

中央大学博士論文

十分発達した河口砂州の洪水流による拡幅機構と
開口幅に関する研究

立山 政樹

博士（工学）

中央大学大学院
理工学研究科
都市環境学専攻

平成29年度
2018年3月

目次

第 1 章 序論	1
1.1 研究背景と目的.....	1
1.2 本論文の構成.....	3
第 2 章 洪水流による河口砂州拡幅機構に関する既往研究	7
2.1 現地観測に基づく既往研究.....	7
2.2 数値解析モデルに関する既往研究.....	9
2.3 本研究の位置付け.....	12
第 3 章 十分発達した河口砂州を有する阿賀野川河口域における 平成 23 年 7 月阿賀野川洪水流と河口砂州の変形観測	17
3.1 阿賀野川と平成 23 年 7 月洪水の概要.....	17
3.2 十分発達した阿賀野川河口砂州の特徴.....	19
3.3 阿賀野川河口砂州の経年的地形変化.....	21
3.4 平成 23 年 7 月阿賀野川洪水の観測体制と観測結果.....	27
3.5 まとめ.....	36
第 4 章 十分発達した河口砂州の洪水流による拡幅機構の解析モデルの構築	39
4.1 十分発達した河口砂州周辺の洪水流場の特徴と解析法 1 の概要.....	39
4.1.1 十分発達した河口砂州周辺の洪水流場の特徴.....	39
4.1.2 斜面に沿う底面付近の流れと流砂運動を考慮した解析法 1 の概要.....	41
4.2 洪水流による河口砂州拡幅機構解析モデルの基礎方程式.....	45
4.2.1 洪水流解析の基礎方程式の導出.....	45
4.2.2 河床変動解析の基礎方程式の導出.....	62
4.2.3 解析法 1 の方程式群のまとめと解析法 2 の方程式群.....	67
4.2.4 支配方程式の一般座標系への変換.....	69
4.3 まとめ.....	76

第 5 章 平成 23 年 7 月阿賀野川洪水による河口砂州の拡幅機構と最終開口幅の	
検討	79
5.1 概要.....	79
5.2 解析条件.....	79
5.3 洪水流による阿賀野川河口砂州の拡幅機構と最終開口幅の検討.....	82
5.3.1 解析水面形の時間変化と解析流量ハイドログラフ.....	82
5.3.2 河口砂州の拡幅過程と最終開口幅の検討.....	83
5.4 まとめ.....	95
第 6 章 結論	97
6.1 本研究の結論.....	97
6.2 今後の研究課題.....	99

謝辞

第 1 章 序論

1.1 研究背景と目的

河口は河川と海の接続部である。河口周辺では、河川流・海浜流・淡水と塩水の密度流・波浪が重なり合い複雑な流れ場となる。河口砂州は、河川流による浸食作用と波浪や海浜流による漂砂の堆積作用から形成される。大きく発達した河口での砂州は河川幅を狭め、河道内への塩水遡上を抑制する。一方で、航路の縮小や開口部流速の増大を招き、河川利用上の支障となる。河川流量の少ない中・小河川では、発達した河口砂州が河口を完全に閉塞し、魚類の遡上・降河を阻害する場合もある。また、洪水時には、発達した河口砂州が河道内の水位を高め、堤防からの越水や、支川からの排水を困難にする等の深刻な問題を引き起こす恐れがある。このように、河口砂州の発達状況により、様々な問題が発生することから、洪水流による河口砂州の拡幅機構を定量的に明らかにし、河口砂州の維持管理技術に資することは重要な治水課題の一つである。

河口砂州周辺では、河口砂州の存在により流線が大きく曲げられることで三次元的に複雑な流れとなる。洪水流による河口砂州の大規模な拡幅は、主に三次元的に複雑な流れが砂州上を越流することで生じるものと考えられる。平面二次元洪水流・河床変動解析に基づく砂州拡幅の解析法では、大きな斜面勾配を有する砂州上の斜面に沿う流れと流砂運動を適切に解析できないことから、側岸侵食をモデル化することで砂州の拡幅を計算する必要があった。これに対し、本研究では、砂州上の斜面に沿う流れと流砂運動を適切に解くことが出来れば、側岸侵食をモデル化せずとも洪水流による砂州拡幅を計算できると考え、砂州拡幅モデルを新たに構築する。

本研究が対象とする阿賀野川は、基準点の馬下(34.6km)において計画高水流量が $13,000\text{m}^3/\text{s}$ とされる国内有数の大河川である。河口には、日本海の厳しい波浪や飛砂の影響を受け、両岸から細砂からなる河口砂州が大きく発達している。観測史上最大流量(馬下地点で約 $10,000\text{ m}^3/\text{s}$)を記録した平成 23 年 7 月洪水時には、河口砂州が大きく拡幅し、開口幅が拡大した。この洪水時には、河口砂州周辺に縦断的に密に設置した水位計により、河口砂州拡幅の影響が現れる砂州周辺の洪水水面形の時系列データが得られた。これに加えて、CCTV カメラによる洪水中の河口砂州変形の様子が撮影され、さらに洪水前後に実施された詳細な測量により河道及び河口砂州の地形変形が計測される等、貴重な観測データが得られた。

本研究では、まず、充分発達した縦横断的に大きな斜面勾配を有する河口砂州周辺の流れの三次元性と斜面に沿う底面付近の流れと流砂の三次元運動を考慮した砂州拡幅の解析法を定式化する(解析法1)。そして、細砂から構成される河口砂州の大規模な拡幅により開口幅が拡大した平成23年7月阿賀野川洪水を対象とし、解析法1により洪水時の観測水面形の時間変化に基づいて、河口砂州の拡幅プロセスを明らかにするとともに、最終的な開口幅を算定し、現地観測結果を適切に説明できる河口砂州の拡幅モデルを構築する。また、一般底面流速解析法に浮遊砂の移流拡散を考慮した解析法2の解析結果との比較を行う。解析法2は、底面付近の斜面に沿う方向の流れと流砂運動については考慮せず、底面付近の水平方向の流れと流砂運動を解く解析法である。2つの解析結果を比較することで、斜面に沿う流れと流砂運動を考慮することが、砂で構成される河口砂州の拡幅機構の解析に重要であることを示す。

