

平成 24 年道路橋示方書等の改定に伴う下部構造におけるレベル 2 地震動 に対する非線形動的解析の結果の変動について

東日本高速道路(株) 非会員 北野 勇 非会員 舘岡 真仁 非会員 中村 和己
(株) ドーユー大地 正会員 石塚 宏之 正会員 ○吉田 直弘 非会員 高堰 誠

1. はじめに

平成 24 年道路橋示方書(以下、「道示」という。)の耐震設計の規定では、近年の鉄筋コンクリート橋脚における塑性ヒンジの形成メカニズムに関する研究成果を反映し、鉄筋コンクリート橋脚の限界状態に相当する変位を直接的に算出し、この変位に対して安全係数を考慮して許容塑性率を算出するとしている。そのうえで、塑性ヒンジ長の新しい推定式と軸方向鉄筋の引張ひずみに基づく限界状態の定義を新たに導入している。また、NEXCO の設計要領第二集(以下、「二集」という。)では、H24 年道示改定を踏まえ、ラーメン橋の許容変位や塑性ヒンジの許容回転角等の規定が改定された。このような設計基準の改定に伴い、設計結果が従来に比べて大きく変わると考えられる。これを検証するために、新旧基準による耐震解析を実施し、その結果の比較を行った。また、支承条件や地盤種別による影響が大きいと考えられるため、支承条件についてはラーメン構造と免震構造を対象に、地盤種別についてはⅠ種～Ⅲ種を対象に比較検討を行った。本論文では、新旧の設計基準による照査結果の違いと、構造特性に関する考察について報告する。

2. RC 橋脚の耐震設計に関する改定概要

RC 橋脚の耐震設計に関する道示の耐震設計編と二集の改定概要を表-1 に示す。

表-1 RC 橋脚の耐震設計に関する改定概要

	H24基準(H24改訂)	従来基準(H24改訂以前)	備考
許容塑性率 μ_a	$\mu_a = \frac{\delta_{ls}}{\alpha \delta_y}$	$\mu_a = 1 + \frac{\delta_u - \delta_y}{\alpha \delta_y}$	δ_a :許容変位 δ_y :降伏変位
塑性ヒンジ長 L_p	$L_p = 9.5 \sigma_{sy}^{1/6} \beta_n^{-1/3} \phi'$ $L_p \leq 0.15h$	$L_p = 0.2h - 0.1D$ $0.1D \leq L_p \leq 0.5D$	δ_u :終局変位 δ_{ls} :耐震性能の限界状態に相当する変位
塑性ヒンジの許容回転角 θ_a	$\theta_a = \theta_{py} + \frac{\theta_{pls} - \theta_{py}}{\delta_{ls} - \delta_y} \times (\frac{\delta_{ls}}{\alpha} - \delta_y)$	$\theta_a = \theta_{py} + \frac{\theta_{ppu} - \theta_{py}}{\alpha}$	α :安全係数
許容変位 δ_a (ラーメン構造の場合)	$\delta_a = \frac{\delta_{ls}}{\alpha}$	$\delta_a = \delta_y + \frac{\delta_u - \delta_y}{\alpha}$	二集の規定。 道示にない規定。 θ_{py} :塑性ヒンジ降伏回転角

3. 検討モデルと適用基準

本検討のモデルは、図-1、2 に示す PC5 径間連続箱桁橋である。橋脚は RC 充実断面とした。支承条件はラーメン構造と免震構造の 2 ケースとした。地盤種別はⅠ種地盤～Ⅲ種地盤の 3 ケースとした。適用基準は二集と道示とした。

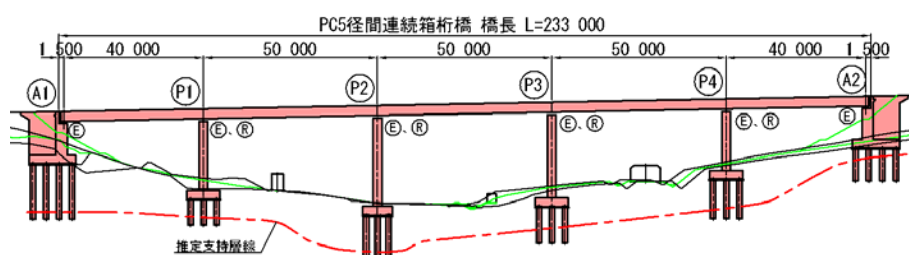


図-1 対象橋梁側面図

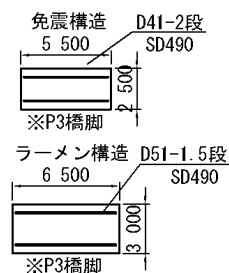


図-2 柱断面形状

4. 新旧基準による非線形動的解析の結果の比較

4.1 ラーメン構造

本検討は、上記モデルに対して、H24 年の二集・道示に従いⅡ種地盤とした場合の設計を行った。その設計で決定した構造(橋脚の諸元は二集に基づく応答変位の照査で決定となった)に対して、改定前の二集・道示と他の地盤種別の場合の非線形動的解析を行った。各ケースの結果を示す表-2 から、ラーメン橋の最大応答変位に対する許容変位の比率 (δ_{max}/δ_a) は、H14 年の設計基準に比べて H24 年の基準の方が大きく上がつ

