

道路橋設計活荷重の規定方法に関する確率論的考察

A STATISTICAL CONSIDERATION ON HIGHWAY TRAFFIC LOAD
MODEL FOR DESIGN CODE

杉山俊幸* 藤野陽三** 伊藤 学***

By Toshiyuki SUGIYAMA, Yozo FUJINO and Manabu ITO

The way to prescribe the highway traffic load for design code is discussed based on computer simulations. Simulation of traffic loads is carried out with inclusion of the effect of the congested traffic flow passing over bridges, and maximum values of bending moment and shear force caused by traffic loads are calculated for various types of superstructures and span length of bridges. It is found that both a concentrated load and a uniform load are indispensable for modeling the highway traffic loads. The design value of a concentrated load may be desirable to be determined as the function of loaded length of bridges, on the other hand, that of a uniform load may be suitable to be taken as a constant regardless of loaded length. And the result shows that these two design values should be estimated taking account of the effect of the congested traffic flow.

1. はじめに

道路橋に作用する種々の荷重の中で主要なものは自動車荷重である。この自動車荷重は、車両重量のばらつき・橋面への載荷状態の多様性等の理由によりかなり変動性の高い確率変量であり、その特性を正確に把握することは難しい。従って、自動車荷重を適切にモデル化し、設計計算に便利な設計活荷重を設定することは容易でない。一般に道路橋の活荷重規定には、自動車荷重を線荷重と等分布荷重に置き換えている我が国の現行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ている。現行L荷重では、橋梁上の車道幅・載荷長に応じ、荷重強度に多少変化をもたせている。また、諸外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おり、等分布荷重の値は載荷長の増加に伴って低減し、線荷重の値は一定とする規定を採用しているものが多い。これらは、確率論的配慮によるものである。

活荷重を確率論的に取り扱った研究はこれまでに数多くなされている。これらを大別すると以下のようになる。

- (1) 活荷重の統計的性質（平均・分散）から、応答の統計的性質（平均・分散・極値）を理論的に求め、自動車荷重により橋梁内に発生する断面力を求める方法。^{1)~7)}
- (2) 自動車重量の統計的性質と車積順位の確率論的性質に着目した自動車荷重列モデルを作成して橋梁上を走行させ、その際に橋梁内に発生する応力より設計活荷重を決定する方法。^{8)~11)}

* 工博 山梨大学助教授 工学部土木工学科 (〒400 甲府市武田4丁目3-11)
 ** Ph.D. 東京大学助教授 工学部土木工学科 (〒113 東京都文京区本郷7丁目3-1)
 *** 工博 東京大学教授 工学部土木工学科 (〒113 東京都文京区本郷7丁目3-1)

(3) 実際の道路の、できるだけ交通量が多くかつ大型車混入率の高い地点・時間帯における路面上の自動車列の写真を撮影し、これを基に車両配列図を作成する。そして、その車両間隔をつめることにより渋滞時の活荷重状態を調べ、換算等分布荷重を決定する方法。^{12), 13)}

しかしながら、(1)の研究においては、活荷重が橋梁上を移動し橋梁にとって最も厳しい位置にくる時が必ずあることを考慮していないため、応答の平均が過小に評価される傾向がある。また、(2)、(3)の研究においては、長スパンでも短スパンでも橋梁上に車両が満載される確率を同じにとっているため、長スパンの橋梁では活荷重を過大に、短スパンの橋梁では過小に評価する傾向がある。さらに、(1)、(2)、(3)ともに主として単純桁での曲げモーメントに着目した解析であり、換算等分布荷重をスパン長の関数として求めることが中心となっている。現実には、連続桁・ゲルバー桁等の構造形式も存在し、また、活荷重によるせん断力も安全性照査の対象となっている。従って、単純桁での曲げモーメントより算出される換算等分布荷重だけで活荷重を規定する従来の考え方が妥当であるかどうか疑問が残る。すなわち、従来の研究では設計活荷重を線荷重と等分布荷重にモデル化するのが適切かどうか、両者の値をどのように決めるのが適当か（載荷長の関数とする方式が妥当か）というようなことにはほとんど関心が向けられていない。

本研究は、道路橋の活荷重規定には果して線荷重と等分布荷重の両者が必要なのか、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、また、線荷重と等分布荷重の設計値の決定に際して自動車荷重列が橋梁上を移動するという、いわゆるフローとしての影響を考慮する必要があるのか等の活荷重規定方法をモンテカルロ法を用いた数値実験により考究するものである。具体的には、

- (1) モンテカルロ法により自動車荷重列を作成する。
- (2) 種々の構造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る）
- (3) この値に最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
ことを行う。

2. 自動車荷重のモデル化

近年、活荷重の実態調査が阪神高速道路公団等で精力的に実施され、車両重量・車両間距離などに関する詳細なデータが蓄積されてきている。¹⁴⁾従って、これらのデータを用いて荷重列を作成するのが望ましいが、数値実験上の容易さから本研究では、日本の現行設計活荷重が20 tトラック1台と15 tトラックより構成される荷重例より定められている事を参考にして、以下のように荷重列を作成する。

