

V-21 舗装路面形状と大型車の摩耗影響度に関する研究

北海道開発局 土木試験所 正員 小笠原 章

" " " 久保 宏

ま え が き

最近スパイクタイヤによる舗装の摩耗が問題となっている。単に舗装補修費の増大にとどまらず、粉塵、水はね、騒音等の道路環境やわだち堀れ、マーキング消失等の交通安全に関しても問題となっている。舗装摩耗に対する多くの試験研究が行なわれ成果を得ているが、¹⁾舗装摩耗の原因となるスパイクタイヤ、スパイクビンについて、日本ではほとんど研究がなされていない。特に大型車は輪荷重が大きくビンも大型のため舗装の摩耗に与える影響が大きいことが予想される。舗装の設計や流動を与える場合は大型車交通量が支配的要素となっているが、摩耗対策上舗装の摩耗に対する影響度合についての検討が必要となる。大型車と小型車では左・右車輪間隔(輪距)が異なっていることから簡単なモデル式よりわだち堀れ量に対する大型車の影響度を推定した。また、摩耗によるわだち堀れ形状を式を用いての定量化を試みた。

1. 路面形状調査方法

調査は北海道の一般国道を対象に行なった。路面形状の測定は路面に固定ピンを埋設しこれを基準点とし水糸を張り 10 cm 間隔で行なった。春から秋にかけての変化量を変形量、秋から翌春にかけての変化量を摩耗量とし両者の和をわだち堀れ量とした。今回は摩耗について測定誤差の影響が小さく形状も明確となる累積最大摩耗深 10 mm 以上の 12 地点のデータを使用した。また、変形量は全般に値が小さいため累積最大変形深さが 5 mm 以上の地点を一応の対象とした。摩耗、変形とも測定区間は直線区間で、摩耗については片側一車線区間である。以下ことわりのない場合は、わだち堀れ量、摩耗量、変形量はそれぞれの断面積を表わすものとする。

2. 摩耗形状への式の当てはめ

路面形状は交通安全や道路補修にとって重要な要因となる。路面形状は車輛の走行位置分布⁴⁾によっておおそ推定することができるが、走行位置を支配する因子^{3), 4)}の影響度合は明確とはなっていない。まず第一段階としてわだち形状を定量的に把握

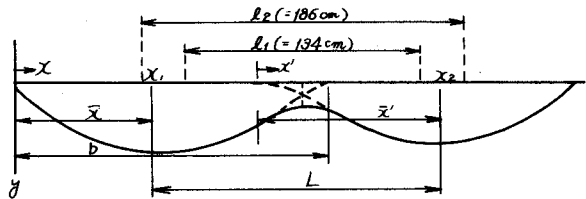


図-1 摩耗形状

握するため路面摩耗形状に式の当てはめを行った。当てはめ式は比較的簡単で許容範囲の広い β -分布形を近似的に用いることとした。わだち堀れ形状を表わすパラメータは、図-1 に示すわだち間隔(L)、わだち幅(b)、集中度合と偏り度合を表わす p 、 q の 4 つとなる。 β -分布の一般式及び実測値を当てはめるよう変形した実用式は次式のようになる。

$$y = \frac{1}{B(p, q)} \cdot x^{p-1} (1-x)^{q-1} \quad 0 < x < 1 \cdots (1-1), \quad y = a \cdot x^p (b-x)^q \quad 0 < x < b \cdots (1-2)$$

a、p、q は次式で与えられる。a は β -関数を用いない近似である。

$$p = \frac{(1-\mu) \cdot \mu^2}{\sigma_i^2} - \mu - 1$$

$$q = \frac{1-\mu}{\mu} (p+1) - 1$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{\sum_{i=1}^N x_i^p \cdot (b-x_i)^q}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x : \text{摩耗ゼロ点からの距離 (cm)} \\ y : \text{摩耗深さ (cm)} \\ \sigma_i^2 = \sigma^2 / b^2, \quad \sigma^2 : \text{分散} \\ \mu = \bar{x} / b \\ \bar{x}, b : \text{図-1 参照} \end{array} \right.$$

図-2、3に摩耗と変形を分離した路面形状の代表的な例を示す。図-2に示すように式(1-2)が良く当てはめられる。他の10地点も良く当てはまることがわかった。わだち幅(b)は130~200 cm程度の値をとる。集中と偏りの度合を表わす係数p、qは0.8~1.7程度の値が得られる。²⁾

図-2、3に大型車の輪距($\ell_1=186\text{ cm}$)、小型車の輪距($\ell_2=134\text{ cm}$)を示している。大型車混入率によってわだち間隔(L)が異なってくるのがわかる。

