

ISO2394 に基づく RC 橋脚の耐震信頼性設計

中央大学 学生会員 ○市丸智大
中央大学 正会員 佐藤尚次

1. はじめに

2015 年に改定された ISO2394 では, LQI に基づく目標信頼性指標の算出を提唱しており, 人命の安全を最適化する信頼性設計について記されている. 実際には, 国民一人当たりの GDP が異なる国ごとの, 社会的支払額や統計の人命価値を目標信頼性指標に取り込むということである. 佐藤らはボックスカルバートの設計を例にとって目標信頼性の違いが設計の結果にどのように影響するかを例示することを試みた¹⁾. この結果, 日本のような富裕な国における構造物の目標信頼性と途上国のそれとの間に差異が生じる可能性があるということが提唱される.

本研究では, ISO2394 に基づき RC 橋脚に地震荷重が作用したときの信頼性設計を行い, 構造物の建設コストと信頼性水準にどのような関係があるのかを考察することにした. また, GDP が高い国と比較的高くない国で同様に信頼性設計を行い, 目標信頼性指標がどのように変化していくかについて調査することを目的とする.

2. 研究方法

本研究では, まず対象とする構造物に作用する地震力を修正震度法を用いて算出し, それをもとに耐震設計を行い橋脚躯体の断面を設定する. そこで求められた設計条件をもとに対象断面の信頼性指標 β を求める. この β の値に対して地震力のばらつきや耐力のばらつきを考えて使用する鉄筋径や鉄筋の配置間隔などを变化させたときの β を求め, コストと信頼性の関係を導くこととする.

さらに LQI に基づく目標信頼性の設定を行い, GDP の異なる国の設計基準で設計断面がどう変化するか, あるいは信頼性指標 β の水準がどう変化するかを考えていく.

3. 対象とする構造物

本研究では, 矩形断面からなる鉄筋コンクリート単柱橋脚を対象構造物とし, 信頼性設計を行う. 対象構造物の橋脚条件を表-1 に示し, このとき使用する鉄筋とコンクリートの部材条件は表-2 の通りとして信頼性設計を行う. また, 文献²⁾を参考に以上の条件から修正震度法を用いて橋脚躯体の断面を設計した結果を図-1, 表-3.1, 表-3.2 に表す. 地盤条件等は後述の東京都新宿区のものをを用いている. この結果を踏まえ

表-1 橋脚条件

橋脚高 L	10[m]
上部工荷重 W	10[MN]
断面幅 B	3000[mm]
断面高さ D	3000[mm]
鉄筋かぶり d'	100[mm]

表-2 部材条件

コンクリートのヤング率	20[kN/mm ²]
コンクリートの圧縮強度	30[N/mm ²]
鉄筋の降伏強度	300[N/mm ²]

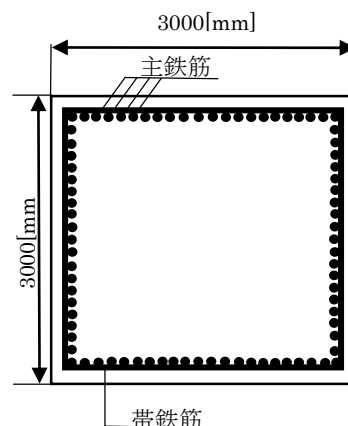


表-3.1 主鉄筋

径	本数[本]	配置間隔[mm]
D29	140	80

表-3.2 帯鉄筋

径	本数[本]	配置間隔[mm]
D25	100	100

図-1 橋脚躯体の断面

て β を算出し, 信頼性水準にどのような変化が現れるかを解析していく.

4. 想定する限界状態

4.1 限界状態設計法

実際の設計では常時の荷重や地震時などの荷重について終局限界状態または使用限界状態に対する安全性の照査を行う必要があるが, 本研究では ISO2394 に基づき, 限界状態設計法を用いて設計を行う. 設計を行うにあたり, 考慮する限界状態を曲げ破壊およびせん断破壊による終局限界状態として設計を進めていく. 設定した橋脚高や鉄筋, コンクリートの条件を

キーワード ISO2394, RC 橋脚, 信頼性設計, メルセンヌツイスタ, モンテカルロシミュレーション

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 設計工学研究室 TEL : 03-3817-1816

用いて地震力を算出し、対象とする橋脚断面における曲げ耐力 M_u と発生する曲げモーメント M_i およびせん断耐力 V_u と発生するせん断力 V_i を求める。算出した M_u , M_i , V_u , V_i を式 (2), 式 (3) の限界状態関数に代入し, $g_m(x) > 0$, $g_v(x) > 0$ となるように断面を決定する³⁾。

$$g_m(x) = M_u - M_i \quad \text{式 (2)}$$

$$g_v(x) = V_u - V_i \quad \text{式 (3)}$$

4.2 不確定性を考慮する基本変数

信頼性指標 β を算出するに当たり, 式 (2), 式 (3) で $g(x)$ の標準偏差と分散を求める必要がある。その際に地震力などの「作用」とコンクリートなどの「材料」の基本変数の不確定性を考慮する必要があり, 確率変数として表現する。作用に関しての不確定性を考慮する基本変数は修正震度法で求める地震荷重とする。