まず、荷重列を構成する車両の種類は大型貨物車のみとする。次に、車両重量は単一の確定量とせず、対数正規分布を有する確率変量としてモデル化する。その平均値・変動係数は、車両諸元表および文献15)を参考にして各々10 t、0.68とする。なお実際の車両重量分布は必ずしも対数正規分に完全にあてはまるものではないが、簡単なモデルによる解析を優先し、このような仮定を用いる。また、その主旨から車両は一つの集中荷重に置き換えることにする。次に、車両間隔は10 mとする。本研究では車両占有長を0 mとしているため、この値は既往の研究と比較し大きくなっている。

以上より、10 m間隔で平均10 t、変動係数0.68の集中荷重が並ぶ荷重列ができるが、これは10 tトラックが純間隔1 mで並んだ渋滞状態に対応する。この状態の生起確率は極めて低く、この荷重列を使うことは荷重を過大に評価することになる。特に長スパンの橋梁で全長にトラックが満載される可能性は小さいことより、スパンが長くなるほどその傾向が大きくなる。そのためここでは、長スパンの橋梁ほど車両の満載される確率が小さくなるように、車両の存在確率 $p (< 1)$ なるパラメータを導入する。車両の存在確率 p とは、ある車両の10 m後に次の車両がある確率である。この p を導入すれば、たとえば、20 mのスパンで車両が満載される確率は p^2 であり、200 mスパンでは p^{20} である。 $p^{20} < p^2$ であり、 p によって前記の現

象をある程度まで取り入れることができる。本研究では、主観的ではあるが、主として $p = 0.9$ の場合について解析を行うことにする。

3. 断面力の算出

3.1 橋梁の構造形式

2.で作成した荷重列を通過させる橋梁の構造形式として、以下の5種類を考える。

- 1)単純桁 2)2径間連続桁 3)3径間連続桁
4)両端埋込桁 5)ゲルバー桁 [図1参照]

既往の研究では単純桁が中心となっているが、実際の橋梁では種々の構造形式が採用されていることを考え、本研究では対象とする構造形式を多くしている。なお、2径間連続桁・3径間連続桁・ゲルバー桁に関しては、そのスパン割について種々の組み合わせが考えられるが、ここでは実際の橋梁において最も一般的、平均的と考えられるスパン割である1:1、3:5:3、2:1:3:1:2を採用する¹⁶⁾。また、両端埋込桁は実際の橋梁では見かけないが、ラーメン橋を想定して導入した構造形式である。橋長については、20~200mまでを対象とし、20m間隔に10種類の橋長を考えることにする。

3.2 断面力の計算

2.で作成した荷重列を前述した5種類の構造形式の橋梁上を通過させたときに生じる断面力(曲げモーメントとせん断力)の最大値を求める。

従来の研究では曲げモーメントのみを取り扱ったものが多いが、実際の設計においては曲げモーメント・せん断力共に照査の対象となっていることを考慮すると、両者を用いて設計活荷重を算出するのが妥当と考えられる。また、実際の設計では断面力の大きい部分(点)を設計の対象としていることから、断面力は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2参照)。こうして算出される断面力の最大値の平均値と標準偏差を50回のシミュレーションから評価する。シミュレーション回数に関しては、50回でほぼ安定した結果が得られたため50回としている。なお得られた平均値や標準偏差は、橋梁をはりに置き換え、荷重列を一方から通過させて算出した値であるから、その値は1車線当たりのものである。

4. 設計活荷重の設定

4.1 設計活荷重の種類

設計活荷重としては、前述したように世界各国で線荷重と等分布荷重の組み合わせが用いられていることから、本研究でもその両者を用いるものとする。

4.2 設計活荷重の載荷方法

設計活荷重の載荷方法は、現行の道路橋示方書で定められた通り橋梁に最も不利な断面力が発生するように載荷する。なお、現行示方書と同様、等分布荷重を載荷した部分の長さの和を載荷長という。

4.3 設計活荷重の規定方式

線荷重・等分布荷重とともに載荷長の関数として取り扱うことにする。その関数形として以下の6通りを

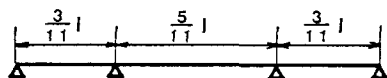
1) Simple beam



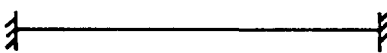
2) Two span continuous beam



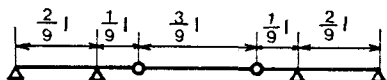
3) Three span continuous beam



4) Fixed beam



5) Gerber beam



l: Bridge length

図1 対象とする橋梁の構造形式

考える。

- | | | | |
|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
| ① $P = 0$ | $W = \alpha (1/L)^\beta$ | ② $P = \text{Const.}$ | $W = \text{Const.}$ |
| ③ $P = \text{Const.}$ | $W = \alpha (1/L)^\beta$ | ④ $P = kL + C$ | $W = 0$ |
| ⑤ $P = kL + C$ | $W = \text{Const.}$ | ⑥ $P = kL + C$ | $W = \alpha (1/L)^\beta$ |

ただし、 P ：線荷重、 W ：等分布荷重、 L ：載荷長、 α 、 β 、 k 、 C ：定数

なお、 $P = kL + C$ は文献 17) を参考にして決め、 $W = \alpha (1/L)$ はイギリスの HA-loading を参考にして決めた。また、 $P = 0$ や $W = 0$ は等分布荷重または線荷重のどちらか一方があればよいのではないかという考え方もありうるとして関数形に加えた。また、米国では曲げモーメントをチェックするときとせん断力をチェックするときで線荷重の値を変えていることを参考にして、曲げモーメント用とせん断力用に別々に設計活荷重を定める場合と、曲げモーメント用とせん断力用の両方に適用できる設計活荷重を定める場合の 2 通りについて考察を加える。

