

## 構造変数間の相関を考慮した信頼性理論に基づく RC 橋脚の地震時安全性評価

東北大学 学生員 松中亮治  
 東北大学 学生員 山崎康紀  
 東北大学 正会員 秋山充良  
 東北大学 正会員 鈴木基行

### 1. はじめに

信頼性設計は、限界状態を設定し様々な不確定要因に対し、限界状態を越える確率（以下、破壊確率と略）を算定し、その確率をある許容範囲内に納めるように設計を行う方法である。そして、信頼性設計は確率論に基づいており、その中で用いられる確率変数は一般に相関を有している。従って、これらを合理的に安全性評価手法に考慮することは極めて重要である。

そこで、本研究では著者らにより提案された複数の限界状態を考慮した構造系信頼性評価法<sup>1)</sup>を基に、限界状態式間の相関関係、さらに構造変数間の相関が RC 橋脚の安全性に及ぼす影響について検討するとともに、信頼性理論に基づいた RC 構造に対する新しい耐震設計法の概念を提示した。

### 2. RC 橋脚の耐震安全性評価

#### (1) RC 橋脚の耐震安全性解析法

従来の構造系信頼性評価法は 1 つの限界状態を対象に、しかも限界状態を構成する構造変数を独立と仮定していた。しかし、本研究で用いた構造系信頼性評価法は複数の限界状態および構造変数間の相関関係も考慮できるものであり、これに基づいて RC 橋脚の地震時安全性評価を行った。そして、その照査項目として曲げ耐力、せん断耐力および変形能の 3 項目を取り上げた。

解析対象橋脚は 1 質点系に置き換えることが可能な、せん断耐力と曲げ耐力の比（以下、耐力比と略）1.32 を有する曲げ破壊先行型の橋脚とした。対象地盤は II 種地盤とし、入力地震波は宮城県沖地震時に記録された地震波を重複反射理論により基礎底面での波に変換し、これを用いて動的解析を行った。

耐力項である曲げ耐力は、部材の終局点を静的弾塑性解析により算定した。せん断耐力は、帯鉄筋によるせん断耐力算定式は土木学会コンクリート標準示方書の式<sup>2)</sup>を、帯鉄筋以外によるせん断耐力算定式および変形

能の算定式が土木学会靱性評価 WG により提案された式<sup>3)</sup>を用いて算定した。

#### (2) 構造変数間の相関

構造変数間の相関は、計算が簡便で相関係数が大きいと精度が良くなる相関分析を用いて算定し、その結果を表 - 1 に示す。

表-1 構造変数間の相関係数

変数	相関係数	変数	相関係数
$M_u-V_c$	0.95	$N-M_u$	0.77
$M_u-N_B$	0.93	$N-V_s$	0.57
$V_c-N_B$	0.94	$N-V_c$	0.65
$N-V_c$	0.65	$N-N_B$	0.72

ここでは耐力項である終局曲げ耐力 ( $M_u$ )、帯鉄筋以外によるせん断耐力 ( $V_c$ )、帯鉄筋によるせん断耐力 ( $V_s$ )、軸圧縮力 ( $N$ )、鈎合破壊時の軸圧縮力 ( $N_B$ ) の相関関係を示した。このうち、相関係数 0.80 以下のものは安全性にはほとんど影響を及ぼさないことが判明したので考慮しないこととした。

従って、本研究で考慮した相関は、断面寸法やコンクリート強度等確率変数間の相関から生じる  $M_u-V_c$  の相関、鉄筋コンクリート柱において高い相関関係が認められる  $M_u-N_B$  の相関、そして  $V_c-N_B$  の相関の 3 つであり、以下には、これらの相関を同時に考慮して RC 橋脚の地震時安全性評価を行った。

#### (3) 解析対象 RC 橋脚の安全性評価

地震波を、地盤の基盤面に最大入力加速度を拡大・縮小して入力し、構造変数間の相関関係を考慮して、その最大入力加速度の大きさ毎に RC 橋脚の安全性評価を行った。そして、曲げ耐力、せん断耐力、変形能に対するそれぞれの安全性指標（順に、 $\beta_M$ 、 $\beta_V$ 、 $\beta_\delta$ ）と、これら 3 つの限界状態を同時に考慮した RC 橋脚の安全性指標  $\beta$  を導き、その結果を図 - 1 に示した。

Key Words: 信頼性, 安全性指標, 相関, RC 橋脚, 耐震

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 東北大学工学部土木工学科構造設計学研究室 TEL 022(217)7449

