

建設省 土木研究所 ○ 右近則男 仲野公章
 兵庫県土木部砂防課 五十君巨弘 森岡 進
 神戸土木事務所 畠田徹夫 近藤健二

1. 諸言

急傾斜地崩壊防止工事において土留柵工等表層崩壊防止を目的として短杭を用いるケースが増加している。しかし、地すべり防止等に用いられる比較的長大な杭とは違い、短杭の機能に関する解析や経験的知識は少ない。本報告では、兵庫県神戸市にある大阪層群の礫層からなる傾斜地において実施した長さ2、3 mの短杭の水平載荷試験結果をもとに、傾斜地盤上の短杭の挙動の解析法および崩壊防止機能についての検討結果を述べる。

2. 試験概要

試験に用いた杭材は、H形鋼(12.5×12.5×6.5×9)であり、杭の設置はφ50 mmのボーリング孔をφ=300 mmに拡孔した後、H形鋼を垂直に挿入しモルタルを注入した。載荷試験は根入れ長(1、2 m)と前面土被り厚(0.5 m、1.0 m)を変え、合計4ケース実施した。また、φ50 mmのボーリング削孔時に孔内水平載荷試験を実施し、地盤反力係数(K値)を測定した。各ケースの杭および地盤の概要を図-1に示した。

水平載荷試験にあたっては載荷水平力、杭および地盤の変位および杭材のひずみを測定した。測定位置は図-2に示すとおりである。載荷パターンは地山からの土圧を想定し、一方向載荷とした。載荷ステップは17毎で、載荷速度は増荷時で0.5 t/分、減荷時には1 t/分とした。

3. 試験結果

(1) 杭および地表面変位

図-3にNo2およびNo4杭における各載荷ステップ開始時の杭および地表面の変位状況を示した。荷重と変位の関係は明らかに非線形性を示しており、その傾向は根入れ長の短いNo.2 (No1も同様)の杭で顕著である。概ね弾性的挙動とみなせる荷重レバ

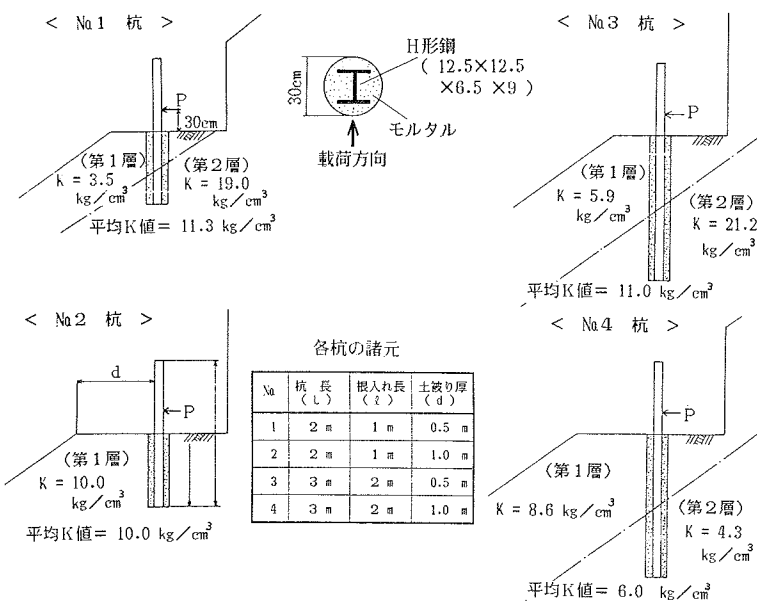


図-1 杭および地盤の概要

ルは、No1, 2で約1tf, No3, 4で約2tfであった。

(2) 杭の水平抵抗力

杭の降伏値 (P_y) および極限耐力 (P_u) を評価するために荷重と変位の関係を両対数にプロットしたものを図-4に示した。プロットは各載荷ステップ開始時の値である。これによると降伏値はNo1, 2の杭では推定できず、No3, 4の杭で2~3tfであった。また、極限耐力はNo1, 2の杭で2~3tf, No3, 4の杭で5~6tfであった。一方、杭材の応力ではNo1, 2の杭はいずれも許容応力に達せず、No3, 4の杭では水平力6tfで許容応力、最大荷重載荷時に極限応力を越えている。したがって、No1, 2の根入れの短い杭の耐力は地盤の強度により強く依存していることがわかる。これらの杭については、地盤の破壊の領域が深部にまでおよび、杭の固定度が減少し杭が下端をヒンジとして前に倒れるような破壊形態が想定される。一方、No3, 4の杭では杭の挙動から見た極限耐力と杭材の破壊応力度がほぼ同じ載荷重のときに発生しており、一般の長い杭で言われるような杭の水平耐力が部材の強度に依存する傾向を示している。

