

活荷重シミュレーションを用いた主桁配置の影響による橋梁の信頼性評価

○中央大学 学生会員 星井 秀之

中央大学 正会員 佐藤 尚次

1.はじめに

近年ではわが国の経済不況の影響に伴い、使用目的・コスト等の制約条件のもと、少数主桁形式の採用機会が増加傾向にある。一般的に少数主桁の特性として、現行の荷重規定のもとでは多主桁形式より有利に作用すると言われている。このため効率的に荷重を支える事が出来るのでコスト削減につながると考えられる。しかし、「活荷重の幅員方向の配置規定」のもとら影響による構造物の信頼性という問題が浮き彫りになってくる。

そこで、本研究では少数主桁の特性を把握することを目的として、まず主桁配置の影響による信頼性評価を行い、次に少数主桁と多主桁について比較を行った。

2.解析手法

図-1 に示す解析モデルのように幅員 17.6m、支間長 40m の少数主桁橋をもとに車両の車重を集中荷重とみなし、車両 1 台が主桁の中央部に作用する曲げモーメント m_i の算出式を以下に示す。

$$m_i = p_i \times k_i \times y_i$$

(p_i :集中荷重, k_i :荷重分配係数, y_i :影響線縦距)

そして活荷重シミュレーションによって橋梁上に車両をランダムに発生させ、車両がN台載荷している時の主桁の中央部に作用する曲げモーメント M の算出式を以下に示す。

$$M = \sum_{i=1}^{i=N} m_i$$

以上により、活荷重シミュレーションから得られた実測値 M を M_s とし、 M_d を活荷重の設計曲げモーメント²⁾として活荷重どうしを比較することにより、性能関数 $Z = M_d - M_s$ において破壊するかどうかの判定を行う。そして、この操作を繰り返して行う事で、モンテカルロシミュレーション(MCS)から破壊確率を推定する。

活荷重列の不規則要因としては、車種・車重・車間距離・車種混入率・幅員方向の車両載荷位置等が挙げられる。本研究では、これらの確率特性値を阪神高速道路公団の観測データ⁴⁾をもとに決定し、大型車混入率が 32.5%・40%・60%時のシミュレーションを行う。また幅員方向の車両載荷位置については、図-1 の解析モデルに示してある荷重位置を標準荷重載荷位置とし、幅員方向の荷重変動については、標準荷重載荷位置からの変動を平均 0m、標準偏差 0.3m の正規分布に従うものとする。

3.桁配置の影響による信頼性評価

桁配置の影響を検証すべく、幅員方向の荷重を固定した場合と変動させた場合の 2 パターンで、シミュ

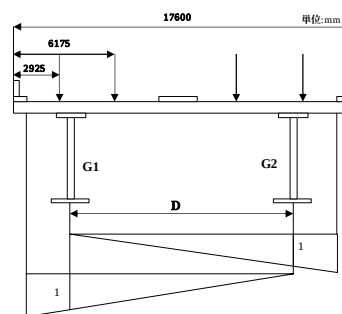


図-1 解析モデルと影響線

表-1 MCS による信頼性評価

主桁間隔(m)	Md(tf-m)	Pfa	Pfb
9.5	1195.75	Pf1=1.0×E-05 Pf2=3.0×E-05	Pf1=5.0×E-06 Pf2=2.0×E-05
10.5 (新十三大橋参照)	1132.48	Pf1=4.0×E-05 Pf2=5.0×E-05	Pf1=2.5×E-05 Pf2=4.5×E-05
12	1057.39	Pf1=9.0×E-05 Pf2=1.1×E-04	Pf1=4.0×E-05 Pf2=4.5×E-05

レーションを行い、少数主桁の桁配置の変化に伴う設計曲げモーメントと主桁の破壊確率を算出した。その結果を表-1 に主桁の設計曲げモーメントと MCS によって算出された破壊確率を示した。Pfa には荷重載荷位置を固定した際の結果が、Pfb には荷重載荷位置を変動させた際の結果を示した。そして Pf1・Pf2 は G1・G2 桁の破壊確率を示し、 M_d は設計曲げモーメントとする。また主桁配置については、実際の少数主桁橋である新十三大橋を参考に主桁間隔 10.5m を決定し、それを基に主桁配置の影響を検証すべく 9.5m・12m と設定した。

