

凍結路面对策用ゴム弾性舗装材の開発

Development of elastic anti-icing pavement surface made of recycled rubber chips

(株) 日本製鋼所室蘭研究所 ○ 正 員 小枝 日出夫 (Hideo Koeda)
 北海道開発局開発土木研究所 正 員 池田 憲二 (Kenji Ikeda)
 北海道開発局開発土木研究所 正 員 三田村 浩 (Hiroshi Mitamura)
 (株) 日本製鋼所室蘭研究所 正 員 小野 信市 (Shin-ichi Ono)

1. はじめに

近年、スタッドレスタイヤの普及により、冬期間の北海道では各地にミラーバーンと呼ばれる非常に滑りやすい凍結路面が出現し、これに起因するスリップ事故や交通渋滞が多発している。この問題に対し、タイヤ、道路、除雪方法などの様々な分野で凍結路面对策が行われており、その中でも特に効果の高い対策として、ロードヒーティングの敷設が進められている。しかし、その工事および維持管理などに多額の費用を要することから、よりコストの低い対策が求められている。

これに対し、舗装路面の改良による対策の一つとして、ゴムチップ成形体を用いた弾性舗装材が考案されている。このゴム弾性舗装材の特長は、一般のアスファルト舗装材に比較して大きなたわみ性を有していることであり、そのため路面に形成した氷膜に対して優れた破碎効果を示す。また、この舗装材の原料には、廃タイヤからリサイクルされたゴムチップが使用されるため、毎年多量に発生する廃タイヤを有効利用できるとともに、建設コストおよび騒音等を低減する可能性を有する舗装材料としても期待されている。

著者らはこのゴム弾性舗装材に注目し、主にマット形式の舗装材を用いてその効果や適用性について様々な実験や検討を行ってきた。その結果、路面の凍結防止や騒音低減についてはその効果が確認されたが、重車両に対する路盤への固定強度および耐久性に問題があることが判明した。そこで改良策として、インターロッキングブロック²⁾(以下ILBと称す)形式のゴム弾性舗装材を考案し、このブロックを道路基盤上に敷き並べる方法を採用することとした。本論文では、考案した弾性ILBの材料性能、固定強度および耐久性等を検討するために、実際にブロックを敷設し除雪試験や移動載荷試験等を行った。

2. 弾性インターロッキングブロック(弾性ILB)の概要

2.1 弾性ILBの基本構造

開発の当初においては、ゴム弾性舗装材の構造としてマット形式を採用し、これをアスファルト基盤に接着剤により固定する方法を検討していた。表-1に、各種接着剤によるせん断接着強度とFEM解析により求めた車両制動時の作用せん断応力を比較して示すが、重車両に対しては所要の固定強度が得られないことがわかる。これは、アスファルトが油分を含んでいるため接着性が低いことによるものと考えられる。

そこで改良策として、ゴムとの接着性が比較的良好なコンクリートブロックの表面にゴムブロックを接着固定する弾性ILBを考案し、このブロックを道路基盤上に敷き並べる方法を採用することとした。図-1に弾性ILBの基本構造を、また図-2にその外観を示す。ブロックは総厚さが130 mmのI型形状であり、コンクリートブロックの上面にゴムブロックを接着剤により固定したものである。ゴムおよびコンクリートブロックには、固定強度を向上させるためにはめ合い部を設けている。

表-1 ゴムとアスファルトのせん断接着強度

せん断接着強度試験	接着剤	せん断接着強度 (N/mm ²)
	エポキシ系	0.34
	ウレタン系 ①	0.17
	ウレタン系 ②	0.44
FEM解析	ポリブタジエンゴム系	0.38
	対象車両	作用せん断応力 (N/mm ²)
	乗用車(輪荷重 3kN)	0.09
	大型車(輪荷重 100kN)	0.67

