

北海道大学工学部 (学) 押川定生・竹内貴弘・酒井雅史
東海大学札幌校舎 (正) 泉 洸
北海道大学工学部 (正) 小野敏行・佐伯 浩

アスファルトマットをカーソニ底面と捨石マウンドとの間に布設することによって、波力による滑動に対する抵抗力を増大させることが可能である。これは、アスファルトマットとカーソニ底面との摩擦係数が、カーソニ底面と捨石マウンドとの摩擦係数より大きいためである。また、アスファルトマットを用いることによって、同じ抵抗力を得るために必要となるカーソニの堤防幅または重量を減少させることが可能となる。このように、アスファルトマットを採用することは、安全設計の面から、また経済的な面からも有効な方策であり、すでに高知港、和歌山港等が用いられてより、その工学的見地からの確立が望まれている。

2. 実験方法

また、材料板であるコンクリート板の大きさは、 $30\text{cm} \times 47\text{cm} \times 4\text{cm}$ であり、その種類は、表面粗度の荒い順にA, B, Cとし、またモルタル板Mを用いる。予備として、A', B', C', M'を用意する。コンクリート板の骨材の平均粒径は、A (A') 約 30mm 、B (B') 約 20mm 、C (C') 約 8mm である。供試体であるアスファルトマットと材料板であるA, B, C, Mの表面形状は、摩擦係数に大きな影響を与えることと予想される。そのため、それぞれの平均波高、平均波長、平均波形状配を表-4に示し、それぞれの表面形状の一例を図-1に示す。

今回、アスファルトマットの摩擦係数を測定するため、図-2の

原 料 名	%
スーパ- CB アスファルト 針入度 25℃ = 111	7
プロン " " " " 10-20	7
石 粉 (満河石炭)	30
細 砂 (赤塚重丘砂)	37
テ-リ-ン (石鹼)	3
7号砂石 (白老、鶴田組)	16

原料名	%
プロピスミルト針入度	40
細砂(焼)(浜厚真丘砂)	60

① 压强	② 曲 径	③ 7D-	比重 $\frac{g}{cm^3}$		
温度 压强 温度	由中压强 由大压强	温度 45° 温度 60° 5分钟			
0°C	130~170	80~110	1~5	+ 3	$\frac{g}{cm^3}$
10°C	80~120	50~80	5~10		
20°C	30~70	20~50	10~15		

Material	$\bar{h}$ (mm)	$\bar{\lambda}$ (mm)	$\bar{h}/\bar{\lambda}$
Asphalt Mat	0.074	1.71	0.041
Material: A	6.050	33.50	0.181
: A'	5.917	31.25	0.189
: B(B')	3.255	17.50	0.186
: C(C')	2.290	12.13	0.189
: M(M')	0.943	4.04	0.234

ような摩擦試験機を開発した。この試験機によ、 μ 、載荷荷重は、0～50tまで、また相対移動速度は、0～20cm/sまで可能である。また、図-1には示していないが、載荷時の沈下量を測定できるように、供試体の対角線上2点に歪ゲージ付ダイヤルゲージを設置している。

以上のことを踏まえて、次の実験を行なう。

(1) アスファルトマットの相対移動速度 V と摩擦係数 μ の関係

アスファルトマットの相対移動速度 V を0.01～2.00cm/sの範囲で変えて行った。温度が0℃では、材料板としてA、Mを用い、温度が10℃、20℃では、材料板Mを用いる。また、鉛直応力は、 2.2kg/cm^2 とし、載荷時間は30分とする。

(2) 鉛直応力 σ と摩擦係数 μ の関係

鉛直応力を 1.0kg/cm^2 、 2.2kg/cm^2 、 4.0kg/cm^2 の3種類で行なう。アスファルトマットは、海中経過年0、1、2のものを用い、材料板はMとする。温度は、0℃、10℃、20℃で行ない、アスファルトマットの相対移動速度は、0.850cm/s程度とし、載荷時間は30分とする。

(3) 載荷時間 T と摩擦係数 μ の関係

載荷時間 T を30分、60分、120分の3種類で行なう。材料板は、A、A'を用い、温度は0℃で行ない、アスファルトマットの相対移動速度は、0.850cm/s程度、鉛直応力は、 2.2kg/cm^2 とする。

