

載荷位置を変化させた落石防護柵支柱の根入れ深さに関する数値解析的検討

勇建設(株)
 室蘭工業大学
 室蘭工業大学大学院

正会員
 名誉会員

○林 茂樹
 岸 徳光
 高田 柊

室蘭工業大学
 室蘭工業大学

正会員
 正会員

小室 雅人
 瓦井 智貴

1. はじめに

本研究では、落石防護柵支柱の必要根入れ深さに関する基礎データの収集を目的として、載荷位置および根入れ深さの異なる防護柵支柱を対象に三次元弾塑性衝撃応答解析を実施した。ここでは、既往の研究¹⁾より提案されている数値解析モデルを用いることとし、各載荷位置における必要な根入れ深さについて数値解析的に検討を行った。なお、本解析にはLS-DYNAを使用した。

2. 防護柵支柱の概要

図1には、本研究で対象とした防護柵支柱の形状寸法を示している。ここでは、実験時¹⁾と同様に高さ2 m、幅3 mの落石防護擁壁にH形鋼支柱(H200×100×5.5×8)を天端中央に埋設することとした。表1には、数値解析ケースの一覧を示している。表より、ケース名に関しては、第一項目P*n*および第二項目d*n*は、それぞれ擁壁天端からの載荷位置(*n*×100 mm)、支柱の根入れ深さ(*n*×100 mm)を表している。載荷位置および支柱の根入れ深さに関しては、既往の研究成果¹⁾を参考に、それぞれ3ケース設定し、計9ケースの解析を実施した。なお、いずれのケースに関しても、載荷点部には局部座屈を防止するた

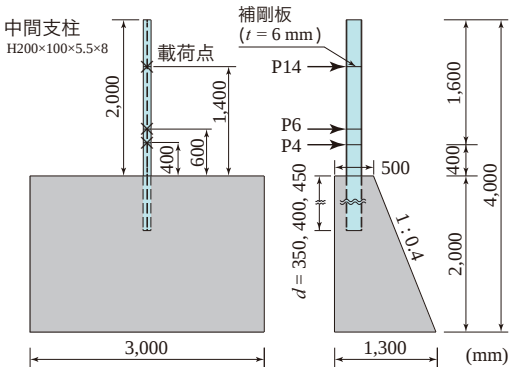


図1 試験体の形状寸法

表1 数値解析ケース一覧

No.	ケース名	載荷位置 P (mm)	根入れ深さ d (mm)	設定重錘 落下高 H (mm)	入力重錘 衝突速度 V (m/s)
1	P4-d3.5	0.4	0.35	2	6.26
2	P4-d4.0		0.40		
3	P4-d4.5		0.45		
4	P6-d3.5	0.6	0.35	2	6.26
5	P6-d4.0		0.40		
6	P6-d4.5		0.45		
7	P14-d3.5	1.4	0.35	2	6.26
8	P14-d4.0		0.40		
9	P14-d4.5		0.45		

めに、厚さ6 mmの補剛板を設置している。

3. 数値解析の概要

図2には、ケースP4に関するFEモデルを示している。本研究では、実験時の状態を可能な限り詳細にモデル化することとした。要素には全て8節点固体要素を用いている。衝撃荷重は、実験時と同様に鋼製重錘(質量:1000 kg)を振り子運動によって設定落下高 $H=2\text{ m}$ から支柱に衝突させることにより入力した。出力項目は、1)重錘衝撃力、2)載荷点変位、3)支柱の軸方向ひずみである。

