

角柱周辺の水位変動と流れ構造の再現性に関する数値解析モデルの比較

松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 正会員 ○木村 一郎
 京都大学工学研究科 都市社会工学専攻 正会員 細田 尚
 鳥取県庁 非会員 渡辺 陽子
 株式会社 テーリング 非会員 角 由加里

1. はじめに

本研究は橋脚による水位堰き上げ効果の再現性を、二次元モデル(2D)、準三次元モデル(quasi-3D)、三次元モデル(full-3D)について比較したものである。二次元モデルには、今回は二次流や鉛直加速度の影響を含まない単純モデルについてのみ検討する。まず、検証実験はとして角柱を橋脚モデルに用いた実験を行い、実験と同条件で計算を行うことによりモデルの妥当性を評価する。

2. 数値解析モデル

次の3つのモデルを用い結果を比較する。

- ①平面2次元モデル（以下P2Dと略）：水深積分された基礎式を用い乱流モデルは0方程式モデルとする。
 - ②準3次元モデル（以下Q3Dと略）：静水圧近似の3次元モデル。乱流モデルは非線形k-εモデルとする。
 - ③3次元モデル（以下F3Dと略）：動水圧を考慮した3次元モデル。乱流モデルは非線形k-εモデルとする。
- 基礎式や計算方法の詳細については他の文献に譲る。

3. 対象とする流れ場と検証実験

検証実験は松江高専水理環境実験室に設置された幅20cm、長さ10m、勾配1/1000の可傾斜開水路を用い、水路の中央付近に一边が4cmの角材を設置し、通水した。水深の中央における流速をプロペラ流速計を用いて計測し、水深の計測にはデジタルポイントゲージを用いている。流れ場の概要と座標系を図-1に、実験の条件を表-1に示した。

4. 計算結果とその考察

カルマン渦の再現性：実験では後流域にカルマン渦がみられ、数値解析においても全モデルでカルマン渦が再現された。図-2に瞬間的な流速ベクトルを示す。再循環流域の長さに影響されP2Dの渦の発振位置が最も角柱に近づいている。

実験のStrouhal数は0.24で、数値解析のStrouhal数はいずれのモデルも実験値とほぼ一致した。

馬蹄渦の再現性：図-3は、角柱近傍のx軸に沿う鉛直縦断面内の時間平均流速場をQ3DとF3Dで比較したものであり、鉛直スケールを2倍に拡大して示している。いずれのモデルでも角柱上流側底面付近に時計回りの渦がみられる。これは、馬蹄渦の上流端に相当するものである。渦の再現性にもモデルによる差異が認められ、渦の直径や回転流速はF3Dの方が大きい。

角柱周辺の水位変動に関する比較：図-4は3つのモデルによって再現された水面変動の20秒間の時間平均値

キーワード：開水路局所流、非線形k-εモデル、CFD、RANS、カルマン渦

〒690-8518 松江西市生馬町14-4 松江高専 環境・建設工学科 木村一郎 Tel 0852-36-5212

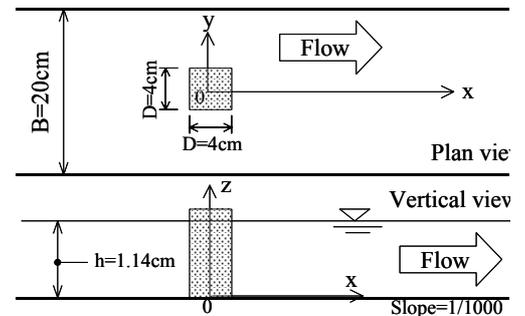


図-1 流れ場の模式図

表-1 流れ場の水理条件

h (cm)	U_0 (cm/s)	D (cm)	B/D	h/D	Re	Fr
1.14	18.18	4.0	5	0.285	8400	0.54

h: depth, U_0 : mean velocity, D: side-length of cylinder B: channel width, Re: Reynolds number ($=U_0D/\nu$), Fr: Froude number($=U_0/\sqrt{gh}$)

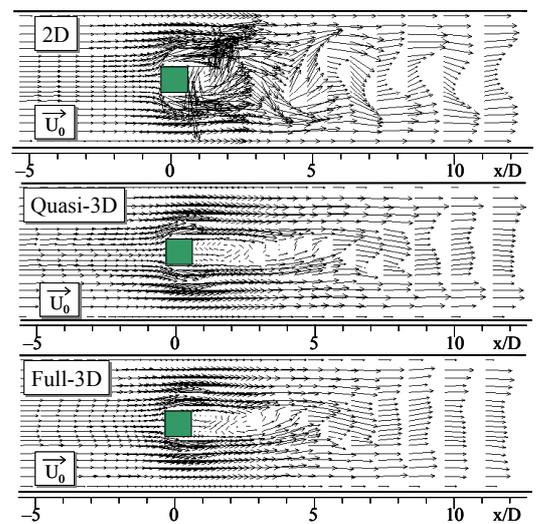


図-2 水平面内の瞬間的な流速ベクトル

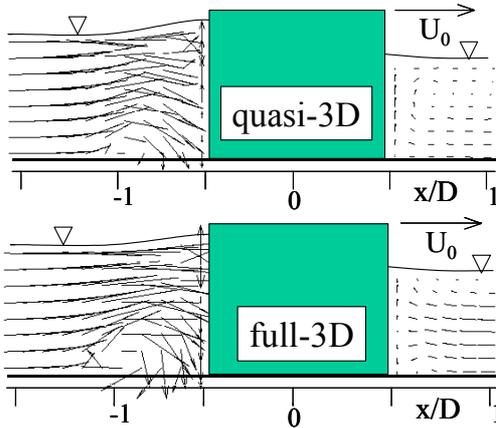


図-3 鉛直縦断面内の時間平均流速ベクトル ($y/D=0$, x - z 平面)