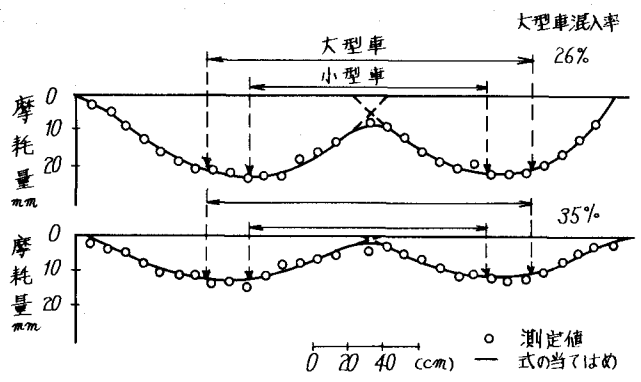


図-2 舗装摩耗形状の例

3. 大型車の摩耗量への影響度を求める計算式

大型車の舗装の摩耗に与える影響度を計算するため路面摩耗形状を大型車による摩耗と小型車による摩耗に分離するモデルを考える。実際の摩耗形状は両者の和となる。計算上、次の仮定を設ける。①車輦は大型車と小型車の2種類とし各々輪距を ℓ_1 、 ℓ_2 とする。②摩耗量はスパイク装着大型車、小型車の交通量(q)にそれぞれ比例する。③大型車混入率(r)は一定とする。以上の仮定と簡単な断面のつり合い式を用いて大型車の舗装摩耗影響度(以下、大型小型摩耗比 α)を求める式を誘導する。図-4より g_1 、 g'_1 を中心とした断面1次モーメントのつり合い式と幾何学的関係から、

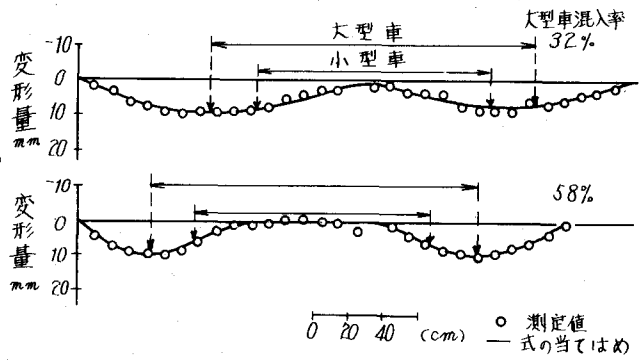


図-3 舗装の変形形状の例

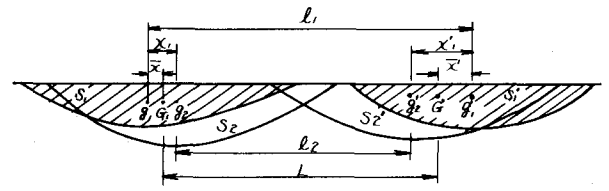


図-4 わだち堀れ形状のモデル化

$$(S_1 + S_2) \cdot \bar{x} = x \cdot S_2 \quad \dots\dots (3-1)$$

$$(S'_1 + S'_2) \cdot \bar{x}' = x'_1 \cdot S_2 \quad \dots\dots (3-2)$$

$$\ell_1 = x_1 + x'_1 + \ell_2 \quad \dots\dots (3-3)$$

$$\ell_1 = \bar{x} + \bar{x}' + L \quad \dots\dots (3-4)$$

$K = S_1/S_2 = S'_1/S'_2$ において、(3-1)~(3-2)から $\bar{x}$ 、 $\bar{x}'$ 、 x_1 、 x'_1 を消去すると

$$K = \frac{L - \ell_2}{\ell_1 - L} \quad \dots\dots (3-5)$$

S_1 、 S_2 は次式で表わすことができる。

$$S_1 = \alpha_1 \cdot \sum^N (q^1_i \cdot \beta^1_i) \quad \dots\dots (3-6)$$

$$S_2 = \alpha_2 \cdot \sum^N (q^2_i \cdot \beta^2_i) \quad \dots\dots (3-7)$$

大型・小型摩耗比(α)を次のように定義する。

$$\alpha = \alpha_1/\alpha_2 \quad \dots\dots (3-8)$$

(3-6)、(3-7)より Kは次式で表わされる。

$$K_1 = \alpha \cdot \frac{\sum^N (q^1_i \cdot \beta^1_i)}{\sum^N (q^2_i \cdot \beta^2_i)} \quad \dots\dots (3-9)$$

q^1_i : 大型車の交通量
 q^2_i : 小型車 " "
 β^1_i : 大型車のスパイク装着率(%)
 β^2_i : 小型車の " " (%)
 α_1 、 α_2 : 比例定数

