

消波ブロック被覆堤におけるケーソン壁の局部破壊に関する実験的検討

防衛大学校 学生会員 ○田中信行
防衛大学校 正会員 別府万寿博

防衛大学校 正会員 山口貴之
防衛大学校 正会員 大野友則

1. まえがき

消波ブロック被覆堤において台風時には、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⁾。本研究は、ケーソン壁の耐衝撃設計の観点から、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、さらにゴム製緩衝材の緩衝効果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 17.3kN/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 1.63kNの鋼製衝突体の先端に4脚形消波ブロックの一脚先端部を模擬したコンクリート塊（112.8N）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1～7m/sまでの範囲で行った。また、ゴム製緩衝材の効果を検討するために、RC板の衝突面に寸法が50cm×50cm×1.5cmの3種類のゴム板（天然ゴム系の硬度50と硬度65の総ゴムおよび硬度50の総ゴムに1.5mmの鋼板を埋設した）を取り付けた実験も行っている。

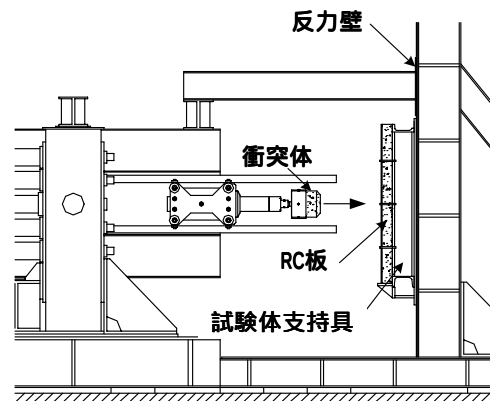


図-1 実験装置の概略図

3. 実験結果および考察

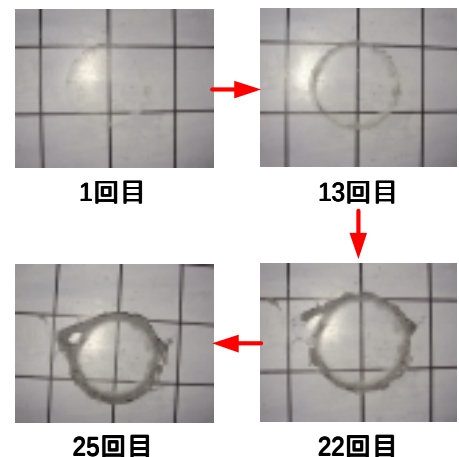
3.1 衝突による実験の結果および考察

(1) RC板の破壊状況

写真-2に、一例として速度 $V=2.94\text{m/s}$ で繰り返し衝突载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。同じ载荷条件の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。

(2) 衝突回数 N と衝突速度 V の関係

図-2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。

写真-2 衝突速度 $V=2.94\text{m/s}$ における破壊状況

キーワード：防波堤構造物、ケーソン壁、消波ブロック、衝撃力、局部破壊、疲労損傷

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) 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に、衝突速度 $V=2.73\text{m/s}$ 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 $P_{\max}=70.1\text{kN}$ に対し、衝突を繰り返す毎に衝撃力は減少し、41回目での衝撃力は $P_{\max}=40.7\text{kN}$ である。さらに衝突载荷を継続すると、衝撃力が増加する傾向に転じた。このとき、7回目までの陥没量はほとんど無く (0mm)、8回目から徐々に陥没が生じて载荷断面にせん断破壊面が形成されていった。衝撃力が最小値を示す41回目における陥没量 δ は約 4mm であり、その後陥没量は急激に増加して実験終了時点で約 6.2mm であった。したがって、41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。42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。さらに、陥没量が7回目の衝突までほぼ 0mm であるにもかかわらず、最大衝撃力は19%低下している。したがって、目視では観察できない損傷がRC板の内部で発生しているためと考えられる。

