

面外繰り返し水平力を受ける逆L形鋼製橋脚の強度と変形能に関する解析的研究

三菱重工業株式会社	正会員	○渡辺 俊輔
名古屋大学	フェロー	宇佐美 勉 ¹
名古屋大学	正会員	葛 漢彬・葛西 昭
愛知工業大学	正会員	青木 徹彦

1. 緒言

都市高速などの市街地における高架橋は、その立地的条件から様々な構造形態の橋脚が使われている。例えば、名古屋高速道路公社の既設鋼製橋脚の内、およそ1割に鉛直荷重が偏心して作用する逆L形鋼製橋脚が使用されている。逆L形鋼製橋脚が面外水平荷重を受けた場合の解析的研究には、葛ら¹⁾、後藤ら²⁾などが挙げられる。しかしながら、補剛箱形断面を持つ逆L形鋼製橋脚の面外方向における耐震性能に関しては、検討された研究が非常に少ない³⁾。

本研究は、以上のような背景を受けて、補剛箱形断面をもつ逆L形鋼製橋脚が面外繰り返し力を受けた場合の耐震性能を調べるため、まず愛知工業大学耐震実験センターで行われた大型模型実験⁴⁾とFEM解析を比較し、解析手法の精度を検証する。続いて、パラメトリック解析から、面外方向に関する強度と変形能の推定式を提案する。

2. 解析モデル

解析モデルは、Fig.1に示すような、基部から3つ目のダイアフラムまではシェル要素を用いて分割し、その上ははり要素を用いて分割したモデルである。材料定数は公称値を用い、構成則として、名古屋大学で開発された修正2曲面モデルを用いた。ただし、実験と比較する場合には、材料定数は、実験に使用した鋼材の材料試験値を使用した。なお、解析に用いたソフトは、汎用構造解析プログラムABAQUSである。

パラメトリック解析は、偏心量の影響を調べるため、偏心パラメータ e/r (r :断面2次半径)を定義して、 $e/r=2, 4, 6$ とした。また、幅厚比パラメータ、柱の細長比パラメータ、補剛材細長比パラメータに変化を与え、計23パターンについて解析を行った。なお、軸力比 P/P_y は震度法設計を行うことにより決定した。

3. 実験と解析の比較

実験結果⁴⁾と本解析結果の履歴ループと、その包絡線を比較したものを、それぞれFig.2とFig.3に示し、基部の変形状況を比較したものをFig.4、Fig.5に示す。ここで、無次元化量 H_{yc} および δ_{yc} は、中心軸圧縮力を受ける場合の降伏水平荷重および降伏水平変位であり、図中の供試体名およびその諸元については、文献⁴⁾を参照されたい。これらをみると、本解析で用いたFEM解析は、逆L形鋼製橋脚の履歴挙動及び座屈変形モードを精度よく予測できることが分かる。

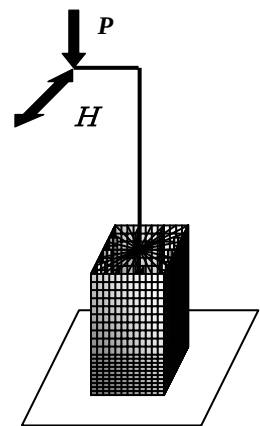


Fig.1 Analytical Model

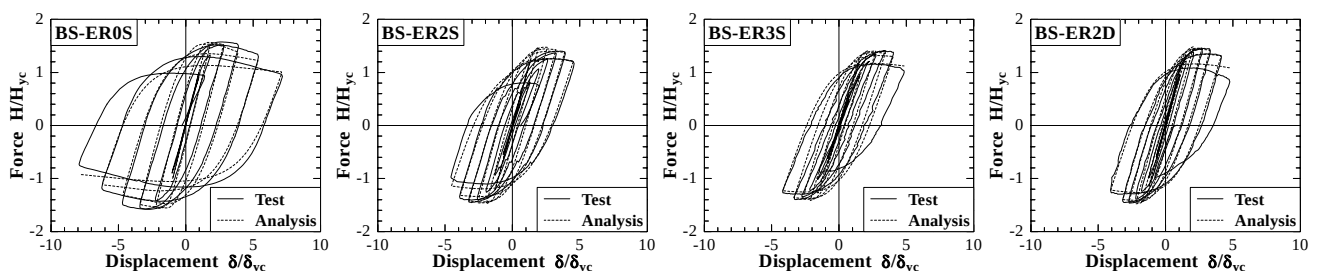
(a) BS-ER0S($e/r=0$, 1点载荷) (b) BS-ER2S($e/r=2$, 1点载荷) (c) BS-ER3S($e/r=3$, 1点载荷) (d) BS-ER2D($e/r=2$, 2点载荷)

