

道路橋橋脚の設計手法の違いが耐震信頼性に及ぼす影響

独立行政法人土木研究所 正会員 西田 秀明
 独立行政法人土木研究所 正会員 運上 茂樹
 独立行政法人土木研究所 正会員 星隈 順一
 国土交通省 正会員 大住 道生

1. はじめに

現在の道路橋の耐震設計は許容応力度法が基本となっているが、今後は海外の耐震設計で主流となっている信頼性設計法への移行が検討されている。この際、材料強度のばらつきや地震動の発生確率等を信頼性理論に基づき評価して決定した部分係数を用い、構造物が目標とする信頼性を確保することが必要とされる。本文では、これらの変動要因の中から設計手法の違いに着目することとし、曲げ破壊先行型 RC 橋脚を地震時保有水平耐力法と動的解析法で設計した断面について耐震信頼性指標 および部分係数を試算し、その影響について検討した。

2. 解析方法と設定条件

信頼性指標 の算出は、二次モーメント法を Hasofer-Lind の方法により限界状態を表す性能関数の形状が不明確な場合にも対応できるようにした拡張二次モーメント法を用いた¹⁾。ここでは、 は標準化空間において座標原点から限界状態曲面までの最短距離と定義され、その時の限界状態曲面上の点を設計点（以下「*」をつけて表す）と呼ぶ。

RC 橋脚の曲げ変形性能に関する限界状態の性能関数 g は許容塑性率 μ_a および応答塑性率 μ_r から式(1)とした。

$$g(\dots) = \frac{\mu_a}{\mu_r} - 1 \geq 0 \quad (1)$$

部分係数（部材係数 γ_b 、構造解析係数 γ_a ）は、設計点と基本確率変数の平均値（以下「-」をつけて表す）から式(2)、(3)の様に表す。

$$\gamma_b = \frac{\bar{\mu}_a}{\mu_a^*} \quad (2)$$

$$\gamma_a = \frac{\mu_r^*}{\bar{\mu}_r} \quad (3)$$

考慮した基本確率変数と確定量を表 - 1、設定した各要因のばらつきを表 - 2 に示す。また、解析は断面形状と固有周期を変えた表 - 3 に示すケースを対象として行った。検討は、設計手法と 計算時の荷重のばらつきの有無を変えた 3 ケースとした。

a)地震時保有水平耐力法で断面設計し、荷重のばらつきを考慮した場合

断面設計は地震時保有水平耐力法により行い、の計算で用いる非線形地震応答値（荷重側）を、

表 - 1 基本確率変数と確定量

基本確率変数	コンクリート材料強度
	鉄筋材料強度
	主鉄筋量
	鉄筋弾性係数
	断面寸法
	軸方向力
	振動に関わる重量
確定量	横拘束鉄筋量
	終局変位推定式の補正係数 (a)の場合のみ)
	非線形応答推定式の補正係数
確定量	安全係数(=1.5)
	水平震度
	その他の設計諸量

表 - 2 設定したばらつき

ばらつき要因	基準値	平均値	変動係数
コンクリート強度(N/mm ²)	24.0	126%	11.2%
コンクリート弾性係数(N/mm ²)	2.5×10 ⁴	100%	1.0%
鉄筋降伏点強度(N/mm ²)	345	114%	4.5%
鉄筋断面積	公称値	97%	1.0%
鉄筋弾性係数(N/mm ²)	2.0×10 ⁵	97%	1.0%
作用軸力	死荷重反力	100%	5.0%
断面寸法	設計寸法	100%	1.0%
配筋位置	設計寸法	100%	1.0%
終局変位評価式	設計終局変位	110%	31.9%

キーワード：耐震信頼性指標、設計手法、道路橋橋脚

連絡先 : 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6 TEL 0298-79-6773 FAX 0298-79-6736

表 - 3 解析対象ケース

Case	橋脚断面	T	軸鉄筋比	軸応力比	地震時保有耐力
		sec			kN
1 - a	壁式	0.6	0.015	0.042	5206
1 - b、1 - c			0.009	0.047	3122
2 - a		0.3	0.004	0.036	3724
2 - b、2 - c			0.007	0.048	3592
3 - a	正方形	0.6	0.016	0.054	4953
3 - b、3 - c			0.009	0.054	3116
4 - a		0.3	0.004	0.045	4357
4 - b、4 - c			0.014	0.060	5691
5 - a	円形	0.6	0.022	0.054	6598
5 - b、5 - c			0.017	0.054	5408
6 - a		0.3	0.009	0.056	5182
6 - b、6 - c			0.008	0.056	4820

