

ソイルセメントを用いた緩衝システムを設置する落石防護擁壁模型に関する重錘衝突実験

(株) 構研エンジニアリング 正会員 ○ 牛渡 裕二
 室蘭工業大学大学院 正会員 栗橋 祐介
 釧路工業高等専門学校 フェロー 岸 徳光

(株) 構研エンジニアリング フェロー 川瀬 良司
 名古屋工業大学大学院 正会員 前田 健一

1. はじめに

本研究では、ジオグリッドを埋設した直立形状のソイルセメントおよび EPS ブロック を積層する緩衝システムの落石防護擁壁への適用性および限界性能を検討することを目的に 1/2 スケール落石防護擁壁模型の重錘衝突実験を実施した。

2. 実験概要

表 1 には、試験体一覧を示している。試験体名は、英文字母の G と衝突速度のラウンドナンバー (m/s) との組合せで示している。図 1 には、実験に用いた擁壁模型および緩衝工の形状寸法、計測位置を示している。擁壁形状は、実規模の 1/2 程度を想定し、壁高 $H = 1.5$ m、延長 $L = 2.0$ m、天端幅 $b = 0.3$ m、擁壁背面 (重錘衝突面) は鉛直とした。緩衝システムの構成は、別途実施した室内要素実験と同様とし、EPS ブロック厚さ $h_e = 250$ mm、ソイルセメント厚さ $h_s = 300$ mm、ソイルセメント内の擁壁側かぶり $c = 50$ mm の位置にジオグリッドを配置している。実験には、圧縮強度 $f'_c = 0.5$ MPa のソイルセメント、製品基準強度 27.0×37.0 kN/m のジオグリッドおよび密度 20 kg/m³、降伏応力 0.2 MPa 程度の EPS ブロックを用いている。実験は、門型の鋼製フレームに吊り下げられた鋼製重錘を着脱装置を介してトラッククレーンにより所定の高さまで吊り上げ、振り子運動によって試験体の所定の位置に水平衝突させることにより行っている。実験における測定項目は、図 1 に示す通り重錘に設置したひずみゲージ型加速度計による重錘衝撃力、非接触型レーザ式変位計による擁壁の水平変位、コンクリート擁壁内部の鉄筋に貼付したひずみゲージによるひずみ、高速度カメラによる重錘速度および重錘貫入量である。

3. 実験結果

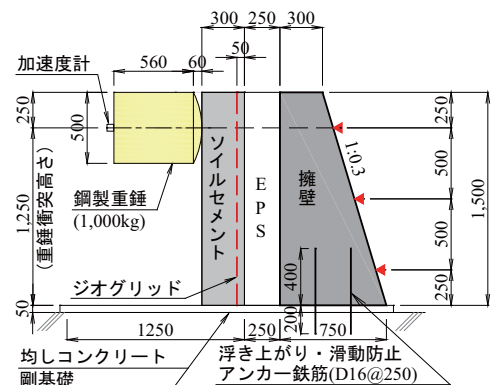
3.1 破壊性状

図 2 には、G-V5 および G-V12 における各試験体の実験終了後の (a) ソイルセメントの破壊状況、(b) ジオグリッドの破壊状況、および (c) EPS ブロックのひび割れ状況を、擁壁背面 (重錘衝突面) 側に関して示している。

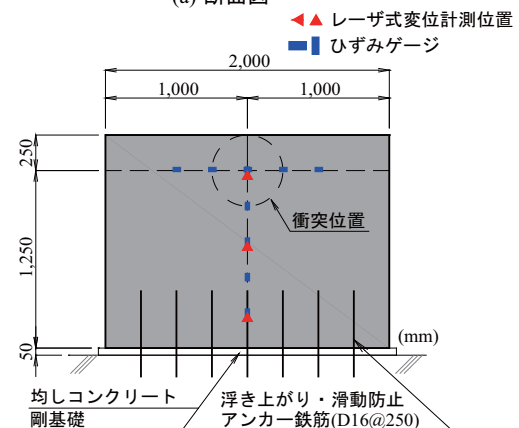
(a) 図より、G-V5 の場合には、重錘衝突位置のソイルセメントが陥没し、放射状のひび割れが生じている。一方、G-V12 の場合には、重錘衝突位置周辺のソイルセメ

