

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) について

浜田 敏 明* ・ 北 山 齊** ・ 岡 良***
中 井 章**** ・ 若 杉 利 彦*****

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事ができる。摩擦係数を増大させる工法の一つに, ケーソン底面と捨石基礎との間に摩擦増大用マットを敷設する工法がある。近年では摩擦増大用マット工法は一般的であり, その実績は平成 12 年度現在約 200 万 m²以上にもおよび, その内摩擦増大用マットとして, アスファルトマットを採用したアスファルトマット工法の施工実績は, 160 万 m²を超えている。

昭和 38 年に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工事事務所)は有田港防波堤(延長 175 m)の施工に当り, わが国で初めての摩擦増大用マット工法として, アスファルトマット工法を採用した。通常, ケーソンと捨石との摩擦係数は 0.6 であるが, アスファルトマット工法を採用する事により摩擦係数の設計値を 0.7 として, ケーソン幅を 13.3 m から 11.55 m へ狭めることが可能となり, 併せて基礎の縮小にも繋がり, 全体で 10%程度の工費節減を図る事ができた。この時採用されたアスファルトマットの配合および摩擦係数は, 施工に先立って行われた各種室内試験および屋外実験により決定されている。

アスファルトマット工法はその後, 和歌山港防波堤などにも採用されたが, 経済性は認められたもののその長期にわたる耐久性について懸念がもたれた。そこでアスファルトマットの劣化現象が, 海水中において進行するか否かを調べるため, 昭和 44 年に有田港防波堤の施工に用いたものと同じの配合でアスファルトマットの供試体を作成し, それを同防波堤付近である和歌山下津港(本

港)南地区の海水中に沈設して, 定期的に物理的性状試験を実施してきた。今回, 30 年間経過した供試体の物理的性状試験および摩擦試験の結果が得られ, アスファルトマットの長期耐久性が実証されたので, これまでの結果と共に報告するものである。

2. 試験概要

2.1 アスファルトマット供試体の採取

アスファルトマット供試体は蓋付きコンクリート製函(外寸; 4,000×3,200×1,500 mm, 内寸; 2,600×1,800×700 mm)に収容し, これを海水中に沈設している。供試体採取の実施フローを図-1 に, 供試体収容函引上げ状況を写真-1 に示す。



図-1 供試体採取実施フロー



写真-1 供試体収容函引上げ状況

* 国土交通省近畿地方整備局和歌山港湾工事事務所長
** 正会員 国土交通省近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所長
*** 正会員 国土交通省近畿地方整備局和歌山港湾工事事務所
**** 国土交通省近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所
***** 国土交通省近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所

表-1 試験項目および条件

試験項目	試験条件				
	供試体寸法 (cm)	個数	温度 (°C)	変位速度 (mm/min)	その他
比重試験	4×4×16	3	20	—	
曲げ試験	〃	〃	〃	20	スパン 10 cm
圧縮試験	〃	〃	〃	〃	加圧面積 4×4 cm
せん断試験	〃	〃	10	10	〃
引張試験	4×4×17	〃	〃	〃	供試体中央 4×4 cm
アブソン 抽出試験	針入度試験	—	1式	—	
	軟化点試験	—	〃	—	
摩擦試験	15×15×4	〃	—	—	試験環境：水中 上載荷重：30 tf/m ²



写真-2 現地より運搬された試料

2.2 試験項目および条件

海水中におけるアスファルトマットの長期的な耐久性を調査するために、各種試験に適合する様に成形した供試体を、0年(初期値)、1年、5年、7年、9年、11年、15年、20年、25年、30年経過時に引き上げて物理的性状試験を行った。また、30年を経過した今回は摩擦試験も同時に実施し、摩擦増大用マットとしての機能を直接的に確認した。試験項目および条件を表-1、現地より運搬された試料を写真-2に示す。

2.3 試験方法

a) 比重試験

供試体の空中質量・水中質量を測定し、次式により算出する。(水中置換法)

