

コンクリート無充填矩形断面鋼部材のファイバーモデルを用いた耐震性能評価手法に関する検討

大阪大学大学院工学研究科	正会員	小野 潔
九州工業大学工学部	正会員	山口栄輝
ヤマト設計（株）	正会員	野中哲也
ヤマト設計（株）	正会員	岩村真樹

1. はじめに

鋼製ラーメン橋脚の面内方向や鋼製アーチ橋のアーチリブ等では繰返し地震力を受けると軸力変動が生じること等の理由から、それらの耐震設計においてファイバーモデルを用いる例が報告されている。ファイバーモデルによるコンクリートを充填しない鋼部材の耐震性能評価の際の評価指標として既往の研究で提案されてる終局ひずみ¹⁾を用いる場合がある。しかし終局ひずみを求めた解析条件と実際設計で用いる解析条件が異なっているため、本来は設計で用いる手法に従い、終局ひずみの妥当性を検証する必要があると思われる。また、道路橋示方書・同解説 耐震設計編²⁾（以下、「道示」という）にも、道示に記述されている以外の手法により耐震性能を照査する場合には、用いる手法の妥当性を検証することが必要である旨の記述がなされている。旧終局ひずみ（限界ひずみ）については、設計で一般的に用いられる解析条件とは若干異なるものの実験結果との比較により妥当性について検討を行った例が報告されているが³⁾、最新の文献¹⁾で提案される終局ひずみについて実験結果との比較により妥当性を報告した事例は見あたらない。そこで、本研究では、コンクリートを充填しない矩形断面鋼部材について文献¹⁾に提案される終局ひずみによるファイバーモデルを用いた解析結果と実験結果およびシェル要素を用いた弾塑性有限変位解析（以下、「FEM解析」という。）結果との比較によりその妥当性の検証を行った。

2. 解析手法

ファイバーモデルを用いた耐震性能照査手法の1つとして、ファイバーモデルによるプッシュオーバー解析から構造物の荷重 - 水平関係および終局点（限界点）を求め、その結果に対して近似したバイリニアの復元力特性を用いた1質点系の動的解析により耐震性能を照査する手法が提案されている^{3),4)}。終局ひずみは終局点の算出に用いられている。そこで、本研究では終局ひずみによるファイバーモデルを用いた解析から得られる終局点と実験およびFEM解析から得られる終局点の比較を行うことにより、文献¹⁾の終局ひずみの妥当性の検証を行うことにした。なお、文献¹⁾では図-1に示すように、最大水平荷重 P_{max} の95%となる点を終局状態と定義していることから、図-1の P_{95} および P_{95} 時の水平変位 δ_{95} について、終局ひずみによるファイバーモデルを用いた解析結果と実験結果およびFEM解析結果との比較を行った。以下にファイバーモデルによる解析手法を示す。

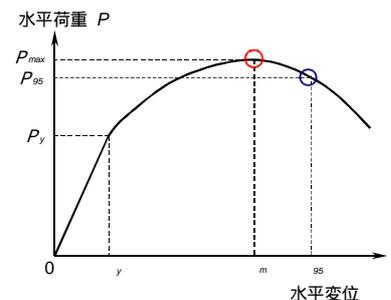


図-1 終局状態に相当する点

- ・ 荷重手法はプッシュオーバー解析とした。
- ・ 鋼材の応力 - ひずみ関係として文献⁵⁾に示される降伏棚およびひずみ硬化を考慮したモデルを使用した。
- ・ 幾何学的非線形性を考慮した。
- ・ 変位の算出では、曲げ変位およびせん断変形を考慮した。
- ・ 要素の分割は図-2（一例）に示すようにした。終局点の推定に大きな影響を与えると考えられる有効破壊長領域での要素分割数は実設計での分割数を考慮して3分割とした。
- ・ 終局ひずみ ϵ_u は文献¹⁾で提案される下記の式により算出した。

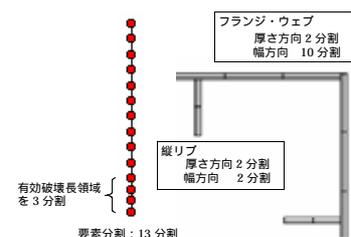


図-2 要素分割図

$$\frac{\epsilon_u}{\epsilon_y} = \frac{0.7}{\left(R_f \bar{\lambda}_s^{0.18} - 0.18\right)^{1.3} \left(1 + N/N_y\right)^{2.2}} + \frac{3.2}{\left(1 + N/N_y\right)} \leq 20.0 \quad (1)$$

キーワード ファイバーモデル，耐震性能評価手法，終局ひずみ，耐震設計，鋼部材

連絡先 〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL06-6879-7598

上記式(1)の適用範囲は、 $0.3 < R_f < 0.5$ 、 $1.0 < N/N_y < 1.0$ となっている。また、記号の定義等の詳細については文献 1)を参照されたい。

3. 解析結果と実験結果およびFEM解析結果との比較

本研究で対象とした実験供試体は文献 6)に、FEM 解析による解析モデルは文献 7)にそれぞれ示されるもののうち、式(1)の適用範囲を満足する下記の実験供試体または解析モデルを対象とした。実験供試体および解析モデル等の詳細については文献 6)および文献 7)を参照されたい。

