

## 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

砂防鋼構造物研究会 ○小野源一郎, 中村徹  
 (財) 砂防・地すべり技術センター 嶋丈示  
 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変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, INSEM 工法による砂防えん堤の計画・施工が積極的に行われつつある. INSEM 工法による砂防えん堤は, INSEM 材がコンクリート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, 外面に鋼製の壁面材を設置し現地発生材を中詰材料としたダブルウォールえん堤やセルえん堤のように, 鋼材の高強度, 高じん性という特長を活かす構造形式が考えられる. 鋼製壁面材そのものは, 流体力や衝突力あるいは摩耗に対する高い抵抗性が期待でき, 施工時の型枠材料としても有効である. しかし, INSEM 材と鋼製壁面材を組合せた場合, 要求性能を満足する鋼材量やその効果は明らかでない. そこで本研究は, INSEM 材を用いた矩形断面えん堤が土石流流体力を受ける場合の鋼製壁面材の効果を FEM 解析により検討したものである.

## 2. 解析条件

2.1 解析モデル 解析には, 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 の 2次元矩形モデルとした. INSEM 材は 1 辺が 250mm の平面ひずみ要素とし, 上流面に鋼製壁面材をモデル化したはり要素を設置した. INSEM 材と鋼製壁面材の要素間は完全付着を仮定し, 境界条件は構造下端部を完全固定とした.

2.2 材料 解析に使用した材料特性を表-1 に示す. INSEM 材は強度のばらつきを想定して低強度のケース(Case1)と比較的高い強度のケース(Case2)の 2 条件とした. 鋼製壁面材は, 板厚  $t$  の影響を考慮するために  $t=0\text{mm}, 4\text{mm}, 6\text{mm}, 10\text{mm}$  の 4 条件としたが, 解析では 1.5mm の腐食代分を低減してモデル化した. INSEM 材および鋼材の材料構成モデルは, 図-2 に示すように圧縮側は Von-Mises 基準とした. 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  $\beta$  はコンクリートと同様に  $\beta=0.5$  を用いた. 鋼材の材料構成モデルは Von-Mises とした.

2.3 荷重 荷重は, 土石流流体力を想定した等分布荷重を上流側全面に作用させた. 解析は荷重増分で行い, えん堤自身が耐力を失うまで載荷した.

## 3. 解析結果

3.1 破壊モードおよび最大耐力 Case1 および Case2 の流体力～頂部変位関係をそれぞれ図-3 に示す. 比較のため, 図-3(a),(b)にはコンクリート材料を用いて解析した場合(壁面材なし)の最大耐力を示しているが, その値は約  $230 \text{ kN/m}^2$  である.

図-3(a)の Case1 では, いずれの板厚でも弾塑性的な挙動を示していることがわかる. まず, 壁面材がない  $t=0\text{mm}$  では  $4 \text{ kN/m}^2$  程度の耐力しか示さなかった. 一方,  $t=4\text{mm}$  では約  $140 \text{ kN/m}^2$  の耐力を示し, 壁面材を設置することで約 35 倍も耐力が向上したことがわかる. さらに板厚を増加させると,  $t=6\text{mm}$  では  $t=4\text{mm}$  に比べて約 1.29 倍の  $180 \text{ kN/m}^2$  の耐力を示した. しかし,  $t=10\text{mm}$  では  $t=6\text{mm}$  とほぼ同じ耐力しか示していない. 図-3(b)の Case2 より, 高い強度の INSEM 材では  $t=0\text{mm}$  時の耐力は  $50 \text{ kN/m}^2$  であり, 低強度に比べ約 12.5 倍の耐力であった. 壁面材を設置した場合は,  $t=4\text{mm}, 6\text{mm}, 10\text{mm}$  の耐力がそれぞれ  $180 \text{ kN/m}^2, 320 \text{ kN/m}^2, 520 \text{ kN/m}^2$  となり, 壁面材の板厚に比例して増大することが認められた. 以上より, コンクリート断面を基準耐力とした場合, Case1 では板厚を増しても基準耐力に達しない. Case2 では 6mm 以上の板厚があれば基準耐力を確保できることとなる.

