

荷重組合せ問題における Turkstra 則効果のモンテカルロ法による確認

中央大学理工学部土木工学科

○学生会員 太田 浩輔

中央大学理工学部土木工学科

正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

性能設計の導入に際し、信頼性手法の活用は有効な手段である。その中でも荷重組合せが問題といえる。この問題では通常、極値の組合せで行うことによる過剰評価を避けるために Turkstra 則が用いられる。しかし荷重作用継続時間の大きく異なる荷重間でこのモデルを用いることの効果は明らかでない。鋼製橋脚への活荷重、地震荷重等の荷重組合せ問題に対する信頼性を評価した既往の研究¹⁾では荷重組合せをモンテカルロ法で行っている。本研究ではその手法を継続し、Turkstra 則の有効性の有無を確認をしていく。

2. 対象モデルの設定

選定した構造物、三径間連続桁の中間橋脚を簡略化し図-1のようにモデル化した。設定した構造モデルの各諸元は表-1 にまとめて示す。また板厚は許容応力度法で設計するものとし、表-2 に示す。断面形状は補剛材を有しない正方形断面とした。各部材には、SM50Y 材を用いるものとした。

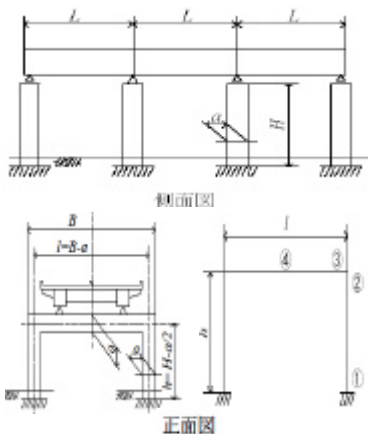


図-1 構造物のモデル化

表-1 構造モデルの各諸元 (単位 m)

支間長 L	40.0
橋脚全高 H	10.0
橋脚全幅 E	20.0
橋脚高さ h	9.14
橋脚幅 l	18.28
梁柱幅 a	1.72

表-2 板厚算出結果

(単位 mm)		
門型ラーメン橋脚		
柱基部	t1	22
柱上部	t2	31
梁隅角部	t3	28
梁中央部	t4	21

3. 実荷重のモデル化

本研究では、死荷重、活荷重、地震荷重の3種類の荷重を考える。各荷重の特性をうまくとらえた B-C 荷重モデルを用いて各実荷重のモデル化を行う。

(1) 死荷重

死荷重値として上部工死荷重反力は設計値の5%増し、橋脚自重は設計値の10%増しにした確定値を用いる。

(2) 活荷重

上部構造を4車線道路とし阪神高速道路公団の交通実態調査²⁾に基づきシミュレーションを行い、無載荷時間(6時間)を除く通常渋滞時(6時間)および通常走行時(12時間)の活荷重反力の頻度分布をそれぞれ作る。通常渋滞時は対数正規分布、通常走行時は Weibull 分布採用した。さらに両分布を1:2の比率で足し合わせたものを活荷重反力の分布関数とする。活荷重の分布関数を以下に示す。

$$F_x(x) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{x - 111}{611.038206} \right)^{1.612} \right\} \quad (x > 111.0 \text{ 単位 kN})$$

基本時間区間 $\tau_L=6$ (時間)、発生率 $p=0.75$ の Mixed type の B-C 荷重でモデル化する。

(3) 地震荷重

地震荷重については阪神高速道路公団の HDL 委員会が作成した応答加速度のモデルを用いる²⁾。ただし地震動として、再現期間が平均2年間以上のものを対象としマグニチュード M が5以上、第2種地盤、構造物の減衰定数 $h=5\%$ 、固有周期 $T_n=0.5$ 秒の構造物について求めている。この頻度分布の特性には Weibull 分布が良く適合しているとされる。地震荷重の分布を以下に示す。

$$F_E^*(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x - 41.28}{34.24} \right)^{0.913} \right] \quad (x > 41.28 \text{ 単位 gal})$$

発生率 $v=0.5$ (1/年)である Limiting spike type の B-C 荷重でモデル化する。

4. 荷重効果の組合せ

本研究ではすべての荷重を組合わせた(D+L+E)時を考える。各荷重による荷重効果を各着目点ごとに組合

キーワード：構造信頼性、荷重組合せ、Turkstra 則

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 tel.03-3817-1816 fax.03-3817-1803

わせる作業を行う。荷重効果として曲げモーメントと軸力のみを考えることにした。まず実荷重の確率分布からモンテカルロシミュレーション法で実荷重のサンプル値を発生させ、それを荷重効果に変換し、順に並べて時系列とする。つまり B-C 荷重モデルを作成する。

