

鋼管杭式栈橋の地震時における破壊過程の解析

早稲田大学大学院理工学研究科

学生会員 井口 重信

早稲田大学理工学部土木工学科

フェロー 清宮 理

運輸省港湾技術研究所構造強度研究室

正会員 横田 弘

1.はじめに

レベル 地震動に対して、杭式栈橋の保有する地震時の耐力を的確に評価する必要がある。現在のところ、栈橋の構造部材が最大荷重に達するまでは、耐力力の評価が比較的可能となっているが、耐力低下領域における大変形挙動については不明確な点が多い。そこで、鋼管直杭式栈橋を対象に縮小模型を用いた静的繰返し載荷試験を行い、材料および幾何学的非線形性を考慮した有限要素法解析を行った。

2.載荷試験

(1) 試験体 図-1に試験体の形状及び寸法を示す。試験体は、実際の標準的な栈橋の法線直角方向の杭1列分を約 1/4 の縮尺でモデル化した。RC 上部工の配筋、鋼管杭とコンクリートの結合は実物の方法をできる限り再現した。試験体の基部には反力壁に固定するための RC 梁を設けてある。また、施設の都合上、周辺地盤はモデル化せずに、1/βの下層固定点より基部側をみぞ型鋼および中詰めコンクリートで補強することで、代替した。鋼管には外径 267.4mm、厚さ 4.0mm、長さ 3934mm の一般構造用鋼管 STK400 を用いた。鋼管およびコンクリートの機械的性質を表-2に示す。

(2) 載荷方法 載荷は試験体を水平平置きにして行った。鋼管杭が地盤に支持されている状態をモデル化するため、基部の RC 梁は PC 鋼棒で反力壁に固定した。上部 RC 梁はローラー支承に載せ、その間にはテフロンシートを挟み摩擦を低減し、その影響を抑えた。載荷は、まず地震時上載荷重を想定して、鋼管内に PC より線を通し、これをジャッキで緊張し、鋼管一本あたり 200kN の軸力を与えた。軸力は常にチェックし 200kN を維持した。次に地震荷重を想定し、押し引きの両動油圧ジャッキを用いて、水平方向に静的繰返し載荷を行った。荷重ステップは図-3に示すように 4δy まで押しと引きを各 3回ずつ繰返し、それ以降は破壊の進行状況に応じて繰返し回数を決定した。

3.有限要素法解析

解析には二次元と三次元の 2 種類のモデルを用いた(図-4)。二次元モデルでは、上床版及び基部を弾性の平面応力要素を、鋼管杭にはバイニア型弾塑性性の梁要素を用いた。

キーワード：鋼管杭式栈橋、載荷試験、有限要素法、座屈

連絡先：〒169-8555 新宿区大久保 3-4-1 (早稲田大学土木工学科清宮研究室) TEL/FAX 03-5286-3852

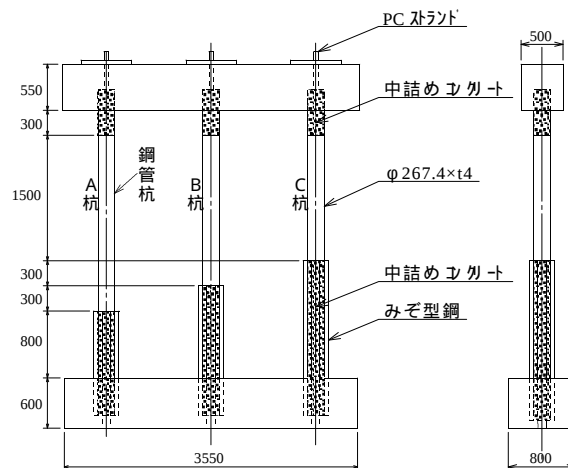


図-1 試験体の形状

表-2 鋼管およびコンクリートの機械的性質

鋼管	降伏点 315N/mm ² , 引張強さ 462N/mm ² 伸び 42% , ヤング率 2.06 × 10 ⁵ N/mm ²
コンクリート	設計基準強度 24N/mm ² , 試験時圧縮強度 37N/mm ² , ヤング率 2.0 × 10 ⁴ N/mm ²

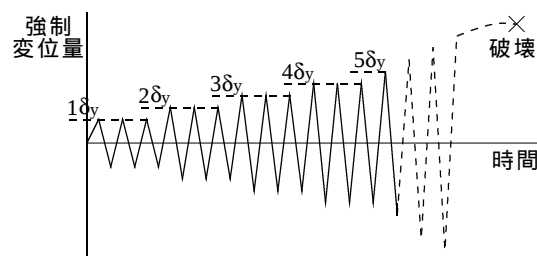


図-3 載荷ステップ

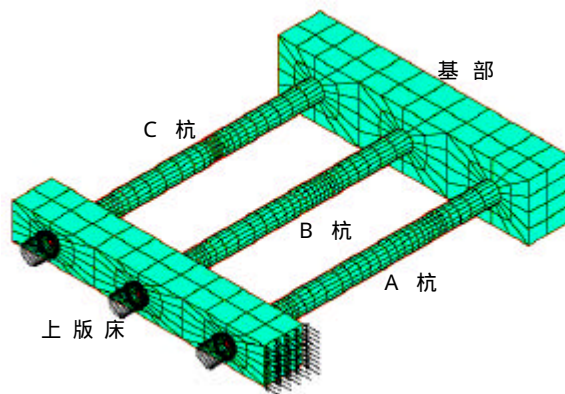


図-4 FEMモデル (3Dモデル)

