

13.11 湖沼・湿地環境の修復技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：水環境研究グループ（河川生態）

研究担当者：三輪準二、大石哲也、中西哲、
矢島良紀

【要旨】

湖沼の環境改善策として下水道整備等による流入水質改善や保全対策事業等による湖沼沿岸帯の復元が進められており、一定の成果をあげているが、今後さらに改善を進めるためには水質改善や生態系にとって重要な沈水植物の復元技術の開発や生態系に配慮した水位管理のあり方を明らかにすることが重要であることがわかってきた。そこで本研究は、沈水植物を復元する手法として沈水植物群落を効率的に復元する手法を開発すること、および水位変動が湖沼環境に与える影響を明らかにすることを目的とする。平成 21 年度は、沈水植物復元へ向けた工法を開発するため、疑似沈水植物体を用いて、沈水植物再生へ向けた検討を行うとともに、沈水植物のもつ漂砂制御効果等の実験検証や復元へ向けての本工法の有効性を示した。

キーワード：沈水植物、湖岸再生、霞ヶ浦、波浪低減、二次元水路

1. はじめに

生物多様性の保全にとって重要である湖沼・湿地の環境は、流域の開発にともなう水質悪化や治水利水を目的とした開発、水位管理によって損なわれてきた。そのため、損なわれた環境の自然再生が急務となっている。近年、下水道整備等による流入水質改善や、各地で湖沼沿岸帯の復元が進められてきたが、その過程で、水質改善や生態系にとって重要な沈水植物の復元が必要なことや、水位管理が湖沼・湿地環境にとって重要であることがわかってきた。

そこで、湖沼水質と生態系との関係のなかでも、浅い湖沼における植生の役割についての関心が高まってきている。水質汚濁が進行する前の浅い湖沼においては、多くの水生植物が繁茂し、透明度の高い水を蓄えていたことが示されている。しかし水質汚濁の進行は、湖水を濁らせて、沈水植物を減少させる結果となる。また、栄養塩類濃度の上昇に伴い、大型植物量は増加する上に水柱全体あるいは水面付近に集中する¹⁾。このような状況は漁業やレクリエーション利用の観点から問題視されることが多く、このため水草が刈り取られることが多いが、そうすると、植物プランクトンの増大と底泥の巻き上げ増加により湖沼の濁りはさらに上昇し、光条件の悪化により植生を破壊してしまう場合もある¹⁾。ここまで達すると、たとえ流入水質が改善されても底泥からの栄養塩類の回帰により植物プランクトンの量は減少しない上に底泥の巻き上げにより濁ったままの状態が続くことになり、湖沼の環境修復は困難なものになる。このため、富栄養化して水生植物が減少した浅い湖沼における大型水生植物(特に沈水植物)の修復に関する技術開発の重要性は高い。河川生態チームでは、浅い湖沼における沈水植物修復技術として、沈水植物群落が存在した時代に散布された後、

湖沼底泥中に埋没したまま発芽せずに残存している散布体(埋土種子)を回収して発芽させる手法を提案してきており、湖岸の自然環境修復を行う対象と考えている湖沼固有の沈水植物の株を確保する手だけでは整いつつある²⁾。しかし、個体レベルでの保全が出来たとしても、それは固有種復元の第一歩であり、現地において持続的な生育が確立されて初めて環境修復と認識されるものと考えられる。

沈水植物分布を制限する要因としては、透明度(光)、底質、波浪が重要であることが指摘されている³⁾。ここで研究対象とした沈水植物が減少した霞ヶ浦においては、水質悪化に伴う濁りの上昇や湖沼の水位管理の変化に伴う発芽期の湖水位の上昇が生じており、沈水植物生長のための水中光量が低下していると考えられる。また、水位上昇は底質の細粒化を促している可能性もある。さらに流域から流入した各種有害物質(除草剤など)が生育を阻害した可能性も否定できないし、溶存酸素濃度の低下が沈水植物に影響を与える可能性があるとも指摘されている⁴⁾。これらの変化は、排他的なものではなく、むしろ霞ヶ浦に対するインパクトとして同時に起こってきたものであるため、複合的に影響していたとも考えられる。

