

琉球大学学術リポジトリ

サンゴ岩塊群の波浪減衰効果に関する研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2010-02-23 キーワード (Ja): キーワード (En): Wave damping effect, Sea bed with reef blocks, Large scale roughness, Wave damping coefficient 作成者: 津嘉山, 正光, 仲座, 栄三, Tsukayama, Seiko, Nakaza, Eizo メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/15871

サンゴ岩塊群の波浪減衰効果に関する研究

津嘉山 正 光* 仲 座 栄 三*

Wave Damping Effect of Sea Bed with Group of Reef Blocks

Seikō TSUKAYAMA* and Eizō NAKAZA*

Abstract

Wave damping effects of reef sea bed with group of reef blocks are investigated.

In the first, a field survey was carried out at the coast of Ikei Island to grasp natural condition of reef sea bed, and also to make clear characteristics of reef blocks distributed on the sea bottom. Taking into account the results of the field survey, model experiments and theoretical analysis were carried out.

Main results of this study are summarized as follows;

1) Forms of the reef blocks on the sea bed can be classified in three types referred to them as column type, rectangular post type and semispheric type, respectively.

2) Experimentally, it has been clarified that wave damping effects of the sea bed with reef blocks depend upon not only usual frictional effect of the sea bed, but also the effects of form resistance of reef blocks due to wakes occurred in behind of each blocks.

3) Theoretical values of coefficients of wave transmission on the reef were shown good agreement with the experimental ones.

Key Words ; Wave damping effect, Sea bed with reef blocks, Large scale roughness, Wave damping coefficient

1. 緒 言

南西諸島のリーフ地形海岸は、礁縁部近くには少し盛り上がった礁嶺部があり、その岸側に少し低い平坦部（礁池）が続く断面形状をなしているところが多い。礁嶺は、通常その幅はおよそ100～150m程度では一定であり、干潮時にはその上部が干出するためにサンゴは殆ど生育せず、したがって凹凸の少ないほぼ滑らかな表面を有している。沖から襲来した波は殆ど礁縁に近い礁斜面上で碎波し、礁嶺部で碎波変形を遂げた後礁池に伝播する。礁池には岩塊状のサンゴが数多く分布している場合も少なくない。このようなところでは、伝達波は当然この海底サンゴ岩塊群の影響を受

けることになる。この場合のリーフ海底の波浪に対する効果は、通常底面せん断力に基づく摩擦効果のみでなく、波動による水粒子運動に対して形状抵抗効果をも有するものと推察される。具体的には、一般の水流における壁面凹凸（大粗度）の後流による減衰効果と同種の効果を有するものと考えられる。

現行の設計では、このサンゴ岩塊群の存在は考慮されず、リーフ上を伝播する波浪に対しては通常の海底摩擦減衰を想定して Bretschneider式を用い、同式中の摩擦係数 f を試行錯誤的に与えている。

海底摩擦による波の減衰に関しては、わが国では岩垣・柿沼・宮井ら¹⁾やその他の研究^{2)～5)}、外国では

受理：1994年5月17日

本研究の一部は平成2年度土木学会全国大会で発表済。

* 琉球大学工学部環境建設工学科 Dept. of Civil Eng. and Architecture, Fac. of Eng.

Kamphuis, J. W. ら⁶⁾やその他の研究^{7)~8)}など研究例は多いが、これらの研究は層流境界層理論または乱流境界層理論に基づく底面せん断力と海底面の抵抗力の関係から摩擦係数を評価するものがほとんどで、本研究で対象としているサンゴ岩塊が大粗度として伝達波に影響を及ぼす場合を取り扱った研究例はないようである。また、河野ら⁹⁾の現地調査結果では、リーフ海域の海底摩擦係数は、例えば岩垣らの実測値（秋田海岸）の2倍以上の値を示し、かつ層流理論に基づく値とは 10^2 程度の違いのあることが指摘されている。このことは、従来の研究成果をそのままリーフ海域の場合に適用し得ないことを示唆している。

以上の状況に鑑み、本研究ではまず現地調査により大粗度としてのサンゴ礁岩塊の形状特性の把握を行い、その結果を基に、この大粗度による波浪減衰について、理論解析と実験による解明を試みた。