三次元モデルでは、上床版及び基部は SOLID 要素、鋼管杭には SHELL 要素を用い、材料モデルは二次元モデルと同じものを用いた。両モデルに共通して、中詰めコンクリート及びみぞ型鋼補強部分は鋼管の板厚を厚くすることで等価換算した。なお、本解析では鋼管の破壊過程を見ることを目的とし、上床版および基部の破壊は考慮しなかった。入力荷重は、軸力を 200kN 一定で保持し、水平強制変位を一方向に単調増加させた。

4. 結果と考察

(1) **荷重変位関係** 図-5に荷重変位曲線（試験値は包絡線）を示す。最大水平荷重は、載荷試験で 245kN（3 δy 時）、2D モデルで 257kN、3D モデルで 245kN とほぼ同じ値となった。しかし、最大荷重となるときの水平変位は、載荷試験で 41.1mm、2D モデルで 31.0mm、3D モデルで 28.9mm と解析値のほうが 25%小さな値となった。また、最大荷重以降は載荷試験では急激に耐力が低下したが、解析においては緩やかに減少した。この原因としては解析において、上床版と鋼管杭の結合状況を剛結合でモデル化したことおよび載荷方法の差などの影響が考えられる。

(2) **鋼管杭の軸方向ひずみ分布** 図-6に C 杭の軸方向ひずみの分布（5 δy 時）を示す。2D モデル、3D モデルとも載荷試験とほぼ同じひずみ分布が得られた。ただし、2 δy 以降、顕著な局部座屈を起こした上床版から 1750mm 付近で、2D モデルでは過小な評価をしてしまった。この位置で 5 δy 時には、2D モデルのひずみ値は 3D モデルのひずみ値の 45%であった。大変形時の局部座屈まで考慮した解析を行なう際には、三次元モデルの使用が望ましい。

(3) **局部座屈** 図-7に、C 杭頭部およびみぞ型鋼補強部上端付近のひずみ分布を示す。座屈位置及び幅は試験と解析でほぼ一致したが、座屈高さは解析値のほうが小さくなった。また座屈形状も、試験ではいわゆる象の足型の座屈形状であったが、解析では、片方の面だけにしか膨らみが見られなかった。これらは、載荷試験では繰り返し載荷を行ったが、解析では単調増加載荷を行ったためである。

5. 結論

今回、鋼管杭式栈橋模型を対象に行った載荷試験および有限要素法解析により、以下のようなことが判明した。

荷重変位関係で最大耐力は試験値及び解析値でほぼ一致したが、そのときの変位量は 25%解析値の方が小さくなった。また、最大耐力以降の領域では、試験値は著しく耐力が低下したが、解析においては激しい低下は見られなかった。これらは、接合部のモデル化及び試験と解析の載荷方法の違いによるものと考えられる。

鋼管杭の軸方向ひずみの分布は、載荷試験と解析でほぼ同じ分布となった。しかし、局部座屈を起こす位置においては、3D モデルの方が載荷試験値に近く、2D モデルで計算されるひずみはこの 45%程度であった。

6. おわりに

本稿では、解析プログラムの制約上かなり簡易なモデルで解析したが、比較的精度よく解析ができた。しかし、繰り返し荷重の効果の重要性、コンクリートのひび割れを考慮した接合部の固定条件のモデル化、および周辺地盤の影響なども考慮する必要がある、今後の検討課題としたい。

参考文献 1) 横田 弘, 川崎 進, 菅原 亮, Hazem El-Barkry, 川端規之 鋼管杭式栈橋の地震時保有耐力に関する実験および解析, 港湾技術研究所報告, 第 38 巻, 第 2 号, 1999.6 2) 横田 弘, 川崎 進, 菅原 亮, Hazem El-Barkry, 川端規之 鋼管杭式栈橋の終局限界における構造性能に関する研究, 構造工学論文集, Vol45A, 1999.3

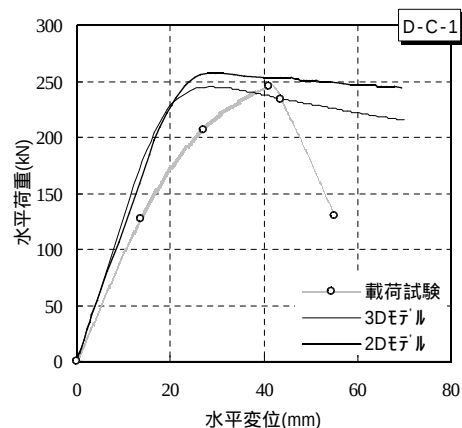


図-5 荷重変位曲線

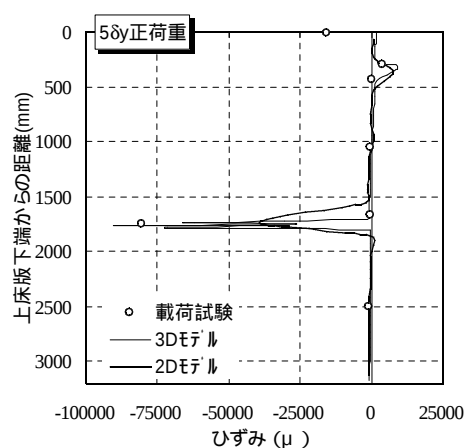


図-6 軸方向ひずみ分布

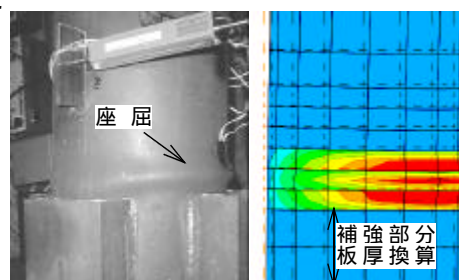


図-7 局部座屈