キーワード 許容塑性率、塑性ヒンジ、塑性ヒンジ回転角、応答変位、ラーメン構造、免震構造

連絡先 〒359-0021 埼玉県所沢市東所沢 2-27-12 (株)ドーユー大地 埼玉支社構造部 TEL04-2945-5500

ていることが分かった。これは許容塑性率や塑性ヒンジ長の改定によるものと考えられる。また、新旧基準で必要な橋脚断面の比較を表-3 に示す。応答変位と塑性ヒンジの回転角の比率と地盤種別との関係を表-4 に示す。H24 年の基準で照査する場合、応答値と許容値との比が、Ⅱ種>Ⅲ種>Ⅰ種地盤の順となっている。この傾向は図-3 に示す構造の固有周期による加速度応答スペクトルの関係と一致する。よって、固有周期が $T=1s$ 程度の構造にとって、L2 耐震設計上の下部構造の成立し易さがⅠ種→Ⅲ種→

表-3 新旧基準の必要橋脚断面比較

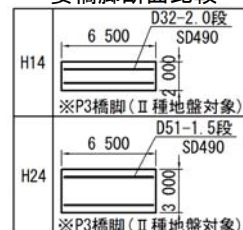
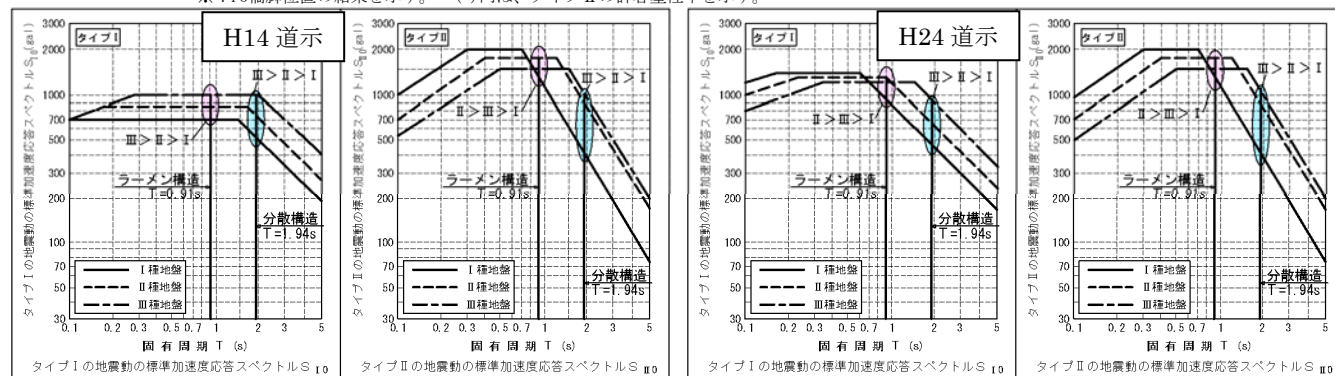


表-2 ラーメン構造の非線形動的解析結果表

地盤種別		Ⅰ種地盤 (TG<0.2s)				Ⅱ種地盤 (0.2≦TG<0.6s)				Ⅲ種地盤 (TG≧0.6s)				
設計基準年度		H14		H24		H14		H24		H14		H24		
固有周期:T		T=0.91s												
許容塑性率:μa		μa=1.29(2.30)		μa=1.471		-(同左)		-(同左)		-(同左)		-(同左)		
塑性ヒンジ長:Lp		Lp=1.500m		Lp=0.815m		-(同左)		-(同左)		-(同左)		-(同左)		
応答変位	橋脚方向	δmax	δa	δmax	δa	δmax	δa	δmax	δa	δmax	δa	δmax	δa	
		タイプⅠ	0.117	0.275	0.188	0.355	0.132	0.275	0.255	0.355	0.182	0.275	0.221	0.355
		δmax/δa	0.43		0.53		0.48		0.72		0.66		0.62	
		タイプⅡ	0.248	0.591	0.247	0.355	0.312	0.591	0.286	0.355	0.298	0.591	0.257	0.355
		δmax/δa	0.42		0.70		0.53		0.81		0.50		0.72	
塑性ヒンジ回転角	橋脚方向	θmax	θa	θmax	θpa	θmax	θa	θmax	θpa	θmax	θa	θmax	θpa	
		タイプⅠ	0.0009	0.0054	0.0008	0.0119	0.0010	0.0054	0.0011	0.0119	0.0014	0.0054	0.0010	0.0119
		θmax/θa	0.16		0.07		0.18		0.09		0.26		0.08	
		タイプⅡ	0.0019	0.0152	0.0011	0.0119	0.0028	0.0152	0.0013	0.0119	0.0024	0.0152	0.0011	0.0119
		θmax/θa	0.12		0.09		0.19		0.11		0.16		0.09	

