

根入れ深さの異なる落石防護柵支柱の衝撃荷重载荷実験に関する数値シミュレーション

室蘭工業大学
室蘭工業大学大学院
勇建設(株)

正会員 ○小室 雅人
高田 柊
正会員 林 茂樹

室蘭工業大学 正会員 瓦井 智貴
室蘭工業大学 名誉会員 岸 徳光

1. はじめに

本研究では落石防護柵支柱の耐衝撃挙動を適切に評価可能な数値解析手法の確立を目的として、実規模落石防護柵擁壁に支柱を異なる根入れ深さで埋設した場合を対象に、三次元弾塑性衝撃応答解析を実施した。また、別途実施した実験結果との比較により、解析手法の妥当性を検討した。なお、本解析には LS-DYNA を使用した。

2. 実験概要

図1には、試験体の形状寸法を示している。試験体は、高さ2 m、幅3 mの落石防護擁壁にH形鋼支柱(H200×100×5.5×8)を天端中央に埋設して製作した。また、支柱の根入れ深さは、既往の研究¹⁾を参考に、3種類(700, 500, 300 mm)とした。载荷位置は、擁壁天端から400 mmと設定した。なお、载荷点部には、フランジの局部座屈を防止するため、厚さ6 mmの補剛板を溶接した。

実験は門型フレームに取り付けた鋼製重錘(質量: 1000 kg)を振り子運動により支柱に衝突させることで実施した。いずれのケースにおいても重錘落下高は2 mとした。表1には、実験ケース一覧を示している。実験は支柱の根入れ深さを変化させた計3ケース実施した。測定項目

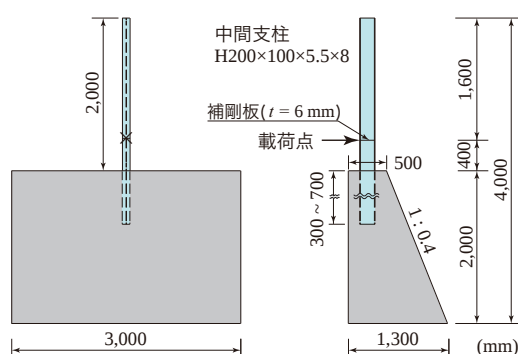


図1 試験体の形状寸法

表1 実験ケース一覧

試験体名	载荷位置 L (m)	設定重錘 落下高さ H (m)	設定重錘 衝突速度 V (m/s)	実測重錘 衝突速度 V' (m/s)
PS7-H2	0.4	2	6.26	6.16
PS5-H2				6.21
PS3-H2				6.31

は、1)重錘衝撃力、2)载荷点変位、3)擁壁回転角、および4)支柱の軸方向ひずみである。

3. 数値解析概要

図2には、本数値解析で用いた FE モデルを示している。ここでは、可能な限り詳細に実験条件を再現し、モデル化を行った。なお、全て8節点固体要素を使用した。

境界条件は、基礎地盤の底部および側面を完全固定、重錘吊り下げ治具の上部をピン支持で固定とした。また、ボルトを用いて接続している箇所や支柱と補剛板は、節点を共有することで結合した。一方、ロードセルと重錘胴体間には接触面を定義し、タイド条件によって完全結合とした。支柱と擁壁間には剥離・すべりを考慮した面と面の接触(摩擦係数: 0.3)を定義している。

図3には、各部材に使用した材料構成則を示している。(a)図より、支柱は別途実施した材料試験結果を基に、マルチリニア型でモデル化し、降伏判定には von Mises の降伏条件を用いた。単位体積密度 ρ_s およびポアソン比 ν_s は、 $\rho_s = 7.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $\nu_s = 0.3$ とした。(b)図より、擁壁に関して圧縮側は圧縮強度に達した段階で完全降伏するバイリニア型としており、引張側は引張強度に達した段階で引張応力を伝達しないモデルを採用した。単位体積密度 ρ_c およびポアソン比 ν_c は、 $\rho_c = 2.35 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $\nu_c = 0.167$ と設定した。その他の要素に関しては、全て弾性体でモデル化しており、弾性係数、密度、ポアソン比は公称値を用いた。なお、重錘の密度に関しては重錘質量を解析モデルの体積で除した値を入力している。

