

設計用スペクトル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

徳島大学大学院 学生員 ○稲田 大将
前田道路(株) 非会員 山尾 憲司

徳島大学名誉教授 フェロー 平尾 潔
徳島大学大学院 正会員 成行 義文

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確立するための基礎的研究として、道路橋示方書¹⁾の設計用加速度応答スペクトルに適合する模擬地震動 12 波に対する各種応答スペクトルを算定し、それらの平均値に加える標準偏差の倍率を変えた各(「平均値+標準偏差×n」)スペクトルの回帰式を求めた。これらを設計用スペクトルとして用いた場合の設計結果の比較より、適当な標準偏差の倍率に関する検討を行った。

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構造物の損傷度を評価する指標である式(1)の修正 Park らの損傷指標 D を用いた。なお、本研究では、表-1 に示す修復可能限界²⁾とされている $D=0.36$ を所定値として、各種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 はエネルギー塑性率、 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・復元力履歴特性・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 自由度系の復元力履歴特性として、表-2 に示すものを用いた。また、入力地震動としては、道路橋示方書¹⁾に規定されているⅡ種地盤用レベル 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各 12 波を用いた。

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
$D \geq 0.60$	崩壊

表-2 構造特性値

減衰定数 h	0.05
弾塑性剛性比 γ	0.00
終局変位塑性率 μ_u	3.0~20.0
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
復元力履歴特性	Bi-linearモデル

4.各種応答スペクトルの回帰式 図-1 の太線は、入力模擬地震動 12 波に対する解析結果の平均値に加える標準偏差(s)の倍率を 1, 2 および 3 倍とした場合の変位応答スペクトルをそれぞれ示している。同図より、平均値に標準偏差を 2 倍して加えたスペクトルが包絡線となっていることがわかる。念のために、解析結果の平均値に標準偏差を 3 倍して加えたスペクトルについても設計を行う。次に、変位に基づく耐震設計法に必要な $R_r - \mu_d$ 及び $\mu_u - \mu_d$ スペクトルを図-2 に示す。また、 $R_r - \mu_d$ スペクトルの回帰式を式(2)に、 $\mu_u - \mu_d$ スペクトルの回帰式を式(3)に示す。

$$R_r(\mu_d) = (A_0/\mu_d + A_1/\mu_d^2 + A_2/\mu_d^3) - (A_0 + A_1 + A_2 - 1) \quad (2)$$

