

3次元数値シミュレーションによる沈砂池水路形状解析・検討

Analysis for Restructuring Sand Basin Channel by 3D Numerical Simulation

熊谷 洋*, 今井正寿**, 中井致知***

By Yo Kumagai, Masatoshi Imai and Masatomo Nakai

To promote time and effort savings and to increase efficiency in experimenting with water-flow installations, the practical use of numerical simulation has been studied. The velocity distribution at the curve of the sand basin, was compared using numerical simulation data and field data measurements, with the intent of improving sand basin channel design. The numerical simulation data of the velocity distribution just downstream of the channel curve was in good agreement with the results obtained by measurement. It was confirmed that numerical simulation is useful and effective for channel designing.

Keywords: sand basin, field data measurement, velocity distribution,
3D numerical simulation, turbulence model

1. まえがき

水路構造物を設計する場合、水路内の流況を把握することは重要であり、模型水路を用いて数多くの水理実験が行われている。

しかし、近年のコンピュータの性能向上と計算手法の向上により、流れの数値シミュレーションが広い分野で活用され始めている。数値シミュレーションは、

- (1) 最適設計へのアプローチ
- (2) 経済性の向上
- (3) 実験で再現できない条件の解析

などの利点があり、将来的に活用が拡大されていくものと考えられる。実際の水路構造物を対象にした数値シミュレーションでは女川原子力発電所2号機復水器冷却水取水路に対し氏家・佐々木¹⁾により行われたものや、藤井²⁾らが曲がり有する放水路に対して行われたものが報告されている。

今回、水理模型実験の省力化および設計の効率化・最適設計へのアプローチを目的に数値シミュレーショ

* 正会員 工修 東北電力株式会社 電力技術研究所
(1981 宮城県仙台市青葉区中山7丁目2-1)

** 株式会社ユアテック 土木部土木課
(1980 宮城県仙台市宮城野区榴岡4丁目1-1)

*** 東星興業株式会社 技術部
(1980 宮城県仙台市青葉区本町2丁目5-1)

ンの導入・実用化を図るための第2ステップとして開水路流れの定常問題を対象にしている。今回の数値シミュレーションの場合、開水路流れの特徴としては自由水面の存在があるため、自由水面の形状を含めて3次元数値シミュレーションを行うことは計算時間の面から困難である。今回の解析では、水面形状および水面高さを図-2の流況から判断して、水位が余水吐き天端高さでほぼ一定であることから、余水吐き天端高さを水面高さと仮定して数値シミュレーションを行う。

開水路の流れとして既設の水力発電所沈砂池を対象とし、水路の曲がりによる流れの片寄りについて現地実測データと数値シミュレーションとの比較を行い、数値シミュレーションの適合性を把握するとともに、沈砂池の水路形状の改善に数値シミュレーションを活用するものである。

2. 水路概要

2. 1 対象水路

今回対象とした水路は、東星興業（株）上先達川発電所内の沈砂池でありその概要を図-1,2に示す。沈砂池は、取水口から導水路トンネル滝落とし部分まで直線部は24mである。取水口部分には取水ゲートがありゲート調整により取水量を調節している。曲線部の諸元は交角90度、取水口から見て右岸側が曲率半径1m、左岸側が5mである。沈砂池直線部は流下するにつれて水路高さ方向へ拡幅する。

取水口ゲートから側方取水された発電用水は、沈砂池直線部分の流れは曲線部により遠心力が作用するため流れは外側に片寄り、内側では死水域および逆流域となっている。

2. 2 現状水路の問題点

現地沈砂池においては、曲線部による偏流のため、当初予想していたよりも沈砂池内土砂堆積量が少ない状況である。沈砂池設置地点は平地が乏しいため、大規模な改修工事を行う場合、周囲の地山を大きく掘削する必要がある。また、沈砂池を新規に設置する場合、周辺地山掘削土量が増大するため経済的に不経済になると思われる。

3. 現地実測

3. 1 現地土砂粒度分布調査

図-2に先達川取水庭で採取した土砂の粒度分布試験の結果を示す。その結果、側岸近傍部よりも中央部の方が細かい砂が多い傾向にある。また、粒径が0.5mm以上の土砂の重量百分率は側岸近傍部・中央部ともに50%以上である。

