

C 製および RC 製落石防護擁壁の耐衝撃設計法に関する一検討

(株) 構研エンジニアリング 正 員 ○川瀬 良司
(独) 北海道開発土木研究所 正 員 今野 久志

室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光
(独) 北海道開発土木研究所 正 員 池田 憲二

1. はじめに

本研究では、C 製および RC 製擁壁の耐衝撃設計法を確立することを目的として、実規模衝撃実験に基づいた転倒安定に着目した一設計手法を提案し、実験結果と比較することで妥当性の検討を行った。

2. 実験概要

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。図-1には実験で用いた試験体形状および変位計配置図を示す。実験に使用した重錘は、直径が 1.0 m、先端部が半球状で質量が 2,000 kg の鋼製重錘である。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。表-1には実験ケースの一覧を示している。

3. 安定性評価の検討

3.1 最大重錘衝撃力の算定

最大重錘衝撃力 P_a を算定評価するために、ここでは、Hertz の接触理論に基づく振動便覧式の適用を試みる。振動便覧式は、一般に式 (1) のように示される。

$$P_a = 2.108W^{2/3}\lambda^{2/5}H^{3/5} \tag{1}$$

ここで、 P_a ：最大重錘衝撃力 (kN)、 λ ：擁壁本体の剛性特性を考慮した見かけのラーメ定数 (kN/m²)、 H ：落石の落下高さ (m)、 W ：落石等の重量 (kN) である。図-2には、実験結果および振動便覧式による結果を最大重錘衝撃力 P_a を縦軸に、衝突エネルギー E_w を横軸にとって整理して示している。図より、繰り返し载荷の場合は、衝突エネルギー E_w が増加することにより、ひび割れが進展し衝撃エネルギーの吸収が考えられることから、衝突エネルギー E_w の増加とともに、最大重錘衝撃力 P_a の増加率が低減している。しかしながら、擁壁の構造形式および鉄筋量による明瞭な差が生じていない。これらのことから、擁壁本体に作用する最大衝撃力は、構造形式、鉄筋量にかかわらず、見かけのラーメ定数を $\lambda=120\text{MN/m}^2$

キーワード：落石防護擁壁，耐衝撃設計法，重心浮上量

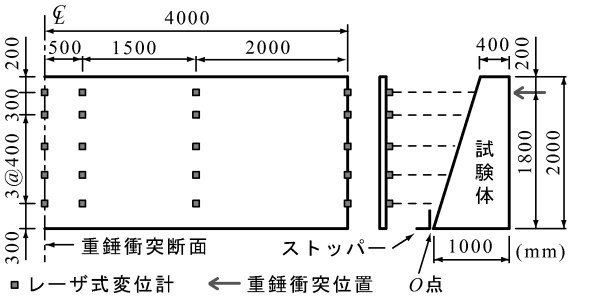


図-1 試験体概要図

表-1 実験ケース一覧

ケース	構造形式	鉄筋量 (%)	载荷方法	衝突速度 (m/s)
C-C-V2~4	C	—	繰り返し	2~4
RC-0.2-C-V1~7	RC	0.2	繰り返し	1~7
RC-0.4-C-V1~7	RC	0.4	繰り返し	1~7
C-S-V4	C	—	単一	4
RC-0.2-S-V6	RC	0.2	単一	6
RC-0.4-S-V6	RC	0.4	単一	6

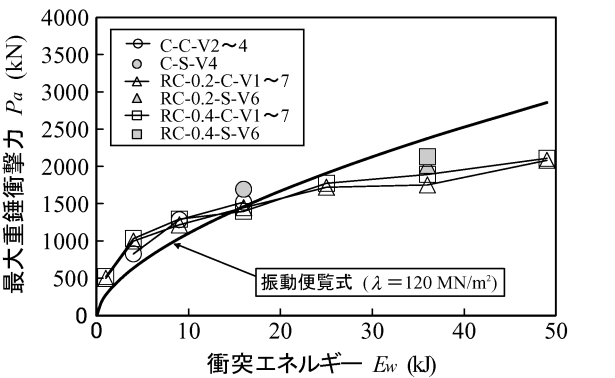


図-2 最大重錘衝撃力と衝突エネルギー

と仮定することにより、実験結果の最大重錘衝撃力 P_a と大略対応することが分かる。

3.2 力積モーメントの算定

擁壁の回転初角速度 ω を算定するためには、重錘衝突時の衝撃力 P による力積モーメント M_t を算定しなければならない。衝撃力 P による力積を F_t 、重錘衝突位置の底面からの高さを L と仮定すると、回転中心 O 点における力積モーメント M_t は、

$$M_t = LF_t \tag{2}$$

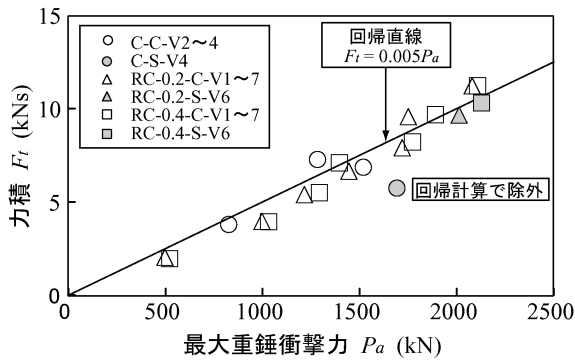


図-3 力積と最大重錘衝撃力

と示される。図-3には、力積 F_t を縦軸に、式(1)から評価される最大重錘衝撃力 P_a を横軸に取って整理して示している。図より、力積 F_t は最大重錘衝撃力 P_a とほぼ線形関係にあることが分かる。そこで、回帰直線を求めると、

