

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 鳥取大学大学院 学生員 山本 宏
鳥取大学工学部 正会員 松保重之 鳥取大学大学院 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。とく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被害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^{1)・2)}。本研究では、新に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の関係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、Fig. 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違いを示すため、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Table 1に示す12種類の構造モデルを仮定する^{1)・2)}。

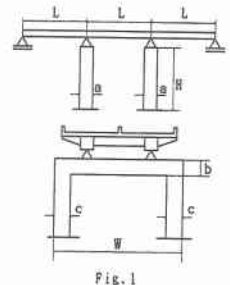


Fig. 1

3. 実荷重のモデル化と信頼度の評価法 本研究では、B-C荷重モデル³⁾を用いて各荷重の実荷重のモデル化を行う。モデル化および分布関数の当てはめは、先の研究^{1)・2)}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 β ³⁾によって評価し、限界状態の応力度は、降伏点応力度 $\sigma_y=36000$ (tf/m²)とする。

4. 現行設計法で設計された鋼製ラーメン橋脚の信頼度の評価 現行設計法によって鋼製ラーメン橋脚

を設計した場合、柱部材内に発生する全応力のうち各荷重による応力の全応力に占める割合を示したのが

Figs. 2, 3である。これより地震の荷重効果の大きい構造モデルはNos. 3, 7, 11であり、地震の荷重効果が小さい構造モデルはNos. 2, 6, 10である。またFig. 4は、現行設計法によって設計され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の安全性指標を示したものである。Fig. 4を見ると、橋軸直角方向、橋軸方向いずれの場合についても、それぞ

Table 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	梁柱厚さ 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

れの構造モデルの安全性指標 β が非常にばらついている。特に構造モデルNos. 3, 7, 11は他のモデルに比べて安全性指標 β の値が小さい。これは、地震荷重は他の荷重に比べてばらつきが大きく、地震荷重の荷重効果が大きい構造モデルについては、安全性が低くなる。逆に、地震荷重の荷重効果が小さい構造モデルについては過度に安全性が高くなるからである。兵庫県南部地震においては、橋軸方向に地震力が作用した場合は被害を受けているが、橋軸直角方向に地震力が作用した場合は、被害をほとんど受けていなかったという事例もある⁴⁾。Fig. 4より橋軸直角方向に地震力が作用した場合の方が安全性が高いことからこの理由が説明できる。しかし、すべての構造モデルについて必ずしも橋軸直角方向に地震力を作用させた場合が地震に対して余裕があるとは言えない。例えば、橋軸直角方向の構造モデルでも

No. 3は、安全性指標 β が約1.5と小さい値を示しており、橋軸方向の構造モデルでもNo. 2は、その逆に β が約6.0と大きな値を示している。つまり地震力の作用する方向により安全性が左右されるのではなく、各構造モデルを設計する際、そのモデルにどれくらいの割合で地震力が含まれるかが問題になると考えられる。このことを詳しく議論するために再びFig. 2とFig. 3に注目する。これらの図からわかるように橋軸方向の設計においては、橋軸直角方向の2~3倍の地震荷重を含んでいる。しかし、Fig. 4に示す橋軸方向の β は、モデルNos. 3, 7, 11を除いて大きな値を示しており、橋軸方向の安全性を過大評価しているように思われる。これは、柱部の板厚が橋軸方向ではなく橋軸直角

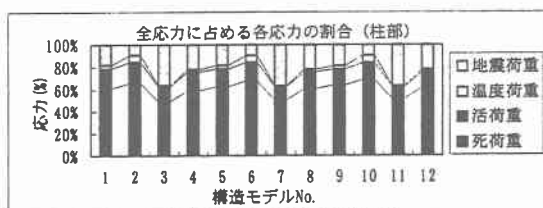


Fig. 2 橋軸直角方向での設計において柱部に発生する各応力の比較

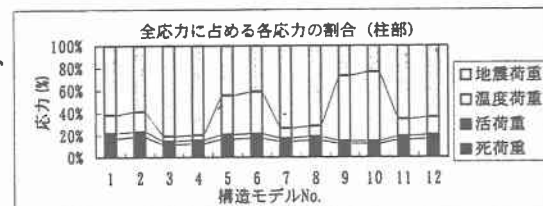


Fig. 3 橋軸方向での設計において柱部に発生する各応力の比較

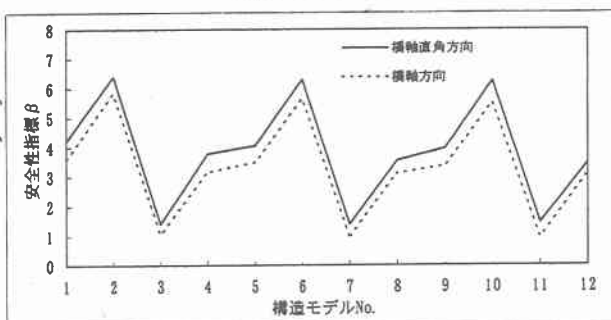


Fig. 4 現行設計法により設計した場合の橋軸直角方向と橋軸方向の安全性指標 β

方向の設計で決まっているため、橋軸方向については橋軸直角方向に比べて、ある程度の強度余裕があると考えられる。しかし、構造モデルによってその余裕の大きさには、かなりの差異がある。例えば、構造モデルNo. 2では橋軸直角方向と橋軸方向の板厚の差は、約29 (mm)であるが、構造モデルNo. 7では、約3 (mm)しかない。つまり、余裕が大きい構造モデルについては、橋軸方向に地震力が作用した場合でも、安全性が非常に高いと考えられる。逆に、強度余裕が小さい構造モデルは、橋軸方向に地震力が作用した場合、必ずしも安全であるとは言えない。つまり、想定した以上の地震力が作用した場合、どれだけの強度余裕があるかということが重要になる。以上の結果より、現行設計法で設計された構造モデルの限界状態における強度余裕は、構造形式の違いによりアンバランスになっており、その安全性にばらつきがあることがわかる。この原因として現行設計法では、地震荷重のようにばらつきの大きな荷重に対しては、その生じる割合の大きさに応じた安全性の余裕が確保されていないことが挙げられる。すなわち、支配的となる荷重効果の割合やそのばらつきを考慮せず、すべての構造物に対して一律の材料安全率、許容応力の割増し係数を用いているので、構造形式により強度余裕にばらつきが生じると考えられる。

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な安全性を有することができる設計法の確立が望まれる。そのためには許容応力度設計法から確率論の概念をもとにし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の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 States, Structural Safety, 13, pp. 67-81, 1993.
- 3) P. T. Christensen and M. J. Baker: Structural Reliability Theory and Its Applications, Springer-Verlag, 1982.
- 4) 岡村甫・前川宏一・小沢一雅・大内雅博: コンクリート橋脚の被害の特徴, 土木学会誌, pp. 11-19, 1995-4.