

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 学生会員 石原 弘隆

中央大学 学生会員 中本 啓
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1.はじめに

近年鋼橋の合理化が進められ、主桁本数を減らした少数主桁の採用機会が増えている。それは少数大断面の主桁橋では構造が合理化され、現行の荷重規定(影響線や従載荷荷重規定)のもとでも有利で、経済性に優れていると考えられているからである。そこで本研究では、少数主桁橋が構造信頼性の観点からどのような特性をもっているのかを活荷重シミュレーション³⁾を用いて検討していく。また主桁の本数の違いにおける経済性評価として、破壊確率が等しい条件下での重量比較と、破壊時費用を考慮した際の主桁の総費用を推定して比較検討を行う。

2.解析モデルと解析手法について

図-1に解析を行った橋長40m、幅員17.6mの解析モデルを示す。

2.1 活荷重シミュレーション

この解析モデルをもとに車両の車重を集中荷重とみなし、車両が橋梁上に載荷した時の断面力を求めるには、桁への横分配率 k_i と主桁の影響線縦距 y_i が必要となり、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)

橋梁上に車両が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。

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

以上により、得られたシミュレーションの実測値Mを M_s とし、 M_d を設計曲げモーメント²⁾として性能関数 $Z = M_d - M_s$ において破壊するかどうかを判定する。この操作に、乱数を用いて繰り返し行う事で、モンテカルロシミュレーション(MCS)より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⁾をもとに決定した。車種については乗用車、中型車類、大型車類、セミトレーラーの計8種類を用いた。車重については、各々の平均重量、標準偏差の正規分布に従うものとした。大型車混入率については32.5%,40%,60%でシミュレーションを行い、車間距離については、実測値データの平均、標準偏差の対数正規分布に従うものとした。また幅員方向の車両配置については解析モデルに示したように固定として橋梁に車両を載荷させたため、幅員方向に車両は変動しないこととした。

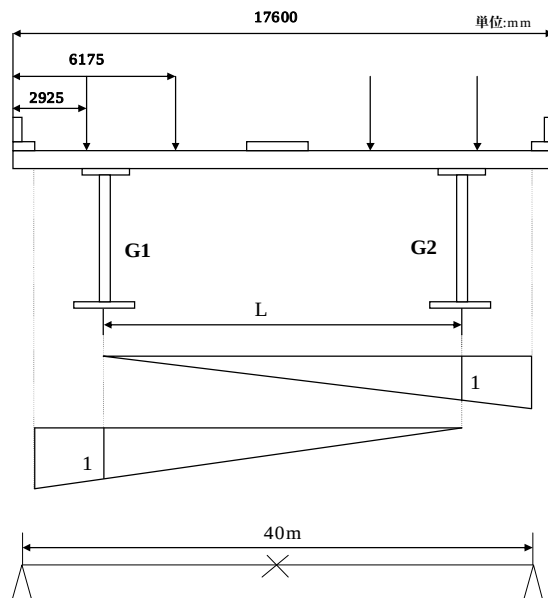


図-1 解析モデルと影響線

表-1 MCS による解析結果

主桁間隔(m)	Md(tf-m)	Pf
9.5	1195.75	Pf1=1.0×E-05
		Pf2=3.0×E-05
10.5	1132.48	Pf1=4.0×E-05
		Pf2=5.0×E-05
12	1057.39	Pf1=9.0×E-05
		Pf2=1.1×E-04

3.MCSによる解析結果と考察

表-1にMCSによって行った解析の結果を示す。ただし、Pf1,Pf2はG1,G2の破壊確率を示し、Mdは設計曲げモーメントとする。

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生じることがわかった。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を越す領域が小さくなり、これに伴って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、主桁を広く取ると主桁に作用させる車線毎の荷重を分配して得られるシミュレーションによる曲げモーメントの実測値も小さくなる。このことから主桁をどの位置においてもPf1,Pf2は同じようになったと考えられる。

4.主桁の本数の違いにおける経済性評価

4.1 破壊確率が等しい条件下での重量比較

主桁2本時における橋梁の特性を検証するため、比較対象として主桁4本の橋梁を設計し破壊確率を

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

同等にして主桁の重量を比較する。主桁 4 本時の解析モデルについては、図-2 に示し、解析結果については主桁 1 本当たりとして表-2 に示す。

今回主桁 2 本時の橋梁については、表-1 で示した主桁間隔 12m の解析結果を使用し、主桁 4 本時の橋梁についても同じ条件下の中でモンテカルロシミュレーションを行った際に主桁 2 本時(主桁間隔 12m)の破壊確率 ($P_f=1.1\times E-04$) となるように主桁 4 本の設計を行った。ただし主桁の設計に関して、床板、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。表-2 から分かるように、同じ破壊確率とした際に弾性域内で現行の設計基準法を用いて設計を行うと、主桁 2 本では現行の主桁 4 本の橋梁に比べて現行の荷重規定が有利なため、少数主桁の方が重量は小さく抑えられ、経済的であるといえる。

