

## 変換過程を用いた都市高速道路における2径間連続桁の信頼性解析

鳥取大学工学部 正会員 高岡 宜善 鳥取大学工学部 正会員 白木 渡  
舞鶴専攻 正会員 松保 重之 鳥取大学大学院 学生員 〇安福 教晃

1. まえがき 比較的長スパンの道路橋における主桁の安全性を考える場合、それが最も危険状態となる車両渋滞時における信頼度を評価すべきである。それを評価するにあたって、これまでの研究<sup>1)</sup>では桁に生ずる曲げモーメントは橋軸方向の座標に関する正規不規則関数であるとして信頼性解析を行ってきた。しかし、Fig. 1に示すような2径間連続桁についてのシミュレーションの結果、桁に生ずる曲げモーメントは正規分布よりも極値I型分布に近い非正規不規則関数であることが明らかになったので、本研究では、変換過程を用いて、曲げモーメントをより実際の極値I型分布に従う非正規不規則関数であるとして信頼性解析を行う。

2. 変換過程による同時確率密度の評価 不規則関数 $\tilde{M}_1(x)$ が与えられたレベルを超過する確率を評価する問題を考える場合、不規則関数 $\tilde{M}_1(x)$ とその導関数 $\tilde{M}_2(x) = d\tilde{M}_1(x)/dx$ との間の同時確率密度が必要である。しかし、この同時確率密度は $\tilde{M}_1(x)$ と $\tilde{M}_2(x)$ がともに正規不規則関数である場合のほかは、一般に良く知られていない。そこで非正規不規則関数と標準正規不規則関数との対応関係を見つけて、非正規不規則関数を標準正規不規則関数へ変換し非正規不規則関数 $\tilde{M}_1(x)$ と $\tilde{M}_2(x)$ との同時確率密度を求めることを考える。非正規不規則関数 $\tilde{M}(x)$ と標準正規不規則関数 $\tilde{M}_N(x)$ の分布関数 $F(M)$ および $\Phi(M)$ を示すとFig. 2のようなになる。いま、非正規不規則関数 $\tilde{M}(x)$ と標準正規不規則関数 $\tilde{M}_N(x)$ とが同じ累積確率 $P$ を有するとする。この $P$ を $\tilde{M}(x)$ と $\tilde{M}_N(x)$ を用いて表せば式(1)のようなになる。ここでは、そのような対応関係を利用して非正規不規則関数を標準正規不規則関数へ変換する。式(1)から、 $\tilde{M}(x)$ を $\tilde{M}_N(x)$ で表すと式(2)のようなになる。式中の上付き添字-1は、その関数の逆関数であることを示す。この式は $F$ と $\Phi$ との合成関数 $g = (F^{-1} \circ \Phi)$ が求まれば、非正規不規則関数 $\tilde{M}(x)$ から標準正規不規則関数 $\tilde{M}_N(x)$ への変換が可能となることを示している。以上のことから、2つの非正規不規則関数 $\tilde{M}_1(x)$ と $\tilde{M}_2(x)$ について、これらと標準正規不規則関数 $\tilde{M}_N(x)$ との間に $g_{H_1} = F_{H_1}^{-1} \circ \Phi$  および  $g_{H_2} = F_{H_2}^{-1} \circ \Phi$  なる対応関係があれば、2つの非正規不規則関数 $\tilde{M}_1(x)$ と $\tilde{M}_2(x)$ との同時確率密度 $f_{H_1, H_2}(M_1, M_2|x)$ は式(3)で与えられる。

$$f_{H_1, H_2}(M_1, M_2|x) = \frac{f_{H_1}(M_1|x) f_{H_2}(M_2|x)}{\sqrt{1 - \rho_N^2(x)}} \times \exp \left[ -\frac{\rho_N(x)}{2(1 - \rho_N^2(x))} \left( g_{H_1}^{-1}\{M_1(x)\}^2 + g_{H_2}^{-1}\{M_2(x)\}^2 - 2g_{H_1}^{-1}\{M_1(x)\} g_{H_2}^{-1}\{M_2(x)\} \right) \right] \quad (3)$$

ここに、 $f_{H_1}$ 、 $f_{H_2}$ はそれぞれ $\tilde{M}_1(x)$ 、 $\tilde{M}_2(x)$ の確率密度であり、また $\rho_N$ は $g_{H_1}$ 、 $g_{H_2}$ によって変換された2つの不規則関数 $\tilde{M}_{N1}(x)$ と $\tilde{M}_{N2}(x)$ との間の同一座標 $x$ における相関係数である。

3. 主桁の信頼度の評価 前述の変換過程を用いた理論に従って、Fig. 1(a)に示すような全長100mの2径間連続ばり形式の主桁1本で支えられた道路橋に不規則分布荷重 $\tilde{q}(x)$ を満載した場合の信頼性解析を行う。ただし、載荷させる不規則分布荷重 $\tilde{q}(x)$ としては、先の研究<sup>1)</sup>で使ったモデルを用いることにする。まず、空間領域における信頼度の評

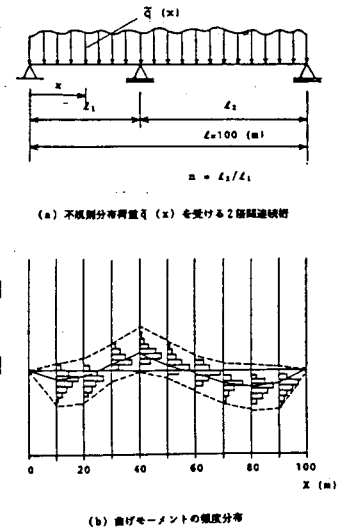


Fig. 1

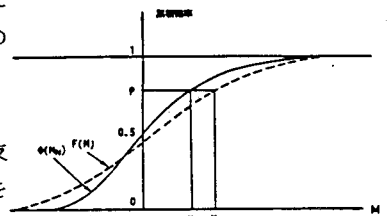


Fig. 2

価を行う。空間領域の信頼度の評価とは、空間的に不規則な曲げモーメントが桁全長にわたって許容曲げモーメント  $M_a$  を一度も超過しない確率を評価することである。解析法は先の研究<sup>1)</sup>で示した方法と全く同じであるので、ここでは省略して結果だけを示すと Fig. 3 のようになる。