1.2 本論文の構成

図 1-1 は、本論文の構成を示す。本論文は 6 章で構成される。各章の内容と成果の概要は以下の通りである。

第 1 章では、研究の背景、目的、本研究の構成を述べている。

第 2 章「洪水流による河口砂州拡幅機構に関する既往研究」では、洪水流による河口砂州の拡幅に関する既往研究を概観し、本研究の位置付けを示す。

既往研究では、側岸侵食をモデル化した平面二次元洪水流・河床変動解析が多く用いられており、既往研究で用いられていた解析法が有する洪水流による河口砂州の拡幅解析に対する問題点を示す。また、筆者がこれまで行ってきた砂州拡幅の解析法の課題を示す。これに対し本研究では、洪水中の砂州拡幅過程の観測体制を敷き、側岸侵食モデルを用いずとも砂州拡幅を計算できる新しい砂州拡幅モデル(解析法 1)を構築する。構築した解析法 1 による解析結果と洪水時砂州拡幅過程の観測結果を用いて砂州拡幅機構を説明できるか検討を行う。また、解析法 1 において考慮した斜面に沿う流れと流砂運動が砂州拡幅に及ぼす重要性について検討を行う。

第 3 章「十分発達した河口砂州を有する阿賀野川河口域における平成 23 年 7 月阿賀野川洪水流と河口砂州の変形観測」では、まず、阿賀野川の概要及び十分発達した河口砂州形状の特徴とその経年変化を示す。次に、既往最大洪水である平成 23 年 7 月阿賀野川洪水における国土交通省北陸地方整備局阿賀野川河川事務所と共同で行った洪水観測体制を示し、この観測結果から、洪水中河口砂州がどのように拡幅し開口幅が拡大したかを検討する。

第 4 章「十分発達した河口砂州の洪水流による拡幅機構の解析モデルの構築」では、十分発達した河口砂州の洪水流による拡幅過程を説明するには、縦横断的に大きな斜面勾配を有する河口砂州上の斜面に沿う底面付近の流れと流砂運動を適切に計算することが重要であると考え、これらを考慮した解析モデル(解析法 1)を構築する。また、解析法 1 の方程式系と斜面に沿う流れと流砂運動については考慮しない解析法 2 の方程式系を対比し、解析法 1 における河床変動を含む流れ場全体の考え方を説明している。

十分発達した河口砂州は、洪水流の通水断面積を狭め、河口砂州を挟む上下流で

大きな水位差を引き起こすとともに、流線を大きく曲げるため、河口砂州周辺では三次元性の強い加速流れとなる。河口砂州を越流する流れは、流量の増大と共に砂州の洗掘範囲を縦横断方向に広げ河道の開口幅を拡大する。この点に着目し、縦横断的に大きな斜面勾配を有する河口砂州周辺の流れの三次元性と斜面に沿う底面付近の流れと流砂運動を解析に取り込み解析モデルを構築した点に本研究の特徴がある。

第 5 章「平成 23 年 7 月阿賀野川洪水による河口砂州の拡幅機構と最終開口幅の検討」では、河口砂州の大規模な拡幅が生じた平成 23 年 7 月阿賀野川洪水の観測水面形の時系列データに、第 4 章で構築した十分発達した河口砂州の洪水流による拡幅機構の解析法(解析法 1)を適用し、この解析結果から阿賀野川河口砂州の拡幅機構と最終開口幅について検討する。また、解析条件の詳細について述べる。さらに底面付近における斜面に沿う流れと流砂運動を考慮した解析法 1 と底面付近における斜面に沿う流れと流砂運動については考慮していない解析法 2、それぞれの解析結果の比較から、斜面に沿う底面付近の流れと流砂運動を考慮することが、砂で構成される河口砂州の拡幅機構の解析に重要であることを示す。

第 6 章「結論」では、本研究で得られた成果を総括し、今後の研究課題について述べる。

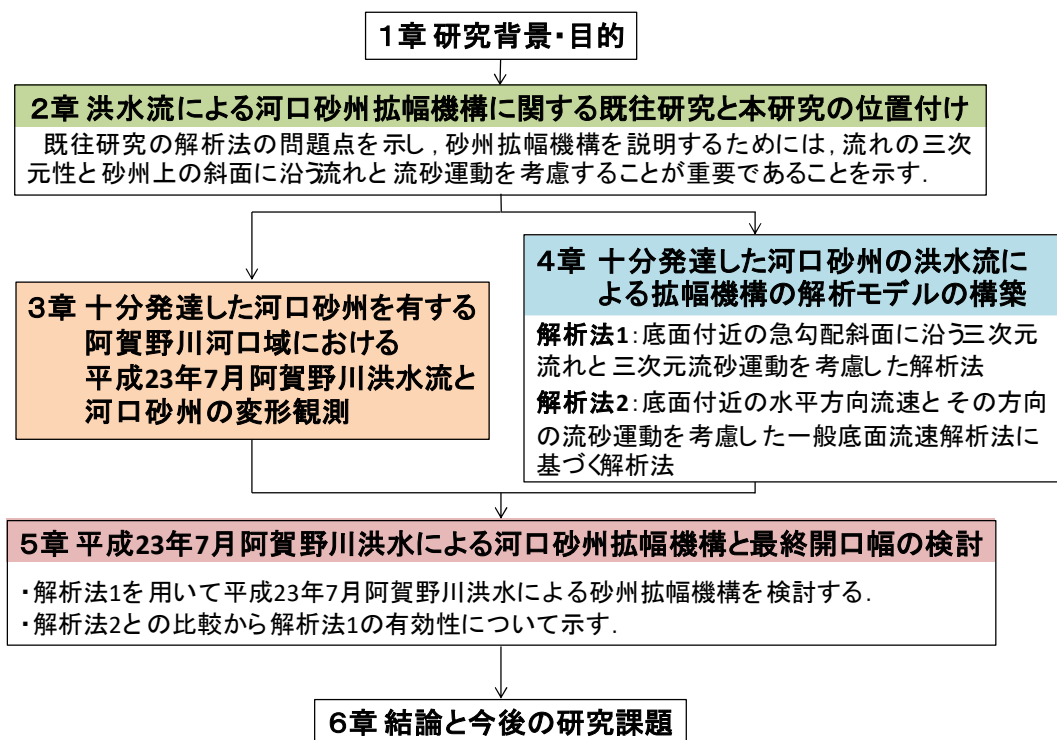


図 1-1 本論文の構成

第 2 章 洪水流による河口砂州拡幅機構に関する既往研究

2.1 現地観測に基づく既往研究

河口部周辺の地形変動に関しては、国内外において積極的に観測・研究が行われている。これらの研究の多くは、河道からの流出土砂が河口テラスや河口デルタ形成に与える影響^{例え 1)2)}や、波浪による漂砂の堆積と河川流・潮汐流による土砂流出のバランスが河口部の安定断面形に及ぼす影響に関する研究^{例え 3)}が主であり、洪水時の河口砂州拡幅過程に着目した研究は少ない。

