

鉄道橋脚におけるレベル2信頼性設計の導入及び合理的な断面設計の検討

中央大学 学生会員 ○飯沼 龍太

中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

1990年以降、建築・土木分野でそれまでの基準であった仕様規定から性能設計への移行が進んだ。日本では、1995年に世界貿易機関WTOのTBT協定に批准し、国際標準を国内基準として用いることが義務付けられた。それに伴い、設計における国際標準であるISO2394：構造物の信頼性に関する一般原則に基づき、2002年に国土交通省より「土木・建築にかかる設計の基本」が示された。そこでは、信頼性設計の考え方を基本とすることに加え、耐震設計における地震動のレベル分けや作用力の扱いについても明示された。これにより、2004年以降、鉄道構造物や港湾構造物をはじめとする各構造物において設計指針の改定が進んだ。

信頼性設計は、その設計の手法に応じて3つのレベルに大別されている。一般にレベルが高いほど精度の良い結果を得られる一方、モデル化や計算に多くの時間を要する。鉄道構造物については、2007年に土構造物の設計標準が改定されて以降は、すべての構造物において部分係数によって耐力を小さく見積もるレベル1信頼性設計が実施されている。一方で、レベル2やレベル3信頼性設計のような、モンテカルロシミュレーション（以下MCS）を用いた設計手法の導入はいまだ研究の途上にある。

そこで本研究では、鉄道橋脚を対象に信頼性指標 β を用いたレベル2信頼性設計を導入し試算を行う。その結果を踏まえて、断面諸量を様々に変更することにより合理的な断面設計に対する検討を行う。

2. 研究手法

本研究では、畑ら¹⁾、福島²⁾及び西山³⁾の先行研究を参考に、鉄道橋脚の試設計を行い、曲げ及びせん断それぞれに対する信頼性指標 β をMCSにより算出する。得られた結果から算出されるせん断モードの卓越確率を踏まえて、より合理的な断面設計を検討する。

なお、西山の研究が対象とする道路橋脚と、本研究で対象とする鉄道橋脚では、耐震設計における応答値の算定方法が大きく異なる。道路橋脚の場合は、橋脚躯体を下端固定とした解析モデルを用いたうえで、修正震度法や地震時保有水平耐力法などの静的解析法を基本とする。一方、鉄道橋脚の場合には、橋脚躯体と基礎構造物を一体化したモデルを用いて、時刻歴応答解析をはじめとする動的解析法を基本と

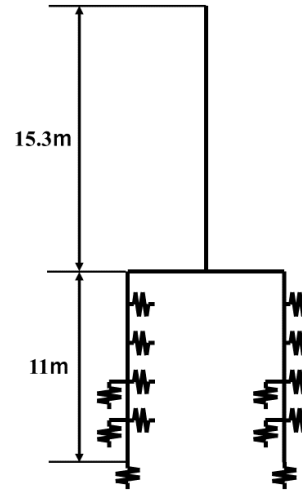


図-1 鉄道橋脚解析モデル（側面図）

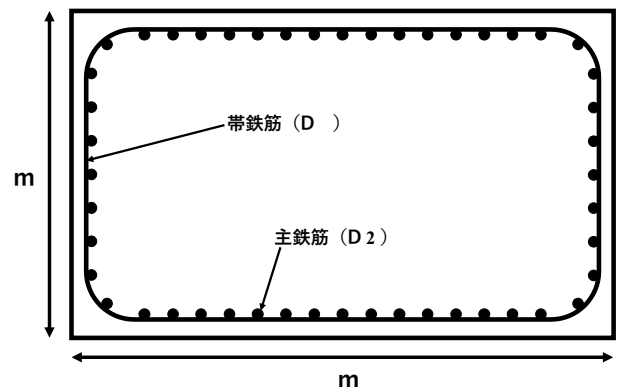


図-2 橋脚躯体の配筋図例

表-1 損傷レベル及び安定レベル¹⁾

		復旧性性能レベルI		復旧性性能レベルII	
上部構造物	損傷レベル	躯体	1		3
基礎構造物	損傷レベル	フーチング	1		2
		杭	1		2
	安定レベル			1	

するが、非線形スペクトル解析など地震作用を等価な静的作用に置き換える手法も頻繁に用いられる。従って本研究においても、復旧性性能（旧称：耐震性能）の照査には非線形スペクトル解析を用いる。

3. 対象とする構造物

本研究では、畑ら¹⁾の先行研究を参考に対象構造物を決定した。対象構造物は、図-1に解析モデルを示

キーワード 鉄道橋脚, 耐震設計, 非線形スペクトル解析, 信頼性設計, 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 中央大学後楽園キャンパス 2号館 2323号室

TEL : 03-3817-1816 E-mail : a19.fewt@g.chuo-u.ac.jp

す壁式橋脚とする。図-2は橋脚躯体の配筋図であり、主鉄筋及び帯鉄筋にはSD390を用いる。ただし、後述するように、断面諸量は様々に変更のうえ比較検討を行う。基礎は、杭径1.5[m]、杭長11[m]の場所打ち杭を計6本配置する。表層地盤の地盤種別はG3地盤（固有周期： $T_g = 0.345[\text{sec}]$ ）であり、N値10の均一な粘性土地盤とする。

