

I - 2

落石防護擁壁に関する重錘衝突実験

(株)構研エンジニアリング 正 員 川瀬 良 司
 北海道開発局開発土木研究所 正 員 佐藤 昌 志
 北海道開発局開発土木研究所 正 員 今野 久 志
 室蘭工業大学 フェロー 松岡 健 一

1. はじめに

道路には小落石等の防災対策工として、落石防護擁壁が図-1のように道路の側近に設置されている。落石防護擁壁は通常重力式コンクリート擁壁が用いられている。現在、設計は落石対策便覧¹⁾に基づいて行われているが、その妥当性については必ずしも検証されていないことから、一部の研究機関で実験研究²⁾が行われている。

本研究では、落石防護擁壁が比較的地盤上に設置されることを想定し、擁壁高さを実規模程度とした落石防護擁壁の重錘衝突実験を行い、落石防護擁壁の形状変化に伴う重錘の位置エネルギーによる影響等について比較を行い、ひびわれ性状についても整理し検討した。また、現行設計法の妥当性についても検討し報告するものである。

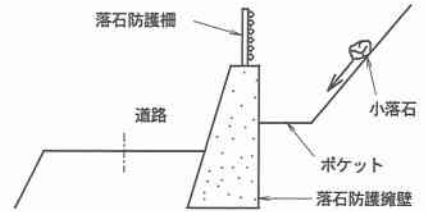


図-1 落石防護擁壁

2. 実験概要

2.1 実験方法

実験装置を図-2に示す。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転倒のみに着目し、コンクリート基礎上に設置した擁壁の滑動を鋼製のアングルを用いて制御し実験を行った。重錘は図-3に示すように、重量 0.3tf、1.0tf の鋼製およびコンクリート製を使用した。重錘はH鋼をガイドレールとし、擁壁背面の所定の位置に滑動落下させ水平衝突させた。載荷方法は、繰り返し衝突と単発衝突であり、繰り返し衝突実験は、重錘の衝突速度を1m/s刻

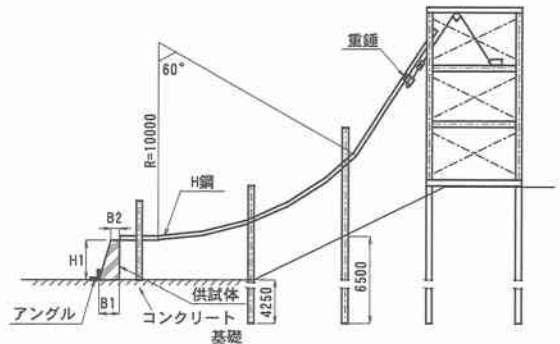
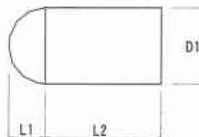


図-2 実験装置

みで増加させ、擁壁コンクリートのひびわれが貫通し破壊するか、擁壁が転倒するまで衝突させた。単発の衝突実験は、実験ケースの内、W2の繰り返し衝突実験を行った際の、ひびわれが貫通した最終衝突速度を重錘の



重錘の種類	重量(tf)	D(mm)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)
鋼製	0.3	φ410	100	150
鋼製	1.0	φ500	60	560
コンクリート製	0.3	φ500	250	320
コンクリート製	1.0	φ760	380	430

図-3 重錘形状

Test of Weight Collision that Wallsfor Falling Rock.

