

(I-28) 個別要素法によるセル型砂防ダムの動的せん断抵抗力解析

防衛大学校 学生 ○井上隆司 防衛大学校 正員 伊藤一雄
防衛大学校 正員 香月 智 防衛大学校 フェロー 石川信隆

1. 緒 言

セル型砂防ダムは、写真-1に示すように鋼壁板の中に土砂等の中詰材を充填した砂防ダムである。この砂防ダムに土石流中の巨礫が衝突する場合に、堤体全体のせん断変形による抵抗を示す¹⁾が、その際、変形速度によるせん断抵抗力に及ぼす影響を調べる必要がある。本研究は、個別要素法²⁾を用いて、事前に行った静的な実験結果へのシミュレーションとせん断枠が急速に変形する場合の動的せん断抵抗力について解析的検討を行ったものである。

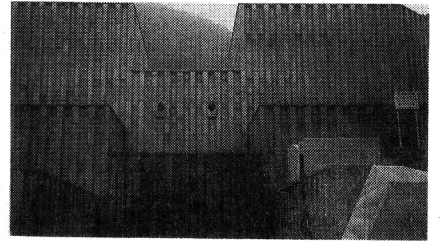


写真-1 セル型砂防ダムの一例

2. 実験の概要

本研究に先立ち行った実験の供試体は、図-1に示すような厚さ30cm、高さ100cm、幅95cmのせん断枠に、気乾状態のケイ砂(比重2.664、粒径範囲(0.5~1mm))を単位体積重量が 1.33gf/cm^3 になるように緩詰めで詰めたものである。せん断枠は、4隅をピンジョイントで接続して、単純せん断変形できるものであり、その上端部を反力壁に取り付けた油圧ジャッキにより静的荷重を加えた。計測項目はジャッキ先端に取り付けたロードセルによって荷重を、レーザー式変位計を用いて載荷点の変位を計測した。また、せん断枠側面は砂の漏出防止と端面摩擦を除去するために間に小さなコロを挟んだ漏出防止枠を取り付けた。

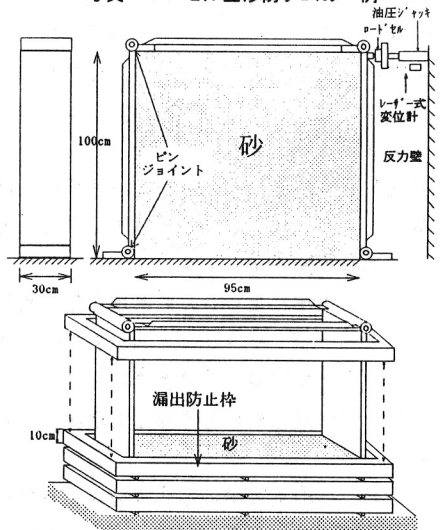


図-1 実験装置

図-2に実験で得られたせん断抵抗力～変位関係を示す。これより、そのせん断抵抗力は弾塑性硬化型の挙動を示し、変位の増加にともない大きくなっていることがわかる。

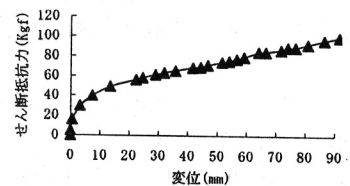


図-2 セン断抵抗力～変位関係

3. 個別要素法による解析

3.1 解析基本式およびモデル

砂要素間に働く力と変形の関係を図-3に示すような接線・法線方向の弾性ばねとダッシュポットおよびスライダーによって表す。実験結果をシミュレートするための解析モデルは、図-4に示すように95cm×100cmの枠境界内に要素を詰めた後に境界枠を強制的にせん断変形させるものである。

