

降伏応力度等のばらつきが円形断面鋼製橋脚の耐震性評価に与える影響に関する検討

大阪大学大学院 学生員 森口智聡

大阪大学大学院 正会員 小野 潔
大阪大学大学院フェロー 西村宣男

1. はじめに

兵庫県南部地震による鋼製橋脚の被害を踏まえ、平成8年12月に道路橋示方書・同解説 耐震設計編¹⁾が改訂され、鋼製橋脚に関しては、塑性域での耐力や変形性能を考慮した設計法が新たに追加された。実際の鋼材の降伏応力度は設計で用いられる公称降伏応力度より高いのが一般的であるが、既往の研究²⁾では、降伏応力度が大きいことは部材の塑性率を危険側に評価する可能性があるとして指摘されている。矩形断面鋼製橋脚を対象とした既往の研究³⁾では、降伏応力度のばらつきよりも評価式の精度が変形性能の評価に大きく関与していることも確認された。本研究では、材料強度等のばらつきおよび耐力、変形性能を評価する際の評価式自体の評価誤差によって生じるばらつきが、円形断面鋼製橋脚の耐力・変形性能等の耐震性の評価に与える影響についての検討を行った。

2. 鋼材の機械的性質に関する調査

『道路橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書』⁴⁾による鋼製橋脚の正負交番繰返し載荷実験の際、供試体に用いた鋼材の引張試験が行われた。その試験結果を整理し、鋼材の降伏応力度や引張強さ、断面積、破断伸び等、鋼材の機械的性質の調査を行った。そのうち、SS400材の降伏応力度についての結果を図-1に示す。既往の研究⁵⁾と比較すると、平均値は近い値を示しているが、変動係数に差異があった。実験供試体が少なかったことが原因の一つとして考えられる。

3. モンテカルロシミュレーションによる耐力・変形性能の評価

一般的な円形断面鋼製橋脚を対象に、実験供試体4体、解析モデル4体の計8体⁶⁾について、降伏応力度のばらつきが耐力・変形性能に及ぼす影響をモンテカルロシミュレーション手法により検討した。本研究では、鋼材の機械的性質のうち降伏応力度のばらつきが最も大きかったことから、降伏応力度 σ_y のばらつきのみを確率変数として検討を行った。 σ_y の分布形については、SM490材に関しては平均値 $M=1.176$ 、標準偏差 $V=0.08354$ ³⁾、SS400材に関しては本調査結果に基づいて、平均値 $M=1.252$ 、標準偏差 $V=0.07073$ の正規分布に従うものと仮定して、2,000個の乱数を発生させた。最大水平荷重および許容変位の評価手法としては、図-2に示す、圧縮側フランジ降伏時 (M_{yc} , y_c)、引張側フランジ降伏時 (M_{yt} , y_t) 及び許容曲げ変位時 (M_a , a) の3点を結んだトリリニア型のM - 関係を用いた⁶⁾。本論文では、公称降伏応力度から算出した値には添え字“N”、材料試験結果の降伏応力度から算出した値には添え字“M”で示し、グラフは公称降伏応力度から算出した値により基準化してある。

図-3、図-4に実験供試体 KC-1 における最大水平荷重 H_{max} 、許容変位 a のシミュレーション結果を、図-5に8供試体の最大水平荷重 H_{max} 、許容変位 a の平均値を示す。図-3から図-5より、最大水平荷重 H_{max} と許容変位 a とともに降伏応力度のばらつきを考慮して求めた値が公称降伏応力度から求めた値を下回る割合は小さいことがわかった。

