

道路橋 RC 橋脚の力・変位・力及び変位に基づく耐震設計法の開発とその比較検討

徳島大学大学院 学生員 ○山尾 憲司
徳島大学工学部 フェロー 平尾 潔

徳島県警察 非会員 宇寄 晃司
徳島大学工学部 正 員 成行 義文

1. はじめに 本研究では、加速度-変位応答スペクトルを用いた力及び変位に基づく耐震設計法、 R_r - μ_d スペクトルならびに μ_u - μ_d スペクトルを用いた変位塑性率(変位)に基づく耐震設計法、所要降伏強度比 R_r スペクトルを用いた力に基づく耐震設計法を復習・提案した。そして、これらの設計法と道示の保有耐力法により、修復可能限界(提案法では $D_r=0.36$, 保有耐力法では性能レベル 2)を対象とした、単柱式 RC 橋脚の耐震設計を試みた。そして、これらの各種耐震設計法による設計結果を比較検討し、若干の考察を加えた。

2. 修正 Park らの損傷指標 本研究では、損傷制御型の設計を念頭におき、地震による構造物の損傷を定量的に評価するための指標として、式(1)に示す修正 Park らの損傷指標 D を用いた。この損傷指標 D の値と構造物の損傷状態との関係は必ずしも定かではないが、表 1 に示す Geobarah の相互関係を参照して修復可能限界とされている D の所定値を 0.36 とした。

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

ここで、 μ_d 、 μ_h および μ_u は、それぞれ変位塑性率、エネルギー靱性率および終局変位塑性率である。また、 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、非弾性応答解析の対象とした 1 自由度系の各構造特性値としては表 2 に示す値を用い、復元力履歴特性としては完全弾塑性型の Bi-linear モデルを用いた。また、入力地震動としては、道示¹⁾ の II 種地盤に対する標準加速度応答スペクトルを目標として作成された模擬地震動、計 12 波を用いた。

表 1 損傷状態と損傷指標

所定値	損傷状態
$D_r=0.18$	使用可能限界
$D_r=0.36$	修復可能限界
$D_r=0.60$	崩壊

表 2 構造特性値

弾塑性靱性比 γ	0.00
減衰定数 h	0.05
終局変位塑性率 μ_u	2.0~20.0(1.0間隔)
固有周期 T (sec)	0.01~1.00(0.01秒刻み)

4. 変位応答スペクトルの回帰式 本研究では、入力した模擬地震動 12 波による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を対象として回帰式を導いた。その際、変位応答スペクトルを、そのまま回帰する代わりに式(3)の関係をを用いて変位塑性率 μ_d と所要降伏強度比 R_r の積 $R_r \times \mu_d$ 式(7)と弾性加速度応答スペクトル S_{ae} を介して間接的に導いた。なお式(4)より、設計地震力算定時に所要降伏強度比 R_r スペクトルが必要になることから、はじめに R_r の回帰式を導いた。また変位塑性率(変位)に基づく耐震設計法に必要な、 μ_d - R_r 関係、 μ_d - μ_u 関係の回帰式(8)、(9)も導いた。各種応答スペクトルの解析結果と回帰結果を図 1 に比較して示しておく。

$$S_d = \mu_d \cdot R_r \cdot (T/2\pi)^2 \cdot S_{ae} \quad (3), \quad F_y = m^* \cdot R_r \cdot S_{ae} \quad (4), \quad R_r = C_0/T^2 + C_1/T + C_2 \quad (5)$$

$$R_r(\mu_u, T) = (B_0/\mu_u^2 + B_1/\mu_u + B_2)/T^2 + (B_3/\mu_u^2 + B_4/\mu_u + B_5)/T + (B_6/\mu_u^2 + B_7/\mu_u + B_8) \quad (6)$$

$$R_r \times \mu_d(\mu_u, T) = (D_0 + D_1 \cdot \mu_u + D_2 \cdot \mu_u^2)/T^2 + (D_3 + D_4 \cdot \mu_u + D_5 \cdot \mu_u^2)/T + (D_6 + D_7 \cdot \mu_u + D_8 \cdot \mu_u^2) \quad (7)$$

$$R_r(\mu_d) = (F_0/\mu_d + F_1/\mu_d^2 + F_2/\mu_d^3) - (F_0 + F_1 + F_2 - 1) \quad (8), \quad \mu_u(\mu_d) = E_0(\mu_d - 1)^2 + E_1(\mu_d - 1) + 1 \quad (9)$$

