

## 道路橋の伸縮装置部に生じる走行自動車の 衝撃力特性と路面性状の影響

DYNAMIC LOAD OCCURRED IN MOVING VEHICLE AT EXPANSION JOINT POINTS  
AND EFFECTS OF JOINT POINT ROUGHNESS ON DYNAMIC RESPONSE

本田秀行<sup>\*</sup> 小堀為雄<sup>\*\*</sup>

By Hideyuki HONDA and Tameo KOBORI

The momentary impact load occurred in moving vehicle at expansion joint point is considered as important factor in the technical problems on dynamic behavior and maintenance of highway bridges. In order to investigate the dynamic characteristics of the impact load, the dynamic response analysis of vehicle passing through the joint points is done, and then the dynamic wheel load and the dynamic factor of vehicle are evaluated the terms of probabilities. Furthermore, in order to evaluate quantitatively the effects of roadway roughness at joint points on these dynamic loads, calculated results used the quantification theories I and II are presented.

### 1. まえがき

道路の舗装仕上げの向上にもかかわらず、道路橋の伸縮装置部付近では、舗装仕上げ面が困難である施工上の問題や供用中の伸縮装置部付近の路面の破損やオーバーレイなどによって、かなり大きい段差が生じている場合が多い<sup>1)</sup>。そのような道路橋の伸縮装置部を自動車通過するとき、伸縮装置部付近の段差によって走行自動車には大きい衝撃力が生じることがあり、一般に、その衝撃力は一般路面よりも大きい性状を呈する。このため、特に橋梁が連続して架設されているような都市高速道路では、伸縮装置部に生じる衝撃が自動車の乗心地や走行性を左右する直接的原因となっていることが報告<sup>2)</sup>されている。また、この伸縮装置部に生じる走行自動車の衝撃力は、伸縮装置やその付近の路面に局所的でしかも瞬間的な接地力として作用するため、(1)道路橋の衝撃係数や疲労強度などの動的応答の解析やその際の走行自動車荷重の初期値問題<sup>3),4)</sup>、(2)環境・公害問題としての道路橋の低周波空気振動、騒音および橋台、橋脚周辺の地盤振動などの問題<sup>5),6)</sup>、および(3)供用中の道路橋の維持・修繕のうちで費用的に大きなウェイトを占めている伸縮装置や床版に対する維持管理の問題<sup>7)</sup>などの諸問題を究明する場合の重要な因子となっている。このような多岐にわたる研究分野での問題を検討する場合には、まず伸縮装置部に生じる走行自動車の衝撃力の定量的な把握が必要であると思われる。しかしながら、この衝撃力特性に関する実態調査は少ないようであり、しかも伸縮装置部の凹凸データの不足もともない、解析的研究はあまり行われていないのが現状である。

\* 工博 金沢工業大学助教授 土木工学科 (〒 921 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1)

\*\* 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科 (〒 920 金沢市小立野2丁目40-20)

そこで、著者らは解析の基礎データを得るため、北陸地方の一般国道や県道に架設されている道路橋の縦断方向路面凹凸と伸縮装置部凹凸の実態調査<sup>9),8)</sup>を数年間にわたり実施し、凹凸データの蓄積を図ってきた。本研究は、その実態調査で得た路面凹凸値を基に、ピッチング振動を考慮した走行自動車の動的応答を解析し、伸縮装置部を走行中に生じる自動車の動的輪荷重やその輪荷重の衝撃効果を静的輪荷重に対する比に定義した動的係数などを求め、それら動的特性に対する検討を行った。さらに、伸縮装置部の凹凸性状、たとえば装置の形式、橋台上か橋脚上かの装置の設置位置、凹凸形状などの要因がその動的特性に及ぼす影響を把握するため、数量化理論を用いた要因分析なども試みた。

## 2. 動的応答解析

### (1) 運動方程式

路面凹凸上を走行する自動車には、重心での鉛直運動のほかに、重心まわりの回転運動が伴う。この回転運動による角加速度は自動車各部の加速度を誘起し、これと鉛直運動の加速度とが重なって局所的に大きな加速度が発生する。このことから、本研究で用いた自動車の振動系モデルは、より実際に近いものとして、図-1に示した前・後輪相互の振動位相によって生じるピッチング振動を考慮した4自由度とした。この場合の運動方程式はエネルギー一法から次式のように表わされる。

