

鋼管直杭式栈橋の地震時保有耐力法の適合性に関する考察

(株)日本港湾コンサルタント
鳥取大学工学部
鳥取大学工学部
鳥取大学工学部大学院

正会員 鈴木 孝幸
正会員 上田 茂
正会員 池内 智行
学生会員 石田 誠

1. はじめに

現行の栈橋の耐震性能照査は、エネルギー一定則により、弾塑性非線形の応答結果と線形の応答結果が等価になると仮定して保有耐力を求め、これが照査用震度と栈橋上部工の重量との積より大きければよいとしている。しかし、鋼管杭式

栈橋の破壊メカニズムに関する研究成果¹⁾²⁾は数少なく、特に、降伏点を越えた領域での荷重変位関係を特定する弾塑性解析の適合性を実際の栈橋式構造物の被災事例と比較し、その再現性を検証したものは少ない³⁾。

本研究では、兵庫県南部地震で上部コンクリートが破壊し、鋼管杭頭部が局部座屈する被害を受けた直杭式栈橋の被災事例を基に、実現象と弾塑性非線形解析の結果を比較し、その適合性について考察した。

2. 栈橋の構造概要

図 - 1 に栈橋の法線方向の側面図、図 - 2 に法線直角方向の標準断面を示す。主要部材の断面性能は表 - 1 に示すとおりである。基礎地盤は海底面下 2 ～ 3m 付近から N 値 40 以上の固い砂地盤である。

表 - 1 主要部材の断面性能

	断面諸元 (mm)	断面積 (cm ² /本)	設計基準強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	備考
法平梁	700b × 1,200h × 2 本	8,400	15	18.4	
鋼管杭	700φ × 7.22t(8t) × 2 本列	156.78	240	210	STK400
"	500φ × 6.02t(7t) × 2 本列	93.05	"	"	"

注：断面諸元のカッコ内の値は腐食前の肉厚

3. 被災状況

法線平行方向(長手方向)に作用した地震力により、第一ブロックの法線平行方向の梁(以下、法平梁)に幅 0.5 ～ 2.0mm の貫通ひびわれが発生し、鋼管杭は第一ブロックから第三ブロックまで杭頭部が局部座屈する被害が生じた。鋼管杭の被害は 700φ のものに集中した。また、水深の浅い第一ブロックに鋼管杭の被害が最も多く、水深が深くなる沖合に行くに従って本数が減少し、第四ブロックではゼロであった。但し、これらは何れも杭頭部のみで、地中部の被害はなかった。また、上部架構の支柱や斜材、それに鋼板とコンクリートの合成材である上部傾斜版にも被害はなかった。

4. 解析モデルの構造

図 - 3 に解析モデルを示す。地盤と構造物を - 30m までモデル化した。地盤の非線形性は修正 RO モデル、杭と法平梁には塑性ヒンジを設け、軸力変動を考慮した。法平梁の塑性ヒンジは梁と杭頭上部コンクリートの接合部に、杭頭部の塑性ヒンジは上部コンクリート直下に設けた。地中部には地表面下 3m まで 1m 間隔に四力所塑性ヒンジを考慮した。図 - 4、図 - 5 に法平梁と鋼管杭頭部に設けた塑性ヒンジ部のモーメントと軸力の相関関係をそれぞれ示す。

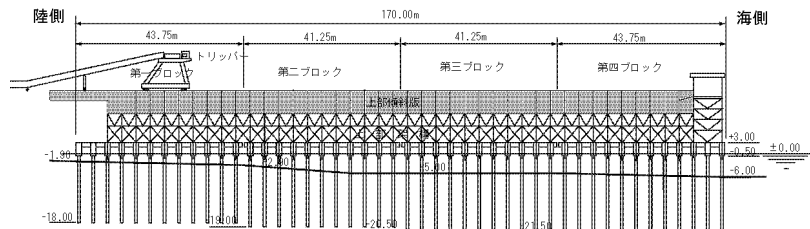


図 - 1 栈橋の側面図

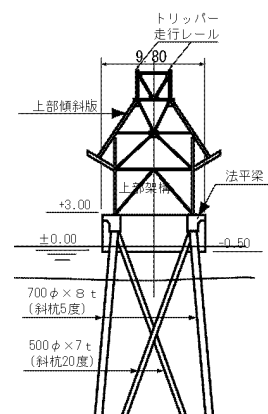


図 - 2 標準断面

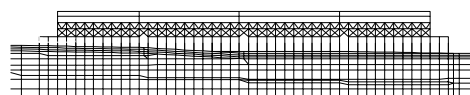


図 - 3 解析モデルの構造

キーワード：鋼管直杭式栈橋、地震時保有耐力法、弾塑性非線形解析、被災事例
〒362 - 0041 埼玉県上尾市富士見 2 - 19 - 15 TEL 048(770)2315

5. 解析手法

作用水平力は、加速度の増分を 1 ステップ 2gal として 500 ステップ 1000gal まで考慮し、これを震度に換算して段階的に載荷した。トリッパー(2,760kN)を含めた栈橋の総重量は 56,900kN である。荷重の作用方向は、陸から海(case1)と海から陸(case2)の 2 ケースとした。解析用ソフトは DINAS(CRC 総研)を使用した。

