

# 理論解析によるグルーピング系舗装とゴムロールド舗装の 氷板剥離効果に関する検討

Study on Bond-destruction effects Between Ice-crust and Gum-rolled / Grooving-type Pavements by Theoretical Analysis

北海学園工学部 学生員 ○菊地 陽介 (yousuke kikuchi)  
北海学園工学部 正会員 武市 靖 (kiyoshi takeichi)

## 1. はじめに

本研究の目的は、グルーピング系舗装、及びゴムロールド舗装について、路面の氷板剥離効果を理論解析し、実験結果と比較・検証することである。また、検討の比較対象として密粒度 13F を用いた。

ゴムロールド舗装ではゴム骨材、グルーピング系舗装ではウレタン樹脂で結合させたゴムチップ材によるたわみ特性を利用した舗装面に交通荷重が作用することによって、氷板の剥離が期待できる。

本研究では理論解析において、多層弾性理論に基づいた GAMES による解析プログラム<sup>1)</sup>と有限要素解析プログラム (Stress Check) による解析結果の違いを比較すると同時に、走行試験との比較検討結果をまとめたものである。

## 2. 2つの理論解析の概要

多層弾性理論に基づいた GAMES は、舗装構造を層の数と厚さのみで定義する理論であり、層毎に材料を定義し解析を行うプログラムである。

有限要素解析プログラム (Stress Check) は、p 法有限要素解析に基づいているので、p 次数範囲を上げて解析することによって高次元な解析となり、他の FEM より信頼性の高い解析結果を得ることが出来る。

## 3. 解析および試験対象の舗装概要

各解析対象の凍結抑制舗装は、走行試験室に施工されているもので、ゴムロールド舗装は五角柱のゴム骨材を転圧入し、混合物内に凍結防止剤 (ベルグリミット) を添加したもので、物理特性のたわみ効果と、凍結防止剤の溶出による化学的作用のハイブリット効果を持つ舗装である<sup>2)</sup>。

グルーピング系舗装ではグルーピング溝にゴムチップ、凍結防止剤 (CMA) およびウレタン樹脂等を主材料とした凍結抑制材を充填したものであるが、今回の検討では凍結防止剤を充填せずに、グルーピング溝部分による物理的たわみ効果のみを期待した舗装となっている。

比較対象の舗装としては、寒冷地の道路舗装において一般的な密粒度 13F 舗装を用いている。各舗装の表面状況は写真-1~3 に示す通りである。

また、ゴムロールド舗装に用いられているゴム骨材はゴム硬度 70 に硬度 50 のゴムで表面をコーティングしたものであり、写真-4 に示した。



写真-1 ゴムロールド舗装

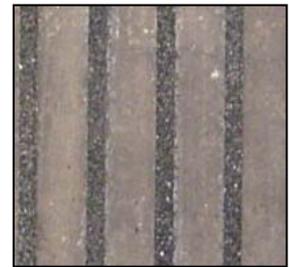


写真-2 グルーピング系舗装



写真-3 密粒度舗装

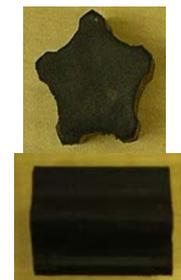


写真-4 使用ゴム骨材  
上：正面、下側面

## 4. 各設定条件

### 4.1 各層の材料条件

解析に用いた各層の材料の弾性係数、ポアソン比、厚さを表-1 にまとめた。

表-1 材料条件および各層の厚さ

材料	弾性係数 (MPa)	ポアソン比	厚さ (cm)
氷板	10000	0.33	0.1
(ゴム骨材)	8.5	0.44	2
(ゴムチップ結合材)	5	0.44	1
アスコン	13000	0.35	5
コンクリート	30000	0.2	半無限