まず荷重載荷位置を固定した際のシミュレーション結果については、大型車混入率が 60%の時に初めて破壊が生じた。破壊が生じた場合は、橋梁に大型車が何台か載荷し、大型車の中でも特に車重の大きい車両が橋梁の中心部に載荷した時に破壊が起きることがわかった。また当然のこととして、主桁間隔を広く取ると主桁の影響線が 1 を超す領域が小さくなり、これに伴って主桁の設計曲げモーメント、主桁断面も小さくなることから、その影響で破壊確率が変化するかと考えられる。しかし主桁に作用させる車線毎の荷重の位置を固定したために、主桁を広くとることで、主桁に作用させる車線毎の荷重分配の影響が小さくなる。その結果、シミュレーションから得られた主桁に作用する曲げモーメントの実測値も小さくなったと考えられる。このことから主桁をどの位置においても Pf1・Pf2 は比較的均一な値になったと思われる。

次に幅員方向の荷重載荷位置を変動させた場合に

キーワード：少数主桁、活荷重シミュレーション、信頼性評価

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

については、表-1で示す破壊確率 P_{fb} の値となった。幅員方向の荷重位置が変動するということは、プラス・マイナスの両方に作用することがある。当初「変動要因の増加」がもたらす悪影響があるのではないかと考えたが、少なくともこの検討の範囲ではそうした影響はみられなかった。

4. 主桁の本数の違いにおける経済性評価

4.1 現行設計下での主桁の比較

主桁の本数の違いによる経済性評価として少数主桁と多主桁について比較を行った。具体的な検討内容としては、現行設計下での主桁の断面積と破壊確率の比較を行った。先の第3節では荷重荷重位置を固定した場合と変動させた場合の2パターンでシミュレーションを行ったが、この検討では大きな差異がみられなかった。そこで主桁の比較を行うにあたっては、幅員方向の荷重を固定してシミュレーションを行い、図-2に示す少数主桁と多主桁の解析モデルの比較を行うこととし、その結果を表-2に示した。少数主桁と多主桁の比較を行った結果、断面積の差は大きくなったが、破壊確率に関しては大きな差異が見られなかった。そこで、その算出された破壊確率を用いて破壊時費用を考慮した主桁の総費用の比較を行った。主桁の総費用の算出式を以下に示す。

$$C_t = C_i + P_f \times C_f$$

主桁の初期費用 C_i は鋼桁 80(万円/ton)とし、破壊時費用 $C_f = k \times C_i$ として、主桁の総費用 C_t の算出結果を図-3に示した。主桁の本数に関わらず、主桁の破壊確率が低い値に抑えられた為に主桁の破壊時費用 C_f の影響を受けることなく、初期費用 C_i の算出額が主桁の総費用 C_t に反映される結果となった。このため、破壊時費用を加味した主桁の総費用に関しては外部不経済の影響を示す値 $k=10\sim30$ を使用するのが通例であるが、 $k=10\sim30$ はもとより $k=200$ まで考えても図-3に示された結果となった。現行の設計法を用いて設計を行うと、少数主桁の総費用の方が多主桁の総費用より経済的であるという結果となった。

4.2 性能設計の観点からの主桁の比較

性能設計の立場から目標破壊確率を一致させるようにして、少数主桁橋と多主桁橋の主桁の重量の比較を行った。目標破壊確率に関しては、先の3節に示した桁配置の信頼性評価で算出した主桁間隔 10m 時の少数主桁の断面構成・破壊確率を用いることとした。また先の 4.1 節同様、幅員方向の荷重を固定してシミュレーションを行い、図-2に示す少数主桁と多主桁の解析モデルを用いた。多主桁橋の主桁の断面構成・目標破壊確率については、シミュレーションから出てくる荷重効果のヒストグラムをもとに、設定した破壊確率の目標値を超えないような主桁の設計曲げモーメントを算出し、断面決定を行った。ただし主桁の設計に関して、高欄、中央帯等については、主桁2本時の解析モデルと同様のものを使用することとし、各々の主桁の重量を算定した。その

