

港湾構造物における摩擦増大用 アスファルトマットの長期耐久性能評価

山本 滯

近畿地方整備局 神戸港湾事務所 企画調整課（〒651-0082兵庫県神戸市中央区小野浜町7番30号）

摩擦増大用アスファルトマットの長期耐久性能を調べるために、海水中に暴露された供試体を使用して、昭和44年(1969年)から定期的に物理的性状試験を行っている。これらの摩擦増大用アスファルトマットが昭和44(1969年)の試験開始から50年経過を迎えるにあたり、海水中から取出した暴露供試体を使用して物性試験及び摩擦試験を行い、摩擦増大用アスファルトマットの品質低下がないか、摩擦係数に問題が無いかなどの性状を確認して、長期耐久性能を評価するものである。

キーワード アスファルトマット，長期耐久性，摩擦試験，物理的性状試験，摩擦係数

1. はじめに

波浪，地震力等の外力によるケーソンの滑動安全率はケーソンの自重に摩擦係数を掛けたケーソン底面と捨石間の摩擦抵抗力で決まる。よって，摩擦抵抗力が増大すれば，ケーソン重量はより小さい物でも所定の安全率を確保でき，全体工費の大幅な低減を図ることが出来る。摩擦係数を増大させる工法として，一般的にケーソン底面と捨石基礎との間に摩擦増大用アスファルトマットを敷設する工法が採用されている。



写真-1 試験項目及び条件

摩擦増大用マットにアスファルトを用いるアスファルト工法は，昭和38年（1963年）に運輸省 第三港建設局和歌山港湾事務所（現；国土交通省 近畿地方整備局 和歌山港湾事務所）が有田港防波堤の施工に当り，わが国で初めて採用された。アスファルト工法は，その後も和歌山港防波堤などに採用されたが，長期にわたる耐久性において懸念がもたらされたことからアスファルトの劣化現象が，海水中において進行するか否かを調べるため

に昭和44年（1969年）にアスファルトの供試体を作成し，和歌山下津港の海水中に沈設（写真-1）して，定期的に物理的性状試験を実施してきた。

本研究の目的は，暴露開始から50年が経過した供試体の物理的性状試験及び，摩擦試験を実施し，これまでの結果と共に，アスファルトの海水中での長期（50年）耐久性を評価することである。

2. 試験項目及び条件

昭和44年（1969年）に，各試験用に成型した供試体を海水中が出入りするコンクリート方塊に収容し，和歌山下津港本港区に沈設して海水中暴露試験を開始した。其の後，0年（初期値），1年，2年，5年，7年，8年，10年，15年，20年，25年，30年，50年経過時の供試体を引き上げて，供試体の目視観察と物理的性状試験を行った。また，30年，50年経過時は摩擦試験も実施した。

(1) 供試体外観観察

試験に先立ち，供試体の寸法をノギスにて0.1mmまで測定した。試験は，0～30年経過時と同様の試験項目と条件、方法で行った。試験項目及び条件は，表-1に示す。物理的性状試験（曲げ、圧縮、せん断、引張）では，測定した最大荷重と最大荷重時の変位量から歪みとスチフネスを算出し，また，針入度・軟化点の試験の結果から針入度指数を算出する。

(2) 試験方法

a) 比重試験

比重とは、所定の温度（20℃）で養生した供試体の空中重量と水中重量を測定し、式(1)により算出する。

$$\text{比重} = \frac{\text{空中重量}}{\text{空中重量} - \text{水中重量}} = \frac{\text{空中重量}}{\text{容積}} \quad (1)$$

b) 曲げ試験

所定の温度（20℃）で養生した供試体を曲げ試験用アタッチメント（スパン100mm）にセットし、所定の変位速度（20mm/min）で1点中央載荷して、最大荷重と最大荷重時の変位量を測定する。

c) 圧縮試験

所定の温度（20℃）で養生した供試体を圧縮供試体用アタッチメント（加圧面積40mm×40mm）にセットし、所定の変位速度（20mm/min）で載荷して、最大荷重と最大荷重時の変位量を測定する。

d) せん断試験

所定の温度（10℃）で養生した供試体をせん断試験用アタッチメント（せん断面積40mm×40mm×2断面）にセットし、所定の変位速度（10mm/min）で複せん断載荷して、最大荷重と最大荷重時の変位量を測定する。

e) 引張試験

所定の温度（10℃）で養生した供試体を引張試験用アタッチメント（供試体中央断面40mm×40mm）にセットし、所定の変位速度（10mm/min）で載荷して、最大荷重と最大荷重時の変位量を測定する。

f) 針入度・軟化点試験

アスファルトの回収は、300mm×300mm×厚40mmの供試体から、アブソン抽出法により行う。回収されたアスファルトについて、針入度試験（JIS K 2207），軟化点試験（JIS K 2207 環球法）を行う。

