

第 部門 繰り返し荷重を受ける鋼製ラーメン橋脚の変形挙動

関西大学工学部 学生員 ○法本 海 関西大学大学院 学生員 片岡 宏文
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 森崎 啓 香川大学工学部 正会員 白木 渡
 関西大学工学部 正会員 堂垣 正博

1. はじめに

兵庫県南部地震の悲劇を経て、2002年度の道路橋示方書改訂¹⁾により、わが国でも限界状態設計法への移行が始まっている。しかし、各種統計データの不足によって規定値の設定がなされていないため、信頼性理論に基づく設計法の研究が進展しない状況にある。

本研究では、鋼製橋脚の合理的で、信頼性に富む耐震設計法を確立する上で必要な縦補剛材間パネルの幅厚比パラメータ、縦補剛材の幅厚比パラメータや曲げ剛比などが繰り返し荷重を受ける鋼製ラーメン橋脚の変形と強度に及ぼす影響を局部座屈を考慮した準静的解析によって明らかにする。

2. 解析対象の構造物

支間長 40m 程度の連続高架橋を支える鋼製 1 層門形ラーメン橋脚を解析の対象とする。その基部は完全固定されているものとする。

鋼製ラーメン橋脚を構成する柱部やはり部は薄肉の鋼板からなり、 n 本の縦補剛材でフランジと腹板がそれぞれ補剛されている。橋脚は鋼種 SM490Y の鋼板で製作され、その降伏応力は $\sigma_y=355\text{MPa}$ 、弾性係数は $E=206\text{GPa}$ である。

解析対象の鋼製ラーメン橋脚は、コンピュータの容量や演算時間を勘案し、鋼製門形ラーメン橋脚は板の面外変形が顕著に現れる柱基部や隅角部近傍で密な要素を用いる領域、面外変形が比較的小さい粗な要素を用いる領域、リンクを用いた隅角部に区分し、それらを結合したいわゆる結合モデルにモデル化する。

ラーメンの構面に
 直角方向の対称性

から奥行き方向に 1/2 を解析する。ここに、有限要素にはすべて 4 節点 6 自由度の薄肉四辺形シェル要素を使用

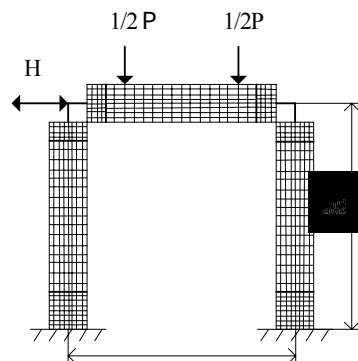


図-1 解析モデル

した。解析モデルの概要図を図-1、解析パラメータを表-2に示す。

表-2 解析パラメータ

		柱部＝はり部
補剛板の幅厚比パラメータ	$R_{sp,f}=R_{sp,w}$	0.3, 0.5, 0.7
縦補剛材間の板パネルの幅厚比パラメータ	$R_{p,f}=R_{p,w}$	0.3, 0.5, 0.7
縦補剛材の幅厚比パラメータ	$R_{ls,f}=R_{ls,w}$	0.5
縦補剛材の剛比	$\gamma_{l,f}/\gamma_{lreq,f}=\gamma_{l,w}/\gamma_{lreq,w}$	1, 3, 5
アスペクト比	α	1
軸力比	P/P_y	0.2
柱高/梁長	h/l	0.5, 1, 2

3. 解析手法と載荷形式

本研究では、ラーメン橋脚の弾塑性有限変位解析に汎用有限要素プログラム“MARC2003”を適用する。降伏判定に von Mises の等価応力、塑性条件に Prandtl-Reuss の流れ則、硬化則に混合硬化則を用いた。鋼材の応力-ひずみ関係に bi-linear な関係を仮定し、 $E_p/E=0.01$ とした。

有限要素の定式化には Up-dated Lagrangian 法を用い、非線形方程式の解法に Newton-Raphson 法と弧長増分法を組合せた混合法を適用する。

載荷形式に単調載荷と繰り返し載荷の 2 つを考える。単調載荷は強制的な変位を徐々に増加しながら作用させる方法で、繰り返し載荷は強制的な変位を $1\delta_y, -1\delta_y, 2\delta_y, -2\delta_y, 3\delta_y, \dots, -6\delta_y$ と繰り返して作用させる方法である。

4. 解析結果とその考察

4.1 荷重の載荷形式の違いが橋脚の変形挙動に及ぼす影響

単調載荷と繰り返し載荷に対して載荷点における荷重と変形の関係を調べたところ、図-2を得た。

図-2 から明らかなように、単調載荷の場合に比べて、繰り返し載荷の場合には最高耐力以降の非線形域において強度の劣化が生じた。この現象は繰り返しのサイクルが進むにつれて顕著になった。地震荷重は繰り返して作

用するので、単調荷重による解は構造物をより安全側に評価するので注意を要する。

4.2 h/l が橋脚の変形挙動に及ぼす影響

鋼製ラーメン橋脚の(橋脚の高さ)/(はりの長さ)パラメータが $h/l=0.5, 1.0, 2.0$ の場合、荷重点における変位-荷重の関係(ヒステリシス曲線)における各サイクルでの頂点を描けば、図-3を得る。

図-3 から明らかなように、柱が長いモデルは、他のモデルと比べて、耐力の点では劣るが、変形性能には優れている。 $h/l=0.5$ と $h/l=1.0$ の荷重-変位の曲線はほぼ一致する。

