

斜杭式栈橋のプッシュオーバー解析

鳥取大学工学部
(株)日立造船

FEI-会員 上田 茂
正会員 横山 竜治

(株)竹中工務店 正会員 濱田 純次

1.はじめに

平成 11 年 4 月、港湾施設の技術上の基準改定に伴い、直杭式栈橋の設計法において保有水平耐力による耐震性能照査法が導入された。その後、斜杭式栈橋においても同等の耐震設計法導入の検討が要請され、斜杭式栈橋の模型振動実験、静的解析、動的解析など一連の研究がなされてきている。

斜杭式栈橋は、斜杭の引き抜き抵抗が保持できなくなった後、杭に発生する外力、破壊過程など、栈橋全体の崩壊といったメカニズムが複雑である。そこで、今回は模型振動実験で用いた実験模型をプロトタイプ換算した解析モデルを用いて弾塑性プッシュオーバー解析を行った。これにより、栈橋の発生応力および破壊過程を解析的に検討する。

2.解析モデル

解析に用いる斜杭式栈橋モデルは、図 1 に示すモデルである。杭は $\phi=1000\text{mm}$ 、 $t=19\text{mm}$ 、傾斜角を 25° とした鋼管杭、床版は縦 9m、横 18m、高さ 0.8m のコンクリート床版である。各物性値を表 1 に示す。この栈橋をバネ-質点系でモデル化した。鋼管杭はビーム要素による初期勾配を弾性係数 $E (=2.058 \times 10^8 \text{kN/m}^2)$ 、2 次勾配を $E/1000$ としたバイリニアモデルで、部材特性を ν - γ 関係で定義している。床版はシェル要素による勾配を弾性係数 $E (=2.5 \times 10^7 \text{kN/m}^2)$ とした線形モデル。杭軸方向の抵抗特性は軸方向バネ定数 $K_V (=2.45 \times 10^5 \text{kN/m})$ を初期勾配とし、押し込み側の上限値 $P_{NU} (=6888.8\text{kN} : 1, 2 \text{ 杭}, =6795.3\text{kN} : 3, 4 \text{ 杭})$ を押し込み極限支持力、引き抜き側の上限値 $P_{TU} (=998.3\text{kN} : 1, 2 \text{ 杭}, =904.8\text{kN} : 3, 4 \text{ 杭})$ を引き抜き支持力とするバイリニアモデル。また、 P_{NU} および P_{TU} の算定は砂層の設計 N 値を 1、基盤の設計 N 値を 20 とし、港湾基準¹⁾より算定した。杭軸直角方向の抵抗特性は横方向地盤反力バネ係数 $K_{HE} (=5583.6\text{kN/m}^3 : \text{砂層}, =152241.1\text{kN/m}^3 : \text{基盤})$ を勾配とする等価線形モデルであり、これは、上述の N 値より道路橋示方書²⁾より算定した。節点数は 296、要素数は 533 である。

鉛直荷重は上部工自重 (3110.4kN) および杭自重 (149.27kN/本) を考慮し、水平荷重は鉛直荷重に水平震度を乗じた値とし、床版に水平載荷した。

3.解析結果

解析結果として、載荷パターン 1 のときの水平変位-水平震度関係図を図 2 に、そのときの杭頭部曲げモーメント-軸力関係図を図 3 に示した。図 2 より、押し込み杭となる 1 杭地中部で降伏が発生した後、他の杭にも地中部で降伏が見られ、その後 1 杭頭部で降伏が見られた。また、そのときの部材力として図 3 より、各杭とも 2 杭の引き抜きが発生するまで発生モーメントは小さく、ほぼ軸力で栈橋が支持されることがわかる。しかし、引

キーワード：斜杭式栈橋、保有水平耐力、プッシュオーバー解析

連絡先 (〒680-8552 鳥取市湖山町南 4 丁目 101、TEL : 0857-31-5286、FAX : 0857-28-7899)