2. リーフ海岸の形状特性の現地調査

2. 1) 現地調査地点

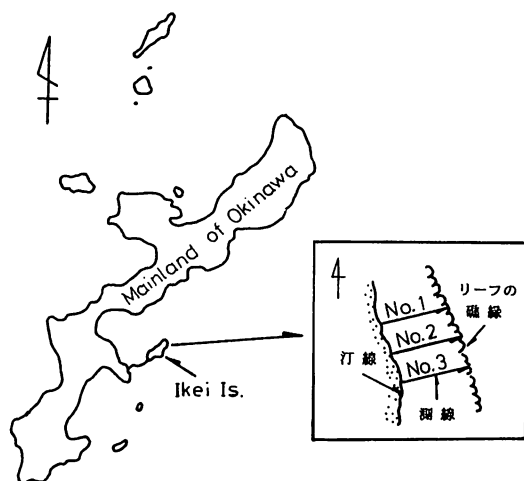


Fig. 1 Location of field survey site

海底サンゴ群の現地調査は、図1に示す沖縄本島中部東海岸に位置する伊計島の東海岸で、平成元年10月に実施した。この島は、周囲約4kmの小さな島であるが、周辺にはサンゴ礁が発達している。伊計島東海岸のリーフ幅員は約300mであり、礁線は海岸線に平行でその法線方向はほぼSE方向である。礁池内の水

深は満潮時で高々3m程度であるが、種々のサンゴが生息しており、その骨格で形成される海底のサンゴ岩塊は様々な形状を成し、これが海底の大粗度として伝達波に影響を及ぼしているものと考えられる。なお、写真1は調査を行なった海岸の全景を示している。

2. 2) 調査内容と調査方法

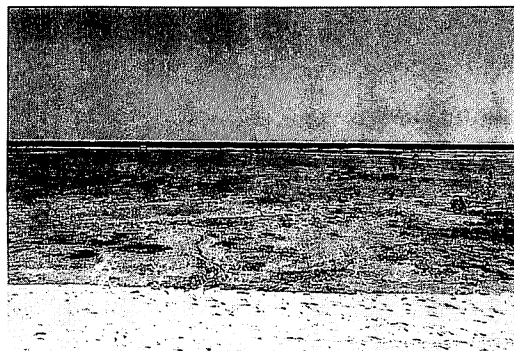


Photo. 1 View of the sea coast (survey site)



Photo. 2 Scene of survey of reef blocks on the sea bed

現地調査では、リーフ海岸地形と海底サンゴの分布と形状・寸法を実測した。リーフ地形については、図1に示すように海岸の汀線に沿って50m間隔に3本の測線を設定して水準測量を実施し、その結果からリーフの岸沖方向の断面形状を求めることとした。海底サンゴについては、上述の測線内（幅員100m）の礁池に限定し、高さ0.5m以上の岩塊状サンゴの分布と形状・寸法を測定した。分布状況は平板測量で測定を行った。また、サンゴの形状調査は水中写真撮影とスケッチによって行い、寸法は水中において巻尺とスケールを用いて実測した。写真2にその調査状況を示した。

2. 3) 調査結果

a) リーフ断面形状

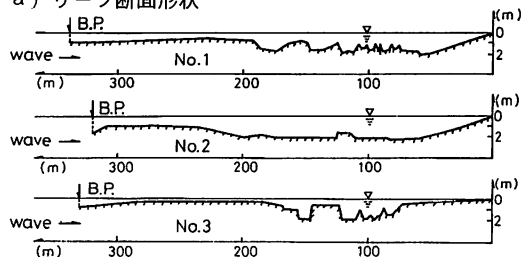


Fig. 2 Sectional diagram of reef sea bottom
(Coast of Ikei Island)

図2は、図1に示す3本の測線上で実施したリーフ地形の岸沖方向断面の実測結果(水準測量図)である。3断面ともに、形状的な特徴としては沖側の礁斜面に礁嶺部が連なり、その岸側にやや低くフラットな海底を有する礁池が続き、陸岸の砂浜に接続している。礁嶺幅は100m～150m、礁池の幅は110m～130mで平均的な水深は満潮時で2m程度である。なお、礁池の海底の凹凸は主として孤立したサンゴ岩塊またはサンゴ群生によるものである。

