

## I-A 473

## 鋼製橋脚の耐震信頼性解析に関する研究

鳥取大学工学部 正会員 白木 渡 鳥取大学工学部 正会員 松保重之  
鳥取大学工学部 学生員 山本 宏 鳥取大学工学部 学生員 松原孝介

1. まえがき 平成7年1月17日早朝に発生したマグニチュード7.2の兵庫県南部地震において多くの土木・建築構造物が被害を受けたのは記憶に新しいところである。特に道路橋橋脚の損傷が目立ち、構造形式や材質の違いによりその損傷の程度も異なっていた。これまでも許容応力度を超えた限界状態では、構造形式により安全性が異なるという問題点を指摘してきた<sup>1),2)</sup>。本研究では、橋軸直角方向と橋軸方向から地震荷重を受ける道路橋鋼製橋脚を対象とし、確率論的手法に基づく荷重組合せ解析および信頼性解析を行い、構造形式の異なる橋脚の限界状態における耐震安全性について、より詳細に評価する。さらに、構造部材に占める地震荷重の荷重効果の割合と、耐震安全性についても考察する。その結果をもとに、信頼性理論に基づく限界状態設計法の重要性について考察する。

2. 対象構造物のモデル化 まず解析の対象となる橋脚のモデル化を行う。本研究においては、図-1に示す三径間連続非合成箱桁を支える鋼製門型ラーメン橋脚を対象とする。構造形式の違いによる安全性の照査をするため、主桁の支間長  $L$ 、橋脚全高  $H$ 、橋脚全幅  $W$  を適当に変化させ表-1に示す12種類の構造モデルを仮定する<sup>1),2)</sup>。

3. 実荷重のモデル化と信頼性評価法 本研究では、B-C 荷重モデル<sup>3)</sup>を用いて各実荷重のモデル化を行う。各実荷重のモデル化および分布関数の当てはめは、先の研究<sup>1),2)</sup>を参考にして行う。構造物の信頼性は、Hasofer-Lind 型の安全性指標  $\beta$ <sup>3)</sup>によって評価し、限界状態の応力度は降伏点応力度  $\sigma_y = 36000(\text{tf/m}^2)$  とする。

4. 鋼製ラーメン橋脚の信頼度評価 現行設計法によって算定した各部の板厚算定結果を表-2に示す。板厚の決定は、橋軸直角方向および、橋軸方向によって算定された部材の板厚のうち厚い方の板厚を用いる。柱部の板厚はモデル No.3 以外は橋軸直角方向の設計で決定されている。図-2は、決定された板厚に基づいた鋼製ラーメン橋脚に橋軸直角方向と橋軸方向から地震力を作用させた場合について計算された安全性指標  $\beta$  を示したものである。図-2に示されるように橋軸直角方向、橋軸方向といずれの場合についても、12種類の構造モデルの安全性指標が非常にばらついている。特に構造モデル Nos.3,7,11 の安全性指標は他の構造モデルに比べ小さく安全性が低いモデルである。また、すべての構造モデルにおいて橋軸方向の安全性指標は橋軸直角方向の安全性指標より小さく、同一構造モデルにおいても地震荷重の作用する方向によって構造物の耐震安全性が異なる。地震荷重は、橋梁に作用する荷重のうち最もばらつきが大きい荷重である。そのため、地震荷重による荷重効果が大きい構造モデルにつ

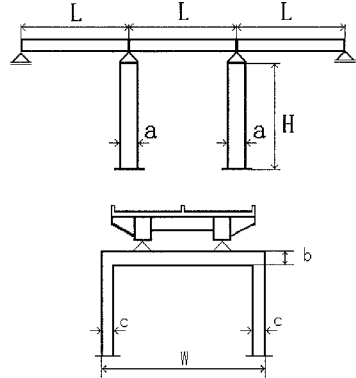


図-1 対象構造物のモデル化

表-1 各構造モデルの諸元 (単位 m)

| モデル No. | 支間長 $L$ | 橋脚全高 $H$ | 橋脚全幅 $W$ | 梁主厚さ $a$ | 梁高さ $b$ | 柱幅 $c$ |
|---------|---------|----------|----------|----------|---------|--------|
| 1       | 40.0    | 10.0     | 20.0     | 2.00     | 1.67    | 1.5    |
| 2       | 40.0    | 10.0     | 30.0     | 2.00     | 2.50    | 2.0    |
| 3       | 40.0    | 20.0     | 20.0     | 2.00     | 1.67    | 2.0    |
| 4       | 40.0    | 20.0     | 30.0     | 2.00     | 2.50    | 2.5    |
| 5       | 60.0    | 10.0     | 20.0     | 3.00     | 1.67    | 1.5    |
| 6       | 60.0    | 10.0     | 30.0     | 3.00     | 2.50    | 2.0    |
| 7       | 60.0    | 20.0     | 20.0     | 3.00     | 1.67    | 2.0    |
| 8       | 60.0    | 20.0     | 30.0     | 3.00     | 2.50    | 2.5    |
| 9       | 80.0    | 10.0     | 20.0     | 4.00     | 1.67    | 1.5    |
| 10      | 80.0    | 10.0     | 30.0     | 4.00     | 2.50    | 2.0    |
| 11      | 80.0    | 20.0     | 20.0     | 4.00     | 1.67    | 2.0    |
| 12      | 80.0    | 20.0     | 30.0     | 4.00     | 2.50    | 2.5    |

