

捨石マウンドの均しと支持力の関係について

運輸省第二港湾建設局 横浜調査設計事務所 正会員 田中洋行

同 上

同 上 ○小谷 拓

同 上

高橋盛男

1. はじめに

現在、日本各地で建設されている防波堤は、設置水深20～30m以下の場合が多く、捨石マウンド上にケーソンを設置した混成堤の型式を採用することが多い。ところが、釜石港湾口防波堤に代表されるように港湾構造物の大水深化、大規模化に伴ない、設計あるいは施工上解決しなければならない技術上の課題¹⁾が増えつつある。その一つに、捨石マウンドの均し(ならし)の精度とマウンドの支持力の問題がある。

マウンドの均し作業には、単にケーソン据付面全体の平坦性を確保しケーソン底版にできるだけ均等な反力を伝えるだけでなく、個々の捨石のかみ合わせを良くしてマウンドを一体化し堅固にすることにより、必要なマウンドの支持力や滑動抵抗を保持する目的がある。港湾関連工事では、捨石マウンドのケーソン据付面の均しは、従来から潜土工による手作業で割石を1つずつ動かして行なわれており、また、その均し精度は±5cmと規定されている²⁾ため、均し作業は手間を要するものとなっている。この方式では、作業水深の増大に伴ない作業能率の低下、安全対策などで問題が生じてくるとされており、今後の海洋開発によって大水深構造物の建設が増大した場合、捨石マウンド築造の機械化などが不可欠となる。このため、捨石均し作業の機械化が各機関で検討されている³⁾が、従来と同じ均し精度を望むことは困難であると予想される。

一方、現行の均し精度の根拠については必ずしも明確でなく、経験的に決定されたものと思われる。したがって、現行の許容均し精度を設計上緩和することが可能になるならば、捨石均しの機械化のみならず潜土工の均しの効率化を図ることができる。

今回、このような観点から、陸上ではほぼ実物に近い規模で均し精度を変えた実験マウンドを築造して、偏心傾斜荷重に対する支持力試験を実施し、均しの精度がマウンドの支持力、滑動抵抗におよぼす影響について検討したので報告する。

2. 実験方法

(1) 概要

実験は、図-1に示すように、陸上に築造した捨石マウンドに、高さ2.5m、幅3m、長さ4mの鉄筋コンクリート製の大型模型ブロックを載せ、これに油圧ジャッキにより所定の鉛直荷重を載荷した後、水平荷重を段階的に載荷することにより、捨石マウンドに偏心傾斜荷重を作用させて、載荷ブロックの鉛直・水平変位を逐次測定した。

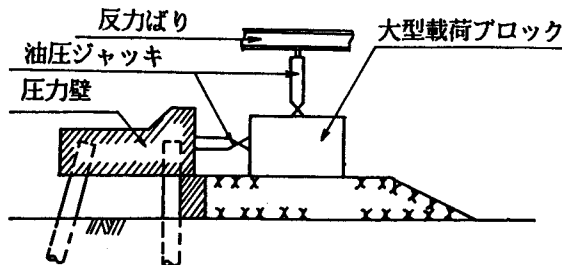


図-1 実験装置

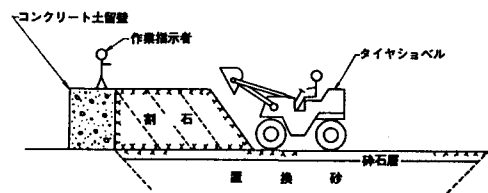


図-2 マウンドの築造方法

(2) マウンドの築造方法と均し精度

実験には、割石の粒径とマウンドの支持力の関係を調べる目的で、50～200kg/個、5～30kg/個(いずれも安山岩)の2種類の大きさの割石を使用した。50～200kg/個の割石は、港湾工事で用いられる最も一般的な規格で

ある。一方、5～30kg/個の規格は、一般の工事ではあまり用いられないものであるが、機械均しや荒均し後の目潰し作業などでは、均し精度を確保するために実際に使用される可能性がある規格である。