(4) 温度 t と摩擦係数 μ の関係

温度を海水が凝固する直前の0℃と10℃、20℃の3種類で行なう。材料板は、Mを用い、アスファルトマットの相対移動速度は、0.850cm/s程度で行ない、鉛直応力は、 2.2kg/cm^2 とし、載荷時間は30分とする。

(5) 材料板の表面粗度と摩擦係数 μ の関係

材料板は、A、A'、B、B'、C、C'、M、M'について行なう。温度は、0℃、10℃、20℃で行ない、アスファルトマットの相対移動速度は0.850cm/s程度で行ない、鉛直応力は、 2.2kg/cm^2 とし、載荷時間は30分とする。

(6) 温度変化と摩擦係数 μ の関係

温度10℃において、鉛直応力 2.2kg/cm^2 を30分間載荷し、この鉛直応力のままで、この後30分で温度を0℃まで下げる。材料板は、A、A'、Mを用い、アスファルトマットの相対移動速度を0.850cm/s程度とする。

(7) 沈下量 S と載荷時間 T の関係

材料板A、A'について、載荷時間30分、60分、120分における沈下量 S を測定する。鉛直応力は、 2.2kg/cm^2 とし、温度は0℃で行なう。

3. 実験結果とその考察

(1) アスファルトマットの相対移動速度 V と摩擦係数 μ の関係

図-3、4、5、6に示すように、静止摩擦係数 μ_s は、アスファルトマットの相対移動速度 $V \geq 0.2\text{cm/s}$ のときほぼ一定値を示し、 $V < 0.2\text{cm/s}$ のとき V が小さくなればなるほど、動摩擦係数 μ_k に近づく。また、動摩擦係数 μ_k は、アスファルトマットの相対移動速度 V に無関係に一定値を

