

スパイク埋め込み式滑り止め舗装の基礎研究

上田 真一¹・臺丸谷 政志²・小林 秀敏³・上野 裕司⁴・山野内 寿江⁴

¹正会員 工修 大成ロテック株式会社 機械技術センター（〒365-0027 埼玉県鴻巣市大字上谷 1456）

²非会員 工博 室蘭工業大学教授 工学部機械システム工学科（〒050-8585 室蘭市水元町 27 番 1 号）

³非会員 Ph.D. 室蘭工業大学助教授 工学部機械システム工学科（〒050-8585 室蘭市水元町 27 番 1 号）

⁴非会員 室蘭工業大学大学院 工学研究科 博士前期課程 機械システム工学専攻
（〒050-8585 室蘭市水元町 27 番 1 号）

スパイク埋め込み式滑り止め舗装（以下、スパイク舗装）とは、スパイクを埋め込んだゴムチップ板を路面に取り付け、これが車両による荷重により変位し相対的にスパイクが突出して滑り止め効果を発揮するとともに通過車両による氷層の破碎、除氷・除雪効果を目途としている。本研究では、スパイク舗装の開発に必要な基礎的資料を得ることを目的とし、車両のタイヤ負荷によるスパイク舗装部の変形を解明するための測定法の検討を行った。すなわち、構成要素の一つであるゴムチップ材について、ピン変位法と名付けた測定法により表面変位の測定を行い、ゴムチップ材の密度とスパイクピン突出長さの関係が解明できた。また、ゴムチップ材の材料特性から、その値をもとに有限要素法を用いてゴムチップ板表面変位を 3 次元解析し、実験値との比較検討を行った。

Key Words : non-skid pavement , method of pin-displacement , rubber chip , spike pins , F.E.M.

1. はじめに

降雪量の多い北海道や東北地方では、冬季間の路面凍結によるスリップが原因の交通事故が多発している。以前は、スパイクタイヤの使用が認められていたが、粉塵による健康への悪影響、及び環境汚染が問題となり、「スパイクタイヤ粉じん発生の防止に関する法律」が平成 2 年 6 月 27 日に公布、施行され、現在ではスパイクタイヤの装着が禁止されている。北海道内では、規制法に基づき平成 9 年 3 月から使用規制対象地域 116 市町村すべてでスパイクタイヤが規制されている。スタッドレス時代となった現在、坂道などを中心にロードヒーティングの敷設が進められているが、敷設工事および維持・管理に多額の費用がかかること、また断線率の高さが問題点として上げられる。札幌市は第 3 次 5 カ年計画（1996 年～2000 年）に凍結路面対策舗装の整備を盛り込んでおり、試験舗装で滑り止め効果が確認されまたロードヒーティング工法に比べコストの半減が見込まれるグルーピングウレタン工法及びマジックサークル工法による舗装を一部道路に設置している。

ここで検討を進めているスパイク埋め込み式滑り

止め舗装（以下、スパイク舗装）とは、さらにコストの低減を図りまた高い滑り止め効果が期待され、なおかつ短時間で簡単に施工できるノンスリップ道路を目途としたものである。

本研究では、このスパイク舗装の開発に必要な基礎的資料を得ることを目的とし、スパイク舗装の構造要素の一つである試作ゴムチップ板を用いてゴムチップ板の密度と変形量すなわち、スパイクピン突出高さの関係についてデータの収集・検討を行った。また、圧縮試験によりタイヤの接地面形状、及び圧力分布と、ゴムチップ材の縦弾性係数、及びポアソン比を求め、これらの値をもとに主な構成要素の一つのゴムチップ板について、有限要素解析コード MARC を用いた解析を行い、タイヤによる荷重を负荷したときのゴムチップ板の変形について実験値との比較検討を行った。