種地盤 213 成分に対するエネルギー一定則とリダクションファクタースペクトルをもとにその平均値とばらつきを定義して確率変数とした場合²⁾ (μ_r を確率変数とする場合)。

b) 動的解析法で断面設計し、荷重のばらつきを考慮した場合

断面設計は動的解析法により行い、 μ_r の計算で用いる荷重のばらつきを a) と同様にエネルギー一定則とリダクションファクターをもとに定義した場合 (μ_r を確率変数とする場合)。

c) 動的解析法で断面設計し、荷重のばらつきを考慮しない場合

μ_r の計算の際に、荷重のばらつきの影響は断面設計時に動的解析の結果として直接考慮していることとし、非線形応答値を平均値としてそのまま用いた場合 (μ_r を定数とする場合)。

ここで、地震動レベルはタイプ Ⅱ の地震動とし、地震時保有水平耐力法的设计震度 k_{hc} は 1.75、動的解析で用いた波形はタイプ Ⅱ 地震動 種地盤の振幅調整波 3 波のうち各固有周期で最も大きな応答となるものとし、固有周期 0.3 秒のケースは算合 N27W 波、0.6 秒のケースは JR 鷹取駅 EW 波の各振幅調整波とした。

3. 解析結果

試算結果を図 - 1 に示す。a) と b) の場合を比較すると、b) は a) より μ_r は 0.5 ~ 0.9 倍に小さくなっている。これは動的解析法により設計した断面は地震時保有水平耐力法で設計した断面に比べ小さくなるためである。しかし、c) のように荷重のばらつきは動的解析により直接取り込んでいると考えて考慮しない場合には、設計断面は b) と同一であっても、耐震信頼性は a) と同等程度となる。部分係数は、a)、b) では解析ケースによらず比較的同じ値をとっているが、c) の場合は b) と c) の μ_r の差に応じて解析ケース間にばらつきが生じた。

4. まとめ

地震時保有水平耐力法と動的解析法によって設計した橋脚の耐震信頼性を検討した。荷重のばらつきを考慮した場合は動的解析法による断面が小さいため耐震信頼性も小さくなるが、動的解析により荷重のばらつきは直接取り込んでいるので確定的に与えられるとすると、地震時保有水平耐力法で設計した断面と同等程度の耐震信頼性を有しているといえる。

参考文献：1) G. I. Schueller (小西一郎、高岡宣善、石川浩 共訳)：構造物の安全性と信頼性、丸善 2) 足立幸郎、運上茂樹：材料強度等のばらつきが鉄筋コンクリート橋脚の地震応答特性に及ぼす影響、コンクリート構造系の安全性評価に関するシンポジウム論文集、1999。

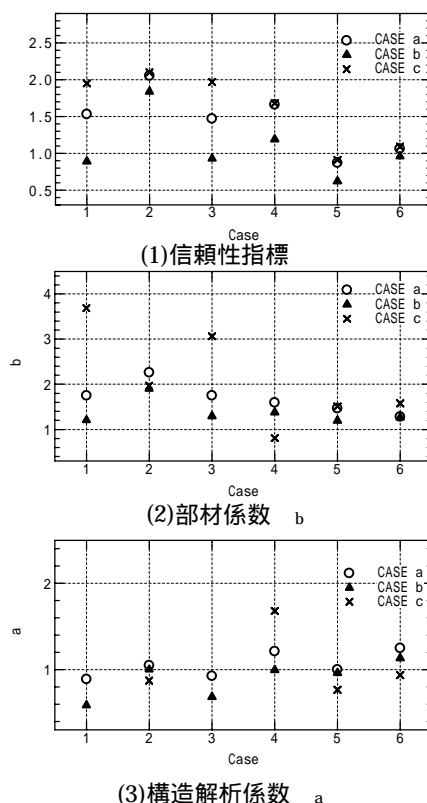


図 - 1 設計手法が異なる場合の各値の比較