比重 = $\frac{\text{空中質量}}{\text{空中質量} - \text{水中質量}} = \frac{\text{空中質量}}{\text{容積}}$

b) 曲げ試験

温度 (20°C) で養生した供試体を曲げ試験用アタッチメント (スパン 10 cm) にセットして、変位速度 (20 mm/min) で中央載荷し、最大荷重とその時の変位量を測定する。

c) 圧縮試験

温度 (20°C) で養生した供試体を圧縮試験用アタッチ

メント (加圧面積 4×4 cm) にセットして、変位速度 (20 mm/min) で載荷し、最大荷重とその時の変位量を測定する。

d) せん断試験

温度 (10°C) 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 4×4 cm×2ヶ所) にセットして、変位速度 (10 mm/min) で複せん断載荷し、最大荷重とその時の変位量を測定する。

e) 引張試験

温度 (10°C) 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 4×4 cm) にセットして、変位速度 (10 mm/min) で載荷し、最大荷重とその時の変位量を測定する。

f) アブソン抽出試験

アスファルトの回収は、ASTM D 1856-65 に規定された方法により行う。回収されたアスファルトについて、針入度試験 (JIS K 2207-1980)、軟化点試験 (JIS K 2207-1980 環球法) をそれぞれ実施する。

また、次式により針入度指数 (P_I) を算出する。

$$P_I = \frac{30}{1 + 50A} - 10$$

但し、

$$A = \frac{\log 800 - \log P_{25}}{\text{軟化点} - 25} = \frac{20 - P_I}{10 + P_I} \cdot \frac{1}{50}$$

P_{25} : 針入度 (25°C)

P_I はアスファルトの感温性を評価したり、原油や製造方法に関する情報を得るために利用される。

温度に全く影響されないアスファルトの P_I は +20 であり、逆に温度に非常に影響されるアスファルトの P_I は -10 である。実際に存在するアスファルトの P_I はおよそ -3 ~ +8 の範囲である。

P_I 値を分類の基準にした場合

P_I 値 -2 以下 … ゴル型 (ピッチ型)

P_I 値 -2 ~ +2 … ゴルゲル型 (ストレート型)

I_I 値 +2 以上 … ゲル型 (ブローン型)

の 3 種に分類できる。

ゴル型はアスファルテンがレジジン分によってマルテン (オイル分+レジジン分) 中によく解膠分散されているか、あるいはアスファルテンが少ない状態である。この構造をもつアスファルトはいわゆるニュートン流動かそれに近い流動を示す。ゲル型はアスファルテンが多量にふくまれ、しかもよく解膠されずにミセルが互いにつながって 3 次元的な凝集構造を形成し、その間隙にマルテンが存在する状態である。この構造のものは非ニュートン流動を示し、しかも弾性的性質ももっている。ゴルゲル型はゴル型とゲル型の間隔的なコロイド構造をもつものである。(* ミセルとは高分子量のアスファルテン分子が 2

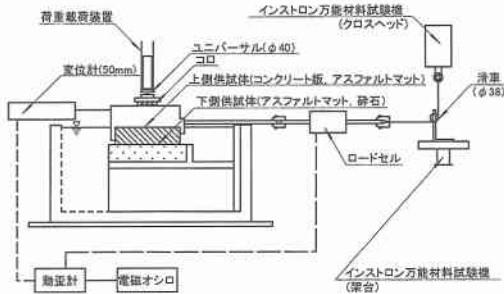


図-2 摩擦試験装置

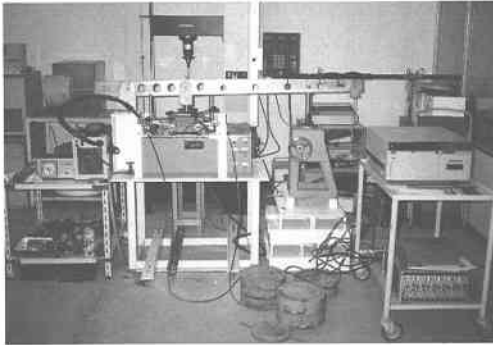


写真-3 摩擦試験装置（全景）

次に結合したもの）

g) 摩擦試験

摩擦試験は、コンクリートとアスファルトマット、アスファルトマットと砕石の2ケースについて行う。図-2に示す試験装置を使用し、以下に示す手順で行う。写真-3に摩擦試験装置（全景）を示す。

上載荷重はアスファルトマットへの食い込みを促進するため、 40 tf/m^2 (392 kPa) を1時間載荷した後、試験時に 30 tf/m^2 (294 kPa) に設定して実施する。

