

多孔壁消波構造の水理（その2）

堀口孝男*・小坂俊吉**・中道峰夫***・布施敏一郎****

1. まえがき

多孔壁式消波構造物に作用する波力については、ここ数年来、ポテンシャル理論から導かれる逐次近似解の方法を用いて、波形勾配が 0.04 以下の規則波に関し、理論と実験との照合を行なってきた。また前回の小論では、波の反射領域において、2 次オーダーの波は単に Stokes 波の入射、反射だけでなく、2 倍周波数をもつ自由進行波が多孔壁から発生してくる可能性を指摘した。今回の検討は、前回に述べた事象を実験によってさらに確かめるとともに、多孔壁の構造設計に資するため、孔壁に作用する局所的な波圧分布を実験によって解明しようとしたものである。この場合対象とする波圧は、規則波の碎波圧である。

2. 多孔壁による波の反射

前回に述べたように、Thornton-Calhoun の方法を拡張して、1 次オーダーの波の入射、反射は、散乱波の影響が及ばない点を中心にして、微小距離 Δl_1 だけ離れた 2 個の波高計を用い、得られた測定値に高速フーリエ変換法を適用すれば容易に求めることができる。図-1 はこの方法に基づいて、前壁が $\phi=34$ mm、空隙率 30.1% の多孔壁、後壁が通常の平面壁となる構造で、水深 $h=40$ cm、入射波高 $H_0=7$ cm 前後、 $T=1.31$ sec の条件で、前後壁の間隔 l_2 を波長 L の 15, 20, 30, 40% と変化させた場合、ポテンシャル理論から得られる反射率の計算値と実験値のそれとを対比したものである。図-2 は同じ実験結果のうちで、反射波の振幅をとりあげ、その計算値と実験値とをくらべたものである。これら 2 つの図からみられるように、計算と実験とはかなり一致する傾向を示している。

