

シミュレーション手法に基づく道路橋床版の静的応答解析

鳥取大学工学部 正会員 高岡宣善 鳥取大学工学部 正会員 白木 渡
鳥取大学大学院 学生員 〇安田 亨

1 まえがき 本研究では道路橋の床版を対象として、破壊に影響があると見られる重車両が作用する場合の静的応答の評価をシミュレーション手法を用いて行なう。まず、阪神高速道路公団活荷重実態調査結果に基づいて、破壊に影響する注目車種の確率モデルを作成し、シミュレーションを行なう。得られた静的応答の確率特性値を用いて床版の信頼度の評価を行なう。また、現行示方書による計算結果および他のシミュレーション結果との比較検討を行なう。なお、本研究で対象とする床版は部分分布荷重を受ける単純支持連続版である。

2 版の基礎理論 部分分布荷重の作用を受ける単純支持連続版を解析するためには部分分布荷重および周辺モーメントが作用する単純支持長方形版の曲げ理論を考えなければならない。まず、単純支持版の曲げ理論について示す。図1のような座標系を考え、 z 方向の変位を版のたわみ $w(x,y)$ とすると、そのつり合い方程式は式(1)のようになる。ここに P は床版に作用する荷重であり、 D は版の曲げ剛性で $D=Ek(1-\nu)/12$ 、 ν はポアソン比、 h は版厚、 E はヤング率である。式(1)を4辺単純支持という境界条件を満たすように解く解法として式(2)に示すナビエの2重級数解がある。ここに a, b は長方形版の横および縦の長さであり、 α_{mn} は荷重 P 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ため式(3)のようになる。ここに u, v, η は図1に示すような諸量である。式(3)を式(2)に代入することにより、たわみ式 w を求める。式(4)のような級数を用いることにより、たわみ式 w は式(5)のようになる。ここに $\alpha = m\pi/a, \beta_1 = (y+\eta-\eta/2)\pi/b, \beta_2 = (y-\eta+\eta/2)\pi/b, \beta_3 = (y+\eta+\eta/2)\pi/b, \beta_4 = (y-\eta-\eta/2)\pi/b, \beta_0 = P/uv$ である。このたわみ式 w を2回微分したものを式(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長方形版の曲げモーメントが求まる。周辺モーメントが作用する単純支持長方形版のたわみを求める場合、 $y = \pm b/2$ に $f_1(x), f_2(x)$ (式(7))という曲げモーメントが作用すると考え、この条件のもとに式(6)に示すつり合い方程式を解くことにより得られる。そのたわみ式 w を式(9)に示す。このたわみ式 w を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版の曲げモーメントが求まる。単純支持連続版の曲げモーメントを求めるには、まず、図3に示す座標系の版の中央支持辺のたわみの傾きの関係式(10)を用いて係数 E_m (式(11))を求める。この E_m を式(9)に代入して式(5)と重ね合わせ、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版の曲げモーメントが求まる。

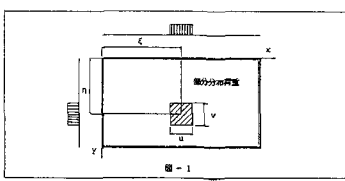


図-1

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

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

$$\alpha_{mn} = \frac{16P}{\pi^4 m n u v} \sin \frac{m\pi u}{2a} \sin \frac{n\pi v}{2b} \sin \frac{m\pi \eta}{2a} \sin \frac{n\pi \eta}{2b} \quad (3)$$

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n\pi y}{n(\alpha^2 + n^2)} = -\frac{x-\pi}{2\alpha^2} - \frac{\pi \sinh \alpha(\pi-x)}{2\alpha^2 \sinh \alpha \pi} + \frac{\pi(\pi-x) \cosh(\pi-x)}{4\alpha^2 \sinh \pi \cosh \pi} + \frac{\pi^2 \sinh \alpha(\pi-x) \cosh \pi \alpha}{4\alpha^2 \sinh^2 \pi \cosh \pi} \quad (4)$$

$$w = \frac{4\beta_0 b^2}{\pi^4 D} \sum_{m=1}^{\infty} (f(\alpha_1) + f(\alpha_2) - f(\alpha_3) - f(\alpha_4)) \times \frac{1}{m} \sin \frac{m\pi x}{2a} \sin \frac{m\pi \beta_1}{2a} \sin \frac{m\pi \beta_2}{2a} \quad (5)$$

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

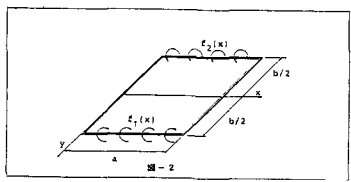


図-2

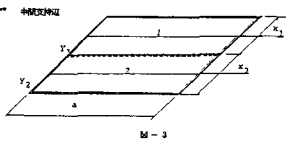
$$f_2(x) = \sum_{n=1}^{\infty} E_n \sin \frac{n\pi x}{a} \quad (7)$$

