

新耐震設計基準に基づいた既設鋼製橋脚の耐震性能評価

関西大学大学院理工学研究科 学生員○木野村宏昭 関西大学環境都市工学部 正会員 堂垣正博

1. まえがき

2011年3月11日に発生した東日本大震災は、三陸沖を震源とする連動地震と津波による複合災害と化し、東北地方に甚大な犠牲と被害をもたらした。わが国では、将来、東海・東南海・南海の連動地震が危惧されている。そのような状況下で、2012年2月16日に道路橋示方書が改定された。耐震基準の強化項目では、最近発生した地震による被害を踏まえ、レベル2地震動（タイプI）の設計地震動や地域別補正係数などが見直された¹⁾。

筆者は先に無補強およびコンクリート充填の鋼製橋脚を対象に、H14年度版耐震基準²⁾に基づいた耐震性能評価を試みた³⁾。ここでは鋼製橋脚の耐震性能を汎用有限要素プログラム“MARC2010.2”による弾塑性有限要素解析で求め、H14年度版とH24年度版の耐震照査法でそれぞれ照査し、改定された設計地震動や補正係数が鋼製橋脚の安全性に及ぼす影響を検討した。

2. 鋼製橋脚の解析モデルと耐震照査法の改定

耐震性能を評価する鋼製橋脚を図-1のように単柱にモデル化する。また、その断面形状は図-2のようである。橋脚の頂部に地震力に相当する繰返しの水平荷重 H と上部構造の死荷重に相当する圧縮力 P が同時に作用する場合を扱う。地震力に相当する水平荷重は図-3に示すとおりである。

鋼製橋脚を構成する鋼板と縦補剛材の鋼種はSM490Y材で、その応力-ひずみ関係は図-4のようである。その材料特性を表-1にまとめる。

示方書の改定事項のうち、レベル2地震動（タイプI）の設計水平震度の標準値と地域別補正係数に注目する。H14年度版とH24年度版の設計水平震度の標準値を図示すれば、図-5のようである。また、レベル2地震動（タイプI）の地域区分別の地域別補正係数は表-2のようである。設計水平震度や地域別補正係数の改定がH14年度版の耐震照査法で設計された橋脚に及ぼす影響を地盤種ごとに検討する。ただし、

鋼製橋脚の限界状態を終局限界に置き、水平強度-水平変位曲線の包絡線上の最高強度から95%低下した

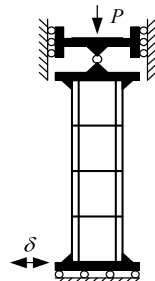


図-1 解析モデル

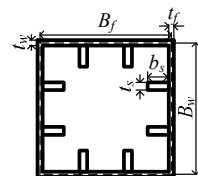


図-2 補剛断面

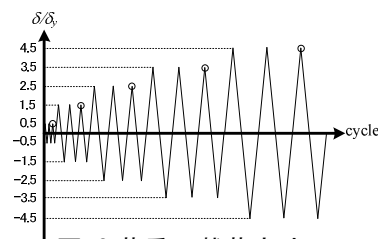


図-3 荷重の載荷方法

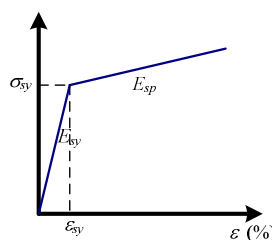


図-4 応力-ひずみ関係

表-1 材料特性

鋼材 (SM490Y材)	
E_{sy} (GPa)	206
E_{sp} (GPa)	2.06
σ_{sy} (MPa)	355
ε_{sy} (%)	0.172
ν_s	0.3

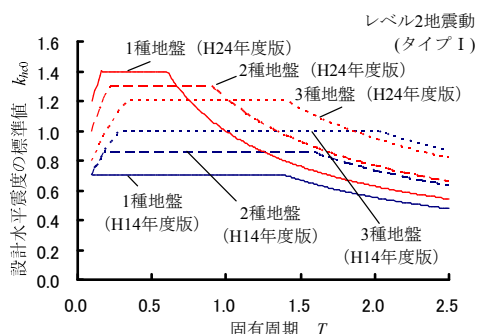
図-5 設計水平震度の標準値 k_{h0} の比較

表-2 地域区分別の地域別補正係数の変遷

レベル2地震動（タイプI）			
H14年度版の耐震基準		H24年度版の耐震基準	
地域区分	地域別補正係数	地域区分	地域別補正係数
A	1.0	A1	1.2
		A2	1.0
B	0.85	B1	1.2
		B2	1.0
C	0.7	C	0.8

キーワード：道路橋示方書、鋼製橋脚、耐震性能評価、限界状態、弾塑性有限変位解析、MARC

連絡先：〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 TEL.06-6368-0882 FAX.06-6368-0882

