

斜面上杭の杭頭変形に関する一考察

宮崎大学工学部 (学)○加々良直樹
(正) 横田 漢

石橋 徹也
今井富士夫

1. まえがき

斜面天端に打ち込まれた杭に水平荷重が作用する場合、杭の水平支持力は、杭前面の地盤が有限長であるため、水平地盤に打ち込まれた杭の場合に比べて低下すると考えられる。しかし、斜面の形状などが水平支持力の低下にどのように影響するかについては十分には解明されていないため、現在、斜面上杭に対して有効な設計指針がなく、ケーソンタイプの大口径深礎杭の示方書によって設計されているのが現状といえる。本研究は、斜面上杭基礎の施工現場における水平載荷試験とFEM解析により、設計値の検証を行い、さらに斜面法肩から杭までの水平距離Hが水平地盤反力係数に与える影響をFEM解析により求め、斜面上杭基礎の設計に対する一つの目安を得たものである。

2. 載荷試験とFEMモデル

水平載荷試験を行った現場の概要は次のようである。杭は盛土地盤に打設されたものであるが、原地盤は3層の地層(岩盤、砂レキ、ローム層)からなっている。盛土地盤は地表面より深さ3m付近においては、 $\phi 20 \sim 75$ mmの砂岩片が主体で、表面付近には $\phi 75 \sim 200$ mmのものが多くみられる。3m付近より原地盤までの間は、主に $\phi 5 \sim 50$ mmの粘板岩片により構成されている。杭は盛土法肩より4.5mの位置にあり、杭長は17.5mで逆T型擁壁支持用である。

2-1 載荷試験

斜面上杭の1本を試験杭、隣接するもう1本を反力杭とし設計荷重20tfを載荷した。試験杭は杭径 $\phi = 700$ mm, 杭長 $L = 17.5$ m, 肉厚12mmの鋼管杭を用い、その杭に深さ4.75mまでに6個の土圧計をセットし、また、ひずみゲージを試験杭の斜面側に15個セットした。荷重-杭頭変位曲線を図-1に示す。図-2は杭頭に水平荷重8tfと16tfが作用した場合の土圧分布を表すものである。

2-2 有限要素法による数値解析

斜面の形状は、傾斜角 45° 、天端長 $H = 4.5$ m, 法高 $L = 10$ m 杭幅 $= 0.4$ mであり、杭および斜面は、2次元弾性体、杭の背後の地盤は弾性バネとする。地盤のヤング係数 E_0 はN値のピーク値の平均を用いて、 $E_0 = 28$ N $= 1000$ kgf/cm 2 とした。しかし、地表面近傍では地盤の塑性変形のため変形が大きくなるため、弾性係数を低下させ $E_0 = 10$ kgf/cm 2 (深さ1mまで)としている。

杭の弾性係数 E_p については、 $\phi 700$ mm中空鋼管断面の曲げ剛度 $E_2 I_2$ が幅400mmの長方形実断面の疑似杭の曲げ剛度 $E_p I_p$ に等しいという考えより、疑似弾性係数 $E_p = 6 \times 10^5$ kgf/cm 2 と設定した。また、杭背面のバネ定数については弾性係数換算で、①深さ1mまで $E_0 = 10$ kgf/cm 2 (M1モデル)、②深さ2mまで $E_0 = 0.0$ kgf/cm 2 (M2モデル)という2つのモデルを設定している。

図-1にFEM解析による荷重-杭頭変位曲線(実線)を示す。図-1より、M1は水平荷重が小さい範囲におけるモデルを表し、またM2は荷重の大きい領域の解を

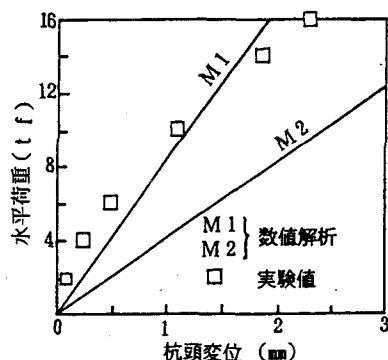


図-1 水平荷重と杭頭変位の関係

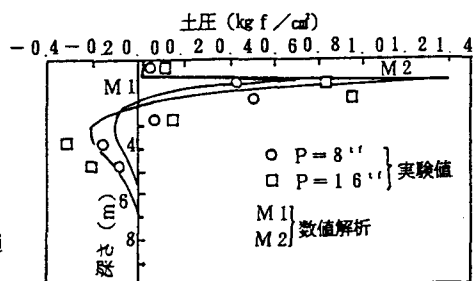


図-2 土圧分布

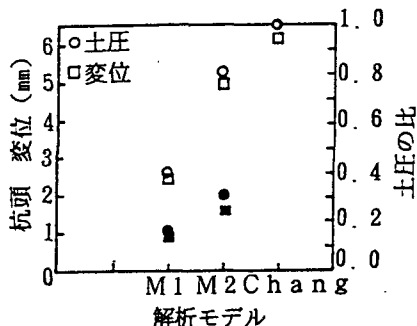


図-3 数値解析

与えるものといえよう。図-2に水平荷重16tfに対する土圧分布(実線)を示す。両モデルとも土圧分布は実験値に大体合っている。しかし最大土圧に関しては、M1は小さめであり、M2は大きめとなっている。したがって、ここではM1解とM2解の間で解析結果を考えていけばよいといえる。

