

軟岩の非線形変形特性のばらつきに関する一考察

独立行政法人土木研究所 正会員 山口嘉一、中村 真

1. はじめに

軟岩をフィルダムの基礎とした場合、遮水ゾーン底部に設置される監査廊の継目間隔の設計や、堤体遮水ゾーン部の安全性検討のために、設計段階において堤体築造による基礎の変形量やひずみを精度良く予測する必要がある。フィルダムは、コンクリートダムに比べて堤体の基礎変形への追従性が良いため、軟岩を基礎とすることが多い。一般に軟岩基礎は変形性が大きく、その変形性が応力あるいはひずみの状態に依存する、いわゆる非線形性を示す。さらに、基礎岩盤を非線形弾性体と考えた場合の非線形パラメータは岩種・岩級の同じ岩盤でもばらつきをもって得られる。著者ら^{1),2)}は、軟岩の非線形変形特性を高精度に評価するために、自然および人工軟岩を用いた軸方向ひずみの測定精度の高い三軸圧縮試験を実施してきた。しかし、同一岩種・岩級ならびに同一試験条件で、ばらつきの検討を実施するのに十分な数の三軸圧縮試験が実施された例はなかった。

そこで本研究では、同一岩種・岩級の試料を25本採取し、同一試験条件で三軸圧縮試験を実施し、軟岩の非線形変形特性の数値モデル化を試みた。また、非線形パラメータのばらつきの分布と、三軸圧縮試験供試体に対して実施した針貫入試験から得られた一軸圧縮強度との相関についても議論した。

2. 三軸圧縮試験の供試体と試験方法

対象とした軟岩は、新第三紀鮮新世の深川層群に属する細粒砂岩で、岩級はCLh級である。三軸圧縮試験供試体用の乱さない試料は、河床部の半径5m程度の領域内で、それぞれ直径116mmのボーリングにより長さ約20cmのコアを、深度60cmまでの範囲内で採取した。現場で採取した乱さない試料は、乾燥やゆらみを防ぐためにパラフィンとラップで梱包して実験室に持ち込んだ。実験室ではまず、ごく薄い試料表面のゆらみ部を除去し、試料の両端面および側面において合計十数本の針貫入試験を実施した後、直径50mm、高さ100mmの円柱供試体に整形した。三軸圧縮試験は、軟岩の非線形変形特性を精度よく評価するために、LDT(Local Deformation Transducer)を用いて軸方向ひずみを計測した。図-1および図-2に示す三軸圧縮試験供試体用試料の基本物性の平均値は、乾燥密度 $\rho_d=1.56\text{ g/cm}^3$ 、針貫入試験結果から推定した一軸圧縮強度 $q_u'=3.4\text{ MPa}$ で、比較的均質である³⁾。

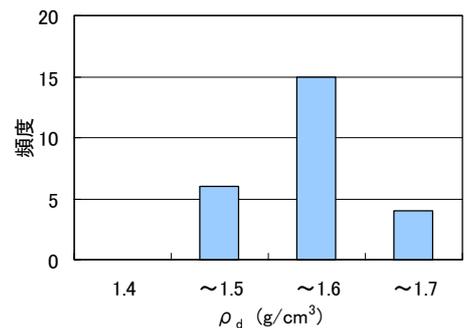


図-1 試料の乾燥密度分布

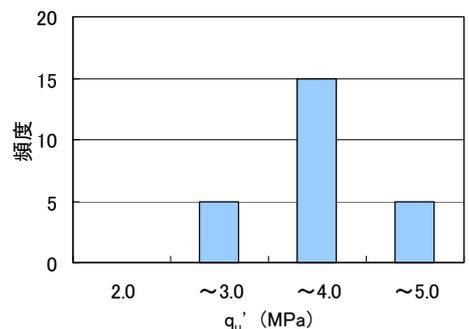


図-2 針貫入試験で得られた試料の一軸圧縮強度分布

3. 非線形変形性のモデル化

既往の研究成果^{1),2)}として、軟岩の非線形変形特性には初期弾性係数の圧力レベル依存性とせん断時の偏差応力レベル依存性があることが明らかとなっている。本研究では、軟岩を非線形弾性体とみなし、圧力レベル依存性を(1)式で、偏差応力レベル依存性については、応力-ひずみ曲線の接線弾性係数 E_{tan} と偏差応力レベルを関係付けた(2)、(3)式で表現した。

$$E_{max} = a \cdot p'^b \quad \text{-- (1)、} \quad \frac{E_{tan}}{E_{max}} = 1 - \left(\frac{q}{q_{max}} \right)^\beta \quad \text{-- (2)、} \quad q_{max} = 2 \left(\frac{c \cdot \cos \phi + \sigma_3 \cdot \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right) \quad \text{-- (3)}$$

ここに、 a 、 b 、 β は非線形パラメータ、 E_{max} は初期接線弾性係数、 E_{tan} は接線弾性係数、 p' は平均主応力、 q は偏差応力、 q_{max} は最大偏差応力、 q/q_{max} は偏差応力レベル、 σ_3 は最小主応力、 c 、 ϕ は強度定数を示す。

キーワード 軟岩，非線形変形特性，三軸圧縮試験，ばらつき

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 独立行政法人土木研究所 TEL029-879-6781

4. 非線形パラメータ評価

三軸圧縮試験は、別途実施した圧密透水試験結果も踏まえて、圧密排水（CD）条件で実施した。拘束圧は 0.098 および 0.394MPa を中心に、0.049、0.196、0.588MPa でも実施した。三軸圧縮試験から得られた、初期接線弾性係数 E_{max} と拘束圧 p' の関係を図-3 に示す。図中の実線は、全データを用いて(1)式で近似した直線である。

