

2 層緩衝構造を設置した実規模落石防護擁壁の重錘衝突実験

Falling-weight Impact Test on Prototype Rock-Keeping Retaining Wall with Two-Layered Absorbing System

(株)構研エンジニアリング ○ 正員 川瀬 良司(Ryoji Kawase)
室蘭工業大学 正員 岸 徳光(Norimitsu Kishi)
北海道開発土木研究所 正員 今野 久志(Hisashi Konno)
室蘭工業大学 正員 岡田 慎哉(Shinya Okada)

1. はじめに

山岳道路沿いには、小規模落石等に対する防災対策の一つとして落石防護擁壁が設置されている。現在、落石防護擁壁は、落石対策便覧¹⁾に基づき、擁壁を剛体と仮定し、落石の持つ運動エネルギーと支持地盤の弾性振動時の最大ポテンシャルエネルギーとが等価であるとの考えの基に設計が行われている。従って、通常無筋コンクリート製（以下、C 製）の重力式擁壁が用いられている。

しかしながら、現実には、落石衝突時にひび割れやコンクリート片の剥離、剥落が度々発生している。また、著者らは、これまでにC 製落石防護擁壁の実験²⁾より損傷形態および耐衝撃性を検証している。それらの状況から、落石防護擁壁の耐衝撃性を向上させる簡易的な方法として鉄筋コンクリート構造（以下 RC 製）とした場合の実験³⁾も行ってきた。一方、落石防護擁壁の背面に2 層緩衝構造を設置する方法を提案し、緩衝性能および応力分散性能に関する検討⁴⁾を行っている。提案の2 層緩衝構造は、表層材がRC 版、裏層材が発泡スチロール（以下、EPS）材から構成される。

本研究では、2 層緩衝構造を設置した実規模落石防護擁壁の重錘衝突実験を行い、C 製、RC 製と比較することにより耐衝撃性の向上効果について検討をおこなった。2 層緩衝構造を設置した落石防護擁壁は、C 製を用いた。擁壁規模は、高さ2m 延長8m の実規模形状を採用し、EPS の厚さによる緩衝効果も検討することから、RC 版とEPS の厚さを変化させた場合についても実験を行った。実験時の測定項目は、重錘衝撃力波形、擁壁各点の変位であり、実験終了時のひび割れ分布も観察している。

2. 実験概要

2.1 実験方法

落石防護擁壁（以下擁壁）は、一般的に良質な支持層に根入れされていることから、本実験では擁壁の転倒および損傷のみに着目することとし、コンクリート基礎の上にストッパーを設けて水平移動を拘束することとした。重錘は、直径1m の円柱状で、高さ97cm、底部の高さ17.5cm 部が球状で、質量2,000kg の鋼製である。衝撃荷重は、門型フレームに吊り下げられた重錘をトラッククレーンで所定の高さまで吊り上げ、着脱装置による振り子運動によって作用させることとした。本研究でのC 製およびRC 製については、各予備試験体

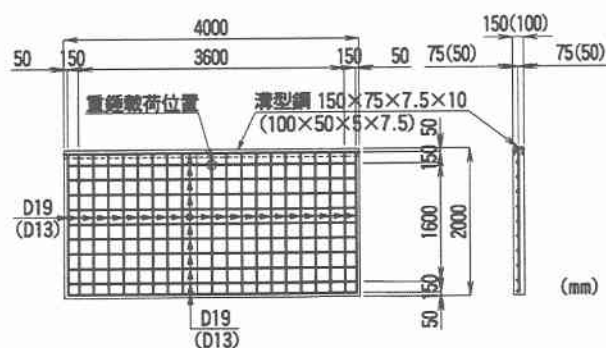
を用い、初期および増分衝突速度を1m/sec として終局に至るまで繰り返し载荷を行い、終局時の载荷速度を把握した。また、その衝突速度と同一の速度による単一载荷実験も実施している。2 層緩衝構造を用いる場合には、過去の予備実験から終局時を迎えるまで擁壁が損傷しないことより、各衝突速度に対する実験においては、緩衝構造のみを取り替えている。測定項目は、歪ゲージ型加速度計による重錘加速度、レーザ式変位計による擁壁各点の変位波形である。写真-1 には実験風景を示している。



