

既設アースフィルダムの耐震強化工法検討におけるダム基礎地盤の調査 - 村山下貯水池堤体強化工事(その2) -

東京都水道局 正 田原 功, 小作 好明, 正 黒坂 基

日本工営(株) 正 小林 豊, 正 古川 和弘, 小林 浩二, 飯坂 誠司

1. はじめに

東京都水道局が管理する村山下貯水池堤体においては、耐震性向上を目的とした検討をしており、これまでに耐震強化工法の調査、設計、耐震照査を実施してきた。耐震照査については堤体の地震時応力状態でのすべり安全率と累積損傷度理論におけるひずみ軟化理論を適用した残留変形解析により行った。耐震照査を行うにあたり、図1に示す粒度特性を有したダム堤体直下の沖積砂礫層(A層)の、地震時繰返し荷重履歴を受けた直後の強度特性を把握するために、凍結試料(150mm)を採取して繰返し載荷試験を行った。本報ではその試験結果および耐震照査に必要となるA層の強度定数の設定法について述べる。

2. 液状化強度試験と繰返し載荷後の単調載荷試験

2.1 試験概要

A層の液状化強度特性を求めるために液状化強度試験を、繰返し載荷による過剰間隙水圧上昇後のA層の強度を求めるために液状化強度試験後の単調載荷試験を行った。試験条件は、A層の有効土被り圧を考慮して圧密圧力 $\sigma_c' = 98\text{kN/m}^2$, 196kN/m^2 の2条件、繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_c' = 0.15 \sim 0.40$ の範囲の4条件とした。また、液状化強度試験後に非排水状態のまま単調載荷試験(\overline{CU})を行った。

2.2 試験結果

液状化強度試験結果の一例として、繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_c' = 0.3$ における繰返し応力、軸ひずみ、過剰間隙水圧時刻歴を図2に示す。軸ひずみは、圧縮側載荷時に現れる過剰間隙水圧のピーク値が $\Delta u/\sigma_c' = 95\%$ に達した付近から徐々に増加するが、伸張側に載荷されると、過剰間隙水圧比は $\Delta u/\sigma_c' = 20 \sim 40\%$ まで回復する傾向を示し、砂礫材としての一般的な挙動を示している。

単調載荷試験による応力～ひずみ曲線を、同地点から採取した試料による三軸圧縮(\overline{CU})試験結果と比較して図3に示す。繰返し載荷試験後の応力～ひずみ曲線は、軸ひずみの増加とともに間隙水圧が減少し軸差応力(主応力差)が回

