

総合技術コンサルタント 正会員 ○山本克之
鳥取大学工学部 正会員 白木 渡

舞鶴工專 正會員 松保重之
鳥取大学工学部 正會員 高岡宣善

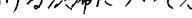
1. まえがき 都市高速道路高深橋桁部分の信頼度を評価する場合、それが最も危険と考えられる自動車荷重满载時、すなわち渋滞状態における活荷重モデルを考える必要がある。高速道路における渋滞について考えれば、一般道路のように交差点や信号によって交通が遮断されることによって生ずる単発的なものではなく、定常的にしかも長い区間にわたると考えられる。本研究では、このような渋滞時の活荷重を (a)  図-1に示すように車両進行方向の座標 x と変数 t とする不規則分布荷重¹⁾(不規則関数) (b)  (c)  $q(x)$ と見なすことができるとして、都市高速道路における渋滞時の自動車列を特徴づける様々な要因をできるだけ詳細に不規則分布荷重に反映させるモデル化について考える。

図-1

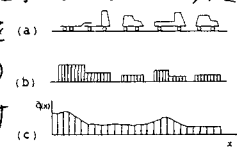


图-1

2. シミュレーション手法による不規則分布荷重の確率特性値の評価 不規則分布荷重 $\tilde{x}(x)$ を特徴づけるためには、期待値 $\bar{x}(x)$ 、分散 $D_x(x)$ 、自己相関関数 $K_x(x_1, x_2)$ といった確率特性値を評価することが必要となる。本研究では、モンテ・カルロシミュレーション法により $\tilde{x}(x)$ の確率特性値を評価する。シミュレーションに用いるデータとしては、最近行われた阪神高速道路公団の活荷重実態調査結果²⁾を用い

表 - 1

る。シミュレーションパラメータとして、車重、車長、前後荷重比という車両に関するものと、車種別混入率、車間距離という渋滞時の交通流を特徴づけるものを考える。ここに、前後荷重比とは自動車荷重を図16)に示すような長方形分布荷重へモデル化するときの前部と後部の高さの比のことである。本研究では、これらの5つのシミュレーション・パラメータに関して表-1に示すいくつかの比較パターンについてパラメータ解析を行って、不規則分布荷重 $\hat{g}(x)$ の確率特性値の評価を行うことにするが、まずここでは表-1に示す「基本I」のパターンについて $\hat{g}(x)$ の確率特性値を評価することにする。まず、渋滞時における車列を構成する車両を乗用車、中型車類、大型車類、トレーラーの4種類に分類し、各車種の重量、車長の確率特性値は表-2に示す値とする。こ

表-2

分類 項目	品名	標準消費量(入)消費%	標準 量	標準消費量(出)消費
基本工	電 48/17	大 7 中 7 小 2	重量と寸法 平均値	0.5V<2 (3.6%) 寸法 平均値 2.7寸
	基本II	29 9 42 10		
	基本III	38 8 3 1		
基本の 地方	A1		平均消費量 有7.0の標準	
	A2			
電力	B1			0.5V<2 標準量 (3.63%)
	B2			平均値 3.05% 寸法
	B3			0.5V<4 標準量 (2.98%)
	B4			平均値 3.46% 寸法
燃料	B5			0.5V<6 標準量 (3.40%)
	B6			平均値 4.34% 寸法
	B7			0.5V<10 標準量 (4.31%)
	B8			平均値 6.38% 寸法
炭素	B9			0.5V<30 標準量 (6.23%)
	B10			

注：荷役重量比は、使用車種1：1、中型車種1：2、大型車種1：2、
ドレーパー1：2、とする。

のようなデータを基に図-2に示す手順に従ってシミュレーションを行った。その結果を示したのが図-3お

事業内容	平成25年度				平成26年度			
	千円未満	千円以上 十万円未満	十万円以上 千円未満	千円以上 十万円未満	千円未満 (円)	千円以上 十万円未満	十万円以上 千円未満	千円以上 十万円未満 (円)
製造販売	1, 50	0, 13	3, 3	0, 7	4, 0			
中間取引	4, 91	7, 67	22, 3	1, 3	6, 45	2, 72	12, 5	3, 5
大規模事業	17, 06	34, 34	38, 5	2, 5	10, 63	2, 59	15, 0	5, 0
リース等	21, 27	102, 60	48, 5	9, 5	14, 12	4, 53	20, 0	8, 0

