

斜面上に設置された落石防止壁用杭基礎の数値シミュレーションの基礎的研究

東京都市大学大学院 学生○成田恵祐

東京都市大学大学院 国際 末政直晃 国際 片田敏行

(独) 労働安全衛生総合研究所 国際 吉川直孝 国際 伊藤和也

日鐵住金建材(株) 非 江守良介 国際 岩佐直人

基礎としており、落石防止壁系の質点は杭基礎系と同等としている。杭基礎は、比企野らの実験を実地盤換算した値(杭長 8.0m, 杭径 0.6m, 中空アルミ製の密度 2700kg/m³, EI=194816kN/m²)とした。モデル化では落石防止壁部は、3.2m, 地中にある杭基礎(1.6m)は三等分にして合計 4 質点系とした。

落石防止壁～杭基礎系のバネは片持ちばりの撓み・等価バネ定数理論を参考に用いた³⁾。この理論は、先端に質量を有する片持ち梁をバネとみなして、等価ばね定数の理論値を求めるものである。片持ち梁のひずみ δ は、

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI} \quad (1)$$

である。フックの法則より等価ばね定数 K は、

$$K = \frac{P}{\delta} = \frac{3EI}{L^3} \quad (2)$$

と表すことができる。

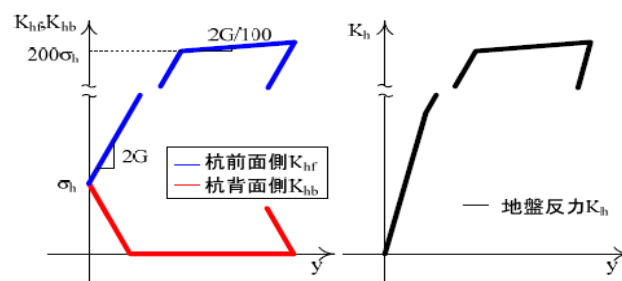


図-2 相互バネの概念図

2.2 斜面地盤系モデル

図-1 の左側が斜面地盤をモデル化した斜面地盤系モデルである。ここでは、高速道路の橋梁基礎での計算式⁴⁾を利用して斜面地盤系モデルの質量を決定した。また、斜面地盤系は、落石防止壁～杭基礎系モデルの杭基礎系質点と同じ分割数として 3 質点でモデル化した。

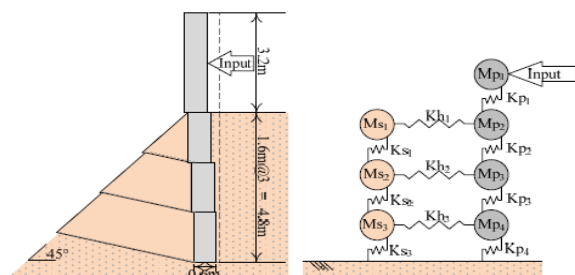
2.3 杭～斜面地盤間の相互作用ばねの算出

本研究で使用した杭～斜面地盤の相互作用バネの概念図を図-2 に示す。杭～斜面地盤間の相互作用バネ K_h は、杭前面側と杭背面側の地盤反力～変位関係(相互作用バネ)を、拘束圧 σ_h とせん断弾性係数 G の関係から(5)式のように決定した。

$$K_{hf} = \sigma_h + 2 \times G \times \delta_v \quad (3)$$

1. はじめに

我々の生活する日本で発生する落石災害は、道路寸断のように近隣住民の生活に影響を与えるだけでなく道路通行者や近隣住民が巻き込まれる死傷事故にもつながる。そのため、落石の危険が予想される場所には様々な落石対策工が施されている。一般的に落石防止壁には直接基礎が用いられているが、基礎を設置するためには支持力が期待できる地盤まで根入れしなければならず、基礎設置時の掘削作業による斜面崩壊が懸念される。このような問題点を解決する一手段として、杭基礎形式による対策工が考えられる。杭基礎形式では掘削土量が少なくなることから施工面だけではなく環境面においても期待ができる。さらに、落石発生個所である斜面上に設置できれば、落石の運動エネルギーが小さい状態で捕捉が可能となるなどの利点が考えられる。しかし、斜面上に設置された杭基礎構造物に、落石のような衝撃荷重が作用した場合の挙動については未だに明らかになっていない。そこで本研究では、載荷条件を変えた斜面上に設置された杭基礎の遠心場模型実験の結果を用いて斜面上に設置された落石防止壁用杭基礎についての地盤～杭基礎連成系の動的解析モデルを構築し、載荷方法の違いが杭基礎や地盤の応答に与える影響について検討した。



(a) 単純モデル

(b) 連成系モデル

図-1 杭基礎斜面地盤連成系モデル

2. 斜面地盤～杭基礎～落石防止壁連成系の動的応答解析

斜面上に設置された落石防止擁壁用基礎に落石が衝突する解析モデルとして、図-1 に示すような斜面地盤～杭基礎～落石防止壁連成系モデルを構築した¹⁾。

2.1 杭基礎～落石防止壁系モデル

図-1 の左側が杭基礎と落石防止壁をモデル化した杭基礎～落石防止壁系モデルである。ここでは、比企野ら²⁾の実験と同様に落石衝突部である落石防止壁も杭

キーワード 杭基礎 数値シミュレーション

連絡先 東京都市大学地盤環境工学研究室 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL 03-5707-0104

$$K_{hb} = \sigma_h - 2 \times G \times \delta_y \tag{4}$$

なお、杭前面側および杭背面側の地盤反力 K_{hf} , K_{hb} が 0 以下もしくは $200 \times \sigma_h$ 以上となる場合には、それ以降の傾きを 1/100 となるように設定した。

