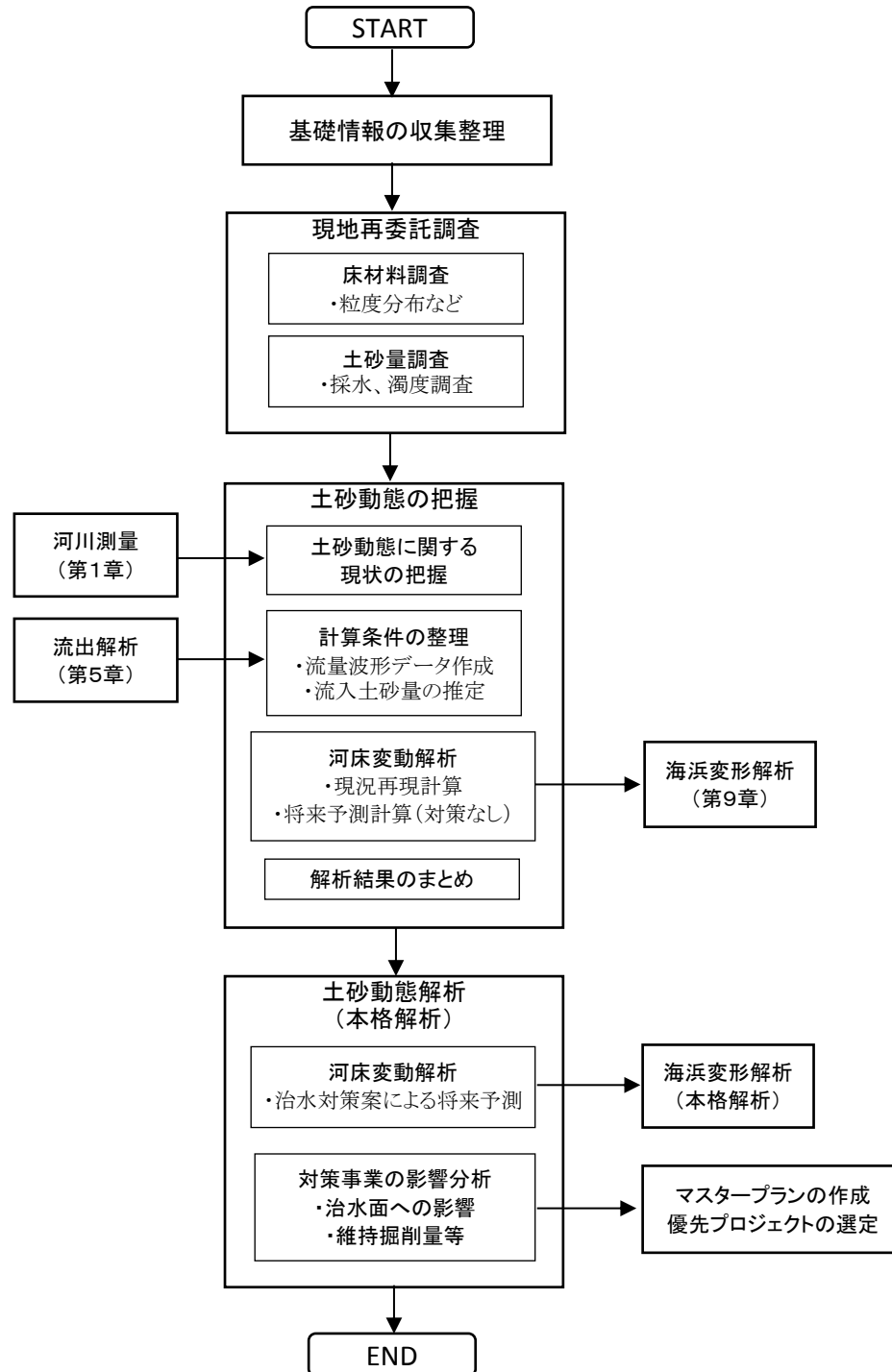


## 第9章 総合土砂管理

本章ではナンディ川の土砂動態について、主に現況把握の観点から調査、検討を実施した。

ナンディ川において特に重要な土砂動態は、海浜を形成する砂分、シルト分など浮遊砂の流出土砂量の把握である。これら浮遊砂は主に本川及び支川の上流・中流域で生産される表面侵食土砂と推定される。

