

## RC 製落石防護擁壁の耐衝撃性に関する重錘衝突実験

An Experimental Study on Impact Resistant Behavior of Rock Keeping RC Walls under Impact Loading

北海道開発局

北海道開発局

(株)構研エンジニアリング

室蘭工業大学

正 員 池田 憲二 (Kenji Ikeda)

正 員 今野 久志 (Hisasi Kon-no)

○正 員 川瀬 良司 (Ryoji Kawase)

正 員 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

## 1. はじめに

山岳道路脇には、小規模落石等の防災対策の1つとして落石防護擁壁が設置されている。落石防護擁壁には通常重力式の無筋コンクリート製擁壁が用いられている。現在、落石防護擁壁は、平成12年度落石対策便覧<sup>1)</sup>に基づき、擁壁を剛体と仮定し、落石や崩土の持つ運動エネルギーを擁壁および支持地盤の運動エネルギーと等価になるようにして設計が行われている。具体的には、設置場所の地形、地質の他、予想される落石の重量、高さ等を考慮し、安定解析によって軀体形状を決定している。

しかしながら、著者らの過去の実験的研究<sup>2)</sup>によれば、落石防護擁壁は重錘の衝突によって転倒等の安定を失う前に、曲げやせん断ひび割れの発生とともに天端部がブロック化して大きく剥落することが明らかになっている。これは、衝撃荷重が局所的でかつ10msec程度と非常に載荷時間が短いために波動伝播による応力分散効果を期待することができず、設計で仮定している擁壁自体を剛体と仮定する考え方が適応できないことを意味している。合理的な落石防護擁壁の設計手法を確立するためには、RC構造の考え方を導入することも、コンクリートのひび割れを許容し、かつ合理的な設計を可能とする一つの考え方であるものと考えられる。

本研究ではこのような考え方の下、重力式落石防護擁壁にRC構造を適用した場合の耐衝撃性を把握することを目的として重錘衝突実験を実施し、無筋コンクリート製の場合と比較する形で検討を行った。ここでは、寸法効果等を排除した状態で挙動を把握するために実構造と同一の断面形状を採用し、幅方向の大きさは設計時と実施工時を対象とし、2mと8mの場合について実験することとした。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

図-1には本実験に用いた実験装置を示している。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、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、コンクリート基礎上に段差を設けて水平移動を拘束することとした。重錘は、円柱状で載荷部が球状の鋼製重錘(9.8, 19.6kN用：直径1000mm)を使用した。

