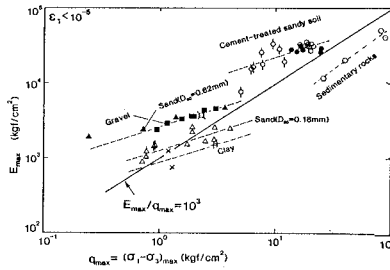


図4 他の土質材料の E_{max} ~ q_{max} 関係の比較

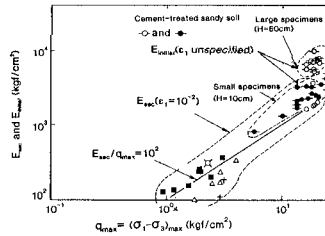


図5 各種土質材料の三軸圧縮試験での E_{sec} ($\epsilon_{i, LDT}=10^{-2}$)、 $E_{initial} \sim q_{max}$ 関係

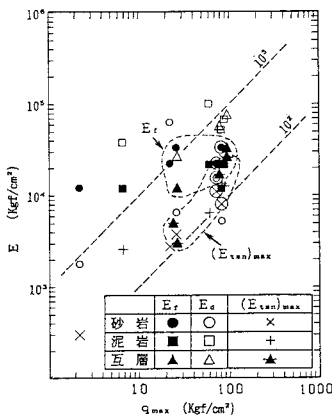


図6 $(\epsilon_i)_{LDT}$ による $(E_{tan})_{max}$ 、 E_d 、 $E_r \sim q_{max}$ 関係

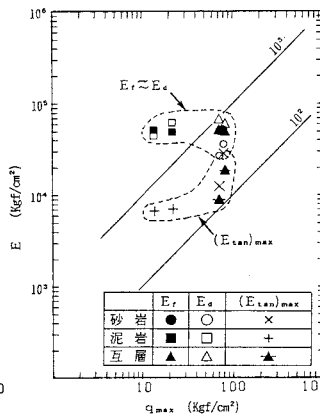


図7 一軸試験による $E_{initial} \sim q_{max}$ 関係と三軸圧縮試験による E_{sec} ($\epsilon_{i, LDT}=5 \times 10^{-3}$, 10^{-2}) ~ q_{max} 関係