

サンド マスチック堤の揚圧力について

加 川 道 男*・中 丸 博 信**

1. は し が き

防波堤および海岸保全施設の設計に際し、安定計算項目の一つとして、揚圧力の検討を行なうことが港湾工事設計要覧に示されている。そして、重複波では堤体前趾底面において $P_u = w H / \cosh \frac{2\pi h}{L}$ 、後趾で 0 となるような三角形分布に静水圧浮力を加算し、碎波では、 $P_u = 1.25 w H$ に静水圧浮力を加算することになっている。

しかしながら、堤体の基礎部の構造が変化すると、一概に定められた揚圧力による転倒モーメントが働くこととはならないことは、永井教授の研究¹⁾にもあり、相対的に天端の低い防波堤が多いわが国にあっては、便宜上、堤体が全部海中に没した状態を想定して浮力を考えている例が多い。

この考え方は堤体の形状によって有利な場合と不利な場合とが生じ、天端の高いときは安全すぎ、低いときは危険側になるという概念があった。

最近になって、堤体の基礎捨石部分にサンド マスチックを注入する水中固結法が施工されるようになってから、捨石相互を固結化して耐波性を上昇させることにより、捨石の大きさを減少させる設計を可能にしている。またこのサンド マスチックを施工することによって、副次的に堤体の底部にかかる揚圧力を減少させる現象が起きるのではないか、という点に着目し、より有利な設計方法を探ることを目的としてこの実験を進めた。

2. 実験設備および実験方法

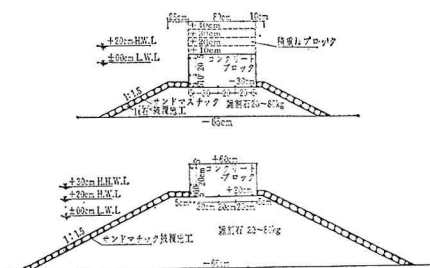
(1) 実験設備

実験に使用した水路は、幅 1.5 m、深さ 1.5 m、長さ 66.0 m のコンクリート製一部側面ガラス張りの 2 次元造波水槽である。造波装置は、ペンデュラム型の造波板を 3φ 220 V 10 HP の原動機で作動させるものである。波高および周期は偏心板およびブリーによって可変でき、最大波高は約 45 cm、周期は 0.6~3.0 秒の範囲である。

(2) 模型製作

模型は、和歌山下津港の有田防波堤をモデルとして 1/10 縮尺を考え、これにあわせて捨石マウンドおよび

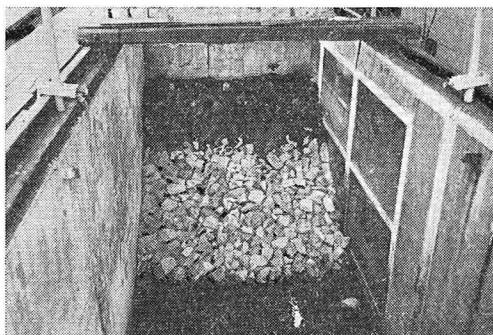
図-1 模型断面図 (A, B)



上部コンクリートを製作した。計測用の波圧計を設置するために、コンクリート堤体中央部に鋼板製の完全水密箱をとりつけ、そしてコンクリート堤体と比重を同一にするために相当量の鉄くずを中詰として用いている。

被覆捨石表面は消波工を作らずに、1 kg (1 t 石) 石を張り、マスチックなし、マスチック注入の両方に使用した。

写真-1



捨石マウンドの中詰には 0.02~0.08 kg/個 の砂利を入れ、サンド マスチックは 60 kg/m² (現地に換算して 600 kg/m² で 1 t 張石に対する空けきを約 100% 充填する量) とし、アスファルト 16~22%, ダスト 18~25%, 砂 66~55% のものを使っている。

