

東北大学 学生員 小出 英夫
 東北大学 正員 鈴木 基行
 東北大学 正員 尾坂 芳夫

1. はじめに 現在、RC構造物に対する設計法は、許容応力度設計法から限界状態設計法へと移行しつつある。限界状態設計法は、確率統計論を用いた安全性の定量的評価に基づく合理的な設計法である。しかし、未だに設計用地震荷重や部分安全係数の明確な評価がなされていないなどの重要な問題が残されている。そこで本研究では、現行設計法において震度法を用いて設計されているRC道路橋橋脚下端断面を対象に、地震記録を基に設計用地震荷重の評価と、それを用いて部分安全係数の評価を行った。

2. 解析方法 解析フローは、(1)解析対象地域とその地盤(以下、「解析地域・地盤」と呼び、解析はこの解析地域・地盤ごとに行う。)の決定 (2)過去の個々の地震の最大加速度の算定: 使用する地震記録は、過去100年間の気象庁の資料に建設省の提案したマグニチュードの修正を施した、マグニチュード4以上のものとし、個々の地震の各解析地域・地盤での最大加速度は、各解析地域を半径25kmの円で囲まれた範囲と考え、その平均値とする。また、各解析地域内での任意地点の最大加速度は、式1,2で示される建設省土木研究所の提案式と、震央付近の最大加速度の上限値を与える式³⁾を用いて算定する。(1種地盤) $A=28.5 \cdot 10^{\Delta \cdot 0.287M} \cdot \Delta^{-0.598}$ -式1, (2種地盤) $A=13.2 \cdot 10^{\Delta \cdot 0.338M} \cdot \Delta^{-0.886}$ -式2, $A_{MAX}=12 \cdot M^2$ -式3, Aは最大加速度, Mはマグニチュード, Δ は震央距離, A_{MAX} は最大加速度の上限値を表す。ここで図1に解析地域の中心地点からの震央距離 Δ , 震度(加速度/980gal) k, Mの関係を示す。(3)50年(橋脚耐用年数)

最大震度分布の推定: 1年ごとの年最大震度のデータ100個を求め、そのうち上位50個を使って最小自乗法で年最大震度分布を推定する。この時、我国で起こり得る地震の最大マグニチュードを9.2とし¹⁾、この上限値を持つように式4で示される分布形の裾切りを行った。 $G_X(x)=F_X(x)/F_X(k_{MAX})$ -式4, $G_X(\cdot)$ は裾切りされた分布関数, $F_X(\cdot)$ はもとの分布関数, k_{MAX} は震度の上限値を表す。分布形は、極値I型最大値, 極値II型最大値(裾切り必要なし)を仮定する。さらに、推定された年最大震度分布を用いて、式5より50年最大震度分布を推定する。 $G_{50X}(x)=\{G_X(x)\}^{50}$ -式5, $G_{50X}(\cdot)$ は50年最大震度分布, $G_X(\cdot)$ は年最大震度分布を表す。

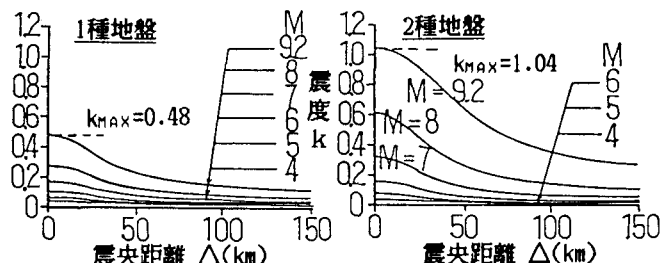


図1 解析地域におけるM-k- Δ の関係

(4)既存橋脚断面の地震時の曲げに対する安全性の定量的評価: 既存橋脚のデータは入手が困難かつ少数であると考えられるため、設計震度ごと既に設計されている建設省制定標準設計の中の、単純支持²⁾スパンPC桁用の張出式橋脚を既存橋脚として扱う。標準設計橋脚は、高さ8-15m、幅員8.2-15.3mの間で数多くの設計がなされている。このデータを用いて、対応する設計震度の解析地域・地盤での50年最大震度分布に対する橋脚下端断面の降伏確率を算定する。この時、降伏曲げモーメントの算定には式6を用い、50年最大震度、コンクリート圧縮強度, 鉄筋の引張降伏強度を確率変数とする。 $M_y = \{g_1 \cdot q + 0.5 \eta_0 \cdot (1 - \eta_0)\} \cdot f'_c \cdot b \cdot D^2$, $g_1 = (\text{引張圧縮鉄筋間距離})/D$, $\eta_0 = N/(b \cdot D \cdot f'_c)$, $q = P \cdot f_y / f'_c$, $P = A_s / (b \cdot D)$ -式6, M_y は降伏曲げモーメント, f'_c はコンクリート圧縮強度, f_y は鉄筋の引張降伏強度, bは橋脚断面の幅, Nは軸力, Pは引張鉄筋比, A_s は引張主鉄筋の断面積, Dは橋脚断面の高さを表す。また、材料強度は、標準設計の使用材料である設計基準強度210kg/cm²のコンクリートに対しては、平均値250kg/cm², 変動係数5%, 正規分布, 特性値(下側5%) $f'_{ck} = 230\text{kg/cm}^2$ を、SD30の鉄筋に対しては、降伏強度平均値3850kg/cm², 変動係数5%, 正規分布, 特性値(下側5%) $f_{yk} = 3500\text{kg/cm}^2$ を過去の