この式を次のように近似して単純化する。

$$\beta = \frac{\sum \beta^1_i}{\sum \beta^2_i} \quad , \quad \gamma = \frac{\sum q^1_i}{\sum q^1_i + \sum q^2_i} \times 100 \quad , \quad \frac{\sum (q^1_i \cdot \beta^1_i)}{\sum (q^2_i \cdot \beta^2_i)} \div \frac{\sum q^1_i}{\sum q^2_i} = \frac{\sum \beta^1_i}{\sum \beta^2_i}$$

$$K = \alpha \cdot \beta \cdot \frac{100 - \gamma}{\gamma} \quad \cdots \cdots \cdots (3-10)$$

(3-5)、(3-10)より大型・小型摩耗比(α)を求める式、及び α をパラメータとしてわだち間隔(L)と大型車混入率(γ)の関係を表わす式は、

$$\alpha = \beta \cdot \frac{100 - \gamma}{\gamma} \cdot \frac{L - \ell_2}{\ell_1 - L} \quad \cdots \cdots (3-11) \quad L = \frac{100\beta \cdot \ell_2 + (\alpha \cdot \ell_1 - \beta \cdot \ell_2) \cdot \gamma}{100 \cdot \beta + (\alpha - \beta) \cdot \gamma} \quad \cdots \cdots (3-12)$$

摩耗量に大型車の占める割合(Kr)と大型車混入率(γ)の関係式は(3-10)より

$$Kr = \frac{\alpha}{\alpha - \beta \cdot (1 - 100/\gamma)} \times 100 \quad \cdots \cdots (3-13)$$

4. 北海道の一般国道の大型・小型摩耗比

大型・小型摩耗比は(3-11)式で計算することができる。(3-11)式の

大型・小型スパイク装着率比(β)は全道平均の1.18を用いた。また、大型車の輪距(ℓ_1)は前輪、後輪、最大積載荷重により異なる。自動車諸元表によれば表-1のようになる。輪距(ℓ_1)をいくらにするかは難しい問題であるが、図-2、3では笠原による一般国道12号光珠内での前・後輪の実測値、(大型車 $\ell_1=186$ cm、小型車 $\ell_2=134$ cm)を用いた。大型車混入率は春秋に行う交通情勢調査より求めた。図-5は大型車混入率(γ)とわだち間隔(L)の関係を示している。破線で示した曲線は(3-12)式の大型・小型摩耗比(α)を仮定して計算したものである。最小2乗法で α の推定値を計算すると $\alpha=1.9$ となる。また、実測値から計算したわだち間隔(○印)は大型・小型摩耗比(α)が1~3の間にほぼ分布していることがわかる。冬期交通では春秋交通に比べて大型車混入率が平均して3%程度低下する点を考慮すれば大型・小型摩耗比は $\alpha=2.2$ となる。大型・小型摩耗比(α)は2程度の値であると考えられる。

大型・小型摩耗比(α)について、日本諸外国の室内、屋外の実験データがある。実験値の場合、試験条件、使用するタイヤ、混合物などの違いがありそのまま実交通での値と考える訳にはいかないとと思われるが、日本道路公団4程度³⁾、Moe 1.9、ノルウェー2、スウェーデン3~4、フランス20~30という数値が示されており、フランス

表-1 自動車の輪距

最大積載 t	輪	距 cm
5 t 前後	前輪	170~180
	後輪	160~170
7 t 前後	前輪	180~190
	後輪	170~180
8~11 t	前輪	200前後
	後輪	185前後
小型車		135前後