2. スパイク舗装道路の概要

(1) スパイク舗装部分の構造

まず、想定されるスパイク舗装の一例を図-1 に示

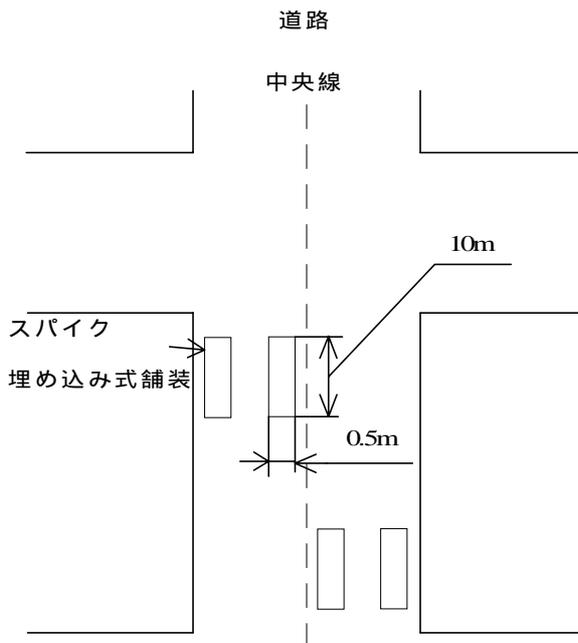


図-1 実際の使用例

す。スパイク舗装部分は幅 0.5m 長さ 10m を想定しているが、道路交通事情により寸法は任意に設定することができる。スパイク舗装部分は、図-2 に示すような単純な構造であり、スパイク埋め込み部は、厚さ 5mm 程の鋼板に鋼丸棒を垂直に埋め込み・溶接してスパイクピンとし、舗装材をスパイクピン高さまで充填・加熱押圧して成形されるものである。この充填舗装材には廃タイヤを粉砕したゴムチップを使用し、ウレタン系バインダと攪拌混合しゴムチップ成形板として用いる。

(2) 滑り止めの機構

車両がスパイク埋め込み舗装部上にあるとき、車両重量はタイヤを介して充填舗装ゴムを圧縮する。この圧縮荷重によりゴムチップ材は変形し、相対的にスパイクの先端が突出する。この突出したスパイクピンとタイヤとの接触による摩擦抵抗が滑り止め効果を高める。また、アスファルト舗装に比べて柔軟なゴムチップ材を用いることによって、通過車両による路面の氷層破碎、除氷・除雪効果が期待され、特殊舗装面とタイヤとの摩擦抵抗の増大が滑り止め効果を更に高める。車両通過後、舗装ゴム部はゴム弾性により初期の形状に戻り、スパイクピンの突出はなくなる。

3. 実用化に向けての検討すべき事項

上記の構造と滑り止め機構に基づくスパイク舗装

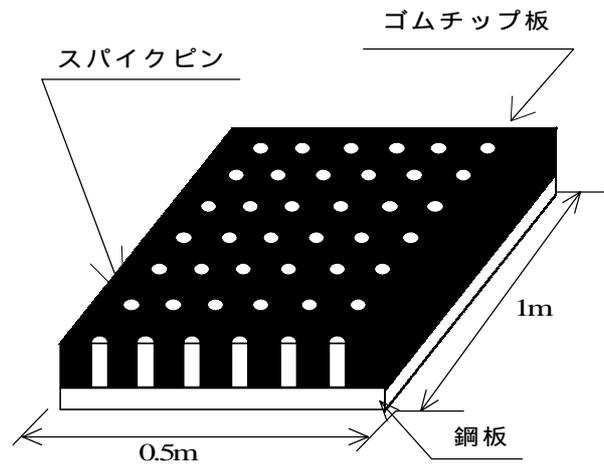


図-2 スパイク埋め込み式舗装部

道路の開発・実用化に向けて、当面、検討すべき事項として次の項目等が考えられる。

スパイク突出高さ

各種車両およびタイヤと上記との関係

スパイク突出高さ及びスパイク密度と摩擦・制動効果の関係

充填舗装ゴム最適特性と疲労変形・強度

路面表面の凍結氷層厚さの制御と氷層破碎効果

本研究では、上記を解明するためにゴムチップ板の変形挙動について、実験および解析を行った。

4. 予備実験

(1) 概要

まず、試作ゴムチップ板表面の変位の測定、及び解析を行うにあたり必要なタイヤと路面との接地形状、接地面圧力、及びゴムチップ板の縦弾性係数を求める予備実験を行った。

タイヤと路面との接地実験には小型乗用車のタイヤ(175/70R13)を用い、小型乗用車の総重量を $1000 \times 9.8\text{N}$ とした。よって、1 輪当たりの負荷荷重は 2450N とした。

