

鋼製型人工リーフに関する実験的研究

Development of Submerged Breakwaters Composed of Steel Frame Armor Units

戸原義男*・高木伸雄**・松原雄平***・増田光一****・鋼製人工リーフ研究会

Yoshio Tohara, Nobuo Takagi, Yuhei Matsubara, Koichi Masuda and

Research Association of submerged breakwaters by steel frame armor units

Abstract

Submerged breakwaters armored by steel frame units are examined to establish the optimum design method of artificial reefs. The influences of the armor units configurations on the wave deformation such as wave reflections, wave transmissions and the wave-induced flow around the submerged breakwater are discussed based on the hydraulic model tests results.

Keywords : Submerged breakwater, steel frame armor unit, wave deformation, hydraulic model test

1. はじめに

人工リーフは、波浪制御による高潮対策や侵食対策などの保全施設的な面だけでなく生態系の函養効果ならびに景観上の面からも優れた機能を有していることから、近年積極的に設置が進められている。現行のリーフは、台形断面状に捨て石を積み上げるか、あるいはその上に被覆ブロックを敷き詰める形式の潜堤であり、その波浪制御機構には、堤前面部での反射や堤体内への浸透、堤体天端上での碎波やボア状の再生波の発生などが挙げられる。しかしリーフによるエネルギー逸散の大半は、リーフ天端近傍での強制的碎波によってもたらされると考えられることから、堤体背後域への伝達波浪のエネルギーをできるだけ低減させるためには、天端水深を浅くし、かつ天端の離岸および沿岸方向の幅を大きくとる必要がある(全国海岸協会、1992)。すなわち、リーフ断面を大きくとれば、波浪の伝達率は低減することになる。しかし、従来の捨て石型的人工リーフでは、堤体形状を台形断面以外に選択できないため上記の条件を満たすためには、必然的に断面を大きくする必要があり、工費あるいは工期的などの制約条件を勘案すると、リーフ断面形状の決定は容易ではない(宇多ら、1987)。

そこで本研究では、従来の捨て石タイプ的人工リーフよりも堤体断面を削減でき、かつこれまでのリーフと同等あるいはそれ以上の消波機能を有する人工リーフの開発を試みた。すなわち、図-1に示すような、鋼製の石詰めブロック工を作製し、人工リーフ全面

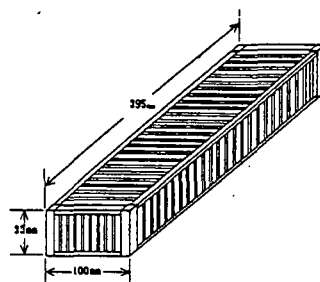


図-1 鋼製石詰め枠工

をブロック工で被覆することによって任意の堤体断面を形成可能とするものである。このリーフの特徴として、上記の形状の任意性の他に、あらかじめ陸上部で組み立てた後、現地に設置できるプレパクト性や、従来のリーフよりも優れた水産函養機能を有すると考えられることなどが挙げられる。以下では、種々の断面形状を有する鋼製型人工リーフ模型を用いて行った2次元および3次元水理模型実験の結果について述べる。

2. 二次元リーフ模型の波浪制御機能に関する実験

断面形状の異なる11種類の鋼製型人工リーフ(タイプA～タイプK)を考案し、まず2次元水理模型実験を行って個々の断面形状に対する波の反射率および伝達率を測定した。図-2は、実験に使用した模型の断面形状を示したものである。タイプAは捨て石による従来リーフ型、タイプB～Gは、階段法面部と天端部

- * 正会員 戸原地域環境研究所 (810 福岡市中央区春吉 3-21-8)
- ** 正会員 (財) 漁港漁村建設技術研究所第1研究調査部
- *** 正会員 鳥取大学工学部土木工学科
- **** 正会員 日本大学理工学部海洋建築工学科

