

都市高速道路における2径間連続主桁の信頼性解析

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 ○安福 教晃

1. まえがき 道路橋の安全性を考える場合、危険状態である車両渋滞時における信頼度を評価すべきである。先の報告¹⁾では、渋滞時における荷重は橋軸に沿って連続分布していると見なし、構造形式として単純桁を対象として道路橋の信頼性解析を行ったが、本報告では供用例の多い2径間連続主桁を対象として信頼性解析を行う。まず、阪神高速道路の実測結果を用いて渋滞時の自動車列で荷重をモデル化し、その確率特性値をシミュレーション法を用いて求める。つぎに、不規則関数の相関理論²⁾を用いて主桁の断面力の確率特性値を求め、さらに不規則関数の超過の理論を用いて空間領域および時間領域における主桁の信頼度を評価する。

2. 都市高速道路における渋滞時活荷重のモデル化 渋滞時の車列を構成する乗用車、中型車類、大型車類、トレーラーの4種類に分類し、それぞれの車種の車重、車長は独立とし実測結果のそれぞれの分布を用いる。車種別混入率は一日平均の混入率とし、乗用車：73.46%、中型車類：17.03%、大型車類：7.39%、トレーラー：1.82%とする。車間距離は渋滞という意味から走行速度0~2km/hの時の2.71mを用いる。これらの資料からシミュレーション法を用いると、渋滞時活荷重は平均 $\bar{q} = 0.4586(\text{t/m})$ 、分散 $D_q = 0.4064(\text{t/m}^2)$ 、 $d = 0.3164(\text{m})$ という確率特性値をもつ不規則分布荷重でモデル化することができる。ここで d は不規則分布荷重の自己相関関数 $K_q(x) = D_q e^{-|x|/d}$ なる指数関数にあてはめるときに減衰定数である。なお d は K_q を求めようとする2点間の差である。

3. 2径間連続主桁の断面力の確率論的評価 構造力学の基礎理論より、例えば曲げモーメントの場合の期待値は式(1)のように表すことができる。この式で $G_H(x, s)$ は曲げモーメントの影響関数を表わし、 Ω は積分領域である。いまの場合、全載荷スパンが Ω

$$M(x) = \int_{\Omega} \tilde{q}(x) G_H(x, s) ds \quad (1)$$

に相当する。また、曲げモーメントの自己相関関数についても不規則関数の相関理論を用いることによって式(2)のように表し得る。せん断力 $\tilde{Q}(x)$ についても同様に計算することができ。また、せん断力と曲げモーメントの相関係数

$$K_H(x_1, x_2) = \iint_{\Omega} G_H(x_1, s_1) G_H(x_2, s_2) D_q e^{-|s_1 - s_2|/d} ds_1 ds_2 \quad (2)$$

$$\rho(x) = \frac{K_H(x, x)}{\sqrt{D_Q(x) D_M(x)}} \quad (3)$$

は式(3)で表すことができる。この式で $K_H(x, x)$ は、せん断力と曲げモーメントの相互相関関数、 $D_Q(x)$ 、 $D_M(x)$ はせん断力と曲げモーメントの分散に相当する。以上示した諸式を用いて断面力の数値計算を行った。その一例をFigs.1,2に示す。これらの図は全長100m、スパン比 $n = l_2/l_1 = 1.5$ の確率特性値を表したもので、Fig.1は曲げモーメントとせん断力の期待値 $M(x)$ 、 $Q(x)$ 、

分散 $D_M(x)$ 、 $D_Q(x)$ 、相関係数 $\rho(x)$ を表し、Fig.2は曲げモーメントの自己相関関数を表している。Fig.1からわかるように、 $M(x)$ と $Q(x)$ の期待値の大きい所では分散も大きいということである。しかし、必ずしも、その極値をとる点は $M(x)$ が極値あるいはゼロをとる点とは一致していない。この原因は $M(x)$ 、 $Q(x)$ が不規則関数であるので、それらが極値あるいはゼロをとる位置および値がばらつくからである。また、 $\rho(x)$ については $M(x)$ と $Q(x)$ がともに正であるような x の範囲では正の値をとり、 $M(x)$ と $Q(x)$ の符号が異なるような x の範囲では負の値をとる。そして、 $M(x)$ もしくは $Q(x)$ が0となるような x 点においては $\rho(x)$ も0となり、中間支点の跳躍を除いて、なめらかに変化していることがわかる。Fig.2については、左右の径間において x_1 と x_2 との間の距離が比較的近い所は $x_1 = x_2$ という分散を与える点をピークに正の相関があるということがわかる。また、 x_1 と x_2 の距離が離れていくにしたがって、無相関となるゼロ