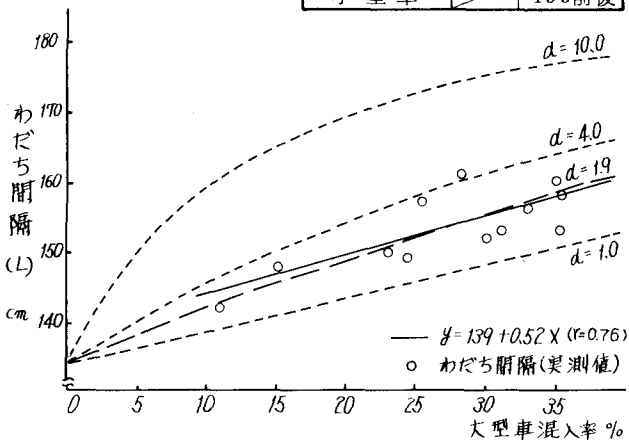


図-5 摩耗に関する大型車混入率とわだち間隔の関係

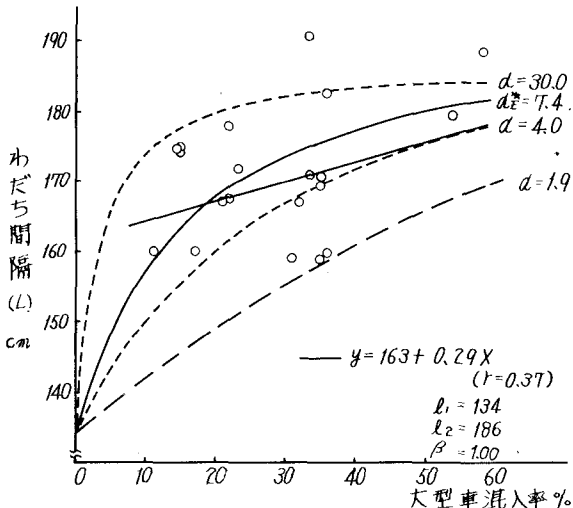
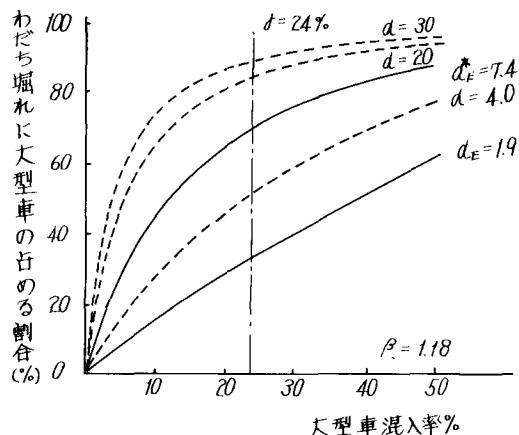


図-6 変形に関する大型車混入率とわだち間隔の関係

の場合を除いて本研究から得られたものとあまり変わらない。

5. 北海道一般国道の大型・小型変形量比 α^*

図-6は路面変形形状によける大型車混入率(r)とわだち間隔(L)を示している。ばらつきは大きい、図-5の摩耗の場合に比べ平均的に15~20cmわだち間隔(L)が広がっていることがわかる。(3-12)式を準用して、大型・小型変形量比(α^*)を笠原の ℓ_1 、 ℓ_2 を用いて計算すると $\alpha_E^*=7.4$ となり変形量に関して大型車の影響は大きいことがわかる。



6. 北海道の一般国道の大型車によるわだち堀れ量

図-7は(3-13)式の α を変えて、大型車混入率(r)と大型車の占める摩耗量、変形量の割合の計算値を示したものである。平均大型車混入率は約24%(図-7、1点鎖線)であり、大型・小型摩耗比 $\alpha_E=1.9$ の場合、全摩耗量の内約33%を大型車が占めている。フランスの文献の大型・小型摩耗比 $\alpha=20$ で計算すれば大型車の占める摩耗割合は約84%となり、小型車による摩耗は約16%しかないことになる。

大型・小型変形量比 $\alpha_E^*=7.4$ の場合、変形量の約70%を大型車が占めている。大型車の影響度は変形量の方が摩耗より大きいといえる。

ま と め

北海道の一般国道でのわだち形状、小型・大型摩耗比、変形量比についてまとめると次のことが言える。

1. 舗装摩耗形状はおおよそ $y=a \cdot x^p (b-x)^q$ の形で表現できる。p、qの値は0.8~1.7程度、わだち幅bは130~200cm程度の値である。
2. 路面形状から推定した大型・小型摩耗比は2程度で、大型・小型変形量比は7程度の値となる。
3. わだち堀れ量の内大型車の占める割合は摩耗量について4割、変形量について7割程度となる。

あ と が き

諸外国ではスパイクタイヤ、ピンに対する規制を小型車・大型車に分けて行なっている国が多い。この場合、大型車、小型車の規制によりどの程度舗装の摩耗が軽減されるのかを精度良くアセスメントすることが非常に重要となる。開発局では片側2車線道路を大型車線、小型車線に分離して摩耗調査を開始しておりこのような多角的な検討が必要と考えられる。

最後に貴重データを提供していただいた北海道工業大学の笠原 助教授、路面摩耗調査を行なった舗装研究室員の方々に深く謝意を表します。

参 考 文 献

1. 久保 宏：積雪寒冷地舗装の摩耗とその対策について、ASPHALT Vol.22、No.121、1979年
2. 小笠原 久保：寒冷地舗装路面の摩耗形状、土木学会 第37回 講演概要集
3. 舗装の摩耗対策に関する調査研究 第25回 北海道開発局技術研究発表会論文集 昭和56年度
4. 笠原ほか：舗装における車輛の走行軌跡分布に関する研究 第14回日本道路会議論文集