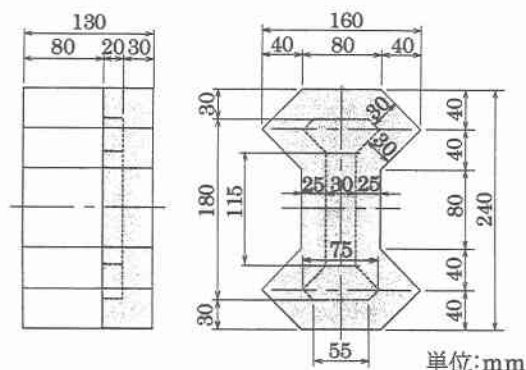


図-1 弾性ILBの基本構造

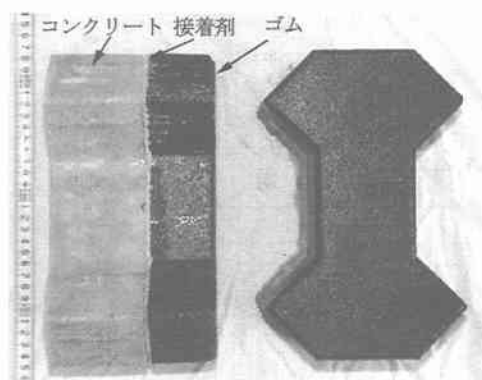


図-2 弾性ILBの外観

表－2にゴムブロックおよびコンクリートブロックの基本物性値を示す。ゴムブロックは、廃タイヤを4 mm以下の大きさに冷凍粉碎したゴムチップにウレタン樹脂製のバインダーを混合し、高温で加圧成形することにより製造される。ゴムブロックの成形密度は耐摩耗性と非透水性の観点から相対密度で0.9（空隙率10%）を採用している。また、厚さに関しては十分なたわみ性を確保するために30 mm（はめ合い部20 mm）としている。一方、コンクリートブロックには、高振動加圧方式により製造された舗装用ブロックを用いている。厚さに関しては、十分なロッキング効果（ブロック相互間のかみ合せ効果）を確保するために80 mm（はめ合い部20 mm）としている。

2.2 接着剤

弾性ILBでは、ゴムブロックをコンクリートブロックに接着する方法を採用しているため、交通車両による制動荷重はゴムブロックを介して直接接着面に作用する。したがって、使用する接着剤の強度、信頼性、施工性および耐久性等が非常に重要となる。そこで、最適な接着剤を選定するために、エポキシ系、ウレタン系およびシリコン系の3種類の接着剤を用いてせん断接着強度試験を行った。接着強度試験は、-20℃、24℃、60℃の温度条件下で、一条件あたりの試験体の個数を $n=3$ として実施している。図－3にせん断試験供試体の形状を示す。

図－4にせん断接着強度試験の結果を示すが、エポキシ系の接着剤がすべての試験温度において最も高い強度を示している。また、いずれの接着剤も試験温度の増加に伴い接着強度が大きく減少していることから、夏期間での供用には留意する必要があるものと考えられる。

