

I-607

モルタル板と碎石の接触面のせん断実験について

東京大学大学院 学生員 羅 休  
 大連理工大学 孔 憲京  
 東京大学生産技術研究所 正会員 小長井一男  
 日本大学生産工学部 正会員 田村重四郎

1・まえがき 地震時における表面遮水壁ロックフィルダムの破壊性状を検討するために、2次元振動台上に碎石で築造した表面遮水壁ダムの三次元模型の動的破壊実験を行なった。遮水壁は、モルタルをダム上流表面に塗って製作した。モルタル板と碎石の両者の剛性の差は相当大きいため、模型実験結果の数値シミュレーションを行う際、ジョイント要素を両者の境界に設置することが必要になる。このジョイント要素のパラメータを調べるため、モルタル板と碎石の接触面のせん断実験を行ない、数値シミュレーションに用いる経験式を検討した。

2・実験材料及び実験方法 模型振動実験に用いた6号碎石(比重2.673、最大粒径5mm)をせん断箱に詰めて、平に敷きのべた後、小名浜砂、鉄粉、生石灰、水を1:0.6:0.13:0.4の比例で混合したモルタルを碎石の上に塗り、供試体を作製した。モルタル板の型枠とせん断箱の間は、摩擦を生じないように1mmの隙間をあけてある。60時間の自然乾燥の後、実験を開始する。この時のモルタル板の単位体積重量及びバヤング率はそれぞれ2.1(t/m<sup>3</sup>)、15000(kgf/cm<sup>2</sup>)であり、引張り降伏ひずみは約7.5×10<sup>-5</sup>である。せん断実験システムの概要を図-1に示す。

3・実験結果及び考察 図-2は垂直応力σ<sub>n</sub>をパラメータとして、せん断応力τと相対変位δの関係を示したものである。また、図-3はk<sub>s</sub>(あるいはτ/δ)と相対変位δレベルの関係を示している。モルタル板と碎石の接触面のk<sub>s</sub>の最大値(k<sub>smax</sub>)及びピーク強度τ<sub>f</sub>(あるいはτ<sub>max</sub>)は垂直応力σ<sub>n</sub>が大きいほど大きくなり、相対変位δが0.6mm前後に達すると、モルタル板と碎石の接触面でせん断破壊が生じる。载荷初期(δ<0.002mm)の段階ではせん断応力τと相対変位δの間にほぼ線形な関係が認められる。この範囲でのk<sub>s</sub>の平均値をk<sub>smax</sub>と定義する。せん断強度、初期せん断剛性と垂直応力との関係をそれぞれ図-4、図-5に示す。

接触面でのせん断応力と相対変位を非線形仮定でよく用いられる双曲線近似で表現しようとする、次の式になる。τ/τ<sub>max</sub>=δ/δ<sub>r</sub>/(1+δ/δ<sub>r</sub>) 或いはk<sub>s</sub>/k<sub>smax</sub>=1/(1+δ/δ<sub>r</sub>)、ここにδ:接触面の相対変位(mm)、τ:接触面のせん断応力(kgf/cm<sup>2</sup>)、k<sub>smax</sub>:初期せん断剛性(kgf/cm<sup>2</sup>/mm)、τ<sub>max</sub>(あるいはτ<sub>f</sub>):せん断強度(kgf/cm<sup>2</sup>)、δ<sub>r</sub>=τ<sub>max</sub>/k<sub>smax</sub>は基準相対変位と呼ばれる。τ<sub>max</sub>とk<sub>smax</sub>は実測値である。図-6、図-7からτ/τ<sub>max</sub>、k<sub>s</sub>/k<sub>smax</sub>とδ/δ<sub>r</sub>の関係は双曲線の理論式と一致しない。様々な非線形モデルを検討した結果、次式で表現される非定数パラメーター双曲線モデル(龍岡ら)が実験結果との適合がよい。

$$k_s = \frac{1}{1 + \delta/\delta_r} \quad (1)$$

式中のzはδ/δ<sub>r</sub>で、c<sub>1</sub>およびc<sub>2</sub>はこのzの関数として以下のように与えられる。

$$c_1(z) = \frac{1 + c_1(z=\infty)}{2} + \frac{1 - c_1(z=\infty)}{2} \times \cos \left[ \frac{\pi}{(\alpha/z)^m + 1} \right] \quad (2)$$

$$c_2(z) = \frac{c_2(0) + c_2(z=\infty)}{2} + \frac{c_2(0) - c_2(z=\infty)}{2} \times \cos \left[ \frac{\pi}{(\beta/z)^n + 1} \right] \quad (3)$$

式中、c<sub>1</sub>(z=1)、c<sub>1</sub>(z=∞)、c<sub>2</sub>(0)およびc<sub>2</sub>(z=∞)は、図-8にあるように、k<sub>s</sub>/k<sub>smax</sub>とτ/τ<sub>max</sub>の関係を示した曲線上でzに対応する点を通る接線がk<sub>s</sub>/k<sub>smax</sub>軸とτ/τ<sub>max</sub>軸を横切る切片である。m=n=1として、αとβには式(2)、(3)にz=1を代入して求めた数値を用いると、式(2)、(3)は図-9のようになる。