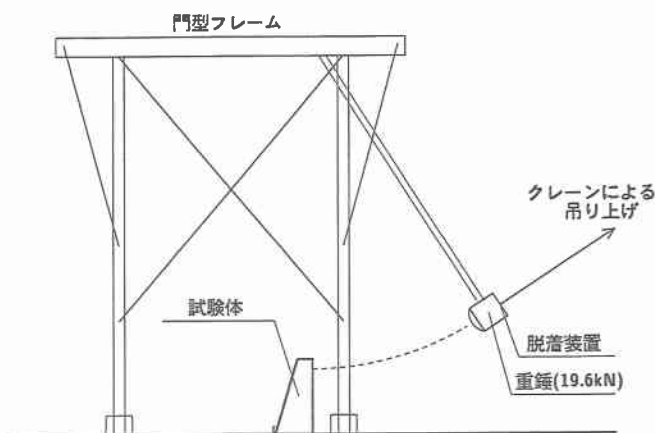


図-1 実験装置概要

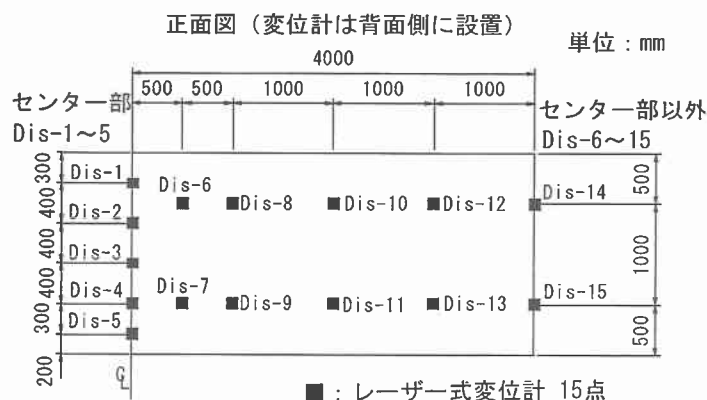


図-2 変位計設置位置

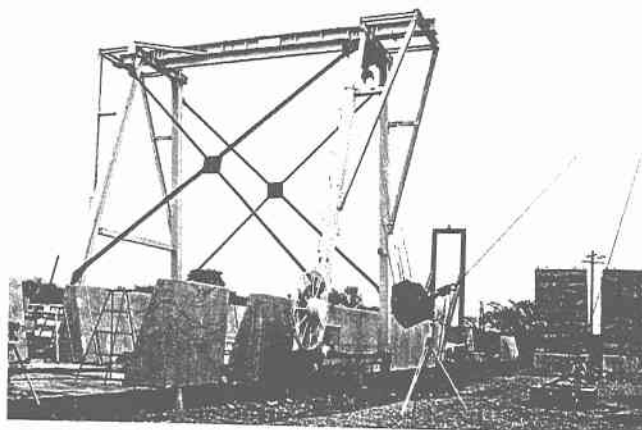


写真-1 実験風景

衝撃力は、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を用いて所定の高さまで吊り上げ、脱着装置により振り子運動によって衝突させ作用させることとした。本研究では、まず各予備試験体を用いた繰り返し載荷実験によって終局時の載荷速度を把握し、その衝突速度と同一の速度による単一載荷実験を行い、比較検討を行うこととした。なお、繰り返し載荷実験は最初の衝突速度を1m/sとし、その後擁壁が終局に至るまで1m/s ずつ速度を漸増させて繰り返し実験を行うものである。図-2には、本実験におけるレーザー式変位計の設置位置を示している。また、写真-1には実験風景を示している。

## 2.2. 実験ケース

擁壁の断面形状は、無筋コンクリート製、RC製ともに実構造で多用される標準断面<sup>3)</sup>を参考に、擁壁高さを $H=2.0\text{m}$ 、天端および基部の壁厚をそれぞれ0.4m、1.0mとし、擁壁延長は設計時と同様に $L=2.0\text{m}$ にする場合と、実施工時と同様に $L=8.0\text{m}$ の場合を設定した。表-1には実験ケースの一覧を示している。

表中の実験ケースは、構造形式（鉄筋コンクリート構造：RC、無筋コンクリート構造：C）、擁壁の幅 $L$ （m）、載荷方法（単一載荷：S）と重錘重量（質量に換算して1：9.8kN、2：19.6kN）、衝突速度 $V$ （m/sec）をハイフンで結んで表わした。なお、重錘衝突位置は全て基部から $0.9H=1.8\text{m}$ の点である。

実験時のコンクリートの力学特性は、平均圧縮強度が無筋コンクリートで $f'_c=18.7\text{MPa}$ 、RCが $f'_c=26.4\text{MPa}$ である。また、RC構造の鉄筋量は、コンクリート断面に対して0.2%程度とし、SD345D16を幅、高さ方向に300mmピッチとした。図-3には幅 $L=8\text{m}$ の場合におけるRC構造の配筋詳細図を示している。

## 3. 実験結果

### 3.1. 重錘衝撃力波形の比較

図-4に無筋コンクリート製とRC製の幅 $L=8\text{m}$ の場合における重錘衝撃力波形を示す。ただし、重錘衝撃力波形は0.5msec矩形移動平均の処理を施したものである。また、重錘衝撃力は重錘加速度に重錘重量を乗じて評価している。まず終局時の重錘衝突速度から、RC製の場合が無筋コンクリート製の場合よりエネルギー的に2.25倍の耐力の向上を期待できることがわかる。これに対して図より、RC製の場合における最大重錘衝撃力は無筋コンクリート製の場合に比べて1.25倍の増加となっている。また、荷重継続時間も5msec程度伸びており、ひび割れは発生するものの鉄筋を配筋することによって衝撃力が緩和され靱性に富んだ構造に改善されることがわかる。