4.4 最適な設計活荷重規定方式の決定方法

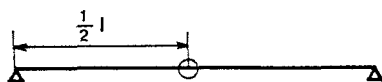
前述した 6 種類の関数形のうちのどれを採用するかを以下のプロセスにより決定する。

- (i) シミュレーションにより算出された最大断面力のデータを用い、最小二乗法により各々の関数に含まれる係数の値を算出する。
- (ii) その係数を用いたときの設計活荷重によって橋梁内に発生する断面力と実際の（シミュレーションより求められた）断面力のデータとの差を求める。この差を誤差と定義する。
- (iii) 誤差が最小となる関数形を最適な規定方式とする。

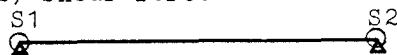
なお、データは種々の構造形式・橋長を対象として算出するため、各構造形式の使用頻度・支間長の適用限界等を考慮して重み付けを行う必要がある。しかしながら、そのための資料は必ずしも十分ではないため本

1) Simple beam

a) Bending moment

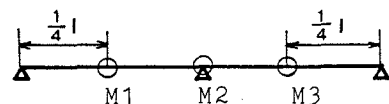


b) Shear force

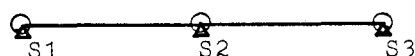


2) Two span continuous beam

a) Bending moment

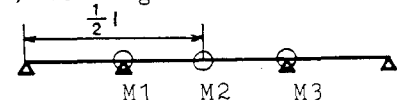


b) Shear force



3) Three span continuous beam

a) Bending moment



l: Bridge length

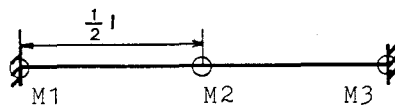
3) Three span continuous beam

b) Shear force

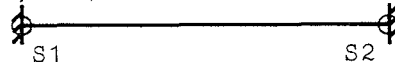


4) Fixed beam

a) Bending moment

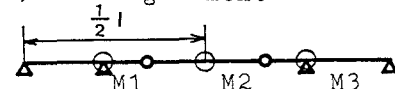


b) Shear force



5) Gerber beam

a) Bending moment



b) Shear force

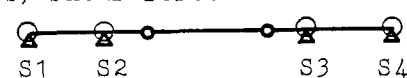


図 2 最大断面力を算出する点（○印）

研究では文献 18)、19) を参考にして、表 1 において○印をつけた橋梁形式・橋長のデータを一様の重みで用いることにする。

以下に、4.3 の⑥の場合の各係数値を求める方法を示す。

誤差 R を次のように定義する。

$$R = \sum_{i=1}^n (M_i - M_o)^2 \dots\dots\dots(1)$$

- ただし、n : データ数 M_i : シミュレーションにより算出される断面力
- $M_o = A_i W + B_i P$: 設計活荷重による断面力 $\dots\dots\dots(2)$
- $P = k L_i + C$: 線荷重、 $W = \alpha (1/L_i)^\beta$: 等分布荷重
- A_i : 等分布荷重を載荷する部分の影響線の面積
- B_i : 線荷重を載荷する部分の影響線の値
- L_i : 載荷長

この(1)式の誤差 R を最小にするような k、C、 α 、 β を最小二乗法を用いて決定する。

次に、求められた k、C、 α 、 β を(2)式に代入して算出される設計活荷重を載荷したときに生じる断面力 M_o を用いて、誤差 R を新たに次式のように定義する。