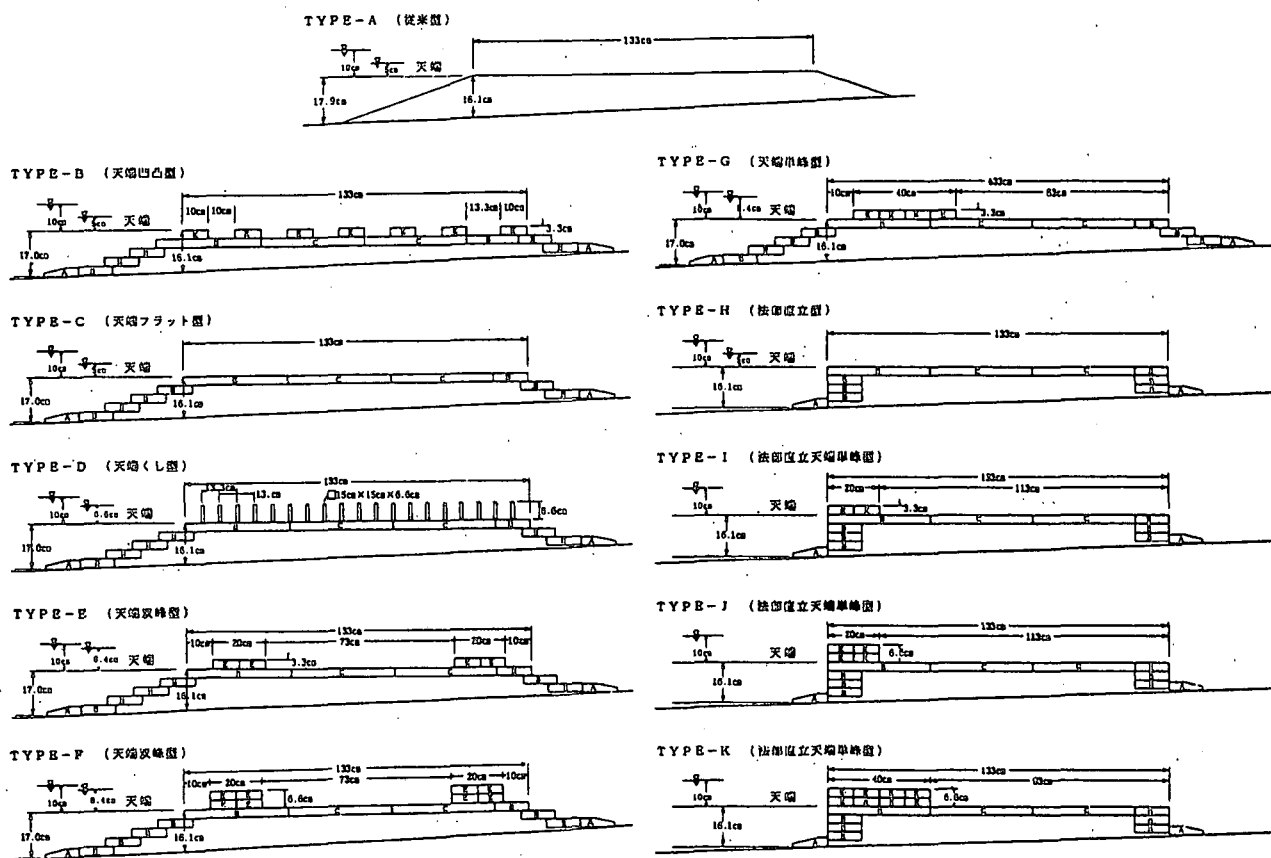


図-2 各タイプのリーフ断面形状

を鋼製枠で被覆すると共に、天端部に種々の粗度を与えたもの、タイプH～Kは同様に法面部を直立させ天端部を石詰めブロック枠で被覆し、かつ天端形状を変えたものである。いずれの模型も実機の1/30の縮尺を想定しており、模型天端幅を1.33mとし、天端水深(R)5cmと10cmの2ケースを与えた。実験は、長さ30m、幅1.5m、高さ1.5mの二次元波動水槽において行われた。水槽内に長さ21m、勾配1/30の斜面を設置し、鋼製型模型リーフを設置し波を作用させた。実験波の条件は、周期0.73sec～2.56sec、波高5cm～25cmの範囲に設定し、リーフ前面波高、反射波高、リーフ天端波高、透過波高およびリーフ後背部水位の諸量を測定した。入射および反射波高は、入射分離測定法によって解析した。