### 3.2. 衝突エネルギーと重錘衝撃力の関係

図-5には衝突エネルギーと最大重錘衝撃力の関係を示している。重錘衝突エネルギー $E$ は重錘の重量 $M$ 、

表-1 実験ケース一覧

| 実験ケース       | 構造形式 | 擁壁幅 (m) | 載荷方法 | 重錘重量 (kN) | 衝突速度 (m/s) |
|-------------|------|---------|------|-----------|------------|
| C-L2-S1-V5  | 無筋   | 2.0     | 単一   | 9.8       | 5.0        |
| RC-L2-S2-V5 | RC   | 2.0     | 単一   | 19.6      | 5.0        |
| C-L8-S2-V4  | 無筋   | 8.0     | 単一   | 19.6      | 4.0        |
| RC-L8-S2-V6 | RC   | 8.0     | 単一   | 19.6      | 6.0        |

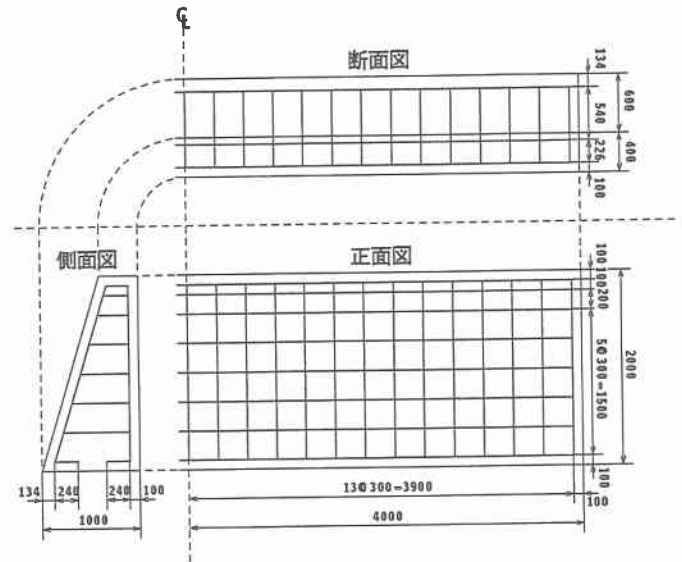
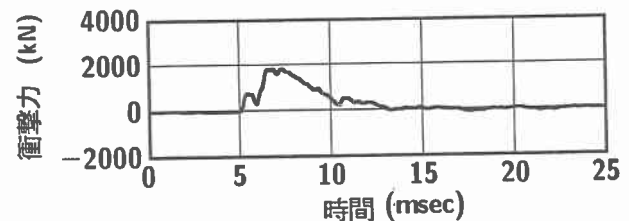
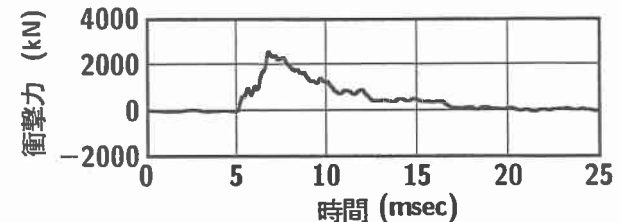


図-3 配筋図



(a)C-L8-S2-V4



(b)RC-L8-S2-V6

図-4 重錘衝撃力波形

衝突速度  $V$  を用いて  $E=MV^2/2$  より算定している。

図より、終局時の衝突エネルギーは無筋コンクリート製、RC 製の順に大きく、その耐力向上効果は擁壁幅にかかわらず 2 倍程度となっている。また、無筋コンクリート製、RC 製を問わず擁壁幅が大きい場合 (L8) が小さい場合 (L2) に比較して終局時の衝突エネルギーの大きいことがわかる。これより、擁壁幅が大きい場合には、幅方向の広がりによる二次元効果を期待できることがわかる。その程度は 1.3 ～ 1.4 倍程度である。