$$R = \sqrt{\{ \sum_{i=1}^n (1 - M_o/M_i)^2 \} / (n - 1)} \dots\dots\dots(3)$$

4.3 の①～⑤については、⑥で k、C、 α 、 β のひとつ、もしくは幾つかを 0 とおけば、上記と同様の解析となる。

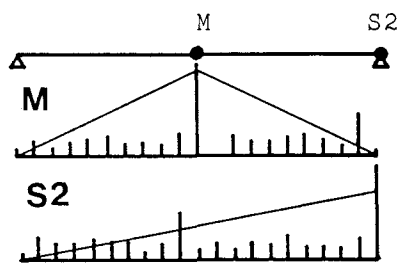
5. 数値実験結果および考察

5.1 断面力が最大となる載荷状態

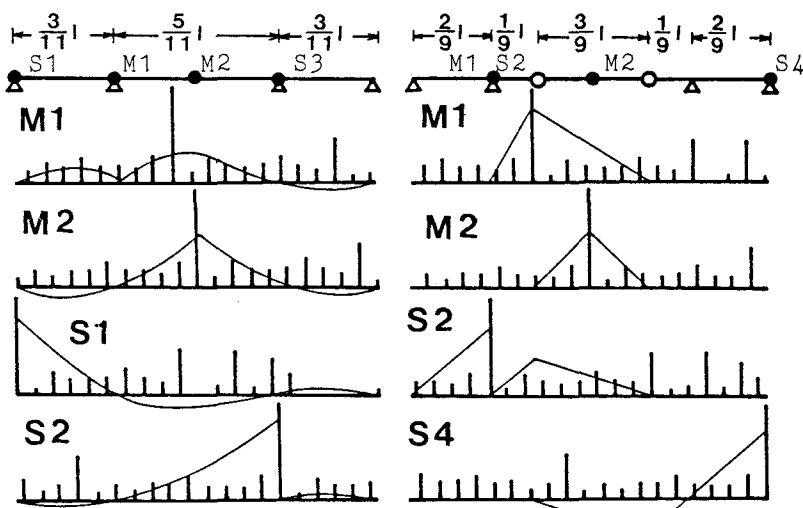
図 3 は、1 個の線荷重に置き換えられた車両が 10 m 間隔で列を成して単純桁・3 径間連続桁・ゲルバー桁形式の橋梁（スパン 200 m）上を移動する場合に、断面力（曲げモーメント・せん断力）が最大となる時

表 1 橋梁の構造形式・橋長に関するデータの使用状況（Case-1）

構造形式	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
単 純 桁	○	○	○	○						
2 径間連続桁	○	○	○	○	○	○				
3 径間連続桁			○	○	○	○	○	○	○	○
両端埋込桁	○	○	○	○	○					
ゲルバー桁	○	○	○	○	○	○	○			



(a) 単 純 桁



(b) 3 径間連続桁

(c) ゲルバー桁

図 3 断面力が最大となる時の載荷状態（●：チェックポイント）

の載荷状態の一例を示したものである。スパン割り、断面力のチェックポイントは図中に示してある。なお細実線は、各チェックポイントにおける断面力の影響線である。これより、チェックポイントにおける影響線縦距が最大である位置を重い大型貨物車が通過するとき断面力が最大となっていることがわかる。このことは、著者の一人らが解析的手法を用いて既に示しているように、活荷重の評価においては、自動車荷重列を橋梁上にランダムに発生させるだけでなく、フローとして考慮する必要があることを示唆している。また、線荷重あるいは等分布荷重のみでは、断面力が最大となるときの荷重状態を十分に評価できないことも図3から推測できよう。

5.2 最適な荷重規定方式

表1に示されたデータを使用したときの①～⑥の規定方式に関する誤差Rを示したのが図4(a)～(c)である。同図(a)、(b)は各々曲げモーメント用とせん断力用に別々の設計活荷重を定めた結果を、同図(c)は両者共通の設計活荷重を定めた結果を示したもので、横軸には各規定方式を、縦軸には(3)式により求められる誤差Rをとっている。また各図には、データとして最大断面力の平均値 m を用いた場合、 m に標準偏差 σ を加えた $m+\sigma$ および $m+2\sigma$ を用いた場合の3通りについて、各規定方式に関するRが示されている。これらの図より以下のことがわかる。

- (1) ①～⑥の各規定方式の誤差の大小関係は、用いるデータの種類(m 、 $m+\sigma$ 、 $m+2\sigma$ のいずれを用いるか)に関わらずほぼ同様の傾向を示している。すなわち、設計活荷重を規定する各関数形の誤差の値の大小関係は用いるデータの種類にさほど敏感ではない。
 - (2) 曲げモーメントのみを対象とする設計活荷重の規定方式では、②、⑤、⑥の方式の誤差が小さい。
 - (3) せん断力のみを対象とする設計活荷重の規定方式では、②、③、⑤、⑥の方式の誤差が小さく、この4つの規定方式の間の差はほとんど認められない。
 - (4) 曲げモーメント・せん断力の両者共通を対象とする設計活荷重の規定方式では、②、⑤、⑥の方式の誤差が小さい。
 - (5) 曲げモーメントのみ、せん断力のみ、曲げモーメント・せん断力の両者共通のいずれを対象とする場合も、線荷重もしくは等分布荷重のどちらか一方を0とする場合には、誤差が大きくなっている。すなわち、設計活荷重には線荷重と等分布荷重の両者が必要である。
- 以上より、①～⑥の規定方式のうち、②、⑤、⑥の誤差が相対的に小さいことがわかる。そこで、これら

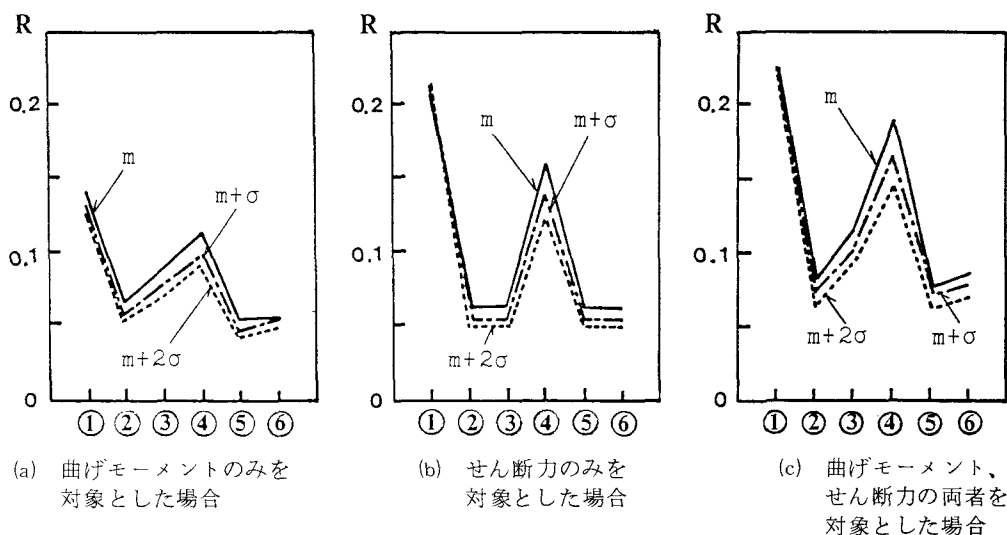


図4 6種類の規定方式の誤差R (Case-1)

