

ケーソン式混成堤における消波ブロックの動揺と衝突現象について

防衛大学校 学生会員 山口 貴之 防衛大学校 正会員 林 建二郎
 防衛大学校 正会員 大野 友則

1. まえがき

混成堤など直立壁を持つ防波堤や護岸構造物では、図 - 1 に示すように砕波によって消波ブロックがケーソン壁に衝突し、直立壁が局所的な損傷や破壊に至る事例がある¹⁾。本研究は、消波ブロックの衝突によるケーソン壁の損傷や破壊に着目し、衝撃的な砕波力を受ける消波ブロックの挙動と直立壁への衝突力について水理模型実験により基礎的な検討を行うことを目的としている。

2. 水理模型実験の概要

実験は長さ 40m、幅 0.8m、深さ 1m の吸収式 2 次元造波水路を用いて、フルード則の適用による縮尺 1/36 の水理模型実験として行った。水路には、海底模型をステンレス鋼材を用いて形成した。海底勾配は 3/100 であり、水路床上高さ 30cm に水平床を形成し、図 - 2 に示す鋼製の直立壁模型をボルトで固定した。

実験では、直立壁に作用する波圧および消波ブロックの壁面衝突時の衝突力の計測を行った。波圧計 13 個（定格容量 200gf/cm²、固有振動；2kHz、減衰常数；0.112）を直立壁中央部（図 - 2、P1 から P13）に取り付けた。また、既往の研究では消波ブロック 1 個の衝突力について検討した事例がなく、消波ブロックが直立壁に衝突した場合にどの程度の力が作用するのか不明な点が多いため、衝突力計測用のロードセル（固有振動数 58Hz、減衰常数）を製作した。ロードセルは、図 - 3 に示すステンレス製の本体に防水用ひずみゲージを片面 2 枚ずつ（貼付間隔 12cm）の計 4 枚を貼付したものである。荷重への変換は、4 アクティブゲージ法を用いてひずみゲージの 2 点間の曲げモーメントの差から荷重を計測する仕組みとなっている。このロードセルを図 - 2 に示すように、直立壁背面から固定し受圧面と直立壁前面が同一平面となるように設置した。本実験での波圧および衝突力は、サンプリングタイム 1ms で計測を行った。また、消波ブロックの動的挙動と砕波の作用状況を観察するために高速度ビデオカメラを用いて、1 秒間に 4500 コマの記録スピードで約 6 秒間の撮影を行っている。

実験のパラメータは、図 - 4 に示す 消波ブロック被覆堤断面、消波ブロックが沈下した場合を模擬した断面の計 2 種類で行った。水深は、 $h=28.9\text{cm}$ （実換算 10.4m）と $h=33.1\text{cm}$ （11.9m）の 2 種類とした。実験で使用した消波ブロックは、モルタル製の模型テトラポッド（600gf、高さ約 9cm）で実物 32tf 型（28.75tf）に相当し、消波ブロックの斜面勾配が 1:1.5 となるように乱積形式で配置した。実験で用いた波はすべて規則波であり、周期 $T=1.67\text{s}$ （実換算 10s）と $T=2.53\text{s}$ （15.2s）、沖波の入射波高で $H_0=15.2\text{cm}$ （実換算 5.5m）から $H_0=24.2\text{cm}$ （8.7m）までを作用させて行った。



図 - 1 消波ブロック衝突によるケーソン壁の局部破壊

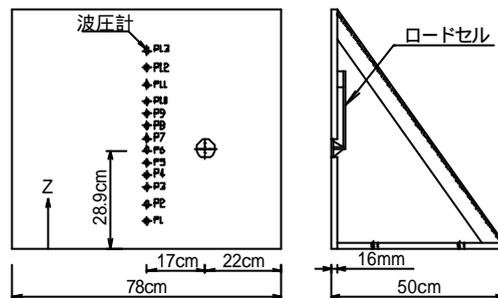


図 - 2 直立壁模型

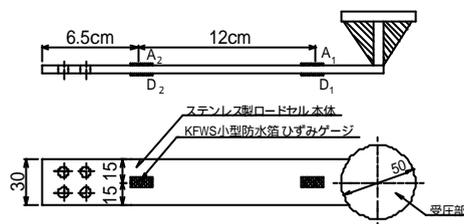
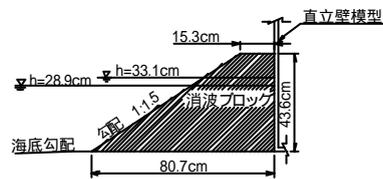
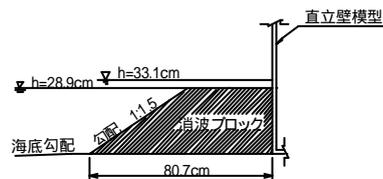


図 - 3 ロードセル



(a) 模型断面



(b) 模型断面

図 - 4 実験模型断面

キーワード 防波堤構造物, 混成防波堤, 直立壁, 砕波, 消波ブロック, 衝撃力

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL 0468-41-3810 FAX 0468-44-5913

