

公開地震ハザードを用いた各種橋梁構造の耐震信頼性の比較

東北大学大学院 学生会員 ○阿部遼太
東北大学大学院 フェロー 鈴木基行

東北大学大学院 正会員 秋山充良
東海旅客鉄道(株) 正会員 猪股右樹

1. はじめに

レベル2地震動に対する橋梁構造の耐震設計¹⁾では、経済的な観点から、橋脚基部などに部分的な損傷を許容し、そこで地震エネルギーの吸収を図ることで地震時安全性を確保してきた。しかし、橋梁構造は、地震動のレベルに関わらず、地震後にも即時供用できる使用性を確保し、救助・救急、および周辺地域の復旧作業を支えることが本来的には望まれる。本稿では、高強度構成材料を使用した高耐力構造をはじめ、近年報告される新材料や新構造を使用することで、地震後の使用性を確保できる橋梁構造の開発に関する基礎的検討を行った。

本研究では、限界状態関数(例えば、 $g = R - S$ で、 R は地震時の使用限界状態、 S は地震時応答値)を定義し、耐震信頼性解析により地震時損傷確率($g < 0$ となる確率)を算定し、それに基づき各橋梁構造の使用性の比較を行う。

2. 地震時損傷確率の評価方法

(1) 地震危険度解析

地震時損傷確率の算出には、確率的な地震危険度評価と、それに応じた地震動の評価が必要である。兵庫県南部地震以降、地震ハザード曲線や観測記録をインターネット上で容易に得られるようになった^{2),3)}。本稿では、J-SHISにより公開される地震ハザード曲線と、着目する地震動強さに対応した既往の観測波を用いた。

(2) 地震時損傷確率の評価方法

通常のモンテカルロ法では、地震時損傷確率の評価に膨大な計算量を必要とするため、本研究では簡易法により評価を行った。Cornellらにより、式(1)から損傷確率 P_f を算定できる方法が提案されている⁴⁾。

$$p_f \approx k_0 \cdot \left(\frac{\hat{C}}{a} \right)^{-\frac{k}{b}} \exp \left[\frac{1}{2} \frac{k^2}{b^2} (\zeta_D^2 + \zeta_C^2) \right] \quad (1)$$

ここに、 k, k_0 は両対数軸を用いた地震ハザード曲線の近似パラメータ、 a, b は構造物の応答の近似パラメータ、 ζ_D は応答の分布を対数正規分布に近似した際の対数標準偏差、 $\hat{C}, \zeta_C$ は性能の分布を対数正規分布に近似した中央値と対数標準偏差である。

地震ハザードの評価において、日本では多くの地域で複数の断層の影響を受けるため、両対数軸で表現した場合、諸外国に比べ地震ハザード曲線は強い非線形性を示すことになる。そのため、Cornellらの手法をそのまま適用すると、モンテカルロ法から得られる厳密解に対して誤差が大きくなる。そこで本研究では、Cornellらの手法を改良した、林らの手法⁵⁾に基づき式(1)のパラメータを同定し、地震時損傷確率を求めている。

3. 本研究で検討する橋梁構造

(1) 概説

既往のRC構造(以下、基準構造)と、新材料・新構造を用いた橋梁構造を試設計した。基準構造には、平成8年道路橋示方書に従い設計されたRC橋脚⁶⁾を想定した。

(2) 高耐力構造

橋脚躯体に高強度構成材料を用いた高耐力構造を試設計した(図-1)。橋脚基部のモーメント-曲率関係(以下、 $M-\phi$ 関係)を図-2に示す。

A: 基準構造に対して鉄筋を高強度化した構造

B: 基準構造に対して構成材料を全て高強度化した構造

C: 高耐力構造Bに大きなプレストレスの導入と炭素繊維で被覆をした超高耐力構造⁷⁾

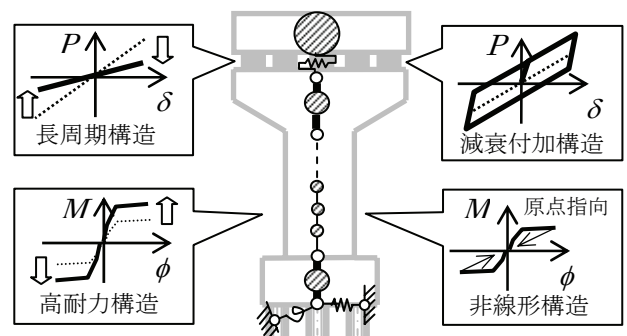


図-1 検討した橋梁構造のモデル化

Key Words: 耐震信頼性評価, 地震危険度解析, 損傷確率

連絡先: 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL: 022 (795) 7449 FAX: 022 (795) 7448