2 次オーダーの波は、やはり散乱波の影響が及ばないところで、平均水面からの水位は一般に次のように表わされる。

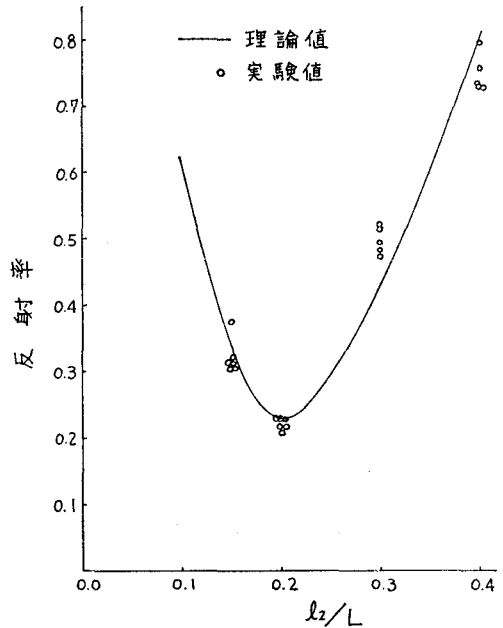


図-1 多孔壁による 1 次オーダーの反射率

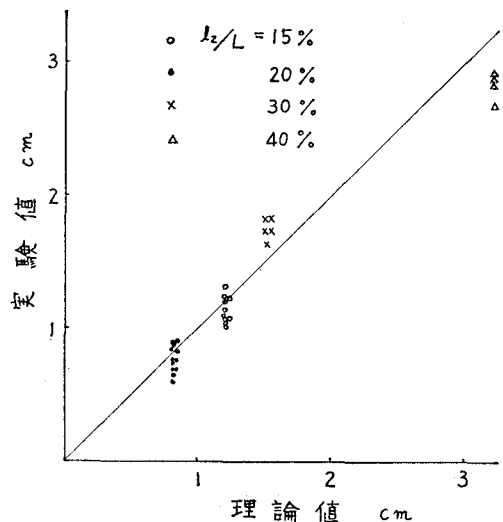


図-2 1 次オーダー反射波の振幅

* 正会員 工博 東京都立大学教授 工学部土木工学科

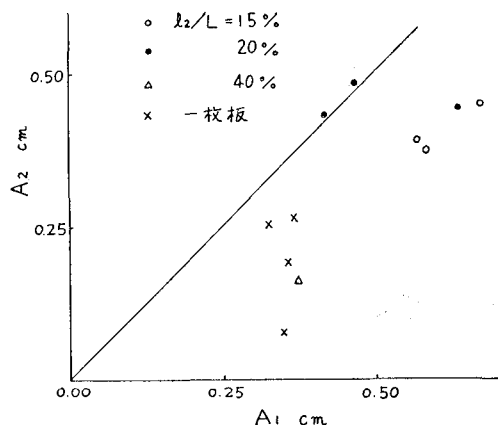
** 正会員 同 助手 同上

*** 正会員 工博 国土総合建設株式会社

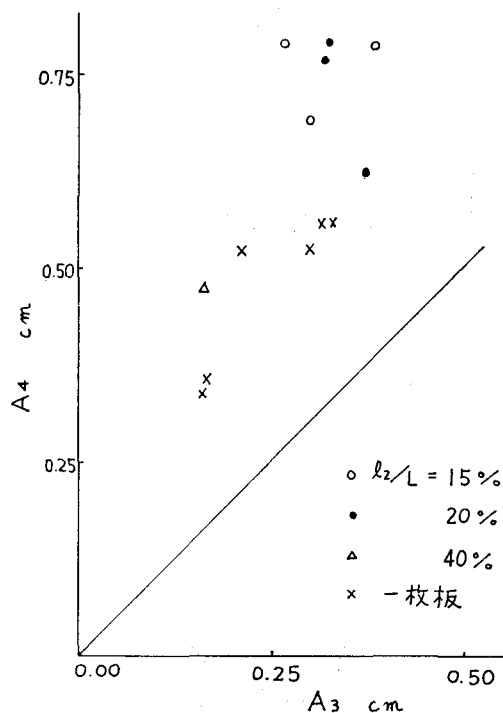
**** 正会員 同上 (前職)

$$\eta_2 = A_1 \cos(2kx - 2\sigma t + \theta_1) + A_2 \cos(2kx + 2\sigma t + \theta_2) \\ + A_3 \cos(k_0 x - 2\sigma t + \theta_3) \\ + A_4 \cos(k_0 x + 2\sigma t + \theta_4) + A_5 \cos(2kx + \theta_5)$$

右辺第5項は時間的に振動しない波で、フーリエスペクトルの周波数0のところに位するものである。右辺第1項と第2項は Stokes 波の入射と反射を示し、第3項と第4項は自由進行波の入射と反射を示すものである。前回で概略説明した方法に基づいて4個の波高計を用い、図—1の場合と同様な構造物に対して各項の振幅を求めると、図—3、図—4のように表わされる。この場合、高速フーリエ変換法に用いたサンプリング時間は $\Delta t = 0.1$ sec, サンプリング総数は $2^{10} = 1024$ である。図



図—3 反射領域におけるストークス波の振幅



図—4 反射領域における自由進行波の振幅

—3 は Stokes 波の入射振幅を横軸に、反射振幅を縦軸にとったもので、全体の傾向として反射率は 50~80%とみられる。これに反して自由進行波は図—4にみられるように、反射方向、すなわち多孔壁から造波板へ進行する波の振幅が、入射方向の振幅に対して2~3倍の大きさとなっており、多孔壁消波構造によって自由進行波が形成されることを明らかにしている。さらに興味をよぶのは、 A_4 の値が大きくなるのは図—1の反射率が小さくなる $l_2/L = 15$, 20% に対応しており、実験値の平均で示すと、次のような値が得られている。

l_2/L	a	b	A_1	A_2	A_3	A_4
15%	3.54 cm	1.10 cm	0.61 cm	0.40 cm	0.32 cm	0.76 cm
20	3.89	0.76	0.50	0.45	0.34	0.73
40	3.80	2.81	0.37	0.16	0.16	0.45