よび図4である。図3は $\tilde{g}(x)$ の期待値 $\bar{g}(x)$ 、分散 $D_g(x)$ で、それぞれ座標系に無関係な定数、すなわち $\bar{g}=0.9586 \text{ t/m}$ 、 $D_g=0.4064 \text{ t/m}^2$ で表わすことができる。図4は自己相関関数 $K_g(x)$ (で x_2-x_1)で2点間の座標値の差でのみの関数で表わされ、シミュレーション結果を回帰近似すれば、 $K_g(x)=0.4064 \exp(-0.3164|x|)$ が得られる。このように、都市高快速道路高架橋における渋滞時活荷重を定常な不規則分布荷重 $\tilde{g}(x)$ でモデル化することができることがわかる。

3. シミュレーション・パラメータが不規則分布荷重の確率特性値に及ぼす影響

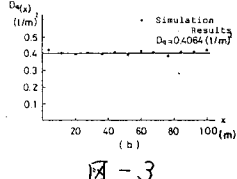
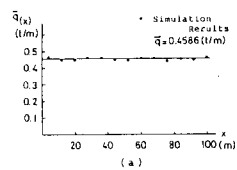


图-3

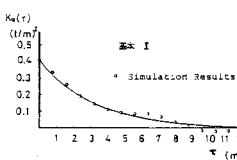


图-4

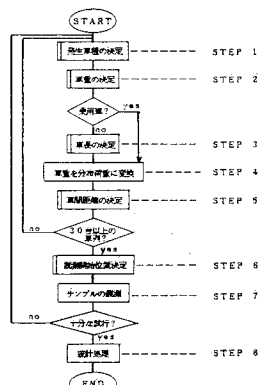


图-2

して各シミュレーション・パラメータが不規則分布荷重 $\hat{x}(x)$ の確率特性値に及ぼす影響について調べる。まず、混入率の変化による影響について調べる。混入率の異なる3つのパターン「基本I」、「基本II」、「基本III」のシミュレーションによって得られた $\bar{x}, D_x, \alpha$ を表-3に、 $K_g(x)$ を図-5にそれぞれ示す。図-5からわかるように、大型車混入率の高い「基本II」の場合で7m付近から負の値が現われ、 $K_g(x)$ は指数関数との適合性はあまりよくない。したがって、 α という特性はこのことを踏まえてみる必要がある。「基本I, II, III」の結果を $\bar{x}, D_x, \alpha$ という3つの特性値で代表できるものとして、上述した結果をわかり易くするために、これらを乗用車混入率に対して図-6にプロットしてみた。この図から $\hat{x}(x)$ の期待値 $\bar{x}$ と分散 D_x は、乗用車混入率の増加に対してほぼ直線的に減少していることがわかる。また、 α は乗用車混入率の変化によって大きな影響を受けないことがわかる。つぎに、車長の扱い方という比較パターンAについて考

表-3

パターン	$\bar{x}$ (t/m)	D_x (t ² /m ²)	α (m ⁻¹)
基本 I	0.4586	0.4064	0.3164
基本 II	0.9691	0.9463	0.4010
基本 III	0.3421	0.2389	0.3130