(3) 測定の方法および計測機器

波の周期はストップウォッチにより測定し、波高は沖波波高として電気抵抗線式波高計によって連続記録した。

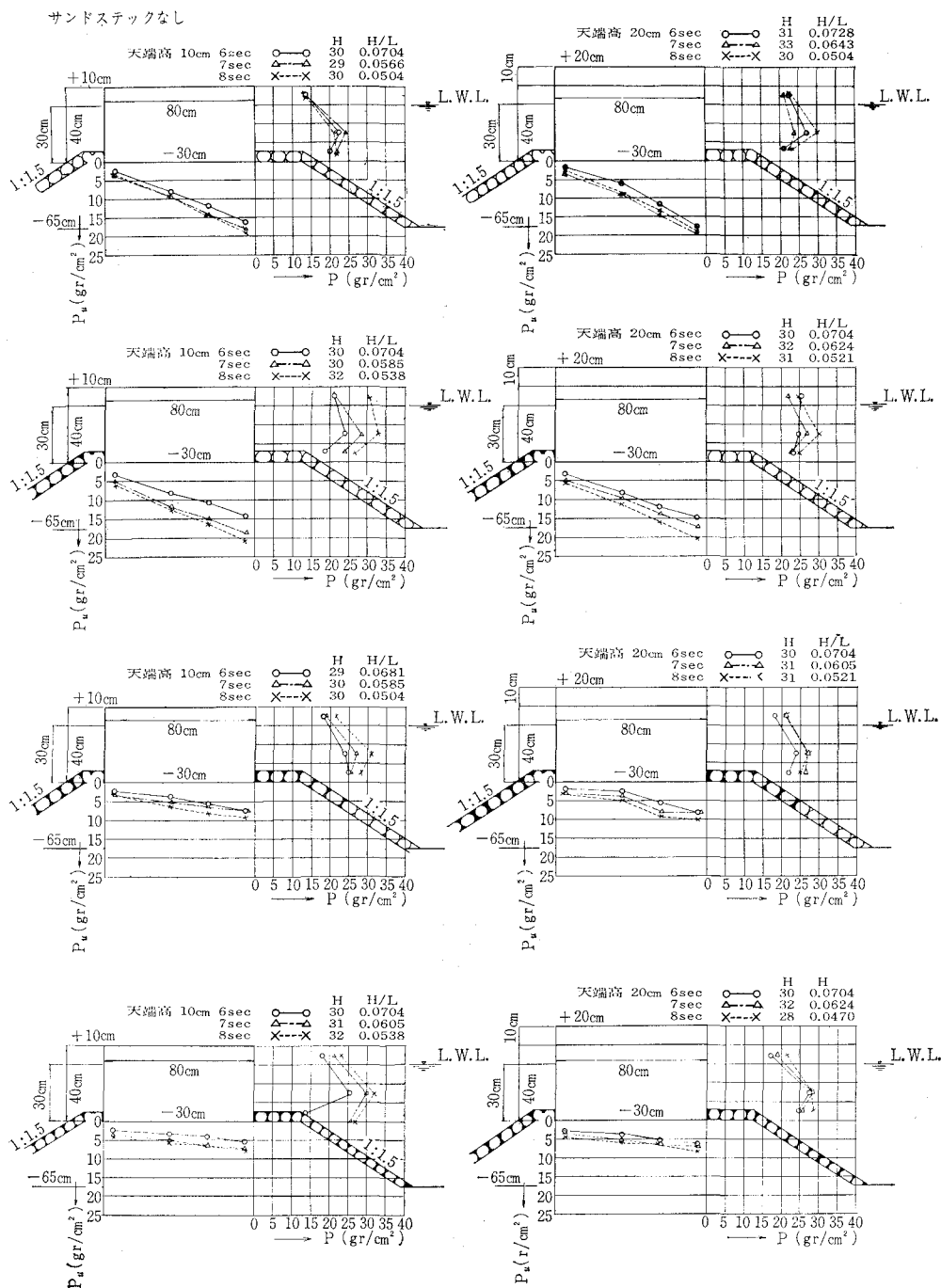
波圧の測定はブロック中央部鋼板製箱の内部に波圧計を取付け、前面波圧 3 か所および底面揚圧力 5 か所を電磁オシログラフに記録させた。

測定に使用した機器の概要はつぎのとおりである

- ① 波高計：電気抵抗線式 50~500 mm 範囲測定可能
- ② 波圧計：U ゲージ式 120 Ω 4 ゲージ水密型

* 正会員 運輸省第三港湾建設局 神戸調査設計事務所長
 ** 運輸省第三港湾建設局 神戸調査設計事務所建設専門官

図-2 サンドマシック状態による

50 g/cm² (25g チェックポイント付) 5個300 g/cm² (120g ") 5個

③ ひずみ計：万能型：直流増幅器内蔵 6台
動ひずみ計：電動装置付 (3素子用)