b) 海底サンゴ岩塊(単体)の形状・寸法

写真3は、現地海岸で見られる様々な海底サンゴの

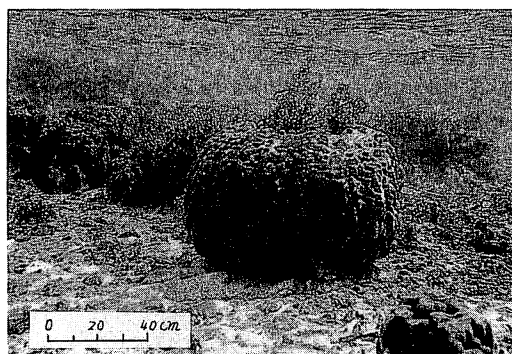


Photo. 3(1) Reef block of column type

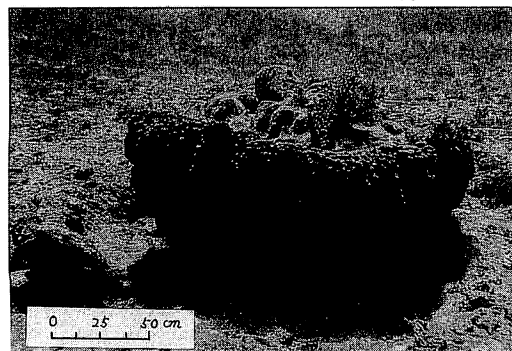


Photo. 3(2) Reef block of rectangular post type



Photo.3 (3) Reef block of semispheric type

例である。これらの写真からも分かるように、現地のサンゴ岩塊は微視的にみれば複雑な形状を有するが、海浜波の特性値のオーダーを考慮して巨視的に見れば、ほとんどは半球型、角柱型、円柱型の3タイプに分類できる。したがって、平面的な形状としては円形または四角形の何れかに見なされる。

海底サンゴの形状および寸法計測については、観測者の水中視察によって形状分類を行い、寸法計測はサンゴ岩塊の上面の面積と高さを実測した。

海底サンゴの高さは、実測による出現頻度分布で見ると0.8m～0.9mの高さの出現頻度が最も大きい。なお、サンゴ岩塊の平均高さは0.85mである。また、後述の模型実験の際のモデル化のために必要なことから、海底サンゴの形状を円柱型と見なした場合の平均径を求めたところ、3.18mという値が得られた。

c) 海底サンゴの平面分布状況

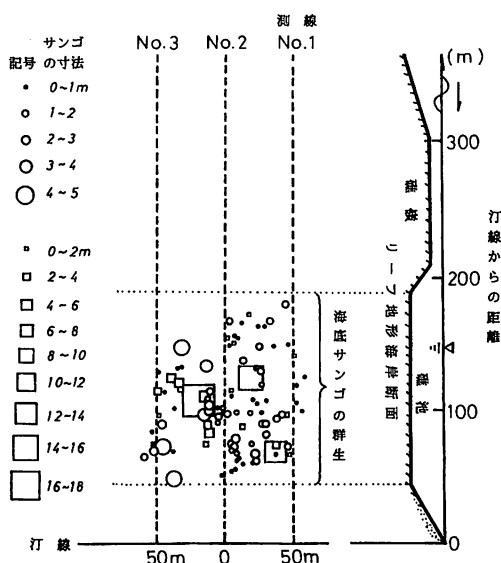


Fig. 3 Distribution of reef blocks on the reef sea bed

図3は、実測された海底サンゴ（換算直径および高さ共に0.5m以上のもの）の平面分布を示している。サンゴ岩塊の分布は礁池内に限られ、礁嶺部分には見られない。また、比較的大きなサンゴ岩塊は礁池中央部の水深のやや大きいところに多く分布している。このような、サンゴ岩塊の大きさの違いや分布特性は、サンゴの生育条件の差に依存しているものと考えられる。

2. 4) 海底サンゴのモデル化

リーフ海岸の海底サンゴによる波の変形について、理論解析および実験によって検討するためには、現地海底サンゴのモデル化が必要である。本研究では、前述の現地調査の結果を基に海底サンゴのモデル化を試みることにした。そのためには、海底サンゴの形状と寸法および分布（配置）を決める必要がある。形状については、2. 3) 節の調査結果から、円柱型および角柱型の二つのタイプを考えることにした。寸法は、調査結果の平均径を考慮して、基準となる円柱直径を原型で3.18mとし、角柱の場合は原型円柱と断面積がほぼ等しくなる辺長を有する正方形とした。またその高さは、現地調査で得られたサンゴ岩塊の平均高さの0.85m（原型）を用いることとした。海底サンゴの分布に関しては、図3で見ると、礁池中央部の分布密度が比較的高く、必ずしも均一ではないが、分布に関するファクター（間隔・密度など）を系統的にコントロールできるようにするため、規則的な配置を行うこととして現地の分布特性を参考に、図4に示す千鳥

