

斜杭式栈橋工法に関する基礎的な実大実験 (その5) 斜組杭の水平載荷実験および自由振動実験

竹中工務店 正員 木村 玄 大木 紀通 西中川 剛 川原田 稔 戸塚 康昭
 犬飼 伴幸 濱田 純次
 竹中土木 正員 河原林 英彰 奥村 良介 鳥取大学 正員 上田 茂

1. はじめに

合理的な栈橋構造形式として、全ての杭をPHC杭による斜杭としてPCaコンクリート製のフラットスラブと組み合わせた斜杭式栈橋工法を開発し、その施工性を実証するための実海域施工実験を実施してきた¹⁾。ここでは、施工実験において設置した斜組杭を用いて水平載荷実験および自由振動実験を実施した結果について報告する。

2. 実験概要

実験の対象とした斜組杭の配置を図-1に示す。水平載荷実験では、大型のクレーン船をアンカーにて固定して同船に艀装されているウインチを用いて、ワイヤーにて斜組杭の強軸方向(X方向)に牽引し、荷重を載荷した。さらに、杭頭部とワイヤーの間にロードセルを配置して載荷荷重を、隣のSC斜組杭を不動点として変位計により杭頭部の変位を、PHC杭製作時に取り付けした歪みゲージにより杭に生じる応力を、各々測定した。なお、実験当日の昼頃に降雨のため一旦変位計をゼロクリアしたため、実験を午前と午後に分けている。次に、振動実験では携帯型振動計を用いて、常時微動および小型作業船を杭頭部に当てて、その際に生じる自由振動の速度波形を測定した。

3. 水平載荷実験結果

水平載荷重の時刻歴(午前)を図-2に示す。クレーン船の動揺などにより載荷重を一定値にホールドすることは難しかったが、同図に示すように約200(kN)毎の段階載荷とした。最大で約872(kN)(午後)まで載荷したが、これは自重(杭頭部+スラブ)のみの換算で栈橋の設計震度0.2程度に相当する。

図-3に水平載荷重とX方向水平変位の履歴を示す。大きな荷重が載荷される毎に残留変位が生じているが、勾配(水平剛性)はほぼ一定である。この載荷重では杭は弾性範囲であることから、残留変位の累積は地盤の塑性変形に起因するものと考えられる。また、図中の点線はこれまで実施してきたバネマスモデルによる線形解析結果(NASTRAN)であるが、実験と良く一致しており、解析モデルの妥当性が検証できたといえる。

水平、鉛直荷重を受ける斜組杭の軸力を、簡便には杭の軸方向支持力のみを考慮した算定式によって求めることが出来る²⁾。そこで、同算定式に実験条件を代入して整理すると、

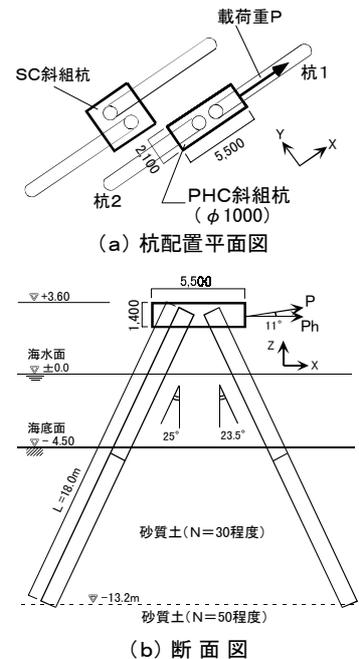


図-1 斜杭配置

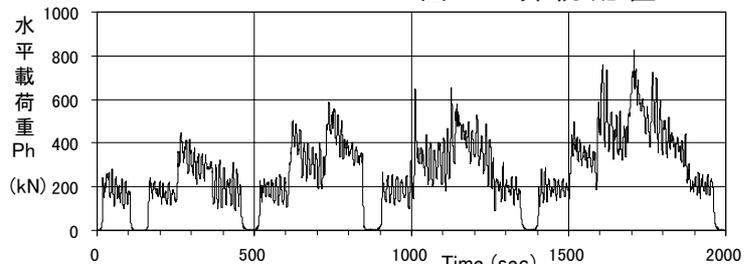


図-2 水平載荷重Phの時刻歴(午前)

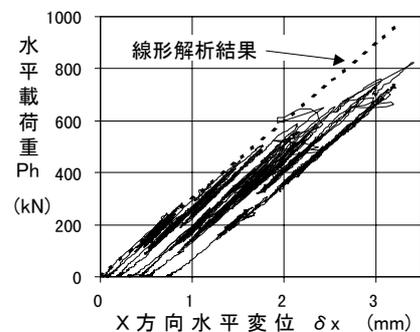


図-3 水平載荷重PhとX方向水平変位 δx の履歴

キーワード：斜杭，栈橋，段階載荷，自由振動

押し込み側杭の軸力 $P1 = 1.10 Ph$, 引抜き側杭の軸力 $P2 = -1.33 Ph$ (Ph : 水平載荷重) の関係を得る。図 - 4 に歪みゲージより推算した杭頭部の軸力と水平載荷重の関係を示す。押し込み側杭, 引抜き側杭ともに算定式の関係に良く一致しており, 実験の斜組杭においても同算定式で軸力を評価できることが確認できた。

