

RC 橋脚の耐震補強における耐震性評価法と地盤種別の関係について

北海学園大学 学生員 齊藤裕俊 北武コンサルタント 正会員 渡辺忠明 北海学園大学 正会員 杉本博之

1. まえがき 筆者らはこれまで、改訂された示方書類¹⁾²⁾に基づいて、RC 構造物の耐震補強設計を検討してきた。³⁾⁴⁾これらでは、大規模地震に対応できるように既設構造物を経済的に補強することを目的とし、静的弾塑性解析による評価のもとに最適化手法 GA⁵⁾を応用し、最適補強設計を求めた。

静的弾塑性解析による耐震性の評価には、エネルギー一定則に基づく方法¹⁾と降伏震度スペクトルによる方法²⁾がある。補強設計といえども、両者による設計の間に大きな差が出るのは好ましいと思えないが、従来それらに関する検討はあまり行われて来ていないと思われる。そこで本研究では、JR の RC 橋脚の補強を例にとり、文献 2) に定められている 8 種類の地盤種別のもとで最適補強設計を行い、上記の耐震性の評価方法と地盤種別の差による設計の差を検討した。目的関数は材料費を含む総工費としている。

2. 耐震性の評価 本研究の耐震性の評価は、上記のように、エネルギー一定則に基づく方法と、降伏震度スペクトルを用いる方法の 2 種類である。地盤種別は文献 2) に定められている 8 種類の地盤種別を用い、地盤種別との関係を表 1 に示した。エネルギー一定則による耐震性の評価では、構造物の弾性エネルギーと弾塑性エネルギーの関係により評価している。降伏震度スペクトルによる耐震性の評価では、スペクトル図から求める応答塑性率と構造物の設計塑性率との比較で評価を行っている。図 - 1 は、後記の計算例で最も厳しい条件を与えた地盤種別 G3 に対するスペクトル図である。スペクトル図には海洋型地震を対象としたスペクトルと内陸型地震を対象としたスペクトルのスペクトル図が定められている。エネルギー一定則による評価における設計水平震度は、両手法の比較の整合性をはかるために、地盤種別ごとのスペクトル図の応答塑性率 $\mu = 1$ に対応する曲線 (図 - 1 の最上部の曲線) の最大値を用いている。補強材料には、アラミド繊維を考え、部材全体に巻く剪断補強と部材端部のみ巻く塑性補強の 2 種類の補強方法を組み合わせて検討している。³⁾⁴⁾

表 - 1 地盤種別と地盤種別の関係

地盤種別	地盤条件
G0	岩盤
G1	基盤
G2	洪積層
G3	普通地盤
G4	普通～軟弱地盤
G5	軟弱地盤
G6	軟弱地盤
G7	極めて軟弱な地盤

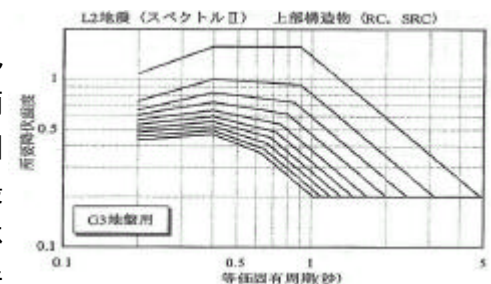


図 - 1 降伏震度スペクトル図 (G3)

3. 数値計算例 数値計算例として、杭基礎構造と直接基礎構造の 2 種類の RC 橋脚について計算結果を示す。図 - 2 は杭基礎構造のモデル図で、直接基礎構造については同図において杭と地中梁部材が無い構造である。図の太線の部分は剛域である。設定されている地盤種別と基礎構造の関係から、直接基礎構造には地盤種別 G0 ~ G3 を適用とし、杭基礎構造については G2 ~ G7 を適用とした。静的弾塑性解析における水平荷重は、図 - 2 の最上部の梁に左から水平方向に载荷している。表 - 2 に 2 つの評価法による最適設計の結果をまとめてある。上部が、エネルギー一定則による結果、下部が降伏震度スペクトルによる結果である。目的関数の単位は、 $10^5 \text{ unit}^{3)}$ 、 $K_h c$ は前記の設計水平震度、 $P_e \cdot \delta e / 2$ は弾性挙動時のエネルギー、 E_N は弾塑性挙動時のエネルギーである。固有周期の単位は sec、設計震度は、構造物の重量を降伏荷重で除した値である。応答塑性率、 μ はそれぞれのスペクトル図から求める応答塑性率の値、設計塑性率は、終局変位を降伏変位で除した値である。また、目的関数と地盤種別の関係を、各基礎構造、および耐震性の評価法ごとに図 - 3 に示した。S、E はそれぞれ、スペクトル、エネルギー一定則による評価法をあらわし、D、P は直接基礎および杭基礎をあらわす。これらより、まず、エネルギー一定則によって耐震性の評価をした場合は、地盤種別の影響をそれほど受けていないことがわかる。直接基礎の場合それが顕著であるが、杭基礎においても、目的関数の値で 2 割程度の差に収まっている。一方、スペクトルによる耐震性の評価をした

キーワード 耐震補強、エネルギー一定則、非線形スペクトル法、地盤種別

〒064-0926 札幌市中央区南 26 条西 11 丁目 TEL (011) 841-1161 FAX (011) 551-2951

場合は、地盤種別の影響をかなり受けることがわかる．直接基礎の場合でも目的関数の値で4割程度、杭基礎では、解が得られている中では6割程度の差があり、地盤種別 G3 では許容解が得られなかった．

