

I -20 入力地震動及び復元力特性の相違が変位に基づく単柱式 RC 橋脚の耐震設計に及ぼす影響について

徳島大学大学院 学生員 ○宇寄 晃司
徳島大学工学部 正 員 成行 義文

徳島大学工学部 フェロー 平尾 潔
徳島大学大学院 学生員 中屋敷 誠司

1.はじめに 本研究では、構造物の新たな耐震設計法として注目されている変位に基づく耐震設計法を導くための一研究として、修正 Park らの損傷指標 D を用い、構造物の目標とする損傷度(表-1 参照)に対応した変位応答スペクトルの回帰式を、非弾性地震応答解析結果より導いた。そして、この回帰式を用いた変位に基づく耐震設計法を単柱式 RC 橋脚に適用し、設計に用いる変位応答スペクトルの相違が設計結果に及ぼす影響について、若干の比較検討を行った。

2.修正 Park らの損傷指標 本研究では、損傷制御型の設計を行うことを目的として、式(1)の修正 Park らの損傷指標 D を採用し、この指標 D の値を表-1 に示す修復可能限界³⁾とされている、 $D = 0.36$ とした場合の変位応答スペクトルを求めた。

$$D = ((\mu_d - 1) + \beta \cdot \mu_h) / (\mu_u - 1) \quad (1)$$

ここに、 μ_d は変位塑性率、 μ_h はエネルギー靱性率、 μ_u は終局変位塑性率、 β は断面特性に依存した正の係数である。

3.構造特性値・復元力特性・入力地震動 本研究では、非弾性応答解析で用いる構造特性値および1自由度系の復元力特性として、表-2 に示すものを用いた。また、入力地震動として、我が国の道路橋示方書¹⁾のレベル2地震動(タイプII)に対する標準加速度応答スペクトルを目標として作成した模擬地震動と、強震動アレー観測記録²⁾より抽出した実地震動を用いた。また、地盤はⅡ種、およびⅢ種地盤とし、これらの地盤に対して、模擬地震動、実地震動ともそれぞれ12波を入力した。

4.変位応答スペクトルの回帰式 本研究では安全性を考慮して、図-1 に示すように、入力した12波の解析結果の平均値に標準偏差を加えた変位応答スペクトル(図中の太実線)を対象として回帰式を導いた。模擬地震動については、式(2)の関係から、所要降伏強度比 R_r と変位塑性率 μ_d の積、 $R_r \times \mu_d$ に対する固有周期 T の関数として回帰式を導き、これと道路橋示方書の標準加速度応答スペクトル S_{ae} を用いて、変位応答スペクトル S_d を間接的に求めた⁴⁾。一方、実地震動については、最大変位 S_d を固有周期 T によって直接回帰し、式(4)のような回帰式を導いた。また、要求耐力を求めるために必要な所要降伏強度比 R_r の回帰式も、式(5)のように、固有周期 T の関数として導いた。一例として、 $R_r \times \mu_d$ 、所要降伏強度比 R_r および変位応答スペクトル S_d の回帰結果と解析結果を比較して図-2 に示す。

$$S_d = \mu_d \cdot R_r \cdot (T/2\pi)^2 \cdot S_{ae} \quad (\text{模擬地震動}) \quad (2)$$

$$R_r \times \mu_d = A_0 + A_1 \cdot T + A_2 \cdot T^2 + A_3 \cdot T^3 + A_4 \cdot T^4 + A_5 \cdot T^5 \quad (3)$$

$$S_d = B_0 + B_1 \cdot T + B_2 \cdot T^2 + B_3 \cdot T^3 + B_4 \cdot T^4 \quad (\text{実地震動}) \quad (4)$$

$$R_r = C_0/T^2 + C_1/T + C_2 \quad (5)$$

ここで、 $A_0 \sim A_5$ 、 $B_0 \sim B_4$ 、

および $C_0 \sim C_2$ は回帰係数を表す。

表-1 損傷指標と損傷状態

損傷指標	損傷状態
$D=0.18$	使用可能限界
$D=0.36$	修復可能限界
$D=0.60$	崩壊

表-2 構造特性値と復元力特性

減衰定数 h	0.05
弾塑性剛性率 γ	0.00
終局変位塑性率 μ_u	1.0 (弾性応答) 2.0~20.0
固有周期 T	0.1~1.0秒の範囲を 0.01秒で刻んだ値
正の係数 β	0.15
復元力特性	Bi-linear, Q-hyst