Fig.2 Hysteretic Curves

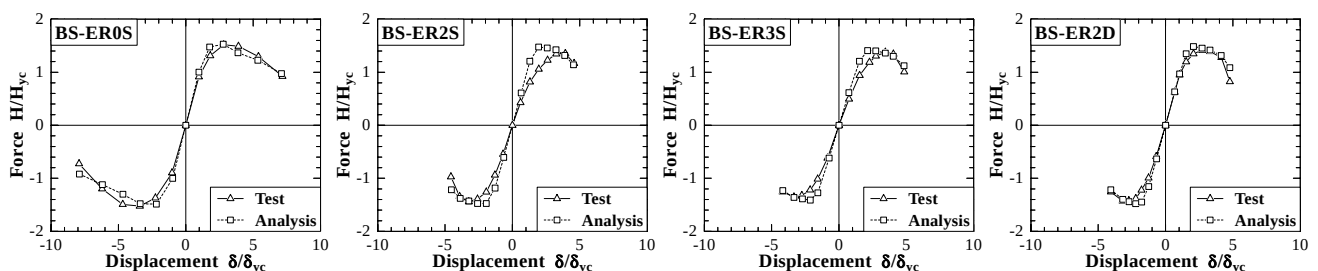
(a) BS-ER0S($e/r=0$, 1点载荷) (b) BS-ER2S($e/r=2$, 1点载荷) (c) BS-ER3S($e/r=3$, 1点载荷) (d) BS-ER2D($e/r=2$, 2点载荷)

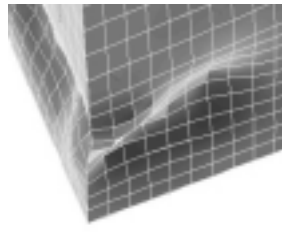
Fig.3 Envelope Curves

Key Words : Inverted L-shaped steel bridge piers, out-of-plane loading, strength, ductility

¹〒464-8603 名古屋市千種区不老町 TEL 052-789-4617



(a) 実験

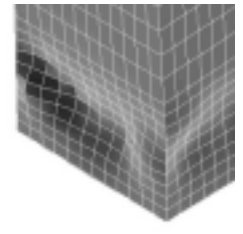


(b) 解析

Fig.4 Buckling Modes : BS-ER3S



(a) 実験



(b) 解析

Fig.5 Buckling Modes : BS-ER2D

次に、Fig.6 に、供試体 BS-ER3S の解析の変形モードを示す。これを見ると、偏心載荷側に橋脚が傾いており、文献¹⁾で報告されたように、面内方向に不可逆的な変形現象が生じていることが分かる。ここで、実験と解析の面内水平変位－面外水平変位関係を比較した図を、Fig.7 に示す。このように、面内方向の変位に関しても、本解析で精度よくシミュレートできることが分かる。また、繰り返し回数が増加するごとに、面内水平変位が大きくなっており、その値は面外繰り返し変位を比較して非常に大きな値であるため、特に注意が必要である。

