

必要降伏震度スペクトル法による既設 RC 構造物の耐震性評価手法について

中央復建コンサルタンツ	正会員○佐々木 孝
同	正会員 張 鋒
京都大学工学部	フェロー 家村 浩和
大阪市計画調整局	吉松 康公
大阪市交通局	正会員 山口 博章

1. まえがき

構造物の耐震設計においては、大地震時に構造物が非弾性領域に入ること許容するケースが急速に増えてきている。非線形時刻歴動的解析が耐震設計の手法としてよく使われる。しかし、設計上の便利さを考慮すると、もっと簡便な非線形設計法が望まれる。そこで本報告では、大阪市の地盤特性を反映させた標準想定地震動をもとに設定された必要降伏震度スペクトルを用いて、大阪市域にある既設 RC 構造物の耐震性能を評価するとともに、弾塑性時刻歴動的解析から得られた結果との比較より、必要降伏震度スペクトル法を考察する。

2. 検討方法

軟弱地盤における構造物の動的解析を行う際、まず地盤・構造物一体系を Swing-Rocking モデル (SR モデル) に置き換える。この場合、一番重要なのは地盤と基礎構造物の非線形の相互作用を考慮した等価バネの評価である。大地震の場合、杭基礎の塑性化と地盤の降伏が予想され、この地盤と基礎の相互作用の非線形特性を等価バネに反映しなければならない。ここで、M-φ の関係に軸力の影響を考慮できる弾塑性骨組解析コードを用いて、地盤と基礎の相互作用の非線形等価バネを求める。解析において、地盤をバイリニアバネと仮定し、杭体を M-φ の関係に軸力変動の影響を考慮したトリリニアビーム要素でモデル化した。

次に、地盤と基礎の相互作用の等価バネを求めた後、SR モデルを対象とする骨組弾塑性時刻歴動的解析を行い、上部工の発生断面力および部材の変形により、耐震性能を評価する。

一方、必要降伏震度スペクトルを用いて耐震性能を評価する場合は、まず上部工の降伏震度・等価固有周期を求める必要がある。これは比較的簡単な静的骨組解析を行えば良い。次に、求められた降伏震度および等価固有周期を用いて、上部工の変形性能を必要降伏震度スペクトルより求めることができる。当然ながら、降伏震度がわかれば、それに応じた上部工の断面力も、静的骨組解析により求めることができる。

3. 既設 RC 高架構造物の耐震性評価

検討の対象とする高架橋の構造一般図は図 1 に示す通りであり、本報告では線路方向と線路直角方向に検討を行う。杭基礎は、2×7 本の直径 40 cm、長さ 31 m の RC 杭からなる。地盤は図 2 に示すように沖積砂と粘土の互層であり、GL-27 m までの平均 N 値が 4~10 の軟弱地盤である。地盤と基礎の相互作用の非線形等価バネ値を求めるために、線路方向と線路直角方向に別々の平面骨組モデルを用いて、解析を行った。その結果から、水平バネが非線形性を有しているものの、その他のバネが弾性であることがわかった。得られたバネ値に基づいて図 2 に示すような骨組モデルの動的解析を行う。入力地震動は図 3 に示すように、大阪市標準想定地震動の西大阪区域の地表面波のうち主動部の 40

秒とした。一方、高架橋の降伏震度を求める時、動的解析と同様な骨組モデルを用いて静的解析を行った。図 4 は、それぞれ線路方向と直角方向の震度-変位関係を示したものである。破壊モードは、線路方向に対して曲げ破壊先行型となっているが、直角方向に対してせん断破壊先行型となっている。線路方向と直角方向の降伏震度はそれぞれ 0.31 と 0.35 であった。せん断破壊先行の場合、部材の靱性が期待できないため、所要降伏震度スペクトルが適用できない。図 5 は大阪市標準想定地震動の西大阪区域の地震動に基づいて設定された所要降伏震度スペクトルを示したものである。これにより線路方向の部材の応答塑性率が 6.4 という結果が得られた。表 1 は動的解析結果と所要降伏震度スペクトル法による結果との比較を示している。動的解析によるものと応答スペクトルによるものを比較すると、線路方向の場合、両者の曲げモーメントがほぼ一致するが、せん断力が前者より後者の方が小さい。また、応答塑性率が逆に後者より前者の方が小さい。直角方向の場合、せん断破壊先行型となっているため、塑性率の照査はしない。したがって、応答塑性率に着目すると、所要降伏震度スペクトル法による設計の方が安全側の値となる。一方、せん断力に着目すると、所要降伏震度スペクトル法による設計が危険側になる。

4. まとめ

次のような知見が得られた。

- 1) 耐震設計手法として、所要降伏震度スペクトル法の簡便さを確認した。
- 2) 構造物が曲げ破壊先行の場合、応答スペクトルによる応答塑性率は動的解析によるものより大きく、安全側の設計になる。
- 3) 応答スペクトル法による発生せん断力が小評価される恐れがあるので、さらなる検討が必要である。

参考文献

- 1) 「新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料」、(財)鉄道総合技術研究所、1996 年 3 月。
- 2) 「大阪市土木・建築構造物震災対策技術検討会報告書(案)」、大阪市計画局、1997 年 3 月。

キーワード：弾塑性、耐震設計、動的解析、必要降伏震度スペクトル。
住所：〒532 大阪市淀川区西宮原 1-8-29 中央復建コンサルタンツ株式会社
Tel:06-393-1105; Fax:06-393-7527; Email:zhang_f@cfk.co.jp

