

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 茂

舞 鶴 高 専 正会員 松保重之
鳥取大学大学院 学生員 山本克之

1. まえがき 道路橋を設計するという立場では、危険状態である渋滞時を考慮すべきであることを考えれば、荷重は橋軸に沿って連続分布していることを見出し得る。先の発表では、このような渋滞時荷重を分布不規則荷重でモデル化し、渋滞時においてそのような分布荷重が作用する場合の空間的変動性を考慮した道路橋の信頼性解析を行った¹⁾。今回は、その結果をもとに、さらに、渋滞時渋滞荷重による曲げモーメントを道路橋の耐用期間中時間的に変動する再生パルス過程としてモデル化し、耐用期間中の時間的変動性を考慮した道路橋の信頼性解析を行う。なお、簡単のために単純支持された1車線道路橋を対象とする。

2. 空間領域における信頼性解析 交通渋滞時の活荷重は、Fig.1のように橋軸方向に連続分布する分布不規則荷重としてモデル化することができる。先の報告では、このような分布不規則荷重がFig.1の単純桁橋に作用する場合の曲げモーメントの確率特性値を不規則関数の相関理論を用いて求めた¹⁾。その結果のみを示すとFig.2, Fig.3の実線のようになる。Fig.2およびFig.3は、それぞれりの各断面 x (Fig.1参照)における曲げモーメントの平均 $\bar{M}(x)$ および分散 $D_M(x)$ を示したものである。また、このように解析的に求めた特性値の妥当性を調べるために、曲げモーメントの確率特性値をシミュレーション手法により求めた。その結果は、Fig.2, Fig.3において $\times$ 印で示すとおりである。これらの図を見ると、解析的に求めた確率特性値はシミュレーション結果とよく一致することがわかる。道路橋の曲げモーメントの確率特性値は、不規則関数の相関理論を用いた方法によらず、複雑な観測あるいはシミュレーションを行わずとも容易に求めることができる。さて、Fig.2, Fig.3の実線のような曲げモーメントの確率特性値を用いて、全スパンにわたる空間的変動性を考慮した不規則関数の信頼性解析を行った結果を示すと、すでに発表しているようにFig.4の曲線“Random Function”のようになる。ここに、 Q は破壊確率、 μ はスパン中央の曲げモーメント $\bar{M}_C$ の期待値に対する許容曲げモーメント M_a の比を示す。ここで、 $\bar{M}_C$ のみを用いた不規則変数の信頼性解析を行ってみた。この場合の破壊確率 Q は、式(1)で評価

で、この計算結果は、Fig.4の曲線“Random Variable”で示される。式(1)における $\bar{M}_C$, $\sigma_{\bar{M}_C}$ は、それぞれ $\bar{M}_C$ の期待値と標準偏差である。この図を見ると、道路橋の全スパンにわたる不規則関数の信頼性解析とスパン中央のみに注目した不規則変数の信頼性解析の結果とがほとんど一致することがわかる。したがって、Fig.1のような単純支持された道路橋の危険断面は、りりのスパン中央付近であると考えられる。

3. 時間領域における信頼性解析 2.の解析において、危険断面はスパン中央付近にあることがわかった。したがって、スパン中央における曲げモーメント $\bar{M}_C$ が耐用期間中に与えられたレベルを超過する問題として時間領域における信頼性解析を行うことができる。このように時間的に変動する $\bar{M}_C(t)$ も巨視的に時間領

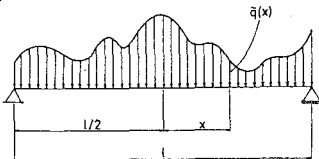


Fig.1

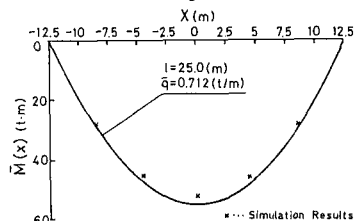


Fig.2

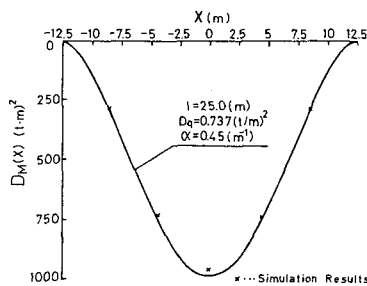


Fig.3

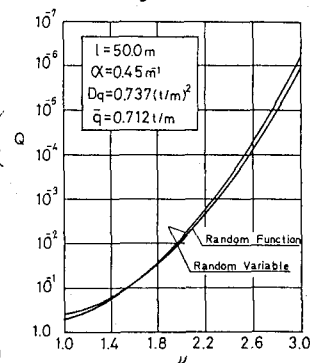


Fig.4

域で考えると、道路橋を破壊に至らしめる可能性の大きい渋滞時に作用するものと、そうでないものとに分けて考えることができる。したがって、このような荷重作用 $\tilde{H}(t)$ は、Fig.5(b)に示すように渋滞時のみ大きさを持つ再生長方形パルス過程²⁾としてモデル化することができる。この図において、パルスの大きさは不規則に変動するが、パルスの生じていない(渋滞していない)期間では大きさが0の架空のパルスであると考えられる。Fig.5(a)は、パルスの潜在的な始まりおよび終わりの時刻を定義している再生点過程を表わしたもので、この再生点過程の不規則な到達時刻間隔はパルス継続時間 D を示している。したがって、平均到達率 λ は D の期待値 μ_d の逆数 $\lambda = 1/\mu_d$ で与えられる。そうすると、再生パルス過程は、この

