

沈水植物が有する波浪低減効果

大石哲也* 三輪準二** 萱場祐一***

1. はじめに

沈水植物は、一般的に水草や藻と言われ、川・湖・海の水中で底に根を下ろして生育する植物である。多くの湖では、沈水植物が減少しており¹⁾、その回復が急務となっている^{2),3)}。湖沼における沈水植物は、これまで仔稚魚の産卵場⁴⁾、透明度の向上などに寄与し³⁾、現地観測、実験、解析等を通じ、水域における生物生態系の一次生産者として主に生態学的側面からその効果が説明されてきた。一方、本研究で検討するような湖沼における沈水植物が有する波浪低減効果がどの程度であるかといった水文学的側面については、ほとんど知られていない。

そこで本研究では、沈水植物の波浪低減効果を明らかにすることを目的として、二次元造波水槽(幅2m, 長さ140m, 深さ5m)を用い、波動場における沈水植物模型(以下、人工藻という)による地形形状の変形および地形変形に伴う波高の減衰効果に着目して検討を行った。

2. 実験概要

本実験では、霞ヶ浦湖岸を対象に実スケールに近い1/2縮尺の地形模型を二次元造波水槽内に作成し、人工藻の有無、密度の違いから、その比較を通し、減衰効果を検証することとした。

2.1 波浪諸元

2.1.1 波高、周期、粒径

実験条件を決めるため、比較的静穏な土浦入り

の奥部の蓮河原地区と、比較的波当たりが強い天王崎地区を対象に、1978~2004年の湖心で観測された風データより、波浪推算を実施した。本実験の縮尺率を考慮すると、波高 $H_0=0.1\text{m}\sim 0.6\text{m}$ 、周期 $T_0=0.7\sim 3.2\text{s}$ の範囲となる。

本実験では、波形勾配(H_0/L_0)を検討しつつ、水槽にて造波可能な波を選定し、波浪諸元として、波高 $H_0=0.1\sim 0.3\text{m}$ 、周期 $T=1.5(\text{s})$ とした(表-1)。

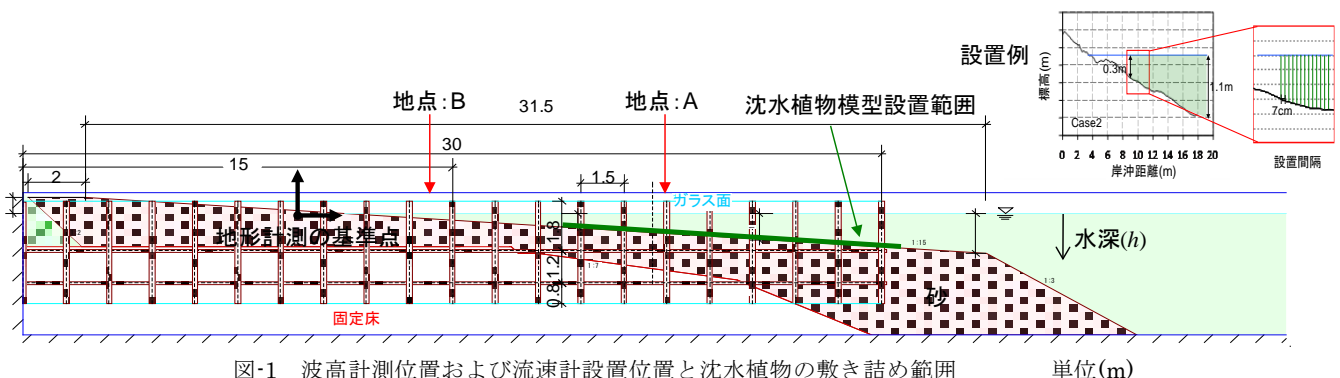
また、両地区では、水深1m以深で底質粒径の平均が約0.25mmであり、縮尺率を考慮し、東北珪砂7号 $d_{50}=0.15\text{mm}$ (0.1~0.2mmが90%以上)の砂を使用した。

