

京都大学大学院	学生員	○北根安雄	京都大学工学部	正員	渡邊英一
京都大学工学部	正員	古田 均	京都大学工学部	正員	杉浦邦征
京都大学工学部	正員	宇都宮智昭	阪神高速道路公団	正員	南 莊 淳

1. 研究目的

本研究では、T型及び逆L型に代表される単柱形式の鋼製箱型断面橋脚柱の合理的で耐震性に優れた断面設計を検討するため、強度及び変形性能に影響を及ぼす支配パラメータを等しくした補剛薄板を用いた断面・極厚板を用いた断面を有する橋脚モデルに対し単調載荷実験及び繰返し載荷実験を行う。これらの橋脚モデルの保有する強度と変形性能に基づいて、材料・製作コストを考慮して経済性比較を行う。

2. 載荷実験の概要

鋼製橋脚の保有水平耐力に関する研究会（主査：北田俊行大阪市立大学助教授）は、軟弱地盤で想定される巨大地震に対しても橋脚の安全を保証できるよう、橋脚の強度パラメータの制限値として、 $R_r \leq 0.4$ 、 $\gamma/\gamma^* \geq 5.0$ 、 $P/P_y \leq 0.7$ を提示した。これらの条件を満足する橋脚を約1/10にスケールダウンしたものを標準橋脚モデル（B-NEW）とした。これは、1本リブの箱型断面を有する橋脚モデルである。また、他に、3本リブの箱型断面（B-ALT）、無補剛の箱型断面（B-TKP）の2種類を設定した。各橋脚モデルのパラメータをTable 1に、その形状をFig.1に示す。設計時に用いた降伏応力と実測値が異なるため、パラメータは10%程度高めめの値となったが、相対的な比較には差し支えないものと思われる。2種類の載荷を行うため、合計6体の橋脚モデルを製作した。それらの名称と載荷方式をTable 2示す。載荷には、40tonfサーボ試験機2台から構成される実験装置を用い、上部構造の自重を考慮した一定軸圧縮力及び地震力を想定した水平荷重を柱頭に与えた。軸圧縮力は降伏軸圧縮力の6.2%とし、荷重制御で行った。また、水平載荷は0.2(mm/sec)の一定速度での変位制御で行った。

モデル名	B-NEW		B-ALT		B-TKP	
載荷方式	M	C	M	C	M	C
R_r	0.452	0.459	0.463	0.460	0.498	0.498
γ/γ^*	5.04	5.27	5.24	5.16	---	---
λ	0.393	0.394	0.376	0.376	0.480	0.480
A(cm ²)	75.44	74.88	76.37	76.75	72.98	73.05
W(cm ³)	704.6	696.1	615.5	618.9	494.1	494.8

(NOTE) R_r : 幅厚比パラメータ
 γ/γ^* : 縦補剛材剛比
 λ : 細長比パラメータ
A: 断面積
W: 弾性断面係数
M: 単調載荷
C: 繰返し載荷

1844

Table 1 橋脚モデルのパラメータ

モデル名	B-NEW		B-ALT		B-TKP	
載荷方式	M	C	M	C	M	C
R_r	0.452	0.459	0.463	0.460	0.498	0.498
γ/γ^*	5.04	5.27	5.24	5.16	---	---
λ	0.393	0.394	0.376	0.376	0.480	0.480
A(cm ²)	75.44	74.88	76.37	76.75	72.98	73.05
W(cm ³)	704.6	696.1	615.5	618.9	494.1	494.8

(NOTE) Rr: 幅厚比パラメータ M: 単調載荷
 γ/γ^* : 縦補剛材剛比 C: 繰り返し載荷
 λ : 細長比パラメータ
A: 断面積
W: 弾性断面係数

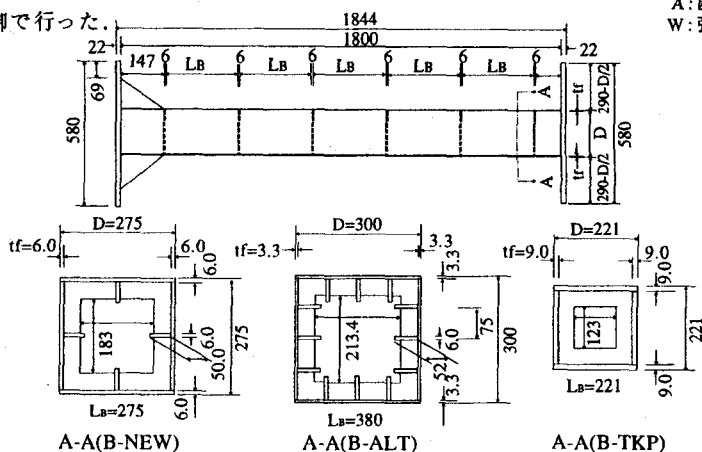


Fig. 1 橋脚モデル形状及び断面形状 (単位: mm)

3. 実験結果及び考察

入力波形及び荷重変形曲線の一例をFig.2及びFig.3に示す。荷重は降伏水平力 H_y 、変位は降伏水平変位 δ_y で無次元化した。単調荷重では、B-TKPがすぐに最大耐荷力点に達した後緩やかに劣化した。B-

