

鉄筋コンクリート橋脚の耐震性向上に関する数値解析的研究

広島工業大学工学部 正 員 中山 隆弘 広島工業大学大学院 正 員 坂手 道明
 (株)片平エンジニアリング 清水 賢二 広島工業大学大学院 学生員 ○ 井上 陽介

1. はじめに 本研究では、帯鉄筋が鉄筋コンクリート橋脚(以下 RC 橋脚と略称する)の保有水平耐力の向上にかなり大きな効果をもたらすことも数値解析的に検討したが、ここでは、震度法で設計し、安全性を照査した RC 橋脚の構造安全性の不確実性と鉄筋とコンクリートの材料強度の不確実性との関係をシミュレーション手法によって検討した結果について報告する。

2. 解析手法 本研究は、橋脚の破壊が、地震慣性力 P_e による曲げモーメントにより、橋脚の基部断面における圧縮縁のコンクリートが終局ひずみに達する時に生じると仮定した。コンクリートの圧縮強度と鉄筋の降伏強度の不確実性は、断面の抵抗曲げモーメントおよび曲率の不確実性に関係する。したがって、地震力による橋脚の破壊の可能性や変形性能は、確率的に評価することが望ましい。なお、ここではコンクリートの圧縮強度と鉄筋の降伏強度の分布は共に正規分布であるとしている。そして、それらの平均値は、コンクリートの圧縮強度の特性値(240(kgf/cm²)と仮定)と鉄筋の降伏強度の特性値(同じく 3,000(kgf/cm²)と仮定)が、それぞれ非超過確率 5(%)に対応する値であるとして算出した。

断面の抵抗曲げモーメントと曲率を算出する時に使用したコンクリートと鉄筋の応力-ひずみ曲線をそれぞれ図-1 および図-2 に示す。さらに、橋脚の破壊時に作用する荷重状態とその時の断面の応力とひずみの状態をそれぞれ図-3 および図-4 に示す。なお、図-3 の N は上部構造の死荷重反力を表している。図-4 により、断面の抵抗曲げモーメントと曲率の算定式が次式のように導ける。

$$M_{ud} = N \cdot e = C_c' \left(y_0 - \frac{a}{2} \right) + C_s' (y_0 - d_2) + T (d_1 - y_0) \cdots (1), \quad \Phi = \frac{\epsilon_{cu}}{X} \cdots (2)$$

ここに、 Φ は曲率(1/m)、 X は中立軸位置(m)、 ϵ_{cu} はコンクリートの終局ひずみを表す。

さて、本研究では橋脚の安全性を、材料強度のばらつきを考慮して算出した抵抗曲げモーメント(確率量)とコンクリートと鉄筋の降伏強度の特性値から算出した抵抗曲げモーメント(以下、この確定量を基準抵抗曲げモーメントと称する)との比較によって検討した。また、参考のため、変形性能について、基部における曲率を用いて同様の検討を行った。両者に対して性能関数を考えれば、次式のようになる。

$$Z_1 = M_{ud} - M_n, \quad Z_2 = \Phi_n - \Phi_i \cdots (3)$$

式中、 M_{ud} (確率量)は抵抗曲げモーメント(tf・m)、 M_n (確定量)は基準抵抗曲げモーメント(tf・m)、 Φ_i は確率量で与えられる基部における曲率(1/m)、 Φ_n (確定量)は特性値を用いて算出した曲率(1/m)である。このとき、橋脚の安全性のレベルを、 $P_f = \text{Prob}(Z_1 \cup Z_2)$ となる確率で評価すれば、次式が成立する。

$$P_f = P_1(Z_1 \leq 0) + P_2(Z_2 \leq 0) - P_3(Z_1 \leq 0 \cap Z_2 \leq 0) \cdots (4)$$

式中の P_1 は橋脚の耐力、 P_2 は橋脚の変形性能に関する安全性レベルであると考えられる。なお、 P_1 、 P_2 、そして P_3 は、モンテカルロ・シミュレーション法によって算出した。

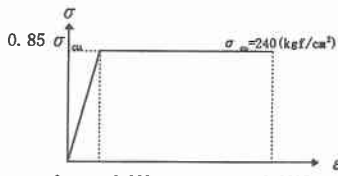


図-1 鉄筋の応力-ひずみ曲線

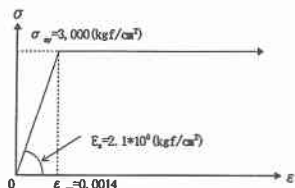


図-2 コンクリートの応力

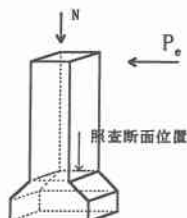


図-3 荷重状態

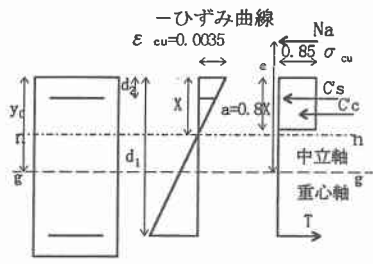


図-4 橋脚断面の応力-ひずみ状態

表-1 P_i の算出結果(鉄筋の変動係数5%)

	コンクリートの変動係数 (%)		
	5	7	10
$P_1(M_{ud}-M_n < 0)$ (%)	4.5	4.6	4.6
$P_2(\Phi_n - \Phi_c < 0)$ (%)	36.6	38.2	42.8
$P_3(P_1 \cap P_2)$ (%)	4.4	4.2	3.8
$P_4(P_1, P_2 - P_3)$ (%)	36.7	38.5	41.2

