

混成防波堤捨石マウンドの摩擦係数について（第2報）

森 平 倫 生*・足 立 一 美**

1. ま え が き

混成防波堤直立部の安定計算に用いられる滑動・転倒およびマウンドの支持力の3条件のうち、一般的には滑動に対する安全率が最も小さく、堤体の所要断面は、滑動に対する安定性から決定される。このことは、簡単な波力モデルによる計算を行えば、ただちに首肯されるであらう。

この滑動に対する安全率は、堤体と捨石マウンドとの摩擦係数に比例することは周知のとおりである。したがって摩擦係数が大きいほど直立部の重量が小さくて済むことになり、経済的な防波堤構造となる。

一方、今後のマウンドの大水深化あるいは大量急速施工の観点から、これらの条件に適合した均し方法のもとでの摩擦係数を把握することが要請されている。

このような情勢にかんがみ、本研究は以下の3点を明らかにすることを目的として、実物に近い模型堤体を用いて摩擦実験を行ったものである。

- ① 捨石マウンドの均し方法と摩擦係数の関係を把握すること。
- ② 堤体底面に凹凸をつける等の異型底面の採用で、摩擦係数が上がるかどうか探ること。
- ③ 堤体の振動等によるマウンドの締め具合いと、摩擦係数の関係を調べること。

以上の3点のうち、①および②は前報¹⁾でほぼ解明されたので、本報では③に主眼をおいた。

波の作用による防波堤の振動については、村木・高島が羽幌港において現地観測を行い、その存在を確認している²⁾。堤体の振動によるマウンドの締め固め効果は、防波堤の耐波安定性の面から重要な現象である。

2. 実験方法

(1) 捨石マウンド

基礎捨石マウンドは、地盤を掘削整地後、現地の防波堤と同様帆布を敷き、その上に50~200kg/個の捨石と10kg/個内外の均し石を用いて、長さ16.5m、幅10m、

荒 均 し

(均し精度 ±20 cm)



均し石均し

(均し精度 ±5 cm)

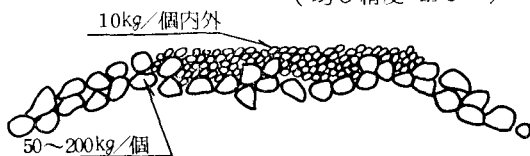


図-1 マウンドの均し方法

厚さ1.5mに造成した。

マウンド表面の均しは、均しの省力化あるいは機械均しに適すると思われる図-1に示す2種類である。これらは間詰石均しに比較して、十分な摩擦係数が得られない均し方法であり、それぞれ次の意味をもっている。

荒均し：本均しを省略してケーソンを据付けることを考えた場合の均し

均し石均し：50~200kg石で±30cm程度に均した上に10kg内外の均し石で±5cmの精度に仕上げたものの。

なお、マウンドの均しに当っては、現地マウンドとの類似性を重んじ、石工が潜水夫の指示の下に成型した。

(2) 堤体の底面形状

コンクリート製の1個13~15tのブロック4個を積み重ね、模型堤体とした。最下端のブロックの底面形状は、図-2に示すように平坦を含め3種類である。このうち、下駄歯状底面および突起底面は、前回実験した5種類の底面形状のうち、効果の著しいものである。

(3) 実験装置

マウンド上の模型堤体を37tのコンクリートブロック3個をアンカーにして、油圧ジャッキで引張った。引

* 正会員 工修 (前)運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所長

** 正会員 工修 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所

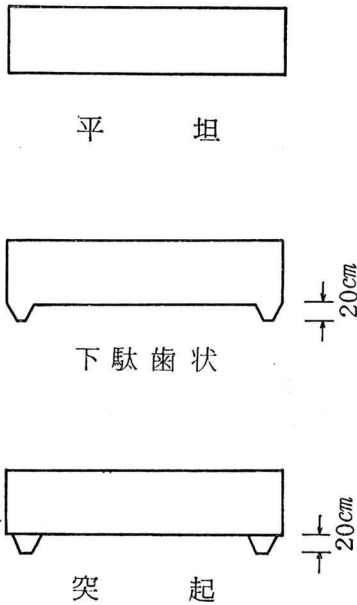


図-2 ブロック底面形状（断面形）

張速度は 1.1cm/sec.～1.4cm/sec. である。

水平引張力および模型堤体の水平変位量の測定には、それぞれロードセル、変位計を用い、動歪アンプを通して電磁オシログラフに出力した。

実験装置の概略を 図-3 に示す。

（4）実験ケース

実験ケースは2種類のマウンド均し形状に対し、3種類の堤体底面形状の組み合わせを考えた。さらに下駄歯状底面に対しては、根止めブロックを堤体の前面に埋め込んだ実験を行い、表-1 のとおり7ケースの摩擦実験を行った。

