

テーパ鋼板を有する鋼製橋脚の耐震性能に関する実験的研究(その1)

～テーパ鋼板のセット位置とテーパ比の影響～

川崎製鉄(株) 正会員 熊野拓志 東海鋼材工業(株) 塚本 芳正
愛知工業大学 学生員 廣江 昭博 正会員 青木 徹彦

1. はじめに 一定板厚鋼板の単柱式鋼製橋脚に関する研究は数多くなされているものの、十分な変形性能があるとは言い難く、また近年のコスト削減の要求にも必ずしも応えられていない。本研究ではテーパ鋼板を有する鋼製橋脚^{1) 2)}がこうした現状を改善する構造形式の一つと考え、橋脚基部でのテーパ鋼板のセット位置と外力曲げモーメントによる応力勾配の影響に着目し、これらが耐震性能に及ぼす影響を繰り返し載荷実験により明らかにした。

2. 実験計画および方法 供試体は板厚 6mm、一辺 450mm のリブ付正方形断面を基準とし、テーパ鋼板は長さ 900mm、上下端板厚をそれぞれ 6mm、10mm として橋脚基部の 4 辺に設けた。使用鋼材は材質 SM490A、実測降伏強度は 6mm 部で 423N/mm²、10mm 部およびテーパ部 416N/mm² である。供試体の概略寸法を表 1、図 1 に示す（ $\nu=0.3$, $R_f=0.22$, $P/P_y=0.15$ ）。

(1)テーパ鋼板のセット位置による影響(SET シリーズ): テーパ鋼板の板厚変化方向の違いが耐震性能に与える影響を明らかにするため、図 2 (a)-(c)に示す 3 ケースの実験を行った。同図(a)はテーパ鋼板を橋脚の外側に板厚変化させ、橋脚内寸を同じにする場合(記号 SET-EX)、図(b)は板厚変化を外側と内側に均等にする場合(SET-CN)、図(c)は内側に板厚変化させ橋脚外寸をそろえる場合(SET-IN)である。なお、表 1 中の SET-EX'、SET-CN'は供試体製作の都合上、他の供試体とは別の工場で作成したものである。

(2)テーパ比の影響(STG シリーズ): テーパ鋼板を用いる場合、外力モーメントによる応力が板全体に一樣になるようにテーパ率を設定するのが理想的である。しかし実橋においては製作・施工誤差や上部工の設計変更、追加工事等により外力モーメントに変化が生じる可能性があるため、一様応力とならない場合の影響を把握しておくこととした。実験ではテーパ部の寸法を同一とし、供試体高さ h を変化させることにより、図 3 (a)-(c)に示すようにテーパ部の応力勾配を変化させた。テーパ部の応力勾配を表すパラメータとしてテーパ比 α を式(1)のように定義した。ここで、 g ; 式(2)によるテーパ率、 t_{TPU} , t_{TPL} ; テーパ部上下端の板厚、 h_{TP} : テーパ部の長さ、 g_0 ; 外力モーメントによる応力がテーパ鋼板内で一定となるテーパ率（以下、適合テーパ率とする）。

$$\alpha = \frac{g}{g_0}$$

式(1)

$$g = \frac{t_{TPL} - t_{TPU}}{h_{TP}}$$

式(2)

標準寸法				
鋼種	SM490A			
補剛板幅 b (mm)	450 ~ 458			
補剛板厚 t (mm)	6 ~ 10			
補剛材幅 b_s (mm)	75			
補剛材厚 t_s (mm)	9			
供試体高さ h (mm)	2343			
テーパ鋼板のセット位置による影響				
供試体名	SET-EX SET-EX'	SET-CN'	SET-IN	
分類	外広がり	中央セット	内広がり	
外寸	$b=450 \sim 454$	$b=450 \sim 452$	$b=450$	
テーパ比の影響				
供試体名	STG08	STG10	STG12	STG15
テーパ比	$\alpha=0.8$	$\alpha=1.0$	$\alpha=1.2$	$\alpha=1.5$
高さ(mm)	1929	2343	2587	2985