表-2 現行設計法による板厚算定結果

| モデル No. | 橋軸直角方向    |           | 橋軸方向      |           |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|         | 梁部板厚 (mm) | 柱部板厚 (mm) | 柱部板厚 (mm) | 桁部板厚 (mm) |
| 1       | 22.4      | 28.7      | 12.8      | 17.6      |
| 2       | 29.0      | 39.3      | 10.8      | 17.6      |
| 3       | 18.5      | 18.4      | 18.7      | 17.6      |
| 4       | 24.0      | 26.6      | 16.0      | 17.6      |
| 5       | 24.3      | 31.1      | 15.9      | 26.5      |
| 6       | 32.4      | 43.1      | 14.2      | 26.5      |
| 7       | 20.4      | 20.5      | 17.5      | 26.5      |
| 8       | 26.6      | 29.8      | 15.3      | 26.5      |
| 9       | 26.0      | 33.4      | 27.8      | 36.6      |
| 10      | 35.3      | 46.6      | 27.7      | 36.6      |
| 11      | 22.3      | 22.3      | 17.7      | 36.6      |
| 12      | 29.0      | 32.7      | 15.9      | 36.6      |

いては耐震安全性が低く、逆に地震荷重による荷重効果が小さい構造モデルについては耐震安全性が高くなるものと考えられる。このことを詳しく議論するために、橋軸直角方向および橋軸方向で設計された橋脚の柱部内に発生する各荷重による応力の割合を図-3および図-4に示す。図中における縦軸の応力 100%の値は部材の降伏点応力度である。両図を比較すると、地震荷重によって生じる応力が含まれる割合は、橋軸方向によって設計された場合に比べ橋軸直角方向によって設計された場合の方が小さくなっていることがわかる。また、橋軸直角方向の設計において各荷重によって生じる応力は、部材の降伏点応力度に対して強度余裕の大きいモデルが多い。強度余裕は、各構造モデルによって大きく異なり、強度余裕の大きいモデル Nos.2,6,10 においては降伏点応力度の約 40%に達している。これに対し、小さいモデル Nos.3,7,11 については数%しかない。また、両図および図-2 からわかるように、強度余裕の大きいモデルの安全性指標の値は大きく、逆に強度余裕の小さいモデルの安全性指標の値は小さくなっている。以上の結果より、許容応力度法により設計された構造モデルの強度余裕は、構造形式の違いによりアンバランスとなり、構造物の限界状態における安全性にばらつきが生じる。この原因の一つとして許容応力度設計法では、構造物に作用する地震荷重により生じる応力の割合やそのばらつきが異なるにもかかわらず、すべての構造物に対して一律の安全率、許容応力の割り増し係数を用いるため、構造形式の違いにより強度余裕にばらつきが生じることが考えられる。

5.まとめ 今後、想定以上の地震力が作用し、橋脚が限界状態に至った場合でも、形式の異なる構造物がすべて一律の安全率を有することができる設計法の確率が望まれる。そのためには、許容応力度設計法から信頼性理論に基づいた限界状態設計法へ移行することが必要であると考えられる。

#### 参考文献

- 1)北沢正彦・久保雅邦・白木渡・亀田弘行:鋼製橋脚における荷重組合せ解析と荷重係数の試算、構造工学論文集 Vol.33A,pp.761-773,1987-3.
- 2)Wataru Shiraki:Probabilistic Load Combinations for Steel Piers at Ultimate Limit State,StructuralSafety,13,pp.67-81,1993.
- 3)P.T.Christensen and M.J.Baker:Structural Reliability Theory and Applications, Springe-Verlag,1982.

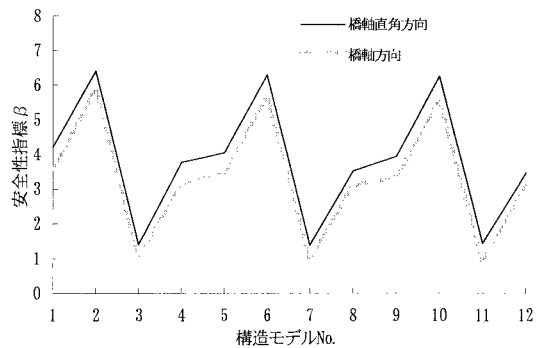


図-2 現行設計法により設計した場合の安全性指標 $\beta$

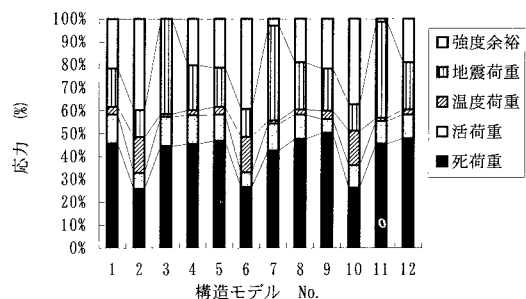


図-3 橋軸直角方向での設計における柱部に生じる各応力の割合

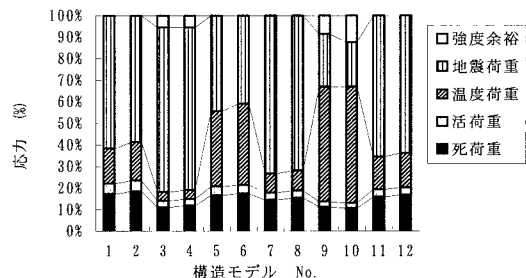


図-4 橋軸方向での設計における柱部に生じる各応力の割合