(2) 予備実験方法及び実験結果

a) タイヤと路面との接地面形状、接地面圧力

タイヤの接地実験を行うための実験概要図を図-3 に示した。試験温度 20°C で、万能試験機を用いて鋼製平板上に圧力測定フィルム(富士フィルム製プレスケール)を置き、そこへタイヤを所定の荷重で負荷し、その時のタイヤ接地面積を圧力分布図よりプランメータで測定¹⁾した。この面積と負荷荷重より平均的な接地面圧力を求めた。得られた結果を表-1 に示した。

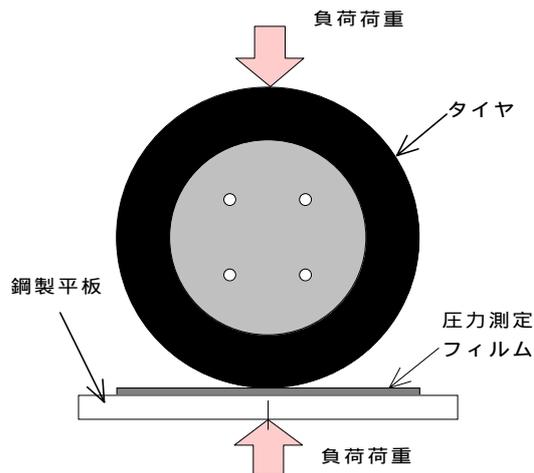


図-3 予備実験概略図

表-1 タイヤ接地実験結果

タイヤサイズ	175/70R13
負荷荷重 [N]	2450
接地面積[($\times 10^{-2}$) m ²]	1.38
平均接地面圧力 [MPa]	0.162

表-2 試作ゴムチップ板の諸元

試作ゴムチップ板	Type1	Type2	Type3	Type4
重量配合比 ゴムチップ：ウレタン	100：10			
板厚 [($\times 10^{-3}$) mm]	24.4	24.6	24.9	25.0
密度 [kg/m ³]	715	816	919	1000

表-3 試作ゴムチップ板の圧縮試験結果

試作ゴムチップ板	Type1	Type2	Type3	Type4
縦弾性係数[MPa]	1.39	2.66	4.33	5.93
ポアソン比	0.19	0.30	0.25	0.29

b) ゴムチップ材の縦弾性係数及びポアソン比

本実験に用いた試作ゴムチップ板は、タイヤ再生ゴムチップ(トラックタイヤ表面リサイクル メッシュ 1~3)と熱プレス用ウレタンバインダ(品名:ラバスタイターH2V-18A(第一工業製薬)、化学名:末端イソシアネート基含有ウレタンポリマー)を攪拌混合したものを用いた。ゴムチップとバインダの配合比、板厚および密度について表-2 に示すような4種類の試作ゴムチップ板について、70mm×70mmの試験片を採取し、万能試験機を用いて4mm/min.の試験速度、20の試験温度で圧縮試験を行った。

圧縮試験より得られた各々の試作ゴムチップ板の応力-ひずみ線図から算出したゴムチップ材の縦弾

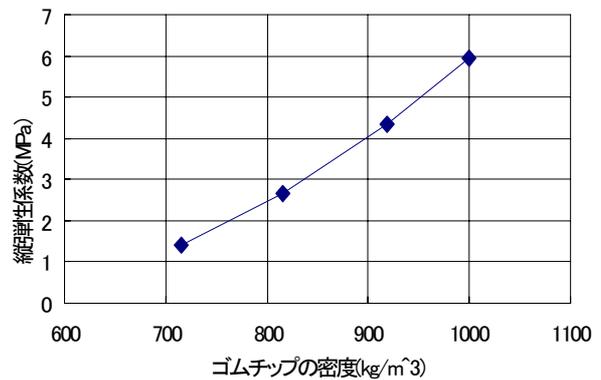
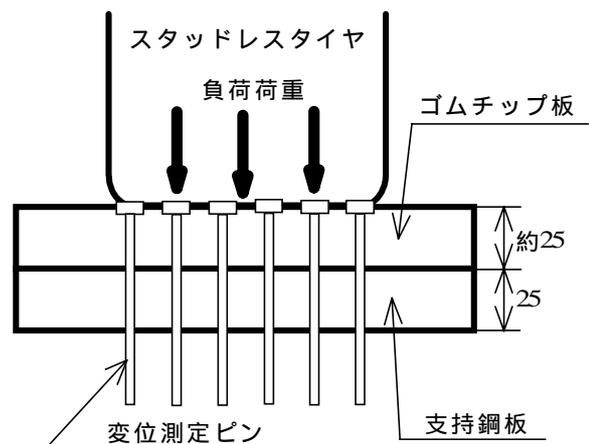


