

トラップ式ダブルリーフの不規則波に対する 消波・セットアップ抑制効果

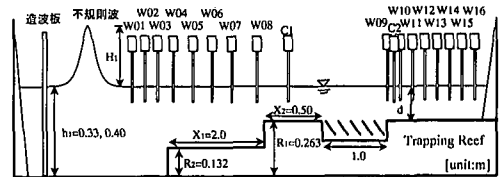
安田 孝志* ・ 陸田 秀実** ・ 折坂 瑞代***
板野 誠司**** ・ 多田 彰秀***** ・ 福本 正*****

1. はじめに

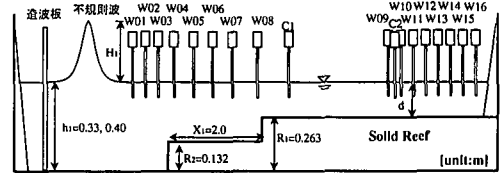
建設省(田中, 1993)の調査によれば, 我が国の海岸侵食に伴う消失面積は, 平成3年までの過去15年間に累計で4,605 ha, 実質でも2,395 haに達し, 侵食は近年強まる傾向にある. その一方で砂浜の重要性が再認識され, 自然の営力を生かした砂浜の回復と保全が強く要請されるようになって来ている. こうした要請に応えるためには, 自然が本来有している消波特性を理解した上で, 遠浅海浜のように低反射で高消波を有し, 砂浜の機能を生かした消波工の開発を行うことも重要な選択肢の一つである.

トラップ式ダブルリーフは, ジェット規模を増大させるダブルリーフとジェットの捕捉によって消波の促進およびセットアップの抑制を図るトラップ部を組み合わせたものであり, 遠浅海浜に近い低反射・高消波・セットアップ抑制機能を備えた消波工を目指している. その本質は, 砕波の消波機能を最大限活用し, 漂砂の原因となる砕波のトラップによって海岸侵食の原因を元から断ち, 海浜の保全を図る点にある. こうしたトラップ式ダブルリーフの水理学的機能については, これまで孤立波およびクノイド波を入射波とした場合に対して実証されて来たが, 現地海岸への適用において必要となる不規則波を入射波とする場合に対しては不明のままとなっている.

本論文では, トラップ式ダブルリーフだけでなく, ソリッド式ダブルリーフおよびシングルリーフに対して同一の不規則波を入射させ, これらの伝達波形および流速データを比較することによって, 不規則波に対するトラップ式ダブルリーフの水理学的機能について解明する.



(a) トラップ式リーフ



(b) ソリッド式リーフ

図一 水槽と計測器の配置

2. 実験方法および条件

西松建設(株)技術研究所の片面ガラス張り水槽(465 m×1 m×1.6 m)内に2段ステップのダブルリーフ(1段ステップとすればシングルリーフとなる)の模型を図一のように設置し, スリット部のある場合(図一(a), トラップ式リーフ)と無い場合(図一(b), ソリッド式リーフ)について同一の不規則波を入射させた. 造波は, $H_{1/3}$ および $T_{1/3}$ を与えて Bretschneider-光易型スペクトルの造波信号を入力して行った. 時間波形の計測は16台(W01~W16)の波高計によって行い, 流速は2台(C1, C2)の電磁流速計を用いて計測した. また, 各波率からの放出ジェットのサイズやスリット部へのジェット突入状況を高速ビデオカメラ(200コマ/秒)によって撮影した.

ダブルリーフの高さを $R_2=13.2$ cm および $R_1=26.3$ cm, 下段リーフ長を $X_1=2.0$ m とそれぞれ固定した. シングルリーフ($R_2=0$, $X_1=0$)の場合についても同じ高さ $R_1=26.3$ cm とした. また, トラップ式リーフのスリット部(長さ1.0 m)は上段リーフ法肩より $X_2=0.5$ m の位置に設置し, 水深 h_1 を33.0 cm, および40.0 cm と変化させた.