3. 2 現地流速測定

沈砂池最適形状検討を行うに当たり、プロペラ流速計を使用し沈砂池内流速を測定した。計測の様子を図-5に示す。流速計測は図-4

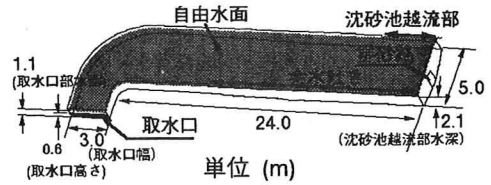


図-1 沈砂池概略図

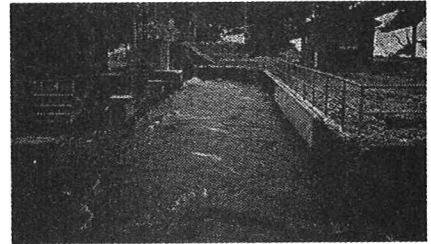


図-2 越流部から見た沈砂池

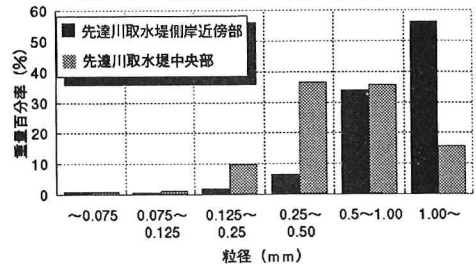


図-3 粒度分布

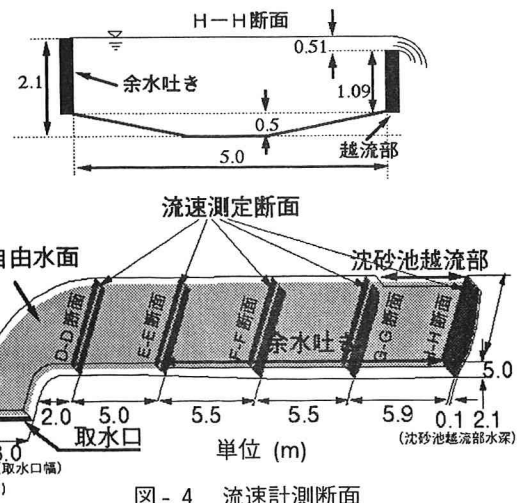


図-4 流速計測断面

に示す D-D 断面から H-H 断面および取水口付近に対して行った。各断面水深方向に対して 4 点、水路幅方向に対して 5 点計 20 点測定した。計測データは、1 点に対して 40 秒間の平均値を流速データとした。

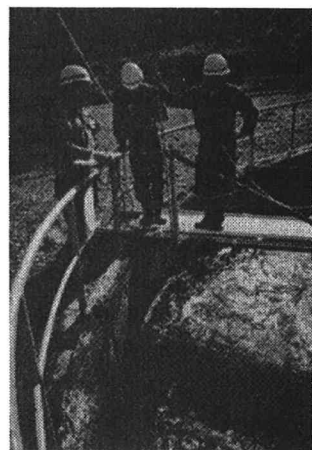


図-5 流速計測の様子

4. 数値シミュレーション

4. 1 計算手法

今回解析を行った沈砂池内流れは、取水口直下流の曲線部で作用する遠心力による流れの片寄りが存在し、断面内での 2 次流およびはく離が予想されることから、非圧縮性流体の 3 次元定常問題として取り扱う。なお、乱流モデルの各定数は、Launder-Spalding が提唱する値を用いた。計算の時間刻み (Δt) の決定条件としてクーラン数 0.5 を満足するように自動設定して計算を行った。今回、複雑な水路形状を正確に再現するため、非構造格子を使用した。計算は定常解析として行い、各物理量の相対変動がある一定値を下回ったときに計算終了とする。

なお、解析は、SCRYU Ver1.6 (株) ソフトウェアクレイドル社) を用いて行った。今回用いた計算手法の特徴を以下に示す。

- a. 基礎方程式；連続の式
レイノルズ方程式
- b. 格子系；非構造格子
- c. 離散化法；有限体積法 (FVM)
- d. 差分スキーム；移流項 / 1 次風上差分
- e. 乱流モデル；3 次元 $k-\epsilon$ モデル