評価法による差を見ると、ほとんどの地盤種別で、スペクトルによる評価をした補強の方が大きな補強量が必要とすることを示している．

表 - 3 は、より詳細に補強設計の差を検討するために、地盤種別 G0 の場合（直接基礎）の各評価法による補強量、および地盤種別 G2（杭基礎）の場合の各評価法による補強量を示したものである．補強レベルは、1 が何も補強しないを意味し、数字が大きくなるに伴って補強量は増える．³⁾ また部材の左(下)、右(上)は、所定の範囲の靱性補強、全体は、部材全長にわたる剪断補強を意味する．地盤種別 G0 の場合は補強設計にほとんど差がないが、地盤種別 G2 では、補強の量がかなり異なり、補強箇所にも差があることがわかる．

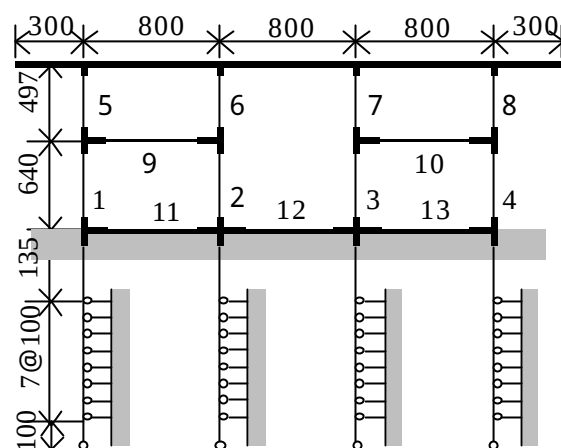


図 - 2 杭基礎構造 RC ラーメン高架橋 (cm)

表 - 2 最適設計の結果

	地盤種別	直接基礎構造				杭基礎構造					
		G0	G1	G2	G3	G2	G3	G4	G5	G6	G7
エネルギー	目的関数	6882	7935	7935	7935	9465	9322	7816	7816	7816	6882
	KHC	1.020	1.250	1.600	1.570	1.600	1.570	1.250	1.100	1.020	0.840
	$Pe \cdot \delta e / 2$	118	176	288	278	494	478	304	235	202	138
	E_N	141	391	390	390	494	481	452	452	452	162
スペクトル	目的関数	7935	8341	9533	11100	11870	許容解なし	8417	8414	8338	7407
	固有周期	0.440	0.439	0.436	0.431	0.570		0.579	0.579	0.579	0.580
	設計震度	0.546	0.546	0.552	0.554	0.532		0.534	0.534	0.534	0.530
	応答塑性率	1.481	1.850	2.585	3.076	2.802		3.634	3.000	2.082	1.523
	応答塑性率	2.934	4.719	5.442	6.754	4.851		3.411	2.845	2.540	1.798
	設計靱性率	4.613	4.883	5.592	6.766	4.876		3.708	3.409	3.369	1.968

表 - 3 アラミド繊維補強における最適解の結果

部材	補強レベル											
	E-D ①			S-D ①			E-P ②			S-P ②		
	左	全体	右	左	全体	右	左	全体	右	左	全体	右
1,4	1	2	1	1	2	2	2	2	1	3	2	1
2,3	1	2	1	1	3	1	1	3	1	1	4	1
5,8	1	2	1	1	2	1	1	3	1	1	2	6
6,7	1	2	1	1	2	1	1	4	1	1	7	1
9,10	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	6	1
11~13	—	—	—	—	—	—	1	1	1	1	1	1

4. あとがき 静的弾塑性解析に基づく2つの耐震性の評価法を用いて、既設のRC構造物の最適耐震補強設計を、

文献2)に定められている8種類の地盤種別で行い結果を検討した．一つの計算例ではあるが、エネルギー一定則による評価を用いる設計では、地盤の影響は大きく受けないが、スペクトル図による評価を用いる設計では、地盤の影響をかなり受け、中には許容解が得られない地盤種別もあった．また、一般的にスペクトル図による評価を用いる設計の方が、エネルギー一定則による評価を用いる設計に比べて大きめの補強量を与えた．今後、より多数の計算例により、評価法および地盤種別の設計に与える影響を検討したいと考える．

参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，1996． 2) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物耐震設計標準・同解説-耐震設計，1999． 3) 杉本・渡辺・満尾：弾塑性挙動を考慮するRCラーメン構造の補強最適化の一試み，構造工学論文集 Vol. 45A，1999． 4) 杉本・渡辺・斎藤：RCラーメン高架橋の耐震補強最適化に関する研究，構造工学論文集 Vol. 46A，2000． 5) 杉本博之・Lu Bian Li：工業最適設計のための汎用GAプログラムについて，北海学園大学学術論文集，第96・97号，1998．

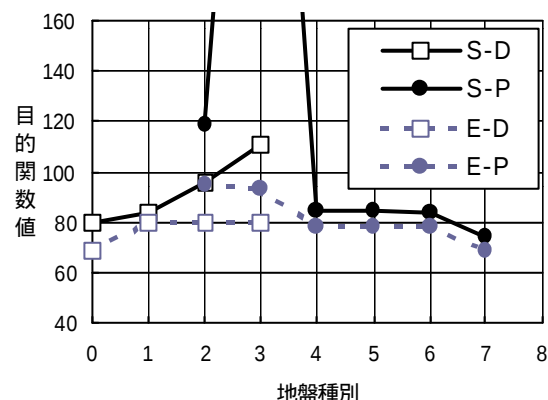


図 - 3 地盤種別による最適解の目的関数値