

松原ダム湖の風と波

WIND AND WAVE IN THE MATSUBARA DAM LAKE

岡田知也¹・小松利光²・荒木和幸³・柴田敏彦⁴・藤田和夫⁴

Tomonari OKADA, Toshimitsu KOMATSU, Kazuyuki ARAKI,
Toshihiko SHIBATA and Kazuo FUJITA

¹学生員 工修 九州大学大学院 工学研究科博士後期課程 日本学術振興会特別研究員
(〒812-81 福岡市東区箱崎 6-10-1)

²フェロー 工博 九州大学教授 工学部建設都市工学科 (同上)

³正会員 建設省九州地方建設局 九州技術事務所 (〒830 久留米市高野町 3435-5)

⁴正会員 九州大学技官 工学部建設都市工学科 (〒812-81 福岡市東区箱崎 6-10-1)

Observations of winds and waves were carried out at the Matsubara dam lake for two months from December in 1996. An observation point was set up at the center of the lake and was three hundred meters far from the land. After making an analysis of observed data, we obtained the following results. (1) the heights of wind waves were generally 6cm or less. (2) the range of wave period was from 0.4 s to 1.0 s. (3) most of observed waves were not the steady state but duration-limited waves. (4) it is possible to estimate wind waves in the Matsubara dam lake by using the fetch relation if we use a representative fetch that depends on the water area.

Key Words : Matsubara dam lake, reservoir, wind wave, wave observation

1. はじめに

ダム湖や貯水池のような比較的狭い水域に発生する波浪は海洋に発生する波浪と比較すると格段に小さく弱いことから、その特性を知ることはこれまでのところ工学上、特に防災上それ程重要ではなくあまり顧みられなかった。しかしながら近年、ダム湖や貯水池に発生する波のエネルギーを利用した水質改善法が提案^{1),2)}される等、徐々に研究者に見直されるようになってきており比較的狭い領域に発生する波の特性を知ることは環境問題上重要になっている。

比較的狭い水域に発生する波の観測としては、高村³⁾によるダム湖での観測があるが、その特性はまだほとんど明らかにされていない。一方、ダム湖や貯水池と較べるとかなり大きな水域であるが、琵琶湖においては岩垣⁴⁾による充実した波浪観測が行われており、周期については Wilson IV 型に良く一致し、また波高についてはばらつきが大きく

Bretschneider の修正曲線と Wilson IV 型のどちらに合うのか判然としないと報告されている。

著者らは、筑後川上流に位置する松原ダムのダム湖において波浪観測の機会を得ることができた。そこで1996年12月28日～1997年2月23日までの2ヶ月間にわたり波浪観測を実施したので、その結果を報告する。

本報告の目的は、松原ダム湖に発生する波浪の大きさを知ること、および松原ダム湖に発生する波浪の推算を可能にすることである。ダム湖は一般に複雑な地形で囲まれている水域であるため、一面に開けた海洋のような水域とは異なり、風速および吹送距離がかなり複雑に変化する。このような場では波と風の関係は吹送距離則に単純には一致しない。そこで水域の空間スケールを代表的な吹送距離とする概念を用いて、波と風を関係付ける試みを行った。