表-1 解析に用いた材料特性

INSEM材 (Case1)	圧縮強度: $f_c(\text{N/mm}^2)$	0.5
	引張強度: $f_t(\text{N/mm}^2)$	0.05
	弾性係数: $E_c(\text{N/mm}^2)$	100
INSEM材 (Case2)	圧縮強度: $f_c(\text{N/mm}^2)$	5.0
	引張強度: $f_t(\text{N/mm}^2)$	0.5
	弾性係数: $E_c(\text{N/mm}^2)$	1,000
鋼材	降伏強度: $\sigma_y(\text{N/mm}^2)$	300
	弾性係数: $E_s(\text{N/mm}^2)$	200,000

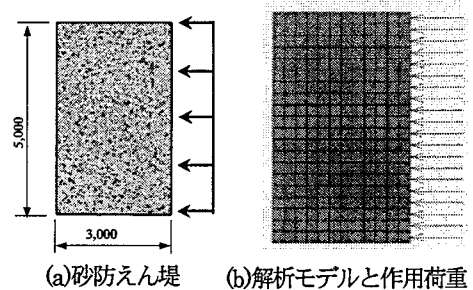


図-1 解析モデルと作用荷重

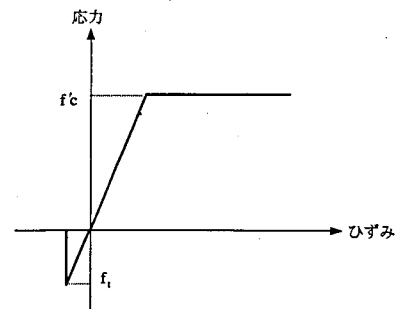
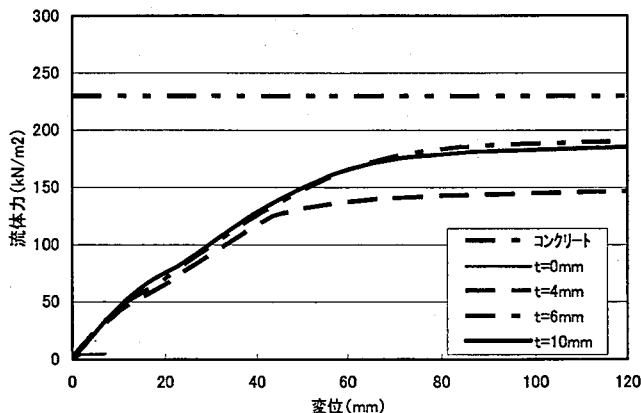
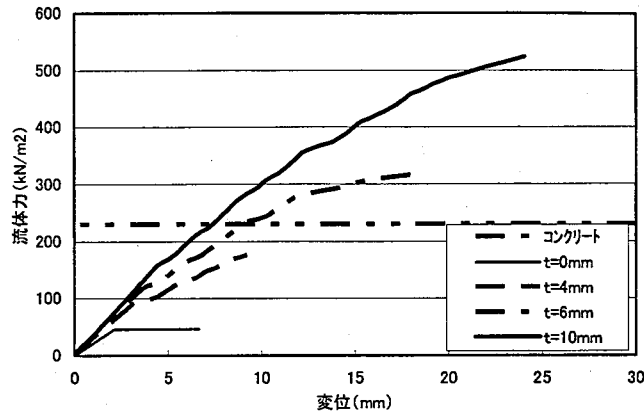


図-2 INSEM材の材料モデル



(a)Case1 ( $f_c=0.5\text{N/mm}^2$ )



(b)Case2 ( $f_c=5.0\text{N/mm}^2$ )

図-3 流体力～頂部変位関係

3.2 破壊状況 図-4 に  $t=6\text{mm}$  における終局時の等価ひび割れひずみと相当塑性ひずみ分布を示す。各指標の物理的意味は、それぞれ引張りひび割れと圧縮塑性の大きさを示すものである。図-4 より、Case1 の場合は左下から右上にかけて斜めせん断ひび割れ領域が確認できる。また、底面部において INSEM 材の塑性化が進んでいることがわかる。一方、Case2 の場合は曲げ引張領域である上流側下部にひび割れが発生しているが、相当塑性ひずみは発生しておらず弾性領域である。

