

消波ブロックの空隙率が不規則波の越波・反射に及ぼす影響

鳥取大学 学生会員 ○斎藤 龍

東亜建設工業(株) 溝田偉史

鳥取大学 正会員 太田隆夫, 福井信気, 江本久雄

三省水工(株) 正会員 河村裕之, 平山隆幸

1. はじめに

建設コストの抑制を目的として、使用するコンクリート量を削減するため空隙率の大きい消波ブロックが開発され、施工実績も増加している。しかし、現行の防波堤の設計基準においては、消波ブロックの空隙率の違いは考慮されておらず、さらに消波工の断面変形が加わった場合の消波性能や越波低減性能に及ぼす影響は明らかになっていない。また既往の研究¹⁾では、傾斜堤を対象とした反射率や波高伝達率に及ぼす空隙率の影響の検討にとどまっている。本研究では、消波ブロック被覆堤を対象として消波ブロックの空隙率の違いと断面変形による、越波、消波特性への影響について、不規則波を用いて検討する。2種類の空隙率の異なる消波ブロックを用い、消波工の断面変形を設定して、水理模型実験と数値波動水路による数値計算を行い、空隙率および断面変形と越波流量、反射率の関係を定量的に評価する。

2. 水理模型実験

長さ 29.0 m、幅 0.5 m、高さ 0.8 m の 2 次元造波水路で実験を行った。水路内に勾配 1/30 の斜面と高さ 0.24 m の水平面を置き、水平面上にマウンド（砂利）、四脚型消波ブロックの模型による消波工および防波堤前面に対応する鉛直壁を設置した。消波ブロック模型は、空隙率の異なるブロック A（空隙率 0.50）と B（空隙率 0.59）の 2 種類を用いた。これらの空隙率は、設置した消波工での値である。ブロック B には突起部（リブ）とくぼみ部分があり、空隙率が大きくなっている。また、消波工の断面は、初期断面（のり面勾配 1:4/3）と、河村ら²⁾³⁾による断面変形のモデルにより、天端沈下量、静水面での消波工厚さ減少量、のり先位置移動量を求め、図-1 に示すような変形断面を設定した。

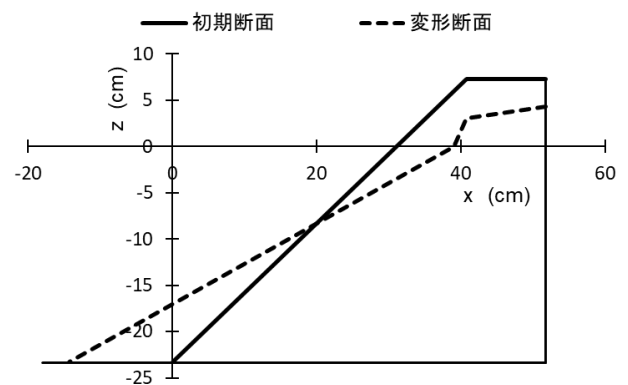


図-1 消波工の断面形状

実験では、4つの有義波周期（1.20 s, 1.35 s, 1.53 s, 1.80 s）に対して5または6種類の有義波高を設定し、各周期で約 600 波分の時間の不規則波を作用させた。一様水深部と斜面上に合計 6 本の波高計を設置して水位変動を記録し、上記の鉛直壁背後に幅 0.25 m の水路と越波柵を置いて越波した水の体積（越波量）を測定した。反射率は、一様水深部の 3 本の波高計で得られたデータから合田ら⁴⁾の入反射波分離法により求めた。

3. 数値波動水路

数値波動水路 CADMAS-SURF (ver.5.1)により、水平方向 33.0 m、鉛直方向 1.0 m の計算領域で水理模型実験と同様の装置と不規則波を用い、計算時間を各周期の約 600 波分として越波量と反射率の数値計算を行った。計算領域内の水平格子間隔は 0.02~0.01 m、鉛直格子間隔は 0.01 m である。越波計算の前に別途通過波検定を行い、実験での波浪条件と合うように設定値を調整している。消波工とマウンドは透過性で、消波工の空隙率は上記と同様に 0.50 と 0.59、マウンドは砂利での計測値 0.37 とし、慣性力係数は 1.2 とした。透水層の抵抗力算定には Dupuit-Forchheimer 則を用い、算定式に含まれる係数 α_0 、 β_0 は、近藤ら⁵⁾にならって、消波工（消波ブロック）は 2200 と 2.2、マウンド（砂利）は 1500 と 3.6 としている。越波量は、消波工背後に不透過の