マウンドの均し精度は、現行の均し精度と同じ本均し(±5cm)、および荒均し(±10cm、±20cm、±30cm)の計4種類とし、マウンドを各実験ケースごとに造成した。均し作業は、まず、実験マウンドを図-2に示すとおりタイヤショベル(1.8㎡クラス)を使用して、適当に割石を投入してマウンドの天端を揃えながら造成した後、港湾工事で均し作業を実際に行っている潜水士により均し精度を指示して実施し、特に意図的に凹凸を付けることは行なわなかった。

(3) 載荷方法

実験の目的に対応して、水平荷重の載荷方法の異なる「滑動実験」・「支持力実験」の2種類の実験を行なった。前者は、均し精度を変えた場合の滑動抵抗を調べることを目的に計画したものであり、後者は、均し精度、マウンド厚、マウンド肩幅等を変化させた場合の支持力について検討することを目的として実施した。

滑動試験の載荷方法は、図-1に示したとおり、ブロック中央に取付けた2基の鉛直ジャッキの荷重を一定(50, 100, 150, 200tf/基)に保ったまま、ブロック底面より55cm上の位置に水平ジャッキを取り付け設定した水平荷重になるまで載荷した。次に、水平荷重が設定値に達したら直ちに変位の測定を行ない、測定が完了した時点で直ちに次の荷重ステップに移り、これを繰り返して試験を行なった。一方、支持力試験は、滑動試験と同様にして実施したが、鉛直荷重を一定(200tf/基)としたこと、水平荷重の作用高さをブロック底面より200cmとした点が滑動試験と異なる。また、実際の防波堤等に作用する荷重状況を考慮し、ブロック底面から150cmの位置に水平ジャッキを取り付けたケース(No. 30, 31)も実施した(中押しケース)。

各実験中の荷重載荷条件を偏心率と荷重傾斜率について整理すると、図-3に示すとおりとなる。滑動実験での偏心率 $\varepsilon (= 2e/B)$ 、ここに、 e : 偏心率、 B : ブロック底面幅)は比較的小さく、実験中かなり大きな荷重傾斜率 H/V (ここに、 H : 水平荷重、 V : 鉛直荷重)となっている。これに対し、支持力実験では、逆に偏心率 ε は大きくなり、逆に荷重傾斜率 H/V は小さくなっている。このため、大きな潰し圧(マウンド底面反力を台形または三角形分布と仮定したときに、載荷ブロック端部に生じるマウンドの最大反力)が発生している。

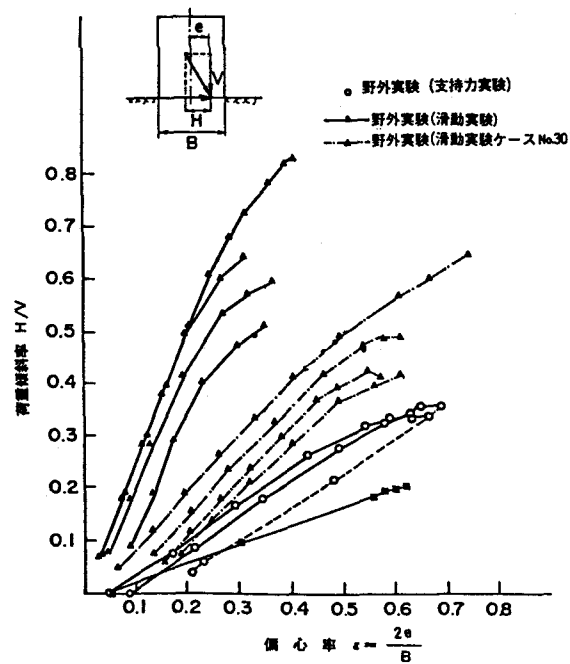


図-3 実験中の荷重条件

表-1 実験ケース

実験項目	マウンド 肩幅×厚さ (m)	割石重量 (kg/個)	ケース No.				備 考
			5cm	10cm	20cm	30cm	
滑動実験	3 × 2	5 ~ 30	3, 7, 8	—	13	17	
		30	—	—	—	31	中押しケース
		50 ~ 200	1	9	—	12	
支持力実験	3 × 2	5 ~ 30	3, 7, 8	—	13	17	
			11	—	—	14	
			30	—	—	31	中押しケース
		50 ~ 200	1	9	12	15	
	3 × 1	5 ~ 30	5	24	25	26	