1台

④ 記録計：無現像電磁オシロ 12素子用

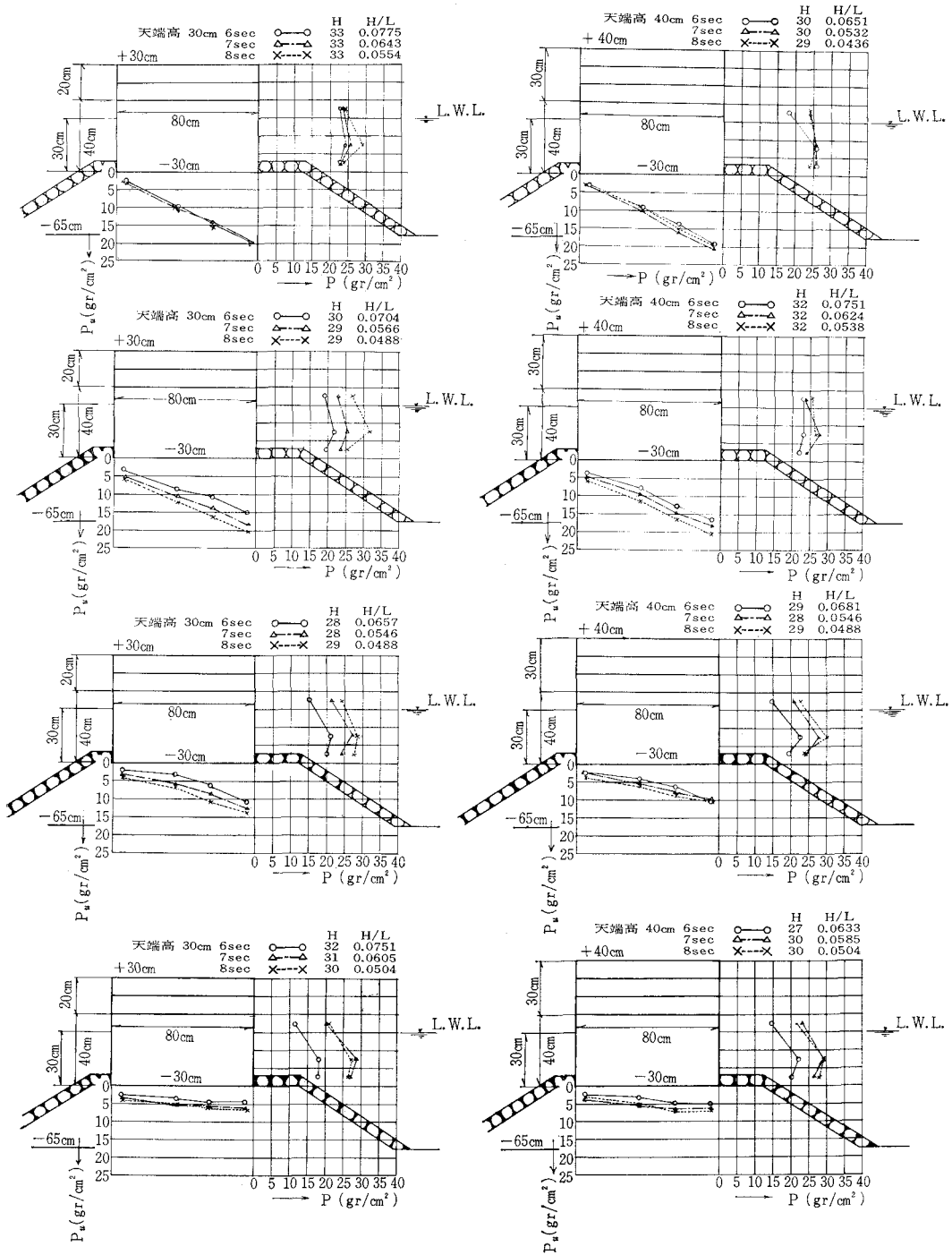
ガルバノメーター 1~500 c/s

⑤ 定電圧装置：無ひずみ速度型自動電圧調整器
定格 100 V 1kW 連続

(4) 観測事項

- i 水深の変化による波圧分布および揚圧力の関係
- ii 周期の変化による波圧分布および揚圧力の関係

各 ケー ス の 波 圧 お よ び 揚 圧 力 の 分 布 図



iii サンド マスチック を 施 工 し た ケー ス の 波 圧 と 揚 圧 力 の 関 係

iv 天 端 高 の 変 化 に よ る 波 圧 の 状 況

(5) 実 験 ケー ス

実 験 は 表-1 に 示 す よ う に, 波 高 を ほ ぼ 一 定 と し て, 周 期 を 変 化 さ せ た. こ れ に そ れ ぞ れ 水 深, 天 端 高 お よ び