表一は, 各実験ケースの番号, 水深(入射水深 h_1 , 天

* 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
*** 石川泉庁 土木部
**** 学生会員 岐阜大学大学院 工学研究科
***** 正 会 員 工 修 西松建設(株)技術研究所 技術部海洋技術課
***** 工 博 西松建設(株)技術研究所 技術部海洋技術課

表-1 リーフ諸元と入射波条件

Reef	Type	Run	h_1 [cm]	d [cm]	$H_{1/3}/h_1$	$H_{1/3}/d$	$T_{1/3}\sqrt{g/h_1}$
Single	Solid	S1	33.0	6.7	0.32	1.58	12.04
		S2	33.0	6.7	0.37	1.82	11.5
		S3	40.0	13.7	0.32	0.93	10.54
		S4	40.0	13.7	0.36	1.05	11.29
Double	Solid	D1	33.0	6.7	0.31	1.53	11.39
		D2	33.0	6.7	0.36	1.77	11.17
		D3	40.0	13.7	0.34	0.99	11.09
		D4	40.0	13.7	0.37	1.08	11.19
	Trap	T1	33.0	6.7	0.33	1.63	10.84
		T2	33.0	6.7	0.38	1.87	11.44
		T3	40.0	13.7	0.31	0.91	10.44
		T4	40.0	13.7	0.38	1.11	10.99

端上水深 d) および測点 W 01 での有義波高 $H_{1/3}$ と周期 $T_{1/3}$ を示している。

3. 入射波と伝達波

代表例として、トラップ式ダブルリーフの入射波 (W 01) とスリット部通過後の伝達波 (W 10 および W 16) の時間波形を T 2 および T 4 のケースについて図-2 に示す。各波峯は上段リーフ上で碎波し、スリット部通過後の測点 W 10 ではいずれも波高の減衰が進み、消波効果が現れていることがわかる。

図-3 は、図-2 の時間波形より求めたゼロダウン波高の分布である。入射波だけでなく、リーフ上の伝達波も Rayleigh 分布にほぼ対応した波高分布を有しており、伝達波は一定の波高分布を維持しつつ全体的に減衰しているものと判断される。

4. 消波効果

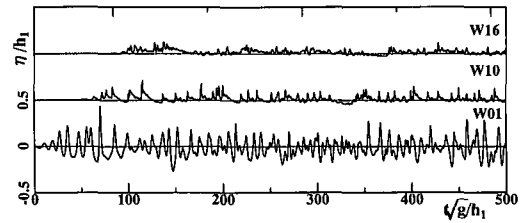
人工リーフなどの消波効果の評価に際しては、人工リーフからの反射波の影響も問題となるため、ここでは両者を含めた検討を行う。

4.1 低反射機能

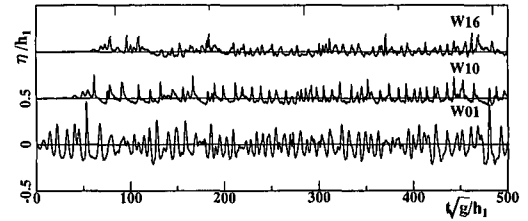
ダブルリーフは、ステップが2段となっているため、シングルリーフに比べて反射率が小さくなることは容易に推察できる。実際に、孤立波やクノイド波を入射させた場合の反射率は 0.2 程度 (安田ら, 1996, 1997) に留まっている。

ここでは、測点 W 01 および W 03 における波形の比較とその相互相関関数の最大値 $\rho_{\max}$ の比較を通して、シングルリーフよりダブルリーフの方が低反射機能を有していることを明らかにする。

図-4 は、S 2 および T 2 の実験ケースについて、入射波の位相を合わせて W 01 および W 03 での波形比較を行ったものである。また、図-5 は、各ケースごとの $\rho_{\max}$ の値と入射波高・天端水深比 $(H_{1/3})_1/d$ との関係を示したものである。シングルリーフでは反射波の影響のため、 $(H_{1/3})_1/d$ の増大とともに波形の相関は悪くなり、 $\rho_{\max}$ の値も 0.7 程度まで低下している一方、ダブルリーフでは

