

鋼管杭式栈橋の地震時の耐荷性能に関する検討

早稲田大学 学生会員 ○金 淨昊
早稲田大学 フェロー 清宮 理

1. 目的

港湾施設の一つである栈橋の建設方法に鋼管杭を用いた形式がある。兵庫県南部地震などの地震時に鋼管杭が変形、座屈した事例が見られ、この原因の究明と対策が早急に要望された。各種の研究により原因解明が図られたが、鋼管杭の耐荷性能に関する知見は少なく、座屈計算法も十分ではないため、実務設計において課題が指摘されている。今回鋼管杭の地震時の耐荷性能に関する数値解析により現象の解明と適切な設計法の提案を目的として検討している内容について述べる。

2. 解析モデル

今回解析対象は、図-1に示す鋼管杭式栈橋である。4列の鋼管杭と床版により構成されている。表層地盤の構成は第一層が基盤 ($E=613193\text{KN/m}^2$ 、ポアソン比 $=0.49$)、第二層が砂質層 ($N=20$ 、 $E=410456\text{KN/m}^2$ 、ポアソン比 $=0.49$)、第三層が粘性土層 ($N=5$ 、 $E=158774\text{KN/m}^2$ 、ポアソン比 $=0.49$)、第四層が捨石 ($N=5$ 、 $E=239400\text{KN/m}^2$ 、ポアソン比 $=0.49$) であり、鋼管杭が基盤面 2m まで打設されている。表層地盤は軟弱な状況である。鋼管杭の直径は 1.4m で規格は SKK490 である。板厚は 14mm、16mm の二種類である。床版は鉄筋コンクリート製で計算モデルでははり要素に置換し非線形性を武田モデルのトリリニアモデルで表現した。地盤の非線形性については R-0 モデルにより再現した。Push over 解析で鋼管杭式栈橋の崩壊過程を追跡するため、RC 床板水平方向に海側あるいは陸側から崩壊に至るまで荷重をかけ、鋼管杭の破壊位置の特定および終局耐荷力と変形量を計算した。有限要素法により地震応答計算を実施し杭に発生する曲げモーメントと軸力の算定を行った。解析は 3次元動的解析プログラム TDAPⅢおよび FLIP を使用した。後者の方法は地盤を有効応力として計算する方法である。入力地震動には、兵庫県南部地震での加速度記録で観測された地震動(ポーアイ波)を用いた。最大加速度は 819Gal である。地震応答計算から鋼管杭に座屈が生じる部分を push over 解析と併せて予測した。鋼管杭の降伏及び崩壊に至るまでの過程を追跡した push over 解析結果を図-2に示す。鋼管杭の座屈強度に関する数値解析を行うため、SOLVIA(構造解析ソフトウェア)を利用し、図-3のような中空の解析モデルを作成し、鋼管杭の頭部に曲げモーメントと軸力を同時に作用させ座屈性能に関して有限要素法で解析した。中空の鋼管柱は長さ 37m、直径 1.4m、厚さ 14mm である。解析モデルはシェル要素で再現し、要素数は 37036 個で、両端を実構造物に併せて境界条件を設定して杭頭部より軸力と曲げモーメントを作用させる。座屈を生じさせるため、荷重をかけた方法は軸力のみ、曲げモーメントのみ、軸力と曲げモーメントの連成の

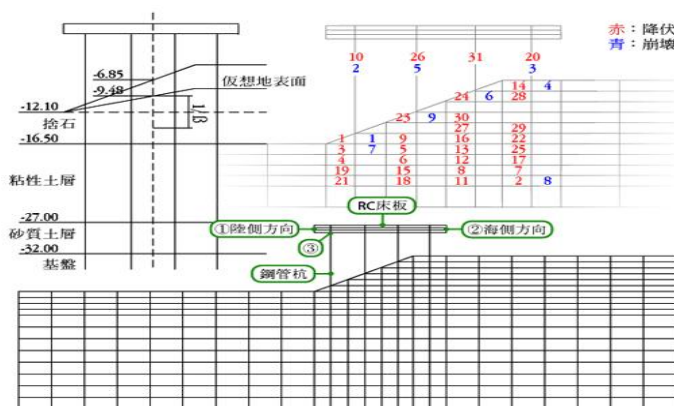


図-1 栈橋モデル

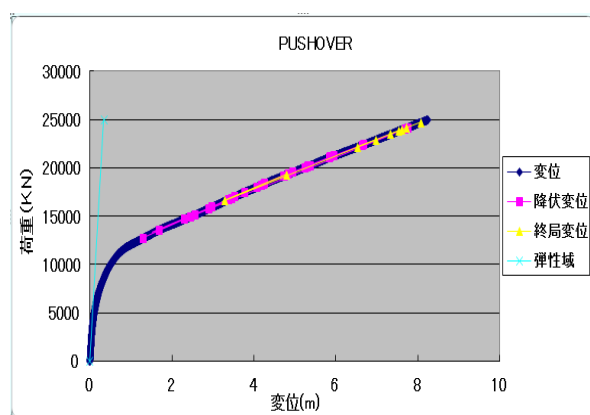


図-2 Push over 解析

キーワード 栈橋、鋼管杭、Pushover 解析、座屈性能

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学創造理工学研究科清宮研究室 TEL 03-5286-3852