ここで a, b は1次オーダーの入射波、反射波の振幅で、1次オーダーの b と2次オーダーの A_4 を比較してみると、反射率のもっとも小さい $l_2/L = 20\%$ のときでは、 b と A_4 は同程度となっている。この現象は1次オーダーの入射波エネルギーが、反射方向に進行する2次オーダーの自由進行波に一部転換されてくることを意味し、1次オーダーの反射率が小さいからといって、2次オーダーの影響を無視してさしつかえないとはいいい切れなくなってくる。つまり、反射率は1次オーダーだけでは論じられなくなるのである。

3. 多孔壁に作用する砕波圧

ここで検討するのは、多孔壁の壁面に作用する局所的な砕波時の圧力である。造波水路内に 1/10 勾配の斜面をつくり、その背後に充分な長さを有する水深の浅い平坦部を設置して、ここに構造物の模型を固定する。模型の位置は試行により移動して、砕波の圧力がもっとも大きくなるように選定する。かかるとき、図—1の場合と同様な構造で $l_2/L = 10\%$ としたとき、前壁に外側から作用する砕波圧を示したのが図—5である。使用した圧力変換器は、共和電業製品の高感度圧力センサー PSL-A 型で、直径は 4.5 mm, 2000 Hz 程度まで追従する。図—5 の上図は参考のために平面壁に作用する砕波圧の時間的な変化を示したもので、周期 $T = 1.8$ sec, 入射波高 $H_0 = 8.85$ cm のときのものである。最大の衝撃圧は静水面上 4 cm 附近に発生しており、 $p = A w_0 H_0$ として H_0 を上述の波高とすると、 $A = 29 \sim 50$ の値となっている。図—5 の下図は同じ波を作用させたとき、多孔壁に生ずる最大の砕波圧を示したもので、静水面上 2~4 cm の附近に発生している。多孔壁の場合の A は空隙率とも関係が深い、この場合では $A = 7 \sim 11$ 程度である。また衝撃圧とみなされる突出部は、波が作用した瞬間とそれよりやや時間が経過した頃に発生しており、平面壁

