

テーパー付き鋼板を用いた鋼製橋脚の耐震性能向上策

鳥取大学工学部

正会員 ○池内 智行

三井建設(株)

正会員

能瀬 正憲

大阪大学大学院工学研究科

正会員 西村 宣男

新日鉄(株)

正会員

高木 優任

1.はじめに 兵庫県南部地震以降、鋼製橋脚の耐震性能評価に関する研究が各機関で精力的に行われてきた。その結果、極大地震における鋼製橋脚の耐震性能を高めるためには、地震後の緊急車両の通行に支障をきたさない程度の損傷を許容して、弾塑性応答時の部材のエネルギー吸収能に期待する設計法が取り入れられるようになった。単柱形式の鋼製橋脚は静定構造であり塑性変形が作用力の最も大きくなる橋脚基部に集中してしまうため、エネルギー吸収能を上げるためには塑性化領域を広げるような構造上の工夫が必要となる。酒造等¹⁾は橋脚断面の幅を基部に向かって広げることで抵抗モーメントを作用モーメントの分布に近づける変断面橋脚を提案している。本研究では、これに対し鋼製橋脚の基部に向かって板厚が増加していく鋼板（テーパー鋼板）を使用することで、作用する応力を平均化し、塑性化領域を拡大して変形性能を改善することを提案し、その効果を数値解析により確認する。

2.解析モデル 本研究ではテーパー付き鋼板を有する鋼製橋脚の数値解析を行うにあたり、薄肉構造を対象とした有限要素解析プログラム NASHEL²⁾を用いた。NASHEL は Updated Lagrangian 法に基づいて定式化された 8 節点アイソパラメトリックシェル要素を用いて弾塑性有限変位解析を行うプログラムである。対象とする橋脚は補剛箱形断面を有する単柱形式の鋼製橋脚とする。図-1 (a), (b) に橋脚モデルの断面形状及び、橋脚全体図を示す。本研究では、すべての橋脚モデルにおいて橋脚高さ h は 342.3cm と一定とした。断面形状は外径寸法 90×90(cm) の正方形断面とし、縦補剛材を 1 パネルあたり 3 本、等間隔に配置した中空断面となっている。橋脚全体は上部から等厚部、テーパー部で構成されており、テーパーを付ける場合、外径寸法は一定のまま橋脚基部 ($l=90$ cm) の板厚を軸方向に連続的に変化させるものとする。その際、テーパーを付けた箇所の弾塑性性状を整理するため、以下の無次元テーパー率¹⁾を使用した。

$$\xi_{cp} = \frac{1}{k} \left(1 - \frac{M_{p|U}}{M_{p|L}} \right) \quad (1)$$

ここに、 k : 柱高さ h に対するテーパー部高さ l の比
 $M_{p|U}$, $M_{p|L}$: テーパー部の上下断面の全塑性モーメント
 テーパーを付ける場合、この無次元テーパー率 $\xi_{cp} = 1.0$ 、すなわちテーパー部全体が同時に塑性化を起こすよう設計した。また、表-2 に解析モデルの材料定数を示す。構成則には BMC³⁾モデルを用いた。解析では図-1 (b) の橋脚頭部中央に水平変位 δ を与えた。載荷方法は単調載荷および繰り返し載荷を行い、繰り返し載荷方法については漸増両振り載荷で、降伏水平変位 δ_y を基準にして各サイクルで漸増しながら繰り返し与え、+6 δ_y まで載荷する。

3.単調載荷解析結果 図-2 に単調載荷解析の結果を示す。図中の記号 ∇ は荷重のピーク位置を示したものである。図より、基本モデルに比べテーパー付きモデルではピーク時の変位が大きくなっている。単調載荷解析の結果の評価として、降伏変位に対する荷重ピーク時の変位の比を塑性率とし、塑性率-鋼材量の関係を図-3 に示す。図よ