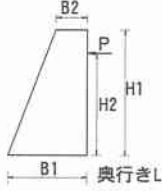
by Ryoji KAWASE, Masasi SATO, Hisasi KONNO, Keniti MATUOKA

衝突速度とした。しかし、重錘の衝突速度はガイドレールと重錘との摩擦により、必ずしも設定した衝突速度が得られないことから、本実験では光電管を設置し、実測により正確な衝突速度を求めた。実験における測定項目は、歪ゲージ式加速度計による重錘及び擁壁の加速度と、レーザー式及びワイヤー式変位計による擁壁の変位である。また、実験終了後にひびわれ状況を記録した。

2.2 実験ケース

実験ケースの一覧を表-1に示す。擁壁型式は重力式のコンクリートで、形状寸法は落石対策便覧の標準的値を用い、実験時のコンクリート平均圧縮強度は $f'c=215\text{kgf/cm}^2$ であった。実験ケースはW2を基本とし、擁壁高さを変化させた場合、衝突位置を変化させた場合、擁壁延長を変化させた場合について重量1.0tfの鋼製重錘を用い、繰り返し衝突実験を行った。また、実際に擁壁に衝突するのは岩石であることから、重錘の種類による影響を確認するため、岩石を模擬したコンクリート重錘による衝突実験を行った。

表-1 実験ケース一覧

形状図	実験ケース	供試体形状寸法 (m)				衝突位置 H_2	荷 荷 方 法	重錘種類	重錘 (tf)
		H_1	B_1	B_2	L				
	W1	1.00	0.50	0.20	1.00	$0.9H_1$	繰返し	鋼製	1.0
	W2	2.00	1.00	0.40	1.00	$0.9H_1$	"	"	1.0
	W3	3.00	1.50	0.60	1.00	$0.9H_1$	"	"	1.0
	W4	2.00	1.00	0.40	1.00	$0.7H_1$	"	"	1.0
	W5	2.00	1.00	0.40	1.00	$0.5H_1$	"	"	1.0
	W6	2.00	1.00	0.40	2.00	$0.9H_1$	"	"	1.0
	W7	2.00	1.00	0.40	1.00	$0.9H_1$	単発	"	0.3
	W8	2.00	1.00	0.40	1.00	$0.9H_1$	"	"	1.0
	W9	2.00	1.00	0.40	1.00	$0.9H_1$	"	コンクリート	0.3
	W10	2.00	1.00	0.40	1.00	$0.9H_1$	"	コンクリート	1.0

3. 実験結果

3.1 重錘の種類による影響

鋼製重錘を用いた実験ケース W7, W8 とコンクリート重錘を用いた実験ケース W9, W10 について、重錘の衝突速度と擁壁重心位置での加速度との関係を図-4に示す。実験は重量0.3tf, 1.0tfの重錘を用い、 $V=6\text{ m/s}$ 前後の衝突速度から単発衝突させた。その結果、鋼製重錘がコンクリート重錘の10%~20%程度擁壁重心位置での加速度が増加する結果となった。このことから、コンクリート重錘より鋼製重錘の方が擁壁の転倒に対しては安全側の評価が得られるものと考えられる。

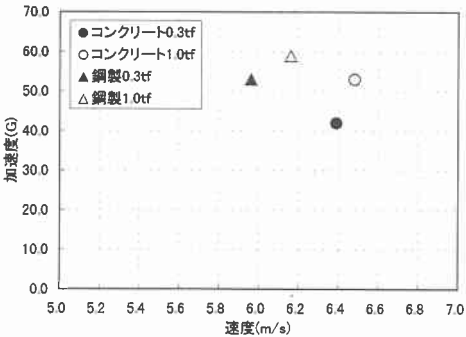


図-4 重錘速度と擁壁重心位置での加速度との関係

3.2 重錘位置エネルギーと重錘加速度の関係

重量1.0tfの鋼製重錘を使用した実験における、衝突時の重錘加速度と重錘位置エネルギーの関係を図-5に示す。重錘位置エネルギーは、重錘の衝突速度より求めた。

(a)の擁壁高さ(H_1)を変化させた場合は、実験ケース W1, W2, W3 について整理したものである。重錘の衝突位置(H_2)は落石対策便覧の設計例より $0.9H_1$ としている。その結果、W2では位置エネルギーが0.97tfm

