

横河橋梁(株) 正員 高田和彦
 東京大学工学部 正員 藤野陽三

1. まえがき

前回の発表¹⁾で、渋滞時の自動車列による桁の曲げモーメント応答は非ガウス過程であり、最大値分布を求めるには曲げモーメントの確率分布を求める必要があることを述べた²⁾。荷重モデルには混入率、車長分布、車頭間隔などさまざまなパラメータがあり、荷重により引き起こされる曲げモーメントの確率分布を解析的に求める事は困難である³⁾。多くのパラメータを容易に取り込めるコンピュータシミュレーションの方が優れているともいえるが、最大値推定に必要な分布形の特に裾部の情報を得るには、莫大な繰り返し計算が必要である。そこで、この繰り返しの回数を減らすコンピュータシミュレーションの効率化を考える。断面力としては、単純桁の中央部の曲げモーメントを考える。

2. 従来の方法

ブロック渋滞を考える場合、曲げモーメントの最大値の累積分布 $F_{\max}$ は、各渋滞が独立とすれば瞬間値の累積分布 F と供用期間内でブロック渋滞が起こる回数 N を用いて、 $F_{\max} = F^N$ と表せる。1日に10回のブロック渋滞が起こるとして、50年間の最大値を問題とすると、最大値分布は、

$$F_{\max} = F^{10 \times 365 \times 50} = F^{182500} \quad (1)$$

となり、例えば $F_{\max} = 0.8$ となるのは $F = 0.999999$ の時である。瞬間値の分布 F の裾部を 10^{-6} のオーダーの精度で知る必要があることを示しており、シミュレーションの繰り返し回数に直すと、 10^6 回以上必要ということになる。コンピュータシミュレーションが容易ということで、ブロック渋滞の計算は広く行われているが、従来は、もっと少ない繰り返しによって得られる結果を確率紙にあてはめ、裾部を直線・曲線で近似するという方法がとられてきた。自動車モデルについて

(文献1) 車両重量の最大値を仮定して、Fig-1 にコンピュータシミュレーションを 10^3 回繰り返し得られる曲げモーメントの累積確率と、 10^6 回繰り返し得られる累積確率の裾部を、確率紙にあてはめたものを示す。また同じ図に、 10^3 回の繰り返しによって得られるデータを用い、裾部を直線によって推定したものを示す。少数のデータを用いた直線近似による裾部の推定では、同じ累積確率に対し曲げモーメント値が、 10^6 回の繰り返しから得られる値より、特に累積確率の大きいところで過大評価となっている。

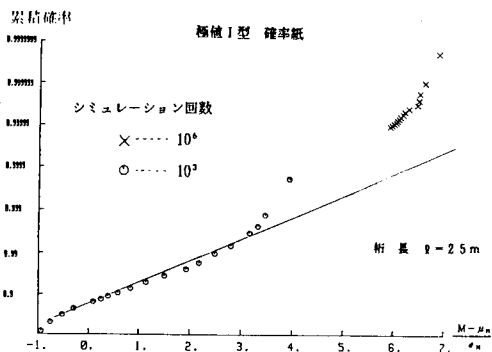


Fig-1 ブロック渋滞による曲げモーメント分布の極値I型確率紙へのあてはめ

3. 手法と結果

確率分布の最大値側の裾部に関する情報が、工学的には重要である。そこで大きな値の曲げモーメントだけを抽出し、必要な情報を数少ない繰り返しによって求めることを考える。

単純桁の中央部に大きな曲げモーメントが発生するのは、桁中央付近に重い大型車両が載った時である。この状態を (A) とし、状態 (A) を以下の2条件により規定する。

- i) 大型トラック n 台が連続して、桁中央部をはさんで載っている。
- ii) i) で載っている大型トラックの重量は x ton以上である。

状態 (A) が生ずる確立を P_A とすると、(A) の状態のみを抽出するという制限のもとでの $N \times P_A$ 回の繰り返しのシミュレーションと、制限なしの N 回の繰り返しのシミュレーションで得られる曲げモーメント

