

寒冷海域における摩擦増大用アスファルトマットの 耐久性について

井 元 忠 博* ・ 梅 沢 信 敏** ・ 宮 部 秀 一***
土 井 善 和**** ・ 原 田 雅 敏***** ・ 間 山 正 一*****

摩擦増大用アスファルトマットは、重力式構造物の本体の底面に使用することで滑動抵抗を増し、所要堤体幅を小さくできるなどコスト縮減に寄与できる。しかし、北海道等のように沿岸域の海中温度が冬期間 0℃ 近くまで低下する海域における使用を想定した長期にわたる耐久性調査は実施されていないのが現状である。著者らは、寒冷海域で使用されるアスファルトマットの長期間の耐久性を評価することを目的に、北海道（増毛港、落石漁港）において昭和 56 年および平成 3 年から供試体を海中に沈設し、各種試験を実施してきた。その結果、沈設後 10～20 年では、寒冷海域におけるアスファルトの劣化は進行しておらず、摩擦係数も安定していた。

1. ま え が き

摩擦増大用アスファルトマットは、重力式構造物の本体の底面に使用することで滑動抵抗を増し、所要堤体幅を小さくできるなどコスト縮減に寄与できるものとして評価されている。しかし、その耐久性については和歌山下津港において 30 年間の現地耐久性調査結果が、浜田ら (2001) によって報告されているが、北海道等のように沿岸域の海中温度が冬期間 0℃ 近くまで低下する海域での長期にわたる耐久性に関する調査は実施されていないのが現状である。

北海道においても、摩擦増大用アスファルトマットは昭和 42 年から採用されてきているが、耐久性はもとより低温環境下でのアスファルトマットの摩擦係数や強度の低下が懸念された。このため寒冷海域用のアスファルトマットの配合を開発し、昭和 56 年に留萌管内増毛港の防波堤施工と同時に摩擦増大用アスファルトマット供試体を沈設し、10 年間は毎年、10～20 年までは 5 年おきに力学的性状、針入度、軟化点および密度試験を実施し経年変化を調べてきた。また、摩擦係数試験は、上述と同様な経年変化と 16 年経過時の試験も実施した。ここに力学的性状とは、曲げ破壊性状、圧縮破壊性状、せん断破壊性状、引張り破壊性状をいう。

さらに平成 3 年に根室管内落石漁港に沈設した新配合の試験用供試体についても各種試験を沈設時、5 年および 10 年後に実施した。また、曲げおよび圧縮試験は 7 年経過時に、摩擦係数試験は 6 年経過時についての試験も実施した。新配合のアスファルトマットとは、環境問題の観点から従来使用されてきたテーリングに変わる新しい添加剤（ミルコン Ls）を導入し、力学的性状、密度、摩擦係数等で代表される物性値の観点から決められた寒

冷海域用の摩擦増大アスファルトマットの配合である。本研究は、寒冷海域で使用されるアスファルトマットの長期耐久性を評価することを目的に、北海道の増毛港（日本海側）および落石漁港（太平洋側）に試験用として海中に沈設してある摩擦増大用アスファルトマット供試体のこれまでの試験結果と今回、20 年及び 10 年経過した物性値を一括してまとめ、寒冷海域での摩擦係数および脆化領域における各種力学的性状等についての経年変化を評価し、その結果を報告するものである。

2. 試 験 概 要

2.1 試験対象港

本研究で対象としたアスファルトマットの試験用供試体を沈設してある増毛港および落石漁港の位置を図-1 に示す。供試体は、通水性を有する鉄筋コンクリート製の沈設箱に供試体を増毛港で 16 試験分（残 4 試験分）、落石漁港で添加剤の有無によって各々 7 試験分（残各 4 試験分）を収納して直接、波の影響を受けない防波堤の港内側へ沈設した。沈設箱引き揚げ状況を写真-1 に、試験用供試体の状況を写真-2 に示す。

2.2 アスファルトマットの配合

増毛港および落石漁港に沈設したアスファルトマット供試体の配合を表-1 および表-2 に示す。増毛港の配合は、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を考慮していることが特徴である。表-2 に示す配合は、平成元年度に「港湾の施設の技術上の基準」



図-1 試験対象港位置図

* (独法)北海道開発土木研究所港湾研究室
** 北海道開発局稚内開発建設部技術管理官
*** 北海道開発局小樽港湾建設事務所第 1 工事課長
**** (株)北日本港湾コンサルタント
***** 正 会 員 (株)原田建設専務取締役
***** フェロー 工博 北海道工業大学教授工学部社会基盤工学科

