

かみ合わせの強い傾斜堤被覆ブロックの 安定性に及ぼす反射波の影響について

INFLUENCE OF REFLECTION WAVES ON THE STABILITY OF CONCRETE ARMOR

UNITS WITH TIGHT INTERLOCKING AGAINST WAVES

小野塚 孝・西川 嘉明¹・加藤 孝輔²・中村 孝幸³

Takashi ONODUKA, Yoshiaki NISHIKAWA, Kohsuke KATOH,
and Takayuki NAKAMURA

1 正会員 株式会社三柱 営業本部 (〒135-0034 東京都江東区永代 1-3-4)

2. 正会員 工修 株式会社三柱 営業本部 (〒135-0034 東京都江東区永代 1-3-4)

3 正会員 工博 愛媛大学工学部 環境建設工学科 (〒790 愛媛県松山市文京町 3 番)

Stability of concrete armor units with tight interlocking on the rubble mound was examined experimentally for both regular and irregular waves. Especially, focusing on the reflected waves from the sloped mound, stability of the concrete units against waves is discussed, such as the reflection coefficient from the sloped mound and the relation between the displacement of the unit and spatial variations of partial standing wave height on the slope. By using the damping wave theory, wave height distributions and wave forces on the concrete unit about the sloped mound were also examined theoretically. It was pointed out that location of the node and anti-node of standing waves on the sloped mound is closely related to the displacement of the armor unit, especially for regularly placed units.

Key words: Concrete armor unit, tight interlocking, stability against wave, reflection wave, partial standing wave

1. はじめに

従来、消波ブロック被覆堤では、堤体よりの反射波が十分に小さなものとして、その影響については、ほとんど考慮されてきていない。しかしながら、耐波安定性に関係する比較的長周期の波に対しては、反射波は、有意な大きさになることが知られており、このとき斜面上では部分重複波が形成されることから、空間的に複雑な波高変動を示すことになる。そして、ブロックの移動形態は、このような部分重複波の腹や節のなど重複波の空間的な波面モードと強い相関を有することが予想される。

このような観点より、本研究では、ブロックで被覆された傾斜堤よりの反射波の特性を不規則波と規則波に対

して実験的に検討すると共に堤体の透水性の影響を考慮できる算定法に基づき、堤体よりの反射率や空間的な波高変動について理論的に検討する。この際実験では、被覆層がかみ合わせの強い整積み状態とそれの比較的弱い乱積み状態の2種類を用い、被覆ブロックの移動状況を観察すると共に、その移動形態を波の諸元や部分重複波の形成状態に着目して検討する。そして、従来において指摘されている、被覆ブロックの移動に及ぼす波周期の影響を、上記したような部分重複波の形成状態という観点から実験と理論に基づき再検討する。

2. 実験概要

(1) 実験装置及び実験方法

本研究では、消波ブロックとして三柱ブロックを採用し、整積・及び乱積工法におけるブロックの移動状況を水理実験により比較、検討した。尚、整積工法断面としては、過去の実験において最も安定性に優れていることが確認された、かみ合わせ斜面被覆工法を採用した。この実験概要を下記に示す。

実験スケール $S=1:29$

模型ブロック 三柱ブロック 5 t 型モルタル模型

(図-1)

堤体模型 消波工天端 2 個並び 法面勾配 $1:1.3$

乱積断面 (図-2)・整積断面 (図-3)

海底勾配 $1:15$

水深条件 法先水深 $h=29.1\text{cm}$ (現地換算 8.4m)

水路幅 $W=1.0\text{m}$

入射波条件

不規則波 作用波数 $N=1000$ 波

周期 $T_{1/3}=1.2\text{s}, 1.5\text{s}, 1.7\text{s}, 2.0\text{s}$ (現地波換算 $6.5\text{s}\sim 10.8\text{s}$; 但し乱積断面は、 1.7s を除く 3 種類)