ここで、砂のせん断抵抗力 P は、図-5のようにせん断枠を強制的に変化させる際に生じる各要素と壁の接触力から次式を用いて求めた。

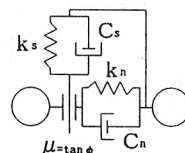


図-3 砂要素のモデル化

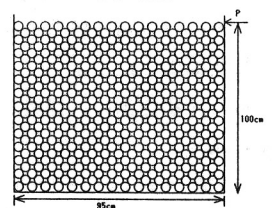


図-4 解析モデル

$$P = \sum_i e_{ni} \frac{h_i}{H} - \sum_j e_{nj} \frac{h_j}{H} \quad (1)$$

ここで、 e_n :要素と壁間に働く水平方向接触力、 h :要素の高さ、 H :外力荷重の高さ、 i, j :それぞれ荷重側と反対側の壁面を表す。

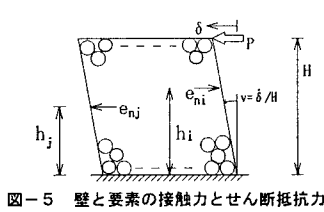


図-5 壁と要素の接触力とせん断抵抗力

解析に用いた入力定数を、表-1に

示す。要素間の摩擦係数は、砂の一面せん断砕実験より求めた値を用い、法線方向ばね係数は、平板載荷試験によるものを用いた。

3. 2 せん断抵抗力～変位関係

(1) 要素配列の影響

解析結果と入力諸値(ばね係数、摩擦係数、配列)の関係をパラメトリックに検討した結果、要素配列の影響が最も大きいことがわかった。図-6に要素配列がせん断抵抗力～変位関係に及ぼす影響を示す。これより、要素径 d に対する水平方向隣接要素との間隔 g に対する比率を大きくするに従ってせん断抵抗力が増加し、 $g/d=60\%$ が実験結果を良くシミュレートすることがわかる。ここで特に着目すべき点は、通常砂のせん断砕実験においては、軟化領域が表れることが指摘されている³⁾が、実験のみならずシミュレーション結果においても硬化型を示すことである。

(2) せん断変形速度の影響

静的実験結果とほぼ一致した $g/d=60\%$ の配列を使用して、せん断変形速度(v)をパラメトリックに0.01/s(静的)、0.1/s、0.5/s、1.0/sと変化させて、図-7に示すようにせん断抵抗力～変位関係に及ぼす影響を調べた。これより、変形速度が速くなるほど、動的せん断抵抗力も大きくなり、特に1.0/sの場合では、静的(0.01/s)な場合に比べて約4倍の抵抗力が得られることがわかった。さらに、変形速度が抵抗モーメントに及ぼす影響を定量的に調べるために変位5cmでの抵抗モーメント(単位幅)～せん断変形速度関係を図-8に示した。これより、単位幅あたりの抵抗モーメントは、せん断変形速度にほぼ対数比例的な関係にあることがわかった。

4. 結 言

(1) 砂のせん断抵抗力は、実験およびシミュレーション結果ともに軟化領域が見られず硬化型となった。

(2) 単位幅あたりの抵抗モーメントとせん断変形速度は、対数比例的な関係にあることがわかった。

今後、動的実験を行い本解析で得られた動的せん断抵抗力の妥当性について検討する予定である。

参考文献

- 1) 伊藤一雄、香月智、石川信隆、阿部宗平、中村徹：ダブルウォール砂防ダムの衝撃破壊限界に関する実験、平成7年度砂防学会研究発表会概要集、pp.21～24、平成7年。
- 2) 香月智、石川信隆、大平至徳、鈴木宏：円筒要素を用いた中詰材のせん断抵抗力に関する基礎的考察、土木学会論文集第410号/1-12、pp.359～368、1989年10月。
- 3) 北島昭一：岩盤上のセル構造の破壊について、土と基礎Vol.10、No.8、pp.25～33、1962年10月。

表-1 入力定数

法線方向ばね係数 k_n	20kgf/cm
接線方向低減率 s	0.25
要素間すべり摩擦角 ϕ	30度
接線方向ばね係数 k_s	$s \cdot k_n$
法線方向減衰係数 C_n	$k_s \cdot T / \pi$
接線方向減衰係数 C_s	$C_n \cdot \sqrt{s}$
Δt	$1 \cdot 10^{-5} \text{sec}$

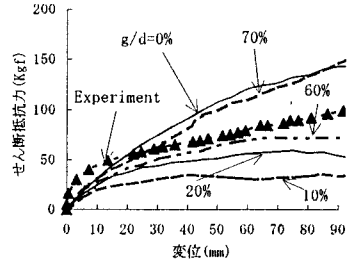


図-6 要素間隔がせん断抵抗力に及ぼす影響

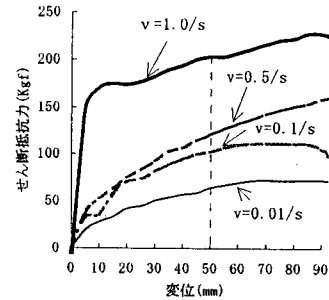


図-7 せん断変形速度がせん断抵抗力に及ぼす影響

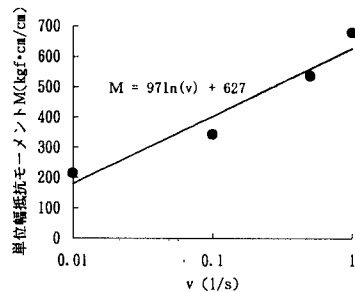


図-8 抵抗モーメント～せん断変形速度関係