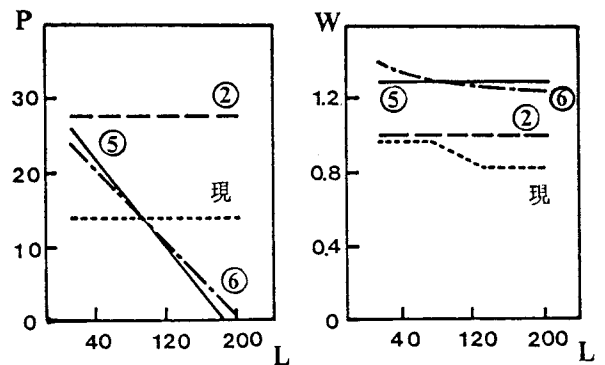
3つの方式により規定される設計活荷重と載荷長の関係調べてみる。図5は、横軸に載荷長を、縦軸に設計活荷重の線荷重 P あるいは等分布荷重 W をとって両者の関係を調べたものである。図5(a)は曲げモーメントのみを対象とした場合、図5(b)はせん断力のみを対象とした場合、図5(c)は曲げモーメントとせん断力の両者を対象とした場合を示している。なお、図中の点線は、現行道路橋示方書の活荷重(L 荷重)規定による値を示している。図4からは正確に判読できないが、誤差 R が最小となっているのは⑤の規定方式であることを考慮に入れると、図4、図5より次のことがいえる。

- (1) 曲げモーメントのみを対象とする場合には、線荷重 P は載荷長 L の増加に伴い減少させ、等分布荷重 W は載荷長にかかわらず一定とする方式の誤差が小さくなっている。
- (2) せん断力のみを対象とする場合も曲げモーメントのみを対象とする場合と同じ方式の誤差が小さくなっている。しかし P に関しては、 L の増加に伴う P の値の減少の割合は極めて小さく、載荷長に関わらず一定としてもよいとみなせる。

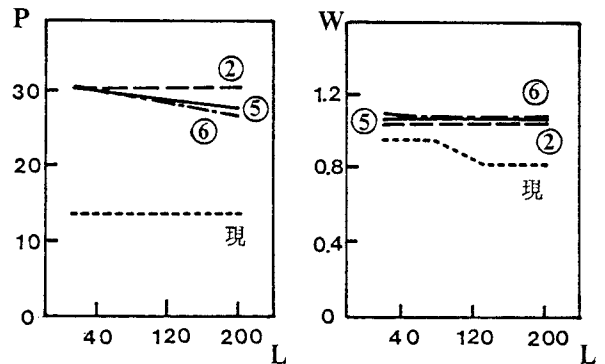
- (3) 曲げモーメント、せん断力の両者を対象とした場合には、曲げモーメントのみを対象とした場合とほぼ同じ傾向を示している。これは、両者共通の設計活荷重の規定方式が、せん断力よりも曲げモーメントの決め方に対して敏感であることを表わしているといえる。その理由については今後検討が必要である。

なお、図5(a)、(c)において載荷長が 150 m 以上のときに、⑤、⑥の規定方式における線荷重 P の値が極めて小さく、場合によっては負となっている。これは、用いているデータの中に実際に載荷長 L が $L \geq 150$ となるものがないためと考えられる(表1参照)。この場合、載荷長の最大値は3径間連続桁の約 145 m 。すなわち、橋長としては $20 \sim 200\text{ m}$ の範囲を扱っているものの、単純桁では $20 \sim 80\text{ m}$ 、両端固定桁では $20 \sim 120\text{ m}$ のデータを用いていることより、載荷長が $150 \sim 200\text{ m}$ となることはこの場合の数値実験では生じないためと考えられる。

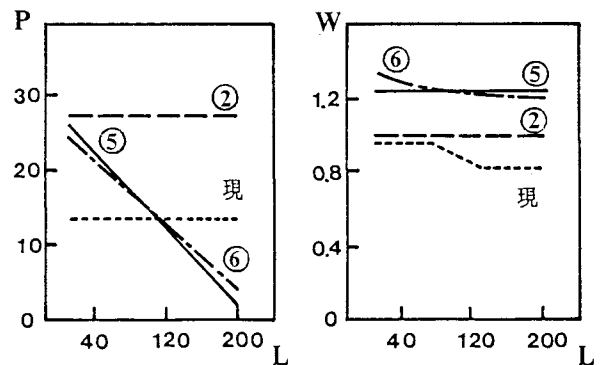
以上より、曲げモーメント用とせん断力用の別々の設計活荷重を設定する方がデータへの適合性は良いこと、曲げモーメント用・せん断力用および両者共通用いづれの規定方式も、線荷重は載荷長の増加に伴い減少させ、等分布荷重は載荷長にかかわらず一定とする方式がよいこと、ただしせん断力用の規定方式は、線



