

## 鋼製ラーメン橋脚の梁部せん断座屈を考慮した終局判定

名古屋高速道路公社 正会員 森下宣明・前野裕文  
 日本鋼管(株) 正会員 中村信秀  
 住友重機械工業(株) 正会員 高野光史  
 名古屋大学 フェロー 宇佐美勉

### 1. まえがき

名古屋高速道路では、建設条件から図 - 1 に示すような柱高に比べ柱間隔が比較的短い鋼製ラーメン橋脚の建設を多く予定している。このような橋脚において、面内（橋軸直角）方向の耐震性能を精度よく評価するためには、中梁部の非線形性や腹板パネルのせん断座屈を考慮した Pushover 解析や非線形動的解析を行う必要がある。これまで名古屋大学、愛知工業大学、公社では、ラーメン橋脚全体の耐荷力実験に続き、梁のせん断耐荷力実験を実施してきた。本研究では、この梁の耐荷力実験を基に、中梁部腹板パネルの非線形モデルを構築し、実橋に対して適用を試みた。

### 2. 実験結果

これまで実施した梁の耐荷力実験<sup>1)</sup>の結果を図 - 2 に示す。この実験結果は、梁腹板に縦補剛材がある場合のものである。実験は、図 - 1 に示すようなラーメン橋脚の載荷状態を想定し、地震（水平）荷重による繰り返し載荷で行った。

図 - 2 から、せん断降伏した後もさらに荷重は増加し、最大荷重以降は緩やかに劣化していることがわかる。また、紡錘型の履歴ループを示し履歴吸収エネルギーが比較的大きいこともわかる。

### 3. 腹板のモデル化および終局判定

#### 3.1 中梁部腹板パネルのモデル化

ラーメン橋脚の面内（橋軸直角）方向における中梁部腹板パネル（図 - 1 参照）のせん断応力 - せん断ひずみ関係は、図 - 3 に示すようなトリリニアモデルとした。中梁部腹板パネルとは、横方向補剛材（横リブまたはダイヤフラム）で囲まれた部分である。トリリニアモデルのスケルトンは、式(1)<sup>2)</sup>～(5)により決定する。これらの式は、実験結果<sup>1)</sup>および名古屋大学での FEM 解析結果<sup>2)</sup>を基に算出したものであり、せん断幅厚比パラメータ  $R_w$  の関数とした。 $y'$  は、FEM 解析結果の履歴吸収エネルギーと等しくなるように決定した。なお、式(1)～(3)は、縦補剛材がある中梁部腹板パネルに対するものである。