規則波 作用波数 $N=1000$ 波, 非碎波

周期 $T=1.7\text{sec}$

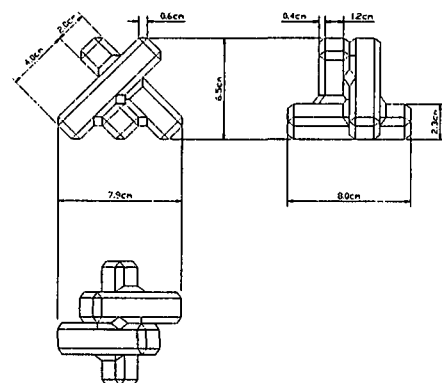


図-1 模型ブロック寸法図

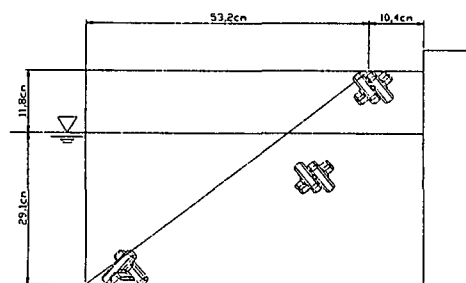


図-2 模型堤体断面図 (乱積)

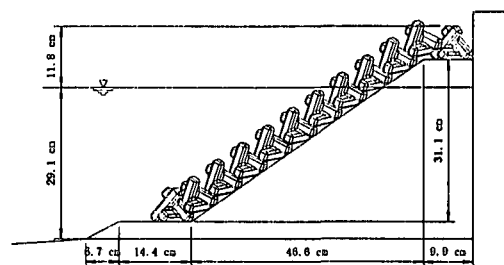


図-3 模型堤体断面図 (整積)

(2) 実験結果

実験の結果、乱積ブロックの移動は、静水面付近から法肩の範囲におけるブロックの飛散として観測されたのに対し、整積ブロックの移動は、従来消波ブロック堤では論じられていなかった法先ブロックの沖側への流出という形で観測された。図-4、図-5 は、入射波の有義波高と被害度の関係を乱積・整積各々の断面に対し整理したものである。この際、ブロック半個分以上の移動を生じたブロックを被害と定義し、被害度の定義は、高橋らりに順ずるものとした。両者を比較すると整積断面は、乱積断面に比べ高い波高まで安定を保てる反面、発生した被害が急速に拡大する傾向を示すことがわかる。これは、整積断面におけるブロック間の噛み合わせが乱積断面に比べて強固であることに起因しているものと考えられる。また、図によれば整積断面におけるブロック移動の発生は、乱積断面に比べ入射波周期の影響が大きなことがわかる。

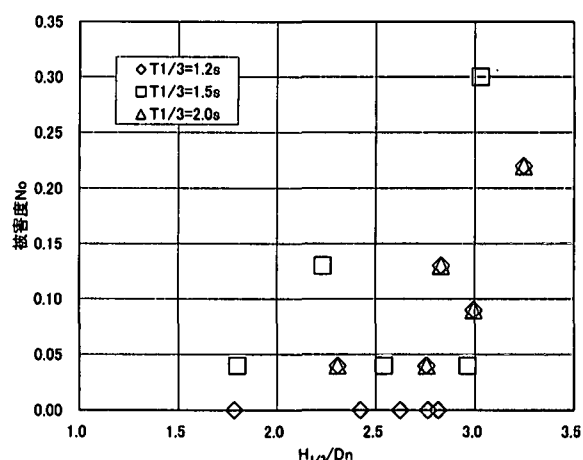
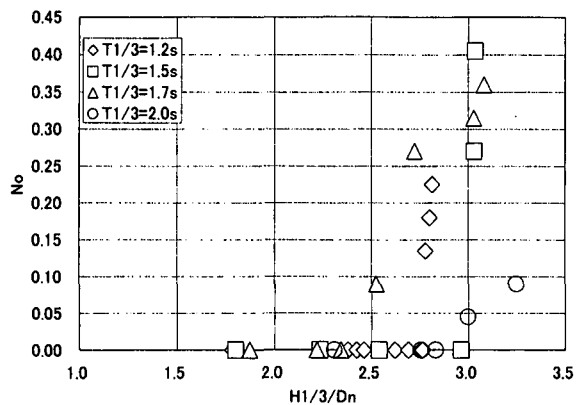