また、複雑な地形に囲まれた狭い水域に発生する波浪場は周囲の地形からの反射や散乱の影響を受ける場合が多く、そのような波浪場の波の特性を知る

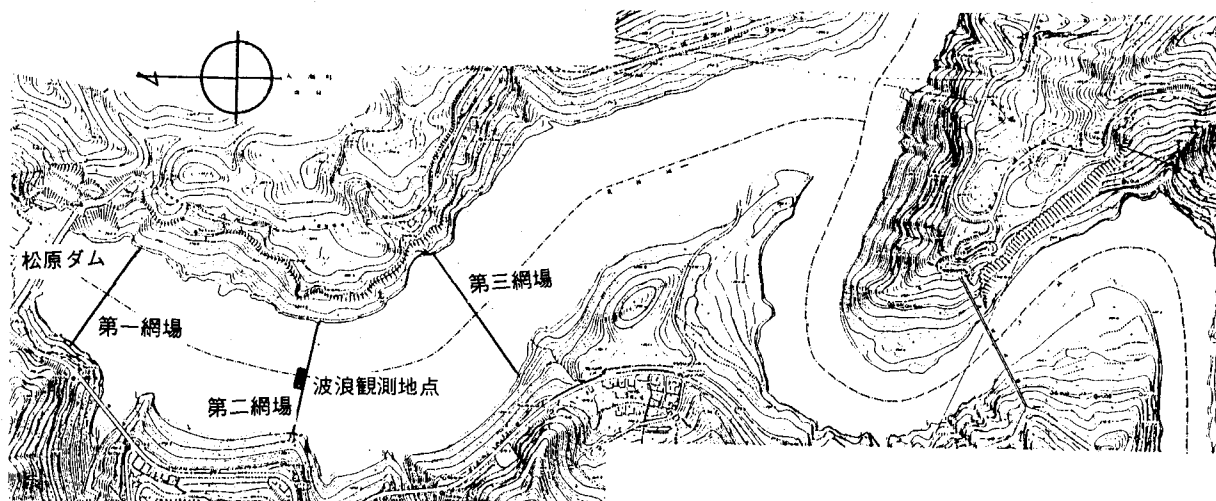


図-1 松原ダム湖の形状と波浪観測地点

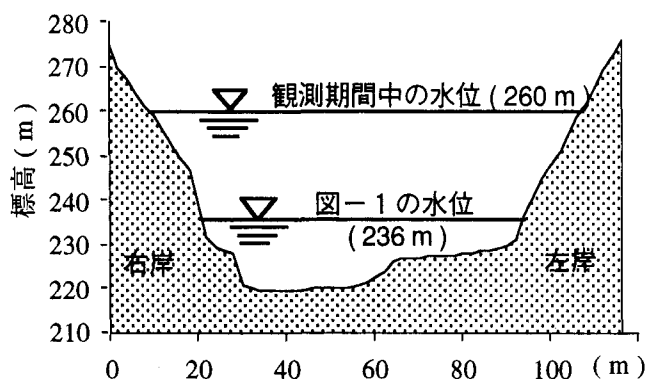


図-2 ダム湖の横断面図（観測地点付近）

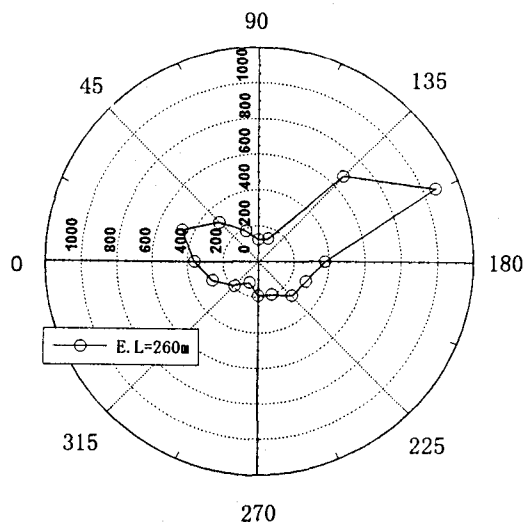


図-3 観測地点から陸岸までの距離

ためには方向スペクトル解析は不可欠である。松原ダム湖はまさに複雑な地形に囲まれた狭い水域であったが、波高が数 cm、波長が高々 1 m 程度と非常に小さいためか、ダム湖中央の観測地点においては少なくとも反射波や散乱波の影響は観察されなかった。したがって、本報告では周囲の地形からの反射波等の影響は無視できるものと仮定して検討を行った。

2. 観測装置及び観測方法

(1) ダム湖の地形と波浪観測地点

松原ダム湖は両側を山に挟まれていて南北（流下方向）に長く、「く」の字型の形状をした水域である（図-1 参照）。図-1 は水位が 236 m の場合を示している。観測期間中の水位は 260 m であった。等高線の太線は 10 m 間隔を示しており、観測期間中の実際の水面形は図中の等高線の下から 3 本目の太

線に一致する。図-2 は観測地点付近のダム湖の横断面図を示したものである。湖底の標高は 220 m であることから、観測期間中の湖中央部の水深は 40 m であったことになる。また、図-1 および図-2 から岸付近の湖底の勾配は殆ど全ての領域で 45° 以上であり、ダム湖に発生する波長が高々 1 m 程度の波に対しては、松原ダム湖はほぼ全域が深水域と言える。