沈水植物は、種々の環境機能を有することから⁵⁾、復元が望まれるが、現在の環境下で容易に可能となるものではない。また、霞ヶ浦のような透明度が低い環境下では、例えば沈水植物の適地となりうる箇所は、波浪による湖底攪乱が大きく、定着が困難であることが懸念事項となっている。以上から、沈水植物帯を復元するためには、まずは沈水植物の機能を回復させることを最優先に考え、次に、波浪低減により湖底攪乱が減少した中に沈水植物体を復元できるようにしていくことが目標となろう。

地点：A 砕波点より沖側の波高計測位置
 地点：B 砕波点より岸側の波高計測位置

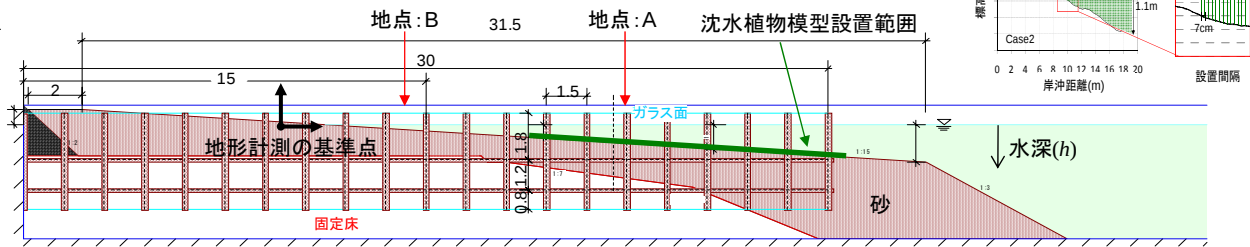


図-1 波高計測位置および流速計設置位置と沈水植物の敷き詰め範囲

そこで、上記目標を達成するため、本研究では、復元へ向けた工法開発の手始めとして、疑似沈水植物を用いて、波動場における沈水植物の寄与（地形安定効果や波浪低減効果等）について実験を行った。

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、沈水植物の有無、密度の違いによって、地形形状の変化に与える影響について検討することとした。

2.1 波浪諸元

2.1.1 波高と周期

実験条件を決めるため、比較的静穏な土浦入り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 $H_0=0.1\text{m}-0.6\text{m}$ 、周期 $T_0=0.7-3.2\text{s}$ 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、波高は $H_0=0.1-0.3\text{m}$ 、周期 $T=1.5(\text{s})$ に固定した(表-1)。

2.1.2 粒径

霞ヶ浦蓮河原地区や天王崎地区では、水深1m以深で底質粒径の平均が約0.25mmに収束する。本実験では、この底質粒径から縮尺率を考慮し、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。

2.1.3 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、1/15（過去の移動床実験において、0.1-0.2mmの粒径が安定する地形勾配¹²⁾）とした。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(Case2-4)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。このことから、各ケースの造波時間は1時間としている。

2.1.4 造波水路

表-1 実験ケースと条件

Case	実験波浪			沈水植物模型	
	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



写真-1 沈水植物模型

造波水路は、幅2.0m、長さ140m、深さ5.0mからなる国土技術政策総合研究所の漂砂実験水路を用いた。

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、砕波後の遡上高とした(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0.5m刻みに変化させ、造波時間は各波高で1時間とした。Case1は沈水植物模型無しのケース、Case2は沈水植物模型を水深 $h=0.3-1.1\text{m}$ まで設置したケース、Case3は沈水植物模型を水深 $h=0.3-0.7\text{m}$ まで設置したケース、Case4はCase2と同様に沈水植物模型を水深 $h=0.3-1.1\text{m}$ まで設置し設置密度をCase2の半分としたケースである。Case2とCase3の沈水植物模型の設置間隔は0.07mピッチ(図-1設置例を参照のこと)、Case4は0.14mとした。なお、本実験は波高が徐々に上昇するとともに地形が変化する現象を知ることとし、連続的に波高値を上昇させている。