(3)(4)式で得られた結果を基に、相互作用バネ K_h は以下の式で与えられる。

$$K_h = K_{hf} \cdot K_{hb} \tag{5}$$

2.4 斜面地盤の塑性化の再現

本解析では、バネ質点系モデルを使って斜面地盤の塑性化を再現するために杭系質点 M_p1 の増分移動変位が復元方向への変位であった場合には増分変位無しとした。

2.5 解析条件結果

解析に使用したパラメーター一覧を表-1 に示す。入力には図-3 に示すような半波長の正弦波の振幅を変化させて 3 ケース、振動数を変化させて 1 ケースの計 4 ケースを実施した。

2.6 解析結果

応答解析結果として、杭と地盤の時刻歴波形図-4、図-5 を比較すると地盤系質点が塑性化した後に杭系質点が塑性化することを再現できた。また、地盤反力～相対変位関係を図-6 にそれぞれ示す。入力加速度を変化させた 1～3 では、杭系については振幅に応じて変位し、時間と経過とともに塑性化を起こした。また、地盤反力～相対変位関係も、入力振幅が大きいケース 3 ではスリップする挙動が見られた。

表-1 パラメーター一覧

番号		1	2	3	4
杭	質量 M_p (kg)	680	304	304	304
	剛性 K_p (kN/m)	148670	142688	142688	1141500
地盤	質量 M_s (kg)	657	1973	3328	
	剛性 K_s (kN/m)	1100	7639	19627	
相互	せん断弾性係数 G (kN/m)	1392	1392	1392	

表-2 解析ケース

ケース	1	2	3	4
周期(s)		1		60
振幅(m/s ²)	1.0	2.0	3.0	1.0

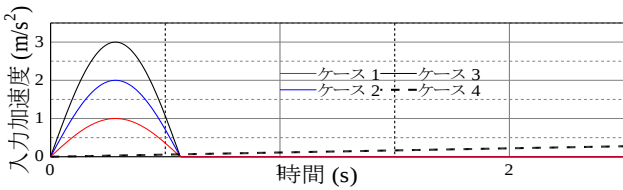


図-3 入力加速度～時間関係

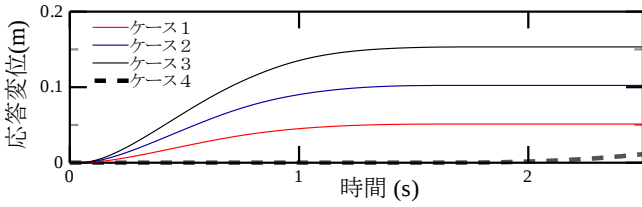


図-4 杭系質点変位～時間関係

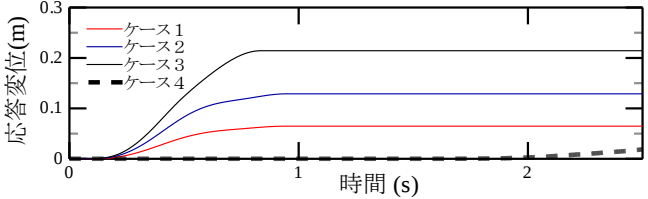


図-5 地盤系質点変位～時間関係

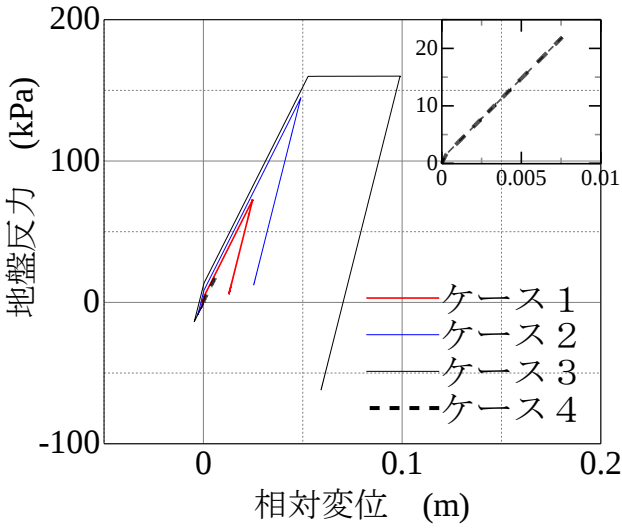


図-6 地盤反力から相対変位関係

3. まとめ

今回の数値シミュレーションでは地盤の塑性化を再現することが出来た。今後は、数値シミュレーションの条件を検討していき、斜面上に設置された落石防止壁用杭基礎の衝撃荷重や、杭と地盤の応答を推定し、設計法等に反映させていきたい。

【参考文献】

- 1) 成田恵祐：载荷方法の違いが斜面上に設置された落石防止壁用杭基礎の吸収性能に与える影響，第 48 回地盤工学研究発表会
- 2) 比企野将司：斜面上に設置された落石防止壁用杭基礎の耐衝撃性に関する遠心模型実験，東京都市大学修士論文，2012
- 3) 山内庄司：機械力学抗議ノート，pp. 6-3~10，2011
- 4) 日本道路公団：設計要領第 2 集，pp. 6-63~69，1979(1986 一部改