

寒冷海域における摩擦増大用アスファルト マットの長期耐久性試験について

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 寒冷沿岸域チーム ○ 久保 純一
平野 誠治
国土交通省 北海道開発局 港湾空港部 港湾建設課 水口 陽介

港湾・漁港のケーソン式混成堤などの重力式構造物のコスト縮減に資する摩擦増大用アスファルトマットは、本州では採用から50年以上の実績があり長期的な試験で耐久性が確認されている。一方、北海道沿岸では寒冷海域向けに独自の配合を採用しており、試験を継続し長期耐久性を確認している。

今年度、30年目及び40年目の供試体を試験したところ、各物理的性状や摩擦係数は概ね基準値を満たしており、明らかな経年劣化などは認められなかった。

キーワード：摩擦増大マット、寒冷海域、長期耐久性

1. はじめに

摩擦増大用アスファルトマット（以下「Asマット」とする）は、港湾・漁港におけるケーソン式混成堤等の重力式構造物の本体底面に敷設して摩擦係数を高めることで滑動抵抗を増し、堤体幅の縮小など建設コストの縮減に寄与するものである。重力式構造物の滑動抵抗力は堤体底面の摩擦係数と堤体重量の積であるため、摩擦係数を高めれば、その分堤体重量を減じても同等の滑動抵抗力を得ることが可能となる。

Asマットが本州の現場に適用されてから50年以上が経つが、冬に海水温が0℃近くまで下がる北海道では、本州とは異なる寒冷地向け配合のものが製作されており、長期的な耐久性を確認するための試験が続けられている。

本稿では、これまでの経緯と長期耐久性試験の最新の試験結果を報告する。

2. アスファルトマットの採用状況

(1) 本州におけるAsマットの採用

Asマットが我が国で初めて採用されたのは、昭和38年の運輸省第三港湾建設局和歌山港工事事務所（現 国土交通省近畿地方整備局和歌山港湾事務所）による有田港防波堤（現 和歌山下津港有田港区有田北防波堤）である。採用にあたっては、加川により種々の実験から配合や摩擦係数等が決定された¹⁾。なお、当時決定された摩擦係数は「0.8を取り得るが全く新たなものなので、安

全のため0.7」とされている。なお、港湾の施設の技術上の基準・同解説（以下、「技術基準」とする）では、Asマットを敷設していない通常のRCケーソンと捨石マウンドの摩擦係数は0.6となっている。

Asマットはその後、和歌山港の防波堤などでも採用されたが、長期的な耐久性に懸念がもたれたことから、有田港防波堤のものと同配合の供試体を昭和44年に和歌山下津港（本港）南地区の海水中に沈設し、定期的に物理的性状試験を行うこととした。

この供試体の長期的な物性については、50年目に安達らが調査し、「50年以上の長期耐久性を有している」と評価している²⁾。また、宮田らは和歌山下津港有田港区有田北防波堤（施工後57年経過）、直江津港東防波堤（施工後50年経過）、高知港三里地区防波堤（施工後29年経過）において、ケーソン底面からAsマットを採取して試験を行い、「物理的性状及び摩擦係数も経年劣化の影響は見受けられず、長期耐久性を有している」ことを確認している³⁾。

(2) 北海道におけるAsマットの採用

北海道では、Asマットは昭和42年頃から庶野漁港など一部の港で採用され始めたが、その目的は、施工途中の暫定断面での安定性を高める短期間の使用とされていた。これは、当時はまだ長期的な耐久性が確認されていないうえ、前述の加川の実験から温度が低くなるとアスファルトが硬くなり摩擦係数が小さくなる傾向があることがわかっており、冬季の海水温が0℃近くまで低下する北海道沿岸での使用には、慎重にならざるを得なかったためと思われる。

その後、北海道の港湾・漁港で用いられるAsマットには低温に適応するよう配合に改良が加えられ、表-1の配合が一般的となった⁴⁾。この配合には冬季の低温下における柔軟性の維持及び夏季のフロー防止が考慮されており、特にフロー対策としてテーリング（石綿）が添加されている。

表-1 寒冷海域用Asマットの配合

材料	重量比 (%)
スーパーCBアスファルト 25/111	7
ブローンアスファルト 25/111	7
石粉（浦河石灰）	30
細砂（浜厚真丘砂）	37
テーリング（石綿）	3
7号砕石（白老，織田組）	16