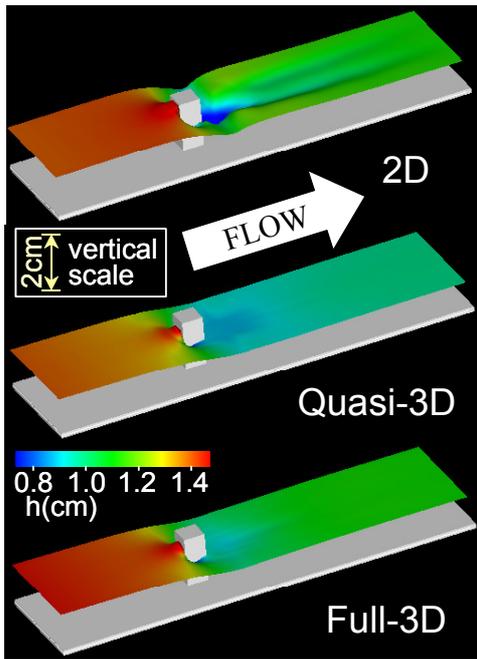


図-4 時間平均水面の鳥瞰図の比較

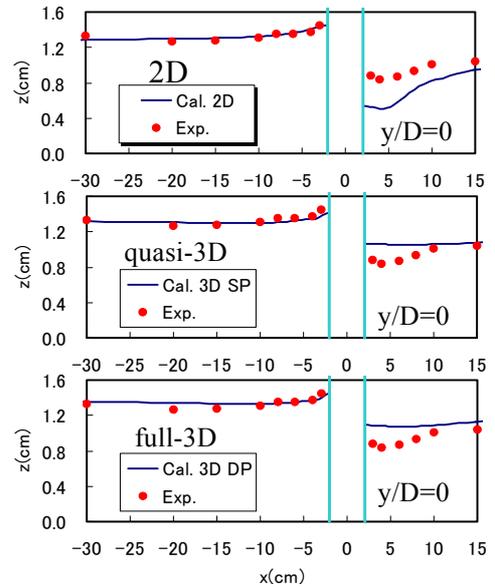


図-5 (a) 縦断面内の水面形の比較 ($y/D=0$)

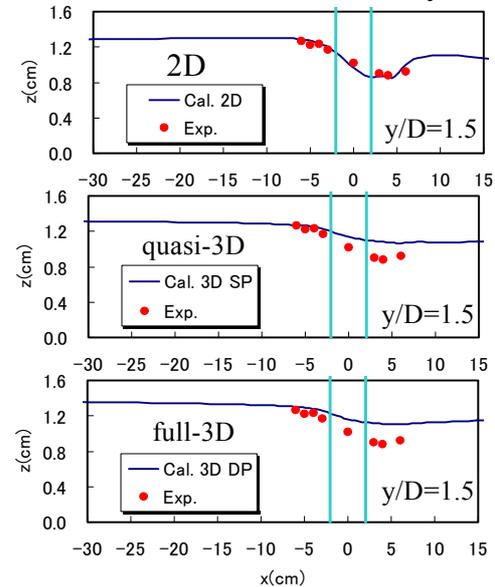


図-5 (b) 縦断面内の水面形の比較 ($y/D=1.5$)

である。P2D で左右非対称となるのは比較的長周期の変動の存在による。一見して、P2D が角柱下流側の水面の窪みを最も大きく再現しており、Q3D は角柱下流側の水面形が最も平坦である。より定量的特性を検討するため、 x 軸方向の水面形分布を、 $y/D=0$, $y/D=1.5$ の2断面について、図-5 に示した。 $y/D=0$ の断面について、まず角柱下流側に着目すると、P2D は水深の低下を過剰に評価していることがわかる。Q3D および F3D は、逆に下流側の水深低下を十分再現していない。上流側の堰き上げに着目すると、いずれのモデルも実験値との適合は良好に見える。角柱上流の水深最大値は、実験が 1.45cm、P2D が 1.45cm、Q3D が 1.42cm、F3D が 1.45cm であり、Q3D の再現性が若干劣っている。一方、角柱から離れた $y/D=1.5$ の断面では P2D が最も良好な結果となった。結局、P2D は水位変動（特に下流側窪み）を過大評価し、Q3D は水面形が平坦になるという特性が示された。ただしこれらには計算格子や乱流モデルの影響もあると考えられ、さらなる検討が必要である。

CPU 時間の比較：本研究では Dual Xeon 2.4GHz, RAM:512Mb の PC により OpenGL による並列計算を実行している。各モデルによる実時間 10(s) の計算に要した CPU 時間は、P2D が 1.7(min), Q3D が 284(min), F3D が 364(min)であった。

参考文献: 1) 木村他: 開水路せん断混合層の流れ構造に対する水深積分型修正ゼロ方程式モデルの適用性, 水工学論文集, Vol.48, 673-678, 2004. 2) 木村他: 越流型水制周辺の三次元乱流構造に及ぼす水理パラメータの効果, 水工学論文集, Vol.48, 661-666, 2004.