

シミュレーション手法による
道路橋床版の信頼性解析
RELIABILITY ANALYSIS OF HIGHWAY BRIDGE
SLAB USING SIMULATION METHOD

白木 渡*・松保重之**・高岡宜善***

By Wataru SHIRAKI, Shigeyuki MATSUHO and Nobuyoshi TAKAOKA

In this study, the reliability of highway bridge slab is analyzed by the use of the simulation technique. The type of slab is considered to be a simply supported continuous rectangular plate that is subjected to the random axle loads. First, the probabilistic characteristics of the bending moment of slab are evaluated by using the Monte Carlo simulation technique. Second, the probability of failure is evaluated by computing the probability that the maximum bending moment of slab becomes larger than the allowable bending moment. The numerical analyses are made for various values of several parameters for vehicles and slab.

1. まえがき

近年、道路橋における荷重状況は、年々増加する交通量ならびに貨物車の大型化・重量化に伴いかなり厳しいものになってきている。阪神高速道路公団ではその厳しい荷重状況を把握するために、昭和58年6月に阪神高速道路上において活荷重実態調査を行い、交通車両の特性（車種、車重、車長、台数等）ならびに渋滞時の特性（車間距離、走行速度等）の具体的な調査データより都市高速道路橋における厳しい荷重状況を明らかにし報告している¹⁾。また、その報告書においては通行車両の特性、渋滞時の特性にはかなりの不規則性が存在していることが指摘され、それらの不規則特性のモデル化ならびにそれらのモデルを用いた道路橋の設計荷重の検討が行われている。

勿論、阪神高速道路公団の報告書を読むまでもなく、道路橋における厳しい荷重条件についてこれまでも指摘されており、特に自動車荷重を直接受ける床版はかなり苛酷な荷重状況に置かれていることが知られている。実際、全国的な規模で道路橋の床版はひびわれ、異常な変形、コンクリートの剝離・断面欠損などが見られるようになり、床版本来の機能を十分に保持していないことが明らかにされ問題となってきている²⁾。これらの主な原因として通行車両の大型化、制限重量をこえた違反車数の増加に伴う車両重量の増加ならびに走行台数の増加により床版に設計値以上の応力が生じることが挙げられる。その外に、施工時の欠陥ある

*	工博	鳥取大学助教授	工学部土木工学科	(〒680 鳥取市湖山町南4-101)
**	工修	鳥取大学 助手	工学部海洋土木工学科	(〒680 鳥取市湖山町南4-101)
***	工博	鳥取大学 教授	工学部土木工学科	(〒680 鳥取市湖山町南4-101)

いは配力鉄筋量、剛性不足なども関係していると考えられるので、原因の推定にあたって多角的な検討が必要である²⁾。

本研究では、これらの原因の中から特に自動車の大型化に伴う車両重量の増加が床版の安全性におよぼす影響について解析を進めていく。まず、HDL委員会の活荷重実態調査結果に基づいて、破壊に影響があると思われる注目車種について作成された確率モデル¹⁾を用いて、単純支持連続床版の任意断面に生ずる曲げモーメントの確率特性値（期待値，分散）をモンテ・カルロ・シミュレーション手法により評価する。さらに、そのうちの最大曲げモーメントに注目し、その確率特性値を評価する。そして、その最大曲げモーメントが許容レベルを1度も超過しない確率を求め、道路橋床版の信頼度の評価を行なう。

現行の設計示方書^{3), 4)}では相対する2辺が単純支持された無限帯状版を考え、連続版についてはその結果を用いて評価するようにしている。また、HDL委員会の報告書¹⁾においてシミュレーション解析されている床版も単純支持無限床版である。これらに対して、本研究では単純支持連続版を考える。これは、実際の道路橋床版においては無限帯状版という形状は存在せず、ほとんどの床版が連続版として形成されていることから、より実的な解析を行なうためである。

2. 連続床版の曲げ理論

自動車荷重（部分分布荷重）の作用を受ける単純支持連続床版を解析するためには、部分分布荷重が作用する単純支持長方形板および周辺モーメントが作用する単純支持長方形板の曲げ理論を用いなければならない。

まず、単純支持長方形板に部分分布荷重が作用する場合を考える。図1に示すような座標系を考え、 z 方向の変位のたわみを $w(x, y)$ とすると、その基礎微分方程式は式(1)のようになる。

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p(x, y)}{D} \quad (1)$$

ここに、 $p(x, y)$ は板に作用する荷重； D は板の曲げ剛性で $D = E h^3 / 12 (1 - \nu^2)$ ； ν ：ポアソン比； h ：板厚； E ：ヤング率である。

4辺単純支持の境界条件を満たす式(1)の解として、式(2)に示すNavierの2重級数解がある。

$$w = \frac{1}{\pi^4 D} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_{mn}}{\left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2}\right)^2} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (2)$$