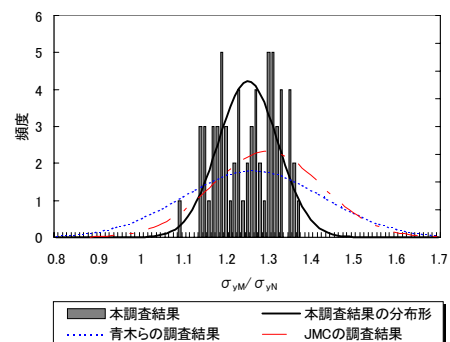
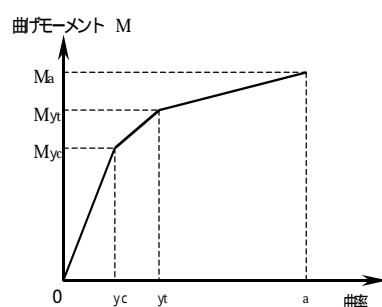
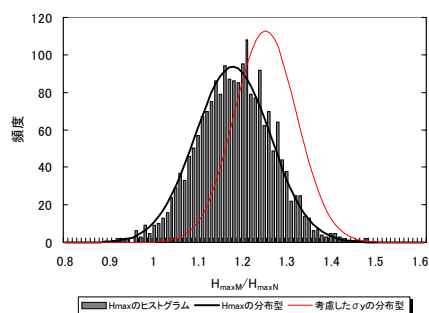
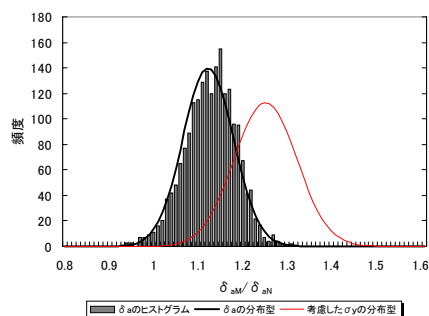
図-1 降伏応力 σ_y の分布

図-2 トリリニア型のM - 関係

図-3 最大水平荷重 H_{max} の分布図-4 許容変位 a の分布

キーワード：降伏応力度のばらつき、モンテカルロシミュレーション、耐震設計、円形断面鋼製橋脚

連絡先：〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL:06-6879-7598 FAX:06-6879-7601

4. 部材耐力および変形性能評価式の精度の検討

一般に耐力および変形性能評価式の推定式の精度は、正負交番荷試験結果と比較することによって得られる⁷⁾。しかし、円形断面鋼製橋脚供試体の実験結果が少なかったため、本稿では、弾塑性有限変位解析結果との比較も行った。検討対象はさきほどと同じ8供試体とし、最大水平荷重および許容変位の推定に当たっては同様に前述の M - 関係を用いた。耐力評価式については、平均値が 0.0290、標準偏差 0.07881 となり、変形性能評価式については、平均値が 0.0425、標準偏差 0.06351 となった。結果を図-6、図-7 に示す。耐力評価式、変形性能評価式ともに実験値を安全側に評価していることがわかる。また、降伏応力度に比べてばらつきが大きいと言える。

5. 降伏応力度および評価式のばらつきを考慮した耐力・変形性能の検討

円形断面鋼製橋脚供試体 KC-1 について、下記の式(1)および(2)で降伏応力度および評価式のばらつきを考慮した実最大水平荷重 H_{max}^P 、実許容変位 δ_m^P をそれぞれ 2,000 個算出した。

$$H_{max}^P = (1 + m_H) \cdot H_{maxM} \dots (1) \quad \delta_m^P = (1 + m) \cdot \delta_{aN} \dots (2)$$

H_{maxM} 、 δ_{aN} ；図-1(SS400 材)および文献 3) (SM490 材)に示す降伏応力度の分布を考慮して算出した最大水平荷重および許容変位

m_H ：耐力評価式のばらつきを考慮する指標で、図-6 の検討結果より、平均値 0.0290、標準偏差 0.07881 の正規分布に従うと仮定して算出する値

m ：変形性能評価式のばらつきを考慮する指標で、図-7 の検討結果より、平均値 0.0425、標準偏差 0.06351 の正規分布に従うと仮定して算出する値

結果を図-8、図-9 に示す。実最大水平荷重 H_{max}^P と実許容変位 δ_m^P とともに設計最大水平荷重 H_{maxN} および設計許容変位 δ_{aN} を下回る可能性は小さいことがわかる。これは設計で想定すると考えられる耐力・変形性能より、実橋脚が発揮する耐力・変形性能の方が大きいと考えられ、安全側の評価を受けていることを表している。

