

砂防鋼構造物研究会 ○小野源一郎, 中村徹
防衛大学校 別府万寿博

1. はじめに

近年, 建設コストの縮減や循環型社会の構築を目的として, 従来のコンクリート製の砂防えん堤に代わり現地発生材を有効活用できる砂防ソイルセメント(INSEM)工法が提案され¹⁾, INSEM 工法による砂防えん堤(INSEM えん堤)の計画・施工が積極的に行われつつある. INSEM えん堤は, コンクリートえん堤に比べ低強度であるため, 土石流流体力や礫衝撃力および摩耗に対する安全性をどのように確保するかが課題となる. この解決策の一つとして, 鋼材の高強度, 高じん性という特長を活かすため, INSEM えん堤の外面に鋼製の壁面材を設置した構造形式が考えられる. 著者らは先に, 鋼製壁面材を組合せた INSEM えん堤に土石流流体力が作用した場合の鋼製壁面材の効果を 2 次元 FEM 解析により確認した²⁾. 本研究は, 3 次元えん堤モデルに巨礫が衝突したときの挙動について動的弾塑性解析を行い, 壁面材の効果を検討したものである.

2. 解析条件

2.1 解析モデル 解析は汎用ソフト MSC Marc を用いた. 解析モデルを図-1 に示す. 形状は幅 3.0m, 高さ 5.0m, 奥行き 6.0m の 3 次元矩形モデルとした. INSEM 材は 1 辺が 100mm のソリッド要素とし, 上流面に鋼製壁面材をモデル化したシェル要素を設置した. INSEM 材と鋼製壁面材の要素間は完全付着を仮定し, 境界条件はえん堤底部を完全固定とした. また, 比較のためコンクリートえん堤についても解析を実施した.

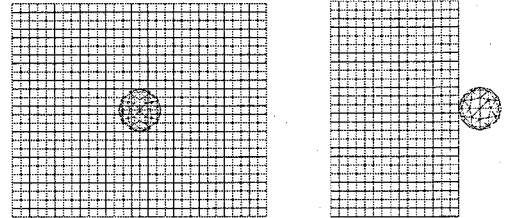


図-1 解析モデル

2.2 材料モデル コンクリートおよび INSEM 材の構成モデルは, 図-2 に示すように圧縮側は Von-Mises の降伏基準, 引張側は引張強度に達した後に剛性, 応力ともゼロになるものとし, ひび割れ後のせん断伝達率 β は $\beta=0.5$ を用いた. 鋼材の材料構成モデルは Von-Mises の降伏基準とした. また, 礫衝突時に発生するえん堤の振動減衰を考慮するため, 減衰定数を 5%とした. 解析に使用した材料特性を表-1 に示す. コンクリートの圧縮強度は $f'_c=18\text{N/mm}^2$ とし, INSEM 材は, 砂防えん堤に一般的に用いられるレベルである圧縮強度 $f'_c=5.0\text{N/mm}^2$ を基準強度としたが, 衝突によるひずみ速度効果を考慮して, 圧縮および引張強度をそれぞれ 1.5 倍, 2.0 倍とした. 鋼製壁面材は, 板厚 t の影響を調べるために $t=4\text{mm}, 6\text{mm}, 10\text{mm}$ の 3 条件とし, 解析では 1.5mm の腐食代分を低減してモデル化した.

表-1 材料特性(ひずみ速度効果を考慮)

コンクリート	圧縮強度: $f'_c(\text{N/mm}^2)$	23
	引張強度: $f_t(\text{N/mm}^2)$	3.6
	弾性係数: $E_c(\text{N/mm}^2)$	2.0×10^4
INSEM材	圧縮強度: $f'_c(\text{N/mm}^2)$	7.5
	引張強度: $f_t(\text{N/mm}^2)$	1.0
	弾性係数: $E_c(\text{N/mm}^2)$	1.0×10^3
鋼材	降伏強度: $\sigma_y(\text{N/mm}^2)$	450
	弾性係数: $E_s(\text{N/mm}^2)$	2.0×10^5

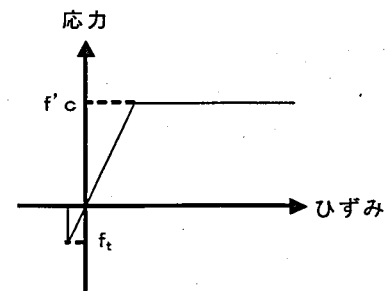


図-2 材料モデル

2.3 荷重 荷重は, 巨礫を想定した密度 2.6g/cm^3 , 直径 1.0m の球を速度 10m/sec または 15m/sec で衝突させた. 衝突位置はえん堤の中央とした.

2.4 解析ケース 今回実施した解析ケースを表-2 に示す.