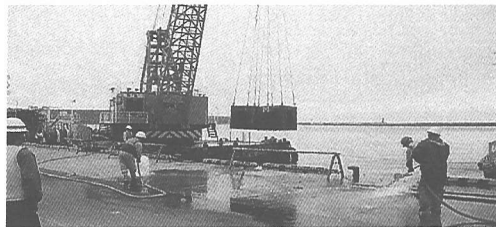


写真-1 供試体沈設箱引き揚げ状況

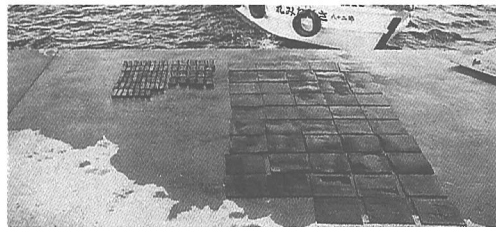


写真-2 試験用供試体の状況

の改訂に伴い曲げ強度および圧縮強度の基準値が 1.0 N/mm^2 以上から 2.0 N/mm^2 以上に改訂され、また昭和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」の確保が困難になり、さらにフロー防止を目的として配合してきたテーリングが環境上の理由により使用が難しくなったことから杉本ら(1992)によって開発された寒冷海域用の新配合である。またテーリングの代用となる添加剤の効果を把握するため、添加剤の有無による2種類の配合によって試験用供試体を作製し、平成3年に落石漁港へ沈設した。

2.3 試験項目と条件

試験項目と条件については以下に示すが、試験方法等については、著者ら(1989)によって詳細が報告されているので、それを参照されたい。

a) 力学的試験

表-1 増毛港アスファルトマットの配合

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(浜原真丘砂)	37
テーリング(石綿)	3
7号碎石(白老, 織田組)	16

スーパーCBアスファルト 1 : ブローンアスファルト 1

表-2 落石漁港アスファルトマットの配合

材 料	添加配合重量比(%)	無添加配合重量比(%)
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 Is)	0.39	—
石粉	25.0	25.0
砂	21.0	22.5
5号碎石	20.61	20.0
7号碎石	20.00	20.0

ストレートアスファルト 6.5 : ブローンアスファルト 3.5

増毛港および落石漁港に沈設した供試体に関する各種試験の条件をそれぞれ表-3および表-4に示す。増毛港供試体の力学的試験は、曲げ、圧縮、せん断および引張の各試験を実施し、落石漁港の供試体は、曲げおよび圧縮試験を実施している。なお、いずれの力学試験も一定载荷速度(一定変位速度)試験の方法によった。

b) 物理的試験及び密度試験

針入度試験と軟化点試験は、海中から引き揚げられたアスファルトマット供試体を自動アブソン蒸留回収装置によって抽出試験を行い、(抽出)回収されたアスファルトを用いて、それぞれの試験について行った。

密度試験は、精密電子天秤を用いて供試体の水中重量および空中重量を測定し、みかけの密度を算出した。

c) 試験温度

力学的および物理的試験における供試体の温度制御は、 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ の制御が可能な高温恒温水槽および $\pm 0.1^\circ\text{C}$ の制御が可能な低温恒温水槽の2台で行った。

d) 摩擦係数試験

摩擦係数試験は、コンクリートとアスファルトマット間の値を測定しており、上载荷重は 20°C の場合で1時間

表-3 増毛港の各種物性試験の条件

試験方法	供試体寸法 (cm)	変位速度 (cm/s)	試験温度 ($^\circ\text{C}$)	供試体の形状
曲げ試験	$4 \times 4 \times 16$	0.008	10, 20	
圧縮試験	$4 \times 4 \times 8$	0.08	10, 20	
せん断試験	$2 \times 4 \times 8$	0.08	20	
引張り試験	-	0.08	20	
密度試験	-	-	20	
針入度試験	-	-	25	
軟化点試験	-	-	-	

表-4 落石漁港の各種物性試験の条件

試験方法	供試体寸法 (cm)	変位速度 (cm/s)	試験温度 ($^\circ\text{C}$)	供試体の形状
曲げ試験	$4 \times 4 \times 16$	0.03	0, 20	
圧縮試験	$4 \times 4 \times 8$	0.03	0, 20	
密度試験	-	-	20	
針入度試験	-	-	25	
軟化点試験	-	-	-	