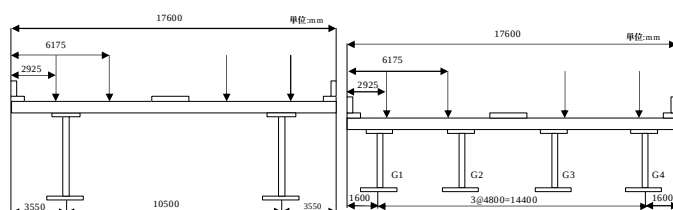


図-2 解析モデル

表-2 少数主桁と多主桁の比較①

	1-Flg.Pl	1-Web.Pl	1-Flg.Pl	A(cm ²)	Md(tf-m)	Pf
主桁2本 (D=10.5m)	46×2.2	320×1.6	85×5.0	1038.2	2927.51	5.0×E-05
主桁4本	耳主桁	45×2.2	220×1.1	84×3.4	626.6	1330.67
	中主桁	50×2.3	220×1.1	85×3.9	688.5	1525.7

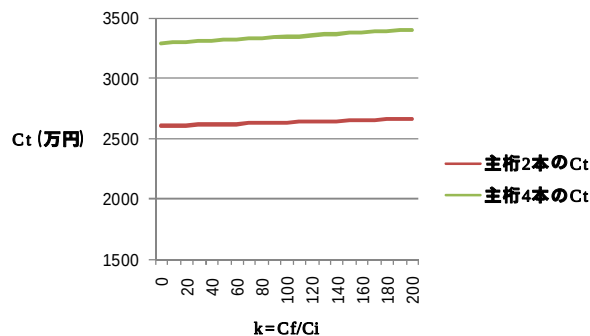


図-3 少数主桁と多主桁の比較②

表-3 少数主桁と多主桁の比較③

	1-Flg.Pl	1-Web.Pl	1-Flg.Pl	A(cm ²)	Md(tf-m)	重量 (tf)
主桁2本 (D=10.5m)	46×2.2	320×1.6	85×5.0	1038.2	2927.51	32.6
主桁4本	耳主桁	42×2.2	220×1.1	85×3.4	623.4	1289.68
	中主桁	48×2.4	220×1.1	82×4.3	709.8	1620.01

結果を表-3で示すように、目標破壊確率を統一とした際に弾性域内で現行の設計基準法を用いて主桁の設計を行うと、主桁2本では主桁4本の橋梁に比べて現行の荷重規定が有利なため、本研究で解析モデルでは少数主桁の方が多主桁の鋼桁の重量が約80%で同じ強度をもつという結果となった。

5. おわりに

少数主桁の特性を明らかにするために、本研究では、まず主桁配置の影響を検証するべく活荷重シミュレーションによって主桁の信頼性評価を行った。その結果、桁配置の影響が主桁の信頼性評価に影響を与えないということがわかった。

また現行設計下と性能設計の観点から少数主桁と多主桁の比較を行った結果、少数主桁の方が現行の設計基準法(幅員方向5.5mに主載荷荷重)では有利に作用する為、本研究で用いたモデルケースでは効率的に荷重を支え、かつ経済的であるという結果となったと考えられる。

<参考文献>

- 1) 星谷勝・石井清：構造物の信頼設計法
- 2) 成瀬勝武・鈴木俊男：橋梁工学(鋼橋編)・第4版
- 3) 白木渡・松保重之・高岡宣善：荷重の横分配を考慮した道路橋主桁の信頼性解析、構造工学論文集, Vol.34
- 4) 阪神高速道路公団設計荷重(HDL)委員会：阪神高速道路の設計荷重体系に関する調査研究、阪神高速道路公団・(財)阪神高速道路管理技術センター