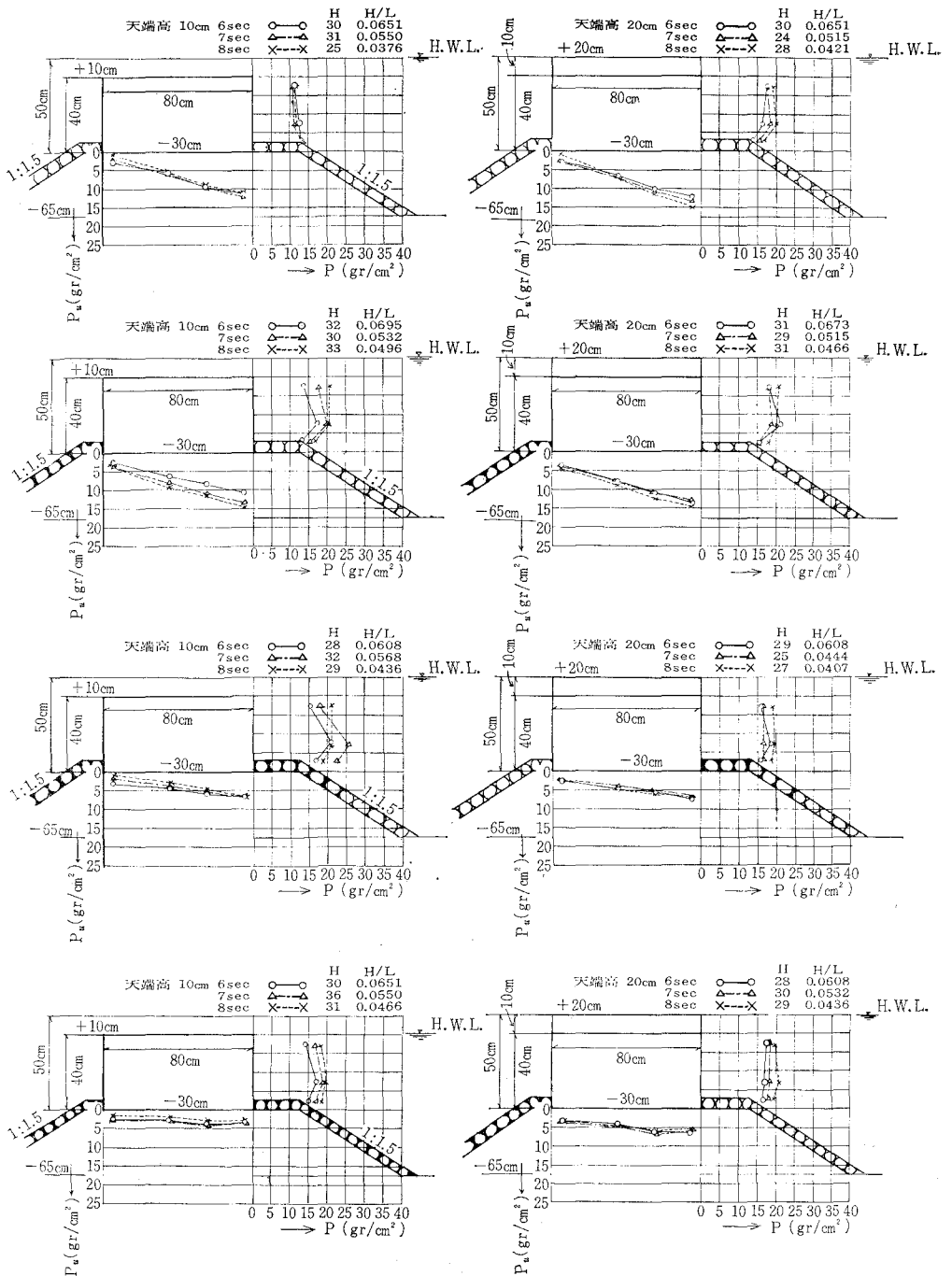
マ ス チ ッ ク の 状 態 を 変 え て 揚 圧 力 を 測 定 し た.

3. 実 験 結 果

実 験 の 結 果 を 図-2 お よ び 図-3 に 示 す.

図-2 お よ び 図-3 を マ ス チ ッ ク 状 態 に よ る 特 性 を 示 す と つ ぎ の よ う に な る.