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = 0 \quad (8)$$

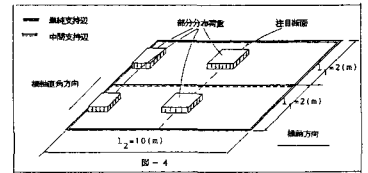
$$w = \frac{\alpha^2}{4\pi^4 D} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{E_m \sin \frac{m\pi x}{a}}{m^2} \left(\frac{1}{\cosh \alpha a} \left(\tanh \alpha a \cosh \frac{m\pi y}{a} - \frac{m\pi y}{a} \sinh \alpha a \right) + \frac{1}{\sinh \alpha a} \left(\tanh \alpha a \sinh \frac{m\pi y}{a} - \frac{m\pi y}{a} \cosh \alpha a \right) \right) \quad (9)$$

$$\left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)_{y=b/2} + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)_{y=-b/2} = \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)_{y=b/2} - \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)_{y=-b/2} \quad (10)$$

$$E_m = \frac{2\alpha^2}{\pi^4 m^2} \left(\frac{\tanh \alpha a + \coth \alpha a}{2} - \frac{\sinh \alpha a}{\cosh \alpha a} \right) \sin \frac{m\pi \eta}{2a} \sin \frac{m\pi \eta}{2b} \quad (11)$$



3. シミュレーション手法による床版の静的応答の評価法 本研究では、シミュレーションを行なうに際して必要な活荷重モデルとして阪神高速道路実態調査で公団が独自に行なったシミュレーションモデルを用いる。床版の破壊に影響があると思われる軸重は7車種8軸種である。これは各軸種の重量分布を理論分布にあてはめた時に軸重20t以上の発生確率が0.1以上のものを選定したものである。理論分布の当てはめとしては、積載車に對称正規分布、過積載車に指数分布を用いる。また、軸重は計算処理によって輪重に変換する。シミュレーション手法の概要を以下に示す。活荷重パラメータの特性に従い車両特性を定める。これより注目車種を1台発生させあらかじめ設定した計算機内の床版上に載荷する。この際、注目車種の注目輪重を図4に示すような、応答値に最も影響があると思われる断面上に載荷する。床版に定められた注目断面上の観測点ごとの荷重の応答値を求め、これを所定の回数繰り返して得られた観測値にアンサンブル統計処理をほどこすことと輪重による床版の静的応答値の確率特性値を求める。また同時に、断面上の最大曲げモーメントの特性値も求める。



4. 数値計算例および考察 活荷重の作用によって注目断面上に発生した最大曲げモーメントに着目して床版の曲げに対する信頼度の評価を行なう。まず最大曲げモーメント値の理論分布への当てはめを行なう。その結果、グンベル分布が良い近似を示しているので、最大曲げモーメントの分布形はグンベル分布であると仮定する。また、最大曲げモーメントには正の最大値と負の最大値が発現するが、この正と負の値の相関係数はあらかじめシミュレーションによつてほぼ1であることがわかっていて、このことから両者の値は完全従属の関係にあることがわかる。つまり、正、負どちらか一方の超過モーメントレベルが大なる時のレベル超過確率は他方を包含していることになる。この考慮のもとに作成したのが図5である。ここに縦軸は超過確率を与えるモーメント許容レベルであり、横軸は載荷幅50(cm)を1とした時の比である。図中実線はポアソン比 $\nu=0.17$ 、破線はポアソン比 $\nu=0.3$ における各超過確率の曲げモーメントレベルであり、太線は各超過確率における負の曲げモーメントレベル（これはポアソン比に影響されない）である。道路橋示方書および阪神公団設計基準による連続版設計曲げモーメントの値を一点鎖線および二点鎖線で記入する。これを見ると注目車種が1台通過した場合に曲げモーメントが現行設計曲げモーメントレベルを超過する確率は1/100以上である。これはかなり大きな値といえる。さて、阪神公団によって行なわれた無限帯状態版を想定したシミュレーション結果と本研究のそれを比較する。図6において縦軸は最大モーメントの相対頻度、横軸は公団設計基準による単純版設計曲げモーメントと応答曲げモーメントの比である。モーメント平均値は本研究による応答値の方が公団によるそれより大きな値となった。これは公団が観測点を床版中央に設けたのに対し、本研究では載荷点中央と中間支持辺上に観測点を設けていることに起因する。この比軸から次のことが言える。公団では曲げモーメントが最も影響するのは床版支間中央であると考えが、本研究ではむしろ中間支持辺での影響が強いということである。

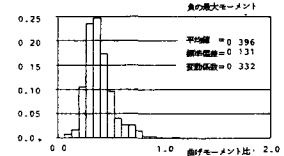
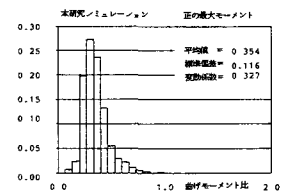
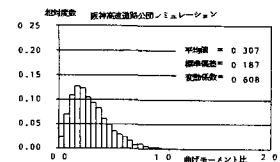
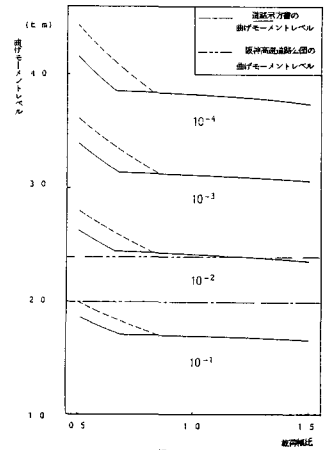


図-6

- 1) 阪神高速道路公団: 活荷重実態調査 第9回第10回第13回 '83-5-9 '84-1 3) 社団法人日本道路協会: 道路橋示方書解説I共通編, PP177~197
2) モンテ・カルロ・フスキュー・グー: 板とビルの理論, 丸善, 1973-7 4) 阪神高速道路公団: 設計基準第2部構造物設計基準, PP251-252, 1980-4