4 挙動解析

水平地盤上の単杭の水平載荷時の挙動を解析する手法は、一般に地盤反力のとり方によって極限地盤反力法、弾性地盤反力法および弾塑性地盤反力法の3つに分類される。今回は、弾性地盤反力法として線形のChangの式¹⁾と非線形の今井の方法²⁾および弾塑性地盤反力法として高速道路調査会の方法³⁾をとりあげて杭の挙動解析を行ない、載荷試験との比較により傾斜地盤上の杭の解析への適用性を検討した。

(1) 杭の変位

実測値および各計算式から求めた杭頭変位と水平力との関係を図-5に示した。実測値の荷重～変位曲線はクリープ変位を差し引き滑らかな曲線でフィッティングさせてある。したがって、荷重単調増加時の $P \sim y$ 曲線と同等な曲線である。図-5によれば、各杭とも初期の小さな変位段階では解析値と実測値の差は小さいが、変位が大きくなり塑性変位が増大するに従って差が大きくなる。特

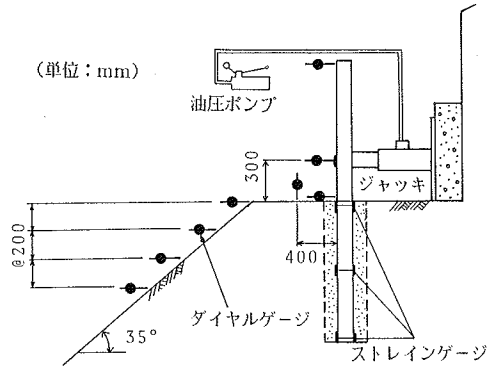


図-2 各種計測器の設置位置

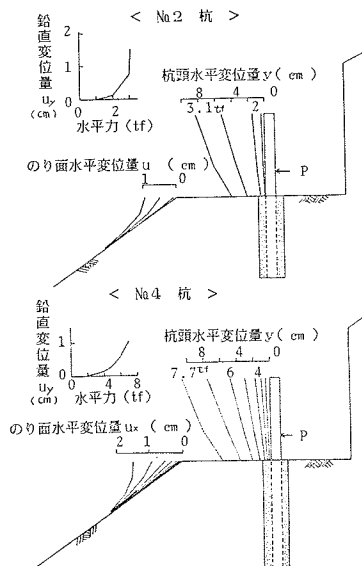


図-3 杭および地表面変位状況 (No2, No4杭)

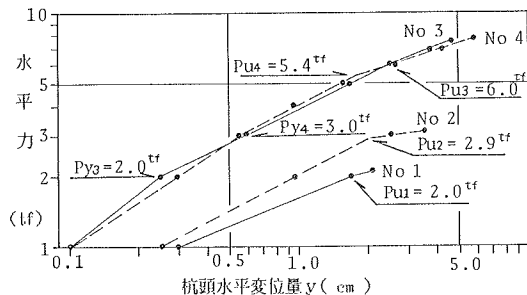


図-4 $\log P \sim \log y$ の関係

に、線形弾性地盤反力法に基づく解析法(Changの式)では、 P と y が直線関係にあるためその傾向が大きい。今井の方法による $P \sim y$ の関係は、非線形を考慮している解析法の特徴を反映して非線形な杭の挙動を表現しているものの実測値との適合性は良くない。また、弾塑性地盤反力法(高速道路調査会の方法)による計算では根入れの長いNo.3, 4の杭では比較的良く $P \sim y$ の関係を表現しているものの他の杭での適合性は良くない。