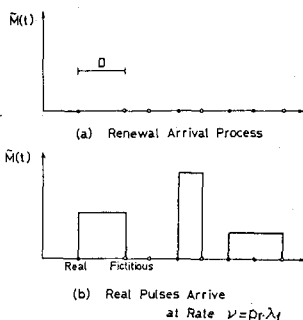


Fig.5

ような再生点過程で定義されるような潜在的な時刻において、前のパルス(架空のパルスも含む)とは独立に確率 ρ_f でパルスを始め、確率 $(1-\rho_f)$ でパルスを終わるような不規則過程であると考えられることとができる。すなわち、パルスが平均到達率 λ によって到達していても、そのパルスが発生するかしないかは確率 ρ_f によって表わされる。したがって、パルスの平均発生率 ρ は $\rho = \rho_f \lambda$ によって表わされる。なお、本研究では簡単のため、再生パルス過程は定常性を有するものとする。さて、このような再生パルス過程の大きさは確率 $(1-\rho)$ で離散値 $\tilde{H}_c(t)=0$ をとり、確率 ρ で連続値 $\tilde{H}_c(t)=h$ をとる混合型不規則関数であると考えられることとができる。この場合、 $\tilde{H}_c(t)$ が与えられたレベル Ma と単位時間当りに下から上へ超過する平均超過回数 $f_h(Ma)$ は、混合型不規則関数の超過の理論より式(2)で与えられる。ここに、 $f_h(M)$ は(架空パルスでなく)実現パルスの大きさの確率密度関数である。そうすると、レベル Ma が大きいときには、 $\tilde{H}_c(t)$ がレベル Ma を超過するのはまれとなり、超過回数はポアソン分布で近似でき、耐用期間 T の間の破壊確率 $Q(Ma)$ は式(3)より求まる。ただし、式(3)は耐用期間の最初の時点において破壊する確率 $Q(Ma)$ も考慮している。さて、式(3)によって実際に数値計算するためには、渋滞1回当たりの平均渋滞時間 μ_d および仕業の時刻における渋滞発生確率 ρ_f を観測データから求める必要があるが、現在のところ、上述したような観点から観測した例がないので、仮定して決めた。すなわち、 μ_d は2時間とし、また、スパン L の道路橋の付帯荷重の理論を基礎に、 $\rho_f = AC^2 \times \exp(BL)$ で与えられると仮定した³⁾。ここに、 C は交通密度に関する係数で、本研究の場合、一般市街地を想定して $1/2$ とした。また、定数 A, B は、異なる2つのスパン長に対して渋滞発生頻度 ρ を仮定することにより定めた。すなわち、 $L=25m$ の時の ρ を4回/年、 $L=100m$ の時の ρ を1回/年として、 $\rho_f = 0.0045 \exp(-0.0185L)$ とした。

$$\left. \begin{aligned} \lambda_h^+(Ma) &= \rho_f \lambda f_h(Ma) [1 - \rho_f G_h(Ma)] \\ G_h(Ma) &= \int_{Ma}^{\infty} f_h(h) dh \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\left. \begin{aligned} Q(Ma) &= Q_0(Ma) + [1 - Q_0(Ma)] Q_T(Ma), \\ Q_0(Ma) &= \rho_f G_h(Ma), \\ Q_T(Ma) &= 1 - \exp\{-\lambda_h^+(Ma) \cdot T\} \end{aligned} \right\} (3)$$

4. 数値計算例 以上示した仮定のもとに、式(2)と式(3)を用いて数値計算を行った。その一例をFig.6に示す。これは、耐用期間中の破壊確率 Q を一定とした場合のスパン L と設計用曲げモーメント Ma との関係を示したものであり、参考のために現行設計活荷重による Ma も $L=201$ と表示して示してある。ただし、現行設計活荷重は、本研究の仮定に従い、主桁数1本とし、幅員3mとして計算した。本研究の解析結果を、そのまゝ現行設計活荷重と比較することは、本解析に用いるデータに種々の主観的な仮定を設けているので不可能であるが、定性的な傾向は把握できらるものと思われる。Fig.6のようなグラフを用意しておけば、所要の信頼度のもとにおいて、道路橋活荷重による設計用曲げモーメントを求めることができ大変便利である。なお、Fig.6の計算は、曲げモーメントの大きさは正規分布すると仮定し、耐用期間は50年として計算した。

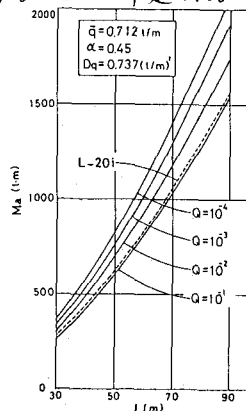


Fig.6

1) 松原白木高岡: 不規則関数論に基づく道路橋の信頼性解析, 土木学会第36回年次学術講演概要集, I-320, 1981-10.
2) R. D. Larrabee-C. A. Cornell: Combination of Various Load Processes, Jour. Str. Div., ASCE, Jan., 1981.
3) 藤野伊藤遠藤: 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.13, 1979-6.