ダムサイトからおよそ 100, 300, 600 m のところには流木防止ネット（網場）が施されており、ダムから 300 m のところの第二網場に設置されている作業台上で観測を行った。作業台はフロートを用いて浮設されているため水位の変動には追従するが、風や波により振動を生じるという問題がある。観測地点から陸岸までの距離を図-3 に示す。方位を 16 分割して観測期間中の水位 260 m の場合に対して地図から読み取ったものである。図中 0, 90, 180, 270 はそれぞれ北、東、南、西に対応している。今回の観

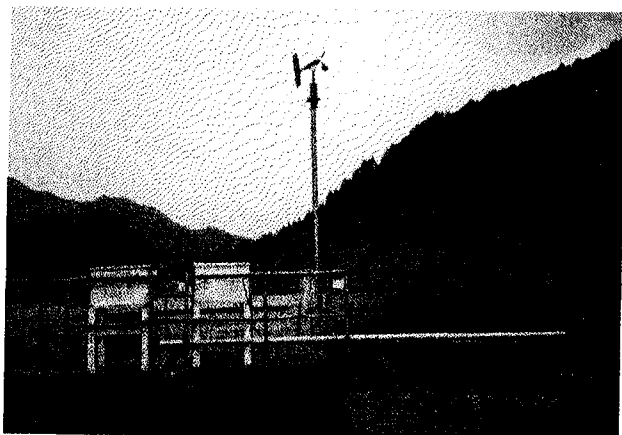


写真-1 波浪観測システム

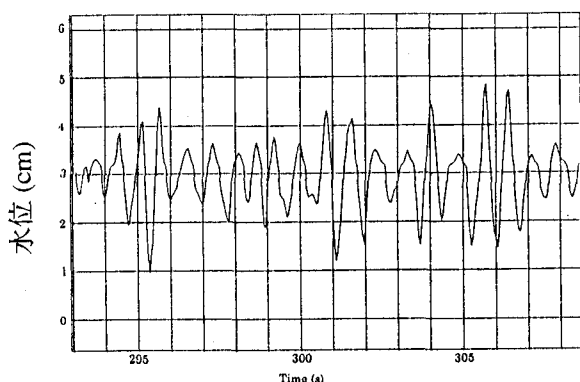


図-5 波高記録の一部を拡大したもの

測地点から陸岸までの最大距離は南南東に 1067 m, 最小距離は東に 125 m であった。

(2) 波浪測定システム

波浪測定には長さ 30 cm の容量式波高計（横河ウェザック社製の CW2-003-H 型）一台を用い、サンプリング間隔 0.01 s, 測定時間 10 分間、測定間隔 2 時間でデータを採取した。作業台からの反射波をなるべく避けるため、作業台から 2 m 張り出したパイプに波高計は設置されている（写真-1 参照）。

風向と風速は微風向風速発信器（0.4 ~ 20 m/s）（横河ウェザック社製の A-733 型）を用いて測定した。波浪データと同様にサンプリング間隔 0.01 s, 測定時間 10 分間、測定間隔 2 時間で、波浪データと同時刻の風向・風速のデータを採取している。標準的な風速の値である U_{10} を得るため、本来、水表面上 10 m 地点もしくは鉛直方向に複数点で風の観測がなされるべきであるが、設置の安定性の問題から本観測は水表面上 4.0 m 地点のみで行われた（写真-1 参照）。

