

道路橋における作用断面力の統計的性質に関するシミュレーション

国土技術政策総合研究所	正会員	○横井 芳輝
国土技術政策総合研究所	正会員	玉越 隆史
国土技術政策総合研究所	正会員	白戸 真大
国土技術政策総合研究所	正会員	山崎健次郎
国土技術政策総合研究所	正会員	川見 周平

1. はじめに

許容応力度設計法を基本としている、道路橋示方書・同解説（平成 24 年 4 月）（以下、「道路橋示方書」という。）では、主荷重に対して十分安全であるように照査するとともに、主荷重に加えて同時に作用する可能性が高い従荷重を考慮し、その荷重の発生頻度等を考慮して割増した許容応力度を超えないように照査する。これに対して、橋の性能を定量的に説明するために、構造安全性の水準を統計的な信頼性を考慮して求めた荷重の組合せ及び個々の荷重の大きさを与え、それが限界状態を超えないことを照査するという考え方もある¹⁾。

本研究では、現在入手可能な死荷重、活荷重、風荷重、温度、地震等の道路橋示方書で考慮されている荷重のデータを収集し、道路橋示方書で設計された複数の橋梁を対象に確率的に荷重を発生、組み合わせるシミュレーション（以下、「荷重シミュレーション」という。）を行い、現行設計基準における荷重条件の確率的位置づけについて検討した。

2. 荷重シミュレーションの概要

2.1 対象橋梁

荷重シミュレーションの対象とした橋梁形式は下記より鋼橋 12 橋、PC 橋 6 橋の計 18 橋とした。

- (1) 従来から実績の多い形式(PC 単純 T 桁橋等)
- (2) 実績が増えつつある新形式(鋼連続少数鈑桁橋等)
- (3) 部分係数法の導入に伴い各作用の影響度に大きな変化が予想される形式(温度変化の影響を受けやすい多点固定のラーメン橋等)

2.2 荷重シミュレーション手順

供用期間 100 年を仮定して各断面に対して極値に対応する断面力が発生した瞬間の荷重組合せと各荷重が断面力に占める割合を求める。そして、それぞれの荷重により発生する断面力を現行基準においてその荷重により発生する断面力で除した値である荷重係数を算出する。以下に荷重シミュレーションの手順を示す。

- (1) 指定した時間間隔に各荷重（死荷重、活荷重、風荷重、温度、地震等）の統計値から確率モデルに従い荷重を載荷する。時間間隔は断面力や各荷重の極値が必要な信頼度得られることを検討し、2 時間とした。
- (2) (1) を 100 年相当の回数実施し、着目断面、着目断面力ごとに、断面力が最大となった時に作用している断面力と各荷重の寄与分を抽出する。
- (3) 着目断面、着目断面力ごとに断面力 100 年間最大値の極値分布が模擬できるように、(2) までは 1,000 回実施する。
- (4) 着目断面、着目断面力ごとに、1,000 個の最大値により 100 年最大値分布（極値分布）を作成する。

2.3 発生荷重

荷重シミュレーションに用いる荷重は、設計で考慮する期間内において、殆どその大きさが変動しない荷重と絶えず大きさが変動する荷重とする。

荷重シミュレーションにて、死荷重(D)、土圧(E)、クリープ(CR)のように変動が少ないと考えられる荷重は、

キーワード 信頼性設計、部分係数、荷重シミュレーション、荷重組合せ、荷重係数

連絡先 〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地 国土技術政策総合研究所 橋梁研究室 TEL: 029-864-4919

100 年間で一定値として断面力を算出した。ただし、死荷重や土圧は、寸法や単位体積重量のばらつきを考慮した確率密度関数を設定し、100 年毎に設定値を変化させた。その他の、現行基準値を用いた。

変動を考慮する荷重は、表-1 に示す所定の発生頻度及び強度により載荷し、2 時間ごとに発生断面力を算出した。ここで、活荷重については、あらかじめ 100 年間の断面力の確率密度関数を全国 21 箇所にて調査した活荷重実態調査²⁾における統計データを基に作成した模擬車列を 1000 万回載荷するシミュレーションにより作成した。