点とした。なお、耐震性能2に注目し、その照査を文献1)に示される基準に則って行った。

3. 数値解析結果と耐震性能照査

3.1 数値解析による鋼製橋脚の限界状態の算定

橋脚の頂部に上部構造の死荷重に相当する圧縮力と、図-3 に示すような地震作用に対応する繰り返しの水平荷重が同時に働く補剛断面からなる鋼製橋脚の耐震性能を検討する。縦補剛材間での板パネルの幅厚比パラメータを $R_p=0.2\sim0.8$ の範囲で変化させ、繰り返し水平荷重下で数値解析した。解析に必要なその他のパラメータは表-3 のとおりである。 $R_p=0.55$ の場合の履歴曲線を図-6 に示す。図中、○印は各変動振幅における最終サイクル目の正の除荷点(図-3 の○印と対応)を表す。これらを結んで得られる包絡線を幅厚比パラメータごとに図示すれば、図-7 となる。図中、×印は橋脚の限界状態(終局点)を与え、この点での橋脚の強度と変形から耐震性能を評価する。

3.2 H14 年度版と H24 年度版による照査結果の比較

3.1 で得られた橋脚の限界状態での性能を H14 年度版と H24 年度版の照査法に適用し、Model 1~Model 6 の耐震性能を照査する。ここに、地域区分を A とする。照査は地震時保有水平耐力に注目し、保有水平耐力 P_a が想定地震力 $k_{hc}W$ を下回らないかどうかで耐震性能を照査する ($k_{hc}W < P_a$)。Model 1~Model 6 の耐震照査を行った結果、地盤種別ごとに表-4 を得る。同表の 3 種地盤に対し、H14 年度版と H24 年度版の地域区分 A2 の結果を比較すれば、照査の傾向は同じであるが、H24 年度版では $k_{hc}W$ の値が緩和されている。これは、図-5 からわかるように、3 種地盤では設計水平震度の標準値の上昇率があまり高くないことや、許容塑性率を算出する際の安全係数が大幅に低減されていることに起因する。一方、1 種と 2 種の地盤では H14 年度版と H24 年度版による照査結果にかなりの差が生じた。H14 年度版の規定を満足する橋脚の多くが H24 年度版を満足しない。特に、地域区分 A1 における橋脚の耐震基準を満足させるためには、かなりの性能アップが必要である。

4. あとがき

H14 年度版の基準に準拠して設計された鋼製橋脚を H24 年度版の耐震基準によって照査し、改定された荷

重の見直しが橋脚の安全性に及ぼす影響を検討した。その結果、H14 年度版示方書の耐震基準を満足する橋脚も H24 年度版を満足しないものがあった。また、固有周期が短く、1 種と 2 種の地盤に建設された橋脚には、耐震補強が必要である。

参考文献

1) 国土交通省：橋、高架の道路等の技術基準の改定について、2012-2。
2) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、丸善、2002-3。
3) 木野村宏昭・堂垣正博：コンクリートが部分的に充填された鋼製橋脚の耐震性能、構造工学論文集、土木学会、Vol.58A, pp.290-298, 2012-3。

表-3 解析パラメータ

	R_p	R_s	γ/γ^*	$\bar{\lambda}$	P/P_y	最大強制変位
Model 1	0.22	0.47	3.0	0.34	0.1	$\pm 4.5\delta_y$
Model 2	0.33					
Model 3	0.44					
Model 4	0.55					
Model 5	0.65					
Model 6	0.76					

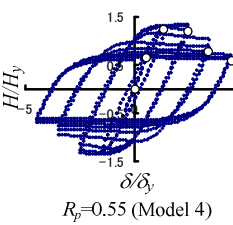


図-6 履歴曲線

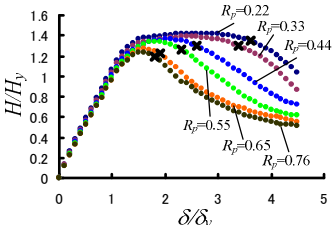


図-7 橋脚の強度曲線

表-4 耐震照査結果(地震時保有水平耐力)の比較

地盤種別	幅厚比パラメータ	H14年度版耐震基準		H24年度版耐震基準			
		地域区分A		地域区分A1		地域区分A2	
		$k_{hc}W$ (MPa)	P_a (MPa)	$k_{hc}W$ (MPa)	P_a (MPa)	$k_{hc}W$ (MPa)	P_a (MPa)
1 種地盤	0.22	3.42	6.25	6.10	6.25	5.08	6.25
	0.33	2.56	4.39	4.60	4.39	3.83	4.39
	0.44	2.19	3.44	4.15	3.44	3.45	3.44
	0.55	1.94	2.78	3.77	2.78	3.14	2.78
	0.65	1.81	2.30	3.73	2.30	3.11	2.30
	0.76	1.64	2.00	3.46	2.00	2.88	2.00
2 種地盤	0.22	4.16	6.25	5.67	6.25	4.72	6.25
	0.33	3.10	4.39	4.27	4.39	3.56	4.39
	0.44	2.66	3.44	3.85	3.44	3.21	3.44
	0.55	2.35	2.78	3.50	2.78	2.92	2.78
	0.65	2.20	2.30	3.47	2.30	2.89	2.30
	0.76	2.00	2.00	3.21	2.00	2.67	2.00
3 種地盤	0.22	4.89	6.25	5.23	6.25	4.36	6.25
	0.33	3.65	4.39	3.94	4.39	3.29	4.39
	0.44	3.13	3.44	3.55	3.44	2.96	3.44
	0.55	2.77	2.78	3.23	2.78	2.69	2.78
	0.65	2.59	2.30	3.20	2.30	2.67	2.30
	0.76	2.35	2.00	2.96	2.00	2.47	2.00