表-1 実験ケースと条件

Case	実験波浪			人工藻	
	波高 H_0 (m)	周期 T_0 (s)	造波時間 (h)	設置範囲 水深(m)	設置間隔 (m)
Case1	a)0.1	1.5	1	-	-
Case2	b)0.15			0.3-1.1	0.07
Case3	c)0.2			0.3-0.7	0.07
Case4	d)0.25			0.3-1.1	0.14
Case4	e)0.3				

2.1.2 各ケースにおける初期地形の形成

実験開始前の地形勾配は、粒径の安定勾配を考慮し1/15とした⁴⁾。波浪は、湖浜が安定形に至るまで作用させ、これを初期地形とした。この初期地形を水路壁面にトレースした後にCase1の実験を開始した。以降のケース(Case2,3)では、このトレースした初期地形に沿って地形を整地し直したうえで、各ケースの波高実験を行った。なお、波作用後の地形の平衡勾配は1/12であり、約1時間で平衡状態に至った。



2.2 計測項目と実験ケース

計測項目は、砕波帯の沖側（地形計測の基準点から11.75m、地点A）、岸側（同3.5m、地点B）、各ケースでの砕波点の波高とした（図-1）。

実験ケースは表-1に示した4ケースとした。波高は、0.1mから0.3mまで0.05m刻みに変化させ、造波時間は各波高で1時間とした。

2.3 人工藻

人工藻の素材は、ポリエチレン製で厚さ0.01mm、幅5mmの紐を用いた（写真-1）。この紐は、沈水植物（例えばクロモ）同様に水に浮き、波を与えるとほぼ同様な挙動を示す。これを水路幅2mに横断方向に1cm間隔で設置した。設置に際しては、1cm間隔で紐の下部に別の紐を通し接着し、地表面から深さ5cmの位置に接着部を埋めた。なお、湖岸側の最低設置水深は過去の湖沼図や写真から30cmとした。



写真-1 人工藻

2.4 エネルギー低減率の算定

人工藻による波浪低減効果を知るため、エネルギー低減率の算定⁵⁾を行った。以下に式を示す。

$$K_E = 1 - (H_n^{5/2} / H_1^{5/2}) = 1 - (E_n / E_1) \quad (1a)$$

ここに K_E : エネルギー低減率、 H_n : ケース毎の波高、 H_1 : Case1の波高、 E_n : ケース毎の波エネルギーフラックス、 E_1 : Case1の波エネルギーフラックス

3. 実験結果

3.1 地形計測結果と波高値

結果を図-2に示す。いずれのCaseでも波高は砕波点で最も高くなり、砕波後に著しく減少した。とくに、沖波波高 (H_0) が大きい場合は、地形変化も大きくなった。また、砕波点と形成されるバー（浜）は、沖波波高 (H_0) が高くなるにつれて沖側へと移動した。沖波波高 (H_0) の増大は、沖側のバーとトラフ（深み）の発達を促進させていた。

