

斜面上の杭の水平載荷試験結果のシミュレーション

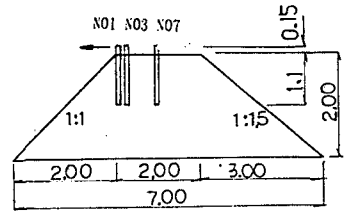
鉄道総合技術研究所 正会員○池内久満 正会員 村田修
東日本旅客鉄道株式会社 正会員 谷口善則

1. はじめに

斜面上または斜面近傍に杭基礎を設置する場合においては斜面の影響を考慮する必要がある、特に水平方向においては、その影響は大きいものと考えられる。この問題を検討するために、模型盛土に設置した模型杭で水平載荷試験を行った。この結果について地盤の塑性化等を考慮した2, 3のモデルに基づくシミュレーションを行うことにより斜面上の杭基礎の水平支持力性状の解明を試みた。

2. 試験の概要

試験は図1に示すように稻城砂により構築した模型盛土に杭を設置し、盛土の斜面(1:1)側に向け水平載荷試験を行っている。盛土の高さは1.5m、幅3.5mであり、杭は外径0.1m、地中部長1.1mのアルミ管杭である。試験した杭は3本であり、その内訳は、斜面肩に杭の外径が接したものの(N01)、0.2m離れたもの(N03)及び0.95m離れたもの(N07)である。載荷点は地表より0.15m上の杭頭部で行っている。



[側面]

3. シミュレーション

3.1 地盤条件等

解析の前提となる条件を表1に示す。ここで内部摩擦角は三軸圧縮試験(CD)によるものであり、粘着力は斜面が45度であることから、0.1kgfを仮定した。また水平方向地盤反力係数(以下k値と呼ぶ)は

$$k_h = 0.2 \alpha E_0 D^{-3/4} \quad \dots (1)$$

ここで k_h : k値, α : 補正係数, D : 杭径,

E_0 : 三軸圧縮試験等により求めた変形係数

により求めた¹⁾。

3.2 解析方法

本解析では地盤の塑性化がk値に及ぼす影響、およびk値の歪依存性を考慮する。このため、k値が深さ方向に連続的に変化する解析を行う必要がある。本解析では、地盤を適当なn個の層に分割(1つの層ではk値は同じ)することにより、この深さ方向の変化を層間のk値の違いにより近似するという方法をとった。

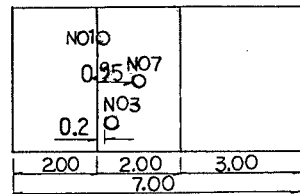
3.3 数値解析モデル

シミュレーションは、載荷履歴のない骨格曲線をシミュレートするものとし、解析モデルは、以下の3種(名称は、本論文での仮称)とした。

(1) 塑性限界約合法

分割層毎に変位を計算し、変位とk値の積として定まる地盤反力度が地盤反力度の上限値(受動土圧力度)を越えた区間において、地盤反力度が上限値となるまでk値を低減する。この場合、計算は繰返しによる収束計算となり、収束の許容は5%とした。

受動土圧は、すべり面を平面とする土楔の抵抗力として求めた。土圧の抵抗幅は、図2.2.8のように、杭径から $30^\circ + \phi/3$ の分布を考え、この平均幅とした。



[平面]

図1 模型試験の概要図

表1 地盤条件等

内部摩擦角	33度	粘着力	0.1kgf/cm ²
土の単位体積重量	1600kg/m ³		
水平方向地盤反力係数	2.3kgf/cm ²		
杭先端	回転バネ	せん断バネ	5.6×10 ⁴ kgf/cm
端			3.0×10 ³ kgf/cm
杭	外径 0.1m	内径 0.09m	
	弾性係数	7.17×10 ⁵ kgf/cm ²	
	断面2次モーメント	1.7×10 ² cm ⁴	