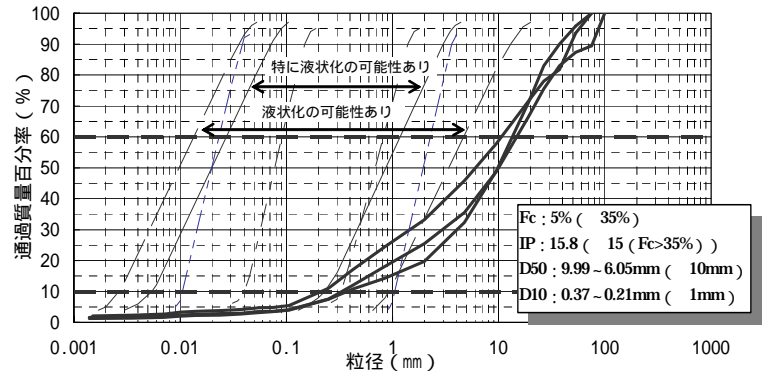


図1 砂礫層の粒度分布曲線

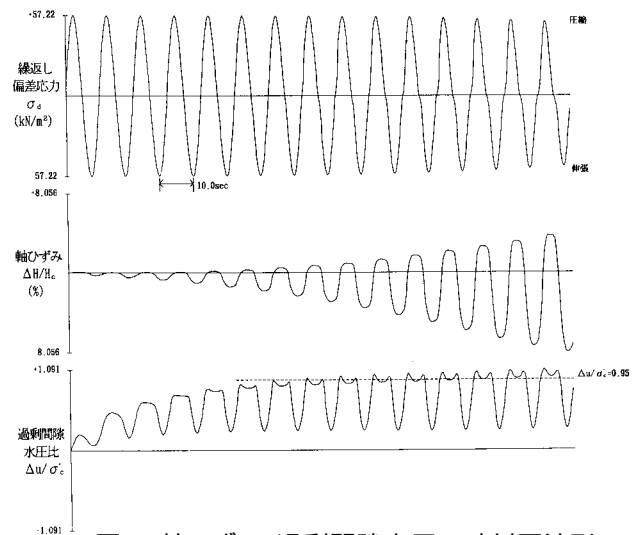


図2 軸ひずみ・過剰間隙水圧の時刻歴波形

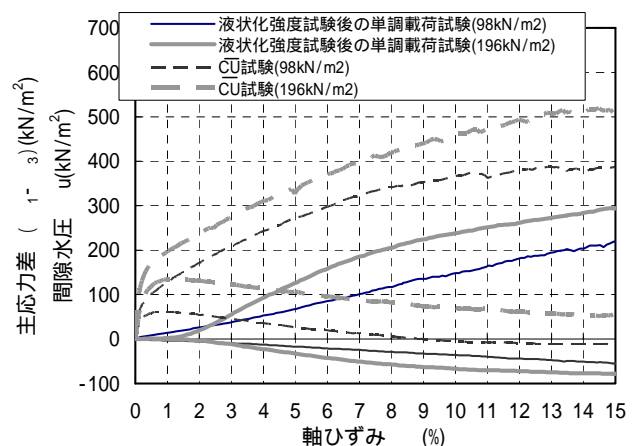


図3 応力～ひずみ曲線

キーワード アースフィルダム, 耐震強化工法, 液状化強度試験, 単調載荷試験, 動的強度試験

*連絡先 〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原 2304 TEL:029-871-2064 FAX:029-871-2022

復している。図4に軸ひずみ $\varepsilon=15\%$ のときの両者の σ と τ の関係を示す。繰返し載荷後の状態では、内部摩擦角は繰返し載荷前に比べ大きくなっている。しかし、見かけの粘着力はゼロとなり、地震時の繰返し載荷後の強度の方が低くなっている。これは、液状化強度試験時に図2のような軸ひずみ、過剰間隙水圧履歴を示す砂礫材料の特徴を示す。以上の試験結果に基づいて、耐震照査のすべり安定解析に必要な強度定数は、繰返し載荷後の過剰間隙水圧が上昇して強度が低下したと考えられる状態で設定した。

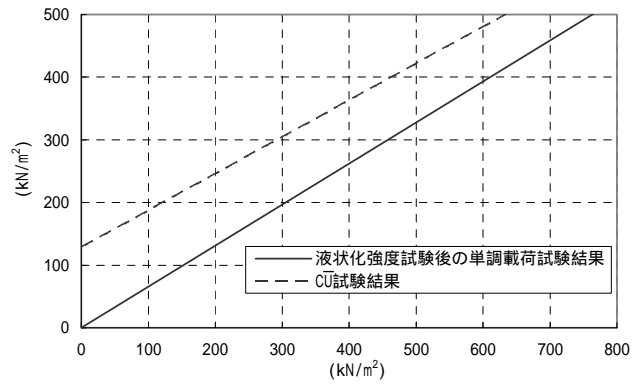


図4 $\sigma \sim \tau$ 関係

3. 動的強度特性

3.1 試験概要

累積損傷度理論におけるひずみ軟化理論を適用した残留変形解析は繰返し載荷回数 N_c 、繰返し応力比 SR_d および累積軸ひずみ ε_a の関係を用いる。この関係は繰返し非排水三軸試験より求めた。試験条件は、自重解析から圧密圧力 $\sigma'_c = 98 \text{ kN/m}^2, 196 \text{ kN/m}^2$ の2条件、圧密応力比 $SR_c = 1, 4$ の2条件とした。

