

第 I 部門

3 重応答スペクトルを用いた RC 橋脚の耐震設計に関する一考察

大阪産業大学工学部 学生会員 ○甲田 啓太
 大阪産業大学工学部 正会員 山下 典彦
 元大阪府立工業高専 宮脇 幸治郎

1. はじめに

平成 7 年兵庫県南部地震での被災経験から性能照査型耐震設計の考え方が積極的に取り入れられてきており、許容できる塑性率などの設定は非常に重要な要素である。そこで、既往の研究¹⁾では必要強度と残留変位比の關係に着目し、その分布特性を検討してきた。

本研究では、上記の内容から発展させ、耐震設計に関する簡易的な指標の作成を目的として、非線形応答スペクトルのトリパートタイム表示²⁾に着目し、固有周期から複数の情報を読み取ることが出来る図面を提案する。そして、道路橋示方書耐震設計編(平成 24 年版)による残留変位の照査³⁾が 3 重応答スペクトルを用いて実施可能であることを示し、耐震設計に対する適応性と応用性を検討する。

2. 非線形応答解析

RC 橋脚を 1 自由度系にモデル化し、所要の塑性率に収束させるために非線形応答解析を実施する。その際、目標とする塑性率は 2,5,8 の 3 種とし、単位質量で固有周期 T を 0.1~5.0 秒に変化させた。また、増分法($\beta=1/6$)を用い、減衰定数 h は 5%、時間刻みは 0.001 秒に線形補間し、復元力特性には Masing 則に従うバイリニアモデルと骨格曲線がバイリニア型の Takeda モデル(除荷時剛性低下指数 $\alpha=0.5$)の 2 種を用い、両者とも剛性比 r は 0 とした。入力地震動には既往の研究¹⁾で選定した地震動から神戸海洋気象台 NS 成分と築館 NS 成分(以下、順に神戸 NS, 築館 NS)とし、図-1 に加速度応答スペクトル、図-2 にフーリエスペクトルを示す。

3. トリパートタイム表示²⁾

3 重応答スペクトルは一般に地震応答スペクトルに対して適用され、減衰力が微小であるという仮定のもと、固有周期等を介した各スペクトル間の関係式が存在している。そして、両対数軸であるとき式(1),(2)に示す対数関数として表される。

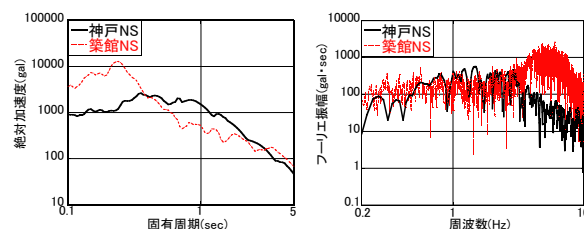


図-1 加速度応答スペクトル

$$\log S_a = \log pS_v - \{\log T - \log(2\pi)\} \quad (1)$$

$$\log S_d = \log pS_v + \{\log T - \log(2\pi)\} \quad (2)$$

ここで、 S_d : 変位応答スペクトル、 pS_v : 疑似速度応答スペクトル、 S_a : 加速度応答スペクトルである。

トリパートタイム表示では、加速度と変位の軸線は必ず 45 度の角度を有している必要があり、これは、 $\log T - \log(2\pi)$ の項が 45 度の傾きを生むためである。

また、スペクトル間の関係式を非線形応答解析結果の降伏変位 x_y に対して適用すると、初期剛性に対応する固有円振動数によって変換されるため、降伏加速度 a_y は式(3)で求められ、必要強度と同義となることにより非線形応答スペクトルを 3 重応答スペクトルとして表示できる。

$$a_y = \omega^2 x_y = (k_i/m)x_y \quad (3)$$

4. 耐震設計への適用

道路橋示方書では、慣性力作用位置の 100 分の 1 として定義される許容残留変位 x_{Ra} と式(4)に示す設計残留変位 x_R から、耐震性能 2 における残留変位の照査³⁾が行われており、設計残留変位が許容残留変位を上回らないことを規定している。

$$x_R = C_R (\mu_r - 1) (1 - r) x_y \quad (4)$$

ここで、 C_R : 残留変位補正係数、 μ_r : 最大応答塑性率である。

残留変位補正係数は残留変位比と同義であり、道路橋示方書に準拠すると RC 橋脚では 0.6 としている³⁾。既往の研究¹⁾で得られた結論のように必要強度と残留変位比の関

係は構造物の非線形性と地震動の周期特性の影響を受けるため、残留変位補正係数にはそれらの影響を考慮すべきであると考えられるが、本研究では一考察として道路橋示方書に準拠する。