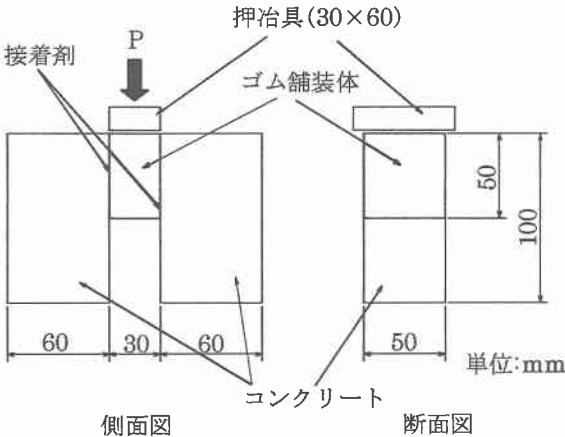
3. 試験施工および評価試験

3.1 試験施工概要

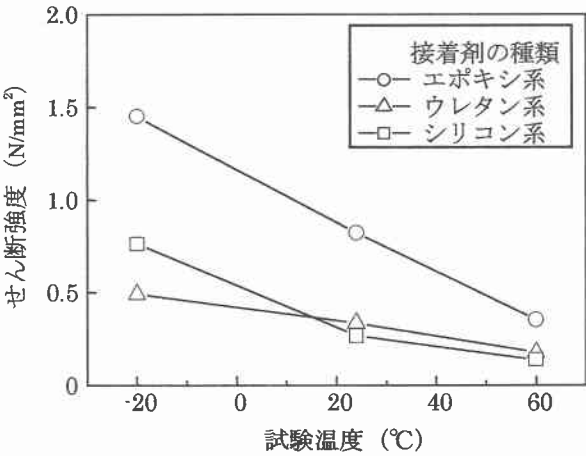
ILB式ゴム弾性舗装の実道への適用性を検討するために、開発局所有の角山実験場において弾性ILBを敷設し各種評価試験を行った。施工区間は、図－5に示す幅3 m × 総延長21 mの区間であり、この区間に図－1に示す弾性ILBを敷設した。ただし、湿潤時のすべり抵抗を向上させるために、ゴムを付与していないコンクリートだけのブロックを面積比33%の割合で混合して敷設している。図－6に施工終了後の弾性舗装の外観を示す。

表－2 ブロックの基本物性値

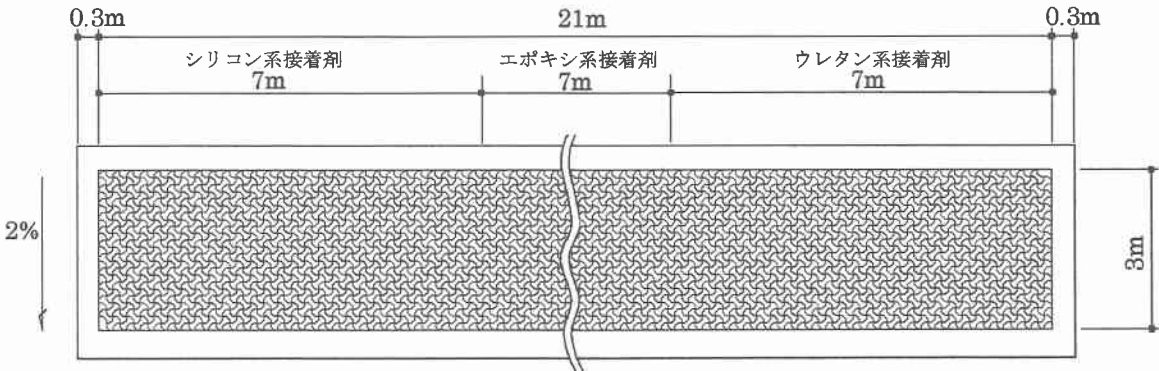
ブロック	項目	単位	測定値
ゴム	引張強さ	MPa	5.4
	伸び	%	175
	相対密度	—	0.90
	透水係数	cm/s	$< 1 \times 10^{-4}$
コンクリート	曲げ強度	MPa	4.9



図－3 せん断試験供試体



図－4 せん断強度試験結果



図－5 試験施工区間(角山実験場)

3.2 すべり抵抗試験

一般に、ゴムを使用した弾性舗装では湿潤時のすべり抵抗が小さく、アスファルト舗装に比較して制動距離が大きくなることが知られている。本弾性舗装では、コンクリートブロックを摩擦ブロックとして配置することで、湿潤時におけるすべり抵抗の向上を図っている。そこで、この効果を確認するために、すべり試験車を使用し縦すべり摩擦係数を測定した。路面条件は乾燥および湿潤路面の2種類とし、測定速度は40 km/hとしている。また比較のために、アスファルト路面での測定も行っている。