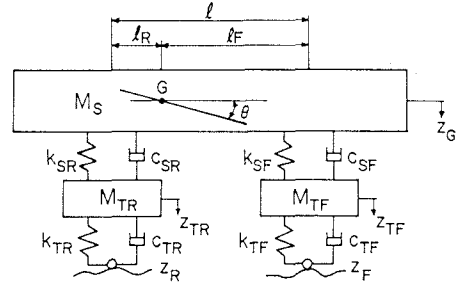


図-1 自動車の振動系モデル

図-1に示した前・後輪相互の振動位相によって生じるピッチング振動を考慮した4自由度とした。この場合の運動方程式はエネルギー一法から次式のように表わされる。

$$M_S \ddot{z}_G + c_{SF} (\dot{z}_G + l_F \dot{\theta} - \dot{z}_{TF}) + k_{SF} (z_G + l_F \theta - z_{TF}) + c_{SR} (\dot{z}_G - l_R \dot{\theta} - \dot{z}_{TR}) + k_{SR} (z_G - l_R \theta - z_{TR}) = 0 \quad (1)$$

$$M_{TF} \ddot{z}_{TF} + c_{SF} (\dot{z}_{TF} - \dot{z}_G - l_F \dot{\theta}) + k_{SF} (z_{TF} - z_G - l_F \theta) + c_{TF} (\dot{z}_{TF} - \dot{z}_F) + k_{TF} (z_{TF} - z_F) = 0 \quad (2)$$

$$M_{TR} \ddot{z}_{TR} + c_{SR} (\dot{z}_{TR} - \dot{z}_G + l_R \dot{\theta}) + k_{SR} (z_{TR} - z_G + l_R \theta) + c_{TR} (\dot{z}_{TR} - \dot{z}_R) + k_{TR} (z_{TR} - z_R) = 0 \quad (3)$$

$$I \ddot{\theta} + l_F \{ c_{SF} (\dot{z}_G + l_F \dot{\theta} - \dot{z}_{TF}) + k_{SF} (z_G + l_F \theta - z_{TF}) \} - l_R \{ c_{SR} (\dot{z}_G - l_R \dot{\theta} - \dot{z}_{TR}) + k_{SR} (z_G - l_R \theta - z_{TR}) \} = 0 \quad (4)$$

走行中の自動車が路面に加える動的輪荷重（動的な付加荷重）に対して下向きを正にとると、前・後輪部に生じる動的輪荷重  $P_F$  と  $P_R$  は次式のようになる。

$$P_F = -(M_{SF} \ddot{z}_G + M_{TF} \ddot{z}_{TF}) \quad (5) \quad P_R = -(M_{SR} \ddot{z}_G + M_{TR} \ddot{z}_{TR}) \quad (6)$$

ここに、 $M_{SF} = (M_S l_R^2 + I) / l^2$ 、 $M_{SR} = (M_S l_F^2 + I) / l^2$ であり、 $M_{SF}$  と  $M_{SR}$  は、ばね支持点のいずれか一方を支持点としてばね上質点を回転運動させるとき、他方の支持点に集中すると考えたばね上質点の相当質量をそれぞれ示している。

さらに、自動車の前・後輪部に生じる輪荷重の衝撃効果を、静的輪荷重に対する動的輪荷重の比とした動的係数で定義するならば、前輪部および後輪部における動的係数  $i_F$  と  $i_R$  は次式で表わされる。

$$i_F = P_F / g(M_{SF} + M_{TF}) \quad (7) \quad i_R = P_R / g(M_{SR} + M_{TR}) \quad (8)$$

### (2) 路面凹凸

走行路面としては、自動車の進行方向に対して、伸縮装置部3mの前に、自動車の過渡振動の影響を除去するため、50m<sup>9)</sup>のアプローチ・ランニングである路面と伸縮装置の通過後に30mの橋梁路面（橋面）の合計83mの路面を考えた。アプローチ・ランニングである路面性状としては、次式(9)に示した路面

凹凸のパワースペクトル密度  $S_r(\Omega)$  ( $\text{cm}^2/(\text{c} \cdot \text{m}^{-1})$ ) を代表値<sup>10)</sup>に用い、Cut-off wavenumberを0.05 c/m とし、それ以下では平坦なスペクトルとしている。このスペクトル密度は路面状態が[良]と[普通]のカテゴリの境界スペクトルを示している<sup>9)</sup>。そして、このスペクトルを用いてモンテカルロ法から路面凹凸のサンプル波形を求め、それを走行路面とした。

$$S_r(\Omega) = \begin{cases} 0.4, & \Omega \leq 0.05 \text{ c/m} \\ 0.01\Omega^{-2}, & 0.05 < \Omega \leq 5 \text{ c/m} \end{cases} \quad (9)$$

$$S_r(\Omega) = \begin{cases} 3.58, & \Omega \leq 0.05 \text{ c/m} \\ 0.0107\Omega^{-1.94}, & 0.05 < \Omega \leq 5 \text{ c/m} \end{cases} \quad (10)$$