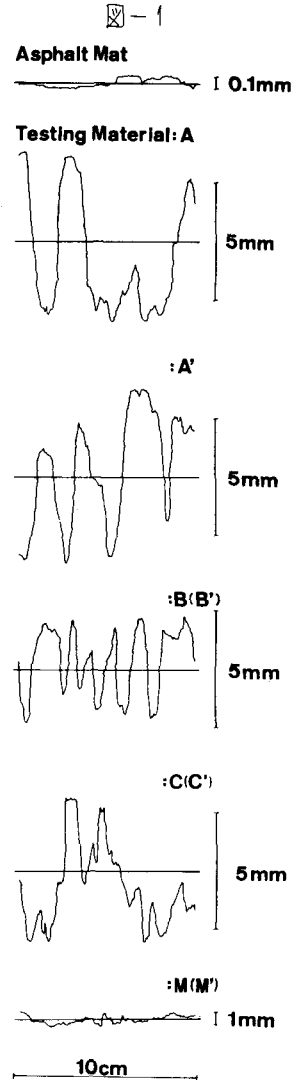


図-2
Friction Test Apparatus

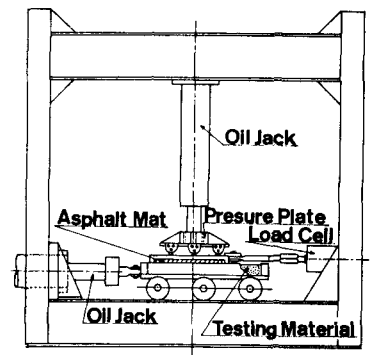


図-3

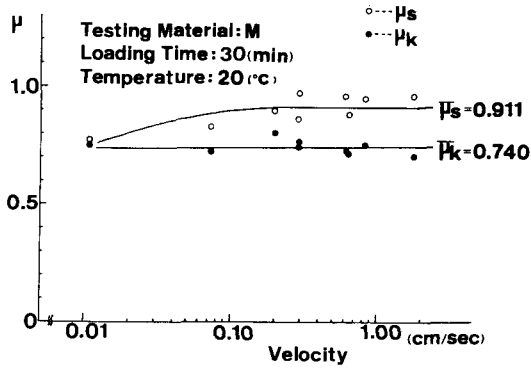


図-4

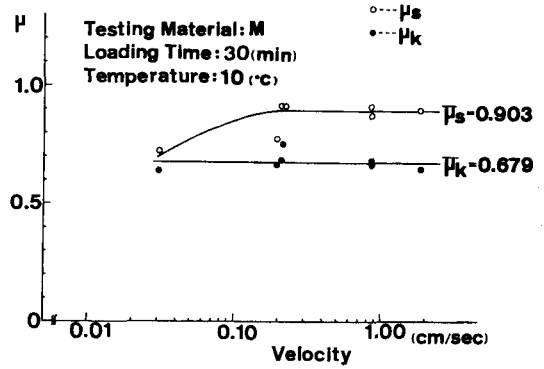


図-5

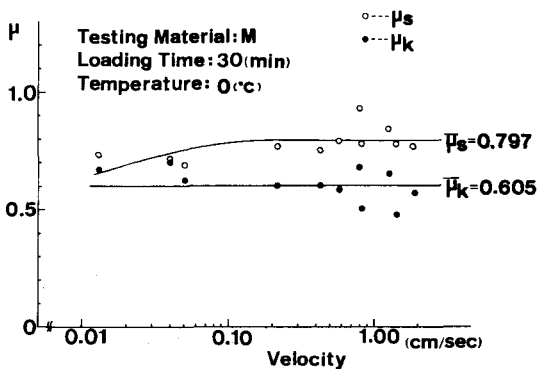
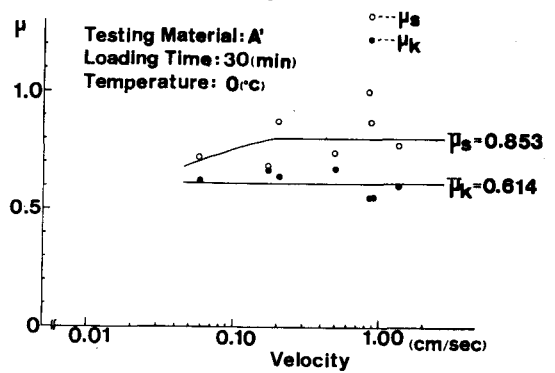


図-6



とる。静止摩擦係数 μ_s が、 $V < 0.02 \text{ cm/s}$ のとき、次第に小さくなるのは、アスファルトの粘弾性によるものであり、アスファルトマットと材料板との結合部をよりより破壊すれば、引張力は小さくても可能であることによると思われる。また、動摩擦係数 μ_k が、アスファルトマットの相対移動速度 V に無関係だと言うのは、「動摩擦はすべり速度にはほとんどよらない」という Amontons の第3法則を満足している。

(2) 鉛直応力 σ_v と摩擦係数 μ の関係

図-7

図-7, 8に示すように、静止摩擦係数 μ_s 、動摩擦係数 μ_k ともに、鉛直応力 σ_v に無関係に一定値をとる。これは、鉛直応力 σ_v が大きくなるにしたがって、その分だけアスファルトマットに材料板が余計に食い込むため、アスファルトマットと材料板との粘着(くっつき)による抵抗が大きくなるためと思われる。これは、「摩擦係数は、荷重には関係がない」という Amontons の第2法則を満足し

Testing Material: M
Velocity: 0.833~0.877 (cm/sec)
Loading Time: 30 (min)
Temperature: 20(°C)

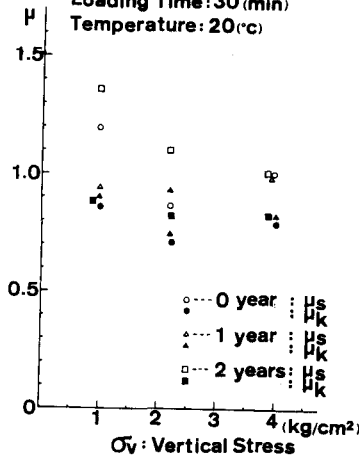
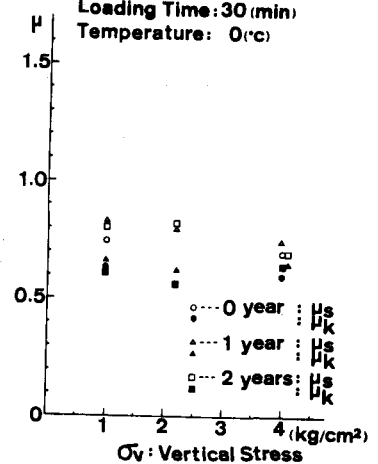