杭頭に20tfの設計力が作用する場合の杭頭変位と最大土圧の値を図-3に示す。なお、ここではM1, M2のモデルの他に杭上に擁壁が建設された状態を考慮して、擁壁底版による地表面の鉛直変位拘束条件を入れたモデルとしてM1', M2'モデルをつけ加え、これらの解を設計値であるChangの解とともに示している。最大土圧はChangの解に対する比で表しているが、Changの解は杭頭変位および土圧ともに最大であり、また、変位は許容変位量(10mm)以下であるので、杭は擁壁の完成後、安全であるといえよう。

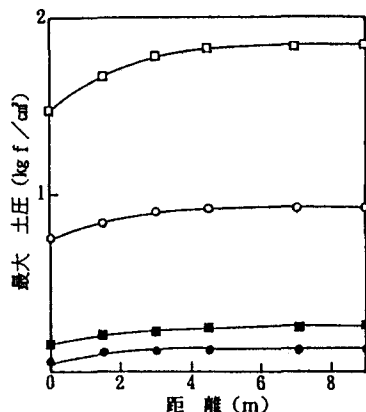


図-4 最大土圧と距離の関係

3. 地盤反力の低減率を考慮した設計曲線

杭頭に水平力 $P=20\text{tf}$ が作用する場合、距離 H を変化させた時の土圧と杭頭変位を求め、結果をそれぞれ図-4、5に示す。弾性係数は図-3と同様に $E_0=1000\text{kgf/cm}^2$ であるが、変位は距離 H の増加に伴い減少し、土圧は増加している。距離 H がおおよそ6m以上の場合、変位、土圧ともほとんど一定値となっており、水平地盤中の杭の解と同じであるとみなすことができる。したがって、 H が6m以下の場合には斜面の影響を考慮して設計する必要がある。図-4の最大土圧とそれに対応する杭の変位より地盤反力係数 k を種々の H に対して求め、図-6に示す。なお、同図では $H=9\text{m}$ の場合の地盤反力係数 k に対する割合で表現されており、また、 $E_0=1000\text{kgf/cm}^2$ の他に $E_0=100\text{kgf/cm}^2$ の解もあわせて示されている。 H に対する地盤反力係数の低減率は、 E_0 が小さいほど大であるが、 $E_0=1000\text{kgf/cm}^2$ のときは低減率はモデルの違いもこめて最大で7~8割程度、 $E_0=100\text{kgf/cm}^2$ で5~6割程度であるといえる。図-5を用いれば、斜面上の杭基礎は地盤反力係数の低減率を考慮することにより、水平地盤中の杭と同様に設計できることになる。

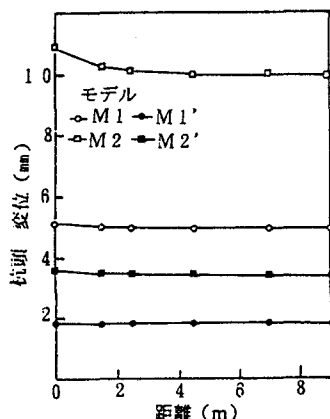


図-5 杭頭変位と距離の関係

4. あとがき

載荷試験結果とFEM解析により、斜面上杭に対する水平地盤反力係数を与える設計曲線を得ることができた。これによれば水平地盤中の杭と同様な設計手法で、設計する事が可能になったといえる。しかしながら、本設計曲線は斜面傾斜角が 45° で杭長が10mの場合のものである。

さらに、杭背面のバネの処理など解決課題も多い。また、数値解析手法として、現在、有限要素法と境界要素法との結合法による解も検討中である。併せて今後の課題とするところである。

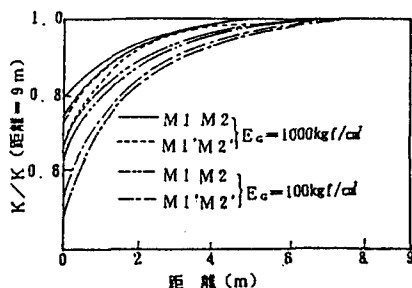


図-6 地盤反力係数の低減率

参考文献

- 1) 傾斜地盤上の杭基礎に関する研究/建設省土木研究所
- 2) 「道路橋示方書: 同解説IV下部構造編」/日本道路協会