そこで、浮遊砂の流出量の現状を把握するために必要な現地再委託調査を実施し、本プロジェクトで別途実施された河川地形測量、流出解析モデルを用いて河床変動解析を実施した。そして、解析結果を基にナンディ川流域における現況及び将来の土砂移動量や河口流出土砂量を算出した。



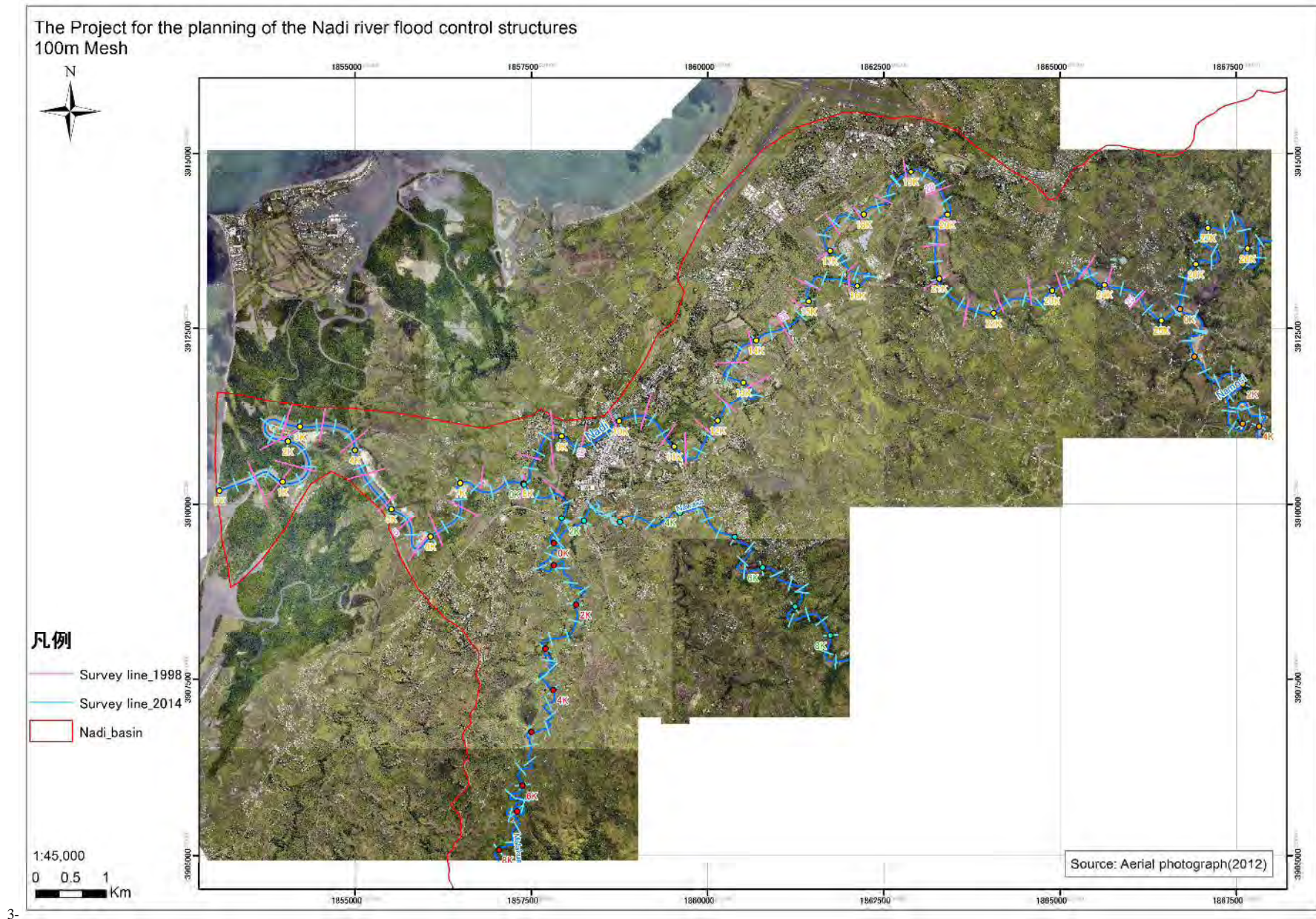
## 9.1 基礎情報の収集・整理

河川の土砂動態を把握するにあたり、資料収集整理を実施した。

### 9.1.1 河道地形

河道地形の変化を把握するため、1998年に実施されたナンディ川本川の河道横断測量及び本プロジェクトで実施した河道横断測量の成果を基に川幅、最深河床高、平均河床高の縦断図を整理した。