3.2 試験結果

試験結果を図5に示す。繰返し載荷回数 N_c と最大軸ひずみ ε_a は両対数上でほぼ比例関係にある。また、繰返し載荷回数が多いほど、繰返し応力比が大きいほど軸ひずみが増加する傾向が読み取れる。これは地震の継続時間、地震動の増加により大きな変形量が生じることを意味する。図6に繰返し載荷回数 N_c と繰返し応力比 SR_d の関係図を示す。図の曲線は以下の式¹⁾の係数 $a \sim f$ をパラメーターとして求めたフィッティング曲線である。

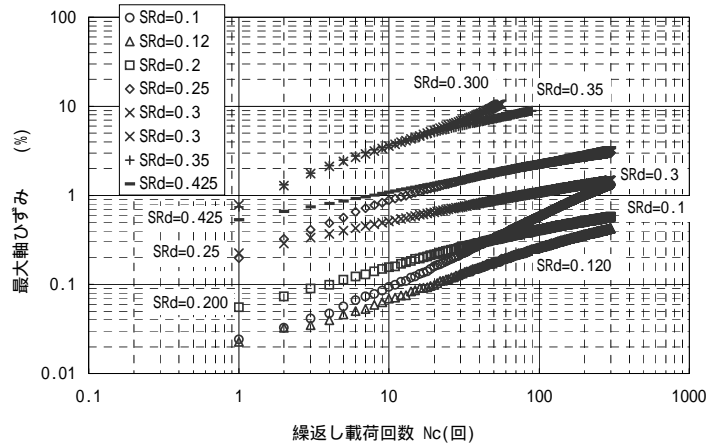


図5 動的強度試験結果 ($N_c \sim \varepsilon$ の関係)

$$SR_d = a(1 - b \cdot SR_s^c) \cdot N_c^d \cdot \varepsilon_a^{e \cdot N_c \cdot f}$$

ここに、 SR_d : 繰返し応力比、 SR_s : 初期せん断応力比、 N_c : 繰返し載荷回数、 ε_a : 累積軸ひずみ (%) であり、ここで求めた累積軸ひずみから地震後の低下した弾性係数を求め耐震照査に用いた。

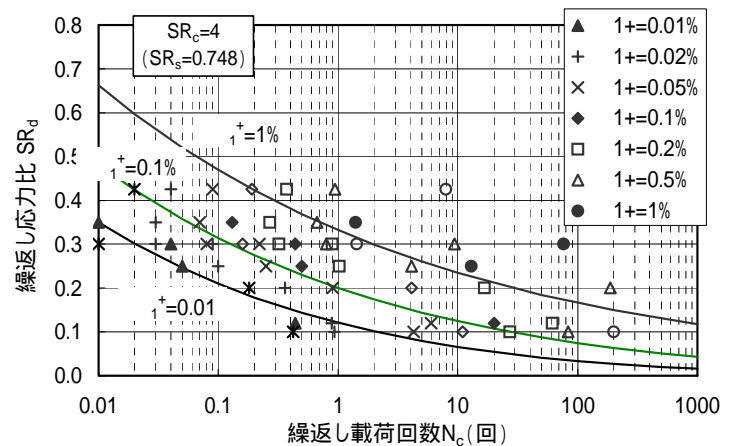


図6 動的強度試験結果 ($N_c \sim SR_d$ の関係)

4. まとめ

耐震照査を行ううえで必要な繰返し載荷試験をダム基礎の沖積砂礫層 (A層) に対して実施した。すべり安全率の照査に対しては、液状化強度試験および繰返し載荷後の単調載荷試験 (\bar{C}_U) を行い、繰返し載荷後の過剰間隙水圧上昇時の強度低下を考慮して強度定数を設定した。また、残留変形量解析に対しては、動的強度試験結果から累積軸ひずみを求め地震後の剛性低下を考慮した弾性係数を使用した。このように、地震時の強度低下を忠実に考慮して解析定数を設定し耐震照査を行った結果、いずれも工学的に問題のない結果が得られた。

5. おわりに

本検討にあたっては「村山下貯水池堤体強化技術検討委員会」(委員長 片山恒雄防災科学技術研究所理事長) に指導を賜った。御指導を頂いた関係各位に深甚の謝意を表する次第である。

参考文献 1) 堀井・館山・小島・古関: 砂質土盛土の地震による残留沈下予測, 土木学会第52回年次学術講演会, 1997