キーワード 空隙率, 消波工, 断面変形, 越波, 反射率

連絡先 〒680-8552 鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学工学部社会システム土木系学科 TEL0857-31-5334

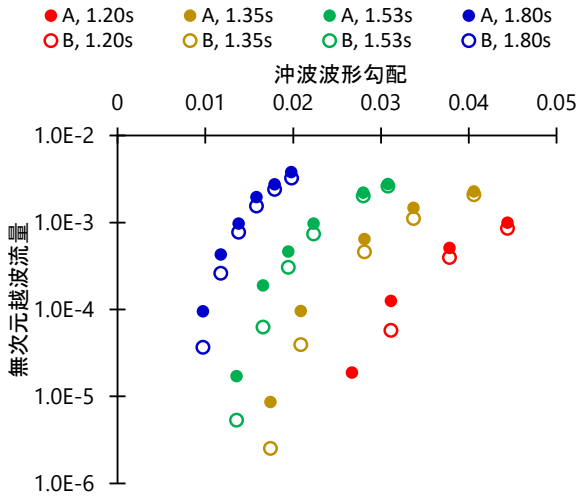


図-2 無次元越波流量の実験結果（初期断面）

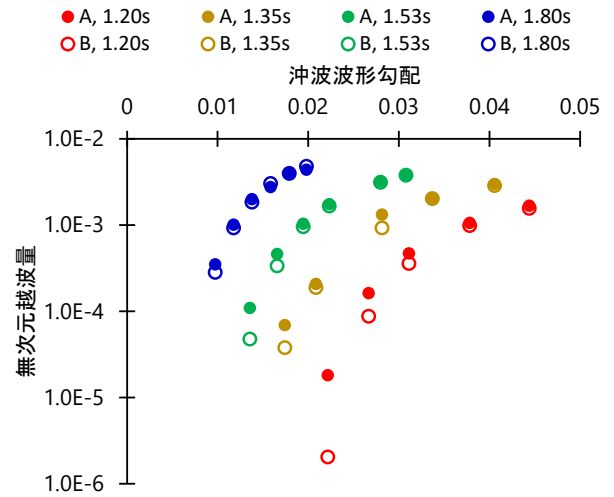


図-3 無次元越波流量の実験結果（変形断面）

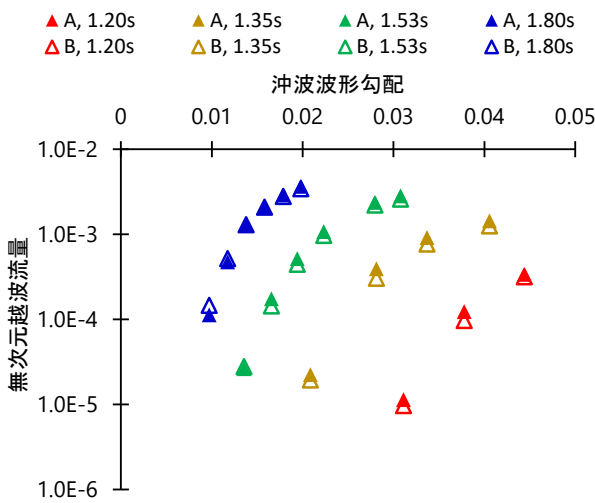


図-4 無次元越波流量の計算結果（初期断面）

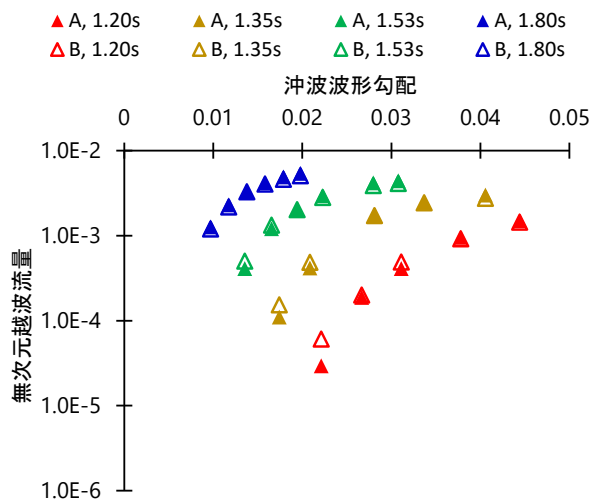


図-5 無次元越波流量の計算結果（変形断面）

鉛直壁を設け、鉛直壁よりも岸側の領域を越波枡とみなし、その領域全体の水の体積を出力して求めた。また実験と同じ位置の水位変動を出力し、反射率を実験と同様の方法によって算定した。

