

平均成分加速法（ACA法）の適用限界の評価方法

松下晃生¹⁾・吉武央気¹⁾・内田龍彦²⁾・南まさし¹⁾・廣次義崇¹⁾・森川裕基¹⁾・松尾大地²⁾

1)パシフィックコンサルタンツ株式会社 2)広島大学

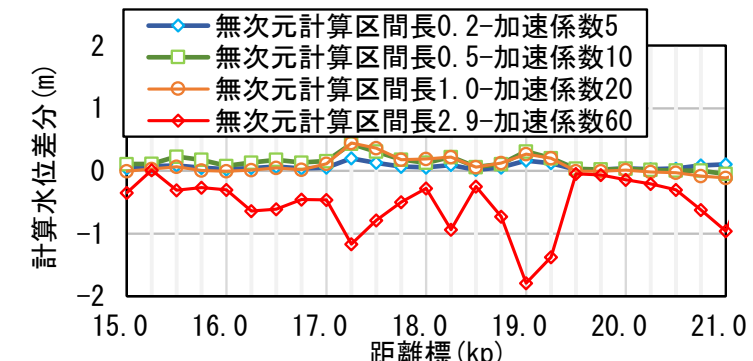
本研究の背景と目的

背景 水理検討の生産性向上

- 河道計画の検討では、近年の測量技術や解析技術の発展により、今後は平面二次元以上の解析モデルを用いた検討が標準となることが予想される。
- 数値計算の高速化手法である**平均成分加速法(以下ACA法)**を実務における洪水流解析へ適用できれば、検討時間の短縮が期待できる。

現状

- ACA法の実河川における適用可能性は未整理
- 安倍川を対象とした解析においては、加速係数 60 倍の条件で水面縦断形や水位波形が加速無し計算のそれらと比べて乖離が生じ、現状の ACA 法には適用可能な加速係数の上限が存在



地盤高および計算水位横断面図（安倍川）

(参考文献)松下晃生, 吉武央気, 南まさし, 内田龍彦, 松尾大地, 坂野アイカ, 松田浩一: 平均成分加速法を用いた洪水流解析モデルの粗度係数調整の効率化に関する研究, 河川技術論文集 第 31 巻, pp.115-120, 2025