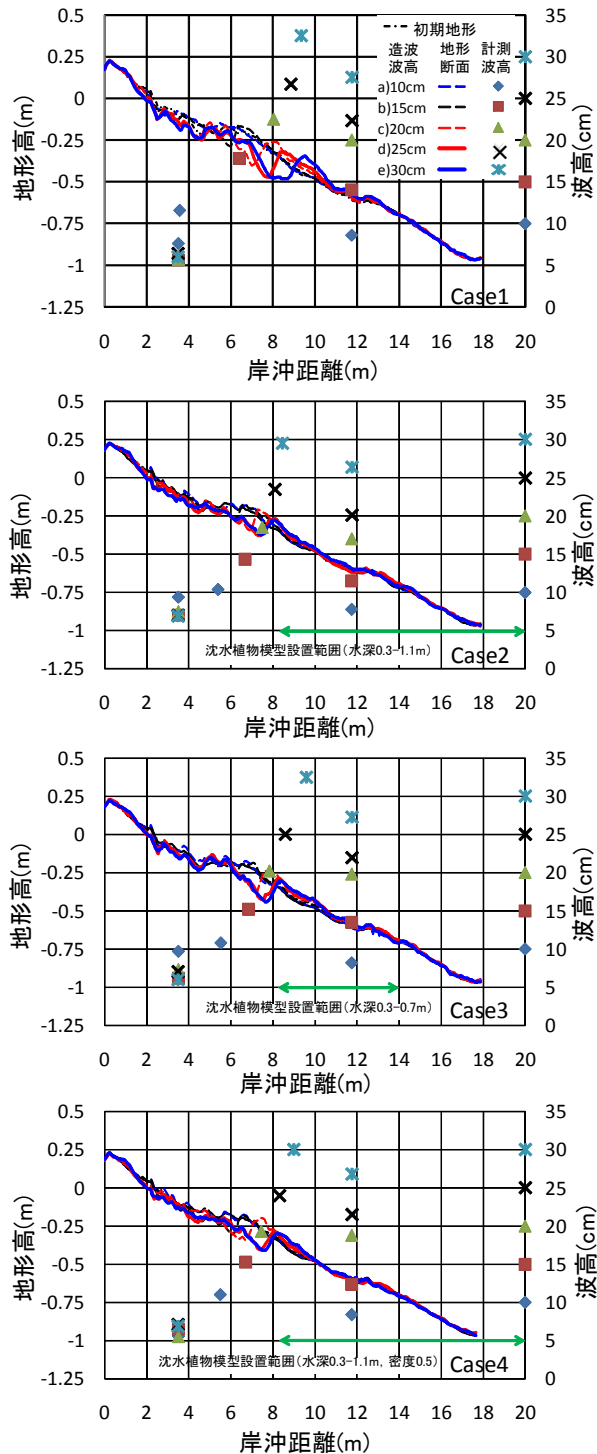


図-2 各ケースにおける地形断面と波高値

2.3 沈水植物模型

沈水植物模型の素材は、ポリエチレン製で厚さ 0.01mm、幅 5mm の紐を用いた（写真-1）。これを水路幅 2m に 1cm 間隔で設置した。この際、あらかじめ紐の間隔が 1cm となるように紐の下部を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。また草丈は、どの場所でも水面付近までとした。この理由は、本実験での設置範囲（最大で 1.1m 深）