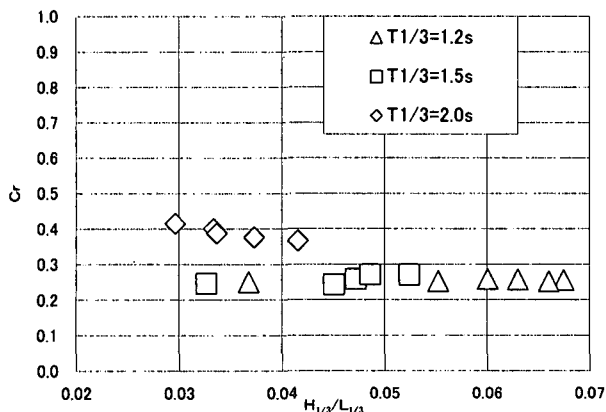
図-4 入射波高と被害度の関係 (乱積)



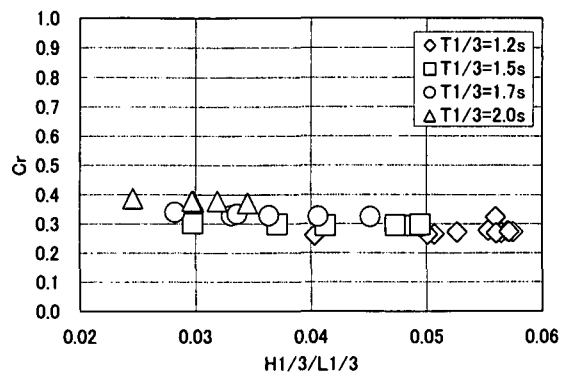
図—5 入射波高と被害度の関係（整積）

図—6，図—7 は、整積及び乱積断面の反射率の波形勾配による変化を整理したものである。同一周期での結果に着目し、波形勾配による影響を見ると、図に示すように波高の変化による反射率の大きな変動は認められず、周期が短くなるほど反射率が低下する傾向にあることが認められる。また、整積断面・乱積断面の両者の間には、明確な差異は認められない。

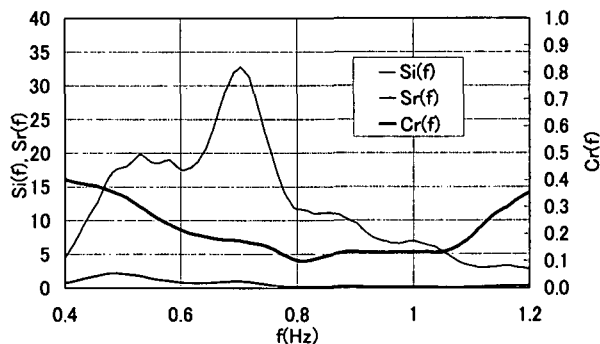
図—8，図—9 は、整積・乱積み各々の断面に対する不規則波実験における入・反射波のスペクトル及びシステム関数的な反射率の一例である。両者は、非常に良く似た傾向を示しており、システム関数的な反射率は、 $0.4 \sim 1.0 \text{ Hz}$ の範囲で低周波数ほど大きな値を示している。



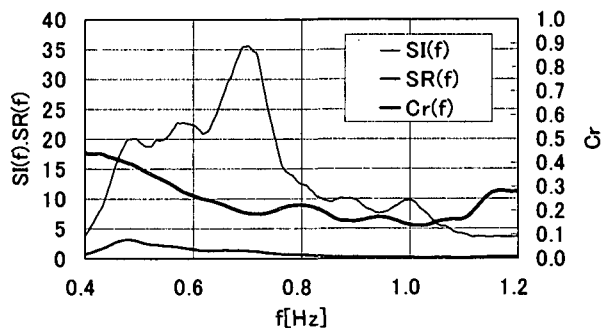
図—6 エネルギー的に求めた反射率の
波形勾配による変化(乱積)



図—7 エネルギー的に求めた反射率の
波形勾配による変化(整積)



図—8 入反射波のスペクトル及びシステム関数的
な反射率 $Cr(f)$ (乱積)



図—9 入反射波のスペクトル及びシステム関数的
な反射率 $Cr(f)$ (整積)

