

重力式構造物の摩擦抵抗増大について

加 川 道 男*

1. ま え が き

重力式構造物の滑動に対する摩擦抵抗を増大させることができたなら堤体断面または重量を減少しうるし、また基礎工を減ずることができて工費は節減されることになる。

従来の重力式構造物は捨石マウンド上にコンクリートの堤体をのせ外力に対抗するものが大部分であって、摩擦抵抗を増大する工夫が種々なされてきたが、その摩擦係数は0.6を採るのが普通である。筆者は数年来サンドマスチックその他アスファルト合材を港湾工事に施工してきたが、そのすぐれた特性に着目し、アスファルト合材のマットを捨石マウンドと堤体の間に敷設することによって滑動に対する抵抗力が増大しないかと考えた。すなわち堤体コンクリートと基礎捨石の摩擦を堤体コンクリートとマット、マットと捨石の摩擦の問題に置き換えて考えることができる。以下のべることは重力式構造物の摩擦抵抗を増大させる工法としてアスファルトマットとコンクリートおよび捨石との摩擦抵抗に関する実験的研究についてである。実験で明らかのようにアスファルトマットの滑動に対する抵抗力はマットの内部せん断抵抗、付着強度、摩擦抵抗などの合力であって解析は困難であるが便宜上この値をすべて摩擦抵抗力と同一に考えて、上部載荷重に対して一定割合の抵抗力が働くものとして取り扱うこととし、その係数も“摩擦係数”という用語にすべてふくませて考えることにする。

2. 予 備 実 験

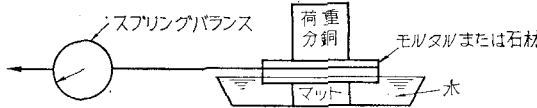
摩擦抵抗に影響を与える因子として考えられるもの

は、アスファルトの種類、マットの配合施工法、温度、載荷重、載荷時間、捨石の大きさ、均しの程度など多くのものがある。これらの要因の組み合わせの中から摩擦抵抗のもっとも大きな値を与える最適条件を見出すべくつぎの予備実験を行なった。

(1) アスファルトの種類および配合と摩擦係数

図一1に示す小型実験装置を用いて、アスファルトの種類、配合を変えて行なったセメントモルタル板とマットの摩擦係数は表一1のようである。

図一1 小型実験装置



供試体の大きさ4 cm×8 cm×2 cm、室温15°C、石粉0.074 mm、通過量86%、砂F.M. 2.33、7号砕石(=2.5~5 mm)、6号砕石5~10 mm、載荷重は0.94 t/m²、1.56 t/m²。

(2) 温度と摩擦係数

図一1の実験装置を用いて、それぞれの水温の水中に30分間つけたのち試験した。試験体の配合は表一1の④、⑤を用いた。大きさは(1)と同じで、セメントモルタル板との摩擦係数を求めた。実験結果は表一2のとおりである。載荷重は1.56 t/m²。

表一2 温度と摩擦係数

マ ッ ト	温 度 (°C)				
	0	5	10	15	20
④ StAs 40/60	1.09	1.03	1.15	1.19	1.34
⑤ BIAs 10/20	0.78	0.83	0.86	0.91	0.96

表一1 アスファルトの種類配合と摩擦係数

配合・摩擦係数		As の 種 類						StAs 40/60 針入度 54 軟化点 50.4						BIAs 10/20 針入度 13 軟化点 99					
重量配合 %	ア	ス	フ	ア	ル	ト		7.7	8.1	8	9	8	9	8.0	8.7	9	10	9	10
	石					粉		24.8	23.4	24	27	28	31.5	16.0	21.7	18	20	22.5	25
		砂						22.5	22.8	23	19	19	14.5	25.8	23.2	28	25	23.5	20
	7	号	砕	石				20.0	20.3	20	20	20	20	22.5	20.6	20	20	20	20
	6	号	砕	石				25.0	25.4	25	25	25	25	28.2	25.8	25	25	25	25
	D/A							3.2	2.9	3	3	3.5	3.5	2.0	2.5	2	2	2.5	2.5
摩擦係数	荷 重 { 0.94 t/m ² 1.56 t/m ²			④	0.89	0.91	0.91	0.89		⑤	0.84	0.89	0.90	0.87					

