I-47　シミュレーションにもとづく道路橋設計活荷重の規定方法に関する考察

建設省北陸地建　正員　○柳橋則夫
東京大学工学部　正員　藤野陽三
東京大学工学部　正員　伊藤学

1．はじめに　道路橋の活荷重規定は，自動車荷重を線荷重と等分布荷重に置き換えている現行L荷重のように，安全性照査の便を考えてかなり単純化されたモデルが用いられる。現行L荷重では，橋梁上の車道巾，載荷長に応じ，荷重強度に多少変化をもたせているが，これは確率的配慮によるものである。

これまで，活荷重の統計的解析に関して数多くの研究が発表されてきたが，それらの大半は単純桁の曲げモーメントに注目し，理論的，シミュレーション技法によりスパン長の関数として換算等分布荷重を求めるものであった。しかし，活荷重によるせん断力，連続桁等の他の橋梁形式等の問題もあり，換算等分布荷重だけで活荷重を規定する考え方が妥当かどうか疑問が残る。現実には，いずれの国の道路橋活荷重規定も線荷重と等分布荷重の両者を用いている。載荷長に対し等分布荷重の値は低減し，線荷重の値は一定とする規定が多いが，この方式が適当であるかについてもまた疑問はある。

本研究は，活荷重規定には果たして線荷重と等分布荷重の双方が必要なのか，線荷重が必要だとしたらそれは載荷長の関数としなくてよいのか等の活荷重の規定方法を，シミュレーション技法を用いて考察するものである。具体的には，(1)シミュレーションにより自動車荷重列を作成し，(2)種々の橋梁形式の橋梁にその荷重列を通過させ，橋梁に作用する断面力（曲げモーメント，せん断力）の極大値を求め，(3)この値にもっとも適合する線荷重と等分布荷重の値を載荷長の関数として算出する　ことを行なう。

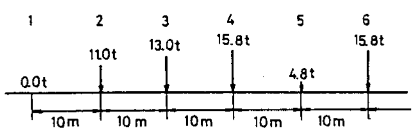

図1　荷重列の例

2．自動車荷重のモデル化　ここでは単純化させた自動車荷重のモデルを用いる。車両重量分布は，既往の実測結果をもとに，平均10t，変動係数0.68の対数正規分布とする。また，車両重量は1つの集中荷重で代表させ，車両間隔は，10mとする。ただし，車両の存在確率を0.9とする。この荷重列の長さを1kmとし，このような荷重列を50ケース作る。荷重列の一例を図1に示す。

3．断面力の算定　橋梁形式としては，単純桁，2径間連続桁，3径間連続桁，両端埋め込み桁，ゲルバー桁の5種を対象とし，橋長は20m～200m（20mきざみ）の10通りとする。1で求めた荷重列がこれらの橋梁上を通過した際の断面力を算定する。断面力としては，曲げモーメントのみならず，せん断力も求めるが，橋梁全域にわたって求めるのではなく，クリティカルな値を与える支点やスパン中央における値のみを求める。（図2）これらの断面力の平均と標準偏差を50回のシミュレーションから評価する。

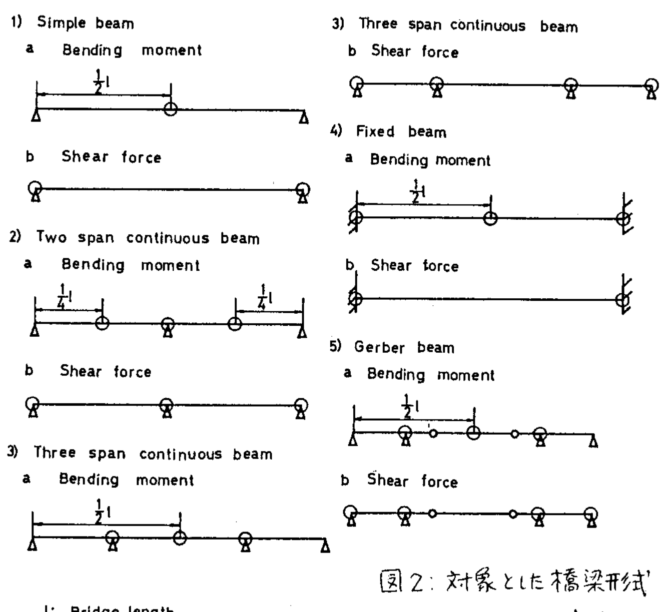

図2：対象とした橋梁形式
○印はモーメント，せん断力におけるチェックポイント

4．設計活荷重の設定　３で算出した最大断面力の平均や標準偏差などの統計量により設計活荷重を定める。この際，設計活荷重の関数形を　諸外国の例を参考にして，以下の様に仮定する。