図-4 ゴムチップ板の縦弾性係数と密度の関係



単位：mm

図-5 実験装置概略図

性係数、及び、ポアソン比を表-3 に示した。なお、表-3の縦弾性係数は、ひずみ20%のときの値である。

5. ピン変位法によるゴムチップ板変位量の測定

(1) ピン変位法の概要

ゴムチップ板に車重がタイヤを介して負荷される時、接触面の変位すなわちゴムチップ板表面の各点における下方変位を測定する工夫が必要である。ここでは、ピン変位法と名付けた以下の方法で計測を試みた。

タイヤ負荷によるゴムチップ板表面の変位を測定するための実験装置概略図を図-5 に、また接地概要図を図-6 に示す。ゴムチップ板に直径約1mmの穴を20mm間隔およびこれを支持する支持鋼板(SS400)に直径約6mmの穴を20mm間隔で柵目状に開け、ゴムチップ板の上から平頭部を有する測定ピンを差し込み下まで貫通させる。測定ピンの頭頂部は、ゴムチップ板表面に一致させてある。ゴムチップ板にタイヤをそれぞれの荷重で押し付けることにより、ゴム

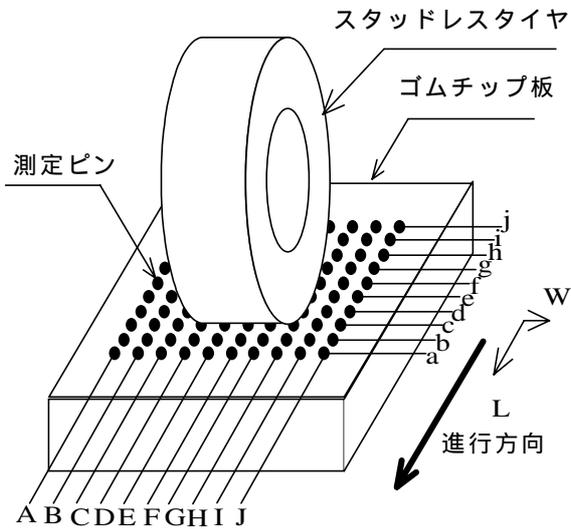


図-6 接地概略図

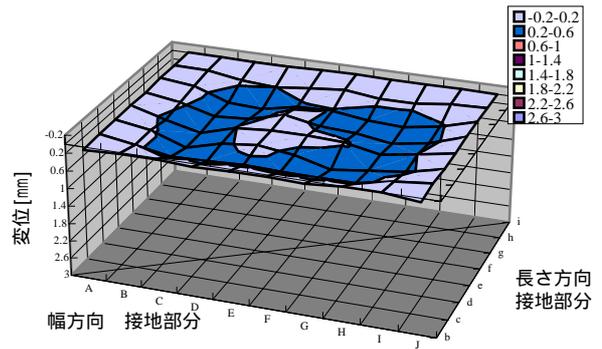


図-8 ゴムチップ板Type4の変位 (負荷荷重 2450N)

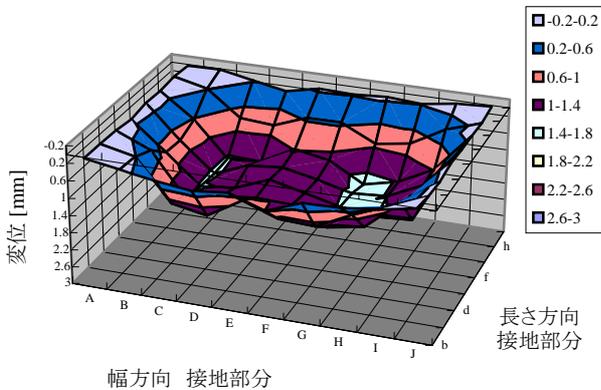


図-7 ゴムチップ板Type1の変位 (負荷荷重2450N)

