

第1部門 不確定性を考慮した2主桁複合斜張橋の耐震信頼性評価に関する基礎的研究

九州大学大学院 学生員 別宮稔史

九州大学大学院 フェロー 大塚久哲

九州大学大学院 正会員 古川愛子

(株)建設技術研究所 正会員 鈴木泰之

1. はじめに

構造物は、材料・幾何学特性や施工精度の変動性等、数多くの不確定要因を含んでいる。従来の仕様規定型の設計法では安全率を用いてこれらのばらつきを考慮してきたが、近年は信頼性解析により各種変動要因によって生じる耐震性能のばらつきを評価しようという機運がある。既往の研究として、比較的自由度の小さい橋脚単体についての信頼性解析は行われているが¹⁾、橋梁全体系の信頼性評価を行った例は少ない。地震時に複雑な挙動を示す構造物ほど、系全体の相互作用を考慮に入れた信頼性解析を行うことは意義深いと考えられる。本研究では、経済的な構造形式として世界各国で施工されているが日本では道路橋としての施工実績がない2主桁複合斜張橋²⁾に着目し、pushover解析とモンテカルロシミュレーションを用いて信頼性評価を行った。

2. 解析概要

2.1 解析モデル

解析の対象である2主桁複合斜張橋の橋梁全体一般図を図-1に示す。主塔・橋脚はRC製、桁は鋼2箱桁とし、床版と主桁とは非合成構造とした。主桁・横梁は線形梁要素、ケーブルは線形棒要素、RC主塔とRC橋脚は非線形梁要素としてモデル化を行った。RC部材の材料非線形特性は骨格曲線としてトリリニア型、復元力特性として武田モデルを用いた。基礎と地盤の結合条件は、線形バネ要素として扱った。

2.2 不確定構造パラメータ

構造パラメータの不確定要因とその変動係数を表-1に示す。平均値として道路橋示方書に準拠して試設計されたモデルを用いた。モンテカルロシミュレーション法を用いてpushover解析(各節点に同じ震度を作用させる)を行い、 fragilityカーブの算出を行った。モンテカルロシミュレーションの試行回数は1000回とした。なお、各パラメータ間の相関は考慮していない。

3. 解析結果

信頼性解析結果を図-2に示す。図-2(a)では、P1橋脚およびP2橋脚がひび割れ曲率を超過する fragilityカーブを、図-2(b)ではP1橋脚およびP2橋脚が降伏曲率を超過する fragilityカーブを示す。グラフよりひび割れ曲率を超過する確率が100%になる静的震度はP1橋脚で約0.05、P2橋脚では約0.08であることがわかる。また降伏曲率を超過する確率はP1橋脚で約0.18、P2橋脚では約0.2であることがわかる。

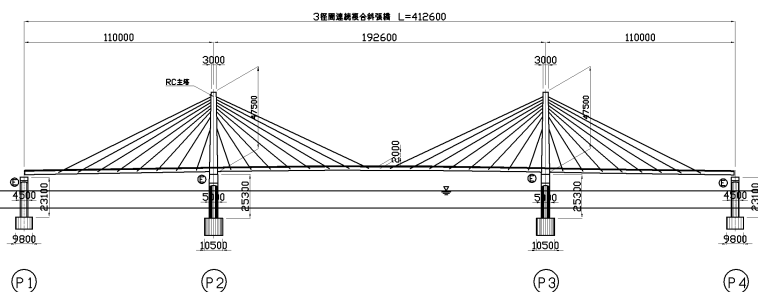
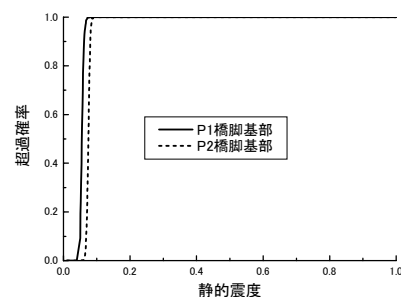


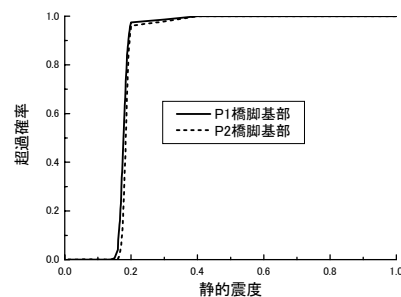
図-1 全体一般図 (単位 mm)

表-1 各不確定要因の変動係数

不確定要因	変動係数(%)
地盤バネ定数	1
沓バネ定数	1
梁要素の断面積	1
梁要素の断面2次モーメント	1
ケーブル初期張力	10
ケーブル断面積	1
主桁ヤング率	4.5
主塔ヤング率	4.5
橋脚ヤング率	5
コンクリート部材のヤング率	5
第1降伏点の曲率	7.3
第2降伏点の曲率	4.2
第1～第2降伏点の剛性低下率	3.7
第2降伏点以降の剛性低下率	10



(a) ひび割れ曲率の超過確率



(b) 降伏曲率の超過確率

図-2 フラジリティカーブ

4. 橋脚単体と橋梁全体系の解析

橋脚単体を対象として解析を行った場合と、橋梁全体系を対象として解析を行った場合のフラジリティカーブの違いについて検討を行った。これにより、橋梁全体系の耐震信頼性評価を行う意義を示す。橋脚単体で解析するときは、橋梁全体系において自重解析を行い、各橋脚が負担する上部構造の自重を算出し、上部構造の自重を1質点でモデル化している。解析結果の例として、P1 橋脚基部がひび割れ曲率および降伏曲率を超過するフラジリティカーブを図-3(a)(b)に示す。図-3 より橋梁全体系で解析を行った場合と橋脚単体のみで解析を行った場合では、フラジリティカーブの形状は大きく違ってくることがわかる。上部構造物の複雑な挙動を考慮に入れた全体系解析と、上部構造物を1質点で置き換えた単体解析では、橋脚天端に作用する上部構造物の反力が異なるため、このような違いが生じるものと考えられる。