4. 応答値の算定及び復旧性性能照査

対象構造物の復旧性性能の算定には、非線形スペクトル解析を用いる。非線形スペクトル解析とは、表層地盤の固有振動数によってG0~G7まで区分された地盤種別を選択し、それに対する所要降伏震度スペクトルを用いて構造物の応答値を算出する手法である。振動モードが比較的単純で、かつ塑性ヒンジの発生箇所が明らかな場合に適用可能であり、多くの鉄道橋脚において適用されている手法である。非線形スペクトル解析の具体的な手順については設計標準各種^{4)~5)}に、また解析において必要となる骨組み構造の弾塑性解析手法については文献⁶⁾にそれぞれ詳しく記載されている。これらの文献を参考に、解析プログラムをExcel VBAにより作成した。ここでは、非線形スペクトル解析のおおまかな手順を図-3のフローチャートに示す。

以上の解析の結果から、表-1のように設定する各復旧性性能レベルに対する損傷レベル、安定レベルをクリアしていることを確認する。クリアしている場合は、信頼性設計のステップに移る。クリアしなかった場合は、断面設計を変更して再度照査を行う。

5. 鉄筋コンクリートの曲げ耐力、せん断耐力の算出

本研究のレベル2信頼性設計においては、作用力と耐力をそれぞれ確率分布に従ってばらつかせ、曲げ破壊発生確率、せん断破壊発生確率およびせん断破壊先行確率を求める。鉄筋コンクリート部材の曲げ耐力、せん断耐力は、設計標準（コンクリート構造物）⁵⁾に基づき算出する。

6. 曲げ破壊、せん断破壊に対する信頼性指標の算出

4. 応答値の算定及び復旧性性能照査で各部材に作用する断面力を、5. 鉄筋コンクリートの曲げ耐力、せん断耐力の算出で各部材の耐力を示した。それぞれのばらつきを考慮するために、耐力及び断面力の確率密度関数が正規分布に従うとしてMCSを行い、限界状態超過確率を求め信頼性指標 β を算出する。

7. せん断モード卓越確率の算出

一般に構造物は、せん断破壊が曲げ破壊より先行しないよう設計される。しかし、耐力及び断面力のばらつきによって、ごく低確率ながらせん断破壊が先行してしまうことがある。そこで、MCSに付随し

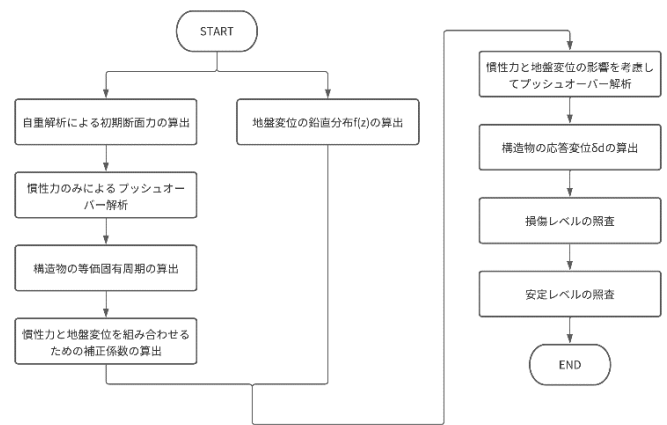


図-3 非線形スペクトル解析のフローチャート

て、曲げ破壊の条件を満たしていないにもかかわらずせん断破壊の条件を満たす確率を算出し、これをせん断モード卓越確率とする。

8. 断面設計の変更

以上、4. 応答値の算定及び復旧性性能照査から7. せん断モード卓越確率の算出までの一連の作業を、断面諸量を様々に変更したうえで繰り返し実施する。以上をもって、断面諸量と信頼性の関係を分析し、より合理的な断面設計を検討していくことを最終目標とする。

9. おわりに

本研究は、非線形スペクトル解析において必要となる骨組構造の弾塑性解析プログラムを作成し、そのうえで鉄道橋脚におけるレベル2信頼性設計を行うものである。現段階では、躯体断面の最適化の検討のみを行っているほか、地盤バネなど扱いを簡単にしている箇所も多く、プログラムの改良と機能追加が今後の課題である。また、レベル1およびレベル3信頼性設計による検討結果との比較を行うことで、各レベルの適用性についても検討していく必要がある。

なお、本プログラムによる具体的な解析結果および断面諸量の変更による検討の詳細については、発表当日に示すものとする。

参考文献・出典

- 1) 畑 秀彦, 澤野 利章: RC 橋脚の設計における留意点に関する一考察: https://www.cit.nihon-u.ac.jp/kouendata/No.38/3_doboku/3-009.pdf (2022年7月6日閲覧)
- 2) 福島 尚志: シールドトンネルにおけるレベル2信頼性設計の導入評価, 土木学会関東支部論文集1-34, 2022.03
- 3) 西山 実結: 地震発生時におけるRC橋脚の破壊確率の検討, 2019年度中央大学卒業論文
- 4) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 2012.09
- 5) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, 2004.04
- 6) 成田 昌夫, 服部 正, 加藤 進, 後藤 茂雄, 上田 幸雄: 骨組構造解析, 1971.06