程度まで重錘加速度が増加し 138G となるが、それ以降は位置エネルギーを大きくしても重錘加速度はほぼ一定な値を示す。また、位置エネルギーが 1.96tfm で破壊し、その時の重錘加速度は 142G であった。一方、実験ケース W3 は位置エネルギーが 0.84tfm で 208G とケース W1, W2 と比べ大きな値を示すが、それ以降は位置エネルギーを大きくしても重錘加速度はほぼ一定な値を示す。また、位置エネルギーが 1.85tfm で破壊し、その時の重錘加速度は 242G であった。実験ケース W1 では他のケースに比べ、位置エネルギーが 0.56tfm の小さい値で破壊し、その時の重錘加速度は 46G であった。全体としては、擁壁高さが高くなると重錘加速度が大きくなる傾向を示す。

(b)の重錘衝突位置(H_2)を変化させた場合は、実験ケース W2, W4, W5 について整理したものである。その結果、W4 では位置エネルギーが 1.46tfm で破壊し、その時の重錘加速度は 276G であった。W5 では位置エネルギーが 0.95tfm で破壊し、その時の重錘加速度は 245G であった。また、W4, W5 はほぼ同様な曲線を示している。全体としては、衝突位置が低い方が小さな位置エネルギーで破壊するが、重錘加速度は衝突位置の低い方が大きな値を示す。

(c)の擁壁延長を変化させた場合は、実験ケース W2, W6 について整理したものである。その結果、W6 は位置エネルギーが 0.92tfm で破壊し、その時の重錘加速度は 125G であった。また、W2 と比べると、位置エネルギーが小さな値で破壊したが、重錘加速度は同程度であり、線形もほぼ同様な曲線を示している。

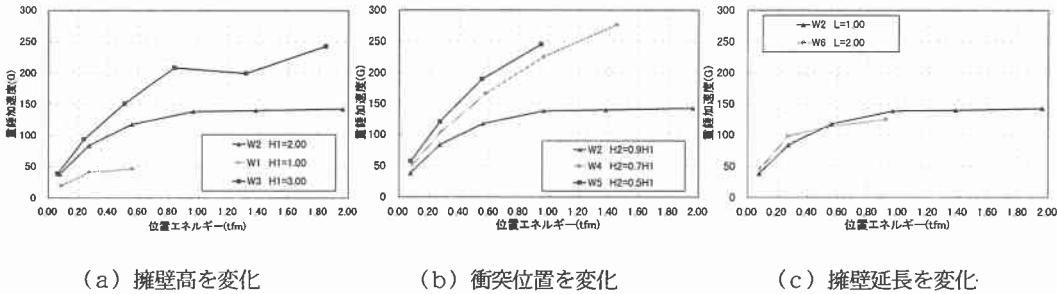


図-5 重錘位置エネルギーと重錘加速度の関係

3.3 擁壁重心位置での加速度と重錘加速度の関係

擁壁重心位置での加速度と重錘加速度の関係を図-6に示す。

(a)の擁壁高を変化させた場合では、各ケースの擁壁加速度は、W1 が 77G, W2 が 41G, W3 が 36G で破壊しており、擁壁高さが高いほど、擁壁加速度が小さな値を示し破壊している。

(b)の衝突位置を変化させた場合では、各ケースの擁壁加速度は、W4 が 115G, W5 が 109G で破壊しており、W2 の加速度に比べ 2.8 倍程度大きな値を示している。