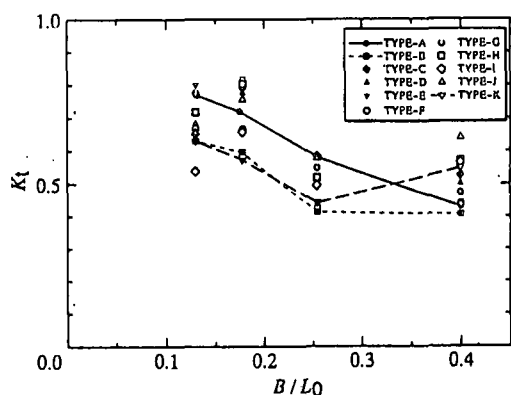


図-3 波高伝達率と B/L_0 ($R=0.1, H_0=0.1$)

3. 2次元水理模型実験結果と考察

図-3～図-6の一連の図は、Rと H_0 をそれぞれ $R=0.10m$ 、 $H_0=0.10m$ および $0.08m$ としたときの各リーフの反射および伝達波浪特性を示したものである。

図-3は、全モデルの波高伝達率と B/L_0 の関係を示したもので、Bおよび L_0 は、それぞれ堤体幅および沖波波長である。図中の実線、破線および点線は、そ

れぞれAタイプとBタイプおよびKタイプのリーフの実験から得られた波高伝達率を示したものである。これよりタイプBは、 B/L_0 の増大とともに伝達率が低減し、 B/L_0 が0.25以上で約50%の波高伝達率となっている。一方タイプKでは、 B/L_0 が0.25まではタイプBと同様の傾向を示すが、さらに B/L_0 が増大すると、かえって伝達率が増大している。これについて、並行して行ったビデオ撮影結果を解析したところ、タイプ

イブKの天端段落ち部で碎波後の波が一部、再生している状況が観察された。したがって再生波による影響と考えられるが、これについては、さらに検討が必要と思われる。

図-4は、同様に $H_o=0.08m$ の場合の伝達波高と B/L_o の関係について、図-3に比較して B/L_o の値が1.0以上の領域で得られた結果である。これより、前出の図-3と異なり、いずれのタイプのリーフに対しても伝達波は B/L_o の影響を明確には受けていないこと、 $B/L_o > 1.0$ と相対的に B/L_o の値が大きくなると、伝達率は大部分で50%以下となること、特にタイプKの伝達率は30%以下となり顕著な波浪低減効果が認められることなどがわかる。そこでタイプAからタイプKまでの11種のリーフの反射率と B/L_o との関係を示したものが図-5である。これより B/L_o が小さく、相対的に波長が長い条件ではタイプKの反射率が大きく、一方、 B/L_o が大きく、相対的に波長が短い波浪条件では、どのタイプの反射率も、ほぼ等しくなる傾向が認められる。すなわち長波長域ではタイプKの沖側法面と天端部のブロックが反射に寄与し、一方、短波長域ではこうした形状特性の効果が反射に寄与しなくなるものと考えられる。

図-6は、各タイプのエネルギー損失率を B/L_o の関係として示したもので、タイプBが最もエネルギー損失が大きく現れている。またタイプKは、反射率が大きくかつ波浪伝達率が低いために減衰率が大きくなっている。これは、沖側法面部の階段部ならびに天端状の凹凸の被覆工の粗度効果によるものと考えられる。以上の2次元水理模型実験結果から、タイプBとタイプKが優れた消波特性を有していることがわかった。そこで、この二つのタイプについて、3次元断面模型を作製し、平面水槽において鋼製リーフの水理特性を明らかにするために実験を行った。

4. 3次元人工リーフモデルの水理特性に関する実験

実験装置および方法：実験に使用した平面水槽は、図-7に示すように、長さ14.2m、幅8.9mおよび深さ0.6mのコンクリート製であり、水槽の一端には多方向不規則造波機が、他端には勾配1/10の鋼製斜面が設置されている。水槽側壁にはそれぞれ幅20cmの消波工が設置されているため、平面水槽の有効幅は8.5mである。水槽には2台の可動式トラスが設置されており、このトラスの上に波高計や流速計などの各種計測装置を設置することにより、水槽内での任意点での計測が可能となっている。