沢本・首藤・谷口⁴⁾⁵⁾は、阿武隈川河口砂州の変形過程を把握するため、洪水直前に河口砂州上に杭を打ち込み、これが洪水中いつ流出するかを写真撮影した。図 2-1 は、昭和 60 年 7 月洪水時の河口砂州上の杭位置と洪水前後及び洪水中に観測された河口砂州汀線位置を示す。洪水初期段階では、河口砂州上流側の拡幅量が下流側に比べて大きく、洪水流量が時間的に増大し、河口砂州上を越流する流れが生じることで、河口砂州が全体的に大きく拡幅する様子が観察された。佐々木・宇多ら⁶⁾は、河口砂州の大規模な拡幅が生じた昭和 61 年 8 月阿武隈川洪水(図 2-2)を対象とし、河道と河口沖合の深淺測量(図 2-3)を行い、砂州の拡幅と海域での土砂堆積の関係について示し、カメラ映像による洪水時の水面流速の測定も試みている。近年では、X バンドレーダー⁷⁾や河口部の定点観測カメラ⁸⁾を用い、洪水中の河口砂州の拡幅量や砂州周辺の流れを推定することが可能となってきた。

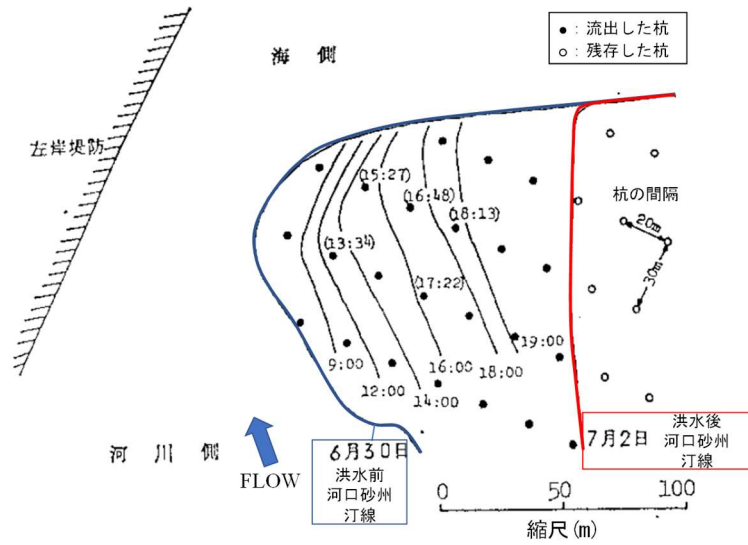


図 2-1 昭和 60 年 7 月阿武隈川洪水による河口砂州変形の観測結果 ⁴⁾⁵⁾一部加筆

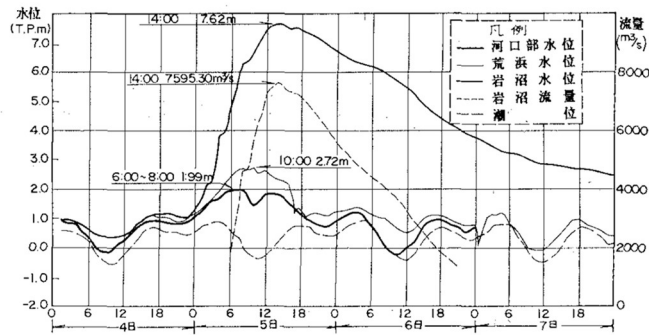


図 2-2 昭和 61 年 8 月阿武隈川洪水時の水位観測結果 ⁶⁾

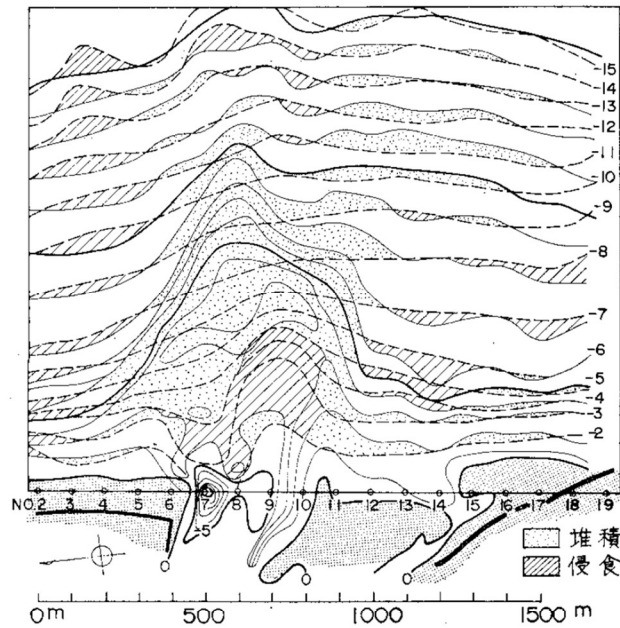


図 2-3 昭和 61 年 8 月阿武隈川洪水前後の河口沖深浅測量結果 ⁶⁾

2.2 数値解析モデルに関する既往研究

土屋ら⁹⁾は、越流による河口砂州の崩壊実験と河床変動解析を行い、従来の掃流砂量式では河口砂州の洗掘速度を過小に見積もることを報告している。これに対し邵ら¹⁰⁾¹¹⁾は、砂州越流時の掃流砂には、斜面勾配、圧力勾配、流砂の非平衡性の効果が無視できないものと考え、斜面上の砂粒子に働く重力の効果、圧力勾配、流砂の非平衡性を考慮した斜面上での砂移動の運動方程式を定式化している。さらに、斜面上での砂移動の運動方程式から越流部の掃流砂量を評価することで、侵食後の砂州形状を精度良く説明できること、斜面勾配や流砂の非平衡性は、砂州の侵食速度を増大させる効果を持つことを水路実験から明らかにしている。佐藤ら¹²⁾は、邵ら¹⁰⁾¹¹⁾の斜面上での砂移動の運動方程式を平面二次元洪水流解析に組み込み、七北田川河口砂州の洪水流による拡幅の計算に適用している。しかし、計算結果は、河口砂州上で観測された洪水後の横断面形状や河口砂州上流河道の観測水位ハイドログラフを十分に説明できていなかった。

既往の洪水流による河口砂州拡幅の解析では、湾曲らせん流を考慮した平面二次元洪水流・河床変動解析により砂州上の越流流れと河床変動を計算するとともに、側岸侵食のモデル化をすることが多い。