6. 結論

今回行なった検討では、降伏応力度および評価式のばらつきを考慮して求めた実最大水平荷重 H_{max}^P および実許容変位 δ_m^P とともに、公称降伏応力度 σ_y から算出した設計最大水平荷重 H_{maxN} および設計許容変位 δ_{aN} を下回る可能性は小さいことがわかった。また、評価式のばらつきが大きく、M - 関係を用いた耐力・変形性能の評価でも、降伏応力度のばらつきよりも評価式のばらつきの影響を大きく受けていることが予想できる。

【参考文献】1)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編、1996年12月、2)Yushi Fukumoto；Reduction of structural ductility factor due to variability of steel properties, Engineering Structures, No.22, pp123-127, 2000、3)森口 智聡ら：降伏応力度等のばらつきが矩形断面鋼製橋脚の耐震性評価に与える影響に関する検討、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、pp.239-248, 2002年1月、4)建設省土木研究所等：道路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) 1997.4~1999.3、5)青木 博文ら：構造用鋼材における機械的性質の平均値と変動係数(その2. 平均値と変動係数の評価)、日本建築学会大会学術講演集、昭和55年9月、6)小野 潔ら：円形断面鋼製橋脚の正負交番荷試験に基づく M - モデル設定手法に関する検討、鋼構造論文集第8巻第31号、pp97-105, 2001年9月、7)足立 幸郎ら：じん性設計を行なった鉄筋コンクリート橋脚の耐震信頼性評価、構造工学論文集、vol.46A, pp777-788, 2000年3月

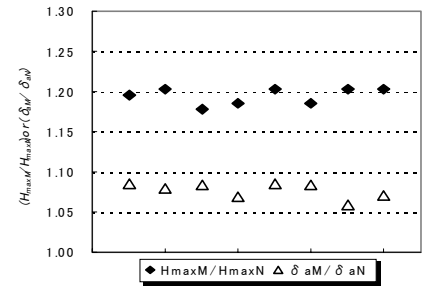


図-5 8 供試体の H_{maxM} 、 aM の平均値

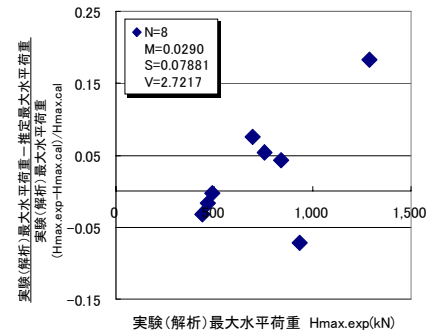


図-6 耐力評価式の精度

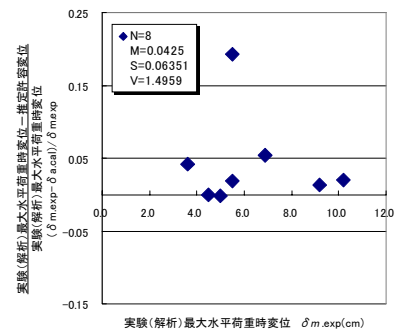


図-7 変形性能評価式の精度

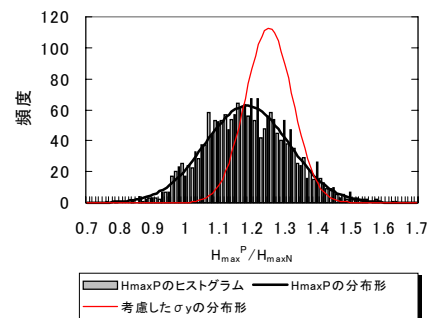


図-8 実最大水平荷重の分布

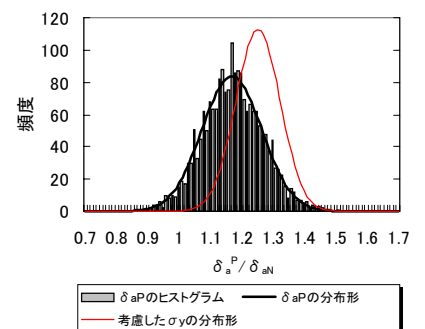


図-9 実許容変位の分布