

トラップ式ダブルリーフの消波機能および セットアップの抑制効果について

安田 孝志* ・ 陸田 秀実** ・ 大屋 敦嗣***
多田 彰秀**** ・ 福本 正*****

1. 緒 言

人工リーフや幅広潜堤は海岸保全だけでなく海岸の利用や環境改善を進める上でも優れた消波構造物である。これらによる消波効果を十分に発揮させるには、天端高や幅を拡大する必要があるが、それによって著しいセットアップとこれに伴う強い冲向き流れが生成されることになる。セットアップは打ち上げ高や越波量を増大させる一方、冲向き流れは前浜の安定を損ない、海岸保全機能を低下させるなど弊害は大きい(磯部ら(1988), 加藤1992)。

これらの問題は、リーフや潜堤による碎波に伴うラディエーション応力の急減にあり、ジェット規模が小さい崩れ波型碎波はラディエーション応力の変化は弱く、セットアップも小さい。ただしこの場合は消波効果も弱く、消波工として期待できない根本的問題が生じる。

このように、従来の人工リーフや潜堤では消波効果を高めるために天端高を高くすると、その利点が低下するだけでなくセットアップの上昇や冲向き流れが強化されるなどの欠点も増大する。また、このとき生成される surface roller によって水塊だけでなく運動量も岸側に輸送されるため、碎波規模の増大が必ずしも消波効果の向上にはつながらない問題も生じる。

このため著者ら(1996)は、トラップ式ダブルリーフを考案・開発し、大規模水平渦をスリット部で捕捉(トラップ)することが可能となるだけでなく、スリット内の渦拡散の活発化やスプラッシュ抑制も可能となり、これらによって消波効果を高めることに成功した。

このようにトラップ式ダブルリーフは、碎波が本来備えた消波機能を最大限活用しようとする点にその本質があり、海浜保全に不可欠な低反射・高消波機能を目指している。本研究では、トラップ式ダブルリーフを用いることにより、複合型碎波の生成とそれによるジェットの捕捉によって著しい消波が可能となるだけでなく、セッ

トアップやそれに伴う戻り流れの抑制も同時に可能となることを水理実験によって実証する。これによって、トラップ式ダブルリーフが低反射・高消波だけでなく、セットアップや戻り流れも大幅に軽減した、遠浅海浜に極めて近い機能を持つ消波工となり得ることを明らかにしたい。

2. 実験装置と方法

西松建設(株)技術研究所の片面ガラス張り水槽(65 m×^B1.0 m×^H1.6 m)内に鋼製2段ステップのダブルリーフを図-1に示すように設置し、スリット構造物(安田ら, 1996)を有する場合(トラップ式)と無い場合(ソリッド式)についてクノイド波を入射させた。時間波形の計測は図中の16台(W01~W16)の波高計を用い、流速は測点C1およびC2の2方向電磁流速計によって計測した。また、高速ビデオカメラ(NAC社製, 200コマ/秒)によって碎波形式やジェットサイズ、さらにスリット部によるジェット捕捉状況を撮影するとともに、ジェット突入時の速度場の計測を中立粒子の追跡によって行った。

リーフ高さは $R_1=26.3$, $R_2=13.2$ cm と固定し、水深 h_1 を 33.0 および 40.0 cm とした。実験条件は下段リーフ長 X_1/h_1 を 3.6~5.0, スリット部設置位置(上段リーフ法肩からの水平距離) X_2/h_1 を 1.52~5.0, 入射波高 $H_1/h_1=0.27\sim0.57$, 周期 $T\sqrt{g/h_1}=10$ および 20 で行った。なお、リーフ沖側測点 W01~W03 の波形データを基に入射波分離(香取ら, 1992)を行い、3~6 波目のゼロダウン波高の平均値を入射波高 H_1 とした。

3. 造波抑制に対するトラップ効果

トラップ式ダブルリーフの機能は緒言で述べた通りで

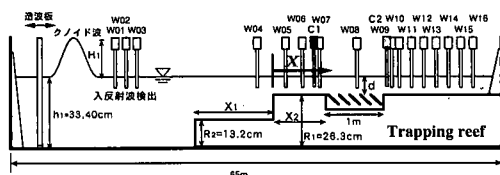


図-1 実験水槽の概要

* 正会員 工博 岐阜大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工修 岐阜大学助手 工学部土木工学科