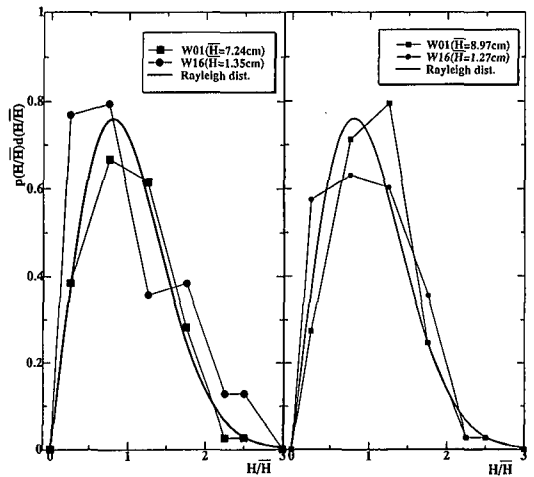


(a) T 2



(b) T 4

図-2 入射波 (W 01) と伝達波 (W 10, W 16) の時間波形



(a) T 2

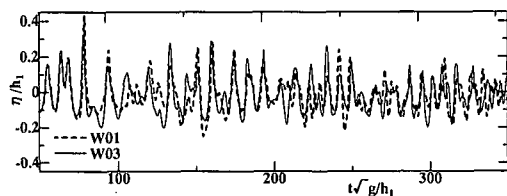
(b) T 4

図-3 入射波 (W 01) と伝達波 (W 16) の波高分布

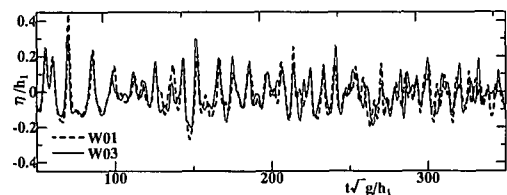
両測点の波形の対応もよく、 $\rho_{\max}$ の値も $(H_{1/3})_1/d$ の値に余り影響されず、0.8 以上を保っている。これらの結果は、反射波の直接評価によるものではないものの、ダブルリーフが低反射機能を有することを証明している。

4.2 消波機能

トラップ式リーフは、入射波のジェットを増大させるダブルリーフ効果と突入ジェットの捕捉によって消波を促進するトラップ効果を併せ持っている。前者だけであれば、スリット部の無いソリッド式リーフと変わらないが、ジェット突入に伴う造波作用を抑えるためにはスリット部が必要となる。なお、規則波に対しては2つの効果を高めるためにリーフの諸元やスリット部の位置を



(a) S2



(b) T2

図-4 測点 W01 と W03 の波形比較

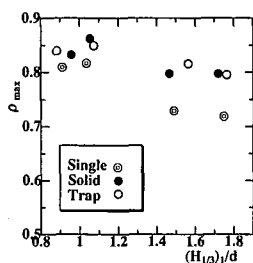
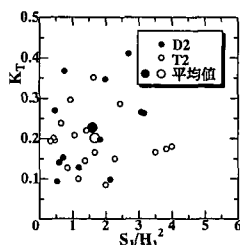
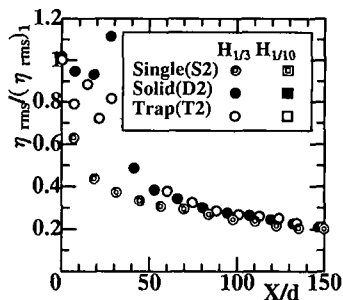
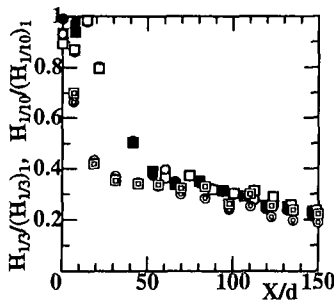
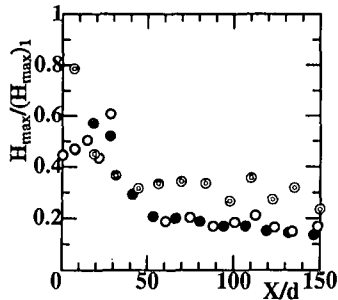
図-5 入射有義波高・リーフ天端水深比 $(H_{1/3})_1/d$ と測点 W01-03 間の相関係数の関係図-6 個々波のジェットサイズ S_j/H_1^2 と伝達率 K_r の関係(a) η_{rms} (b) $H_{1/3}, H_{1/10}$ (c) H_{max}