チップ板表面の下方変位と共にピンも下方へ押し下げられる。このピン下端の変位計測によりゴムチップ板表面の変位を知ることが可能である。

(2)変位量の測定結果

ピン変位法により、前述の Type1 ~ 4 の 4 種類のゴムチップ板について、試験温度 20 で、表-1 に示した小型乗用車用スタッドレスタイヤを用いて 2450N で負荷した時の接触面の変位を幅方向の位置を表す A から J, 進行方向の位置を表す b から i の計 80 点について測定した。例として、Type1 及び Type4 のゴムチップ板の変位量測定結果について、図-7 と図-8 に示した。また、各試作ゴムチップ板を使用した本実験の結果、最大変位、すなわちスパイク突出し高さは、表-4 に示す値となった。

これらの結果から、タイヤ接地面の進行方向外側列(C,G ライン)の変位が大きく、タイヤ接地部分中央付近(E,F ライン)の変位は比較的小さくなっていることが解った。これは、タイヤ接地面圧力分布とほぼ一致しており、タイヤの溝形状の相違による影響は

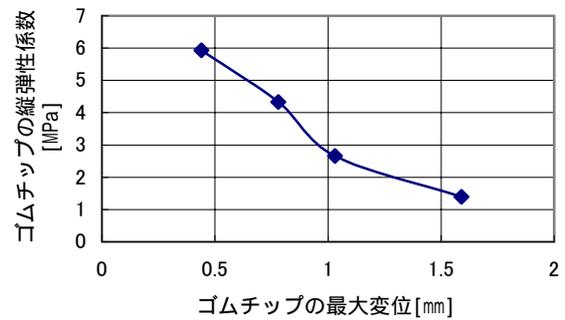


図-9 試作ゴムチップの縦弾性係数と最大スパイク突出高さの関係

表-4 ゴムチップ板の最大変位 (荷重2450N)

試作ゴムチップ板	Type1	Type2	Type3	Type4
最大変位 [$\times 10^{-3}$ m]	1.59	1.03	0.78	0.44

ほとんど認められなかった。また、図-9 からゴムチップ板の縦弾性係数に着目し、ゴムチップ板作成時それを操作することにより、ゴムチップ板の最大変位、すなわち、スパイク突出高さを制御できることが予測される。今回、ピン変位法を各ゴムチップ板について、各々6回測定を行った結果、ほぼ同一の変位分布を示し、再現性が良いことが解った。

6. ゴムチップ板の変位量の 3 次元 FEM 解析

(1)解析モデルの条件

負荷を受けるゴムチップ板の変形は、3次元的な挙動を示すことから、本研究では、実際の変位分布に近づくためゴムチップ板について 3次元モデルを作成し、変形解析を行った。ゴムチップ板の変位は、タイヤ溝の有無に関係なくほぼ等しくなるが、面圧分布は、タイヤ接地面進行方向中央付近で小さく、外側付近で大きくなっていることが解っている²⁾。