5. 感度解析

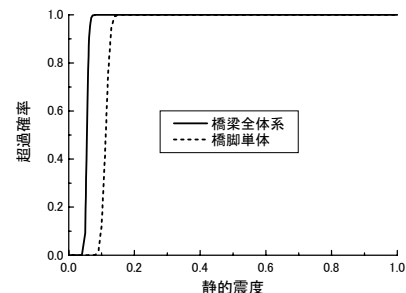
次に表-1 に示した各確率変数が応答値にどの程度影響を及ぼすか調べるために感度解析を行った。着目する確率変数の変動係数を 10%と設定し、その他の全ての確率変数の変動係数を 0%に設定しモンテカルロシミュレーションを行った。感度解析結果を図-4 に示す。図-4(a)では静的震度 0.05 の時の応答値の変動係数を、図-4(b)では静的震度 0.2 の時の応答値の変動係数を示す。図-4(a)より、P1 橋脚基部、P2 橋脚基部の応答値によく影響を及ぼす不確定要因は橋脚のヤング率、梁要素の断面 2 次モーメント、沓バネ定数であることがわかる。その他の不確定要因についてはほぼ 0%であるため、応答値に与える影響は無いと考えられる。図-4(b)より、主に応答値に影響を与える不確定要因は静的震度 0.05 の時と同様に橋脚のヤング率、梁要素の断面 2 次モーメント、沓バネ定数であることがわかる。しかし、静的震度 0.2 になると図-2 からわかるように部材が非線形領域に入ると梁要素の第 1、第 2 降伏点の曲率及び、剛性低下率（第 1～第 2 降伏点）及び剛性低下率（第 2 降伏点以降）も大きく応答値に影響を与えることがわかる。

6. まとめ

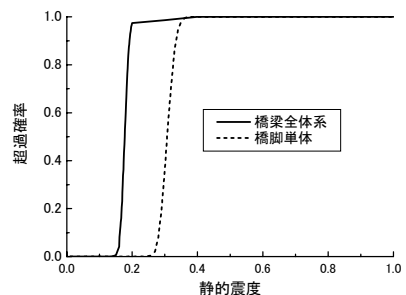
2 主桁複合斜張橋に対して信頼性解析を行い、主要な部材のフラジリティカーブを算出した。橋梁全体系及び橋脚単体の信頼性解析結果の比較を行い、系全体の相互作用を考慮することの重要性を示唆した。また、感度解析を行い、各入力の変動が応答値にどの程度影響を及ぼすかについて検討を行った。今後の方針として、2 主桁複合斜張橋は高次モードの影響が大きく、静的解析では地震時の挙動を正しく追跡するのが難しいと考えられるので、動的解析による信頼性解析を行う予定である。

参考文献

- 1) 白木渡他：鋼製ラーメン橋脚の耐震信頼性評価、構造工学論文集、pp505～510、1997
- 2) 鈴木泰之他：少数主桁を用いた複合斜張橋の構造特性ならびに経済性、鋼構造年次論文報告集 8 巻、pp587～594、2000.11

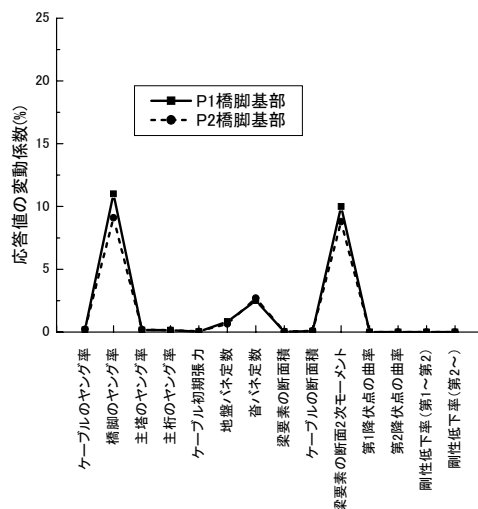


(a) ひび割れ曲率の超過確率

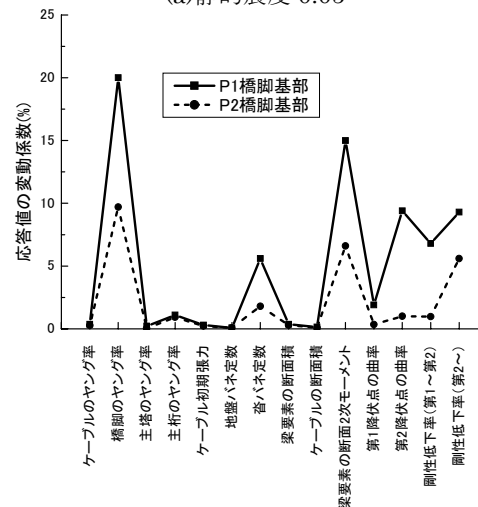


(b) 降伏曲率の超過確率

図-3 橋脚単体と橋梁全体系の比較



(a) 静的震度 0.05



(b) 静的震度 0.2

図-4 感度解析結果