伸縮装置部凹凸については、著者らが図-2に示した測定機とノギスを用いて140の道路橋、407伸縮装置部の凹凸性状に関する実態調査<sup>9)</sup>で得た凹凸値をデータとした(詳細は文献1)を参照)。そして、図-3のように、測定区間3mにおいて、最初と最後の凹凸値を結んだ線を基準線とし、この基準線からの凹凸値の最大値を最大凹凸値  $y_{\max}$  としている。さらに、伸縮装置部の局所的な凹凸パターンとして、図-2に示す測定間隔が5cmの中央1m部については、図-4に示したパターンA、B、Cに分類している。

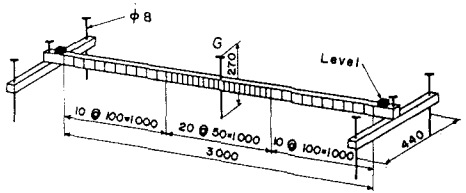


図-2 伸縮装置部凹凸の測定機

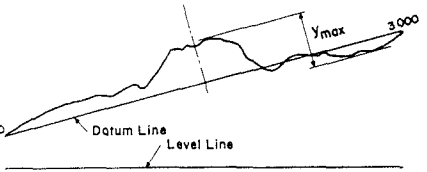


図-3 最大凹凸値の読み取り方法

自動車が伸縮装置部を通過後の橋面凹凸の性状としては、式(10)で示した橋面凹凸のパワースペクトル密度を用いた。このスペクトル密度は、著者らが測量用レベルを用いて、56道路橋、測定ライン数84の縦断方向の橋面凹凸に関する実態調査<sup>9)</sup>に基づく平均的なスペクトル密度であり、普通状態のカテゴリに属す橋面性状を示している。そして、このスペクトルを用いてモンテカルロ法から橋面凹凸のサンプル波形を求め、それを走行路面とした。

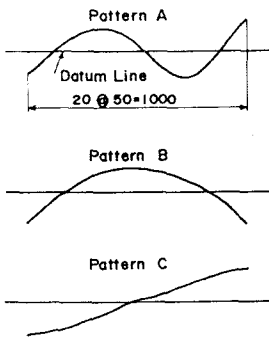


図-4 凹凸パターンの分類

以上に述べた路面上を自動車が走行する場合、自動車のタイヤはある有限な接地長をもって路面と接しながら移動する。このため、タイヤは路面凹凸の波形と異なった軌跡を描くことが考えられる。しかし、実際のタイヤの接地長は、輪荷重、タイヤの空気圧、複輪か単輪および走行速度などによって異なることから、その定量的な把握は困難である。このことから、本研究では、タイヤの接地長を20cmと仮定し、83mの走行路面に対して、10cm間隔での凹凸値3個づつを単純に平均した値を式(4)、(5)の入力凹凸値とした。

表-1 自動車の諸元

### (3) 自動車の諸元

走行自動車の諸元は、表-1に示す代表的な値を用いた。一般に大型自動車の周波数特性は、ばね上部で約2~4Hz、ばね下部で12~15Hzの範囲である。そこで、走行速度  $V=10 \text{ m/s}$ 、総重量20t(196kN)の大型自動車を基準として、表中に示した諸元を有する5種類、すなわち、ばね上部とばね下部の周波数特性がそれぞれ0.5Hz間隔で2~4Hzおよび12~14Hzをもった自動車モデルを考えた。これは、さまざまな周波数をもった大型自動車が路面を走行する場合を考えたためである。なお、ばね上部重心軸まわりの慣性モーメント  $I$  は、積載量によって重心高が変わるため、その定量的な把握は困難である。本研究で用いた慣性モーメン

|                                                                                                       |                   |            |         |         |         |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------|---------|---------|---------|---------|
| Speed: $V=10 \text{ m/s}$                                                                             |                   |            |         |         |         |         |
| Vehicle weight: 196 kN (Sprung=166.6 kN, Unsprung of fore part=9.8 kN, Unsprung of back part=19.6 kN) |                   |            |         |         |         |         |
| Axle spacing: $l = 4 \text{ m}$ ( $L_F=3 \text{ m}$ , $L_R=1 \text{ m}$ )                             |                   |            |         |         |         |         |
| Pitching inertia: $I = 49 \text{ kNm}^2$                                                              |                   |            |         |         |         |         |
| Spring stiffness:<br>(kN/m)                                                                           | $P_S$ (Hz)        | 2.0        | 2.5     | 3.0     | 3.5     | 4.0     |
|                                                                                                       | $k_{SF} = k_{SR}$ | 2685.2     | 4194.4  | 6036.8  | 8222.2  | 10740.8 |
|                                                                                                       | $P_T$ (Hz)        | 12.0       | 12.5    | 13.0    | 13.5    | 14.0    |
|                                                                                                       | $k_{TF}$          | 5684.0     | 6164.2  | 6673.8  | 7193.2  | 7742.0  |
|                                                                                                       | $k_{TR}$          | 11368.0    | 12338.2 | 13347.6 | 14386.4 | 15474.2 |
| Damping factor:                                                                                       | $c_{SF} = c_{SR}$ | 24.5 kNs/m |         |         |         |         |
|                                                                                                       | $c_{TF} = c_{TR}$ | 29.4 kNs/m |         |         |         |         |