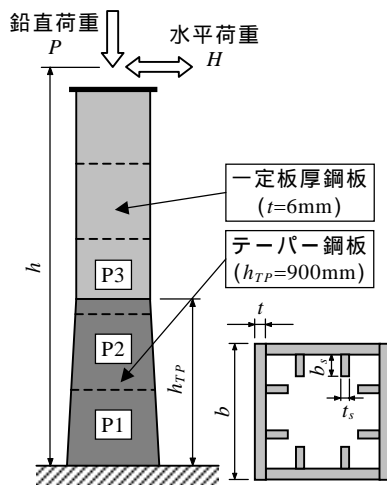


図 1 供試体図

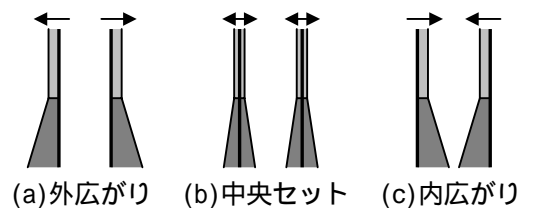


図 2 テーパー鋼板のセット位置

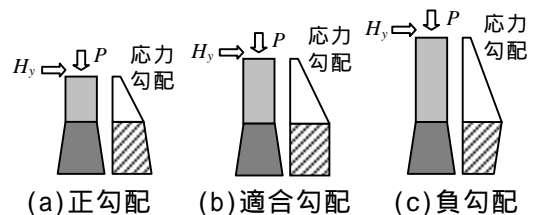


図 3 テーパー部の応力勾配

キーワード テーパー鋼板, セット位置, テーパー比, 板厚変化, 耐震, 変形性能, 塑性, 座屈, 応力勾配, 橋脚, 鋼製橋脚
連絡先 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247 TEL 0565-48-8121 FAX 0565-48-3749

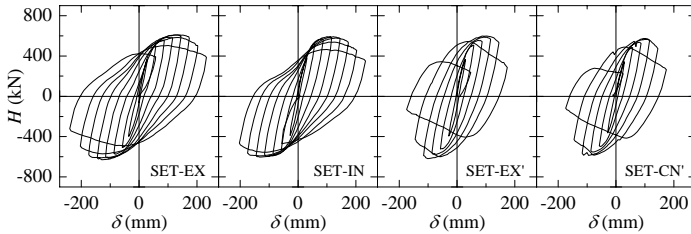


図4 水平荷重 - 水平変位履歴曲線 (SET シリーズ)

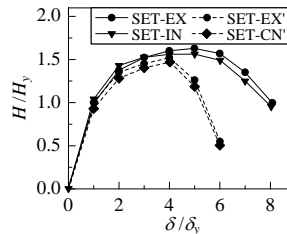


図5 包絡線 (SET)

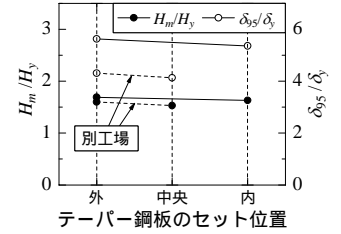


図6 最大荷重・塑性率 (SET)

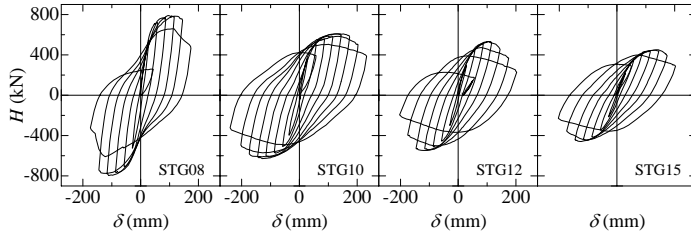


図7 水平荷重 - 水平変位履歴曲線 (STG シリーズ)

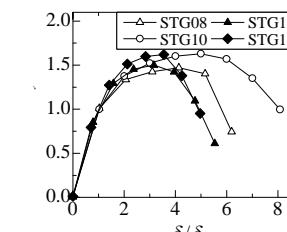


図8 包絡線 (STG)

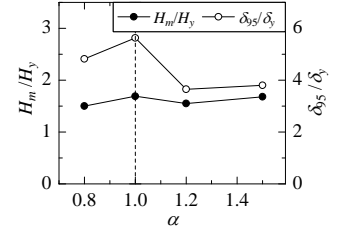


図9 最大荷重・塑性率 (STG)

