

火力・原子力発電所の中放流管に作用する波力に関する一検討

電源開発 エンジニアリング事業部 正会員 ○大谷治郎
電源開発 茅ヶ崎研究所 正会員 喜多村雄一

1. はじめに

火力・原子力発電所の温排水放流口に沖合い水中放流管式を採用する場合、放流管に作用する波力について検討する必要がある。放流管に作用する波の波長に比べ放流管の径が小さい場合には、波の進行を殆ど妨げないと考え、作用波力は抗力と慣性力の和として求めるモリソン式を適用し求めることが出来るが、砕波、反射波の影響等、複雑な波浪現象となる沿岸域の水中構造物については実験によって適切に波力を評価する必要がある。

本報告では水中放流管に作用する波力について、モリソン式で求めた計算波力と水理模型実験による波力の比較結果について紹介する。

2. 水中放流管に作用する波力の計算式

水中放流管に作用する波力は、モリソン式を適用する場合、一般に次式で示すことができる。

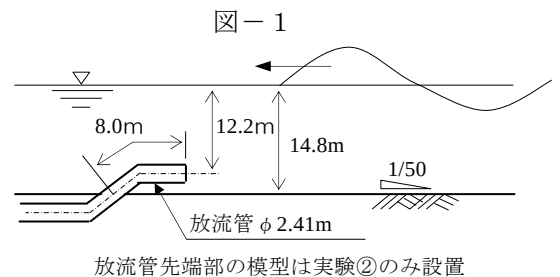
$$F = \frac{1}{2} C_D \rho_0 u^2 A + C_M \rho_0 \alpha V \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、F：放流管に作用する力，u， α ：水粒子速度成分及び加速度成分， C_D ：抗力係数（円柱の場合 1.0）， C_M ：慣性力係数（円柱の場合 2.0），A：放流管の断面積，V：放流管の体積， ρ_0 ：水の密度である。

3. 実験の概要

水中放流管に作用する波力を水理模型実験により検討するため、
① 平面水槽実験により放流管を設置しない状態の流速を測定し（1）式から波力を算定する。② 平面水槽に放流管の模型を設置し、模型に分力計を設置して放流管に作用する波力を直接測定した。

実験の概要を表－1 に示す。実験②では平面水槽に図－1 に示す放流管先端部分の模型を一条設置した。



表－1 実験概要

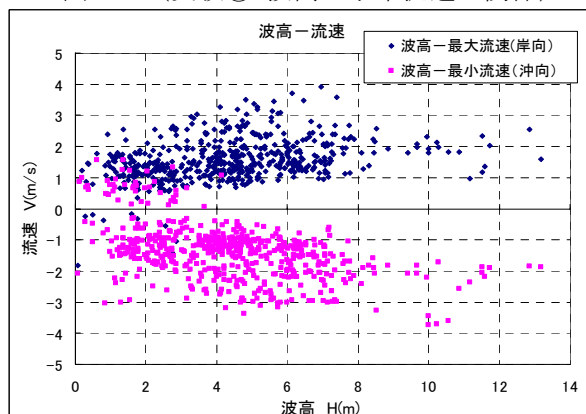
主要条件	実験①	実験②
平面水槽 寸法	幅 8m×長さ 18m（模型値） S=1/40	
測定内容	3 成分流速 波 高	3 成分力 波 高
実験波数	560 波（不規則波）	
最大波高	13.30m	
有義波高	6.80m	
有義周期	12s	

波高，周期，水深は実物換算値である。

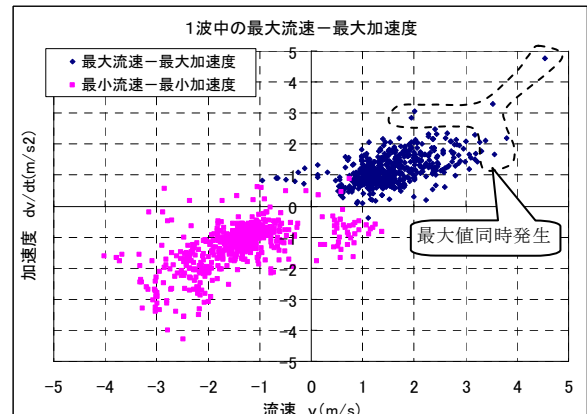
4. 平面水槽実験における波高と流速の関係について

平面水槽実験では海底地形，護岸，防波堤等の周辺構造物を 3 次元的に模擬しており，放流管設置部の波浪場をより実海域に近い状態で再現でき，構造物の設計に際し有効な実験結果が得られると考えられる。実験①では放流管設置位置において流速 3 成分と波高の同時測定を行なった。実験①の測定結果の一部を図－2 及び 3 に示す。