(a) 曲げモーメントのみを対象とした場合



(b) せん断力のみを対象とした場合



(c) 曲げモーメント、せん断力の両者を対象とした場合

図5 ②、⑤、⑥の規定方式における線荷重 P [ton/lane]、等分布荷重 W [ton/m/lane]と載荷長 L [m]の関係 (Case-1) [現: 現行 L 荷重規定]

荷重・等分布荷重ともに載荷長にかかわらず一定としても誤差はさほど大きくならないことが明らかとなった。これらの結果が現行L荷重規定と大きく異なる点は注目に値する。なお、実際の設計を考えると、曲げモーメント用とせん断力用で設計活荷重値を変えることは、その作業を煩雑にすることにもなりかねない。従って、この点に関してはさらに議論を重ねていく必要がある。

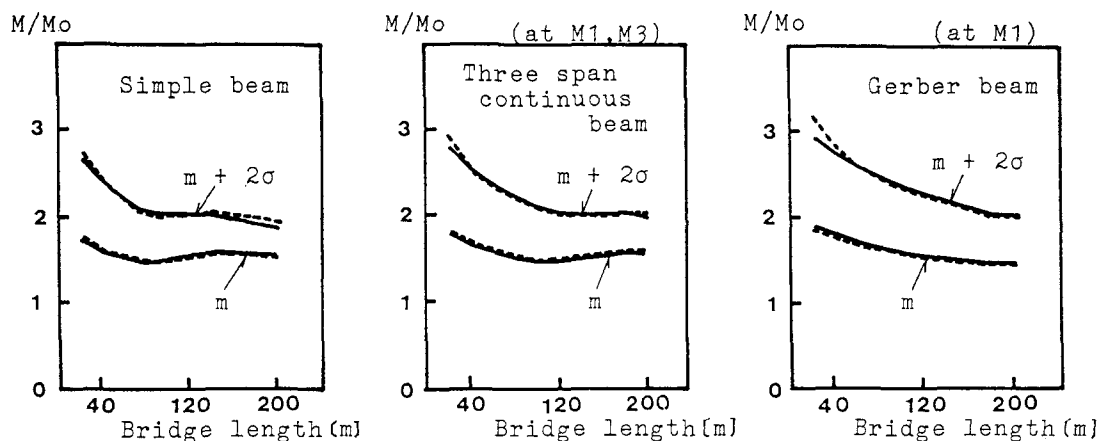


図 6 (a) 現行 L 荷重より算出される曲げモーメント M_o と数値実験より算出される曲げモーメント M の比 M/M_o と橋長の関係
 ————— 曲げモーメント、せん断力の両者を対象とした規定
 - - - - - 曲げモーメントのみを対象とした規定

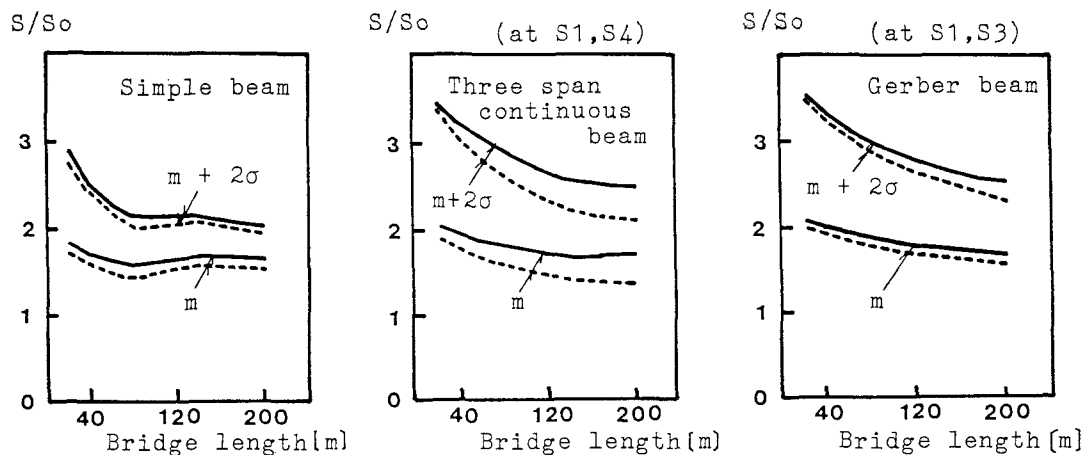


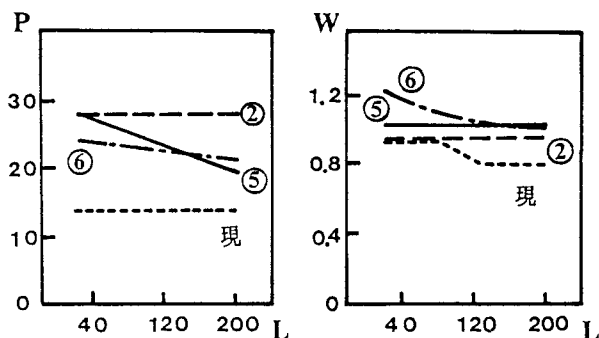
図 6 (b) 現行 L 荷重より算出されるせん断力 S_o と数値実験より算出されるせん断力 S の比 S/S_o と橋長の関係
 ————— 曲げモーメント、せん断力の両者を対象とした規定
 - - - - - せん断力のみを対象とした規定