4. 実験および計算の結果

初期断面と変形断面における単位幅・単位時間あたりの越波量（越波流量）の実験結果を図-2, 3に示す。●がブロック A, ○がブロック B の結果であり、各周期の結果を色分けしている。図の縦軸は無次元越波流量 $q/\sqrt{gH^3}$ (q : 平均越波流量, g : 重力加速度, H : 入射波高) である。初期断面の結果においては、すべての周期で空隙率の大きいブロック B のほうが、ブロック A に比べて越波流量が減少する結果となった。各周期では、沖波波形勾配が小さくなるにつれて減少率が大きくなっている。変形断面でも空隙率が大きくなることで無次元越波流量が概ね減少しているが、全体的に初期断面よりも空隙率による差が小さくなっており、周期の長いケースや沖波波形勾配が大きい条件ではブロック B が僅かに大きいものもある。図-4, 5には数値波動水路による無次元越波流量の計算結果を示す。数値計算の結果においても、初期断面ではブロック B で越波流量が減少している。変形断面における空隙率による越波流量の差は、実験結果と同様に初期断面に比べて小さくなり、8 ケースでブロック B のほうが大きくなっている。

図-6 から 9 に反射率と碎波帯相似パラメータとの関係を示すが、変形断面の数値計算結果を除いてブロック B で反射率が小さくなる結果が得られた。これらの結果に対する考察を以下に示す。

- ・初期断面の実験結果において、空隙率の小さいブロック B で越波流量が減少した原因としては、突起部とくぼみ部により表面積が大きくなり、表面での摩擦損失が大きくなること、突起部で流れの剥離と渦の生成

