

ランブルストリップの速度抑制効果と騒音・振動

RUMBLE STRIPS' EFFECTS ON SPEED CONTROL AND ENVIRONMENT

青木英明*・山田晴利**・神崎絃郎***

By Hideaki AOKI, Harutoshi YAMADA and Hiro KANZAKI

Rumble strips are series of lateral bands of surface treatment designed to cause intermittent noise within vehicles driving over them for reducing vehicle speed mainly on access roads in residential areas. Although rumble strips have been applied and now accepted commonly in Europe, they are rarely found in Japan. This is due to ignorance of the design and usage of rumble strips. In this paper, speed control effects were studied experimentally and their noise and vibration levels were measured using nine rumble strips with different materials and shapes. It was found that the height and the interval of lateral bands are the major determinants of speed control effects and that the higher the bands are, the larger the noise and vibration levels are. Rumble strips must be, hence, carefully introduced in residential areas.

Keywords : rumble strip, speed control, noise, vibration

1. はじめに

近年、コミュニティ道路の整備にみられるように、区内の道路を中心に、自動車の速度や流れを抑制する目的で、従来なかった特別な道路構造が採用されている。代表的なものは、ハンプ、シケイン、フォルトなどであり、これらについては多くの実験が行われ、設置例も増えている^{1)~5)}。これに対して、ミニ・サークル、ランブルストリップなどについては、海外での設置例は多いものの、わが国ではそれほど多用されているわけではない。

ランブルストリップは、ハンプ、シケイン、フォルトなどと比べると、施工が容易で、費用も安いという利点を有しており、さらにシケイン、フォルトとは異なり幅員の狭い道路でも適用可能という利点も有している。しかし、生活道路の沿道に住宅が立地しているわが国では、設置時に騒音・振動などの環境問題に留意する必要がある。実際、「ランブルストリップを設置したところ、車

両通過時の騒音がひどく、沿道住民から苦情が寄せられたため、撤去した」という事例も起きている。しかし、わが国では、ランブルストリップの舗装条件などを変えて騒音を測定した報告はほとんどない。

一方、「交差点の手前にランブルストリップを設けたところ、交通事故が激減した」⁶⁾という報告もあり、ランブルストリップには車の走行速度を抑制する効果が期待できるが、定量的に速度抑制効果について調査した例もわれわれの知る限り存在しない。

そこで本報告では、ランブルストリップの望ましい形状・設置方法を明らかにする目的で、騒音および地盤振動の値を測定し、ランブルストリップを通過する車の速度を計測した結果を報告し、速度抑制効果に関する考察を加える。

2. 実験の概要

本研究で実施した実験の手順と内容は次のとおりである。

まず、モデル計算によってランブルストリップ通過時の車両の鉛直方向加速度の値を求め、車両の動的応答について基礎的な分析を行った。次に、さまざまな形状と異なる舗装方法をもつランブルストリップを試験走路上に設け、自動車を走行させて各種の測定を行った。計測

* 正会員 工博 (財)計量計画研究所地域開発研究室
(〒162 新宿区市ヶ谷本村町2-9)

** 正会員 工修 外務省経済協力局調査計画課(元・建設省土木研究所新交通研究室主任研究員)
(〒100 千代田区霞ヶ関2-2-1)

*** 正会員 建設省土木研究所道路交通総括研究官
(〒305 茨城県つくば市大字旭1番地)

の内容は以下のとおりである。

- ① ランブルストリップ通過時の車外騒音, 車内騒音, および地盤振動(鉛直方向加速度)の値を測定する。
 - ② 自動車の運転者(被験者)にランブルストリップ通過時の体感振動・騒音の大きさをマグニチュード法によって評価してもらう。
 - ③ ランブルストリップ通過時の速度感を運転者に間隔尺度上で評価してもらう。
 - ④ ランブルストリップ通過時の速度, 加速度の値を非接触型速度計によって測定する。
- ①, ②, ③, および④の結果を組み合わせることによって, 運転者がランブルストリップ通過時にどの程度の騒音・振動を知覚しているか, また騒音・振動の大きさが速度抑制効果とどのような関係をもっているかを明らかにする。

3. ランブルストリップ通過時の車両の動的挙動

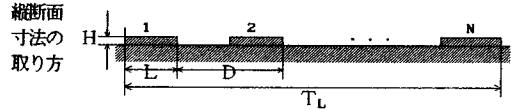
道路上の突起通過時の車両の動的挙動については過去にかなりの研究の蓄積がある⁷⁾。車体の弾性振動や動力伝達系のねじり・曲げによる振動は, 乗り心地を考えるうえではそれほど重要ではないので, ここでは車体と座席とを簡単な5自由度の質点系でモデル化した(図-1)。ただし, ショックアブソーバーは顕著な非線形性を示すので, その影響を考慮した。

モデルの詳細については, 参考文献⁷⁾に記載してあるのでここでは繰り返さない。計算に用いたランブルストリップの形状・寸法を表-1に示した。1つ1つの凸部の高さを7mm, 幅を10cmに固定し, 凸部と凸部との間隔Dの値を変化させたとき, 自動車の受ける鉛直方向加速度の値がどのように変化するかを求めた。自動車

表-1 計算に用いたランブルストリップの番号と断面寸法

番号	間隔D	高さ	長さL	数N	全長 T_L
1	300mm	7mm	100mm	12	3.4m
2	450	7	100	8	3.25
3	600	7	100	6	3.1
4	750	7	100	5	3.1
5	900	7	100	4	2.8