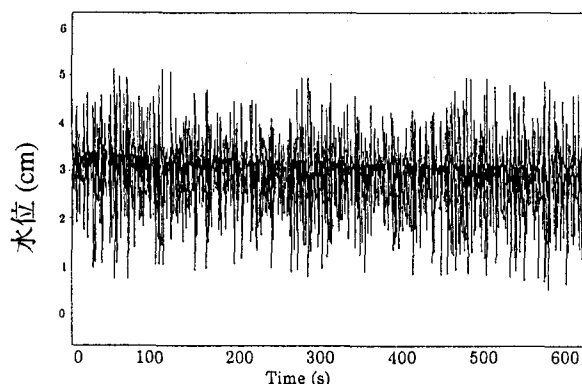


図-4 波高記録の一例

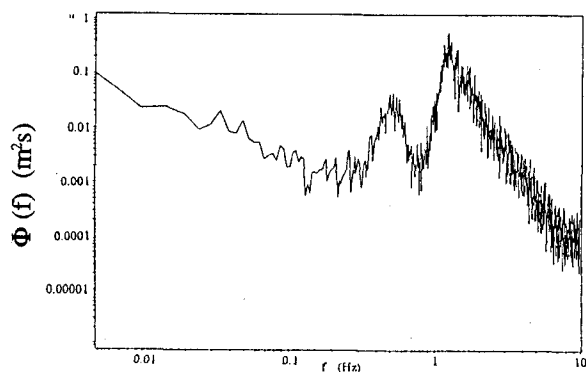


図-6 周波数スペクトルの一例

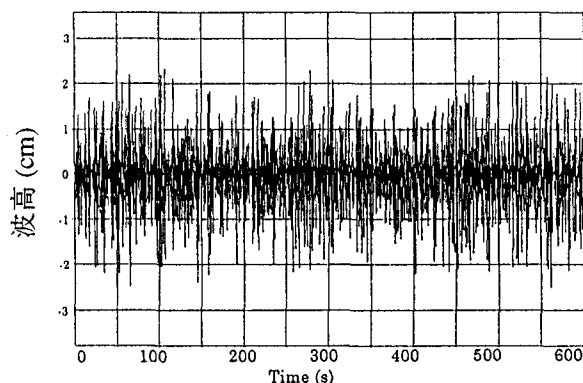


図-7 作業台の振動成分が除去された波高データ

3. 諸量の決定

(1) 有義波高

図-4 は波高記録の一例であり、図-5 は図-4 の一部を拡大したものである。図-6 は図-4 に対する周波数スペクトルである。図-6 から卓越周波数は $f = 0.4 \text{ s}^{-1}$ と 1.5 s^{-1} の 2 つあることが分かる。このような双子山の傾向は他の多くのデータに対しても見られた。周波数 0.4 s^{-1} と 1.5 s^{-1} を周期で表わすと 2.5 s と 0.67 s である。図-5 から風波の波動成分の周期は概ね 1 s 以下であり、周期 2.5 s 前後の波動成分は作業台の振動および網場のフロート

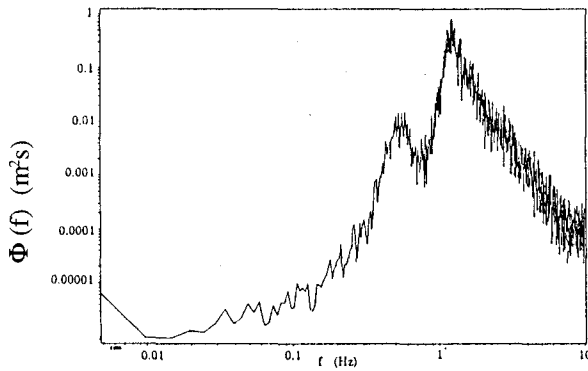


図-8 作業台の振動成分が除去された波高データの周波数スペクトル

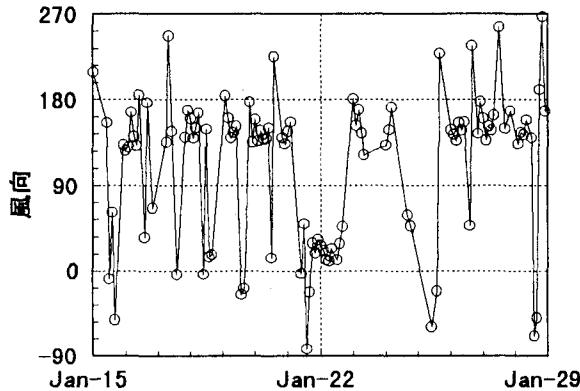


図-10 風向の経時変化の一例

の振動によって生じた波動成分と考えられる。そこで、作業台の変動成分および網場のフロートの振動によって生じた波動成分の除去を行うことにした。図-6 から双子山の谷の周波数はおよそ $f=0.8 \text{ s}^{-1}$ である。図-7 は観測データから 1.25 s 間の単純移動平均を施されたデータを差し引いたものである。図-8 は図-7 に対する周波数スペクトルである。 $f=0.4 \text{ s}^{-1}$ 前後の雑音は完全に除去するまでには至らなかったが、今回はこのデータを用いて有義波高 $H_{1/3}$ および有義周期 $T_{1/3}$ の算出を行った。