桑原ら¹³⁾¹⁴⁾は、**図 2-4 (a) (b)**に示す名取川河口砂州を対象に、水際部の斜面勾配が砂の水中安息角以上とならないようにすることで、側岸侵食をモデル化し、砂州の拡幅を考慮している。計算結果は、導流堤内の洪水後の横断面形状や河口砂州上流河道の観測水位ハイドログラフを再現しているが、砂州の拡幅については、洪水時の航空写真との比較のみであり、洪水中の砂州の拡幅過程や最終開口幅については、十分検証されていない。竹林ら¹⁶⁾は、熊野川河口砂州を対象に、永瀬ら¹⁷⁾を参考として、局所的な斜面勾配が水中安息角以下となるようすることで側岸侵食をモデル化し、砂州の拡幅を考慮している。この研究では、砂州の粒度分布や高さが、砂州上流河道の洪水水位に及ぼす影響を検討することを目的としており、砂州拡幅については十分に検証されていない。ここで、よく用いられる水中安息角に基づいた側岸侵食モデルの概要を**図 2-5 (a), (b)**に示す。

(a)洪水流・河床変動解析により洗堀量が計算され、洗堀後河床形状となる。この時、隣り合う2点間の斜面勾配 θ が、砂の水中安息角 θ_k より大きくなる場合、側岸侵食が生じると考える。

(b) (a)の条件を満たした2点のうち、高い方の河床を低下させ、低い方の河床を上昇さ

せることで、斜面勾配 θ が砂の水中安息角 θ_k となるようにする。この時、高い方の河床高を低下させることで側岸侵食を考慮し、砂州の拡幅が計算される。浸食された土砂は、低い方の河床に堆積し、河床を上昇させると考える。

(c)側岸侵食後の河床を用いて、洪水流・河床変動解析を再開する。この手順を繰り返す行うことで、側岸侵食による砂州の拡幅が計算される。

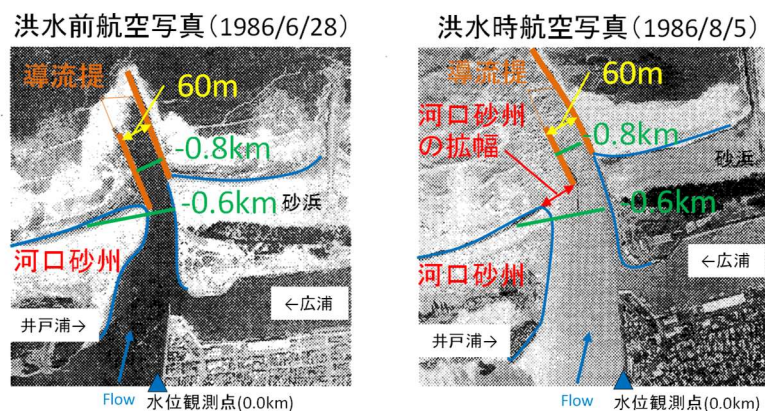
しかし、このような単純なモデル化が、複雑な流れを有する河口砂州周辺の側岸侵食に対して妥当であるかは明らかでない。

佐川ら¹⁸⁾は、羽越荒川河口砂州を対象に、側岸の侵食速度を水際の河床変動速度と流砂量から式(2.1)のように表すことで、側岸侵食による砂州の拡幅を計算している。

$$E = -\alpha \frac{\partial z}{\partial t} + \beta \frac{q_s}{h} \quad (2.1)$$

ここに、 E :側岸侵食速度、 z :水際近接格子点(水面下)における河床高、 t :時間、 q_s :水際近接格子点(水面下)における単位幅流砂量、 h :水際近接格子点(水面下)における水深である。 α 、 β は計算パラメーターである。計算結果は、河口砂州上流河道の観測水位ハイドログラフを再現しており、砂州の拡幅についても洪水後に観測された横断面形状を比較的良好に再現している。しかし、側岸侵食速度を式(2.1)のように表す根拠や計算パラメーター α 、 β の決定方法について明記されていない。

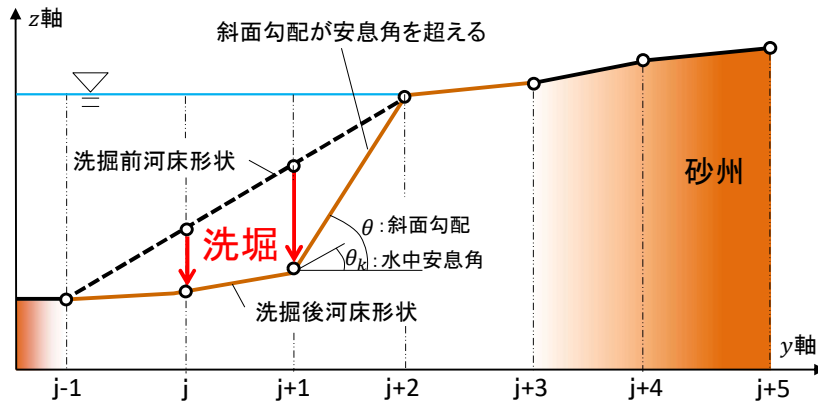
一方で、洪水流による大規模な砂州拡幅は主に砂州上を越流する流れにより生じるものと考えられ、砂州越流時の底面付近の流れと流砂運動を適切に解析できれば、上述した方法で側岸侵食を考慮せずとも、洪水流による砂州拡幅を計算できる可能性がある。



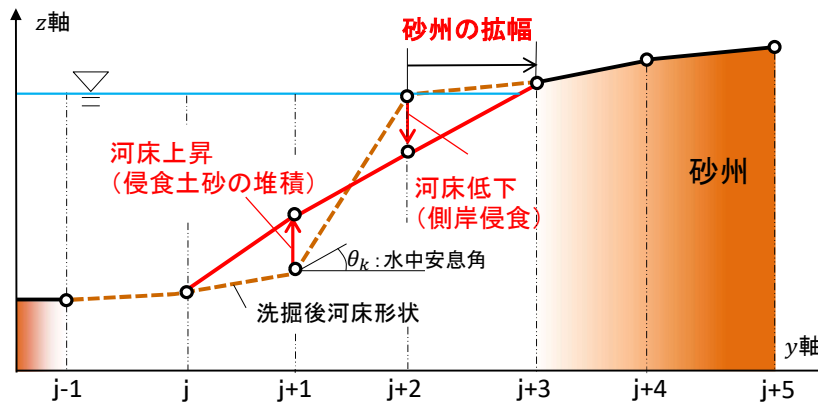
(a) 洪水前(昭和 61 年 6 月)航空写真 (b) 洪水時(昭和 61 年 8 月)航空写真

図 2-4 洪水前と洪水時の名取川河口航空写真¹⁵⁾一部加筆

平面二次元洪水流・河床変動解析では、大きな斜面勾配を有する砂州上の三次元性の強い底面付近の流れと流砂運動を適切に解析できないことから、既往研究では、河口砂州の拡幅を説明するために側岸浸食をモデル化する必要があったものと考えられる。