(注) $T_L = L + (N-1) \cdot D$ ランブルストリップ凸部の数Nは全長 T_L が3.6m以下で3.6mに最も近くなるように設定した。



の走行速度は, 10, 15, 20, 25, 30, および40 km/hとした。計算は4車種(軽乗用車, 1300cc乗用車, 2000cc乗用車, および2tトラック)を対象に行った。自動車の前輪が一番手前のランブルストリップ凸部にかかった瞬間から, 後輪が最後の凸部を通過し, さらに1m走行する間の動的応答を計算し, 車両重心および前輪の鉛直上向き, 下向き加速度それぞれの最大値を求めた(下向き加速度の値は負)。図-2は, 走行実験で使用したシビックに近い車種である1300cc乗用車の計算結果を示したものである(シビックでダッシュボードの鉛直方向加速度を実測した結果, 同じオーダーの測定値を得た)。

この図によると, 以下のことがわかる;

- ① 車両重心における加速度の値は, 0.07g以下であり, 同じ自動車がハンプを通過する場合の車両重心における鉛直方向最大加速度の値が1g程度である⁷⁾ことと比較すると, 1/14~1/100である。
- ② また, 速度の上昇につれて, 重心における鉛直方向加速度の値は, 総じて小さくなっていく。

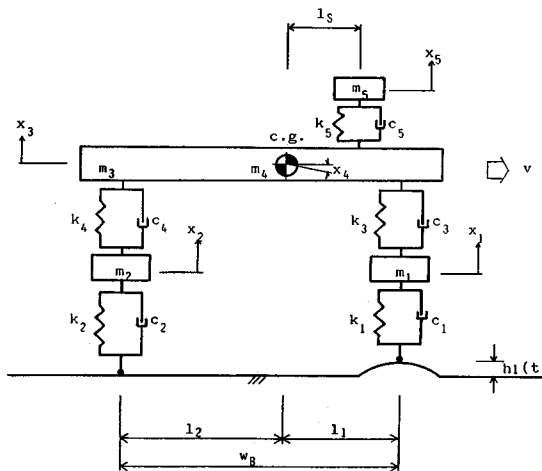
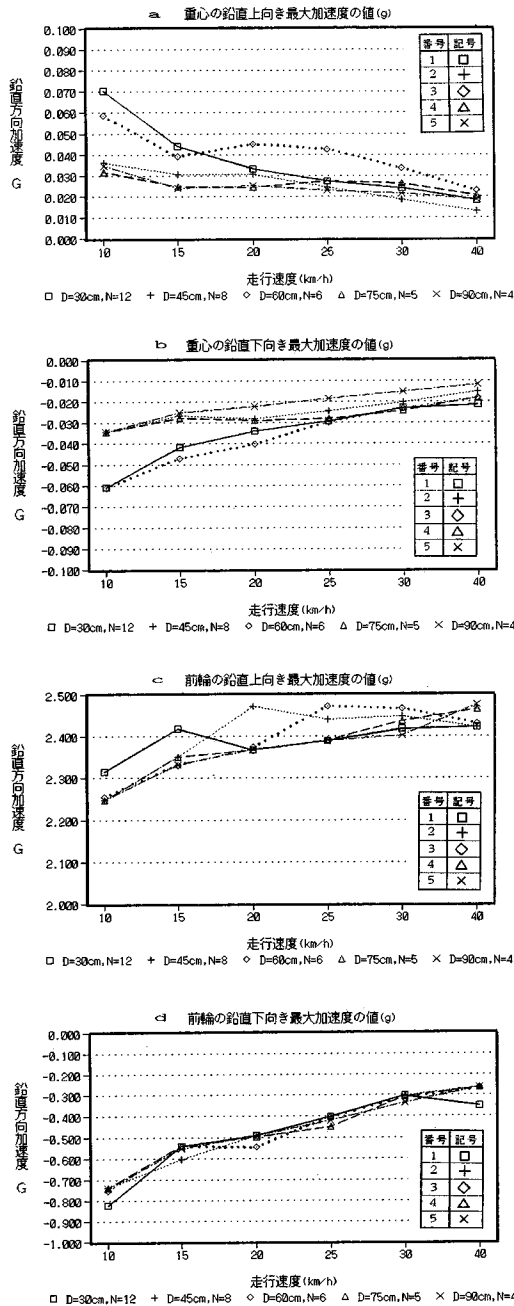


図-1 車両の5自由度質点系モデル

記号	単位	意味
m_1	kg	前輪ばね下質量
m_2	kg	後輪ばね下質量
m_3	kg	ばね上質量
m_4	kg m^2	ピッチングモーメント
m_5	kg	座席と乗員の質量
k_1	N/m	前輪ばね下のばね係数
k_2	N/m	後輪ばね下のばね係数
k_3	N/m	前輪ばね上のばね係数
k_4	N/m	後輪ばね上のばね係数
k_5	N/m	座席のばね係数
l_1	m	車体重心から前輪までの距離
l_2	m	車体重心から後輪までの距離
l_3	m	車体重心から座席までの距離
w_R	m	ホイールベース(= $l_1 + l_2$)
x_1	m	前輪ばね下の鉛直方向変位
x_2	m	後輪ばね下の鉛直方向変位
x_3	m	車体重心の鉛直方向変位
x_4	rad	ピッチング回転角
x_5	m	座席の鉛直方向変位
c_1	Ns/m	前輪ばね下の減衰係数
c_2	Ns/m	後輪ばね下の減衰係数
c_3	Ns/m	前輪ばね上の減衰係数
c_4	Ns/m	後輪ばね上の減衰係数
c_5	Ns/m	座席の減衰係数
h_1	m	前輪位置における路面の変位
h_2	m	後輪位置における路面の変位