察する。基本パターンでは乗用車の車長を確定量とする以外、車長は車重に対して独立な確率量として扱っている。これに対し A_1 では車長を平均値に固定した場合と考え、 A_2 では車重との間に相関関係を有する確率量として扱う場合と考え、それぞれの結果と基本パターンの結果と比較する。 A_2 の場合は、図-2のフローチャートのSTEP3の車長を決定するとき、車重の決定のために発生させた乱数をそのまま用いることによって車重と車長に相関性をもたせた。このシミュレーション結果を図-7に示す。この図からわかるように $\bar{x}$ は車長の扱い方によってほとんど変化しないが、分散は多少変化している。つづいて、渋滞時の走行速度と関係づけた車間距離の違いによる影響を調べるために比較パターンBについて考える。「基本I」および B_2, B_4, B_6, B_8 は車間距離を確定量とし、その値としてはそれぞれの走行速度に対応する車間距離の期待値を用いた。また、 B_1, B_3, B_5, B_7 においては、車間距離を表-4に示す確率特性を有する対数正規分布に従う確率量とした。この場合のシミュレーション結果を図-8および図-9に示す。これらの図においては、横軸に平均車間距離をとり縦軸に $\bar{x}$ と D_x をそれぞれ示している。いずれの図においても、○印は車間距離を確定量としたもので、+印は確率量としたものである。これらの図からわかるように、車間距離が大きくなるに従って、 $\bar{x}$ および D_x は小さくなる。また、車間距離を確定量とする場合と確率量とする場合との違いによる影響は、 $\bar{x}$ にはほとんど現れないが D_x にわずかにその影響が現われ、確率量として扱った場合の方が D_x がわずかに大きくなっている。

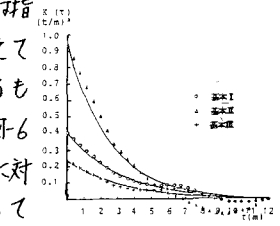


図-5

察する。基本パターンでは乗用車の車長を確定量とする以外、車長は車重に対して独立な確率量として扱っている。これに対し A_1 では車長を平均値に固定した場合と考え、 A_2 では車重との間に相関関係を有する確率量として扱う場合と考え、それぞれの結果と基本パターンの結果と比較する。 A_2 の場合は、図-2のフローチャートのSTEP3の車長を決定するとき、車重の決定のために発生させた乱数をそのまま用いることによって車重と車長に相関性をもたせた。このシミュレーション結果を図-7に示す。この図からわかるように $\bar{x}$ は車長の扱い方によってほとんど変化しないが、分散は多少変化している。つづいて、渋滞時の走行速度と関係づけた車間距離の違いによる影響を調べるために比較パターンBについて考える。「基本I」および B_2, B_4, B_6, B_8 は車間距離を確定量とし、その値としてはそれぞれの走行速度に対応する車間距離の期待値を用いた。また、 B_1, B_3, B_5, B_7 においては、車間距離を表-4に示す確率特性を有する対数正規分布に従う確率量とした。この場合のシミュレーション結果を図-8および図-9に示す。これらの図においては、横軸に平均車間距離をとり縦軸に $\bar{x}$ と D_x をそれぞれ示している。いずれの図においても、○印は車間距離を確定量としたもので、+印は確率量としたものである。これらの図からわかるように、車間距離が大きくなるに従って、 $\bar{x}$ および D_x は小さくなる。また、車間距離を確定量とする場合と確率量とする場合との違いによる影響は、 $\bar{x}$ にはほとんど現れないが D_x にわずかにその影響が現われ、確率量として扱った場合の方が D_x がわずかに大きくなっている。

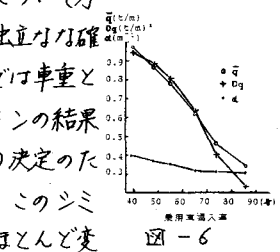


図-6

察する。基本パターンでは乗用車の車長を確定量とする以外、車長は車重に対して独立な確率量として扱っている。これに対し A_1 では車長を平均値に固定した場合と考え、 A_2 では車重との間に相関関係を有する確率量として扱う場合と考え、それぞれの結果と基本パターンの結果と比較する。 A_2 の場合は、図-2のフローチャートのSTEP3の車長を決定するとき、車重の決定のために発生させた乱数をそのまま用いることによって車重と車長に相関性をもたせた。このシミュレーション結果を図-7に示す。この図からわかるように $\bar{x}$ は車長の扱い方によってほとんど変化しないが、分散は多少変化している。つづいて、渋滞時の走行速度と関係づけた車間距離の違いによる影響を調べるために比較パターンBについて考える。「基本I」および B_2, B_4, B_6, B_8 は車間距離を確定量とし、その値としてはそれぞれの走行速度に対応する車間距離の期待値を用いた。また、 B_1, B_3, B_5, B_7 においては、車間距離を表-4に示す確率特性を有する対数正規分布に従う確率量とした。この場合のシミュレーション結果を図-8および図-9に示す。これらの図においては、横軸に平均車間距離をとり縦軸に $\bar{x}$ と D_x をそれぞれ示している。いずれの図においても、○印は車間距離を確定量としたもので、+印は確率量としたものである。これらの図からわかるように、車間距離が大きくなるに従って、 $\bar{x}$ および D_x は小さくなる。また、車間距離を確定量とする場合と確率量とする場合との違いによる影響は、 $\bar{x}$ にはほとんど現れないが D_x にわずかにその影響が現われ、確率量として扱った場合の方が D_x がわずかに大きくなっている。