(c)の擁壁延長を変化させた場合では、W6 の擁壁加速度は 27G を示し破壊しており、W2 に比べ 0.6 倍程度と小さな値となっている。

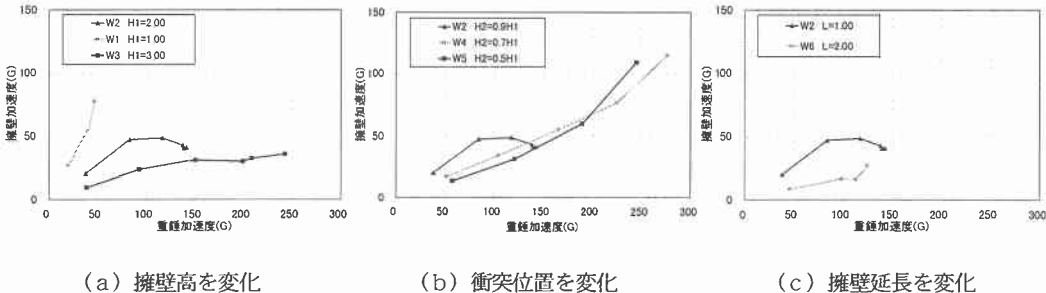


図-6 擁壁重心位置での加速度と重錘加速度の関係

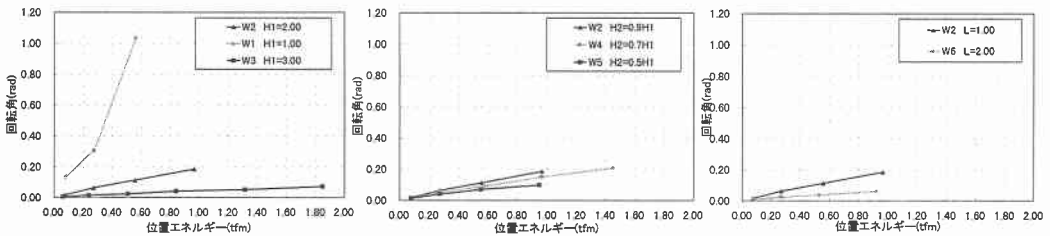
3. 4 重錘位置エネルギーと擁壁の回転角の関係

重錘位置エネルギーと擁壁の回転角の関係を図-7で示す。回転角は擁壁の変位より求めている。

(a) の擁壁高を変化させた場合では、各ケースの回転角は、W1 が 1.03rad 、W2 が 0.19rad 、W3 が 0.07rad の値を示して破壊しており、擁壁高が高いほど小さな回転角の値を示している。

(b) の衝突位置を変化させた場合では、各ケースの回転角は、W4 が 0.21rad 、W5 が 0.10rad の値を示し破壊しており、衝突位置が低いほど小さな回転角の値を示している。

(c) の擁壁延長を変化させた場合では、W6 の回転角は 0.06rad の値を示して破壊しており、擁壁延長が長いと小さな回転角の値を示している。全ての実験ケースにおいて、位置エネルギーと回転角の関係は線形が直線的であり、比例関係にあると推察され、擁壁が転倒せずコンクリートがひびわれ貫通し破壊して、実験が終了した。



(a) 擁壁高を変化

(b) 衝突位置を変化

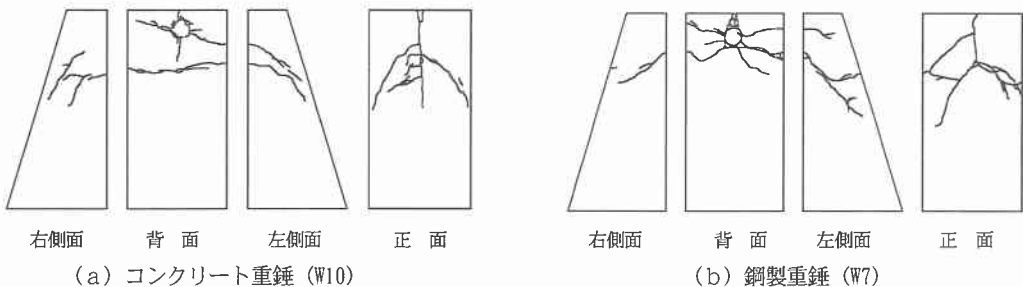
(c) 擁壁延長を変化

図-8 位置エネルギーと回転角の関係

4. ひびわれ状況

擁壁コンクリートのひびわれ状況は、実験終了後に記録し検討を行った。図-9は、重錘を単発で衝突させた場合のひびわれ状況図である。(a)のコンクリート重錘(W10)は、重錘重量 1.0tf 、衝突速度 6.48m/s である。(b)の鋼製重錘(W7)は、重錘重量 1.0tf 、衝突速度 6.16m/s である。

