

応用研究論文

八郎湖岸に設置された消波堤周辺の波に関する研究

須知成光¹, 植田智大²¹ 秋田県立大学システム科学技術学部機械知能システム学科² 元秋田県立大学システム科学技術学部機械知能システム学科 (現 日機装株式会社)

八郎湖の水質汚濁対策の1つとして、かつて存在した湖岸の水草帯の再生が試みられている。本研究ではこれに関連して、水草帯再生試験のため湖岸に設置された消波堤による波の減衰効果の検証を目的として、消波堤周辺の波の計測を行った。計測は水面に浮かべた浮子の変位をレーザ変位計により計測し、変位の時系列データをFFT処理して平均波高、波周期、波エネルギー密度を算出した。計測の結果、形状の異なる4種の消波堤全てにおいて波は効果的に抑えられていることが確認できた。さらに、波の周期の観測結果より、消波堤周辺の波は主に湖面を流れる風によって起こる風波に分類されることが確認できた。また、風速と波エネルギー密度の関係から、今回計測を行った消波堤周辺においては、水深が非常に浅いことから、水深が深い場所にくらべて波高が抑えられる傾向が明らかとなった。このことから、台風時などを除いて消波堤を乗り越えるような波はほとんど生じないことが推定できる。

キーワード: 表層波, 波エネルギー, 浅水湖, 水質改善, 水生植物生育

秋田県男鹿半島の付け根に位置する八郎湖は、農地造成を目的として昭和32年に干拓事業が着工され、淡水資源確保のために残された八郎潟の残存湖である。現在は、東部承水路、西部承水路、八郎湖調整池を残しているだけである。干拓前の八郎潟は水の透明度が高く、水草帯も豊富に存在していたが、干拓の影響により大部分が消滅した。水草帯の消滅と周辺から流入する生活排水や農業排水の増大などによって、干拓後は徐々に水質汚濁が進み、全国湖沼水質ランキングでワースト3位に入るまでに悪化した。また、毎年7月から9月にかけて藍藻類のアオコが異常発生し、水道水のカビ臭や漁業被害など様々な問題に直面している。また、平成19年度には湖沼水質保全特別措置法における指定湖沼に指定され、周辺流域では様々な対策が検討・実施されている(秋田県, 2014)。

このような対策の1つとして秋田県では、八郎湖の水質改善を図り、生物の多様性を回復させるため、平成21年から湖岸3ヶ所に総延長2.3kmの消波堤を

建設し、旧来の水生植物の再生を目指している。1年目には沈水植物のホソバミカヅキモが旺盛に生育し、大きな群落を形成した消波堤もあったが、消波堤の設置場所や構造、土壌シートバンクの採取場所や撒きだし量等により水生植物の育成状況が異なり、継続的な沈水植物の育成が難しい消波堤が見受けられた(尾崎, 2014)。

このような状況への対策検討の一環として、本研究では、消波堤の内外における波の変化を検証するとともに、八郎湖における波の性質について基礎的な知見を得ることを目的とし、八郎湖の東部承水路に設置された消波堤について、消波堤周辺の波の計測を行った。

計測方法

計測地点

本研究では、秋田県の八郎潟の東部承水路に設置された消波堤(図1, 総数21基のうち15基のみ示

す)のうちそれぞれ異なる形状の4基(No.14, No.15, No.17, No.18)について周囲および内域における波の変位を測定した。これらの消波堤は石積みで建設されており、消波堤の形状は、長さ 23.0m, 先端の湖岸からの距離 14.8m である。さらに①湖岸と消波堤の間の通水路(幅 2.0m)の有無, ②消波堤内域での水の停滞を防ぐための塩ビ管(直径 200mm, 9本)埋設の有無, によって異なる形状が試行的に導入されている。本研究で計測対象とした4つの消波堤の形状について、表 1 に示す。また、代表例として消波堤 No.14 と No.15 の形状を図 2 に示す。



図 1 八郎湖東部承水路岸に設置された消波堤 (No. 2-7, No. 13-21)

表 1 消波堤の形状

No.	14	15	17	18
通水路	○	X	X	○
塩ビ管埋設	○	X	○	X

図 3 に消波堤周辺の波計測点を示す。計測点①~⑩は消波堤外側、計測点⑪~⑭は消波堤内側となる。消波堤内側の計測点位置は、内部で行われている水草再生試験の状況により、消波堤毎に位置が異なっているが、概ね消波堤内域の4隅で計測を行った。また、計測点の消波堤からの距離は、消波堤の水際より 60cm 離れた位置とした。この場合、消波堤の構造より、計測点における水深は約 60cm となる。

