

シミュレーション手法による道路橋路荷重のモデル化

鳥取大学大学院 学生員 〇松原重之
鳥取大学工学部 正会員 白木 渡
鳥取大学工学部 正会員 高岡宣善

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とみなし得る。先の発表¹⁾では、このような荷重を分布不規則荷重としてとらえ、そのような分布不規則荷重が作用する場合の道路橋の信頼性解析法について述べた。今回は、先の研究で示した解析法を用いて道路橋の信頼性解析を具体的にこなうために必要な活荷重の確率特性値(平均値, 分散, 自己相関関数)をシミュレーション手法によって求める問題を考える。

2. 車両のモデル化 交通流を構成する車種は建設省が行なっている全国交通情勢調査にしたがって、(a)乗用車(貨客車を含む), (b)小型貨物車(軽貨物車を含む), (c)大型貨物車(普通貨物車, バス, 特殊車を含む)の3つに分類した。各車種はFig-1に示すような簡単なモデルとした。ただし、 L は車両占有長、 W は車両重量である。車両重量は簡単にために正規分布に従うものとし、各車種に関する分布形はTable-1に示すような最大重量, 最小重量, 平均重量, 分散によって規定した(Fig-2参照)。各車種の交通流における混入率は道路の諸条件により変化すると考えられるが、本研究では全国交通情勢調査における一般市街地のデータを用いることとし、車種(a), (b)および(c)の混入率をそれぞれ64.0%, 20.0% および16.0%とした。

3. シミュレーションの方法 本研究を行なうに際し、不規則変量としての荷重が定常性を有するかどうか、ということがまず問題になる。これは道路橋の信頼性解析を行なう場合、荷重が非定常になるとその解析が著しく困難なものとなるからである。しにがって、統計処理としてはアンサンブル的統計処理を施すことにした。以上のことを考え、著者らはFig-3のフローチャートに示す計算手順をふむことにした。まず、乱数を発生させて車種を決定する(ステップ1)。次にその車の載荷位置および重量を同様に決定する(ステップ2)。このとき、車両間隔は簡単のために一律に50cmとした。この間隔は渋滞時を想定していることを考えれば妥当な値であろう。また車両重量は前述のように正規分布としにが、最大値, 最小値を与えているために全確率が1となるように正規分布の確率密度をひずませて修正を施した。さらに、車両重量のとり得る値は、最小値と最大値の間の10個の離散値とした。このようにして車種, 車両重量が決まれば、重量を分布荷重に変換する(ステップ3)。変換方法としては、決定された重量をFig-1の前後輪軸重比に分割し、そのそれぞれを車両占有長の半分に

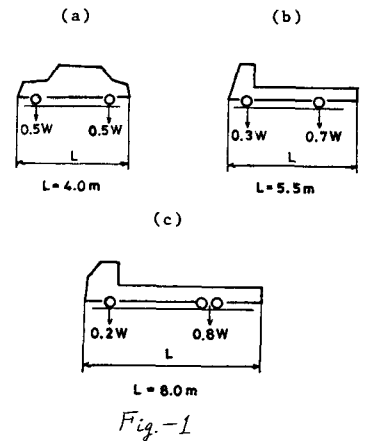


Fig.-1

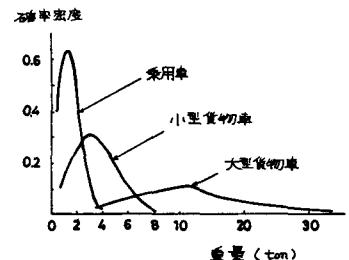


Fig.-2

Table-1

等分布荷重として載せるという方法をとった。このようにして所要の標本記録長に車が満載されると1回のシミュレーションが終了し、さらにシミュレーションを定められた回数繰

	Max (t)	Min (t)	Mean (t)	Var (t ²)
乗 用 車	4.0	0.5	1.2	0.6
小 型 貨 物 車	8.0	0.8	3.1	3.2
大 型 貨 物 車	46.0	3.5	10.5	50.5

り返して統計処理を施すこととした。統計処理としては、上述の理由からアンサンブル的処理を施さなければならぬので、次式にしたがって荷重の平均値 $\bar{g}(x)$ 、分散 $D_g(x)$ 、相関関数 $K_g(x_1, x_2)$ を求めた(ステップ4)。

$$\bar{g}(x) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g_i(x) \tag{1}$$

$$K_g(x_1, x_2) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{g_i(x_1) - \bar{g}(x_1)\} \{g_i(x_2) - \bar{g}(x_2)\} \tag{2}$$

$$D_g(x) = K_g(x, x) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{g_i(x) - \bar{g}(x)\}^2 \tag{3}$$