3次元断面リーフ模型：実験に用いたリーフ模型は、写真-1に示すように、一辺3cmの鋼材を接合して枠を作製し、金網を張り、その中に砕石を詰めた透

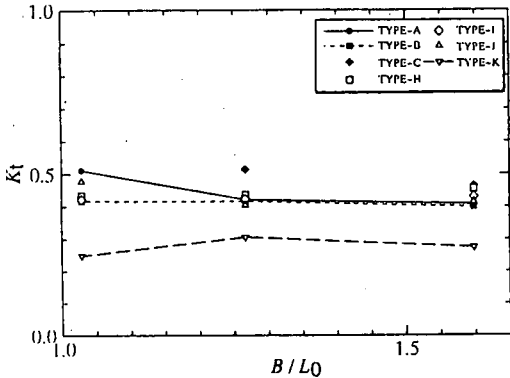


図-4 波高伝達率と B/L_o の関係 ($R=0.1, H_o=0.08$)

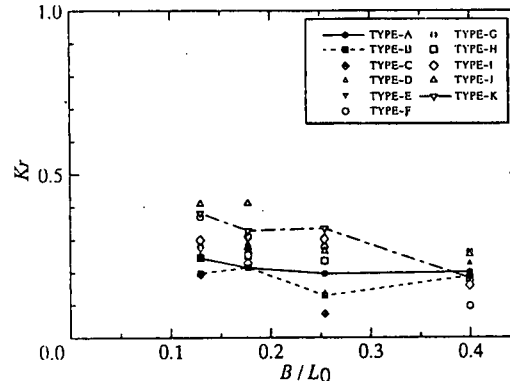


図-5 反射率と B/L_o の関係 ($R=0.1, H_o=0.1$)

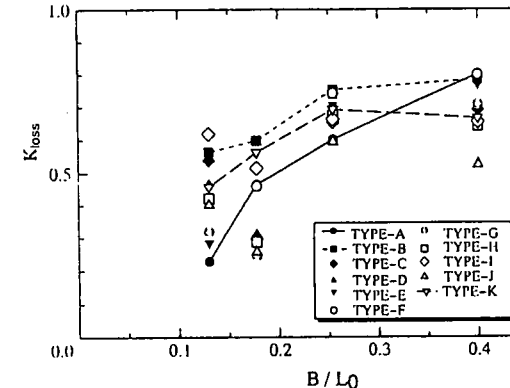


図-6 エネルギー損失率と B/L_o の関係 ($R=0.1, H_o=0.1$)

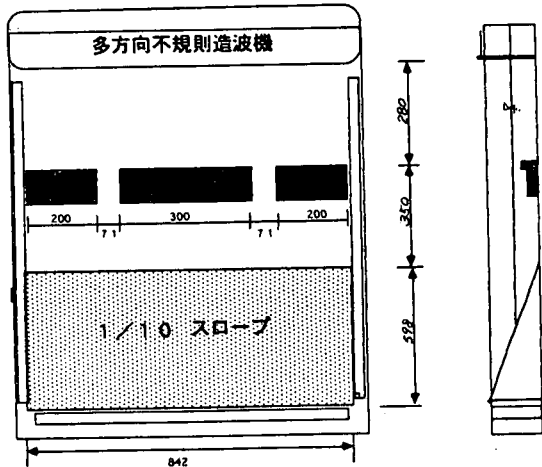


図-7 平面水槽

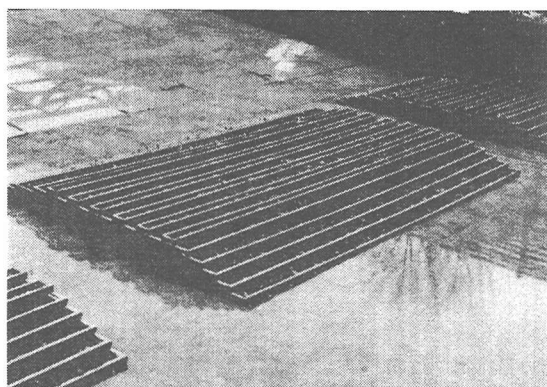


写真-1 三次元リーフ模型設置状況 (タイプB)