Table 2 載荷方式

単調載荷	繰り返し載荷
B-NEW-M	B-NEW-C
B-ALT-M	B-ALT-C
B-TKP-M	B-TKP-C

M: 単調載荷
C: 繰り返し載荷

NEW, B-ALTは、約 $8\delta y$ まで正の二次勾配を保ち続けた。また、繰り返し载荷において安定な履歴曲線が得られる最大水平変位は、B-TKPが $3.0\delta y$ 、B-NEWが $3.5\delta y$ 、B-ALTが $4.0\delta y$ であることから、B-ALTの変形性能の高さがうかがえる。

単調及び繰り返し载荷実験で得られた最大耐荷力 H_{max} と変形性能 δ_{max} の比較結果をFig.4に示す。ここで、単調载荷実験で得られた δ_{max} は最大耐荷力点における水平変位であるが、繰り返し载荷実験においては、強度劣化が見られない最大水平振幅である。この図において、右上にある程度強度及び変形性能に優れていると言えるが、単調载荷・繰り返し载荷のどちらの場合でも、強度及び変形性能の両面でB-ALTが優れており、次にB-NEW、B-TKPという順になっていることがわかる。

さらに、強度パラメータ及び断面積を等しくした各橋脚モデルの強度・変形性能に基づき、材料・溶接コストを考慮して、経済的な鋼製橋脚の断面設計がどのようなものかを検討する。各モデル間で、板厚の違いにより材料定数が多少異なっているので、ヤング率 $E=2.1 \times 10^4(\text{kgf/cm}^2)$ 、降伏応力 $\sigma_y=3000(\text{kgf/cm}^2)$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ に統一し、強度パラメータ R_t と γ/γ^* を等しくすれば骨格曲線の形は変わらないという仮定を用いて、耐荷力・エネルギー吸収量を算出した。また、B-ALTの最大耐荷力及び最大耐荷力点までのエネルギー吸収量を基準値とし、他のモデルのそれらがこの基準値と等しくなるよう断面積を大きくした。本研究では、数社の企業に問い合わせた結果、鋼材13.85万円/ton、溶接0.2835万円/m(6mm隅肉溶接にて換算)という値を用いて比較した。その場合の橋脚柱の単位長さあたりのコストをFig.5に示す。隅角部の溶接コストをどのように考慮するかによって結果が異なる。一般に、縦補剛材の溶接コストは厚板使用による材料コストの増加分を上回るが、隅角部の溶接を完全溶け込みと仮定すると、多数の補剛材を溶接する方が経済的となる。

4. 結論

- 1) 現在の鋼製橋脚の典型的断面である多数の補剛材を有する補剛薄肉箱型断面は、強度及び変形性能の面で優れている。
- 2) 橋脚柱の単位長さあたりのコストは隅角部の溶接量に影響を受けやすく、工場の設備等を考慮して経済性を評価する必要がある。また、補剛薄板使用、極厚板使用のいずれにおいても、自動溶接化、極厚板の溶接技術向上が望まれる。

謝辞：溶接コストの調査に際し、情報を提供していただいた橋梁設計技術者の皆様に感謝の意を表します。

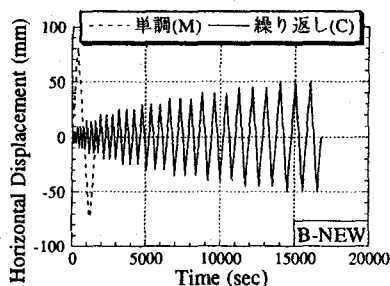


Fig. 2 入力波形

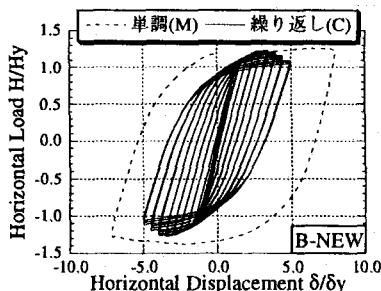


Fig. 3 荷重変形曲線

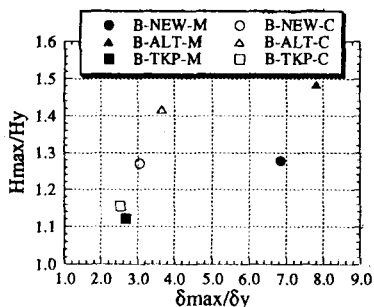


Fig. 4 H_{max}/H_y と δ_{max}/δ_y の比較 (万円/m)

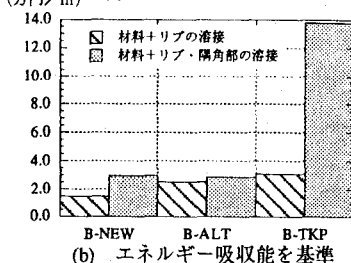
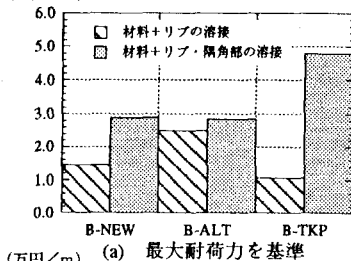


Fig. 5 橋脚モデルの単位長さあたりのコスト