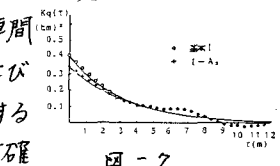


図-7

4. まとめ 以上示したように、ここで行ったシミュレーションでは比較的データに恵まれたため、各パターンの条件を実際の交通状況とある程度結びつけて示すことができた。これらの条件が $\hat{x}(x)$ の確率特性値に与える影響については、他の条件との相対的な比較のみが可能であって、どの程度の違いが重大でまたどの程度なら無視し得るかという絶対的な評価はできない。すなわち、 $\hat{x}(x)$ の特性値の差が高架橋の断面力の特性値あるいは信頼度を与える影響をみて、初めて判断できるものである³⁾。そして改めて、渋滞時活荷重を規定するパラメータをどのように選ぶべきかという点を見直すことができるであろう。そうして図-8, 9などの図を用いれば、新しく得られた観測データに対して改めてシミュレーションを行わなくても、都市高速道路高架橋の渋滞時活荷重をモデル化することができる。最後に、貴重な資料を提供していただいたHDL委員会関係各位に感謝いたします。

表-4

走行速度 V (km/h)	対数期待値 (m)	標準偏差 (m)	最大値 (m)	最小値 (m)
0.5V < 2	2.71	1.49	11.0	1.0
0.5V < 4	3.05	1.72	12.0	1.0
0.5V < 6	3.48	2.03	13.0	1.0
0.5V < 8	4.34	2.86	18.0	1.0
0.5V < 10	5.38	3.98	22.0	1.0

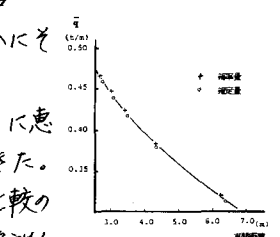


図-8

4. まとめ 以上示したように、ここで行ったシミュレーションでは比較的データに恵まれたため、各パターンの条件を実際の交通状況とある程度結びつけて示すことができた。これらの条件が $\hat{x}(x)$ の確率特性値に与える影響については、他の条件との相対的な比較のみが可能であって、どの程度の違いが重大でまたどの程度なら無視し得るかという絶対的な評価はできない。すなわち、 $\hat{x}(x)$ の特性値の差が高架橋の断面力の特性値あるいは信頼度を与える影響をみて、初めて判断できるものである³⁾。そして改めて、渋滞時活荷重を規定するパラメータをどのように選ぶべきかという点を見直すことができるであろう。そうして図-8, 9などの図を用いれば、新しく得られた観測データに対して改めてシミュレーションを行わなくても、都市高速道路高架橋の渋滞時活荷重をモデル化することができる。最後に、貴重な資料を提供していただいたHDL委員会関係各位に感謝いたします。

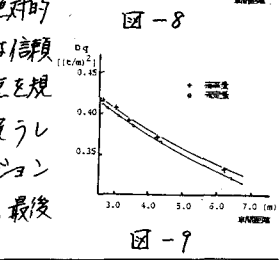


図-9

1) 高岡・白木・松本: 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, 土木学会論文報告集, 第334号, pp. 77-88, 1983-6.
2) 阪神高速道路公団設計荷重(HDL)委員会: 活荷重分科会資料, 第1回~第13回資料, No. 2/3~No. 17号, 1982-1984.
3) 鈴木・高岡・松本・山本: 都市高速道路高架橋における主桁の信頼性解析, 第31回土木学会年次学術講演会講演要録集, 1984-10.