(1) $P=0$　　$W=\alpha(1/L)^{\beta}$　　(2) $P=const$　　$W=const$

(3) $P=const$　　$W=\alpha(1/L)^{\beta}$　　(4) $P=kL+C$　　$W=0$

(5) $P=kL+C$　　$W=const$　　(6) $P=kL+C$　　$W=\alpha(1/L)^{\beta}$

ここで　P；集中荷重　W；等分布荷重　L；載荷長　α,β,k,C；定数

なお，(2)はドイツ，アメリカの規定に近く，(3)は日本，イギリスの規定に近い関数形である。

次に，上で示した６種類の設計活荷重の規定方法の１つ１つに対し，シミュレーションから求めた断面力（曲げモーメント，せん断力）の特性値$\bar{m}$，$\bar{m}+\sigma$，$\bar{m}+2\sigma$（$\bar{m}$：平均，σ：標準偏差）に十分近くなるように各係数値を決める。各係数値は

$$\sum_i (X_{s,i}-X_d)^2/X_{s,i}^2$$

ここで　$X_{s,i}$ はシミュレーションによる断面力，X_d は活荷重規定による断面力

が，最小となる値とした。このときの二乗平均誤差をRとする。表１に，このようにして求められた(1)～(6)の活荷重規定の値と，誤差値Rを示す。

表１を見ると，シミュレーションで算出した断面力に，平均，平均＋標準偏差，平均＋２標準偏差のいずれを用いても，誤差Rはほとんど変わらないことがわかる。そこで３つの誤差Rの平均誤差$\bar{R}$を，関数形の誤差とする。以下に誤差$\bar{R}$の小さい順に活荷重の規定方式を示す。

1　$P=kL+C$　　$W=const.$　　$\bar{R}=0.104$

2　$P=kL+C$　　$W=\alpha(1/L)^{\beta}$　　$\bar{R}=0.108$

3　$P=const.$　　$W=\alpha(1/L)^{\beta}$　　$\bar{R}=0.126$

4　$P=const.$　　$W=const.$　　$\bar{R}=0.154$

5　$P=0.0$　　$W=\alpha(1/L)^{\beta}$　　$\bar{R}=0.215$

6　$P=kL+C$　　$W=0.0$　　$\bar{R}=0.281$

L:Loaded length

規定方式	Stress	Concentrated load P(t/lane)	Uniform load W(t/m/lane)	Error R
(1)	$\bar{m}$	0.0	$29.846(1/L)^{0.610}$	0.213
	$\bar{m}+\sigma$	0.0	$43.457(1/L)^{0.660}$	0.215
	$\bar{m}+2\sigma$	0.0	$56.392(1/L)^{0.690}$	0.217
(2)	$\bar{m}$	26.008	0.958	0.152
	$\bar{m}+\sigma$	33.325	1.035	0.154
	$\bar{m}+2\sigma$	40.642	1.111	0.155
(3)	$\bar{m}$	29.041	$0.930(1/L)^{0.001}$	0.119
	$\bar{m}+\sigma$	36.150	$1.009(1/L)^{0.001}$	0.127
	$\bar{m}+2\sigma$	43.259	$1.089(1/L)^{0.001}$	0.133
(4)	$\bar{m}$	0.492L+20.972	0.0	0.296
	$\bar{m}+\sigma$	0.531L+27.852	0.0	0.279
	$\bar{m}+2\sigma$	0.571L+34.733	0.0	0.268
(5)	$\bar{m}$	-0.170L+34.286	1.205	0.102
	$\bar{m}+\sigma$	-0.183L+42.217	1.301	0.103
	$\bar{m}+2\sigma$	-0.196L+50.150	1.396	0.106
(6)	$\bar{m}$	-0.167L+33.314	$1.276(1/L)^{0.010}$	0.105
	$\bar{m}+\sigma$	-0.180L+41.167	$1.376(1/L)^{0.010}$	0.107
	$\bar{m}+2\sigma$	-0.192L+49.020	$1.477(1/L)^{0.010}$	0.111

$\bar{m}$: Average　　σ^2: Variance

表１：各設計活荷重規定方式に対するP，W値とその誤差

以上より，集中荷重を載荷長の一次関数とし，等分布荷重を載荷長にかかわらず一定とする規定方式が最も誤差が小さいことがわかった。なお，(6)の方式の方が(5)よりも関数形としては自由度が高いにもかかわらず，誤差$\bar{R}$が大きくなるのは数値計算上の問題と考えられる。集中荷重か等分布荷重のいずれかを０とする場合には，誤差が大きいことより，設計活荷重には両者が必要であることが上の結果よりわかる。

5．おわりに　本研究の結果は現行の設計活荷重の考え方とは異なる規定となったが，これは本研究のシミュレーションの結果を用いて６種類の関数形の中から得られたものであり，これがただちに現行の設計活荷重の規定方法を否定するものではない。本研究の成果は，設計活荷重を設定する方法のひとつを示し得たことにある。

なお，車両の存在確率が０．９以外の場合，他の関数形を加えて検討した場合，橋梁の構造形式を増した場合などを検討するなど，まだまだ研究に改善の余地があり，それらについては今後一層の検討を要する問題であると思われる。

参考文献：　中川建治；土木学会論文集 No.127 (1966), No.183 (1970), No.204 (1972)

西村 昭；土木学会論文集 No.35 (1956), No.43 (1957)，第６回道路会議論文集