データ²⁾より仮定する。(5)既存橋脚断面の修正:(4)で求めた降伏確率を基に、設計震度が違うにもかかわらず同一の設計がなされているものや、安全または危険過ぎるという安全性の面から見た不合理を修正するため、橋脚データの削除及び変更を行う。(6)部分安全係数の算定:修正された橋脚のデータを用いて、現行設計法の安全性を確保する事のできる部分安全係数を式7,8,9を用いて算定する。 $R(f'_{ck}/\gamma_{mc}, f_{yk}/\gamma_{ms}) \cdot \gamma_i \cdot \gamma_a \cdot \gamma_b \cdot S(\gamma_{fk} \cdot k_k) = 0$ 式7, $\gamma_{fa} = \gamma_i \cdot \gamma_a \cdot \gamma_b \cdot \gamma_{fk}$ 式8, $R(f'_{ck}/\gamma_{mc}, f_{yk}/\gamma_{ms}) \cdot S(\gamma_{fa} \cdot k_k) = 0$ 式9, $R(\cdot)$ は降伏曲げモーメント算定式, $S(\cdot)$ は地震荷重による曲げモーメント算定式, k_k は50年最大震度の特性値(上側5%), γ_{mc} はコンクリート圧縮強度の材料係数, γ_{ms} は鉄筋引張降伏強度の材料係数, γ_{fk} は震度の荷重係数, γ_a は構造解析係数, γ_b は部材係数, γ_i は構造物係数を表す。

3. 解析結果及び考察 解析地域・地盤及びその地点の設計震度(重要度別補正係数は $\gamma_s=1.0$ と仮定)を表1に示す。年最大震度分布を推定した結果、極値II型分布の裾切りを行ったものが最も良く当てはまった。よって、年、50年最大震度分布の分布関数は、ともに式10で示される。 $G_k(k) = \exp \{ -(A/k)^B + (A/k_{max})^B \}$ 式10, A, B はパラメータ。東京における年最大震度分布と年最大値を図2に、各解析地域・地盤での50年最大震度分布のパラメータ A, B 及び特性値を表2に示す。この分布を用い各設計震度に応じた橋脚について安全性評価及び修正を行った。東京1種地盤での修正後の橋脚データの降伏確率のヒストグラムを図3に示す。つぎに、このデータを用いて算定した部分安全係数と降伏確率 P_y の関係を図4に示す。 γ_{ms}, γ_{mc} は他の構造物の他の限界状態でも同一の値を使用するものと考えられ、本解析だけでは決定できないため、 $\gamma_{ms} = \gamma_{mc} = 1.0$ とし、目標とする P_y を0.018とすると、図4より $\gamma_{fa} = 1.1$ を求める事ができる。同様の方法で、他の解析地域・地盤における γ_{fa} を求めた結果が表3である。

4. まとめ 今後、以上のような手法で、各地・各地盤の50年最大震度分布を求めることによって、本研究で対象とした橋脚断面の設計に用いるべき部分安全係数が決定できると考えられる。参考文献 1)岡本舜三:耐震工学 オーム社 2)桑原徹郎 武山泰:コンクリート構造の確率論的安全性評価に関する研究 東北大学卒業論文 1981

表3 各地の γ_{fa}

震度法 地域区分	解析 地域	地盤 種別	γ_{fa}
A	仙台	1	1.10
	東京	2	0.55
B	秋田	1	1.20
C	新潟	2	1.30

表1 解析地域・地盤と設計震度

震度法 地域区分	解析 地域	中心地点		地盤 種別	設計 震度
		北緯	東経		
A	仙台	38.25	141.00	1	0.18
				2	0.20
	東京	35.50	139.75	1	0.18
				2	0.20
B	秋田	39.75	140.00	1	0.153
	新潟	38.00	139.00	1	0.153
C	福岡	33.50	130.50	2	0.14

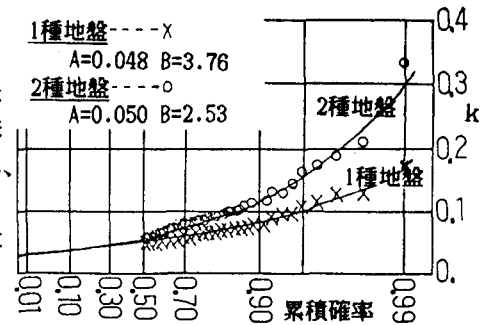


図2 東京の年最大震度分布

表2 50年最大震度分布のパラメータと特性値

震度法 地域区分	解析 地域	地盤 種別	パラメータ		特性値
			A	B	
A	仙台	1	0.131	3.33	0.30
		2	0.221	2.38	0.65
	東京	1	0.136	3.76	0.29
		2	0.236	2.53	0.66
B	秋田	1	0.101	2.79	0.27
	新潟	1	0.088	2.75	0.24
C	福岡	2	0.077	3.10	0.20

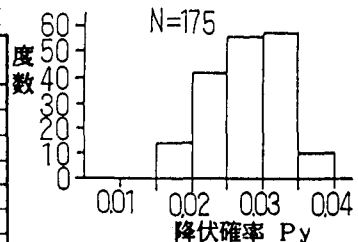


図3 東京1種地盤での安全性評価

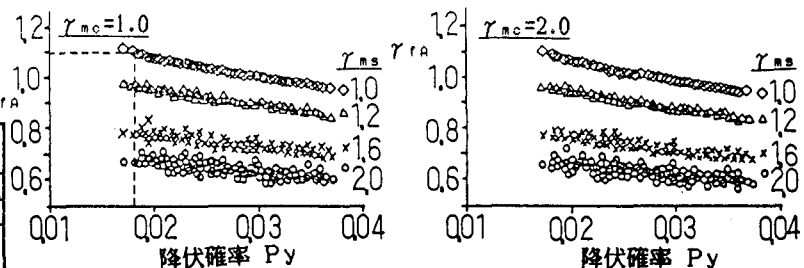


図4 東京1種地盤での $\gamma_{mc} - \gamma_{ms} - \gamma_{fa}$ の関係