表-1 実験 ケース

マウンド均し		底面形状および接地圧	
均し	底面形状	均し	底面形状
平坦	6.25 t/m ²	1 ケース	1 ケース
下駄歯状	6.30	2	1
突起	6.32	1	1

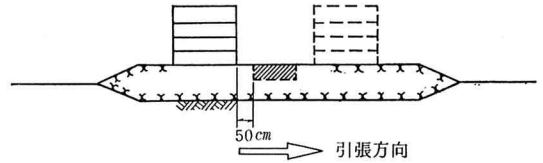


図-4 根止めブロックの設置位置

なお同一のケースにつき、マウンドの前部と後部で 1 回ずつ測定した。

根止めブロックの設置位置は、図-4 に示すとおりである。

（5）マウンドの締め固め

混成防波堤の直立部は波の作用を受けてロッキングを起し、マウンドを徐々に締め固めていくものと思われる。このような堤体のロッキングによるマウンドの締め固め効果を把握するために、マウンドをバイブロハンマーで締め固め、摩擦係数を測定した。

波の作用に基づく堤体のロッキング現象を陸上でモデル化することはかなり難しいので、ここでは簡単にバイブロハンマーによるマウンドの締め固めを行い、締め固めによる摩擦係数の変化の定性的な傾向を探ることを意図した。

締め固めは写真-1 に示すように、マウンドに重量 14.2t のコンクリートブロックを載せ、これにバイブロハンマーを装着して行った。一つのマウンドに対する締

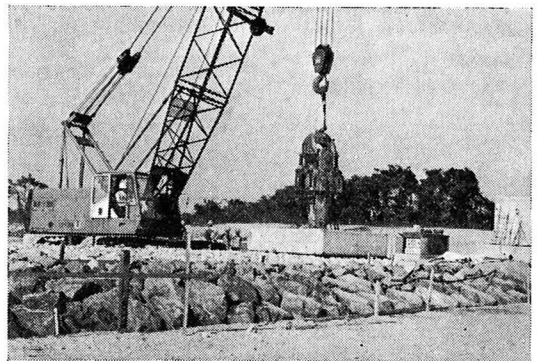


写真-1 マウンドの締め固め

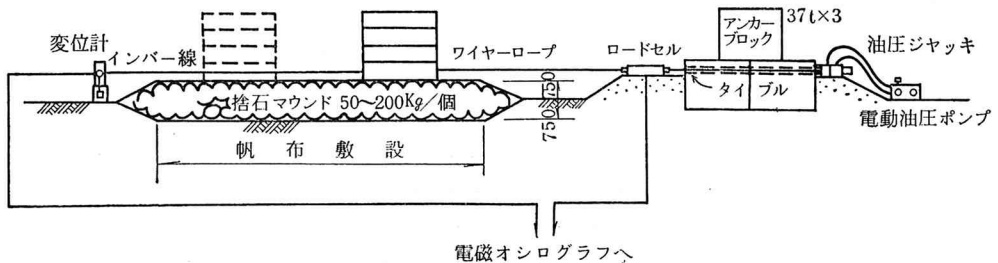


図-3 測定系

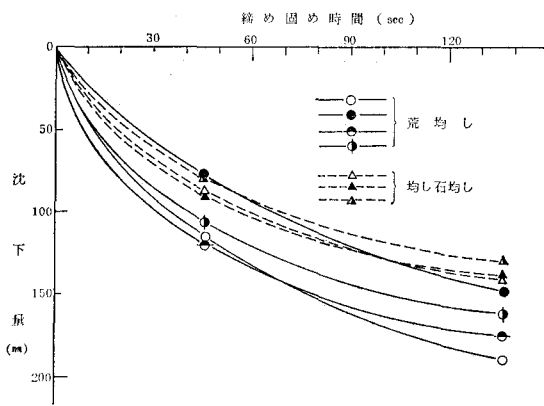


図-5 締め固めによるマウンドの沈下量

め固めを2回に分けて最初に45秒間の締め固めをマウンド全体に対して行った後、さらに90秒間締め固めた。

すべての実験ケースに対して同一の締め固め条件となるように、マウンドの前・後部で実験が完了した後、全マウンド体積のおよそ1/2の捨石をオレンジバケットにて除去し、マウンドを形成し直した。