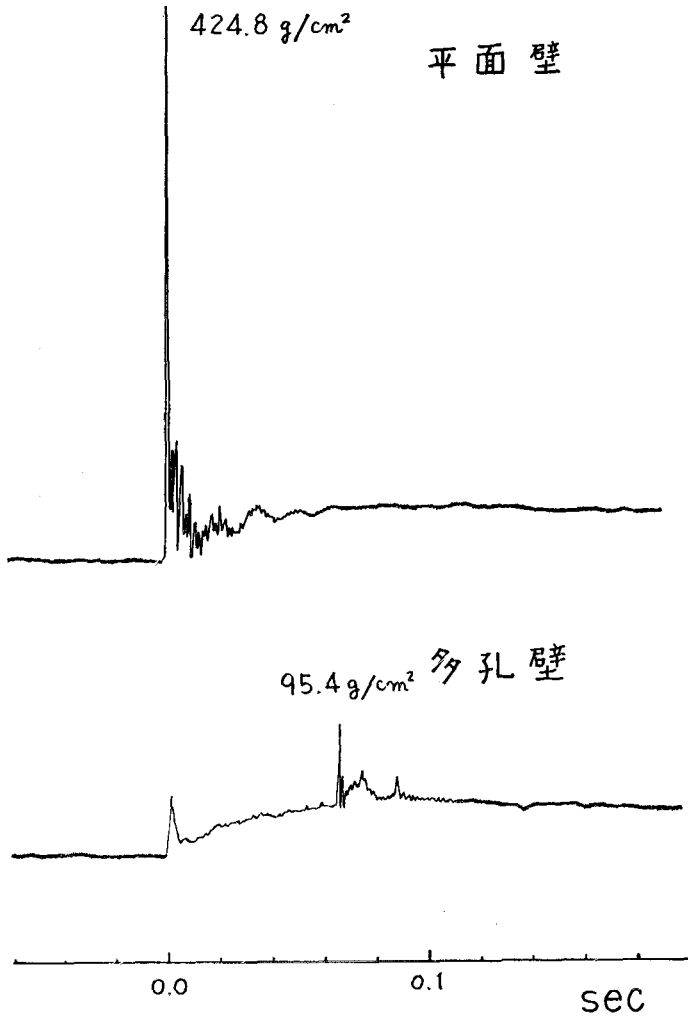


図-5 前壁に作用する砕波の圧力

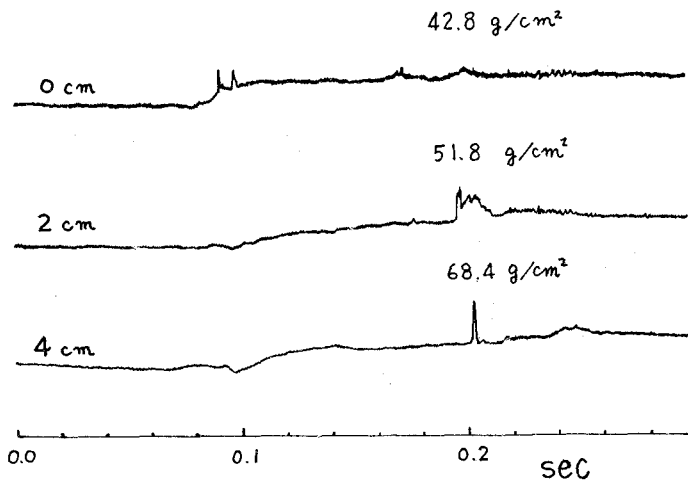


図-6 後壁に作用する砕波の圧力

の場合とは非常に異なっている。この傾向は静水面下になると一層顕著になり、衝撃的な圧力はみられなくなってくる。

図-6 はそのときの後壁に作用する砕波圧を示したもので、時間の起点は前壁に砕波した時間と一致させている。圧力の測定点は、静水面上 0 cm, 2 cm, 4 cm の 3 点である。前壁の場合と同様、ところどころに衝撃圧の発生がみられるが、値はかなり小さく、 l_0/L の増加につれて衝撃圧は消失してゆく。

図-5, 6 と全く同種の実験で、マウンド上の水深 $h=12.8$ cm とし、前壁に作用する砕波圧がもっとも大きくなる位置に模型を固定して、圧力分布を測定した結果が 図-7 である。実線は前壁の外側壁面で衝撃圧の最大値が現われた時点の圧力分布、いわゆる最大同時波圧分布を示し、点線は、各測定点において測定された最大の波圧を結んだ線である。荷重分布が任意の場合における壁体の構造設計は、有限要素法の適用によって可能となろうが、作用時間の短い衝撃圧とそれの繰返し度数、壁体材料の疲労強度など、いろいろな面からの検討によって設計圧力は決定されてくるものとなろう。

上述の前壁における圧力分布は、壁面の中心線上で、孔と孔との中間の鉛直線上で測定したものであるが、孔の周辺で圧力分布に変化がみられるかどうかを検討したのが 図-8 である。測定は最大の砕波圧が生ずる静水面上 2~4 cm の位置で行ない、L 字型に波圧計を 5 個 1.25 cm 間隔で設置して同時波圧を測定した。さらに 5 mm 左へ移動して、鉛直方向が A の線と一致するところで、同様に同時波圧を測定している。傾向としてみると、鉛直方向では最上部で最大波圧の生ずる位置となってくるので、このような傾向になるようであるが、水平方向では同程度の大きさとみられそうである。