(3) 増毛港における長期耐久性試験の開始

昭和56年度に、留萌管内の増毛港北防波堤において縦スリットケーソンの波圧や部材応力等を計測するための実験堤が建設された。実験堤のケーソン底面には表-1の配合のAsマットが敷設され、捨石マウンドの港内側天端には、後述するAsマットの長期耐久性調査のためにケーソン底面のものと同配合の供試体を収納した沈設箱が設置された⁵⁾。

実験堤の安定計算にあたっては、ケーソン底面と捨石マウンドの摩擦係数を0.8としているが、Asマットの効果なくなった場合は堤体前面を消波ブロックで被覆することで安定性を確保することとしている。

なお、実験堤は後年次に周辺の堤体背後が埋め立てられ現在は防波護岸となっており、堤体前面は消波ブロックで被覆されている。またこの埋立に伴い、沈設箱は港内の別の場所に移設されている。

(4) 新たな寒冷海域向け配合と落石漁港における長期耐久性試験

平成元年の技術基準の改訂に伴いAsマットの曲げ強度及び圧縮強度の基準値が改訂されたこと、昭和63年度まで北海道で用いられてきた触媒型アスファルト「スーパーCBアスファルト」の確保が難しくなったこと、フロー防止のためのテーリングの使用が環境問題から難しくなったこと、などから配合の見直しが行われ、平成3年度に表-2のとおり、テーリングに代わりミルコンLs（天然の繊維状鉱物であるセピオライトを特殊加工した工業用無機原料）を添加剤とするものと添加剤なしの2つの配合が選定された⁶⁾。

平成3年度、これらの配合のAsマットが落石漁港浜松地区南防波堤のケーソン底面に敷設されたほか、同じ配合の供試体を収納した沈設箱が同漁港落石地区東防波堤の港内側に設置され、長期耐久性試験が始まった。ただし、令和3年度の調査で添加剤なしの沈設箱の亡失が確認されたため、これ以降は添加剤ありのみの試験となっ

た。

表-2 新たな寒冷海域用Asマットの配合

材料	配合重量比 (%)	
	添加	無添加
ストレートアスファルト 80/100	8.45	8.12
ブローンアスファルト 10/20	4.55	4.38
添加剤（ミルコンLs）	0.39	—
石粉	25.0	25.0
砂	21.0	22.5
5号砕石	20.61	20.0
7号砕石	20.00	20.0

3. 北海道におけるAsマットの長期耐久性試験

前述のとおり、増毛港と落石漁港ではそれぞれ昭和56年度と平成3年度にAsマットの供試体が入った沈設箱が現地の海中に設置され、長期耐久性の確認のための物理的性状及び摩擦係数の試験が数年おきに行われてきた。

試験項目は表-3に示すとおり、①曲げ、②圧縮、③せん断、④引張、⑤密度、⑥針入度、⑦軟化点、⑧摩擦係数である（③と④は増毛のみ）。試験方法等については過去のもの⁷⁾を踏襲した。

表-3 試験項目と供試体形状・試験条件

試験項目	供試体形状	試験条件		
		供試体温度	上載荷重	載荷速度
①曲げ試験	 40×40×160mm	10℃、20℃	—	4.8mm/min
		0℃、20℃		20mm/min
②圧縮試験	 40×40×80mm	10℃、20℃	—	48mm/min
		0℃、20℃		20mm/min
③せん断試験 (増毛のみ)	 40×40×160mm	20℃	—	48mm/min 20mm/min
④引張試験 (増毛のみ)	 40×40×170mm	20℃	—	48mm/min 20mm/min
⑤密度試験	①～②の供試体を使用	20℃	—	—
⑥針入度試験	①～②の供試体からアスファルトを抽出し使用	25℃	1N	(5sec 載荷)
⑦軟化点試験	①～②の供試体からアスファルトを抽出し使用	—	—	—
⑧摩擦試験	 300×300×10mm (増毛) 300×300×30mm (落石)	0℃、20℃	100、500 (kN/m ²)	水平変位 510mm/min

※ 二段書きの項目は、上段が増毛、下段が落石。

令和3年度は、増毛で40年目、落石で添加剤ありのみ30年目の供試体を引き上げ、試験を行った。以下、技術基準に基準値が示されている①、②及び⑤、アスファルトの硬軟を表す⑥及び⑦、Asマットの性能を表す⑧について試験結果の概要を述べる。