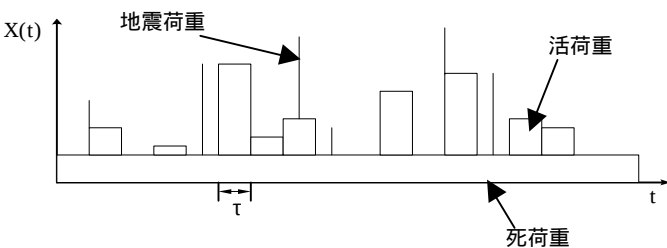


図-2 B-C 荷重モデルの例

これを 50 年間分、各荷重について行う。次に各荷重についての荷重効果を組合わせるのだが本研究では以下の 3 種類を行った。

(1) Turkstra 則

ある荷重が任意の時間で最大値をとる時、その時間で荷重組合わせの値も最大値をとるという考え方である。経験的な近似である。主荷重を地震荷重とする。

(2) 既往の研究

各荷重効果の時系列で最大の値をそれぞれ抽出し、足し合わせる。つまり極値同士の足し合わせである。

(3) 合理的な組合わせ

各荷重の荷重効果を各時間ごとで足し合わせ、その値の最大値を採用する方法。

5. 限界状態の設定

限界状態として終局限界状態の横倒れ座屈、局部座屈を考慮した。照査式は以下に示す。(1)が横倒れ座屈、(2)が局部座屈を考慮した照査式となっている。

$$\frac{P}{P_{cu}} + \frac{M}{M_{cu} \left(1 - \frac{n P}{P_{cr}} \right)} \leq 1 \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{P}{P_{cul}} + \frac{M}{M_{cul} \left(1 - \frac{n P}{P_{cr}} \right)} \leq 1 \dots \dots \dots (2)$$

v : 安全率 1.7, P: 軸方向力(kN), M: 作用する曲げモーメント(kN・m), P_{cu}: 断面の圧縮耐力(kN), P_{cul}: 局部座屈を考慮した圧縮耐力(kN), M_{cu}: それぞれ照査する断面の圧縮側の終局曲げモーメント(kN・m), M_{cul}: それぞれ照査する断面の圧縮側の終局曲げモーメント(kN・m), P_{cr}: オイラー座屈荷重(kN)

6. 信頼性評価

対象とする橋脚に先程設定した実荷重モデルを作用させモンテカルロシミュレーション法を行い信頼性解

析により各着目点ごと、各限界状態の破壊確率を算出し安全性評価を行う。モンテカルロシミュレーション法の繰り返し回数は 100 万回とし、各限界状態関数は先程示した 2 パターンとする。全てのパターンの破壊確率を算出し比較することで Turkstra 則の有効性を確認する。今回は着目点 No.1 における横倒れ座屈を限界状態とした時の Turkstra 則による結果を図-3 に示す。

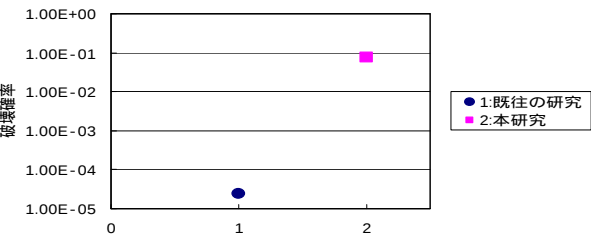


図-3 破壊確率

既往の研究の破壊確率は本研究と条件などまったく違うのであくまで、参考として載せた。既往の研究と比較してみるとあまりにオーダーが違うことがわかる。鋼製橋脚を信頼性評価した文献をみるとオーダーは 10⁻⁵ 前後なので検討が必要である。本研究の場合、100 橋脚作成したら約 7 橋脚は破壊することになり疑問を持つ。この点を改善し研究を進める必要がある。

7. おわりに

今回は、示した通り 1 パターンしか行えなかった。原因としてモンテカルロシミュレーション法の欠点でもある膨大な計算時間が必要という点がある。また破壊確率の値が大きすぎる問題についても今後、検討が必要である。三月の発表時には全ての結果を出し Turkstra 則の有効性の有無を検証できるであろう。

参考文献:

1) 菊地 武志 複数の限界状態を有する鋼製橋脚の信頼性評価 関東支部技術研究発表会 2003 年3月
2) 阪神高速道路公社・阪神高速道路管理支庁センター、阪神高速道路の橋脚荷重体系に関する調査研究 阪神高速道路公社橋脚荷重(HDL)委員会報告書 1996年12月
3) 土木学会構造工学委員会・構造設計国際標準研究委員会 活荷重実態報告書・国際標準に基づく構造物の設計法 2000年8月
4) 白木渡・山本宏・松原孝介 鋼製ラーメン橋脚の信頼性評価 構造工学論文集Vol.43A 1997 年3月
5) 星谷勝・石井清 構造物の信頼性設計法 鹿島出版会 1986年5月
6) 土木学会構造工学委員会・構造設計国際標準研究委員会 活荷重実態報告書・国際標準に基づく構造物の設計法 2000年8月
7) 土木学会 鋼構造物設計指針・PARTA 一般構造物