図一 ランブルストリップ通過時の鉛直方向加速度

- ③ ランブルストリップ 1 ($D=30\text{ cm}$) および 3 ($D=60\text{ cm}$) では、重心における鉛直方向加速度の値がほかのランブルストリップより大きくなっている。
- ④ これに対して、前輪の加速度の値は、鉛直上向きで $2.2\sim 2.5\text{ g}$ 、鉛直下向きで $0.3\sim 0.8\text{ g}$ と大きい。前輪の鉛直上向き加速度の値は、速度の上昇とともに

表一 車両の前後軸の固有振動数および共振を起こすランブルストリップの間隔

車種	固有振動数 (Hz)	走行速度 (km/h)						
		10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	40.0	
軽乗用車	前軸	11.947	0.233	0.349	0.465	0.581	0.698	0.930
	後軸	10.387	0.267	0.401	0.535	0.669	0.802	1.070
1300cc乗用車	前軸	10.757	0.258	0.387	0.516	0.646	0.775	1.033
	後軸	10.873	0.255	0.383	0.511	0.639	0.766	1.022
2000cc乗用車	前軸	10.252	0.271	0.406	0.542	0.677	0.813	1.084
	後軸	9.1168	0.305	0.457	0.609	0.762	0.914	1.219
2tトラック	前軸	14.016	0.198	0.297	0.396	0.495	0.595	0.793
	後軸	12.805	0.217	0.325	0.434	0.542	0.651	0.868

に大きくなる傾向にある。

上記①からは、ランブルストリップ通過時に運転者が知覚する鉛直方向加速度の値は小さく、衝撃によって減速を促すことは難しいことが予想される。一方、④からは、前後軸の振動とそれによって引き起こされる騒音・振動が大きいことが予想でき、この騒音・振動による速度抑制効果が期待できる。そこで、車両前軸、後軸がランブルストリップ通過時の周期的な衝撃力と共振を起こす条件を求めた。

前軸あるいは後軸の固有振動数を f (Hz)、ランブルストリップの間隔を D (m)、走行速度を v (m/s) とすれば、共振が起きる条件は、

$$1/f = D/v \quad \text{すなわち、} \quad D = v/f \dots\dots\dots(1)$$

で与えられる (ただし、式 (1) で与えられる D の値の整数倍でも共振が起こり得る)。

計算対象の各車両の前後軸の固有振動数の値を計算した結果は、表一に示したとおりである。軽乗用車と乗用車では、固有振動数は 10 Hz 前後であり、トラックではやや高めのとる。この固有振動数の値をもとに、式 (1) を用いて共振を起こす間隔 D を求めた結果を同じく表一に掲げた。共振を起こす間隔 D は、車種により異なることがわかる。また、この結果と図一を見比べると、1300 cc 乗用車では、前輪については、速度 20 km/h、ランブルストリップ 2 ($D=45\text{ cm}$) および速度 25 km/h、ランブルストリップ 3 ($D=60\text{ cm}$) の場合に共振が起きていることがわかる。

以上の計算結果からは、ランブルストリップの速度抑制効果は車両により異なることが予想されたので、実験では、車種を 2 種類とし、さまざまな形状・寸法のランブルストリップを用いて、速度抑制効果を確かめた。

4. 走行実験

(1) 実験用の走行路

試験走行路に表一に示した 9 種類のランブルストリップ

表-3 実験に用いたランブルストリップ

番号	材質	間隔D	高さH	長さL	数N
C 1	透水タイル	450mm	7mm	147mm	8
C 2	磁器タイル	450	7	140	8
C 3	御影石	450	14	100	8
C 4	御影石	300	7	100	12
C 5	御影石	450	7	100	8
C 6	御影石	600	7	100	6
C 7	御影石	750	7	100	5
C 8	御影石	900	7	100	4
C 9	パンブロック	-	-	-	-

(注)ランブルストリップの凸部の数Nは、全長 $L = L + (N-1) \cdot D$ が3.6m以下で3.6mに最も近くなるように選んだ。

を設置した。それぞれのランブルストリップは、間隔、高さ、材質を変化させてある。C1とC2は形状・寸法が同一であり、C1は透水タイル製で、C2は磁器タイル製である（詳細な構造は図-4参照）。C3からC8までは10cm角のみかげ石（小舗石）を帯状に並べたものであり、C3の高さが14mmとなっているほかは

すべて高さ7mmで統一されている。ランブルストリップの高さの決定にあたっては、次の2点を考慮した。すなわち、

- ① イギリスの街路設計指針⁸⁾では、ランブルストリップの高さとして13mmを推奨し、スウェーデンでは7/16インチ(=1.11cm)を推奨していること⁹⁾、
- ② しかし、わが国でのハンブの設置事例を調べてみると、ハンブ端部のわずかな不整合によって騒音が発生した事例があり、騒音抑制の観点からは、より高さが低く、騒音を発生しにくいと考えられるランブルストリップが望ましいこと。

上記2点を考慮し、欧州で用いられることの多い高さにはほぼ等しい14mmとその半分の7mmとした。

ランブルストリップの間隔は30cmから90cmまで15cm刻みで変化させた。これは、計算結果の項で述べたように、車両が違えば、共振を起こすランブルストリップの間隔が異なるからである。ただし、C9はアスファルトを焼結させたパンブロック（図-4参照）を敷き詰