$$F_t = 0.005P_a \quad (3)$$

と示される。これより、衝撃力 P の力積 F_t は、振幅が最大重錘衝撃力 P_a 、荷重継続時間を $\Delta t = 5$ ms とする矩形波と等価であることが分かる。図-4に実験結果と算定式から得られる力積 F_t を縦軸、衝突エネルギー E_w を横軸に取って整理して示す。図より、提案の力積評価式は、実験結果とほぼ対応していることが分かる。

3.3 回転初角速度および重心浮上量の算定

衝撃力 P の载荷により、擁壁が O 点を中心に回転を始めるものとする。回転初角速度 ω は次式より求めることができる。擁壁の角運動量 H_O は O 点に関する慣性モーメントを I_O とすると、

$$H_O = I_O \omega \quad (4)$$

と示される。力積モーメント M_t と角運動量 H_O が等価であることより、初角速度 ω は、

$$\omega = \frac{M_t}{I_O} = \frac{L}{I_O} F_t \quad (5)$$

として求めることができる。いま、運動エネルギーが保存されるものと仮定すると、並進運動を伴わないことより、擁壁の回転量 θ あるいは、重心点の浮上量 h_G は、回転エネルギーと位置エネルギーが等価の関係より以下のように算定される。

$$\frac{1}{2} I_O \omega^2 = Mgh_G \quad (6)$$

式(6)に式(5)を代入し整理すると、重心浮上量 h_G は次式のように示される。

$$h_G = \frac{I_O}{2Mg} \cdot \frac{L^2 F_t^2}{I_O^2} = \frac{L^2 F_t^2}{2MgI_O} \quad (7)$$

また、回転安定の条件は、以下のように示される。

$$h_G < r_G - L_G \quad (8)$$

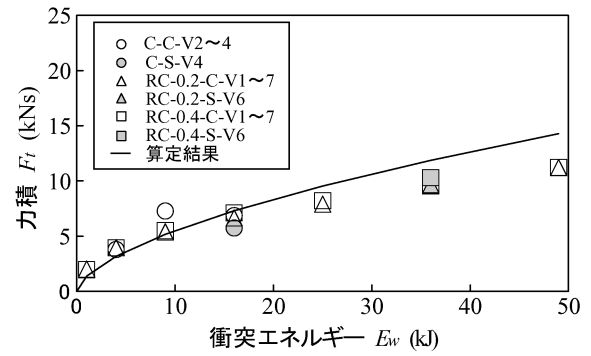


図-4 力積と衝突エネルギー

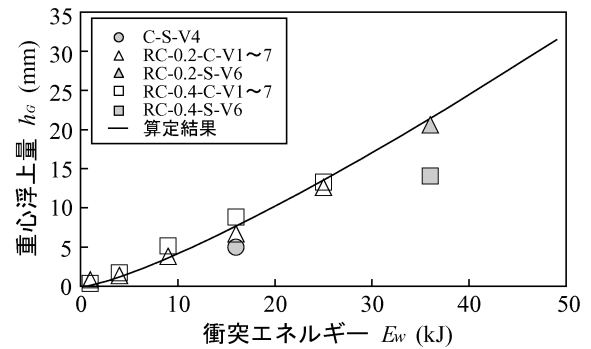


図-5 重心浮上量と衝突エネルギー

ここで、 L_G, r_G はそれぞれ重心位置の高さ、重心点から O までの距離である。

3.4 重心浮上量に関する実験値と算定値の比較

ここでは、重心浮上量 h_G に関する実験値と提案した算定式の値との比較を行い、提案した算定式の妥当性を検証する。図-5には、横軸に重錘の衝突エネルギー E_w を、縦軸に重心浮上量 h_G をとって整理して示している。図より、重錘の衝突エネルギー E_w が大きい領域で、算定式の値が実験値を多少上回る傾向が見られる。これは、算定式が擁壁を剛体回転運動と仮定しているものの、衝突エネルギー E_w の増加に伴って、擁壁本体の局部変形や、断面損傷によるエネルギー損失も増加するためと思われる。しかしながら、算定式の値は、実験値との差が小さく、安全側に評価されている。また、RC製擁壁の場合には鉄筋量を増加させても、実験結果から重心浮上量 h_G の値がほぼ同程度であることが分かる。これらのことから、本評価方法は工学的に妥当であるものと判断される。

4. まとめ

- 1) 最大重錘衝撃力は、ラーメの定数を 120 MN/m^2 とすることで振動便覧式を用いて評価可能である。
- 2) 力積は、振幅を最大重錘衝撃力とし、継続時間を 5 ms とする矩形波の場合とほぼ等価である。
- 3) 擁壁浮上量評価式は、設計的に安全側の評価を与える。