

局部座屈が鋼製橋脚の弾塑性動的挙動に及ぼす影響

岐阜大学工学部 正員 奈良 敬

岐阜大学工学部 正員 村上 茂之

大日本土木(株) 正員 大西 陽一

1. はじめに

一般に鋼製橋脚は、力学的効率の高い補剛板で構成された薄肉断面構造となっている。このような補剛板構造に対しては、局部座屈や塑性履歴を考慮した動的応答解析を行い、その耐震性を評価することが望ましい^{1,2)}。

鋼製橋脚を設計する上で重要なものの1つに断面パラメータがある。その中で、フランジ幅厚比パラメータ、細長比パラメータに制限値を設け、かつ縦補剛材剛度を高めることで、局部座屈の発生を遅らせダクティリティを向上させる設計法³⁾が提案されている。しかしながら、強震動下では橋脚は部分的に塑性域に入ることから、塑性領域での鋼材特性を活用することにより、橋脚の耐震性能向上が期待される⁴⁾。

本研究では、単柱形式の鋼製橋脚をモデルとして板要素と骨組要素を用いた弾塑性動的応答解析法⁵⁾を用いて数値計算を行い、断面パラメータのみならず鋼材特性が鋼製橋脚の弾塑性動的挙動に及ぼす効果について検討した。

2. 解析モデル

図-1に示すような断面を有し、図-2に示すような単柱式の鋼製橋脚を解析モデルとする。解析モデルの構造諸元を表-1に示す。解析モデルの記号については、R5がフランジ幅厚比パラメータ $\lambda_p = 0.5$ 、G3は補剛材剛比パラメータ $\gamma/\gamma^* = 3$ 、F5は柱部材としての細長比パラメータ $\lambda = 0.5$ 意味する。残留応力と初期たわみを初期不整として考慮した。

図-2に要素分割を示す。橋脚基部から横補剛材間の1.5倍に相当する領域は、板要素を用いてモデル化を行った。また、骨組要素と板要素の結合部には、面内剛性が0で、面外剛性が無限大で与えられる剛板要素を導入する。骨組要素部と板要素部の節点変位および節点力は、それぞれこの剛板要素の節点変位および節点力と関連付けられ、全体剛性マトリックスが修正されている。

鋼種は、SM490Y（降伏応力度 σ_y ：388MPa）とし、繰り返し載荷時の応力-ひずみ関係に単調載荷の材料試験により表現できる構成則⁵⁾を導入した。また、鋼材特性として、降伏比 $YR=0.6, 0.8$ 、降伏棚長 $\varepsilon_{HY}=(\varepsilon_{st}-\varepsilon_y)/\varepsilon_y=0, 5$ について解析モデルごとに検討を行った。ただし、 ε_y は降伏ひずみ、 ε_{st} はひずみ硬化開始ひずみである。

入力地震波には、タイプ 種地盤（兵庫県南部地震・神戸海洋気象台周辺地盤上NS成分）の地震波を用いた。

3. 解析結果と考察

図-3にモデルR5G3F5、 $YR=0.6$ の場合の橋脚頭頂部で得られる水平変位 d の時刻歴を示す。 d_y は降伏変位（頭部に静的な水平力を受け柱基部が降伏した場合の変位）である。この図より、最大水平変位応答を示すまでは、 $\varepsilon_{HY}=0$ および $\varepsilon_{HY}=5$ のどちらの場合もほぼ同様な挙動を示しているが、その後は降伏棚を有する $\varepsilon_{HY}=5$ のモデルが片側に変形し始め、およそ降伏変位の半分程度の残留変位を生じた。それに対して降伏棚が無い $\varepsilon_{HY}=0$ のモデルでは、残留変位はほとんど生じなかった。