- 下側供試体を試験装置内の水槽に設置し、その上に上側供試体を乗せ、鋼板、ユニバーサルを介して上載荷重 40 tf/m^2 を1時間かける。
- 上側供試体とインストロン試験機との間にロードセル（引張 5 tf ）を取り付ける。
- 滑動時に水平移動量を測定する変位計（2本）をセットする。
- 載荷開始から1時間後に上載荷重を 30 tf/m^2 に変更し、インストロン試験機により上側供試体を引張り、その時の最大荷重および変位量を電磁オシログラフで記録する。
- 最大荷重と上載荷重より摩擦係数を算出する。

3. 試験結果および考察

3.1 試験結果

今回の試験は、昭和44年から30年間にわたって和歌山県下津港港内の海水中に浸漬した供試体を使用して、定期的に物理的性状試験（比重、曲げ、圧縮、せん断、引張、針入度、軟化点）を行い、海水中においてアスファルトマットの劣化が進行するかどうかを調べるものである。また、今回初めて海水中に30年間浸漬した供試体を使用し、摩擦試験をあわせて実施して、摩擦増大用マットとしての機能に影響があるか直接的に確認を行うものである。

図-3～10にアスファルトマットの経年変化について今回の試験結果と過去の試験結果を合わせて示す（図中の基準値は（社）「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（第4章瀝青材料）による）。また、これら過去30年間のデータを取りまとめたものを表-2に示す。（摩擦試験は

