ロックフィルダム材料の非排水繰返し三軸試験結果の定式化

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、強震動に対する各構造物の耐震性 とその評価法の向上の取り組みが行われ、ロックフィルダ ムにおいてもレベル2地震動に対する耐震性能を変形量で 評価することが進められている。この観点から、ダム堤体 の残留変形量の予測方法として「累積損傷度理論によるひ ずみ軟化理論」を用いた解析手法の検討をした。

この手法は、明石海峡大橋の主塔基礎2Pの地震時変位の 検討に用いられ、1995年の兵庫県南部地震に発生した沈下 量からその妥当性について検証されている。そこで、この 手法を用いてフィルダム堤体の残留変形量を求めるため、 堤体材料の大型非排水繰返し三軸試験を実施し、その結果 に基づいて、累積損傷度理論によるひずみ軟化理論に適用 するため疲労曲線の定式化を行ったので報告する。

2. 繰返し強度特性(SRd~Nc関係)の定式化

1)材料:新たに大型非排水繰返し三軸試験(φ300mm)を 行った材料は、徳山ダムのロック材料(TOK-R45)で、 粘板岩のCM級に分類される。試験試料は、最大径=63 mm, 平均粒径=13.2 mm,細粒分含有率=1.22 %,均等係数=23.2, 吸水率は0.9~2.0%である。なお、三軸試験での間隙比は、 徳山ダムの施工間隙比の平均値のe_b=0.207である。この結 果を以下に示すように、定式化した。

2)基準曲線の作成:明石海峡大橋の基礎2Pの耐震設計 では、明石砂礫層の不撹乱試料を用いて実施した多くの非 排水繰返し三軸試験の結果¹⁾に基づいて、基礎の地震後の 残留沈下解析を実施した²⁾。そこで、明石砂礫層の「繰返 し応力比SR_d=σ_d/2σ_{mc}'~各繰返しサイクルでの最大軸ひず みε¹⁺0が2.0%に達するまでの繰返し回数N_cの関係」を基本

独立行政法人水資源機構	正会員	\bigcirc	佐藤信光
独立行政法人水資源機構	正会員		冨田尚樹
基礎地盤コンサルタンツ(株)	正会員		山田眞一
東京理科大学	フェロー		龍岡文夫



○耐震設計 2 こ多くの非 2 つ地震後の 0.1 ■の「繰返 0.1 ●大軸ひざ 平均拘束圧 σ_m'(MPa)

図-2.2 係数n1~平均拘束圧 σ_{mc} 関係

0.8

として、今回得られたデータの整理をした。すなわち、図-2.1に示すように、明石砂礫層の強度曲線を、繰返し回数Nc を1.22倍してN_e軸方向に移動させ、今回の試験で得られたデータ(■)にフィッティングさせた。これを、基本条件(圧 密条件:主応力比 $\sigma_{vc}/\sigma_{hc}=2.0$;平均主応力 $\sigma_{mc'0}=326$ MPa, 圧密時間隙比 $e_b=0.207$,及び繰返し載荷条件:最大軸ひずみ $\epsilon^{1+}0=2.0\%$;周波数v=0.2Hz)におけるTOK-R45材料の非排水繰返し強度の基準曲線;y=SR_d=($\sigma_d/2\sigma_{mc'}$)~ x=log(N_c)関係 として式(1)を得た。

 $y=0.75546-0.429464x+0.1615402x^{2}-0.03466x^{3}+0.0039284x^{4}-0.00018x^{5} \quad \cdot \quad \cdot \quad (1)$

3)平均拘束圧の影響の定式化: 拘束圧が増加すると、図-2.2 に示すように、同じ SR_d とひずみが生じるまでの Nc は係数 nl の比率で減少する。ここで、nl= 基準条件($\epsilon^{l+}0=2.0$ %; SR_d=0.476,eb=0.207)での(各拘束圧における繰返し回数 N_c(σ_{mc} ')/(σ_{mc} '0=0.326MPa における繰返し回数 N_{cl}(σ_{mc} '0))である。図-2.2 に示す y1=log10(n1)~x1= σ_{mc} '関係は式(2)で表せる。

