

透過層による波力の減衰について

久保 弘 一*・井田 保 夫**

1. 緒 言

波浪が捨石あるいは消波ブロックなどで構成された透過性構造物内部の空げきに侵入すると、種々の損失によりしだいにその伝達エネルギーを減少する。この減衰形態をとらえる1つの方法は透過層内部における波力の変化を求めることである。また透過層で被覆された壁体に作用する波力についても、被覆層の形状や厚さと波力の関係は同様の観測から求められる。筆者らは透過層による波力の減衰形態についての基本的な法則を導くため、さきに垂直な透過層を対象として若干の実験を行ない、その内部における圧力分布の測定結果から、透過層厚、透過層構成粒子の大きさおよび空げき率、波の特性などと波力との関係を明らかにし、その結果は第15回海岸工学講演会で発表した¹⁾。その結論を要約すると次のとおりである。

(a) 波形勾配の増加に伴って、静水面付近に存在する最大波圧強度は指数関数的に減少する。

(b) 被覆層厚の増加にしたがって最大波圧強度は指数関数的に減少する。

(c) 透過層表面に碎波その他のじょう乱によって生ずる衝撃的な波圧の変動は、透過層の厚さがある程度以上になるとその整流作用によって消滅し、静的な圧力に転化する。

(d) 透過層を構成する粒子の粒径が大きいほど層内に伝わる波のエネルギーは大きくなる。

(e) (最大同時)波圧合力は被覆層厚の増大にともなって減衰するが、これを波圧減衰率 δ の形で表わすと、

$$\delta = \frac{(B/d)^{1.5}}{31.6 + (B/d)^{1.5}}$$

で与えられる。ただし、 B : 被覆層厚、 d : 粒子の平均粒径である。

この研究は以上のような基本的知識に基づいて、透過性構造物によって被覆された直立壁への波力の伝達機構を明らかにし、さらに波力の特性、すなわち波圧分布型、最大波圧強度、波圧合力などと、波の特性、構造物の形状特性の関係を明らかにしようとするものである。

2. 実験の種類と方法

この実験に用いた水槽は幅 0.8 m、深さ 0.9 m、長さ 30 m の片面透明塩化ビニール張りの鋼製水槽で、一端にフラップ型造波板を取付けたものである。この水槽の端部に近いところに、7 個の波圧計を設置した直立壁を設置し、その前面を 図-1 に示すような 2 種類の形式のマウンドで被覆し、これに種々の特性を有する波を作用させて直立壁の各点に作用する波圧強度を測定し、その結果から最大波圧合力を求めた。マウンドは平均粒径 26.3 mm の砂利を 1:1.5 勾配に積上げたもので、波による崩壊を防ぐためのり面を目の粗い金網で被覆した。マウンドの平均空げき率は 38.3% である。

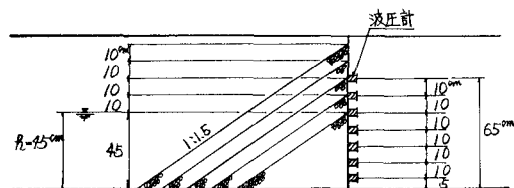


図-1(a) マウンドの形状 (I 型)

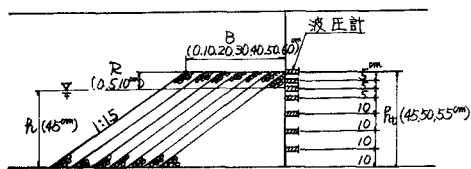


図-1(b) マウンドの形状 (II 型)

I 型マウンドはのり面における碎波条件をすべて同一にした場合、天端高、いかえれば被覆層厚によって波力がどのように減衰するのかを明らかにするために行なったものであるが、遡上波が直立壁に達する天端の低い場合には、被覆層厚のみでなく碎波の形態および碎波後の波の変形によって伝達される波力の形態が著しく異なることが明らかになったため、碎波形態をもあわせて検討することにした。

一方、II 型マウンドでは碎波形態の同一な波が天端幅によってどのように変化するか、すなわち天端上における波の状態 (摩擦、透過などによる減衰あるいは変形) を明らかにすることを目的としたものである。また 図