ただし、 $g_i(x)$ はi番目の標本関数であり、Nは標本関数の個数である。なお、シミュレーション回数は10万回とした。

4. シミュレーション結果および考察

シミュレーションの計算結果をFig-3、Fig-4およびTable-2に示す。Fig-3はシミュレーションの結果出てきた分布不規則荷重の平均値と分散を示したものである。Fig-4は相関関数 $K_g(t)$ (t[m]：橋軸方向に沿って測った2点間の座標値の差)を表わしたものである。ただし、各座標値上で平均したものを示した。そのさい、各座標値上での相関関数のデータがどのくらいバラツキを有するかを示したのが、Table-2であり、その99%信頼区間も合せて示しておいた。一般に、不規則関数 $g(x)$ が、(a)平均値一定、(b)分散一定、(c)相関関数が助変数の差 t のみに依存するという3条件を満たすとき、 $g(x)$ は定常不規則関数であると言えらるので、Fig-4、Table-2の結果から、ここで考えている分布不規則荷重はかなりの定常性を有すると思える。さて、本研究の最終的な目的は荷重の相関関数の定式化である。しかも、のちに行なう信頼性解析を考え、微分可能ななるべく簡単な関数形であることが望ましい。そこで、回帰理論を用いて計算結果を(1)単一の直線 $K_g(t) = D_g + \alpha_1 t$ と(2)指数関数 $K_g(t) = D_g e^{-\alpha_2 t}$ に当てはめることにした。そのさいに問題となるのは t のどの区間までを回帰させるかによって関数形のパラメータが異なってくるということである。そこで、回帰分析を行った結果に多少なりとも確率的意味を持たせるという意味で、 t_c のとき不規則関数 $g(x)$ と $g(x+t)$ が実用上非相関とみなせるような長さを表わす相関距離 t_c (式(4)参照)

なうものを導入し、回帰分析の結果

出てきた曲線とシミュレーション結果の曲線の相関距離が類似しているものをもって、回帰曲線のパラメータを決定することにした。

t_c をシミュレーション結果より直接求めた値は約2.2 mとなり、この値に類似する値を有する回帰曲線を求めると、(1)直線回帰の場合、 $K_g(t) = 0.582 - 0.115 t$ ($t_c = 2.22 \text{ m}$)となり(2)指数回帰の場合、 $K_g(t) = 0.377 e^{-0.45 t}$ ($t_c = 2.22 \text{ m}$)あるいは $K_g(t) = 0.544 e^{-0.48 t}$ ($t_c = 2.07 \text{ m}$)となった。この結果は、Fig-4に示す通りである。

2)高岡、白木、松原：不規則荷重による静的応答、土木学会第32回中国年次学術講演概要集、I-19、pp33-34、1980-5

2)藤野、伊藤、遠藤：シミュレーションに基づく道路橋設計用荷重の評価、土木学会論文報告集、第286号、pp1-13、1979-6

3)小西、高岡：構造動力学、丸善、pp207-208、1976-2

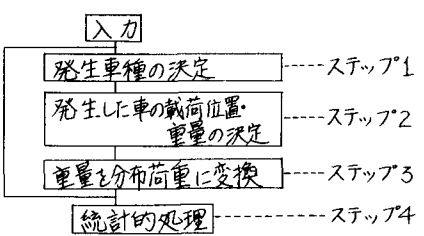


Fig-3

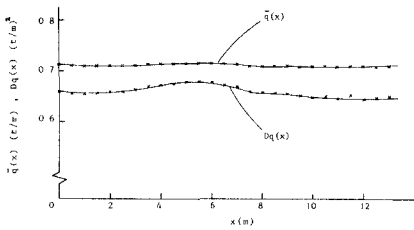


Fig-4

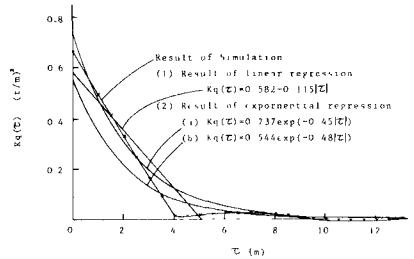


Fig-5

Table-2

t_c (m)	$K_g(t_c)$ (t/m) ²	Variance (t/m) ²	99% Confidence Interval (t/m) ²
0	0.6615	6.855×10^{-3}	0.5685 - 0.6645
0.5	0.5787	5.269×10^{-3}	0.5158 - 0.5816
1.0	0.4959	5.618×10^{-3}	0.4931 - 0.4986
1.5	0.4129	4.677×10^{-3}	0.4101 - 0.4154
2.0	0.3298	3.980×10^{-3}	0.3274 - 0.3322
2.5	0.2466	2.763×10^{-3}	0.2446 - 0.2486
3.0	0.1638	1.933×10^{-3}	0.1621 - 0.1655
3.5	0.0898	1.159×10^{-3}	0.0885 - 0.0912
4.0	0.0159	1.451×10^{-4}	0.0154 - 0.0163
4.5	0.0154	1.419×10^{-4}	0.0147 - 0.0158
5.0	0.0190	2.247×10^{-4}	0.0184 - 0.0196
5.5	0.0226	3.104×10^{-4}	0.0219 - 0.0233
6.0	0.0262	4.318×10^{-4}	0.0254 - 0.0271
6.5	0.0264	5.523×10^{-4}	0.0254 - 0.0273
7.0	0.0265	6.753×10^{-4}	0.0254 - 0.0277
7.5	0.0239	7.764×10^{-4}	0.0227 - 0.0251
8.0	0.0209	8.901×10^{-4}	0.0196 - 0.0222

この結果は、Fig-4に示す通りである。

2)高岡、白木、松原：不規則荷重による静的応答、土木学会第32回中国年次学術講演概要集、I-19、pp33-34、1980-5

2)藤野、伊藤、遠藤：シミュレーションに基づく道路橋設計用荷重の評価、土木学会論文報告集、第286号、pp1-13、1979-6

3)小西、高岡：構造動力学、丸善、pp207-208、1976-2