目的

- ACA法の実河川への適用および展開のため、現状のACA法の適用限界を事前に評価
- 加速係数の上限値を河道特性および洪水特性に基づき推定する枠組みを検討**

ACA法について

平均成分項

$$h^{n+1} = h^n + \Delta h^n + (\alpha - 1)\Delta h^n$$

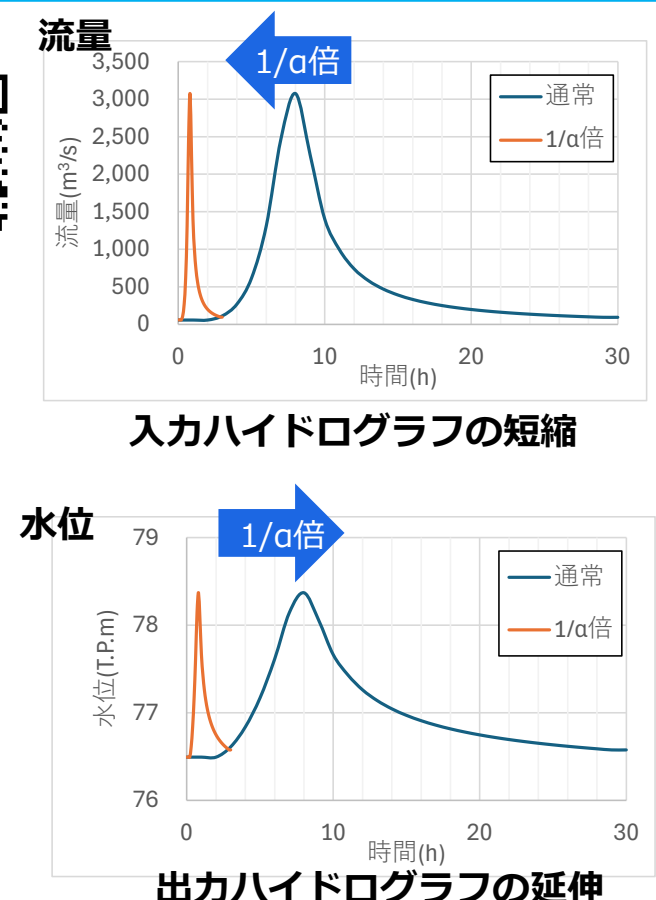
局所成分項

ACA法の特徴

- ✓ 水位変化を平均成分と局所成分に分割して演算
- ✓ 現状の ACA 法の仮定: 平均成分を一つの時間ステップの中で空間的に一様と仮定し、流れは水面形に応じて決まる

現状のACA法の課題

- ① 洪水波形が先鋭である場合、「平均成分を一つの時間ステップの中で空間的に一様」の仮定が成立しにくい
- ② 断面方向の水深不均一性が顕在化する網状水路や複断面河道では、当該仮定が成立しにくい



平面二次元洪水流解析モデル解析条件

図：計算条件一覧表（根谷川）

ケース	説明	設定諸元
CASE-N1	河道幅および河道長を根谷川と同程度に設定した直線矩形水路モデル	- 河川：根谷川 - 計算区間：太田川との合流点～約5.00 k（河床勾配：約1/） - 検討対象洪水：令和2年7月洪水 - メッシュサイズ：横断10m程度 縦断20m程度 - 地盤高：左記 - 植生：無し
CASE-N2	河道線形の影響を検討するため、CASE-N1 を基に根谷川の河道線形を設定した水路モデル	
CASE-N3	根谷川の横断測量データをモデル化した実河川モデル	

図：計算条件一覧表（安倍川）

ケース	説明	設定諸元
CASE-A1	境界条件：R4.9 出水	- 河川：安倍川 - 計算区間：13.75k～22.00 k（河床勾配：約1/135） - 検討対象洪水：左記 - メッシュサイズ：横断10m程度 縦断20m程度 - 地盤高：航空レーザ測深測量成果（R5.1） - 植生：令和4年度河川環境情報図
CASE-A2	境界条件：R4.9 出水の上流端境界条件を時間方向に 5 倍引き延ばした流量ハイドログラフ→洪水波長による計算結果への影響を検証	
CASE-A3	境界条件：R5.10 出水→洪水継続時間やピーク流量規模の違いが計算結果に与える影響を検証	
CASE-A4	境界条件：R4.9 出水※河道地形を横断方向に 1/5→川幅の違いが解析結果に与える影響を考察	

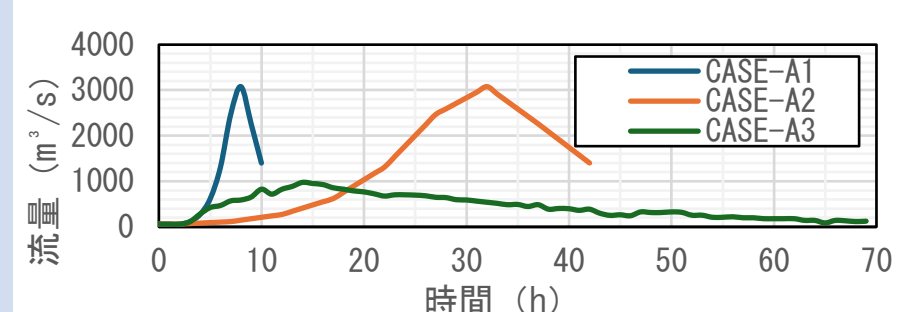


図 上流端境界流量ハイドログラフ

適用限界分析指標 1：横断波速不均一指標

$$RMSEC = \frac{1}{B} \int_B (c(y) - \bar{c})^2 dy$$

河道内地形分布の変化により、横断方向に水深が変化し、それに伴い洪水波の伝播速度が空間的に不均一→洪水波の伝播過程において位相差や波形の歪みを生じさせる要因となり、ACA法の平均化仮定から逸脱して誤差の発生に繋がる