図 9-1 に横断測量の測線位置図、縦断図を図 9-2～図 9-4 に示す。なお、川幅、平均河床高については左右岸の地盤高を基準として整理した。



3-

図 9-1 過年度及び本プロジェクトにおける河川横断測定の測線位置図

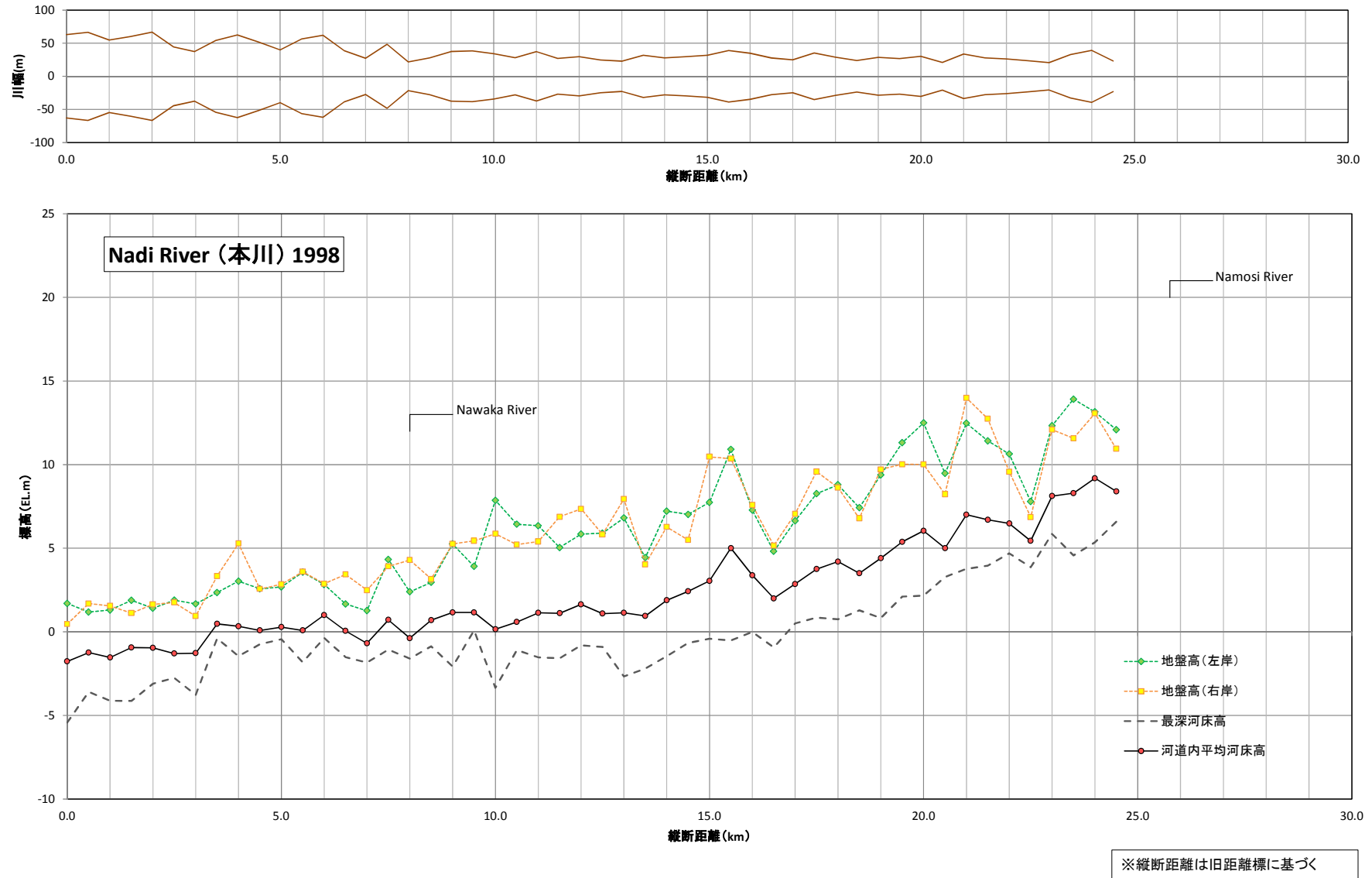


図 9-2 河川縦断図 (1998 年、ナンディ本川)

