

(I - 26) 個別要素法による砂防ダム中詰材の衝撃局部挙動解析

防衛大学校 正員 ○伊藤一雄 正員 香月 智 フェロー 石川信隆

1. 緒言

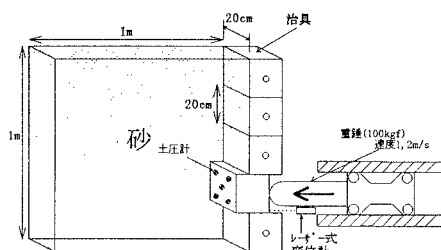
セル型砂防ダムは、写真－1に示すように鋼壁板の中に土砂等の中詰材を充填した砂防ダムである．先に著者ら¹⁾は、この砂防ダムに土石流中の巨礫が衝突する際の安全性の照査を目的として、中詰材に衝突荷重が作用する現象について実験的に基礎的な検討を行った．本研究は、さらに個別要素法を用いて中詰材に衝突荷重が作用する際の中詰材内部での力の伝達メカニズムならびに中詰材の局部抵抗力について解析的に検討を行ったものである．

2. 実験の概要と実験結果

供試体は、図－1に示すような幅20cm、高さ1.0m、長さ1.0mの容器に、気乾状態のケイ砂(比重2.664、粒径範囲(0.5～1.0mm))を単位体積重量が 1.33gf/cm^3 になるように充填して作成した．供試体の一方の側壁は固定しているが、他方の壁は20cm×20cm×20cmの立方体の箱を5個積み重ねて作成し、載荷点以外の箱は固定して、載荷点の箱を上下にコロを挟んで、水平に移動できるようにし、100kgfの重錘を衝突速度1m/sおよび2m/sで下から2段目の治具に衝突させる実験を行った．計測データは、移動する治具の前面に取り付けた土圧計により土圧(抵抗圧)を計測し、治具の変位をレーザー式変位計を用いて計測した．



写真－1 セル型砂防ダムの一例

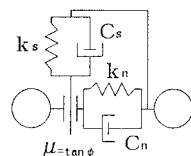


図－1 衝撃実験装置

3. 個別要素法による解析

3. 1 解析モデル

要素間に働く力と変形の関係を図－2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によって表し、これを図－3のように実験に用いた大きさを持つ矩形枠内部に直径2～6cmの円要素をランダムに配列した．基本入力定数を表－1に示す．ただし、要素iと要素jの法線方向ばね係数 k_{nj} は、要素の大きさが異なるので、次式により求めた．



図－2 砂要素のモデル化

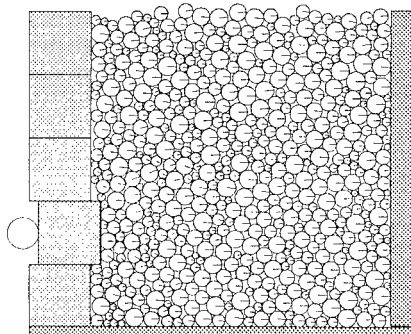
$$k_{nj} = \frac{\bar{E} \times \bar{D} \times L}{R_y} \quad (1)$$

ここで、 $\bar{E}$:単位面積当たりの弾性係数、 $\bar{D}$:代表要素径(= $\min(D_i, D_j)$)、 L :奥行き長さ(20cm)、 R_y :要素間距離．

また、重錘の衝突による移動治具の動的つり合いを図－4

表－1 入力定数

単位面積法線方向ばね係数 $\bar{E}$	20kgf/cm ²
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	$2h\sqrt{m \cdot k_n}$
接線方向減衰係数 C_s	$C_n \sqrt{s}$
要素間減衰定数 h	1.0
重錘と治具間の弾性ばね係数 k_w	$4.8 \times 10^5 \text{kgf/cm}$
重錘と治具間減衰定数 h_w	0.01
Δt	$1 \times 10^{-5} \text{sec}$