(2) U_{10} の決定について

観測された 10 分間の風速データを平均することによって風速 U_4 とした。前述したように今回の風の観測は水面上 4 m 地点で行われたため、得られた風速 U_4 から次のような過程で U_{10} を決定した。風速分布を次式

$$U_z = \frac{2.303}{\kappa} U_* \log \frac{z}{z_0} \quad (1)$$

κ : Karman の定数 (≈ 0.4),

U_* : 摩擦速度,

z_0 : 水面の粗度定数

に従うものとし、また、 U_* はいかなる U_{10} に対し

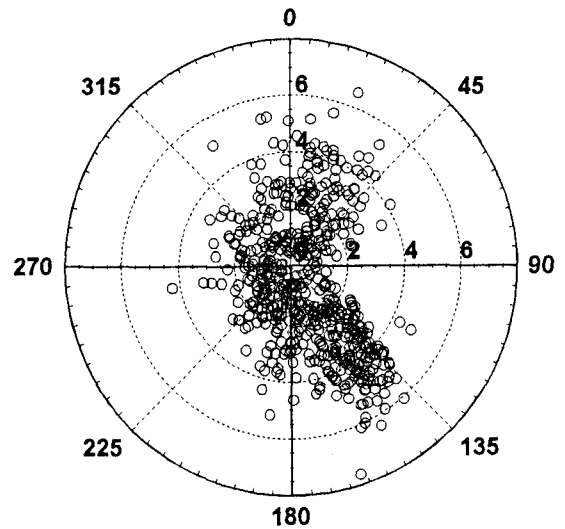


図-9 風速と風向の関係

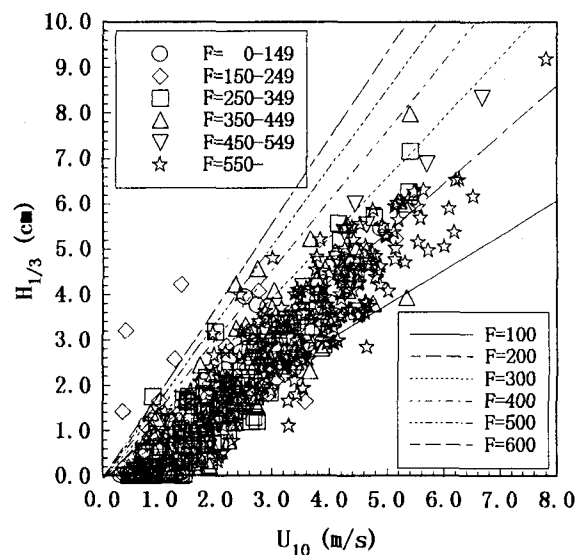


図-11 $H_{1/3}$ と U_{10} の関係

ても

$$U_*^2 = C_D U_{10}^2 \quad (2)$$

C_D : 抵抗係数 ($\approx 1.0 \times 10^{-3}$)

の関係が成り立つと仮定した。その結果、 U_{10} と U_4 は次の関係になる。

$$U_{10} = \frac{U_4}{1 \cdot \frac{\sqrt{C_D}}{\kappa} \log \frac{10}{4}} = \frac{U_4}{0.97} \quad (3)$$

