

繰り返し水平荷重を受ける鋼製R付箱形断面橋脚の耐震特性

九州工業大学 学生員 ○村田 洋平 九州工業大学 正会員 山口 栄輝  
 九州工業大学 正会員 久保 喜延 名古屋工業大学 正会員 後藤 芳顕  
 国土交通省 非会員 南野 能克

1. はじめに

美観上の理由から鋼製橋脚の断面形状としてコーナー部に曲率を有する箱形断面（以下、R付箱形断面）が福岡都市高速1号線において採用された。R付箱形断面はこれまでも都市部で採用されているが、兵庫県南部地震レベルの大規模地震を想定した上での耐震性の検討事例はなかった。そこで、その耐震性に関する基礎的資料を得る目的で載荷実験が行われ、耐荷力、変形能などが検討された<sup>1)</sup>。このような背景を踏まえて、本研究では、鋼製R付箱形断面橋脚において、耐荷力、変形能を左右する細長比、軸力比、補剛材剛比をパラメータとして複合非線形有限要素解析を行い、これらのパラメータが橋脚の耐荷力、変形能に及ぼす影響を調べる。この解析結果に基づき、鋼製R付箱形断面橋脚の耐荷力と変形能の推定式を提案する。

2. 解析手法

本研究では、文献1)の実験供試体を基本橋脚とし、それから細長比パラメータ $\lambda$ 、軸力比 $P/P_y$  ( $P_y$  = 全断面降伏軸力)、補剛材剛比 $\gamma/\gamma^*$  ( $\gamma^*$  = 線形座屈理論より求められる最適補剛材剛比)を変化させて解析を行う。基本橋脚を図-1に示している。断面コーナー部は曲率半径

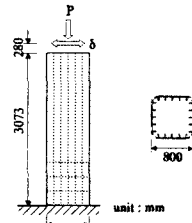


図-1 基本橋脚 (実験供試体)

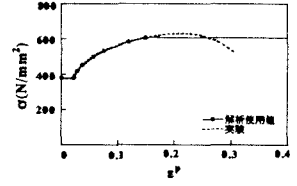


図-2 一軸引張応力下の材料挙動

142mmで丸みが付けられ、フランジ、ウェブの板厚 $t$ は7mm、縦補剛材の板厚 $t_s$ は8mmとなっている。使用鋼材はSM490Yである。一軸引張試験から図-2のような真応力-対数塑性ひずみ関係が得られているが、最大公称応力点以降はくびれが生じて変形が一樣でないと考えられるため、その領域で真応力は一定値を取るとした。解析に用いた構成則は三曲面モデルである。対称性を考慮して1/2のみを解析対象とし、柱基部から1800mmの高さまではシェル要素、残りの部分は梁要素で要素分割を行う(図-3)。



図-3 要素分割

上述のように、本研究では、細長比パラメータ、軸力比、補剛材剛比を変化させてその影響を調べる。細長比パラメータは0.2、0.4、0.6の3ケース、軸力比は10%、15%、20%、25%の4ケース、補剛材剛比は3.12、1.26、1.11の3ケースを設定し、合計36ケースの解析を行う。

載荷条件には、一定圧縮軸力 $P$ を作用させた上で、繰り返し水平荷重 $H$ を準静的に作用させる水平交番載荷を採用する。水平荷重 $H$ の大きさは、載荷点の水平変位 $\delta$ の振幅が $0 \rightarrow +\delta_y \rightarrow -\delta_y \rightarrow +2\delta_y \rightarrow -2\delta_y \rightarrow \dots$ と漸次増加しながら変化するよう制御する。なお、基本変位 $\delta_y$ は、橋脚を片持梁と見なして求めた初期降伏水平変位である。

3. 解析結果および考察

3.1 細長比パラメータの影響

解析結果として、軸力比が25%の場合における載荷点での水平荷重-水平変位履歴曲線の包絡線を図-4に示している。細長比パラメータが大きくなるにつれて、最大耐荷力およびそれに対応する水平変位が小さくなること、最大耐荷力以降の耐荷力低下の度合いが大きくなることが理解される。細長比パラメータが大きくなるにつれ、初期降伏水平変位 $\delta_y$ の値も大きくなる。このことは、細長比パラメータが大きくなると水平変位が大きくなり、いわゆる $P-\Delta$ 効果による付加的な曲げモーメント

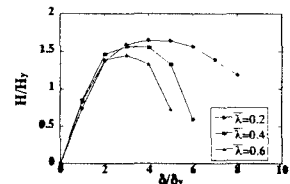


図-4 細長比パラメータの影響 ( $P/P_y=0.25, \gamma/\gamma^*=3.12$ )

トが大きくなることを示している。細長比パラメータの影響は、この付加的曲げモーメントによって生じると考えられる。

### 3.2 軸力比の影響

軸力が大きくなると、最大水平荷重は低下する。しかしながら、初期降伏水平荷重も小さくなるため、初期降伏水平荷重で無次元化すると、軸力比が最大荷重に及ぼす影響は低減することが期待される。

