

II-208

発電所流速低減工の水理損失評価方法に関する実験的検討

東京電力 福島第一原子力調査所 正会員 植木一浩¹
 五洋建設 技術研究所 正会員 川俣 奨²
 東電設計 原子力土木部 正会員 小原実香
 東京電力 原子力技術部 増田良一

1. はじめに

発電所温排水は近傍を航行する船舶への影響等を考慮して低流速で放流しており、柏崎刈羽原子力発電所では放水口の周辺に流速低減工として消波ブロック乱積み堤を設置し 0.5m/s 以下で外洋に放流している。しかし流速低減工は水理損失の大きい構造物であり、発電所取放水系構造物の水理設計を行う際には、流速低減工の水理損失を適切に評価し、損失の少ない構造を選定することが重要となる。ここでは、消波ブロック乱積み型の流速低減工について、堤体構造、及び低減工の延長を変化させて水理模型実験を実施し、損失係数を整理した。さらに、柏崎刈羽原子力発電所の現地観測結果を加えて損失係数の一般化を試みた。

2. 実験内容

(1)断面実験 実験は2次元水路に縮尺 1/20 のテトラポッド積み堤の模型を設置して行った。実験堤体の設置位置は現地スケールで水深 4.0m であり、これより岸側へは水平床が、沖側へは 1/50 勾配の斜面が接続されている。実験堤体は 1t 型, 8t 型, 20t 型相当のテトラポッド模型を用いて構築した(図 1)。

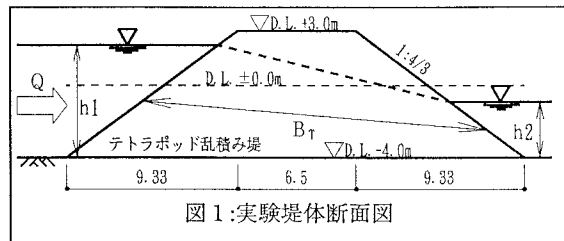


図 1: 実験堤体断面図

水路は還流装置を有しており、放水流を模した流れを岸から冲向きに発生させた。流量は現地スケールでの単位幅あたり毎秒 1m³, 2m³, 3m³, 4m³, になるよう調整した。実験堤体を挟んで上流側と下流側の水位を測定した。また沖波波高にして 4m 相当の波浪を作用させ、波浪による水位上昇量も評価した。

(2)平面実験 平面水槽に縮尺 1/60 の放水路、放水口、流速低減工をモデル化した模型を設置して実験を行った(図 3)。容量式波高計と電磁流速計を平面的に配置して、放水口開渠内の流況と水位上昇量を測定した。流速低減工は放水口を中心とする半径 150m の円弧上に設置するものとして、流速低減工延長の違いを放水口開渠の漸拡角度で表し、30°, 50°, 90° について実験を行った。放水総流量は Q=480m³/s とした。

3. 既往の水理損失評価式について

消波ブロック乱積み堤を管路とみなして損失係数評価式が提案されている。堤体前背面の水位差を $\Delta h (= h_1 - h_2)$ 、テトラポッド堤の損失係数を f_T 、堤体内の流下長を B_T 、堤体延長を L 、テトラポッドの高さを d 、空隙率を $\varepsilon (=0.5)$ とし、次のようである。

$$\Delta h = f_T \frac{B_T}{R_T} \frac{v_T^2}{2g} \quad \left(v_T = \frac{Q}{Lh\varepsilon^{2/3}}, \quad h = \frac{h_1 + h_2}{2}, \quad R_T = 0.092d \right)$$

4. 実験結果

(1)断面実験結果 一般に管路の損失係数は Moody 図表で表されるようにレイノルズ数で整理される。同様にして断面実験から求められた損失係数を整理したものを図 2 に▲印で示す。レイノルズ数が大きくなるに

キーワード: 放水流, 流速低減工, テトラポッド乱積み堤, 損失係数

¹ 〒979-1301 福島県双葉郡大熊町大字夫沢字北原 22 Tel 0240-32-2280 Fax 0240-32-0265

² 〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町 1534-1 Tel 0287-39-2109 Fax 0287-39-2133

したが損失係数は低減する傾向となり、層流域と完全乱流域との間の遷移領域であることが予想される。

また、Moody 図表は壁面の相当粗度(k)と管径(D)の比で表される相対粗度($=k/D$)ごとに摩擦係数が整理されているが、ここではテトラポッドの高さ(d)と設置水深(h)の比($=d/h$)で整理した。両者とも流れの断面に対する境界層の規模を表している。なお、図2は波浪が同時に作用している場合の例