$h/l=0.5$ の場合は、ラーメンの剛比(I_b/I_c)/(I_c/h)が小さいため、橋脚基部に大きな曲げモーメントが作用し、そこが早期に局部座屈と降伏を起こしたため、耐力力が低下したと考えられる。

4.3 縦補剛材間パネルの幅厚比パラメータが橋脚の変形挙動に及ぼす影響

縦補剛材間パネルの幅厚比パラメータが $R_p=0.3, 0.5, 0.7$ の場合、荷重点における変位-荷重の関係を描けば、図-4を得る。

図-4 から明らかなように、縦補剛材間パネルの幅厚比パラメータが大きくなるにしたがって、保有水平耐力が減少する。最大耐力に対応する変位を比べると、 $R_p=0.3$ では $3.5\delta/\delta_y$ 、 $R_p=0.5$ では $2.8\delta/\delta_y$ 、 $R_p=0.7$ では $1.4\delta/\delta_y$ となり、縦補剛材間パネルの幅厚比パラメータが塑性率に及ぼす影響は大である。

4.5 縦補剛材剛比が橋脚の変形挙動に及ぼす影響

縦補剛材剛比が $\gamma_1/\gamma_{1req}=1.0, 3.0, 5.0$ の場合、荷重点における変位-荷重の関係を描けば、図-5を得る。

図-5 から、 γ_1/γ_{1req} が増すと、変形性能が向上する。また、最大水平耐力に関しては $\gamma_1/\gamma_{1req}=3$ と $\gamma_1/\gamma_{1req}=5$ の場合に差が認められなかった。しかし、 $\gamma_1/\gamma_{1req}=1$ の場合最大耐力が若干低下した。水平耐力の点では γ_1/γ_{1req} は縦補剛材間パネルの幅厚比パラメータ R_p ほど影響しない。しかし、以上の結果は $R_p=0.5$ の場合である。 R_p が大きくなれば水平耐力に γ_1/γ_{1req} の影響が生じるものと考えられる。

5.まとめ

以上の結果をまとめると、次のようである。

- 1) 単調荷重の場合は、繰返し荷重の場合よりも構造物の強度を安全側に評価する。
- 2) 広範なパラメトリック解析を局部座屈を考慮した弾塑

性有限変位解析で行い、ラーメン橋脚の保有性能とパラメータとの関係を明らかにした。

参考文献

- 1) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説，耐震設計編，丸善，2002-3。

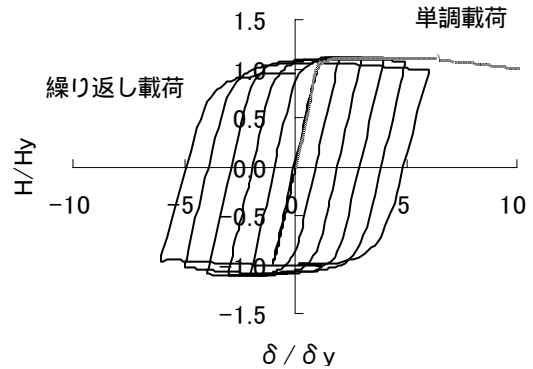


図-2 荷重-変位曲線(荷重形式の違い)

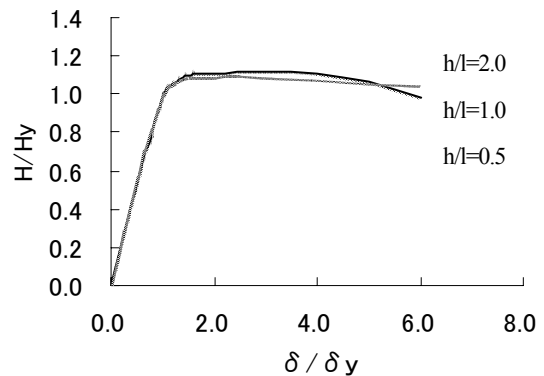


図-3 荷重-変位曲線(h/l の違い)

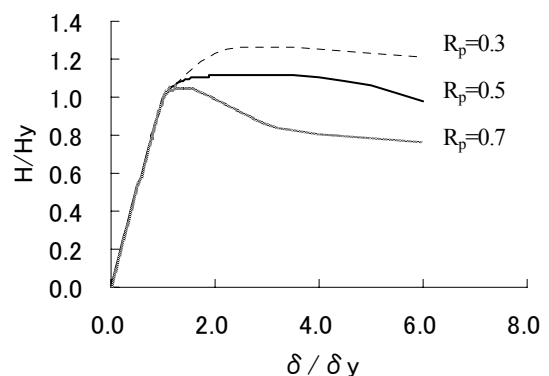


図-4 荷重-変位曲線(R_p の違い)

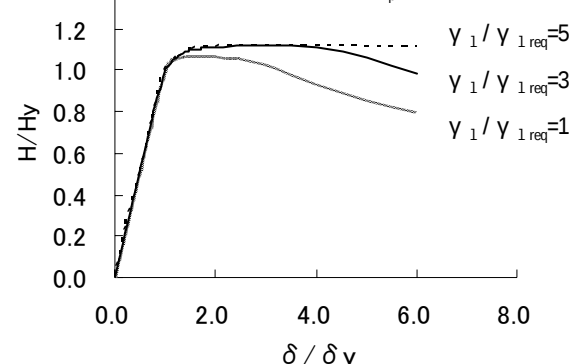


図-5 荷重-変位曲線(γ_1/γ_{1req} の違い)