*** 正会員 工修 NTT

**** 正会員 工修 西松建設(株)技術研究所 技術部海洋技術課

***** 正会員 工博 西松建設(株)技術研究所 技術部海洋技術課

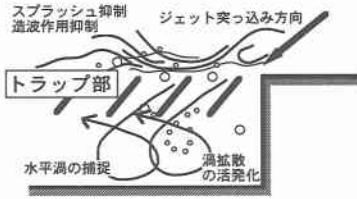
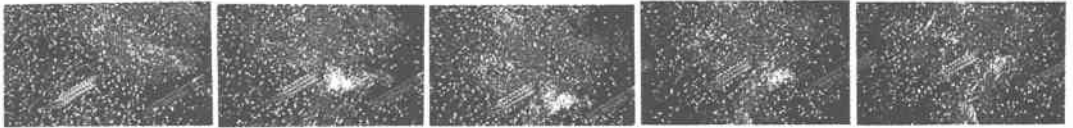


図-2 トラップ機能



(a) ソリッド (Solid) 式 (b) トラップ (Trap) 式

写真-1 ジェット突入状況



(a) 34" 510

(b) 34" 640

(c) 34" 700

(d) 34" 710

(e) 34" 775

写真-2 ジェット突入による気泡および中立粒子の移動の様子

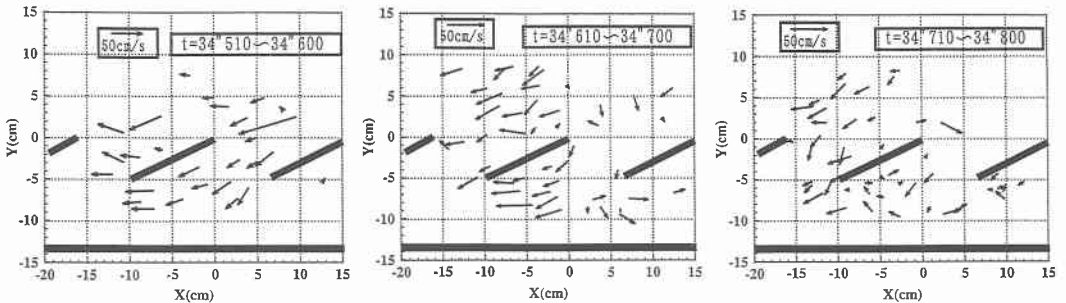


図-3 スリット内部の流速ベクトル

あり、概略図を図-2に示す。

写真-1は、ソリッド式およびトラップ式ダブルリーフ上の複合型碎波（安田ら、1995）のジェット突入状況を示したものである。ソリッド式の場合、ジェット突入地点において入射波峯と同程度のスプラッシュが生成され、これに大規模水平渦による造波作用が加わって波が再生されるため、ジェットの巨大化が逆に波の再生を強める結果となっている。一方、トラップ式の場合、ジェット突入に伴って発生する大規模水平渦がスリット部に捕捉され造波作用が抑えられるとともに、スプラッシュ生成も弱められる。

スリットによるジェットと水平渦の捕捉状況を明らかにするため、写真-2は、スリット部へのジェット突入による気泡と中立粒子の移動の様子を示したものである。気泡を巻き込んだ中立粒子の渦塊（白い星雲状の塊）が水平渦を表し、それがスリット間を通過し、スリット下部に捕捉されていく様子がよくわかる。

このようなスリット部のジェットおよびそれに伴う渦塊の捕捉の状況をスリット周辺の流速ベクトル分布によって示したものが図-3である。これは、写真-2に写っている中立粒子をトレーサーとして粒子追跡法

(PTV)によって求めたものであり、ジェット突入によってスリット間に強い戻り流れが発生し、スリットによって整流されてスリット下部に向かうことがわかる。この流れは、スリット下部においてその後渦塊と一体的となった循環流を形成し、エネルギー消散を促進する。

4. 消波に対するトラップ効果

トラップ式リーフには前述の造波抑制効果があるため、ダブルリーフによって巨大なジェットを伴う広義の複合型碎波（強干渉型碎波；安田ら、1997）を発生させれば、これをそのまま消波効率の向上につなげることができる。ここでは、各測点での時間波形データよりトラップ式リーフの消波効果を明らかにする。

4.1 波形変化

まず、 $T\sqrt{g/h_1}=10$, $H_1/h_1=0.28$ (Run 1) および $T\sqrt{g/h_1}=20$, $H_1/h_1=0.55$ (Run 2) のクノイド波を $R_1/h_1=0.80$, $R_2/h_1=0.40$, $X_2/h_1=3.64$, $X_2/h_1=1.52$ のトラップ式ダブルリーフに入射させたときの各測点の時間波形を図-4に示す。さらに、同一入射波、リーフ諸元の下でソリッド式リーフの場合の波形 (W 16) との比較を図-5に示す。碎波後の時間波形は、波の分散性に支配