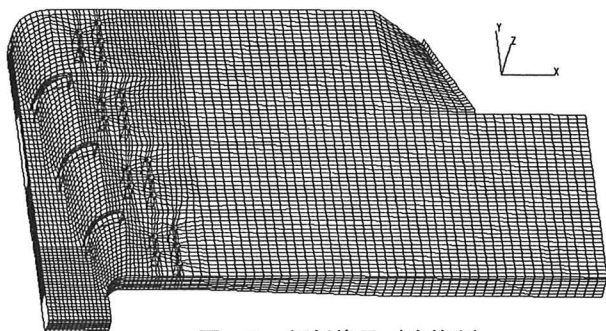


図-6 解析格子 (改善案)

4. 2 計算格子

図-6 に今回の計算に用いた計算格子を示す。現地沈砂池に対しては総格子数 20,000 点、改良案に対しては 37,200 点とした。改良案において曲線部直下流部に設置された整流杭の部分基準にして格子を配置した。

なお、今回の数値シミュレーションでは計算機は東芝 AS4080 41GX (主メモリ 64MB: ディスク容量 2.1GB) を用い、計算時間はケースにより計算開始時に設定した相対変動値の関係で異なるが、改良案に対して 800 cycle あたり約 20 時間であった。

4. 3 境界条件

水面に関しては、今回は水面高さを一定と仮定して解析を行うため、水面部の境界条件をスリップとして扱った。壁面は対数則を用いた。流入流速条件は、図-7 に示すように現地流速測定結果を線形補間したものを用いた。出口部分は自由流出とした。

