

1. はじめに 未曾有の大被害をもたらした兵庫県南部地震での代表的な地震被害の1つとして、鋼管橋脚の elephant-foot座屈などの局部座屈が挙げられる。これらの局部座屈は、死荷重によって発生する軸圧縮力に加えて地震時中の繰り返し曲げが橋脚に作用することにより生じたと考えられている。このような鋼管橋脚の耐震性能を支配するパラメータとしては①径厚比、②細長比、③軸圧縮力、④固有周期、⑤断面形状、⑥補剛材比、⑦補剛材細長比、⑧溶接部、⑨コンクリート充填高さなどが挙げられる。本研究では、鋼管橋脚の耐震性能を評価する基礎的なデータとして鋼管橋脚の径厚比に焦点を絞り、3種類の載荷パターンと2種類の軸圧縮力で解析を行い十分な耐震性能を有する限界径厚比を提案する。

2. 解析モデル 解析には著者らの研究室で開発された弾塑性有限変位プログラムを用いた。まず、解析プログラムの妥当性を検証するため建設省土木研究所で行われた実験¹⁾と解析の比較を行った。土研で行われた実験のうち、No. 8供試体では無補剛の鋼管で端部を固定し塔頂部に軸圧縮力と繰り返し水平変位を与えている。図-1にNo. 8供試体の実験結果と解析結果を示す。図-1において縦軸は塔頂部での水平荷重、横軸は水平変位を表す。ただし実験結果は包絡線のみを示している。実験結果と解析結果はほぼ一致しており解析プログラムの妥当性が示された。図-2に解析モデルを示す。解析モデルは構造の対称性より1/4モデルとし、要素には鋼管橋脚の曲面を正確に表現するため8節点アイソパラメトリックシェル要素を用いた。さらに、解析モデルの鋼種はSS400とし、構成式には繰り返し荷重下での鋼材のパウシンガー硬化や繰り返しによる強度上昇を正確に再現するためBMCモデル(単調載荷曲線を基にした繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式)²⁾を用いた。また、初期不整として製作鋼管の塑性加工³⁾を考慮した。解析では図-3に示すように解析モデルの載荷辺に、軸力を一定に保つために調整された軸方向強制変位と、曲げを与える回転強制変位を組み合わせて与えている。またこの解析モデルは鋼管橋脚のダイヤフラム間を想定して軸方向長さを、道示で制限されている最長ダイヤフラム間隔の、鋼管直径の3倍とした。また、同様の考え方より載荷辺の境界条件は軸方向変位を除いて固定とした。図-4, 5, 6に解析で載荷辺に与える繰り返し回転変位を示す。いずれの載荷パターンも繰り返し変位を受け最終状態で降伏回転変位 ϕ_y の6倍に達するよう考慮した。解析はこれら3種類の繰り返し荷重下で、それぞれ軸圧縮力を降伏軸力 P_y の0.1, 0.2倍の2種類について行った。

3. 解析結果および考察 図-7にC1載荷で軸力を0.1 P_y に保った場合の解析結果を示す。それぞれ縦軸は発生した曲げモーメント M を降伏モーメント M_y で無次元化したもの、横軸は載荷辺での回転変位 ϕ を降伏時回転変位 ϕ_y で無次元化したものである。図-7より径厚比 R/t が40.0, 50.0のモデルでは急激に曲げ強度が低下しているのが分かる。図-8にC2載荷での軸力を0.1 P_y に保った場合の解析結果を示す。図-8では、径厚比 R/t が20.0および30.0のモデルでは強度低下は起こっていないが、 $R/t=40.0, 50.0, 60.0$ のモデルでは繰り返し載荷を与えるにつれて強度低下を起こしていることがわかる。これより、C2載荷の方がC1載荷に比べて強度劣化におよぼす影響が大きいといえる。図-9はC3載荷で軸力を0.1 P_y に保った場合の解析結果である。図-8と同様に径厚比 R/t が40.0, 50.0, 60.0のモデルで繰り返し載荷により強度低下が生じている。図-10はC1載荷の場合の繰り返し荷重サイクルの最終時(回転変位が6 ϕ_y となる時点)での強度を示したもので、凡例中でMono.となっているのは軸圧縮力0.0で6 ϕ_y まで単調載荷を行った場合である。図-10より軸力が増すと強度低下が著しいことがわかる。図-11にC2載荷での繰り返し載荷の最終時での強度を示す。図-11では径厚比が30.0以下になると強度低下は起きていない。また、図-12よりも同様にC3載荷でも径厚比30.0以上では強度低下が起きていないことが分かる。

4. 結論 鋼管橋脚のダイヤフラム間をモデル化し3種類の載荷パターンおよび2種類の軸圧縮力下で解析することにより耐震性能を十分に持つ限界径厚比を決定した。解析結果をまとめると以下ようになる。①C2およびC3載荷などの両振型の載荷パターンが強度低下におよぼす影響が大きい。②径厚比30.0以下では軸力0.2 P_y 以下の範囲内で明瞭な強度低下を生じない。