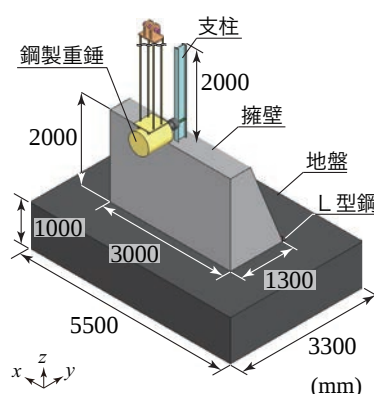


図2 FE モデル

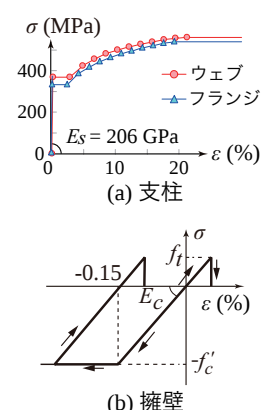


図3 材料構成則

キーワード 支柱, 防護柵, 根入れ深さ, 衝撃荷重, 衝撃応答解析

連絡先 〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 もの創造系領域 社会基盤ユニット TEL 0143-46-5228

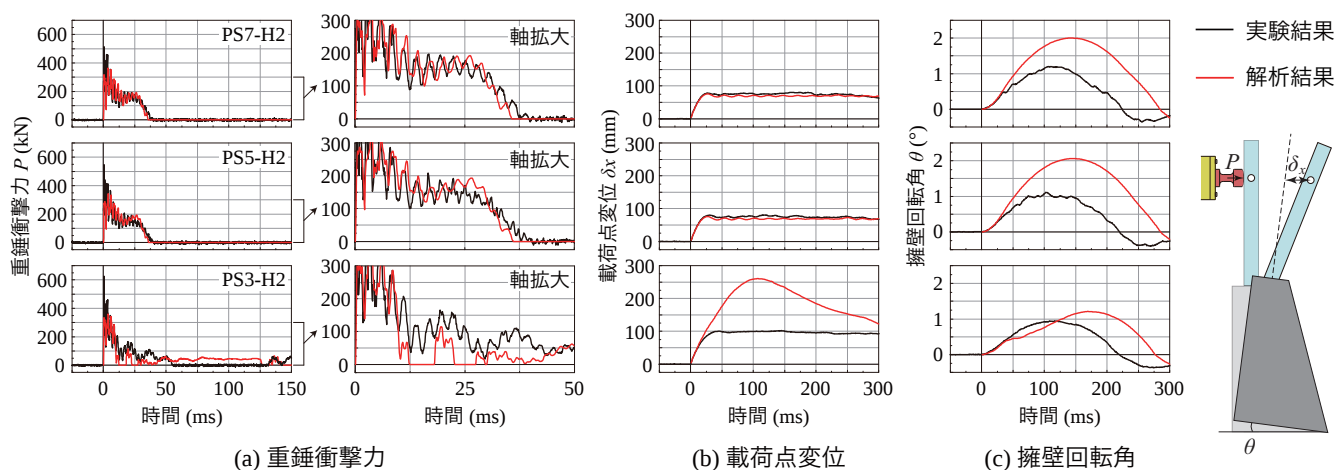


図4 各時刻歴応答波形の比較

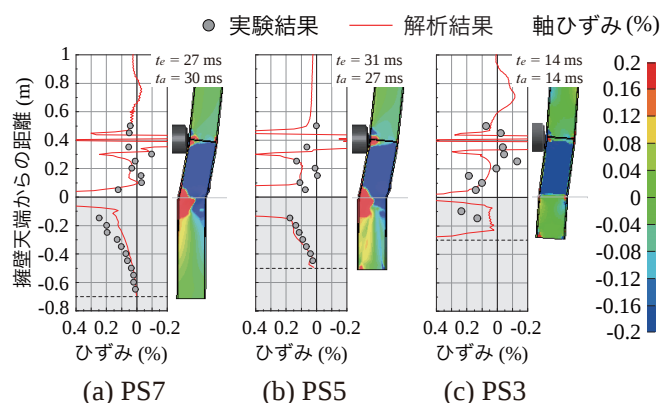


図5 荷側フランジのひずみ分布

4. 数値解析結果および考察

図4には、各試験体に関する各時刻歴応答波形を実験結果と比較する形で示している。なお、荷点変位 δ_x は、図4に示すように擁壁の回転成分を除去し、支柱基部を基準とした相対変位である。(a)図に示す重錘衝撃力波形に着目すると、PS7/5 試験体に関して、実験結果および数値解析結果はともに、衝突初期に最大値を示す第一波が励起した後に25 ms程度時点において荷重の棚が確認できる。また、いずれの場合においても、主波動の継続時間は38 ms程度である。一方で、PS3 試験体に着目すると、主波動の継続時間は実験結果と解析結果で対応していない傾向が見て取れる。(b)図に示す荷点変位波形に着目すると、衝撃力波形と対応して、PS7/5 試験体では実験結果と解析結果は概ね一致しているものの、PS3 試験体の場合には両者に差異が見られる。(c)図に示す擁壁回転角波形に着目すると、いずれの試験体の場合においても、解析結果は実験結果を若干過大に評価する傾向が確認できる。