両実験ケースともひびわれ状況は、両側面にはせん断ひびわれが発生し、正面には鉛直方向の曲げひびわれと、せん断破壊による斜め方向のひびわれも発生している。また、背面には重錘衝突位置を中心に、ひびわれが集中して発生している。鋼製重錘は、コンクリート重錘に比べてひび割れが多く発生しており、損傷の程度は大きいと推察される。



(a) コンクリート重錘 (W10)

(b) 鋼製重錘 (W7)

図-9 単発衝突ひび割れ状況図

図-10は、重量1.0tfの鋼製重錘を繰り返し衝突させた場合のひびわれ状況図である。(a)の擁壁高さ2mで衝突位置1.8m(W2)は、最終衝突速度が4.35m/sである。(b)の擁壁高さ3mで衝突位置2.7m(W3)は、最終衝突速度が6.02 m/sである。(c)の擁壁高さ2mで衝突位置1.4m(W4)は最終衝突速度が5.35m/sである。(d)の擁壁高さ2mで衝突位置1.0m(W5)は最終衝突速度が4.31m/sである。

(a)の繰り返し衝突させたW2は、単発で衝突させた図-9と同様なひびわれ状況となるが、繰り返し衝突は単発の衝突に比べひびわれが多く発生し、正面下部付近にまでひびわれが進行している。(b)のW3は、衝突位置で両側面に斜めせん断ひびわれが発生しているが、衝突位置以下には水平に曲げひび割れが発生している。また、正面には鉛直方向の曲げひびわれと、せん断破壊による斜めひびわれがW2に比べ減少しているようである。(a)のW2、(c)のW4および(d)のW5のひびわれ状況から、衝突位置を低くしていくと、両側面に現れるせん断ひびわれの方向が斜め下から水平そして斜め上と変化し、正面の鉛直方向の曲げひびわれと、せん断破壊による斜めひびわれも減少しているようである。また、背面の重錘衝突位置に集中して発生したひびわれも少なくなっている。