$$\mu_u(\mu_d) = B_0(\mu_d - 1)^2 + B_1(\mu_d - 1) + 1 \quad (3)$$

ここに、 R_r は所要降伏強度比、 μ_d は変位塑性率、 μ_u は終局変位塑性率、

$A_0 \sim A_2$, $B_0 \sim B_1$ は回帰係数を表す。

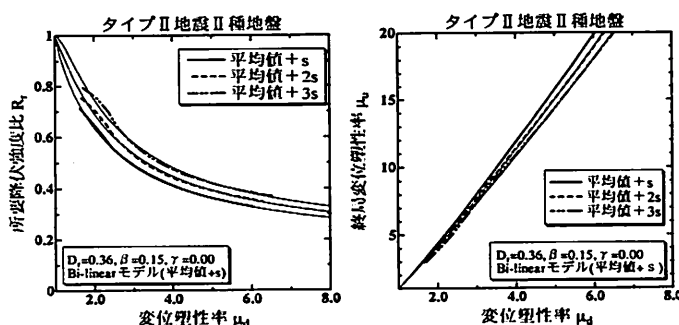


図-2 解析結果と回帰結果の比較

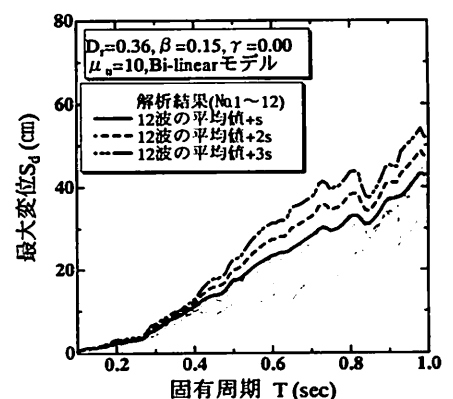
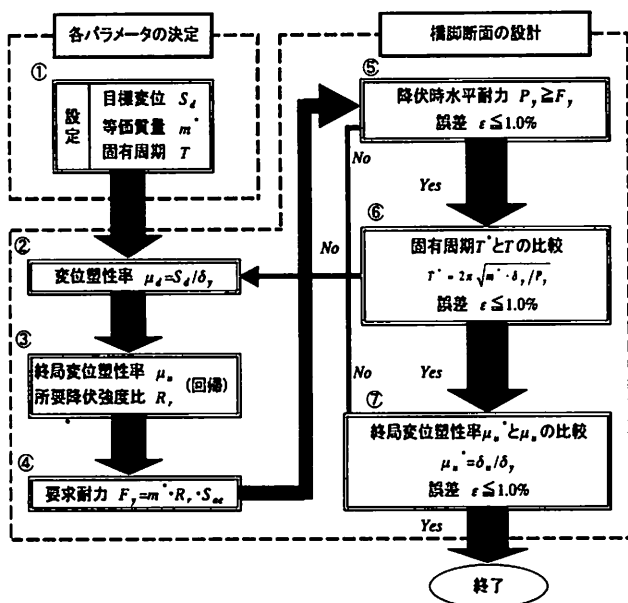
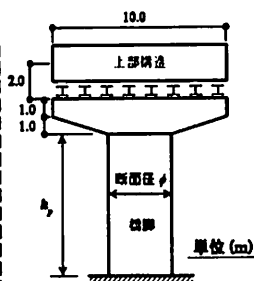


図-1 変位応答スペクトル



図－3 設計フロー



設計橋脚の形状図
(横軸方向)

図－4 設計橋脚の形状および設計条件

〔設計条件〕
柱高さ: $h_p = 8.0(\text{m})$
断面径: $\phi = 3.8(\text{m})$
上部構造重量: $W_u = 4905(\text{kN})$
[500 (tf)]
コンクリート
圧縮強度: $f_c = 24(\text{N/mm}^2)$
ヤング係数: $E_c = 2.5 \times 10^4(\text{N/mm}^2)$
鉄筋 (SD345)
降伏強度: $f_y = 345(\text{N/mm}^2)$
ヤング係数: $E_s = 2.0 \times 10^5(\text{N/mm}^2)$

表－3 鉄筋コンクリート造建築構造物³⁾

限界状態	被災度	最大層間変形角
使用限界	無被害または軽微	1/200
修復限界Ⅰ	小破	1/100
修復限界Ⅱ	中破	1/75
安全限界	大破	1/50
-	崩壊	-

表－4 設計結果

5. 単柱式 RC 橋脚の設計結果の比較

本研究では、先に求めた $R_y - \mu_d$ 及び $\mu_u - \mu_d$ スペクトルの回帰式を用い、図－3 に示す設計フローに従って、タイプⅡ地震動を受けたるⅡ種地盤上の重要度 B 種の単柱式 RC 橋脚(図－4 参照)を対象として、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 16(cm)とした。目標変位の設定は表－3³⁾を参考にした。各設計用スペクトルに対する設計結果を、表－4

に示す。同表よりわかるように、設計用スペクトルが大きいほど、要求耐力 F_y は大きくなるが、逆に終局変位塑性率 μ_u^* および固有周期 T^* は小さくなっている。このことから、設計用スペクトルが大きくなるほど、耐力を大きくしておく必要があるが、結果としてねばりは小さくなることがわかる。次に、目標変位 S_d を $S_d = 20.0(\text{cm})$ 、 $16.0(\text{cm})$ ならびに $12.0(\text{cm})$ と変化させた場合の比較を表－4 (右側) に示す。なお設計用スペクトルは、平均値に標準偏差を 2 倍して加えたスペクトルを用いた。表－4 よりわかるように、目標変位 S_d を小さくした方が固有周期 T^* 、終局変位塑性率 μ_u^* は小さくなるが、要求耐力 F_y は、逆に大きくなることわかった。

6. おわりに RC 橋脚を変位に基づく設計法により設計する場合、用いる設計用スペクトルの大きさや目標変位の設定値によって、設計結果が大きくなることわかった。

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) 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.
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針(案)・同解説，2004。