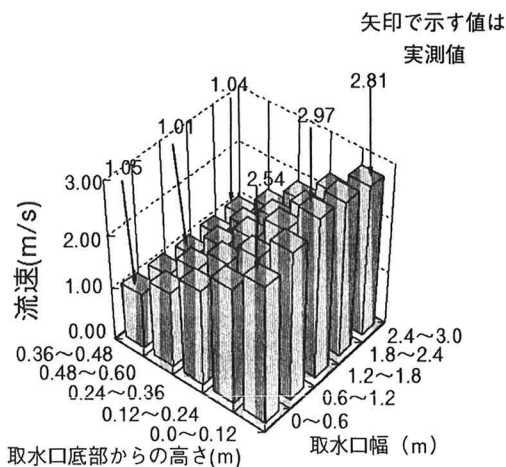


図-7 入口部分流速境界条件

5. 現地データとの比較

図-8.9 は流速分布において現地計測と数値シミュレーションとの比較を示す。

図-8.9 より数値シミュレーションにより求められた流速分布は、水面付近の流速分布および水路断面の流

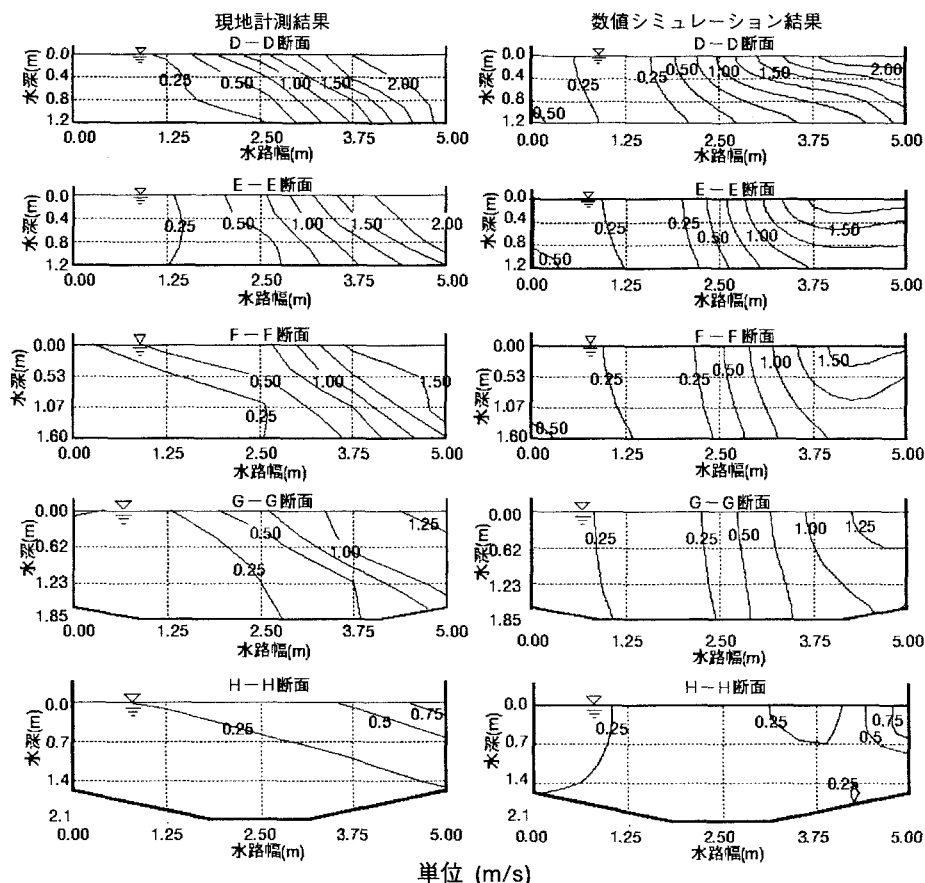


図-8 現地計測結果と数値シミュレーション結果との比較

速分布のどちらとも現地計測結果をおおむね再現していると思われる。特に、曲線部下流側の偏流の様子をうまく表現していると思われる。しかし、曲線部下流部において水路底部付近の流速が現地計測値と比べて数値シミュレーション結果が遅い傾向にある。これは入口流速条件および水面高さ固定の影響がでているものと思われる。また、図-8から数値シミュレーションで求められた流速の大きさは出口部分を除いては現地測定結果とあまり違いが見られない。

6 水路形状改善案解析

6.1 流況改善方法の概念

今回の沈砂池の流況改善方法の概念は次の通りである。1) 工事費低減のため平地内で水路を拡幅するのみにとどめ、周辺地山を崩さない。2) 現状の取水口、余水吐き、排砂門はそのまま利用する。3) 偏流改善は導流壁・突起物・整流杭を組み合わせで行う。4) 対象土砂粒径を図-3から0.5mmとし、沈砂池内平均流速を0.3m/s以下³⁾にする。この4つの考え方を念頭におき、改善案水路形状を考察する。

6.2 改善案水路形状

曲線部を有する水路で曲線部下流部流れを均等化させる方法として案内羽根として翼列⁴⁾を用いる方法が

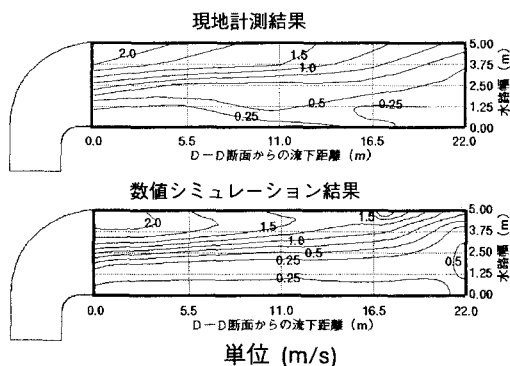


図-9 現地計測結果と数値シミュレーションとの比較 (水深10cm)