(a) 斜面の洗掘と側岸侵食の条件



(b) 側岸侵食による砂州拡幅と侵食土砂の堆積

図 2-5 側岸侵食モデルの概要

表 2-1 本研究と既往研究の河口砂州拡幅の解析法

		平面流況	水深平均流速場の 三次元流れ	底面付近の流れ と流砂運動	浮遊砂の 移流拡散	側岸侵食 モデル
(準三次元 解析法)	解析法1	○	○	斜面に沿う方向	3次元	/
	解析法2*	○	○	水平方向	3次元	/
	GBVC法 (著者ら, 2013)	○	○	水平方向	2次元	/
	SBVC法 (著者)	○	△ (静水圧分布を仮定)	水平方向	2次元	/
解析法3 (平面二次 元解析法)	桑原ら (1995)	○	△ (湾曲二次流を考慮)	水平方向	2次元	○
	竹林ら (2006) 著者	○	/	水平方向	2次元	/

* 解析法2はGBVC法の浮遊砂移流拡散を三次元に拡張した解析法

2.3 本研究の位置付け

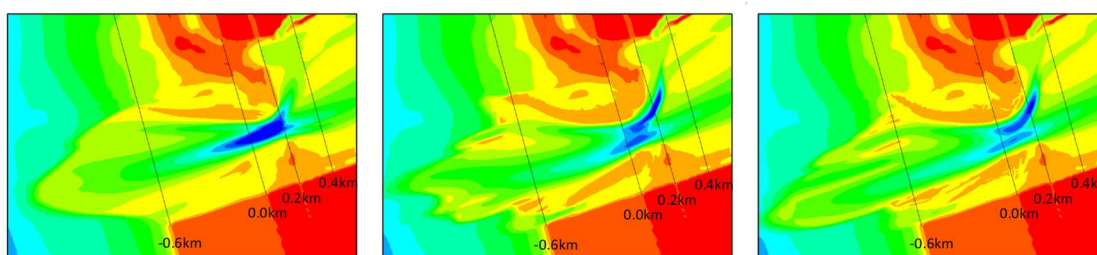
表 2-1 は、本研究と既往研究の河口砂州拡幅の解析法を示しており、それぞれの解析で考慮している流れと流砂運動について整理している。図 2-6、図 2-7 は、筆者が平面二次元解析法、浅水流の仮定を用いた底面流速解析法 (SBVC 法)、一般底面流速解析法 (GBVC 法) を用いて行った河口砂州拡幅の解析結果を示す。筆者による平面二次元解析法を用いた解析では、洪水後に観測された横断面河床形状に比べ、河口主流部の河床が大きく洗掘され、河口砂州が拡幅せず、砂州上の越流流れと流砂運動を適切に解析できなかった。このことから、平面二次元解析法を用いた既往研究では砂州の拡幅を十分評価できず側岸侵食による砂州拡幅を付加した解析の必要があったものと考えられる。

河口部では、砂州の存在により、洪水流の流線が大きく湾曲するため、複雑な三次元流れとなっている。大規模な砂州拡幅は、この流れが砂州上を越流することで生じるものと考えられる。このことから筆者^{20,21)}は、砂州上を越流する複雑な三次元流れを考慮し、底面付近の水平方向の流れ及びその方向の掃流砂を解くことが出来る内田・福岡²²⁾が開発した一般底面流速解析法 (GBVC 法, SBVC 法) を用い、砂州拡幅の解析を行った。図 2-7 より、この解析法を用いる事で、平面二次元解析に比べて砂州拡幅をかなりの程度解析できるようになった。しかし、この解析法では、底面付近の斜面に沿う流れと流砂運動を十分考慮しておらず、さらに浮遊砂濃度の移流拡散を二次元の方程式より解いていたため、洪水後に観測された河口砂州拡幅を十分に再現することは出来なかった。

これに対し、本研究では、河口砂州周辺の三次元流れ及び砂州上の斜面に沿う流れと流砂運動を適切に解析することで、洪水流による砂州拡幅を計算可能にすることを目指している。

福岡²²⁾は、観測水面形の時間変化には洪水時の水理現象が現れることに着目し、これを再現するように適切な解析法を用い、洪水流と河床変動を一体的に解析することで、洪水時の流れと河床変動を明らかにしてきた。この考えに基づき、国土交通省北陸地方整備局阿賀野川河川事務所と共同で、河口部における洪水時の水面形や砂州の変形を撮影するための観測体制を整えると共に、洪水前後に詳細な河口地形の測量を実施した。

本論文では、上記の観測を行った平成23年7月阿賀野阿川洪水に本研究で構築した解析モデルを適用し、観測水面形の時間変化を再現するように洪水流・河床変動解析を行うことで、洪水時の砂州拡幅と最終開口幅を説明する。



(a) 平面二次元解析法 (b) SBVC法 (c) GBVC法

図 2-6 筆者による平面二次元解析法，SBVC法，GBVC法を用いた砂州拡幅解析結果の比較(平面図)

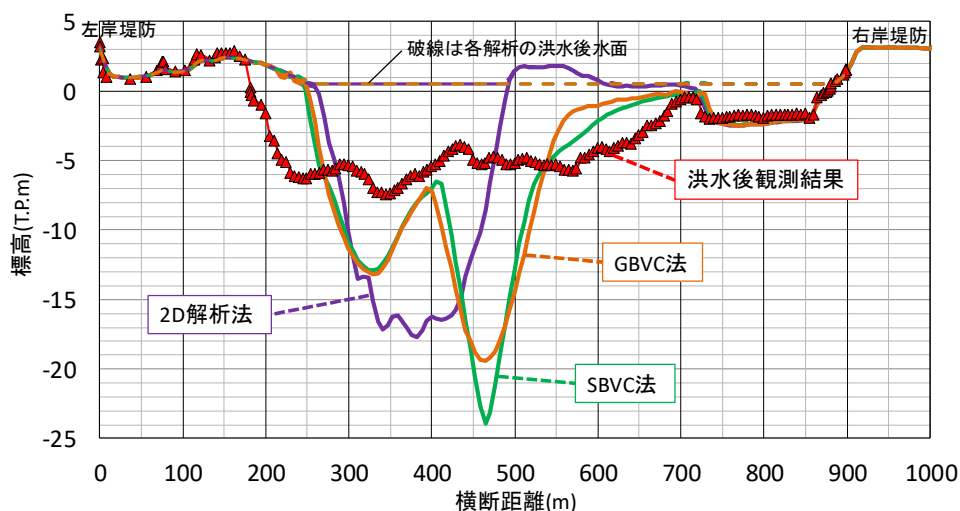


図 2-7 筆者による平面二次元解析法，SBVC法，GBVC法を用いた砂州拡幅解析結果の比較(0.2km横断面)