表 1 試験体一覧

試験体名	衝突速度 (m/s)	入力エネルギー (kJ)
G-V5	5.1	13.0
G-V7	7.1	25.2
G-V9	9.0	40.5
G-V11	11.1	61.6
G-V12	12.2	74.4



(a) 断面図



(b) 正面図

図 1 試験体概要

ントが破壊され、ジオグリッドおよび EPS ブロックが露出する傾向を示した。また、全ての試験体の重錘衝突位置周辺には、重錘径の 1.5 ~ 2.0 倍程度の円形状のひび割れが発生し、既往の研究と同様にソイルセメントは押抜きせん断型の破壊性状を示すことが明らかになった。

(b) 図より、G-V12 の場合にはジオグリッドが重錘直径程度の領域で完全に裂断していることが分かる。

(c) 図より、EPS ブロックの破壊性状に着目すると、重錘衝突位置近傍に亀甲状のひび割れが発生し、衝突速度の増加に伴ってひび割れ範囲が拡大することが分かる。G-V12 の場合には厚さ方向に貫通した放射状のひび割れ

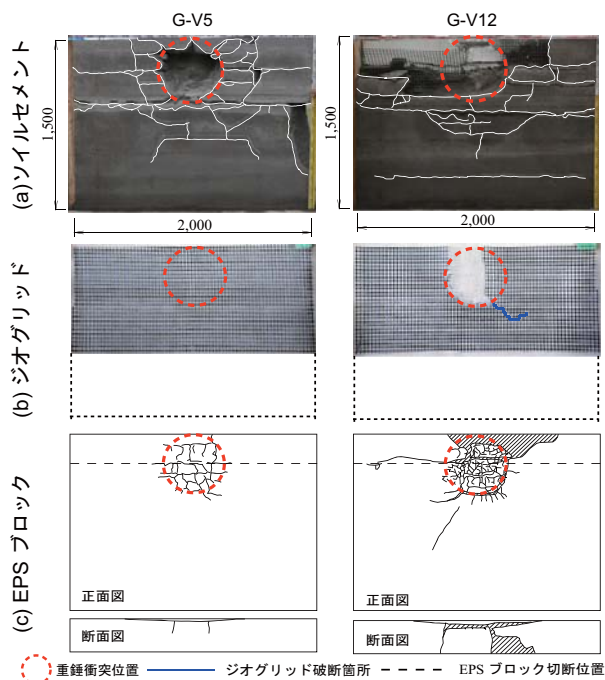


図2 実験後における緩衝工の破壊状況

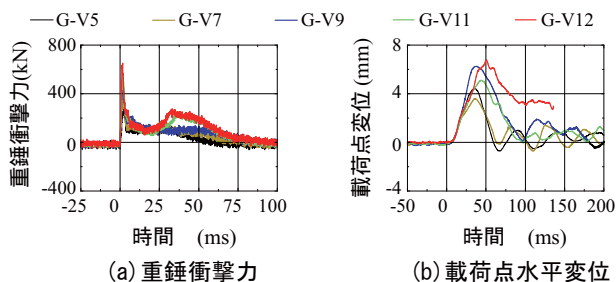


図3 各種応答波形

が発生している．また，EPS ブロックの切断面のひび割れ状況より，いずれの EPS ブロックにも押抜きせん断型の亀裂が生じていることが分かる．この亀裂の直径は衝突速度の増加に対応して大きくなる傾向にある．なお，本実験では擁壁模型本体に損傷は確認されず，また重錘が擁壁を乗り越える現象も確認されなかった．