#### 4.2 荷重条件

荷重は乗用車輪荷重であり、表-2 のように設定した。乗用車のタイヤの荷重半径は、本研究室での実験結果に基づいた。

表-2 乗用車輪荷重の荷重条件

	輪荷重	荷重半径	接地圧
乗用車	5kN	96mm	0.19MPa

#### 4.3 氷板の破壊条件

氷板の破壊の有無は、解析によって得られる氷板のひずみによって検討した。

ゴムロード舗装やグルーピング系舗装の持つたわみ特性を利用した舗装面に、交通荷重が作用することで発生するひずみが、氷板の破壊ひずみより大きくなると氷板の剥離・破壊が期待できると考えられる。

図-1 に示した既往の研究<sup>3)</sup>に基づく、氷板のひずみが 0.05% に達したときが初期破壊と推定でき、0.7% に達すると完全破壊とされている。よって、ひずみがこれ以上の場合には氷板が剥離・破壊すると仮定し、それ以下の場合には剥離しなかったと考えた。

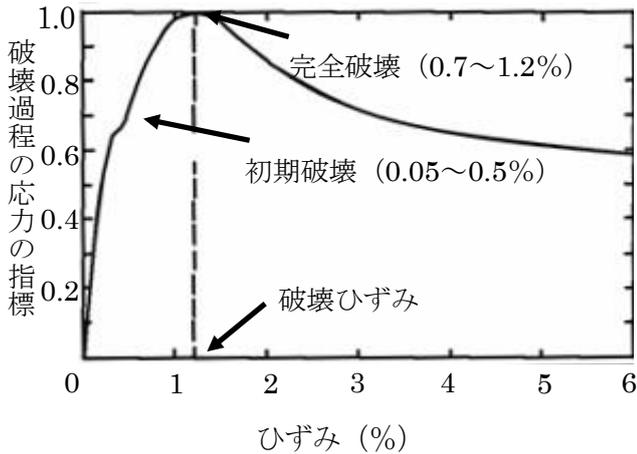


図-1 応力の指標とひずみの関係<sup>3)</sup>

### 5. 解析モデル

#### 5.1 GAMES での解析モデル

解析モデルは後述する一回走行試験結果と比較検討するため、本学の室内走行試験室に施工された舗装をモデル対象としている。図-2 に示すように、アスコン層の下はコンクリート層となっている。また GAMES が層構造解析プログラムのため、ゴム骨材を転圧入したモデルではなく、層全体をゴム層として解析している。

また、グルーピング系舗装の場合はゴム層部分をゴムチップ、凍結防止剤 (CMA) およびウレタン樹脂等を主材料とした凍結抑制材に置き換えて、各材料条件を変更したモデル解析している。

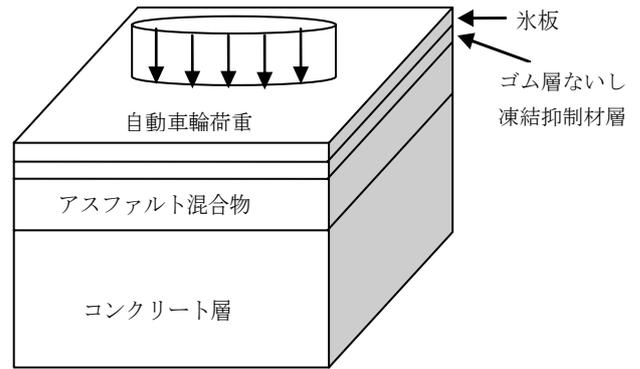


図-2 GAMES 解析モデル

#### 5.2 Stress Check での解析モデル

グルーピング系舗装、および密粒度 13F の解析モデルは解析路面の 1/4 を切り出したものを解析対象としている。また、ゴムロード舗装のモデル作成においては、形状が複雑で、モデルの要素数が多くなりプログラムの自由度制限を越えて、p 次数を上げて解析することが出来なくなるため、本来は 25cm×25cm の解析対象のところ、10 cm×10 cm の解析対象に変更している。