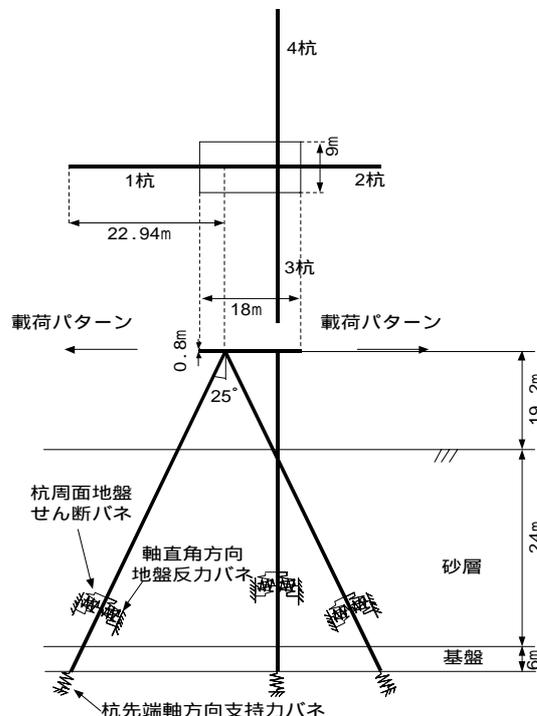


図 1 解析モデル

表 1 解析用物性値

| 区分 | 名称 | 記号 | 値 | 単位 |
|--------|-----------|------------|------------------------|-----------------|
| 基盤 | 単位体積重量 | γd | 14.55 | kN/m^3 |
| | せん断波速度 | V_s | 300 | m/s |
| | せん断剛性 | G | 133622 | kN/m^2 |
| | ポアソン比 | ν | 0.3 | |
| 砂層 | 単位体積重量 | γd | 12.25 | kN/m^3 |
| | せん断波速度 | V_s | 80 | m/s |
| | せん断剛性 | G | 8000 | kN/m^2 |
| | ポアソン比 | ν | 0.3 | |
| 床版 | 材質 | | コンクリート | |
| | 寸法 | | 18×9×0.8 | m^3 |
| | 弾性係数 | E | 2.5×10^7 | kN/m^2 |
| | 単位体積重量 | γ | 24 | kN/m^3 |
| 杭 | 材質 | | 鋼管杭 | |
| | 外径 | ϕ | 1 | m |
| | 管厚 | t | 0.019 | m |
| | 弾性係数 | E | 2.058×10^8 | kN/m^2 |
| | 降伏強度 | σ_y | 2.35×10^5 | kN/m^2 |
| | 断面積 | A | 5.856×10^{-2} | m^2 |
| | 断面2次モーメント | I | 7.05×10^{-3} | m^4 |
| 単位体積重量 | γ | 24 | kN/m^3 | |

引き抜き発生後は各杭とも大きくモーメントが生じる。特に押し込み杭である 1 杭は、引き抜き後も軸力が増加していくため他の杭より早く降伏に至る。

次に、引き抜き耐力の違いによる破壊過程の違いを検討するため、引き抜き耐力を前と比べ 1/2 倍、1 倍、2 倍、4 倍として水平変位-水平震度関係を比較した解析を行った。その比較図を図 4 に示した。この図から、斜杭 (1、2 杭) において引き抜き耐力が大きくなるにつれ降伏発生時の水平変位が小さい。これは引き抜き耐力が大きくなるにつれ作用軸力が大きくなり、引き抜き耐力が小さな場合より小さいモーメントで M_p-N 曲線に接するためである。しかし、荷重方向に対して直杭と同等となる 3 杭では作用軸力がゼロ付近であるため降伏発生時の水平変位には引き抜き耐力の違いによる影響があまり見られなかった。

最後に荷重パターン I と荷重パターン II の保有水平耐力の違いを比較した。その水平変位-水平震度関係の違いを図 5 に示した。この図から荷重パターン I の場合は荷重パターン II の場合と比べ大きく水平耐力を保有することがわかる。これは荷重パターン I の場合、2 杭に引き抜きが発生した後、押し込み杭である 1 杭により変位を抑え、3、4 杭により床版の浮き上がりを抑えるためである。これに比べ右側に荷重した場合は、1 杭に引き抜きが発生した後、床版の浮き上がりを抑える役割を果たす杭がない。つまり荷重パターン II のとき浮き上がりを抑える役割を果たしていた 3、4 杭が曲げ変形に対する抵抗しかもたないことになる。そのため荷重パターン I の場合と比べると大きく変位が発生する結果となった。