(3) 非線形構造

鉄形状記憶合金(SMA)を用いることにより、塑性化しても残留ひずみが生じない超弾性構造として、以下の3つを設定した。M- ϕ 関係を図-3に示す。

- A：鉄筋を同強度のSMAへ取り替えた構造
- B：非線形構造Aに対して低耐力化した構造
- C：非線形構造Aに対して低耐力・低剛性化した構造
(降伏以前の剛性 E_a が低い構造を低剛性構造とする)

(4) 長周期構造

基準構造(固有周期約1秒)のゴム支承を長周期化し、地震動との共振を避ける長周期構造を設定した(図-1)。ここでは、次の2つの長周期構造を設定した。

- A：2秒程度に長周期化した構造
- B：4秒程度まで長周期化した構造

(5) 減衰付加構造

図-1のような履歴特性を有する履歴減衰型のダンパーを支承部に設置する減衰付加構造を試設計した。

- A：道路橋示方書¹⁾に準じて設定した減衰付加構造
- B：減衰付加構造Aの半分の減衰力を付加した構造
- C：減衰付加構造Aの2倍の減衰力を付加した構造

4. 各橋梁構造の地震損傷確率の評価

(1) 解析条件

構造物は、橋脚躯体をTakeda型の非線形梁要素としてモデル化し、直接積分法による時刻歴応答解析により、橋脚基部から天端の相対変位を応答変位として求めた。使用限界状態は、橋脚基部の鉄筋の降伏点(ただし、非線形構造では、見かけ上の降伏後も超弾性の性質により使用性が確保されるとしてコンクリートの圧壊)とした。

(2) 解析結果

表-1に解析結果を示す。ここで示す安全性指標は式(1)の損傷確率と等価な指標であり、安全性指標が高いほど使用性に優れる。表-1より、高耐力構造Cが使用性の著しい向上を示している。非線形構造の結果から、低剛性として橋脚全体で非線形応答させることが有効であり、高耐力・低剛性の非線形構造が効果的であると考えられる。長周期構造はある程度使用性の向上が望めるが、飛躍的な向上は難しいともいえる。減衰付加構造についても、使用性を向上させる最適な減衰力が存在すると思われるが、それを一律に定めることは難しい。

5. まとめ

新材料や新構造を用いた、地震後の使用性を改善することが可能な橋梁構造の開発に関する基礎検討を行った。本検討の範囲では、高耐力構造または高耐力・低剛性化した非線形構造が有効であるとの結論を得た。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説(V 耐震設計編)，2002。
- 2) (独)防災科学技術研究所：J-SHIS, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 3) (独)防災科学技術研究所：K-net, <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 4) C. Allin Cornell et al. : Probabilistic Basis for 2000 SAC Federal Emergency Management Agency Steel Moment Frame Guidelines, Journal of Structural Engineering, Vol.128, No.4, pp.526-533, 2002。
- 5) 林 弘, 秋山充良, 鈴木基行, 猪股右樹：公開地震ハザードを用いたRC橋脚の地震時破壊確率の簡易算定法, 土木学会第64回年次学術講演会, I-480, pp.959-960, 2008。
- 6) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料, 1997。
- 7) 青木直ほか：高強度構成材料を用いたRC杭体へのプレストレスの導入による構造性能の改善, 土木学会第64回年次学術講演会, V-478, pp.953-954, 2008。

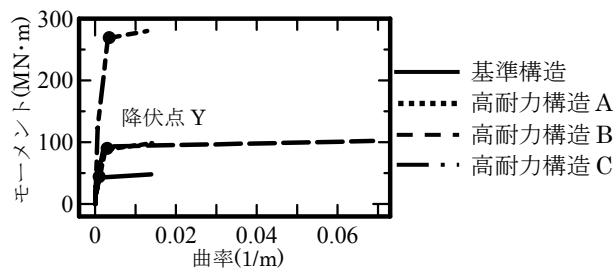


図-2 基準構造と高耐力構造の橋脚基部のM- ϕ 関係

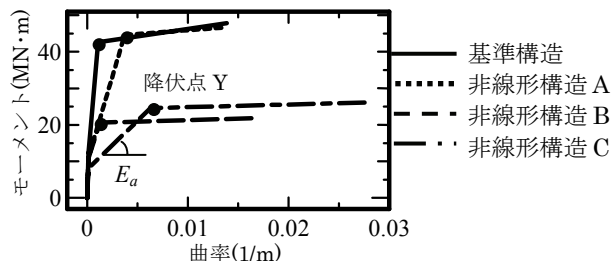


図-3 基準構造と非線形構造の橋脚基部のM- ϕ 関係

表-1 各構造の安全性指標

構造	安全性指標
基準	-
高耐力	1.66
A	2.26
B	2.29
C	4.15
非線形	2.16
A	1.77
B	2.25
C	2.21
長周期	2.58
A	1.94
B	2.16
C	0.76