以上より、設計残留変位は塑性率が定まれば降伏変位に定数倍することで求められ、さらに、非線形応答の簡便な評価法として知られる所要降伏震度は降伏復元力を自荷重で除すると得られるため、各スペクトルに定数倍することで諸量を読み取ることが可能になる。そのため、3重応答スペクトルの軸にそれぞれ定数倍した目盛りを加えれば、一つのスペクトルから設計残留変位と所要降伏震度を読み取ることができ、さらにその他のスペクトルに対しても応用できると考えられる。

図-3 に、Takeda モデルでの非線形応答スペクトルをトリパート表示させ、表-1 における3種のRC橋脚の固有周期と同時に示す。橋脚1及び2では塑性率に関係無く神戸NSで必要強度が大きい、橋脚3に関しては塑性率2において築館NSの必要強度が大きく、その他の塑性率では神戸NSと等しい強度を必要とする事がわかる。また、疑似降伏速度は塑性率が大きくなるほど短周期側に卓越周期が移行しており、構造物の非線形性によって共振現象の影響を大きく受ける固有周期が変化していることが読み取れる。

続いて、残留変位の照査により耐震設計への適応性を検討する。表-1 より慣性力作用位置の情報から、各橋脚の許容残留変位(mm)は順に、135,105,75 となる。ここで、神戸NSを例として、図-3 から読み取れる設計残留変位を表-2 に示す。設計残留変位と許容残留変位を比較すると、橋脚1及び3では全塑性率で耐震性能2における残留変位の照査を満足しているが、橋脚2では塑性率8において設計残留変位が許容値を超えたため、許容塑性率に8を設定すると耐震性能2を満足できない結果が得られた。

5. まとめ

耐震設計に関する簡易的な指標の作成を目的に、3重応答スペクトルを利用することで、その図面の耐震設計に対する適応性と応用性を検討した。本研究から、非線形応答

スペクトルのトリパート表示によって、ある固有周期における複数の諸量を一度に推定でき、慣性力作用位置の情報があれば、残留変位の照査が実施できるなど、現行の耐震設計との適応性も良いため、設計業務の複雑性を低減できると考えられる。また、その他のスペクトルに対しても応用できる可能性が高く、許容塑性率を議論する際には簡便な指標として使用できる可能性が示された。

表-1 各橋脚の固有周期と慣性力作用位置

	固有周期(s)	慣性力作用位置(mm)
橋脚 1	0.62	13500
橋脚 2	0.46	10500
橋脚 3	0.28	7500

表-2 設計残留変位(mm)

	$\mu=2$	$\mu=5$	$\mu=8$
橋脚 1	51	80	87
橋脚 2	42	89	129
橋脚 3	14	40	62

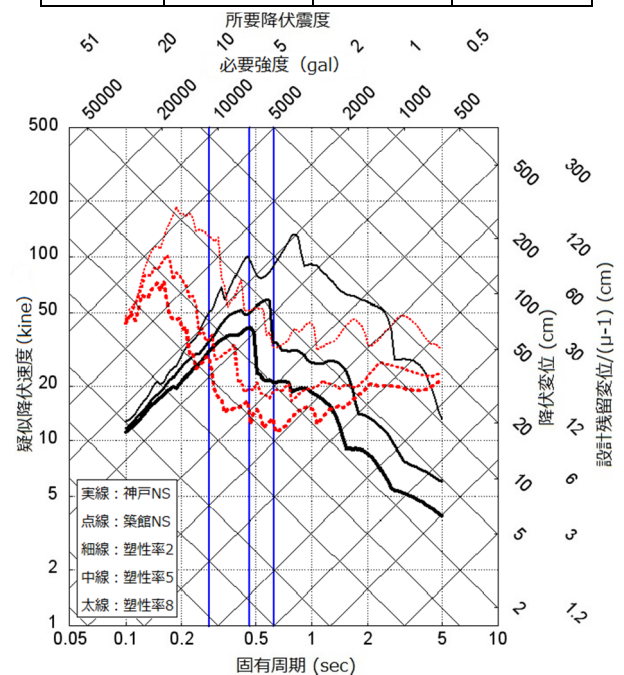


図-3 3重応答スペクトル

謝辞：本研究に際し、防災科学技術研究所及び気象庁の観測波形を使用させて頂きました。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】 1) 山下典彦, 甲田啓太, 有野健太, 宮脇幸治郎: 強震動の周期特性が残留変位比と必要強度に及ぼす影響, 第19回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.455-458, 2016. 2) Blume J.A., Newmark N.M. and Corning L.H.: Design of Multistory Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Motions, Portland Cement Association, pp.1-16, 1961. 3) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 丸善出版, pp.100-103, 2012.