

## 落石防護柵支柱付き矩形基礎に関する重錘衝突実験

土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○山澤文雄 安中新太郎 中村拓郎  
室蘭工業大学大学院 正会員 小室雅人 名誉会員 岸徳光

### 1. はじめに

落石が従来型落石防護柵に衝突する場合の落石対策便覧<sup>1)</sup>(以下、便覧)に基づいた基礎の安定性照査では、落石の速度や運動エネルギーなど動的作用が設計に反映されない等の課題がある。著者らは、動的な作用を考慮した落石防護柵基礎の安定性に関する照査手法を確立することを目的に、これまで擁壁を基礎とした重錘衝突実験等<sup>2)</sup>を実施してきた。本稿では、地中コンクリート基礎を対象として矩形コンクリート基礎躯体(以下、躯体)を用いた衝突実験を実施したので報告する。

### 2. 実験概要および実験ケース

図-1には、試験体およびロードセル一体型重錘(以下、重錘)の形状寸法図を示している。躯体の断面形状は、高さ1 m、壁厚1 mの矩形とした。防護柵の中間支柱が基礎上に3 m間隔に設置されていることから、躯体の幅は支柱1本が分担する長さ3 mとした。また、中間支柱にはH-200×100×5.5×8(材質:SS400)を用い、根入れ深さは0.85 mとした。載荷点は躯体天端から1.4 mの位置とし、フランジの局部座屈を防止するために重錘衝突部には補剛板を溶接している。

写真-1には実験の全景を示している。実験は、質量1 tonの重錘を、高さ約10 mの門型骨組吊桁からPC鋼棒(φ17 mm)を用いて吊り下げ、振り子運動によって支柱に衝突させることにより行った。また、載荷による躯体の運動を回転のみに制限するため、つま先部が回転中心となるようにコンクリート基盤上にはストッパーとして厚さ13 mmのL字アングルを設置している。

表-1には、実験ケース一覧を示している。重錘の落下高さは支柱の許容最大変形角を15°とした場合の支柱1本分の可能吸収エネルギー(11.6 kJ)を参考に3ケース設定した。また、表中には高速度カメラ画像から算定した重錘衝突速度や衝突エネルギー、コンクリートの圧縮強度や支柱の降伏強度も示している。

### 3. 基礎の安定性に対する照査

落石防護柵基礎の安定照査は、支柱基部に塑性ヒンジが形成される時の荷重および塑性モーメント、あるいはワイヤロープが降伏する際の支柱基部に作用する水平反力およびモーメントの小さい方が防護柵基礎に作用するものとし、その荷重と自重との合力に関する躯体底部中心軸からの偏心量 $e$ を求め、その値が底版幅 $B$ の1/3以下であれば安定性が確保されるとしている。

実験に使用した躯体に着目し、支柱基部に塑性ヒンジを形成さ

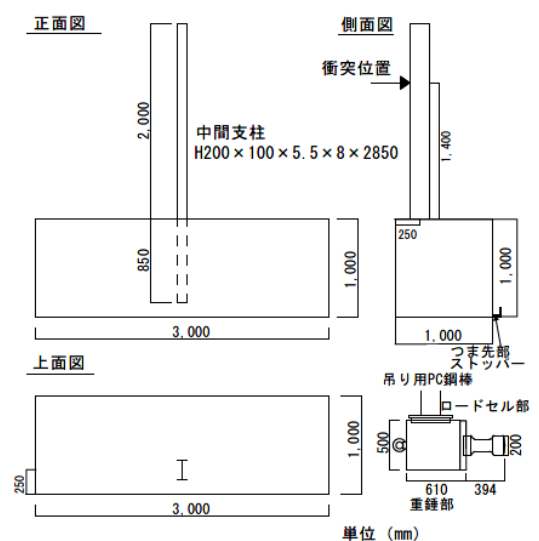


図-1 試験体および重錘の形状寸法図



写真-1 実験全景

表-1 実験ケース一覧

試験体名	載荷位置 (m)	重錘落下高さ (m)	実測重錘衝突速度 (m/s)	重錘衝突エネルギー (kJ)	コンクリート圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	H形鋼降伏点強度 (N/mm <sup>2</sup> )
H0.5	1.4	0.5	3.0	4.5	27.0	316
H1.0		1.0	4.3	9.2		
H1.5		1.5	5.3	14.0		

キーワード 重錘衝撃実験, 矩形コンクリート基礎, 支柱変形角, 躯体回転角, 重錘衝撃力

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

れる時の水平荷重を用いて安定性照査を行うと、 $B/3 < e$  となり ( $B/3=0.33$  m,  $e=1.61$  m), 安定性が確保されない結果となる。

#### 4. 実験結果

図-2には、側面および上面の高速カメラ画像に基づいて算定した支柱の変形角に関する時刻歴波形を示している。なお、支柱の変形角は躯体の回転分を差し引いて算出している。載荷方向の支柱の変形角は落下高さの増加に対応して増加する傾向を示している。また、H1.0の場合における載荷軸直角方向の変形角は載荷後に増加傾向を示していることから、支柱は弱軸方向に大きく変形していることが確認できる。これは、載荷点が支柱ウェブ位置から多少ずれたためと推察される。