図－2（実験① 波高と水平流速の関係）



図－3（実験① 水平流速と同加速度の関係）



キーワード：水中放流管，水理模型実験，波力

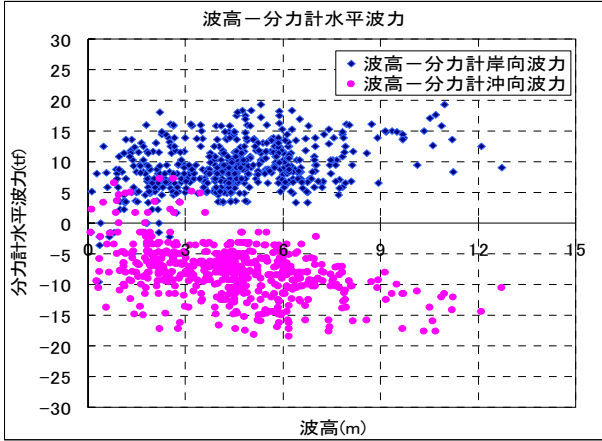
連絡先：東京都中央区銀座 6-15-1，TEL03-3546-3222，FAX03-3546-9423

図－２は１波通過毎の最大流速と波高の関係を示しており、流速の＋が岸向き、－が沖向き方向である。波高と流速の相関は悪く、岸沖向き共に最大波高時に最大流速は発生せず、中程度の波高通過時に最大流速が生じると共に、低波高時においてもある程度大きな流速が発生している。図－３は同様に最大流速と最大加速度の関係であるが、最大流速と最大加速度が同時発生する場合がある。（図中破線範囲）

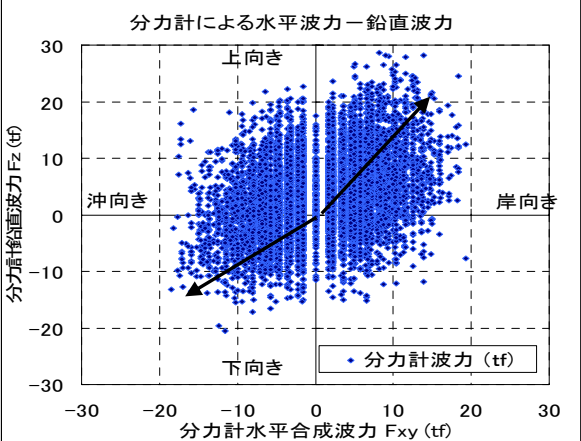
5. 平面水槽における波力測定実験について

実験②の波力の測定は、放流管模型に３次元分力計を直接設置し行った。図－４に１波通過毎の波高と水平波力の関係を示す。実験①と同様に相関は悪く、中程度の波高以下でも最大波力と同程度の大きさの力が作用している。図－５は水平波力と鉛直波力の関係を示す。最大鉛直波力は最大水平波力より大きな値を示す。波力が岸向きに生じる場合は放流管に対し斜め上方向に、沖向きに生じる場合は斜め下方向に作用する傾向がある。

図－４（実験② 波高と水平波力関係）



図－５（実験②水平及び鉛直波力関係）



6. 波力比較

表－２ 波力比較表（最大波力）

ケース	水平流速 (m/s)	水平加速度 (m/s ²)	鉛直流速 (m/s)	鉛直加速度 (m/s ²)	水平波力 (kN)	鉛直波力 (kN)	備 考
実験①	4.54	4.77	0.10	1.21	511	88	流速測定
実験②	—	—	—	—	190	281	波力測定
計算値	3.94	1.34	0.00	0.29	213	21	微小振幅波

計算値及び実験①の流速と加速度は、水平波力、鉛直波力が各々最大となる時の値、実験②は各々の波力の最大値である。

表－２に実験①、実験②から求めた波力と比較のため微小振幅波の水粒子速度・加速度による計算波力を示す。

微小振幅波による計算波力は実験値の波力と比べ小さい。これは、計算値と実験①を比較すると水平流速は概ね同程度であるが、実験①の水平加速度が大きく、それが最大流速発生時に生じたために実験①の方が水平波力が大きく計算されているためである。直接波力を測定している実験②では、計算値の水平波力と同程度である。又、実験①と比べ水平波力は約 1/3 弱になり、鉛直波力は 3 倍となった。

尚、波力の算定に微小振幅波を適用するのは、砕波限界波高が相当水深で 10m 程度のため、波高が高い場合に砕波するため適切でないが、不規則波実験であり砕波せず放流管を通過する場合もあるため実験値と比較したものである。ちなみに、微小振幅波理論では波高 13.3m で放流管設置水深における最大水平水粒子速度は 4.70m/s、最大水平加速度は 2.46m/s² であり、加速度が実験値と比較して小さい。

7. まとめ

- 放流管の波力を検討する場合、以下の点に注意が必要である。
- ・高波浪域で砕波・反射の影響がある場合など水粒子運動が複雑な波浪場では大きな波力が作用することがある。
 - ・波力を微小振幅波理論による水粒子速度、加速度を用いて式(1)で算定する場合、誤差が大きい。
 - ・水中放流管に作用する波力は鉛直力が大きくなる等、想定外の方に大きな波力が作用する場合がある。

尚、水中部で屈曲するような放流管に対して、式（１）を用いて波力を算定する場合は、抗力係数、慣性力係数について十分な検討が必要であると思われる。

以 上