ここで、 $C_0 \sim C_2$ 、 $B_0 \sim B_8$ 、 $D_0 \sim D_8$ 、 $F_0 \sim F_2$ および $E_0 \sim E_1$ は回帰係数を表す。

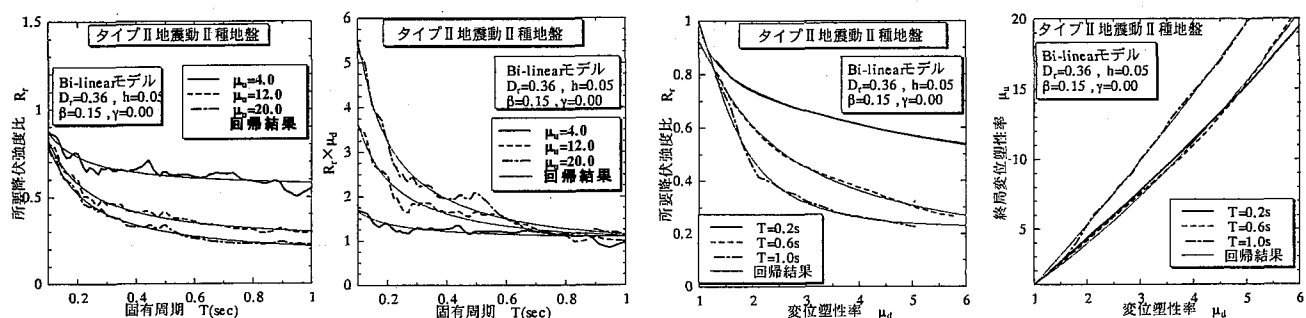
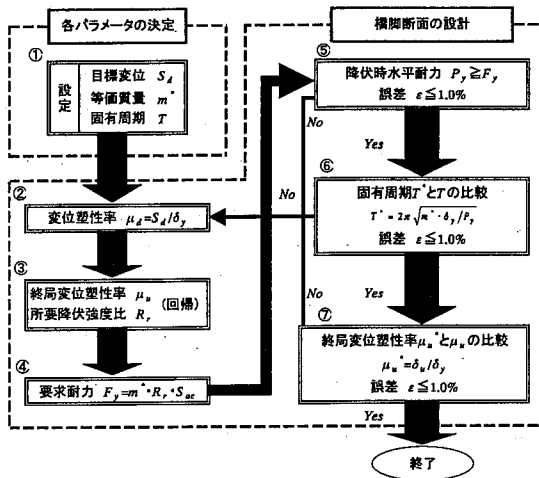
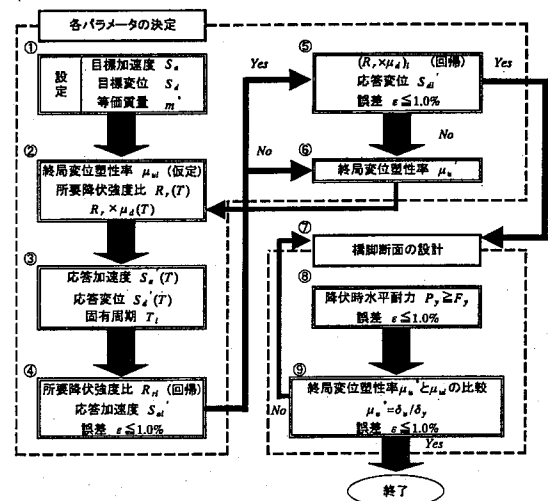


図 1 解析結果と回帰結果の比較

変位塑性率(変位)に基づく耐震設計法



力及び変位に基づく耐震設計法



力に基づく耐震設計法

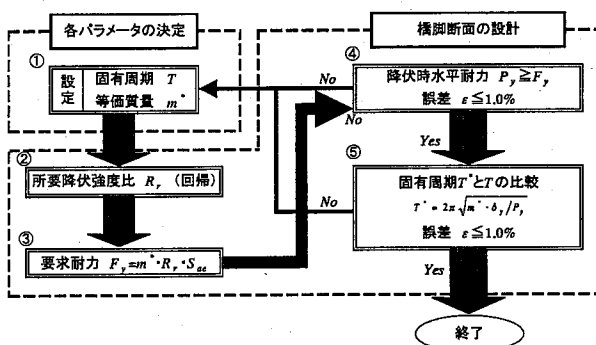
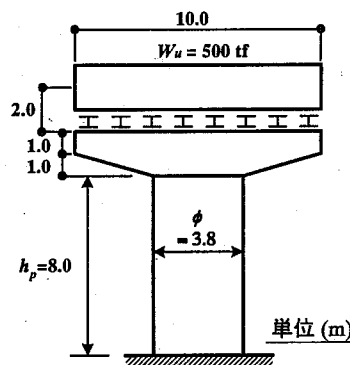