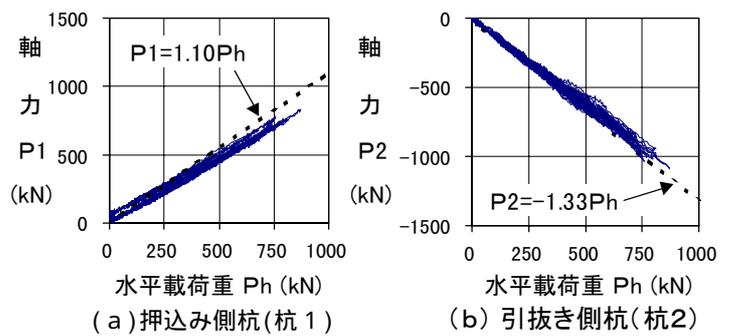


図-4 杭に生じる軸力と水平載荷重の関係

実験では杭頭部に若干のモーメントが生じていた。図 - 5 に最大水平荷重時(午後)のモーメントの状態を示す。押し込み側杭で $M1 = 280.3(kN \cdot m)$, 引抜き側杭で $M2 = 129.4(kN \cdot m)$ のモーメントが測定された。これは, クレーン船と杭頭部のレベル差のため僅かながら上方に牽引したことから, 載荷重に含まれる鉛直成分 p_z により杭頭部が回転したものと考えられる。 $M1+M2 = 409.7(kN \cdot m)$ に対して, 載荷重の鉛直成分 $p_z = 171.5(kN)$ により杭頭部に生じるモーメントは $M_z = 471.6(kN \cdot m)$ となり, 両者は概ね一致している。尚, フラットスラブと一体となった斜組杭の場合はこのような杭頭部の回転は生じないと考えられる。

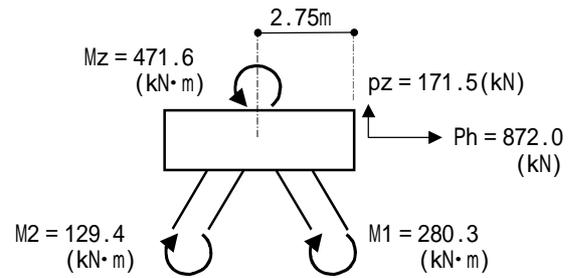


図 - 5 最大水平荷重時(午後)のモーメント状態

最後に, 実験で杭頭部に生じた最大応力(圧縮)は押し込み側杭で $c = 6.3(N/mm^2)$, 最小応力(引張)は引抜き側杭で $t = -4.7(N/mm^2)$ であった。これに, 杭のプレストレス力および杭頭部の自重を考慮すると, 杭頭部に生じる最大応力 $max = 14.9(N/mm^2)$, 最小応力 $min = 3.9(N/mm^2)$ となる。コンクリートの許容圧縮応力 $40(N/mm^2)$ より小さく且つ引張りは生じていないことから, 斜杭構造の水平耐力を確認できたといえる。

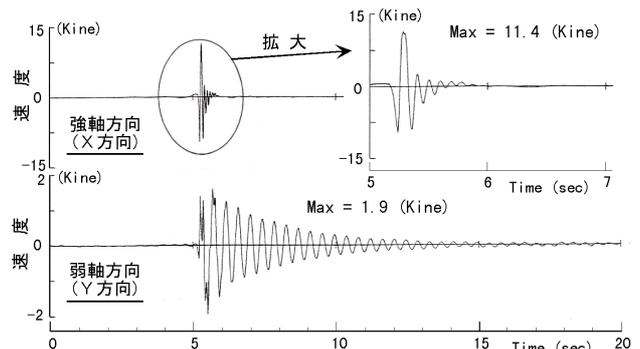


図-6 斜組杭の自由振動波形

4. 自由振動実験結果

杭頭部の減衰自由振動時刻歴速度波形を図 - 6 に, 測定結果を表 - 1 に示す。弱軸方向は通常の直杭と概ね同じ様な振動特性と考えられる。それに較べて強軸方向は固有振動数は高く, 減衰は大きくなっている。これは, 強軸方向では杭の軸方向振動による地盤との相互作用効果のため地盤への逸散減衰が大きいこと, などの要因が考えられ, 弱軸方向とは杭と地盤との相互作用の仕方が異なっていることを示唆している。また, 2方向の剛性比は約1.8となり, 斜杭構造は強軸方向に高い剛性を有することが確認できた。

表 - 1 振動実験結果 (固有振動数と減衰定数 h)

	強軸方向 (X方向)	弱軸方向 (Y方向)	剛性比 (K_x/K_y)
常時微動	10.1 Hz (0.099 sec)	2.45 Hz (0.41 sec)	17.0
自由振動	10.3 Hz (0.097 sec) $h = 8\%$	2.38 Hz (0.42 sec) $h = 2\%$	18.7

5. まとめ

今回の実験により, PHC 斜組杭構造の解析方法および軸力算定方法の妥当性を検証するとともに, その水平耐力を確認できた。さらに, その強軸方向, 弱軸方向の振動特性を把握できた。これらの知見を, 設計法, 施工法の確立に活用していく予定である。尚, 本実験は港湾 PCa 研究会 (竹中工務店, 竹中土木, 日本コンクリート工業, 前田製管) で計画・実施したものである。また, 実施においては森長組に多大なご協力を頂いたことを感謝致します。

- (参考文献) 1) 川原田ら: 斜杭式棧橋工法および実海域打設実験, 第 15 回海洋工学シンポジウム, 2000
2) 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, pp.474, 1999