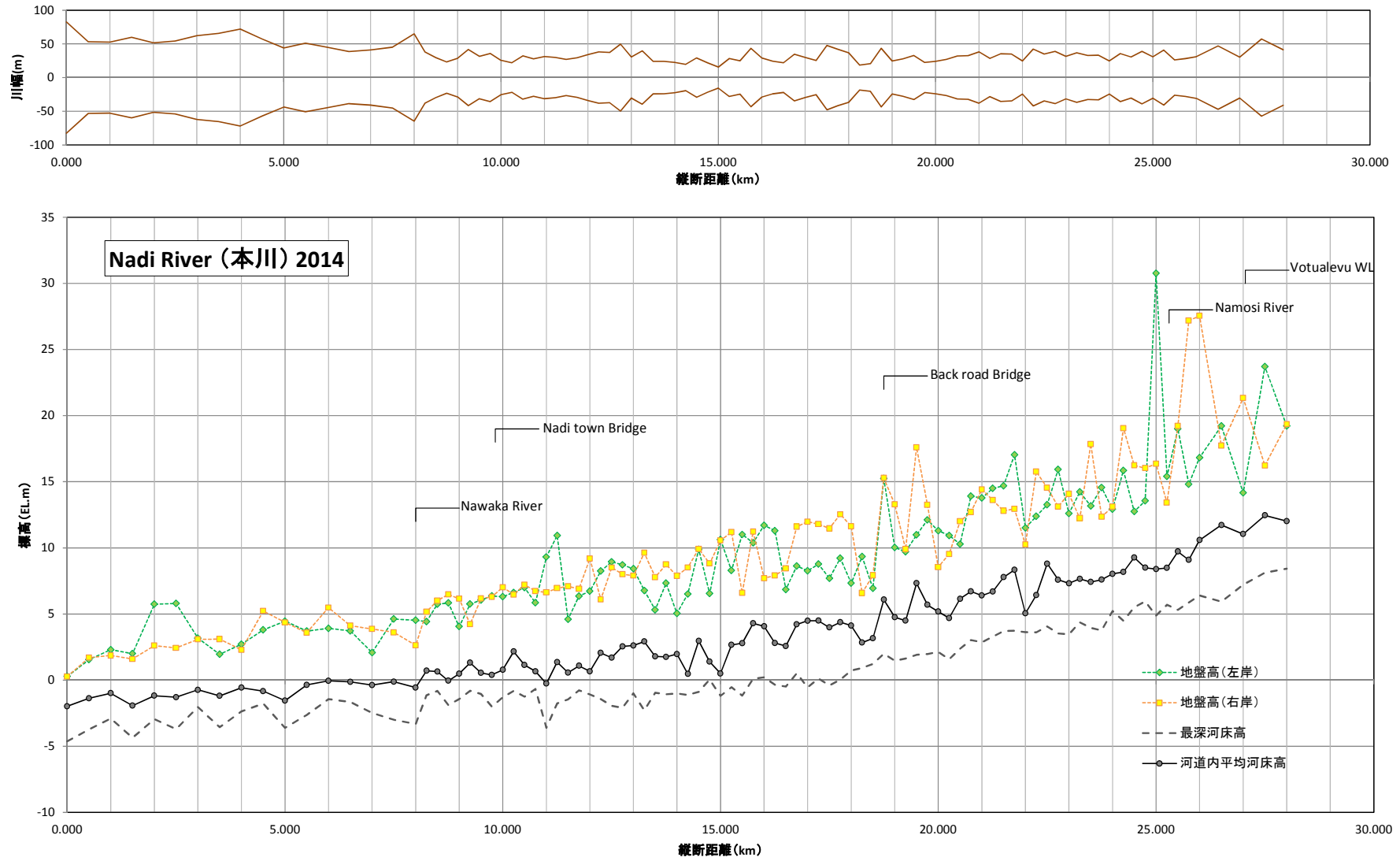


図 9-3 河川縦断図 (2014 年、ナンディ本川)