八郎湖は干拓地への農業用水の供給源としての役割を担うため、干拓前には汽水湖であったものが干拓後には淡水化された。海水の流入を防ぐ目的で設置された防潮水門により、八郎湖の水位は人工的に調整されている。水位は稲作の周期によって変化し、

例えば灌漑期(5~7月)の水位は海面より約 1.0m となるが、非灌漑期(9~3月)には海面より 0.5m となる。すなわち、消波堤の天端と水面の距離は灌漑期には 0.1m, 非灌漑期には 0.6m 程度となる。

計測は 2014 年 10 月 30 日および 2014 年 12 月 12 日の 2 日間に分けて実施した。

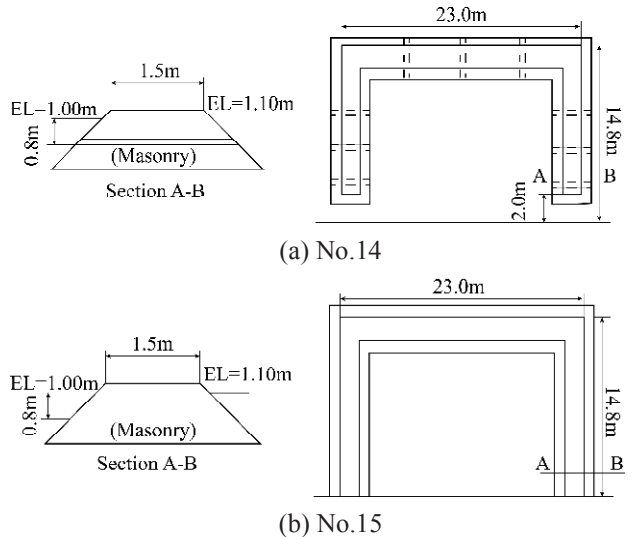


図 2 消波堤の形状 (No. 14, No. 15)

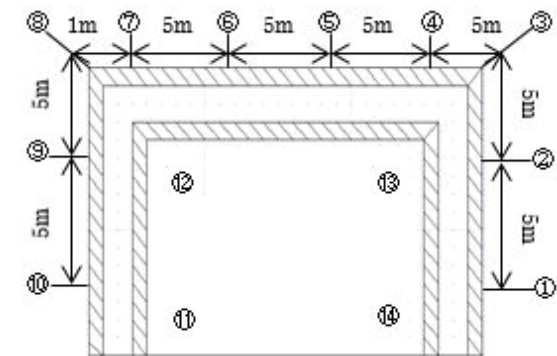
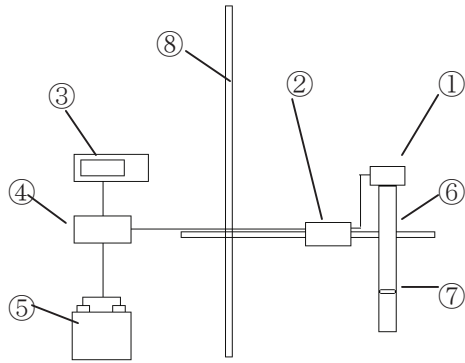


図 3 消波堤周辺の波計測点

計測方法

本研究で用いた計測機器を図 2 に示す。計測機器は①レーザ変位計を中心として、その信号を処理する②アンプ、アンプの出力を記録する③データロガーなどから構成されている。計測においては、⑥塩ビ管(内径 70mm, 長さ約 60cm)を半分程度水中に沈め、⑦水位マーカ(発泡スチロール製, 直径 65mm, 厚さ 5mm の円盤)をその中に浮かべる。このときのマーカ表面の変位を該当箇所の水面の変位としてレーザ変位計によって計測する。なお、本研究で使用した水位マーカの固有振動数は約 33.6Hz であるが、一方でデータロガーのデータサンプリング周波

数は 10 または 25Hz であることと、後述する測定結果において、観測された波の卓越周波数が 1Hz 程度であることから、本研究の測定結果に対する水位マーカの固有振動数の影響は考慮する必要がないと考えられる。