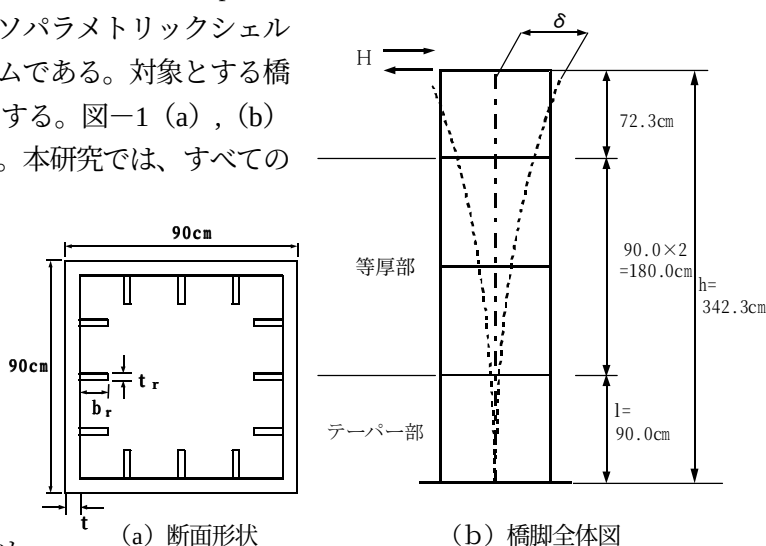


図-1 対象橋脚モデル

表-1 解析モデルの諸元

Model	R_R	ξ_{cp}	part	t(mm)	r_1/r_1^*	$B_c \times t_c$ (mm)
CASE4-0-3	0.4	0.0		12.5	3.05	160 × 8
CASE4-1L-3		1.0	thin	12.5	3.05	
			thick	18.1	1.12	
CASE5-0-3	0.5	0.0		10.0	2.90	130 × 7
CASE5-1L-3		1.0	thin	10.0	2.90	
			thick	14.3	1.09	

表-2 解析モデルの材料定数

材質	ヤング率 E (kgf/cm ²)	降伏応力度 σ_y (kgf/cm ²)	ポアソン 比 ν
SM490	2.13×10^6	3900	0.3

keyword : 変断面橋脚、テーパー付き鋼板、変形能、エネルギー吸収、動的応答

連絡先 : 〒680-8552 鳥取市湖山町南 4 丁目 101 TEL : 0857-31-5288, FAX : 0857-28-7899

りテーパー付きモデルの塑性率が基本モデルに対して増加しており、特に $R_R=0.5$ のモデルでは、基本モデルに対して鋼材量 3.5% の増加で塑性率が約 33% 増加した。

4. 繰り返し載荷解析結果

図-4 に繰り返し載荷解析の荷重-変位関係を示す。図より $R_R=0.5$ のモデルにおいて、基本モデルではサイクルごとの荷重低下がみられるのに対し、テーパー付きモデルでは荷重の低下がほとんどみられない。また繰り返し載荷解析結果の評価として履歴曲線で囲まれた面積を履歴消費エネルギーとし、履歴消費エネルギーと鋼材量の関係を図-5 に示す。図より、テーパー付きモデルの履歴消費エネルギーが基本モデルに対して増加しており、特に $R_R=0.5$ では鋼材量 3.5% の増加で、約 14% の履歴消費エネルギーの増加がみられた。

5. 地震応答解析結果

ここでは、静的弾塑性有限変位解析と 1 自由度系の応答解析を組み合わせた北田ら⁴⁾の方法を用いて、テーパー付き鋼板を有する鋼製橋脚の地震応答解析を行い、実地震動に対する動的特性を調べた。また、解析では軸力として降伏軸力の 0.1 倍を導入し、それに相当する質量が橋脚頭部に存在する

ようモデル化した。図-6 に示すように、入力地震波は、神戸海洋気象台で観測された兵庫県南部地震 (1995 年) での南北方向の加速度において、最大値を含む激震時の 10 秒間の波形を 1.5 倍して用いた。図-7 に $R_R=0.5$ の橋脚頭部での水平変位-時刻関係を示す。図より、最大変位 (CASE5-0-3: 18.6cm, 6.75sec, CASE5-1L-3: 8.9cm, 8.47sec)、残留変位 (CASE5-0-3: 16.5cm, CASE5-1L-3: 4.9cm) となり、CASE6-1L-3 の応答変位が小さくなっていることが分かる。このことから橋脚基部にテーパーを付けることにより、橋脚基部の変形能が改善され、応答変位が小さくなっていることが分かった。

6. まとめ 橋脚基部にテーパー付き鋼板を用いることにより、塑性変形領域が軸方向に拡がり、変形性能が改善される。また、動的荷重に対してもエネルギー吸収能の向上によって、応答変位を小さくできることが明らかとなった。