(4) 実験ケース

以上述べた実験ケースを整理すると、表-1のようになる。なお、均し方法及び割石の種類については前述のとおりであるが、マウンド基本形状は、マウンド厚2m、肩幅3mとし、一部ではマウンド厚の影響を見るため、マウンド厚1mのケースも加えて試験を行なった。

3. 実験結果

(1) 均し精度の違いによるマウンド均し面の特性

マウンド均し面の出来形を調べるために、均し作業を行なった後、載荷ブロックをマウンドに設置する前に、マウンド天端の測量を実施した。天端測量は、図-4に示すように、直径10cmの円盤を底に取り付けたスタッフとレベルを用いて25×25cmのメッシュ間隔で測定した。各ケースの測定結果より、マウンド天端の均しの精度を標準偏差 σ で表わすと図-5のようになる。図-5からわかるように、均し精度が荒くなるのにしたがって標準偏差も大きくなっている。マウンドの均し作業は、目標とする均し精度のみを指示して行なっているのも、同じ精度を指示しても、重量の小さい割石、すなわち粒径の小さい割石を用いた方が均し精度が良くなる傾向にあることがわかる。

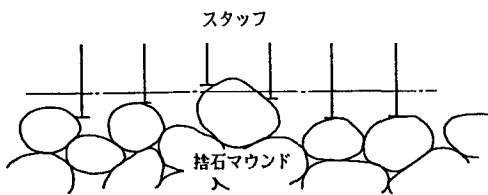


図-4 マウンド天端の測量方法

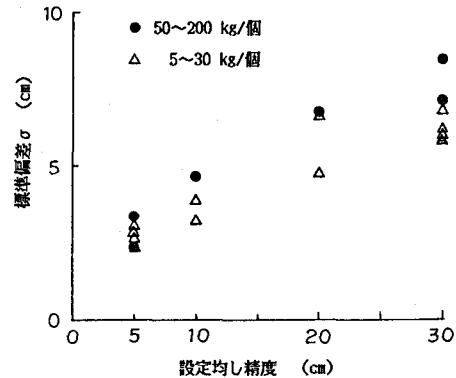


図-5 設定均し精度と標準偏差の関係

(2) 載荷試験における載荷ブロックの変位

滑動実験および支持力実験での、各設定水平荷重におけるブロックの変位状況の代表例を示すと図-6のようになる。図-6からわかるように、滑動実験、支持力実験ともに、かなりブロックが回転しマウンドにめり込む状況となっている。また、その傾向は荷重偏心度の大きい（押し圧の大きい）支持力実験の方が強いことがわかる。

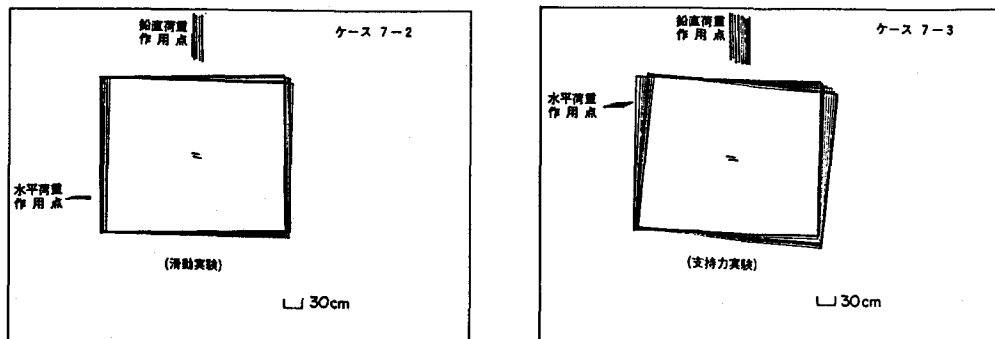


図-6 載荷ブロックの変位状況

(3) 均し精度と滑動抵抗の関係

滑動実験で得られた水平荷重と水平変位の関係の例(50~200kg/個、鉛直荷重342t)を図-7に示す。滑動実験の結果を均し精度(標準偏差 σ)と摩擦係数 $\mu_{\max}$ の関数に整理すると、図-8に示すようになる。摩擦係数 $\mu_{\max}$ は、図-7で得られた最大水平荷重 H を鉛直荷重 V で除して求めた。これらの図からわかるように、割石重量が5~30kg/個の場合は、均し精度が荒くなるのにつれて摩擦係数の低下する傾向が見られるが、割石重量50~200kg/個の場合は、均し精度の違いによる摩擦係数の低下は見られない。また、鉛直荷重 V が増加すると摩擦係数 $\mu_{\max}$ が大きく低下する傾向が認められ、均し精度が優れている場合(標準偏差1.0cm)でも $\mu_{\max}$ は0.85~0.45の範囲で変化している。