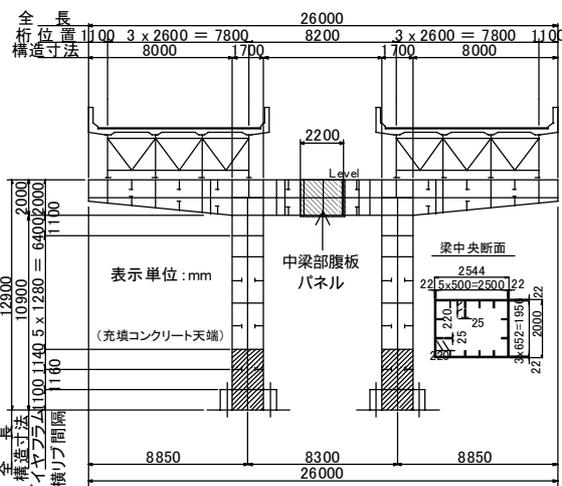


図 - 1 対象ラーメン橋脚

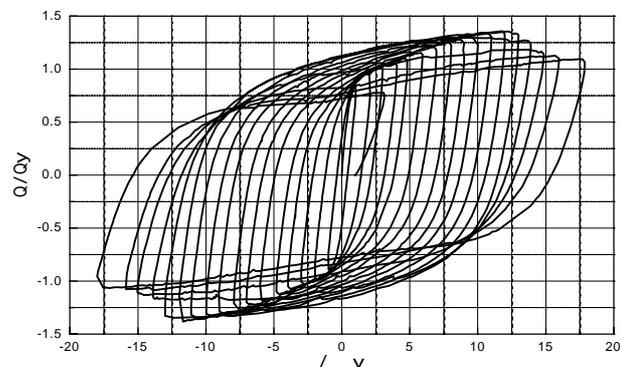


図 - 2 実験結果

鋼製ラーメン橋脚，腹板パネル，せん断座屈，破壊基準

〒460-0002 名古屋市中区丸の内 2-1-36 NUP フジサワ丸の内ビル TEL 052-211-1445

$$\tau_{max} / \tau_y = (0.662 / R_{tw})^{0.333} \quad (1)$$

$$\tau_y' / \tau_y = (0.336 / R_{tw})^{0.43} \quad (2)$$

$$K_2 / K_1 = 0.183 \cdot R_{tw}^{2.29} \quad (3)$$

$$K_3 / K_1 = 1/42 \quad (4)$$

$$K_1 = G \quad (5)$$

ここに  $R_{tw}$  : せん断幅厚比パラメータ

$\tau_y$  : 降伏せん断降力

$G$  : せん断弾性係数

である。

### 3.2 ラーメン橋脚の終局判定

静定構造である単柱橋脚は、コンクリート充填基部または中空鋼フランジ断面部の有効破壊長領域が破壊基準に達したときに橋脚全体が終局限界になる。不静定構造であるラーメン橋脚も同様に有効破壊長領域<sup>3)</sup>が破壊基準に達したときを終局限界とするが、いくつか存在する有効破壊長領域の中で最初に破壊基準に達したときを橋脚全体の終局状態とみなすことにした。このとき、中梁部腹板パネルは、前述のようなモデル化を行う。

一般にラーメン構造は、部材の一部が初降伏しても不静定構造であるため力が再分配され、単柱に比べ荷重は増大していく。

荷重を増大させ1つの有効破壊長領域が破壊基準に達したときは、まだ、ラーメンは崩壊メカニズムを形成しておらず、まだ荷重を増加させることができる。最終的に不静定次数が零になると、ラーメンは不安定になり荷重が低下していく。最初の有効破壊長領域が終局状態に達した状態をラーメン橋脚の終局状態と定義するのは、多少安全側になるが、局部座屈による強度劣化を考慮する解析は、まだ高度であり実務設計には適さないことと、

変形が進むと、最初に終局点に達した箇所局部座屈変形が集中し、強度と変形能の大きな上昇は望めないことから、このように定めた。中梁部腹板パネルの終局状態は、実験および解析結果を基に、最大せん断応力から2割低下した位置とし、有効破壊長領域の鋼フランジが破壊基準に達する前に中梁部腹板パネルが終局状態に達した場合も橋脚全体の終局とした。

### 4. 実橋脚への適用

図-1に示すような実橋に対して、中梁部腹板パネルに上記のせん断応力-せん断ひずみ関係を用い、梁フランジには柱フランジと同様な応力-ひずみ関係を用いて、橋脚全体をファイバーモデルでモデル化した。このモデルに対して、Pushover解析を実施し、その解析結果の荷重-変位曲線を図-4に示す。比較のために、中梁部腹板パネルでせん断座屈を考慮しない場合の解析結果も示す。この図より、柱が降伏をした後から、この2つの差が生じ、梁のせん断座屈を考慮した橋脚の終局状態での荷重が考慮しない場合より、2割程度低下しているのがわかる。また、中梁がせん断で終局する前に、わずかに柱基部の有効破壊長領域で先に終局を迎えていることもわかる。

### 5. まとめ

- 1) 鋼製ラーメン橋脚の中梁にせん断座屈が考慮できるように、トリリニア形のせん断応力-せん断ひずみ関係を算定した。また、この材料構成則を用いた場合のラーメン橋脚（面内方向）の終局判定法を提案した。
- 2) 図-1に示すような公社の標準的なラーメン橋脚に対しては、せん断座屈を考慮すると約2割程度、耐荷力が低下し、梁より先に柱が終局を迎えることが確認できた。

### [参考文献]

- 1) 森下,前野,岡本,中村,青木,宇佐美: 鋼製箱型断面はりのせん断耐力実験,第4回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,pp171-176,2002.1
- 2) 葛西,渡辺,天野,宇佐美: 繰返しせん断力を受ける補剛板の強度と変形能評価,構造工学論文集 Vol.47A,pp.761-770, 2001.
- 3) 前野,森下,葛,青木,高野,吉光: コンクリートを柱基部に部分充填した長方形断面構成橋脚の耐震照査法,構造工学論文集,2002.

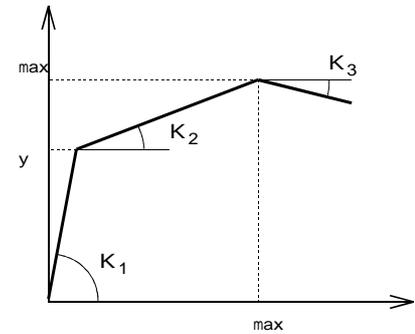


図-3 せん断応力-せん断ひずみ関係

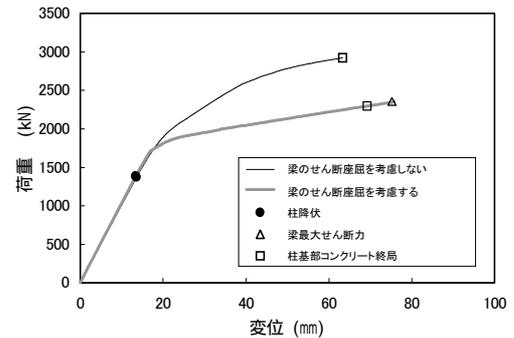


図-4 解析結果の比較