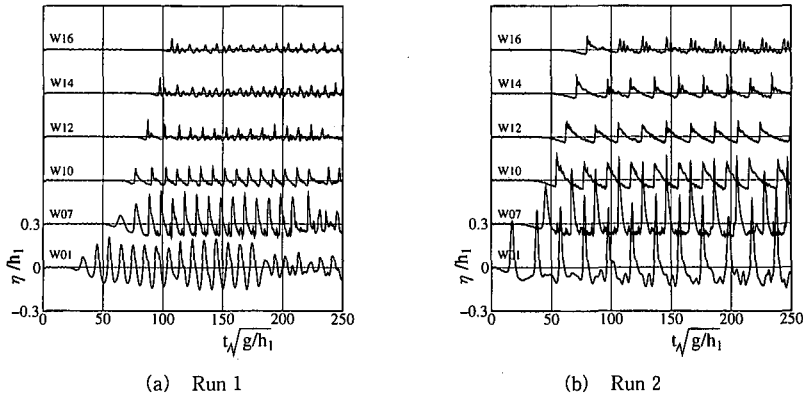


図-4 トラップ式ダブルリーフ上における各測点の時間波形変化

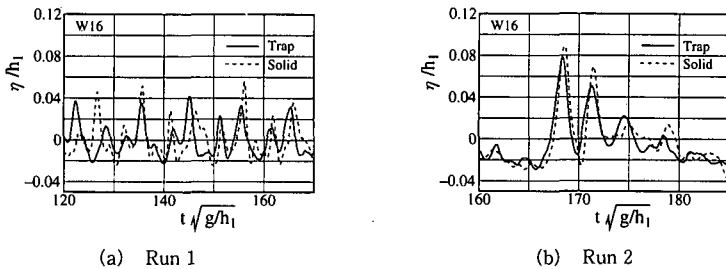


図-5 リーフ岸側端部測点 W16 における時間波形による比較

されるため、トラップ効果よりも周期に影響されるが、トラップ式の方が波頂高だけでなく波形全体の減衰が進んでおり、消波に対するトラップ効果が現れている。

4.2 波高減衰

砕波後のクノイド波の波形は分散効果のために図-5に示したように空間的相似性を失っている上、波高の定義自体の任意性もあるが、後述するように波高 H と η_{rms} の相関は高く、実用上の観点からここでは H を用いて砕波後の減衰を評価することにした。

図-6 は、各測点での平均波高 (3~6 波平均) を求め、トラップ式とソリッド式による砕波後の波高減衰について比較したものである。砕波後の伝播距離が長くなるに従って両者の差は拡大する傾向にあり、トラップ式リーフが消波に対しても優れていることがわかる。

4.3 伝達率と反射率

入射波高 H_1 に対する測点 W16 での波高に対する比として伝達率 K_T を定義し、これと入射波周期 $T\sqrt{g/h_1}$ および H_1 のリーフ天端水深 d に対する比 H_1/d との関係トラップ式とソリッド式で比較した。図-7 はその結果であり、同一の $T\sqrt{g/h_1}$ および H_1/d の下において、常にトラップ式の方が消波効果に優れていることがわかる。また、消波効果と $T\sqrt{g/h_1}$ および H_1/d との関係は、スリット部の有無に関係なく入射波の周期が短く、波高

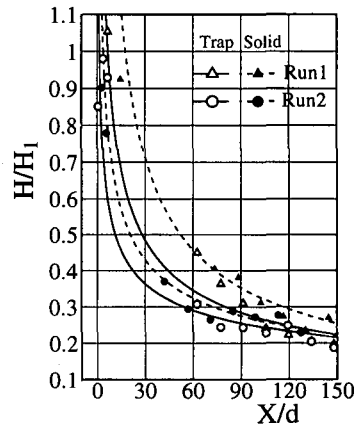


図-6 波高減衰による比較

がリーフ天端上水深 d に比べて大きくなるに従って消波効率は高くなっており、トラップ式では伝達率は最大 0.17 程度まで低下している。

図-8 は、伝達率 K_T と $\Delta\eta_{rms}$ (測点 W16 の η_{rms} と測点 W05 の $(\eta_{rms})_0$ の差) の関係をプロットしたものである。後者はエネルギー減衰率 K_E と称すべき指標であるが、両者の相関は高く、エネルギー減衰率で評価しても十分な消波効果があると言える。