図-3 サンドマスチック状態による



(1) 前趾端 (B 点) における圧力の変化

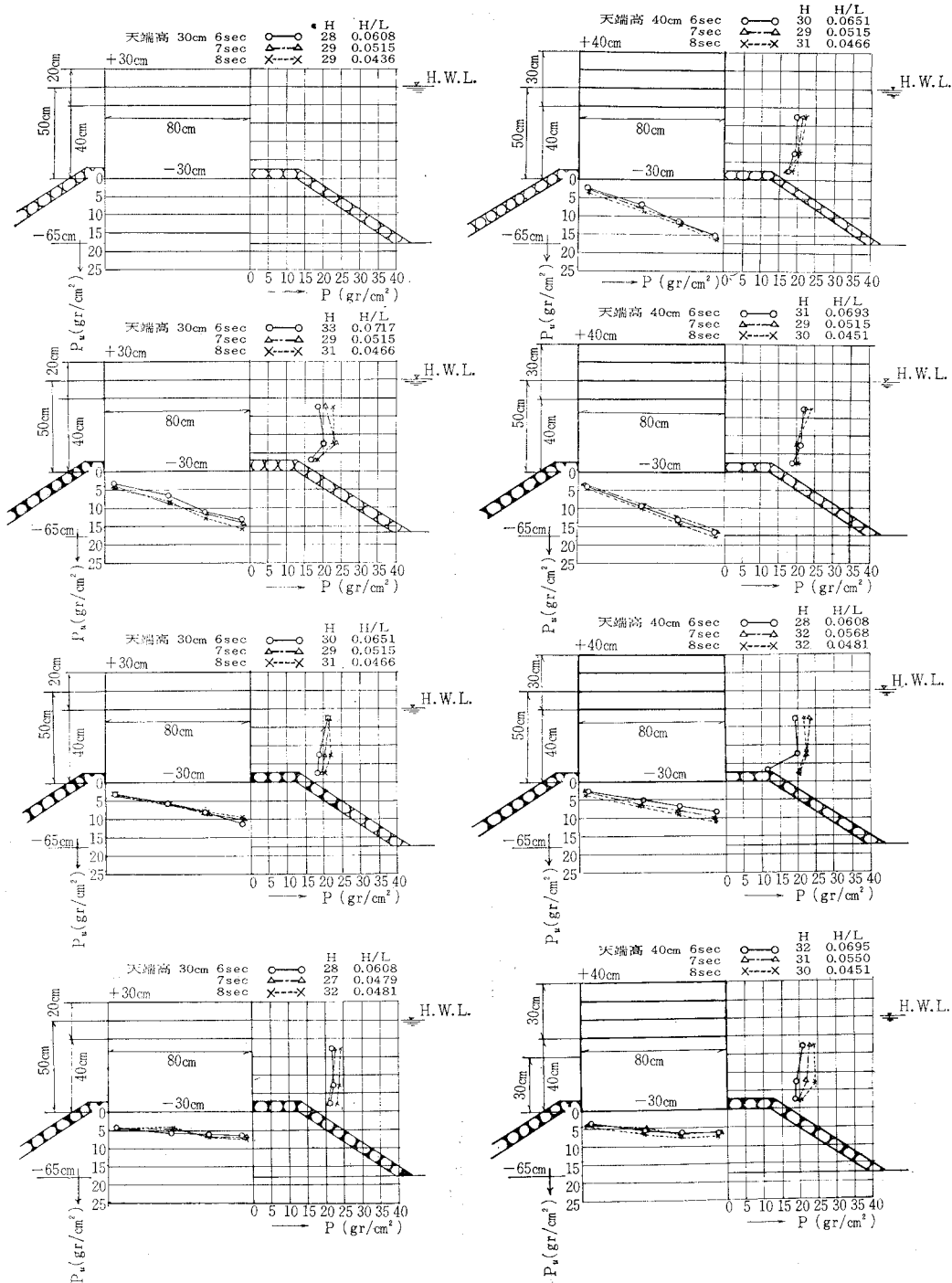
図-4 はマスチック被覆の違いによる前趾端圧力の変化を表わしたものである。マスチックの被覆状態を○(マスチックなし), ●(マスチック背後のみ), ●(マスチック背後と前上部), および●(マスチック全部)とすれば, 揚圧力は, $\bigcirc > \bigcirc > \bigcirc > \bullet$ の関係が見られる。

また, マスチックの被覆状態が同じときは, H/gT^2 の大きい方が揚圧力は大きくなっている。

(2) 後趾端 (C 点) 圧力の変化

一般的な傾向として前趾端圧力に比較して後趾端圧力は非常に小さく, ほぼ 0 に近いとみて差しつかえない。特にマスチックを被覆していない時に顕著となっている。

各ケースの波圧および揚圧力の分布図



しかし全面にマスチックを被覆したときに、前趾端圧力に対する減少の割合が相対的に小さく、後趾端圧で0になっていない。

(3) 波圧強度と d/L の関係

捨石のり肩水深 (d) と波長 (L) との比を波圧との関係で表わすと 図-6 のようになる。この実験の範囲で

は、のり肩水深の深い方が波圧は小さく、波形勾配は小さい方が波圧は大きい。マスチック被覆の有無による波圧の差異は認められない。

(4) 波圧と揚圧力との関係

最下端波圧 (A 点) と前趾端揚圧力 (B 点) との比をとって、波形勾配で示すと 図-7 のとおりである。

表-1 実験ケース

サンドマシチック の状態	防波堤 の断面	波高 3m (cm)	天端高	周 期			水 位		
				6 秒	7 秒	8 秒	L.W.L. (cm)	H.W.L. (cm)	H.H.W. L. (cm)
マシチックなし	A	30	1	0.19	0.22	0.25	±0	+20	—
"	"	30	2	0.19	0.22	0.25	±0	+20	—
"	"	30	3	0.19	0.22	0.25	±0	+20	—
"	"	30	4	0.19	0.22	0.25	±0	+20	—
"	B	30	6	0.19	0.22	0.25	—	+20	+35
前面上部半分あり	"	30	6	0.19	0.22	0.25	—	+20	+35
前面全部あり	"	30	6	0.19	0.22	0.25	—	+20	+35
背面全部あり	A	30	1	0.19	0.22	0.25	±0	+20	—
"	"	30	2	0.19	0.22	0.25	±0	+20	—
"	"	30	3	0.19	0.22	0.25	±0	+20	—
"	"	30	4	0.19	0.22	0.25	±0	+20	—
背面全部および前面 上部半分	"	30	1	0.19	0.22	0.25	±0	+20	—
"	"	30	2	0.19	0.22	0.25	±0	+20	—
"	"	30	3	0.19	0.22	0.25	±0	+20	—
"	"	30	4	0.19	0.22	0.25	±0	+20	—
背面および前面全部	"	30	1	0.19	0.22	0.25	±0	+20	—
"	"	30	2	0.19	0.22	0.25	±0	+20	—
"	"	30	3	0.19	0.22	0.25	±0	+20	—
"	"	30	4	0.19	0.22	0.25	±0	+20	—
"	B	30	6	0.19	0.22	0.25	±0	+20	+35