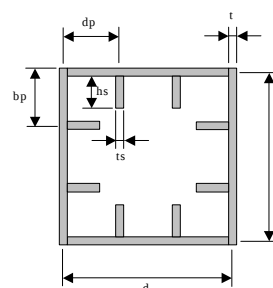


図-1 断面形状

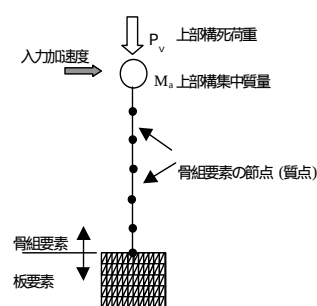


図-2 要素分割

表-1 寸法諸元

モデル	b (cm)	b _p (cm)	t (cm)	b _p /t	h _s (cm)	t _s (cm)	h (cm)
R3G3F3	210.0	70.0	5.33	13.13	31.55	2.95	903.4
R3G3F5			5.33	13.13	31.55	2.95	1505.7
R4G3F3			3.99	17.51	27.00	4.58	890.5
R4G3F5			3.99	17.51	27.00	4.58	1484.2
R5G3F3			3.19	21.89	29.78	2.78	894.7
R5G3F5			3.19	21.89	29.78	2.78	1491.1

$b=d$, $b_p=d_p$, h : 橋脚の高さ

キーワード（鋼製橋脚，動的解析，局部座屈，耐震性能，鋼材特性）

連絡先（〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 Tel. 058-293-2405 Fax. 058-293-2425）

図-4に橋脚頭頂部最大水平変位 $d_{\max}$ を d_y で無次元化し、 $\bar{\lambda}_p$ との関係を示す。この図より、幅厚比パラメータと最大水平変位は、 $\bar{\lambda}_p$ ならびに YR の変化に対して変化はほとんど見られなかった。しかし、降伏棚を有するモデルと無いものを比較すると、降伏棚が無いモデルの方が約 15～30% 橋脚頭頂部の水平変位を抑制することができる。

図-6 および 7 には、図-5 に示す板座屈の着目点の最大たわみの絶対値 $|w_{\max}|$ を、板厚 t で無次元化して示す。この図より、着目節点 51 の最大たわみ $|w_{\max}|/t$ は、降伏棚があるモデルの場合に幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ が 0.5 から 0.3 に小さくなることで約 20～50% 程度板座屈変形が抑制されることが分かる。また、節点 75 でも同様の傾向が見られた。一方、降伏棚が無いモデルでは、0.3 $\bar{\lambda}_p$ 0.5 の範囲で板座屈変形はほぼ水準で板厚の 1/10 程度に抑制されることが分かった。降伏棚があるモデルと比較すると、幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ が 0.4 以上の時、降伏棚をなくすことにより約 45～80% 変形が抑制できる。

4. 結論

単柱式鋼製橋脚を対象とした骨組要素と板要素の結合解析による弾塑性動的応答解析の結果から、以下の結論を得た。

降伏棚がない鋼材特性の場合、降伏棚があるものに比べ、橋脚頭頂部の残留水平変位ならびに最大水平変位を抑制することができる。

幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ 0.4 以上のとき、降伏比が小さくかつ降伏棚を有しないモデルでは、橋脚基部の板座屈変形を少なくとも 50% 程度は抑制することができる。

幅厚比パラメータ、細長比パラメータ、補剛材剛比パラメータに加え、鋼材特性を考慮することにより耐震性能の向上が一層期待できると考えられ、種々の地震動についてさらなるパラメトリック解析が必要である。

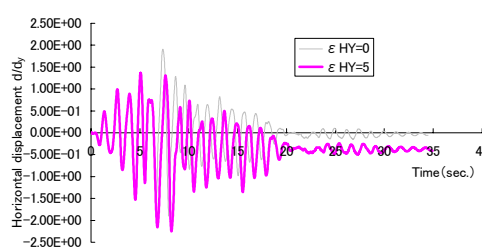


図-3 頭頂部水平変位時刻歴応答 (R5G3F5 YR6)