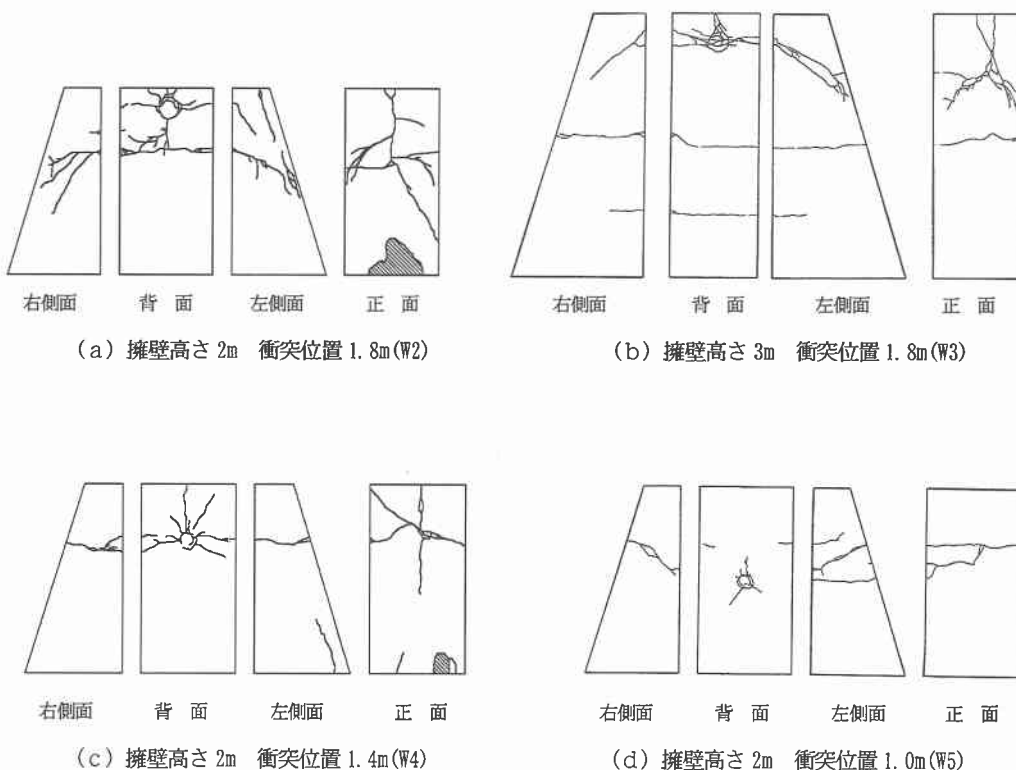


図-10 繰り返し衝突ひびわれ状況図

5. 現行設計法

現行設計法は、図-11のモデルのように、落石防護擁壁を弾性地盤に支持された剛体と仮定し、落石衝突時の落石の持つ運動エネルギーが地盤のバネの変形エネルギーと等しくなるまで水平変位および回転を生

じるものとする。安定計算は、この変位および回転により計算される地盤が受ける水平力およびモーメントを用いている。現行設計法の妥当性を検討するために、地盤のN値と滑動安全率および着力点と着力点の許容値の比を偏心量安全率として定義し、試算した結果を図-12に示す。

試算条件として形状寸法は、実験ケース W2 の供試体と同様とし、重錘重量 1.0tf、衝突速度 $V=0.262\text{m/s}$ で地盤のN値を変化させた。試算の結果、滑動安全率はN値が大きくなるにしたがって低下している。また、偏心量安全率はN値 60 付近において最小値になる曲線を示す。このことから、地盤が硬く良質になるほど擁壁が不安定となる結果となった。

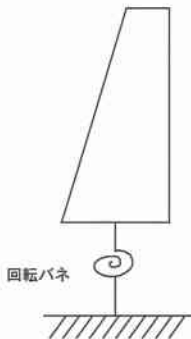


図-11 現行設計法モデル

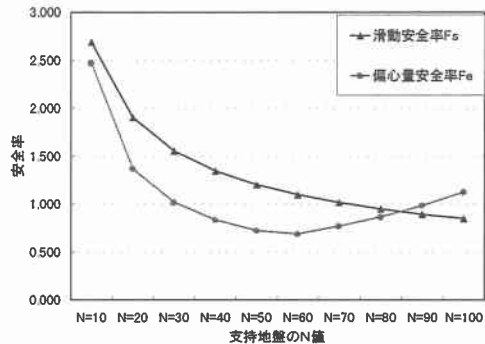


図-12 地盤のN値と各種安全率との関係

6. まとめ

今回の落石防護擁壁の重錘衝突実験から以下のことが明らかとなった。

- (1) コンクリート重錘より鋼製重錘の方が落石防護擁壁の衝突実験に対しては、安全側の評価が得られる。
- (2) 一般的な落石防護擁壁の形状では、転倒する前にひびわれが発生し、コンクリートが破壊する。
- (3) 重錘衝突時の落石防護擁壁の回転角と、重錘衝突時の位置エネルギーは、比例関係にある。
- (4) 現行の設計法では、地盤が硬く良質なるほど擁壁が不安定となる。

7. あとがき

今回は、落石防護擁壁が比較的硬い地盤上に設置されることを想定して重錘衝突実験を行ったが、擁壁延長に対する有効抵抗長の考え方、擁壁が転倒する前にコンクリートがひびわれし破壊することに対する照査法の確立、地盤強度が軟い場合の擁壁にあたる影響、落石衝撃に対する緩衝材の適用等、今後の課題も多い。また、落石防護擁壁は、落石防止柵と一連の構造物となっており、一体としての設計法の確立も必要と考えられ、今後も研究をかさね明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧 昭和58年7月
- 2) 松尾修、堤達也、近藤浩市：落石防護擁壁の安定計算法に関する実験的検討
土木技術資料 38-6 1996