* 正会員 大阪工業大学助教授 土木工学科

** 正会員 大阪工業大学助手 土木工学科

表-1 実験条件

水 深 h cm	45	
波 高 H cm	10, 15, 20	
周 期 T sec	1.34, 1.79, 2.24, 2.68	
波 長 L cm	235~540	
波 形 勾 配 H/L	0.017~0.085	
天 端 幅 B cm	0	10~60
天 端 高 R cm	0~40	0, 5, 10
マウンド勾配	1:1.5	

—1 に示すようにⅠ型とⅡ型では波圧計の配置をかえたが、その理由はⅡ型では静水面付近の波圧分布を特に詳しく測定することを目的としたからである。

実験に用いた諸条件は表-1 に示すとおりである。なおⅠ型については $h=45$ cm 以外の水深 ($h=35, 55, 65$ cm) についても実験を行なったが、Ⅱ型と比較する関係上 45 cm 以外のものは省略することとした。

3. 消波ないしは減勢に対する考え方

この種の研究としては運輸省港湾技術研究所の研究成果²⁾がある。この研究は消波ブロックで構成されたマウンドで直立壁を被覆した場合に、直立壁に作用する全波圧を評価する目的で行なったものであり、結論として消波の天端高が直立壁の高さと等しい場合には壁体に作用する波圧強度は広井式表示で $p=1.0wH$ で求めればよいとの結論を明らかにしており、実用的な面からは高く評価される。しかしながら、この研究では波力の伝達形態に関する評価が乏しく、かつ天端幅ないしは被覆層厚の効果についてはあまりふれられていないようである。

実際には被覆層の厚さあるいは天端幅の範囲はおそらく限定されると思うが、波力が層厚や天端幅の関数であることが明らかであり、特に天端が比較的低い場合には、天端における波の変形や天端から伝達される透過エネルギーも天端幅によって大きく左右されるものと考えられるので、この点について十分確かめることが必要である。

4. 実験の結果と考察 I—I 型について

(1) 波力の伝達と波圧分布

波圧計の記録から求めた直立壁に作用する最大同時波圧の分布は外観上、碎波型、部分碎波型、重複波型の3形式に分類することができる。もちろん各形式とも数値としては一般に計算値よりもかなり小さい。図-2 には最大同時波圧分布の一例を示す。図-2(a) においては、 $R=0$ は碎波型、 $R=10$ cm は部分碎波型、 $R=20, 30, 40$ cm はいずれも重複波型である。一方 (b) 図においては層厚のいかんにかかわらず、ほぼ重複波に近い分布で

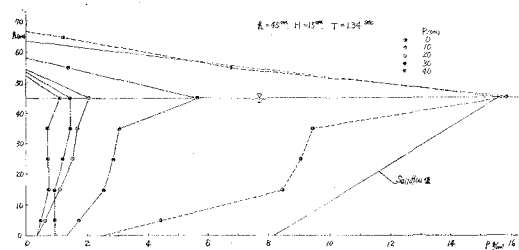


図-2(a) 最大同時波圧分布

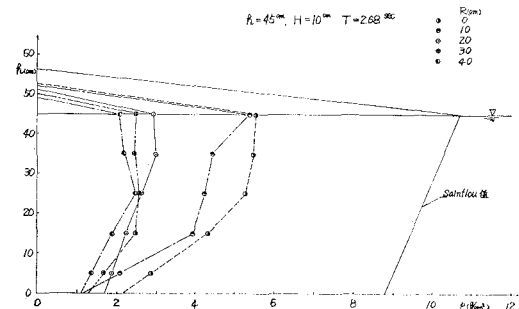


図-2(b) 最大同時波圧分布

あるということができる。

波圧の伝達機構を明らかにする1つの手掛りとして、各深さにおける peak の到達する時間について比較を行なった。各波圧計の全記録について各点の peak の time lag を求めて見ると次のような傾向がうかがわれる。すなわち、