3. 実験結果および考察

(1) 砕波による消波ブロックのケーソン壁への衝突力 F_t について

消波ブロックが沈下した場合を想定した模型断面の水深 $h=28.9\text{cm}$, 周期 $T=2.53\text{s}$, 沖波波高 $H_0=21.3\text{cm}$ において, ロードセルの受圧面に1個の消波ブロックの1脚が接触するように乱積で配置し, 受圧面に作用する消波ブロックの衝突力 F_t と波圧による力 F_p の和 F_t を計測した. また, 比較のためにロードセル受圧面の前面に金網付きの型枠で隙間をあけ, 波圧のみによる力 F_p の計測も行った. 図-5(a)は, 消波ブロックの衝突力 F_t と波圧による力 F_p との和 F_t の時間変化の一例を示し, 図-5(b)は波圧だけによる力 F_p の時間変化を示している. これらの波形を周波数 40Hz のローパスフィルターで処理した場合, 衝突力 F_t と波圧による力 F_p の和 F_t の最大値は $F_{t\text{max}} = 15.8\text{N}(1612\text{gf})$, 波圧だけによる力 F_p の最大値は $F_{p\text{max}} = 5.0\text{N}(505.3\text{gf})$ であった. 消波ブロックの衝突力 F_t は $F_t = F_{t\text{max}} - F_{p\text{max}}$ の関係で求めることができるとすると, 1個の消波ブロックの直立壁面への衝突力は $F_t = 10.8\text{N}(1106.8\text{gf})$ となる. また, 消波ブロックの衝突力の作用時間 t は, 約 32msec である. このとき, 消波ブロックの衝突力 F_t を現地に換算すると $503.9\text{kN}(51.6\text{tf})$ の衝突力が直立壁面に作用することになる. その作用時間は $t=192\text{msec}$ である. 図-6は, 水深 $h=28.9\text{cm}$, 周期 $T=1.67\text{s}$ における $F_{t\text{max}}$ と $F_{p\text{max}}$ の沖波波高 H_0 に対する変化を示した. 図にプロットした黒丸 $F_{t\text{max}}$ と白丸 $F_{p\text{max}}$ の差が消波ブロックの衝突力 F_t である. 図から, 最大の衝突力 F_t は, 沖波波高 $H_0=21.6\text{cm}$ の場合で $13\text{N}(1326.5\text{gf})$ である. これを現地換算すると $606.5\text{kN}(61.9\text{tf})$ となる. また, 沖波の入射波高 H_0 が増加すると消波ブロックの衝突力 F_t が増加する傾向にある.

(2) 消波ブロックの動的挙動と移動速度

a) 消波ブロックの挙動
1個の消波ブロックを模型断面の消波ブロック天端に設置して高速度ビデオカメラで撮影したところ, 砕波の作用によって消波ブロックが直立壁へ衝突している状況が観測できた. その挙動は, 消波ブロックの重心が低いために消波ブロックの一脚だけが少し浮いたような状態で滑るように衝突している場合がほとんどであった. 一方, 波圧によって転倒した後に衝突する場合もあった. また, 波高が大きな波を作用させた場合, 飛来するように直立壁に衝突する場合もあった.

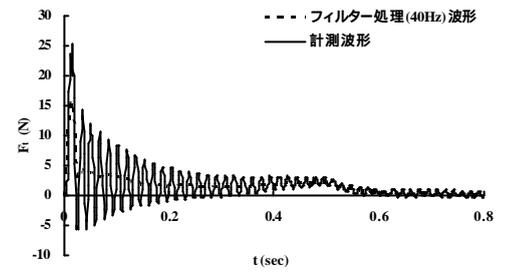
b) ブロックの移動速度

図-7は, 今回の実験で撮影を行った模型断面における水深 $h=28.9\text{cm}$, 周期 $T=1.67\text{s}$, 沖波波高 $H_0=21.6\text{cm}$ の一例である. この場合, 消波ブロックの衝突前の移動速度は 0.064m/s , 衝突後の移動速度は 0.039m/s であった. また, 消波ブロックに作用する砕波流速は 1.68m/s であった. これらを現地の縮尺に換算すると, 消波ブロックの衝突前の移動速度は 0.38m/s であり, 衝突後は 0.23m/s となる. また, 消波ブロックの衝突前の移動速度は, 砕波流速の $1/26.6$ である.

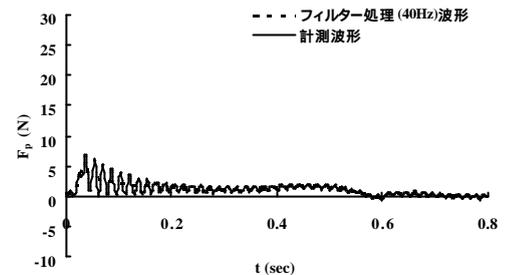
4. まとめ

本実験手法を用いることにより, 消波ブロックが直立壁へ衝突する際の衝突力を計測することが可能である. 砕波の作用によって消波ブロックが直立壁へ衝突する際の挙動がわかった. 高速度ビデオカメラを用いることによって, 消波ブロックの衝突速度と砕波流速が算定できた.

[参考文献] 1)防波堤ケーソン壁の破壊と衝撃砕波力について: 高橋重雄・津田宗男・下迫健一郎・横田弘・清宮理、海岸工学論文集, 第45巻, p751-p766, 1998. 2)わかりやすい耐波工学 その4: 高橋重雄、波となぎさ 137号 1998春



(a) 衝突力 F_t と波圧による力 F_p の時間変化



(b) 波圧だけによる力 F_p の時間変化

図-5 衝突力 $F_{t\text{max}}$ と波圧による力 $F_{p\text{max}}$

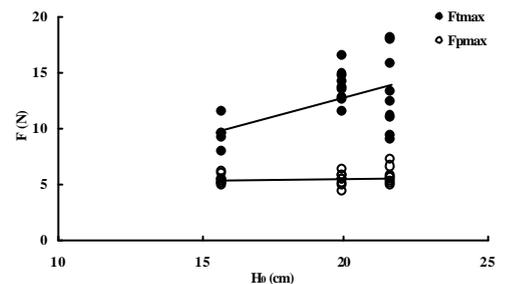


図-6 $T=1.67\text{s}$ における衝突力 F と H_0 の関係



図-7 高速ビデオの画像