図－3 解析モデル

のようにモデル化することにより、これを1つの個別要素として運動方程式を解いた。この際の抵抗圧 P の算定は次式を用いた。

$$P = \sum_{i=1}^n F_i / A \quad (2)$$

ここで、 P :中詰材の抵抗圧(kgf/cm²)、 F_i :治具に接触している要素が治具に加える力、 n :治具に接触している中詰め要素の数、 A :治具の側面積。

3. 2 解析結果

図-5に衝突後20msec、治具移動量1.6cmにおける接触力分布を示す。要素配列のランダム性の影響を受けて、接触力は樹状に複雑なパスを形成しているが、移動治具の背面に集中する接触力を徐々に分散するように、その大部分は約45°下方の底面側に向かって、残りの部分は、反対側側壁面に向かって広がっている。

図-6に要素の速度分布図を示す。衝突点近傍に速度の大きな要素が集中し離れるにつれて速度が低下する。この方向ベクトルは、図-5に示した力の伝達方向と良く似ており、この図からも底面からの反力の影響が大きいことが推定される。

図-7に実験と解析によって得られた抵抗圧～変位関係を比較して示す。実験では変位0.1mmあたりの衝突直後に荷重が大きく立ち上がるのに対して、解析の方は変位5mmと立ち上がりが遅く、またその大きさも若干小さくなるが、それに続く応答は、衝突速度1.0m/s、2.0m/sいずれの場合も良くシミュレートできていることがわかる。

4. 結言

本研究の成果を要約すると

(1) 水平衝撃を受ける中詰材の局部変形応答を個別要素法によりシミュレートする方法を提案できた。

(2) 中詰材の局部変形抵抗力は、背面後方に約45°の広さで分散していく。その際、底面近傍からの影響が大きいことがわかった。

参考文献:

1) 伊藤一雄, 香月智, 石川信隆, 阿部宗平, 中村徹: セル型砂防ダム中詰材の局部衝撃実験, 第3回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集, pp. 295～300, 1996年5月。

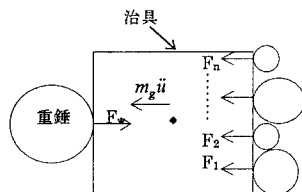


図-4 移動治具の力のつり合い

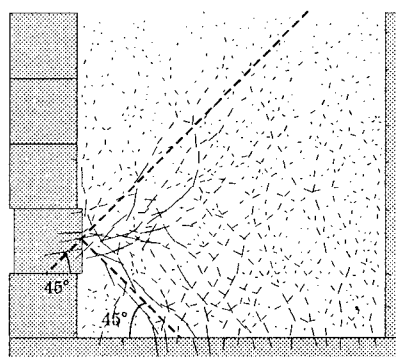


図-5 解析による接触力分布(衝突速度 1m/s)

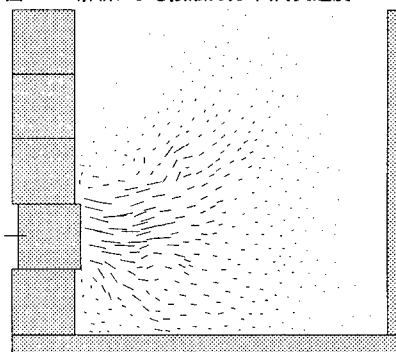
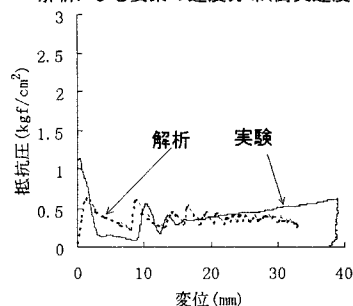
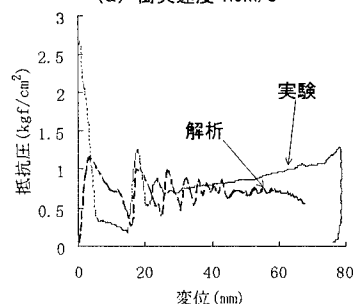


図-6 解析による要素の速度分布(衝突速度 1m/s)



(a) 衝突速度 1.0m/s



(b) 衝突速度 2.0m/s

図-7 解析から得られた抵抗圧～変位関係