3.2 ゴム製緩衝材を用いた場合の実験結果および考察

衝突速度 V が約 3m/s で、衝突位置にゴム製緩衝材がある場合の実験結果を図-4, 5, 6に示す。図-4は衝撃力の時刻歴波形、図-5は最大衝撃力 $P_{\max}$ と衝突回数 N の関係、図-6はたわみ量 y と衝突速度 V の関係を示している。図中には、緩衝材が無い場合の結果も示している。なお図-6には、比較のためにゴムなしの場合の陥没量を示した。図-4から、緩衝材は衝突体の作用時間を長くして発生する衝撃力を小さくする衝撃緩衝効果があることがわかる。また図-5, 6から、衝撃力緩衝材を設置した場合の衝撃力 $P_{\max}$ は、緩衝材の種類によらず1回目から実験終了時までほぼ一定値であることがわかる。また、緩衝材が無い場合の衝撃力値の約 $1/2$ となっていることがわかる。また、硬度50の総ゴムが最も衝撃力値が小さい。一方たわみ量 y は、緩衝材が無い場合では25回の衝突で陥没量 δ 約 8mm に対し、緩衝材があると50回の衝突に対してもたわみ量 y が約 $1\sim 3\text{mm}$ 程度であった。とくに、硬度65の総ゴムと硬度50の総ゴムに鋼板を埋設成形した緩衝材が陥没量の抑止に効果的であると言える。以上のことから、RCケーソン壁の前面に敷設する緩衝材としては、硬度50の総ゴムに鋼板を埋設成形したものが最も耐衝撃抵抗力があると言える。

4. まとめ

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ケーソン壁の局所的な損傷や破壊は、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と衝突速度の関係が得られた。

RCケーソン壁にゴム製緩衝材を適用する場合、消波ブロックの衝突に対する衝撃力を緩和し破壊を抑止する効果がある。また、衝撃力とたわみおよび陥没量の関係から、硬度50の総ゴムに鋼板を埋設成形した緩衝材が破壊の抑止には最も有効であると考えられる。

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) 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。

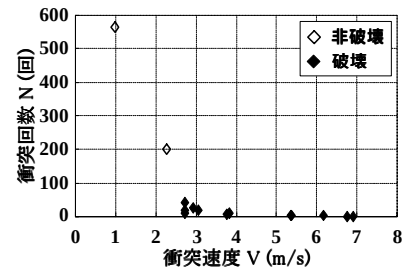


図-2 衝突回数 N と衝突速度 V の関係

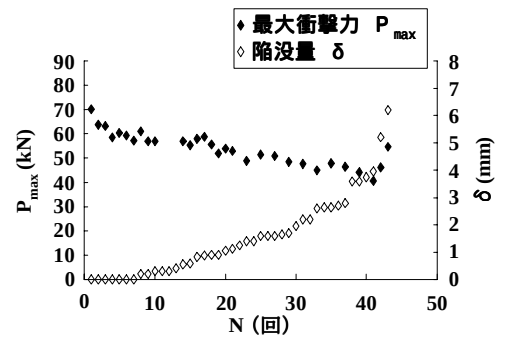


図-3 衝突回数 N に対する最大衝撃力 $P_{\max}$ と陥没量 δ の関係

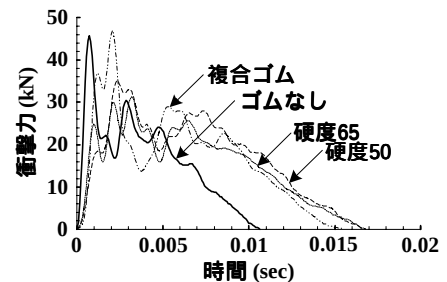


図-4 衝撃力時刻歴波形 ($V=3.0\text{m/s}$)

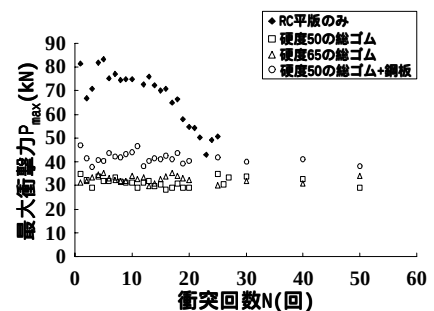


図-5 最大衝撃力 $P_{\max}$ と衝突回数 N の関係

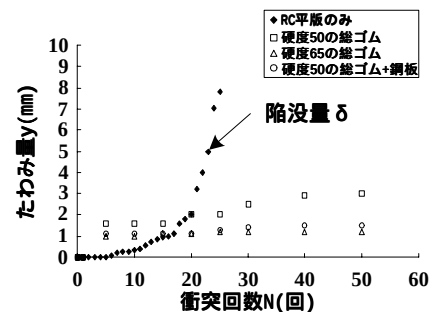


図-6 たわみ量 y と衝突回数 N の関係