参考文献

- 1) Gregoire M. Maillet, Claude Vella, Serge Berne, Patrick L. Friend, Carl L. Amos, Thomas J. Fleury, Alain Normand : Morphological changes and sedimentary processes induced by the December 2003 flood event at present mouth of the Grand Rhone River (south France), *Marine Geology*, Vol.234, pp.159-177, 2006.
- 2) Hui Fan a, b, c, Haijun Huang a, Thomas Q. Zeng d, Kairong Wang e : River mouth bar formation, riverbed aggradation and channel migration in the modern Huanghe (Yellow) River delta, China, *Geomorphology*, Volume 74, Issues 1–4, pp.124-136, 2006.
- 3) N.C. Kraus: Inlet cross sectional area calculated by process-based model, *Proceedings of 26th International Conference on Coastal Engineering*, pp.3265-3278, 1998.
- 4) 谷口哲也, 沢本正樹, 首藤伸夫 : 出水による阿武隈川河口砂州変形過程の観測, *海岸工学講演会論文集*, Vol.33, pp.262-266, 1986.
- 5) 沢本正樹, 首藤伸夫, 谷口哲也 : 阿武隈川河口砂州の変形過程, *土木学会論文集*, Vol.387, II-8, pp.179-188, 1987.
- 6) 佐々木隆士, 宇多高明, 刀禰賢, 菅原信雄, 海野仁 : 洪水流による河口砂州のフラッシュ観測, *海岸工学論文集*, Vol.34, pp.327-331, 1987.
- 7) 高橋幹人, 武若聡 : 天竜川河口域の出水と波浪による地形変動の観測, *土木学会論文集B2 (海岸工学)*, Vol.70, No.2, pp.I_636-I_640, 2014.
- 8) 佐々木勇弥, 佐藤慎司 : 台風による天竜川河口砂州上の越流現象と地形変化, *土木学会論文集B2 (海岸工学)*, Vol.73, No.2, pp.I_655-I_660, 2017.
- 9) 土屋昭彦, 山口高志 : 河口砂州の崩壊に関する研究, *水理講演会論文集*, 第11回, pp.37-42, 1967.
- 10) 邵小敏, 田中仁, 首藤伸夫 : 非平衡流砂運動を伴う砂州崩壊, *水工学論文集*, 第35回, pp.435-440, 1991.
- 11) 邵小敏, 田中仁, 首藤伸夫 : 越流による砂州崩壊に関する研究, *土木学会論文集*, Vol.479, II-25, pp.31-40, 1993.
- 12) 佐藤勝弘, 首藤伸夫 : 洪水による河口砂州崩壊過程の数値計算, *海岸工学論文集*, Vol.39, pp.396-400, 1992.
- 13) 桑原直樹, 田中仁 : 名取川河口地形変化の数値計算, *海岸工学論文集*, Vol.41, pp.501-505, 1994.
- 14) 桑原直樹, 田中仁, 佐藤勝弘, 首藤伸夫 : 洪水時における河口地形変化の数値計算—格子間隔, 掃流砂, 浮遊砂, 二次流の効果について—, *海岸工学論文集*, Vol.42, pp.596-600, 1995.
- 15) 渡辺一也, Nguyen Trong Tu, 田中仁 : 洪水時の河口砂州崩壊とその回復過程, *海岸工学論文集*, Vol.52, pp.586-590, 2005.
- 16) 竹林洋史, 江頭進治, 金海生, 佐々木忠志 : 洪水時における河口砂州上流域の水位変動特性, *応用力学論文集*, Vol.9, pp.997-1006, 2006.

- 17) 永瀬恭一, 道上正規, 檜谷治: 狭窄部を持つ山地河川の河床変動計算, 水工学論文集, Vol.40, pp.887-892, 1996.
- 18) 佐川拓哉, 大谷靖郎, 市川真吾, 武内慶丁, 山下武宣: 河口砂州フラッシュの再現計算と要因分析, 水工学論文集, Vol.51, pp.955-960, 2007.
- 19) 立山政樹, 内田龍彦, 福岡捷二, 田部成幸: 大規模洪水時の河口砂州と周辺河床の変動解析-平成23年阿賀野川洪水を対象として-, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.69, No.4, pp.I_1009-I_1014, 2013.
- 20) 立山政樹, 山崎友子, 田部成幸, 内田龍彦, 福岡捷二: 洪水流による河口砂州フラッシュの新しい解析法に関する研究, 河川技術論文集, Vol.19, pp.183-188, 2013.
- 21) 内田龍彦, 福岡捷二: 非平衡粗面抵抗側を用いた一般底面流速解析法の導出と局所三次元流れへの適用, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.71, No.2, pp.43-62, 2015.
- 22) 福岡捷二: 洪水水面形観測情報の広域的・統合的活用による流域治水の考え方の構築に向けて, 河川技術論文集, 第23巻, pp.251-256, 2017.

第3章 十分発達した河口砂州を有する阿賀野川河口域における 平成23年7月阿賀野川洪水流と河口砂州の変形観測

3.1. 阿賀野川と平成23年7月洪水の概要

本章では、まず、十分発達した阿賀野川の河口砂州の特徴を示し、観測史上最大の洪水流量を記録した平成23年7月阿賀野川洪水の観測体制と本洪水による河口砂州の開口状況を示す。

図3-1は阿賀野川の流域図¹⁾を示す。阿賀野川は、利根川との流域界にあたる荒海山に端を発し、会津盆地を経て、新潟平野を貫流し日本海に注ぎ、河口の両岸には大きな河口砂州が発達している。阿賀野川の幹線流路延長は210kmであり、流域面積は7,710km²である。基準点である河口から34.6km(馬下)地点の基本高水流量は15,700m³/s、計画高水流量は13,000m³/sであり、日本有数の大河川である。図3-2は、平成23年7月洪水時に横越地点(13.5km)において観測された浮子観測流量とH-Q流量ハイドログラフを示す。本洪水は新潟県中越・下越地方および福島県只見地方に多くの災害(平成23年7月新潟・福島豪雨)をもたらした大洪水であり、本洪水の横越地点でのピーク流量は約11,000m³/sであり、阿賀野川で観測史上最大の洪水であった。



図3-1 阿賀野川流域図¹⁾(一部加筆)

