

実規模による低セメント複合堤体の重錘衝撃実験

日鐵建材工業(株)
共和コンクリート工業(株)
(株)インボックス

正会員 ○堀 謙吾
正会員 樋口経太
秋山祥克

1. はじめに

最近、堰堤などの砂防構造物に必要な強度を満足する低セメント量の硬化体が活用されつつある。その代表例として現地発生土砂を用いた砂防ソイルセメント工法¹⁾があげられる。砂防構造物には、時として土石流に対する安定性を求められる場合があるものの、現状では低セメント硬化体の耐衝撃性に関する知見は皆無に等しい。そこで、本件では低セメント硬化体による内部材と鋼製外壁材で構成された砂防堰堤（以下、堤体と称す。）の耐衝撃性の確認を目的に、重錘を用いた実規模衝撃実験を行ったのでその結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 実験方法 実験は堤体袖部への土石流衝突を想定し、延長 10m、高さ 2.0m、天端幅 3.0m の堤体を作製した。堤体の内部材は、クラッシュラン（C-40）にセメント、水を混合・攪拌した L.U.C.²⁾と称する低セメント材料を用いた。堤体の作製は、耐衝撃性・耐摩耗性を有する鋼製外壁材を型枠として、L.U.C.を振動ローラとランマで締固め、アンカー材で一体化させながら構築した。堤体の断面構造を図-1 に、内部材の配合条件を表-1 に示す。衝撃力は、質量 2,000kg で球形の鋼製重錘を用い、自由落下運動と振り子運動によって堤体に衝撃力を作用させた。振り子運動による実験状況を写真-1 に示す。

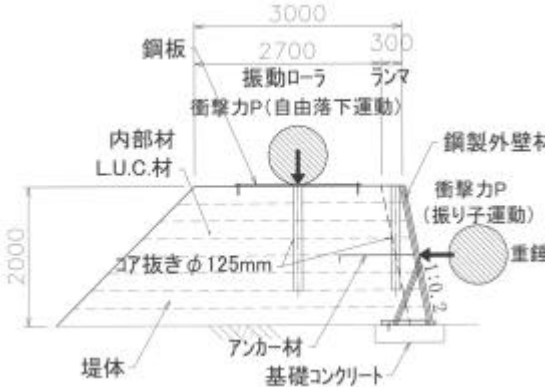


図-1 堤体断面構造

表-1 堤体内部材諸元

		使用材料	配合条件
内部材	骨材	クラッシュラン C-40)	2,070kg/m ³
	混合水	水道水	93kg/m ³
	セメント	高炉セメントB種	100kg/m ³

2.2 実験ケース 表-2 に実験ケースを示す。実験は内部材の締固め方法、鋼製外壁材の厚さ、衝撃力の載荷方法、衝撃力の大きさを変化させた 7 ケース 15 回について行った。自由落下運動による実験は、同一地点に連続して 3 回の衝撃力を作用させた。衝撃力の大きさは、土石流中に含まれる巨礫がある流速で衝突した場合のエネルギーを算定し、質量 2,000kg の重錘がそのエネルギーと同等になるような落下高さ・振り子角度とした。巨礫の大きさと流速は、既往の実態調査をもとに発生頻度の高い上限値以上の諸元を設定した。

表-2 実験ケース一覧

実験ケース	内部材 締固め方法	外壁材		衝撃作用 方法	衝撃作用 回数	土石流諸元		衝撃 エネルギー
		種別	厚さ			礫径D	流速V	
CASE1	振動ローラ	鋼板	2.3mm	自由落下	3回	1.0m	9.0m/s	55.2kJ
CASE2	振動ローラ	鋼板	3.2mm	自由落下	3回	1.5m	9.0m/s	186.1kJ
CASE3	振動ローラ	鋼板	4.5mm	自由落下	3回	1.5m	9.0m/s	186.1kJ
CASE4	ランマ	軽量鋼矢板	4.0mm	振り子	1回	1.0m	10.0m/s	68.1kJ
CASE5	ランマ	軽量鋼矢板	4.0mm	振り子	1回	1.0m	10.0m/s	68.1kJ
CASE6	ランマ	軽量鋼矢板	5.0mm	振り子	1回	1.0m	10.0m/s	68.1kJ
CASE7	振動ローラ	—	—	自由落下	3回	1.5m	9.0m/s	186.1kJ

場合のエネルギーを算定し、質量 2,000kg の重錘がそのエネルギーと同等になるような落下高さ・振り子角度とした。巨礫の大きさと流速は、既往の実態調査をもとに発生頻度の高い上限値以上の諸元を設定した。

3. 実験結果

3.1 重錘衝撃力波形 図-2 には、CASE1、CASE3 の自由落下運動と CASE5 の振り子運動による重錘衝撃力波形を示す。図中の表記は、ケース番号と内部材の締固め方法を示す。重錘衝撃力波形は、式-1 を用いて重錘に取り付けた加速度計の計測値から算出した。

キーワード：重錘衝撃実験，砂防堰堤，土石流，低セメント材料，L.U.C.