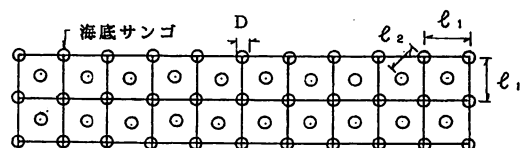


Fig. 4 Model of reef blocks distribution on the reef sea bottom

格子形式を用いることにした。なお、Schlichting⁷⁾は、千鳥格子状に規則的に配置した人工粗度を用いた実験によって、一様流の場合の流れに対する粗度効果に及ぼす粗度の形状や配置間隔の影響について検討しているが、用いた粗度形状は球形、球面形、円錐形および

L形片の4種で、本研究で対象とする円筒型や角柱型の粗度形状は扱っていない。さらに、ここでは波浪による振動流の場合を取り扱っているため流れの条件も異なり、Schlichtingの実験結果を直接モデル条件の設定に用いることはできないが、その考え方を参考にして、粗度モデルの配置間隔は現地調査結果から得られた平均密度に対応する間隔を基準とし、必要に応じて変化させることにした。

3. 海底サンゴの波浪減衰効果に関する理論的考察

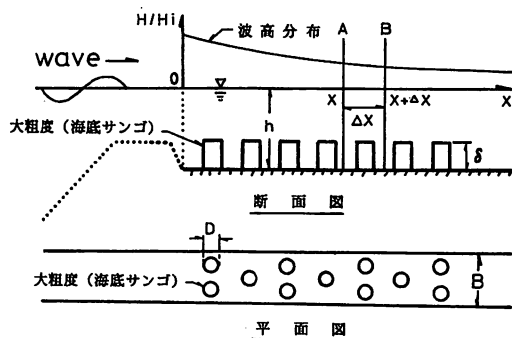


Fig. 5 Model of sea bed with reef blocks as roughness and coordinate system

前章の現地調査結果を考慮し、図5に示すような海底粗度を有する礁池内を伝播する波の減衰について、以下に理論的考察を試みる。

3. 1) エネルギー保存則

図5のA、B両断面間のエネルギー伝達を考える。 Δx 区間での底面粗度によるエネルギー損失を E_{br} とすると、次式が成立する。

$$[C_g E]_B = [C_g E]_A + \frac{d}{dx} [C_g E]_A dx + E_{br} dx \quad (1)$$

ただし、式中の記号 C_g は群速度、 E は波のエネルギー密度である。

この式(1)より次式(2)が得られる。

$$\frac{d}{dx} [C_g E]_A = -E_{br} \quad (2)$$

3. 2) 海底粗度による波のエネルギー逸散量： E_{br}

式(2)に関し、通常の底面摩擦によるエネルギー

逸散量を E_f とすれば, E_f は底面せん断力 τ_o のなす仕事に等しいことより次式で与えられる.

$$E_f = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} \tau_o u_b dt \quad (3)$$

ただし, u_b は底面流速である.

Putnum-Johnson (1949)⁸⁾ は,

$$\tau_o = f \rho u_b^2 \quad (4)$$

の係数を用い, u_b に微小振幅波の流速を採用して式 (3) によって E_f を計算し, 次式を得ている.

$$E_f = \frac{3}{4} \pi^2 \frac{f \rho H^3}{T^3 (\sinh kh)^3} \quad (5)$$

式中の H および T は考えいる地点における波の波高及び周期を示し, kh は相対水深を示す. また, f は摩擦係数で, ここでは一定値とされている.

Bretschneider-Reid (1954) は, 式 (5) を式 (2) の右辺に代入して同式を積分し, 海底摩擦による波高減衰算定式として次式 (6) を得, その計算のための図表¹⁰⁾を作成している.

$$\left. \begin{aligned} \frac{H}{H_1} &= \left[\frac{64}{3} \frac{\pi^2}{g^2} \frac{f H_1 \Delta x}{h^2} \left\{ \frac{h}{T^2} \frac{K_s^2}{(\sinh kh)^3} + 1 \right\} \right]^{-1} \\ K_s &= \left[\left\{ 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right\} \tanh kh \right]^{-1/2} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Bretschneider は摩擦係数 f は 0.01 程度で一定値としているが, 岩垣らの現地観測¹⁾によれば, f は波動レイノルズ数 Re_T ($Re_T = (u_{bmax})^2 T / \nu$, u_{bmax} は底面粒子速度の最大値) の関数で一定値ではない. しかも, 層流境界層理論による f の理論値に比べ, 実測値は 10^2 程度大きいことが報告されている.