図-8

Testing Material: M
Velocity: 0.826~0.877 (cm/sec)
Loading Time: 30 (min)
Temperature: 0(°C)



ている。

(3) 載荷時間 T と摩擦係数 μ の関係

図-9, 10に示すように、載荷時間が長くなるにつれて、静止摩擦係数 μ_s は、載荷時間とともに大きくなる。これは、載荷時間が長くなるにつれて、アスファルトマットと材料板との粘着(なじみ)が強くなり、粘着による抵抗は大きくなるためであると思われる。また、動摩擦係数 μ_k は、載荷時間に無関係に一定値をとる。これは、アスファルトマットと材料板との結合部が離れてしまうと材料板の上をアスファルトマットが一定の引張力によって滑るためであると思われる。

(4) 温度 T と摩擦係数 μ の関係

図-11に示すように、温度が高くなるにつれて、静止摩擦係数 μ_s 、動摩擦係数 μ_k ともに大きくなる。温度が高くなれば、それだけアスファルトは軟化するので、アスファルトマットに材料板の凸部が食い込み、アスファルトマットと材料板との粘着(なじみ)が強くなることから、静止摩擦係数 μ_s 、動摩擦係数 μ_k に大きく影響することと考えられる。しかし運輸省第三港湾建設局和歌山港工事事務所は、「温度が10℃と35℃の実験で、載荷荷重を40kg/cm²と、た場合、接触面積の増加は早い(アスファルトマットと材料板との粘着は非常に強い)が、滑る時の引張力も大きく、35℃の高温では10℃のセシ断強度よりも低いので、接触結合部の強度も低く、た、接触面積と結合部のセシ断強度との積で表わされる摩擦抵抗力すなわち摩擦係数の低下をきたしていることを証している」と報告している。私達の場合、温度の高い20℃の時は、摩擦係数は最も大きかったが、実際、摩擦係数が最も大きくなるのは、アスファルトマットのセシ断強度、粘度等の温度特性から求まるものと考えられる。

(5) 材料板の表面粗度と摩擦係数 μ の関係

図-12に示すように、静止摩擦係数 μ_s は、大きい順に、材料板B<B'、A、M(M')となる。また、動摩擦係数 μ_k は、全2の材料板ともほぼ等しく、一致するとみて良いと思われる。静止摩擦係数 μ_s は、単に材料板の表面粗度の荒い順とはならなかった。材料板Aは、骨材の平均粒径、表面の凹凸は最も大きいのだが、骨材間の距離が大きいので、B(B')よりもアスファルトマットに骨材が食い込んでいる総面積は小さい。そのため、結局、アスファルトマットと材料板との粘着は、B(B')よりも小さく、静止摩擦係数 μ_s は、Aの方が小さいと言えるだろう。材料板の表面粗度と摩擦係数の関係を考えるときは、骨材の大きさのみならず、アスファルトマットに骨材の食い込む面積を考える必要があると思われる。