Stress Check では、GAMES とは異なり自由度制限はあるが、モデルから自ら作成することが可能なため、複雑な形状での解析も行うことが可能となる。

図-4 にグルーピング系舗装、図-5 にゴムロード舗装の解析モデル図を示した。

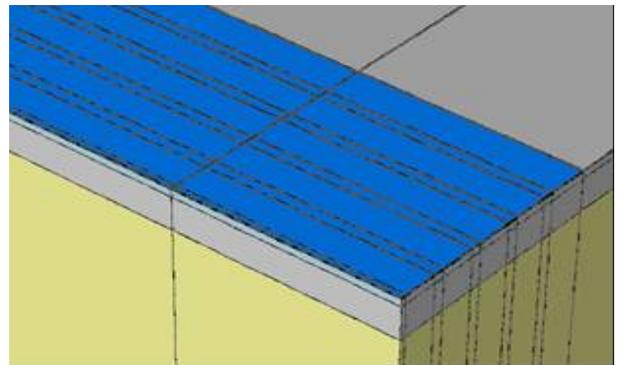


図-4 グルーピング系舗装解析モデル

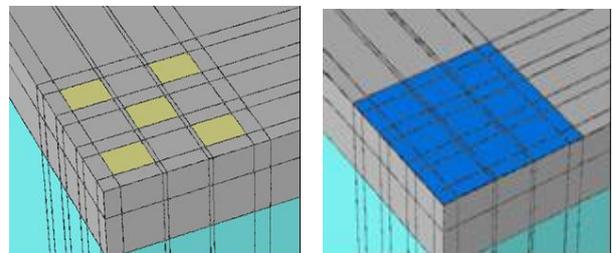


図-5 ゴムロード舗装解析モデル  
左：氷無し 右：あり

6. 解析と試験結果

6.1 GAMESによる解析結果

乗用車荷重載荷時の各解析結果のひずみを図-6～8に示した。

解析値は、氷板とゴム層／グルーピング層が接している界面の値を使用している。

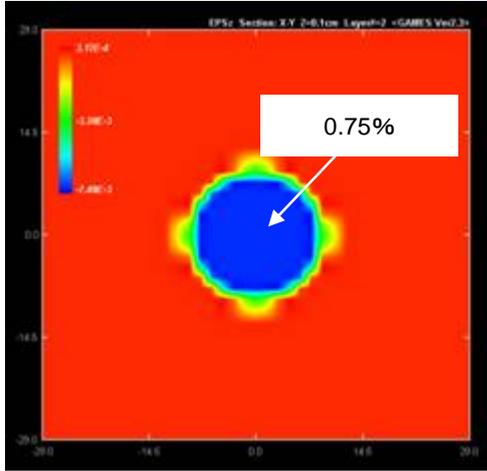


図-6 ゴムロード舗装のひずみ

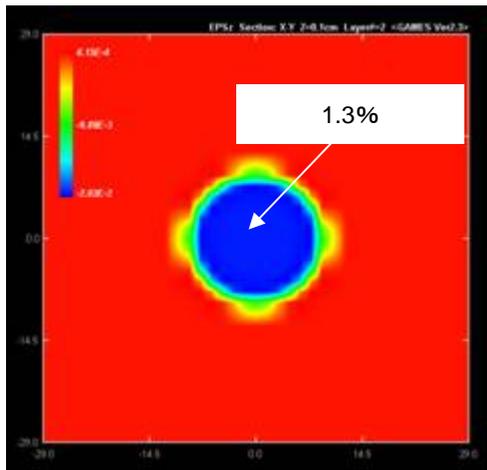


図-7 グルーピング系舗装のひずみ