3.2 時刻歴応答波形

図3には，(a) 重錘衝撃力，(b) 擁壁の載荷点位置における水平変位の時刻歴応答波形を示している．なお，G-V12の場合の載荷点水平変位に関しては，計測不良のため途中までのデータとなっている．

(a) 図より，衝突速度の大きさにかかわらず振幅が大きく周期の短い第一波と，振幅が小さく周期の長い第二波から構成されていることが分かる．これは，第一波目においてソイルセメントが損傷し，第二波目において EPS ブロックが変形していることを示しているものと考えられる．G-V9 までの第二波目の応答値は，110 kN 程度とほぼ一定値を示していることから，EPS ブロックが有する塑性変形によるエネルギー吸収能が発揮されているものと推察される．一方，G-V11/12 の場合における第二波目の応答値は，110 kN を大きく超過し 250 kN 程度を示して

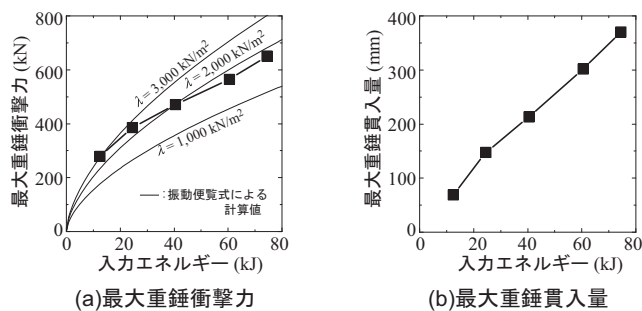


図4 各種応答値と入力エネルギー関係

おり，EPS ブロックに大きなひずみが生じていることが推察される．

(b) 図より，重錘衝突初期に振幅の大きい第一波が励起した後，G-V7 までは減衰自由振動状態を示していることが分かる．一方，G-V9 以上の場合には自由振動状態を示していないことから，擁壁模型が残留変形に至っているものと推察される．

3.3 各種応答値と入力エネルギーとの関係

図4には，(a) 最大重錘衝撃力，(b) 最大重錘貫入量と入力エネルギーとの関係を示している．なお，(a) 図には落石対策便覧における振動便覧式による計算値も併せて示している．(a) 図より，最大重錘衝撃力は入力エネルギーの増加に対応して増加していることが分かる．また，最大重錘衝撃力はラーメの定数 $\lambda = 2,000 \sim 3,000 \text{ kN/m}^2$ とした振動便覧式で安全側に算定可能であることが分かる．

(b) 図より，最大重錘貫入量は入力エネルギーの増加に対応して線形に増加していることが分かる．

以上より，図3 (b) 図において擁壁模型本体に若干の残留変位が示されるものの，擁壁の最大変位量が急増する等の損傷を示す性状が見られないことから，実験終了後の擁壁本体の損傷状態も考慮すると擁壁模型は未だ健全であるものと判断される．

4. まとめ

- 1) 室内要素実験と同規格の三層緩衝構造を直立擁壁模型へ適用した場合には， $E_k = 70 \text{ kJ}$ 程度の衝突エネルギーにおいても擁壁は未だ健全である．
- 2) ソイルセメントは押抜きせん断型の破壊性状を示し，ジオグリッドが破断するまでは EPS ブロックが効果的に衝撃荷重を吸収可能である．一方，ジオグリッドが破断する場合には，EPS ブロックに貫通したひび割れが発生し，押抜きせん断破壊の傾向を示す．
- 3) 最大重錘衝撃力は，ラーメの定数 $\lambda = 2,000 \sim 3,000 \text{ kN/m}^2$ とした振動便覧式により安全側に算定可能である．
- 4) 提案の三層緩衝構造の衝突面を直立にすることで，重錘が擁壁を乗り越えるような現象は生じない．