図-7にすべり摩擦係数の測定結果を示す。ゴム弾性舗装の摩擦係数は、乾燥路面では約0.85と良好であるが、湿潤路面では約0.35まで低下しており、これはアスファルト路面(約0.6)の60%程度の値である。この原因としては、摩擦ブロックとして混入しているコンクリートブロックの摩擦係数が低いことが考えられる。今後、ブラスト処理等により表面を粗したコンクリートブロックを用いて再試験を行う予定である。

3.3 除雪試験

除雪作業に対するゴム弾性舗装材の耐久性を確認するために、実際の除雪作業を模擬した状態で除雪車を走行させ、その時に生じる舗装材の損傷を観察した。試験はグレーダータイプとドーザータイプの2種類の除雪車に対して行った。路面に対するブレードの圧力は、ドーザーに比較してグレーダーの方がかなり大きい。なお、積雪の無い夏期間に試験を実施したため、路面条件は湿潤路面としている。

図-8および図-9に、除雪車走行後の路面状況を示す。グレーダーによる試験では、ゴムブロックのはく離、コンクリートブロック端部の割れ、ブロックの抜け出しが多数発生した。一方、ドーザーによる試験では、一部のコンクリートブロックにおいて割れが発生したが、ゴムブロックに関しては全く損傷を受けておらず、ゴムのはく離等も観察されていない。これらの結果より、本舗装材に対する除雪作業にはドーザータイプの除雪車が適しているものと判断される。

4. 移動載荷試験

4.1 試験の概要

本試験では、ゴムタイヤを装着した移動載荷試験機を用いて、実道における走行条件下に近い状態でのILB式ゴム弾性舗装の耐久性や接着強度等を調査した。試験には、図-1に示す弾性ILBを用いたが、比較のために面積が2倍の大きさのブロックについても試験に供した。また、コンクリートとゴムブロックとの接着には、エポキシ系、ウレタン系およびシリコン系の3種類の接着剤を用いている。試験に際しては、幅2.5 m × 全長11.2 mの架台を製作し、この架台上に敷砂を敷き均しその上にブロックを敷設している。

移動載荷試験は、図-10に示すように載荷輪を供試体上で実際に移動させながら行うため、試験には膨大な時間を要する。そこで、試験を加速するために輪荷重を25 tonとし、5万回の走行回数まで行った。表-3に試験条



図-6 弾性舗装の外観

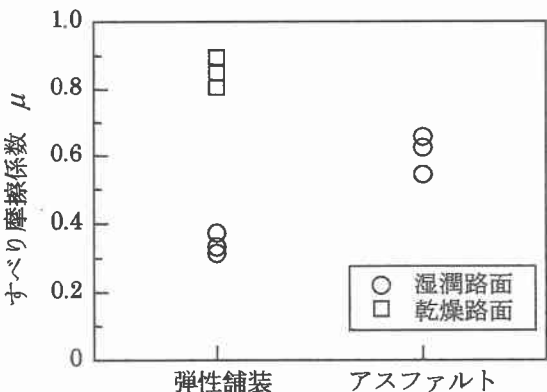


図-7 すべり摩擦係数の測定結果



図-8 グレーダー走行後の状況



図-9 ドーザー走行後の状況

件を示す。この条件を『アスファルト舗装要綱』^③を参考にしてD交通に換算する。D交通における設計期間10年の累積5 ton換算輪数は3500万である。一方、本試験の条件を(1)式により5 tonの輪荷重に換算すると、3125万となる。

$$N_5 = \left(\frac{P}{5}\right)^4 \times N_L \dots\dots\dots (1)$$

N_5 : 5 ton換算輪数、 P : 輪荷重 (25 ton)、 N_L : 輪数 (50000)

したがって、両者の比は約0.9となるから、本試験の条件はD交通換算で約9年間の交通量に相当する。

4.2 試験結果

移動載荷試験によりブロックに生じた主な損傷は、ゴムブロック表面の摩耗とコンクリートからのゴムブロックのはく離の2種類である。図－11に試験終了後（5万回走行後）のブロックの損傷状況を示す。