実験供試体：KD1, KD2, KD3, KD5, KD6, KD7-1, KD-10, M18, M21, M22
 解析モデル：B3, B5, B6-10, B6-15, B6-20, B6-30, B7, B8, B10, B19, B20, B21, B22, B23, B24

また、参考のため、道示 で限界状態と設定している最大水平荷重 P_{max} および最大水平荷重時変位 m に対して、文献 6)の実験結果および文献 7)のFEM 解析結果（ただし、道示 の M- 関係の適用範囲内にあるもの）と、道示 の M- 関係から求まる P_{max} および m （ただし、せん断変形も含む）について比較を行った。

まず、 P_{95} について、図-3より終局ひずみによる解析結果は実験結果および FEM 解析結果に対して概ね $\pm 10\%$ の誤差の範囲にあることがわかる。また、図-3と図-5との比較から、実験結果および FEM 解析結果に対する誤差は終局ひずみによる解析結果 (P_{95}) および道示 (P_{max}) による解析結果いずれも概ね $\pm 10\%$ の誤差の範囲にあることがわかる。

次に、 m について、図-4より終局ひずみによる解析結果は実験結果および FEM 解析結果に対して約+40% ~ -30%の誤差の範囲にあることがわかる。これは、図-6の道示 の M- 関係による m の解析結果が実験結果および FEM 解析結果に対して約+10% ~ -30%の誤差の範囲あるのに対してばらつきが大きく、しかも危険側の評価をする可能性があることを示している。なお、図-6と同じ実験供試体および解析モデルに対しても、終局ひずみの解析結果は図-4と同様、約+40% ~ -30%の誤差の範囲にあった。図-7に式(1)に含まれる $R_f^{-0.18}$ と実験結果および FEM 解析結果を終局ひずみによる解析結果で除した値との関係を示す。図-7より $R_f^{-0.18}$ の値が小さいほど終局ひずみによる解析結果が実験結果および FEM 解析結果より大きくなる傾向があることがわかる。この理由の1つとして、式(1)において $R_f^{-0.18}$ が小さい領域では終局ひずみ ϵ_u の値が急激に大きくなることと関係していると考えられる。文献 1)では $R_f^{-0.18}$ が 0.4 以下の領域では繰返しの影響等を考慮し終局ひずみによる解析結果が多少低めになるように式(1)を提案したとあるが、今回の検討ではそれと逆の傾向になっている。その理由として、文献 6)の実験結果および文献 7)の FEM 解析（いずれも正負交番荷）と式(1)の根拠となった FEM 解析（単調荷）で荷重パターンが違うこと、同じ変位に対するひずみの値がファイバーモデルと FEM 解析で違うこと等考えられるが、今後詳細に検討を行い、鋼部材のファイバーモデルを用いた耐震性能評価手法の提案を行う予定である。

【参考文献】1)河野ら：鋼部材セグメントの終局ひずみ算出式の再検討と鋼アーチ橋への適用，第6回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.323-328，2003年1月。2)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，平成14年3月。3)森下ら：鋼製橋脚の動的耐震照査法に関する検討，土木学会論文集 No.710/ -60，pp.181-190，2002年7月。4)日本鋼構造協会：土木鋼構造物の動的耐震性能照査法と耐震性向上策，平成15年10月。5)土木学会鋼構造委員会ほか：鋼橋の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術，平成8年7月。6)建設省土木研究所ほか：道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書，～，総括編。7)Usami et al；Stiffened steel box columns. Part 2: Ductility evaluation, EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMICS, pp1707-1722, 2000.

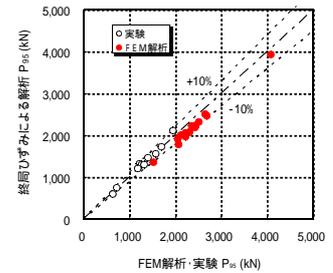


図-3 P_{95} の比較(終局ひずみ)

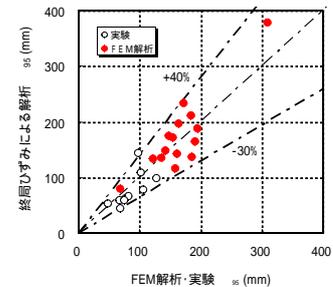


図-4 m の比較(終局ひずみ)

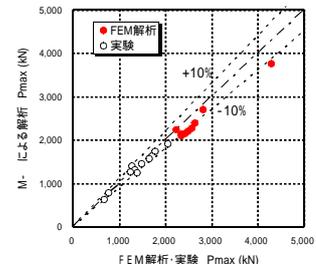


図-5 P_{max} の比較(道示)

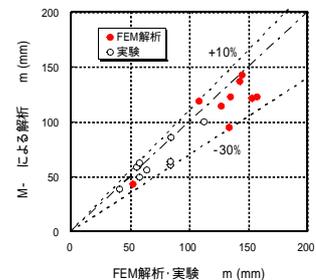


図-6 m の比較(道示)

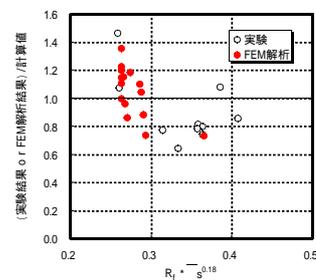


図-7 $R_f^{-0.18}$ との関係