Fig. 3 は破壊確率  $Q$  に対する許容レベル  $M_a$  をスパン比  $n$  に対してプロットしたものである。これと曲げモーメントが正規不規則関数であるとして行った先の研究<sup>1)</sup>と比較すると、本研究の結果の方がスパン比  $n=1.6$ 、破壊確率  $Q=10^{-3}$  場合には許容レベルが約40%程度大きくなっている。このことは同一スパンでは破壊確率が小さい場合は顕著に現れている。ところで、この図は全長100mの2径間連続桁の空間領域における信頼性解析の一つの結果であるとともに、許容レベル  $M_a$  と破壊確率  $Q$  の解釈を改めれば、これを空間領域における最大曲げモーメント  $\tilde{M}_{\max}$  の分布関数として見るができる。つぎに、これを利用して橋軸方向最大曲げモーメント  $\tilde{M}_{\max}$  の分布関数を極値 I 型と仮定して、べき乗則を用いて耐用期間中の破壊確率  $Q^*$  を近似的に評価し、時間領域での信頼性解析を行う。この場合も解析法は先の研究<sup>1)</sup>と同じであるので、

結果のみを示すと、Fig. 4 のようになる。この図は、全長100m、スパン比  $n=1.6$  の2径間連続主桁について、許容レベル  $M_a$  と耐用期間中の渋滞回数  $N$  との関係を各破壊確率  $Q^*$  に対して描いたものである。この図より、ある破壊確率  $Q^*$  に対して許容レベル  $M_a$  は  $N$  の対数に比例して大きくしなければならないことが分る。参考のため、現行の  $L-20i$  (衝撃考慮) 設計荷重による設計モーメントレベルを、この図に破線で示している。この設計モーメントレベルは、1本の2径間連続桁によって支えられた幅3.25mの1車線道路を対象に、衝撃を考慮して計算したものである。この図から、例えば、1日2回、50年間で通算  $N=36500$  回の渋滞があったとすれば、現行設計の破壊確率  $Q$  は0.5よりもまだ大きいことになる。しかし、現行の設計法で実際に設計する場合は、許容曲げモーメントレベル  $M_a$  として設計曲げモーメントに安全率1.7を掛けたものを採用することになる。このように、現行の設計法で得られる許容曲げモーメントに、安全率1.7を掛けて得られる許容曲げモーメントレベルを、上述の  $N=36500$  回の場合について考えると、現行の設計基準では、Fig. 4 の一点鎖線で示すように破壊確率  $Q^*=10^{-3}$  程度が見込まれる。この図についても、これまでの研究の結果<sup>1)</sup>と比較すると、例えば、スパン比  $n=1.6$ 、破壊確率  $Q^*=10^{-3}$ 、渋滞回数  $N=36500$  回の場合について、本研究の結果の許容レベルの方が約80%程度大きくなっている。

4. あとがき 本研究の信頼性解析は、桁の破壊に支配的な影響を与える渋滞時の自動車荷重のみを扱ったものであり、実際の桁に作用する外力を考える場合、さまざまな荷重の組合せによる作用を考慮した総合的な解析が望まれる。しかし、非正規分布する曲げモーメントを正規分布に近似していた従来の研究を一歩進め、本研究で示したような変換過程を用いて極値 I 型分布に従う曲げモーメントのレベル超過問題を解くことは、より実際に近い解析となったといえよう。最後に、貴重な資料の提供をいただいた阪神高速道路公団設計荷重 (HDL) 委員会関係各位に感謝いたします。

1) 高岡他：都市高速道路における2径間連続桁の信頼性解析，第36回中四国支部講演概要集，1984-7。  
2) Grigoriu, M: Crossing of Non-Gaussian Translation Process, ASCE, Vol. 110, No. EM4, pp. 610-620.

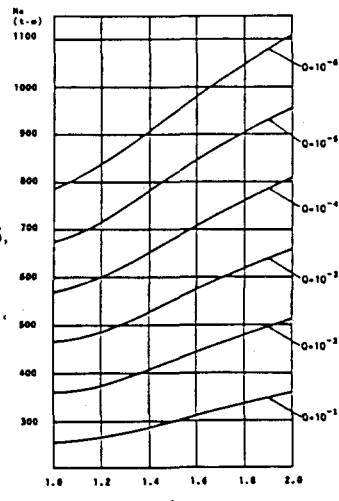


Fig. 3

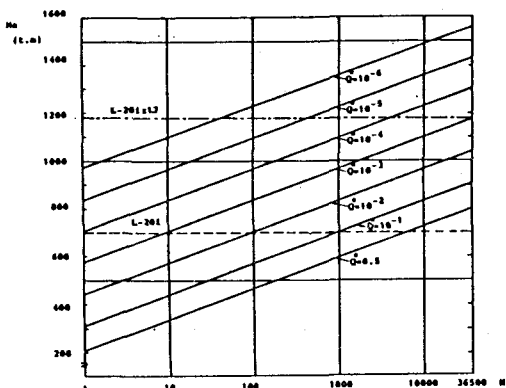


Fig. 4