

消波ブロックの繰り返し衝突を受けるケーソン壁の衝撃破壊に関する実験的研究

防衛大学校 学生会員 ○山口貴之 正会員 別府万寿博 正会員 大野友則

1. 諸言

防波堤の一種である消波ブロック混成堤では、鉄筋コンクリート製（RC）ケーソン躯体の前面に消波ブロック（一般に、テトラポッドと呼ばれる）が敷設されている。台風時には、高波によって消波ブロックが動揺・移動してケーソン壁に衝突することがある。これまで、写真 - 1 に示すように、ブロックの衝突によってケーソン壁に穴があく被災事例が数多く報告されている^{1),2)}。本研究は、消波ブロック混成堤の耐衝撃設計法の観点から、まず波の作用を受けた消波ブロックがケーソン壁に衝突する挙動や衝突力などについて水理模型実験による検討を行った。その結果、波の作用による消波ブロックの衝突現象やメカニズムについて明らかにすることができた³⁾。次に、RC ケーソン壁に穴があく（局部破壊）現象を把握するために、実物の 1/6.4 縮尺で模擬した RC 板試験体に対する水平衝突実験を行い、衝突速度・衝突回数と局部破壊の関係について検討を行っている。



写真 - 1 被災写真

2. 実験の概要

実験では、実際のケーソン壁を想定して縮小した RC 板を、図 - 1 に示す載荷装置の反力壁に取り付けた試験体支持具上に 4 辺固定条件で設置した。また、試験体支持具の内部(1m × 1m × 0.15m)には、中詰め材として締固めた砂（密度 1.77tf/m³）を充填している。また比較検討のために、砂を充填しない場合の条件についても実験を行った。RC 板試験体は、コンクリート強度 60.5N/mm²、寸法 1.1m × 1.1m × 0.07m の複鉄筋断面である。衝突実験では、重量 166kgf の鋼製衝突体の先端にテトラポッドの一脚先端部を模擬したコンクリート塊(11.5kgf)を取り付け、載荷装置のガイドレールに沿って RC 板試験体の中央位置に衝突させた。載荷終了にあたっての破壊の定義は、RC 板に生じた衝突痕の全周にクラックが入り、陥没量が 7mm 以上に達した時点とした。衝突速度は、約 1m/s から約 7m/s までの範囲で行った。

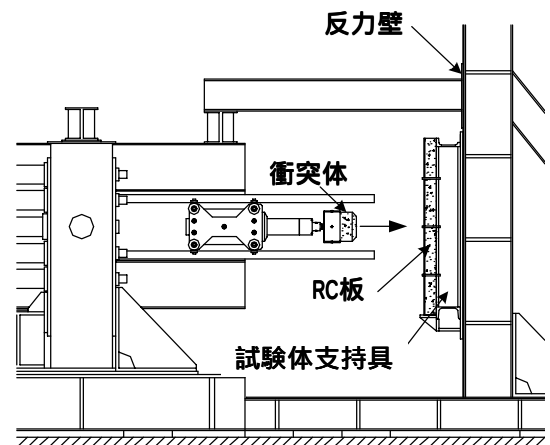


図 - 1 実験装置の概略図

3. 実験結果および考察

(1) RC 板の破壊状況

写真 - 2 に、一例として速度 $V=2.94\text{m/s}$ で繰り返し衝突載荷を行ったケースで、RC 板に生じた局部破壊の破壊進展状況を示す。1 回目の衝突では、衝突体先端部の衝突痕がつく程度である。同じ載荷条件の 13 回目の衝突によって一部に亀裂が入り、その後の衝突で亀裂が次第に大きくなりかぶりコンクリートの剥落が生じた。22 回目で、衝突面の全周に亀裂が進展した。このケースでは、25 回目で陥没量 δ が約 8mm になったので実験を終了した。この結果から、RC 板の背面に砂がある場合の破壊は、衝突体の貫入にともなう押し抜きせん断破壊であることがわかった。

キーワード：防波堤ケーソン、消波ブロック、繰り返し衝突、鉄筋コンクリート版、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

(2) 衝突回数 N に対する最大衝撃力 $P_{\max}$ と陥没量 δ の関係

図 - 2 に、衝突速度 $V=2.94\text{m/s}$ の場合の、衝突回数 N と最大衝撃力 $P_{\max}$ および陥没量 δ の関係の一例を示す。図から、1 回目の衝突時点での最大衝撃力 $P_{\max}=81.5\text{kN}$ に対し、衝突を繰り返すごとに衝撃力 $P_{\max}$ は減少し、23 回目での衝撃力は $P_{\max}=43.2\text{kN}$ である。さらに衝突載荷を継続すると、衝撃力 $P_{\max}$ が増加する傾向に転じた。このとき、5 回目までの陥没量 δ はほとんど無く (0mm)、6 回目から徐々に陥没が生じて載荷断面にせん断破壊面が形成されていった。衝撃力 $P_{\max}$ が最小値を示す 23 回目における陥没量 δ は約 5mm であり、実験終了時点で約 8mm であった。したがって、23 回目の衝突時点では陥没部分のせん断破壊面が完全に形成されてなく、RC 板にはまだ衝撃抵抗力が残存していたものと考えられる。24 回目の衝突で陥没部が押し抜きせん断により完全に破壊したため、背面の中詰め砂による支持力によって衝撃力が増加したと考えられる。