最大重錘衝撃力値に着目すると、無筋コンクリート製で擁壁幅が  $L=2m$  の場合には他の試験体より小さな値を示しているが、他の試験体の場合は無筋コンクリート製、RC 製を問わず類似の値となっている。これより、終局時には衝突エネルギーが異なり、かつ終局の崩壊のメカニズムが異なるものの、鉄筋の配筋の有無にかかわらずほぼ類似の最大重錘衝撃力を示すものと推察される。

### 3.3. 衝突エネルギーと最大変位の関係

図-6 は重錘衝突エネルギーと背面における最大変位の関係を示す。最大変位は、衝突中心位置にある天端付近のレーザー式変位計測定値を示している。なお、各擁壁は水平移動を阻止するために段差を設けたコンクリート基礎上に設置していることより、測定結果には擁壁の回転成分が含まれている。

図より、擁壁幅が  $L=2m$  の場合には無筋コンクリート、RC 製にかかわらず大きい値となっていることより、擁壁が回転していることを暗示している。無筋コンクリート製と RC 製で比較すると、RC 製の場合には衝突エネルギーが無筋の場合の 2 倍であるのに対して、3.6 倍程度の変位量を示しており、擁壁の劣化に伴うエネルギー吸収が小さく、回転エネルギーとして消費されていることをうかがわせる。

一方、擁壁幅  $L=8m$  の場合には無筋コンクリート、RC 製の場合とも 10mm 以下となっており、全体系の重力によって回転が 1/10 以下に抑制されていることがわかる。これは、それぞれの構造形式においても局所的な損傷によって終局に至っていることを暗示している。このことは、現行設計法である擁壁を剛体と仮定し、擁壁の回転運動によって衝突エネルギーを吸収するという考え方は設計的に危険側の評価を与えることを意味している。

### 3.4. 擁壁延長方向の時系列変位

図-7 には、RC 製で幅  $L=8m$  の試験体に関する天端から 500mm 下方、基部から 500mm 上方点における幅方向変位分布の時間的な推移状況を示している。図より、重錘衝突によって擁壁全体に渡って天端近傍において 7～8mm、基部近傍において数 mm 程度の変位が生じており、わずかながら回転運動が励起していることがわかる。勿論、載荷点近傍の変位は他の点と比較して大きな応答値を示しており、損傷も顕在化していることをうかがわせる。また、重錘衝突後 70 msec 以降には端部