3. 荷重シミュレーションにより発生する断面力

荷重シミュレーションにより得られた、非合成鋼桁橋（支間長 36.0m）の支間中央における曲げモーメントの 100 年最大値分布を図-1 に示す。本橋の場合、現行示方書における荷重を載荷した場合の曲げモーメント（現行基準断面力）は、荷重シミュレーションの断面力 100 年最大値分布の非超過確率 95%程度の水準となっている。次に、図-2 に本研究で対象とした 18 橋の支間中央の曲げモーメントについて、現行基準断面力/荷重シミュレーションの 100 年最大値分布の非超過確率 95%の断面力を示す。対象とする橋梁によって、発生している断面力の水準は異なるものの、支間中央の曲げモーメントは、概ね荷重シミュレーションの非超過確率 95%の断面力の 10%程度以内の水準となっていることが分かる。一方で、橋梁によっては、非超過確率 95%の断面力から大きく外れる橋梁もある。今後、新しい構造形式が出てくることも考えられる中で、橋梁によらずできるだけ均質な安全性水準を付与するためには荷重組合せの方法について見直す余地があることが示唆される。

4. まとめ

荷重シミュレーションからは、現行示方書により与えられる支間中央の曲げモーメントは、100 年間非超過確率 95%程度の水準と推定された。引き続きより合理的な設計荷重体系の提案に向けて、新しい形式の橋梁も含めて、現行示方書の安全率の分析を進めていく。

参考文献

1) 玉越隆史, 白戸真大, 横井芳輝: 道路橋示方書の部分係数化の背景について, 第 30 回日本道路会議, No. 5037, 2013.
2) 玉越隆史, 中州啓太, 石尾真理: 道路橋の設計自動車荷重に関する試験調査報告書—全国活荷重実態調査—, 国土技術政策総合研究所資料, No. 295, 2006.

表-1 変動荷重の発生頻度と強度

作用	発生頻度	強度
活荷重 (L)	2 時間毎	渋滞時間を朝夕の 2 回, それ以外の時間帯を通常時とし, 渋滞時, 通常時のそれぞれにおいて実測統計データを基に, 算出した活荷重断面力の確率分布を設定
温度の影響 (T)	2 時間毎	日最高気温と日最低気温の分布より, 日最高気温と日最低気温を各々 24 時間に 1 回設定し, その他の時間は正弦波により補間 (2 時間毎のデータを使用) して算出. 温度分布は, 春期 (4 月, 5 月), 夏期 (6 月~10 月), 冬期 (11 月~3 月) で各過去 45 年の実観測記録より作成.
風荷重 (W)	1 ヶ月に 1 回 (発生時期はランダム)	月最大風速分布より, 風速の月最大値 (10 分間平均風速 V_{10}) を月 1 回発生. ただし, $V_{10} < 40\text{m/s}$
風荷重 (台風)	6 月~10 月の間に 3 回 (発生時期はランダム)	6 月から 10 月の最大風速は, 台風の影響を受けるため, 国立情報学研究所の台風データベースより, 月最大風速分布を作成.
地震の影響 (EQ)	1 年に 12 回 (1 回/月) (発生時期はポアソン過程)	気象庁のデータおよび宇津の地震カタログからバックグラウンドゾーンから距離減衰式を用いて地震動を設定.
雪荷重 (SW)	積雪のある地域の橋梁, 10 月~3 月に考慮 (2 時間ごと)	1.0kN/m ² 相当の断面力を確定値として荷重組合せに加算.

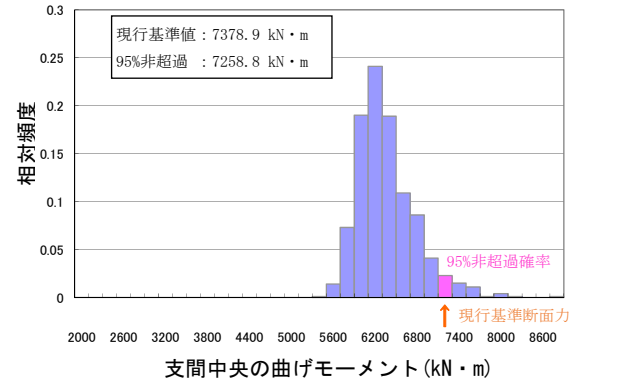


図-1 断面力 100 年最大値分布 (非合成鋼桁橋)

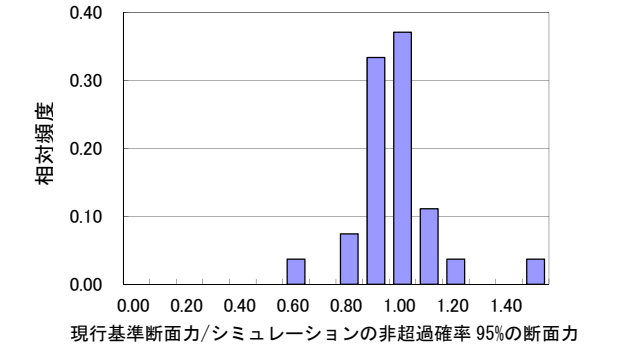


図-2 断面力 100 年最大値分布の傾向 (支間中央曲げモーメント)