トの値は、大型ダンブトラックの実測結果<sup>11)</sup>を概算したものである。

#### (4) 数値計算

本研究では、式(1)～(4)の連立微分方程式をNewmarkの $\beta$ 法で数値積分し、自動車の動的応答量を求めた。数値積分の時間間隔は、自動車のばね下部における最小の固有周期を考慮して0.01秒とした。そして、各時間間隔における加速度の仮定値と式(1)～(4)で計算される加速度とを1/1000の収束精度で繰り返して計算を行った。

本研究における走行自動車の動的応答量は、前述したように作成された走行路面に対して、自動車モデルを5種類変えて計算された応答量の平均値を示している。そして、407箇所伸縮装置部凹凸に対する走行自動車の動的応答量を求めた。

伸縮装置部の凹凸データNo.1(橋台上の装置部で最大凹凸値が2.0 cm)に対する計算結果の一例を示したのが図-5である。図中(a)は走行路面、(b)はばね上部質量の加速度、(c)は後輪ばね下質量の速度、(d)と(e)は式(5)と(6)から計算される自動車片側に対する前輪部および後輪部の動的輪荷重を示している。また、図中(f)は式(8)から計算される自動車片側に対する後輪部の動的係数である。なお、その係数の算出に用いられた静的輪荷重は、設計荷重T-20の後輪荷重に準拠して、8 tを基準とした。この図から、各動的応答量とも伸縮装置部の通過箇所で顕著に大きい値を示しており、それらの大きさは路面や橋面に生じている応答量よりもかなり大きい値となっていること、動的輪荷重は前輪部よりも後輪部で大きい値が生じていることなどが認められる。また、例えば、図中(e)の後輪部の動的輪荷重は、後輪部が装置部を通過した以後にも大きい値となっている。これは、装置部凹凸の走行によって自動車の振動系に貯えられたエネルギーの一部が通過後に放出されているものと思われる。伸縮装置付近の床版に過酷な動的輪荷重が接地力として作用し、床版破損の原因の一つと考えられる。

