

第I部門

2024年9月6日(金) 14:40 ~ 16:00 Ⅲ A106(川内北キャンパス講義棟A棟)

衝撃(4)

座長：堀口 俊行（防衛大学校）

15:00 ~ 15:10

[I-408] 柵高が高い落石防護柵支柱に関する曲げが卓越する衝撃荷重載荷時における数値解析的検討

*林 茂樹¹、小室 雅人²、岸 徳光²、瓦井 智貴²、近藤 里史³、高田 柊⁴ (1. 勇建設株式会社、2. 室蘭工業大学、3. 株式会社砂子組、4. 室蘭工業大学大学院)

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

本研究では、防護柵支柱の根入れ深さに関する動的挙動を考慮した合理的な設計法の確立を最終目的に、柵高の高い場合に用いられる剛性の大きいH形鋼支柱の必要定着長に関する数値解析的検討を行った。数値解析は、既往の研究より提案されている解析モデルを用い曲げが卓越する比較的高い位置に落石衝撃荷重が作用する場合を対象に行った。その結果、支柱にH200×200×8×12断面のH形鋼を用い、曲げが卓越する場合における衝撃荷重載荷時の支柱の必要根入れ深さは、70mm程度として評価されること、現行設計法に基づいて求められた支柱の根入れ深さは、本数値解析結果と比較して安全側の値を与えること、などが明らかとなった。

柵高が高い落石防護柵支柱に関する曲げが卓越する衝撃荷重載荷時における数値解析的検討

勇建設(株)

正会員

○林

茂樹

室蘭工業大学

正会員

小室 雅人

室蘭工業大学

名誉会員

岸

徳光

室蘭工業大学

正会員

瓦井 智貴

(株) 砂子組

正会員

近藤

里史

室蘭工業大学大学院

学生員

高田 柊

1. はじめに

本研究では、防護柵支柱の根入れ深さに関する動的挙動を考慮した合理的な設計法の確立を最終目的に、柵高の高い場合に用いられる剛性の大きいH形鋼支柱の必要定着長に関する数値解析的検討を行った。

数値解析には、既往の研究¹⁾より提案されている解析モデルを用いることとし、曲げが卓越する比較的高い位置に落石衝撃荷重が作用する場合を対象に弾塑性衝撃応答解析を行った。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、解析モデルの形状寸法を示している。解析モデルは、北海道開発局道路設計要領を参考に、高さ3m、幅3mの落石防護擁壁中央にH形鋼支柱を埋設設置している。表1には、本研究で実施した数値解析ケースの一覧を示している。表中の第1項目の"PB"は曲げが卓越する位置に衝撃荷重を作用させることを示し、後続の数値 n は支柱の根入れ深さ($n \times 100$ mm)を表している。支柱には、柵高が4m以上を有する実防護柵の中間支柱として通常用いられているH200×200×8×12断面のH形鋼を用い、柵高を4mと設定して根入れ深さを800、700、600 mmの3種類に変化させ数値解析を行った。なお、載荷点部には、フランジの局部座屈を防ぐために、既往の

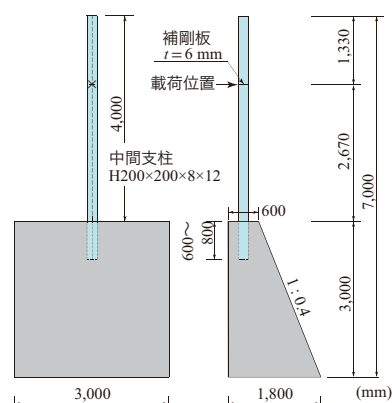


図1 落石防護擁壁および支柱の形状寸法

表1 数値解析ケース一覧

試験体名	載荷位置 P (m)	根入れ深さ d (mm)	設定重錘落下高 H (m)	入力重錘衝突速度 V (m/s)	入力エネルギー E (kJ)
PB8		800			
PB7	2.67	700	5.0	9.9	49.0
PB6		600			