図2 各種設計フロー



【設計条件】

タイプII地震動II種地盤

上部構重量: $W_u = 500 \text{ (tf)} = 4905 \text{ (kN)}$

橋脚躯体重量: $W_p = 3170.64 \text{ (kN)}$

等価質量: $W = 6477.52 \text{ (kN)}$

コンクリート

圧縮強度: $f_c = 24 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

ヤング係数: $E_c = 2.5 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

鉄筋 (SD345)

降伏強度: $f_y = 345 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

ヤング係数: $E_s = 2.00 \times 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

図3 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、4. で述べた各応答スペクトルの回帰式を用い、図2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3に示すような形状寸法及び設計条件を有する単柱式RC橋脚の耐震設計を行い得たその結果を表3に示す。その際、上部構造の慣性力作用位置における目標変位を16(cm)とし、橋脚の目標固有周期は設計条件に応じて表3に示す値とした。表3より保有耐力法による終局変位 δ_u は、1), 2), 3)の本研究で提案した各種耐震設計法による設計結果の終局変位 δ_u と比べ、その値は1/2程度となり、終局変位塑性率 μ_u も1/2程度となっている。従って現行道示の保有耐力法に比べ、本研究で提案した各種設計法の方が、ねばりのある設計ができることがわかった。

6. おわりに 力及び変位に基づく耐震設計法は、一度目標値が決まれば、設計目標値が全て固定されるため、これらの目標値を満たす断面の設計が比較的容易である。また変位塑性率(変位)に基づく耐震設計法は、回帰式が簡単となり且つ回帰精度も良くなるといった利点がある。最後に力に基づく設計法は、目標変位 S_d を設定する必要がなく、目標値を満たす断面の設計が容易である。

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，2002.12.

2) 宇嵯 晃司：道路橋RC橋脚の力・変位・力及び変位に基づく耐震設計法の開発とその比較検討，修士論文，2007.2

表3 設計結果

	1) (力及び変位)	2) (変位)	3) (力)	4) (保耐法)
保有水平耐力 P_y (kN)	4252.707	4299.356	4241.864	4279.558
目標-要求耐力 F_y (kN)	4217.939		4185.611	4217.939
躯体剛性 K (kN/m)	116318	116926	116631	120483
最大変位 $\delta_y \times \mu_r$ (cm)	15.963	15.936	-	
目標変位 S_d (cm)	16.0		-	
誤差 ε_{Sd}	0.230%	0.401%	-	
固有周期 T^* (sec)	0.485	0.483	0.484	0.477
目標-固有周期 T (sec)	0.490	0.480	0.485	0.480
誤差 ε_T	0.990%	0.671%	0.107%	0.687%
終局変位塑性率 μ_u^*	14.436	13.050	15.013	6.2855
目標-終局変位塑性率 μ_u	14.422	13.046	-	
誤差 ε_{μ}	0.096%	0.033%	-	
変位塑性率 μ_d	-	4.334	-	
最大応答塑性率 μ_r	4.419	3.471	4.439	4.370
許容塑性率 μ_a	9.957	9.033	10.342	4.524
降伏変位 δ_y (cm)	3.656	3.677	3.637	3.552
終局変位 δ_u (cm)	52.778	47.853	54.599	22.327
設計橋脚の詳細				
柱高さ h_p (m)	8.0			
断面径 ϕ (m)	3.8			
主鉄筋のかぶり (mm)	1段目	130		
	2段目	250		
主鉄筋(D29)の本数 (本)	53	54	52	55
主鉄筋比	0.6004%	0.6117%	0.5891%	0.6231%
帯鉄筋(D19)のピッチ (mm)	48	52	49	110
帯鉄筋比	1.2057%	1.1129%	0.9412%	0.3592%