図-3には、躯体の回転角の時刻歴波形を示している。図より、H1.0の場合における回転角は、H0.5の場合よりも小さい分布を示していることが分かる。これは、上述のように、H1.0の場合には重錘が中心軸から多少ずれて載荷したことによって支柱が弱軸方向に大きく変形し、入力エネルギーがその変形に大きく消費されたことによるものと推察される。一方で、H0.5やH1.5の場合には、図-2からも明らかなように、軸直角方向への変形角も小さく分布していることより、擁壁の回転角および回転の継続時間は、重錘の落下高さに対応していることが分かる。

便覧に基づいた基礎の安定性に対する照査結果は、上述のように安定が確保されないとする結果になっている。一方で、実験結果は、H1.5の場合で最大回転角が $8^\circ$ 以下であり転倒には至らないことが明らかになった。また、支柱の損傷状態は、全ケースにおいて支柱に塑性ヒンジが形成されて大きく変形し、残留変位も認められる。

図-4には、重錘衝撃力の時刻歴波形を示している。図より、載荷初期には高周波成分が励起していることが分かる。これは、重錘衝突時に発生した音波等の振動成分であるものと推察される。その後、15~70 ms間において平均値が60~75 kN程度の値を示した後、零レベルに減少している。この値は、静的な全塑性荷重 $P_p=46.3$  kNより大きい値となっている。

#### 5. まとめ

本実験では、コンクリート基礎躯体に落石防護支柱を設置した模型を製作し、落石が支柱に直撃する場合を想定して、重錘の落下高さを変化させた重錘衝突実験を行った。

その結果、支柱の変形角および躯体の回転角は重錘落下高さの増加に対応して増加する傾向を示した。また、支柱は衝撃荷重載荷によって塑性変形に至り、便覧の安定性照査において躯体は安定が確保されないとの評価結果である場合においても、回転は生じるが転倒には至らないことが明らかになった。

#### 参考文献

- 1) (公社) 日本道路協会：落石対策便覧，2017.12.
- 2) 山澤文雄，安中新太郎，小室雅人，岸徳光：擁壁を基礎とする落石防護柵支柱の重錘衝突実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.43，No.2，pp.457-462，2021.7

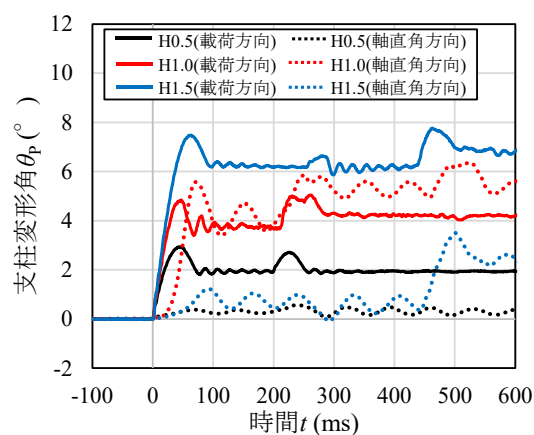


図-2 支柱の変形角の時刻歴波形

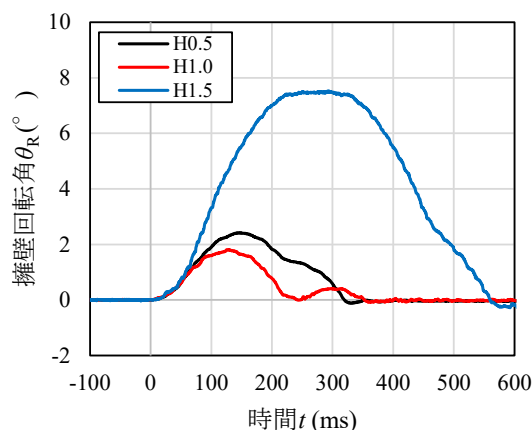


図-3 躯体の回転角の時刻歴波形

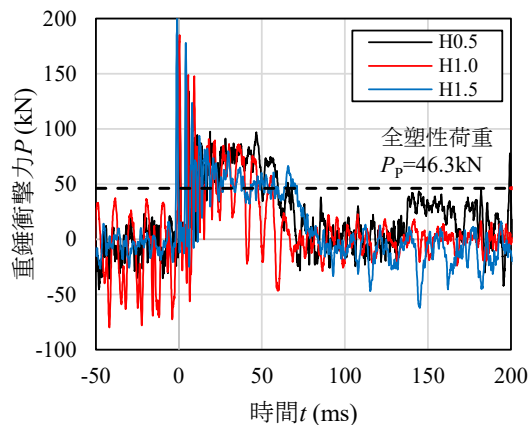


図-4 重錘衝撃力の時刻歴波形