(3) 衝突回数 N と衝突速度 V の関係

図 - 3 に、衝突速度 V と局部破壊が生じるまでの衝突回数 N の関係を示す。 $V=0.99\text{m/s}$ では $N=565$ 回、 $V=2.27\text{m/s}$ で $N=202$ 回でも RC 板には局部破壊が生じなかった。衝突速度が $V=2.72\text{m/s}$ より大きくなると、衝突回数に差異はあるが破壊に至り、 $V=6.75\text{m/s}$ 以上では 1 回の衝突で破壊が生じた。この結果から、本実験条件では、衝突速度が約 $V=2.5\text{m/s}$ 以下では RC 板には局部破壊が生じないことがわかる。ただし、本実験で使用した RC 板のコンクリート強度は、実際の RC ケーソンに用いられるコンクリート強度より約 2 倍近く高い。したがって、コンクリート強度が小さい場合には本実験で得られた衝突速度より小さい値で破壊に至ると考えられる。この問題は、今後の検討課題である。

4. 結言

本実験で得られた成果を要約すると以下のとおりである。

RC ケーソン壁の局部的な損傷や破壊は、消波ブロックの繰り返し衝突によって生じた押し抜きせん断破壊である。

押し抜きせん断破壊に対するブロックの衝突回数 N と衝突速度 V の関係が得られた。しかしながら、本実験で用いた試験体のコンクリート強度が実際の RC ケーソンに使用されるコンクリート強度より大きいため、今後検討する必要がある。

参考文献

- 1) 高橋ら：防波堤ケーソン壁の破壊と衝撃砕波力について，海岸工学論文集，第 45 巻，pp.751-755，1998.
- 2) 高橋ら：ケーソン式混成堤の主要な被災パターンについて，海岸工学論文集，第 46 巻，pp.816-820，1999.
- 3) 山口ら：消波ブロック被覆堤におけるブロックの動揺・衝突現象の解明のための水理模型実験，海洋開発論文集，第 18 巻，pp.407-412，2002.6.

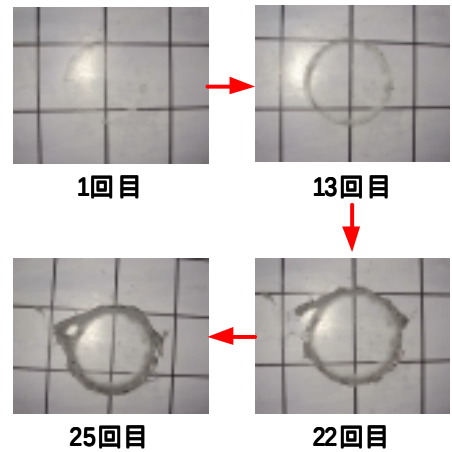


写真 - 2 衝突速度 $V=2.94\text{m/s}$
における破壊状況

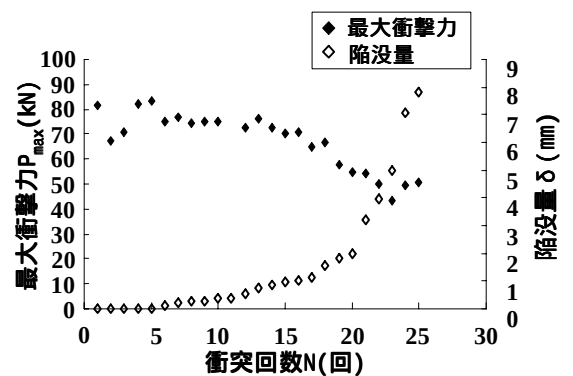


図 - 2 衝突回数 N に対する
最大衝撃力 $P_{\max}$ と陥没量 δ の関係

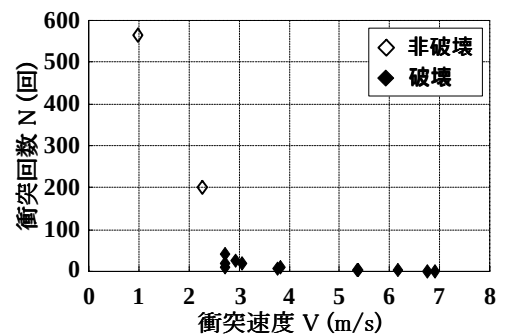


図 - 3 衝突回数 N と衝突速度 V の関係