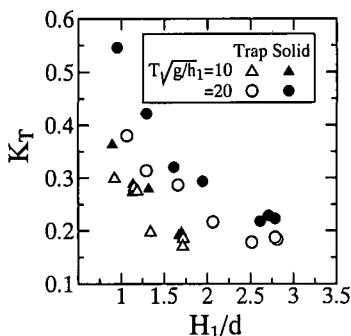


図-7 伝達率 K_T と波高天端水深比 H_1/d の関係

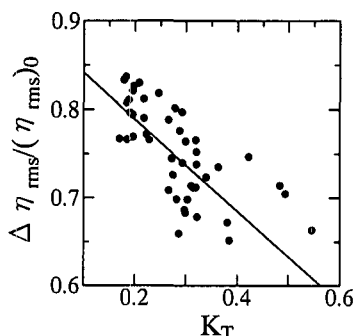


図-8 伝達率 K_T とエネルギー減衰率 $\Delta\eta_{rms}$ の関係

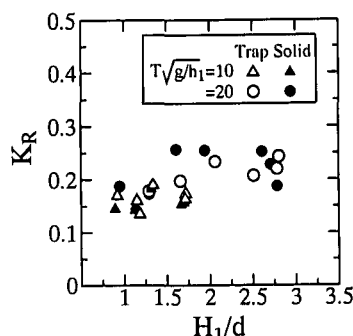
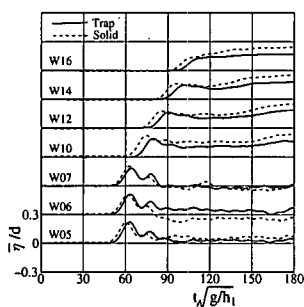
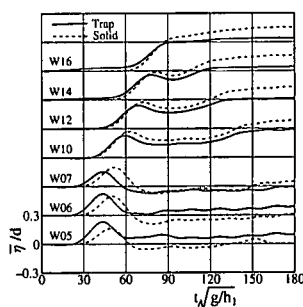


図-9 反射率 K_R と波高天端水深比 H_1/d の関係



(a) Run 1



(b) Run 2

図-10 移動平均水位 $\bar{\eta}$ の時間変化による比較

ダブルリーフの場合、2段ステップとなっているため、その天端高に比して反射率は低くなる。図-9は、入反射分離によって反射波の波高 H_R を求め、これより反射率 $K_R = H_R/H_1$ と H_1/d の関係を示したものである。この場合は、当然ながらソリッド式とトラップ式で差はなく、周期による違いはあるものの、入射波高 H_1/d に関係なく $K_R = 0.2$ 程度の低反射率に留まっている。

5. トラップに対するセットアップ抑制効果

5.1 移動平均水位

図-10は、前述の図-4のケースに対して移動平均水位 $\bar{\eta}$ の時間変化を比較したものである。ソリッド式ダブルリーフでは両ケース共に碎波点沖側（測点 W05～W07）においてセットダウン（ $\bar{\eta} < 0$ ）、岸側（測点 W10以降）においてセットアップ（ $\bar{\eta} > 0$ ）が発生しており、碎波点（W07付近）を挟んで移動平均水位に大きな差が生じていることがわかる。これに対し、トラップ式ダブルリーフではセットダウンがほとんど生じなくなっているだけでなく、セットアップもソリッド式のものよりいずれの測点においても低く抑えられている。

このときの平均水位の岸沖分布を検討するため、図-11に $\bar{\eta}$ の観測時間内（波が到達してから）の平均値

$\langle \bar{\eta} \rangle$ の空間変化を示す。これからも、トラップ式リーフではセットダウンが消える一方、セットアップも抑えられ、ソリッド式のセットアップの7割程度に留まっている。また、ソリッド式の場合に生じるような碎波点前後の急激な水面勾配が大きく緩和されている。

図-12は $\langle \bar{\eta} \rangle/d$ と H_1/d の関係を示したものであり、トラップ式はソリッド式に比べてセットアップが $T\sqrt{g/h_1}$ や H_1/d に関係なく抑制されている。

5.2 平均流速

トラップ式リーフによる水面勾配の緩和は戻り流れの抑制につながると考えられる。ため、スリット部岸沖端部の流速をソリッド式の場合のものと比較検討する。

図-13および14は、測点C1（スリット部始端付近）およびC2（スリット部終端付近）での移動平均水平流速 $\bar{u}\sqrt{g/h_1}$ の時間変化を比較したものである。入射波周期に関係なく、測点C1では沖向き（戻り流れ）流れがトラップ式において優勢であるのに対し、測点C2では岸沖方向ともにソリッド式の方が卓越している。これは、スリット部によってジェットおよび水平渦が捕捉され、岸向きの質量および運動量フラックスが減少し、岸向き流れが抑制される一方、スリット部が吹き出しとなって沖向きの流れを生成していることによっている。このよ