### 3. 伸縮装置部での衝撃効果

#### (1) 衝撃力特性

図-6は、伸縮装置部の最大凹凸値 $y_{\max}$ と装置部

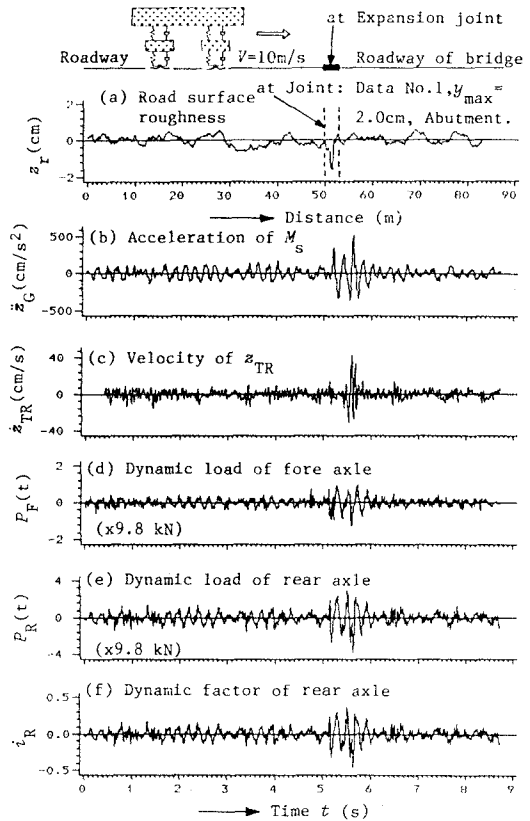


図-5 走行自動車の動的応答例

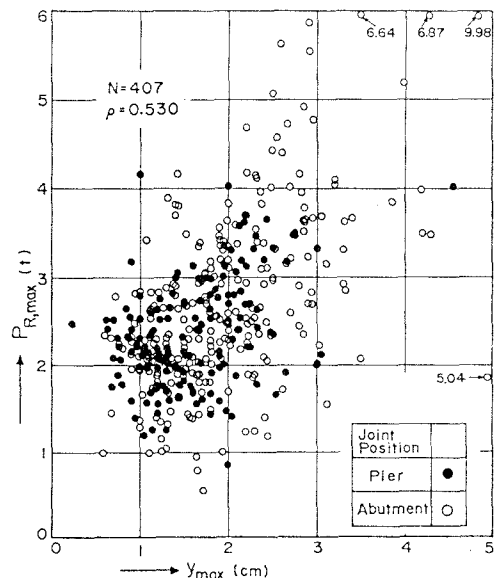


図-6  $y_{\max}$  と  $P_{R,\max}$  の関係

走行中に自動車の後輪部に生じた動的輪荷重の最大値  $P_{R,max}$  との関係を示している。図中の●は橋脚上に設置されている伸縮装置を、○は橋台上の場合である。一般的な傾向として、伸縮装置部での動的輪荷重の最大値は橋脚上より橋台上での装置部の方が大きい値を示しており、またその変動する度合は橋台上の方が大きいことが認められる。いま、計算個数407に対して最大凹凸値と後輪部での動的輪荷重の最大値との相関を求めると、両者の相関係数は図中に示したように0.53となり、あまり強くない結果となった。これは、自動車に生じる動的輪荷重は、装置部凹凸の段差量にも影響されるが、装置部の凹凸形状に及ぼされる影響も大きいと思われる。このことから、伸縮装置部では路面の平坦化を目的にオーバーレイ施工が多く実施されているが、オーバーレイの形状やその摩耗状態によっては過大な衝撃力が局所的な接地力として装置部付近の路面に作用する場合もあるものと推測され得る。

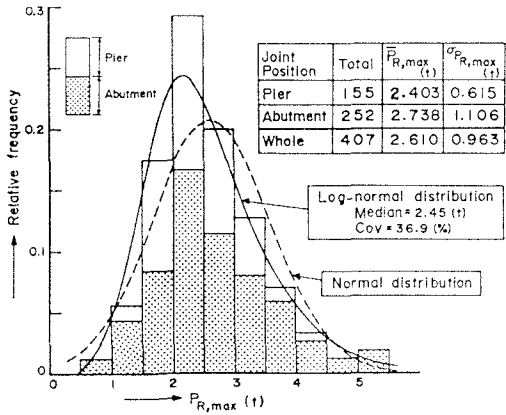
表一 伸縮装置部を走行中に自動車に生じた各動的応答量の最大値

|                     | $P_{F,max}$<br>(t) | $P_{R,max}$<br>(t) | $\dot{z}_{F,max}$ | $\dot{z}_{R,max}$ | $\dot{z}_{TF,max}$<br>(cm/s) | $\dot{z}_{TR,max}$<br>(cm/s) |
|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------------------|------------------------------|
| Pier<br>(N=155)     | 1.274<br>0.451     | 2.403<br>0.615     | 0.647<br>0.229    | 0.293<br>0.075    | 22.411<br>8.878              | 23.847<br>11.406             |
| Abutment<br>(N=252) | 1.614<br>0.721     | 2.738<br>1.106     | 0.820<br>0.366    | 0.333<br>0.135    | 28.414<br>13.909             | 28.502<br>12.586             |
| Total<br>(N=407)    | 1.484<br>0.652     | 2.610<br>0.963     | 0.754<br>0.332    | 0.318<br>0.117    | 26.128<br>12.571             | 26.729<br>12.345             |

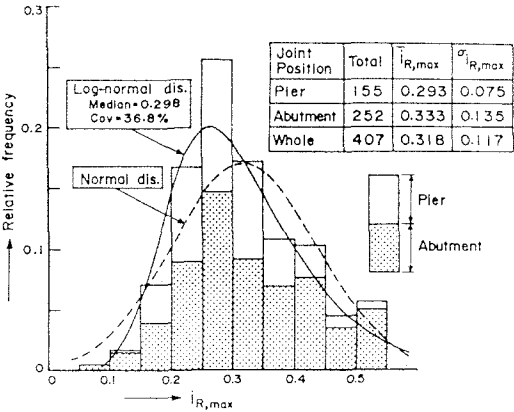
Upper: Mean Value, Lower: Standard Deviation.  
1 t = 9.8 kN