なお、①～③では、試験1回当たりで複数個の供試体について測定し、その平均を試験値としており、掲載しているグラフでは供試体の測定結果を○や△などの記号で、試験値を直線でプロットしている。

(1) 曲げ試験

基準値は、平成元年の技術基準改訂以前に配合を決定した増毛は10kg/cm² (1.0MPa)、改訂後に決定した落石は20kgf/cm² (2.0MPa) であり、今回の結果はいずれも基準値を満足していた。

長期的に見た曲げ強さは、増毛は若干増加傾向、落石は比較的安定と言える。また、どちらの配合も温度が低い方が強度も高くなっている。

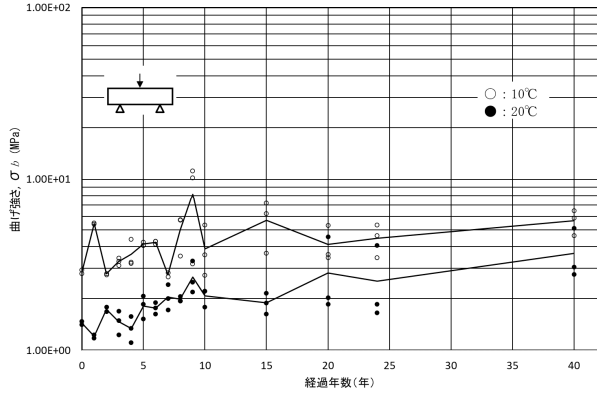


図-1 曲げ強さ (増毛40年)

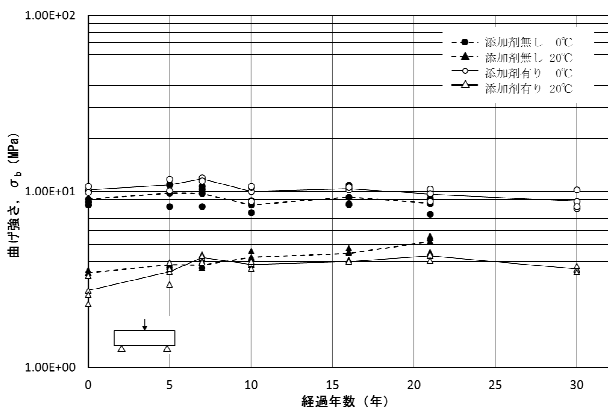


図-2 曲げ強さ (落石30年)

(2) 圧縮試験

基準値は、平成元年の技術基準改訂以前に配合を決定した増毛は10kg/cm² (1.0MPa)、改訂後に決定した落石は20kgf/cm² (2.0MPa) であり、今回の結果はいずれも基準値を満足していた。

長期的に見た圧縮強さは、増毛はやや増加傾向、落石は比較的安定と言える。また、どちらの配合も温度が低い方が強度も高くなっている。

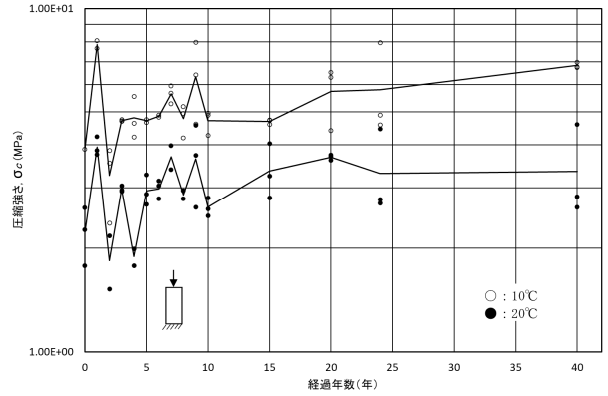


図-3 圧縮強さ (増毛40年)