図5からわかるように、数値実験の結果得られた等分布荷重の値は、現行L荷重の値と比較して大きな値となっている。これは自動車荷重例を大型貨物車のみを対象として作成していること、および現行L荷重の値に衝撃を含ませ

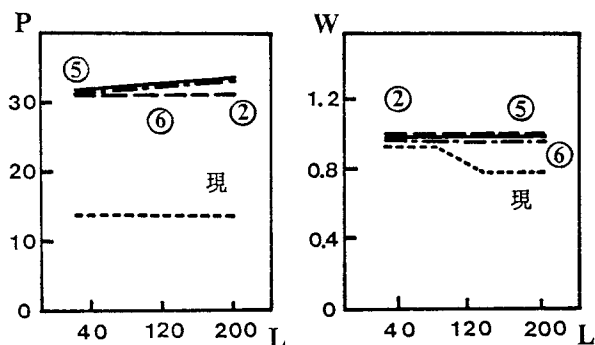
ていないことに起因していると考えられる。参考のため、現行L荷重（衝撃を含まず）より算出される曲げモーメント M_o 、せん断力 S_o と、数値実験により最適との結果を得た⑤の規定方式（曲げモーメント・せん断力共通用）を用いた設計活荷重より算出される曲げモーメント M 、せん断力 S との比 M/M_o および S/S_o と橋長との関係の一例を図6に示してある。断面力を算出した点は、図2に示した中の数点である。なお同図には、シミュレーションより求められる最大断面力の平均値 m を用いた場合と平均値に標準偏差を加えた $m+2\alpha$ の場合を描いてある。また、曲げモーメントのみ、あるいはせん断力のみを対象とした規定方式により算出した値を図中に点線で示してある。これより、曲げモーメントに関しては、曲げモーメントのみで規定してもせん断力と共通で規定してもさほど差が生じていないことがわかる。一方せん断力に関しては、曲げモーメントと共通の規定方式

表2 橋梁の構造形式・橋長に関するデータの使用状況（Case-2）

構造形式	20	40	60	橋 80	100	長 120	〔m〕 140	160	180	200
単 純 桁	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2 径間連続桁	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3 径間連続桁	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
両 端 埋 込 桁	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ゲルバー 桁	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○



(a) 曲げモーメントのみを対象とした場合



(b) せん断力のみを対象とした場合

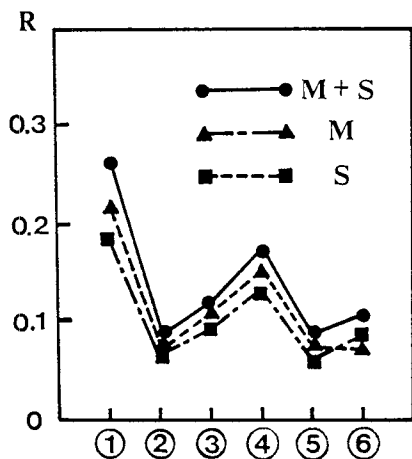
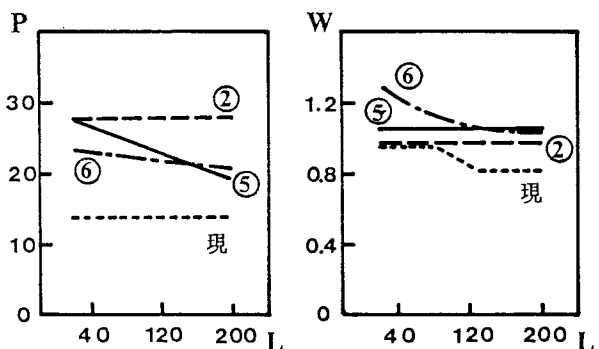


図7 6通りの規定方式に関する誤差R (Case-2)



(c) 曲げモーメント、せん断力の両者を対象とした場合

図8 ②、⑤、⑥の規定方式における線荷重 P 〔ton/lane〕等分布荷重 W 〔ton/m/lane〕と荷重長 L 〔m〕の関係（Case-2）〔現：現行L荷重規定〕

をとる場合は、せん断力のみで規定する場合と比較して過大に活荷重を評価することになるといえる。

5.3 使用するデータの重み付けと最適な規定方式

図7は、①～⑥の規定方式の誤差Rの大小関係が、各橋梁の構造形式の使用頻度・橋長の適用限界等を考慮したデータの重み付けの違いに対して敏感であるかどうかを調べたものである。用いたデータは、表2に示すようにすべての構造形式の全橋長に関するもので、誤差Rはシミュレーションより求められる最大断面力の平均値を用いて求めている。これより前述した結果がデータの重み付けの違いにより本質的に異なることはないといえる。ただし、すべての構造形式の全橋長に関するデータを用いた場合には、線荷重、等分布荷重ともに載荷長にかかわらず一定値とする②の規定方式の誤差が、⑤の方式とほぼ同程度となっている。図8は、表2に示したデータを用いた場合について、図5と同様、載荷長と線荷重Pおよび等分布荷重Wとの関係を示したものである。これより、載荷長が大きいデータも使用する場合には、⑤の規定方式における線荷重Pの値は載荷長の増加に応じて図5の場合ほど著しく低減させる必要がないことがわかる。また、②の規定方式の誤差が小さくなっていることから、載荷長が大きい場合も含めて考えると、線荷重、等分布荷重共に載荷長にかかわらず一定とする規定方式が考えられてもよいといえる。