リーフ地形海岸の海底サンゴは, 波に対して一種の大粗度としての効果を有するものと考えられるので, 上記の取り扱いをそのまま適用することはできない. 1章で述べた河野らの現地調査⁹⁾によるリーフ海岸の f の値が, 上述の理論値および岩垣らの実測値と大き

く異なることもこのことを示唆するものである.

そのようなことから, 本研究では海底サンゴを大粗度と考へて取り扱うことにした. 本研究で用いた円柱型サンゴモデルを単体で考えた場合の KC 数は 0.7~4.8 程度で, 大きいときでも樁木らの分類¹⁰⁾による対称渦のパターンに属し, 円柱背後の剥離渦はそれほど強くない場合に当たるが, 円柱は水没しているので上端からの剥離渦が明瞭に認められた. それ故, 現象的には粗度サンゴからの剥離渦によるエネルギー逸散が波高減衰の主因をなすものと考えられる. したがって, 海底サンゴの形状抵抗によるエネルギー逸散が式 (2) の E_{br} に対応することになる.

図5の海底サンゴが, 幅 B あたり n_s 個分布しているとする, この海底サンゴに作用する単位幅当りの抗力 F は次式 (7) で与えられる. ただし, C_D は抗力係数, ρ は海水密度, D および δ は海底粗度の直径および高さ, h は水深, u_b は海底粗度高さの midpoint における水粒子速度である.

$$\left. \begin{aligned} F &\propto C_D \rho \frac{n_s D \delta}{B h} \frac{u_b^2}{2} \\ u_b &= \frac{\sigma H}{2} \frac{\cosh k(h - \delta/2)}{\sinh kh} \cos(kx - \sigma t) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

式 (7) は, 単一サンゴ岩塊の場合の抗力に相当するが, 実際はサンゴ岩塊群として作用するので, このことを考慮するための補正係数 f_c を導入すれば, サンゴ岩塊群の単位幅当り抗力 F_s は次式 (8) で表される.

$$F_s = f_c C_D \rho \frac{n_s D \delta}{B h} \frac{u_b^2}{2} \quad (8)$$

ただし, 記号 u_b は式 (7) の場合と同じである.

垂直板に作用する波のエネルギー逸散量に関する日野 (1971)¹¹⁾らの実験結果を参考にすれば, 海底サンゴ群を大粗度と見なす場合のエネルギー逸散量 E_{br} は, この F_s のなす仕事に等しいと考えられる. そこで, この式 (8) を用いて E_{br} を計算すると次式 (9) が得られる.

$$E_{br} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} F_s u_b dt = f_c C_D \rho \frac{n_s D \delta}{B h} \times$$

$$\frac{2}{T} \int_0^{T/2} \frac{1}{2} u_b^3 dt = \frac{2}{3} f_c C_D \rho \frac{n_s D \delta}{B h} \times$$

$$\frac{\pi^2}{T^3} \times \frac{\cosh^3 k(h - \delta/2)}{\sinh^3 kh} H^3 \quad (9)$$

3. 3) 海底サンゴによるリーフ上伝達波の波高減衰量の算定

式(9)を式(2)に代入して整理することにより、伝達波がサンゴ海底上に $d \times$ なる距離伝播することに伴う波高減衰量 dH に関する方程式として次式が得られる。

$$\frac{dH}{H^2} = - \left\{ \frac{4}{3} \pi f_c C_D \frac{n_s D \delta}{B h} \times \frac{\cosh^3 k(h - \delta/2)}{\sinh^3 kh} \frac{1}{n} \frac{k}{L_0} \right\} dx \quad (10)$$

$$n = (1 + 2kh / \sinh 2kh) / 2$$

上式を、 $x=0$ で $H=H_1$ なる境界条件のもとで積分すると、次式を得る。

$$\frac{H}{H_1} = \left[\frac{4}{3} \pi f_r \frac{n_s D \delta}{B h} \frac{\cosh^3 k(h - \delta/2)}{\sinh^3 kh} \times \frac{1}{n} \frac{H_1}{L_0} kx + 1 \right]^{-1} \quad (11)$$

