

大阪工業大学 正員 井田 康夫
大阪工業大学 正員 久保 弘一

1. まえがき

混成防波堤の直立部の安定性については、滑動に対して安定であれば転倒や耐支力についてもほぼ安定であることから、いわゆる $\chi W > P$ (χ : 捨石マウンドと直立部との静止摩擦係数, W : 堤体の水中重量, P : 全波力) により従来論じられてきた。しかし重要なファクターである χ については通常 0.6 を経験的に用いているが、摩擦係数が本来持っているバラツキを考慮するとこの数値が平均値なのか、下限値なのか定かではない。因みに多くの研究者によって得られたこの値を図-1に示すと、実験条件、 χ の定義等の差はあるものの、その広範囲さに驚かされる。したがって、ここでは単純な条件下における摩擦係数の動向を調べるため、直立部の大きさ、捨石の大きさとその固定度を変えて、水中および空中で実験を行った。

また接地圧が等分布になる場合に加えて偏心荷重が作用する場合についても実験を行い、両者を比較した。

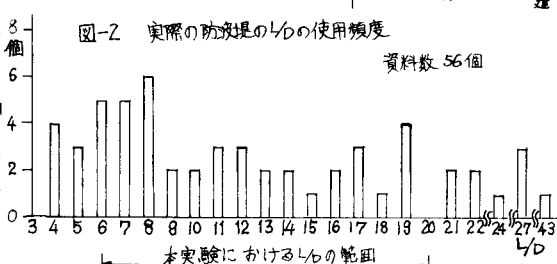
2. 実験装置およびその方法

直立部および捨石の大きさを決めるため、全国の主要56港で実際に使用されている

堤体幅 B と捨石の代表径 D (仮想球の径) を調べ、 B/D とその使用頻度を示したのが図-2であり、 $B/D=4 \sim 21$ に総数の88%が含まれているため、 $10 \sim 20$, $20 \sim 30$, $30 \sim 40$ mmの三種の砂利と表-1に示すモルタル製の堤体模型を組合せ、実験においてもほぼ同程度の $B/D=6 \sim 20$ となるようにした。上記の砂利を用いたマウンドは締固めて上部を敷均した移動床と、空隙部にセメントベ

図-2 実際の防波堤の B/D の使用頻度

資料数 56個



ーストを用いて固定した固定床の2種とし、水中、空中において図-3の装置により滑動限界引張力を求め、 χ を逆算した。引張力は砂箱に連続的に投入した砂によって加重し、スプリングバランスで数値を読んだ。また滑動は3mm以上を完全滑動とし、これ以下はマウンドの変形等起因する微小変動とした。なお、滑動量の測定は目視、ダイヤルゲージ、トランシット

図-3 実験装置

を併用した。

さらに偏心荷重時の χ を調べるため図-3にある小型ブロックを No.2 の堤体上に前方と、後方に積んだ実験を行った。

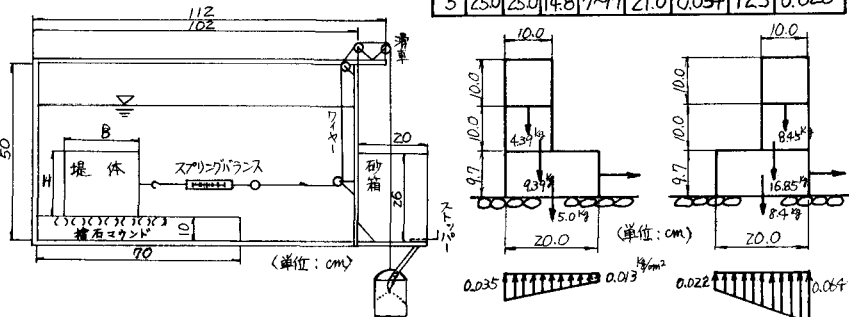
3. 実験結果と考察

まず摩擦係数のように

バラツキの大きい数値を求めるに際し、何回の実験値でその現象を代表させ得るかを調べるため、三種の堤体に各30回の測定を行い、累加平均を求めたものの一例が図-4である。図より回数の増加と共に一定値に収束す

表-1 堤体模型の寸法と重量

No	幅(B)	長さ(L)	高さ(H)	B/D	空 中		水 中	
					重量	接地圧	重量	接地圧
1	19.6	24.8	15.0	7~17	16.6	0.034	9.8	0.020
2	19.2	20.0	9.7	6~13	8.4	0.022	5.0	0.013
3	19.3	19.6	17.8	6~13	15.4	0.041	9.1	0.024
4	19.5	29.9	10.0	9~20	13.2	0.023	7.9	0.014
5	25.0	25.0	14.8	7~17	21.0	0.034	12.5	0.020



ることは明らかであり、許容誤差を1%とすると、測定回数はほぼ15回で良いが、念のためどのケースも20回の測定を行うこととした。

完全滑動における摩擦係数の最小値(f_{min})、平均値($\bar{f}$)、最大値(f_{max})、標準偏差(σ)を示したものの一例が表-2であり、No.2の堤体についてその頻度分布の一例を図-5に、最小値、最大値を図-6に示す。