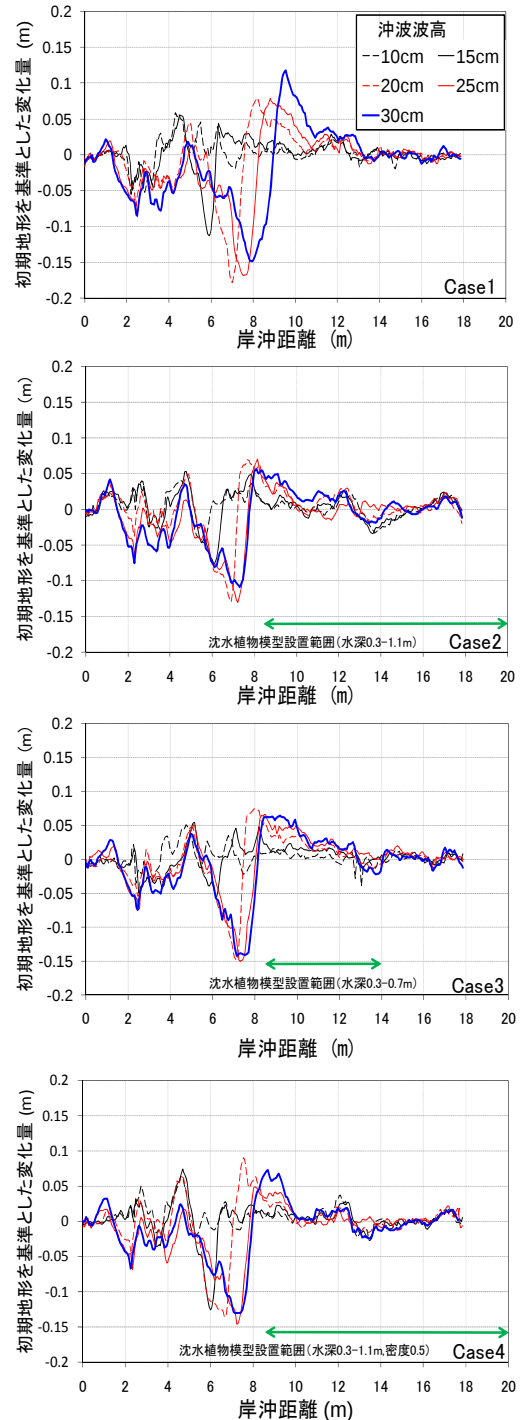


図-3 地形変化量

であれば、実湖沼でもほぼ水面まで沈水植物の生長が可能と考えたからである。

3. 実験結果

3.1 Case1（沈水植物模型なし）

波高は碎波点で最も高くなり（計測波高の分布範囲：約 12-33cm）、碎波後に著しく減少した（計測波高の分布範囲：約 6-8cm）（図-2）。とくに、Case1-d) 25cm、e) 30cm のように沖波波高 (H_0) が大

きい場合は、地形変化も大きくなった。また、碎波点と形成されるバーは、沖波波高 (H_0) が高くなるにつれて沖側へと移動した。図-3 に初期地形断面を基準とした断面形状の変化量を示す。Case1 では、沖波波高 (H_0) が高くなるにつれて、変化の絶対量が大きくなっていた。同図から、沖波波高 (H_0) の増大は、沖側のバーとトラフの発達を促進させていることが分かる。

3.2 Case2 (沈水植物模型設置水深 0.3-1.1m、設置間隔 7cm)

波高および地形変化の特性は、Case1 と同様な結果を示した。しかしながら、碎波点の波高は、約 3cm (Case1 と比較し約 10-15%) 減少しており、波高分布も 10-33cm の範囲であった。地形変化については、d) 25cm、e) 30cm のように、沖波波高 (H_0) が高いケースにおいても沈水植物模型の設置箇所 ($h=0.3$ の地点) でバーの発達が止まっていた。

断面形状の変化量は (図-3)、Case1 と比較し、バーとトラフの変形規模が小さくなっていた。さらに、沈水植物模型設置内では、地形変化量が小さくなり、地形の安定化が促されていた。このことより、沈水植物模型の設置は波浪を低減させるとともに、砂移動を抑制するものと考えられる。

3.3 Case3 (沈水植物模型設置水深 0.3-0.7m、設置間隔 7cm)

波高および地形変化の特性は、Case1、2 と同様な結果を示した。波高は碎波点で約 10-33cm の範囲、碎波後に約 6-10cm の範囲で推移した。波高の低減効果は、a)-d) の条件で見られたものの、e) 30cm の条件では Case1 の波高とほぼ同じで、波高の低減効果は見られなかった。地形変化については、Case2 と同様に植物設置箇所 ($h=0.3$ の地点) でバーの発達が止まっていた。

断面形状の変化量は (図-3)、Case1 と比較して小さく、Case2 と比較して大きくなっていた。さらに、Case2 と比べると、バーより岸側にあるトラフの発達が顕著になり、深さの規模としては植物の無い場合と同程度となっていた。これは、植物模型量の減少に伴い、波浪の低減効果が小さくなることで、模型背後の底質が移動、洗掘され易くなり、結果としてトラフの発達が促されたのではないかと考えられる。

