無筋コンクリート製落石防護擁壁の耐衝撃挙動に関する数値解析的検討

室蘭工業大学大学院　正会員　○小室　雅人　(国研)寒地土木研究所　正会員　山澤　文雄
室蘭工業大学大学院　フェロー　岸　徳光　室蘭工業大学大学院　名須川　駿

1. はじめに

本研究では，落石防護擁壁の合理的な設計法の確立を最終目的とした研究の一環として，無筋コンクリート製落石防護擁壁の衝撃応答解析を実施した．また，解析結果を別途実施した実験結果と比較することにより，解析手法の妥当性を検討した．

2. 実験概要

実験は，**図1**に示すように，門型フレームに吊り下げた重錘をクレーンで所定の高さまで吊り上げ，振り子運動によって落石防護擁壁の中央部(地盤から高さ 800 mm)に一度だけ水平衝突させることにより実施した．実験では，同一形状で質量 M の異なる 2 種類の鋼製重錘($M = 110, 309$ kg)を使用した．また，衝撃荷重載荷による擁壁の水平移動を防止するために，擁壁つま先部近傍にアングル材を配置した．なお，擁壁はコンクリート基礎上に設置しており，試験体形状(高さ × 天端幅 × 基部幅)は 1.0 × 0.2 × 0.5 m，擁壁幅は 4.0 m である．

表1には，実験ケースを示している．実験は重錘質量 M および落下高さ H を変化させた全 11 ケースを実施した．**写真1**には，実験風景を示している．測定項目は，1)重錘に設置した加速度計による重錘衝撃力 P，2)高速度カメラによる擁壁回転角 θ，および擁壁上面幅方向中央部における衝突方向変位量 δ である．

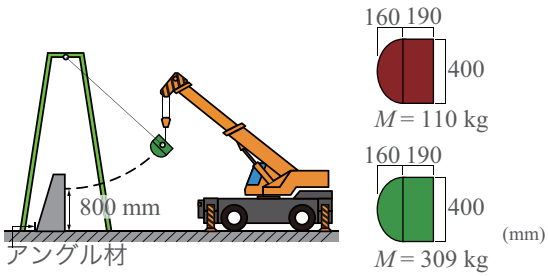


図1　実験方法及び重錘形状

表1　実験ケース

試験体名	重錘質量 M (kg)	設定衝突エネルギー E (kJ)	設定落下高さ H (mm)	設定重錘衝突速度 V (m/s)
M1-E0.2	110	0.2 (0.2)	180	1.9 (1.7)
M1-E2		2.0 (2.6)	1850	6.0 (6.9)
M1-E4		4.0 (4.1)	3700	8.5 (8.6)
M1-E6		6.0 (5.6)	5550	10.4 (10.1)
M1-E8		8.0 (7.5)	7450	12.1 (11.7)
M3-E0.2	309	0.2 (0.2)	70	1.2 (1.1)
M3-E2		2.0 (2.4)	660	3.6 (3.9)
M3-E4		4.0 (4.0)	1320	5.1 (5.1)
M3-E6		6.0 (5.8)	1980	6.2 (6.1)
M3-E8		8.0 (7.6)	2650	7.2 (7.0)
M3-E10		10.0 (10.4)	3300	8.0 (8.2)

*( ) は実測値

3. 数値解析概要

図2には，本数値解析で使用した有限要素モデルを示している．擁壁，地盤および重錘は 8 節点固体要素，アングル材は 4 節点シェル要素を適用した．衝撃荷重は実験時の実測衝突速度を重錘要素の全節点に付加させることで与えた．境界条件は基礎地盤底面を完全固定とした．また，擁壁－基礎地盤間，擁壁－重錘間および擁壁－アングル材間には滑り・剥離を伴う接触面を定義し，摩擦係数は 0.5 とした．

コンクリート要素の材料構成則に関しては，圧縮側は相当ひずみが 0.15 % に達した段階で完全降伏するものとし，引張側は引張強度に到達した時点で引張応力を伝達しないモデルを採用した．また，擁壁のコンクリート圧縮強度は材料試験より $f'_c = 32.5$ MPa とし，引張強度は圧縮強度の 1/10 と仮定した．