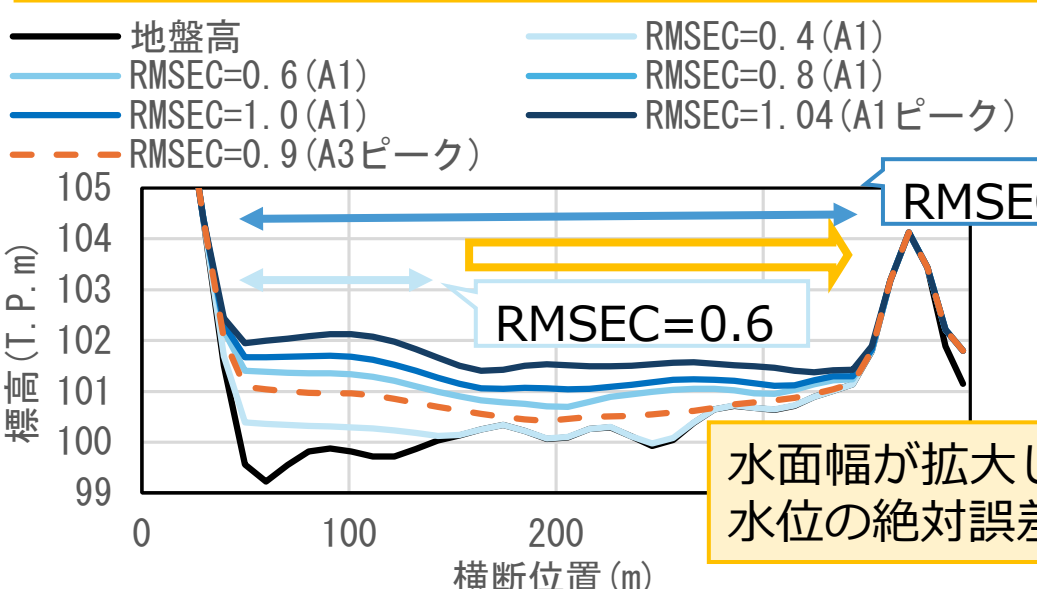
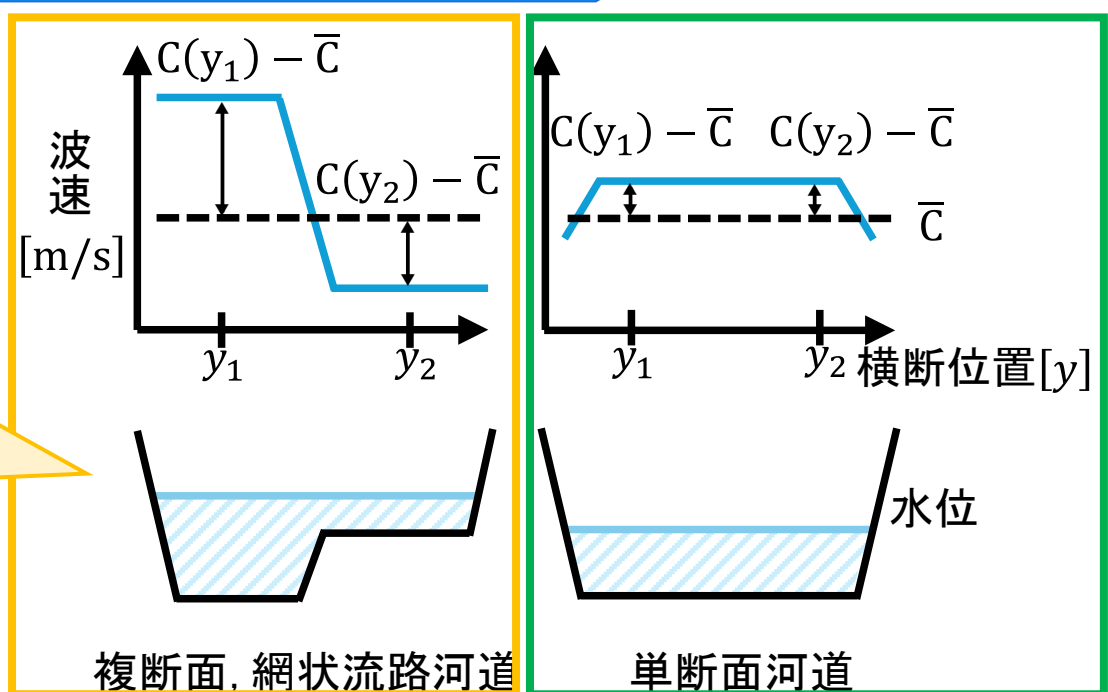