図-7 波形統計諸量のリーフ上での空間変化の比較

最適化できるものの、不規則波の場合には各波峯ごとの碎波特性が異なるため、それらの最適化に問題を残している。

図-6 は、T2 および D2 の実験ケースを対象に W01 から W16 まで追跡可能な波峯に着目し、各波峯ごとのジェットサイズ S_j の測点 W01 における波高 H_1 に対する比 S_j/H_1^2 と伝達率 $K_r (= H_{W16}/H_1)$ の関係を示したものである。なお、図中の大きな丸印 (○と●) はこれらの平均値を示している。個々の波峯ごとにはトラップ式とソリッド式による差異は認められないものの、平均値では、トラップ式の方が若干消波に優れていることがわかる。

図-7 は、入射波がほぼ同一の T2, S2 および D2 の実験ケースについて、 η_{rms} , $H_{1/3}$, $H_{1/10}$ および H_{max} に関する波進行方向の空間的変化を比較したものである。ここで、横軸の X は 1 段目ステップからの距離を示している。シングルリーフでは、反射波が強いために入射波の波高がリーフ上で大きく低下し、これが結果的に伝達率の減少となっている。これに対し、ダブルリーフでは下段リーフの浅水効果によって入射波が 1 段目のリーフ上に乗り上げた後は波高が逆に増大する。その後、碎波による減衰効果が顕著になっている。なお、W01 での波高を入射波高とする限り、リーフによる η_{rms} および $H_{1/3}$ の差異はほとんど見られない。

図-8 は、各リーフについて測点 W16 までの浅水量 (断面積) V_R と η_{rms} , $H_{1/3}$ および H_{max} に関する伝達率との関係を示したものである。この結果から、一般に言われているように、リーフ断面積の増大とともにいずれの伝達率も減少傾向にあることがわかる。また、 $V_R/h_1^2 \geq 20$ では、同一の伝達率に対してダブルリーフの方がシングルリーフよりも浅水量が明らかに小さく、断面積を同一にすれば消波効果が高くなることが確認できる。一方、同じダブルリーフでもトラップ式リーフとソリッド式リーフの差異はほとんど見られない。

図-9 は、トラップ式ダブルリーフについて 4 ケース

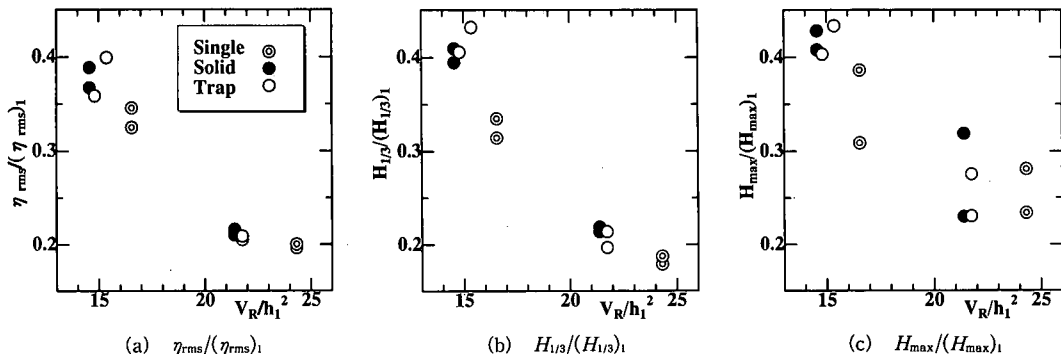


図-8 各リーフの浅水量 V_R/h_1^2 と伝達率の関係

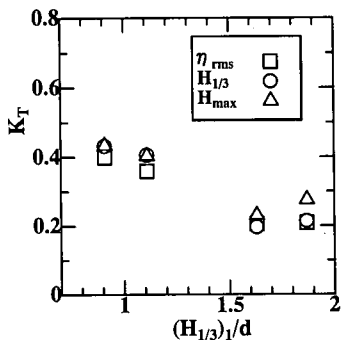


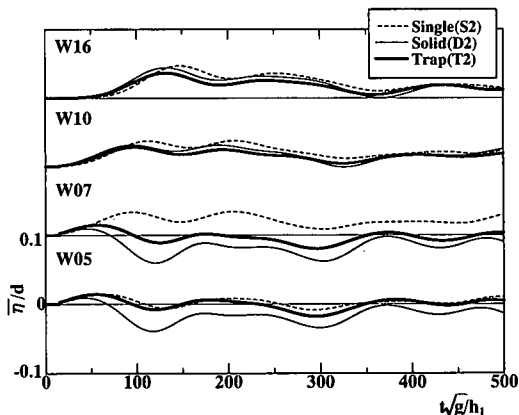
図-9 トランプ式ダブルリーフ (T1~T4) の伝達率 $K_T (= (\eta_{rms})_{W01}/(\eta_{rms})_{W16})$ と入射波高 $(H_{1/3})_1$ の関係