また、Case2~4の結果にみられるように、人工

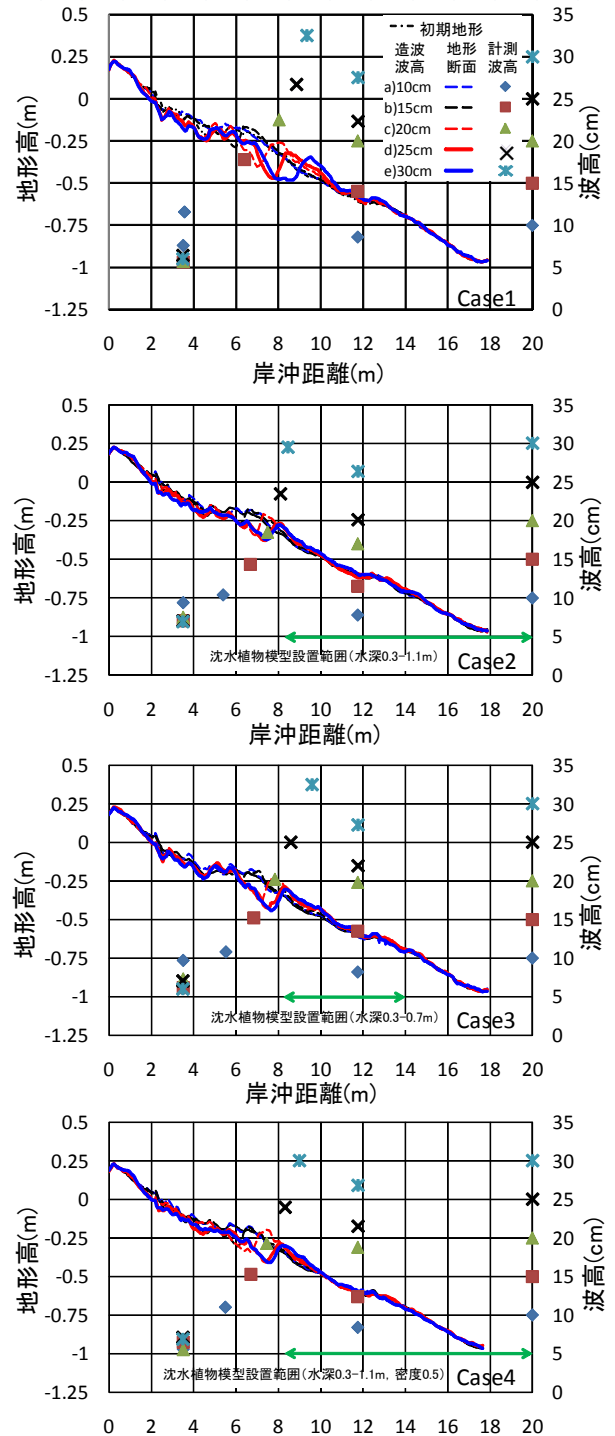


図-2 各ケースにおける地形断面と波高値

藻の設置状況の違いが、波高値やバー、トラフの発達に影響を与えていた。具体的には、Case2において波高が約3cm (Case1と比較し約10~15%) 減少しており、沖波波高 (H_0) が高いケースにおいても人工藻の設置箇所 ($h=0.3$ の地点) でバーの発達が止まっていた。さらに、Case3ではe)30cmの波を低減させることはできなかったものの、Case4では低減が確認された。

3.2 沖波波高 H_0 と計測地点波高 H との関係

3.2.1 碎波前の波高特性

図-3に沖波波高 (H_0) と碎波点ならびに地点Aにおける波高 (H) との関係を示す。碎波前 (地点A) の波高 (H) は、各波高 (H_0) の中でCase2が最も低い。また、Case1とCase3を比較すると、Case3の $H_0=10,15\text{cm}$ の条件で波高 (H) が若干低いものの、 $H_0=20\sim30\text{cm}$ の条件では波高 (H) はほとんど変わらない。Case1とCase4を比較すると、Case2ほど顕著ではないが、波高条件にかかわらず波高 (H) が低くなっていた。

3.2.2 碎波点での波高特性

碎波点での波高 (H) は、地点Aでの碎波前の波高と同様にいずれの条件でもCase2で最も低い。また、Case3はCase1と比較すると、 $H_0=10\sim25\text{cm}$ の場合において波高が小さくなっているが、 $H_0=30\text{cm}$ の場合にはCase1とほぼ同じ値を示した。

Case4ではCase2ほどではないが、Case1と比較しいずれの条件でも波高 (H) が小さくなっていた。ただし、Case4 a)10cm、b)15cmの場合にはCase3よりも0.1~0.2cmと若干であるが高い波高 (H) を示した。

