道路橋の活荷重による最大応答の一評価法

綜合技術コンサルタント　正会員　久保　雅邦
綜合技術コンサルタント　正会員　○石田　良三
阪神高速道路公団　正会員　北沢　正彦

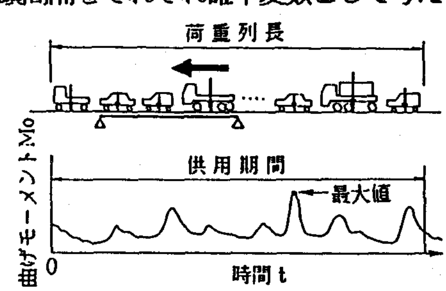
1. まえがき

道路橋の活荷重によって橋梁部材に発生する応答を予測する上で、荷重の実態特性については良く調査されているものの、応答解析では荷重のモデル化、解析手法、あるいは理論的根拠などにいくつかの課題が残されている。本研究では、不規則な自動車荷重列を受ける主桁の静的な応答に着目し、供用期間内の最大値統計量を求めるにあたって、シミュレーション法と確率理論とを併用して効率良く評価する手法を検討した。

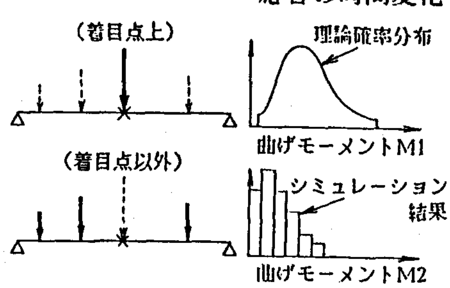
2. 不規則な自動車荷重列を受ける梁の応答解析

一般的な支間長を有する道路橋の主桁に着目すると、渋滞時の自動車荷重列によって生ずる曲げモーメントの最大値が、その安全性に大きな影響を及ぼすと考えられる。特に、都市内高速道路では長い渋滞列の移動による荷重のパターンを考慮する必要があり、ここでは図－１に示すような活荷重列と単純梁モデルを想定する。一車線について、車両重量をそれぞれ一個の集中荷重にモデル化し、着目点の影響線縦距を用いて曲げモーメントMoを算出する。ここで、活荷重列の載荷状況は時間的に変化するために曲げモーメントMoは時間関数となり、一回の渋滞列中あるいは供用期間中におけるその最大値を推定することが応答解析の目的となる。車種別の車両重量と車頭間隔をそれぞれ確率変数として与え、車種混入率、渋滞列長、供用期間、あるいは渋滞の発生頻度をそれぞれ確定量として与える。また、各車種の混入は確率的にランダムとする。

このような活荷重列を受ける梁の応答解析によって供用期間中の最大値を推定する方法としては、荷重列が特殊な場合を除いてシミュレーションによる方法が最も確実とされているが、そのためには一般に膨大な計算量を必要とする。また、これを補う方法として、べき乗則の適用あるいは変換過程を用いた理論的方法が提案されているが、分布の裾部の推定精度が必ずしも良くないなどの問題がある。都市内高速道路のような場合には活荷重列の移動を考慮しなければならないことが、シミュレーション法を適用しにくい理由の一つとなっている。ところが、このことを逆に見ると応答の



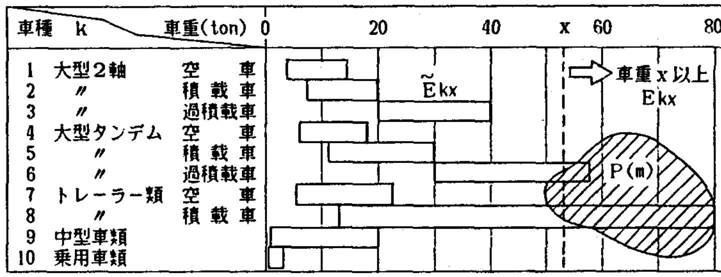
図－１　活荷重列の移動と応答の時間変化



図－２　活荷重列の分離

Masakuni KUBO, Ryouzou ISHIDA, Masahiko KITAZAWA

最大値は着目点上に荷重が載荷している場合に出現し、しかも通常は大型車類あるいは重量分布のうち比較的重い車両が載荷している場合に限定することができる。そこで、



図－3　車種分類と車重分布の範囲

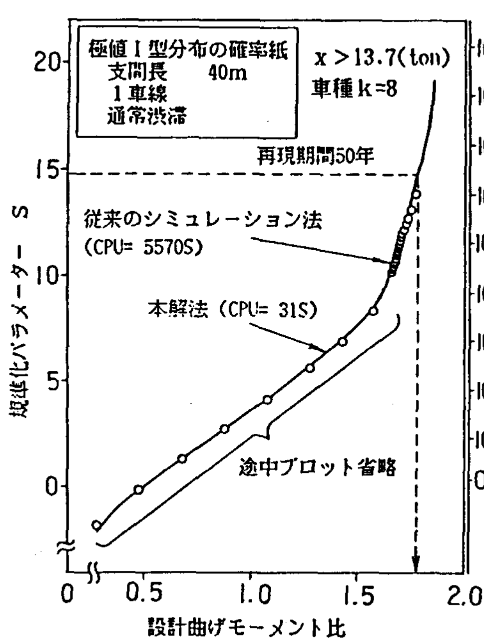
図－2に示すように梁上の活荷重列を着目点上とそれ以外の二つに分けると、重ね合わせの原理によって曲げモーメントMo をこれら二つの荷重による曲げモーメントM1 , M2 の和として求めることができる。いま、荷重列に含まれる任意の車種k （k＝1,2,……,n）の車重x以上のものが着目点上に作用する事象をEkxとおけば、曲げモーメントMo がm以上となる確率 P（m）は、全確率の定理より次式によって求められる。

$$P(m)=\Sigma P(m \mid Ekx)\cdot P(Ekx)+\Sigma P(m \mid \tilde{E}kx)\cdot P(\tilde{E}kx) \quad (1)$$

ここに、P（Ekx）は事象Ekxが発生する確率を表し、車種kの混入率と車重の確率分布とを用いて容易に求められ、P（m｜Ekx）はその条件付き確率、事象$\tilde{E}$kxは車種kに対するEkxの余事象をそれぞれ表す。ここで、応答レベルが比較的大きい場合に着目すれば、車重xを比較的大きい範囲に限定すれば良く、しかも式（1）の第2項は第1項に比べて確率的に無視することができる。活荷重実態調査に基づいてモデル化した車種分類と車重分布の範囲に対し、以上のことを模式的に示すと一例として図－3のようになる。したがって、着目点上にたとえば車種k＝6が作用しているという条件のもとで、Mo,M1,M2 の確率密度関数をそれぞれfo（m），f1（m），f2（m）とおくと、次のたたみ込み積分によってこれらの関数を表すことができる（簡単のため添字k＝6は省略する）。

$$fo(m)=\int_0^{\infty} f1(m-t)\cdot f2(t)\,dt \quad (2)$$

一般にf1（m）は車重の確率密度関数を線形変換して容易に求められ、f2（m）は図－2に示した荷重状態をシミュレーションして求めることができる。しかも、そのために必要なシミュレーション回数は最終的に必要とするfo（m）の分布の精度を表す程度で良く、且つブロック渋滞を載荷すれば良い。同様に、k＝8についても式（2）の評価を行い、これらを式（1）へ代入する。図－4の計算例では、比較的簡単な計算で期間50年の最大値を推定することができ、且つ十分な推定精度が得られた。



図－4　計算例