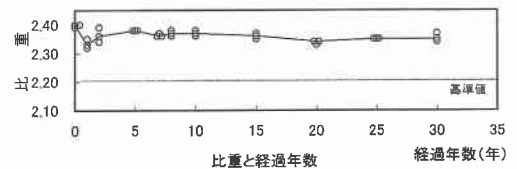


図-3 比重と経過年数

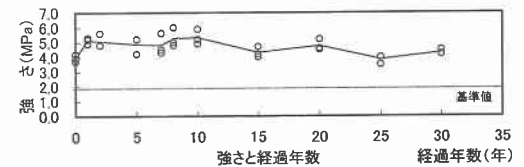


図-4 曲げ強さと経過年数

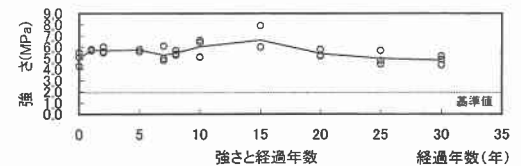


図-5 圧縮強さと経過年数

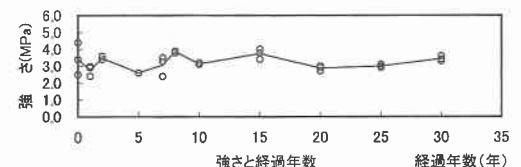


図-6 せん断強さと経過年数

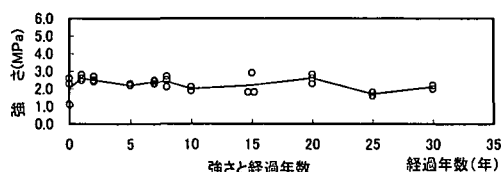


図-7 引張強さと経過年数

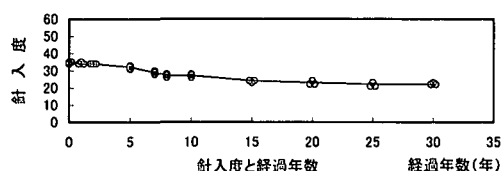


図-8 針入度と経過年数

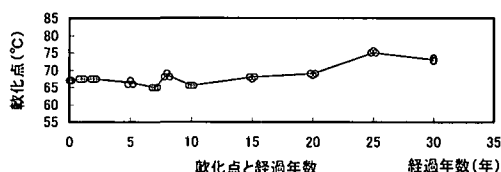


図-9 軟化点と経過年数

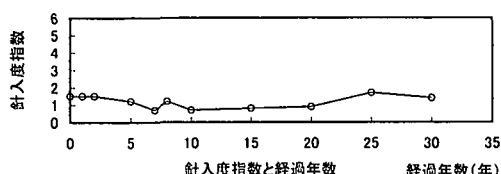


図-10 針入度指数と経過年数

表-2 試験結果

試験名	項目	30年間の測定値		今回の結果	全般的傾向	*基準値
		範囲	平均値			
物理的・機械的・性状試験	比重	2.33~2.40	2.36	2.35	安定している	2.2以上
	強さ (MPa)	3.8~5.3	4.7	4.3	安定している	2.0以上
	歪み (%)	6.6~14.8	9.2	7.0		—
	スチフネス (MPa)	34.3~64.8	53.5	57.9	安定している	—
	強さ (MPa)	4.4~6.6	5.5	4.9		2.0以上
	歪み (%)	7.6~14.0	10.4	12.4	安定している	—
	スチフネス (MPa)	31.6~75.4	55.8	40.1		—
	強さ (MPa)	2.6~3.9	3.2	3.4	安定している	—
	歪み (%)	4.9~8.6	6.3	8.2		—
	スチフネス (MPa)	33.3~80.5	54.3	42.1	安定している (0~1年目を除く)	—
引出試験	強さ (MPa)	1.7~2.6	2.3	2.1		—
	歪み (%)	10.3~21.3	14.9	12.1	安定している	—
	スチフネス (MPa)	11.8~22.1	15.9	17.6		—
	針入度	22~35	28	22		小さくなっている
抽出試験	軟化点 (°C)	65.0~75.0	68.5	73.0	大きくなっている	—
	針入度指数 P_I	0.7~1.7	1.2	1.4	小さくなっている	—
摩擦試験	コンクリート/アスファルトマット	—	—	1.17	—	—
	アスファルトマット/砕石	—	—	1.30		

* (社) 日本港湾協会「港湾の施設の技術上の基準・同解説」による

今回初めて実施した.)

3.2 考察

a) 供試体外観および内部観察

供試体は、多少の変形および表面の汚れは見られるが、ひび割れおよび内部の骨材のゆるみ等は全く見られない。

b) 物理的性状試験

比重は2.35前後で安定している。

各種強度試験は、強さ、歪み、スチフネス共に過去の値と殆ど変化無く安定している。

抽出試験は針入度が小さく、軟化点は大きくなっている。アスファルト自身の性状を示す針入度指数は、 $P_I = 1.4$ よりゾルゲル型 ($-2.0 \leq P_I \leq 2.0$)を示している。ゲル型に近いゾルゲル型であるが、0~2年目の値とほぼ同等であり、アスファルト自身の性状にあまり変化が無いと言える。

c) 摩擦試験

表-2に示すように、コンクリートとアスファルトマットは1.17、アスファルトマットと砕石は1.30といずれも1.1以上の摩擦係数が得られた。「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(運輸省港湾局監修)によれば、捨石と捨石との摩擦係数は0.8であり、アスファルトマットの摩擦係数が1.1以上あればケーソンが滑動する場合に、マットの上面および下面ではなく捨石間で滑動する。これまで設計で用いられた摩擦係数の最大値が0.8である事からみて、今回の試験結果は摩擦増大用マットの摩擦係数としては十分な値であると言える。

アスファルトマットの滑動抵抗力としては①いわゆる摩擦抵抗力の他に②マットへの食込みによる掘り起こしせん断力③合材の付着力等が考えられる。摩擦係数に及ぼす影響は②の掘り起こしせん断抵抗力が大きいと思われる。コンクリートとアスファルトマットとの摩擦の場合、コンクリートの表面は巨視的には平坦であるが、実際には微小な凹凸があり、この凸部がマットに食込む事により掘り起こしせん断が生じる。今回の試験では1.1以上の摩擦係数が得られている事から、マットの劣化は表面部分のみであり、その内側の表層部分は殆ど劣化していないと言える。一方、アスファルトマットと砕石との摩擦では、コンクリートに比べて食込みが大きく、マット内部まで及んでいる。摩擦係数が1.1以上得られている事から、各種強度試験の結果と同様にマット内部において劣化が殆ど進行していないという事が摩擦試験結果からも確認できる。

本試験で使用している供試体は、蓋付きコンクリート製函中に保存したものであり、実際に供用されているアスファルトマットはケーソンを通じて波浪等による繰返し荷重を受けるなど供用環境が異なる。実際に供用した

