

逆サイフォン導水路における上流水槽の渦対策に関する実験的考察

電源開発株式会社 正会員 ○萩原 陽一
電源開発株式会社 フェロー会員 喜多村 雄一

1. はじめに

M発電所の導水路の一部であるM水路橋は、竣工以来約60年が経過し、経年による劣化が進行しており、耐震対策として逆サイフォン形式のトンネル水路に付け替えることとなった。新設水路は、既設水路との接合断面である馬蹄形、矩形、円形と漸変（以下トランジション部と呼ぶ）し、また上流水槽手前で弯曲する複雑な構造物である。水理実験による事前検討の結果、下流水槽は、大きな水面揺動等不安全事項は見られなかったが、上流水槽のトランジション部において、渦が間欠的に発生していることを確認した（写真-1）。空気が逆サイフォン管路内に混入すると、流積が小さくなることにより、流速が増加し、エネルギー損失が大きくなる。また、連行する空気泡は、圧力管内で小さな泡同士が連結すると一定の空気塊に成長し、上流水槽へ逆流・浮上することで、一気に空気塊が自由水面に解放される衝撃による水路からの越水や構造物の損傷などが考えられる。

本実験は、逆サイフォン形式区間およびその上下流トランジション部において水理実験による流況観察を行い、渦発生抑制対策の検討・評価を行ったものである。渦対策なしのケースと渦防止柱8本の設置間隔1.0mと1.3mの対策したケースの比較検討を行なった。

2. 模型設備概要

(1) 相似則および模型縮尺

本実験では、重力及び慣性力が卓越するものと考えられることから、定常流でフルードの相似則を適用した無歪み模型とした。模型縮尺は、渦の大きさ等を確認するため、可能な限り縮尺が大きい方が望ましい。本模型では、設置場所の面積および既存販売の塩ビ管径を考慮し1/18縮尺とした。

(2) 模型化範囲

実験対象の逆サイフォン水路の模型化範囲を図-1に示す。図左の上流水路（馬蹄形）から流入した発電用水は、上流水槽（矩形）の吞口で吸われ、逆サイフォン管水路（円管）を通水し、下流水槽（矩形）、下流水路（馬蹄形）へと流下する。本模型は、模型設置場所の面積を考慮した結果、上下流トランジション部を主眼として再現し、逆サイフォン区間の水平部は短縮する（青線部）こととした。

3. 実験方法

3-1 渦防止対策の選定

渦は、自由水面の流速差によって渦度が生まれ、その中心から下方そして吞口に向かう流れが発生する。そのような渦が発生すると、圧力差によってそこへ更に流れが寄ってくるため渦度は次第に発達していき、ちぎれ渦となり、場合によっては空気連行渦に発達する。一般的な渦発生防止対策としては、水路内の流況改善、浮体構造物の設置、上流水槽手前に傾斜角度の設置、水面付近に渦防止横桁を設置する等の対策を行うことが知られている¹⁾。本実験では、設計面での大きな変更がなく、また、使用水量の変動範囲で渦の発生を抑制できる縦状の渦防止柱の検討を行った。左右岸対称の渦防止柱を8本配置した状態で、渦防止柱の効果評価および設置間隔の比較を行うこととなった。

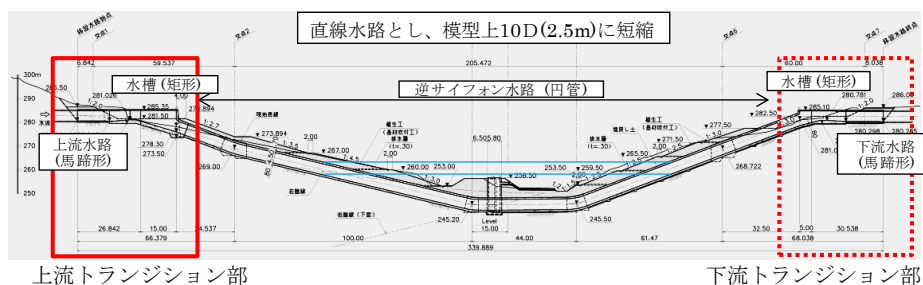


図-1 水路縦断面図（模型化範囲）

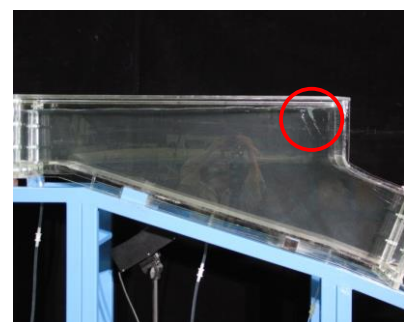


写真-1 水理模型の渦発生状況

キーワード 導水路、逆サイフォン、水理模型、渦、漸変部

連絡先 〒253-0041 神奈川県茅ヶ崎市茅ヶ崎1-9-8 電源開発(株) E-mail: Youichi_Hagiwara@jpower.co.jp

3-2 渦防止柱の実験方法

本実験では、渦防止柱をトランジション部の上流水槽（実物値：水路幅 4.5m,水槽深さ 4.0m）に写真-2 に示すように設置した．表-1 に渦防止柱の実験ケースを，図-2 に本実験で比較する渦防止柱の配置を示す．ケース 1,2 は渦対策なし，ケース 1-2,2-1 は柱間隔を 1.0m で配置し，ケース 2-1,2-2 は柱間隔を 1.3m で配置した．対象流量は，最大使用水量の $Q=33.0\text{m}^3/\text{s}$,常時使用水量の $17.0\text{m}^3/\text{s}$ で，渦の発生状況を目視およびビデオ撮影動画にて観察し，1 分間（実物値：約 4 分 15 秒）の渦発生頻度，最大渦の径を計測し，整理した．渦の発生頻度は，図-3 のとおり，大（連行渦：連続的に空気の吸い込みを伴う渦で，水面からの渦中心が取水部まで達し構造物に振動を生じる渦），中（ちぎれ渦：水面のくぼみがさらに水中深くまで達し，水中で空気がちぎれて，気泡の吸い込みが生じる渦），小（くぼみ渦：水面にくぼみを作るだけで空気の吸い込みが生じない渦）と 3 種別に分類²⁾し，渦の種別ごとに数えた．また，直尺で渦の最大径を計測し，発生しうる渦の最大径を確認した．