また、式(2), (3)により針入度指数（PI）を算出する。

$$\text{針入度指数}(PI) = \frac{30}{1 + 50A} - 10 \quad (2)$$

但し、

$$A = \frac{\log 800 - \log P_{25}}{\text{軟化点} - 25} = \frac{20 - PI}{10 + PI} \times \frac{1}{50} \quad (3)$$

P₂₅: 針入度(25℃)

g) 摩擦試験

摩擦試験は防波堤ケーソンにおける上下の位置の勘案し、コンクリート（上側）とアスファルト（下側），アスファルトマット（上側）と砕石（下側）の2ケースの境界面について、各3回行う。試験装置を写真-2に示す。



写真-2 摩擦試験装置

砕石板、コンクリート板は30年経過時と同一にものを使用した。アスファルトマットは300mm×300mmの供試体から150mm×150mmに切り出した。

構造物の滑動に対する安定性に用いられる摩擦係数は、静摩擦係数であるから、本研究における摩擦係数は、静摩擦係数とする。また、アスファルトマットの摩擦試験には純粋な摩擦抵抗の外に、ほぞ効果によるせん断抵抗、弾塑性変形による抵抗、付着抵抗の成分が含まれるが、ここでは、これまでと同様に静摩擦係数として表記する。

表-1 試験項目及び条件

試験項目	試験条件				
	供試体寸法 (mm)	個数	温度 (℃)	変位速度 (mm/min)	その他
比重試験	40×40×160	3	20	—	
曲げ試験	40×40×160	3	20	20	スパン:100 mm
圧縮試験(I)	40×40×160	3	20	20	加圧面積:40×40 mm
圧縮試験(II)	40×40×40	3	20	20	加圧面積:40×40 mm
せん断試験	40×40×160	3	10	10	加圧面積:40×40 mm
引張試験	40×40×170	3	10	10	供試体中央部断面:40×40 mm
針入度試験	—	1式	25	—	JIS K 2207(旧 JIS K 2530)
軟化点試験	—	1式	—	—	JIS K 2207(旧 JIS K 2531)
摩擦試験	150×150×40 (300×300×厚40から切出し)	6回	15	60	試験環境:水中 上載荷重:30tf/m ² (294kN/m ²)

試験手順を以下に示す。

- ・下側供試体（アスファルトマットまたは砕石版）を試験装置内の水槽に設置し、その上に上側供試体（コンクリート板またはアスファルトマット）を乗せ、上載荷重 392kN/m^2 (40tf/m^2) をかける。なお、アスファルトマットは、試験前に所定の温度 (15°C) に養生しておく。
- ・載荷開始から1時間後に上載荷重を 294kN/m^2 (30tf/m^2) にし、上側供試体（コンクリート板またはアスファルトマット）を変位 (60mm/min) をさせ、その時の水平荷重及び変位量を記録する。
- ・水平荷重の最大値と載荷時の上載荷重から静摩擦係数をしき(4)より算出する。

$$\text{静摩擦係数} = \frac{\text{水平荷重 (最大値)}}{\text{載荷時の上載荷重}} \quad (4)$$

(3) 摩擦試験機の相関性の確認

本研究において使用する試験機は、25年経過以降の物理的性状試験及び針入度、軟化点試験については、同じ試験機を使用している。しかし、摩擦試験に使用する試験機（以下、新試験機）は、30年経過時に使用しら試験機（以下、旧試験機）と異なっており、新旧試験機の相関性を確認する必要がある。

そこで、新試験機を使用して、旧試験機で行った摩擦試験時と同様の物理的性状を有するアスファルトマット合材を用いて、同一試験条件で摩擦試験を行った。試験は、アスファルトマットと砕石板間について、水平荷重の載荷速度と水平荷重をかけるまでの鉛直荷重の上載せ時間を変化させて行った。試験結果を図-1に示す。新旧試験機の結果は、ほぼ1:1の関係であり、両者に相関性があることを確認した。