(2) 曲げモーメント

各杭の曲げモーメントの実測値と解析値とを比較したものを図-6に示した。解析手法はChangの式および高速道路調査会の方法によった。なお、地盤反力係数(K 値)および地盤の強度定数(C, ϕ)は土質試験結果を用いた。No.3, 4の杭では実測されたモーメント(ひずみから計算)の分布は低い荷重レベルでは地表部に最大曲げモーメントを生じており、極限荷重段階に近づくにつれて、地表面から下の方へ移動していく。Changの式による計算値と実測値とを比較してみると、低い荷重レベルでの値はほぼ同程度であるが分布の形は異なる。しかし、荷重が増大し極限荷重は近になると最大モーメントの位置、大きさとも良く一致している。高速道路調査会の方法による計算値の分布形はChangの式とほぼ同じであるが、地表面から順次塑性化してい

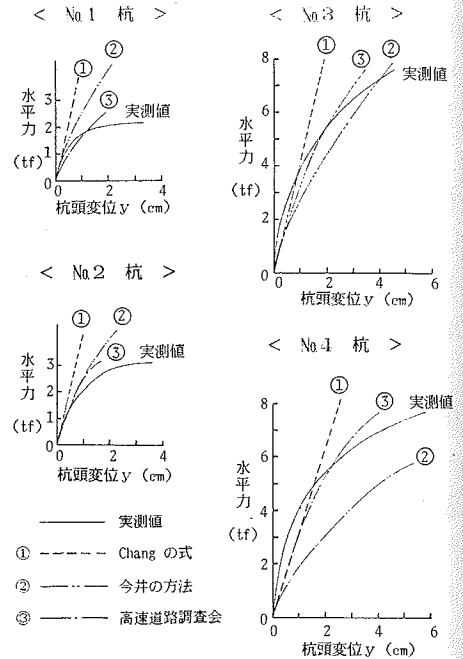


図-5 杭頭変位の実測値と計算値の比較

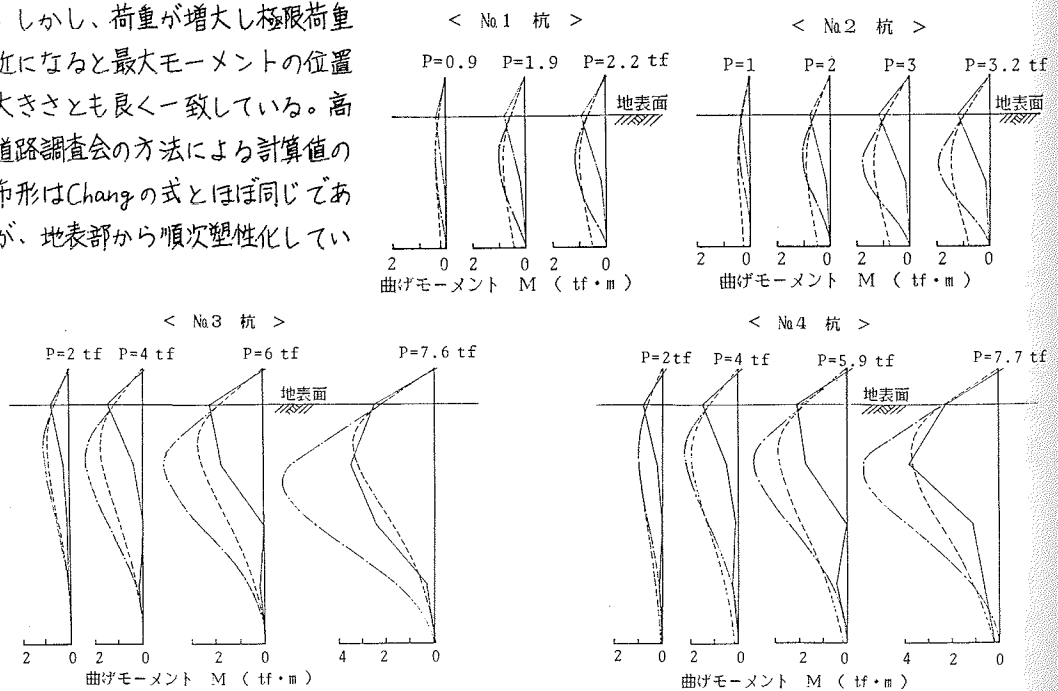


図-6 杭の曲げモーメント