4・まとめ モルタル板と碎石の接触面のk<sub>smax</sub>及びτ<sub>f</sub>は垂直応力σ<sub>n</sub>が大きいほど大きい。また、せん断剛性k<sub>s</sub>と相対変位δの非線形な関係は修正双曲線モデルで表現ができ、相対変位が大きくなるとせん断剛性が小さくなる。

参考文献 (1)田村、孔、小長井、羅、コンクリート表面遮水壁型ロックフィルダムの性状に関する基礎的研究Ⅰ〜Ⅲ、生産研究(投稿中) (2)TATSUOKA, SHIBUYA, Modelling of Non-Linear of Stress-strain Relations of Soils and Rocks, SEISAN-KENKYU, VOL. 43, NO. 10

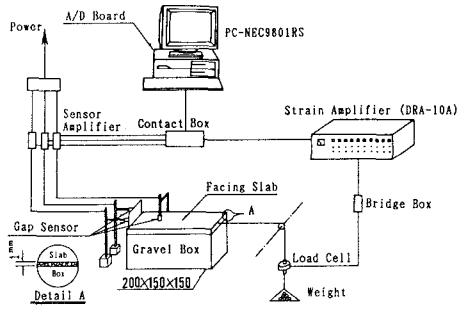


図-1 せん断実験システム

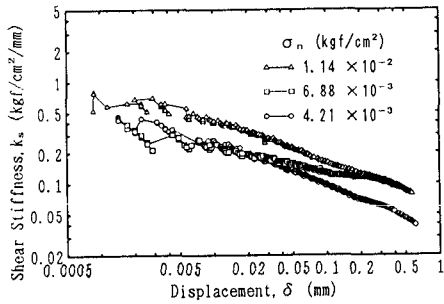


図-3 せん断剛性-変位関係

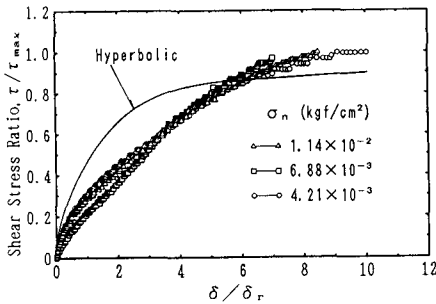


図-6 せん断応力比-相対変位比関係

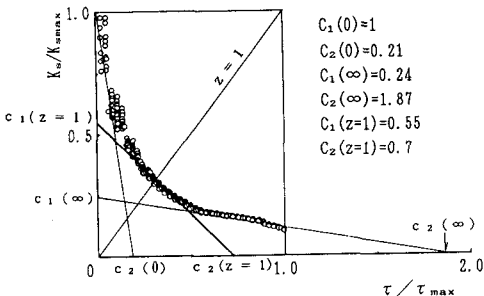


図-8 z関数双曲線のパラメーター

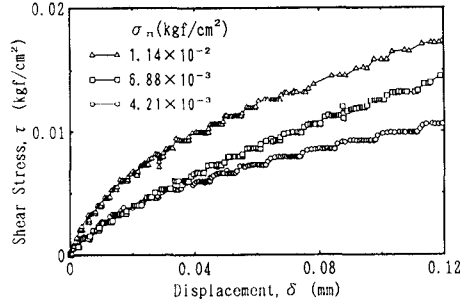


図-2 せん断応力-変位関係

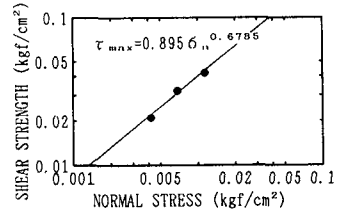


図-4 せん断強度-垂直応力関係

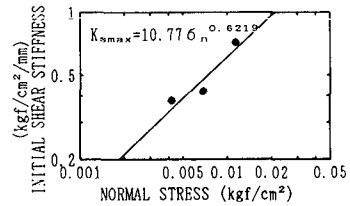


図-5 初期せん断剛性-垂直応力関係

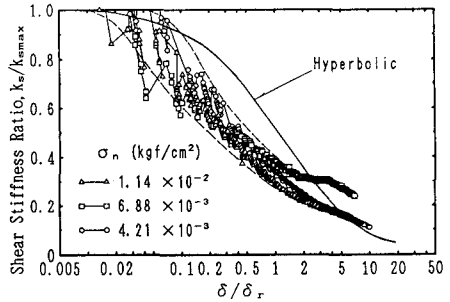


図-7 せん断剛性比-相対変位比関係

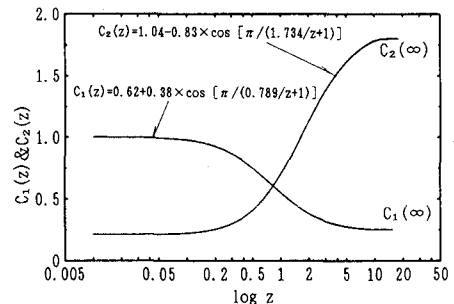


図-9 c\_1, c\_2-z 関係