表-2 P_i の算出結果(コンクリートの変動係数5%)

	鉄筋の変動係数 (%)		
	1	3	5
$P_1(M_{ud}-M_n < 0)$ (%)	0.0	0.3	4.5
$P_2(\Phi_n - \Phi_c < 0)$ (%)	28.8	32.5	36.6
$P_3(P_1 \cap P_2)$ (%)	0.0	0.2	4.4
$P_4(P_1, P_2 - P_3)$ (%)	28.8	32.5	36.7

3. 数値解析結果および考察 通常、コンクリートの圧縮強度のばらつきはかなり大きく、ここでも5,7,10(%)の3通りの変動係数を設定した。また、鉄筋の降伏強度のばらつきはコンクリートの圧縮強度のばらつきよりも一般に小さいと考えられるので、1,3,5(%)の3通りの変動係数を設定した。なお、圧縮・引張鉄筋の降伏強度は同一の変動係数に従うものとした。鉄筋の変動係数を5(%)とし、コンクリートの変動係数を5,7,10(%)とした場合の式(4)による計算結果を表-1に示す。また、図-6(a)はシミュレーションによって得られた抵抗曲げモーメントの確率分布、図-6(b)は曲率の確率分布である。まず図-6(a)より、抵抗曲げモーメントの確率分布には、コンクリートの圧縮強度のばらつきの影響がほとんど現れていないことが分かる。一方、図-6(b)より、曲率の確率分布はコンクリートの圧縮強度の変動係数の影響を大きく受けることが理解できる。このことが表-1に示したように橋脚の変形性能を低下させる原因と考えられる。

次に、コンクリートの変動係数を5(%)とし、鉄筋の変動係数を1,3,5(%)とした場合の結果を表-2に示す。そのときの抵抗曲げモーメントの確率分布を図-7(a)に、曲率の確率分布を図-7(b)に示す。図-7(a)より、抵抗曲げモーメントの確率分布が鉄筋の降伏強度のばらつきに大きく影響を受けることが分かる。また、図-7(b)より、曲率の確率分布もばらつきが大きくなっている。表-1,2に示した結果より、橋脚の終局曲げモーメントが基準抵抗曲げモーメントを下回る確率は、材料強度の特性値を規定した非超過確率5%にほぼ等しいことが理解できる。しかし、変形性能にする確率は、材料強度の特性値を規定した非超過確率5%を大きく上回っている。これらの結果は、構造物の安全性の評価における確率論的アプローチの有用性を端的に示している。

4. まとめ 本研究の結果をまとめれば、次に示す通りである。(1)コンクリートの圧縮強度のばらつきは、特に変形性能のばらつきに大きく影響し、橋脚の安全性のレベルが低下する。(2)鉄筋の降伏強度のばらつきの影響はコンクリートのそれに比較してやや小さいが、橋脚の耐力と変形性能のばらつきに無視できない影響を及ぼす。(3)材料強度に対する品質管理は従来から重視されていたが、構造物の安全性に対する品質管理の重要性を指摘することができた。なお、今後の課題としては、コンクリートの応力度-ひずみ曲線として、より実際に近い非線形特性を考慮した曲線を用いること、材料強度以外の不確実性を考慮すること、地震動の大きさと橋脚の安全性との関係を検討することなどが挙げられる。

本研究は、文部省私立大学ハitek・リサーチ・センター整備事業の一環として実施されたものである。関係各位に本紙面を借りて御礼を申し上げる。

<参考文献> 1)星隈 他著：矩形断面コンクリート柱の応力-ひずみ特性に及ぼす帯鉄筋の影響、土木学会論文集V-480、1994年9月。2)社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・解説V耐震設計編、1992年2月。

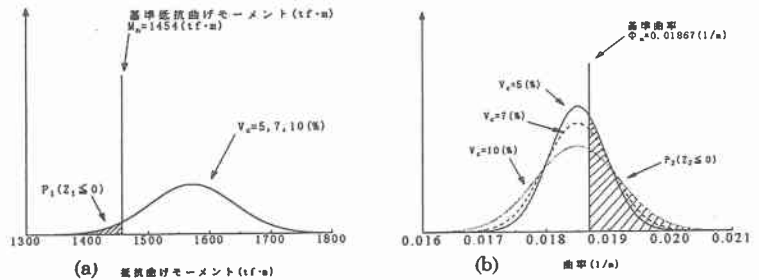


図-6 鉄筋の変動係数5%のときの確率分布

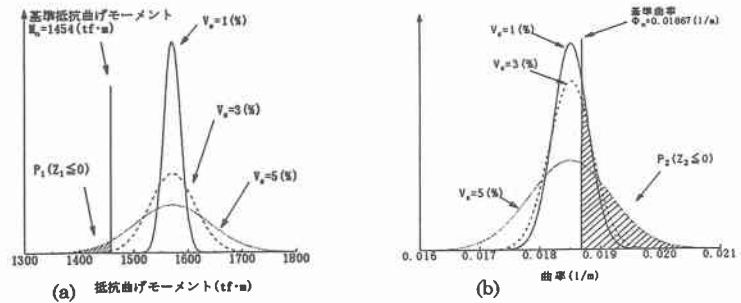


図-7 コンクリートの変動係数5%のときの確率分布