図 横断波速不均一指標 イメージ

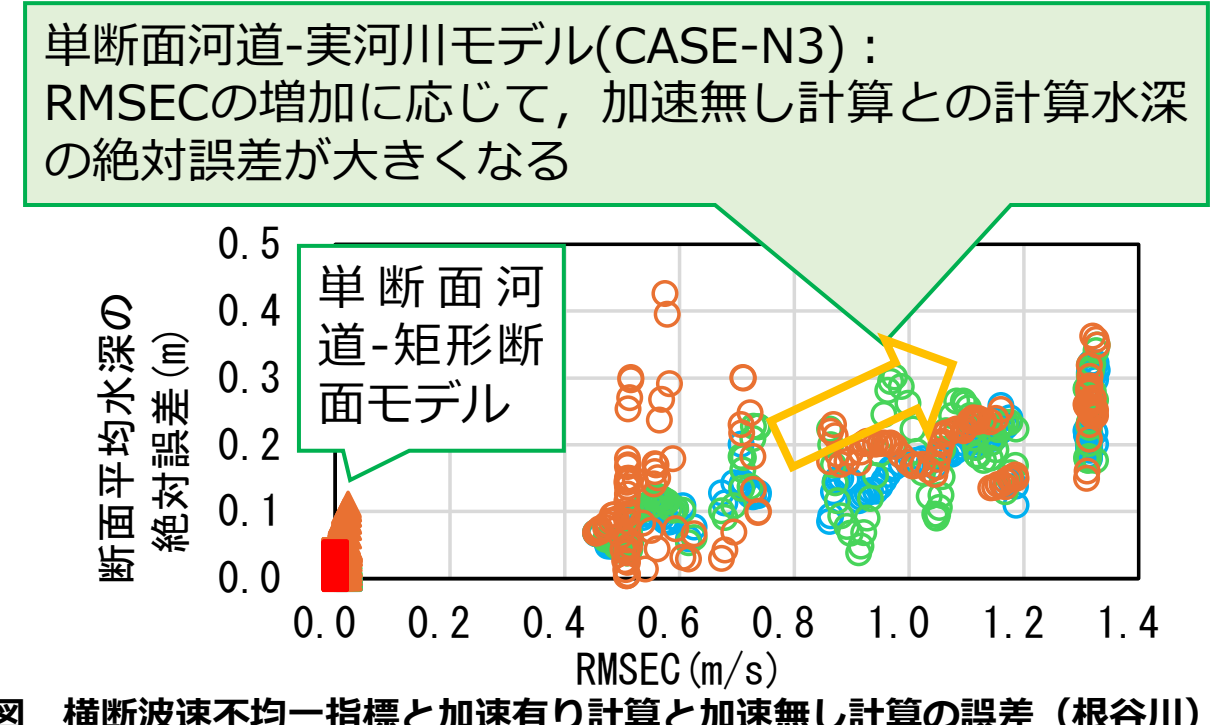
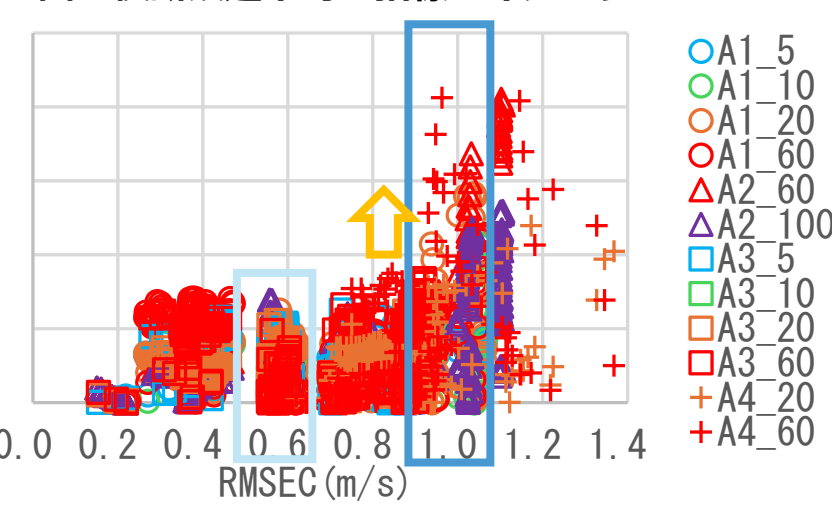


