

重錘衝突による無筋コンクリート製落石防護擁壁の衝撃実験

土木研究所寒地土木研究所 正会員○山澤文雄 土木研究所寒地土木研究所 正会員 西 弘明
 土木研究所寒地土木研究所 正会員 今野久志 室蘭工業大学大学院 正会員 小室雅人
 土木研究所寒地土木研究所 正会員 寺澤貴裕 室蘭工業大学大学院 フェロー 岸 徳光

1. はじめに

現行の落石防護擁壁（以下、擁壁）の設計は、落石対策便覧¹⁾（以下、便覧）に基づいて行われている。落石の衝突によってコンクリートの剥離・剥落の損傷が発生している事例があるが、落石の衝突に対する躯体の設計法については、便覧において示されておらず、構造細目で規定された配筋を用いることで安全性が保たれるものとしている。本研究では、無筋コンクリート製擁壁模型に関する重錘衝突実験を実施し、衝突エネルギーを変化させた場合の動的挙動、重錘衝撃力および損傷状況について検討を行う。

2. 試験体概要

実験に用いた無筋擁壁模型の形状寸法は、高さ $H = 1.0$ m、天端および基部の壁厚をそれぞれ $B_1 = 0.2$ m、 $B_2 = 0.5$ m とし、擁壁背面（重錘衝突面）を鉛直、擁壁前面（衝突背面）を 1 : 0.3 の勾配とした。擁壁の延長は便覧で規定している有効抵抗長を考慮し、擁壁高さの 4 倍である $L = 4.0$ m とした。

3. 実験方法

図-1には実験概要図を示している。衝撃荷重は、門型フレームに吊り下げた質量 309kg の鋼製重錘をトラッククレーンで所定の高さまで吊り上げ、脱着装置による振り子運動によって作用させることとした。また、擁壁模型は支持条件が明確なコンクリート基盤上に設置し、つま先部にストッパーを設けて水平方向の移動を拘束した。

表-1には、実験ケースの一覧を示している。ケース名は、載荷方法（S：単一）に目標とした重錘衝突エネルギー（kJ）を付して示している。重錘衝突位置は、擁壁高さを H として基部から $0.8H$ （0.8 m）としている。また、表中には実験時のコンクリートの圧縮強度（平均値）、高速度カメラ画像により算定した重錘衝突速度、重錘衝突エネルギーおよび実験終了後の損傷状況も併せて記している。なお、重錘衝突エネルギー E は、重錘の衝突速度 v を用いて $E = mv^2/2$ より算定した。

4. 実験結果

図-2には、実験ケース S2.0、S6.0 の擁壁上面中心点における水平変位の時刻歴応答波形を示している。重錘衝突によって最大変位となる時間は、S2.0 の場合には衝突後 107 ms、S6.0 の場合には 159 ms となっている。変位の大きさは、重錘衝突エネルギーの大きさに対応して大きくなっていることが分かる。

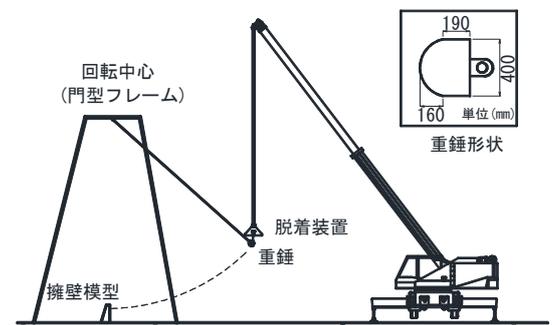


図-1 実験概要図

表-1 実験ケース一覧

実験ケース	コンクリート圧縮強度 (N/mm ²)	重錘質量 m (kg)	重錘速度 v (m/s)	重錘衝突エネルギー E (kJ)	実験後の損傷状況
S0.2	28.2	309	1.2	0.2	損傷無
S2.0			3.8	2.2	ひび割れ
S4.0			5.1	4.0	ひび割れ
S6.0			6.1	5.8	剥離
S8.0			7.0	7.6	剥離
S10.0			8.2	10.3	押抜き

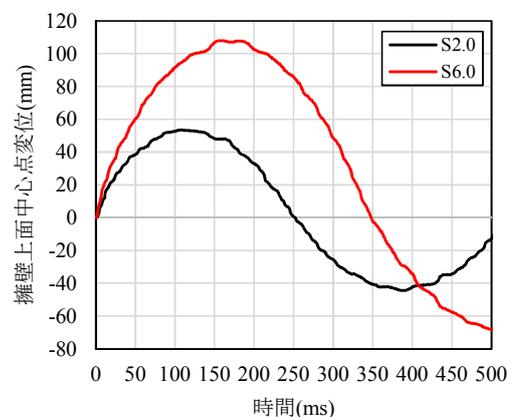


図-2 水平変位分布の時刻歴応答波形

キーワード 落石防護擁壁, 重錘衝突実験, 耐衝撃挙動, 衝撃力

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3-1-34 土木研究所寒地土木研究所寒地構造チーム TEL 011-841-1698

図-3には、S2.0、S6.0、S10.0の擁壁上面中心点における水平変位分布の経時変化を示している。S2.0およびS6.0の場合には、擁壁上面の各変位は各時刻に関して同程度の値を示しており、重錘衝突によって擁壁全体が剛体的な運動をしていることが分かる。しかしながら、S10.0の場合には明確な押抜きせん断破壊が発生したため、重錘衝突位置を中心とした局所的な変形を示している。これより、擁壁に明確な押抜きせん断破壊が発生しなければ、擁壁延長を高さの4倍とする場合においても、便覧で仮定されている剛体的な挙動を示すことが明らかになった。