実際、解析結果を初期降伏水平荷重で無次元化すれば、軸力比が最大荷重に及ぼす影響は小さくなる。典型的な解析結果（載荷点での水平荷重-水平変位履歴曲線の包絡線）を図-5に示す。軸力比の影響はそれほど大きなものではなく、さらに、細長比パラメータが大きくなるのに伴いその影響は小さくなる傾向が見られ、細長比パラメータが0.6の場合においては、耐荷力が若干低下する領域まで、軸力比の影響は認められなくなる。

### 3.3 補剛材剛比の影響

補剛材剛比の影響に着目した解析結果を図-6に示す。これは、 $\bar{\lambda}=0.6$ の場合であるが、 $\bar{\lambda}=0.4$ においても同様の結果が得られている。すなわち、補剛材剛比の影響が最大水平荷重付近から現れ始め、補剛材剛比が大きいほど耐力低下の度合いが小さくなり、補剛材の効果が明確に認められるようになる。このような傾向は、鋼製箱形断面橋脚の実験においても認められる<sup>3)</sup>。ただし、細長比パラメータが0.2と小さい場合には、補剛材剛比の影響は小さい。

### 4. 耐荷力と変形能の評価

本研究で得られた解析結果をもとに、最大水平荷重  $H_m/H_y$ 、最大水平荷重時の載荷点の水平変位  $\delta_m/\delta_y$ 、最大水平荷重の95%まで強度低下した時点での水平変位  $\delta_{95}/\delta_y$  の推定式（平均値曲線）を提案する。鋼製補剛箱形断面橋脚については、葛らが推定式を提案している<sup>3)</sup>。ここでは、文献3)で提案されている推定式を参考にして、次のような鋼製R付箱形断面橋脚の耐荷力と変形能の推定式を得た。

$$\frac{H_m}{H_y} = \frac{0.06}{(R_f \bar{\lambda} \lambda_s)^{0.45}} + 1.21 \quad (S = 0.042) \quad (1)$$

$$\frac{\delta_m}{\delta_y} = \frac{0.14}{(R_f \sqrt{\bar{\lambda} \lambda_s})^{0.89}} + 1.32 \quad (S = 0.46) \quad (2)$$

$$\frac{\delta_{95}}{\delta_y} = \frac{0.15}{\left\{ (1 + P/P_y) R_f \sqrt{\bar{\lambda} \lambda_s} \right\}^{1.04}} + 1.86 \quad (S = 0.68) \quad (3)$$

ここで、 $S$ は標準偏差である。図-7に、本研究の解析結果、文献1)の実験結果とともに、推定式を図示している。図中、 $R_f$ は幅厚比パラメータ、 $\lambda_s$ は補剛材細長比パラメータである。推定式は平均値曲線であり、図中、M curveと表示している。M-S curveは標準偏差を差し引いた曲線である。この図より、本推定式で解析結果を実用上十分に精度良く推定できること、また、M-S curveは解析結果のほぼ下限値曲線になっていることがわかる。

### 参考文献

- 1) 吉崎他：鋼製R付断面橋脚柱の耐震性に関する実験、鋼製橋脚の非線形数値解析と耐震設計に関する論文集、土木学会、pp.339-346、1997年。
- 2) 耐震設計WG：鋼橋の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術、土木学会（鋼構造委員会鋼構造新技術小委員会）、1996年。
- 3) 葛他：鋼製補剛箱形断面橋脚の繰り返し弾塑性挙動に関する解析的研究、構造工学論文集、Vol.46A、pp.109-118、2000年。

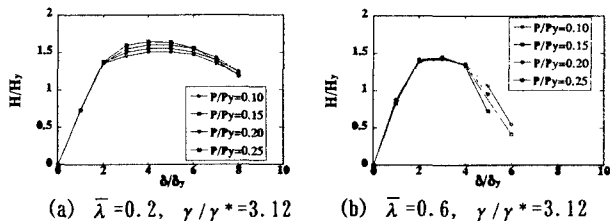


図-5 軸力比の影響

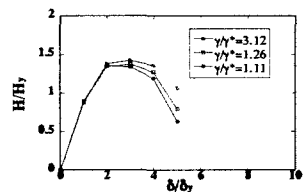
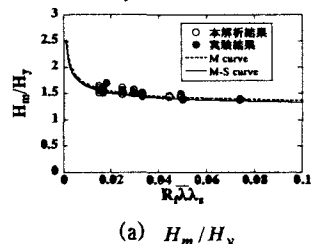
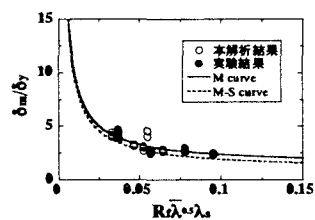


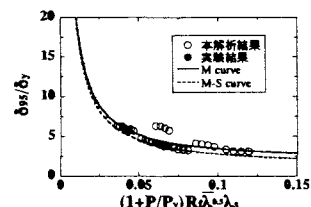
図-6 補剛材剛比の影響 ( $P/P_y=0.10$ ,  $\bar{\lambda}=0.6$ )



(a)  $H_m/H_y$



(b)  $\delta_m/\delta_y$



(c)  $\delta_{95}/\delta_y$

図-7 解析結果と推定式の比較