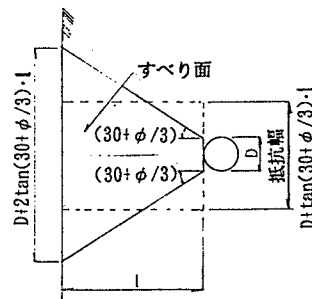


図2 受動土圧の抵抗幅

(2) 歪依存・塑性限界釣合法

地盤の塑性化の考慮とともに k 値のひずみ依存性を考慮する。
すなわち、① k 値とひずみ δ の関係を次式とし²⁾、

$$k_h = k_0 \delta^{-1/2} \dots \dots (2)$$

ここに、 k_0 は(1)式による。

この k 値を繰返しによる収束計算で求める。（収束の許容 5 %）

②次に解が収束した段階で、地盤反力度が受動土圧力度を越える区間においては、さらに k 値の低減を(1)と同様の方法で行う。
③ ①②を繰返し、全体が収束するまで計算を行う。

(3) 単純弾性床法

k 値の歪依存性および、塑性域の発生による k 値の低減を考えない。したがって、均一地盤と考えられる本試験においては、層分割の必要はない。

3.3 シミュレーション結果と考察

シミュレーション結果を図3に示す。図で、○、●、□は実測値を示しており、線はシミュレーション値を示す。塑性限界釣合法（図中破線）、歪依存・塑性限界釣合法（図中実線）において分割数は地中部9とした。（これ以上としても、値はほとんど変わらない）

- ① 特に小変位領域においては、歪依存・塑性限界釣合法は試験結果を精度よく再現している。これに対し、塑性限界釣合法は実際の変位より大きな値となる。
- ② 杭7における、4 cmを越える大変位の領域では、実際の変位に前記両法とも追従出来ず、実際の変位より小さい変位となっている。この場合でも、歪依存・塑性限界釣合法は塑性限界釣合法に比べてより実際の変形に追従していく傾向があり、載荷1000kgfを越える段階では、塑性限界釣合法の値と逆転し試験結果により近づく傾向が伺える。なお、杭7において、大変位の領域において、よい近似が出来ない理由として、載荷順序がN01, N03, N07の順に行っており、N07の杭の載荷時において、地盤が一部塑性化（N01, N03杭部）していた可能性も考えられる。
- ③ 図には土圧に関係のない単純弾性床法の値を記してあるが（図中点線）、当然のことながら、この方法は実際の変位をえすことができていない。別の表現をすると、この方法では、斜面からの離れが違うN01杭, N03杭, N07杭の変形を差別化出来ない。
- ④ ③とは逆に、塑性限界釣合法、歪依存・塑性限界釣合法はN01杭, N03杭, N07杭の変位を、差別化して表現している。これは、地盤反力度に上限値を設け、これを斜面と関連した受動土圧として規定したことの結果にほかならない。

(5) まとめ

杭の水平載荷試験の数値解析により以下のことが分かった。

- ①斜面上の杭の水平支持力性状の解析には、「地盤の塑性化の影響」と「 k 値のひずみ依存性」を並列で考えることができ、このことは現実の変形を数値計算で模擬する上で有効である。
- ②このうち斜面の影響を表すものは、「地盤の塑性化の影響」である。

なお、地盤が塑性化する境界点となる受動土圧の算定方法については、今後さらに検討する必要があると考える。

[参考文献]

- 1) 日本国有鉄道：「建造物設計標準解説 基礎構造物」，昭和61年3月
- 2) (社) 日本道路協会：「道路橋仕方書・同解説」，昭和55年5月

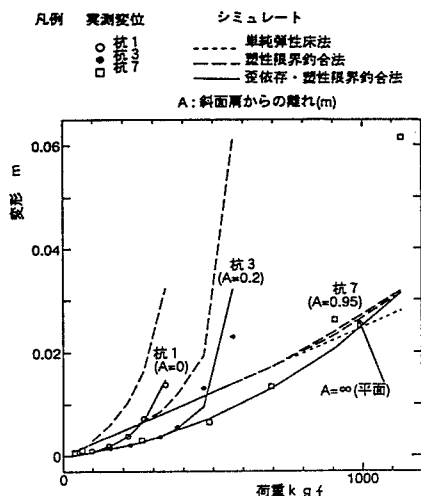


図3 模型試験のシミュレーション