

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 〇北市 さゆり

大阪大学大学院工学研究科 正会員 小野 潔

株式会社 IHI インフラシステム 正会員 岡田 誠司

1. はじめに

道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編¹⁾(以下「道示 V」という)では、大規模な地震が発生する地域とそれに該当しない地域で、耐震性能を照査する際に用いる地震動の大きさに差をもたせる「地域別補正係数」が規定されている。これは、設計地震動に乗じて大きさを調整するものである。H24 の道示改訂では、レベル 2 地震動タイプ I および地域別補正係数が見直された。これよりある地域区分では、タイプ I 地震動の 0.85 倍を考慮していた従来の設計に対し、改訂されたタイプ I 地震動の 1.2 倍を考慮するなど、地震動が大幅に変更された。そこで、道示改訂に伴い変更された地震動に対しても、既設橋が所要の耐震性を有するかを確認する必要がある。本研究では、各地域区分で設定される地震動が鋼製橋脚の耐震性能評価に及ぼす影響を明らかにし、補強の可否を判断する際の基礎データを得ることを目的として、1 自由度質点系を対象とした非線形時刻歴応答解析を行った。

2. 地域別補正係数 c_z を考慮した入力地震動の概要

H14 道示 V²⁾では、レベル 1、レベル 2 地震動タイプ I およびタイプ II に対して、同一の地域別補正係数が用いられ、地震発生頻度の高い地域が A($c_z = 1.0$)、低い地域が B($c_z = 0.85$)、C($c_z = 0.7$)と 3 種類に区分されていた。H24 の道示改定では、タイプ I 地震動に対する地域別補正係数が設けられ、結果として、A、B 区域をそれぞれ 2 つに分け、計 5 地域の区分が規定された。表 2.1 に地域別補正係数(H24 道示 V²⁾)を示す。

鋼製橋脚が多く建設される II 種、III 種地盤に着目し、入力地震動は道示 V¹⁾で解説されるレベル 2 地震動タイプ I の 6 波(I-II-1, I-II-2, I-II-3, I-III-1, I-III-2, I-III-3, 以下「タイプ I」)、レベル 2 地震動タイプ II の 6 波(II-II-1, II-II-2, II-II-3, II-III-1, II-III-2, II-III-3, 以下「タイプ II」)とする。5 つの地域区分に応じて、これら 12 波を補正し入力地震動とする。例えば A1 区域に着目した場合、タイプ I を 1.2 倍、タイプ II を 1.0 倍に補正した地震動を用いる。

3. 動的解析の概要

本稿では、耐震性能照査の指標を最大応答変位 δ_{max} とし、残留変位には着目しない。 δ_{max} を簡易的に推定する代表的な方法として、エネルギー一定則があるが、鋼製橋脚にこれを適用した場合、地震動によっては過度の安全側の結果となることが指摘されている³⁾。このため本稿では δ_{max} の算出に際し、

1 自由度質点系を対象とした非線形時刻歴応答解析を行う。解析モデルは既往の研究⁴⁾を参考に、軸力比(作用軸力/降伏軸力)が 5%および 15%、細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ が 0.2~0.5、幅厚比パラメータ R_R および R_F が 0.3~0.5 であるコンクリートを充てんしない矩形断面の鋼製橋脚とした。 $\bar{\lambda}$, R_R , R_F は道示 V¹⁾で規定されるパラメータである。鋼製橋脚の復元力特性をバイリニア型の水平荷重-水平変位関係で表現する(図 3.1)。ここで、降伏変位を δ_y 、降伏荷重を P_y 、許容水平変位を δ_a 、許容水平荷重を P_a とする。点(δ_y , P_y)は式より算出し、点(δ_a , P_a)はそれぞれ道示 V¹⁾で規定される曲げモーメント-曲率関係の非線形履歴モデルにおける、許容曲率および許容曲げモーメント(ϕ_a , M_a)に対応する点とする。なお点(ϕ_a , M_a)は実験および解析で得られる最大水平荷重時変位および最大水平荷重に対応する点である。減衰定数は 0.01 である。

表 2.1 地域別補正係数の概要

地域区分	地域別補正係数		
	c_z レベル1地震動	c_{Iz} レベル2地震動 タイプI	c_{IIz} レベル2地震動 タイプII
A1	1.0	1.2	1.0
A2	1.0	1.0	1.0
B1	0.85	1.2	0.85
B2	0.85	1.0	0.85
C	0.7	0.8	0.7

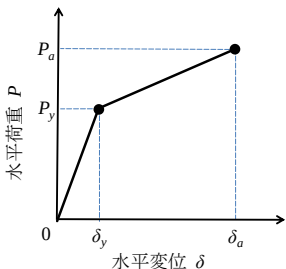


図 3.1 バイリニア型の復元力の概要

4. 解析結果

実際の耐震性能照査では各地盤種で規定される設計地震動 3 波から得られる結果の平均値が、許容値以下となればとなれば耐震性を有すると判定する。このため、本稿でも 3 波による最大応答変位 δ_{max} の平均値を用い、各地盤種のタイプ I の 3 波から得られた δ_{max} の平均値を「タイプ I δ_{max} 」、タイプ II について「タイプ II δ_{max} 」と定義する。タイプ II は H24 の道示改訂で変更されておらず、「タイプ II δ_{max} 」が、許容水平変位 δ_a を上回るモデルは、道示改訂に関わらずそもそも、耐震性を有していないと判定されるため、結果の整理の際に除外した。これより全 38 モデルのうち、A1, A2 区域では、II 種, III 種地盤でそれぞれ 8, 9 モデル、B1, B2 区域では II 種, III 種地盤でそれぞれ 12, 15 モデル、C 区域では、II 種, III 種地盤でそれぞれ 22, 20 モデルを対象として結果を整理する。本稿では、5 区域のうち、鋼製橋脚が多く建設される都市部を含む A2 区域(東京都、大阪府など)、H24 の道示改訂において大幅に変更された B1 区域(宮崎県、高知県などの一部)の結果を代表させて考察する。