境界条件は、基礎地盤としてのコンクリートブロック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とした。また、ボルトを用いて連結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。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、各部材に適用した材料構成則を示している。(a)図には、支柱に適用したモデルを示しており、材料試験結果を参考に実験時と同様の値を用いてマルチリニア型でモデル化した。降伏の判定にはvon Misesの降伏条件を用いている。密度 ρ_s およびポアソン比 ν_s は、 $\rho_s=7.85\times10^3\text{ kg/m}^3$ 、 $\nu_s=0.3$ とした。(b)図には、擁壁に適用したモデルを示しており、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、引張側は引張強度に達した段階で引張を伝達しないモデルを採用した。密度 ρ_c およびポアソン比 ν_c は、 $\rho_c=2.35\times10^3\text{ kg/m}^3$ 、 $\nu_c=0.167$ と設定した。その他の要素に関しては、全て弾性体としてモデル化し、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

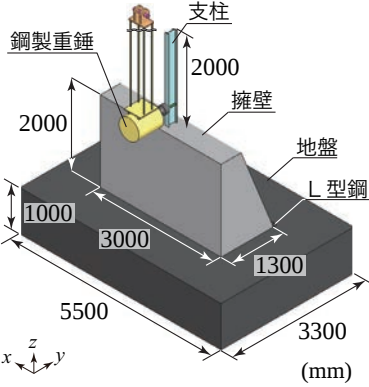


図2 FEモデル(ケースP4)

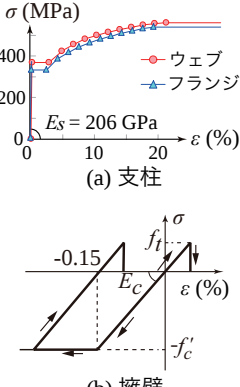


図3 材料構成則

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 〒060-0006 北海道札幌市中央区北6条西14-4 勇建設(株) TEL 011-221-0171