ここに、 a 、 b は長方形板の横および縦の長さであり、 a_{mn} は荷重 $p(x, y)$ を2重フーリエ級数展開した時の係数で、本研究では部分分布荷重を考えるので、これは次式のようにになる。

$$a_{mn} = \frac{16P}{\pi^2 m n u v} \sin \frac{m\pi u}{2a} \sin \frac{n\pi v}{2b} \sin \frac{m\pi \xi}{a} \sin \frac{n\pi \eta}{b} \quad (3)$$

ここに、 u 、 v 、 ξ 、 η は図1に示すような諸量、 P は $u \times v$ の領域に作用する荷重である。式(2)のたわみは、次式のような級数

$$G(z) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin z}{n(\alpha^2 n^2)^2} = -\frac{(z-\pi)}{2\alpha^4} - \frac{\pi \sinh \alpha(\pi-z)}{2\alpha^4 \sinh \pi \alpha} + \frac{\pi(\pi-z) \cosh(\pi-z)}{4\alpha^3 \sinh \pi \alpha} - \frac{\pi^2 \sinh \alpha(\pi-z) \cosh \pi \alpha}{4\alpha^3 \sinh^2 \pi \alpha} \quad (4)$$

を用いることによって式(5)のようになる。

$$w = \frac{480b^4}{\pi^6 D} \sum \left\{ G(z_1) + G(z_2) - G(z_3) - G(z_4) \right\} \cdot \frac{1}{\pi} \sin \frac{m\pi u}{2a} \sin \frac{m\pi \xi}{a} \sin \frac{m\pi x}{a} \quad (5)$$

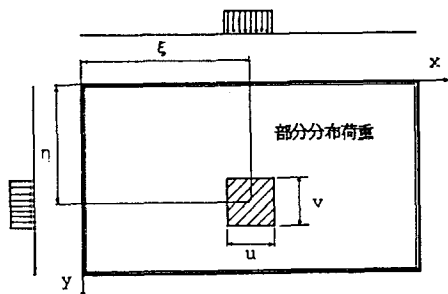


図1 部分分布荷重が作用する単純支持長方形板

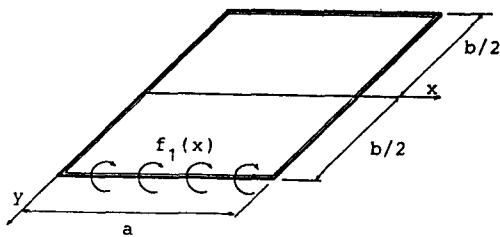


図2 周辺モーメントが作用する単純支持長方形板

ここに、 $\alpha = m\pi b/a$, $Z_1 = (y + \eta - \frac{v}{2})\pi/b$, $Z_2 = (y - \eta + \frac{v}{2})\pi/b$, $Z_3 = (y + \eta + \frac{v}{2})\pi/b$, $Z_4 = (y - \eta - \frac{v}{2})\pi/b$, $q_0 = P/uv$ である。式(5)を x, y で2回微分したものを次式

$$\left. \begin{aligned} M_x &= -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \\ M_y &= -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \\ M_{xy} &= -M_{yx} = -D(1-\nu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{aligned} \right\} (6)$$

—— 単純支持辺
- - - 中間支持辺

に代入することにより、部分分布荷重が作用する単純支持長方形板の曲げモーメントが求まる。

つぎに、周辺モーメントが作用する単純支持長方形板について考える。図2に示すような辺 $y = b/2$ に

$$f_1(x) = \sum_{m=1}^{\infty} E_m \sin \frac{m\pi x}{a} \quad (7)$$

という曲げモーメントが作用する場合のたわみ w は、次式(8)で与えられる。式(7)の E_m はフーリエ級数に展開した時の係数である。

$$w = \frac{a^2}{4\pi^2 D} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{E_m \sin \frac{m\pi x}{a}}{m^2} \left\{ \frac{1}{\cosh \alpha_m} \left(\alpha_m \tanh \alpha_m \cosh \frac{m\pi y}{a} - \frac{m\pi y}{a} \sinh \frac{m\pi y}{a} \right) + \frac{1}{\sinh \alpha_m} \left(\alpha_m \coth \alpha_m \sin \frac{m\pi y}{a} - \frac{m\pi y}{a} \cosh \frac{m\pi y}{a} \right) \right\} \quad (8)$$

ここに、 $\alpha_m = m\pi b/(2a)$ である。式(8)を x, y で2回微分して式(6)に代入すると、周辺モーメントが作用する単純支持長方形板の曲げモーメントが求まる。