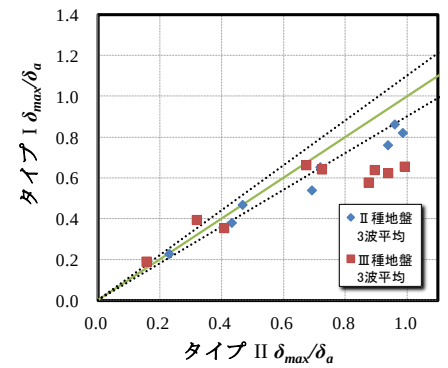
II 種, III 種地盤の「タイプ I δ_{max} 」と「タイプ II δ_{max} 」の比較を、A2, B1 区域について図-4.1(a), (b)にそれぞれ示す。図-4.1 では、各モデルに対するタイプ II δ_{max} を許容水平変位 δ_a で除した「タイプ II δ_{max}/δ_a 」を横軸に、タイプ I δ_{max} を δ_a で除した「タイプ I δ_{max}/δ_a 」を縦軸にとる。実線の対角線は各モデルの「タイプ I δ_{max}/δ_a 」と「タイプ II δ_{max}/δ_a 」の値の一致を、上下の点線は 10% の差を示すものである。図 4.1(a) より、A2 区域では、耐震性が問題となる δ_{max} が δ_a に近い結果となる(縦軸、横軸ともに 1 の近傍)モデルでは、タイプ I よりもタイプ II による δ_{max} の方が大きいことがわかる。よって、道示改訂に伴い変更された規定を適用しても、所要の耐震性を有する可能性が高い。一方、図 4.1(b) より B1 区域では、タイプ II よりもタイプ I による δ_{max} の方が概ね大きくなる傾向があり、タイプ I による δ_{max} が δ_a を上回るモデルが II 種, III 種地盤で計 10 モデル存在する。図 4.2 に細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ ごとに色分けした「タイプ I δ_{max}/δ_a 」の固有周期 T ごとの分布を示す。これより、 $\bar{\lambda}=0.2, 0.25, T=0.4\sim 0.6$ 秒程度のモデルの一部で、 δ_{max} が δ_a を上回ることがわかる。この結果は、B1 区域に存在する一部の既設鋼製橋脚は、所要の耐震性を有さない可能性があり、場合によっては補強策を講じる必要があることを示唆している。

5. まとめ

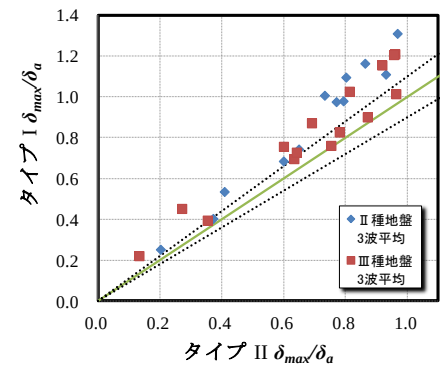
本稿では、地域別補正係数を考慮した設計地震動が鋼製橋脚の耐震性能評価に及ぼす影響を検討するため、鋼製橋脚を対象とした 1 自由度質点系の非線形時刻歴応答解析を行った。以下に得られた知見の概要を示す。

- ・鋼製橋脚が多く建設される都市部を含む A2 区域では、耐震性が問題となるモデルではタイプ II による最大応答変位がタイプ I によるそれより大きくなり、既設橋は所要の耐震性を有する可能性が高い。
- ・B1 区域では、タイプ I による最大応答変位がタイプ II によるそれより、概ね大きくなる傾向があり、細長比パラメータ $\bar{\lambda}=0.2\sim 0.25$ 、固有周期 $T=0.4\sim 0.6$ 秒程度のモデルの一部で、最大応答変位が許容水平変位を上回り、所要の耐震性を有さない可能性がある。

【参考文献】1)(社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，平成 24 年。2)(社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，平成 14 年。3)矢野公一，小野潔，西村宣男：コンクリートを充填した鋼製橋脚に対するエネルギー一定則および変位一定則の適用性に関する一検討，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集，I-79 pp.1-2, 2001。4)岡田誠司，小野潔，谷上裕明，徳永宗正，西村宣男：高軸力が作用する矩形断面鋼部材の耐震性能評価に関する研究，土木学会論文集 A, vol.66 No.3, 576-595, 2010。



(a) A2 区域の地域別補正係数を考慮



(b) B1 区域の地域別補正係数を考慮

図 4.1 タイプ I とタイプ II の δ_{max} の比較

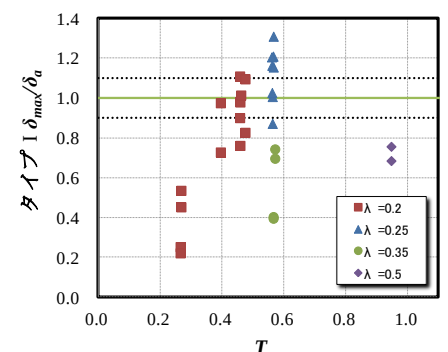


図 4.2 B1 区域の「タイプ I δ_{max}/δ_a 」に対する T と $\bar{\lambda}$ の影響