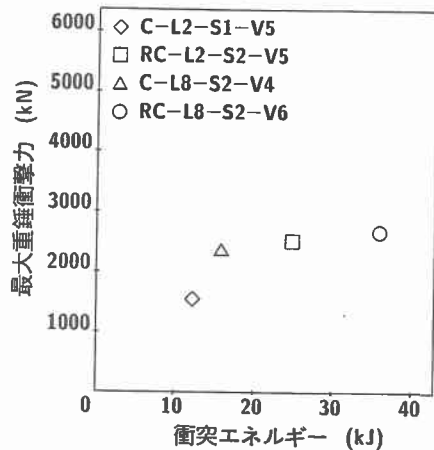


図-5 衝突エネルギーと最大重錘衝撃力

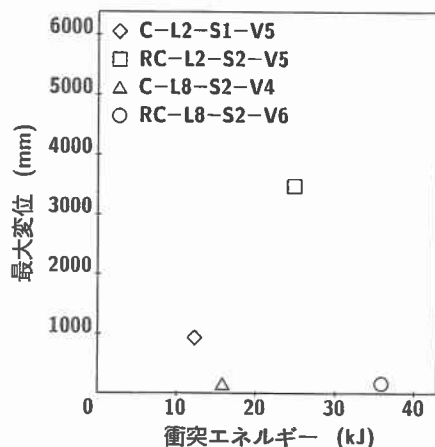


図-6 衝突エネルギーと最大変位

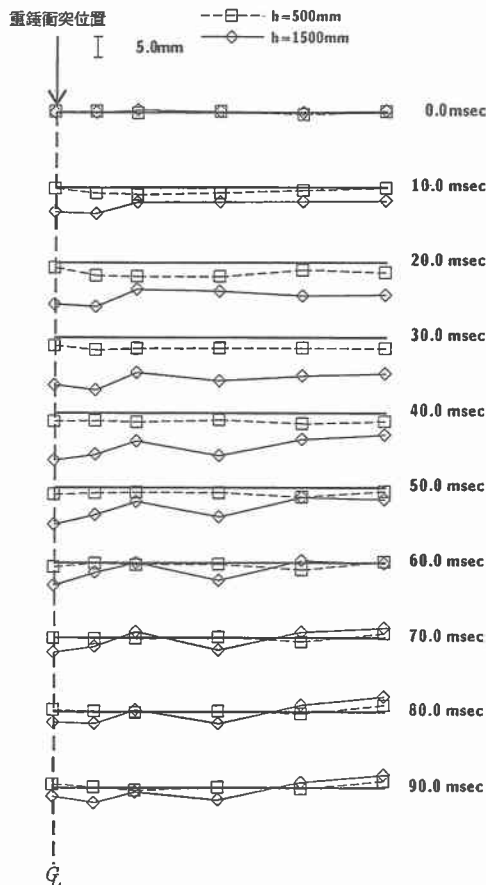
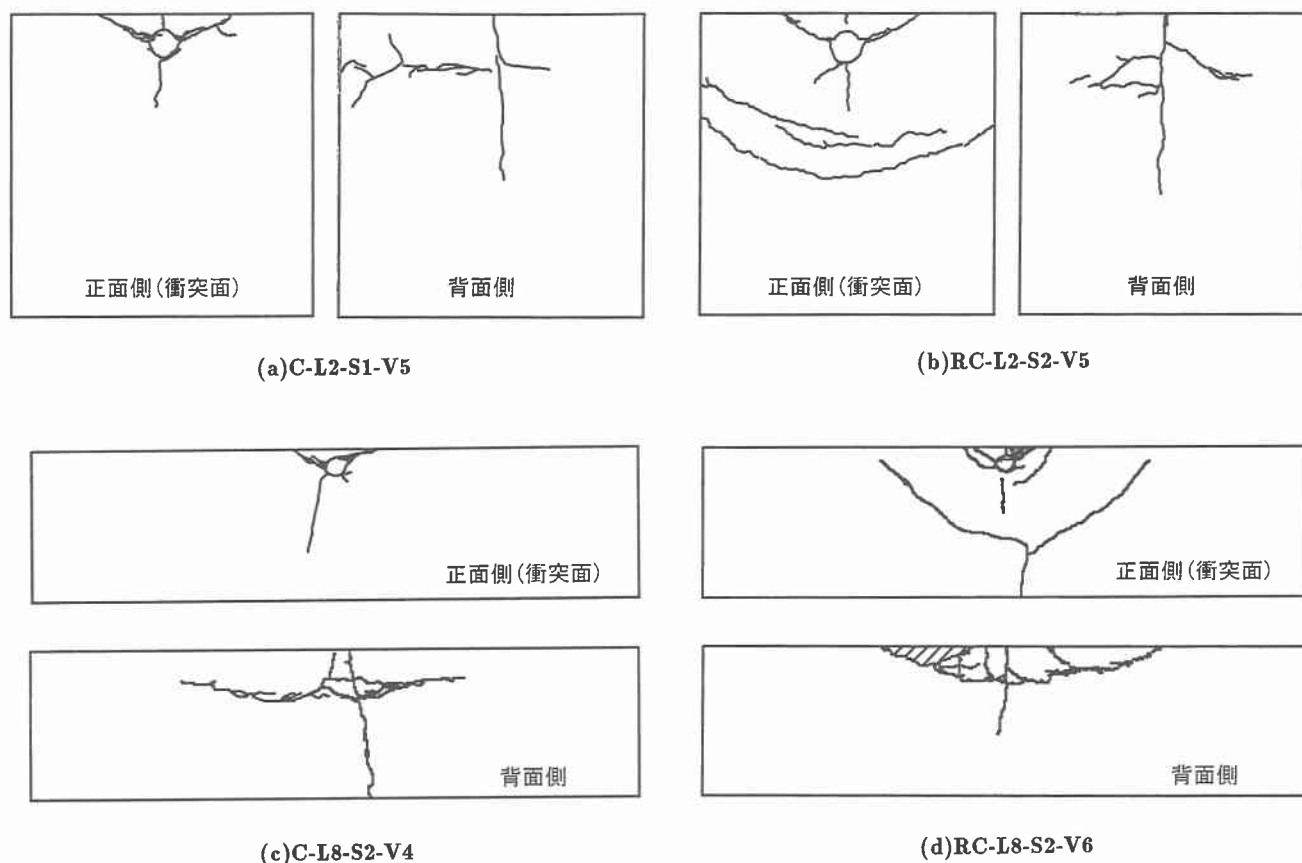