407伸縮装置部を走行中に、自動車に生じた各動的応答量の最大値を示したのが表一2である。表中の上段は平均値で、下段は標準偏差を示している。計算全体での  $P_{R,max}$  の平均値は2.61 t。またその動的係数  $\dot{z}_{R,max}$  は0.318 の値を得た。いま、各応答量の平均値を見ると、動的輪荷重は前輪部より後輪部で大きい値となっている。これは、ピッチング振動によって後輪部の換算質量が前輪部のそれより大きくなるためと思われる。また、橋台上での各応答量は橋脚上より大きく、標準偏差も大きい傾向を示している。そこで、後輪部の動的輪荷重の変動係数を求めた結果、橋脚上では26%、橋台上では40%、および全体では37%の高い値となった。特に、橋台上での動的輪荷重は後輪部の方が前輪部より絶対値そのものが大きく、しかも変動係数が顕著に高い値を示していることは、橋台上での伸縮装置部に過大な自動車の衝撃力が作用する場合もあり、装置部付近の床版破損、低周波空気振動および騒音などの主な原因の一つとなっているものと思われる。なお、表中の前・後輪部に生じた速度の最大値については、道路橋の動的応答解析を行う場合に走行車両の初期値である初速度の値が問題となるため、装置部通過による前・後輪部に生じるばね下質量の速度の最大値を明示したものである。

図一7は、 $P_{R,max}$  の度数分布を示している。図中の破線は橋台上と橋脚上での伸縮装置部の分を含めた全体度数に対する正規分布であり、また実線はその対数正規分布である。この図から、 $P_{R,max}$  の分布は正規分布よりも対数正規分布の方が適合しているものと



図一7  $P_{R,max}$  の度数分布



図一8  $\dot{z}_{R,max}$  の度数分布

思われる。そこで、対数正規分布の特性値を求めた結果、中央値が2.45 t、変動係数が36.9%の値を得た。

図-8は、 $i_{R,max}$  の度数分布を示したものである。この分布も実線で示した対数正規分布に近似できそうであり、その中央値は0.298，変動係数は36.8%の値を得た。

伸縮装置部を走行中に自動車の後輪部に生じた動的係数の最大値  $i_{R,max}$  の超過確率を求めたのが図-9である。なお、 $i_{R,max}$  の確率分布は、図-8での検討結果から、対数正規分布としている。また、ハッチングした範囲0.37~0.40は、道路橋の床版の設計時に設計曲げモーメントの算出に用いられている衝撃係数 ( $i = 20 / (50 + L)$ ) の適用範囲を示している。すなわち、主桁間長Lの考えられる範囲として、 $L = 0 \sim 4$  mとすると、 $i = 0.37 \sim 0.40$ となる。この衝撃係数の上限値である0.40 ( $L = 0$  m) の超過確率を求めると、20%強の値となる。したがって、伸縮装置部に生じる衝撃力の観点から考えるならば、装置部付近の床版も含めた床版の設計時に用いられている衝撃係数の最大値でも、確率的に20%強の超過が予想される。このことから、近年の車両の大型化や交通量の急激な増加を勘案した場合、道路橋の維持・修繕費で大きなウェイトを占めている伸縮装置や床版などに対する保全技術や設計法の対策として、T荷重に対する動的影響評価が重要な検討課題となる。

そこで、伸縮装置部に生じる動的係数の最大値を検討するため、図-9に示した超過確率が10%、5%、1%での動的係数を逆算推定した結果、それぞれの超過確率に対して0.48、0.55、0.68の値を得た。厳密な最大値の設定は困難であるが、工学的に5%の超過が許容され得るものとした場合、動的係数の最大値としては0.55が一つの上限値を与えるものと思われる。なお、この0.55の値は、図-8に示した  $i_{R,max}$  の分布を正規分布と仮定した場合の平均値に標準偏差の2倍の値をプラスした値に相当する。