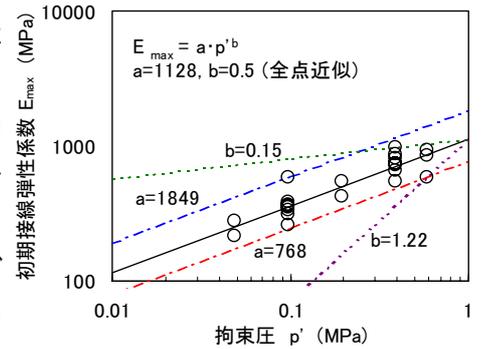


図-3 初期接線弾性係数～拘束圧関係

非線形パラメータのばらつき評価のうち、 a および b の評価では、全データで近似した(1)式の a または b の一方を固定して、もう一方のパラメータを求める方法と、主に実施した拘束圧 0.098 および 0.394MPa の各データ（ともに 9 供試体）を組み合わせせて評価（ただし、 $b = 0$ ）する方法の 2

方法を用いて実施した。図-4 に a の分布を、図-5 に b の分布を示す。 a または b の一方を固定したケースでは、図-3 に示すように a の範囲は 768～1849、 b の範囲は 0.15～1.22 となった。2 点近似のケースでは、 a の範囲は 567～2410、 b の範囲は 0～0.96 となった。またばらつきの大きさは a 、 b ともに 2

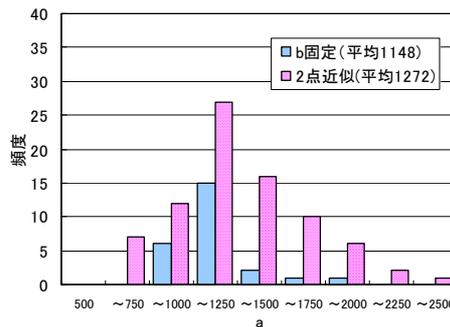


図-4 非線形パラメータ a の分布

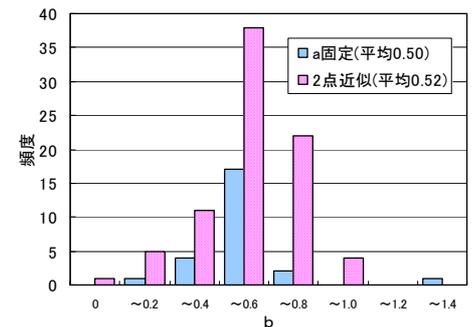


図-5 非線形パラメータ b の分布

点近似の方が大きい結果となった。の評価では、全 25 供試体に対して個々に(2)式で近似した。図-6 にの分布を示す。の分布範囲は 0.15～0.28 と、 a および b と比較してばらつきが小さい。

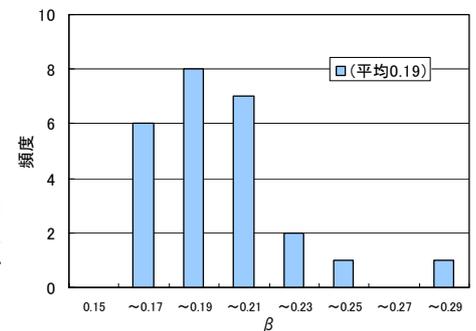


図-6 非線形パラメータ beta の分布

5. ばらつき要因の検討

非線形パラメータと針貫入試験結果から推定した一軸圧縮強度との相関を検討したところ、図-7 および図-8 に示すように a については強い正の相関が、 b については弱い負の相関が認められた。このことより、一軸圧縮強度が小さい方が、弾性係数は小さいが、非線形性が大きいことがわかる。一方、 a と一軸圧縮強度には相関は見られなかった。

6. まとめ

本研究では、同一岩種・岩級における非線形変形特性のばらつきを、同一の試験条件で三軸圧縮試験を実施して検討した。今後は、他地点についても同様の検討を行なうとともに、一軸圧縮強度以外の因子との相関についても検討を行なっていく。

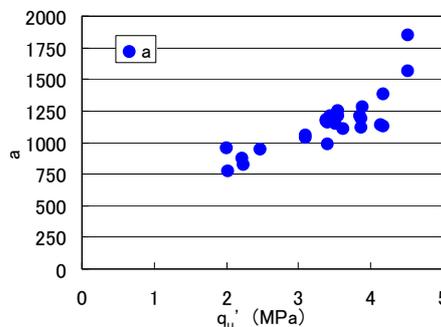


図-7 非線形パラメータ a と一軸圧縮強度の相関

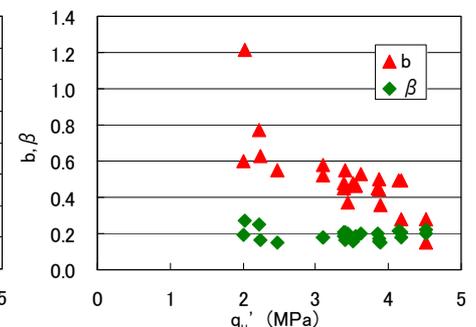


図-8 非線形パラメータ b、beta と一軸圧縮強度の相関

参考文献

- 1) 山口嘉一、川崎将生、岡部 登：フィルダム軟岩基礎の変形性評価法の高精度化、建設省土木研究所資料、No.3750、2000。
- 2) Yamaguchi, Y. and Nakamura, M. : Numerical Modeling Considering Nonlinear Deformability of Soft Rock Foundations, 2nd International Conference on Geotechnical Site Characterization (ISC'2), 2004.
- 3) 山口嘉一、中村洋祐、中村 真、箱石憲昭、山谷政彦、加藤康徳：針貫入試験によるダム基礎軟岩の掘削仕上げ面管理への適用性検討、土木学会北海道支部平成 15 年度年次技術研究発表会論文報告集、pp. 484～485、2004。