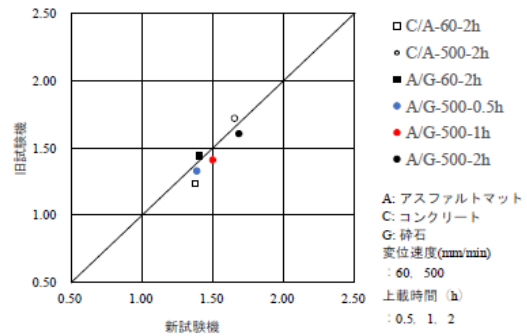


図-1 新旧試験機を使用した摩擦試験結果

3. 試験結果及び長期耐久性評価

(1) 試験結果

今回の試験結果と0年～30年経過時の試験結果一覧を表-2に示す。試験結果の最小値、最大値は、0～30年経過時の最小値と最大値である。また、基準値は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（以下、港湾の技術基準）に定められる。

a) 供試体外観

供試体外観を目視で観察した結果、多少の変形や表面の汚れは見られなかったが、ひび割れ等は確認されなかった。コンクリート製保管箱から取り出し、水洗いした後の供試体を写真-3に示す。



写真-3 取り出した供試体

表-2 試験結果一覧（上段；50年経過時（平均値），下段；0年～30年間の測定値）

項目	試験結果				項目	試験結果	項目		試験結果
	強さ (Nmm ²)	変位量 (mm)	歪み (%)	スチフネス (Nmm)			摩擦試験	コンクリート板/ アスファルトマット /アスファルトマット /砕石板	
曲げ試験	45	37	89	503	比重試験	236			コンクリート板/ アスファルトマット
	34~59	28~50	5.7~17.9	22.9~89.5		232~240	1.15~1.21		
圧縮試験	45	44	110	410	針入度試験	23	アスファルトマット /砕石板	1.41	
	42~77	28~59	7.0~13.8	31.9~87.8		21~35		1.23~1.43	
せん断試験	27	27	65	410	軟化点試験	70.5			
	24~43	1.4~3.8	3.4~9.5	25.3~126.5		65.0~75.5			
引張試験	18	59	149	119	針入度指数	11			
	11~28	10~93	2.5~23.3	11.0~108.0		0.7~1.7			

b) 比重及び物理的性状試験

比重試験及び物理的性状試験（曲げ・圧縮・せん断・引張）の結果は、全ての項目において、0年～30年の試験の最小値と最大値の範囲であった。また、比重・曲げ・圧縮強さの各試験結果は、港湾の技術基準の管理基準値を満足していた。