載荷後に試験を実施し、 0°C の場合は 10°C で30分間載荷し、その後30分間で 0°C まで冷却してから試験を実施した。(供試体の温度は、ダミー供試体により計測をした。) 摩擦係数試験用の供試体形状は、増毛港で $300\text{ mm}\times 300\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 、落石漁港で $300\text{ mm}\times 300\text{ mm}\times 30\text{ mm}$ を標準とし、相対速度 510 mm/min 、供試体温度(0°C 、 20°C)および上載荷重(500 kN/m^2)の組み合わせについて各2回の測定を行っている。試験機は、昭和56年から平成12年まで北海道大学所有(以下、北大型試験機)のものをを用いており、平成13年は北海道開発土木研究所所有の試験機(以下、開土研型試験機)で実施した。北大型試験機は、老朽化が著しいため、平成13年度に北海道開発土木研究所は、水理模型実験で使用する堤体の摩擦係数も測定可能な試験機を開発し、今回それを用いた。したがって、これまでの摩擦係数試験データは、北大型試験機によるものであり、それと整合性を図る必要がある。このため、今回の摩擦係数試験は北大型試験機と開土研型試験機で両方による試験を実施し、その良好な相関を確認した。図-2に開土研型試験機を、その摩擦係数測定状況を写真-3に示す。

3. 試験結果

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にわたる耐久性を検討するため、昭和56年から20年間にわたり留萌管内増毛港内と平成3年から10年間、根

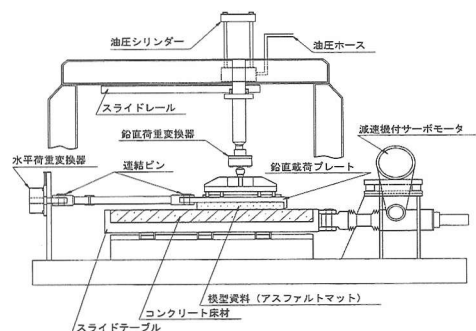


図-2 開土研型摩擦係数試験機

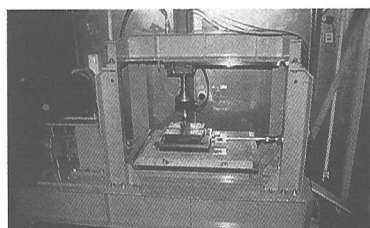


写真-3 摩擦係数測定状況(開土研型試験機)

室内管落石漁港内の海水中に試験用供試体を沈設してきた。アスファルトマットの力学的機能および材料としての物性の経年変化を評価するため、これまで実施してきた既往の試験データと沈設20年を経過した増毛港の供試体試験データおよび沈設10年を経過した落石漁港の試験データを一括して図にまとめて示し、図中には曲げ、圧縮および密度試験の基準値(太線)も合わせて表示している。この基準値は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(日本港湾協会、1999)によるものである。

力学的試験の結果を図-3～図-6に示し、密度試験の結果を図-7に、針入度と軟化点試験の結果を図-8および図-9に示す。また、図-10に摩擦係数試験の結果を示す。

3.1 増毛港の物性変化

増毛港データの力学的性状である曲げおよび圧縮試験結果は、共に基準値(2.0 N/mm^2)をほぼ満足する結果となっている。20年間の経過年数全体としてみた場合、値のパラツキは見られるが、その変化は小さく、大きな経年変化は認められない。また 20°C の試験値よりも 10°C の試験値が大きく温度による差が出ている。これはアスファルトマットが瀝青材料であることから、感温性(温度依存性)が出た結果である。

せん断強さは、初年度からの20年間の経過年数全体としてみた場合、漸増の傾向を示している。

引張強さでは20年を経過した供試体にも大きな経年変化は見られない。

密度試験では沈設後、数年間は基準値(2.2 g/cm^3)より高い数値を示していたが、沈設5年以降は比較的安定した値を示している。沈設20年を経過した供試体で得られた今回の試験値も 2.23 g/cm^3 となっており安定した状態を保っている。

針入度試験については、15年間経過した平成8年の試験結果までは、漸減傾向であるが、逆に今回(20年間経過)は大きくでている。針入度試験は、比較のパラツキの多い試験であり、今後の試験結果を待ちたい。また、軟化点試験(環球式)では、沈設から漸増傾向を示し、今回の結果では漸減となっているが、全体の傾向から見ると経年変化は小さいといえる。

3.2 落石漁港の物性変化

落石漁港データの曲げおよび圧縮試験の結果は、増毛港データと同様な傾向を示しており、全体として経年変化は小さいといえる。また、この傾向は添加剤の有無によっても変わらない。

密度試験では、添加剤の有無にかかわらず、試験用供試体の密度の経年変化は、沈設5年以降は変化が小さく、10年経過における試験値は添加無しで 2.26 g/cm^3 、添加剤有りで 2.24 g/cm^3 となっており、その差はきわめて小