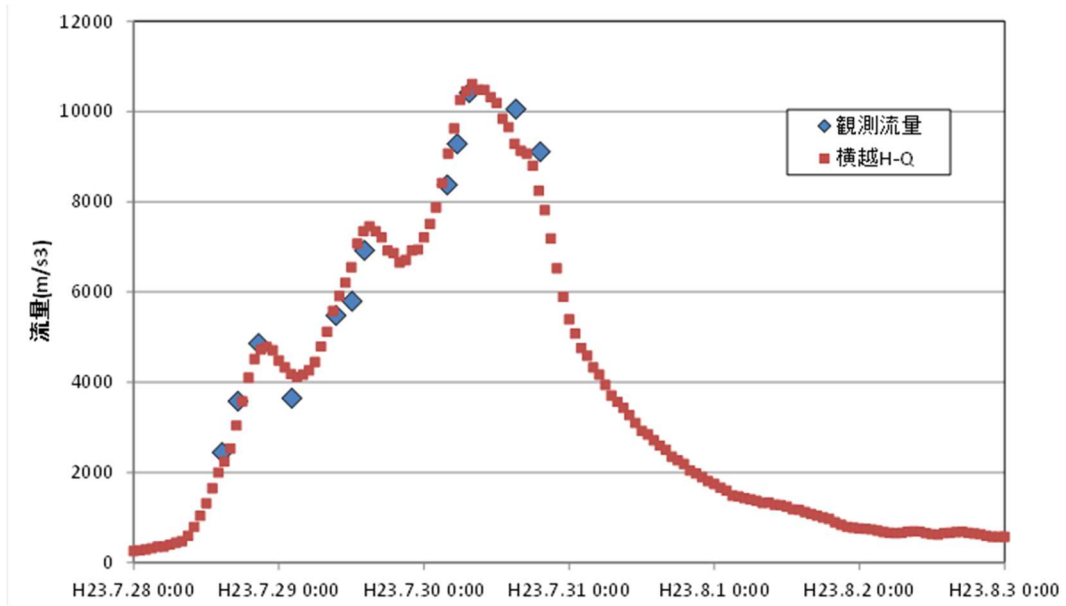


図 3-2 平成 23 年 7 月洪水流量ハイドログラフ(横越)

3.2. 十分発達した阿賀野川河口砂州の特徴

阿賀野川の河口砂州は、**図 3-3** に示す平成 22 年 11 月時点の航空写真のように、発達した河口砂州が両岸に形成されている。両岸から発達した河口砂州の開口部の水面幅は平水時で 200m 程度であり、河口砂州上流河道の水面幅(約 1,000m)と比べて、急激に狭窄している。このため、船舶の交通や魚類の遡上・降下が妨げられることが問題となっている。また、洪水時には、河口砂州が河道内の水位を上昇させ、堤防越水の危険性の増大や支川の排水困難を引き起こす。**図 3-4** は平成 23 年 7 月洪水前後の河口部航空写真を示し、**図 3-5** は洪水前後の 0.2km 横断形状を示す。洪水前の横断形状に着目すると、砂州の横断勾配は、最大 1/6 程度であり、阿賀野川下流部の平均河床勾配 1/15,000 に比べて急勾配となっていることが分かる。**図 3-5** より、平成 23 年 7 月洪水では、河口砂州が約 250m に渡り、大きく拡幅をしたことがわかる。また、洪水前河口主流部(横断距離 250m から 450m)の河床は、この洪水により約 3m 埋め戻されたことが分かる。

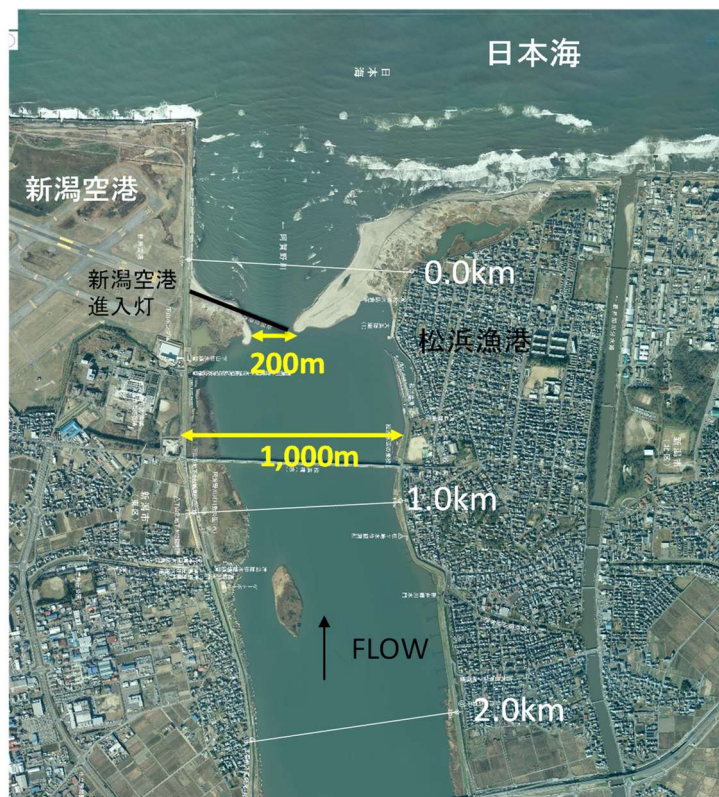


図 3-3 平成 22 年 11 月撮影垂直航空写真

洪水前航空写真
(平成22年11月30日)



洪水直後航空写真
(平成23年8月4日)

