中間はりの損傷を勘案した鋼製2層門形ラーメン橋脚の終局強度と変形性能特性

㈱応用技術　正会員○荒木　崇　　舞鶴工業高等専門学校　正会員　武田八郎
関西大学工学部　正会員　堂垣正博

1. まえがき

兵庫県南部地震では，鋼製２層門形ラーメン橋脚の中間はりにせん断座屈を伴った損傷が認められた．その後，中間はり中央部近傍の腹板に発生するせん断座屈と橋脚の耐力やエネルギー吸収能との関係が実験的に調べられるようになった．これは，中間はりに生じるせん断座屈とラーメン橋脚が吸収するエネルギーとの関係を調べ，橋脚基部の損傷を和らげる効果があるかどうかを検討しようとするものである．

ここでは，上述の研究を解析的に行い，鋼製２層門形ラーメン橋脚の中間はり中央付近に発生するせん断座屈と橋脚の耐力・変形性能との関係を明らかにする．

2. 鋼製2層門形ラーメン橋脚の解析モデル

Fig.1に示す鋼製２層門形ラーメン橋脚の１層目と２層目の柱高がh_1，h_2，はりの長さがlで，基部が固定されたラーメン橋脚を対象とする．鋼製ラーメン橋脚を構成する柱とはりは補剛された薄板からなる．**Fig.2**に示すように，n_{scf}本とn_{scw}本の縦補剛材で補剛された柱のフランジと腹板の幅と厚さはそれぞれb_{cf}，t_{cf}とb_{cw}，t_{cw}である．縦補剛材の自由突出高と板厚はフランジでb_{scf}，　t_{scf}，腹板でb_{scw}，t_{scw}である．また，フランジと腹板がb_{bf}，t_{bf}，b_{bw}，t_{bw}のはりも，柱と同様，断面がb_{sbf}，t_{sbf}，b_{sbw}，t_{sbw}のn_{sbf}本とn_{sbw}本の縦補剛材で補剛される．

3. 解析手法

鋼製２層門形ラーメン橋脚の弾塑性有限変位解析を汎用有限要素プログラム“MARC”で行う．ここに，降伏の判定に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，また幾何学的・材料的非線形性を考慮した有限要素解析の定式化にUp-dated Lagrangian手法，非線形代数方程式の解法にNewton-Raphson法と弧長増分法を選択した．非線形解の収束は変位の相対差で行い，その許容値を10^{-3}とした．また，鋼材の応力－ひずみ関係にマルチリニア型を用いた．

断面構成板に局部座屈の可能性がある基部や隅角部近傍，中間はり中央部を**Fig.1**のように細分割した．

載荷方法として，橋脚の上層はりに横荷重Pを作用させた後，水平力Hに等価な変位δを左右に与えた．載荷パターンとして，**Fig.3**に示す漸増載荷(点線①)と，一定振幅の変位を正負交番に１サイクル与えた後，振幅を増加させる繰り返し変動振幅載荷(実線②)を考えた．図中，δは柱頭での水平変位，δ_yはvon Misesの相当応力が降伏点応力に達した時の載荷位置における水平変位である．

4. 数値解析結果とその考察

橋脚は鋼種SM490Yで製作され，その降伏点応力をσ_y=355MPa，ヤング率をE=206GPa，ポアソン比をν=0.3とした．２層門形ラーメン橋脚の断面諸元のうち，柱では細長比パラメータは１層目がλ_1=0.25，２層目がλ_2=0.32，縦補剛材間板パネルの幅厚比パラメータはフランジと腹板ともR_p=0.55，縦補剛材の自由突出幅厚比パラメータはR_s=0.67である．はりの断面諸元のうち，はりの細長比パ

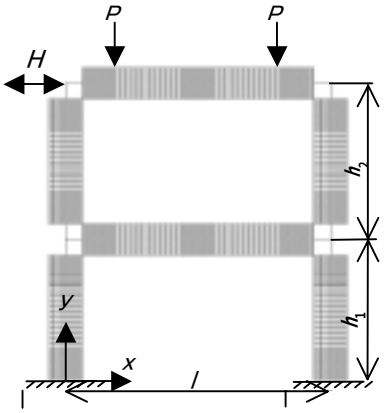

Fig.1 解析対象モデル化

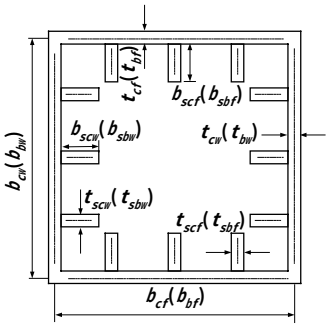

Fig.2 断面の形状

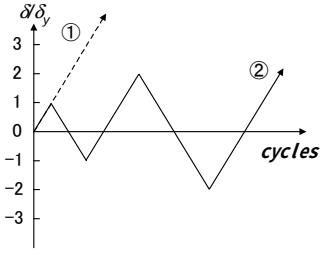

Fig.3 荷重の載荷形式

キーワード　鋼製橋脚，繰り返し挙動，変形性能
連絡先　〒564-8680　吹田市山手町3-3-35　関西大学工学部都市環境工学科　06-6368-0882

ラメータは１層目と２層目ともλ=0.30で，縦補剛材間板パネルの幅厚比パラメータはフランジと腹板ともR_p=0.55である．ただし，中間はり中央部における腹板の幅厚比パラメータはそのかぎりでない．縦補剛材の幅厚比パラメータはR_s=0.67である．