図-7 擁壁延長方向の変位履歴



図ー 8 実験終了後のひび割れ状況

全体が荷重載荷方向と逆の方向へ変位している。これより擁壁は重錘衝突による曲げによって幅方向にくの字に変形する傾向を示していることがわかる。

### 3.5. ひび割れ状況

図ー 8 には実験終了後の壁面に発生したひび割れ分布を示している。図より、幅  $L$  の大小にかかわらず、重錘衝突面（正面）側のひび割れ分布に無筋コンクリート製と RC 製の差異が大きく現われていることがわかる。すなわち、無筋コンクリート製の場合のひび割れ分布は重錘衝突部近傍に集中しているのに対して、RC 製の場合には幅方向、深さ方向に広く分散して発生しており、鉄筋による応力分散効果を確認できる。

一方、裏面側ひび割れ分布は、正面側と逆の性状を示している。すなわち、無筋コンクリート製の場合には、載荷点から水平方向あるいは上下方向の端部に至るひび割れが発生している。一方、RC 製の場合にはいずれの場合も載荷点近傍部に限定しており、コンクリートの引張領域における鉄筋の補強効果を確認できる。すなわち、落石防護擁壁の場合、無筋コンクリート製の場合には構造全体系の損傷により終局に至っているのに対して、RC 製の場合には載荷点近傍部の局所的損傷によって終局に至るものと判断される。

### 4. まとめ

本実験では RC 製落石防護擁壁の耐衝撃性を検討するために、無筋コンクリート製とともに重錘衝突実験を実施し比較検討を行った。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) RC 製は、無筋コンクリート製に比べて重錘衝突エネルギーに対して 2 倍程度の耐衝撃性の向上が期待できる。
- (2) 擁壁幅を擁壁高さの 4 倍とし、実施工と同様の幅とする場合は、終局時の衝撃エネルギーが増加するのに対し最大変位量は  $1/10$  以下に減少し、載荷点近傍の損傷によって終局に至る。
- (3) RC 製の場合は、重錘衝突位置を中心に左右に擁壁高さと同程度の範囲にひび割れが発生する。
- (4) 無筋コンクリート製の場合は、重錘衝突位置近傍にひび割れが集中し、擁壁幅が  $L = 8m$  の場合には、曲げひび割れが縦方向に発生する。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧，日本道路協会，2000
- 2) 岸 徳光，佐藤昌志，今野久志，松岡健一：落石防護擁壁模型の重錘衝突実験と数値的検討，構造工学論文集，pp.1677-1688，1999
- 3) 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