4.まとめ

本研究はプッシュオーバー解析により、背後構造がなく、海底面を水平とした斜杭式栈橋の破壊過程および保有水平耐力について検討した。この結果から、引き抜きが発生した場合においても床版の浮き上がりを抑える杭配置とすることで大きく保有水平耐力を保持することを示した。しかし、本解析では引き抜き発生後も軸方向の抵抗は引き抜き耐力を保持し続け、実際の引き抜き発生後の挙動を過小評価している可能性がある。これを考慮すると床版の浮き上がりを抑える杭を配置しない場合、引き抜き発生とともに栈橋に大きな損傷が生じる可能性が考えられ、床版の浮き上がりを抑える杭を配置した場合、引き抜き発生とともに栈橋に大きな損傷が生じる可能性は比較的低いものと考えられる。つまり、床版の浮き上がり抑える杭の配置とすると、保有水平耐力による設計法の検討は可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 財団法人 沿岸開発技術センター：港湾構造物設計事例集、1999.4、
- 2) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書 同解説 (下部構造編) 1996.12

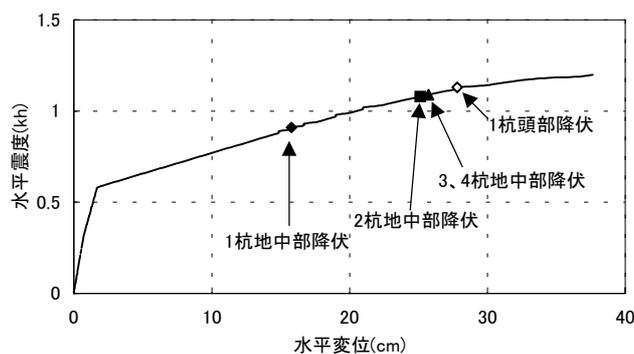


図 2 水平変位-水平震度関係 (荷重パターン I)

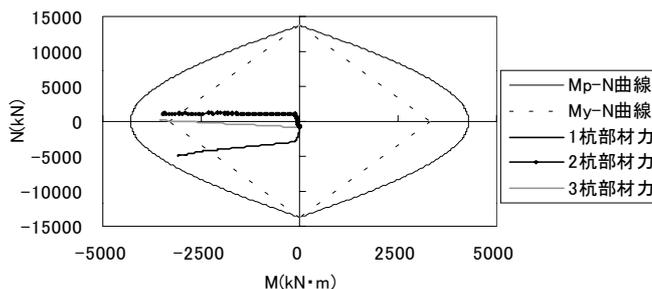


図 3 杭頭部曲げモーメント-軸力関係

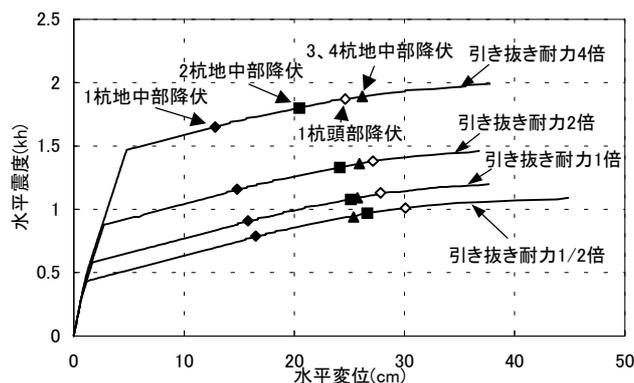


図 4 引き抜き耐力の違いによる水平変位-水平震度関係比較図

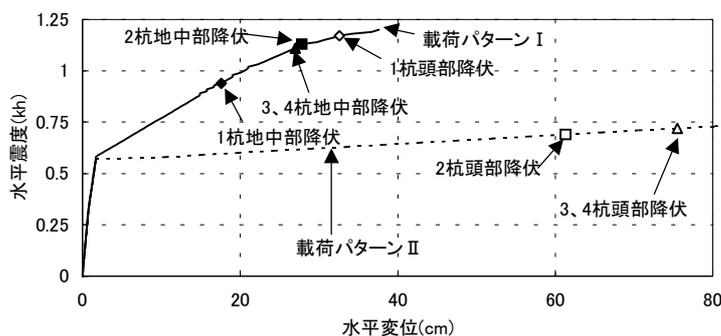


図 5 荷重方向の違いによる水平変位-水平震度関係の違い