過性を有するものである。中詰め碎石の粒形は、30mm～40mm の範囲とした。実験に用いたリーフ模型の天端幅はタイプ K, タイプ B どちらも $B=133\text{cm}$ で、鉛直高さはタイプ K は $h=23.8\text{cm}$ 、タイプ B は $h=20\text{cm}$ である。中央リーフ長は、タイプ K, B いずれも $L_r=3\text{m}$ である。開口幅は、宇多ら(1987)を参照し、どちらのタイプも $W_r=0.25L_r$ の関係から $W_r=75\text{cm}$ とした。なお、天端水深も、いずれものリーフ模型も $R=10.0\text{cm}$ とした。

計測装置および解析装置：波高計測には容量式波高計を、流速計測には、電磁流速計を、それぞれ用いた。なお、波高計設置位置は、入反射分離推定法より求め、沿岸方向 1 測線あたり波高計を 6 本立て、リーフ前面よりリーフ背後の間 7 測線の計 42 点で計測した。水粒子速度の計測も同様に、各測点で岸沖、沿岸方向 2 成分について計測した。実験波の条件は、表-1 に示すように、直角入射 (90 度) と斜め入射 (60 度) に対して、それぞれ 4 ケース設定されている。

リーフ周辺の波高分布：図-8～図-10 の各図は今回の実験から得られたリーフ周辺の波高分布を示したもので図中の太い実線はリーフ天端位置を、格子点は計測点を示している。

以下では、入射波高が大きい条件の周期 2.19sec、波高 0.1m の結果についてのみ言及する。

図-8 および図-9 は、それぞれタイプ K とタイプ B において入射角 90 度、入射波高 0.1m、周期 2.19sec の条件に対して得られたものである。これより入射波がリーフに接近するにつれて波高は増大して強制碎波され、リーフ背後で波高が低減していること、波高分布はリーフ中央部分が最も大きく楕円状に分布していること、また両端リーフの前後では波高の変化はあまり大きなものではないことなどがわかる。また図-9 のタイプ B 周辺の波高分布を見ると、リーフ前面より、中央リーフ天端部を中心にほぼ円状に分布しているが、タイプ K と比較して、中央リーフの天端上で波浪減衰がより明確に認められる。これは、リーフの天端形状

表-1 波浪条件

入射角		周期 T(sec)	波高 H_i (m)
90°	60°		
TYPE		水深 h (m)	
K		0.338	1.46
B		0.3	1.83
			2.19
			0.08
			0.1
			0.1

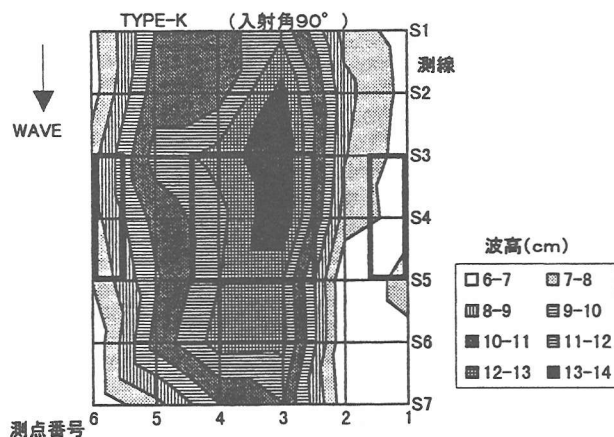


図-8 波高の平面分布 (T=2.19sec)

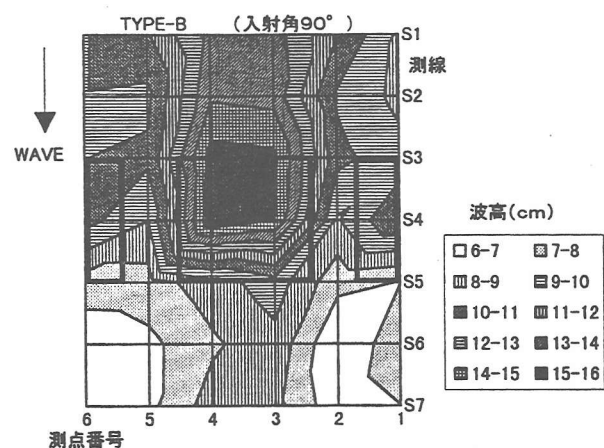


図-9 波高の平面分布 (T=2.19sec)