A: 低いマウンド B: 高いマウンド

P_u/P の比率は, H/gT^2 の変化には関係なく, その比の大きさは $\bigcirc > \bigcirc > \bullet > \bullet$ の関係にある $\bigcirc$, $\bigcirc$ のケースにあっては P_u/P は 0.8~0.9 であるが, $\bullet$,

図-4 最大同期波圧時における前趾端圧力 (B 点) の変化

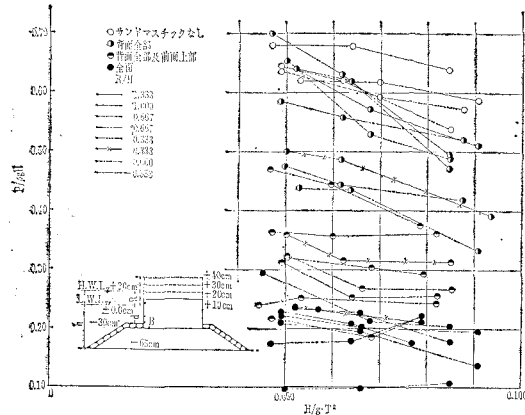
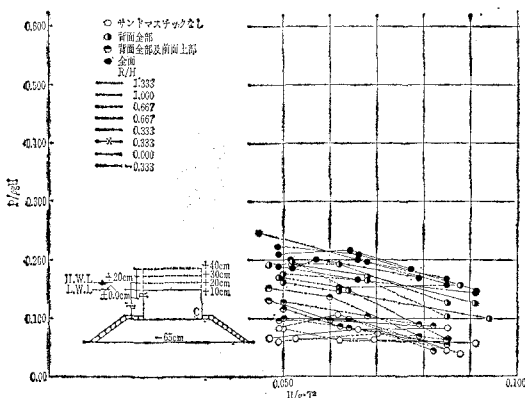


図-5 最大同時波圧時における後趾端圧力 (C 点) の変化



● のケースでは 0.2~0.3 の範囲になっており 前者の値の 1/3~1/4 になっている。

(5) 天端高の変化と波圧の関係

図-7 からわかるように, R/H の大きい方が波圧が大きくなっている。しかし一定の高さ以上ではあまり変化はないようであり, 波圧の違いが仮りに認められても, 値の変化は小さい。