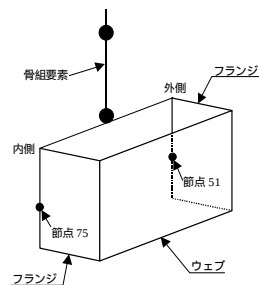
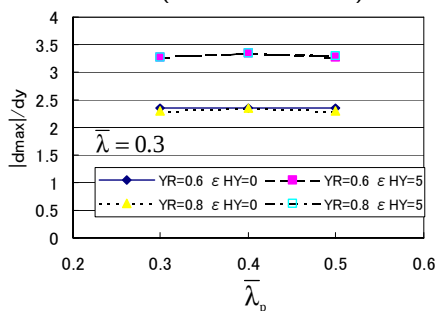
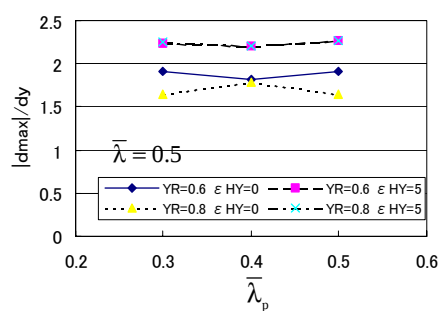


図-5 着目節点位置

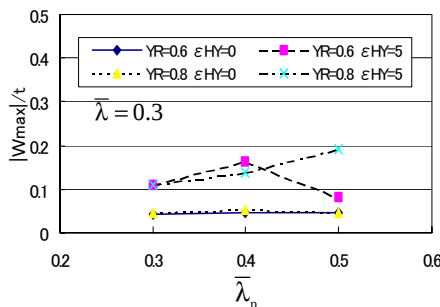


(a) 細長比パラメータ 0.3

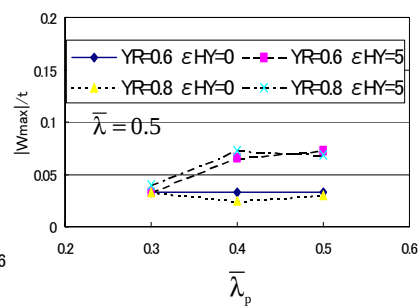


(b) 細長比パラメータ 0.5

図-4 頭頂部最大水平変位 - 幅厚比パラメータ

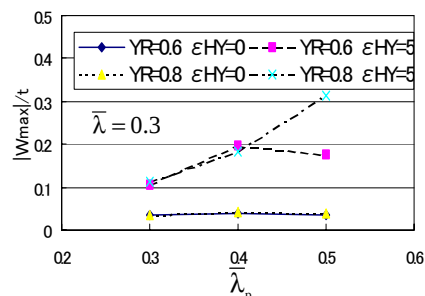


(a) 細長比パラメータ 0.3

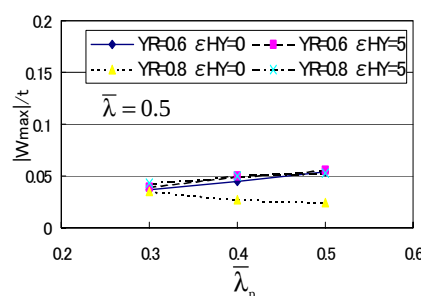


(b) 細長比パラメータ 0.5

図-6 着目節点最大水平変位 - 幅厚比パラメータ(節点 51)



(a) 細長比パラメータ 0.3



(b) 細長比パラメータ 0.5

図-7 着目節点最大水平変位 - 幅厚比パラメータ(節点 75)

参考文献 1) (社)日本道路協会: 道路橋示方書(耐震設計編), 平成 8 年 12 月. 2) 土木学会関西支部: 大震災に学ぶ, 第 1 巻, 1998 年 6 月. 3) たとえば宇佐美勉: ハイダクティリティー鋼製橋脚, 橋梁と基礎, Vol. 31 No. 6 pp. 33-36, 1997 年 6 月. 4) Nara S.: Steel Properties for Improvement in Ultimate Strength and Ductility of Longitudinally Stiffened Plates under Uniaxial Compression, Proceedings of 1994 Task Group Technical Session, SSRC, Bethlehem, Pennsylvania, June 20-22, pp. 355-364, 1994. 5) 奈良敬, 村上茂之, 玉利率一: 局部座屈を考慮した鋼製橋脚の弾塑性動的解析, 第 2 回鋼構造物の非線形数値解析への応用に関する論文集, 1998 年 11 月. 6) 奈良敬, 村上茂之, 小西隆史: 引張試験に基づく材料定数をパラメータとする鋼材の繰返し構成則, 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, 第 3 回, 土木学会鋼構造物委員会鋼構造物の耐震検討小委員会, pp. 105-112, 2000 年 1 月.