

# 擁壁底部まで埋設させた落石防護柵支柱に関する実規模衝撃荷重載荷実験

(株)砂子組

正会員 ○近藤 里史

室蘭工業大学大学院

正会員

小室 雅人

(株)砂子組

正会員 佐藤 昌志

室蘭工業大学大学院

正会員

瓦井 智貴

室蘭工業大学大学院

正会員 林 茂樹

室蘭工業大学大学院

名誉会員

岸 徳光

## 1. はじめに

我が国の山岳部や海岸線の道路沿いには、落石から道路交通や人命を守るために数多くの落石対策工が設置されている。その一つである従来型落石防護柵は、道路沿いのコンクリート基礎上に設置される他、落石防護擁壁天端に設置される場合も多い。

防護柵支柱の防護擁壁への根入れ深さに関する現行設計は、落石衝撃による動的挙動は考慮せずに静力学に基づき落石対策便覧(以後、便覧)<sup>1)</sup>に即して行われている。しかしながら、支柱埋設部コンクリートが剥落するような事例も報告されていることから、支柱の根入れ深さに関する現行設計法の妥当性を検証するとともに、合理的設計法を確立することは、極めて重要であるものと判断される。

本研究では、落石による衝撃荷重の作用位置が支柱や擁壁の挙動に及ぼす影響を検討するために、支柱を擁壁底部まで埋設させた場合において、曲げが卓越する擁壁天端から1.4mの高さに載荷する場合(以後、FH14試験体)、曲げとともにせん断が卓越する高さ0.6mの位置とする場合(以後、FH6試験体)、及びせん断がより卓越する高さ0.4mの位置とする場合(以後、FH4試験体)の3種類について実規模衝撃荷重載荷実験を実施した。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体概要

図1には、本研究で使用した支柱模型(FH4試験体)の形状寸法を示している。擁壁は高さ2m、幅3m、天端幅0.5mであり、道路側の勾配は1:0.4である。なお、擁壁幅に関しては、実防護柵支柱が3m間隔に設置されることから、支柱1本分を考慮することとし3mと設定した。また、支柱は擁壁天端の中央部に底部まで埋設しており、重錐衝突部の支柱ウェブ部にはフランジの局部座屈を防

止するために、厚さ6mmの補剛板を溶接している。

表1には、本研究で実施した実験ケースの一覧を示している。実験は重錐衝突位置を3種類に変化させ、各試験体に対して一度だけ重錐を衝突させることで実施した。重錐の落下高さはいずれもH=1m落下である。表にはコンクリートの圧縮強度 $f'_c$ およびH形鋼の降伏強度 $f_y$ も合わせて示している。なお、支柱の公称断面係数は $Z_x=181 \times 10^3 \text{ mm}^3$ 、塑性断面係数は $Z_{px}=205 \times 10^3 \text{ mm}^3$ である。

### 2.2 実験方法および計測項目

衝撃荷重は、ロードセル一体型の重錐(質量:1,000kg)を4本のPC鋼棒(径17mm)を用いて門型クレーンの上部吊桁より吊り下げ、振り子式によって支柱に衝突させることにより載荷した。なお、重錐の先端形状は片当たりを防止するために半径325mmで高さが10mmの球形状となっている。

落石防護擁壁模型はコンクリート基盤上に設置することとし、実構造と同様に基盤に定着せずに擁壁の回転を許容するものとした。また、載荷による擁壁の運動を回転のみに制限するため、擁壁の道路側端部にはL形鋼のストッパーを設けている。

本実験における測定項目は、(1)重錐衝撃力、(2)支柱各点の軸方向ひずみ、(3)重錐の衝突速度Vやコンクリート擁壁の回転、支柱の変形状況等を検討するための2,000fpsでの高速度カメラ撮影である。

なお、ひずみゲージは、支柱とコンクリート間の付着性能への影響を極力小さくするために、H形鋼のウェブ中心位置から上下70mmの位置に貼付している。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 各種時刻歴応答波形

図2には、重錐衝撃力の時刻歴応答波形を示している。

表1 実験ケース一覧

試験 体名	載荷 位置 $L$ (m)	設定重錐 落下高さ $H$ (m)	実測重錐 衝突速度 $V$ (m/s)	実測入力 エネルギー $E$ (kJ)	コンクリート 圧縮強度 $f'_c$ (MPa)	H形鋼 降伏強度 $f_y$ (MPa)
FH14	1.4	1.0	5.30	14.0	33.0	350
FH6	0.6		5.65	15.9		
FH4	0.4		4.41	9.7		

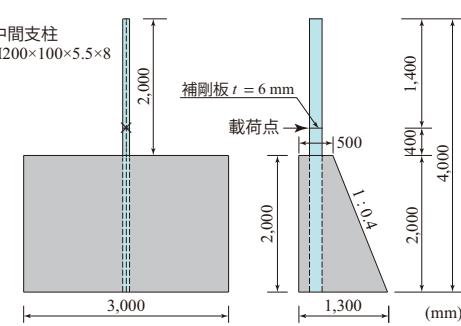


図1 試験体の形状寸法(FH4試験体)