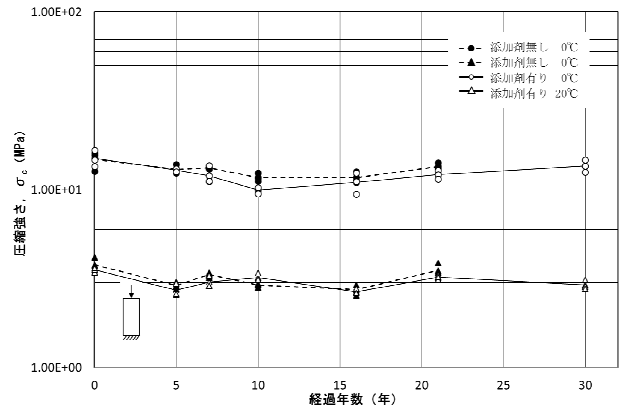


図-4 圧縮強さ (落石30年)

(3) 密度試験

基準値は2.20g/cm³ (ただし技術基準上では比重2.2) であり、今回の試験値は基準値を満足していた。

長期的に見ても、個々の試験値はバラツキはあるものの経年的に大きな増減はなく、安定していると言える。

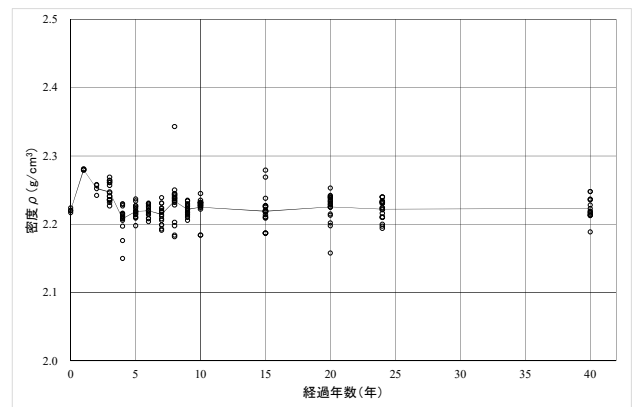


図-5 密度 (増毛40年)

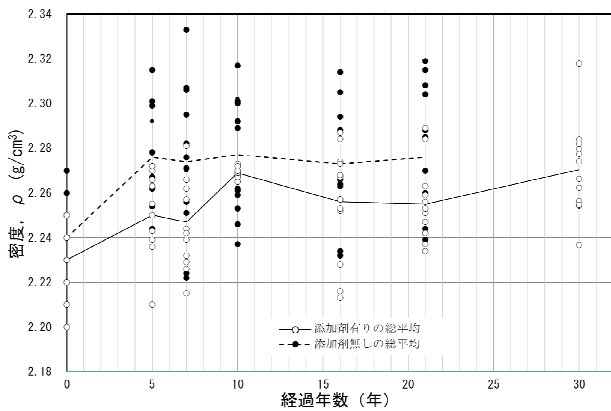


図-6 密度 (落石 30年)

(4) 針入度

針入度は、アスファルト試料に一定の荷重がかかる針が5秒間に入り込む深さであり、数値が大きいほどアスファルトが柔らかいと言える。

長期耐久性試験の開始直後から15年目にかけて減少傾向が見られたものの、その後はバラツキはありつつも比較的安定している。

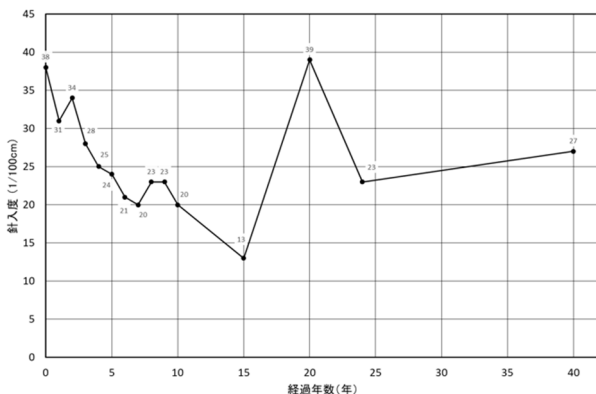


図-7 針入度 (増毛 40年)

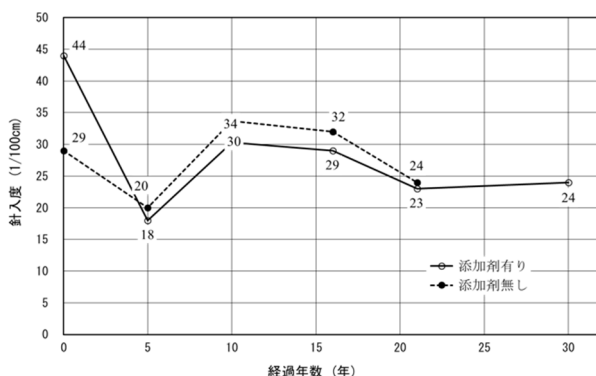


図-8 針入度 (落石 30年)