図 横断波速不均一指標と加速有り計算と加速無し計算の誤差（根谷川）

得られた結果①

- 横断波速不均一指標により、断面内の水深不均一性が顕在化する条件下では、加速計算の誤差が増大することを定量的に示した。
- 網状流路である安倍川の計算より、水面幅が拡大する際に加速計算の絶対誤差が大きく増大した。

適用限界分析指標 2：無次元計算区間長

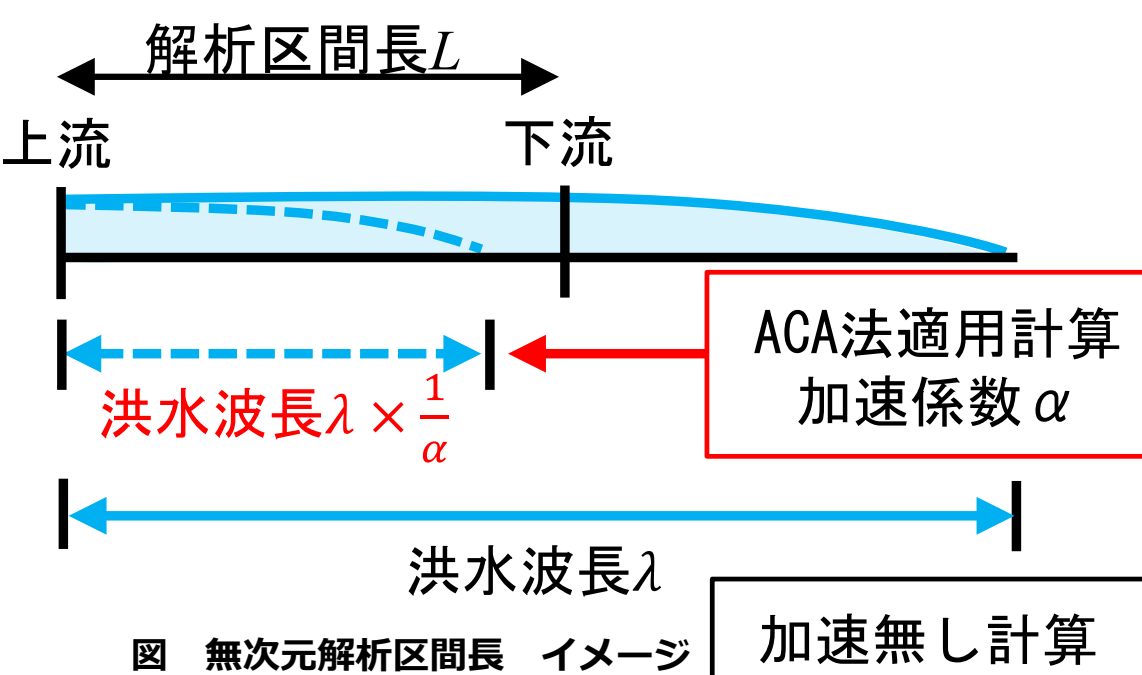
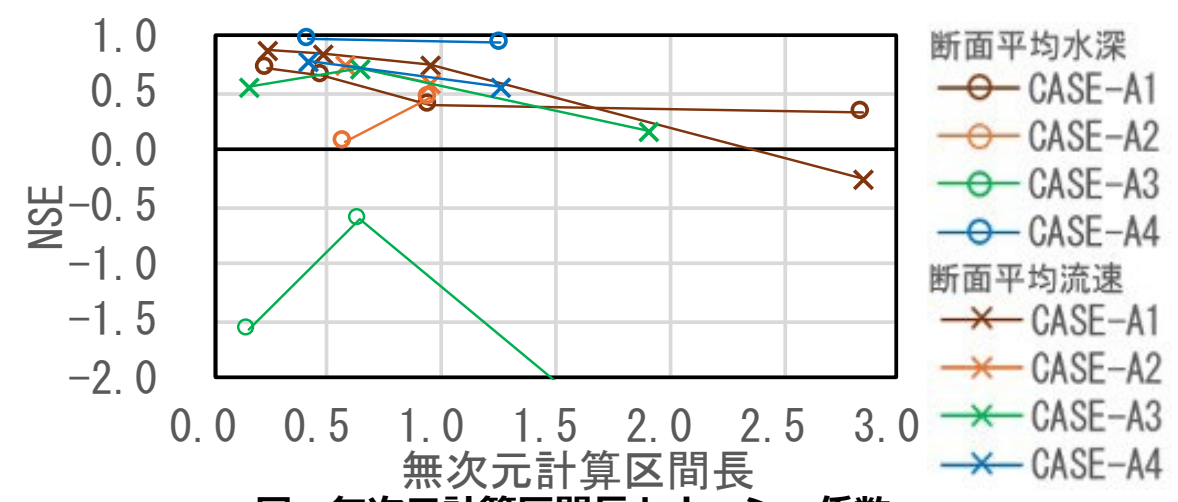