アスファルトマットについては、昭和 52 年に 14 年経過した有田港防波堤および、昭和 57 年に 17 年経過した和歌山港北港地区西防副防波堤の堤体下部のアスファルトマットを採取して、物理的性状試験を行い十分な耐久性が確認されており、本試験の 15 年経過時の試験結果とほぼ同等の値が得られている。摩擦係数に関しては、供用中のアスファルトマットの方が変形による捨石への食い込み、荷重による付着力の増大等があり、摩擦試験で得られた値に比べ、より大きな値になる事が容易に推測される。

以上の結果よりアスファルト混合物が劣化すると、一般的に歪みが小さく、スチフネスが大きくなり弾性体に近い性状を示すようになるが、今回の試験結果からはそのような傾向は見られず、粘弾性体的性質を示していると言える。この原因を以下に考えてみる。

アスファルト混合物の劣化は、アスファルトの劣化と合材の劣化とに大別される。

アスファルトの劣化を支配する要因としては、①軽質成分の揮発②化学成分の酸化③骨材およびフィラーの吸着或いは吸収④太陽光線（紫外線）による劣化⑤経時硬化⑥加熱混合時の熱劣化などが考えられる。長年空气中に放置された場合は光、温度変化、空气中の酸素等の影響が大きく、アスファルトの劣化は促進される。しかし、アスファルトマットの供用環境は、海水中であるため軽質成分の揮発は少量であり、溶存酸素量が少ないため化学成分の酸化も小さい。また、太陽光線は遮断されるため紫外線の影響および温度変化は極めて少ない。このため、劣化の進行はかなり遅くなると推測される。

また、アスファルト合材の劣化を支配する要因としては①空隙率②骨材の品質③アスファルト量④温度変化などが考えられ、特に空隙率の影響が大きい事が知られている。アスファルトマットは、道路舗装用の締固め型合材に対して、流し込み型で不透水層を形成する無空隙合材であり、使用するアスファルト量も多く、またその供用環境は海水中のため温度変化も少ない。このため劣化の進行は非常に遅くなると思われる。

4. おわりに

アスファルトマット工法は、現在全国各地で採用されている摩擦増大用マット工法の中でも多くの実績がある。「港湾の施設の技術上の基準・同解説」によれば、その設計摩擦係数の値は 0.7~0.8 と明記されている。これまで採用されている設計摩擦係数の値は 0.7 が主流であったが、近年ではより経済性を重視し、0.75~0.8 の大きな値も採用されつつある。今回の試験結果より、海水中に浸漬されたアスファルトマットは 30 年経過しても、初期の性状とほぼ変わらない粘弾性体的性質を示しており、経年変化による劣化が殆ど無い事が分かった。また摩擦試験の結果から摩擦係数は 1.1 以上が得られ、摩擦増大用マットとして十分な耐久性と機能を保持している事が実証された。アスファルトマットは、海水中で使用され、光、酸素の供給および温度変化等が少なく供用環境である事を考えれば、今後も経年による性状の変化は少ないものと推測される。

なお、本試験は 30 年経過をもって終了する予定であったが、供試体個数に余裕があるため今後も継続する事となり、更に長期の耐久性を調査していく予定である。

参 考 文 献

- 加川道男 (1964): 重力式構造物の摩擦抵抗増大について, 第 11 回海岸工学講演会論文集, pp. 217-221.
- 片岡真二・西 宏一・矢島道夫・三浦 修 (1983): ケーソン下面に敷設した摩擦増大のためのアスファルトマットの耐久性について, 第 30 回海岸工学講演会論文集, pp. 643-647.
- 佐藤勝久・八谷好高・阿部洋一 (1988): アスファルトコンクリートの劣化性状, 港湾技術研究所報告, 第 27 巻, 第 2 号, pp. 185-209.
- (社) 日本港湾協会 (1999): 港湾の施設の技術上の基準・同解説, pp. 310-311, pp. 339-342.
- 谷口豊明・伊藤達也 (1990): アスファルトの劣化, アスファルト, Vol. 33, No. 164, pp. 67-82.
- 萩野真一郎 (1978): アスファルトマットの耐久性について, 調設広報, Vol. 4, No. 1, pp. 19-25.
- 水野雄三・井元忠博 (1987): 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.