キーワード：落石防護柵支柱、落石防護擁壁、根入れ深さ、衝撃荷重

連絡先：〒079-0394 北海道空知郡奈井江町字チャシュナイ 987番地10 TEL 0125-65-2326 / FAX 0125-65-5688

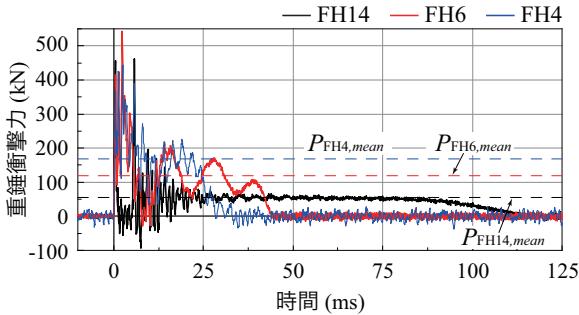


図2 重錐衝撃力波形

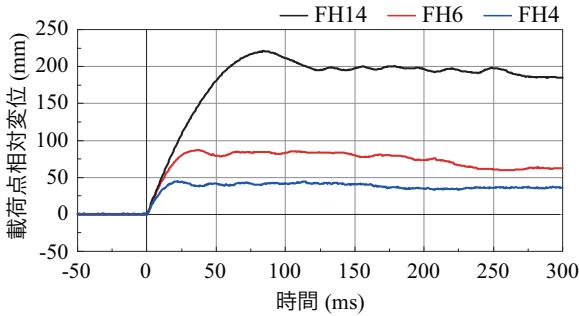


図3 載荷点の相対変位の時刻歴応答波形

図より、重錐衝撃力波形はFH6/4試験体で衝突初期の継続時間が10 ms程度の正弦半波と高周波成分を伴う第一波、その後の継続時間が25～37.5 msの正弦半波と低周波成分が合成された第二波から構成されていることが分かる。

第一波目の正弦半波の波形は、両試験体で同程度の振幅を示し、300 kN程度の値を示している。一方、FH14試験体の場合には、載荷初期に正弦半波の波形が発生せずに高周波成分のみが励起し、その後振幅が約50 kNで継続時間が100 ms程度の台形状の波形分布を示している。図中の第二波目の正弦半波波形の振幅 $P_{mean}$ に着目すると、載荷位置にかかわらず静的な全塑性荷重 $P_p$ (FH14/6/4で $P_p = 51, 120, 162$  kN)とほぼ対応していることが分かる。

図3には、載荷点における基部からの相対変位(以後、単に変位)に関する時刻歴応答波形を示している。図より、載荷位置の高さに対応して変位が大きくなっていることが分かる。また、いずれも残留変位が生じ減衰自由振動状態に至っていることも見て取れる。前述の重錐衝撃力波形(図2)と比較すると、いずれの試験体に関しても第二波目載荷時に変位が増加傾向を示し、除荷状態に至る時点で最大変位を示していることが分かる。

### 3.2 最大変位発生時における支柱縁ひずみ分布

図4には、各試験体における最大変位発生時の支柱縁ひずみ分布を比較して示している。なお、各縁ひずみは、ひずみゲージからの出力と、断面の平面保持仮定の下に算出・評価した結果である。また、点線は各試験体に関する載荷位置を表している。

図より、気中部のひずみ分布を見ると、FH14/6試験体

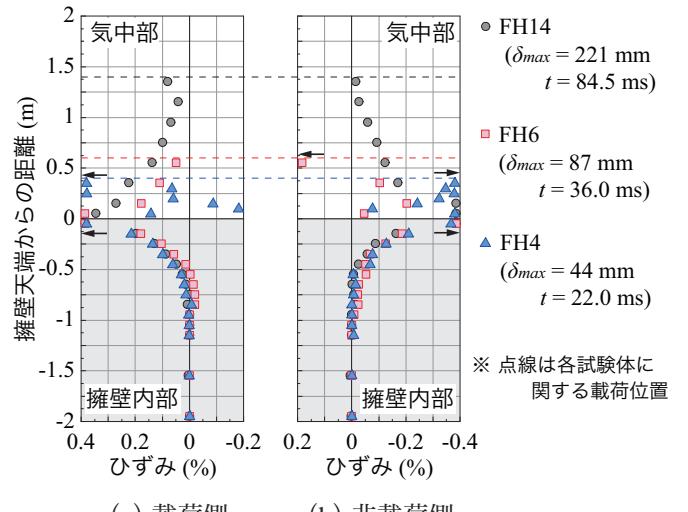


図4 最大変位発生時の支柱縁ひずみ分布

の場合には、基部近傍で降伏ひずみ( $\epsilon_y \simeq 0.17\%$ )を超過する大きなひずみ値を示していることから、基部近傍が塑性化するとともに、局部座屈の発生が推察される。FH4試験体の場合には、気中部のひずみ分布が大きく乱れており、片持ち梁の静的なひずみ分布とは大きく異なっていることが分かる。

これに対して、擁壁内部のひずみ分布を見ると、いずれの試験体もその分布性状は類似しており、載荷位置の影響は小さい。また、天端から擁壁内部150 mm程度までは、いずれの試験体も降伏ひずみに達しており、支柱基部近傍埋設部においても塑性化に至っていることが確認できる。

深さ方向へのひずみ分布性状に着目すると、いずれの試験体に関しても、零ひずみに漸近する性状を示している。載荷側では、FH6試験体が500 mm程度、FH14/4試験体の場合には750 mm程度の位置で零ひずみを示している。一方、非載荷側では、FH14/4試験体が500 mm程度、FH6試験体の場合には載荷側と異なり1,000 mm程度となっている。載荷荷重的にはFH4試験体の場合に最も大きい荷重が作用していることより、実験誤差を考慮して最も厳しいFH4試験体で評価すると、必要根入れ深さは750 mm程度であることが推察される。

### 4. まとめ

本研究で得られた結果を整理すると、以下のように示される。

- 1) 第二波目の平均最大衝撃力は、載荷位置にかかわらず静的な全塑性荷重と類似である。
- 2) 最大載荷点変位は、載荷点の高さに対応して増加する傾向にある。
- 3) 支柱の根入れ深さは、750 mm程度である。

### 参考文献

- 1) (公社)日本道路協会:落石対策便覧, 2017.