なお、図には示さなかったが、橋上の車両存在確率 p の値の仮定の違いにより①～⑥の規定方式に関する誤差の大小関係が、 $0.7 \leq p \leq 1.0$ の範囲内で入れ替わることはないことが確かめられている。

6. ま と め

道路橋の活荷重規定には線荷重と等分布荷重の両者が必要かどうか、必要な場合には載荷長とどのような関数関係にするのがよいのか等に関し、モンテカルロ法を用いた数値実験により検討を加えた。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 活荷重規定には、線荷重と等分布荷重の両者が必要である。
- (2) 線荷重、等分布荷重の設計値の決定に際しては、自動車荷重列をフローとして考慮する必要がある。
- (3) 現行L荷重規定とは異なり、線荷重は載荷長の増加に応じて減少させ、等分布荷重は載荷長にかかわらず一定とする規定方式がよい。
- (4) 曲げモーメント用とせん断力用の設計活荷重を別々に設定する方が、特にせん断力に対して有効である。
- (5) 各橋梁形式の使用頻度・橋長の適用限界等によるデータの重み付けの仮定の違いにより、最適な設計活荷重の規定方式が全く異なることはない。しかしながら、重みの付け方によっては適切となってくる規定方式もあるため、データの重み付けに関する情報の収集が必要かつ重要である。
- (6) 橋上の車両存在確率の仮定の違いによって上記(1)～(5)の結果が本質的に異なることはない。

なお本研究では、モンテカルロ法を用いた数値実験結果から各種の規定方式の適合性を比較し、車両存在確率やデータの重み付けなど2～3のパラメータが結果に及ぼす影響を調べたにすぎず、何故そのような規定方式が適切なのかという物理的理由についての検討はまだ十分でない。従って、今後はこのことに重点を置き、さらに、車頭間隔や各種車両の混入率等のパラメータも考慮に入れた実態に近い荷重列のモデル化を行うことによって、より合理的な設計活荷重の規定方法を検討していく必要がある。

参 考 文 献

- 1) 中川建治：換算等分布活荷重の確率論的考察、土木学会論文集、第127号、pp.1-8、1966年3月。
- 2) 中川建治：はりに作用する荷重の統計的な扱いについて、土木学会論文報告集、第175号、pp.15-22、1970年3月。
- 3) 中川建治：静荷重に対するはりの応答の極値に関する二、三の考察、土木学会論文報告集、第183号、pp.31-42、1970年11月。
- 4) 中川建治：不規則車両配列に対する道路橋の静的応答の確率統計的研究、土木学会論文報告集、第204号、pp.15-22、1972年8月。
- 5) 村瀬安彦、中川建治：平均と分散を規定した荷重によるはりの設計、土木学会誌、第60巻5号、pp.71-76、1975年4月。
- 6) 西村昭：鋼道路橋設計活荷重に関する考察、土木学会論文集、第35号、pp.15-20、1956年6月。
- 7) 西村昭：道路橋の安全性に及ぼす自動車荷重の影響、土木学会論文集、第43号、pp.23-28、1957年2月。
- 8) 西村昭：道路橋の設計活荷重について、第6回日本道路会議論文集、211、pp.502-504、1961年。
- 9) 小堀為雄、吉田博：電子計算機による自動車交通流模型の作成について、金沢大学工学部紀要、第3巻3号、1964年6月。
- 10) 星谷勝、日野虎彦：道路橋活荷重の検討、第30回土木学会年次学術講演回講演概要集I-296、pp.607-608、1975年10月。
- 11) 藤野陽三、伊藤学、遠藤元一：シミュレーションに基づく道路橋設計活荷重の評価、土木学会論文報告集、第286号、pp.1-13、1979年6月。
- 12) 伊吹山四郎、大橋昭光：長大橋の設計活荷重について、土木技術資料、第6巻9号、1964年9月。
- 13) 国広哲男、朝倉肇：自動車列荷重の実態からみた道路橋主構の設計活荷重、土木技術資料、第15巻4号、1973年4月。
- 14) たとえば、阪神高速道路公団設計荷重(HDL)委員会：HDL委員会報告書、第2編 活荷重分科会報告(別冊-1)阪神高速道路における活荷重実態調査と荷重評価のための解析、第4編 実態調査資料、阪神高速道路公団。(財)阪神高速道路管理技術センター、1984年。
- 15) 建設省：全国交通情勢調査、1974年度版。
- 16) 橋善雄、中井博：橋梁工学、共立出版、1979年。
- 17) ASCE Committee：Recommended Design Loads For Bridges、1981年。
- 18) 玉田博一：世界長大橋の趨勢、神戸大学暁木会五十周年記念誌、1979年4月。
- 19) 建設省道路局監修：道路統計年報、全国道路利用者会議、1982年。
- 20) 藤野陽三、高田和彦：自動車列のフローを考慮した活荷重の確率論的解析手法、構造工学論文集、Vol.31A、pp.301-311、1985年3月。

(1985年10月18日受付)