ただし、式中で $f_r = f_c C_D$ と置いてある。

この式(11)が、大粗度としての海底サンゴによる波高減衰効果を考慮した場合の波高算定式であり、式中の f_r は、例えば式(4)中の摩擦係数 f に対応する係数である。

この式の特徴的なところは、係数 f_r の中にサンゴの形状特性を示す抗力係数 C_D が含まれていることである。

4 実験

4. 1) 実験装置

実験装置の概要を図6に示した。実験に用いた造波

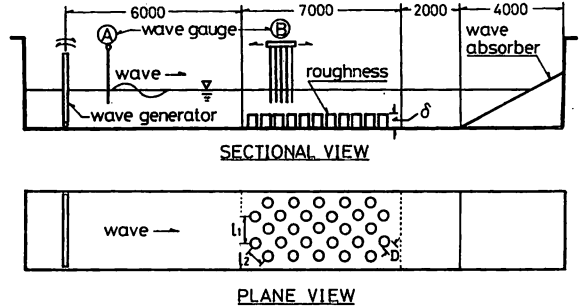


Fig. 6 Schematic diagram of experimental equipments

水路は断面1m×1m、長さ22mの鋼製水路で片方の側壁はガラス張り、水路の一端には造波装置が取り付けられている。波の計測には電気容量式波高計を用いた。

海底模型は、2. 3節で述べた現地調査結果を基に、礁池部分を縮尺1/20で再現することとした。したがって、大粗度としての海底サンゴの配置する礁池の海底長は模型上で7mとなり、そこに大粗度としての海底サンゴモデルを配置した。サンゴモデルの形状寸法は現地調査結果を参考に、円柱型と角柱型の2種とし、寸法は円柱型粗度の直径は0.15m、角柱型粗度の辺長は0.13mとしたが、高さは何れも0.06mとした。粗度の配置は格子型(図4)配置を採用した。

4. 2) 実験方法

実験は、各実験ケースにつき、海底粗度モデルを配置したのち造波して粗度配置領域の波高分布を計測するものである。

実験ケースおよび実験諸元は、表1に示す通りであるが、大粗度による波高減衰は剥離渦と関係する考えられるので、剥離渦の生成に関する重要なパラメータであるレイノルズ数を適当に変化させ、波高算定式中の摩擦係数 f_r について定量的に検討できるようにした。

海底粗度からの剥離渦の形成については、トレーサーを用いた実験によって調べた。

Table 1 Experimental cases and conditions

角柱型粗度 ($D=13\text{cm}$)円柱型粗度 ($D=15\text{cm}$)

D/ℓ'	T (sec)	H_i (cm)	$k h$	δ_i	h (cm)
0.11	1.5	4.0	0.64	0.02	20.0
0.21	1.5	4.0	0.64	0.02	20.0
0.26	1.5	4.0	0.64	0.02	20.0
0.38	1.0	4.0	1.04	0.02	20.0
	1.5	2.0	0.64	0.01	
		4.0		0.02	
		4.0	0.64	0.02	
	2.0	2.7	0.46	0.01	20.0
		5.4		0.02	
	1.2	1.5	0.80	0.01	19.0
		3.0		0.02	
0.51	1.5	4.0	0.64	0.02	22.0
	2.0	2.7	0.46	0.01	20.0
		5.4		0.02	
	2.5	2.5	0.36	0.01	12.0
		3.4		0.01	
		6.8		0.02	
	1.0	4.0	1.04	0.02	20.0
		4.0		0.02	

D/ℓ'	T (sec)	H_i (cm)	$k h$	δ_i	h (cm)
0.12	1.5	2.0	0.64	0.02	20.0
0.24	1.5	2.0	0.64	0.02	20.0
0.29	1.5	2.0	0.64	0.02	20.0
0.44	1.0	2.4	1.04	0.02	20.0
	1.2	1.5 3.0	0.80	0.01 0.02	19.0
	1.5	2.0 4.0	0.64	0.01 0.02	20.0
		4.0	0.67	0.02	22.0
	2.0	2.7 5.4	0.46	0.01 0.02	20.0
	2.5	2.5	0.30	0.01	12.0
		6.2	0.34	0.02	17.0
		3.4 6.8	0.36	0.01 0.02	20.0
	1.0	2.4	1.04	0.02	20.0
		1.5 3.0	0.80	0.01 0.02	19.0
0.58	1.5	2.0 4.0	0.64	0.01 0.02	20.0
	2.0	2.7 5.4	0.46	0.01 0.02	20.0
	2.5	6.2	0.34	0.02	17.0
		3.4 6.8	0.36	0.01 0.02	20.0
	1.0	4.0	1.04	0.02	20.0
		4.0	1.04	0.02	20.0

ただし, $\delta_i = H_i/L_i$ である.