4. 実験結果

表-2 に，本実験結果を示す．大きな空気連行を伴う連行渦は， $Q=33.0\text{m}^3/\text{s}$ において，ケース 1 で 6 個確認したが，ケース 1-1,1-2 の渦防止柱を設置したケースでは発生しなかった．また， $Q=17.0\text{m}^3/\text{s}$ において連行渦は，ケース 2 で 12 個，ケース 2-1 で 0 個，ケース 2-2 で 3 個確認した．渦防止柱は，渦が発達する前に水の流線に抵抗を与えることで，渦の発達を抑制している．設置間隔 1.3m では，隅角部や柱間での連行渦を確認しており，柱間距離が大きいことで，柱間で渦が発達したのではないかと考えられる．

5. むすび

本実験では，逆サイフォン形式区間およびその上下流トランジション部において水理模型による渦防止柱の効果を確認すると共に，渦対策なしのケースと渦防止柱 8 本の設置間隔 1.0m と 1.3m の対策したケースの比較検討を行なった．その結果，渦防止柱を設置することで，連行渦の発生を抑制することを確認することができた．また，渦防止柱設置間隔 1.0m と 1.3m の比較では， $Q=33.0\text{m}^3/\text{s}$ では大きな違いは見られなかったが， $Q=17.0\text{m}^3/\text{s}$ では，設置間隔 1.3m の際に連行渦の発生を確認し，設置間隔 1.0m では見られなかった．

本実験結果を受け， $Q=33.0\text{m}^3/\text{s}$ ， $Q=17.0\text{m}^3/\text{s}$ 共に大きな空気連行を伴う連行渦が発生しなかった，配置間隔 1.0m の渦防止柱を設置することとなった．

参考文献

- 1) 福原 華一.電力土木構造物に発生する渦の事例.電力土木.1994,No.249,p.70-76.
- 2) 電源開発株式会社.奥只見発電所増設計画取水口水理模型実験.試験報告,1994.

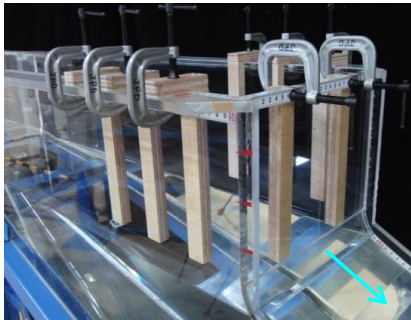


写真-2 渦防止柱設置状況

表-1 渦防止柱実験ケース

ケース	流量	渦防止柱
1	33.0 m ³ /s	なし
1-1	33.0 m ³ /s	あり(間隔1.0m)
1-2	33.0 m ³ /s	あり(間隔1.3m)
2	17.0 m ³ /s	なし
2-1	17.0 m ³ /s	あり(間隔1.0m)
2-2	17.0 m ³ /s	あり(間隔1.3m)

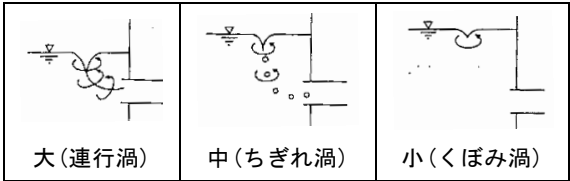


図-3 渦の種別

表-2 渦防止柱実験結果

流量	渦の種別	ケース1 柱なし	ケース1-1 間隔1.0m	ケース1-2 間隔1.3m
$Q=33\text{m}^3/\text{s}$	大(連行渦)	6	0	0
	中(ちぎれ渦)	8	5	6
	小(くぼみ渦)	7	13	11
	最大渦の径	模型値8cm 実物値1.4m	模型値3cm 実物値0.5m	模型値5cm 実物値0.9m
流量	渦の種別	ケース2 柱なし	ケース2-1 間隔1.0m	ケース2-2 間隔1.3m
$Q=17\text{m}^3/\text{s}$	大(連行渦)	12	0	3
	中(ちぎれ渦)	11	5	7
	小(くぼみ渦)	24	26	27
	最大渦の径	模型値4cm 実物値0.7m	模型値2cm 実物値0.3m	模型値4cm 実物値0.7m
評価		×	○	△

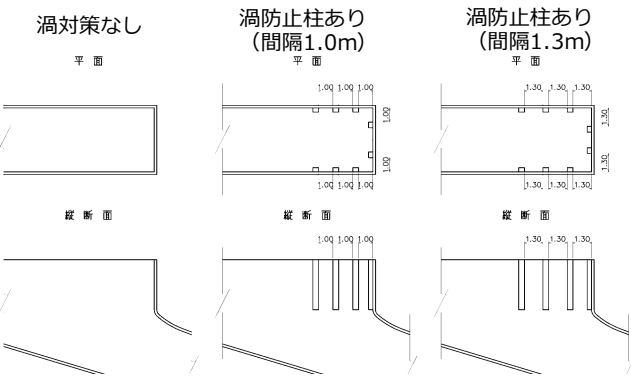


図-2 渦防止柱配置図