①レーザ変位計, ②アンプ, ③データロガー,
④インバータ, ⑤バッテリー, ⑥塩ビ管, ⑦
水位マーカ, ⑧支持棒

図3 波変位計測機器

計測はサンプリング間隔 100ms (2014 年 10 月 30 日) または 20ms (2014 年 12 月 12 日) で 2 分間の計測を行いデータロガーに記録した。計測データの解析は、2 分間のデータの中から値が安定している連続した 2048 点を選んで FFT 解析を行い、波のパワースペクトルと平均振幅を算出する。ここで波の平均振幅は以下の式で定義される。

$$\overline{\zeta^2} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t \zeta^2 dt = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2} a_n^2 \quad (1)$$

上式において、 $\overline{\zeta}$: 平均振幅, a_n : 各周波数成分の波の振幅である。

結果および考察

波の変位とパワースペクトル

波の変位の計測結果について、代表例を図 4 に示す。図 4 は消波堤 No.14 の計測点①における計測結果である。なお、図のデータは平均値が 0 になるように補正されている。

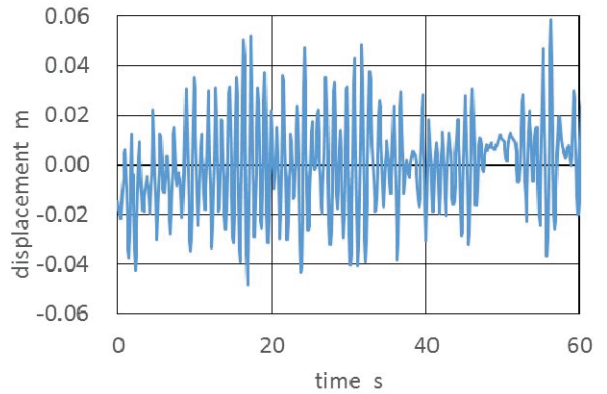


図4 波の変位の時間変化(消波堤 No. 14-①)

(2016 年 10 月 30 日測定)

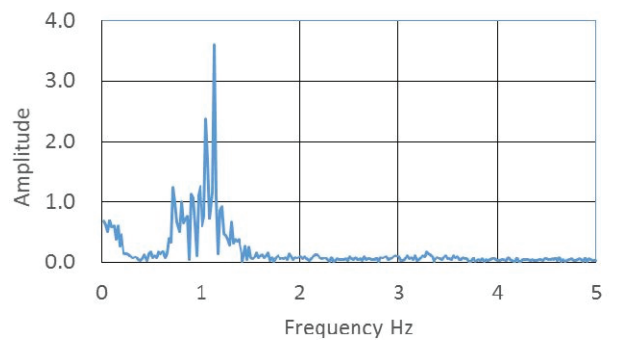


図5 波のパワースペクトル

次に図 4 のデータの FFT 解析により得られた波のパワースペクトルを図 5 に示す。図より、周波数 1Hz 周辺に卓越周波数をもつことがわかる。周波数による波の分類 (Kinsman, 1965) によると、1 のオーダの卓越周波数をもつ波は短周期重力波帯域の風波に分類される。今回測定を行った全ての波の FFT 解析において、同様の結果が得られことから、八郎湖岸における波は主として水面を流れる風により起こされた重力を復元力とする波であると考えられる。

波の平均振幅

本研究で測定された波の平均振幅を表 2 に示す。表の値は 5 回ずつの計測結果の平均値である。表より、消波堤外側における平均振幅は消波堤 No.14 で最大 22.3mm, 内側では最大 1.5mm であった。このときの消波堤による波の振幅の減衰率は 93% である。測定時の風速の影響により、消波堤外側 (計測点 No. ①~⑩) における波の平均振幅にはかなりのばらつきがあるが、消波堤内側 (計測点 No. ⑪~⑭) の波に

おいては概ね 2mm 以下の平均振幅に抑えられており、今回の測定結果で消波堤により効果的に波が抑えられていることが確認できた。また、今回は4種の異なる形式の消波堤について計測を行った。消波堤の形式を通水路と塩ビ管理設により変化させる目的は、消波堤の内と外の水の交換の程度が水草の生育に与える影響を調査することであると考えられるが、今回の計測結果より、これらの形式の違いによる消波効果への目立った影響は認められなかったことから、水草の生育に対する波の影響は4種の消波堤で同程度に抑えられていると考えられる。

表2 波の平均振幅 (2014年10月30日測定)