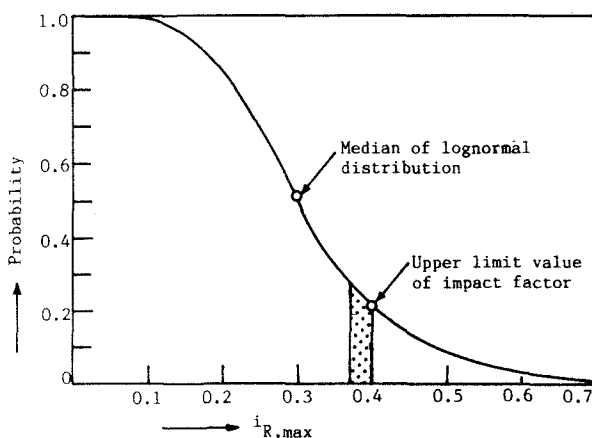


図-9  $i_{R,max}$  の超過確率

表-3 数量化理論I類による各動的応答量に及ぼす路面性状の要因分析

| Criterion          | Item            | Bridge system |            | Pavement  |          | Joint position |          | Joint type |        |           |              | Roughness pattern |        |        | R     |
|--------------------|-----------------|---------------|------------|-----------|----------|----------------|----------|------------|--------|-----------|--------------|-------------------|--------|--------|-------|
|                    | Category        | Girder        | Non-girder | Asphalt   | Concrete | Pier           | Abutment | Unknown    | Rubber | Steel lap | Steel finger | A                 | B      | C      |       |
| $P_{F,max}$        | Category weight | 1.516         | 1.695      | 0         | -0.036   | 0              | 0.332    | 0          | 0.047  | -0.214    | -0.168       | 0                 | -0.173 | -0.299 | 0.923 |
|                    | Range           | 0.179 (4)     |            | 0.036 (5) |          | 0.332 (1)      |          | 0.261 (3)  |        |           |              | 0.299 (2)         |        |        |       |
| $P_{R,max}$        | Category weight | 2.836         | 2.849      | 0         | 0.099    | 0              | 0.295    | 0          | -0.216 | -0.390    | -0.067       | 0                 | -0.333 | -0.617 | 0.915 |
|                    | Range           | 0.013 (5)     |            | 0.099 (4) |          | 0.295 (3)      |          | 0.390 (2)  |        |           |              | 0.617 (1)         |        |        |       |
| $i_{F,max}$        | Category weight | 0.771         | 0.861      | 0         | -0.020   | 0              | 0.166    | 0          | 0.025  | -0.105    | -0.083       | 0                 | -0.088 | -0.150 | 0.910 |
|                    | Range           | 0.090 (4)     |            | 0.020 (5) |          | 0.166 (1)      |          | 0.130 (3)  |        |           |              | 0.150 (2)         |        |        |       |
| $i_{R,max}$        | Category weight | 0.341         | 0.343      | 0         | 0.012    | 0              | 0.036    | 0          | -0.011 | -0.042    | -0.004       | 0                 | -0.041 | -0.076 | 0.930 |
|                    | Range           | 0.002 (5)     |            | 0.012 (4) |          | 0.036 (3)      |          | 0.042 (2)  |        |           |              | 0.076 (1)         |        |        |       |
| $\dot{z}_{TF,max}$ | Category weight | 29.41         | 29.62      | 0         | (1.989)  | 0              | 5.599    | 0          | -6.567 | -5.895    | -5.902       | 0                 | 0.566  | -6.632 | 0.914 |
|                    | Range           | 0.209 (5)     |            | 1.989 (4) |          | 5.599 (3)      |          | 6.567 (2)  |        |           |              | 7.198 (1)         |        |        |       |
| $\dot{z}_{TR,max}$ | Category weight | 28.13         | 30.47      | 0         | -0.521   | 0              | 5.039    | 0          | -0.486 | -2.022    | -0.368       | 0                 | -4.673 | -8.782 | 0.919 |
|                    | Range           | 2.341 (3)     |            | 0.521 (5) |          | 5.039 (2)      |          | 2.022 (4)  |        |           |              | 8.782 (1)         |        |        |       |

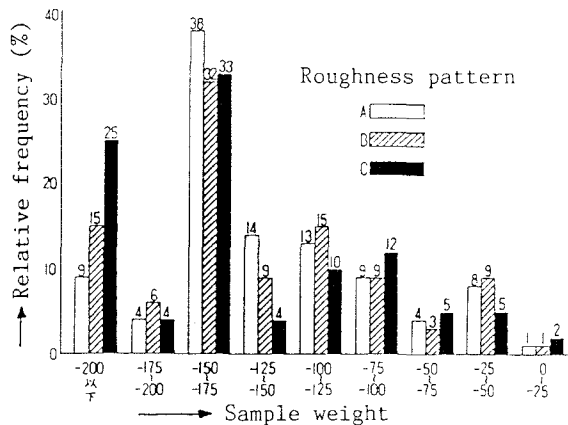
R: Multiple correlation coefficient  
( ): Rank of range of category weight