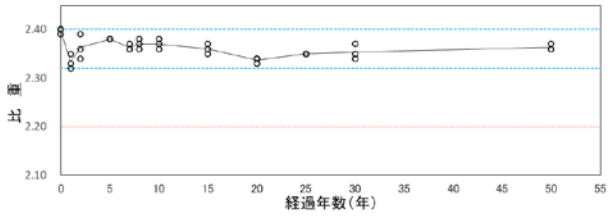


図-2 比重試験

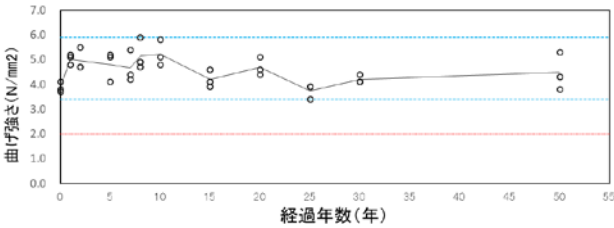


図-3 曲げ試験

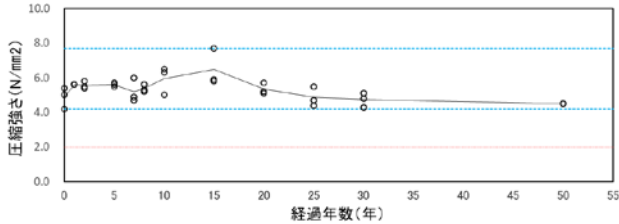


図-4 圧縮試験

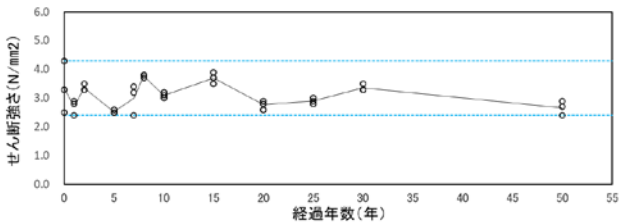


図-5 せん断試験

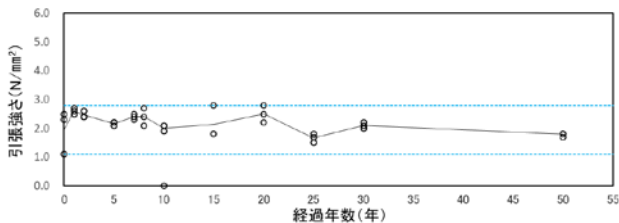


図-6 引張試験

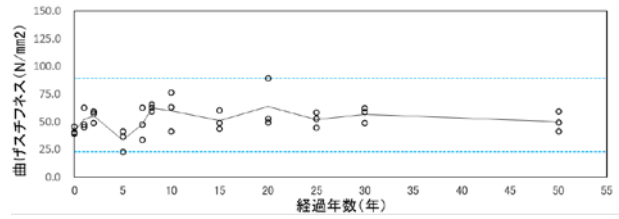


図-7 曲げスチフネス

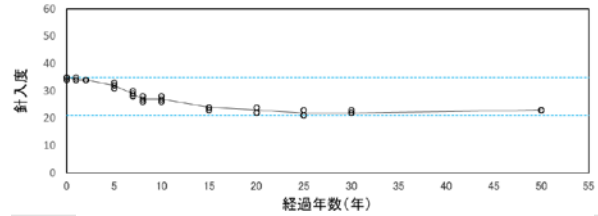


図-8 針入度試験

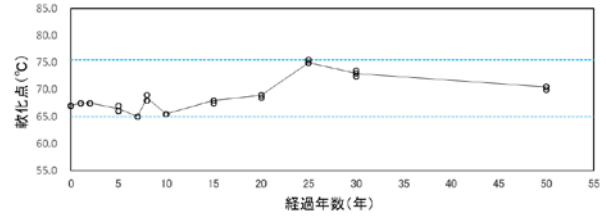


図-9 軟化点試験

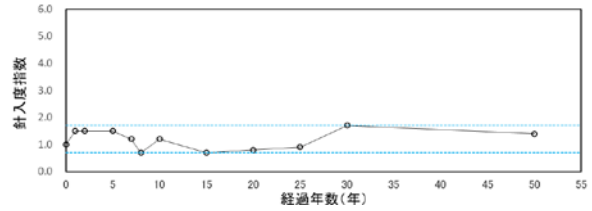


図-10 針入度指数

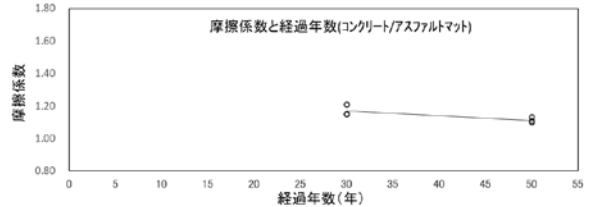


図-11 摩擦試験
(コンクリート板/アスファルトマット)

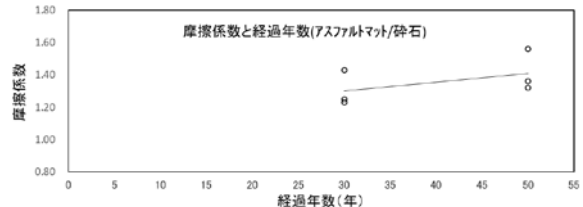


図-12 摩擦試験
(アスファルトマット/砕石板)

曲げ試験のスチフネスの結果を図-7に示す。アスファルトマット混合物の劣化が進むと、曲げ強さの最大荷重時の歪みが小さくなり、剛性を示すスチフネスは大きくなる傾向を示すとされているが、今回の試験結果からは、歪み、スチフネス共にそのような傾向は見られず、