(T1~T4) の伝達率 (W16での諸量のW01に対する比) を示したものである。 $(H_{1/3})_1/d=0.91\sim 1.87$ に対して K_T の値はほぼ $0.4\sim 0.2$ の範囲にあることがわかる。実験条件の違いもあるので、宇多ら (1988) や藤富ら (1993) による人工リーフの伝達率との直接比較は難しいが、ここでの結果は彼等のものと余り差異がない。したがって、規則波の場合と同じ程度にトラップ効果を不規則波の場合にも発揮させ、消波効果を高めるためには、なお詳細な検討が必要である。

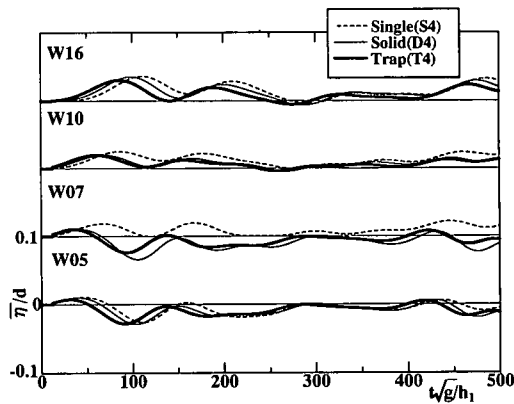
5. セットアップ・戻り流れ抑制効果

図-10 は、リーフ天端水深 $d=6.7\text{ cm}$ および 13.7 cm の実験ケースについて、各リーフ上の時間波形より移動平均水位 $\bar{\eta}(t)$ を求め、その比較を行ったものである。いずれのケースも、シングルリーフよりもダブルリーフの方がセットアップは小さくなっている。さらに、同じダブルリーフでもトラップ式のセットアップの方が突入ジェットの影響によってソリッド式よりもさらに小さく抑えられているものと推察できる。

図-11 は、このときの各測点における平均水位 $\langle \bar{\eta} \rangle$ の空間分布を示したものであり、セットアップ抑制に対するトラップ効果が明瞭に現れていることがわかる。



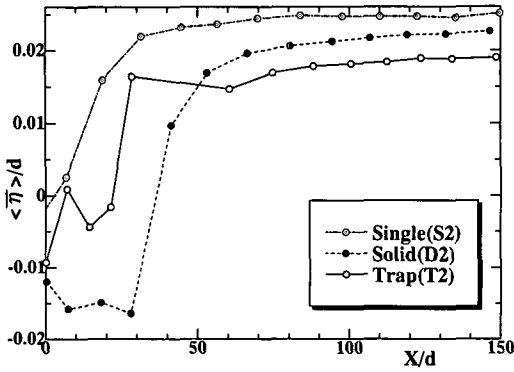
(a) S2, D2, T2



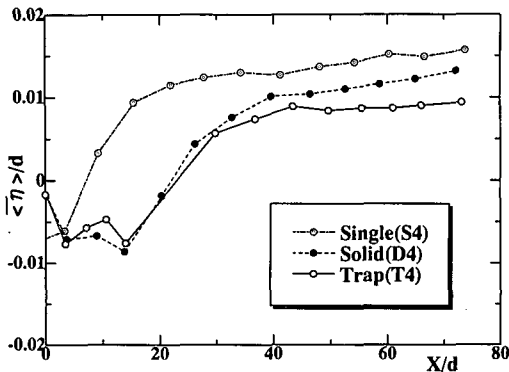
(b) S4, D4, T4

図-10 各リーフ上の水位の移動平均 $\bar{\eta}(t)$ の比較

図-12 は測点 C2 での岸沖流速 (岸向き正) の移動平均流速 $\bar{u}(t)$ を比較したものである。ソリッド式リーフに比べてトラップ式リーフでの平均流速が小さく抑えられていることがわかる。これは、トラップによるセットアップの抑制効果がそのまま戻り流れの抑制効果につながっていることを示唆するものである。



