

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)		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、鋼製ラーメン橋脚や鋼製アーチ橋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。そのようなファイバーモデルによる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Ⅴ耐震設計編²⁾(以下、「道示Ⅴ」という)にも、道示Ⅴ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、文献1)に提案される終局ひずみによる解析結果と実験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変位(限界変位)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)}。終局ひずみは終局変位の際に用いられている。そこで、本研究では終局ひずみによる解析から得られる終局点と実験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、終局状態として最大水平荷重をすぎで最大水平荷重の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、解析結果と実験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。

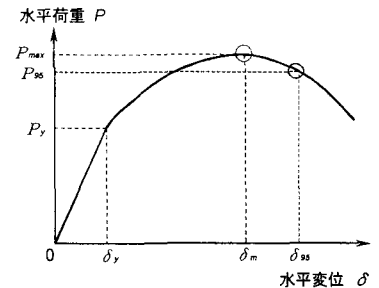


図-1 終局状態に相当する点

- ・ 載荷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。
- ・ 要素の分割については、図-2に示すようにした。特に終局変位の推定に大きな影響と与えられ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。

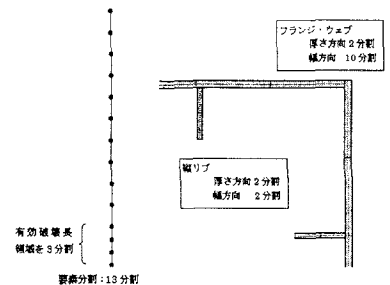


図-2 要素分割図

なお、記号の定義等の詳細については文献 1) を参照されたい。

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} = \frac{0.7}{\left(R_y \bar{\lambda}_s^{0.18} - 0.18\right)^3 \left(1 + N/N_y\right)^2} + \frac{3.2}{\left(1 + N/N_y\right)} \leq 20.0 \quad (1)$$

また、上記式(1)の適用範囲は、 $0.3 \leq R_y \leq 0.5$, $\gamma/\gamma' \geq 1.0$, $0.0 \leq N/N_y \leq 1.0$ となっている。

3. 解析結果と実験結果の比較

本研究で対象とした実験供試体は文献 6) にある実験供試体のうち、式(1)の適用範囲を満足する下記の 10 体の実験供試体を対象とした。実験供試体の詳細については文献 6) を参照されたい。

KD1, KD2, KD3, KD5, KD6, KD7-1, KD-10, M18, M21, M22

図-3 に P_{95} について、図-4 に δ_{95} について、解析結果と実験結果を比較したものを示す。また、参考のため、道示 V 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 δ_m に対して、上記の 10 体の実験供試体の実験結果および弾塑性有限変位解析結果（ただし、道示 V の M- ϕ 関係の適用範囲内にあるもの）と、道示 V の M- ϕ 関係から求まる P_{max} および δ_m （ただし、せん断変形も含む）について比較を行った。図-5 に P_{max} について、図-6 に δ_m について比較したものを示す。

まず、 P_{95} 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、実験に対する誤差は終局ひずみによる解析結果および道示 V による解析結果いずれも概ね $\pm 10\%$ の誤差の範囲にあるが、終局ひずみによる解析結果に比較して道示 V による解析結果は実験結果および弾塑性有限変位解析結果より小さい値のものが多いことがわかる。

次に、 δ_{95} 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に対して約 $+40\% \sim -30\%$ の誤差の範囲にある。これは、図-6 の道示 V の M- ϕ 関係による δ_m の解析結果が実験結果に対して約 $+10\% \sim -30\%$ の誤差の範囲あるのに対してばらつきが大きくなっており、しかもこのことは危険側の評価をする可能性があることを示している。図-4 で実験結果より終局ひずみによる解析結果が約 40% も大きくなっているのは M22 供試体であり、M22 供試体の場合、式(1)に含まれる $R_y \bar{\lambda}_s^{0.18}$ の値が約 0.26 と他の供試体と比較して小さいものとなっている。文献 1) によると式(1)の特性上、 $R_y \bar{\lambda}_s^{0.18}$ の値が小さい領域では急激に終局ひずみの値が大きくなる傾向があることから、そのことが終局ひずみによる解析結果が実験結果より約 40% も大きくなった 1 つの原因ではないかと考えられる。

4. 最後に

今後、終局ひずみの妥当性に関する検証を幅広い観点から行うとともに、ファイバーモデルによる耐震性能照査手法の提案を行うため研究を行う予定である。

【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物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 V 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/I-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，I～VIII，総括編。

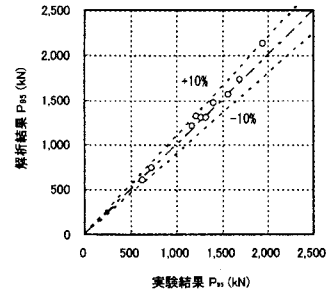


図-3 P_{95} の比較 (終局ひずみ)

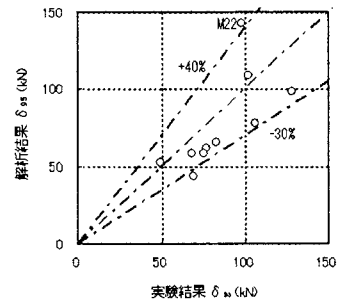


図-4 δ_{95} の比較 (終局ひずみ)

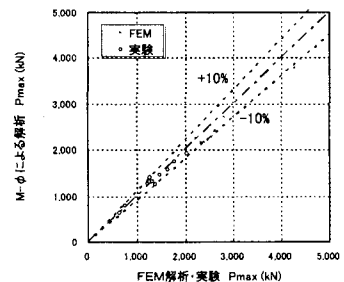


図-5 P_{max} の比較 (道示)

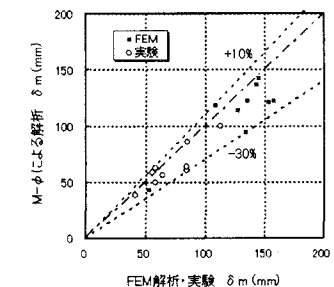


図-6 δ_m の比較 (道示)