U_{10} は上式に基づいて決定された。なお、風速分布に滑面を仮定した場合は、 $U_4/U_{10} = 0.94 \sim 0.95$ であった。

4. 観測結果の考察

(1) 風について

図-9 に風速と風向の関係を示す。風速の最大

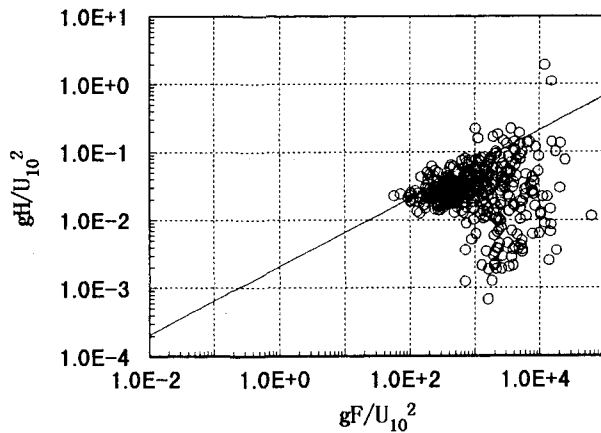


図-12 風速及び吹送距離の関数の無次元表示

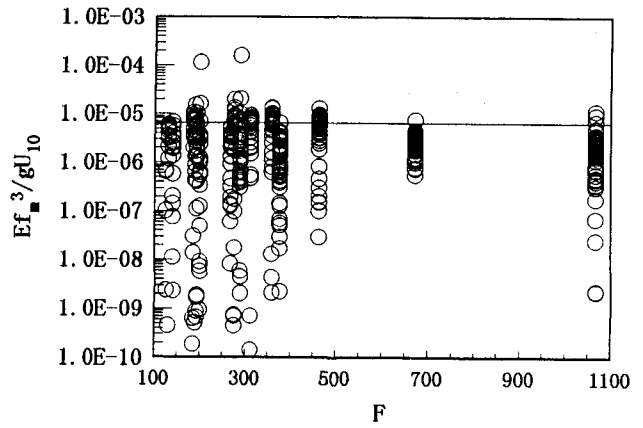


図-13 Ef_m^3/gU_{10} と F の関係

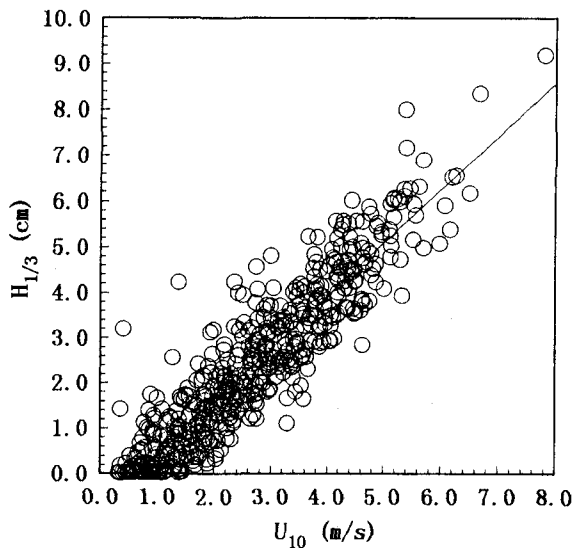


図-14 $H_{1/3}$ と U_{10} の関係に対する近似線

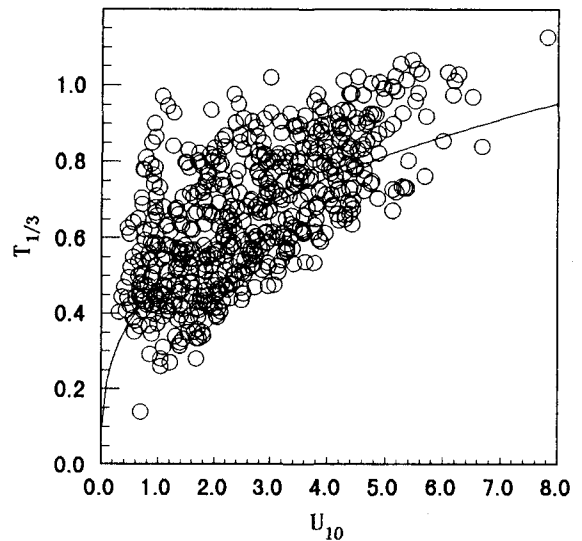


図-15 $T_{1/3}$ と U_{10} の関係

値は 8 m/s であるが、通常は 5 m/s 以下の風が吹いていたことが分かる。また、図-3 と合わせて考えると、両側を山で囲まれて長細い形状をした松原ダム湖では、風は地形の影響を強く受けて水域の長軸方向に発生頻度が高くかつ大きな風速の風が発生することが分かる。図-10 に風向の変化の一例を示す。風向は図-9 で示したように 140° (南南東) 及び 360° (0°) (北) からの風の発生頻度が確かに高いが、同じ方向から 1 日以上吹き続けることはほとんどなく、松原ダム湖は一様風域場とは言い難い水域と言える。

(2) 風と波の関係

図-11 は $H_{1/3}$ と U_{10} の関係を吹送距離 F をパラメータとして示したものである。松原ダム湖で発生する波の波高は概ね 6 cm 以下であることが分かる。吹送距離 F は風向を 16 方位に分割し図-3 から決定した。図中の直線は Wilson の IV 型の波浪推算式⁹⁾から得られている。直線とデータを比較する