計測点	No.14	No.15	No.17	No.18
①(風下)	12.2	10.0	8.9	8.5
②(風下)	7.9	11.0	9.4	3.5
③	22.3	7.8	2.9	2.5
④	21.0	10.0	7.6	3.8
⑤	19.5	12.5	12.2	6.5
⑥	17.6	13.4	8.1	6.5
⑦	13.1	11.6	8.8	7.6
⑧	17.7	8.4	10.2	9.2
⑨(風上)	12.5	10.3	6.4	11.3
⑩(風上)	13.1	9.5	10.5	11.2
⑪	1.1	0.6	0.7	1.2
⑫	1.5	1.5	1.2	1.5
⑬	0.8	1.2	1.8	1.2
⑭	1.5	0.8	1.3	0.9
平均風速 (m/s)	3.4	2.2	2.0	0.8
風向	南南東	南南西	南	ND

(単位: mm)

風速と波のエネルギー密度

FFT 解析結果より得られた波のエネルギー密度について、測定時の風速との関係を図6に示す。なお、この図では風速との相関が明確に認められた風上に位置する計測点のデータのみ示した。図において、波のエネルギーは風速に対して増加する傾向が認められるが、ばらつきが大きいこと、また風速 10m/s

付近でもエネルギー密度が 0.50J/m²程度 (平均振幅で 20mm 程度) と非常に小さいことがわかる。これは、今回計測を行った消波堤付近の水深が 1-2m 程度と非常に浅く、湖底の影響により波エネルギーが大きく減衰されるためであると考えられる。以上より、台風時等の例外的な状況を除くと、本消波堤周辺において、消波堤天端 (水面からの高さ 10cm) を越えるような波はほとんど発生しないと推定できる。

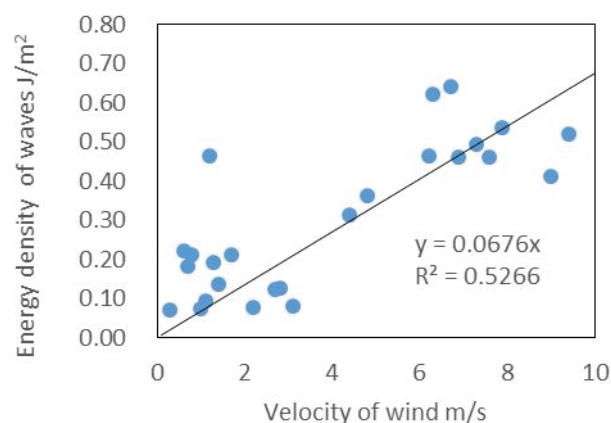


図6 風速と波のエネルギー密度の関係

結言

水質汚濁対策の一環として八郎湖岸に設置された消波堤周辺の波について計測を行い、波の平均波高、周期、エネルギー密度を評価した。計測の結果、消波堤により波が効果的に減衰されていること、また台風時等の例外的な場合を除いて消波堤の高さは十分確保できていることを示した。

文献

- 秋田県(2014), 「八郎湖に係る湖沼水質保全計画 (第2期)」, 秋田県.
- Kinsman, B(1965), *Wind Waves*, Prentice-Hall Inc..
- 尾崎保夫(2014), 「八郎湖の水環境改善をめざした沈水植物の再生と課題」, 『八郎湖流域管理研究』第3号, 27-36.

〔 平成 28 年 11 月 30 日受付
平成 28 年 12 月 22 日受理 〕

Study on Surface Waves Around Breakwaters within the Lakeside of Hachirouko

Shigemitsu Shuchi¹, Tomohiro Ueda²

¹ *Department of Machine Intelligence and Systems Engineering, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

² *Former student of Department of Machine Intelligence and Systems Engineering, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University (at present, Nikkiso Co., Ltd.)*

To verify the wave damping effect on breakwaters implemented for regeneration of aquatic plants, a band regeneration test was performed to measure the wave around breakwaters. Displacement of a float on the surface of the water was measured using a laser displacement meter. Average wave height, wave period, and wave energy density were calculated from the displacement data. Waves around four breakwaters in different shapes were confirmed to have been effectively suppressed. In addition, the observation of the period of the wave confirmed that the waves around the breakwaters were mainly classified as wind waves resulting from wind flowing through the surface of the lake. Furthermore, by the assumption based on the relationship between the wind speed and wave energy density, it was revealed that the waves around the breakwaters were suppressed by shallow water depth. Therefore, excluding exceptional cases such as during a typhoon, the height of the breakwaters was found to be sufficient.

Keywords: surface wave, energy of waves, shallow water lake, water quality improvement, aquatic plant growth