(6) 捨石マウンドの高い揚圧の前趾端圧力

この実験ケースはデータが少ないので, 全般的な状態を示すことができないが, 図-8 は実験結果の一部を示したものである。

ここで $\bigcirc$ 印は前面のみにマシチックを示している。傾向としては, 特に上述のケースと変わっていないが,

前趾端圧力はマシチックの施工によって激減している。このケースでは, 前のケースに比較して波圧が相対的

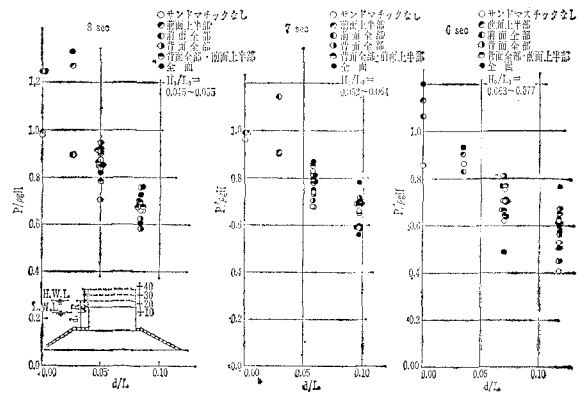
図-6 波の周期と波圧 $-d/L$ の変化

図-7 最大同時波圧時における波圧 (A 点) と揚圧力 (B 点) との比

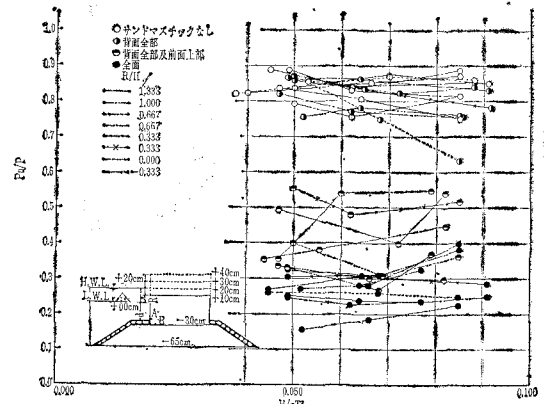


図-8 最大同時波圧における前趾端圧力 (B 点) の変化

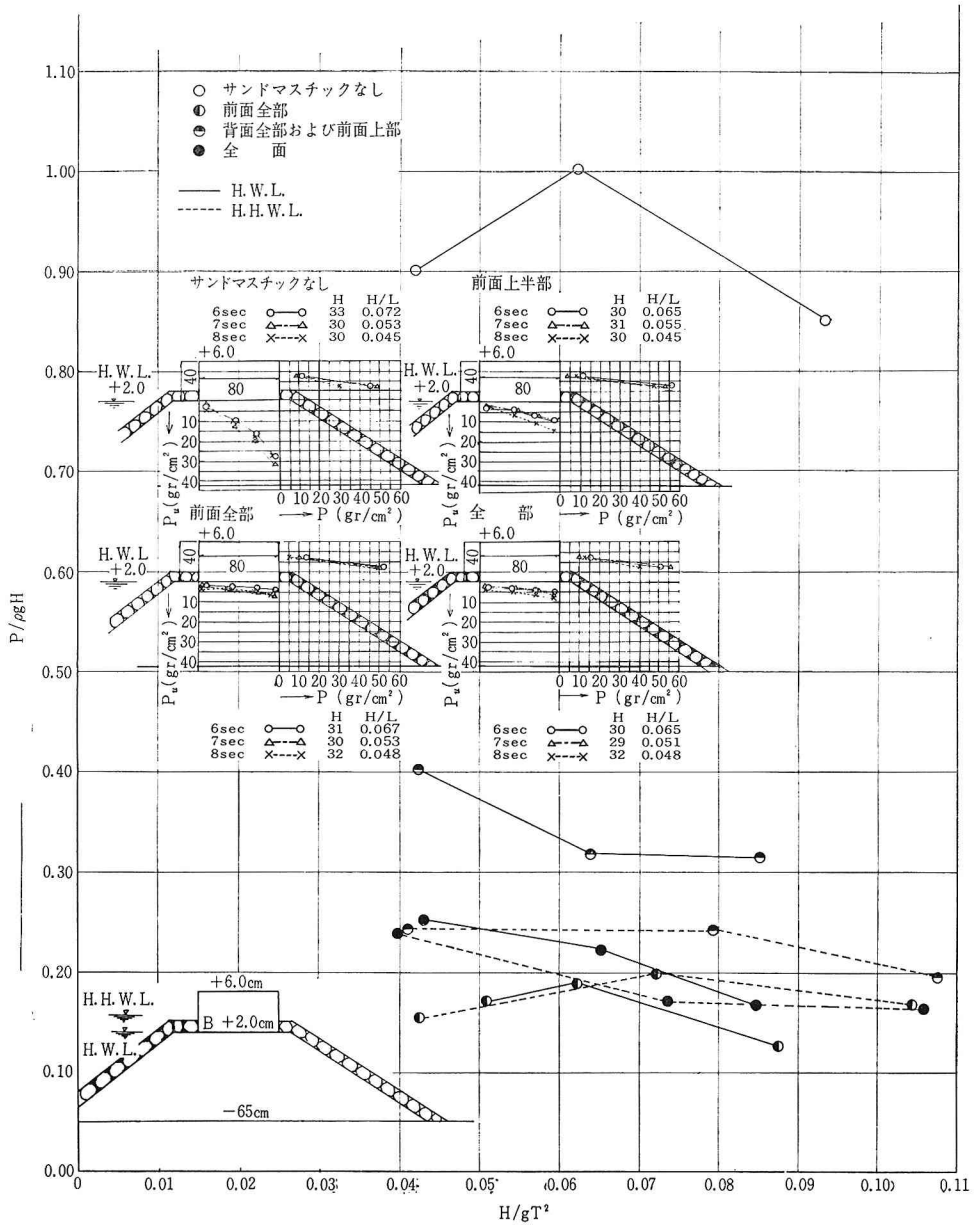


写真-2

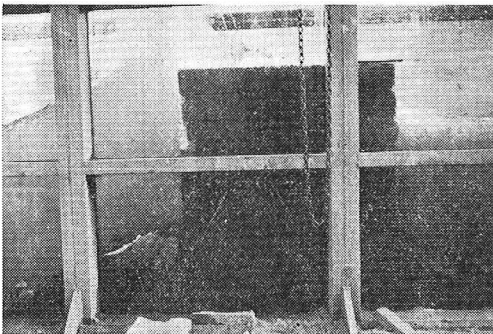
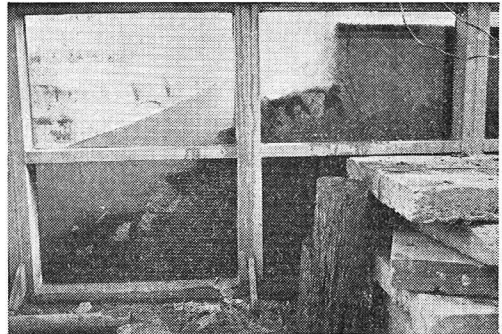