図5には、最大変位到達時刻における支柱の軸方向ひずみ分布を実験結果と比較する形で示している。なお、PS3 試験体に関しては衝撃力の第一波が伝搬した14 ms時点の結果を示した。実験結果に関して、PS7/5 試験体の場合には根入れ端部において零ひずみに漸近している様子が見

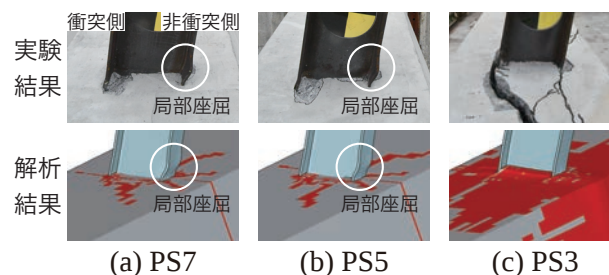


図6 支柱基部近傍の損傷状況

られ、解析結果においても同様の傾向が確認できる。PS3 試験体の場合には実験結果と解析結果に多少の差異が見られるものの、両者において根入れ端部で大きなひずみが発生している傾向は対応している。

図6には、支柱基部の損傷状況について実験結果と解析結果を比較して示している。なお、解析結果における赤色領域はひび割れ相当領域を示している。支柱基部に着目すると、実験結果および解析結果ともに、PS7/5 試験体では支柱の非荷側フランジにおいて局部座屈が生じている。一方、PS3 試験体では両者ともに局部座屈は発生していない。擁壁の損傷状況に着目すると、PS3 試験体の数値解析結果は実験結果を若干過大に評価する傾向が確認できる。以上より、これらの損傷状況と前述の軸方向ひずみ分布を考慮すると、必要根入れ深さは500 mm程度であるものと推察される。

5. まとめ

- 1) 本数値解析手法を用いることによって、根入れ深さが異なる落石防護柵支柱の耐衝撃挙動を概ね適切に評価可能である。
- 2) 数値解析結果から評価される必要根入れ深さは500 mm程度であり、実験結果と対応する。

参考文献：1) 林茂樹，小室雅人，岸徳光，瓦井智貴，近藤里史：実規模擁壁に貫通埋設させた防護柵支柱に関する曲げと共にせん断が卓越する場合の静的及び衝撃荷重載荷実験，構造工学論文集，土木学会，Vol. 68A，pp. 962-974，2022。