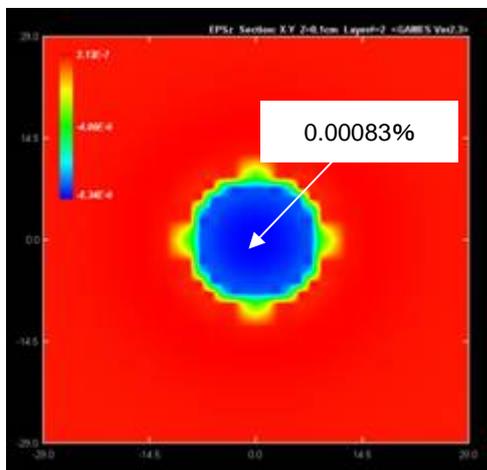


図-8 密粒度 13F 舗装のひずみ

6.2 Stress Checkによる解析結果

乗用車荷重載荷時の各解析結果のひずみを図-9～11に示した。

解析値は、GAMESの解析と同様に、氷板と接している2層目上部界面の値を使用している。

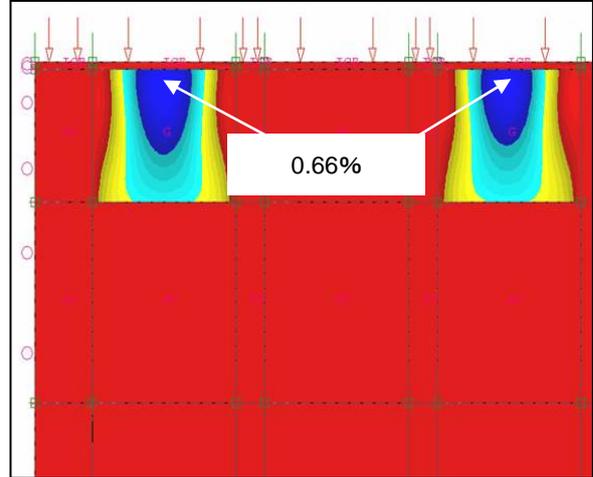


図-9 ゴムロード舗装のひずみ

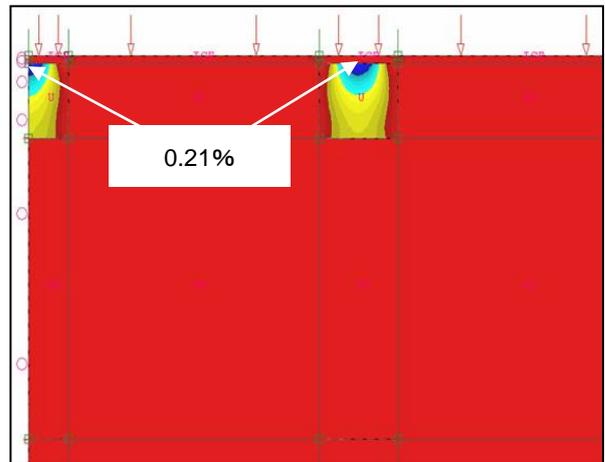


図-10 グルーピング系舗装のひずみ

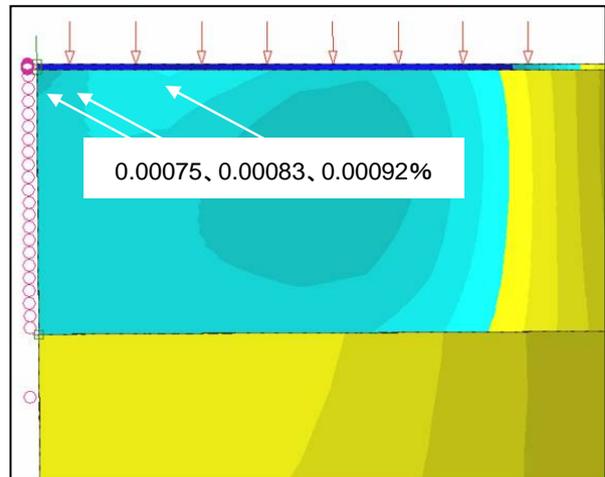


図-11 密粒度 13F 舗装のひずみ

### 6.3 一回走行試験の結果

一回走行試験での氷板剥離の状況を写真-5 に示した。ゴムロード／グルーピング系舗装は黄色の円で示した部分で部分破壊を起こしていることが確認された。また、密粒度 13F はタイヤ痕が残っただけで氷板が破壊するといった変化は見られなかった。