さい。

針入度試験は、沈設後5年を経過した値は、減少しており、沈設10年を経過した供試体から得られた針入度は、増毛港の20年経過と同様に増加している。軟化点については、添加剤の有無にかかわらず若干、減少しているが、その減少量は小さい。

3.3 摩擦係数

摩擦係数の経年変化は、20年および10年間の試験値の大部分は0.7～1.1の範囲に存在している。

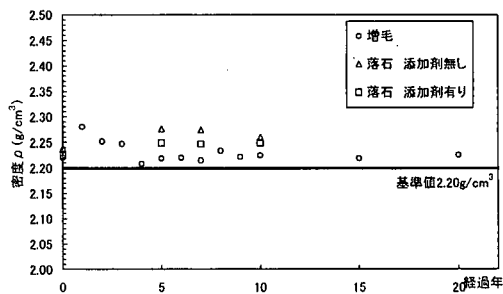


図-7 密度の経年変化

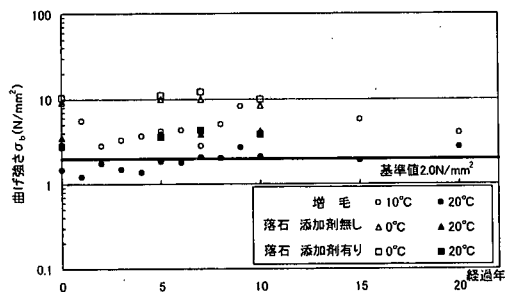


図-3 曲げ性状の経年変化 (強さ)

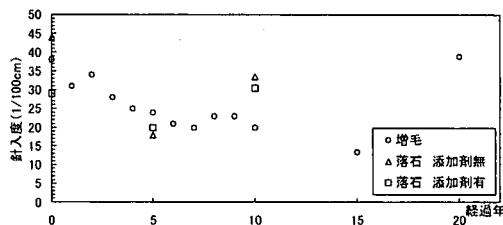


図-8 針入度の経年変化

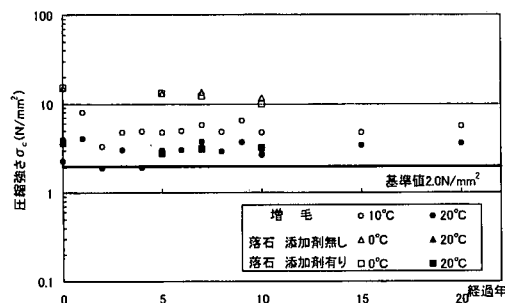


図-4 圧縮性状の経年変化 (強さ)

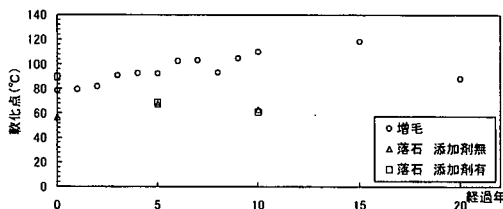


図-9 軟化点の経年変化

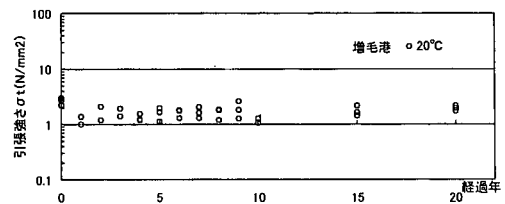


図-5 引張性状の経年変化 (強さ)

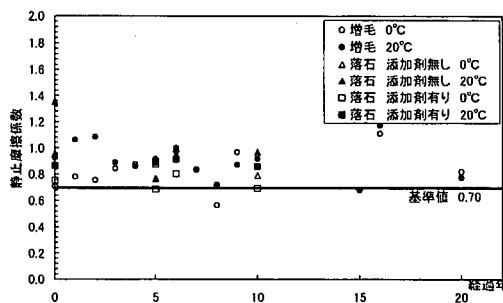


図-10 摩擦係数の経年変化

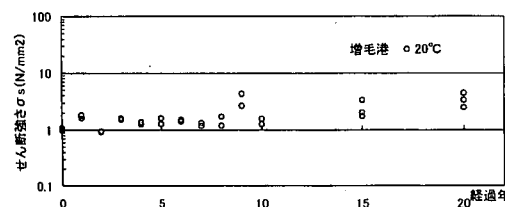


図-6 せん断性状の経年変化 (強さ)

増毛港データの16年経過までの試験値の平均は、0°Cで0.84、20°Cで0.92である。20年経過の試験値の平均は、各々0.82および0.78であり、全体の経過年数から見ると安定した結果となっている。