実験中、載荷ブロックと捨石マウンドの滑りよりも捨石マウンド内での割石の移動によりブロックが変位していることが観察された。また、滑動実験後、載荷ブロックを取り除いて、マウンド表面の割石の移動状況を観察したところ、ブロック前し側の割石がブロックの移動と同程度に移動していることが確認された。この時、割石の移動が見られた範囲は、ブロック底面の反力分布と良く対応していた。これらのことから、滑動実験では、ブロック底面の滑りとマウンド内の捨石のすべりが、それぞれ複合して起きているものと考えられる。

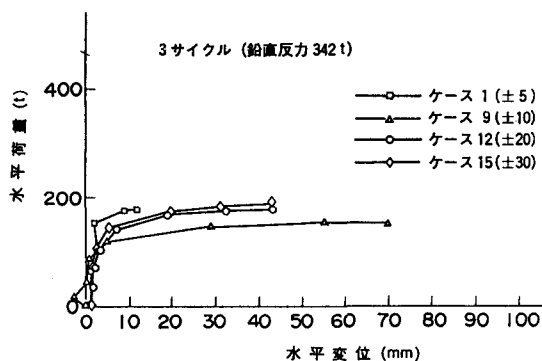


図-7 水平荷重と水平変位の関係(滑動実験)