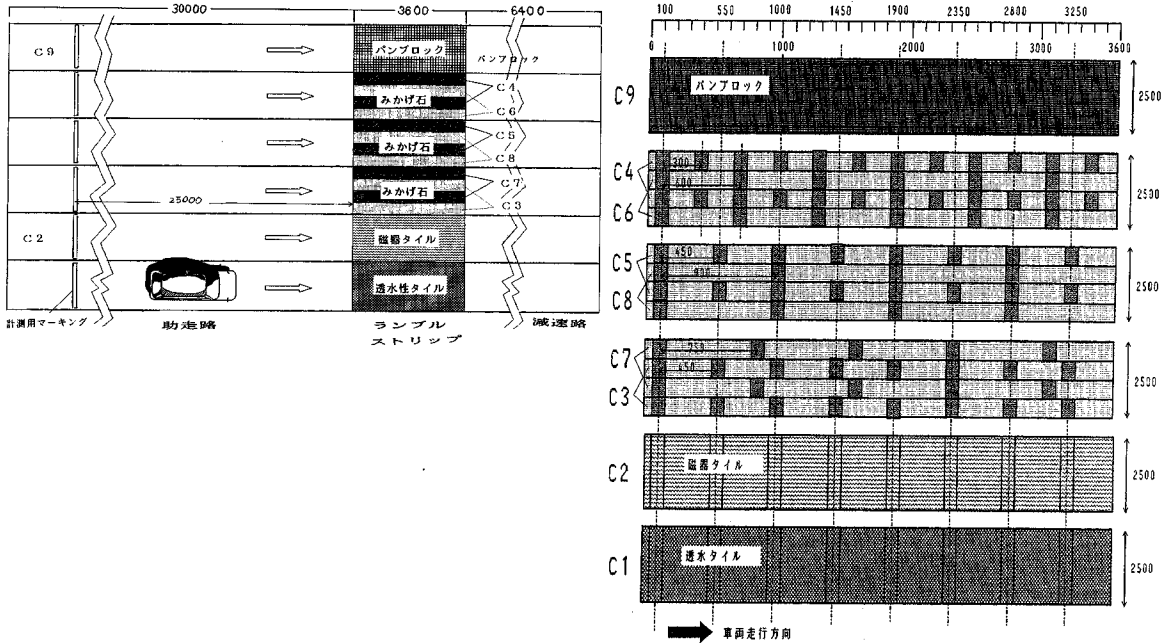
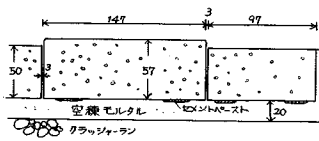
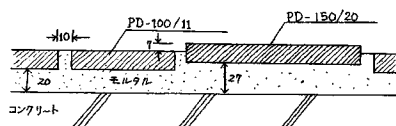


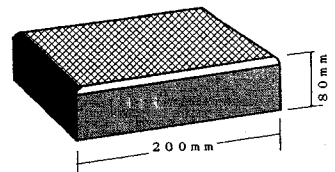
図-3 実験用の走行路平面図（左図：走行路略図，右図：部分拡大，図は縦方向に圧縮してある。単位はいずれもmm）。



透水タイル舗装詳細断面図



陶器タイル舗装詳細断面図



パンブロック舗装ユニット詳細図

図-4 舗装断面と舗装材料

めたものであり、ほかのランブルストリップとは材質・形状が異なっている。C1とC9は騒音・振動などの沿道環境に配慮した新たな舗装材料を採用したものである。ランブルストリップの凸部の数(N)は、全長が3.6m以内に収まるようにしたため、表-3に示したようにそれぞれ異なっている。

試験走路の平面図は図-3のとおりであり、各走行路は、助走路(30.0m)、ランブルストリップ(3.6m)、および減速路(6.4m)で構成され、ランブルストリップ部分およびパンプブロック舗装部分を除いてアスファルト平坦舗装である。各走行路の幅員は2.5mである。ただし、C3からC8については、敷地の制約のため、各走行路を二分割し、それぞれの部分に異なるランブルストリップを設置した(図-3参照)が、自動車の走行には特に問題はなかった。

(2) 被験者、実験用機器、および車両

被験者として、運転歴のある男子学生10~15人を用いた。騒音の測定には、騒音計(リオンNA-20)とレベルレコーダー(リオンLR-04)を用いた。地盤振動の測定には振動計(リオンVM-14)とレベルレコーダー(リオンLR-04)を用いた。また、ランブルストリップ通過時の速度、加速度の測定には非接触式の光学速度計(小野測器SF-660B, IC-660)を用いた。

実験に用いた車両は、80年型ホンダシビックと78年型マツダカペラである。

5. ランブルストリップ通過時の騒音・振動

(1) 車外騒音

自動車が通過するときのランブルストリップ横にお

ける車外騒音を道路騒音測定法(JIS Z 8731)に従って計測した。2本のマイクロフォンを道路端から1.5mおよび3.5mの位置にそれぞれ立て(高さはどちらも1.5m)、2名乗車(運転者および補助員)のホンダシビックを20km/hの一定速度で走行させ、各ランブルストリップについて4回から6回測定を繰り返した。走行速度を20km/hとしたのは、コミュニティ道路では、走行速度を20km/hに低下させることをめざしているからである¹⁰⁾。ピークレベル値を平均した結果を図-5に示した。

図-5によると、ランブルストリップ通過時の道路騒音の値(A特性)は、平坦路面を走行する場合の値に比べ、数デシベルから十数デシベル高い。特に、高さが14mmと一番高いC3の騒音の値は大きくなっている。また、タイルを用いたC2およびC1の騒音の値も大きい。ただし、透水タイルを用いたC1の方が磁器タイルを用いたC2より騒音の値が低い。ランブルストリップの間隔が広いC6、C7、C8、およびパンプブロックを用いたC9の騒音の値は比較的低く、なかでも間隔が60cmのC6の値が低いのは特徴的である。