応力勾配はテーパ比が $\alpha < 1$ のとき正勾配 (記号 STG08 : 図 3(a)), $\alpha = 1$ のとき応力は一様分布となり (以下適合勾配とする) (STG10 : 図 3(b)), $\alpha > 1$ のとき負勾配 (STG12, STG15 : 図 3(c)) となる。

また漸増载荷の基準となる降伏水平変位 δ_y は、圧縮フランジ側テーパ部の補剛材位置におけるひずみゲージの読みの平均値が、材料試験の結果から得られた降伏ひずみ ϵ_y に達したときの水平変位と定義した。

3. 実験結果 (1)テーパ鋼板のセット位置； SET シリーズの履歴曲線を図 4 に、その包絡線を図 5 に示す。同図より、別工場で作成した SET-EX', SET-CN' では δ_y 以降で荷重低下を生じている。これは SET-EX, SET-IN ではテーパ部全体に塑性領域が広がったのに対し、SET-EX', SET-CN' はテーパ鋼板部の降伏強度が一定板厚鋼板より約 15% 低く、一定板厚鋼板との境界付近に局部座屈が生じ、荷重の増加とともに集中的に局部変形が増大したためである。したがってテーパ部全域で座屈を生じさせるようにすると変形性能が大きくなるといえる。

SET シリーズの最大荷重・塑性率の関係を図 6 に示す。左側の縦軸は最大水平荷重 H_m を降伏水平荷重 H_y で無次元化したもの、右側の縦軸は塑性率 ($=\delta_{95}/\delta_y$) を表す。横軸はテーパ鋼板のセット位置を示す。同図より、最大荷重・塑性率とも外広がりセットした場合 (SET-EX, SET-EX') の方が中央セット (SET-CN'), 内広がり (SET-IN) より 4~5% 程度高い値を示した。また板厚変化を外広がりとした場合、内側寸法が一定となるため補剛材取付けなど製作性が向上する。以上のことからテーパ鋼板の板厚は外側変化とするのが力学的にも施工性の観点からも適当であるといえる。

(2)テーパ比の影響； STG シリーズの履歴曲線を図 7 に、その包絡線を図 8 に示す。図 7, 8 より適合勾配となる STG10 ($\alpha = 1.0$) は、正勾配の STG08 ($\alpha = 0.8$), 負勾配の STG12 ($\alpha = 1.2$), STG15 ($\alpha = 1.5$) と比較して最大荷重後の変形性能が大きい。STG シリーズの最大荷重・塑性率の関係を図 9 に示す。横軸はテーパ比 α を示す。同図より、最大荷重はテーパ比 α により数% 異なるものの両者に明確な関係は認められないが、塑性率については適合勾配の STG10 が最大となり、正勾配の STG08 は約 14%、負勾配の STG12, STG15 はそれぞれ約 35%、約 33% 低い値を示した。応力勾配が適合勾配から外れる場合は、正勾配の方が負勾配よりも優れている。また負勾配が低い値となるのは、図 3(c) のように最大応力部が板継ぎ位置に発生し、荷重の増加とともに局部座屈変形が集中的に生じるためであると考えられる。

4. まとめ (1)テーパ鋼板を橋脚に用いる場合、外側に板厚変化させるのが力学的、製作性の観点から有利である。また局部座屈させるよりもテーパ部全域で全体座屈させる方が、塑性域が拡大し橋脚としての変形性能は大きくなる。(2)変形性能が最大となるのはテーパ部の応力勾配を適合勾配とした場合であるが、実構造物では様々な誤差が発生する機会が多いため、基部下端で最大応力となるようテーパ比 α を 1 より若干小さくするように設計するのも一案であると思われる。(3) 今後は一定板厚鋼板を用いる従来型の鋼製橋脚との耐震性能の比較やテーパ鋼板を用いた鋼製橋脚の設計法の確立に取り組む予定である。

参考文献 1) 森下, 福本, 青木ら：鋼製ラーメン橋脚の耐震性能実験と工事実態調査, 橋梁と基礎, pp.32-37, 2001.7.

2) 上野谷, 中村, 福本, 山本：板厚テーパ箱型断面柱の繰返し弾塑性挙動に関する実験的研究, 鋼構造論文集, JSSC, pp.25-35, vol.9, 2002