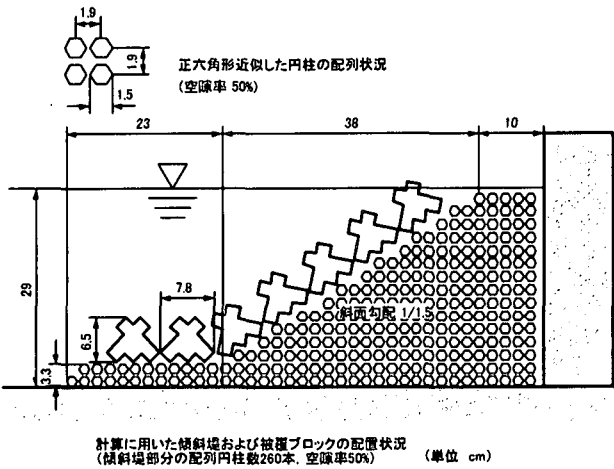
3. 傾斜堤まわりの波高変動及び作用波力の算定

前記の水理実験において整積断面に観測された法先ブロックの沖への流出の原因を明らかにするために中村・石丸²⁾によるブロック堤に対する理論解析法を用いて傾斜堤まわりの波高変動及び被覆ブロックに作用する波力を算定した。

(1) 算定モデル

図—10 は、図—3 に示す整積断面を対象として算定に用いた堤体断面である。ここで用いた理論解析法は、断面 2 次元解析であり、本実験で用いた 3 次元的なブロッ

ク形状の効果を考慮することは困難である。理論解析モデルでは、単一のブロックの断面形状は、側面より射影した形で再現し、それを実験と同様に捨石斜面上に一層被覆した。この際、堤体模型に見られる上下のブロックの断面的な組み合わせは、再現が困難なため算定においては、図に示すように直線的に配列した。また、捨石部分は粒径 15mm の水平円柱で近似した。この際、各円柱は空隙率 50% となるような間隔で格子状に配列した。



図—10 モデル化された堤体断面

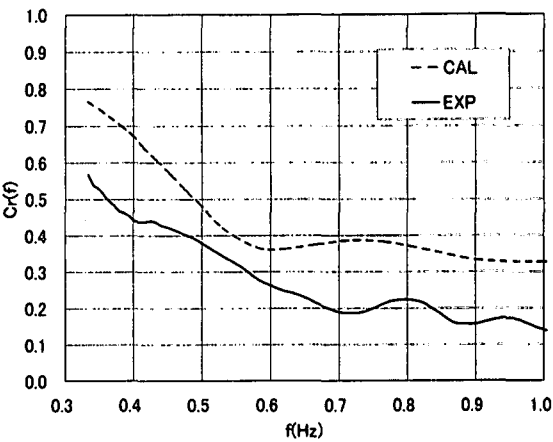
(2) 算定結果

上記算定モデルにより解析計算した傾斜堤の反射率と実験値との比較を図—11 に示す。両者を比較すると、算定結果の方が 0.1~0.2 程度高く現れているものの定性的には良く似た特性を示す。

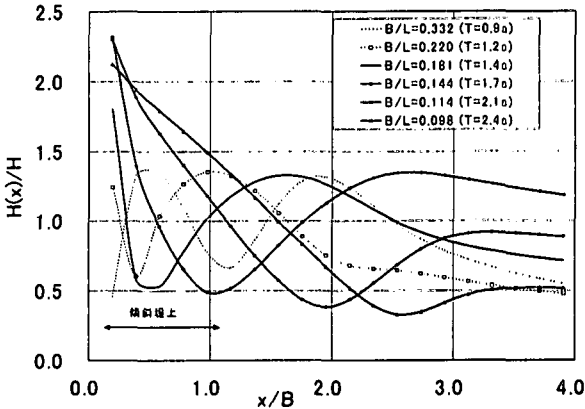
図—12 は、傾斜堤前面の波高分布の計算結果を示すものである。図中では、傾斜堤法肩よりの水平距離と法面の水平距離との比 x/B を横軸に、波高値と入射波高との比を縦軸にとり、代表的な周期ごとに整理してある。この図において傾斜堤法先付近の波高値に着目すると周期 $T=0.9s, 1.7s$ のとき部分重複波の節が、 $T=1.2s$ のとき部分重複波の腹が形成されていることがわかる。こうした部分重複波の節及び腹が法先に生じる波周期は、図—5 に示した整積断面のブロック移動が比較的低い波高で生ずる周期条件に一致する。