* 正会員 運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所長

(3) 載荷時間と摩擦係数

図-1の実験装置を用いて、載荷重を3種と載荷時間を1~8分について摩擦係数を測定した。試験体の配合は表-3のとおりで、温度は15°C、セメントモルタル板との摩擦係数である。実験結果は表-4のとおりである。

表-3

マット	アスファルト	石粉	砂	7号石	6号石	F/A
① StAs 40/60	12.0	24.5	28.5	15.0	20.0	2.0
② BlAs 10/20	8.7	21.7	23.2	20.6	25.8	2.5

表-4 載荷時間と摩擦係数

マット	載荷重 (t/m ²)	載荷時間(分)					
		1	2	3	4	6	8
① StAs 40/60	0.94	1.12	1.22	1.28	1.33	1.45	1.49
	1.56	1.21	1.33	1.42	1.43	1.46	1.51
	2.50	1.20	1.35	—	—	—	—
② BlAs 10/20	0.94	0.84	0.88	0.92	0.94	0.96	0.98
	1.56	0.87	0.95	0.99	1.02	1.04	1.06
	2.50	0.90	0.97	1.05	1.10	1.13	1.13

(4) 面の粗度と摩擦係数

図-2のようなテコ式実験装置を用いて、マットと接する面の粗度が摩擦係数におよぼす影響を試験した。粗度を表わすものとして、コンクリート版に砕石および砂を埋込んだものを用いた。砕石は4号(30~20mm), 5号(20~10mm), 6号(10~5mm), 7号(5~2.5mm)の大きさのものをそれぞれ用いた。

試験体の配合は(2)と同じである。摩擦面の大きさは80cm², 載荷重は30t/m², 室温22~25°Cである。

実験の結果は表-5のとおりである。なお参考として、コンクリート板のそれぞれの面に対する摩擦係数も実測した。

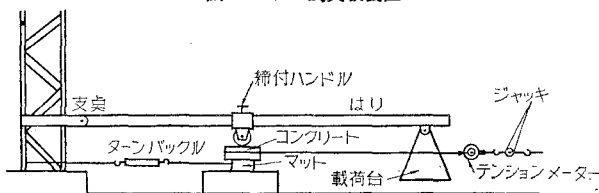
表-5 面の粗度と摩擦係数

試験体	面の粗度					コンクリート
	4号砕石	5号砕石	6号砕石	7号砕石	粗目砂	
StAs 40/60	0.98	1.04	0.94	0.88	0.81	0.71
BlAs 10/29	0.80	0.73	0.76	0.73	0.73	—
コンクリート	0.77	0.67	0.62	0.65	0.67	0.50

(5) 凹み(摩擦関連)試験

摩擦抵抗に関連し、施工上からも必要なマットの凹みについて実験した。図-2のテコ式実験装置を用いて載荷し凹み量を測定した。実験結果の概要はつぎのとおり

図-3 テコ式実験装置

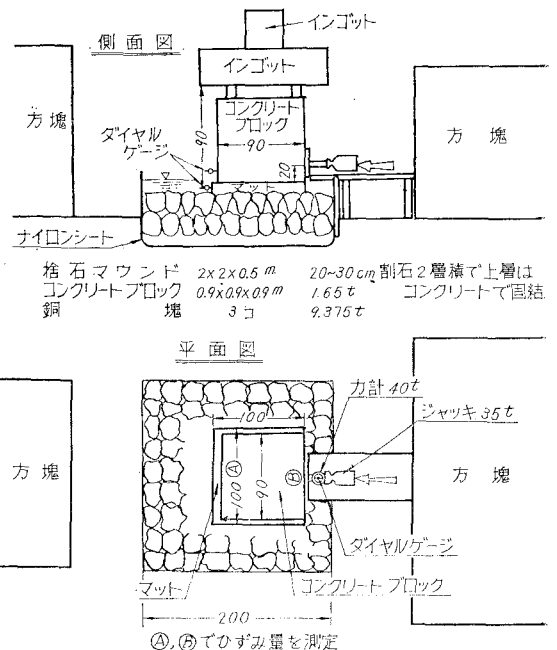


である。

a) 載荷時間と凹み量 4種の試験体(20cm×20cm×8cm)に70t/m²載荷し、30°C, 載荷時間5分~5時間までの測定した凹み量は、それも時間の経過とともに凹み量を増し、5時間後の凹み量はブローンアスファルトを用いた2種は20および7.9mm, ストレートアスファルトのマットは32.2mm, ストレートとブローンを混合したものは23.4mmであった。