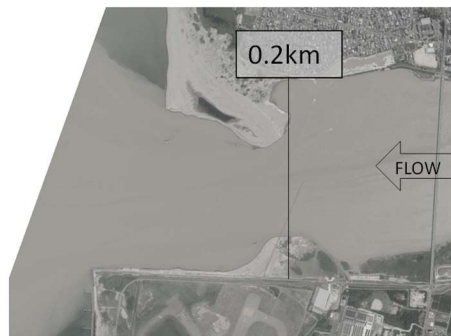


図 3-4 平成 23 年 7 月洪水前後の河口部航空写真

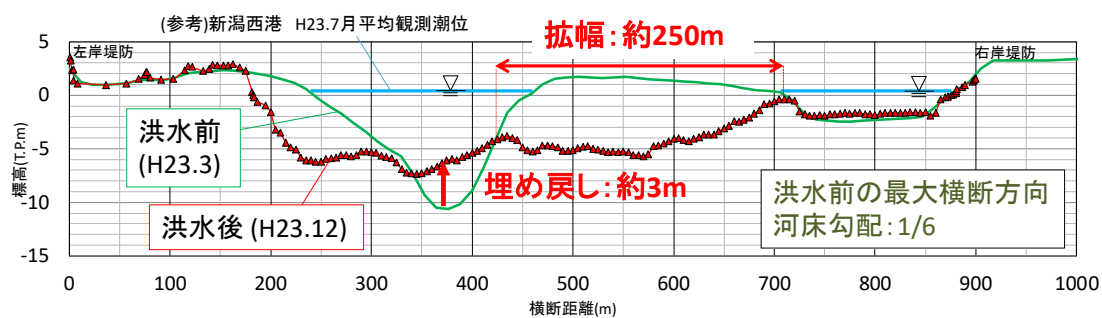


図 3-5 平成 23 年 7 月洪水前後の 0.2km 横断面図

3.3. 阿賀野川河口砂州の経年的地形変化

ここでは、研究対象河川とする阿賀野川の河口砂州の経年変化を示す。図 3-6 から図 3-8 は、昭和 21 年から平成 28 年に撮影された阿賀野川の河口砂州の航空写真を示す。河口砂州は昭和 40 年頃から両岸に形成されるようになり、左岸の砂州は新潟空港の進入灯(0.1km 付近)の下流に形成されている。しかし、平成 17 年頃以降では、左岸の砂州の形成位置が上流側に移動し、平成 28 年時点では、左岸の砂州は新潟空港の進入灯の上流に形成されるようになっている。図 3-9 は、平成 13 年から平成 27 年までの河口砂州の汀線の経年変化を示す。前述のように、左岸側の河口砂州は平成 17 年頃から新潟空港の進入灯の上流に形成されるようになっていることが分かる。一方、右岸側の砂州は、砂州形状が変化しているものの、経年的にはほぼ同じ位置に形成されている。左岸側の砂州の移動に伴い波浪が直接衝たるようになった場所では、護岸の被災が報告されている。このため、河口砂州の拡幅機構及び拡幅された土砂が海域のどの場所にどの様に堆積するのかを把握することが重要である。図 3-10 は、昭和 37 年から昭和 47 年の阿賀野川河口沖の等深線の経年変化⁵⁾を示している。図より、標高 0m から-20m までの等深線の全てが海側から陸地側方向に後退していることが分かる。

次に、既往洪水による阿賀野川河口砂州の開口状況について述べる。図 3-11 は過去の $6,000\text{m}^3/\text{s}$ 以上の洪水における河口砂州の開口状況を示し、図 3-12 は $4,500\text{m}^3/\text{s}\sim 6,000\text{m}^3/\text{s}$ の既往洪水における河口砂州の開口状況を示す。ここで、汀線測量は河口付近で河床高が $0.5(\text{T.P.m})$ の高さを繋いだ等高線である。これらの観測データより、阿賀野川河口砂州は $4,500\text{m}^3/\text{s}\sim 6,000\text{m}^3/\text{s}$ 程度の洪水では大きく開口する場合とあまり開口しない場合もあるものの、約 $6,000\text{m}^3/\text{s}$ 以上の洪水で河口砂州が大きく開口することが経験的に推定されている³⁾。

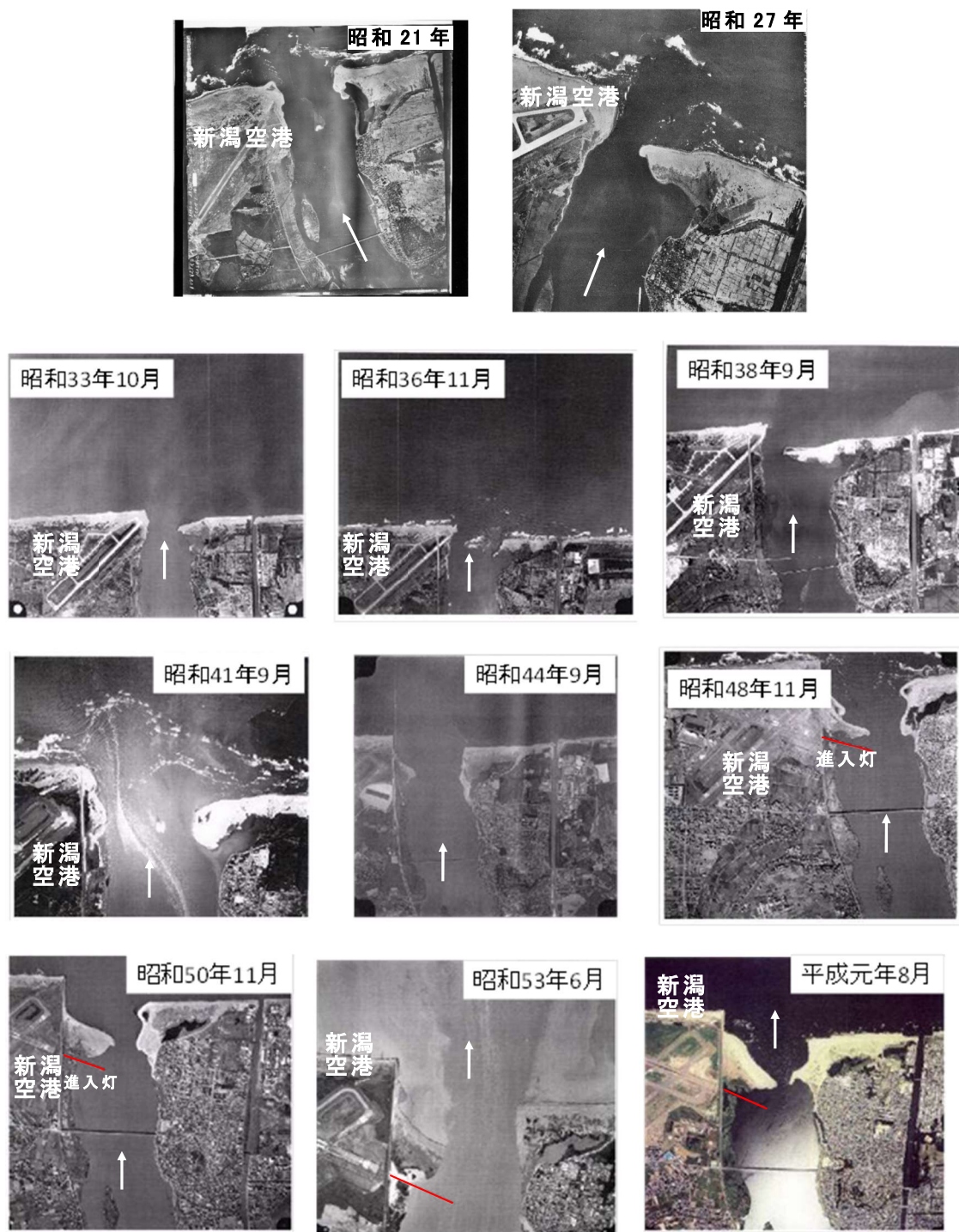


図 3-6 昭和 21 年～平成元年までの河口砂州の航空写真²⁾³⁾(一部加筆)