C特性での測定結果をみると、C6、C7、C8の値はA特性に比べ上昇している。これは、ランブルストリップによって周波数特性に差があることを意味している。

(2) 車内騒音

車内騒音は、車外騒音と同様に、2名が乗車したホンダシビックを用いて、運転席横での値を測定した。測定結果は、図-5の右側に示されている。車内騒音の値は、車外騒音とは傾向を異にしている。車外騒音がそれほど大きくないC4の車内騒音が最も高いのは、共振が起

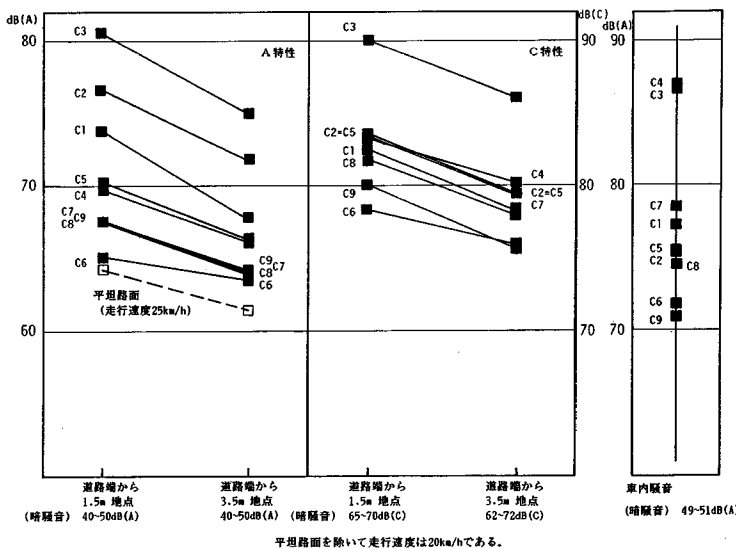


図-5 ランブルストリップ通過時の騒音

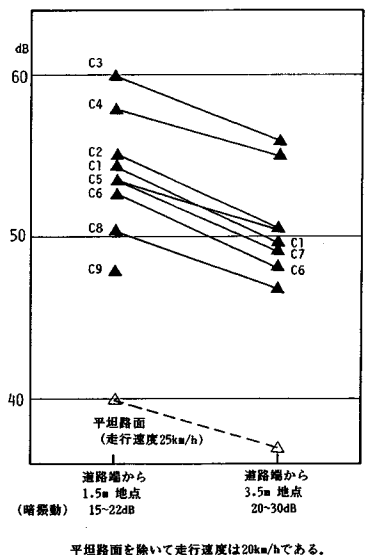


図-6 ランブルストリップ通過時の地盤振動

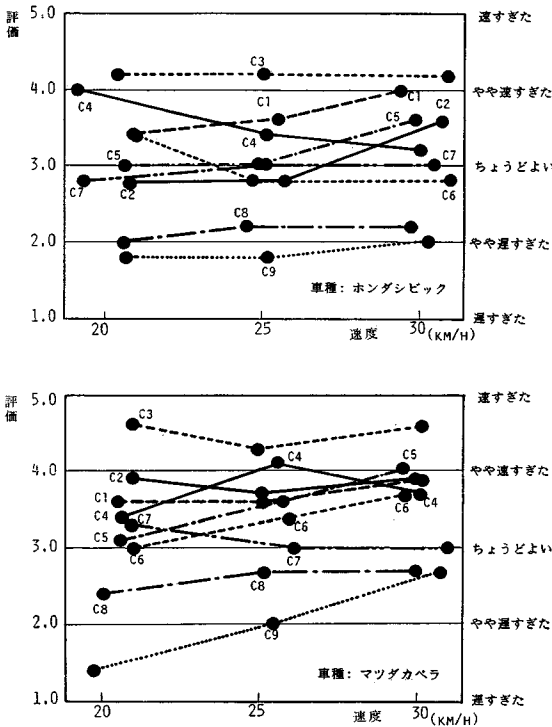


図-7 ランブルストリップ通過時の速度感

きていることを窺わせる。このことは、後に示す図-7からも看取できる(7. 参照)。また、平坦路面を走行する場合の車内騒音の値が49~51 dB (A) であるのと比較すると、ランブルストリップ走行時の車内騒音の値は20~37 dB (A) 高い。

(3) 地盤振動

地盤振動は、ランブルストリップの横で道路端から1.5 m および 3.5 m の地点で測定した。地盤振動の値は、図-6 に示したとおりであり、平坦路面を走行する場合の値に比べ10~20 dB ほど高くなっている。地盤振動の場合にも、やはり凸部の高さが高いC3の値が最も大きくなっている。C4の地盤振動の値が高いのは、上述したように共振が起きているためであると考え。ただし、地盤振動の値は地盤条件によって変化するので、この測定結果を一般化することは適当でない。

6. ランブルストリップ通過時の体感振動・騒音

ランブルストリップを自動車で走行するときに運転者が感じる振動・騒音の大きさをマグニチュード法¹¹⁾によって求めた。マグニチュード法では、基準に選んだランブルストリップを走行したときに感じる振動・騒音の大きさ(評点)を100とし、ほかのランブルストリップを走行したときの振動・騒音の大きさをこれと比較して

表-4 ランブルストリップ通過時の体感振動・騒音

番号	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
評点	100	-	138	75	99	77	68	61	54
標準偏差	-	-	20.4	19.6	17.0	13.5	22.3	11.4	31.0