※: P3橋脚位置の結果を示す。()内は、タイプⅡの許容塑性率を示す。



4.2 免震構造

図-3 固有周期と加速度応答スペクトル図

ラーメン構造と同様に免震構造に対する検討を行った。表-5 に各ケースの塑性ヒンジ回転角の照査結果を示す。塑性ヒンジ回転角の最大応答値に対する許容値の比率 (θ_{max}/θ_a) は、H14 年の設計基準に比べて H24 年の基準の方が大きく上がっていることが分かった。また、 θ_{max}/θ_a と地盤種別との関係を表-6 に示す。H24 年の基準で照査する場合、応答値と許容値との比は、Ⅲ種>Ⅱ種>Ⅰ種地盤の順となっている。この傾向は図-3 に示す構造の固有周期による加速度応答スペクトルの関係と一致する。よって、固有周期が $T=2s$ 程度の橋梁にとって L2 耐震設計上の下部構造の成立し易さがⅠ種→Ⅱ種→Ⅲ種地盤の順となることが推測できる。

表-5 免震構造の非線形動的解析結果表

地盤種別		Ⅰ種地盤 (TG<0.2s)				Ⅱ種地盤 (0.2≦TG<0.6s)				Ⅲ種地盤 (TG≧0.6s)				
道示年度		H14		H24		H14		H24		H14		H24		
固有周期		T=1.94s												
許容塑性率		μ a=1.15(1.54)		μ a=0.93		-(同左)		-(同左)		-(同左)		-(同左)		
塑性ヒンジ長		Lp=1.250m		Lp=0.959m		-(同左)		-(同左)		-(同左)		-(同左)		
ジ 回 性 回 転 性 角	橋 軸 方 向	θ max	θ a	θ max	θ pa	θ max	θ a	θ max	θ pa	θ max	θ a	θ max	θ pa	
		タイプⅠ	0.0013	0.0044	0.0010	0.0017	0.0014	0.0044	0.0013	0.0017	0.0021	0.0044	0.0023	0.0017
		θ max/ θ a	0.30		0.59		0.31		0.78		0.47		1.34	
		タイプⅡ	0.0010	0.0104	0.0007	0.0017	0.0020	0.0104	0.0015	0.0017	0.0021	0.0104	0.0016	0.0017
		θ max/ θ a	0.09		0.42		0.19		0.91		0.20		0.93	

※: P3橋脚位置の結果を示す。()内は、タイプⅡの許容塑性率を示す。

表-6 免震構造の塑性ヒンジ回転角照査結果と地盤種別の関係

基準年度	タイプⅠ	タイプⅡ
H14	Ⅲ>Ⅱ>Ⅰ 0.47>0.31>0.30	Ⅱ>Ⅲ>Ⅰ 0.20>0.19>0.09
H24	Ⅲ>Ⅱ>Ⅰ 1.34>0.78>0.59	Ⅲ>Ⅱ>Ⅰ 0.93>0.91>0.42

5. まとめ

本検討で得られた知見を以下にまとめる。①今回の H24 道示改定では、下部工の L2 耐震設計において、ラーメンと免震構造とともに、H14 道示に対してより地震に耐えうる構造となる傾向である。②ラーメン橋において、H24 年二集に基づく応答変位の照査についてもより地震に耐えうる構造となる傾向である。また、支承条件は橋脚高さや地盤種別によりラーメン構造より免震構造の方が有利な場合もある。③本検討の結果、固有周期が $1s$ 程度の構造（ラーメン）においては、L2 耐震設計上の下部構造の成立し易さがⅠ種地盤→Ⅲ種地盤→Ⅱ種地盤の順となる。一方、固有周期が $2s$ 程度の構造（免震）にとって、L2 耐震設計上の下部構造の成立し易さがⅠ種地盤→Ⅱ種地盤→Ⅲ種地盤の順となる。