図-4には、重錘衝突エネルギーと最大重錘衝撃力の関係を示している。実験結果の最大重錘衝撃力 P_{max} は、重錘加速度に重錘質量を乗じて評価している。また、図には式(1)の運動量保存則を適用²⁾させて求めた衝撃力も示した。

$$P_a = 2m \cdot v \cdot (e+1) / \Delta t \quad (1)$$

ここに、 P_a ：最大衝撃力(kN)、 m ：落石質量(t)、 v ：落石衝突速度(m/s)、 e ：反発係数、 Δt ：衝突による接触時間(s)である。ここで、反発係数 $e = 0$ 、実験での平均接触時間 $\Delta t = 0.003s$ を使用した。

図より、最大重錘衝撃力は重錘衝突エネルギーの増加に対応して増加する傾向にあることが分かる。また、式(1)を用いることにより、最大衝撃力を概ね評価することができている。

図-5には、S4.0、S6.0、S10.0の損傷状態を重ねた比較図を示している。実験終了後の損傷状態は、衝突面ではいずれのケースも重錘衝突箇所を中心として $60^\circ \sim 72^\circ$ の角度で擁壁上面方向へ V 字状の斜めひび割れおよび下端方向には縦ひび割れが発生している。衝突背面の損傷状態は、ひび割れは衝突面と同様に衝突背面にも擁壁上面方向に V 字状および擁壁下端方向へと進展している。

5. まとめ

本実験の範囲内において得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 擁壁延長を高さの4倍とした場合、押抜きせん断破壊が発生しなければ便覧で仮定されている剛体的運動となる。
- 2) 衝撃力は重錘衝突エネルギーの増加に対応して増加する傾向にあり、運動量保存則を適用させる方法により評価可能である。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：落石対策便覧，2017.12
- 2) (公) 地盤工学会，落石対策工の設計法と計算例，2014.12

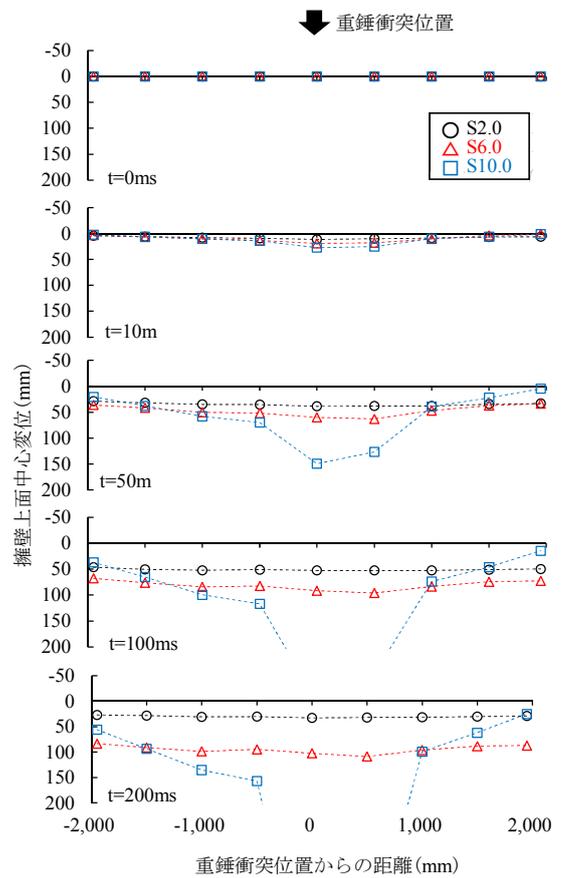


図-3 擁壁天端中心変位の経時変化

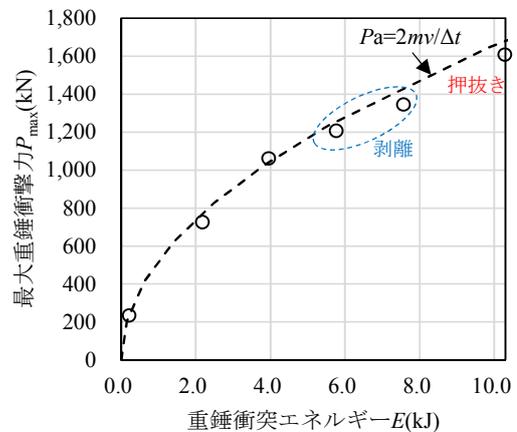


図-4 重錘衝突エネルギーと最大重錘衝撃力の関係

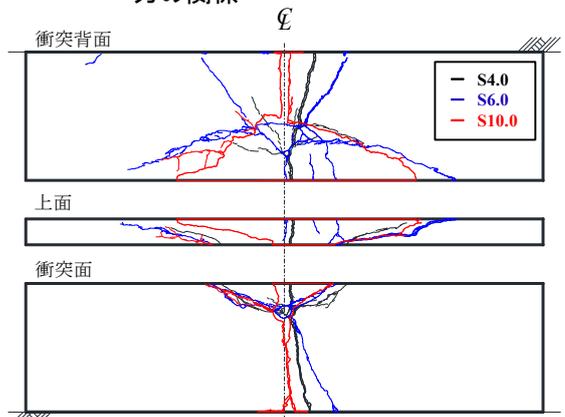


図-5 損傷比較図