4.2 主桁の総費用の比較

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

主桁 2 本の時と主桁 4 本時の初期費用 C_i は鋼桁 30(万円/ton)とし、破壊時費用= $k\times C_f$ として、主桁の総費用 C_t の算出結果を表-3 に示す。

現行の設計基準法を用いて主桁の設計を行うと、弾性域内では主桁の破壊確率がかなり低い値に抑えられる。そのため、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。その結果第 1 章でも述べたように、少数大断面の主桁橋では構造が合理化され、経済性に優れているため、主桁 4 本時の橋梁における主桁の重量より小さく抑えることが可能になるといえるであろう。現在 LCC を算出する際に一般的に用いられている $k=10$ から 100 の間でも、表-4 が示すように主桁 2 本を用いた方が経済的であると示すことができる。

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、主桁 2 本と比較対象として主桁 4 本の道路橋を用いて検討を行った。解析結果から示すことのできる弾性域内での少数主桁の特性として、破壊確率を予め設定した際に少数主桁を採用する事が有効である。また現行の設計基準法(幅員方向 5.5m に主載荷荷重)が少数主桁の優位性を示すことは容易に推測できることであるが、破壊確率が小さく抑えられるために主桁の総費用 C_t には主桁の初期費用 C_i がそのまま反映された結果となった。そのため、主桁の総費用 C_t を比較しても少数主桁の方が経済性に優れている結果となったと考えられる。

本研究では、主桁に作用する荷重の幅員方向の荷重載荷位置を固定として、2 章で示した確率特性値を用いて活荷重シミュレーションを行って少数主桁の特性について検証を行ったが、車両の走行位置が横方向に変動した場合の主桁に作用する影響についても今後検証してみる必要があるだろう。

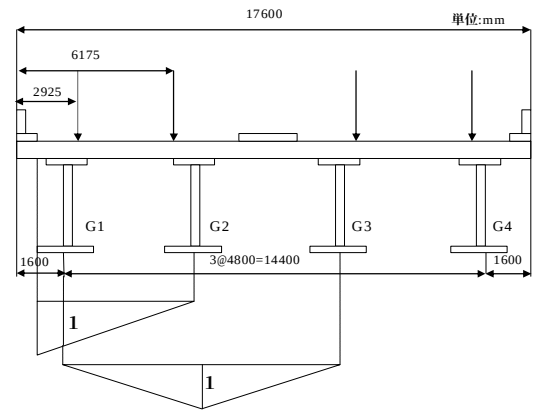


図-2 解析モデルと影響線

表-2 破壊確率が等しい条件下での重量比較

		1-Flg.Pl	1-Web.Pl	1-Flg.Pl
主桁2本		3.5×55	1.4×285	5.5×80
主桁4本	耳主桁	2.5×40	1.1×215	3.5×75
	中主桁	2.4×49	1.1×215	5.4×80
		A(cm^2)	Md(tf-m)	重量 (tf)
		1031.5	2703.75	32.3891
		599	1237.78	18.809
		786.7	1586.87	24.684

表-3 主桁の総費用の比較

		1-Flg.Pl	1-Web.Pl	1-Flg.Pl	
主桁2本		3.5×55	1.4×285	5.5×80	
主桁4本	耳主桁	2.5×40	1.1×215	3.8×75	
	中主桁	2.4×48	1.1×215	4.8×80	
		A(cm^2)	Md(tf-m)	Pf	Ct(万円)
		1038.5	2703.75	1.1×E-04	978.3
		621.5	1330.67	5.0×E-06	585.4
		735.7	1525.7	3.3×E-04	655.6

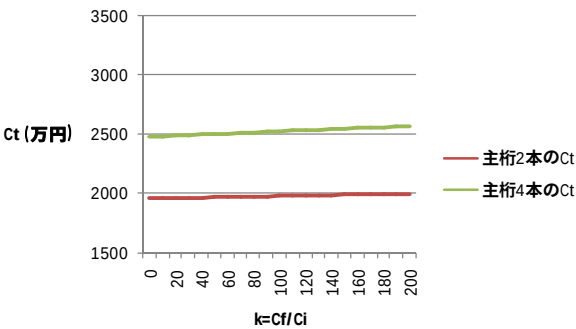


図-3 Ct と k の関係

<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