また, 材料に関して不確定性を考慮する基本変数は文献⁴⁾より表-3に表す。

4.3 地震力の不確定性

本研究では地震力の不確定性を検討する場所を東京都新宿区 (N35.71, E139.69) に設定し, 強震観測網⁵⁾(K-NET/KiK-net)から過去 22 年間の年最大加速度を抽出した。この時抽出した年最大加速度を加速度応答スペクトルに換算し, それを確率密度関数に表したものが図-2である。またこの確率密度関数を作成するにあたり, Excel の確率紙で分布系を調べた結果, 対数正規分布に適合することが確認できた (図-3)。

4.4 耐力の不確定性

材料の不確定性が耐力に与える影響をモンテカルロシミュレーションにより検討する。モンテカルロシミュレーションとは無数の乱数を発生させて確率計算を行う手法である。変動係数は表-4に記したものを使用し, ばらつきの分布は正規分布に従うものとする。図-4は実際に 20000 個の正規乱数を発生させ, 材料強度のばらつきが図-1の断面の曲げ耐力に及ぼす影響を表したものである。このように乱数を用いて耐力の確率密度関数を求め, 曲げ, せん断それぞれの限界状態関数を算出していく。

5. おわりに

信頼性指標 β を算出するにあたって必要な作用と耐力の確率密度関数について検討し, 作用側である地震力の確率密度関数を導出した。今後は耐力側の確率密度関数をモンテカルロシミュレーションにより解析し, 信頼性指標 β の導出および β とコストの関係の考察を行っていく。また, 橋脚高や鉄筋の配置スパン等の条件を変化させたときの β の導出ならびに LQI に基づく目標信頼性の設定を行い, GDP の異なる国ごとの目標信頼性水準にどのような違いが現れるのかについても調査していく。

表-4 不確定性を考慮する基本変数

記号	内容	変動係数
X_c	コンクリートの圧縮強度[N/mm ²]	0.15
X_r	鉄筋の降伏強度[N/mm ²]	0.08

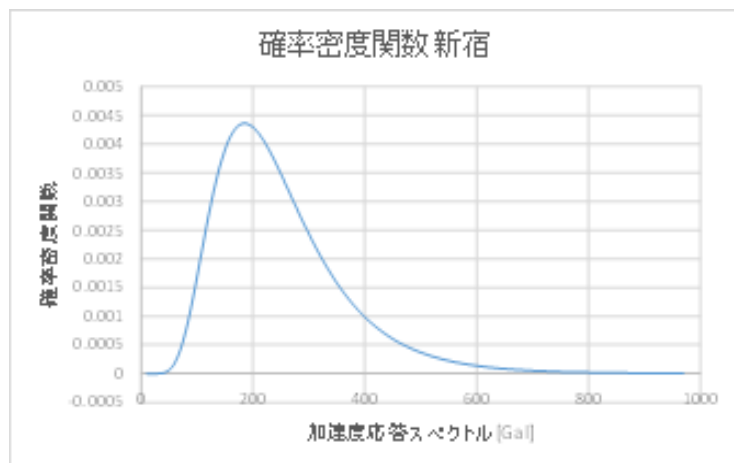


図-2 加速度応答スペクトルの確率密度関数

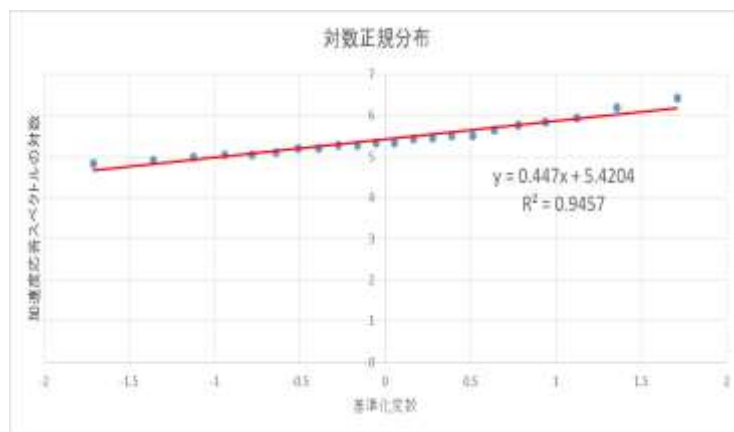


図-3 確率紙による分布系の照査



図-4 材料のばらつきが曲げ耐力に及ぼす影響

参考文献・出典

- 1) ISO2394 に基づく信頼性設計, 関口萌々子, 佐藤尚次, 第 44 回関東支部技術研究発表会, 土木学会関東支部, I-17
- 2) コンクリート系構造物の耐震設計法, 大内一, 森北出版, 2008 年

- 3) ISO, ISO2394, General principals on reliability for structures, 2015
- 4) 構造物信頼性設計法の基礎, 鈴木基行, 森北出版, 2010 年