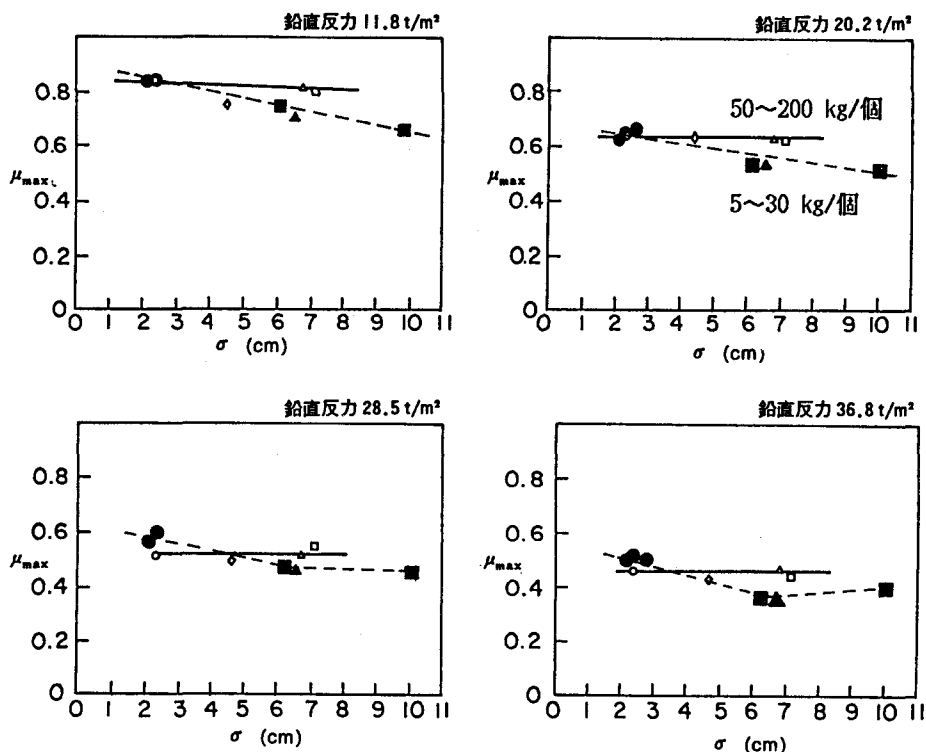


図-8 均し精度(標準偏差)と摩擦係数の関係

次に、滑動実験の各鉛直荷重において測定した最大水平力Hでの鉛直力Vと水平力Hとの関係をまとめると、図-9～11に示すようになる。一般に、偏心傾斜荷重下の支持力は図-12のようになり、鉛直力Vが小さいと、マウンド表面とブロック表面の摩擦係数 $\mu (=H/V = \tan \alpha)$ は一定の値となるが、Vまたは偏心量eが大きくなると μ は減少する。したがって、鉛直力Vが大きくなると発揮される最大水平力が小さくなり、図-8に示したように、鉛直力Vが大きくなると摩擦係数 μ が小さくなってしまったものと考えられる。図-9～11も、この傾向を表わしている。ここで、図-9は、割石重量が5～30kg/個で水平荷重の作用高さが55cmのケース、図-10は、割石重量5～30kg/個で水平荷重の作用高さが150cmのケース、図-10は、割石重量50～200kg/個で水平荷重の作用高さが150cmのケースである。これらの図から、鉛直力Vの増加に伴う最大水平力の増加の割合は減少すること、また、図-9と図-10から、作用高さが高くなると偏心量eが大きくなるため、発揮される最大水平力が低下することがわかる。一方、マウンドの均し精度と最大水平力について検討すると、割石重量5～30kg/個の場合、均し精度を緩和すると発揮される最大水平力は低下するが、図-11の割石重量50～200kg/個の場合は、均し精度が異なっても発揮される最大水平力は低下しないことがわかる。

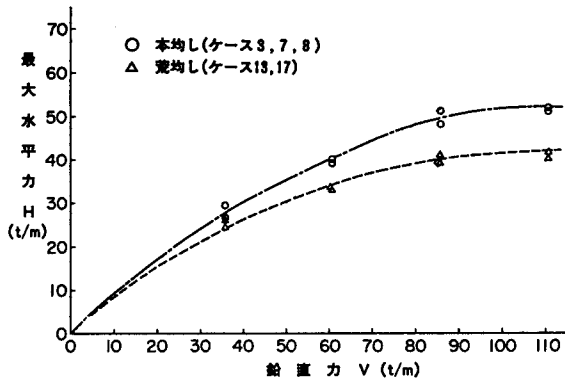


図-9 鉛直力と水平力の関係
(5~30kg/個、作用高さ55cm)

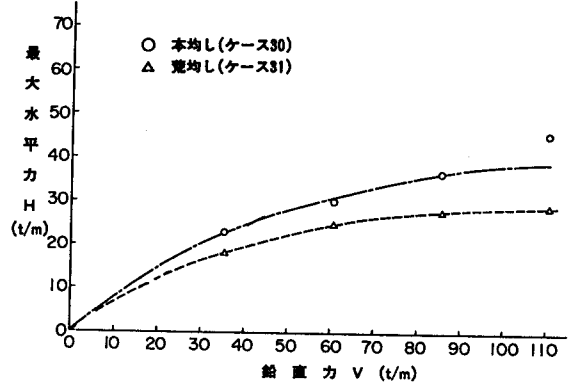


図-10 鉛直力と水平力の関係
(5~30kg/個、作用高さ150cm)

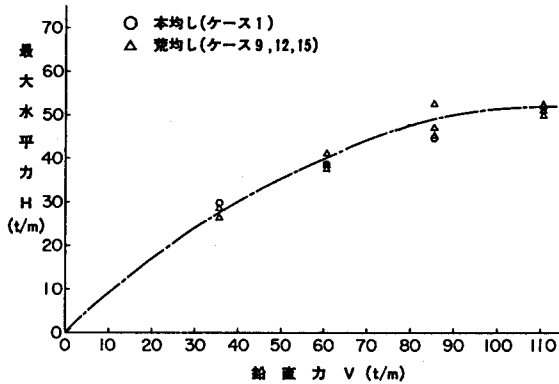


図-11 鉛直力と水平力の関係
(50~200kg/個、作用高さ55cm)