中間はり中央部での腹板の幅厚比をb_w/t_w=92，138，230と変化させた場合，上層はりの水平力－水平変位の関係は**Fig.4**，その累積エネルギー吸収量－荷重サイクルの関係は**Fig.5**のようになる．**Fig.5**には，比較のため，最大水平荷重が等しくなるように断面設計された一層門形ラーメンの荷重－変位曲線を破線で示した．

図から明らかなように，中間はりの腹板の幅厚比が増大するとともに履歴ループがいびつになり，累積エネルギーが減少する．これは，早期に発生した腹板のせん断座屈が原因で，中間はりの腹板座屈がエネルギーの消費に有利であるように思われる．

柱における腹板の幅厚比パラメータとせん断座屈を先行させる中間はり中央部の腹板の幅厚比パラメータとの関係を**Fig.6**に示す．図によれば，柱の幅厚比パラメータとの関係で中間はり中央部における腹板の幅厚比パラメータを増大すれば，はりにせん断座屈を先行させることができる．はりの腹板を薄肉化すれば，柱の基部が吸収していたエネルギーをはりの変形によって消費することができ，橋脚基部の塑性変形を抑えることが可能になる．

柱の幅厚比パラメータを用い，中間はり中央部の腹板が先行してせん断座屈する条件は，つぎのようである．

$$R_{\tau w} = \left(R_p + 0.01\right)^2 + 1.27 \qquad (1)$$

5. まとめ

鋼製２層門形ラーメン橋脚の繰り返し履歴挙動を解析的に明らかにした．２層門形ラーメンの中間はり中央部を早期にせん断座屈させることによって，柱の基部が吸収するエネルギーを消費でき，柱の基部に集中する塑性変形を緩和することができる．

参考文献　1）葛西ら：せん断力を受ける無補剛箱形断面部材の強度と変形能，土木学会論文集，2002-4.

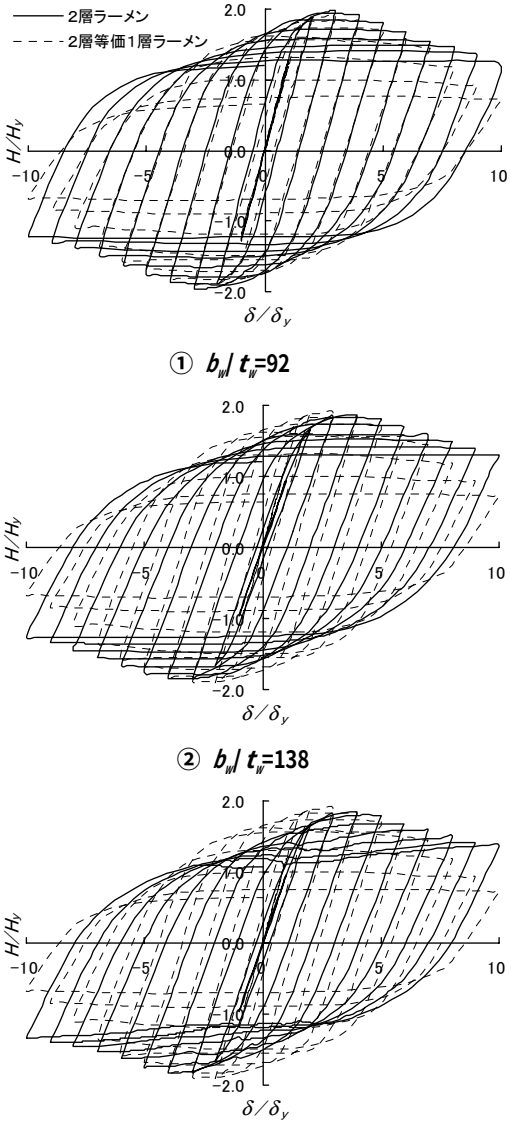

Fig.4 中間はり中央部腹板の幅厚比を種々変化させた場合の荷重－変位の関係

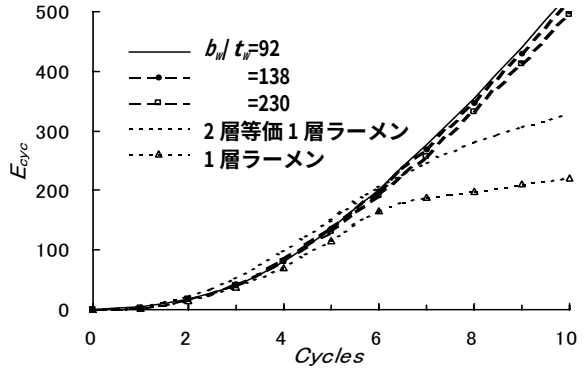

Fig.5 腹板の幅厚比と累積エネルギー吸収量との関係

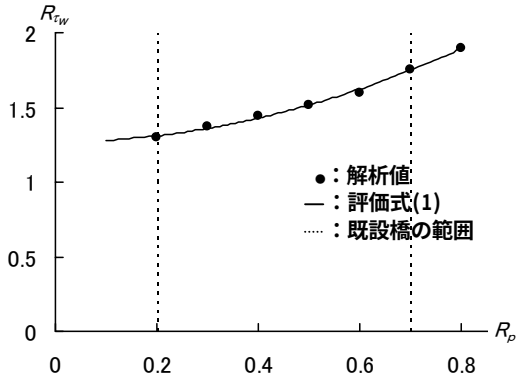

Fig.6 柱部と中間はり中央部の腹板の幅厚比パラメータとの関係