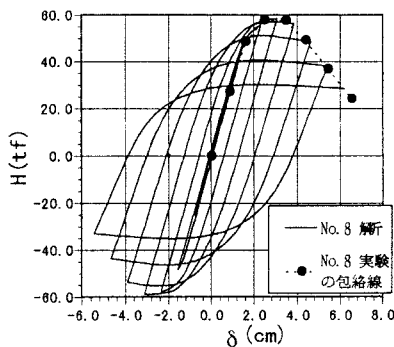


図-1 実験との比較

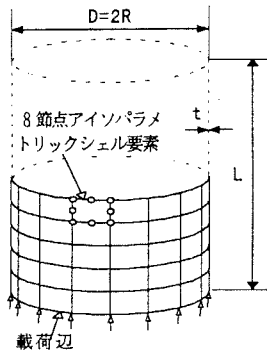


図-2 解析モデル

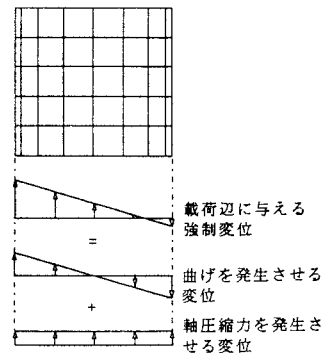


図-3 解析モデルに与える強制変位

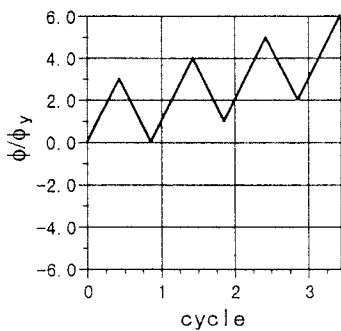


図-4 C1 載荷

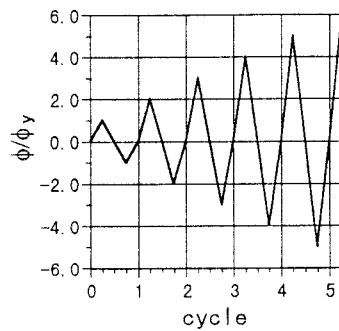


図-5 C2 載荷

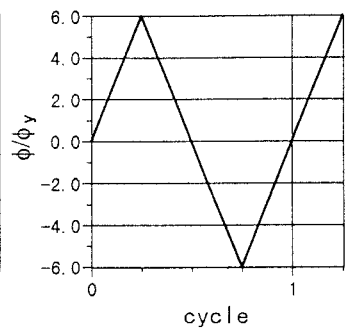


図-6 C3 載荷

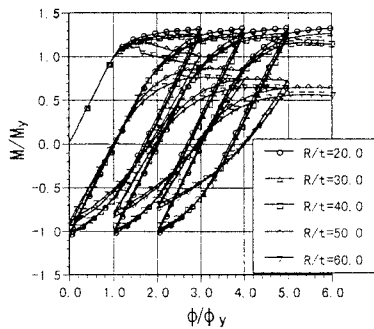


図-7 解析結果 (C1 載荷)

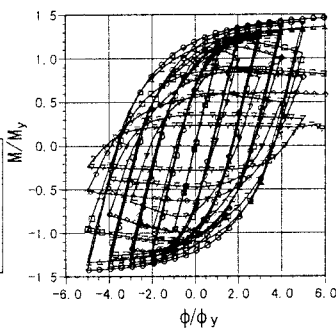


図-8 解析結果 (C2 載荷)

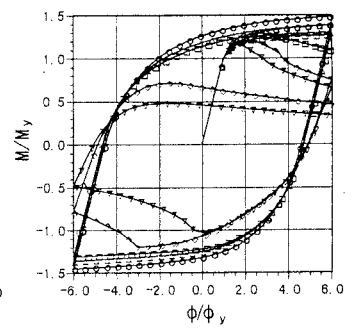


図-9 解析結果 (C3 載荷)

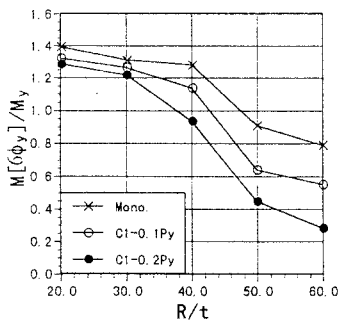


図-10 最終強度 (C1 載荷)

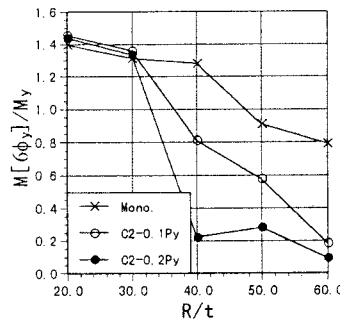


図-11 最終強度 (C2 載荷)

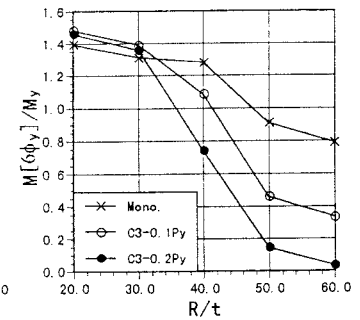


図-12 最終強度 (C3 載荷)

<参考文献> 1) 西川和廣, 山本悟司, 名取暢, 他: 既設鋼製橋脚の耐震性能改善方法に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.42A, 1996 2) 西村宣男, 小野潔, 池内智行: 単調載荷曲線を基にした繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式, 土木学会論文集, No.513, 1994 3) 西村宣男, 竹内修治, 村上茂之, 讃井一将: 製作鋼管部材の曲げ強度特性, 鋼構造論文集, Vol.3, No.9, pp.47-55, 1996