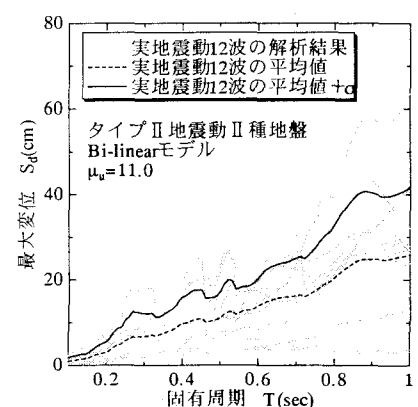


図-1 変位応答スペクトル

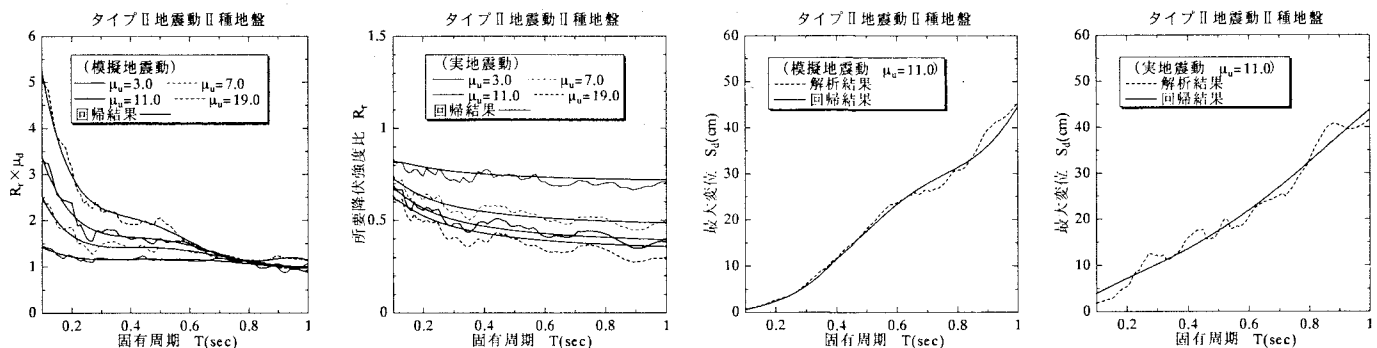


図-2 解析結果と回帰結果の比較

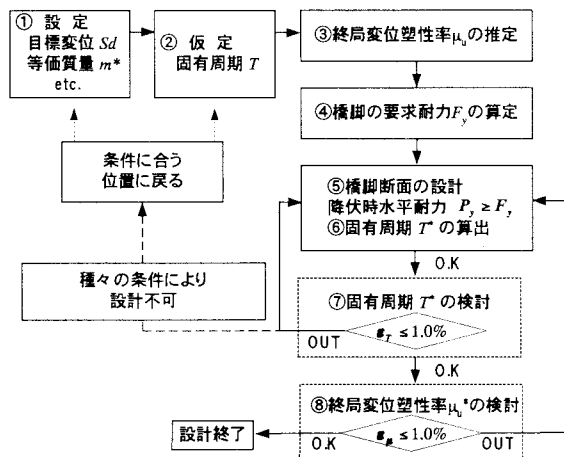


図-3 設計フロー

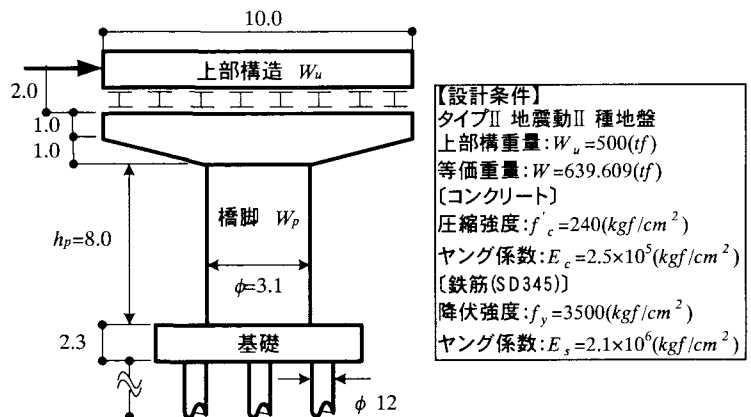


図-4 設計橋脚の形状および設計条件

5. 単柱式 RC 橋脚の設計例 本研究では、先に求めた変位応答スペクトル S_d の回帰式を用い、図-3 に示す設計フローに従って、Ⅱ種地盤上の重要度 B 種の橋がタイプⅡ地震動を受けた場合を対象として、図-4 に示す形状寸法および設計条件を有する単柱式 RC 橋脚の変位に基づく耐震設計を試みた。その際、上部構造の慣性力作用位置での目標変位を 20(cm)、橋脚の目標固有周期を 0.56(sec)とした。また、変位応答スペクトルの相違、すなわち、入力地震動として模擬地震動を用いた場合と実地震動を用いた場合の相違による設計結果を、表-3 に比較して示す。表より、実地震動による設計に比べ、模擬地震動による設計の方が、目標とする固有周期と最大変位が同じ橋脚でも、保有水平耐力 P_y は大きくなり、終局変位塑性率 μ_u が小さくなるのがわかる。

表-3 設計結果

入力地震動	実地震動	模擬地震動
目標変位 : S_d (cm)	20.0	
保有水平耐力 : P_y (tf)	485.908	494.756
要求耐力 : F_y (tf)	483.514	492.339
躯体剛性 : K (tf/m)	8247	8225
降伏変位 : δ_y (cm)	5.892	6.015
終局変位 : δ_u (cm)	62.099	46.231
固有周期 : T^* (sec)	0.5587	0.5594
目標固有周期 : T (sec)	0.560	
誤差 : ε_T	0.237%	0.107%
終局変位塑性率 : μ_u^*	10.534	7.686
目標終局変位塑性率 : μ_u	10.503	7.679
誤差 : ε_{μ}	0.348%	0.091%
主鉄筋のかぶり (mm)	1段目	100
	2段目	200
主鉄筋の本数 (本)	87	92
主鉄筋比	0.970%	1.120%
帯鉄筋のピッチ (mm)	39	48
帯鉄筋比	2.027%	1.647%

6. おわりに 変位に基づく耐震設計法では、設計に用いる変位応答スペクトル等が、想定する地震動によって異なるため、設計結果、特に、終局変位に大きな差が生ずることになる。したがって、設計に用いる入力地震動の選定には、十分留意する必要がある。

7. 参考文献

- 1) 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，2002年3月。
- 2) 財団法人 震災予防協会：強震動アレー観測 No.3，1998年3月。
- 3) Geobarah, A., Aly, N. M., El-Attar, M.: Seismic reliability assessment of existing reinforced concrete buildings. Journal of Earthquake Engineering, Vol. 2, No. 4, pp. 569-592, 1998.
- 4) Peter Fajfar: Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra, Earthquake Engng. Struct. Dyn. 28, 979-993, 1999.