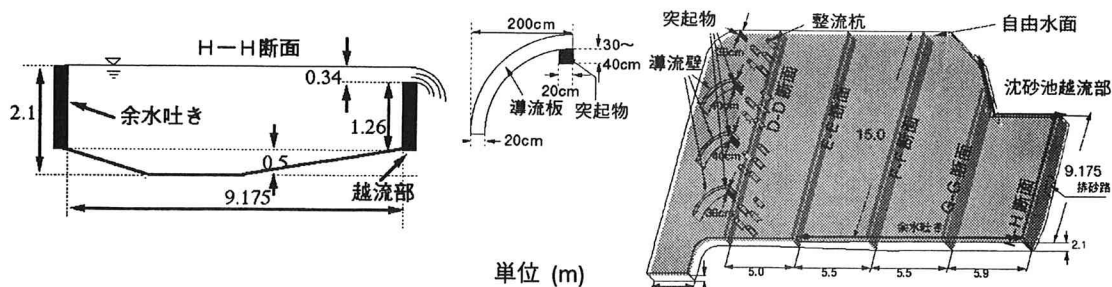


図-10 改善案沈砂池概略図

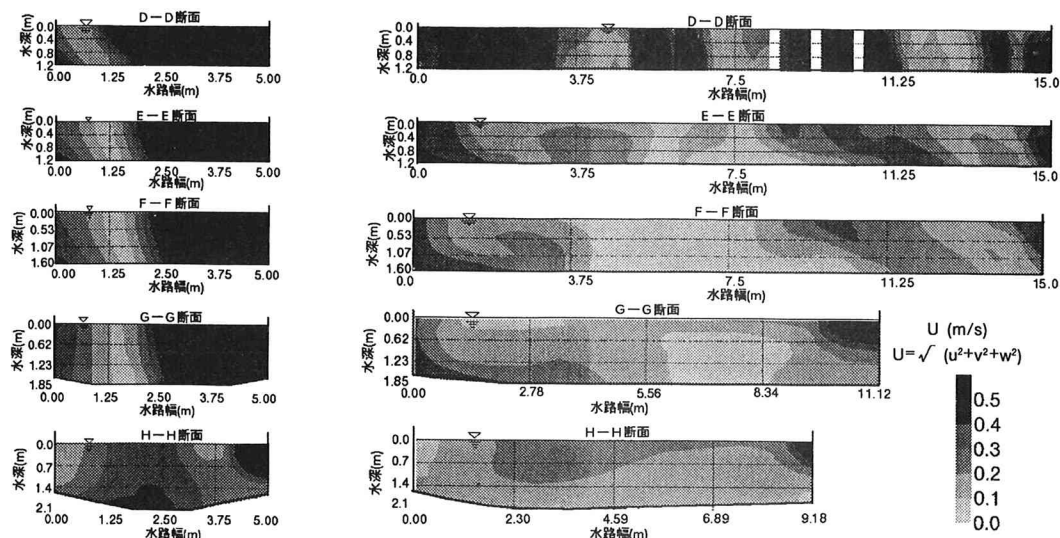


図-11 数値シミュレーションによる現状と改善案との流速分布の比較 (D-D断面からH-H断面)

あるが、施工をより簡略化するため今回、壁厚30cm、半径2mの導流壁を施工することとした。しかし、曲がり角を有する導流壁であるため、壁内側ではく離や渦の発生や偏流の懸念がある。今回、沈砂池の水路形状の検討に当たり、導流壁曲線終了部に突起物および整流杭を設置して下流部の流速分布が平均化するように検討した。その結果、突起物長さを30,40,60,80cmの4ケースに変化させて解析を行い検討した結果、図-10に示す通り突起物長さ30cmのものと40cmのものを組み合わせた場合、最も流況が均等化することが判明した。

6. 3 改善案流況

図-11,12は、現状の沈砂池内流速分布と改善案流速分布との比較を示す。D-D断面においては、曲線部直下流であるため、偏流が改善案でも残った状態であるが、主流が整流杭により効率的に分散していると思われる。E-E断面においては、流速分布はほぼ、0.4m/s以下になり、0.3m/s以下の部分が大部分であ

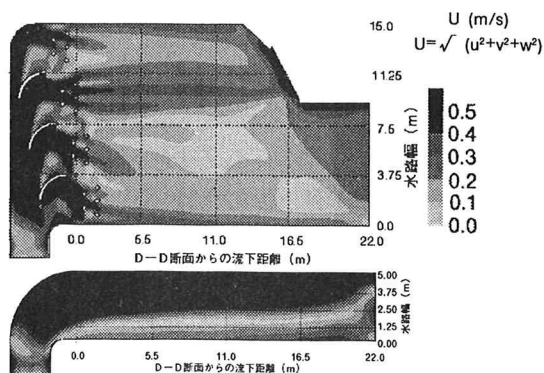


図-12 数値シミュレーションによる現状と改善案との流速分布比較 (水深10cm)

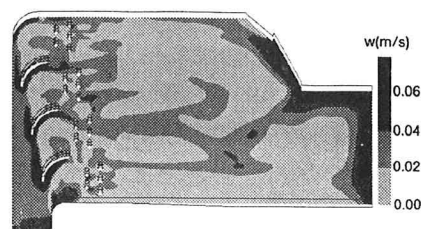


図-13 鉛直方向流速分布 (水深1m)