<参考文献>

1) 酒造敏廣：テーパー付き柱基部を有する鋼変断面柱の非弾性地震応答性状に関する研究、土木学会第 52 回年次学術講演会・講演論文集, I-B100, 1997 2) Nishimura, N., Murakami, S. and Takeuchi, S.: Elasto-plastic finite displacement analysis of thin-walled shells, *Technology Reports of the Osaka University*, Vol. 45, No. 2231, pp. 213-220, 1995. 3) 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/I-31, pp. 27-38, 1995. 4) 北田俊行, 中井博, 狩野正人, 岡田潤：単柱形式の鋼製橋脚の局部座屈を考慮した弾塑性動的応答解析法の構築、第 2 回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集, pp. 255-262, 1998

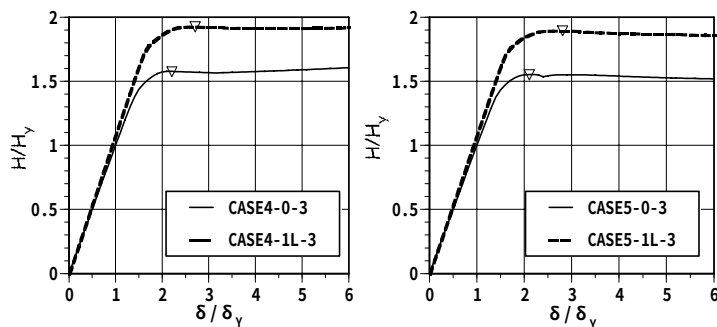


図-2 単調載荷解析

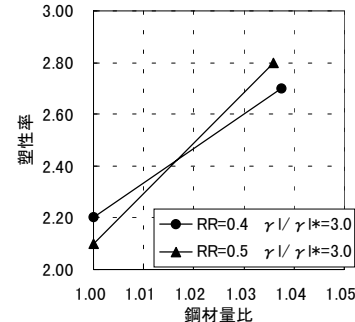


図-3 塑性率-鋼材量比

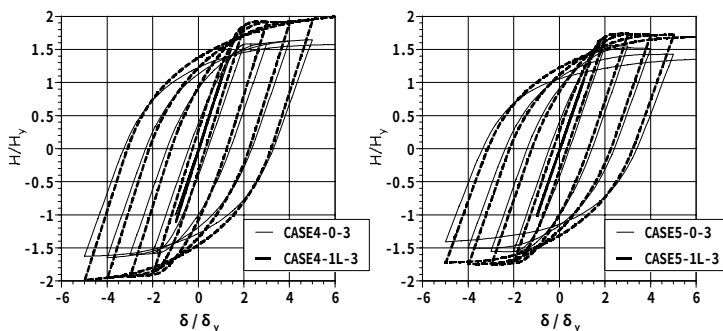


図-4 繰り返し載荷解析

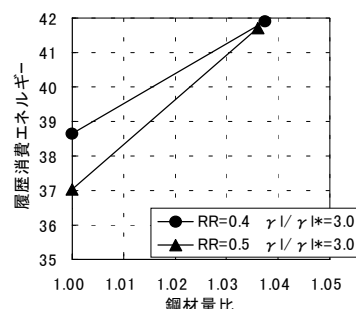


図-5 履歴消費エネルギー

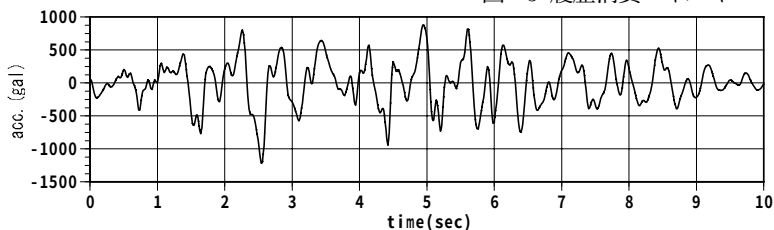


図-6 入力地震波 (kobens×1.5)

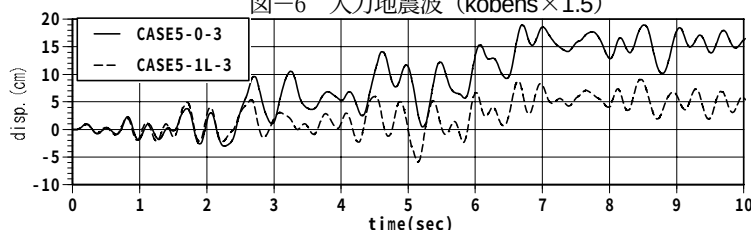


図-7 水平変位-時間関係