さて、単純支持連続板の曲げモーメントを求めるには、まず、図3に示す座標系の板の中央支持辺のたわみの傾きの関係式

$$\left(\frac{\partial w}{\partial y_1} \right)_{y_1=l/2} + \left(\frac{\partial w_1}{\partial y_1} \right)_{y_1=l/2} = \left(\frac{\partial w_2}{\partial y_2} \right)_{y_2=-l/2} \quad (9)$$

w : 表面上に荷重を受ける単純板1のたわみ

w_1 : 辺 $y_1 = b/2$ に周辺モーメントを受ける単純板1のたわみ

w_2 : 辺 $y_2 = -b/2$ に周辺モーメントを受ける単純板2のたわみ

を用いて、次式に示す係数 E_m を求める。

$$E_m = \frac{2a^2 g_0}{\pi^3 m^3} \cdot \frac{\{g(z_1) + g(z_2) - g(z_3) - g(z_4)\}_{y=f} \cdot \sin \frac{\pi \eta}{2a} \sin \frac{\pi \xi}{a}}{\tanh d_m + \coth d_m + 2d_m - d_m (\tanh^2 d_m + \coth^2 d_m)} \tag{10}$$

ここに、 $g(z) = \frac{\partial G(z)}{\partial z} \cdot \frac{\partial z}{\partial y}$ である。この E_m を式 (8) に代入して式 (5) と重ね合せ、その 2 次導関数を式 (6) に代入することにより、部分分布荷重が作用する単純支持連続板の曲げモーメントが求まる。

3. シミュレーション手法による床版の曲げモーメントの確率特性値の評価法

実際の床版に作用する自動車荷重の特性（重量、作用位置、衝撃など）は、かなりの不規則性があることが認められている¹⁾。このような不規則性を有する荷重の作用を受ける床版の曲げモーメントを評価するために、ここではモンテ・カルロ・シミュレーションを用いることにする。

(1) 床版に作用する活荷重の確率モデル

シミュレーションを行なうに際して必要な活荷重の確率モデルとしては、HDL 委員会が作成したモデルを用いることにする¹⁾。これによれば、床版の曲げによる破壊に影響があると考えられる軸重は 7 車種 8 軸種である。これは、各軸種の軸重の累積分布より軸重 20 t 以上の発生確率が 0.1 以上のものを選定して得られたものである。その車種および軸重の特性値を表 1 に示す。また、その軸重の累積分布を図 4 に示す。軸重の確率分布は、積載車が対数正規分布、過積載車は次に示す指数分布を用いている。

$$f(x) = k \alpha_0 e^{-\alpha_0(x-x_L)} \quad (x_L \leq x \leq x_U) \tag{11}$$

ここに、 α_0 : 分布パラメータ ; x_L : 下限値 ; x_U : 上限値 ; k : x_U の設定による分布の補正係数である。個々のデータについては表 1 に示す値を用いる。

表 1 床版のシミュレーションに用いる軸重の確率特性値¹⁾

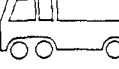
軸 種	分布型	平均	標準偏差	α_0	$k-1$	上限値	下限値	軸重比
大型車類 2 軸 後軸 タンデム (過積載車)	E	/	/	. 7 1 2	1. 9 4 3 × 1 0 - 4	2 6. 0	1 2. 0	/
大型車類 3 軸 (1) 後軸タンデム r ≥ 1. 2 5 (過積載車)	L	1 8. 1 4	7. 0 4	/	/	5 0. 0	9. 9	1. 0 3
大型車類 3 軸 (1) 後軸タンデム r ≤ 1. 2 5 (積載車)	E	/	/	. 4 7 0	2. 0 1 5 × 1 0 - 5	5 0. 0	2 2. 0	1. 7 0
大型車類 3 軸 (2) (後軸)	L	8. 8 6	2. 1 0	/	/	1 9. 4	5. 5	/
セミトレ (1) 軸数 3 トレーラー (積載車) 軸	L	6. 0 9	3. 5 3	/	/	2 3. 7	1. 3	1. 1 9
セミトレ (1) 軸数 4 トラクター (積載車) 軸	L	8. 5 9	2. 4 7	/	/	2 0. 9	5. 5	/
セミトレ (1) 軸数 4 トレーラー (積載車) タンデム軸	L	1 3. 5 1	5. 6 5	/	/	4 1. 8	1 0. 0	/
セミトレ (2) (積載車)	L	1 9. 4 3	5. 9 4	/	/	4 9. 1	1 0. 0	0. 9 6

L : 対数正規分布 r : タンデム軸重比
E : 指数分布
k : 分布補正係数
 α_0 : 分布係数

その他のパラメータとして車両の走行位置のバラツキの考慮が必要である。走行位置のモデルは、橋軸直角方向に正規分布 $N(0\text{ m}, (0.3\text{ m})^2)$ するものとし、図6に示すように1つの車線の中心を原点としてそのまわりに分布するものと考えた。したがって、車輪の走行位置の分布は、平均値 $\mu = \pm \text{輪距}/2(\text{m})$ 、標準偏差 $\sigma = 0.3(\text{m})$ となる。

3) 載荷位置の決定：橋軸方向の載荷位置は、決定された車種の注目する輪重が注目断面上に載荷されるように決定する。この場合の注目断面とは、橋軸方向の中央断面とする。注目する輪重が注目断面上に載荷されることによって、他の輪重も所定の位置に載荷される。この際、床版からはみ出したものについてはそ