図-5に締め固めによるマウンドの沈下量を示す。ただし、これはマウンド自体の沈下量ではなく、締め固めに用いたコンクリートブロックの沈下量であるが、締め固め時間とともにマウンドが沈下していく状況や、135秒間の締め固めによって、十分マウンドが締め固められていることがわかる。

また、荒均しに対する締め固め効果が大きいことも明らかである。

3. 実験結果

引張荷重と堤体の変位量の測定結果から、引張荷重—変位量グラフを描き、前報に示した4つの方法によって摩擦係数を求めた。この結果を表-2に示す。

なお、堤体の底面に突起を有する場合、引張荷重(F)を堤体重量(W)で除した $\mu = F/W$ は、堤体の水平変位に対する抵抗係数であるが便宜上、摩擦係数と総称する。

4. 考 察

(1) マウンドの均し方法与摩擦係数の関係

平坦底面の場合について、マウンドの均し方法による摩擦係数の相違をみてみると、実験データが少なく明確な結論は下し難いが概ね、次のことが結論できる。

① 荒均しは $\mu_{const} = 0.70$ に対し、均し石均しでは $\mu_{const} = 0.60 \sim 0.65$ であり、荒均しの方が摩擦係数がやや大きい。

② 荒均し、均し石均しとも、設計に用いる0.6以上の摩擦係数が得られている。

したがってマウンドが締め固められれば、 $\pm 20\text{ cm}$ の荒均しあるいは $\pm 5\text{ cm}$ の均し石均しでも、現行の設計に用いられている0.6以上の摩擦係数は確保できるものと思われる。

(2) 堤体の底面形状と摩擦係数の関係

堤体の底面に突起をつけ、滑動抵抗の増加を図った。この堤体底面の突起が、マウンド内に食い込みマウンドと一体となったときに、十分その効果を発揮するものと思われる。このような見地からマウンドを締め固めた

表-2 摩 擦 係 数

均 し	底 面 形 状	μ_{max}	μ_{max}	μ_{const}	$\mu_{gs}=5\sim30\text{ cm}$			
					$S=5\text{ cm}$	$S=10\text{ cm}$	$S=20\text{ cm}$	$S=30\text{ cm}$
荒 均 し (締)	平 坦	0.75	0.70	0.70	0.53	0.59	0.65	0.70
		0.73	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
	下 駄 歯 状	1.19	1.13	1.16	0.76	0.91	0.98	1.08
		1.11	1.02	1.01	0.76	0.90	1.01	1.00
	突 起	0.85	0.79	0.80	0.62	0.80	0.80	0.80
		0.97	0.81	0.84	0.70	0.70	0.83	0.95
	下 駄 歯 状 (根止めブロック)	1.45	1.36	1.4 以上	1.11	1.30	1.41	
		1.34	1.19	1.3 以上	0.94	1.09	1.28	
均 し 石 均 し (締)	平 坦	0.68	0.63	0.65	0.63	0.64	0.64	0.65
		0.70	0.60	0.60	0.59	0.60	0.60	0.60
	下 駄 歯 状	1.18	1.08	1.08	0.95	1.03	1.08	1.08
		1.15	1.01	1.06	0.90	0.94	0.97	1.04
	突 起	0.87	0.78	0.82	0.72	0.72	0.75	0.82
		1.04	0.87	0.82	0.78	0.95	1.01	0.86

後、突起部分の捨石を取り除き、堤体を据付け、その後さらにバイプロハンマーにより堤体とマウンドとをなじませた。

実験結果は表-2に示したとおりである。荒均し・均し石均しのいずれにおいても、突起の効果が如実に現われており、とくに下駄歯状底面の場合に顕著である。下駄歯状底面では堤体がやや前傾し、突起がマウンド内に深く食い込んでいくような状態であった。

(3) 根止めブロックの効果

摩擦実験を行ってみると、一般に堤体周辺の捨石の移動が認められ、この移動量が大きいと十分な摩擦係数は得られないようである。したがって、捨石の剛体運動を拘束することによって摩擦係数の増加が期待できる。このような見地から、根止めブロックを堤体前面に設置した。