4. 実験結果および数値解析結果

図3には，衝突エネルギー $E = 8.0$ kJ における各種時刻歴応答波形および実験終了後のひび割れ分布について，実験結果と解析結果を比較して示している．**図3**(a)の重錘衝撃力に着目すると，実験結果では，$M = 110$ kg の場合

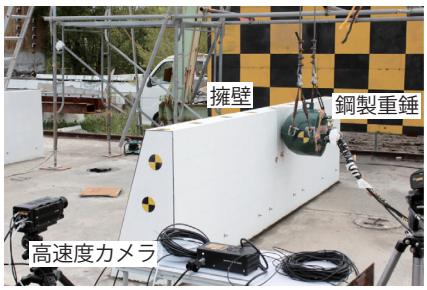


写真1　実験風景($M = 309$ kg)

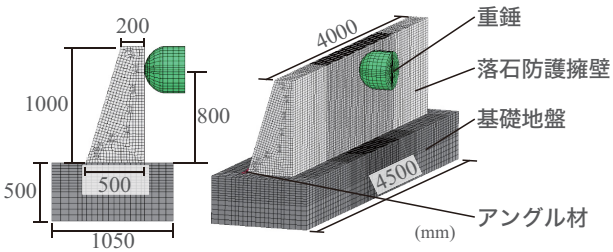
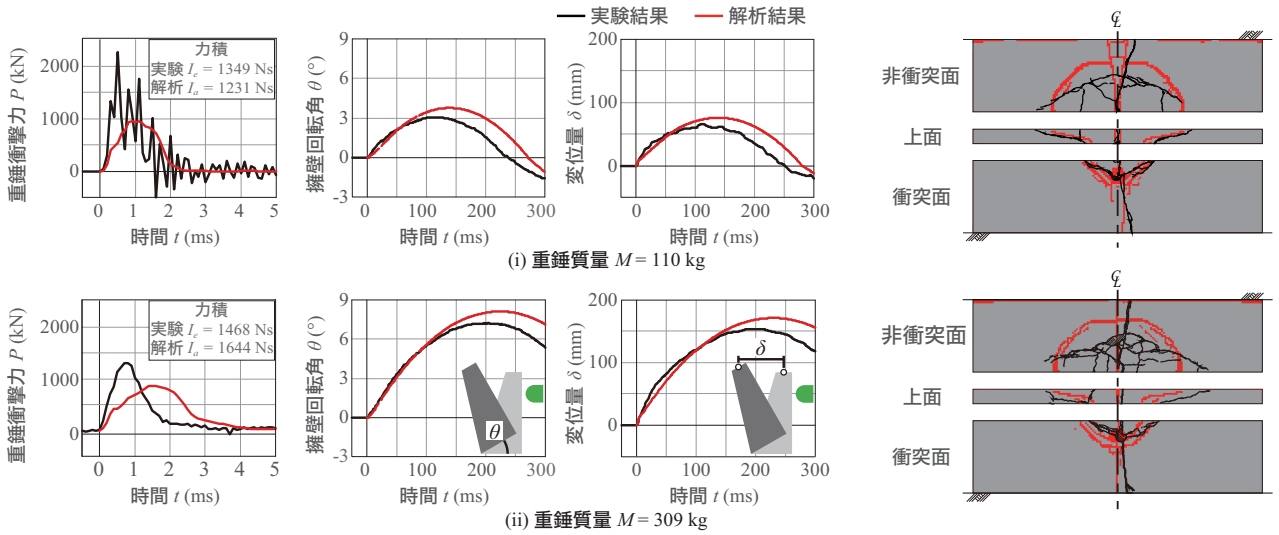


図2　有限要素モデル($M = 309$ kg)

キーワード：無筋コンクリート製落石防護擁壁，衝撃応答解析，衝突エネルギー，重錘質量
連絡先：〒 050-8585　室蘭工業大学大学院　くらし環境系領域　社会基盤ユニット　TEL/FAX　0143-46-5228