3.3 エネルギー低減率

3.3.1 碎波前のエネルギー低減率

図-4に破波前後でのエネルギー低減率を示す。

碎波前のエネルギー低減率は、Case2で顕著に見られた。とくにCase2の $H_0=15\text{cm}$ の場合にエネルギー低減率が高く約39%であった。ただし、このエネルギー低減率は、沖波波高が高まるに連れて徐々に低下した。Case3では、破砕点より沖側のエネルギー低減率の効果が $H_0=15\text{cm}$ でも10%以下で、沖からの波浪をほとんど低減できていなかった。Case4では、Case2と同様な低減傾向を示した。 $H_0=15\text{cm}$ の場合にエネルギー低減率が高く約26%であった。ただし、このエネルギー低減率は、他ケースと同様に沖波波高が高まるに連れて徐々に低下した。

3.3.2 碎波点のエネルギー低減率

碎波点のエネルギー低減率は、Case3を除き上述した碎波前のエネルギー低減率とほぼ同様で、碎波点でのエネルギー低減率の方が高い傾向にあった。エネルギーを最大に低減したケースと条件は、Case2の $H_0=15\text{cm}$ の場合で、エネルギー低減率は約42%であった。Case3については、碎波点前のエ

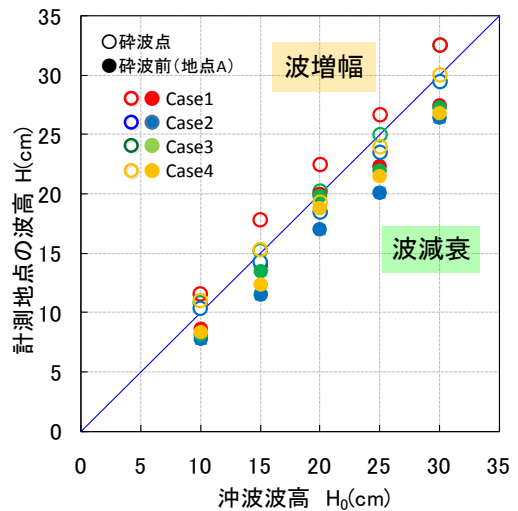


図-3 沖波波高と計測地点波高との関係

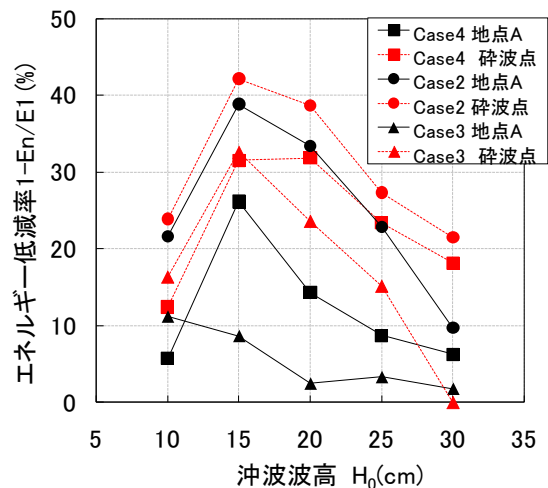


図-4 各ケースのエネルギー低減率

ネルギー低減率とは異なり、各波高条件で高い低減効果を見せた。例えば、碎波点のエネルギー低減率は、Case2と同様に $H_0=15\text{cm}$ の場合に高く約32%であった。

4. 考察

4.1 沈水植物の有無が地形変形に与える影響

Case1では明瞭なバー、トラフの発達が見られるとともに、沖波波高の増加に伴いバーの位置 (図-2) の移動が大きくなっていた。この傾向は、人工藻を設置したCase2~4でも同様であった。したがって、沖波波高の増大は、人工藻の有無に係わらず、岸側のバーとトラフの発達を促進させるものと言える。

しかしながら、バーの移動量については、人工藻の有無により大きな違いがあった。Case2-4では、沖波波高を大きくしても人工藻を設置した位置より

も沖側へとバーが移動していないこと、また、人工藻の設置位置では、地形変化の程度が小さくなっていることが伺える。言い換えれば、沈水植物は、生育場が破壊されるような規模でない限り、安定した地形が形成されやすく漂砂制御の効果が期待できるものと考えられる。