図-6 は根止めブロックの効果をみるために、摩擦係数と堤体の変位量の関係を示したものである。この場合の堤体底面の下駄歯状突起は、マウンド内に埋め込まれた状態であるため、堤体と根止めブロックの間の捨石は移動せず、破壊されながら堤体と根止めブロックの間から搾り出されるような状態であった。これらのケースでは、堤体が 20 cm 以上変位しても摩擦係数は一定にはならず、なお増加する傾向を示した。図-6 より根止めブロックを設けた場合には、変位量 20 cm に対する摩擦係数は、根止めブロックがない場合に比較して 20% 以上増加すること、さらに堤体の変位量が小さくても、0.6 以上の摩擦係数が得られることなどが判明した。

堤体の底面に突起をつけた場合には摩擦という物質の

表面現象のみではなく、マウンド内部の剪断破壊も同時に進行するものと思われるが、その場合には根止めブロックは、剪断破壊の進行を阻止しようと考えられる。

(4) マウンドの締め固め効果

a) 締め固め度の評価

締め固め効果の検討に先立ち、バイプロハンマーによる締め固め度を現地の防波堤でのマウンドの締め具合と比較しておくことが必要である。マウンドの沈下量に関する現地観測例を参考に、バイプロハンマーによるマウンドの締め固め度の評価を行ってみよう。

第一港湾建設局の工事課では、防波堤の沈下量を調査している⁹⁾。その結果によれば、防波堤は蓋コンクリートを打設した状態で 10 cm 程度沈下し、上部コンクリートの荷重と越冬期間のロッキング等が加わって、全体で 30~40 cm 程度の沈下でほぼ安定する。この調査では冬期の堤体の沈下量がかなり大きいことから、その原因を堤体のロッキングに求めている。

調査の対象となった捨石マウンドの厚さは 2.0~3.5 m であるから、上記の越冬による沈下量はマウンド厚の 10% 程度である。一方、この実験では荒均しマウンドで 7.3~8.5%、均し石均しマウンドで 4.2~5.5% である。

以上の結果から判断すれば、現地のマウンドは波によってこの実験のマウンドと同等あるいは、それ以上に締め固められていると考えられる。

b) マウンドの締め固め効果

図-7 および 図-8 はマウンドを締め固めた場合の摩擦係数と、締め固めない場合の摩擦係数を比較したものである。これらの図において、(締)は締め固めた場合を、(緩)はほぐした場合を示している。実験データはすべて平坦底面の場合である。

荒均しでは、マウンドを締め固めた場合 $\mu_{\text{const}} = 0.70$ であるが、締め固めないと $\mu_{\text{const}} \approx 0.60$ であり、マウ