© Japan Society of Civil Engineers



(a) 重錘衝撃力　(b) 擁壁回転角　(c) 衝突方向変位量　(d) ひび割れ分布

図 3　各種時刻歴応答波形およびひび割れ分布（E = 8.0 kJ）

において高周波成分が卓越しているものの，その作用継続時間は重錘質量にかかわらず 3 ms 程度である．一方，解析結果では，いずれの場合も実験結果の最大値を過小評価していることが分かる．しかしながら，力積 $I_i(=\int Pdt)$ に着目すると，両者は概ね一致している．

図 3(b)，(c)の擁壁回転角および衝突方向変位量に着目すると，実験結果および解析結果ともに，重錘質量 M の大きい方が，最大値は大きくなる傾向を示している．また，解析結果は実験結果を若干過大に評価しているものの，その波形性状は大略一致している．

図 3(d)のひび割れ分布に着目すると，実験結果の衝突面および上面におけるひび割れ分布は，重錘質量 M にかかわらず類似の傾向を示している．一方，非衝突面のひび割れを見ると，重錘質量 M が大きいほど損傷も大きくなる．解析結果では，非衝突面の損傷範囲を実験結果より過大に評価しているものの，上面および衝突面においては，概ね実験結果と対応していることが分かる．

図 4 には，実験結果の最大回転角到達時刻における擁壁上面の衝突方向変位分布の一例として衝突エネルギー E = 8.0 kJ の結果を示している．重錘質量 M = 110 kg の実験結果を見ると，擁壁天端の変位がほぼ同一であることから，擁壁全体が剛体変形しているのに対し，M = 309 kg の場合には重錘衝突部が局所的に変形していることが分かる．これより，衝突エネルギーの大きい場合において，同一エネルギーでは重錘質量の大きい方が衝突部近傍の損傷も大きくなることが推察される．一方，解析結果は，実験結果を概ね再現しているものの，重錘衝突位置近傍の局所的な変形の再現は困難であることが分かる．

図 5 には，全ケースにおける最大回転角と衝突エネルギーの関係について実験結果と解析結果を比較して示している．図より，実験結果において押し抜きせん断破壊が

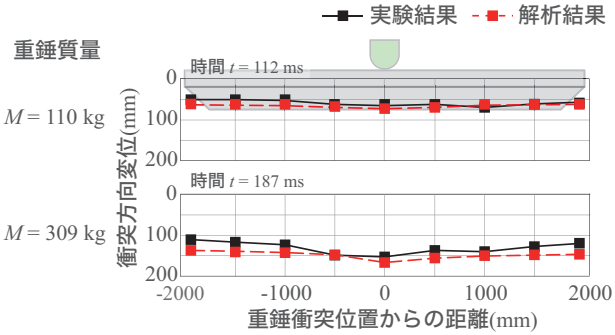


図 4　最大回転角到達時の擁壁上面の変位分布（E = 8.0 kJ）

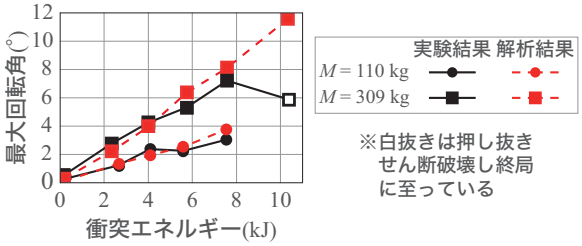


図 5　最大回転角と衝突エネルギーの関係

生じるまでは，衝突エネルギーが大きくなるほど最大回転角も線形的に大きくなる傾向が確認できる．また，解析結果は押し抜きせん断破壊が生じる場合を除き，概ね実験結果と一致している．

5.　まとめ

(1) 本数値解析手法を用いることで，押し抜きせん断破壊が発生する場合を除き，実験結果の擁壁回転角および衝突方向変位を概ね再現可能である．

(2) 数値解析結果のひび割れ分布は，非衝突面では実験結果の損傷範囲を過大に評価するものの，衝突面および上面に関しては実験結果とほぼ一致する．

(3) 衝突エネルギーと最大回転角には押し抜きせん断破壊が発生しない場合において線形関係がある傾向を数値解析的に確認した．

© Japan Society of Civil Engineers