5. 結果および考察

海底サンゴを配置した水域を伝播する波の波高は, 実験結果から見ると伝播距離の増大と共に漸減する傾向を示し, 4. 2 節の理論解析で導出された式 (11) よって整理し得るものと考えらる. この式 (11) を適用するためには係数 f_r の値が必要であるので, ここ

ではまずこの f_r について検討する. ついで, 波高分布特性と理論解析の妥当性について検討する.

5. 1) 大粗度による波高減衰係数

図 7 (a) は, 式 (11) を基にして実験的に係数 f_r (サンゴ岩塊群を大粗度と考えた場合の波高減衰係数) を求め, 次式に示す波動レイノルズ数 (R_e) によって整理したものである.

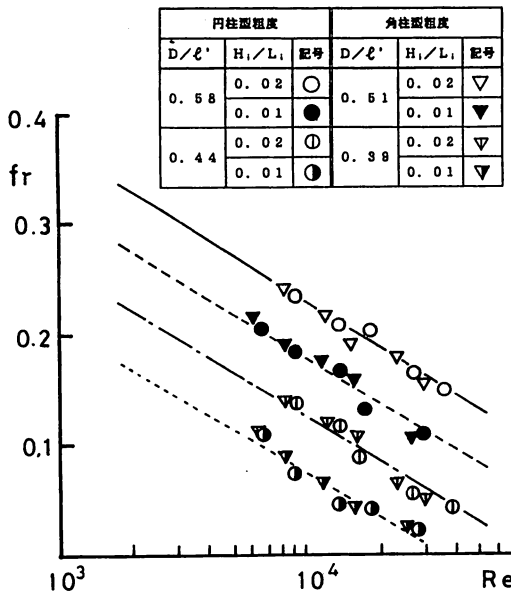


Fig. 7 (a) Relationship between wave damping coefficient f_r and Reynolds number Re

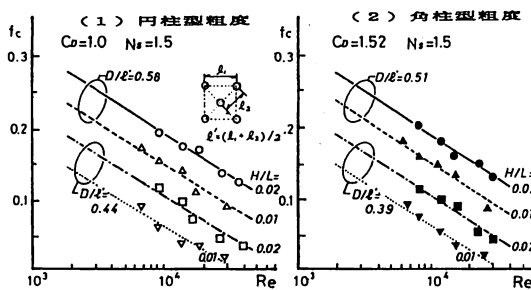


Fig. 7 (b) Relationship between correcting coefficient f_c and Reynolds number Re

$$R_e = (u_{b \max})^2 T / \nu, \quad u_{b \max} = \sigma H / 2 \sinh kh \quad (12)$$

一般的に用いられている Bretshneider らの f_r の値は 0.01 であるが、実験値は海底サンゴの群生の密度が疎 (図中の D/ℓ' が小) のときは Bretshneider らの値に近づき、逆に密度が増大すればこの値より大きくなる傾向にあり、また、 Re による変化は岩垣らの実測結果ともほぼ類似の傾向を示している。このことは本理論解析の妥当性を示すものと考えられる。

なお、図 7 (b) は、式 (8) 中の係数 f_c につき、 R_e との関係を示したものである。図中の白ぬき記号は円柱型、黒ぬり記号は角柱型粗度の場合の f_c を表しているが、抵抗係数 C_D は円柱型に対しては 1.0、角柱型では 1.52 として与えた。図から分かるように f_c の値は、海底サンゴモデルの形状の違いに拘らず波形勾配をパラメータにして Re 数により統一された分布傾向を示している。ここで与えた C_D の値が、定常流中の円柱および角柱に対する抵抗係数の値とほぼ一致していることは注目に値する。