写真-1 実験風景

表-1 実験ケース一覧

実験ケース	構造 型式	緩衝構造		衝突 速度 (m/s)
		EPS厚さ (cm)	RC版 厚さ (cm)	
C - V4	無筋構造	—	—	4.0
RC - V6	鉄筋構造	—	—	6.0
C-E25-R10-V1	無筋構造	25	10	1.0
C-E25-R10-V3				3.0
C-E25-R10-V5				5.0
C-E25-R10-V7				7.0
C-E25-R10-V9				9.0
C-E25-R10-V11				11.0
C-E50-R15-V1		50	15	1.0
C-E50-R15-V3				3.0
C-E50-R15-V5				5.0
C-E50-R15-V7				7.0
C-E50-R15-V9				9.0
C-E50-R15-V11				11.0



(b) RC 版厚 15cm (RC 版厚 10cm) の寸法及び配筋状況

図-1 2層緩衝構造供試体形状とRC版形状

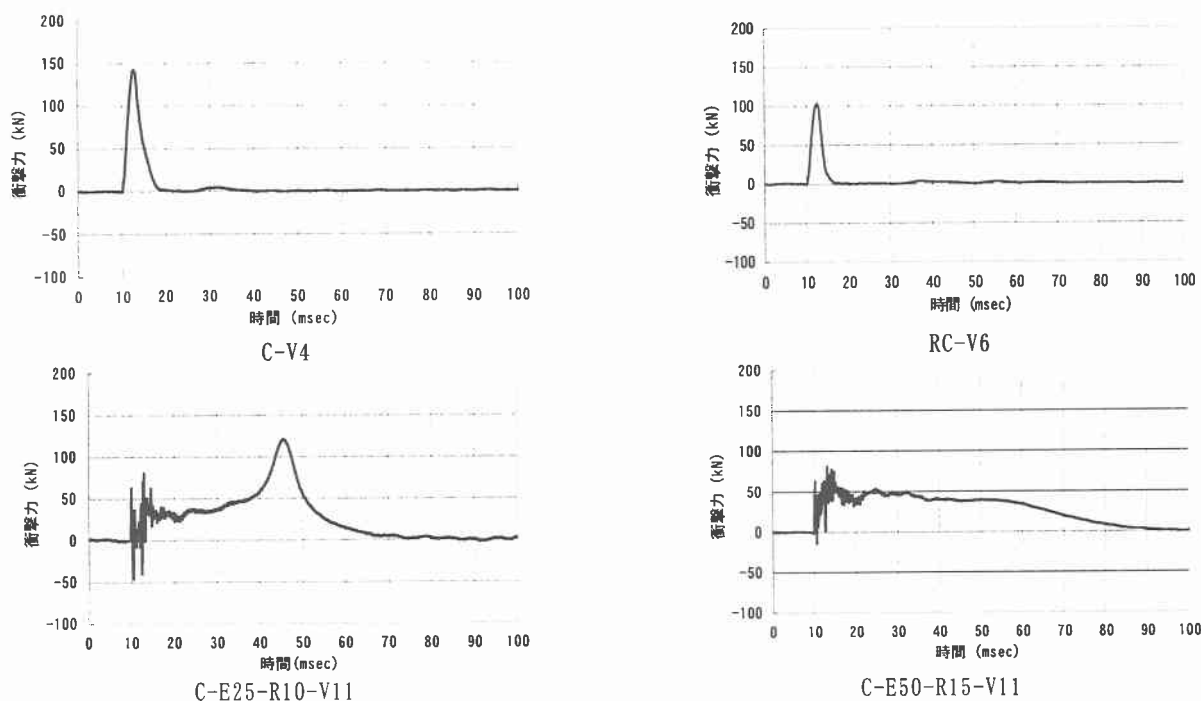


図-2 C 製、RC 製、2 層緩衝構造の重錘衝撃力波形

力は重錘加速度に重錘質量を乗じて評価している。終局時の重錘衝突速度から、2 層緩衝構造を設置した場合には、C 製および緩衝材を設置していない RC 構造よりそれぞれ 7.6 倍以上、3.4 倍以上落石のエネルギー的に耐衝撃性に優れていることがわかる。また、図より終局時の C-V4、RC-V6、C-E25-R10-V11 の最大重錘衝撃力は、100kN～140kN 程度である。一方、擁壁に損傷が発生しなかった C-E50-R15-V11 の最大重錘衝撃力は 70kN 程度であった。衝撃力波形は、C 製、RC 製の直角三角形に類似した分布性状を示しているのに対し、2 層緩衝構造の C-E50-R15-V11 は、RC 版衝突時における 10ms 間に高周波が発生するが、その後振幅が一般的な波形が 40ms 程度継続し、さらに 30ms 程度で緩やかに零レベルに収束する台形分布性状を示している。