3.4 Case4 (沈水植物模型設置水深 0.3-1.1m、設置間隔 14cm)

波高および地形変化の特性は、Case1 と同様な傾向を示した。また、波高の低減効果も Case2 と同様に全てのケースで見られた。地形変化については、Case2 と同様に植物設置箇所ではバーの発達が止まっていた。断面形状の変化量は (図-3)、その絶対変化量が Case1 と比較すると小さく、Case2 と比較すると大きくなっていた。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。したがって、波高の低減は、設置密

度よりもむしろ設置範囲による効果の方が高いと考えられる。

4. 考察

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)、変化量 (図-3) が大きくなっていた。この傾向は、沈水植物模型を設置した Case2-4 でも同様であった。したがって、沖波波高の増大は、沈水植物模型の有無に係わらず、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、バーの移動および地形変形の変化量については、沈水植物模型の有無により大きな違いがあった。とくに沈水植物の設置密度量を多く、深くまで行うことで、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ことが考えられる。また、根茎の埋め込み量も深いほど波浪の大きな場合にも破壊されなくなり、生育場の攪乱を低減させる効果が維持できるであろう。

5. まとめ

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、設置密度、沖波波高を変化させ、沈水植物の物理的な効果について検討を行った。実験結果より、沈水植物 (模型) 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や比較的大きな波浪にも耐えうることが明らかとなった。このような疑似植物体の中に、実物の植物体を再生させておくことができれば、湖底攪乱が減少しているため、実際の沈水植物の生育可能適地が増えるだろう。また、疑似沈水植物体は、機能的な面から実際の沈水植物の代用となる可能性も高い。今後は、これらの工法の適用性も踏まえて、実湖沼での沈水植物復元に向けた取り組みに関して検討を行う。

参考文献

- 1) Scheffer, M., Ecology of shallow lakes, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- 2) 天野邦彦、時岡利和：沈水植物群落の再生による湖沼環境改善手法の提案、土木技術資料、vol.49、no.6、pp. 34-39、2007.
- 3) 浜端悦治：沈水植物の特性、河川環境と水辺植物 (奥田重俊、佐々木寧編)、ソフトサイエンス社、東京、1996.
- 4) Kadono, Y., Effect of oxygen deficit on the photosynthetic and respiratory activities of submerged plants, Jpn. J. Ecol., vol.28, pp. 319-323, 1978.
- 5) 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、no. 4、pp. 181-184、2007.
- 6) 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.
- 7) 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 (CD-ROM)、vol. 54、2010.

STUDY ON THE RESTORATION TECHNIQUES FOR LAKES AND WETLANDS

Budged:

Research Period: FY2006-2010

Research Team: Water Environment

Research Group (River Restroration
Research)

Author: MIWA Junji

OISHI Tetsuya

NAKANISHI Satoru

YAJIMA Yoshinori

Abstract : Lake restoration should be pursued by combining the improvement of water quality of inflow river and lakeshore restoration. Through our experiences we have found out that restoration of submerged plants and ecologically sound water level fluctuation are significant to enhance the level of lake restoration. This study aims to find the methodology to restore submerged plants effectively and to elucidate the effect of water level fluctuation on water environment. In FY 2009, we have showed the method of construction for lake restoration and the damping effect of the wave force by submerged plants in lakes. Two dimensional wave flume and artificial plants instead of real submerged plants were used for that purpose. In the experiment, the lakefront of 1/2 scales was produced for Lake Kasumigaura in the flume. The set range and the density of artificial plants changed, and the damping of the offing waves ($H_0=10\text{-}30\text{cm}$) force was verified.

As a result, the damping effect was due to the set range and the density of artificial plants. The movement of the sand bar stopped at the planting position though the wave height rose. In conclusion, the results of this study suggest that this method of construction may help them restore and help work as physical function area for organisms by artificial submerged plants.

Key words : Submerged macrophytes, Lake restoration, shallow lakes, two dimensional wave flume