

# 降伏応力度等のばらつきが鋼製橋脚の耐震性評価に与える影響に関する研究

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

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震では鋼製橋脚についても初めて大きな被害を受けた。その被害を踏まえ、平成8年12月に道路橋示方書・同解説V耐震設計編<sup>1)</sup>が改訂され、その規定の中で、鋼製橋脚に関しては、従来の弾性域での力を基本とした設計である震度法に加え、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。ところで、実際の鋼材の降伏応力度は一般的に設計で用いられる公称降伏応力度より高く、このことは、従来の震度法に基づく許容応力度法による設計では部材に有利に働くと思われてきた。しかし、既往の研究<sup>2)</sup>では、降伏応力度が大きいことは部材の変形性能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。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、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

『道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書』<sup>3)</sup>による鋼製橋脚の正負交番繰返し荷重実験の際、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、降伏応力度についての結果を図-1に示す。既往の研究<sup>4)</sup>ともよい一致を見せていることがわかる。

## 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

一般的な縦リブを有する供試体16体<sup>3)</sup>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。耐力、変形性能の評価指標として正負交番荷重実験の最大荷重、最大荷重時変位を使用した。ばらつきとして、材料の機械的性質や寸法（降伏点、弾性係数、断面積等）のばらつき等が存在する。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、降伏応力度以外のばらつきが耐力、変形性能の評価に与える影響は小さいと考え、降伏応力度 $\sigma_y$ のみのばらつきを考慮して検討を行った。 $\sigma_y$ の分布形については、今回調査を行った材料試験結果と既往の調査結果<sup>4)</sup>とで大きな差はみられなかったため、今回の調査結果に従い、平均値 $M=1.176$ 、標準偏差 $V=0.08354$ の正規分布に従うものと仮定した。乱数の発生は2,000個とし、前述の正規分布に従った。最大荷重および最大荷重時変位の評価手法として、深谷ら<sup>6)</sup>の提案している、圧縮側フランジ降伏時 ( $M_{yc}$ ,  $\Phi_{yc}$ )、引張側フランジ降伏時 ( $M_{yt}$ ,  $\Phi_{yt}$ ) 及び許容曲げ変位時 ( $M_a$ ,  $\Phi_a$ ) の3点を結んだトリリニア型のM- $\Phi$ 関係を用いた。断面形状は断面2次モーメントおよび断面積が不変という条件のもとで等価な無補剛板に置換した等価断面を用い、全断面有効とし平面保持の仮定が成立するとして、計算により上記のM- $\Phi$ 関係を求めた。本論文では、公称降伏応力度より求めた値には添え字“N”、材料試験結果の降伏応力度より求めた値には添え字“M”で示し、グラフは公称降伏応力度より求めた値により基準化してある。

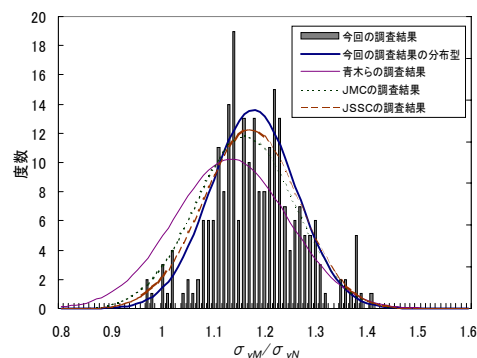


図-1 降伏応力 $\sigma_y$ の分布

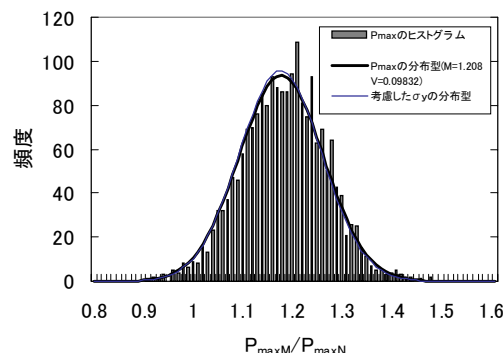


図-2 最大荷重の $H_{max}$ 分布

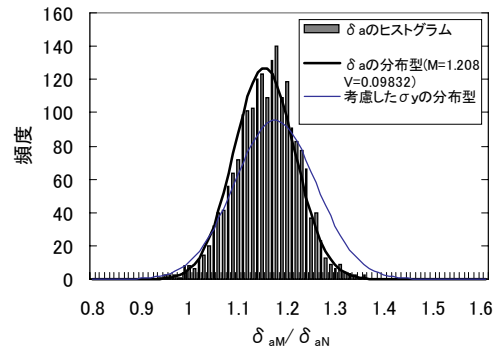


図-3 最大荷重時変位 $\delta_a$ の分布

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

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

また、図-2、図-3 に 1 例として供試体 KD-1 における  $H_{max}$ 、 $\delta_a$  のシミュレーション結果を示す。降伏応力度のばらつきを考慮した場合の最大荷重時変位  $\delta_{aM}$  は、大部分において、公称降伏応力度より求めた最大荷重時変位  $\delta_{aN}$  より大きくなっていることがわかる。なお、他の供試体でも同様の傾向が見られた。