三つの方法で荷重を加えた。また、鋼管杭を支持する地盤をバネでモデル化し、同様に解析を実行した。バネは鋼管杭の円周方向に配置し道路橋示方書に従った。

3. 計算結果

Push over 解析で鋼管杭の地中部と杭頭部に順次降伏が生じた。鋼管杭で2箇所以降に降伏が生じた時点でその鋼管杭は崩壊と認定した。また RC 床板に荷重をかけた方向により、崩壊に至るまでの状況が異なることが確認できた。また、杭頭部に計算された断面力を以下に示す。

表-1 Push over 解析結果

荷重の方向	崩壊に至るまでの荷重	最大変位
①陸内方向	25000KN	8.24m
②海側方向	24000KN	8.02m

表-2 鋼材の材料特性値^{a)}

サイズ	初期弾性係数	降伏応力	断面積	断面係数	断面2次モーメント
$\phi 1400 \times t14$	KN/m ²	N/mm ²	m ²	m ³	m ⁴
	2.00E+08	315	0.061	2.09E-02	1.46E-02

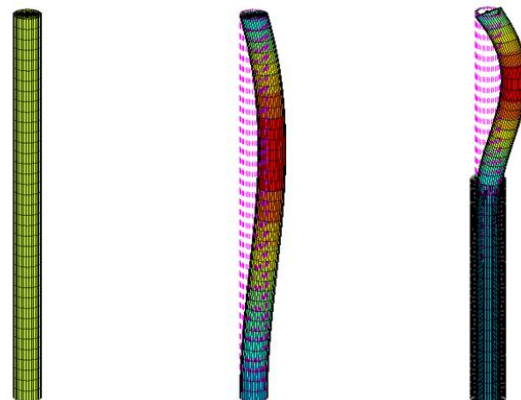


図 - 3 鋼管杭モデル

今回使われた鋼管杭の理論座屈荷重 (P_{cr}) は 30.1MN であるが、有限要素法による座屈解析を行った結果、390KN の荷重が作用した時座屈に至り、その時の Z 方向には 0.23m の最大変位が発生した。曲げモーメントを杭頭に載荷した場合 (M_x) は 700KN・M の荷重が作用した時座屈に至ることがわかった。曲げモーメントと軸力の連成の場合、座屈は軸力より曲げモーメントの影響を大きく受け、曲げ破壊が先行になることが確認できた。座屈が計算されたときの鋼管杭の水平変位は 1.4m ほどであった。地盤をバネで支持した座屈解析では無い場合とかなり状況が異なり今後更に検討することとした。TDAP による動的応答解析では鋼管杭には座屈による崩壊は計算されなかった。一方 FLIP では軟弱な表層地盤の側方移動を考慮でき鋼管杭に座屈が計算された。

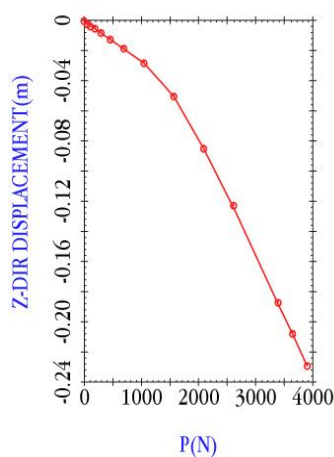


図 - 4 軸力作用時

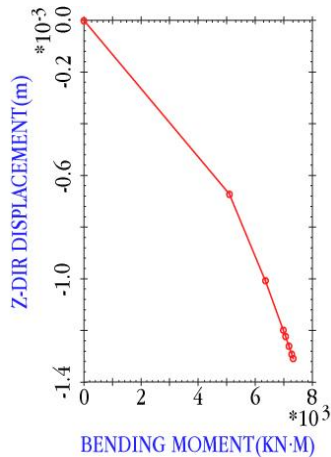


図 - 5 曲げモーメント作用時

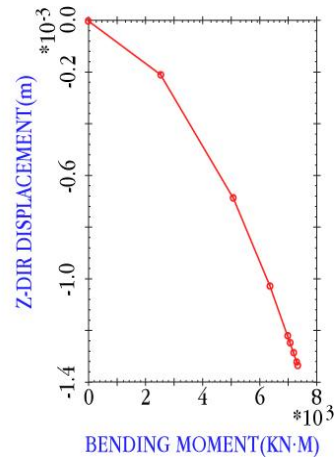


図 - 6 軸力と曲げモーメント作用時

4. 結論・考察

栈橋の地震時の崩壊過程を push over 解析で追跡した結果、鋼管杭の杭頭部と地中部に座屈箇所が計算されたが、床版に作用させる荷重方向により崩壊までの荷重や座屈位置が異なった。有限要素法による鋼管杭の座屈解析では地盤のバネの設定により座屈状況が異なることが確認できた。実地震動による動的応答解析では振動だけで座屈に至る状況は見られず地盤の変形が重要な要因になっていることが再確認された。鋼管杭式栈橋の鋼管杭の耐荷力については、種々手法により多面的な検討が必要と考える。

参考文献

鋼管杭-その設計と施工 2009 一般社団鋼管杭・鋼矢板技術協会 2009