(a) 一般に peak は底面ほど早く現われ、上部に行くほど遅くなる。

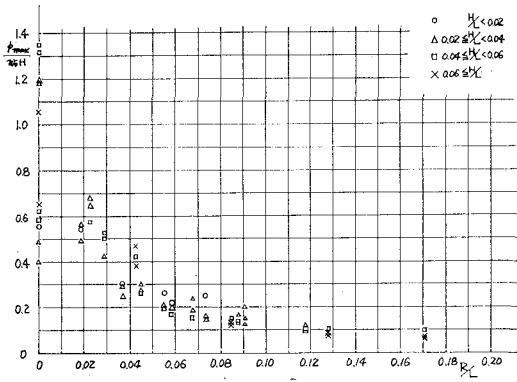
(b) 天端高の低いものほど上下の time lag が小さい。

実験の記録の範囲内での最大の time lag は約 0.3 sec であった。これらの事実から考えると静水面付近の点にはのり面あるいは天端で生じた碎波などの衝撃が動水圧として伝達されるのに反し、水底に近い点では、透過層の整流作用によって静的な圧力すなわち透過層内への水流侵入にともなう水位の上昇に相当する静水圧の増加として伝えられると考えるのが適当のようである。ただし、今回の実験では深さと time lag の関係について明らかな結論を得ることができなかったため、この点については今後も検討していきたい。

透過層内のエネルギー損失を考える場合、これを管抵抗モデルとして評価する考え方³⁾が1つの有力な方法として論じられているが、前記の peak 到達の時間的な問題から考えると、この考え方にもおのずから限界があると考えてよいであろう。

(2) 最大波圧強度について

最大波圧強度はすべての場合静水面において生じているが、その大きさは最大のものでもほぼ広井式に対応する程度で Minikin 式に比べると 30% 以下にすぎない。

図-3 $p_{\max}/w_0H$ と R/L の関係

いま横軸に R/L を、縦軸に $p_{\max}$ を無次元化した $p_{\max}/w_0H$ を取り、実験値をプロットすると 図-3 のようになる。

図-3 から明らかなように、

(a) R/L の増加にともなって、 $p_{\max}/w_0H$ は指数関数的な減少を示す。

(b) 特に R/L の大きい場合、すなわち、遡上波が直接直立壁に達せず、途中でのり面に吸収される場合は波形勾配にかかわりなく、 R/L の増大にともなって smooth に減少する。

(c) R/L の小さい、したがって被覆層厚の小さい場合には碎波などによる衝撃圧が直立壁に直接伝わりやすく、そのため $p_{\max}/w_0H$ は碎波形態によって支配されることが多い。したがって実験値の散らばりが相当大きくなる。ただこの場合には波形勾配の影響を認めることができる。すなわち全般的に見て、波形勾配の大きいほど $p_{\max}/w_0H$ は小さくなっている。

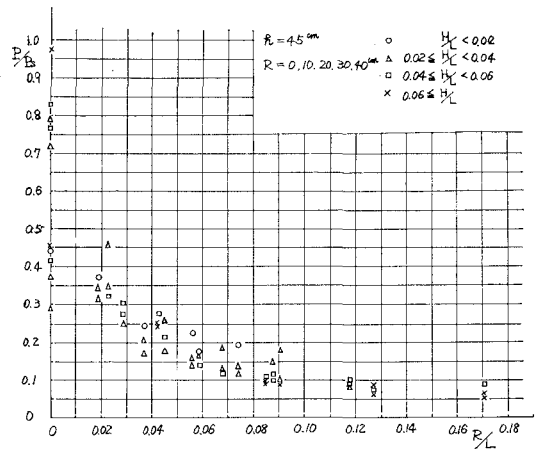
(d) 特に $R/L=0$ の場合には、上部の直立壁に作用する碎波の形態のみに支配されるので、法則性を見出すことは非常に困難である。

$p_{\max}$ 以外の点の波圧強度についても R/L の増大にともなう指数関数的な減少が認められ、波圧計の水深が大きくなるほど衝撃的な要素が小さくなっている。

(3) 波圧合力について

被覆層厚の増大に伴って波圧強度の減少する割合は各深さで必ずしも一様でない。したがって波圧合力の被覆層厚による変化は最大波圧強度の減衰形態とは基本的には異なったものであると考えられるので、最大同時波圧の合力についても同様な検討を進めた。波圧合力 P を無次元表示する手段として、実験値 P と同条件のもとで Sainflou 式の計算値 P_s の比、 P/P_s を用いて表わした。