4. む す び

多孔壁式消波構造物からの波の反射は、さきに述べたごとく規則波の場合であっても、フーリエかパワーかの表現は

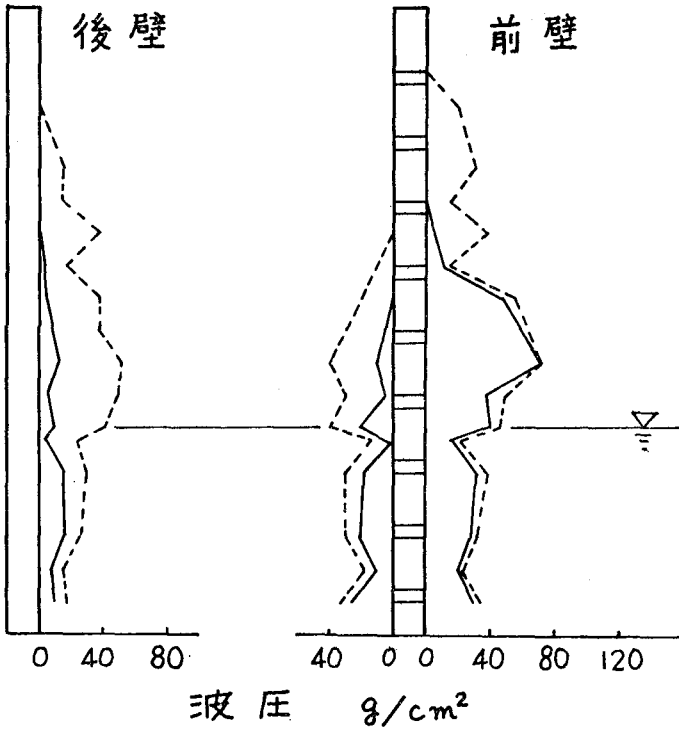


図-7 多孔壁消波構造物に作用する碎波時の圧力分布

ともかく、スペクトルの観点から説明するのが妥当なように思われる。一方、壁体の設計に絡む局所的な圧力分布は、その研究がまだ緒についたばかりなので、今後さらに詳細な検討を行なうことになっている。

参考文献

- 1) 堀口孝男・小坂俊吉・布施敏一郎：多孔壁消波構造の水理，第25回海岸工学論文集，pp. 347～351，土木学会，1978.
- 2) Thornton, E. B. and R. J. Calhoun: Spectral resolution of breakwater reflected waves, Proc. of ASCE, WW4, pp. 443～460, 1972.
- 3) 井島武士 他：遊水部をもつ有孔壁防波堤に作用する碎波力に関する実験的研究，第25回海岸工学論文集，pp. 333～336，土木学会，1978.

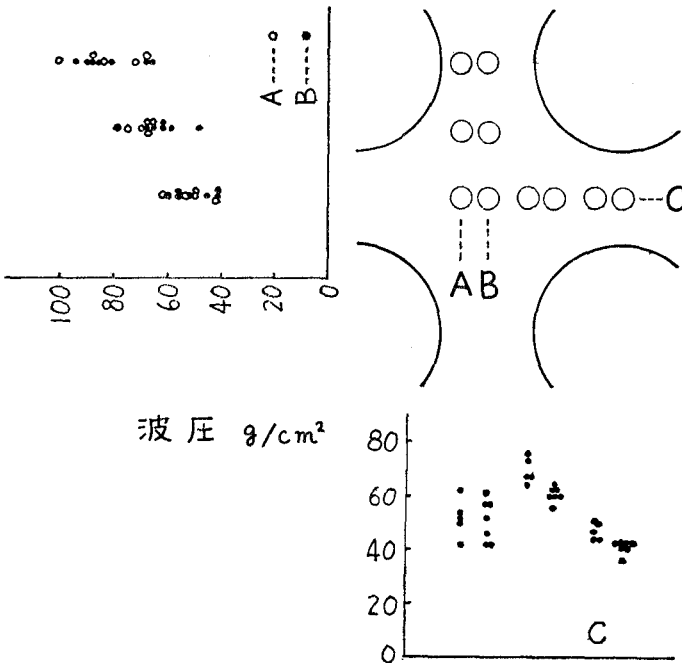


図-8 孔周辺における同時波圧分布