5. 2) 波高分布特性

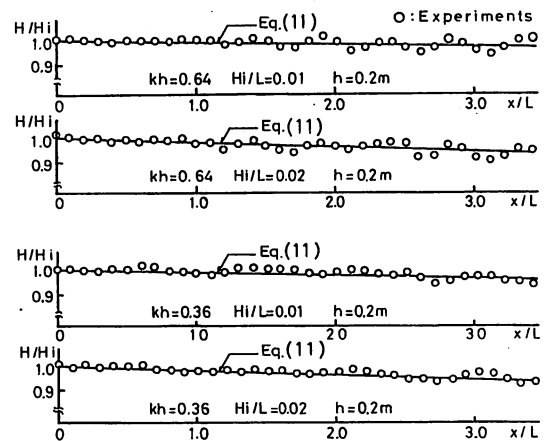


Fig. 8 Distribution of wave height on reef sea area with group of reef blocks as large scale roughness of sea bottom

図 8 は、実験で得られた波高分布の一例である。図の横軸中の x 座標の原点は、海底サンゴモデルを配置した礁池の沖側端にとってある。図から分かるように、波高は距離 x/L の増大とともに減少しており、海底サンゴ群がリーフ上伝達波の波高減衰に大きな影響を及ぼすことが理解される。図中の実線は式 (11) による理論値であるが、実験とよく適合しており、このことは理論解析の妥当性を示している。

6 結語

以上、サンゴ岩塊群の波浪減衰効果について、現地調査に基づくモデル化により、理論的・実験的に検討したが、主要な結果を示すと以下になる。

1) リーフ地形海岸の礁池に分布する岩塊状の海底サ

ングは、伝播波に対して大粗度としての波高減衰効果を有する。2) エネルギー保存則に基づく理論解析による波高算定式は実験結果と比較的よく合い、実験的に求めた波高減衰係数 f_r は波動レイノルズ数 Re で統一的に整理されることが分かった。3) 大粗度群による抗力を考慮するために導入された補正係数 f_c (式(8)参照) も波動レイノルズ数 Re で整理でき、かつ粗度の形状によらず同じ値をとる。なお、この場合の抵抗係数 C_D の値が、定常流中の円柱および角柱に対する抗力の算出等に一般に用いられる抵抗係数の値とほぼ一致することなどは注目に値する。

以上のことから、岩状の海底サンゴの群生するリーフ上を伝播する波の波高減衰度は、式(11)によって算定することが可能と言える。このことについては現地データによる検証が必要である。本研究は、一部文部省科学研究費(一般研究(C)代表者:津嘉山正光)の補助を受けて継続中であり、その後の結果については別途報告の予定である。なお、研究遂行に当たっては、琉球大学工学部環境建設工学科の宇座俊吉技官及び水工学研究室所属の大学院生・卒業研究生諸氏の協力を頂いている。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 岩垣雄一・柿沼忠男・宮井 宏: 現地海岸における海底摩擦係数について, 第12回海岸工学講演会講演集, pp. 35~40, 1965.
- 2) 岩垣雄一・土屋義人・陳 活雄: 海底摩擦による波高減衰の基礎的研究(3) - 層流境界層方程式の非線型項の影響について -, 第12回海岸工学講演会講演集, pp. 41~49, 1965.
- 3) 岩垣雄一・柿沼忠男: 現地海岸における海底摩擦係数について(1), 第13回海岸工学講演会講演集, pp. 21~29, 1966.
- 4) 柿沼忠男・伊福 誠・井内国光: 中予海岸における波浪変形の観測(3) - 海底摩擦係数および流速 -, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 119~123, 1980.
- 5) 柿沼忠男・伊福 誠: 現地海岸における海底摩擦係数, 第32回海岸工学講演会論文集, pp. 234~237, 1985.
- 6) Kamphuis J.W.: Friction Factor under Oscillatory Waves, Journal of Waterways, Harbour and Coastal Engineering Division, Proc. of J.S.C.E., Vol.101, No. WW2, pp.135 ~ 144, 1975.
- 7) Schlichting, H.: Boundary Layer Theory, Sixth Edition, McGraw-Hill Book Company, pp. 586~589, 1968.
- 8) Putnam J. A. and J.W. Johnson: The Dissipation of Wave Energy by Bottom Friction, Trans. American Geophysical Union, Vol.30, No.1, pp.67~74, 1949.
- 9) 河野二夫・永松一甫・喜屋武忠: リーフ上の波の変形に関する現地調査, 第25回海岸工学講演会論文集, pp. 146~150, 1978.
- 10) 岩垣雄一・樫木 亨: 海岸工学, 共立出版, p. 88, 1979.
- 11) 日野幹雄・山崎丈夫: 垂直板による波の反射率・通過率およびエネルギー損失, 土木学会論文報告集, 190号, pp. 75~78, 1971.