表2 軸種別混入率¹⁾

軸 種	図	混入率
大型車類 2軸		0.0132
大型車類 3軸 (1) $r \leq 1.25$		0.0166
大型車類 3軸 (1) $r > 1.25$		0.0756
大型車類 3軸 (2)		0.4517
セミトレ (1) 軸数3		0.0551
セミトレ (1) 軸数4		0.3105
セミトレ (2)		0.0774

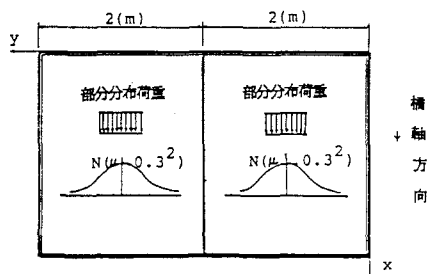


図8 部分分布荷重の作用位置

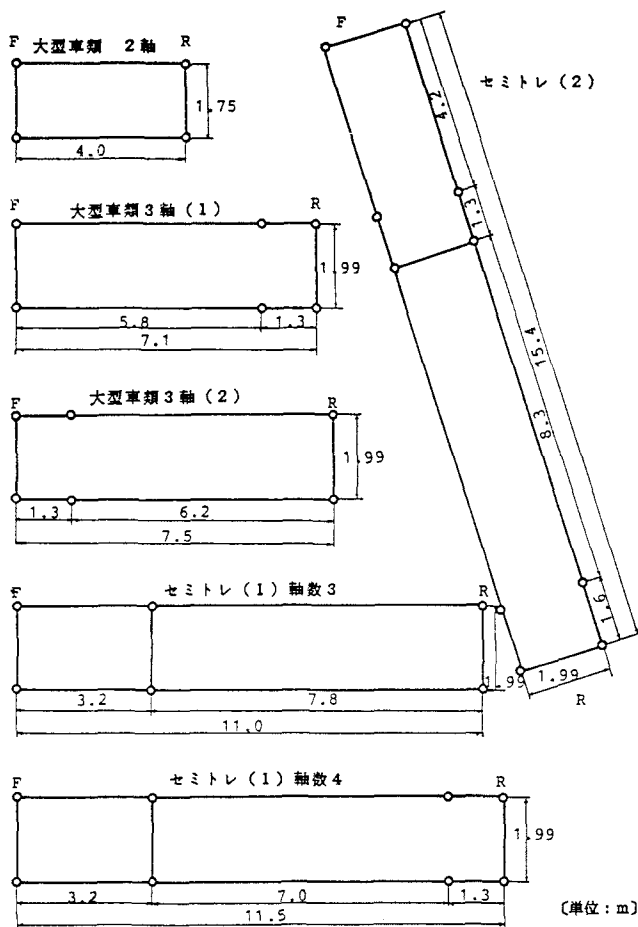


図7 床版のシミュレーションに用いる車種の輪距および軸距

の輪重を無視する。また、表1のセミトレ (1) 軸数4の車種は注目する輪重がトレーラー後軸とトレーラータンデム軸に発生する。この場合、より影響が大きいものを考慮するため、平均値および上限値の大きいものを注目断面上に載荷する。橋軸直角方向の載荷位置は、前述したように正規分布に従う。ただし、その載荷位置は、図8に示すように座標軸をとっているため $\mu = \pm \text{輪距} / 2 \text{ (m)}$ と修正する必要がある。

4) 曲げモーメントの確率特性値の評価: 1) ~ 3) の手順に従って、シミュレーションを所定の回数 (本研究では1000回とした) だけ繰り返して、3. で示した単純支持連続床版の曲げモーメントの評価式を用いて得られたサンプルを統計処理して、床版の曲げモーメントの確率特性値を求める。また、各試行ごとのサンプルのうちの正および負の最大曲げモーメントを求め、その確率特性値を求める。

4. 数値計算例

ここでは、前節で示したシミュレーション手順に従って実際に数値計算を行い、単純支持連続床版に生ずる曲げモーメントの確率特性値（平均値、分散、最大値分布）を評価し、道路橋床版の安全性を検討する。

数値計算において対象とする床版は、図6に示すような4辺を単純支持され中間に支持辺を有する単純支持連続床版である。注目断面は、床版中央 $l_2/2$ の断面とし、断面上に等間隔に50点の観測点をもうけている。数値計算を行なう際の基本モデル（BASE）における各パラメータの数値を以下のように設定する。床版支間長 $l_1=2$ (m)、床版長手方向の長さ $l_2=10$ (m)、ポアソン比 $\nu=0.167$ 、車種数7、注目軸種数8、軸種別混入率（表2参照）、輪距、軸距（図7参照）、載荷幅 $u=0.2$ (m)、 $v=0.125$ (m)（前輪）、 $u=0.2$ (m)、 $v=0.5$ (m)（後輪）、軸重比（表2参照）である。確率変数としては、軸重、走行位置、衝撃係数の3つを考え、それらの確率特性については前節で示した値を用いる。