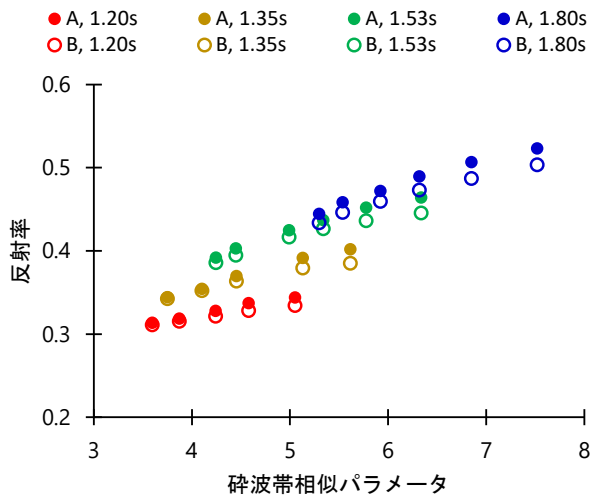


図-6 反射率の実験結果（初期断面）

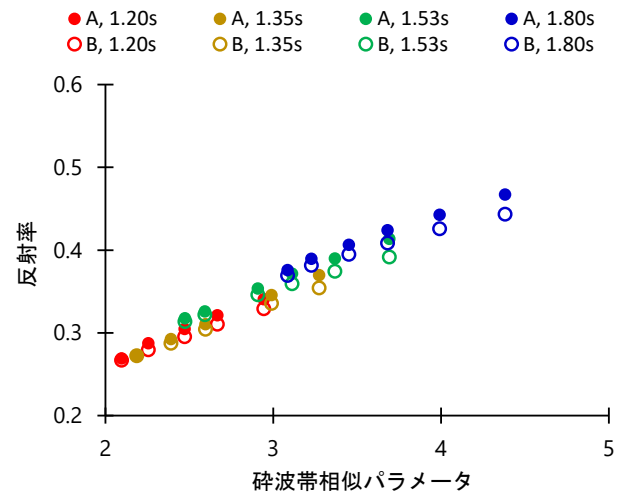


図-7 反射率の実験結果（変形断面）

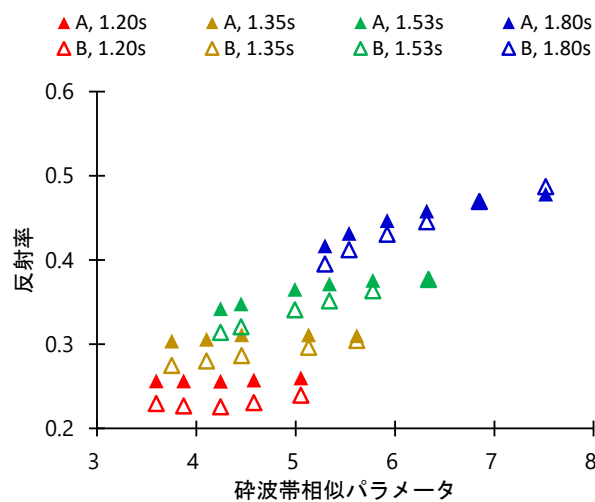


図-8 反射率の計算結果（初期断面）

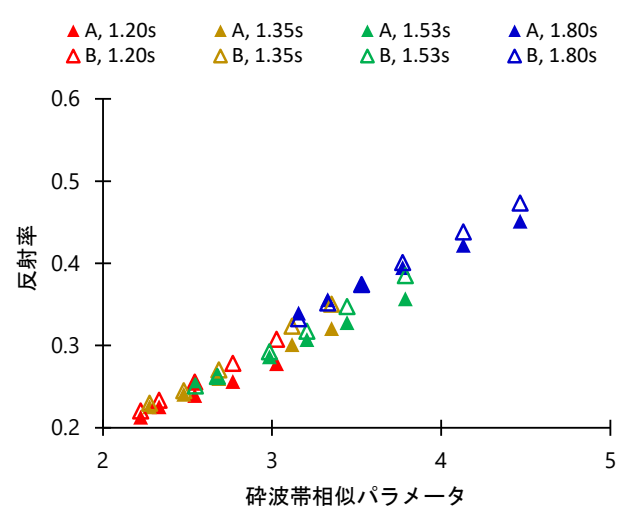


図-9 反射率の計算結果（変形断面）

が促進され、エネルギー損失が増加することが考えられる。

- ・変形断面において空隙率の違いによる越波流量の差が小さくなったのは、消波工の断面変形による越波流量の増加がブロック A と B での差を相殺したためと考えられる。
- ・初期断面の数値計算結果において、ブロック B の越波流量が少なかった要因は、消波工内の空隙が大きくなることで波のエネルギーをより減衰させたことが考えられる。
- ・ブロック B で反射率が小さくなった理由は、空隙率が大きいことで入射波がブロックの間隙を通過し、消波工のり面での反射が少なくなったためと考えられる。

なお、変形断面の数値計算結果では、ブロック B で反射率が大きくなるケースが多かったが、その原因は明らかでない。

5. 実験値と計算値の比較

図-10, 11 に無次元越波流量の実験値と計算値の比較を示す。図-10 の $T=1.20$ s の場合は、変形断面においてはブロック A, B とも実験値と計算値が概ね一致しているが、初期断面では計算値がかなり小さくなっている。消波工前面での有義波高が、通過波検定における同じ波浪条件での波高に比べて最大 2 cm 程度低下しており、これにより越波量が少なくなったと考えられるが、波高が小さくなった原因については不明である。また、図-11 に示した $T=1.80$ s の結果では、初期断面で実験値と計算値がよく合っているが、変形断面では計算値が過大となっている。図示していないが $T=1.53$ s の場合も同様の結果であり、周期が長い場合の変形断面で差異が生じている。

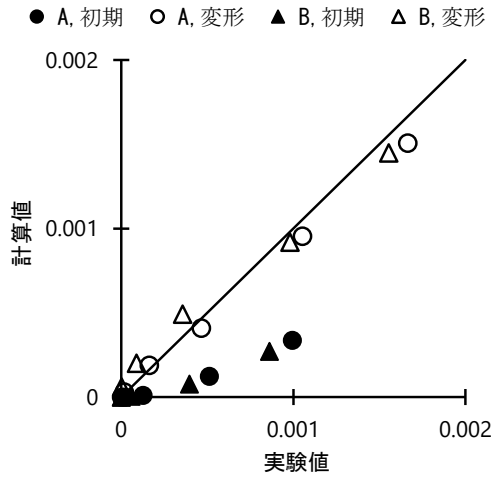


図-10 実験値と計算値の比較 (越波流量, 1.20 s)