3. 解析結果

3.1 衝撃挙動の比較 Case1 の場合ひび割れ範囲は局部的であり損傷は小さいが, Case2 の場合はひび割れの全体的

表-2 解析ケース

	材料	壁面材厚 (mm)	礫速度 (m/sec)
Case1	コンクリート	—	10
Case2	コンクリート	—	15
Case3	INSEM+壁面材	4	15
Case4	INSEM+壁面材	6	15
Case5	INSEM+壁面材	10	15

な進展が確認され、かなりの損傷が生じた。そこで、Case3～Case5 についてはコンクリートえん堤が大きな損傷を受けるレベルである 15m/sec の礫速度を与えて損傷状態を確認することとした。Case2 および Case4 のひずみ分布図を図-3 に示す。Case3～Case5 は大きな差異が見られなかったため Case4 を代表として示した。図中の灰白色部はひずみ量 ε がひび割れ限界を越えた範囲であり、Case2 の場合は $\varepsilon \geq 180\mu$ 、Case4 の場合は $\varepsilon \geq 1000\mu$ の範囲である。Case4 は Case2 に比べひび割れ範囲が局所的となっていることがわかる。その範囲は礫直径の約 1.5 倍程度であり、鋼材による荷重分散効果と考えられる。Case2 および Case4 の衝撃力-時間関係を図-4 に示す。Case4 は Case2 に比べ最大衝撃力は 40%に低下し、作用時間は約 2 倍になることが認められた。衝突部のへこみ量は Case2 で 8mm、Case4 で 44mm 生じていた。以上より INSEM 材は弾性係数が 1 オーダー小さいことおよび鋼材の荷重分散効果により緩衝効果が現れたものと考えられる。

3.2 鋼製壁面材のひずみ 鋼製壁面材に発生したひずみ量と板厚の関係を図-5 に示す。鋼製壁面材に発生した最大ひずみ量は板厚によって明瞭な差異が見られた。特に板厚が小さくなるとひずみは急激に大きくなる傾向にあり、 $t=4\text{mm}$ の場合は $\varepsilon=3,300\mu$ と降伏限界を越えている。今回の解析条件では、板厚 $t=6\text{mm}$ 以上であれば降伏限界ひずみ $\varepsilon_y=2,250\mu$ 以下となり弾性範囲内といえる。

4. まとめ

- 1) 今回の解析モデルではコンクリートえん堤モデルに直径 1.0m の礫を速度 10m/sec で衝突させると損傷は局所的であり、速度 15m/sec で衝突させると全体的なひび割れ進展が確認できた。
- 2) INSEM えん堤モデルに礫を衝突させた場合、弾性係数が小さいことや鋼材が荷重を分散することで緩衝効果が得られ衝撃力が低下する。
- 3) 鋼製壁面材に発生するひずみ量は板厚により明瞭な差異が見られた。今回の解析条件では板厚が 4mm の場合はひずみ量が降伏限界を越える結果となった。
- 4) 今回の検討で礫衝突に対する INSEM えん堤の挙動を解析により評価することができたが、材料特性の設定などについては更に検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 砂防ソイルセメント活用ガイドライン（砂防ソイルセメント活用研究会）
- 2) 小野源一郎，中村徹，嶋丈示，別府万寿博：砂防ソイルセメントを用いた鋼製砂防えん堤における鋼材の効果について，平成 17 年度砂防学会研究発表会概要集 p.226-227

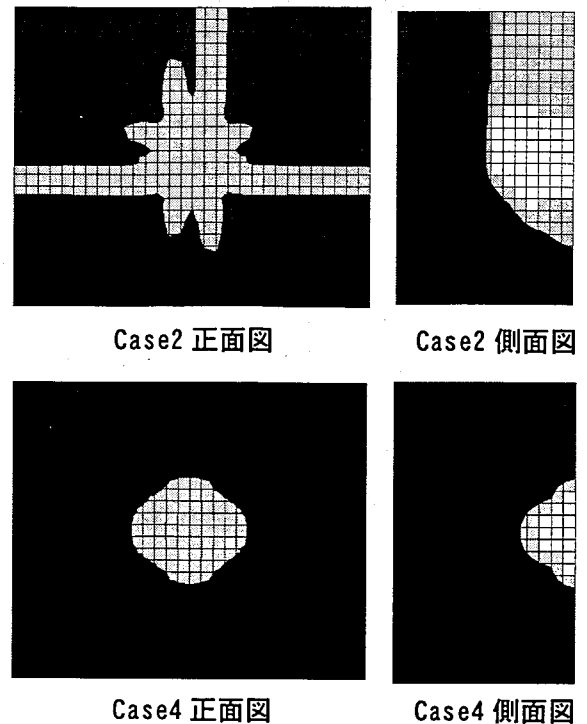


図-3 ひずみ分布

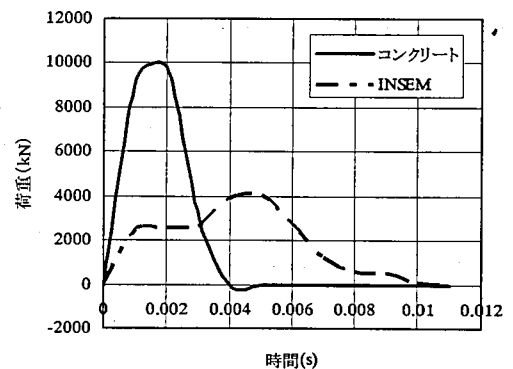


図-4 衝撃力-時間関係

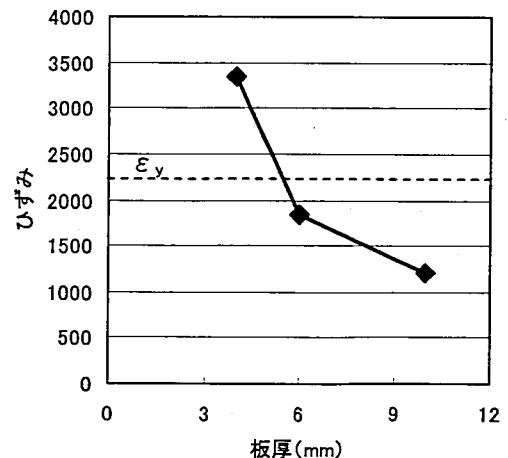


図-5 鋼製壁面材の板厚-ひずみ関係