4.2 人工藻の波浪エネルギー低減効果

沈水植物による波浪低減には、沈水植物を狭い水深帯（地形変化の限界水深以浅を指す）で密集させて設置するよりも、波の浅水変形の起こり始める水深（本実験では $h=1.75\text{m}$ ）から汀線付近まで広く（深く）設置する方が、波浪低減に有効であると考えられる。この理由として、例えば、Case3とCase4は、Case2と比較し前者は設置範囲を半分に後者は密度を半分に变化させた比較実験であり、砕波前（地点A）のエネルギー低減効果は、Case3の方がCase4と比較して著しく低い（図-2）。また、破碎点のエネルギー低減効果についても、例えば $H_0=30\text{cm}$ 時にCase3で0%となるなど、Case4と比較し低い。もちろん、Case4もCase2ほどまでの低減率ではなかったが（図-5）、低減効果の傾向は同じと考えて良い。

また、 $H_0=10\text{cm}$ の波ではいずれのケースでも減衰効果が低い。これは沖波波高が小さい場合、鉛直方向へのエネルギー伝播が小さいため、抵抗となる人工藻の葉が水に与えるエネルギー低減作用を十分に発揮できないことに起因するものと思われる。

つまり、減衰効果を発揮するには、波が作用する位置に植物体が密にあることが重要であると言える。この際、沈水植物の葉は波に対して揺動しつつも、葉に働く摩擦作用によって、波浪エネルギーが低減し、結果として砕波点の波高が減少するものと思われる⁴⁾。

5. おわりに

本実験では、大型実験水路を用い、霞ヶ浦湖岸1/2縮尺で沈水植物の設置範囲および設置密度を変化させ、沖波波高 $H_0=10\sim 30\text{cm}$ の波に対する波浪低減効果を検証した。実験結果より、波浪低減効果は人工藻の設置範囲と設置密度が大きく関係していた。実験ケースの中で模型設置範囲、設置密度が最大条件での波浪低減効果は、最大で約42%（Case2・ $H_0=15\text{cm}$ ）となった。また、沈水植物は高い波浪低減効果だけでなく砂移動を抑制する漂砂制御効果があり、砂浜の安定化に大きく寄与する可能性が高いことが分かった。

謝 辞

本実験を行うにあたり、実験場を貸与いただいた国土交通省国土技術政策総合研究所海岸研究室の皆様へ感謝いたします。実験準備、観測等については、当チーム元交流研究員佐貫方城氏にご助力いただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Sakurai Yoshio: Decrease in vegetation area, standing biomass and species diversity of aquatic saprophytes in Lake Kasumigaura(Nishiura) in recent years. Japanese Journal of Limnology, Vol.51, pp.45-48, 1990.
- 2) 天野邦彦、大石哲也：霞ヶ浦における沈水植物群落の消長と環境変遷の関連性解析に基づく修復候補地の抽出、水工学論文集（CD-ROM）、Vol.53、2009.
- 3) 山室真澄、浅枝隆：湖沼環境保全における水生植物の役割、水環境学会誌、Vol.30(4)、pp.181~184、2007.
- 4) 大石哲也、三輪準二、熊田貴之、野志保仁：沈水植物の波浪低減効果に関する研究、水工学論文集、Vol.54、pp.1531~1536、2010.
- 5) 小林昭男、宇多高明、野志保仁、芹沢真澄：Coral reef における砂浜発達モデル化、海洋開発論文集、Vol.24、pp.1231~1236、2008.

大石哲也*



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所水環境研究グループ
自然共生研究センター 研究員
(工博)(前 河川生態チーム)
Dr. Tetsuya OOISHI

三輪準二**



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所水環境研究グループ
河川生態チーム 上席研究員
(工修)
Junji MIWA

萱場祐一***



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所水環境研究グループ
自然共生研究センター 上席研究員
(工博)
Dr. Yuichi KAYABA