(注) ランブルストリップの番号は、図-3、表-3に対応する。評点はマグニチュード法による評価尺度値の算術平均。サンプル数は10人である。

被験者に評点で回答してもらう。ここでは、C1を基準のランブルストリップとした。ランブルストリップの通過速度は25 km/hとし、自動車の速度計で進入速度を確認するよう被験者に指示した。実験に用いたのは小型乗用車(ホンダシビック)である。ランブルストリップの走行順序は以下のとおりである；

- C1 → C4 (回答) → C1 → C6 (回答)
- C1 → C5 (回答) → C1 → C8 (回答)
- C1 → C7 (回答) → C1 → C3 (回答)
- C1 → C9 (回答)。

すなわち、それぞれのランブルストリップを走行する前にC1を走行し、基準となる振動・騒音を体験するようにした。なお、C2はC1と形状・寸法が同じなので測定対象とはしなかった。表-4に10人の被験者の評点の平均値と標準偏差の値を示した。

この表によると、以下のことがわかる；

- ① C1と同じ間隔、高さをもつ(ただし材質は異なる)C5の評点は99であり、被験者はC1と同程度の振動・騒音を感じている。
- ② 高さが14 mmと他のランブルストリップの2倍の値になっているC3では、評点が138と一番高い。
- ③ パンプブロック(C9)の評点は54と一番低い。これは、パンプブロックの凹凸の程度がほかのランブルストリップより小さいことに原因がある。ただし、評点の標準偏差の値は31と大きく、評価がばらついていることを示している。
- ④ 材質と高さが同じで、間隔のみ異なるC4~C8を比較すると、C5(D=45 cm)の評点が一番高く、間隔がこれより短くなっても(→C4)、長くなっても(→C6, C7, およびC8)評点は小さくなる。

7. ランブルストリップの速度抑制効果

それぞれのランブルストリップを指定した速度で走行したときの「速度感」を5段階の評価尺度で被験者に回答してもらった。評点尺度は、次のとおりである；

5. いまのスピードでは速すぎた
4. " ではやや速すぎた
3. " でちょうどよい
2. " ではやや遅すぎた
1. " では遅すぎた。

ランブルストリップ通過時の速度は、20、25、および30 km/hとし、デジタル式の数値計をみて同乗した記録員が確認した（ただし、±2.5 km/h 以内の速度差は許容した）。ランブルストリップの走行順序はすべての被験者について同一であり、次のとおりである；

- C 6 (30 km/h) → C 3 (20 km/h) → C 2 (25 km/h)
- C 8 (20 km/h) → C 9 (25 km/h) → C 6 (25 km/h)
- C 3 (30 km/h) → C 7 (25 km/h) → C 2 (20 km/h)
- C 4 (30 km/h) → C 3 (25 km/h) → C 5 (20 km/h)
- C 2 (30 km/h) → C 9 (30 km/h) → C 1 (20 km/h)
- C 7 (30 km/h) → C 6 (20 km/h) → C 8 (25 km/h)
- C 9 (20 km/h) → C 4 (20 km/h) → C 1 (25 km/h)
- C 5 (25 km/h) → C 4 (25 km/h) → C 1 (30 km/h)
- C 5 (30 km/h) → C 7 (20 km/h) → C 8 (30 km/h)

実験に使用したのは、小型乗用車2台（ホンダシビックおよびマツダカペラ）である。ホンダシビックについては5人の被験者、マツダカペラについては7人の被験者に走行してもらった。各被験者の評点を平均し、走行速度と平均評点との関係をグラフ化したものが図-7である。評点の標準偏差の平均値は、両車種とも0.54であった。

評点の値が3未満の場合には、被験者はランブルストリップを走行したときの速度が「遅かった」と感じているわけであり、速度抑制効果はないことになる。したがって、走行速度を20 km/h 以下に抑えることを目標とすれば、実験に用いた2車種に関する限り、C 8およびC 9の2つのランブルストリップの速度抑制効果はないと判断できる。また、C 2およびC 7はカペラに関しては速度抑制効果が認められるものの、シビックに関しては抑制効果が認められない。速度抑制効果がないと判断されたランブルストリップは、間隔が長い（C 8）か凹凸の程度が小さい（C 9）ものである。

これに対して、速度抑制効果が期待できるランブルストリップは、

- シビックについては、C 1、C 3、C 4、およびC 5
- カペラについては、C 1、C 2、C 3、C 4、C 5、およびC 6

である。

C 3については、速度が20 km/h と一番遅い場合でも速度が「やや速すぎた」ないしは「速すぎた」という評価が与えられており、ランブルストリップ凸部の高さが14 mm と一番高いことの影響が現われている。

C 4については、走行速度が上昇するにつれて評価が「やや速すぎた」から「ちょうどよい」へと逆転したり（シビックの場合）、速度25 km/h の場合の評価が一番厳しくなっている（「やや速すぎた」）いたりする（カペラの場合）。これは、数値計算例（3.参照）でも示したように、

表-5 速度評価値、車内騒音、および体感振動・騒音の間の相関係数

相関係数 r	速度評価値	車内騒音
車内騒音	.774	---
体感騒音・振動	.696	.522

(注) 車種はシビックで、速度は20 km/h

速度が速くなるほど鉛直方向加速度の値が小さくなる現象が現われているか、あるいは共振が起きているためであると推測できる。

シビックの場合の速度評価値（速度20 km/h の場合のもの）と図-5に示した車内騒音の値、および表-4に示した体感振動・騒音評価値の間の相関係数の値は、表-5のようになる。速度評価値と車内騒音との間の相関係数は0.77と高く、速度評価値と体感騒音・振動との間の相関係数も0.70と高い。このことは、騒音の値が速度抑制効果に影響していることを示唆している。