る。F-F断面より下流部においては、ほぼ、流速分布が 0.3m/s になり偏流はほぼ解消している。G-G断面およびH-H断面で 0.5m/s 以上の流速分布が存在しているが、これは出口部分であり、特に問題はないと思われる。

図-13は、鉛直方向の流速 w のスカラー値の分布である。この値が土砂沈降速度より大きい場合やそれに近い場合、浮遊している土砂の沈降に影響を与え、沈砂池の機能上問題である。粒径が 0.5mm の土砂の場合、沈降速度は 6cm/s ³⁾であるため、 w は沈砂池内全域にわたり 6cm/s 以下であることが望ましい。図-13から取水口と沈砂池出口部分を除き沈砂池内全域にわたり 6cm/s 以下であり、特に問題ないことがわかる。

図-14は、水深 1m 付近の現状の沈砂池と改善案沈砂池内流速ベクトルを示す。現状の

沈砂池では水路曲線部下流部において偏流が発生し逆流域が存在しているが、改善案では、取水口から流速約 2m/s で流入する流れが、突起物と整流杭により均等化している様子がわかる。

また、図-11～14より整流杭の配置をさらに考慮すれば、水理模型実験で用いられる整流板と同様な効果がより一層上がるものと思われる。

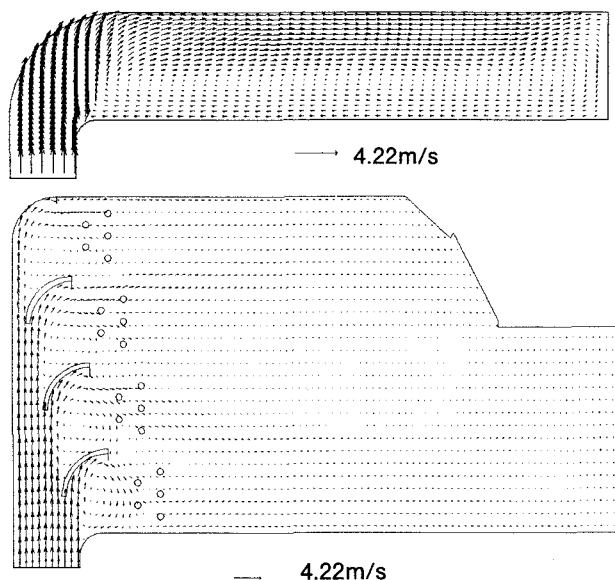


図-14 現状と改善案との流速ベクトル比較 (水深 1m)

7. あとがき

今回、3次元数値シミュレーションを現状の沈砂池と改善案に対して行い、次のような結果を得た。

1. 標準 $k-\epsilon$ モデル用いた現地流況の数値シミュレーションでは現地の流況をほぼ再現でき、現地計測結果に近い流速分布が求められた。
2. 改善案における突起物長さは、図-10に示す形状が適当だと思われる。また、改善案ではほぼ水路幅全域にわたり流速の大きさを 0.3m/s 以下に低減させることができた。
3. 鉛直方向の流速 w は、対象土砂粒径の沈降速度よりもほぼ水路全体にわたり小さく、土砂の沈降には問題がないように思われる。
4. 今回のシミュレーション結果から整流杭の配置次第ではより短い流下距離で流速分布平均化させることが可能であると思われる。

今後、数値シミュレーションで検討した改善案形状に対する水理模型実験を行い、数値シミュレーションの妥当性を検証する予定である。

参考文献

- 1) 氏家久芳・佐々木牧夫：流れの数値シミュレーションと水理模型実験との適合性—女川原子力発電所の例、電力土木、No235、1991年11月号。
- 2) 藤井ら：曲がりを有する流れの数値シミュレーション、第49回年次学術講演会講演概要集第2部(A)、1994。
- 3) 千秋信一：発電水力演習、P 250～252、学献社、1984。
- 4) 管路・ダクトの流体抵抗出版分科会編：管路・ダクト流体抵抗、社団法人日本機械学会、昭和54年。