値のサンプルを、大きい順に並べると、両者の上位の値はほぼ同じはずである。大型トラック・小型トラック・乗用車の混入率をそれぞれ p_{v1} , p_{v2} , p_{v3} 車長を ℓ_{v1} , ℓ_{v2} , ℓ_{v3} とし、車両間隔を s 、大型トラックの重量の累積確率を $F_v(x)$ とすると、i), ii) が生ずる確率は次のようにして決めることができる。

i) 桁上にブロック渋滞が載る時、桁中央に大型トラックが載っている、または車両と車両の間に桁中央があるが、一番中央に近い車両が大型トラックである確率は、車両間隔が s であることを考えて

$$(\ell_{v1} p_{v1} + s) / \left(\sum_{i=1}^3 (\ell_{vi} p_{vi} + s) \right) \quad \text{と近似}$$

$$P_1 = \frac{\ell_{v1} p_{v1} + s}{\sum_{i=1}^3 (\ell_{vi} p_{vi} + s)} \times p_{v1}^{n-1} \quad (2)$$

で表すことができる。上述の注目点は、連続する大型トラックの台数 n で固有に決まる点である。

ii) 大型トラック n 台が x ton 以上である確率 P_2 は

$$P_2 = (1 - F_{v1}(x))^n \quad (3)$$

式 (2), (3) を用い、状態 (A) の生ずる確率 P_A は

$$P_A = P_1 \times P_2 \quad (4)$$

と表すことができる。

実際にシミュレーションを行い、 P_A , n , x を以下のように定めた。

$$n = \begin{cases} 1 & \ell < 50 \text{ m} \\ 2 & \ell \geq 50 \text{ m} \end{cases} \quad P_A = \begin{cases} \frac{1}{200} & \ell < 50 \text{ m} \\ \frac{1}{300} & \ell \geq 50 \text{ m} \end{cases} \quad (5)$$

x は上の n , P_A を満たすように定める。

10^6 回の繰り返しによるシミュレーション結果と、効率化を施したシミュレーション結果のそれぞれの裾部を、極値 I 型紙にあてはめ比較したものを Fig-2 に示す。Fig-1 で示した少数のデータを用いた裾部の直線による推定は、大きくはずれており Fig-2 の範囲に入っていない。この効率化したシミュレーションが良好な結果を与えることがわかる。さらに、大きな曲げモーメントが生ずる状態を支配するのが、大型トラックと大型トレーラの 2 種類の場合、大型トレーラの混入率と車長をそれぞれ p_{v4} , ℓ_{v4} とすると P_1 を

$$P_1 = \frac{\ell_{v1} p_{v1} + \ell_{v4} p_{v4} + 2s}{\sum_{i=1}^4 (\ell_{vi} p_{vi} + s)} \times (p_{v1} + p_{v4})^{n-1} \quad (6)$$

に変えればよい。また、 P_2 の x は、大型トラックと大型トレーラのそれぞれで式 (5) を満たすように決めればよい。結果を Fig-3 に示す。効率化を施したものと施さないもののシミュレーション結果の差は小さく、この効率化のシミュレーションが、広い汎用性を有することがわかる。

4. 結論

コンピュータシミュレーションを行う時、必要な情報を与えている状態のみを抽出することにより、繰り返し回数を減少させる効率化を試み、良い結果を得られた。

<参考文献> 1) 高田, 藤野, 伊藤: 第39回年次学術講演会, 1984 2) 藤野, 高田: 構造工学論文集, 1985 3) 藤野, 伊藤, 高田: 確率過程論を用いた都市内道路橋の活荷重応答の評価, 東大修士論文1985

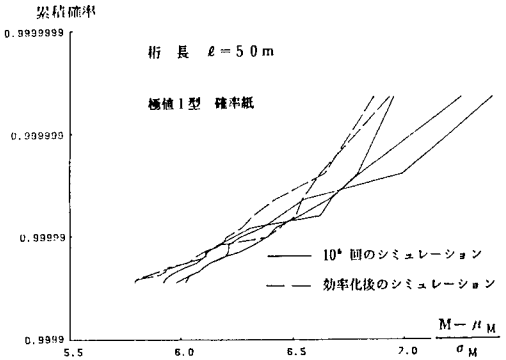


Fig-2 効率化を施したシミュレーションと施さないシミュレーションの裾部の比較

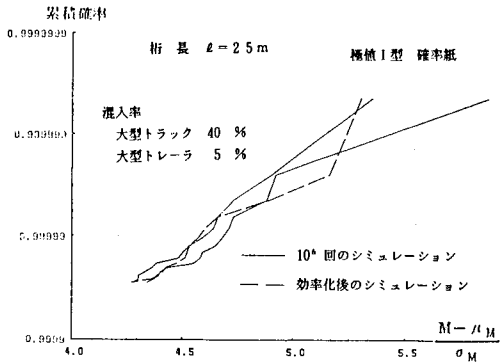


Fig-3 大型トレーラが加わった時の、効率化を施したシミュレーションと施さないシミュレーションの裾部の比較