

東京大学工学部 学生員 ○高田 和彦  
 東京大学工学部 正 員 藤野 陽三  
 東京大学工学部 正 員 伊藤 学

## 1. まえがき

従来、車両列による橋梁に生ずる断面力の評価は、まず桁一杯に定常ランダムな荷重を作用させたときの断面力の累積確率分布  $F$  を求め、次に供用期間内に桁長に等しい長さの渋滞が  $N$  回生ずると考え、最大値分布は  $F^N$  と評価することが多い。しかし、高速道路上での渋滞は長い渋滞列の移動という荷重パターンが支配的になると考えられ、この場合の最大曲げモーメントは重い大型車両が桁中央付近を通過する時に生ずる可能性が高いので、従来の一回一回の渋滞により求まる  $F$  の統計量はこの可能性を無視していることになる。したがって、荷重列をフローとして扱った時の最大値分布  $F_{\max}$  に対し、 $F_{\max} \approx F^N$  の関係があるとした従来の考え方による分布  $F^N$  は、過小評価になっていると考えられる。本研究は、断面力の最大値分布に関し、従来の考え方による場合およびシミュレーション結果のそれぞれと、確率過程論の手法により荷重列のフローの影響を考慮した場合とを比較した。

## 2. フローとしての車両列の特性

単純桁橋梁を考え、桁中央での曲げモーメントに注目する。荷重モデル  $W(x)$  は定常確率ガウス過程、その自己相関関数  $R(\tau)$  は文献1)より  $R(\tau) = 0.737 \cdot \exp(-0.45 |\tau|)$  (単位:  $\text{ton}^2/\text{m}^2$ ) とした。荷重列のゼロ平均モデル  $W^*(x) (=W(x) - E[W(x)])$  による、桁中央での曲げモーメント  $M^*(x)$  のある区間  $[0, L^*]$  での最大値分布  $F_{\max}$  の近似式は Davenport によると

$$F_{\max}(y) = \exp(-\nu L^* \exp(-y^2/2)) \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$y = M^* / \sigma_1, \quad \nu = 1/(2\pi) \cdot (\sigma_2 / \sigma_1) \quad (\text{zero-upcrossing rate})$$

$$\sigma_1^2 = 1/(2\pi) \cdot \int_0^\infty S_{M^*}(\omega) d\omega, \quad \sigma_2^2 = 1/(2\pi) \cdot \int_0^\infty \omega^2 S_{M^*}(\omega) d\omega$$

$S_{M^*}(\omega)$  は曲げモーメントのパワースペクトル関数、 $L^*$  は車両列が渋滞状態のまま桁上を移動できる距離であり、車両列の総渋滞距離  $L$  と  $L^*$  の関係は  $L^* = L - \ell$  ( $\ell$ : 桁長) である。又一方、フローを考慮しない曲げモーメントの統計量より求まる累積確率分布  $F$  は、

$$F(y) = 1/(2\pi)^{1/2} \cdot \int_0^y 1/(2\pi)^{1/2} \cdot \exp(-z^2/2) dz, \quad y = M^* / \sigma_1 \quad \dots \dots \dots (2)$$

を表せるとした。従来の考え方による最大値分布は、上式を  $N$  ( $N = L/\ell$ ) 乗したものである。

$$F(y) = \{1/(2\pi)^{1/2} \cdot \int_0^y 1/(2\pi)^{1/2} \cdot \exp(-z^2/2) dz\}^N \quad \dots \dots \dots (3)$$

式(1)と式(2)について計算により求めた桁長  $\ell = 25\text{m}$  での、一回の渋滞による最大値分布  $F$ 、ならびに  $F^N$ 、そしてフローを考慮した最大値分布  $F_{\max}$  (実線)を図-1に示した。 $F$  を乗ずる回数  $n$  を増してゆくと  $F^N$  は  $y$  の大きな方向 (曲げモーメントの大きな方向) に動き、 $F_{\max}$  に近づいてゆく。しかし、 $n = N$  ( $N = L/\ell$ ) になっても  $F^N$  と  $F_{\max}$  にはかなりの差があり、従来の考え方  $F_{\max} \approx F^N$  の関係が成り立たないことがわかる。さらに  $n$  の値を大きくしてゆき、 $F^N$  と  $F_{\max}$  に交わる点が存在する時の  $n$  の値を等価回数  $N^*$  と呼ぶとすると、 $N^*$  を  $N$  で割った値  $N/N^*$  は図-1では2.5前後である。この値は、従来の渋滞距離の2.5倍を考慮する必要があり、従来の考え方は過小評価であることを示している。