載荷時間を比較すると 2 層緩衝構造を適用する場合、C 製、RC 製に比べ 4～5 倍程度伸びており、2 層緩衝構造の緩衝効果が発揮されていることがわかる。また、C-E25-R10-V11 の衝撃力波形に着目すると、衝突開始から 45msec 後に最大衝撃力が発生している。これは、実験の状況から重錘の衝撃エネルギーが大きいことにより、重錘が RC 版、EPS を貫通して擁壁に衝突するためと推察される。

3.2 最大重錘衝撃力と衝突速度の関係

図-3 には最大重錘衝撃力と重錘衝突速度の関係を示している。衝突速度が同程度の場合の最大重錘衝撃力は、C-V4、RC-V6 に比べ C-E25-R10 が 1/3 程度以下、C-E50-R15 が 1/2 程度以下の値であり、2 層緩衝構造を用いた場合が緩衝性能に優れていることが明らかになった。2 層緩衝構造を設置した実験の最大衝撃力を比較すると、衝突速度が 11m/s の実験ケースを除き、C-E25-R10 が C-E50-R15 の 1/2 程度となっている。これは、R10 の場合が R15 の場合に比べて RC 版の剛性が小さく、重錘衝突時の変形や損傷が大きいことにより、入力エネルギーを吸収するためと推察される。また、C-E25-R10-V11 は、重錘衝撃力波形で述べたように、最大重錘衝撃力は、RC 版が押しぬきせん断により破壊され、EPS を貫通し擁壁に衝突することで発生し、そのために前者より増大したと考えられる。一方、C-E50-R15 は、衝突速度が 7m/s 以上の実験ケースから最大重錘衝撃力がほぼ水平に近い値となっており EPS の塑性変形によりエネルギーが吸収されているものと考えられる。このことから、EPS の緩衝効果、RC 版の分散効果を考慮すると、RC 版の厚さは、重錘質量が 2,000 kg、衝突速度が 11m/s 程度であれば 15cm 程度が妥当であると考えられる。

3.3 最大変位と衝突速度の関係

図-4 には最大変位と重錘衝突速度の関係を示している。最大変位は、重錘衝突点線上の天端近傍部（天端 20cm 下方）に設置したレーザー式変位計から得られた最大値を用いており、擁壁は水平移動を拘束していることから、測定結果は擁壁の回転運動が主要なものと思われる。