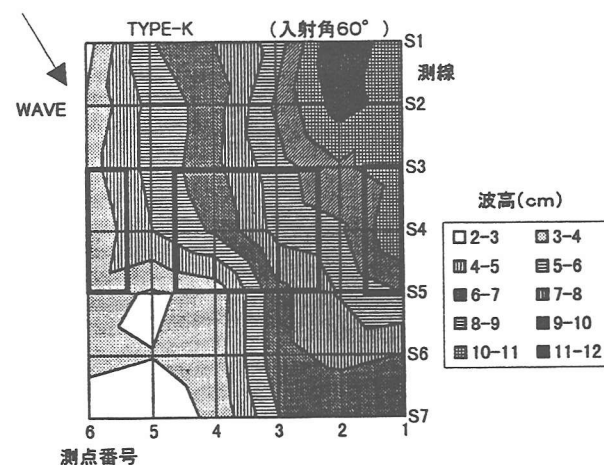


図-10 波高の平面分布 (T=2.19sec)

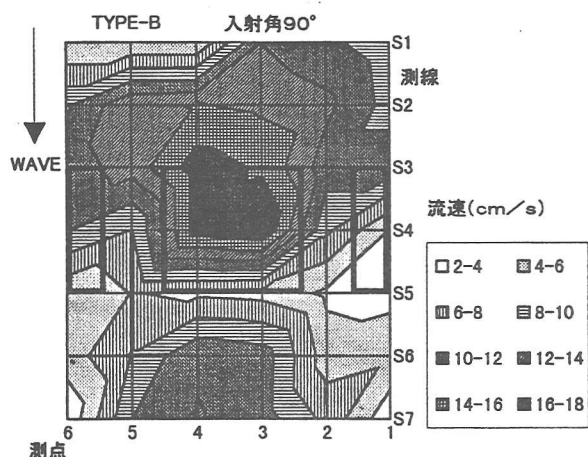


図-11 最大岸沖流速分布 (B タイプ, $T=2.19\text{sec}$)

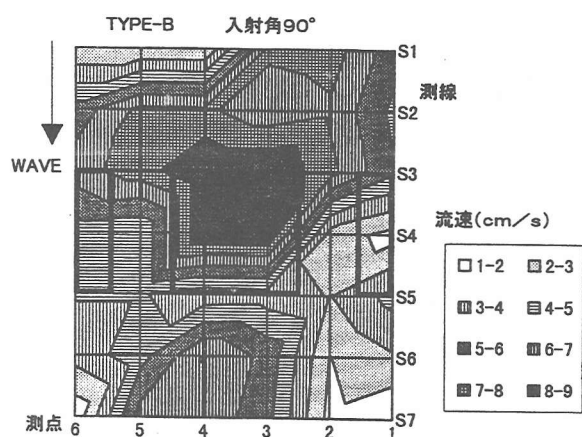


図-12 最大岸沖流速分布 (B タイプ, $T=1.46\text{sec}$)

の差異,すなわち、タイプKの天端面はフラットであるのに対し、タイプBの天端上には杵材が配置され、粗度としての効果を生じているためだと考えられる。いずれのリーフもリーフ天端上での強制碎波による波高の減少が見られ、2次元模型実験の結果と類似する。一方、開口部では、水深が大きいので、波高が小さくなっている。このため従来の研究でも述べられているようにリーフ周辺部で流れの発生が目視で観察された。そこで直径 10mm のフロートを投入してビデオ解析を行ったところ、開口部では沖向きの流れが、一方、天端部で岸方向の流れが発生していることが条件を問わず一定して認められた。

また図-10 は、タイプKのリーフに 60 度の斜め入射波が作用するときの波高分布状況を示している。これより、直角入射時のようなリーフ天端部での波高の増大は認められず、リーフによる波浪低減効果は顕著ではない。むしろ斜め入射波ではリーフ前面部によって反射され、部分重複波がリーフ前面部で発生していることがわかる。同様の結果はタイプK,タイプBいずれにも対しても得られた。