このことから、整積断面のブロックの移動は、堤体よりの反射現象による局所的な波高変動の影響を受けているものと推測される。

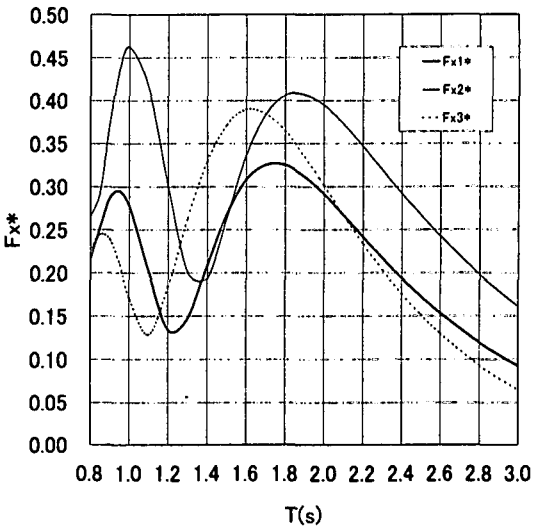
図—13、図—14 は、傾斜堤法先部付近の 3 つのブロックに作用する水平波力及び鉛直波力の算定値と周期との関係を示すものである。これらの図に見られるように、法先ブロック上に節が形成されるときに相当する周期 $T=0.9s, 1.7s$ の条件では、冲向きの水平波力が、腹が形成される周期条件では、上向きの鉛直波力が極大となることが分かる。そして、このような重複波の節や腹の形成状況に伴う波力の増大現象が、比較的低波高での法先ブロックの移動を誘発したものと考えられる。



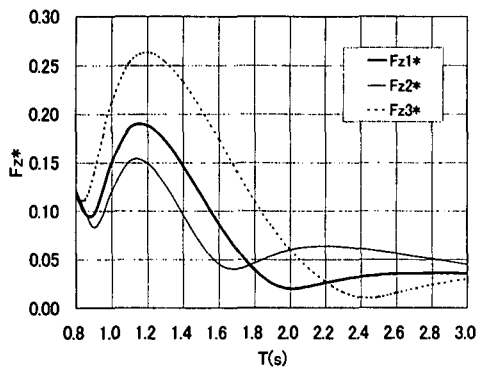
図—11 モデル化された堤体よりの反射率



図—12 モデル化された堤体まわりの波高分布



図—13 法先ブロックに作用する水平波力



図—14 法先ブロックに作用する鉛直波力

4. 結語

以上、水理実験及び理論解析により得られた結果を取りまとめると次のようである。

(1) 本実験で用いた整積および乱積ブロックで被覆された捨石傾斜堤の反射率は、不規則波の作用下で、0.25～0.4の範囲にある。ただし、この反射率はエネルギー的な平均値であり、入・反射波のスペクトルに基づき求められるシステム関数的な反射率は、高周波数より低周波数になると増加して0.5程度以上になる。そして、このような反射率の定性的な変動特性は、捨石部分の透水性の影響を近似的に考慮した断面2次元的な理論算定法によりほぼ推定できる。

(2) 整積状態の被覆層は、乱積状態のそれに比較して高い耐波安定性を有する。そして、かみ合わせ効果の

強い整積状態時の移動は、乱積状態とは異なり、従来において検査対象外とされてきた法先部根押さえ部分に集中して発生し、ブロックの沖側への流出という形態で生じる。一方、乱積状態では、ブロックの移動は、静水面付近の法面上や天端部法肩付近に集中して現れ、移動形態が整積時とは異なる。

(3) 上述した根押さえブロックの移動現象は、入射波の有義波周期に強く依存する傾向を示し、ブロックの移動が最も顕著となるのは、部分重複波の節または腹が法先付近に形成される周期条件下である。

(4) 法先付近のブロックが部分重複波の節および腹に位置するとき、ブロックに作用する波力は極大となることが理論解析により確認され、このような周期条件下で移動が生じやすいことが判明した。

謝辞

本研究にあたり水理実験に尽力いただいた愛媛大学工学部環境建設工学科沿岸防災工学講座の学生諸兄に記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 高橋重雄・半沢稔・佐藤弘和・五明美智男・下迫健一郎・寺内潔・高山知司・谷本勝利(1998): 期待費再度を考慮した消波ブロックの安定重量、港湾技術研究所報告、第37巻、第1号、pp.3-32
- 2) 中村孝幸・石丸満久(1996): ブロック堤体内でのエネルギー逸散機構を考慮した波変形の解析法に関する研究、海岸工学論文集、第43巻、pp.106～110