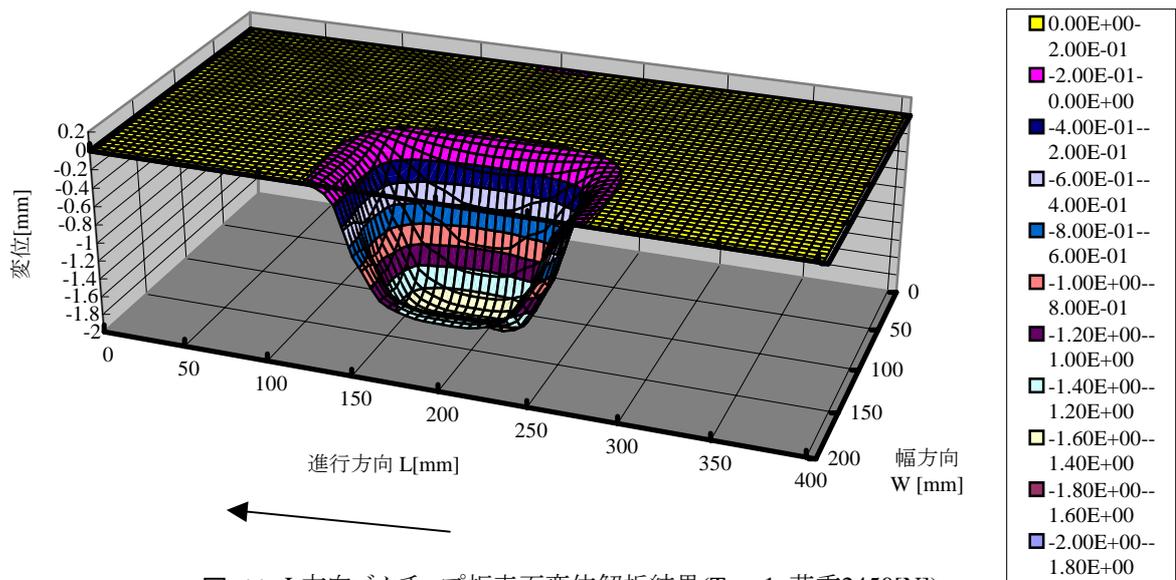


図-11 L方向ゴムチップ板表面変位解析結果(Type1, 荷重2450[N]).

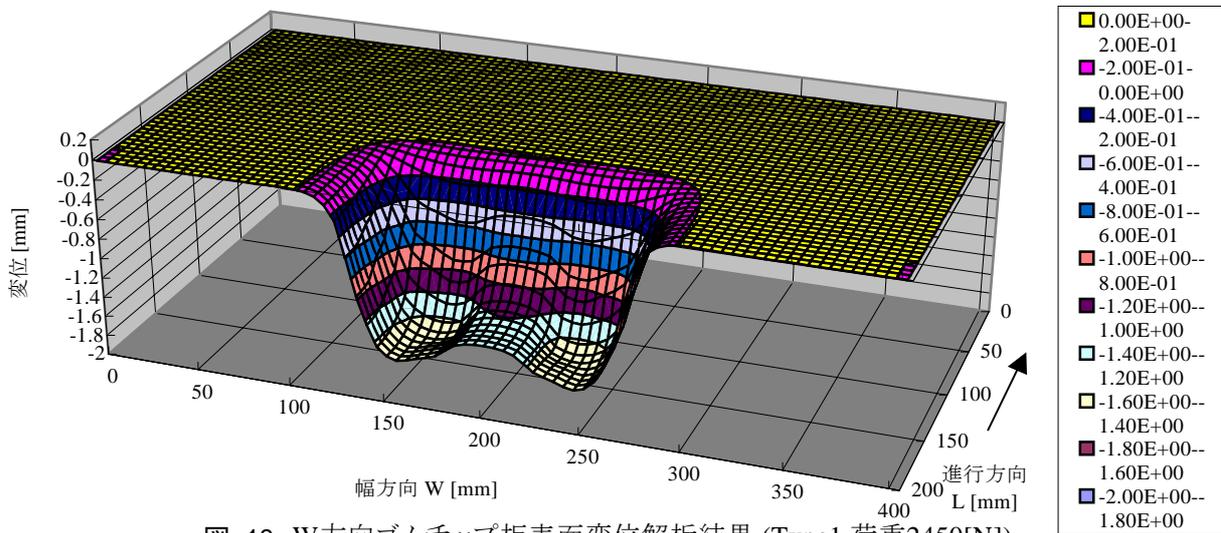


図-12 W方向ゴムチップ板表面変位解析結果 (Type1,荷重2450[N]).

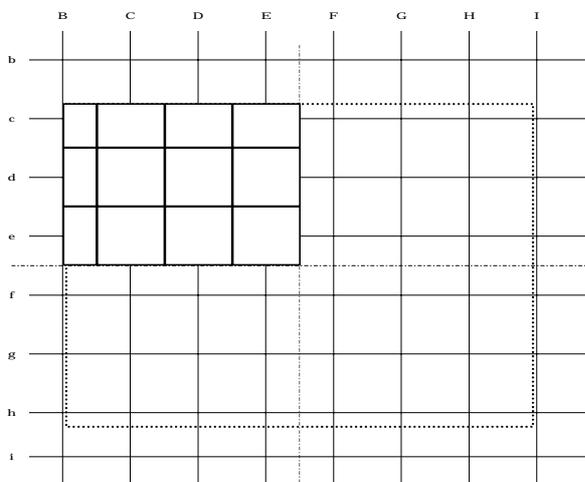


図-10 解析条件

そこで、解析条件にこれらを考慮し、図-10 に示すような 8 節点アイソパラメトリック要素で解析モデルを作成した。解析に用いたタイヤの諸元については、表-1 を、また、ゴムチップ板縦弾性係数は圧縮試験より得られた応力 - ひずみの関係に基づき、ひずみの関数をそれぞれ与え、有限要素法コード MARC を用い、ゴムチップ板の下方変位を求めた。得られた解析値の例として、Type1 の進行方向(L 方向)、幅方向(W 方向)を図-11、12 に示した。