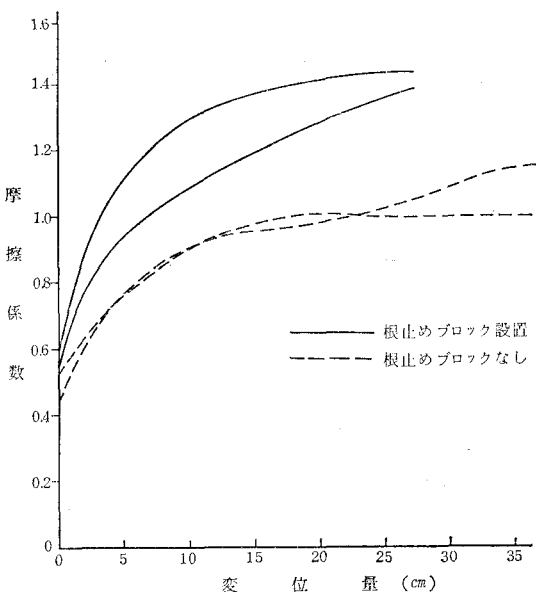


図-6 根止めブロックの効果

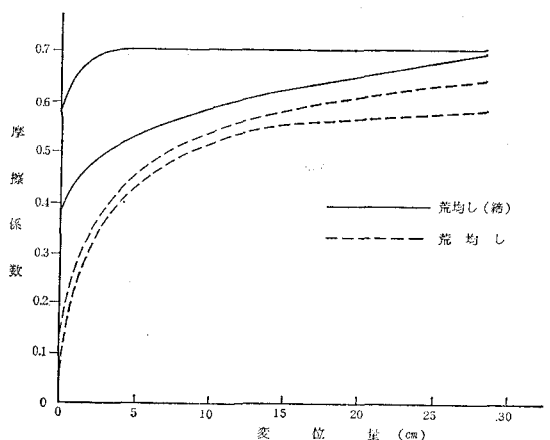
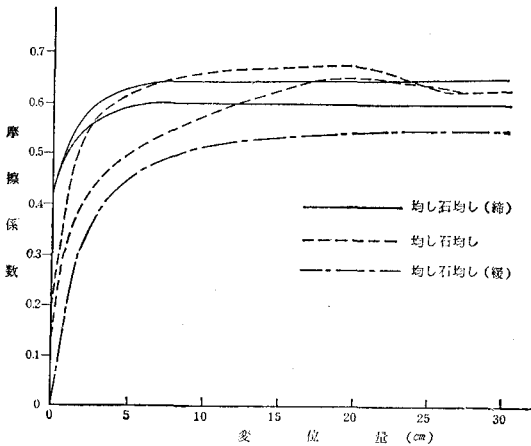


図-7 マウンドの締め固め効果 (荒均し)



図—8 マウンドの締め固め効果(均し石均し)

ンドを締め固めることによって0.1程度摩擦係数が増加していることがわかる。均し石均しでは締め固めた場合 $\mu_{\text{const}}=0.62$ に対し、締め固めない場合には $\mu_{\text{const}}=0.65$ であり、締め固めによる増加は認められない。均し石均しではこのように締め固めた場合の方が小さいが、これは実験値のばらつきとして捉えるべきで、締め固めることによって摩擦係数が低下するわけではなからう。均し石均しでは変位量が大きいと、締め固め効果がみられない。これは均し石の層厚が薄く、均し石の層全体が堤体とともに滑動するためであろう。捨石のかみ合わせを悪くした均し石均し(緩)では、 $\mu_{\text{const}}=0.54$ であり通常の均しに比較してかなり低い値である。

荒均しおよび均し石均しに共通した現象は、マウンドを締め固めた場合、微小な変位量における摩擦係数がかなり大きくなることである。

これは、マウンドの締め固めによって、捨石および均し石のかみ合わせが良くなり、剛体的な運動が拘束されるためと思われる。

5. ま と め

この実験によって得られた結果を要約すれば、以下の

とおりである。

- ① 締め固めを行ったマウンドにおいては堤体の底面が平坦な場合、荒均しと均し石均しでは前者の方がやや大きい摩擦係数が得られ、いずれの均し方法においても摩擦係数は0.6以上である。
- ② 下駄歯状底面あるいは突起底面では滑動抵抗の増加が大きく、とくに前者の場合に顕著である。しかしながら、これらのタイプではマウンドが締め固まった状態でも、マウンドの大きな変形を伴う。
- ③ 港内側に設置した根止めブロックの効果は著しく、マウンドの変形が少なく、滑動抵抗が大きい。
- ④ マウンドの締め固めは、堤体の微小変位における摩擦係数を著しく増大させることが認められた。ただし堤体の変位量が大きい場合には、締め固めによって荒均しで摩擦係数は0.1程度増加しているが、均し石均しでは締め固めの効果は認められなかった。

現地防波堤の沈下量および実験におけるマウンドの振動締め固め等の考察を通じて、完成後幾度か越冬し激浪にさらされた防波堤が、完成後間もない防波堤に比較して滑動に対する抵抗力が大きいであろうことが推察できた。

さらに底面の突起あるいは根止めブロックによって、滑動抵抗が著しく増大することが判明した。経済的な防波堤建設のため、今後設計および施工上の検討を通じ現地への適用を図りたい。

最後に、この実験は昭和53年度に当事務所が実施したものであることを付記し、多数の関係者一同に深甚の謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 森平倫生・木原 力・堀川 洋: 混成防波堤捨石マウンドの摩擦係数について、第25回海講演文集, pp. 337~341, 1978.
- 2) 村木義男・高島和夫: 波による防波堤の振動について、第12回海講演集, pp. 198~204, 1965.
- 3) 第一港湾建設局工事課: 混成防波堤構造における堤体の沈下について、第13回管内工事報告会資料, 1975.