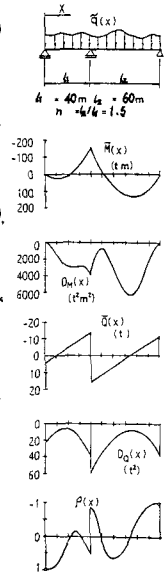


Fig.1

を横切って負の相関を有するようになることがわかる。そして、中間支点と長い方の径間の中央付近では負の相関が大きくなっていることがわかる。左右の径間の中央付近でも負の相関が現われている。また、中間支点上の断面と他の断面との相関を示す $\alpha_1 = l_1$, $\alpha_2 = l_2$ の線上で、この $K_M(\alpha_1, \alpha_2)$ の曲面は弱い不連続性を示している。これは連続桁の曲げモーメントの影響関数が支点において別の関数となることによる影響である。

4. 不規則関数論に基づく2径間連続主桁の信頼度の評価

上であらためて特性値を用いて道路橋の信頼性解析を行う。なお、これからの計算では曲げモーメント $\tilde{M}(x)$ のすべての x における分布は正規分布と仮定する。まず、空間領域における信頼度の評価を行う。空間領域における信頼度の評価とは、空間的に不規則な曲げモーメント $\tilde{M}(x)$ が桁の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。不規則関数論を用いて行った空間領域での信頼性解析の数値計算例を Fig.3 に示す。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。この図は全長 100m の 2 径間連続主桁の空間領域における信頼性解析の 1 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 $\tilde{M}_{max}$ の分布関数と見ることができる。このことを利用して、橋軸方向最大曲げモーメント $\tilde{M}_{max}$ の分布関数をべき乗して、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。本報告では、最大曲げモーメント $\tilde{M}_{max}$ の分布関数を曲げモーメントと同様の正規分布と極値 I 型分布の 2 つに仮定し、破壊確率 Q^* を式(4)より求め、時間領域における信頼度の評価

$$Q^* = 1 - F_M(M_a)^N \quad (4)$$

を行う。式(4)において、 F_M は渋滞が 1 回発生した時の橋軸方向における最大曲げモーメントの分布関数、 N は耐用期間中の渋滞回数である。ここで、対象構造物が全長 100m、スパン比 $n = 1.6$ の 2 径間連続主桁の場合の時間領域における信頼性解析の数値計算例を Fig.4 に示す。Fig.4 において、実線および破線は、それぞれ最大曲げモーメントを正規分布、極値 I 型分布としたときの結果であり、 $L-20$ は、現行設計示方書による設計曲げモーメントで、 $L-20i$ は、 $L-20$ に衝撃を加えたときの結果である。ただし、許容レベル M_a は橋軸方向および時間軸上においても一定値を保つと仮定した。Fig.4 を見ると、信頼度を高く求めようとする場合、正規分布による値が極値 I 型分布による値よりも下になり危険側であることがわかる。そして、一般的に高架橋の設計条件として $N = 5000$ 回という仮定がオーダー的に

妥当であるとするれば、現行の設計荷重により設計される 2 径間連続主桁の破壊確率は、耐用期間中に $Q^* = 10^{-5} \sim 10^{-6}$ を保証されていることがわかる。また、このような信頼性解析に基づくグラフを作成することにより、所定の破壊確率あるいは信頼度のもとで主桁を設計することが可能となる。

参考文献：1) 松保，高岡，白木：不規則関数論に基づく道路橋の信頼性解析，土木学会 36 回年次学術講演概要集，I-320，1981。2) 高岡宣善：工学のための応用不規則関数論，共立出版，1975。

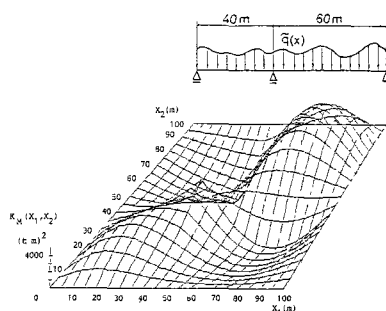


Fig. 2

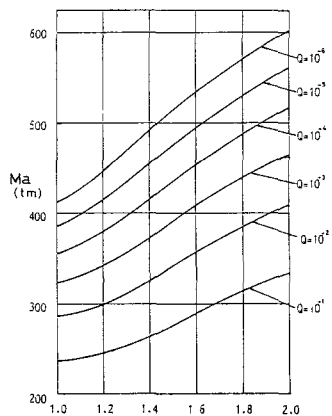


Fig. 3

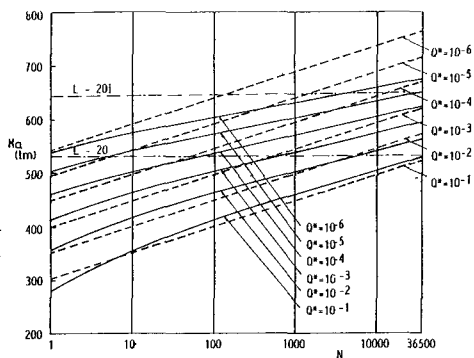


Fig. 4