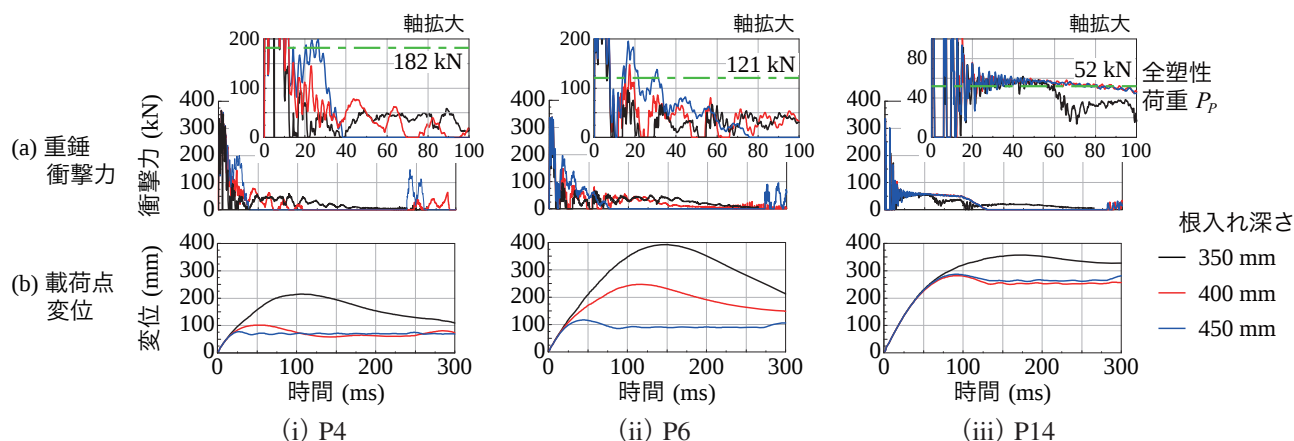


図4 重錘衝撃力および載荷点変位波形

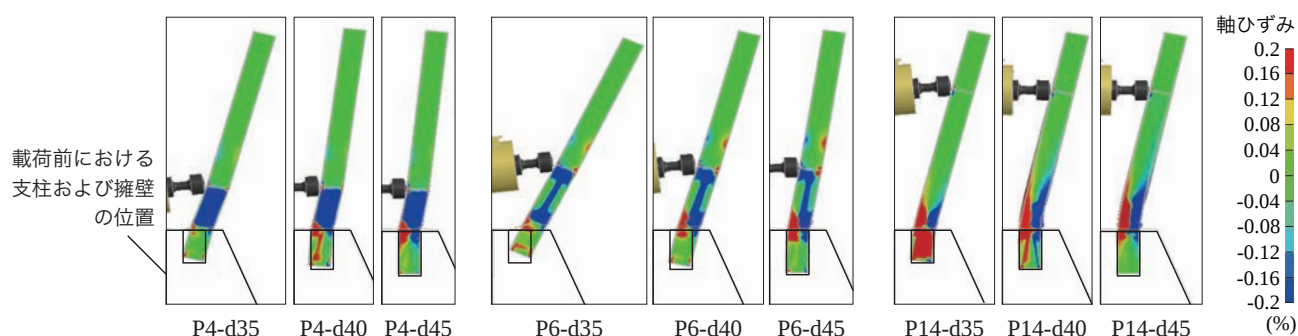


図5 最大載荷点変位到達時における支柱の変形状況および軸方向等ひずみ分布図

積で除した値を入力している。

4. 数値解析結果および考察

図4には、全ケースに関する重錘衝撃力および載荷点変位波形を比較して示している。なお、重錘衝撃力波形に関しては、軸を拡大した図を示すとともに、支柱の静的な全塑性荷重 P_p も示している。また、載荷点変位波形は、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波形を用いて整理している。

(a)図に示す重錘衝撃力波形に着目すると、載荷位置によらず載荷初期に最大衝撃力を示す継続時間が短い第一波が励起した後に、継続時間の比較的長い高周波成分を伴う三角形あるいは正弦半端の棚状の波形性状を示している。静的な全塑性荷重 P_p と比較すると、いずれの載荷位置においても、根入れ深さ $d = 450$ mm の場合には、棚状波形部と概ね対応していることが分かる。これは、根入れ深さが十分に確保されていることにより、支柱基部に塑性ヒンジが確実に形成されていることを暗示している。各ケースにおける棚部波形の継続時間に着目すると、根入れ深さの減少に対応して長くなる傾向にあることも確認できる。その傾向は、載荷位置が低く作用せん断力が卓越する場合において顕著である。これは、根入れ深さが不足している場合には、擁壁の損傷が大きくなることによって支柱の定着が十分に確保できず、支柱基部には塑性ヒンジが形成されないことを示唆している。

(b)図に示す載荷点変位波形に着目すると、根入れが不

足する場合には、載荷位置にかかわらず衝撃力波形と対応して最大変位も増加傾向を示し、減衰自由振動状態には至らない傾向にあることも確認できる。

図5には、最大変位到達時における支柱の変形状態と軸方向等ひずみ分布図を示している。図中、支柱の変形状態は、擁壁天端面を基準にして示している。また、比較のために載荷前の擁壁内支柱の設置位置も示している。

図より、載荷位置が高いP14の場合には、根入れ深さが小さい場合においても塑性ヒンジが形成される傾向にあることが分かる。これは、載荷位置が高いことによって曲げが卓越することによるものと推察される。一方、載荷位置が低いP4/6の場合には、根入れ深さが浅いことによって、支柱が剛体的に挙動している様子が見て取れる。なお、 $d = 450$ mm の場合には、載荷位置にかかわらず載荷前後で擁壁埋設部の支柱位置に差異がないことより、支柱の根入れ深さは450 mm程度必要であることが分かる。

5. まとめ

- 1) 載荷位置にかかわらず、塑性ヒンジ形成の有無は静的全塑性荷重を用いて簡易に評価できる可能性がある。
- 2) 本研究の範囲内では、支柱の根入れ深さは最低450 mm程度必要である。

参考文献：1) 竹内観月，小室雅人，瓦井智貴，林茂樹，岸徳光：根入れ深さを変化させた落石防護柵支柱に関する衝撃応答解析，土木学会北海道支部論文報告集，Vol.79，A-22，2023。