（1）床版に生ずる曲げモーメントの平均値、分散の評価

まず、衝撃係数の平均値を基本モデル（BASE）の0.2から0.4へ増加させた場合の床版に生ずる曲げモーメントの平均値、分散の値を計算し、図6に示す床版の注目断面の座標に沿って、それぞれBASEおよびAの曲線として描いたのが図9である。この図から曲げモーメントの特性値（平均値、分散）が床版の注目断面に沿ってかなり変化し、中間支持辺と載荷位置付近の断面において平均値、分散とも大きな値を示しているのがわかる。また、衝撃係数を0.2から0.4と大きくすると、平均値は中間支持辺と載荷位置付近で少し増加し、分散は断面上ほぼ一様に増加している。

つぎに、輪重の載荷位置の標準偏差を基本モデル（BASE）の0.3 (m)から0.1 (m)に減少させた場合について図9と同様の図を描いたのが図10である。図においてBASEの曲線が基本モデルの場合で、Bの曲線が載荷位置の標準偏差を基本モデルの0.3 (m)から0.1 (m)に減少させた場合である。図からわかるように、載荷位置の標準偏差が $1/3$ に減少するとその影響がかなり現われ、基本モデルに比べて曲げモーメントの平均値が載荷位置付近で顕著な増加を見せ、分散は中間支持辺以外は注目断面上ほぼ一様にかかなり小さくなっている。輪重の載荷位置のバラツキは床版に生ずる曲げモーメントの特性値にかかなり大きな影響をおよぼすことがわかる。したがって、その値の設定には十分注意が必要である。

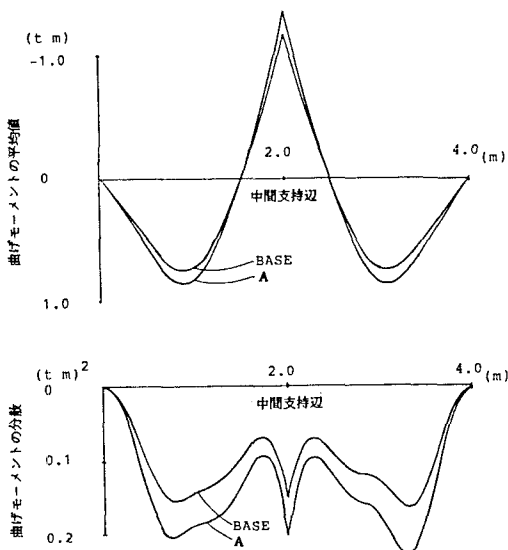


図9 衝撃係数を変化させた場合の曲げモーメントの確率特性値の変化

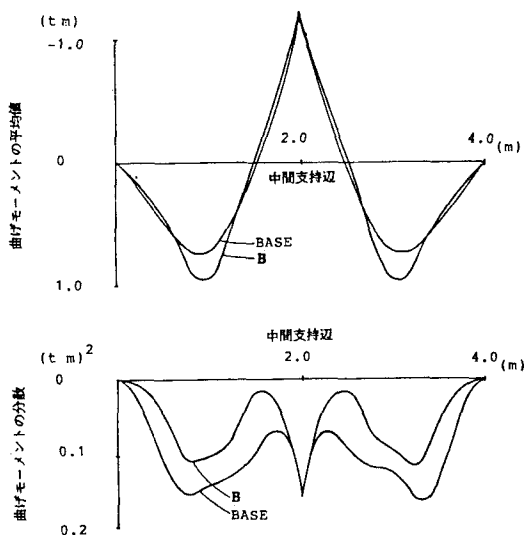


図10 載荷位置の標準偏差を変化させた場合の曲げモーメントの確率特性値の変化

今度は、基本モデル (BASE) の場合の輪重の載荷幅 u および v を基準にして、それぞれの値を 1.5 倍、0.5 倍と変化した場合について、図 9、図 10 と同様の図を描いたのが図 11 である。図において BASE の曲線が基本モデルの場合、C の曲線が 1.5 倍の場合、D の曲線が 0.5 倍の場合の曲線である。図からわかるように、載荷幅の影響は大きくすると載荷点付近で曲げモーメントの平均値がほんのわずかに減少し、小さくすると少し増加している。しかし、曲げモーメントの分散は、中間支持辺と両端を除いてほとんどの断面でかなり大きな影響がみられる。先の載荷位置のバラツキの影響と合せてこの場合もその値の設定には十分の注意が必要である。シミュレーションを行なう際には、注目軸種ごとに載荷幅を変えるというような考慮も必要ではないかと思われる。