6. 解析結果及び考察

図—6 に荷重変位曲線を示す。同図の変位は、杭の $1/\beta$ からの相対変位で示している。弾性限界は 29,000kN と判定された。図 - 7、図 - 8 は法平梁と 700φ 杭頭部が塑性化するときの水平力を示している。実際の損傷位置を指標に、この弾塑性解析から栈橋の被災荷重を推定した結果、ほぼ弾性限界の水平力に等しいことが分かった。この状態を許容損傷レベルとすると、許容地震力は弾性限界に対応する水平力と等しく 29,000kN(許容塑性率 1.0)となる。これは加速度に換算すると 500gal である。

図 - 9 は地盤だけのモデルで計算した杭の $1/\beta$ の位置における加速度応答スペクトルである。地震波形はポートアイランド - 79m で観測された ERS 補正波形を用い、基盤面を - 30m に設定して入力加速度を 817gal(2E)とした。栈橋の固有周期 0.70sec、減衰定数 0.20 として、図 - 9 から加速度を求めると約 600~700gal となる。これが栈橋の照査用震度になり実際の被災状況から推定した加速度 500gal より若干大きくなった。

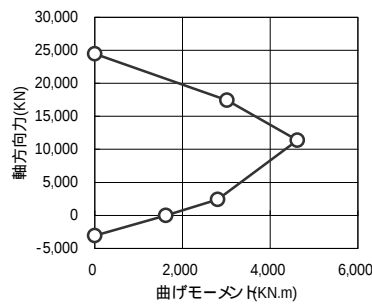


図 - 4 法平梁の M-N 相関

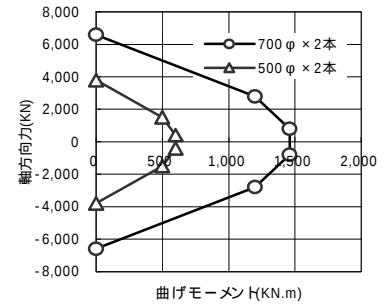


図 - 5 鋼管杭頭部の M-N 相関

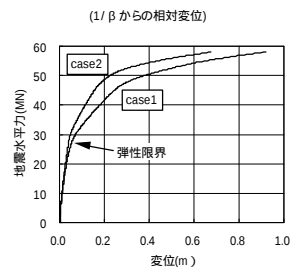


図 - 6 荷重変位曲線

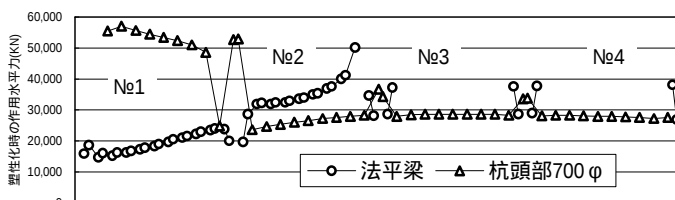


図 - 7 塑性化時の水平力(case1)

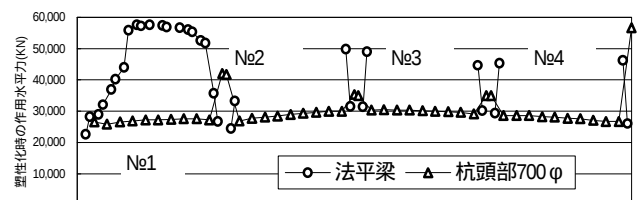


図 - 8 塑性化時の水平力(case2)

7. 結言

鋼管直杭式栈橋の被災事例から、弾塑性非線形解析の適合性について検証した結果、

- (1) 塑性ヒンジ化する法平梁と鋼管杭頭部の位置は、水平力 29MN で実現象とよく一致することが確認された。
- (2) 加速度応答スペクトルから求まる照査用震度(加速度)は、被災事例を指標に弾塑性解析結果から推定した加速度より大きくなった。この種の構造物に対して、加速度応答スペクトルから照査用震度を決定すると、被害を過大評価する可能性がある。

本研究では、今後、非線形動的解析の結果も含め、現地での被災形態と解析結果の適合性について考察し、よりの確な耐震設計法のあり方について検討して行く予定である。

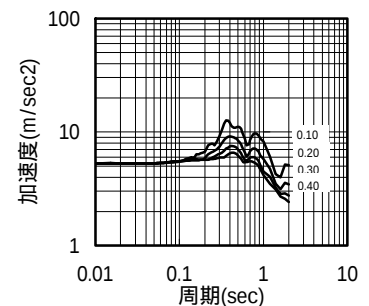


図 - 9 加速度応答スペクトル

参考文献 ; (1) 上田茂ほか : 模型実験による鋼直杭栈橋の地震被害の検討、土木学会第 53 回年次学術講演会 (2) 上田茂ほか : 直杭式栈橋模型振動実験における地震応答解析、土木学会第 54 回年次学術講演会 (3) 横田弘ほか : 地震時における鋼管直杭式栈橋の破壊メカニズムに関する解析的研究、第一回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集