横軸に R/L 、縦軸に P/P_s をとってプロットすると 図-4 のとおりで、さきの 図-3 の波圧強度の場合と全く同じ傾向を示した。すなわち R/L の増加に伴って

図-4 P/P_s と R/L の関係

P/P_s は指数関数的に減少すること、 R/L が小さい場合には碎波の衝撃による動水圧が直接伝わるため、散らばりが大きくなるという傾向が明らかに認められる。ただし、波形勾配の影響はあまり明りょうには認められなかった。

また波圧合力は最大の場合でもせいぜい Sainflou 式程度であるが、その理由はこの実験が天端幅 0 のものであるため、重複波的な要素を持つ波力となり完全な碎波になっていなかったためである。

5. 実験の結果と考察 II-II 型について

(1) 波圧分布について

天端高があまり大きくない場合、直立壁に作用する波圧はのり面あるいはのり肩で砕ける波の碎波特性のほか天端幅によって異なってくる。この場合天端幅は単に被覆層厚を意味するのではなく、碎波の形態および碎波後の波の挙動を支配する重要な要素であり、天端幅が大きければ波圧は小さくなるという単純な性質のものではない。

実験結果から天端幅と波圧分布との関係を考察し、I 型の場合と比較すると次のような結果が得られる。すなわち $p_{\max}$ が静水面付近にあることは同一であるが、I 型の場合には被覆層厚（天端高）の増加にともなって碎波型分布からしだいに重複波型分布に移行した。しかるに II 型では天端幅を増加しても静水面付近の波圧は依然として碎波の性格を持っていると考えられるものがある。特に $R=0$ の場合にはこの傾向が著しく、部分碎波型になっているものが相当認められる。

(2) 最大同時波圧について

横軸に B/L (B は天端幅)、縦軸に $p_{\max}/w_0H$ を取って実験値をプロットすると 図-5 のとおりで、図-3 と比較すれば被覆層厚と天端幅の持つ意味が明らかに違

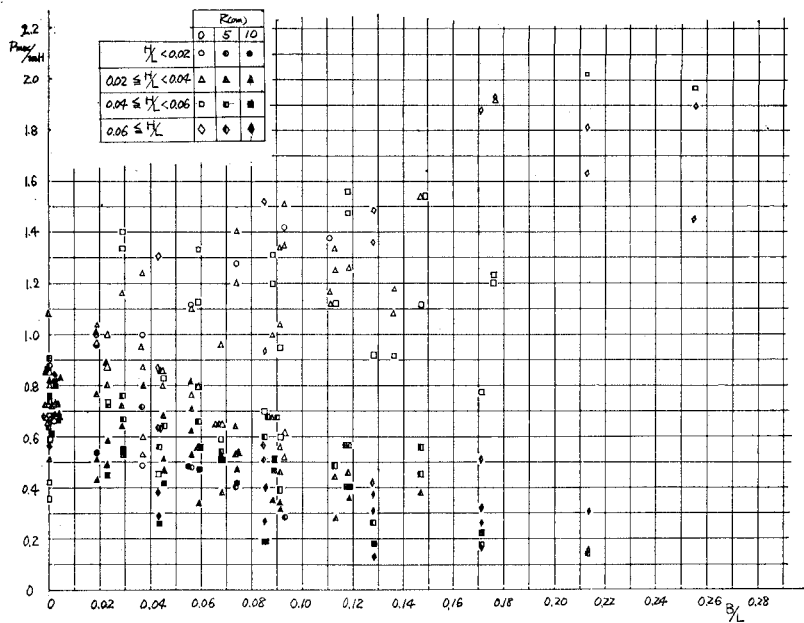


図-5 $p_{\max}/w_0H$ と B/L の関係

っていることが知られる。すなわち、図-3 では R/L の増加にともなって $p_{\max}/w_0H$ の指数関数的な減少が認められるが、図-5 ではこのように明らかな相関関係を認めることがむずかしい。しかし詳細に観察すれば $R=5, 10\text{ cm}$ についてはほぼ同様の傾向がうかがえるし、また $R=0$ についても波形勾配の小さい波については $p_{\max}/w_0H$ の変動が比較的小さいことが認められる。