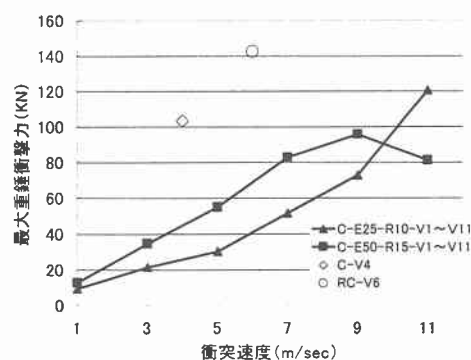


図-3 最大重錘衝撃力と衝突速度の関係

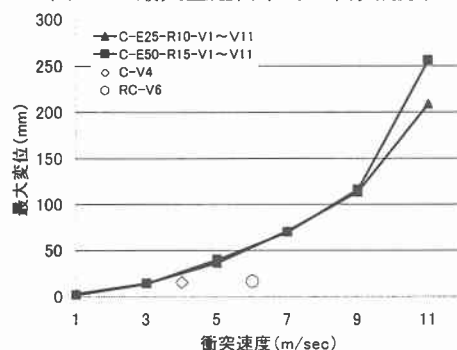


図-4 最大変位と衝突速度の関係

2 層緩衝構造を設置した実験の C-E25-R10 と C-E50-R15 を比較すると、衝突速度 11m/s の実験ケースを除き最大変位が同程度であり、重錘衝撃エネルギーに比例している。また、C-V4、RC-V6、C-E25-R10-V11 は、擁壁にひび割れが発生していることから重錘衝突エネルギーの損失が発生し、最大変位量が減少したものと考えられる。従って、衝突速度と最大変位の値は、擁壁にひび割れが発生しない場合には、C 製、RC 製、2 層緩衝構造の EPS および RC 版の厚さに関わらず重錘衝突エネルギーにほぼ比例するものと推察される。

3.4 ひび割れ状況

図-5 には実験終了後の擁壁の壁面もしくは 2 層緩衝構造の RC 版重錘衝突面に関するひび割れ分布を示している。C 製の正面側（衝突面）は、重錘衝突位置近傍にひび割れが集中し、背面側は水平に分布するひび割れと中心部で鉛直に貫通するひび割れが発生している。RC 製の正面側（衝突面）は、載荷点を中心とした同心円状のひび割れが発生しており、背面側では、載荷点より上の部分が局所的に剥離する傾向を示している。また、ひび割れは載荷点を中心とする半径 2m 程度の領域に発生している。一方、2 層緩衝構造を設置した C-E25-R10-V11 の RC 版衝突面は、重錘径程度の部分が剥落し放射状にひび割れが発生している。また、擁壁背面に載荷点を中心とした鉛直方向に貫通するひび割れが発生している。C-E50-R15-V11 の RC 版衝突面は、載荷点を中心として同心円状および放射状のひび割れが発生したが、擁壁にはひび割れなどの損傷は発生していない。これらのことから、2 層緩衝構造を用いることにより、擁壁の載荷点近傍の局所的損傷を抑制することが可能であると考えられる。