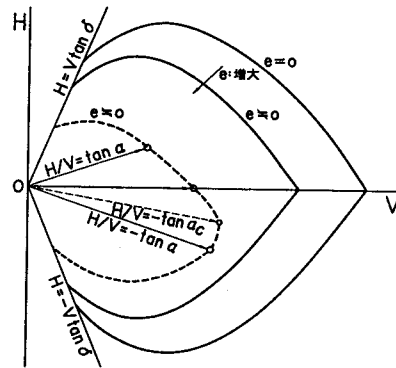


図-12 偏心傾斜荷重下の支持力

(3) 均し精度と支持力の関係

支持力実験の結果についても、滑動実験と同様、最大水平力と均し精度との関係を見ると、図-13のとおりとなる。なお、支持力実験では鉛直荷重を一定に保って実験を行なっているため、最大水平荷重が、マウンドの支持力を表わす一つの指標と考えて良い。図-13から、支持力実験においても、割石重量5~30kg/個のケースでは均し精度が荒くなると発揮される最大水平力が低下する傾向が見られるが、割石重量50~200kg/個のケースでは、そのような傾向は認められないことがわかる。

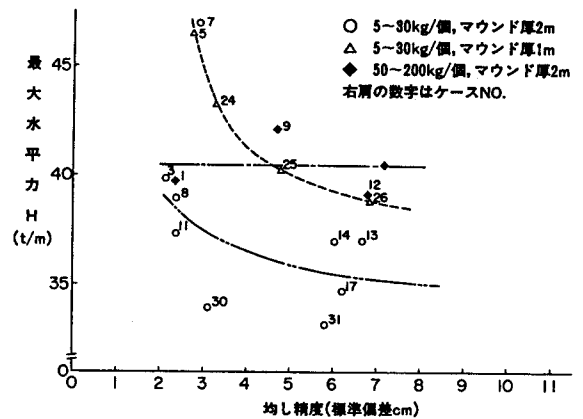


図-13 均し精度と最大水平力の関係

4. まとめ

今回の一連の実験から得られた成果をまとめると次のようになる。

- ① 同じ均し精度を目標に均し作業を行なう場合でも、重量の小さい割石を使用したの方が均し精度が良くなる傾向にある。
- ② 滑動実験の結果、捨石重量5~30kg/個で均し精度が荒くなると最大水平荷重が低下するが、割石重量50~200kg/個の場合では均し精度の違いによる差は見られない。これは、5~30kg/個の場合は均し精度を緩和することにより、マウンド表面での個々の割石のかみ合わせや安定性が悪くなり、発揮される最大水平力が低下したものと考えられる。
- ③ 支持力実験においても、滑動実験と同様な結果が得られ、割石重量5~30kg/個のケースでは、均し精度の違いによりマウンドの支持力が低下する傾向が見られたが、割石重量50~200kg/個のケースでは、そのような傾

向は認められなかった。

④以上のことから、50～200kg／個の割石を用いれば、荒均し程度に均し精度を緩和しても滑動抵抗や支持力の観点から設計上の問題はほとんどないものと考えられるが、均し精度が荒くなるとケーソン底版に集中荷重が作用する可能性があり、ケーソンの適切な補強等を検討する必要であると考えられる。

5. おわりに

割石重量および均し精度の違いによる支持力、滑動抵抗の差に対する明解な説明は困難ではあるが、同じ均し精度であれば、重量(粒径)の大きい50～200kg／個の割石の方が5～30kg／個の割石に比べてよくかみ合っているため、±5～30cmの均し精度の範囲では、マウンドの支持力は低下しないものと考えられる。一方、均し作業において、マウンド表面の凹凸の程度のみに着目すれば、重量(粒径)の小さい割石の方が均し易い。しかし、割石の粒径を小さくして所要の精度を得ようとする、マウンドの支持力等の低下をまねく可能性がある。つまり、マウンドの支持力の観点から考えれば、表面の凹凸の程度よりも表面の割石のかみ合わせを向上させることが重要である。

したがって、均し精度の基準等の見直しを検討する場合や捨石均し機械の開発に当たっては、この点に十分配慮する必要があると考えられる。

参考文献

- 1)大堀晃一，小谷 拓，久米秀俊：釜石港湾口防波堤の設計に関する技術検討，第10回海洋開発シンポジウム，土木学会，1985年6月。
- 2)運輸省港湾局編：港湾工事品質・出来形管理基準，日本港湾協会，213p。
- 3)中川英毅，外山進一，上園 晃：大水深防波堤捨石マウンド築造に関する技術的検討，第11回海洋開発シンポジウム，土木学会，1986年6月。