8. ランブルストリップ通過時の速度変化

非接触式の数値計を用いて、車両がランブルストリップを通過する前後の速度変化を計測した。

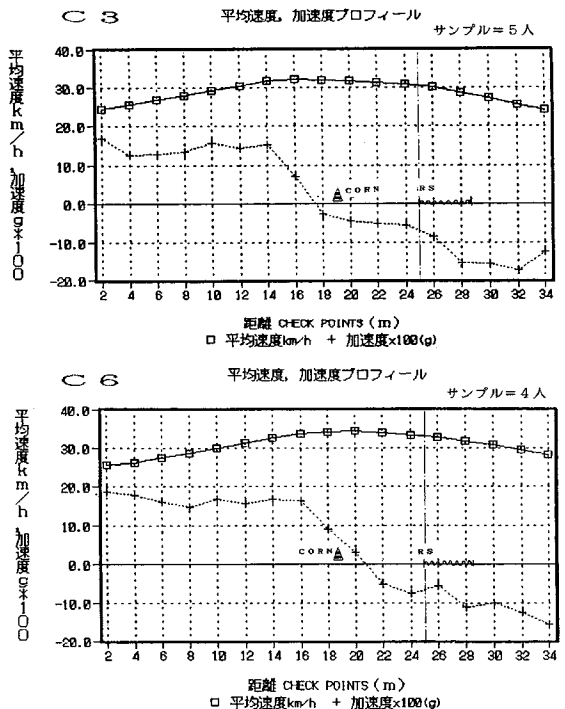


図-8 ランブルストリップ通過時の速度・加速度
(注) CORN は目印のコーンを立てた位置、RS はランブルストリップの位置を示す。

非接触式の速度計は、走行路の入口に貼った反射テープからの反射光を検出して、その位置を距離の起点（距離=0 m）とし、以後2 m おきに自動的に速度と加速度をメモリーに記録する。

運転者には、非接触式速度計のモニター計をみて、指定された速度（30 km/h）でランブルストリップ手前6 mの地点（ここにコーンを置いて目印とした）を通過したのち、各自が制御できると思う速度でランブルストリップ上を走行するよう指示した。被験者の数は4~5名であり、実験にはシビックを用いた。

各被験者の速度パターンにはばらつきがみられたので、地点ごとの速度平均値と進行方向加速度の平均値を求めて図化した（図-8）。ここでは、典型的な2つのケース（ランブルストリップC3とC6）を掲げた。

速度平均値は、全体的になだらかな曲線となったが、C3とC6とを比較すると、ランブルストリップのある25 m 地点付近での速度がそれぞれ異なっている。特に、C6ではランブルストリップの5 m 手前で35 km/hに達していて、通過後も速度は落ちていない。これは、C6を30 km/hで通過する場合の速度感（図-7参照）が「ちょうどよい」となっていることに対応する。

ただし、平均加速度の値をみると、C3とC6では減速パターンの相違が顕著である。C3では、ランブルストリップの11 m 手前で制動がかけられ、急に減速しているのに対し、C6では9 m 手前で減速を開始しており、減速のタイミングが遅くなっている。これは、被験者が何度かランブルストリップ上を走行したため、ランブルストリップ走行に適した速度を自然に選ぶようになった結果であることに注目したい。速度測定結果からは、C3の減速効果が顕著であるほか、C1、C2にも減速効果が認められた。この結果は7.で述べた速度抑制効果と一致している。

9. 結果と考察

本研究では、ランブルストリップ通過時の車両の動的

挙動をモデル計算によって求め、さまざまな形状と異なる舗装方法をもつランブルストリップの速度抑制効果および車両走行時の騒音・振動を測定した。この結果をとりまとめ、考察を加えると次のとおりである。

(1) 数値計算の結果によれば、1300 cc 乗用車がランブルストリップを通過する場合の車両重心における鉛直方向加速度の値は0.07 g 以下と小さい。これに対し、前輪の鉛直方向加速度の値は2 g を超える。この計算結果は、車両支持系の受ける衝撃は大きい、ばね上への衝撃の伝達は少ないことを示している。また実験では、ランブルストリップ通過時の車内騒音の値が、平坦路面を走行する場合に比べて20~37 dB (A) 高いという測定結果が得られている。さらに、運転者がランブルストリップ通過時に感じる「速度感」は車内騒音との相関が高い（相関係数 $R=0.77$ ）ことがわかった。以上のことから、ランブルストリップの速度抑制効果には、鉛直方向加速度よりむしろ車内騒音が影響していると解釈できる。

この結論は、イギリスの最新の街路設計指針⁸⁾が、ランブルストリップについて「運転者に断続的な騒音を与えることによって減速を促す」と規定していることとも符合する。

(2) 実験による検討の結果、速度抑制効果に関しては凸部の高さが14 mm と一番高いランブルストリップC3のほか、凸部の高さが7 mm のC1、C4、C5が有効であることが確認できた。これら4つのランブルストリップは、いずれも車内騒音のレベルが比較的高く、速度抑制には車内騒音が利いているという上記の結論(1)を裏付けている。しかし、これらのランブルストリップは、車外騒音・振動のレベルも比較的高く、沿道環境に及ぼす影響も大きい。したがって、沿道に住宅が密に立地している道路でランブルストリップを単独で用いて速度を抑制しようとするのは、環境に及ぼす影響からみて望ましくないといえる。沿道が公園、空地などで沿道環境に与える影響を考慮しなくてもよい場合には、ランブ