リーフ周辺の流速場

図-11 および図-12 は、波が直角に入射する条件でのBタイプのリーフ近傍での岸沖方向の最大流速分布を示したものであり、それぞれ、波の周期 2.19sec と 1.46sec の条件での結果である。いずれの結果も類似した分布形状を呈しているが、波の周期が長くなるにつれて、最大流速はリーフ近傍全域で増大し、とくにリーフ上部および後背部で局所流的な流れが生じていることがわかる。

図-13 は、同じくBタイプのリーフに入射角 60 度の波を作用させたときのリーフ周辺部の流速分布を示している。分布パターンは直角入射の結果とかなり異なり、リーフ前面部で相対的に大きな流速が生じている。これは、波高分布でもそうであったように、斜め入射波のための部分重複波の発生によるものと考えられる。

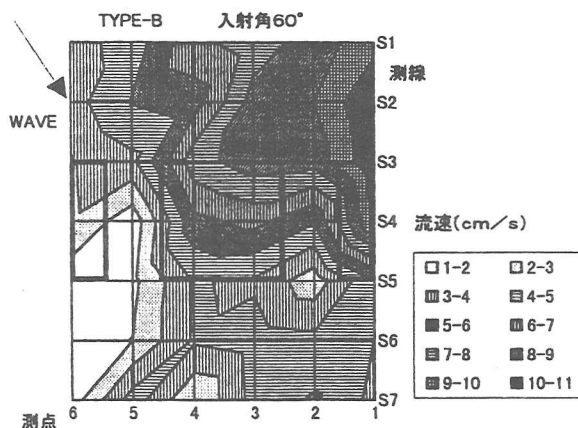


図-13 最大岸沖流速分布 (B タイプ, $T=1.49\text{sec}$)

フロート追跡の結果から、低波高の条件時も斜め入射の場合はリーフに沿う流れが認められ、斜め入射波はリーフ周りの流れの発生を促すことがわかる。また測点2の開口部の変化について検討すると、波の条件によらず、リーフ天端部から岸向きにリーフ背後まで達した流れは測点5の開口部から沖に向かう流れとなり、循環流を形成していた。

5. おわりに

以上鋼製型人工リーフの波浪減衰特性について実験的に検討を加えてきた。3次元実験では、開口幅、リーフの離岸距離あるいはリーフ幅、リーフ長などから検討する必要がある。現時点で得られた結果を要約すると以下ようになる。

- (1) 鋼製人工リーフとして優れた消波機能を有するものは、リーフ前面部を鋼製杵で直立させた断面を有するタイプKならびに沖側法面部を階段型とし、かつ天端部に鋼杵で粗度をつけたタイプBである。
- (2) リーフ天端上での強制碎波ならびに波浪低減は、天端上に凹凸を有するタイプBの形状が

より効果的である。また碎波による波浪減衰は平均水位の上昇ならびにリーフ周辺部の局所的な流れを伴う。

- (3) リーフ周辺の波高分布は中央リーフ天端前後で大きく変化しており、波浪条件によってその分布パターンは大きく変化する。
- (4) 斜め入射の条件ではリーフの波浪減衰効果は直角入射時に比べると、やや低減する。

参考文献

宇多高明・田中茂信・筒井保博(1984)：人工リーフによる波浪と漂砂の制御，第31回海岸工学講演会論文集，pp341-344..

宇多高明・衛門久明・小俣篤(1992)：「人工リーフ設計の手引き」とその留意点，海岸工学論文集・第39巻，pp651-655

全国海岸協会(1992)：人工リーフの設計の手引き

中山哲敏(1994)：人工リーフの水理特性及び被覆材の安定に関する実験的研究（その2）水産工学研究所技報（水産土木）第16号 別刷，pp35-45

(財) 漁港漁村建設技術研究所(1992)：人工リーフの水理特性及び被覆材の安定化に関する実験的研究：平成4年度第3回人工リーフ（水産協調型）マニュアル化調査 検討委員会資料，pp1-12