

円形断面鋼製橋脚の弾塑性挙動に及ぼす鋼材特性の影響

長崎大学工学部 学生会員 ○國重陽平
長崎大学工学部 正会員 中村聖三
長崎大学工学部 フェロー会員 高橋和雄

1. まえがき

鋼製橋脚の弾塑性挙動については、阪神・淡路大震災以降、精力的に実験的・解析的研究が行われてきたが、材料特性に着目した研究は少ない。本研究では単柱式円形断面鋼製橋脚に一定軸圧縮力を作用させた状態で、水平方向に漸増繰返し変位を与える弾塑性有限変位解析を行い、鋼材の応力－ひずみ関係が耐荷力および変形性能に及ぼす影響を調査する。

2. 解析の概要

(1)橋脚諸元の設定

円形断面鋼製橋脚を検討対象とし、径厚比パラメータ R_t および細長比パラメータ λ が表 - 1 に示す値になるように、橋脚諸元（板厚 t 、直径 D 、橋脚高 h ）を決定した。 R_t および λ の定義式を式(1)、(2)に示す。

$$R_t = \sqrt{3(1-\nu^2)} \frac{\sigma_y D}{E 2t} \cdots (1) \quad \lambda = \frac{2h}{r} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \cdots (2)$$

ここで、 σ_y ：降伏応力、 E ：ヤング係数、 ν ：ポアソン比、 D ：直径、 t ：板厚、 h ：橋脚高、 r ：断面2次半径である。

(2)鋼材特性

鋼材の応力－ひずみ曲線は式(3)で表現し、 E/E_{st} 、 $\varepsilon_{st}/\varepsilon_y$ をパラメータとして変化させ、表-2に示す6種類の応力－ひずみ関係を設定した。全モデルの応力－ひずみ曲線を図-1に示す。硬化則としては、移動硬化則を用いた。

$$\frac{\sigma}{\sigma_y} = \frac{1}{\xi} \frac{E_{st}}{E} \left[1 - \exp \left\{ -\xi \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} - \frac{\varepsilon_{st}}{\varepsilon_y} \right) \right\} \right] + 1 \cdots (3)$$

ここで、 ε_y ：降伏ひずみ、 ε_{st} ：ひずみ硬化開始ひずみである。

3. 解析モデルと載荷方法

解析モデルは、図-2のように直径の2倍の高さまでをシェル要素でモデル化し、残りを梁要素でモデル化した。シェル要素と梁要素の結合部には、両者が一体として挙動するような拘束条件を与えた。シェル要素は高さ方向には図-2のように分割し、円周方向には32分割とした。解析においては、柱頭部に全断面降伏軸力の15%の一定軸圧縮力を作用させた状態で、水平方向に漸増繰返し変位を与えた。繰返し変位は、図-3に示すような降伏変位 δ_y を基本にした漸増繰返し変位である。橋脚モデルA～Cと応力－ひずみモデル1～6を組み合わせた18種類のモデルについて解析を実施した。使用したソフトウェアはMARCである。

表 - 1 橋脚モデルの諸元

モデル	h(cm)	D(cm)	t(cm)	R_t	λ	降伏荷重 H_y (kgf)	降伏変位 σ_y (cm)
A	430.1	89.1	1.17	0.075	0.3	35519	1.38
B	573.4	89.1	1.17	0.075	0.4	26639	2.46
C	716.8	89.1	1.17	0.075	0.5	21311	3.84

表 - 2 応力－ひずみ関係

モデル	σ_y (kgf/cm ²)	ξ	$\frac{E}{E_{st}}$	$\frac{\varepsilon_{st}}{\varepsilon_y}$	降伏比 YR
1	2500	0.06	40	1	0.71
2	2500	0.06	80	1	0.83
3	2500	0.06	40	5	0.71
4	2500	0.06	80	5	0.83
5	2500	0.06	40	10	0.71
6	2500	0.06	80	10	0.83

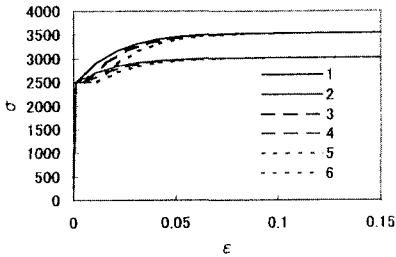


図 - 1 鋼材の応力－ひずみ曲線

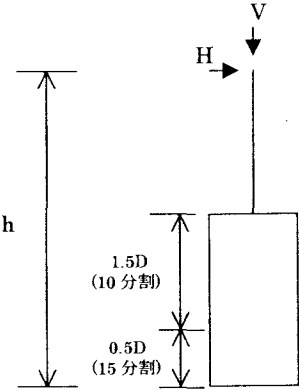


図 - 2 解析モデル

4. 解析結果と考察

表 - 3 に、全ケースについて解析より得られた最大水平荷重 ($H_{\max}/H_y$)、そのときの水平変位 (δ_m/δ_y) およびピーク後最大荷重の 95% まで降下した点での水平変位 (δ_{95}/δ_y) を示す。また図 - 4、図 - 5 には、細長比パラメータ 0.3 の場合の $H_{\max}/H_y$ 、 δ_m/δ_y を示す。これらの図表より降伏比、降伏棚ともに小さい方が最大耐荷力、変形能が若干大きい傾向が認められるものの、それほど大きな差はないことが分かる。