## (2) 路面性状の影響

ここでは、以上に述べたような衝撃力特性に及ぼす路面性状の影響を検討する。

表一3は、伸縮装置部を走行中に自動車に生じた各動的応答の最大値を外的基準として、数量化理論Ⅰ類を用いて路面性状の要因分析を行った結果を示している。表中、Rは重相関係数を、( )内の数値はカテゴリウエイトから計算したレンジの順位を示している。外的基準に影響を及ぼすと考えられる要因としては、桁形式や非桁形式かを示す橋梁の構造系、路面の舗装、伸縮装置の設置位置、装置の形式および凹凸パターンとして、各要因についてのカテゴリは表中に示したものを考えた。なお、カテゴリのUnknownについてはオーバーレイなどによって装置の形式が不明の場合を示している。そして、各外的基準に対して伸縮装置部の測定総数407についてのカテゴリ反応表からカテゴリウエイトを計算した。その結果、表中に示したレンジ値から、各動的応答量とも前・後輪部で若干の差異はあるが、一般的傾向としては伸縮装置部の凹凸パターン、装置の形式およびその設置位置(橋脚上か橋台上か)の要因の影響が他の要因に比べて大きく、舗装あるいは橋梁の構造系の要因の影響が小さいことが認められる。後輪部の動的輪荷重 $P_{R,max}$ およびその動的係数 $i_{R,max}$ については、表一3に示した各カテゴリウエイトを比較すると、凹凸パターンがC、装置の形式が鋼製重合せ、装置の設置位置が橋台上のカテゴリが他のそれよりも大きく顕著であることが解る。

ところで、上述の計算結果から、各動的応答に大きく影響を及ぼす要因の内、凹凸パターンは装置部の調査以前にそのパターン分類ができない要因である。そこで、伸縮装置部凹凸の実態調査で蓄積されているデータを基に、数量化理論Ⅱ類を用いて凹凸パターンを判別する予測分析を行った。外的基準は凹凸パターンA、B、Cとして、各要因についてのカテゴリは表一3に示したものと同様に考えた。そして、各カテゴリウエイトを求め、測定総数407についてのサンプルウエイトを算出した。凹凸パターンA、B、Cをパラメーターとしたサンプルウエイトの度数分布を示したのが図一10である。あるサンプルウエイト域では、パターンAやCの度数の卓越が一部に見られるが、凹凸性状の説明変数が少ないこともあって、明確に凹凸パターンA、B、Cを判別できるような精度の高い予測式は得られなかった。



図一10 数量化理論Ⅱ類による凹凸パターンの分類

## 4. あとがき

本研究は、道路橋の伸縮装置部凹凸の実態調査で蓄積してきたデータを基に、装置部凹凸を走行する自動車の動的応答解析を行い、自動車に生じる衝撃力特性の検討を行った。その結果、装置部に生じる衝撃力は一般路面よりも過大でその変動係数も大きいこと、後輪部での動的輪荷重や動的係数の最大値は正規分布より対数正規分布に近いこと、設計衝撃係数の上限値0.40は確率的に20%強の超過が予想されること、あるいは衝撃力には路面の性状として凹凸形状が大きく影響を及ぼすことなどを指摘することができた。また、動的係数の超過確率を求めた結果として、工学的に5%の超過が許容されるものとした場合、動的係数の最大値としては0.55が一つの上限值を与えることも指摘した。

伸縮装置部凹凸を走行する自動車の振動は瞬間的で、また局所的である。この現象をより正確に把握する

ためには、走行自動車の速度効果、自動車や伸縮装置部の解析モデルの向上、実測値との対応などが必要と思われる。今後の研究課題としたい。

最後に、高田産業（株）の米原史朗氏（当時金沢工大学生）には計算結果の整理に御協力いただいたこと、また本研究の一部は昭和61年度文部省科学研究（奨励研究A）による成果であることを付記し、ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 本田・梶川・小堀：道路橋の伸縮装置部の凹凸性状，土木学会論文報告集，第324号，pp.137～175，1982.
- 2) 野口・沖野：伸縮継手部の走行性に関する調査および研究，道路，第394巻3号，pp.2～10，1967.
- 3) 本田・小堀・山田：多径間連続桁橋の動的応答と衝撃係数に関する考察，土木学会論文報告集，第331号，pp.65～73，1983.
- 4) 山本・水上・永原：橋梁の伸縮装置に作用する自動車荷重について，土木学会第39回年次学術講演会講演概要集，I-252，1984.
- 5) 大島・能町・月田：三上：はり理論による低周波空気振動の放射音圧レベルの解析，土木学会論文集，第356号/I-3，pp.527～536，1985.
- 6) 成田・桂樹・野中：自動車走行にともなう道路の騒音と振動，自動車技術，第30巻12号，pp.1010～1016，1976.
- 7) 藤原武監修：道路維持管理修繕ハンドブック，鹿島出版会，1976.
- 8) 本田・城戸・梶川・小堀：道路橋の路面凹凸パワースペクトル密度に関する調査，土木学会論文報告集，第315号，pp.149～155，1981.
- 9) 岡林隆敏：単一走行車両による道路橋の二乗平均応答解析，土木学会論文報告集，第286号，pp.15～27，1979.
- 10) 山田・小堀：活荷重に対する道路橋の動的応答－衝撃係数－に関する考察，土木学会論文集，第148号，pp.40～50，1967.
- 11) 建設省土木研究所・構造橋梁部構造研究室：橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書，土木研究所資料，第1820号，1981.

（1986年10月17日受付）