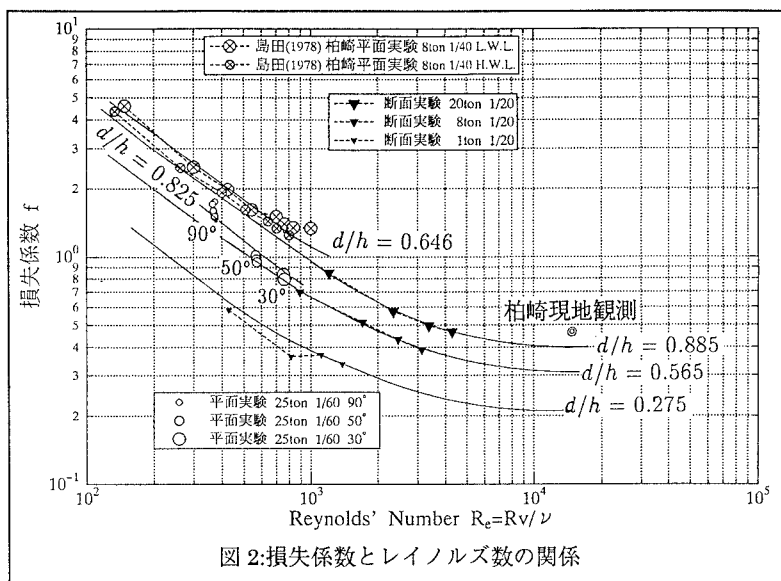


図2:損失係数とレイノルズ数の関係

であり、波の進入による見かけ上の損失係数の増大が見込まれる結果となった。

(2)平面実験結果及び水理損失評価式の一般化 流速低減工の延長を長くする、すなわち漸拡角度を広く設定するにつれ放水口開渠内に左右対称の大きな循環流が発生し(図3)、見かけの損失係数が大きくなった。流速低減工の全延長が有効に作用しなくなるためと考えられた。そこで放水口幅(L_0)と流速低減工延長(L)の比($=L/L_0$)を無次元有効通水延長として考慮することにより損失係数評価式を見直し、図2に○印で示した。断面実験から描かれる曲線の延長上を辿ることから、断面実験と平面実験の整合性が確認された。さらに柏崎刈羽原子力発電所における実験結果および現地観測記録を整理すると、同様な形状を持つ一つの曲線で整理できることが分かる。ただし柏崎タイプの平面形状は今回の検討形状と異なり、流速低減工は直線形で放水口開渠は矩形となっている。このような平面形状の違いが損失係数の増大として現れている。また波による水位上昇は平面実験においても発生した。

5. まとめ

(1)消波ブロック乱積み型の流速低減工について、レイノルズ数と水理損失係数の関係を整理し、レイノルズ数が大きくなると損失係数が低減する傾向を確認した。(2)漸拡角度を大きくすると見かけの損失係数が大きくなる。開渠内に発生した循環流により流速低減工の全延長が有効に作用しなくなるためと考えられる。(3)(2)について無次元有効通水延長の概念を考慮し損失係数評価式を見直し、さらに柏崎刈羽原子力発電所の実験値および観測値と比較することにより、現地適用性を確認した。(4)流速低減工に波が作用する場合、波によっても放水口開渠内の水位が上昇する。設計では、波による水位上昇と流れによる流速低減工の水理損失を分けて考慮する必要がある。

6. 参考文献

[1]島田:新潟原子力発電所冷却水放水口の水利設計に関する検討、電力中央研究所報告(昭和53年)

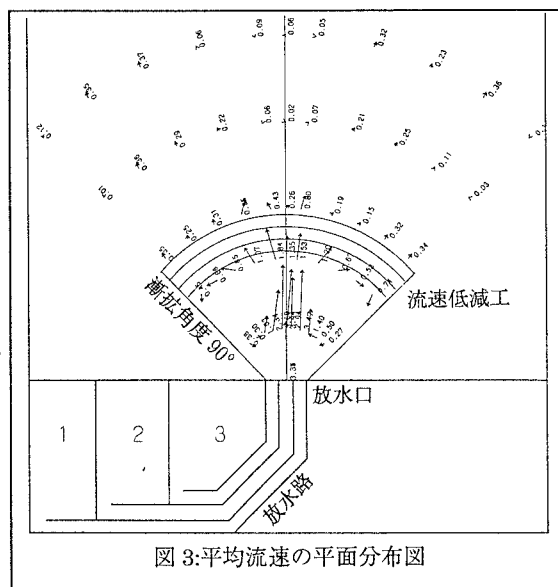


図3:平均流速の平面分布図