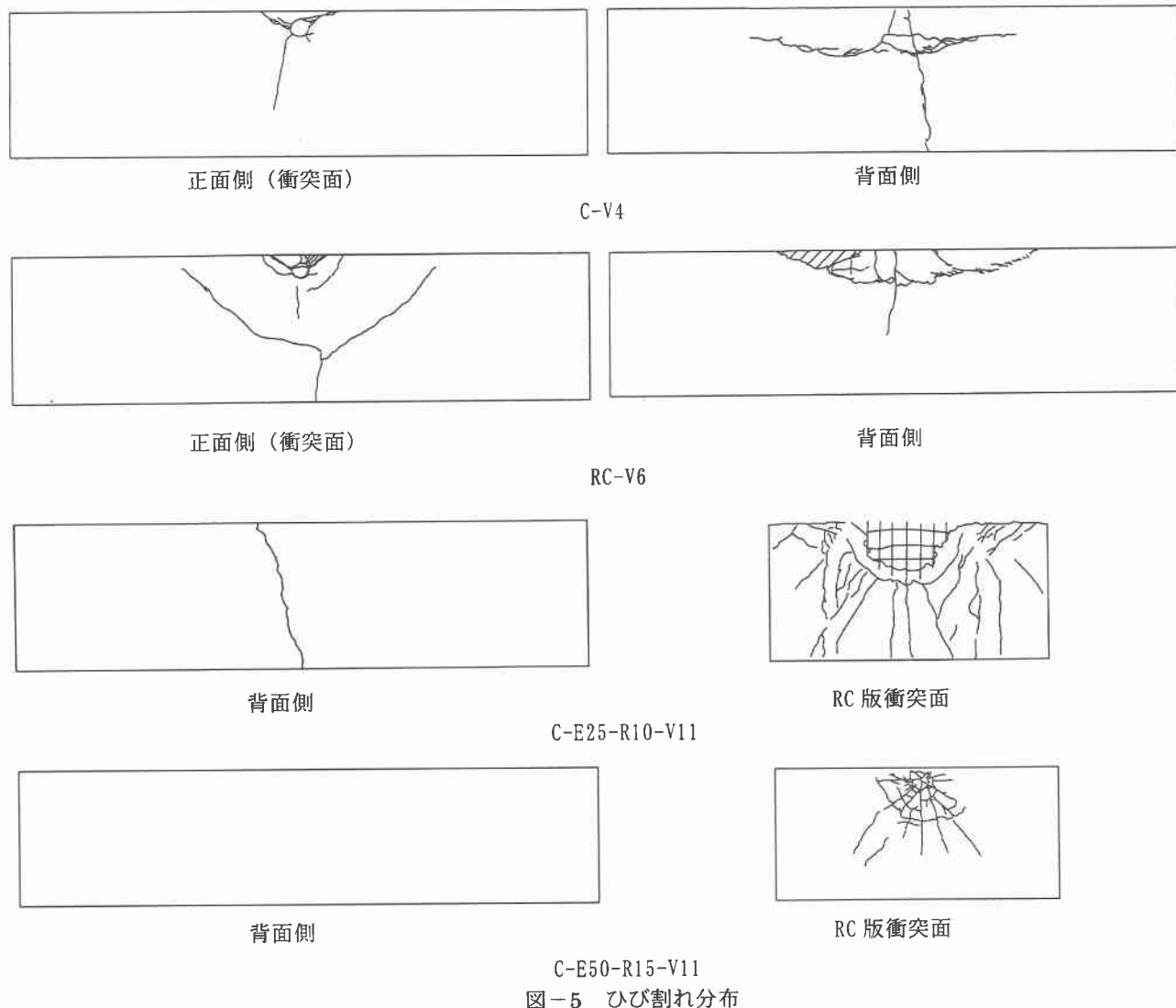


図-5 ひび割れ分布

4. まとめ

本実験では、2層緩衝構造を設置した落石防護擁壁の耐衝撃性を検討するために、緩衝構造を設置していないC製、RC製を比較すると共に、2層緩衝構造のEPSおよびRC版の厚さを変化させた場合についての比較検討をおこなった。本研究で得られた結果を要約すると、以下のように示される。

- (1) 2層緩衝構造は落石エネルギーに関して、C製に比べ7倍以上、RC製に比べ3倍以上の緩衝効果を期待できる。
- (2) 2層緩衝構造は、C製、RC製に比べ衝撃力波形の継続時間を4～5倍程度伸ばすことが可能であり、緩衝性能に優れている。
- (3) 2層緩衝構造のRC版の厚さは、EPSの緩衝効果、RC版の分散効果を考慮すると、15cm程度が妥当である。
- (4) 擁壁の最大変位は、C製、RC製、2層緩衝構造のEPSおよびRC版の厚さに関わらず重錘衝突エネルギーにほぼ比例する。
- (5) 2層緩衝構造を用いることにより、擁壁載荷点近傍の局所的損傷を抑制できる。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：平成12年度版落石対策便覧，2000.6.
- 2) 岸 徳光，佐藤 昌志，今野 久志，松岡健一：落石防護擁壁の重錘衝突実験と数値解析的検討，構造工学論文集，Vol.45A，pp.1677-1688，1999.3.
- 3) 川瀬 良司，岸 徳光，今野 久志，池田憲二：RC製落石防護擁壁の耐衝撃性向上効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.3，pp.1357-1362，2001.7
- 4) 岸 徳光，川瀬 良司，池田 憲二，松岡健一：二層緩衝構造の緩衝特性に関する重錘落下実験と数値解析的検討，構造工学論文集，Vol.47A，pp.1621-1632，2001.3.
- 5) 全日本建設技術協会：土木構造物標準設計第2巻擁壁類，建設省監修，1987.