b) 究極凹み量と残存厚さ StAs 40/60を用いたマットの試験体を温度(30~60°C), 荷重(30~60t/m²)を変えて凹み量を測定し、それぞれの条件下の究極の凹み量と残存厚さを推定した。温度、荷重ともに大きくなるほど凹み量は増大し、残存厚みは減少する。温度60°C, 荷重30t/m²の究極凹みは4.8mm, 温度30°C, 荷重60t/m²の究極凹み量は5.5mm, 温度60°C, 荷重45t/m²で21.7mm, 温度40°C, 荷重60t/m²で31.2mm, 温度50°C, 荷重50t/m²で6.3mmであった。つぎに試験体の厚さを変えて実験した結果は温度50°C, 荷重60t/m²で、厚さ80mmのものの究極凹みは6.7mm, 厚さ100mmのものが23.8mm, 厚さ150mmのものが61.6mmでそれぞれの残存厚さは73.3mm, 76.2mm, 88.4mmであった。

図-3 模型および実験装置



3. 模型実験

(1) 摩擦係数および凹み

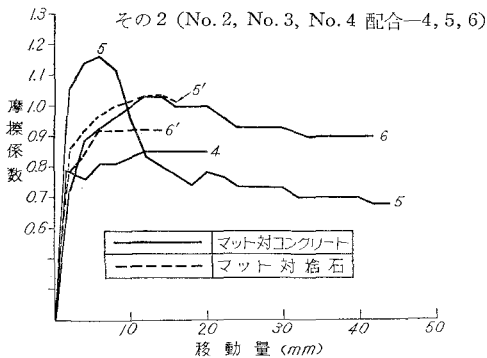
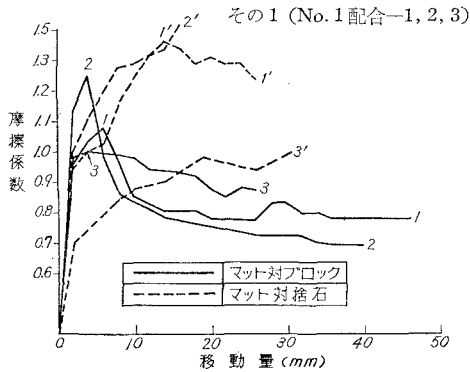
予備実験によってマットの摩擦係数に関する要因の概要を知ることができたので実際の構造物に近い状態で実験するため図-3のような実験装

表-6

No.	マ ッ ト	アス ファルト	石粉	砂	4号 砕石	6号 砕石	7号 砕石	D/A
1	StAs 20/40	8	20	27	20	15	10	2.5
2	StAs 20/40	9	22.5	23.5	—	25	20	2.5
3	StAs 40/60	8	20	27	20	15	10	2.5
4	StAs 40/60	9	22.5	23.5	—	25	20	2.5
5	StAs+Blt 30/35	10.5	21	28.5	—	5号 20	20	2.0

図-4 移動量と摩擦係数との関係

図中 ——— はマット対ブロック, --- はマット対捨石



置を用いて実験した。上部のコンクリート ブロックは 8100 cm^2 の摩擦面積をもち、載荷重は 13.61 t/m^2 である。

マットの配合はつぎの5種類とし、その大きさは No. 1~4 が $100\text{ cm} \times 100\text{ cm} \times 10\text{ cm}$, 5は $100\text{ cm} \times 100\text{ cm} \times 8\text{ cm}$ である。

実験は予備実験から知り得た諸性質と構造物の現場条

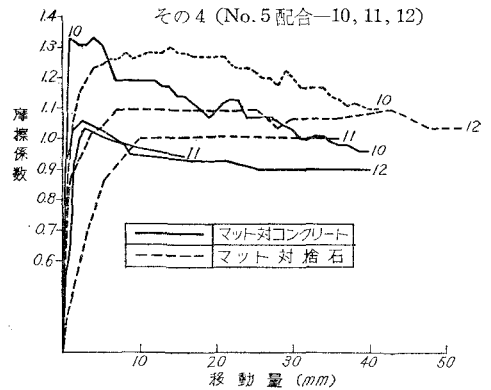
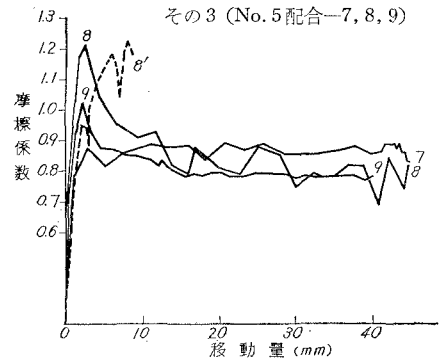