図より、RC 橋脚の安全性は構造変数間の相関を考慮した場合、相関を考慮しない場合に比べて上昇していることが分かる。この原因として、相関を考慮することにより変形能に対する安全性が上昇したことが挙げられる。また、曲げ耐力とせん断耐力に対する安全性は、相関の有無に関わらず変化しなかった。そこで、変形能に対する安全性について検討する。図から、相関を全く考慮しない場合には最大入力加速度が大きくなるにつれて変形能に対する安全性が低下している。このため、解析対象 RC 橋脚の安全性は入力加速度が大きくなると、曲げ耐力だけでなく変形能により支配される可能性もあるものと思われる。しかし、相関を考慮した場合、考慮しない場合に比べ、変形能に対する安全性が上昇する。これは、RC 橋脚の安全性が変形能により支配される可能性が低下し、靱性的挙動の可能性が増えより一層曲げ耐力を発揮することを意味している。

そして、RC 橋脚の安全性は、最大入力加速度が 300 gal 以上の範囲では、相関を考慮することにより、曲げ耐力に対する安全性が支配的になることが分かる。これは、相関を考慮したことによって支配的な限界状態が、より靱性的な挙動、つまり曲げ破壊する可能性が大きくなったことを意味する。これより、解析対象橋脚においては相関を考慮することで、曲げ耐力に対する安全性のみで RC 橋脚全体の安全性を評価することができる。

(4) 耐力比が RC 橋脚の安全性に及ぼす影響

耐力比をパラメータとし、構造変数間の相関が RC 橋脚の安全性に与える影響について検討した。そのため、RC 橋脚の主鉄筋量を変化させることにより耐力比を変動させ、地震波を地盤モデルの基盤面に 800 gal に拡大して入力した。その解析結果を図 - 2 に示した。図より、相関を考慮することにより RC 橋脚の安全性が全体的に上昇した。そして、耐力比が 1.3 以上になると RC 橋脚の安全性はほぼ一定になり、曲げ耐力に対する安全性に近似できる。また、この図は相関を考慮することにより耐力比が 1 未満でせん断破壊先行型、1 以上で曲げ破壊先行型となっている。これは、実験結果<sup>4)</sup>ともほぼ一致している。

3. 結論

(1) 相関分析を用い、限界状態を構成する構造変数間の相関関係を算定した。その結果、コンクリート強度等の影響で幾つかの耐力項間の相関が高い値を示した。

(2) 限界状態内の構造変数間の相関を考慮した RC

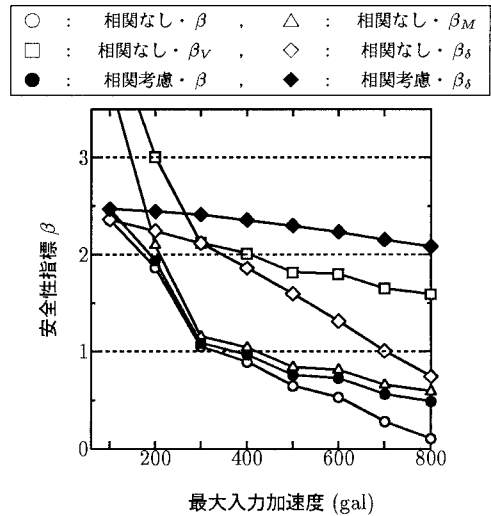


図-1 最大入力加速度と安全性指標  $\beta$  との関係

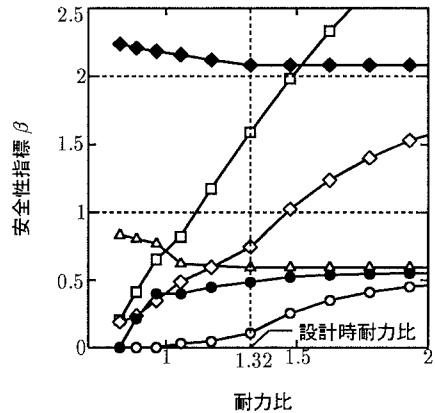


図-2 耐力比と安全性指標  $\beta$  との関係

橋脚の地震時安全性評価を行った。その結果、耐力比 1.32 を有する RC 橋脚の安全性は相関を考慮することで曲げ耐力の安全性照査で代表させることができる。

(3) 橋脚の主鉄筋量を変化させ様々な耐力比に対して安全性を評価した。その結果、構造変数間の相関を考慮することで耐力比 1 付近の RC 構造物の破壊形態を忠実に再現できることが分かった。

参考文献

- 1) 鈴木基行・秋山充良・山崎康紀：構造系の安全性評価法および RC 橋脚の耐震設計への適用に関する研究，土木学会論文集，No.578/V-37，pp.71-87，1997.11
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書・耐震設計編，1996.
- 3) 土木学会：阪神淡路大震災被害分析と靱性率評価式，コンクリート技術シリーズ No.12，1996.8.
- 4) 石橋忠良・吉野伸一：鉄筋コンクリート橋脚の地震時変形性能に関する研究，土木学会論文集，第 390 号，pp.57-66，1988.2