図-9

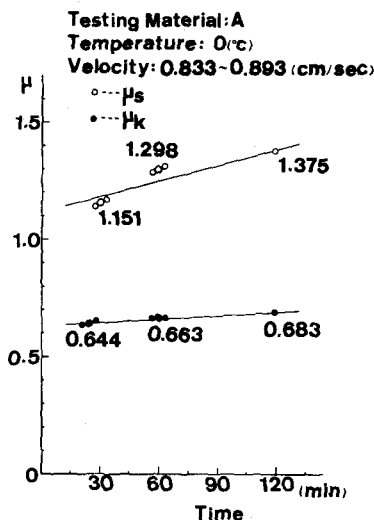


図-10

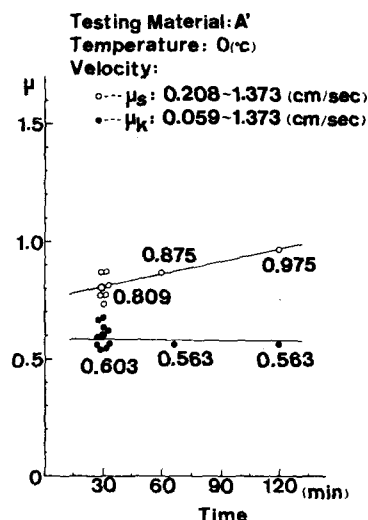
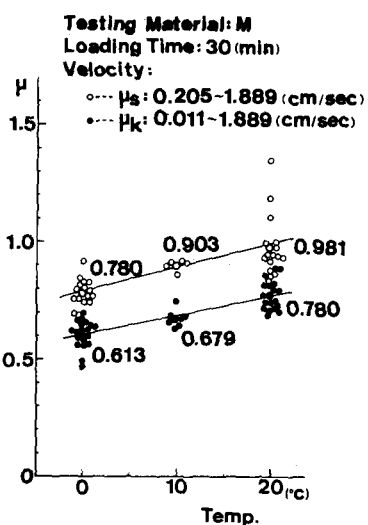


図-11



(6) 温度変化と摩擦係数 μ の関係

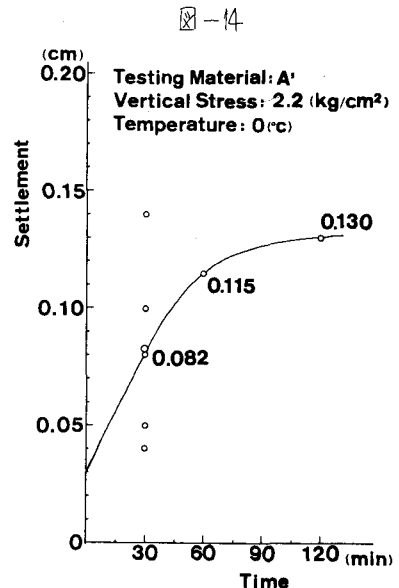
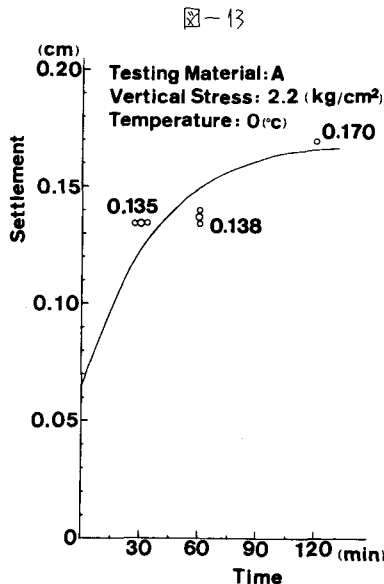
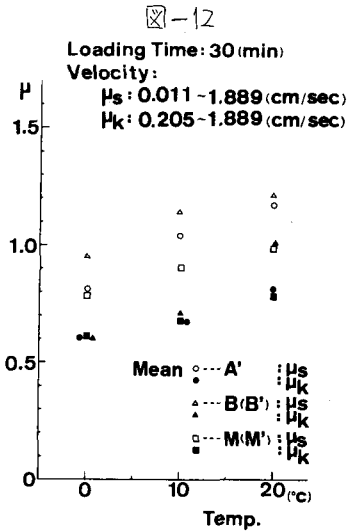
材料板Aにおいて、静止摩擦係数 $\mu_s = 1.375$ 、動摩擦係数 $\mu_k = 0.725$ であり、材料板A'において、静止摩擦係数 $\mu_s = 0.913$ 、動摩擦係数 $\mu_k = 0.625$ であった。本実験では、実質的に載荷時間が60分であるため、図-9、10と比較してみる。これによると、一定温度 0°C の時より、温度変化（温度を 10°C から 0°C に低下）した時の方が、静止摩擦係数 μ_s 、動摩擦係数 μ_k ともに大きい。これは、アスファルトマットが比較的軟らかい 10°C において30分載荷して、その後、載荷しながら30分で温度を 0°C にまで低下させるのであるから、単に 0°C で60分載荷した場合よりも、アスファルトマットと材料板との粘着は強いはずである。よって、温度 0°C の時の摩擦係数より大きくなるはずである。これを実際の場合と比較してみると、北海道を始めとする寒冷地において夏期に設置しておいたケーソン防波堤のアスファルトマットは、捨石マウンドと充分な粘着を生じているため、海水の水温が低下した場合も、静止摩擦係数 μ_s は、結構大きいものであることが期待できる。