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の推定式の精度は、正負交番載荷試験結果と比較することによって得られる<sup>7)</sup>。検討対象はさきほどと同じ 16 供試体とし、最大荷重および最大荷重時の変位の推定に当たっては上記 3. と同様の  $M-\Phi$  関係を用いた。結果は、図-4、図-5 に示すように、耐力については、平均値が 0.0260、標準偏差 0.06753 となり、変形性能については、平均値が 0.195、標準偏差 0.1684 となった。評価式は実験値をかなり安全側に評価しており、特に変形性能評価式においてこの傾向が大きいことがわかる。また、降伏応力度に比べて評価式の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

文献 7 にある鋼製橋脚(P1R)について、下記の式(3)および(4)で降伏応力度および評価式のばらつきを考慮した最大荷重  $H_{max}^P$ 、最大荷重時変位  $\delta_a^P$  をそれぞれ算出した。

$$H_{max}^P = (1 + m_H) \cdot H_{maxM} \quad \dots (3) \quad \delta_a^P = (1 + m_\delta) \cdot \delta_{aM} \quad \dots (4)$$

$H_{maxM}$ 、 $\delta_{aM}$ ；図-1 に示す降伏応力度の分布を考慮して算出した最大荷重および最大荷重時変位

$m_H$ ：耐力評価式のばらつき考慮する指標で、図-4 の検討結果より、平均値-0.0437、標準偏差 0.05062 の正規分布に従うと仮定して算出する値

$m_\delta$ ：変形性能評価式のばらつき考慮する指標で、図-5 の検討結果より、平均値-0.0276、標準偏差 0.10689 の正規分布に従うと仮定して算出する値

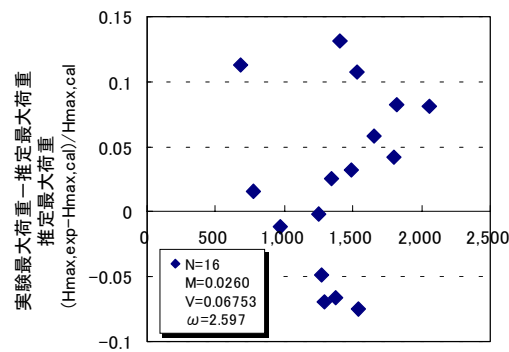
結果を図-6、図-7 に示す。この図より、耐力および変形性能ともに安全側に評価されていることがわかる。

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最大荷重  $H_{maxM}$  または最大荷重時の変位  $\delta_{aM}$  は、大部分において、公称降伏応力  $\sigma_{aN}$  を用いて算出してもとめたものより大きくなることがわかった。また、評価式のばらつきが大きく、特に最大荷重時変位においてはかなり安全側に設定されているため、この影響を受け、実際の最大荷重時変位は公称値から求まるものより大きくなっていることがわかる。

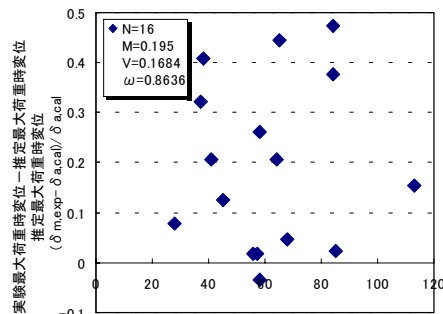
【参考文献】

- 1)日本道路協会：道路橋示方書・解説V耐震設計編、1996.12、2)Yushi Fukumoto；Reduction of structural ductility factor due to variability of steel properties, Engineering Structures, No.22, pp123-127, 2000、
- 3)建設省土木研究所等：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）～（VII）、（総括編）、1997.4～1999.3、4)青木 博文, 能沢 正樹：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、5)（社）土木学会 鋼構造委員会、（社）日本鋼構造協会次世代土木鋼構造研究特別委員会；鋼構造物の耐震解析用ベンチマークと耐震設計法の高度化、6)深谷 茂広, 小野 潔：矩形断面鋼製橋脚の正負交番載荷実験結果を基にした曲げ-曲率関係の検討、7)足立 幸郎, 運上 茂樹：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, 2000.3.8) 建設省土木研究所；鋼製橋脚のハイブリッド地震応答実験, 土木研究所資料第 3583 号, 平成 11 年 3 月



実験で得られた最大荷重  $H_{max,exp}(kN)$

図-4 耐力評価式の精度



実験で得られた最大荷重時変位  $\delta_{m,exp}(mm)$

図-5 変形性能評価式の精度

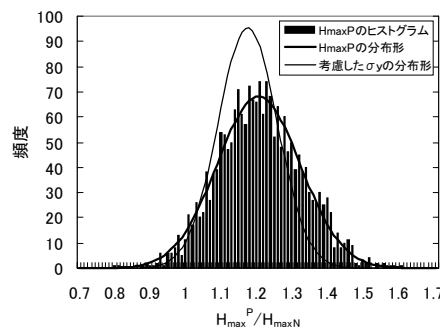


図-6 最大荷重  $H_{max}$  の分布

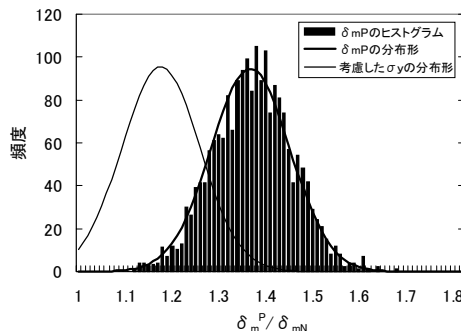


図-7 最大荷重時変位  $\delta_m$  の分布