表-7 摩擦係数と凹み

実験番号	マット番号	載荷日数 (日)	摩 擦 係 数				凹 み (mm)	水 温 調 整	
			マットとコンクリート		マットと捨石			温度範囲	時 間
			最高値	一定値	最高値	一定値			
1	1	1	1.08	0.78	1.36	1.24<	8.8	17~20 20~27	19 5
2	〃	7	1.25	0.69	1.41	1.41<	12.3	17~20 20~27	138 30
3	〃	15	1.00	0.87	1.00	1.00<	13.5	17~20 20~27	320 40
4	2	6	0.85	0.85	—	—	21.0	15~17 17~27	114 30
5	3	7	1.16	0.68	1.03	1.01<	15.5	17~20 20~27	140 28
6	4	1	1.03	0.90	—	—	12.5	13~17 17~27	19 5
7	5	0	0.89	0.83	—	—	—	32	0
8	〃	6	1.22	0.84	1.22	1.20	20.5	25~29 29~33	108 34
9	〃	6	1.03	0.79	—	—	20.5	25~29 29~33	108 34
10	〃	14	1.33	0.96	1.30	1.17	19.3	25~29 29~31	240 82
11	〃	85	1.04	0.95	1.01	1.00	5.5	0~ 6	2184
12	〃	13	1.06	0.90	1.10	1.04	5.0	10	312

参考実験: コンクリートブロックと捨石の摩擦係数は0.52。

件から適当と思われる 5 種の配合のマットについて多くの実験を行なおうとしたが、結論を急ぐ必要があり、途中で最適と判断された No. 5 のマットを集中的に実験した。

載荷重を実構造物に近くし、載荷日数および水温を変化させて実験した。同時に摩擦に関連のあるマットのひずみ（凹み）も測定した。特に滑動量に応じた摩擦係数を測定し摩擦係数の変化を実測し、それぞれの摩擦係数の滑り始めの値、最高値および滑ってからの一定値などを知ることができた。なお実験の結果を表-7 および図-4 に示した。

(2) 長期凹み

実際の施工条件のような大きな断面では荷重によるマットの变形は横へは拡がらずに捨石の空げきにくい込むことになっている。その凹みは摩擦抵抗およびマットの耐久性に関連がある。このような状態の長期間の凹みを測定するため模型をつくり現在も載荷実験中である。載荷重は 16.2 t/m^2 、試験マットの配合は 3.(1) の No. 5 マットで $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$ の大きさである。凹み量は最初の 1 日で 4.4 mm 、10 日経過で 4.8 mm 、11 日で 5.1 mm 、230 日で 6.5 mm を測定している。なお同時に模型内の水温を測っている。

(3) 強度試験

摩擦係数凹み実験に用いたマット 5 種について、曲げ、圧縮、せん断、引張りの強度試験を温度 $10 \sim 27^\circ \text{C}$ について行なった。実験結果は、

曲げ強度は	$20 \sim 100 \text{ kg/cm}^2$
圧縮強度は	$30 \sim 110 \text{ kg/cm}^2$
せん断強度は	$10 \sim 50 \text{ kg/cm}^2$
引張強度は	$5 \sim 30 \text{ kg/cm}^2$

の範囲にある。

4. 実験結果の考察

以上の実験の結果から アスファルト マットとコンクリート、捨石の摩擦係数はコンクリートと捨石の摩擦係数にくらべてかなり大きな値であること、摩擦係数はアスファルトの種類、配合、温度、載荷重および載荷時間、摩擦面の粗度などに影響され、これらの因子が複雑に関連しあっていることがわかった。

(1) アスファルトの種類および配合

摩擦係数はブローンよりストレートのほうが大きい。荷重の大きい場合は凹みの面で問題がある。両者の長所を生かすべきである。一般には針入度 40 ぐらいのものが適当と思われる。配合は As 量 9~12%、D/A は 2.5~25 が適当と考えられる。マット中の碎石の最大寸法、混入量は究極凹みに影響があると考えられるので 5~7 号碎石 40% ぐらいが適当のようである。