表1 上部工解析結果

6P-73		線路		線路直角	
		動的解析	弾塑性 スペクトル	動的解析	弾塑性 スペクトル
最大応答値 (柱上端)	最大加速度 A_{max} (cm/s ²)	554	—	708	—
	最大速度 V_{max} (cm/s)	18.8	—	109.5	—
	等価固有周期 (s)	0.84	0.84	0.51	0.51
曲げ耐力 の照査 (柱下端)	最大曲げモーメント M_{max} (tfm)	1113.2	1110.0	376.4	307.3
	降伏曲げモーメント M_{yd} (tfm)	1104.7	1104.7	374.1	374.1
	終局曲げモーメント M_{ud} (tfm)	1355.1	1355.1	506.8	506.8
	M_{ud}/M_{max}	1.22	1.22	1.35	1.65
部材の変形 性能の照査	最大応答変位 δ_{max} (cm)	19.8	—	8.07	—
	降伏変位 δ_y (cm)	5.53	—	3.51	—
	応答塑性率 $\mu_{rd} = \delta_{max}/\delta_y$	3.57	6.4**	2.30	—
	部材靱性率 μ	3.94	3.94	$\mu < 1^*$	$\mu < 1$
せん断耐力 の照査 (柱下端)	最大せん断力 V_{max} (tf)	145.2	121.0	64.9	64.1
	せん断耐力 V_{yd} (tf)	144.4	144.4	64.0	64.0
	V_{yd}/V_{max}	0.992	1.193	0.986	1.0

* $\mu < 1$: せん断破壊先行; **弾塑性応答スペクトルによるもの

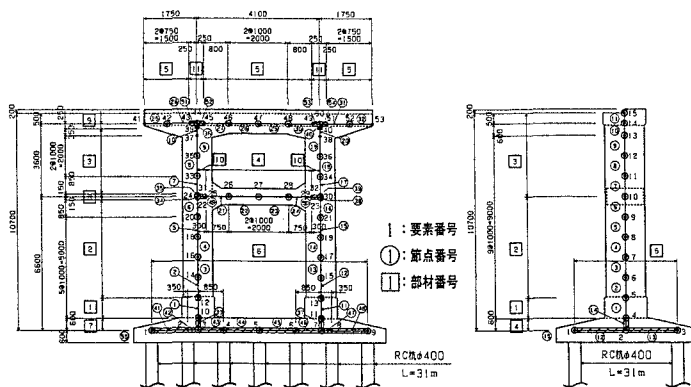


図1. 構造一般図および骨組モデル図

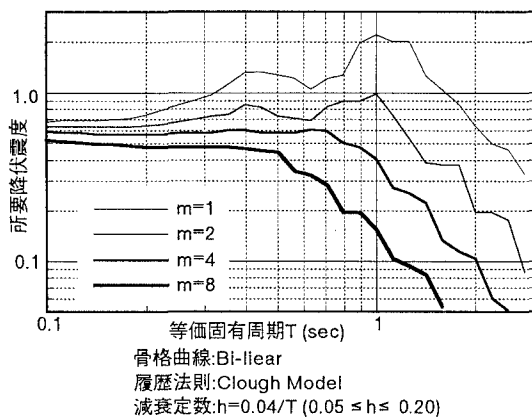


図5. 所要降伏震度スペクトル

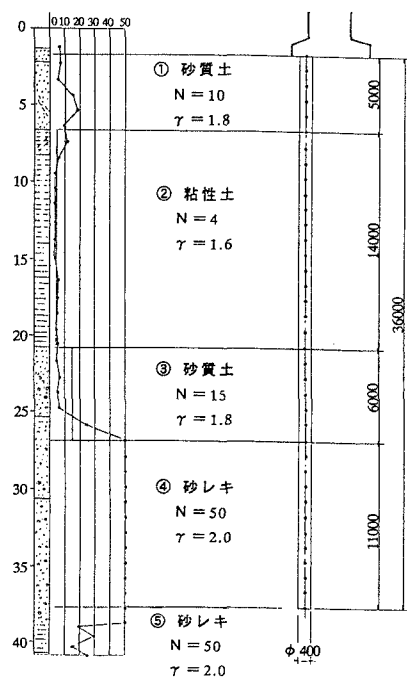


図2. 土質柱状図

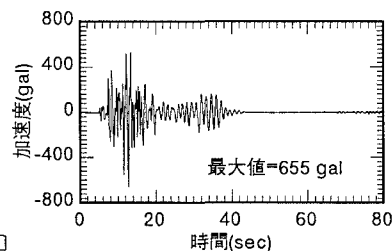


図3. 大阪府標準想定地震動
(西大阪区域, 地表面)

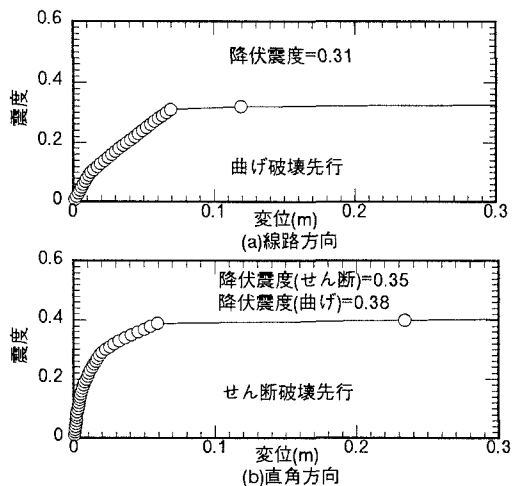


図4. 上部工降伏震度