

構造形態に着目した RC 橋脚の耐震安全性評価

東北大学 学生会員 ○阿部遼太
東北大学大学院 学生会員 青木 直

東北大学大学院 学生会員 猪股右樹
東北大学大学院 正会員 秋山充良
東北大学大学院 フェロー 鈴木基行

1. はじめに

従来の震度法によって考慮されていた橋脚の設計震度は 0.2~0.3 程度であり、上部工重量が支配的な荷重として作用するため、単柱式の構造形態であった。しかし、兵庫県南部地震以降の耐震設計¹⁾では設計地震力が大きく見直され、設計震度は 2.0 に及ぶ場合もある。そのように、支配的な荷重が重力から地震力に移行してきたことに対して、橋梁構造物の形は以前の形態から変化していない。重力よりも大きな地震力を設定する現在の耐震設計では、地震力を考慮した上で適切な構造形態を考えることは非常に重要であると思われる。

そこで本研究では、地震時に部材軸方向にも上部工の地震慣性力を分担させることによる耐震性能向上の可能性について検討する。なお、構造形態による耐震性能の比較には、信頼性理論に基づく地震時損傷確率を指標とした。

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の研究により、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)}。本研究ではそこで得られる地震ハザード曲線²⁾と、それを基に各地震活動の貢献度を考慮し設定された地震動を用いる⁴⁾。

(2) 地震時損傷確率の評価方法

地震時損傷確率の評価は、通常のモンテカルロシミュレーションによる方法では、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地震時損傷確率を算定した。Cornell らにより、4 つの近似をすることで式(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⁵⁾。ここに、 k, k_0 は地震ハザードの近似のパラメータ、 a, b は地震動に対する構造物の応答の近似のパラメータ、 \hat{D}, ζ_D は応答の分布を対数正規分布に近似したときの中央値と対数標準偏差、 \hat{C}, ζ_C は性能の分布を対数正規分布に近似したときの中央値と対数標準偏差である。

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

しかし、日本のような複数の断層の影響を受ける地域では、地震ハザード曲線は非線形性が強く、適切な近似をしなければ妥当な地震時損傷確率が得られない。そのため、林、秋山らの提案手法⁶⁾を用いて、式(1)により精度の良い地震時損傷確率の算定を行った。

3. 本研究で検討する構造形態

(1) 基準構造と構造の統一条件

本研究では、上部工慣性力を橋脚の部材軸方向に分担させることにより、橋脚に作用する基部の作用曲げモーメントを低減できる構造形態を考案する。また、基準構造(単柱式形式)との比較により構造形態が地震時損傷確率に及ぼす影響を検討する。平成 8 年制定の道路橋示方書に従い試設計した鉄筋コンクリート橋脚⁷⁾を基準構造に定める。共通条件として、コンクリートと鉄筋の使用量をすべての構造物で統一する。

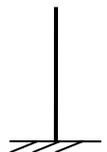


図 - 1 基準構造

(2) 橋脚を傾けた構造(形態 A)

新構造形態 A として、図 - 2 のように傾けた橋脚 2 本で上部工を支える構造を考える。傾けることにより死荷重による曲げが常に働くことになるが、これによって 1 方向の地震荷重による橋脚基部の作用モーメントが大きく低減さ

Key Words : 構造形態, 信頼性設計, 地震危険度解析, 地震時損傷確率

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

れる。地震力のような繰り返し荷重が作用する場合には、支承部分の剛性を正負で変化させ、上部工の慣性力をその方向に強い方の橋脚が受け持つような構造とする。橋脚を傾けるほど効果は大きいが生荷重による曲げも大きくなる。最適な橋脚の傾きを検討するため、傾き(直立を0とする)を1/20, 1/10, 1/5としたものをそれぞれA-1, A-2, A-3とする。

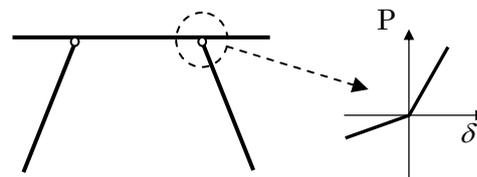


図 - 2 形態 A

(3) 逆V字型橋脚(形態 B)

新構造形態 B として、斜めの部材を組み合わせた逆V字型の構造を考える。不静定構造として軸方向にも地震力を受け持たせることで、上部工慣性力による曲げの負担を低減させる効果を期待した。図-3に示すように、部材角を75°, 60°とした構造をB-1, B-2とする。

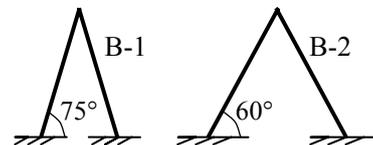


図 - 3 形態 B

(4) 逆Y字型橋脚(形態 C)

新構造形態 B の考え方を応用し、橋脚の上部は曲げが小さいため直立の柱で曲げを受け持つとし、下部を逆V字とすることで斜めの部材に働くモーメントを低減させる逆Y字型の構造を考える。断面を部材で統一したものをC-1、橋脚の下部で断面を半分にしたものをC-2とする(図-4)。

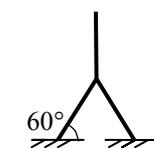


図 - 4 形態 C

4. 地震時損傷確率に基づく各構造形態の耐震安全性評価

(1) 解析条件

解析に用いた地震ハザード曲線はJ-SHISにより公開されている神戸市の地震ハザード曲線²⁾、地震動波形には安中により評価された神戸市における地震動群⁴⁾を利用した。

構造物は、橋脚躯体を武田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。降伏と終局を限界状態として、作用させる地震動を漸増させて限界状態に至った際の変位を性能とした。

(2) 解析結果

解析結果を表-1に示す。損傷確率を等価な指標である安全性指標で表した。安全性指標が高い方が耐震性能に優れる。形態 A は使用性と安全性、形態 B は使用性の向上が見られ、形態 C はどちらも低下するという結果が得られた。形態 A については、橋脚の傾きが大きいと、曲げモーメントの低減よりも上部工重量による偏心モーメントが過大となるため、今回の条件の下では A-2 が最適な構造であると言える。形態 B の 2 つには大きな違いは見られなかった。これは、軸力に多く受け持たせる効果と、傾きを大きくすることで使用材料の制限から断面が小さくなる効果の差が、これらの 2 つで同程度であったためである。形態 C は使用材料の体積を統一するという条件の下では十分な部材耐力を確保することができず、耐震性能が向上しなかった。

表 - 1 各構造の安全性指標

構造	安全性指標	
	使用限界	終局限界
基準	1.36	2.96
A-1	1.85	3.77
A-2	2.12	3.91
A-3	1.97	3.40
B-1	1.68	3.01
B-2	1.69	2.84
C-1	0.99	1.77
C-2	0.40	1.80

5. まとめ

地震時の上部工慣性力を部材軸方向に分担させた橋脚の構造形態を提案し、地震時損傷確率の試算によって耐震性能を評価した。それによって、重力だけでなく地震力も考慮した構造形態とすることにより、地震時の安全性・使用性が向上する可能性を示した。

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) 土木学会：コンクリート構造物の信頼性設計法に関する研究小委員会(336 委員会)成果報告書，コンクリート技術シリーズ No. 83, 2008。
- 5) 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。
- 6) 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, pp959-960, 2008。
- 7) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料, 1997。