表-3 強度と変形能

モデル	$H_{\max}/H_y$	δ_m/δ_y	δ_{95}/δ_y
A1	1.56	3.00	3.42
A2	1.50	2.40	3.28
A3	1.51	2.80	3.39
A4	1.48	2.00	3.12
A5	1.50	2.60	3.29
A6	1.47	2.00	3.09
B1	1.53	2.80	3.09
B2	1.47	2.00	3.04
B3	1.48	2.20	3.13
B4	1.45	1.80	2.69
B5	1.46	2.00	3.07
B6	1.44	1.80	2.53
C1	1.50	2.60	3.14
C2	1.45	2.00	2.63
C3	1.46	2.20	3.04
C4	1.43	1.60	2.38
C5	1.43	1.80	2.53
C6	1.41	1.60	2.30

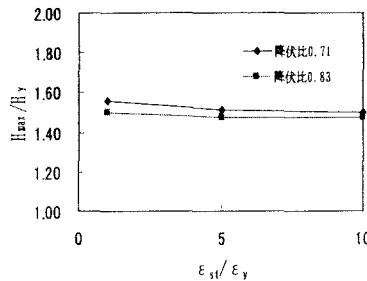


図-4 $H_{\max}/H_y$ ($\lambda=0.3$)

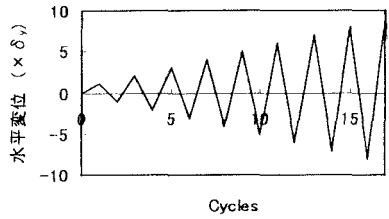


図-3 荷重パターン

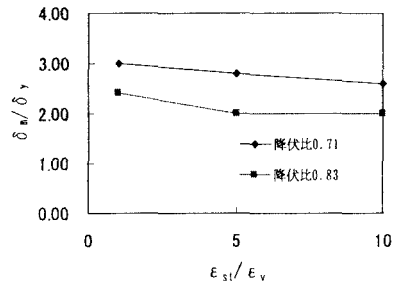


図-5 δ_m/δ_y ($\lambda=0.3$)

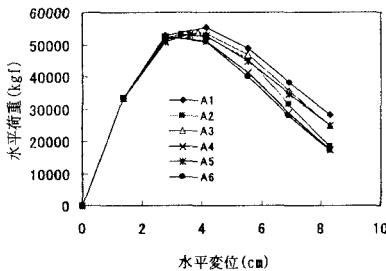


図-6 水平荷重 - 水平変位履歴曲線の包絡線 ($\lambda=0.3$)

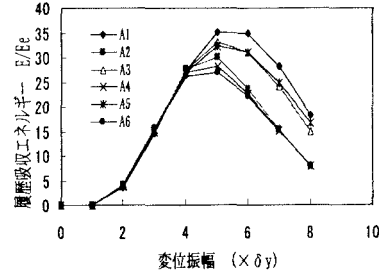


図-7 履歴吸収エネルギー ($\lambda=0.3$)

また、水平荷重 - 水平変位の包絡線については、図 - 6 に示すように、降伏比が小さい方が最大水平荷重後の強度の劣化が緩やかであった。図 - 7 には $E_e=H_y \delta_y/2$ で無次元化した各サイクルごとの履歴吸収エネルギーを示すが、どのモデルも変位振幅 $5\delta_y$ においてピークとなり、その後減少していることがわかる。以上のように、降伏棚の大きさおよび降伏比は、今回検討した範囲では最大荷重までの挙動にはあまり影響を与えず、ピーク後の劣化挙動に比較的大きな影響を及ぼすことが分かった。

5. まとめ

本研究では、円形断面鋼製橋脚の弾塑性有限変位解析を行い、鋼材の応力 - ひずみ関係が鋼製橋脚の耐荷力および変形性能に及ぼす影響を調査した。しかし、今回の検討は変化させたパラメータの数も少なく、またその範囲も十分ではない。今後、着目するパラメータの数を増やすとともに検討範囲を拡大し、より広範な検討を実施する予定である。

参考文献

- 1) 土木学会鋼構造委員会・鋼構造新技術小委員会 耐震設計研究 WG：鋼橋の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術（平成 8 年 7 月）