衝撃荷重載荷実験¹⁾と同様に厚さ6mmの補剛板を設置している。

3. 数値解析の概要

図2には、本数値解析に用いた有限要素モデルを示している。本研究では、柵高が2mの場合を対象とする実規模実験時の条件¹⁾を踏襲して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 $H=5$ mから支柱に衝突させることにより入力した。検討項目は、1)重錘衝撃力、2)載荷点変位、3)支柱の軸方向ひずみの各応答波形、及び最大変形時における支柱の変形状態である。

境界条件は、重錘吊り下げ治具の上部をピン支持、支柱と擁壁の挙動特性を工学的に安全側で評価することとして擁壁の底部を完全固定と仮定した。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、 $\rho_s = 7.85 \times 10^3$ kg/m³、 $\nu_s = 0.3$ とした。(b)図には、擁壁に適用したモデルを示しており、圧縮側には圧縮強度に達した段階で完全降伏するバイリニア型、引張側に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、 $\rho_c = 2.35 \times 10^3$ kg/m³、 $\nu_c = 1/6$ と設定した。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。

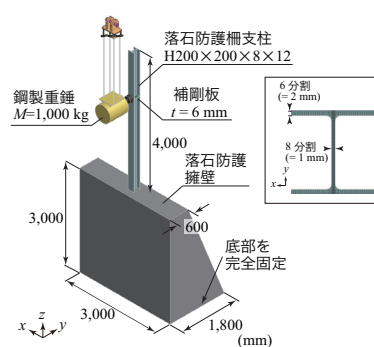


図2 有限要素モデル

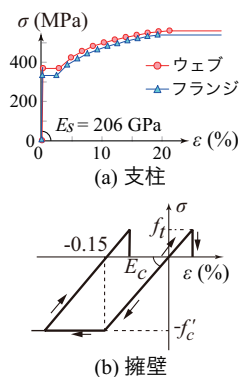


図3 材料構成則

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 〒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

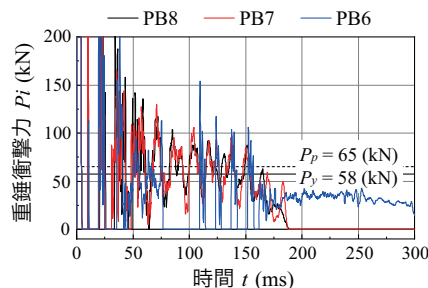


図4 重錘衝撃力の時刻歴応答波形

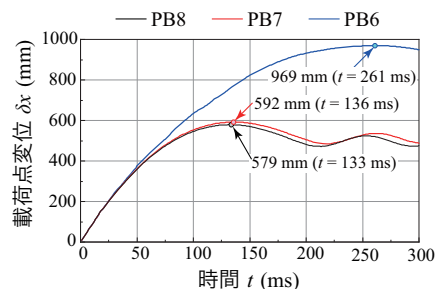


図5 載荷点変位の時刻歴波形

4. 数値解析結果および考察

図4には、重錘衝撃力の時刻歴波形を比較して示している。図には、支柱の静的な降伏荷重 P_y および全塑性荷重 P_p も示している。PB8/7 試験体の場合に注目すると、 $t = 75 \sim 150$ ms 時における正弦半波部の振幅は、全塑性荷重 P_p 及び降伏荷重 P_y と概ね対応している。一方、PB6 試験体の場合には、 $t = 50$ ms 程度以降から PB8/7 の場合とは異なる性状を示しており、 $t = 300$ ms 経過後においても除荷状態に至っていないことが分かる。既往の研究結果¹⁾から、根入れ深さが不足している場合には、衝撃力の継続時間が延びる傾向にあることが明らかになっていることより、PB6 試験体の場合には根入れ深さが十分確保されていないことが示唆される。これはまた、後述のように擁壁部に著しい損傷が生じていることを暗示している。