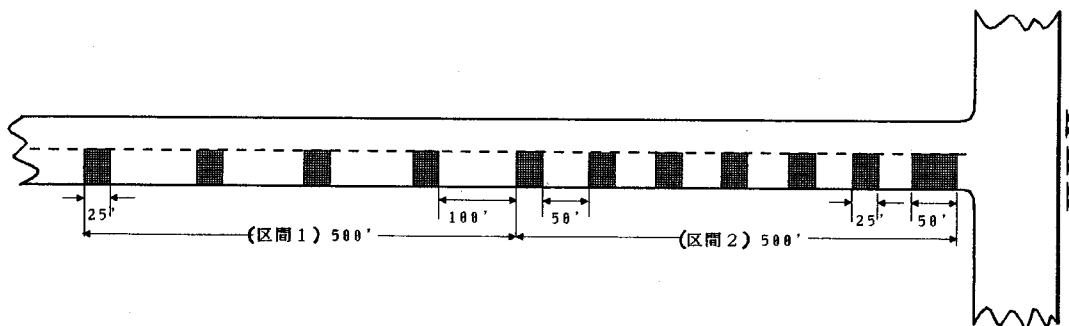


図-9 間隔の変わるランブルストリップ（幹線道路にT字に交差する枝路の右車線（交差点進入方向）に2段階のピッチのランブルストリップを設置したアメリカの事例⁹⁾）

ルストリップによって速度を抑制することが可能である。

車外騒音・振動のレベルを小さくするには、ランブルストリップの高さをより低くすることになるだろうが、その場合でも速度抑制効果を維持するためには、次の2つの方法が考えられる。1つは、ランブルストリップと「狭さく」や「シンボル標識」などの速度抑制のための装置を組み合わせて用いることである。もう1つは、緑化を図るなどして道路の景観や環境デザインを他の道路と大きく変えたり、舗装パターンを工夫したりして視覚的・心理的な抑制効果を併用することである。いずれの方法を採るにせよ、ランブルストリップには速度を抑制する効果というよりは、運転者の注意を喚起し、走行している道路が普通の道路とは違うということを知らせる効果が期待されている。

なお、同じ形状・寸法をもつ透水タイル製のC1と磁器タイル製のC2とを比較すると、透水タイル製のC1の方が車外騒音・振動の値が小さくなっており、振動エネルギーを吸収しやすい材質を用いることによって、環境に対する影響の小さいランブルストリップをつくることができる可能性があることがわかる。ただし、振動エネルギーを吸収しやすい舗装材料の開発は今後の課題である。

(3) 本研究は、2種類の小型乗用車を用いて実験を行ったものであり、対象としなかった車種については、ここで述べた結論をそのまま適用できるとは必ずしもいえない。

数値計算結果によれば、ランブルストリップ走行時の鉛直方向加速度の値には、車種による差異があり、また前後軸の共振が起きるランブルストリップの凸部の間隔も車種によって異なる。したがって、幅広い車種を対象に速度抑制効果を狙うのならば、ランブルストリップの間隔や高さを固定するのではなく、変化をつける方法が考えられる。実際には間隔を連続的に変化させることになろうが、この発想は、欧米の道路ではすでに実施例があり、図9にあるようにしだいに間隔が狭くなっていくタイプ⁹⁾が一例として挙げられる。この場合は、必然的にランブルストリップ区間が長めになる点に注意が必

要である。

(4) 本実験では、さまざまな形状と舗装方法をもつランブルストリップを対象に測定を行ったが、これですべてのランブルストリップが尽くされているわけではない。特に、凸部の高さや騒音との関係についてはさらに条件を変えて検討する必要があると考える。また、二輪車への影響の把握も今後の課題として残されている。

謝 辞：最後に、本実験は多くの方々の協力に負うところが大きく、敷地の提供および舗装では東亜道路(株)技術開発室、試験舗装では(株)INAX商品開発本部および建材市場課ほか石材、ブロックメーカ、また速度の計測では(株)小野測器東京本社の協力を得た。測定作業には日本大学理工学部 三浦裕二研究室と東京大学都市工学科 新谷・太田研究室の諸氏が参加してくれた。ここに記して感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 天野光三・小谷通泰・山中英生：路上障害物を利用した自動車の速度抑制手法に関する一実験的考察，第2回土木計画学研究発表会講演集，pp.333~340，1980.1.
- 2) 青木英明・久保田尚・新谷洋二：ハンプの研究，交通工学，Vol.19，No.2~3，1984.
- 3) 大阪市土木局：交通抑制のための道路構造，住区交通環境総合整備計画調査報告書，1984.
- 4) 名古屋市：地区交通運営手法の検討Ⅰ—道路ハンプ走行実験，1981.3.
- 5) 久保田尚・青木英明・新谷洋二：住区内道路の環境改善と交通抑制(2)，交通工学，Vol.22，No.4，pp.31~47，1987.
- 6) 毎日新聞(埼玉版)，1987.10.18.
- 7) 山田晴利：ハンプ通過時の自動車の動的挙動，第7回土木計画学研究講演集，Vol.8，pp.145~152，1986.
- 8) The Institution of Highways and Transportation：Roads and Traffic in Urban Areas，HMSO，1987.
- 9) Hans-Erik Pettersson：Rumble strips—Geometrisk utformning och beteendeeffekter，Statens Vaeg-och Trafikinstitut，Rapport Nr 80，Linköping，1976.
- 10) 建設省道路局：コミュニティ道路整備の手引，(社)日本道路協会，1988.3.
- 11) 小柳武和：景観評価論(土木工学体系13景観論)，彰国社。(1988.9.24・受付)