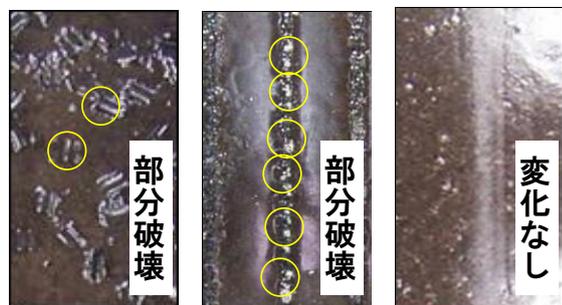


写真-5 ゴムロード舗装(左)、グルーピング系舗装(中)、密粒度舗装(右)

## 7. 結果の比較検討とまとめ

### 7.1 理論解析結果の比較検討

解析・走行試験のひずみの推定結果、及び試験結果を表-3、4 に示した。

表-3 GAMES による解析・推定結果

舗装	ひずみ(%)	推定
ゴムロード	0.75	完全破壊
グルーピング系	1.30	完全破壊
密粒度13F	0.00083	破壊しない

ゴムロード舗装は、ゴム骨材を舗装表面に転圧入したことで、ゴムのたわみ効果により氷板が完全破壊に至ったといえる。同じく、グルーピング系舗装では凍結抑制材のたわみ効果が大きく、氷板の完全破壊につながったと思われる。しかし、密粒度 13F 舗装は凍結抑制の効果が舗装自体に備わっていないため、初期破壊にすら達しないという結果が得られた。

表-4 Stress Check による解析・推定結果

舗装	ひずみ(%)	推定
ゴムロード	0.66	ほぼ完全破壊
グルーピング系	0.21	初期破壊
密粒度13F	7.5×10 <sup>-4</sup> 8.3×10 <sup>-4</sup> 9.2×10 <sup>-4</sup>	破壊しない

ゴムロード舗装では、ゴム骨材の舗装表面を占める割合が他の比較舗装より大きく、分布荷重による圧力の伝わり方が、GAMES のように1つの層につき1つの材料指定の場合と近くなり、推定結果が近くなったと思われる。

しかし、グルーピング系舗装の場合、ウレタンの装填されている面積に対してアスファルトコンクリートの面積が表層の大部分を占めているため、GAMES の推定結果と比較してひずみの値はやや小さくなっていると思われる。

また、密粒度 13F 舗装の場合、GAMES と比較しても全く同じモデル形状となっているため、ほぼ同じ推定結果が得られていると思われる。

### 7.2 理論解析結果と一回走行試験結果の比較検討

より詳しい形状を再現したモデルのストレスチェックの推定結果では、グルーピング系舗装に比べてゴムロード舗装のひずみの推定結果のほうが約3倍大きな数値が出ているにも拘らず、実際の一回国走行試験ではグルーピング舗装により多くの部分破壊／剥離が見られた。

これはゴムロード舗装で点圧入されているゴム骨材が、理論解析時に用いたモデルのように一定感覚で正確に点圧入されているのではないのと、理論解析での静的等分布荷重ではなく、実際は動的荷重であるうえに、走行試験上どうしても走行させているタイヤの中心線上に最も大きな荷重がかかってしまうためと思われる。

## 8. 今後の研究課題

今後の研究では、大型車輪荷重を舗装上に載荷した場合の理論解析の比較・検討を行っていく。

### 参考文献

- 1) 土木学会：多層弾性理論による舗装構造解析入門，pp.52~pp.57，1994.
- 2) 武市 靖，松田 謙治，溝渕 優：物理系凍結抑制舗装の改良に関する検討，土木学会舗装工学論文集，第11巻，2006.
- 3) Malcolm Mellor, David M Cole : DEFORMATION AND FAILURE OF ICE UNDER CONSTANT STRESS OR CONSTANT STRESS-RATE, 1981