また偏心荷重作用時においても同様に整理し、表-3に示す。

以上の図表から次のことが判明した。

(1) 捨石マウンドが移動床の場合は水中で $f=0.55\sim0.60$ で、固定床の場合はこれより大きく、 $f=0.75\sim0.80$ である。

(2) f の最大値と最小値の差は移動床で0.2、固定床の場合はこれより0.05程度小さくなる。これは移動床の締め固め状態により差が大きくなるかと思われる。

(3) 同一の捨石マウンドにおいては個々の堤体の f は総平均値に対し、移動床で $\pm 0.02\sim0.03$ 、固定床で $\pm 0.01\sim0.02$ の差を示す。

(4) 捨石マウンドの粒径による f の差異は、移動床の場合は粒径が大きくなるほど f は大きくなる傾向がある。固定床では従来の研究においては粒径が大きくなるほど f は小さくなっているが、今回の実験において10mm級ではその傾向が表われていない。

(5) すべての場合、微小滑動(滑動量3mm以内)は完全滑動より f は小さく、 f 値で0.11程度小さい場合が多い。これは明らかに堤体の滑動に先立って起る捨石マウンドの初期変形のためと思われる。

(6) 水中と空中の f の差は明確な傾向がうかがえない。

(7) 堤体の重量による f の差はせいぜい0.04位であり、 f は堤体重量よりも捨石マウンドの状態に支配される。

(8) 偏心荷重を作用させた場合でも等分布荷重時の f とほとんど変わりなく、この実験の範囲内においては同様表-3 摩擦係数(偏心荷重・20mm級)な値を用いても差支えない。

4. あとがき

3.で得られた水中の移動床での摩擦係数は0.55~0.60であったが、実際に使用するには安全率1.2を考慮した $f=0.45\sim0.50$ が妥当であるが、捨石マウンドの崩れを食い止めた場合には従来用いられている $f=0.60$ で支障はないと思われる。

ただ、ここで求めた f 値は捨石場面に平行な水平力が堤体に作用した場合であり、実際の防波堤に起るロッキング現象では f 値も当然異なる。また水平力も実際に即した繰返し荷重を対象にした研究を進める必要がある。

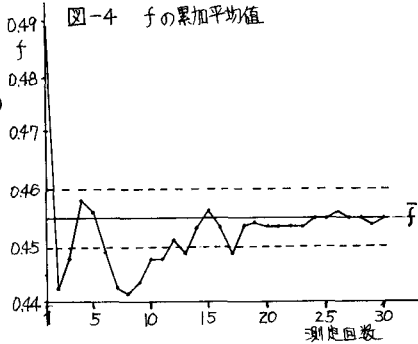


表-2 摩擦係数(20mm級)

堤体番号	接地圧 kg/cm ²	測定回数	摩 擦 係 数 (水 中)							
			移 動 床				固 定 床			
			f_{min}	$\bar{f}$	f_{max}	σ	f_{min}	$\bar{f}$	f_{max}	σ
1	0.020	20	0.44	0.56	0.70	0.065	0.71	0.77	0.85	0.036
2	0.013	20	0.46	0.58	0.70	0.078	0.66	0.77	0.84	0.040
3	0.024	20	0.43	0.57	0.73	0.072	0.68	0.77	0.86	0.050
4	0.014	20	0.43	0.56	0.67	0.074	0.70	0.78	0.84	0.045
5	0.020	20	0.50	0.56	0.66	0.046	0.73	0.78	0.83	0.029
平均				0.57				0.77		

図-5 f の頻度分布 移動床・20mm級・水中・ $n=20$ 個
 $\bar{f}=0.58$ $\sigma=0.078$

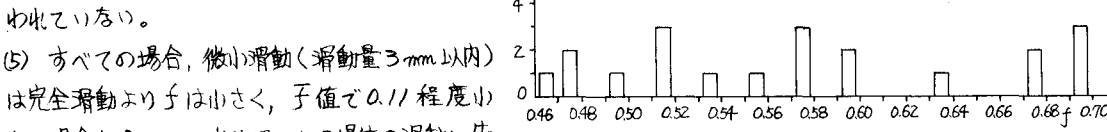


図-6 f の最大値と最小値 固定床・20mm級・水中・ $n=20$ 個
 $\bar{f}=0.77$ $\sigma=0.040$

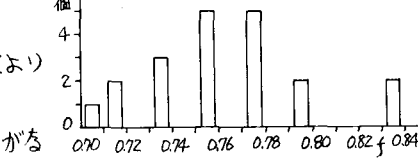
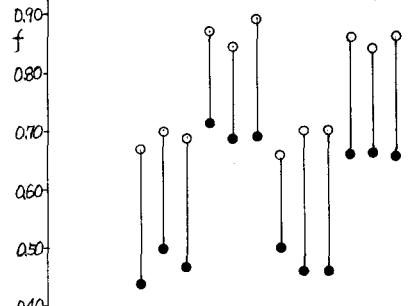


図-6 f の最大値と最小値



場 所	空 中						水 中					
固 定 度	移動床			固定床			移動床			固定床		
マウンド(mm)	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30