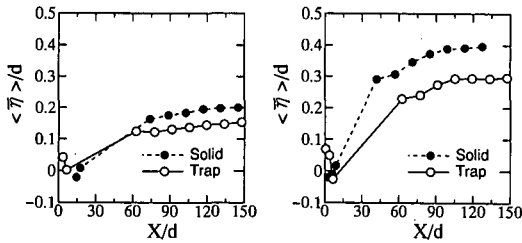


図-11 移動平均水位の平均値 $\langle \bar{\eta} \rangle$ の空間的変化による比較

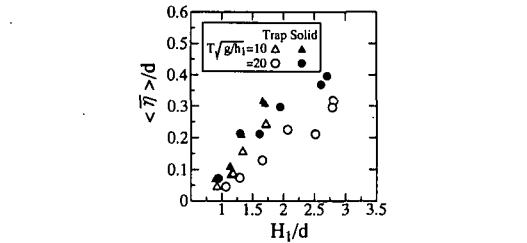
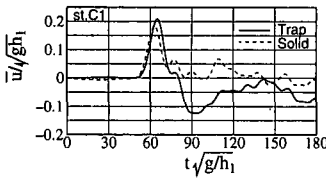
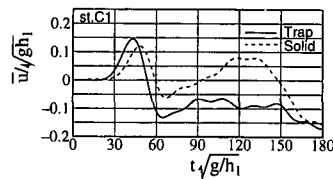


図-12 移動平均水位の平均値 $\langle \bar{\eta} \rangle$ の波高天端水深 H_1/d の関係

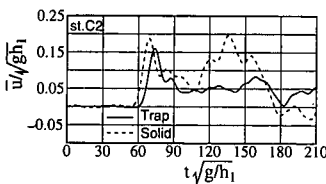


(a) Run 1

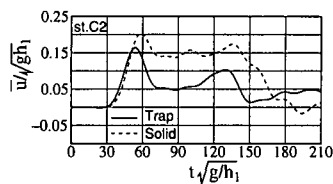


(b) Run 2

図-13 測点 C1 における移動平均水平流速 $\bar{u}\sqrt{gh_1}$ の時間的変化による比較



(a) Run 1



(b) Run 2

図-14 測点 C2 における移動平均水平流速 $\bar{u}\sqrt{gh_1}$ の時間的変化による比較

うなスリット部の機能はジェットや水平渦の捕捉による造波抑制と一体的なものであり、ここが前浜に対するバリアーとなって岸向きの質量、運動量、エネルギーの各フラックスを減少させることになる。この結果、ソリッド式の場合の C2 の流速 ($t\sqrt{g/h_1} \geq 170$) に現れる戻り流れがトラップ式では発生しなくなり、スリット部がセットアップや戻り流れの発生源となる岸向きフラックスを減少させる優れた機能を有していることがわかる。

6. 結 語

トラップ式ダブルリーフの造波、セットアップおよび戻り流れ抑制と消波効果について水理実験による検討を行い、トラップ効果がスリット部のジェット突入、水平渦の捕捉、これに伴う岸向きフラックスの捕捉、さらにスリット周りでの渦拡散の促進によるものであることを実証し、これによって消波効率の向上につながっていることを明らかにした。この結果、トラップ式ダブルリーフは伝達率および反射率を共に 0.2 程度まで下げると同時に、セットアップおよび戻り流れの流速を従来型 (ソ

リッド式) のリーフの 7 割近くまで低下させることが可能となり、トラップ式ダブルリーフが入射波に対して遠浅海浜に近い機能を持つことが明らかとなった。

最後に、本研究は河川整備基金助成事業による成果であることを付記し、深謝する。

参 考 文 献

- 磯部雅彦・柴田洋三・泉宮尊司・渡辺 晃 (1988): 不規則波によるリーフ上の平均水位上昇に関する研究, 第 35 回海岸工学講演会論文集, pp. 192-196.
- 加藤 始 (1992): 透過潜堤による波高減衰効果と堤内水位上昇に関する研究, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 636-640.
- 香取定和・平良達也・水上 優 (1992): 波形追跡法による入射波の分離, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 16-20.
- 安田孝志ほか (1995): 複合型碎波の発見とその発生条件, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 51-55.
- 安田孝志・陸田秀実・水谷夏樹・大屋敦嗣・多田彰秀・福本 正 (1996): トラップ式ダブルリーフの消波機能 (1), 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp. 786-790.
- 安田孝志ほか (1997): リーフ上のクノイド波の碎波特性, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 56-60.
- Svedsen, I. A. (1984): Mass flux and undertow in a surfzone, Coastal Eng., Vol. 8, pp. 347-365.