4. 強度と変形能の推定式

過去に、補剛箱形断面を持つ T 形鋼製橋脚の強度と変形能の推定式が提案されている¹⁾ので、それらから逆 L 形鋼製橋脚の面外方向に関する強度と変形能を容易に推定できるように、偏心圧縮力とねじり力の影響を考慮した(即ち、偏心率 e/h で表される)係数 β を導入することにした。以下に、T 形鋼製橋脚の強度と変形能の推定式と、本研究で提案した係数 β の式を示す。

$$\frac{H_{c,max}}{H_y} = \frac{0.10}{R_f \cdot \bar{\lambda} \cdot \bar{\lambda}_s} + 1.06 \quad \frac{\delta_{c,max}}{\delta_y} = \frac{0.22}{R_f \cdot \sqrt{\bar{\lambda}} \cdot \bar{\lambda}_s} + 1.20 \quad \frac{\delta_{c,95}}{\delta_y} = \frac{0.25}{(1 + P/P_y) \cdot R_f \cdot \sqrt{\bar{\lambda}} \cdot \bar{\lambda}_s} + 2.31$$

ただし、 $0.25 \leq R_f \leq 0.56$, $0.20 \leq \bar{\lambda} \leq 0.50$, $P/P_y \leq 0.3$, $\gamma/\gamma^* \geq 1.0$ の範囲とする。

$$\beta_{H_{max}} = 1 + 1.5 \cdot \left(\frac{e}{h}\right)^2 \quad \beta_{\delta_{max}} = 1 + 1.6 \cdot \frac{e}{h} - 4 \cdot \left(\frac{e}{h}\right)^2 \quad \beta_{\delta_{95}} = 1 + 2.5 \cdot \frac{e}{h} - 5 \cdot \left(\frac{e}{h}\right)^2$$

以上の式から、逆 L 形鋼製橋脚の面外方向に関する強度と変形能の推定式は、以下ようになる。

$$H_{e,max} = \frac{H_{c,max}}{\beta} \quad \delta_{e,max} = \frac{\delta_{c,max}}{\beta} \quad \delta_{e,95} = \frac{\delta_{c,95}}{\beta}$$

Fig.8 に、本研究で提案した推定式と、本解析結果をプロットしたものを示す。これらから、本研究で提案した係数 β を用いることで、逆 L 形鋼製橋脚の面外方向に関する強度と変形能を求めることができる。

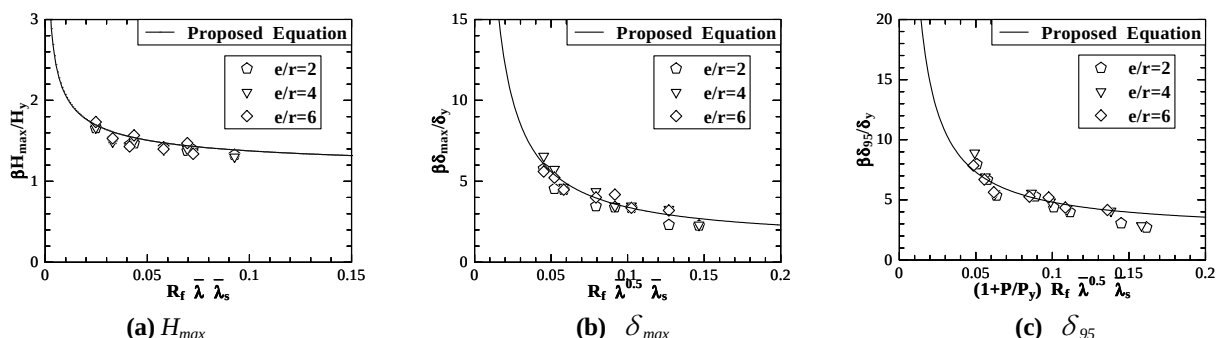


Fig.8 Comparisons Proposed Equations and Analytical Results

参考文献 1) 葛漠彬ら：鉛直荷重が偏心して作用する鋼製橋脚の繰り返し弾塑性挙動に関する数値解析的研究，土木学会論文誌，No.654/I-52，271-284。 2) 後藤芳顕ら：橋軸方向地震力を受ける逆 L 形鋼製橋脚の終局挙動と設計，土木学会論文誌，No.675/I-55，pp.313-330。 3) 崎本達郎ら：面外繰り返し力を受ける逆 L 形鋼製橋脚の履歴挙動，土木学会論文誌，No.696/I-58，pp.215-224。 4) 鈴木 真一ら(2002)：面外繰り返し水平力を受ける逆 L 形鋼製橋脚の強度と変形能に関する実験的研究，土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集。