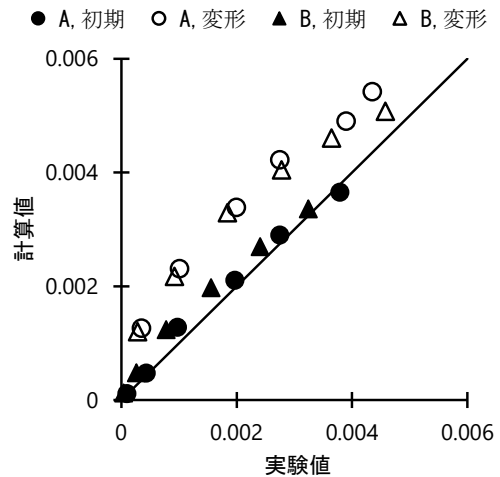


図-11 実験値と計算値の比較 (越波流量, 1.80 s)

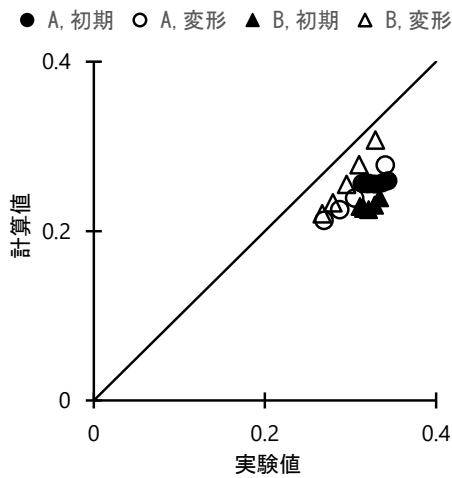


図-12 実験値と計算値の比較 (反射率, 1.20 s)

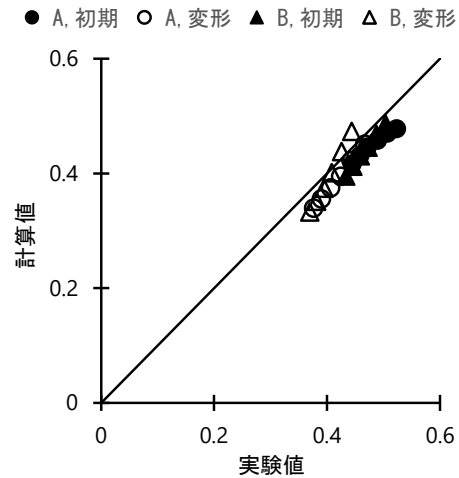


図-13 実験値と計算値の比較 (反射率, 1.80 s)

図-12, 13に反射率の実験値と計算値の比較を示す. 全体的に計算値が過小となっているが, $T=1.80\text{ s}$ のところが両者の差は小さくなっている. 図示していないが, $T=1.35, 1.53\text{ s}$ の場合でも同様に計算値が過小である. 数値計算においては, 4に述べたようなブロック形状の違いの影響は考慮できず, ブロック A と B で空隙率の設定値が異なることのみであり, このことが実験値と計算値の差異が生じる原因の一つと考えられる. 3で述べた Dupuit-Forchheimer 則の係数 α_0, β_0 の値は, ブロック表面の凹凸などの形状により異なる可能性があり, 今後検討する必要がある.

6. おわりに

本研究では, 消波ブロック被覆堤を対象として, 消波ブロックの空隙率と消波工の断面変形が不規則波の越波・反射に及ぼす影響について, 水理模型実験と数値波動水路を用いて検討した. 消波ブロックの空隙率が大きくなることによって, 越波流量・反射率ともに減少する結果が得られた. 実験結果と数値計算結果で差異を生じているものがあり, ブロック表面の形状の影響を考慮するための検討が必要である.

参考文献

- 1) 荒木進歩他: 消波工の空隙率が波高伝達率および反射率に及ぼす影響, 土木学会論文集 B2, Vol.75, No.2, I_793-I_798, 2019.
- 2) 河村裕之他: 消波ブロック被覆堤における消波工の被災・補修過程のモデル化, 土木学会論文集 B2, Vol.72, No.2, I_1123-I_1128, 2016.
- 3) 河村裕之他: 消波工の断面変形に伴う性能変化と性能予測モデルについて, 土木学会論文集 B2, Vol.73, No.2, I_937-I_942, 2017.
- 4) 合田良実他: 不規則波実験における入・反射波の分離推定法, 港湾技研資料, No.248, 24p., 1976.
- 5) 近藤俣郎他: 消波構造物, pp.89, 森北出版, 1983.