と、波高は吹送距離にそれ程強くは依存していないことが分かる。図-12 に無次元表示された風速および吹送距離の関係を示す。図中の実線は Wilson の IV 型である。この図からも観測結果の多くは吹送距離則に支配されていないということが分かる。図-13 に Ef_m^3/gU_{10} と F の関係を示す。ここで E はスペクトルの全エネルギーであり、 f_m はスペクトルのピーク周波数である。 E は次式

$$H_{1/3} = 4.00\sqrt{E} \quad (4)$$

の関係から決定した。もし波が定常状態に達しているならば

$$\frac{Ef_m^3}{gU_{10}} = 6.84 \times 10^{-6} \quad (5)$$

を満足しているはずである⁹⁾。観測で得られた Ef_m^3/gU_{10} はほとんど式 (5) を満足していないことから、松原ダム湖の波の多くは定常状態に達していない風波であったことが分かる。そのために波高に吹送距離への依存性が強く現れない結果になったものと思

われる。

図-14の実線は、波高と風速の関係全てに対して最小2乗法を施して得られたものである。その関係を定式化すると次式となる。

$$H_{1/3} = 2.10 \times 10^{-3} \left(\frac{300}{g} \right)^{\frac{1}{2}} U_{10} - 0.7 \quad (\text{cm}) \quad (6)$$

上式を変形すると次式が得られる。

$$\frac{g(H_{1/3} + 0.7)}{U_{10}^2} = 2.10 \times 10^{-3} \left(\frac{g \cdot 300}{U_{10}^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

これは有義波の発達に関する吹送距離則

$$\frac{gH_{1/3}}{U_{10}^2} = 2.10 \times 10^{-3} \left(\frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

において、 $F=300\text{ m}$ 、 $H_{1/3}$ を $H_{1/3}+0.7$ とした場合に相当する。このことは、水域の空間スケールを代表吹送距離とすれば、松原ダム湖のように風向によって吹送距離が異なりしかも風向が時々刻々変化するため定常状態に達していない風波に対しても、吹送距離則の式を用いて波高を推算しても問題はないということを意味している。ただし切片の 0.7 (cm) に関しては、風速計の測定限界の問題もあり、現在のところはっきりしていない。

図-15に周期と風速の関係を示す。発生した波の周期は $0.4 \sim 1.0\text{ s}$ の範囲であったことが分かる。これは $L=1.56T^2$ を用いて波長に換算すると、発生した波長の範囲は $0.25\text{ m} \sim 1.56\text{ m}$ であったことになる。図中の曲線は、次式の吹送距離則

$$\frac{gT_{1/3}}{2\pi U_{10}} = 5.19 \times 10^{-2} \left(\frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (9)$$

に、波高に対して用いた代表吹送距離 $F=300\text{ m}$ を代入して得られた関係である。観測で得られたデータが非常にばらついているため、周期に関して代表吹送距離を用いて得られた関係が妥当であるか否かは判断し難いところである。

5. まとめ

松原ダム湖において冬期2ヶ月間の波浪観測を実施した。明らかになった主要な点を以下に挙げる。

- 1) 風は地形の影響を強く受け、南南東及び北からの風の発生頻度が多くかつ風速が大きい。
- 2) 発生する波の波高は概ね 6 cm 以下である。
- 3) 発生した波の周期は $0.4 \sim 1.0\text{ s}$ 、また、波長の範囲は $25\text{ cm} \sim 1.56\text{ m}$ であった。
- 3) 波の多くは定常状態に達していない風波である。
- 4) 水域の平均的な空間スケールを代表吹送距離とすれば、吹送距離則の式を用いた波高の推算が可能である。

謝辞：本研究は文部省科学研究費（特別研究員奨励費）の補助を受けた。ここ記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小松利光，岡田知也，松永信博，樋田操，藤田和夫：波浪エネルギーを利用したダム湖・貯水池の水質改善に関する基礎的研究，水工学論文集，第41巻，pp. 391-396，1994。
- 2) 小松利光，岡田知也，丸井茂俊，松永陽一郎，藤田和夫，柴田敏彦：波浪エネルギーを利用したダム湖・貯水池の水質改善法に関する現地観測，水工学論文集，第42巻，1998。
- 3) 高村浩彰，多田彰秀，安川武志，市川衛：ダム貯水池内での波浪観測について，第50回年次講演会概要集，pp. 758-759，1992。
- 4) 岩垣雄一，土屋義人，酒井哲郎ほか：琵琶湖における波浪観測について，京大防災研年報，第19号B，pp. 361-379，1976。
- 5) 光易恒：博多湾の風と波—低風速時の一例—，第15回海岸工学講演会講演集，pp. 58-64，1968。
- 6) 光易恒：海洋波の物理，岩波書店，1995。

(1997. 9. 30 受付)