ゴムブロックの摩耗は、走行回数が約2000回で一部のブロックにおいて発生し、走行回数の増加に伴い摩耗するブロックが増加したが、5万回走行後における最大摩耗深さは5mm程度であった。したがって、本試験の条件がD交通換算で約9年の交通量に相当することを考慮すれば、本弾性舗装材は走行荷重に対して十分な耐摩耗性を有しているものと判断される。

一方ゴムブロックのはく離は、走行回数が約2000回に達した時点でシリコン系の接着剤を使用しているブロックにおいて発生した。その後、走行回数の増加に伴いゴムのはく離するブロックが増加したが、ウレタン系およびエポキシ系の接着剤を使用しているブロックではゴムのはく離は観察されなかった。このことより、本試験で用いたウレタン系およびエポキシ系の接着剤は走行荷重に対して十分な接着強度を有しているものと考えられる。

5. まとめ

冬期間の北海道に発生する凍結路面への対策として、インターロッキングブロック形式のゴム弾性舗装材を考案し、その耐久性等の基本性能を調査するために各種試験を実施した。以下に得られた主な結果を示す。

1) 湿潤路面におけるすべり摩擦係数は約0.35と低く、



図－10 移動載荷試験の状況

表－3 移動載荷試験条件

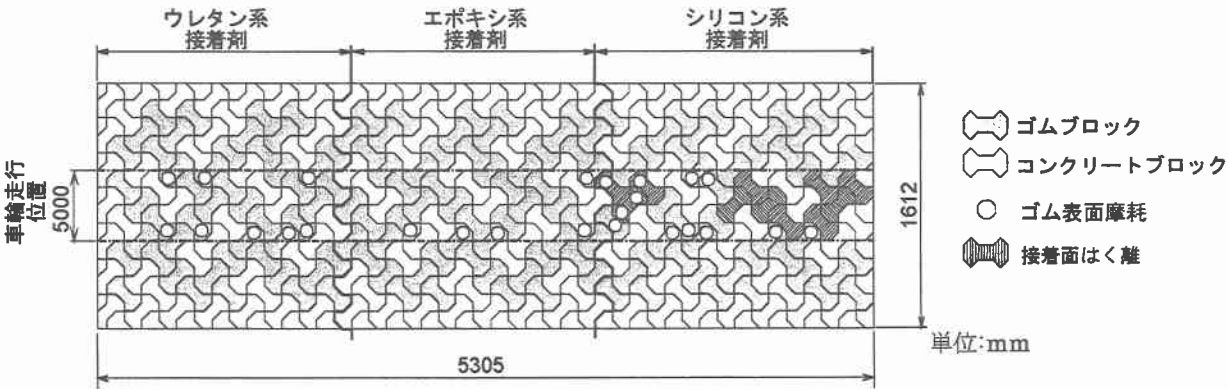
載荷荷重	25ton
タイヤ	航空機用ゴムタイヤ (設置幅:走行方向42.7cm, 走行直角方向36.2cm)
走行回数	50000回(2000～4000回/1日)
最大走行速度	約5.5km/hr

アスファルト路面 (約0.6) に比較して60%程度の値であった。

- 2) 除雪試験では、グレーダーの走行により大きな損傷が生じたが、ドーザーに対しては十分な耐久性を示した。
- 3) 移動載荷試験の結果より、D交通の走行荷重に対して十分な耐久性および耐摩耗性を示すことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 岩本, 小野, 大久保, 三田村, 佐藤, 逢坂 : 廃タイヤを用いた弾性舗装の制動、耐久性試験について, 土木学会北海道支部論文報告集, 第55号 (A), pp166・171, 1999.
- 2) インターロッキングブロック協会:インターロッキングブロック舗装設計施工要領 (車道編), 1994.
- 3) 日本道路協会 : アスファルト舗装要綱, 1994.



図－11 ブロックの損傷状況