(5) 軟化点

軟化点は、環状の容器に入ったアスファルト試料の上に鋼球を載せて毎分0.5°Cの温度勾配で加熱し、アス

ファルトが軟化し所定の距離まで垂れ下がったときの温度であり、数値が高いほどアスファルトが硬いと言える。

長期耐久性試験の開始直後には、増毛は上昇傾向が見られ、落石は添加剤の有無で値が大きく違ったが、その後は比較的安定している。

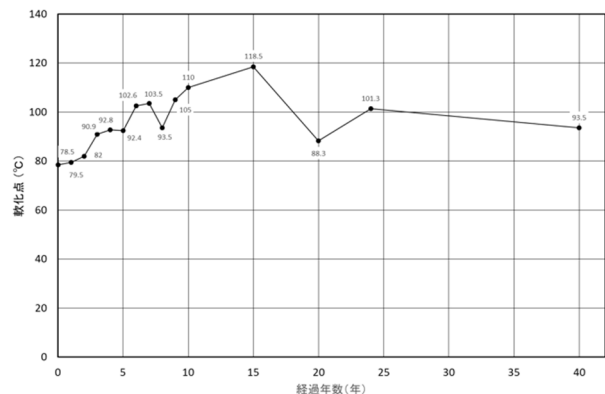


図-9 軟化点 (増毛 40年)

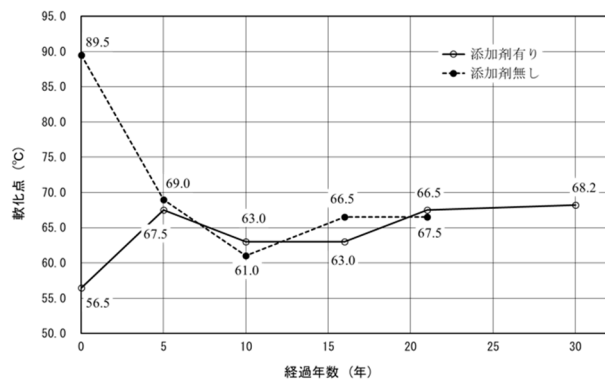


図-10 軟化点 (落石 30年)

(6) 摩擦係数試験

Asマットは、摩擦係数を増して重力式構造物の滑動抵抗を増大させるものであるから、安定照査に用いる静止摩擦係数に注目して試験を行う。

摩擦係数を測定する試験機は、当初は北海道大学佐伯研究室が開発したものを使用していたが、試験機の老朽化が進んだため、平成13年度に北海道開発局開発土木研究所(現 寒地土木研究所)が新たに試験機を開発し、以降は後者を用いている⁸⁾。

現行の技術基準では、瀝青材料の摩擦増大マットと捨石の静止摩擦係数の特性値を0.75としてもよい、とされている一方で「寒冷地においては別途検討することが望ましい」との記述があること、また前述の加川の実験では捨石とAsマットの摩擦係数よりもコンクリートとAsマットの方が低かったことなどから、今回もこれまでと同様に基準値を0.70とする。

結果を見ると、増毛も落石も試験開始から今回までの間で試験値は概ね基準を上回っていた。また、落石の添加剤ありとなしを比べると、添加剤ありの方が摩擦係数

が小さめではあるが全体的にバラツキも小さかった。

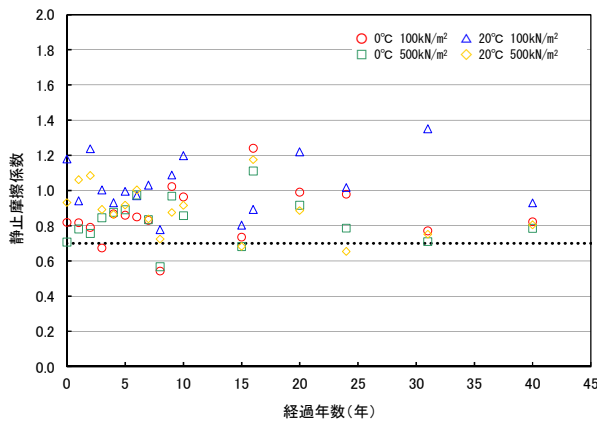


図-11 摩擦係数 (増毛40年)