(3) 波圧合力について
波圧合力 P と Sainflou 式から求めた合力 P_s の比、

P/P_s と B/L との関係を求めると 図-6(a), (b), (c) のとおりである。

図-6 の (a), (b), (c) はいずれも散らばりが大きく、ことに $R=0$ の場合には著しいが、相対天端幅 B/L の増加に伴う P/P_s の指数関数的な変化が明らかに認められる。また図からマウンド天端高 R が 0 に近く、かつ天端幅のせまい場合を除いては捨石層で囲まれた直立壁に作用する圧力は Sainflou 式で計算しても十分安全であることは明らかである。

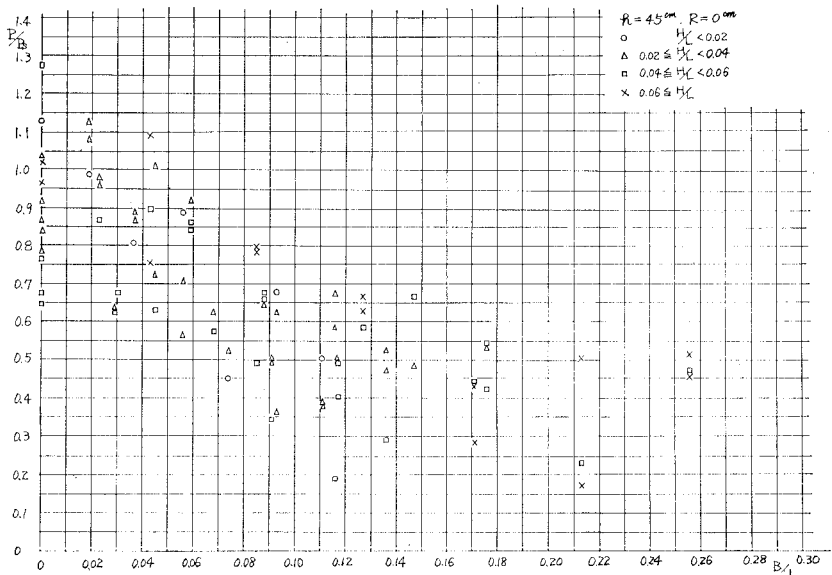
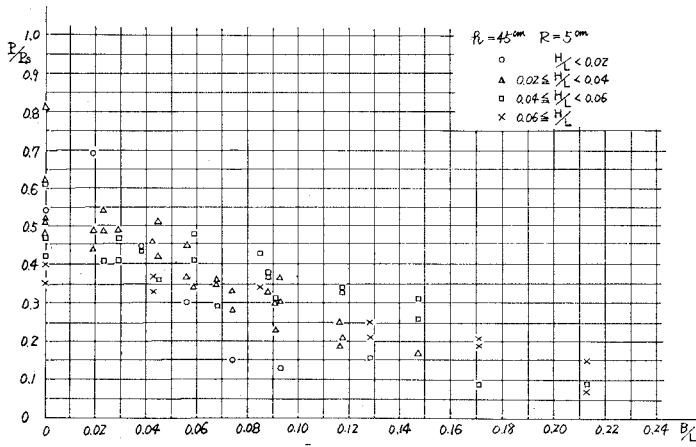
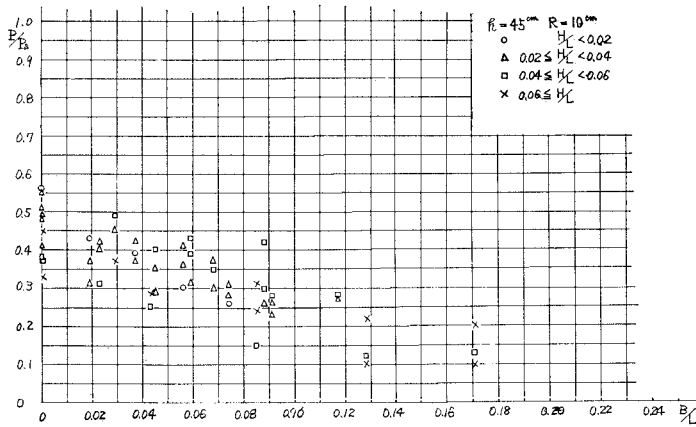
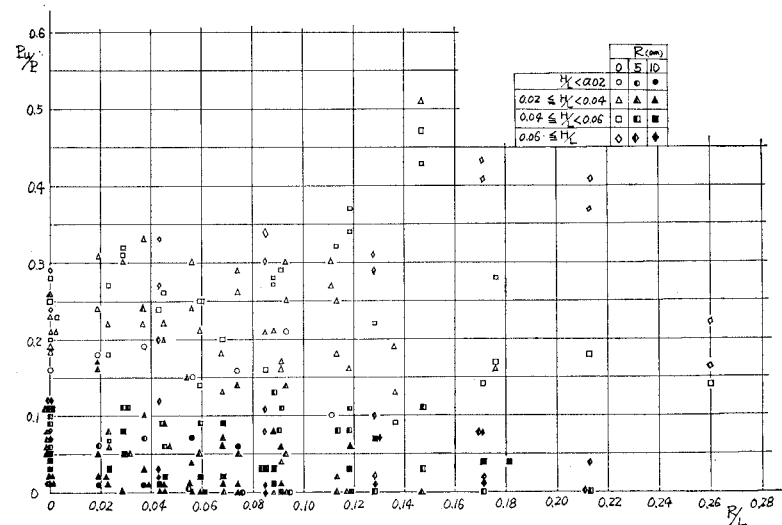