暴露開始時と同様の値であった。また、他の試験（圧縮、せん断、引張）においても同様であった。

c) 針入度・軟化点試験

針入度・軟化点試験結果は、0～30年の試験の最小値と最大値の範囲であった。

針入度は初期の35（平均値、以下同じ）から、経年と共に小さくなる傾向を見せ、20年以降は21～24の範囲で安定している。今回の結果は23であり、20年以降と同様の値であった。

軟化点試験の結果は70.5℃であった。25年経過時をピークに下降傾向を見せているが、初期に比べると大きい値であり、25年以降は微増の傾向と考えられる。

d) 摩擦試験

摩擦試験は、30年経過時と今回の2回行っている。

コンクリート板とアスファルトマット間のケースは、30年経過時の静摩擦係数（ μ ）；1.17にたいして、今回は μ ；1.11であり、ほぼ同様の値であった。試験状況を写真-4に示す。

アスファルトマットと砕石板間のケースは、30年経過時の μ ；1.30に対して、今回は μ ；1.41であった。今回の方が若干大きな値となっているが、アスファルトマットと砕石板の間のケースは既往試験でもばらつきが大きいことを考慮すれば、試験誤差の範囲であり、同等の結果であったと考えられる。



写真-4 摩擦試験装置

(2) 長期耐久性の評価

今回引き揚げた供試体は、多少の変形のみでひび割れ等は無く、外観上は問題がない状態であった。

比重試験の結果は、2.35前後で安定し、また、物理的性状試験の結果は、0～30年間の試験の最小値と最大値の範囲に収まっていた。また、歪みやスチフネスに経年的な変化は認められなかった。

針入度は暴露開始から減少傾向（20年以降は安定）であり、軟化点はばらつきはあるが、25年以降は微増の傾向であった。針入度と軟化点から算出される針入度指数は、アスファルトの感温性を示す指標である。一般に、-2～2の範囲で「粘弾性型」とされている。本試験の針入度指数このことから、アスファルトマット中のアスフ

アルトは、50年経過後も粘弾性体としての特性を保持していると言える。

摩擦増大用アスファルトマットにとって重要な機能である摩擦係数は30年経過時と同等の値であり、低下の傾向は見られなかった。これまで行われた各ケースの静摩擦係数は、すべて1.10以上の結果で、港湾の技術基準に示された静止摩擦係数の特性値「摩擦増大マットと捨石」の0.75を十分に上回る値であった。また、同特性値の「捨石と捨石」の0.80を大きく上回っているため、波浪等によってケーソンが滑動する場合は、アスファルトマットの上面、下面ではなく、捨石間で滑動する。これらのことから、アスファルトマットは50年経過後も摩擦増大マットとしての機能を十分に保持していると言える。

アスファルト混合物の劣化要因としては、酸素、紫外線、熱、水等が考えられる。アスファルトマット供試体は常に海水中にあり、酸素、紫外線、熱の影響はわずかである。また、無空隙かつひび割れが発生しない合材であるため、アスファルトマット内部に海水が侵入することはないと思われる。

また、寒冷地における長期耐久性試験において、20年経過後に物理的性状や摩擦係数の経年変化が小さく、十分な耐久性を保持していること、30年経過後に摩擦係数を測定し、沈設初期の性状をほぼ維持していることが報告されており、今回の試験結果と同様な結果が示されている。

今回の試験結果は、これまでの30年間の結果と同等であり、有意な変化は見られなかったことから、海中暴露したアスファルトマットは、50年経過後も摩擦増大用マットとしての機能を十分に保持しており、50年以上の長期耐久性を有していると評価された。

4. おわりに

防波堤ケーソン等の下面に設置されたアスファルトマットは、供用中は不可視部分となり、調査や性状の確認ができない。そこで、昭和44年から、海水中に暴露した供試体を使用して試験を行い、物性変化の有無を確認してきた。結果は、50年経過後も性状に有意な変化は見られず、アスファルトマットの長期耐久性が確認された。本研究の結果と海水中という供用環境を考慮すれば、今後の経年による劣化の進行も遅いものと考えられる。したがって、供用中の防波堤ケーソン等の改良設計や移設時の設計においても建設時の物理的性状や摩擦係数を用いることが可能と考えられた。

参考文献：

浜田 敏明（2001年）「海水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）」

巻末：

今回の論文は、従前の所属先(神戸港湾技術調査事務所)における所掌内容を課題として、報告したものである。