最後に、床版を単純版として取り扱った場合と連続版として取り扱った場合の違いをみるために、4 辺単純支持床版を 2 パネル合せて置いた形状の床版に基本モデルのパラメータと同様の値を与えて計算した場合の曲げモーメントの平均値と分散の値を基本モデル (BASE) の連続床版の結果と合せて示したのが図 12 である。図において E の曲線が単純床版を 2 パネル合せた場合である。図から明らかなように、中間支持辺付近以外は曲げモーメントの平均値、分散とも単純床版を 2 パネル合せた場合の方が絶対値でかなり大きな値を示している。現行の設計示方書^{3), 4)}では、連続版の中央支間の正の曲げモーメントおよび中間支持辺に生ずる負の曲げモーメントは、単純版の 80% の値を用いて設計するようにしているが、図 12 からわかるように載荷点付近および中間支持辺付近では曲げモーメントの分散はかなり大きな値をとっているの、そのバラツキを考慮した形で正および負の曲げモーメントの設計値を決める必要がある。また、図 12 の曲げモーメントの平均値の図はモーメントが正から負になる位置が明示されているが、これは平均値の図であるからで、実際この位置もバラツキを持っているはずである。したがって、主鉄筋の折曲げ位置も設計示方書通り確定的には定まらず、本来確率論的な考察のもとに定める必要がある。

(2) 床版の曲げに対する安全性の評価

床版の曲げに対する安全性の評価を行なうために、まず床版に生ずる最大曲げモーメントの値に注目し、その確率特性を調べる。先に示したシミュレーション結果のうちの基本モデル (BASE) について、1000 回の各

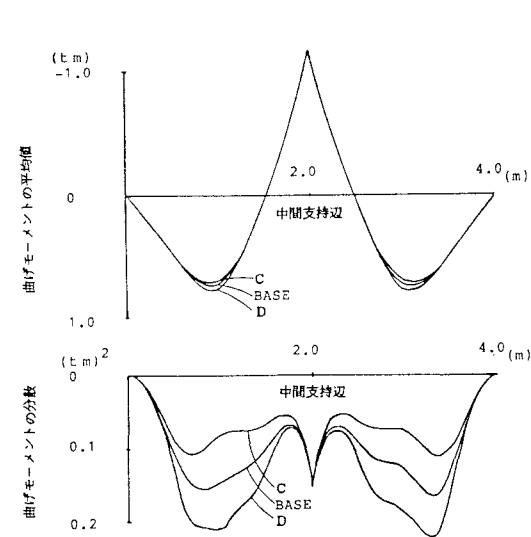


図 11 載荷幅を変化させた場合の
曲げモーメントの確率特性値の変化

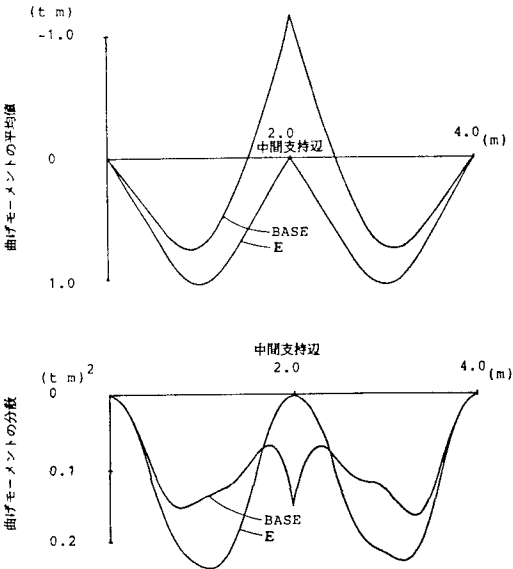


図 12 連続床版と単純床版の
曲げモーメントの確率特性値の比較

シミュレーションごとに床版の各断面（観測点50点）に生ずる正と負の曲げモーメントのそれぞれの絶対値で最大の値を調べて、その相対頻度図を作成したのが図13である。図中に対数正規分布と極値Ⅰ型分布の理論分布曲線を合せて示している。どちらとも相対頻度図をよく近似しているが、ここでは最頻値やすその部分でよりよい近似を与えている極値Ⅰ型分布で曲げモーメントの最大値分布を近似する。

さて、床版に生じる最大曲げモーメントが極値Ⅰ型分布に従う不規則変数であるという仮定を用いて床版の簡単な信頼性解析を行ってみる。いま、任意のレベルを決め、床版に生ずる曲げモーメントの最大値がこのレベルを超過するとき破壊が起ると仮定すると、その破壊確率を評価することができる。また逆に、破壊確率を任意に与えることによってそれに対する許容曲げモーメント・レベルを求めることができる。ここでは、後者の場合についての図を図14に示す。図の縦軸に許容曲げモーメント・レベルをとり、横軸に基本モデルの載荷幅を基準にした時の載荷幅比をとっている。実線の細線が正の最大曲げモーメント・レベルを与え、太線が負の曲げモーメント・レベルを与える。ここで載荷幅比をパラメータとしたのは、図11で考察したようにその変化が曲げモーメントの分散に大きな影響をおよぼすことが明らかになったからである。図からわかるように、正の曲げモーメント・レベルはその載荷幅比が減少するに従い急速に増加している。また、負の曲げモーメント・レベルはゆるやかな増加を示している。これは、図11で示したように、載荷幅の変化は正の曲げモーメントの確率特性値にかなりの影響をおよぼすが、負の曲げモーメントの確率特性値にはほとんど影響がないことから明らかである。