図-6(a) P/P_s と B/L の関係

図-6(b) P/P_s と B/L の関係図-6(c) P/P_s と B/L の関係図-7 P_u/P と R/L の関係

最後に波圧合力 P のうち、天端より上の部分に作用する波圧 P_u のしめる割合およびその変化を考えてみよう。 P_u の値は主として天端における波の変形により左右される。 P_u/P と B/L の関係を H/L をパラメーターとして示すと図-7 のとおりで、各天端高の実験値の占める範囲は比較的明りょうに区分することができる。すなわち、 R が大きくなると P_u の占める割合はしだいに小さくなり、エネルギーはほとんどのり面のみを通じて伝達されることになる。 $R=5, 10$ cm の場合、 P_u/P はそれぞれ 20 および 10% 以下である。また相関関係の明らかなでない $R=0$ の場合についても、波形勾配の大きいほど P_u の全体に占める割合が大きく、かつ B/L の増加とともに P_u/P は大きくなる。すなわち、幅が増加しても被覆された部分に比して非常に減勢されにくいということである。

6. 結 論

天端を有しない I 型と天端を有する II 型で被覆された直立壁に作用する波圧について実験的に検討を加え、種々の特性を取り上げてきたが、その結果を要約すると次のとおりである。

(1) 被覆層の厚さが小さい点では碎波などの衝撃が動水圧として伝達されるが、層厚が大きくなると静的な圧力として伝達される。したがって層厚の増加に伴って波圧分布は碎波型から重複波型へ移行する。

(2) 波圧の伝達形態の相違により、直立壁の上下で peak の到達する時間にずれを生じる場合がある。その場合には一般に水底に近いほど peak が早く現われる。

(3) 天端高が 0 に近い場合を除いて、碎波形態が同一であれば、最大波圧強度および波圧合力は被覆層の厚さの増加にもなって指数関数的に減少する。これは II 型の場合にも認められるが I 型ほど明りょうでは

ない。

(4) マウンド天端幅は被覆された部分の波力に関しては被覆層厚と同じ働きをすると解釈できるが、被覆されない直立部の波圧に対しては層厚と同一のものとして考えることはできない。天端幅は碎波形態および碎波後の波の変形に影響をおよぼす要素として考えなければならない。

(5) 波圧合力は天端が0でかつ天端幅が非常にせま

い場合を除けば、Saintflou 式で計算しても十分、安全である。

参 考 文 献

- 1) 久保・井田: 透過性構造物の減勢機構に関する実験的研究, 第15回海岸工学講演会講演集 (1968)
- 2) 森平・柿崎・菊谷: 異型ブロックの波力減殺効果に関する研究, 港湾技術研究所報告 Vol. 6, No. 4 (1967)
- 3) 首藤: 消波ブロックの抵抗について, 第16回海岸工学講演会講演集 (1969)