図5には、載荷点変位の時刻歴波形を示している。PB8/7 試験体に注目すると、重錘衝突によって支柱が同様の勾配で変形するとともに、最大変位到達後は減衰自由振動状態に至っている様子が確認できる。一方、PB6 試験体の場合には、衝撃力波形と対応して $t = 50$ ms 程度近傍までは前2試験体と同様の傾向を示しているものの、その後も増加傾向を示し、 $t = 261$ ms 時点で最大変位に到達している。ここで、支柱の擁壁天端部からの回転角を最大載荷点変位を用いて算出すると、PB8/7/6 試験体はそれぞれ 12.2, 12.5, 20.0 度として評価される。現行設計法である落石対策便覧(以後、便覧)では、支柱の吸収エネルギーは支柱が最大 15 度まで変形するものとして評価していることから、PB6 試験体の場合には便覧で規定している角度よりも大きいことが分かる。これは、支柱基部近傍の擁壁部に大きな損傷が生じたことによるものと推察される。

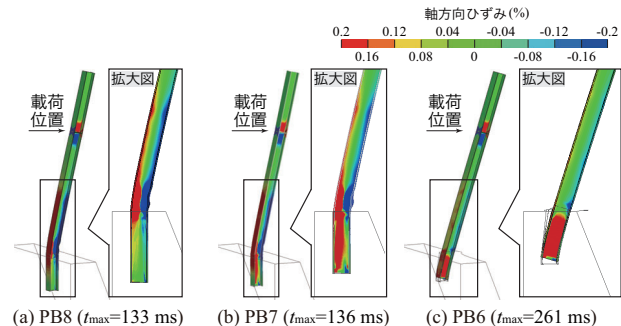


図6 最大載荷点変位発生時における支柱の変形状況と軸方向ひずみの等ひずみ分布

図6には、各試験体の最大載荷点変位発生時における支柱の変形状況と軸方向ひずみに関する等ひずみ分布図を示している。図中、基部近傍の拡大図と最大変位発生時の経過時間 t_{max} も示している。図より、埋設部に着目すると、PB8/7 試験体は類似した性状を示し、支柱基部近傍が引張領域と圧縮領域共に塑性化に至っていることが分かる。一方、PB6 試験体の場合には、基部近傍部のひずみが非載荷側フランジ部を除き 0.08 % 以下と小さい値を示し、その下方はウェブ全体が引張ひずみ状態を示しかつ塑性域に達していることが分かる。また、根入れ端部が載荷方向に傾いて浮き上がっている状態も示されている。これより、PB6 試験体の場合には、根入れが不足し擁壁の損傷も進展していることがうかがえる。

気中部に着目すると、PB8/7 試験体の場合には、支柱基部近傍が塑性ヒンジ状態に至っている。しかしながら、PB6 試験体の場合には、一部が塑性状態に至っているものの、載荷点から基部までのウェブ部のひずみ分布が PB8/7 試験体の場合と比較して小さく、かつ載荷側支柱基部と擁壁天端部間が大きく開口していることから、支柱は十分定着されていないことが分かる。これより、PB8/7 試験体の場合には根入れ深さは確保されているが、PB6 試験体の場合には不足していることが推察される。

なお、設計要領では $H200 \times 200 \times 8 \times 12$ 断面 H 形鋼支柱の根入れ深さは、便覧に即して 1 m としている。これより、現行設計法に基づく支柱の根入れ深さは、本研究結果と比較して安全側の値を与えることが明らかになった。

5. まとめ

- 1) 支柱に $H200 \times 200 \times 8 \times 12$ 断面の H 形鋼を用い、曲げが卓越する場合における衝撃荷重載荷時の支柱の必要根入れ深さは、700 mm 程度として評価される。
- 2) 現行設計法に基づいて求められた支柱の根入れ深さは、本数値解析結果と比較して安全側の値を与える。

参考文献: 1) 竹内観月, 小室雅人, 岸 徳光, 林 茂樹: 根入れ深さを变化させた落石防護柵支柱に関する弾塑性衝撃応答解析, コンクリート工学年次論文集, Vol. 45, No. 2, pp. 967-972, 2023.