連絡先：〒135-0042 東京都江東区木場 2-17-12 TEL 03-3630-2497 FAX 03-3630-2549

$$P = m \cdot a \quad \text{式-1}$$

ここに、 P ：衝撃力(kN)、 m ：重錘質量(2,000kg)、 a ：衝撃加速度(m/sec^2)を示す。CASE1 および CASE3 は、重錘衝突後 0.005sec で最大衝撃力 P_{max} が発生した。対して CASE5 は、CASE1 と比較して衝撃エネルギーは大きいものの最大衝撃力 P_{max} は小さく、発生までの時間も 0.015sec と 3 倍の時間を要した。これは、載荷方法や外壁材の厚さ・形状の違いによる影響もあるが、主な原因は内部材の締固め方法に起因するものと考えられる。衝撃実験前に締固め方法の異なる内部材のコア ($\phi 125\text{mm}$) を抜き圧縮強度試験を実施したところ、振動ローラで締固めた内部材は 7.50 N/mm^2 、ランマ締固めは 4.92 N/mm^2 と両者に 1.5 倍の差が見られた。

3.2 衝撃エネルギーと最大重錘衝撃力の関係

図-3 に衝撃エネルギーと最大重錘衝撃力との関係を示す。図中には、重錘がコンクリートに衝突した場合に発生する最大重錘衝突力を合わせて記載した。コンクリートに衝突した場合の最大重錘衝撃力は、砂防構造物を設計する際に一般的に用いられている Herz の弾性衝突理論³⁾を用いて算出した。その結果、低セメント材料の L.U.C. はコンクリートと比較して衝撃エネルギー $55.2\text{kN}\cdot\text{m}$ で約 30%、 $186.2\text{kN}\cdot\text{m}$ では約 50% も衝撃力を低減できることが分かった。また、ランマ締固めの L.U.C. に至っては、コンクリートの 1/4 にまで衝撃力を低減していた。これは、砂防構造物を設計する上で非常に有利な要素であり、その結果は環境性や経済性にも貢献できると考えられる。そのほか、衝撃実験では厚さの異なる鋼製外壁材を内部材の表面に設置して衝撃力を作用させた。写真-1 でも示す通り、鋼製外壁材は塑性変形は起こすものの亀裂や破断等は見られず、衝撃力に対して内部材を保護する効果を確認することができた。

4. おわりに

今回実施した重錘衝撃実験から低セメント複合堤体の耐衝撃性に関する基礎的な特性を確認することができた。その成果を要約すると、(1) 低セメント材料は必要な重量および強度を満足する範囲内で、締固め方法によって衝撃力に対する緩衝性能を変化させることができる。(2) 低セメント材料は、コンクリートと比較して優れた衝撃緩衝性能を発揮する。今後は実験の成果を活かしつつ、LUC-SB ウォール工法研究会による活動を通じて耐衝撃性を算定する評価式の確立へと発展させて行きたい。

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，平成 14 年 1 月
- 2) 例えば，山本ほか：クラッシュランを利用したコスト縮減工法の基礎的研究 平成 13 年度砂防学会研究発表会概要集 pp 2～3
- 3) 例えば，鋼製砂防構造物設計便覧：(財) 砂防・地すべり技術センター，平成 13 年版



写真-1 実験状況

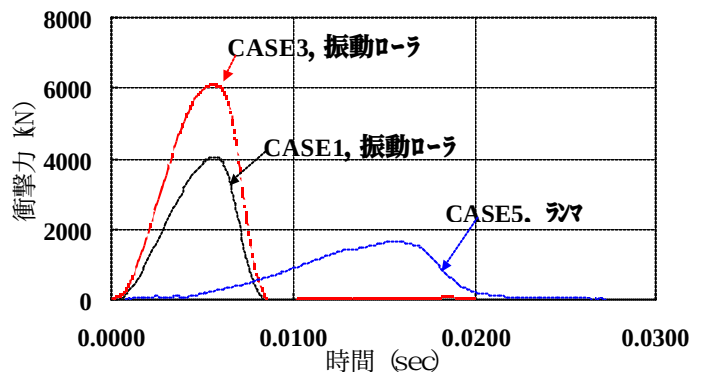


図-2 重錘衝撃力波形

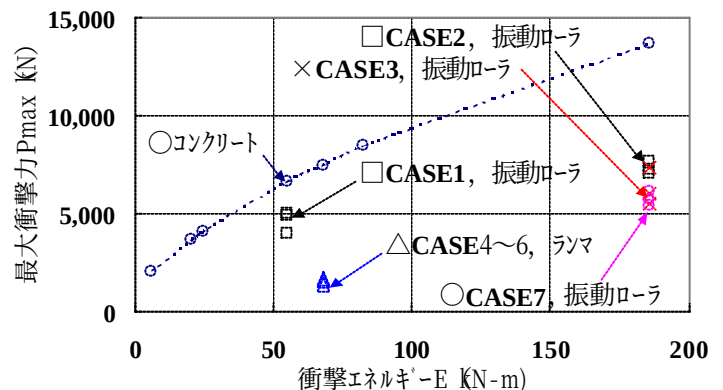


図-3 衝撃エネルギーと最大衝撃力の関係