写真-3



に大きくなっている。これは部分碎波が生じたためであろう。

(7) 揚圧力の時間的ずれについて

揚圧力の時間的ずれについては図-9に一例を示す。同図からわかるように揚圧力の最大を生ずる時と波圧の最大を生ずる時は時間的に相当差がある。

4. 結 論

(1) 揚圧力の強度について

今回の実験における揚圧力強度は $P_u = 0.7H \sim 1.0H$ の範囲であり、従来の設計法である $P_u = 1.25H$ なる揚圧力は、圧力強度からみれば安全側になっている。そして揚圧力の分布は前趾端で最大値となり、後趾端で0となる三角形分布になることを確認することができた。また、この実験で得られた揚圧力の最大値は、現地に換算して、波高約 3.0m の場合、低いマウンドのときは $P_u = 2.2 \text{ t/m}^2$ 、また高いマウンドの場合は $P_u = 3.2 \text{ t/m}^2$ となっている。

(2) 前面最下端的波圧力と前趾端揚圧力との関係

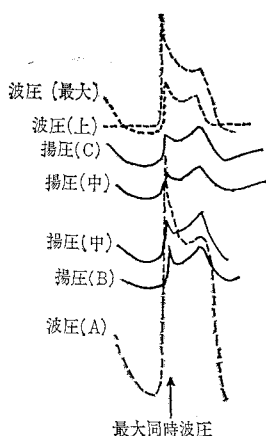
波圧計と揚圧計を同時に堤端部に取付けてなかったの、若干のずれを生じているけれども、 P_u/P の値は○、●のケースの場合は 0.8~0.9 になったので、ほぼ 1.0 に近い値になるであろう。

堤体の基礎捨石部全部にマスチックを注入した●のケースは、 P_u/P が 0.2~0.3 の範囲になっている。●のケースでは P_u/P は 0.5 前後の数値を示している。また●(捨石部前面にマスチックを施工した)のケースでは●のケースと同じ範囲の揚圧力となっている。

(3) 揚圧力と波形勾配との関係

H/gT^2 の大きい方が、波圧も小さいと同時に揚圧力も小さくなる。高いマウンドのときは、碎波が生じるので大きな波圧を生じる、そして揚圧力は低いマウンドに比較して相対的に大きい。このことは、堤体の構造、海

図-9 波圧図の一例



底勾配、波の形等の条件によって $P_u = 12.5H$ 以上の揚圧力が働くためと考えられる。

(4) 越流状態での揚圧力

天端の低い防波堤においても、揚圧力は三角形分布であることから、静水面浮力と揚圧力の状態で検討する必要がある。もちろん揚圧力の分布は最大同時波圧時に三角形分布となり、時間がおくれてのちは矩形分布、梯形分布となるが、堤体の安定については検討の必要はないと考えて良い。この実験の範囲では最大同時波圧時と後趾端圧力の最大値となる時間差は 0.5 秒前後であった。そしてその値は最大同時波圧時の 2 倍前後になっている。

(5) 捨石のり肩水深と波圧

捨石のり肩水深 (d) が浅いと波圧は増加する。このため堤体上部コンクリートの小さなケースにあっては、揚圧力は相当大きな値となることが予想され、揚圧力による転倒モーメントの検討は必要であろう。

(6) 転倒モーメントによる支持力の検討

従来の堤全体に浮力を考えた設計法においては、後趾端圧力は少し小さめに出ることとなるが、揚圧力を考え、かつ静水面浮力しか考慮しない場合には、後趾端圧力(地盤反力)は大きくなる。このため、この方法で計算する地盤反力は妥当なものであろう。

以上揚圧力の特性に関する本実験では、波圧と揚圧力の関係、揚圧力の分布の状態、浮力と揚圧力の関係等、種々の事項が明らかになった。また現在捨石の安定から施工されているサンドマスチックを捨石部に注入する工法は揚圧力を減じるに有効であることがわかった。

なお、これらの結論からつぎのような設計法が可能である。

① サンドマスチックを基礎捨石全面または前面に注入した場合には、揚圧力は注入しない時の 1/3 の値に減ずることができる。

② 越波を相当量許す場合においても、越波しない場合と同様に、三角形分布の揚圧力を考慮すべきである。

ただし、静水時浮力を考慮しなければならない。

参 考 文 献

- 1) 永井・玉井・久保：混成防波堤直立部の滑動および底面に働く揚圧力、第7回海岸工学講演会講演集