解析による破壊モードを表-2 に示す。Case1, Case2 ともに  $t=0\text{mm}$  の場合、構造の破壊を支配しているのは、引張側のひび割れである。一方、壁面材を設置した場合、曲げモーメントに対しては壁面材が引張力を、INSEM 材が圧縮力を分担する応力状態となる。強度が低い INSEM 材の場合は、せん断力によって斜めひび割れが発生した後、底面の塑性化によって最終的な破壊となる。したがって、耐力を支配するのは INSEM 材である。強度が大きい INSEM 材では、INSEM 材の塑性よりも鋼材の引張降伏が先行するため、最大耐力は板厚に比例して大きくなることわかる。

### 5. まとめ

- 1) 鋼材の有無を  $t=0\text{mm}$  と  $t=4\text{mm}$  で比較すると Case1 では 35 倍、Case2 では 3.6 倍の耐力向上が確認できた。
- 2) Case1 の場合は INSEM 材の塑性破壊が支配的となるため、耐力が増加しない限界板厚が存在する。本検討では  $t=6\text{mm}$  以上では耐力の増加が見られなかった。
- 3) Case2 の場合は鋼材の引張降伏が支配的となる。
- 4) コンクリート断面を基準耐力とした場合、Case1 では板厚を増しても基準耐力に達しない。Case2 では  $6\text{mm}$  以上の板厚があれば基準耐力を確保できることとなる。
- 5) 今回は土石流流体力の静的荷重に対する鋼材の効果を検証したに留まっているため、衝突荷重に対する鋼材の効果を今後検証する必要がある。また、セグメント化した鋼矢板を用いた構造のように壁面材が高さ方向に連続体でない場合の鋼材の効果について検証する必要がある。

### 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)

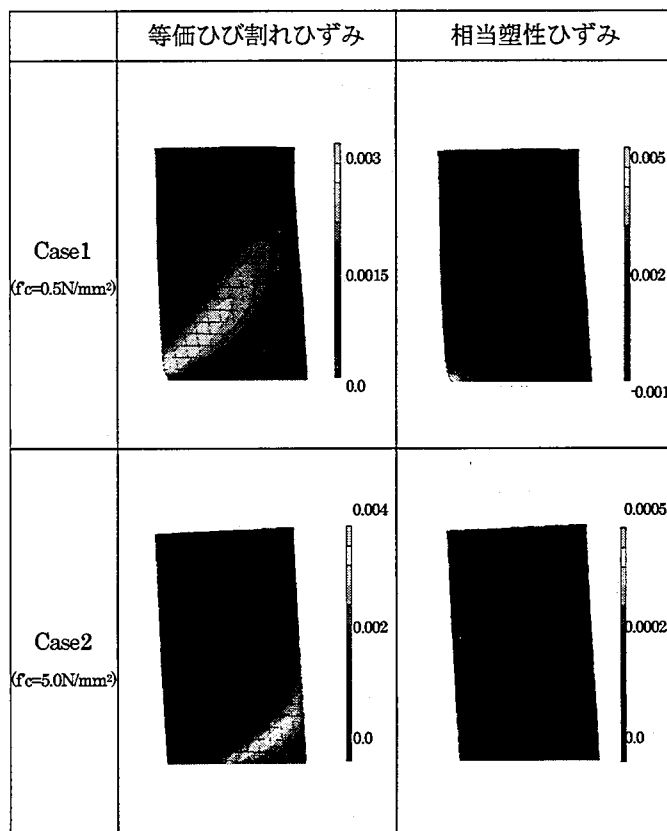


図-4 破壊時の等価ひび割れひずみと相当塑性ひずみ分布 ( $t=6\text{mm}$  の場合)

表-2 解析結果まとめ

	板厚	最大耐力 ( $\text{kN/m}^2$ )	最終破壊モード
Case1	$t=0\text{mm}$	4	INSEM材引張
	$t=4\text{mm}$	140	壁面材引張
	$t=6\text{mm}$	180	INSEM材せん断+圧縮
	$t=10\text{mm}$	180	INSEM材せん断+圧縮
Case2	$t=0\text{mm}$	50	INSEM材引張
	$t=4\text{mm}$	180	壁面材引張
	$t=6\text{mm}$	320	壁面材引張
	$t=10\text{mm}$	520	壁面材引張
コンクリート	-	230	コンクリート引張