 $y_1 = 4.07362 - 25.44858(x_1) + 56.51881(x_1)^2 - 55.80973(x_1)^3 + 17.82394(x_1)^4 + 2.42333(x_1)^5 \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$

キーワード ロックフィルダム ロック材 繰返し三軸試験 定式化 ひずみ軟化理論 連絡先 〒338-0812 さいたま市桜区大字神田 936 総合技術センター TEL048-853-1785 FAX048-855-1695

4)繰返し載荷に伴うひずみの増加率の定式化: 図-2.3 に、 基準条件(SR_d= 0.476, e_b =0.207)での平均拘束圧が異なる場 合の(各ひずみが生じるまでの繰返し回数 N_c)/(ϵ^{1+} 0=2.0% における N_c) ~ ϵ^{1+} 関係を示す。図に示すように、平均拘束 圧の相違によりその傾向が大きく異なっている。

そこで、図-2.4 に示すように横軸 ϵ^{1+} を係数 m で除し、基準拘束圧 σ_{mc} '0=0.326MPa (●)の試験結果に各拘束圧の値が整合するように m をそれぞれ変化させた。また、基準拘束圧 σ_{mc} '0=0.326MPa (●)の試験結果を多項式で近似して、図中に示すひずみの補正係数 n2の基準曲線 (y_{21} =n2 $\sim x_{21}$ = ϵ^{1+}/m 関係; (3)式)を得た。

 $y_{21} = -0.000414x_{21}^{5} + 0.00681x_{21}^{4} - 0.00709x_{21}^{3} + 0.0877x_{21}^{2} + 0.299x_{21} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (3)$

また、図-2.5 に示すように係数 y₂₂=m と x₂₂=σ_{mc}'の関係 を求め、図中の(4)式を得た。

 $y_{22}=1.3565x_{22}^{0.2553}$ · · · (4)

3. 試験結果との整合性

上記の定式化をまとめると、試料TOK-R45の「任意の拘束 圧、ひずみにおける繰返しせん断応力比 ya= $(\sigma_d/2\sigma_{mc})$ a」は、 以下の式から求まることになる。

 $y_a=0.75546-0.429464xa+0.1615402xa^2-0.03466xa^3+0.0039284xa^4-0.00018xa^5 \cdot \cdot \cdot (5)$

xa は、任意の拘束圧、ひずみに対する繰返し回数 $(N_c)_a$ であり、基準条件 (σ_{mc} ' 0= 326MPa; ϵ^{1+} 0= 2.0%; σ_{vc}/σ_{hc} = 2.0; e_b = 0.207: v=0.2Hz) での繰返し 回数 $(N_c)_0$ を次式で補正して得る。

 $(N_c)_a = (N_c)_0 \times n1 \times n2$ · · · (6)

ここで、n1(図-2.2); n2(図-2.4、図-2.5)は、各種の補正 係数である。これに従って作成した SR_d~N_c曲線と試験結果 との整合性を検証した。図-3.1 は代表的な例であり、定式化 した結果は実験結果と良く整合している。

4. まとめ

新たに行ったロックフィルダム堤体材料の圧密非排水繰 返し三軸試験の結果を、明石層の不撹乱砂礫材料の圧密非排 水繰返し三軸試験の結果を用いて定式化して、任意の拘束圧、 ひずみに対する繰返し応力比と繰返し載荷回数の関係を得ら れるようにした。定式化した結果は、試験結果と整合性した。 今後、この定式化曲線を用いて累積損傷度理論によるフィル ダムの変形解析を実施する予定である。

5. 参考文献

1)明石層砂礫試料の繰返し非排水三軸試験による変形・強度 特性(1989),保田雅彦・山田真一・山下哲郎・龍岡文夫 第2 4回土質工学研究発表会講演集 pp.817~820

2)Tatsuoka,F., Yamada,K., Yasuda,M., Yamada,S. and Manabe,S. 0.2 (1991), "Cyclic undrained behaviour of an undisturbed gravel for aseismic design of a bridge foundation", *Proc. of the Second Int.* 0 *Conf. on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, St Luois (Prakash eds.), Vol.1, pp.141-148.



図-3.1 TOK-R45の定式化曲線と試験結果