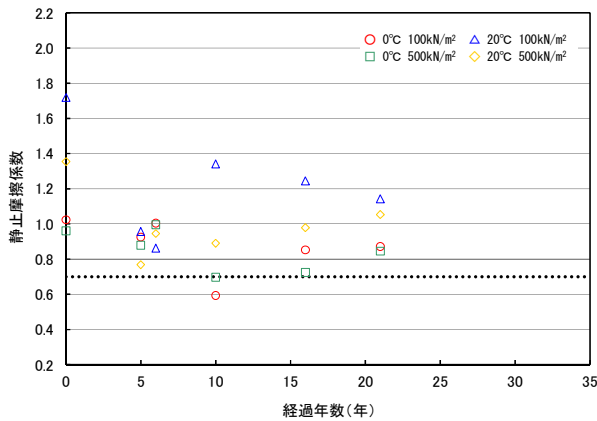


図-12 摩擦係数 (落石-添加剤なし21年)

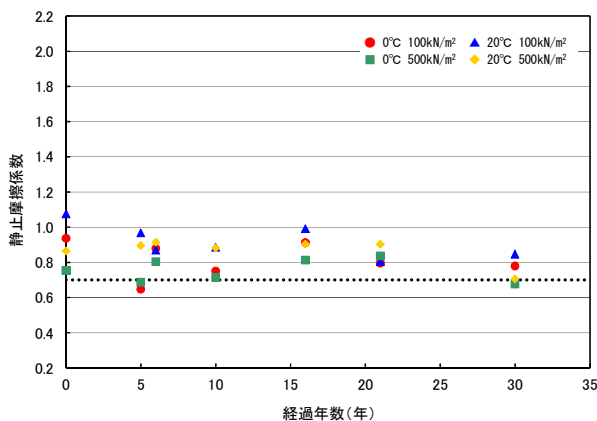


図-13 摩擦係数 (落石-添加剤あり30年)

4. まとめ

増毛港及び落石漁港に沈設していたAsマット (増毛40年目、落石30年目) の供試体を揚収し、過去から継続していた物理的性状と摩擦係数の試験を実施した。

試験結果は概ね基準値を満足していたほか、試験開始からの傾向を見ても、強度の著しい低下等は認められず、沈設初期の性状をほぼ維持していることが確認できた。

増毛港には1回分 (50年目)、落石漁港には2回分 (40年目及び50年目) の供試体がまだ残っており、今後も継続的に試験を実施し、寒冷海域向け配合のAsマットの長期的な耐久性を確認していく予定である。

参考文献

- 1) 加川道男：重力式構造物の摩擦抵抗について，第11回海岸工学講演論文集，pp.217-221，1964.
- 2) 安達昭宏・中川耕三・北澤健二・山本修司：50年間海中暴露した摩擦増大用アスファルトマットの耐久性評価，土木学会論文集 B2(海岸工学)，2020.
- 3) 宮田正史・中川耕三・池永啓一・梅原靖司・佐藤昌宏：実海域のケーソン式防波堤から採取した摩擦増大用アスファルトマットの長期耐久性評価，令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会 II-78，2021.
- 4) 水野雄三・井元忠博：重力式港湾構造物に用いられるアスファルトマットの耐久性に関する調査研究，土木試験所月報No.410，pp.1-11，1987.
- 5) 黒萩徳昭・佐藤正美・水野雄三：増毛港スリットケーソン実験堤について，昭和56年度北海道開発局技術研究発表会，1982.
- 6) 水野雄三・徳永道彦・杉本義昭・村瀬和史・安田修：寒冷海域における重力式海洋構造物の摩擦増大用アスファルトマットの開発研究，海洋開発論文集，Vol.8，pp.171-176，1992.
- 7) 坂本洋一・明田定満・木村克俊：寒冷海域用アスファルトマットの耐久性に関する調査研究，平成8年度北海道開発局技術研究発表会，1996.
- 8) 井元忠博・窪内篤：寒冷海域における摩擦増大用アスファルトマットの耐久性，北海道開発土木研究所月報，No.605，pp.16-25，2003.