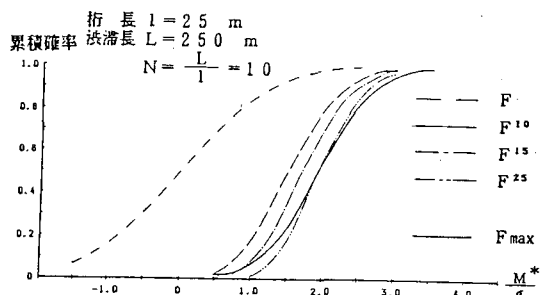


図-1  $F^N$  と  $F_{\max}$  の比較

3. 確率過程モデルによる活荷重評価

確率過程論を用いた曲げモーメント最大値の推定を、計算機によるシミュレーション結果と比較した。シミュレーションに用いた車両モデルは文献1)で用いられているものを使った。確率過程論による最大値推定には、荷重列の自己相関関数が必要である。自己相関関数の近似として①指数関数、②一次関数、及び③  $R(\tau) = \sigma_q^2 b \delta(\tau)$  ( $\delta(\tau)$ :デルタ関数)となるホワイトノイズの3種を考えた。なお、 $\sigma_q$  は荷重列の標準偏差、 $b$ は指数型の自己相関関数と  $\{\int_0^\infty |R(\tau)| d\tau\} / \sigma_q$  が等しくなるように決めた。曲げモーメントの分散の評価について、①, ②, ③を用いた場合とシミュレーション結果は  $l=25m$  でそれぞれ、30.4、30.9、31.3、29.9(単位:  $\text{ton}^2/\text{m}^2$ ) でありいずれの近似を用いてもシミュレーション結果に近い値となる。このことは他の桁長でも言えたので、荷重列を計算がもっとも簡単となるホワイトノイズとして扱った。

図-2に確率過程論による曲げモーメントの最大値の累積確率(式(1))とシミュレーション結果を示した。同じ累積確率に対する曲げモーメント最大値は、確率過程論によるものよりシミュレーション結果の方が大きい。このずれの原因は、用いたモデルが式(1)のガウス定常過程の仮定に反するためと考えられる。車両重量の累積分布を正規確率紙にかいたものが図-3である。全体として正規分布に従っているとは言えなく、図-2のずれの大きな原因と考えられる。事実、荷重列として大型車だけに限定し、車重分布として正規分布を用いた場合の曲げモーメントの最大値分布では、シミュレーション結果とのずれはほぼ解消された。又、最大値分布は母集団のすその形に大きく影響されることから、文献1)に示されている曲げモーメントのすそ部を表現する修正正規分布をあてはめてみた。この修正正規分布を用いる理論による解と、シミュレーション結果を比較したのが図-4である。修正正規分布を用いるとかなりシミュレーション結果に近づくが、まだ差があり不十分であることがわかる。

4. あとがき

荷重列のフローを考慮しない従来の手法では、フローを考慮した確率過程論による解と比較して曲げモーメントを過小評価している。又、確率過程論の理論による解とシミュレーション結果にはずれがある。シミュレーション結果とのずれは主に荷重列が非ガウス過程のためと考えられるので、荷重列過程をガウス過程に変換して最大値分布の推定を行い、さらに逆変換をほどこすと、ずれは解消すると考えられる。いずれにせよ、断面力の累積分布  $F$  をいかに解析的に評価するかがカギとなる。この計算については当日報告する予定である。

〈参考文献〉1) 高岡・白木・松保: 不規則関数論

に基づく道路橋の空間領域での信頼性解析, 土木学会論文集, 第334号, 1983・6

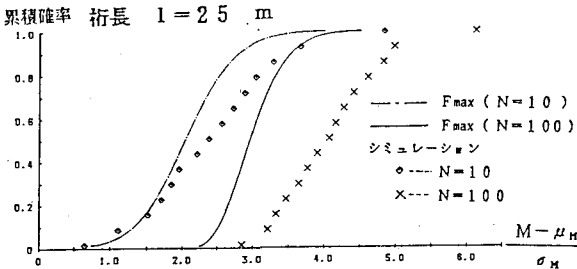


図-2 確率過程論とシミュレーションによる曲げモーメント最大値の計算結果の比較 (桁長=25m)

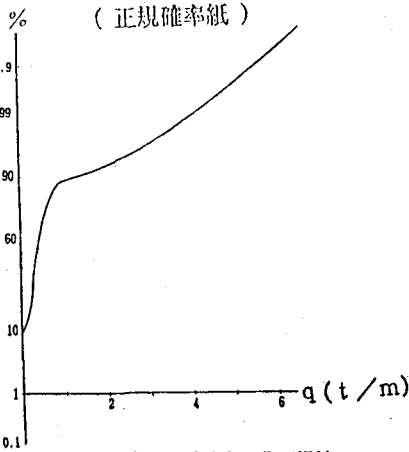


図-3 車両列重分布の非正規性

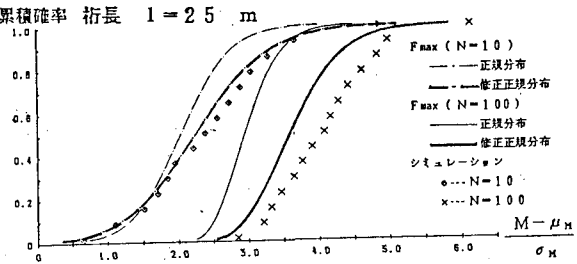


図-4 修正正規分布によるモーメント最大値分布 (桁長=25m)