ここで注目すべきは、正の曲げモーメント・レベルと負の曲げモーメント・レベルが交差する点である。正の最大曲げモーメントと負の最大曲げモーメントの相関係数を調べると、その絶対値は0.975となりほぼ1と考えてよい。これは正の曲げモーメントと負の曲げモーメントが完全に従属関係にあるということであり、正、負どちらか一方の許容曲げモーメント・レベルが大きくなるときを考えればよいことになる。これは、載荷幅比がほぼ0.7以上になると負の曲げモーメント・レベルによって許容曲げモーメント・レベルが決まることを意味する。したがって、負の最大曲げモーメントの確率特性の評価が重要な意味をもってくることになる。そのように考えて図14を書換えたのが図15である。

さて、以上得られた結果と現行の設計示方書^{32,4)}の設計曲げモーメントとの比較を行なってみる。道路橋示方書によれば設計曲げモーメントは下記の方法によって算出する。

1) 単純版支間曲げモーメント

$$(0.12L + 0.07) P$$

P : 自動車後輪荷重 8 (t)

L : T荷重に対する床版支間 (m)

適用範囲 $0 < L \leq 4$ (m)

2) 連続版支間曲げモーメント

中間支間 + (単純版の80%)

中間支間 - (単純版の80%)

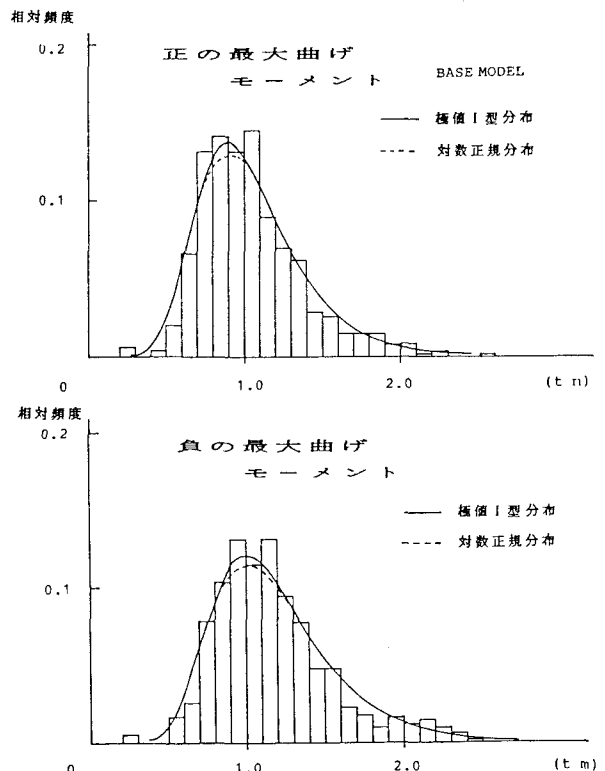


図13 床版の最大曲げモーメントの相対頻度図

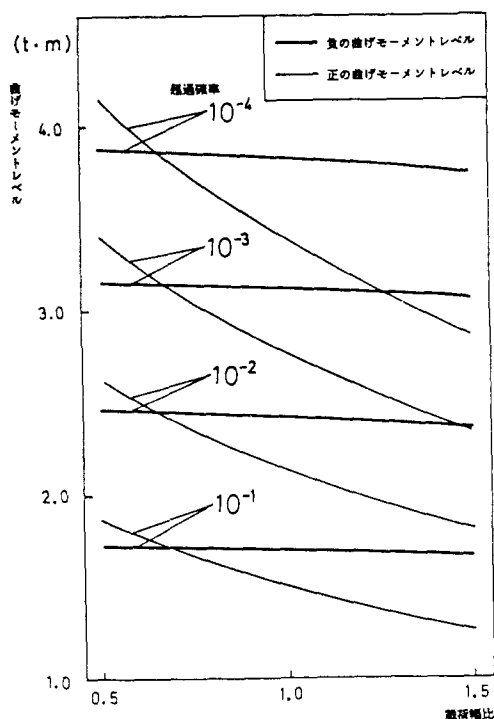


図 1 4 所定の超過確率のもとでの床版の
許容曲げモーメントレベル

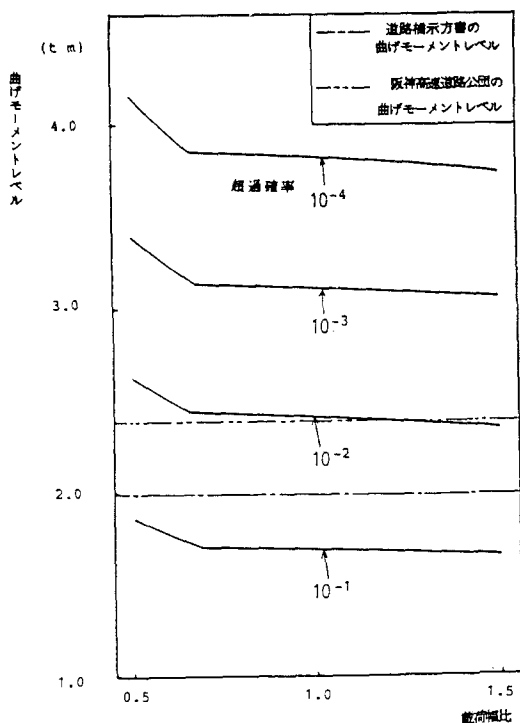


図 1 5 現行の設計曲げモーメントレベルと
シミュレーション結果との比較

これによると、支間 2 m の単純版の設計曲げモーメントは +2.48 (tm)、連続版の設計曲げモーメントは、 ± 1.984 (tm) となる。また、阪神高速道路公団の設計基準による設計曲げモーメントは、道路橋示方書によって算出された値を 20% 増しにすることによって得られ、単純版の設計曲げモーメント 2.98 (tm)、連続版の設計曲げモーメント 2.38 (tm) となる。これらの値は、道路橋示方書および阪神公団の設計曲げモーメント値として図 1 5 に、それぞれ一点鎖線および二点鎖線で記入している。図 1 5 をみると注目車種が 1 台通過した場合に床版に生ずる曲げモーメントが現行設計曲げモーメントを超過する確率は 10^{-2} 以上であることが認められる。これはかなり大きな値であると考えられる。HDL 委員会の報告書¹⁾によると、注目軸種の混入率は全走行軸数の 1.67% に相当し、1 日当りの走行軸数が約 85000 軸 / 2 レーン である。これより、1 レーン当りの 24 時間注目軸数は $(85000 \times 1.67) / (2 \times 100) = 710$ (軸) である。