(7) 沈下量 S と載荷時間 T の関係

骨材の平均粒径が等しいコンクリート板A、A'を用いて実験を行なう、その点であるが、AとA'では、沈下量が大きく異なる。図-13、14に示すように、両方の材料板とも、載荷した直後には直線的に沈下量が增大するが、次第にその増加率は小さくなり、一定値に近づくようだ。アスファルトマットの沈下量は、材料板がアスファルトマットに食い込む量を表わすため、アスファルトマットの沈下量が、摩擦係数に大きな影響を表わすことは、これまでの考察より充分理解できることであろう。図-13、14に示すように、長期の載荷時間が経過した場合、アスファルトマットの沈下量も大きくなるため、摩擦係数 μ は大きくなることが期待できる。これも、北海道におけるアスファルトマットの適用に関して考えると、載荷時間を長くすれば、沈下量も大きくなり、充分な摩擦係数を示すことが可能であると思われる。従って、北海道のような寒冷地でも、アスファルトマットは、充分採用されて良いと思われる。

4. まとめ

これまで、アスファルトマットの摩擦係数の特性について述べてきたが、アスファルトの摩擦係数は、特に、温度と材料板の表面粗度に影響を受けるようだ。北海道のような寒冷地でアスファルトマットの採用を考慮する場合、ケーソン防波堤の施工時期、捨石マウンド・ケーソン底面の表面形状に充分注意することによって、冬期間においても、



大きな滑動抵抗力を期待できると思われる。

アスファルトマットの摩擦係数の特性についてまとめると以下のようなになる。

- (1) アスファルトマットの相対移動速度 $V < 0.2 \text{ cm/s}$ のときは、静止摩擦係数 μ_s が低下するが、 $V \geq 0.2 \text{ cm/s}$ のときは、静止摩擦係数 μ_s は一定である。また、動摩擦係数 μ_k は、アスファルトマットの相対移動速度 V に無関係に一定である。
- (2) 鉛直応力 σ (又は、載荷荷重) に無関係に、静止摩擦係数 μ_s 、動摩擦係数 μ_k とともに一定である。
- (3) 載荷時間 T が大きくなると、静止摩擦係数 μ_s は大きくなるが、動摩擦係数 μ_k は一定である。
- (4) 一般に温度上昇は、静止摩擦係数 μ_s 、動摩擦係数 μ_k の増加を示す。しかし、温度上昇は、アスファルトマットを軟化させ、材料板との粘着が強まるものの、せん断強度の低下を促すため、温度が高い程、摩擦係数が大きいとは限らない。
- (5) 材料板の表面粗度は、ただ荒いのみで静止摩擦係数 μ_s が大きいということではなく、アスファルトマットに材料板が食い込む総面積が大きく影響を及ぼすと思われる。動摩擦係数は、材料板の表面粗度に無関係に一定である。

低温時における摩擦係数の特性について明らかにしたこと、北海道においてアスファルトマットの採用の有効性を示すことができた。しかし、また低温時におけるアスファルトマットの耐久性については明らかにされておらず、これからの研究が期待される。北海道開発局によ、て、1981年に作製されたアスファルトマットの5年間耐久性が調査されるため、それに期待したい。

5. あとがき

本実験を行うに当り、材料の準備等御協力いただいた、北海道開発局土木試験所港湾研究室の方々に謝意を表す。また、実験を手伝っていただいた、本学4年目学生である和泉恵之、奥村伸人、瀬尾暢宏、平田 亨氏に御礼申し上げる。

<参考文献>

- 増毛港北防波堤スリットケーソン実験堤について：北海道開発局留萌開発建設部留萌港湾建設事務所
和歌山港におけるアスファルトマット工事について総括：運輸省第三港湾建設局和歌山港工事事務所
新防波堤構造開発WG報告書：運輸省港湾局
固体と摩擦の潤滑：パウテン・テイバー 曾田範京訳
土木材料Ⅲ<アスファルト>：菅原照雄，工藤忠夫，有福武治