(2) 解析結果

ゴムチップ板のタイヤ負荷による変形形態は、ピン変位法による測定値と、FEM 解析値 (図-11、12) はほぼ一致した。つまり、進行方向外側で最大変位を生じ、進行方向中央部で変位量が小となる形態がほぼ一致し、今回試作したゴムチップ板の変位挙動を

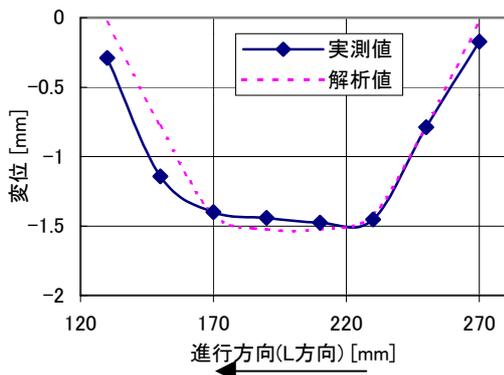


図13 Cライン上でのピン変位法による実測値と解析値との比較(Type1, 荷重2450N)

表-5 解析結果によるゴムチップ板の最大変位
(荷重2450N)

試作ゴムチップ板	Type1	Type2	Type3	Type4
最大変位 [$\times 10^{-3}$ mm]	1.56	0.82	0.60	0.33

調べる上では有用であることが解った。また、比較的大きな変位を生じると考えられる C ラインについて、ピン変位法による測定値と、解析値について比較図を図-13 に示した。これより、前述と同様に測定値と解析値の最大変位が C ライン上においては約 3 ~ 6% 程度の違いで、ほぼ、一致していることが解った。また、各試作ゴムチップ板について、同様の解析を行った結果のうち、ゴムチップ板の最大変位を表-5 に示した。

7.まとめ

本研究において、得られた主な結果をまとめると以下のとおりである。

ピン変位法と名付けた測定法により、タイヤで負荷されるゴムチップ板表面の変位を測定するこ

とが可能となった。また、数回の同一測定でもほぼ同様の測定値が得られることが解り、再現性の良い測定法であることが解った。

ゴムチップ板の変位量測定結果より、小型乗用車用スタッドレスタイヤの接地面進行方向外側列の変位が比較的大きく、中央付近の変位量は比較的小さいことが分かった。これは、タイヤの接地圧力分布と同様の傾向を示すことが解った。

試作ゴムチップ板について 3 次元有限要素解析を行った結果、ピン変位法で測定した結果と同様の变形形態になることが解った。また、Type1 のゴムチップ板で比較的大きな変位量と考えられる C ライン上において、ピン変位法による測定結果と解析値がほぼ一致することが解った。

よって、スパイクピンの突出高さを推測するために、ゴムチップ板の变形挙動がある程度解明できたため、ピンの突出高さを推測できると考える。

8.おわりに

本研究では、小型乗用車用タイヤを介して部分負荷されるゴムチップ板表面変位について、測定及び数値解析を行った。今後は、各種車両及びタイヤとスパイク突出高さとの関係について、実験及び数値解析を進め、最適な充填ゴムチップ板の特性を検討することと、また、その充填ゴムチップ板の最適特性と疲労変形・強度の関係についても併せて検討していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 上田, 臺丸谷, 小林: スパイク埋め込み滑り止め舗装工法の基礎研究, 土木学会第 54 回年次学術講演会論文集 第 5 部, pp. 448 ~ 449, 1999
- 2) (社)土木学会: 舗装工学研究会小委員会報告書, pp. 1-38 ~ 53, 1997

A BASIC STUDY OF PAVEMENT METHOD BY MEANS OF BURYING SPIKES

Shinichi UEDA, Masashi DAIMARUYA, Hidetoshi KOBAYASHI,

Yuji UENO and Hisae YAMANOUCHI

In this study, measuring method for the surface displacement of the rubber-chip board due to vehicle loads through vehicle tires is discussed in order to examine the relative protrusion height of the spikes. The measuring results by the method of pin-displacement showed good reappear-ability ones. In addition, numerical simulation are carried out using FEM code MARC and some reasonable results were found.