(2) 温 度

摩擦に関する因子中もっとも影響が大きい。温度が高いほどマットは軟くなって摩擦係数は増すが、凹みも大きく強度も弱くなる。

(3) 載荷重と載荷時間

マットのような粘弾性体の摩擦抵抗は純粋の摩擦係数以外にくい込み、粘着（なじみ）による抵抗が働くので、荷重が大きいほど摩擦抵抗は大きくなる傾向がある。載荷時間は長いほど摩擦抵抗は大きくなる。摩擦面の広いほどなじみに必要な時間は長くなる傾向がある。

(4) 摩擦面の粗度

マットの接触面の粗度が大きいほどマットのくい込みが大きく摩擦係数は大となる。

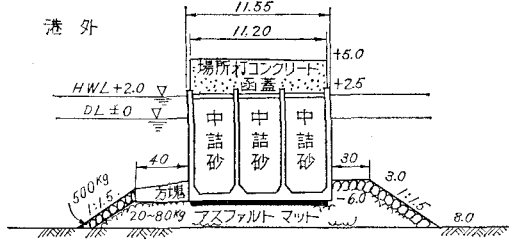
滑りに抵抗する機構を解析することは困難であるが、図-4 に見られるように、荷重が滑動を始める前に若干横方向に移動するが、これはマットの弾性変形と考えられ、マット内部にはせん断応力が働いていると思われる。そして滑り始めの摩擦抵抗は非常に大きく、コンクリートに対する最大値は $0.85 \sim 1.33$ であり、ピークを示さない No. 4、No. 7 を除くと $1.00 \sim 1.33$ である。このようにマットの摩擦抵抗が大きいのはアスファル重合材のもつ柔軟性によって荷重が載ると接触面のなじみがよくなることと凹部にくい込みを生じることによってせん断抵抗が加わるためと考えられる。ピークの少ない No. 7 は載荷日数が 0、No. 11、No. 12 は温度が 10°C 以下であり凹みの少ないのはこのことを示している。

つぎに滑動し始めると摩擦係数は漸次低下しほぼ一定値（最低値）をとるようになる。この値はコンクリートに対して $0.69 \sim 0.96$ である。これは最高値ピークの大きいものが必ずしも大きくないことは注目すべきである。同一配合だと載荷日数に応じて大きい傾向のみられるのはなじみ（粘着力）が効いてくると考えられる。捨石に対する摩擦抵抗ははっきりしたピークを示すものが少なく、多くは測定不能になるほど大きな値を示す。これは捨石の凹部にマットがくい込み抵抗しているもので最大 5 cm のくい込みと、マット面にクラックの生じているのを観測したことによって確認できた。つぎにマットの摩擦係数はいかにとるべきかという問題であるが、動き始めの係数をとるとすれば、温度を適当な値以上にするか載荷日数が十分であれば、 1.00 以上を採ることができる。滑り始めたのちの摩擦係数を採用するには 0.7 以上は確実にとることができるし、配合を適当にすれば 0.8 以上は十分採用することができる。マット捨石の摩擦係数は 1.00 以上を採ることができる。

5. 摩擦マット採用の防波堤

以上の実験からマットの摩擦係数、従来港湾の重力式構造物に用いている摩擦係数よりもはるかに大きいことがわかったので、これを図-5 のように防波堤に採用し

図—5 有田港防波堤標準断面



た。マットの配合は模型実験の No. 5 配合であるからマットとコンクリートの摩擦係数は0.8を採りうるけれどもまったく新たなものであるので安全のため0.7を採用した。さらに堤体ケーソン底部にマットを鉄線および埋込碎石によって張着ける工法を考案したので実際は非常に安全である。マットを採用した防波堤の延長は 113.5

m(ケーソン 14 函)である。従来のコンクリートと捨石との摩擦係数 0.6 をとればケーソンの断面は 13.3 m を必要とするが、この工法では断面は 11.55 m にすることができた。加えて基礎を縮少できるから工費の節減が大となる。約 1000 万円の工費を節減して 39 年 3 月竣工した。

6. 結 び

以上のようにマットの摩擦に関する研究を行ない実際の構造物に適用したが、今後の問題としては各種重力式構造物に適用する各種マットの研究、くり返し荷重に対する摩擦抵抗、長期凹み、そのほかのマットの耐久性の究明、摩擦機構の解明などがあり実験を継続中である。

終りにこの研究にご指導をいただいた板倉忠三教授、予備実験などに協力を得た昭和化工KKに感謝する。