(a) S2, D2, T2



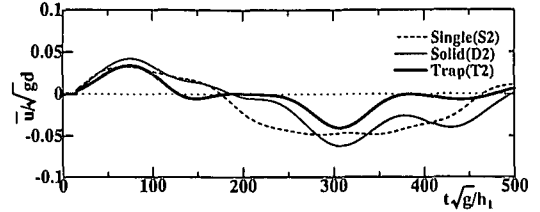
(b) S4, D4, T4

図-11 各測点の平均水位 $\langle \bar{\eta} \rangle$ の空間分布のリーフによる比較

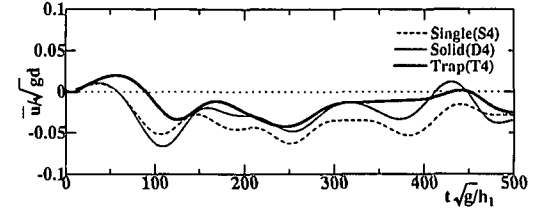
図-13は、各リーフ上での測点 W10 の平均水位 $\langle \bar{\eta} \rangle$ および C2 での平均流速 $\langle \bar{u} \rangle$ と入射波高 $(H_{1/3})_1/d$ の関係を示したものである。いずれのリーフにおいても、セットアップは $(H_{1/3})_1/d$ の値とともに増大する傾向にあるが、トラップ式リーフのセットアップは増大率および絶対値ともに最小となっている。同様に、戻り流れの流速も最小に留まっており、セットアップおよび戻り流れの抑制にトラップ部が有効に機能していることが確認できる。

6. 結 語

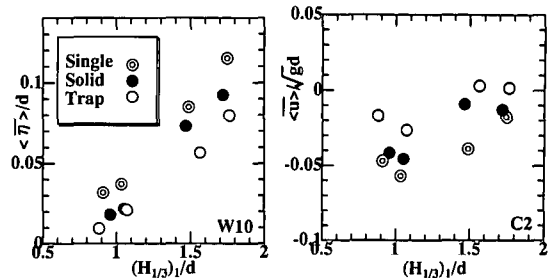
以上より、トラップ式ダブルリーフが不規則波に対しても優れたセットアップおよび戻り流れ抑制機能を発揮することが明らかとなった。また、トラップ式ダブルリーフの低反射および高消波機能に関しては、1 段ステップのシングルリーフに比べて優れていることが明らかとなった。しかしながら、規則波を入射させた場合に明瞭であったソリッド式ダブルリーフに対するトラップ式ダブルリーフの優位性は認められなかった。これについては、個々の波高ごとのトラップ部での消波の素過程の検



(a) S2, D2, T2



(b) S4, D4, T4

図-12 測点 C2 における移動平均流速 $\bar{u}(t)$ のリーフによる比較(a) 平均水位 $\langle \bar{\eta} \rangle$ (b) 平均流速 $\langle \bar{u} \rangle$ 図-13 平均水位 $\langle \bar{\eta} \rangle$ および平均流速 $\langle \bar{u} \rangle$ と入射波高 $(H_{1/3})_1$ の関係のリーフによる比較

討をさらに進め、その結果を基に不規則波に対する消波効果の統計的評価を行う必要がある。

最後に、実験にご協力を頂いた手賀夕紀子氏（西松建設）および小笠原敏記君（本学大学院）に謝意を表すとともに、本研究は河川整備基金助成事業および文部省科研費基盤 (C) (2) (10650742) による成果であることを付記し、深謝する。

参 考 文 献

- 宇多高明・小俣 篤・横山揚久 (1988): 人工リーフの機能と設計法, 土研資料, 第2696号, 79 p.
- 田中茂信 (1993): 海岸侵食, 海岸, Vol. 33, No. 1, pp. 57-61.
- 藤宮正毅・八角直道・高頭面而・納戸 啓・向井雅志 (1993): 複合型人工リーフによる静穏域の造成に関する研究, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 826-830.
- 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・陸田秀実・大屋敦嗣・多田彰秀・福本 正 (1997): 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抑制効果について, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 761-765.