図 無次元解析区間長 イメージ

解析区間長 L が洪水波長 λ に対して相対的に大きくなるほど、ACA 法の解析精度が低下する傾向 (Matsuo and Uchida,2025)

$$L^* = \frac{L}{\lambda/\alpha}$$

無次元解析区間長：解析区間長の洪水波長／加速係数に対する比を算定して適用限界を考察



図：無次元計算区間長とナッシュ係数

ケース名	加速係数	無次元計算区間長	NSE(断面平均)
CASE-N1	30	0.29	1.00
CASE-N1	60	0.57	0.99
CASE-N2	5	0.05	1.00
CASE-N2	10	0.10	0.99
CASE-N2	20	0.19	0.97
CASE-N3	5	0.05	0.79
CASE-N3	10	0.10	0.78
CASE-N3	20	0.19	0.72
CASE-A1	5	0.24	0.73
CASE-A1	10	0.47	0.65
CASE-A1	20	0.95	0.40
CASE-A1	60	2.84	0.33
CASE-A2	60	0.57	0.08
CASE-A2	100	0.95	0.46
CASE-A3	5	0.16	-1.58
CASE-A3	20	0.63	-0.61
CASE-A3	60	1.90	-2.70
CASE-A4	20	0.42	0.98
CASE-A4	60	1.25	0.94

考察

- 無次元計算区間長が 1.0 を超えない範囲では、平均成分を空間的に一様とする仮定が成立しやすく、ピーク水位の水面形を良好に再現できる。
→粗度調整計算のように、計算水位の縦断形を再現することが求められる場合には、無次元計算区間長から適用可能な加速係数を推定することが有効
- 砂州の拡大、縮小や河道掘削後の流況変化など、川幅スケールの水理量評価が求められる加速計算では、無次元計算区間長が 0.4 未満となる条件下で行うことが望ましい