落石漁港データのこれまでの試験値の平均は、添加剤無しの0°Cで0.95、20°Cで1.02である。添加剤有りの0°Cでは0.75、20°Cで0.89である。今回の試験の10年経過の0°Cおよび20°Cの平均値は、添加剤無しで各々0.79

および0.96, 添加剤有りで0.70および0.86である。今回の試験結果は、これまでの平均値より減少しているが、その減少は小さいものであり、安定した結果である。

増毛港および落石漁港における試験温度 (0°C, 20°C) による試験値を比較すると、共に沈設後数年間においてバラツキは大きい、年数の経過に伴い試験温度によるデータの差は減少傾向にある。また、落石データでの添加剤の有無による差についても同様な傾向を示している。

4. 考 察

アスファルト混合物は、一般的に空気による酸化、温度変化、水浸曝気、凍結融解、紫外線による劣化および波浪や水位の変動による疲労等に対して十分な耐久性を有する必要がある。しかし、ケーソン下面に用いるアスファルト混合物は、常に海水中であるため、酸化による耐久性の低下は極めて少ないが、アスファルトと骨材との付着力が十分でないと水の浸入により、骨材表面からアスファルトが剝離し破壊の原因となり、劣化が促進される。また、寒冷海域での使用を想定しているため、温度変化によるアスファルトの劣化が懸念される。

現地から引き揚げた20年及び10年経過したアスファルトマットの供試体は、外観上の問題はなく、摩擦係数測定用供試体は平板状になっているため、多少の歪みはあるが、ひび割れなどは見られない状況であった。また、供試体の内部では骨材のゆるみや空隙は見られていないため、アスファルトと骨材の付着は十分なものであった。

各種試験の結果から、温度変化による劣化の促進については、供試体の物性値の経年変化は小さく、安定した状態を保っている。また、低温下 (0°C, 10°C) における試験値が供試体温度20°Cの試験値より上回っていることから、寒冷海域用に開発されたアスファルトマットは、その性能を十分に発揮していることが認められ、低温下におけるアスファルトの劣化の進行は遅いといえる。

摩擦係数試験の結果では、北海道開発局における基準値0.7を満足する結果となっており、寒冷海域下における摩擦増大用アスファルトマットの摩擦力の低下は見られない。実際の摩擦増大用アスファルトマットは、ケーソンの下面に敷設され、長期にわたる波浪の繰り返し荷重を受ける環境にあることから、供試体で見られた歪みはなく、ケーソン下面との付着力が増大しており、試験で得られた摩擦係数値より大きな値であると推測でき

る。

以上のことから寒冷海域の海中で使用される摩擦増大用アスファルトマットの耐久性は、経過20年および10年間という期間においての各試験値は、各基準値を満足するものであり十分な耐久性を保持していることが分かった。

5. あとがき

北海道等のように沿岸域の海中温度が冬期間0°C近くまで低下する海域での使用を想定した寒冷海域用アスファルトマットを開発し、その耐久性について、調査試験を実施してきた。その結果、アスファルトの物性値の経年変化は、沈設初期の性状をほぼ維持しており、アスファルトの劣化の進行は非常に遅いものであることが得られた。また、コンクリートとアスファルトマット間の摩擦係数は、北海道開発局の基準値である0.7を上回る値を示しており、寒冷海域下における耐久性と機能を十分保っていることが実証された。実際の供用環境でのアスファルトマットは、通常、空气中で生じる劣化の要因がほとんど起こらない海中の環境であることや海水温度の変化による劣化は、寒冷海域用の配合によって劣化の進行が遅くなっていることから、今後も経年におけるアスファルトの性状変化は少ないと考えられる。

今後は、各港に試験用供試体が4セット残っているため、さらにデータの蓄積を進めていく予定である。また、近年は摩擦増大用マットとしてゴムマットが採用される事例もあることから、ゴムマットについても北海道開発土木研究所において、長期耐久性の評価を主目的とした調査試験を平成13年度から開始したところである。

参 考 文 献

- 井元忠博・水野雄三・谷野賢二 (1989): 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, 海洋開発論文集, Vol. 5, pp. 119-124.
- (社)日本港湾協会 (1999): 港湾の施設の技術上の基準・同解説, pp. 342.
- 杉本義昭・水野雄三・山中浩次 (1992): 寒冷海域用アスファルトマットの開発研究, 第36回北海道開発局技術研究発表会, pp. 255-260.
- (独法)北海道開発土木研究所 (2001): 寒冷海域用摩擦増大マットの耐久性に関する調査試験報告書, 55 p.
- 浜田敏明・北山 斉・岡 良・中井 章・若杉利彦 (2001): 海中における摩擦増大用アスファルトマットの長期耐久性 (30年)について, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 1001-1005.