これを車両台数で考えるとセミトレ (1) 軸数 4 (表 1 および表 2 参照) が注目軸を 2 軸有するため $710 \times 100 / (100 + 31) = 542$ (台) となる。これだけの数の注目車両が設計曲げモーメント・レベルを 1% 以上の超過確率で通過するのであるから、かなり限定された条件下で得られた解析結果ではあるが、現在の床版のおかれている状況は通行荷重の点からいえばかなり厳しいものであるといえる。

5. あとがき

車重、走行位置、衝撃係数を確率変数としてモデル化した自動車荷重が、単純支持連続床版に作用する場合を考え、床版の任意断面に生ずる曲げモーメントの確率特性値をモンテ・カルロ・シミュレーション法を

用いて評価した。さらに、そのうち最大曲げモーメントに注目し、その確率特性値を評価して道路床版の信頼性解析を行った。その結果をまとめると次のようである。

- (1) 衝撃係数は床版に生ずる正および負の曲げモーメントの特性値に大きな影響をおよぼす。走行位置のバラツキ、載荷幅の変化は、正の曲げモーメントに大きな影響をおよぼすが、負の曲げモーメントにはほとんど影響がみられなかった。
- (2) 規定された任意の破壊確率に対して床版の許容曲げモーメント・レベルを計算した結果、現行の設計曲げモーメント・レベルを1%以上の確率で超過するようなレベルを得た。
- (3) 相対2辺単純支持された無限帯状板としての解析では考慮できない中間支持辺に生ずる負の曲げモーメントの確率特性値の評価を現実の道路橋床版としての形状に近い単純支持連続板としての解析によって実現できた。

以上が本研究で得られた結果であるが、信頼性を評価する際、最大曲げモーメントにのみ注目した解析で疲労についての考慮を行っていない点などまだ問題点が多い。しかし、ここで得られた結果は今後の道路橋の床版の設計基準策定のための資料になり得るものと思われる。

最後に、本研究を遂行するにあたり、貴重な資料ならびに有益な御助言を賜った阪神高速道路公団設計荷重（HDL）委員会関係各位に深く感謝の意を表す次第である。また、本研究における数値解析その他に御協力いただいた鳥取大学大学院生安田守氏に謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) 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 実態調査資料集，阪神高速道路公団，（財）阪神高速道路管理技術センター，1984.
- 2) 柳田和朗・坂口 勇・音川庫三・小松信夫；道路橋補修の設計・施工，山海堂，1982.
- 3) 日本道路協会；道路示方書・同解説（I・共通編），丸善，1980.
- 4) 阪神高速道路公団；設計基準第2部構造物設計基準，1980.
- 5) チモシェンコ，S. P. ・クリーガー，S. W. ；板とシェルの理論（上）；ブレイン図書，1973.
(1985年10月18日受付)