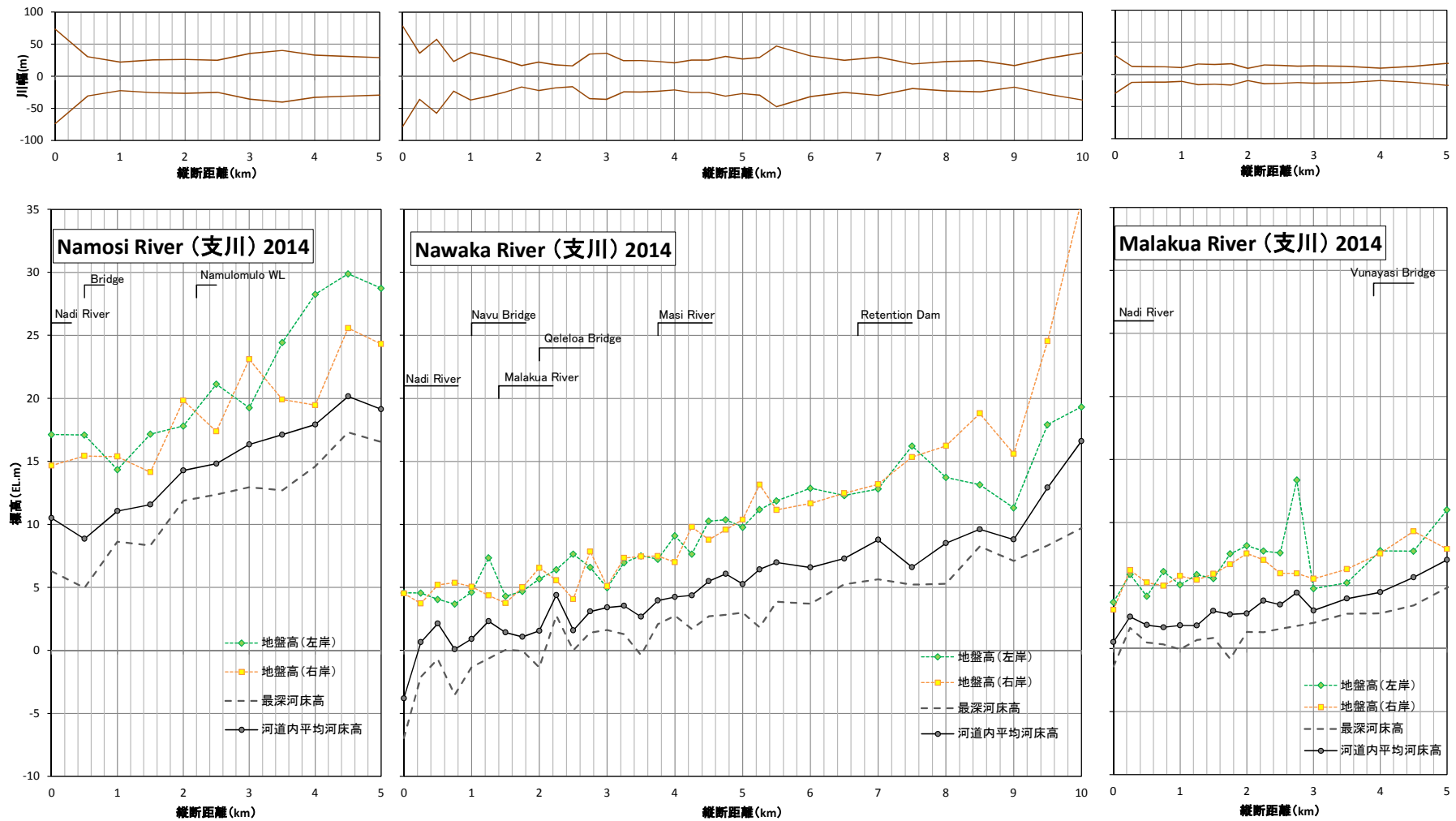


図 9-4 河川縦断図 (2014年、ナンディ川支川：ナモシ川、ナワカ川、マラクア川)

### 9.1.2 河道浚渫

ナンディ川で過去に実施された河道浚渫、砂利採取の実施状況について整理した。河道浚渫の実績を表 9-1 に示す。河道浚渫は 2008～2012 に本川の河口部において、累計で 1,651 千 m<sup>3</sup> の浚渫が実施されている（実施位置は図 9-5 を参照）。なお、詳細な実施時期は不明である。

表 9-1 ナンディ川における河道浚渫の実績

実施年	対象区間	掘削土砂量	備考
2008	-1.2k～0.5k	365 千 m <sup>3</sup>	
2009	0.5k～3.7k	409 千 m <sup>3</sup>	
2010	3.7k～7.775k	498 千 m <sup>3</sup>	
2012	-1.2k～6.975k	379 千 m <sup>3</sup>	2012.3 洪水後に実施
合計		1,651 千 m <sup>3</sup>	

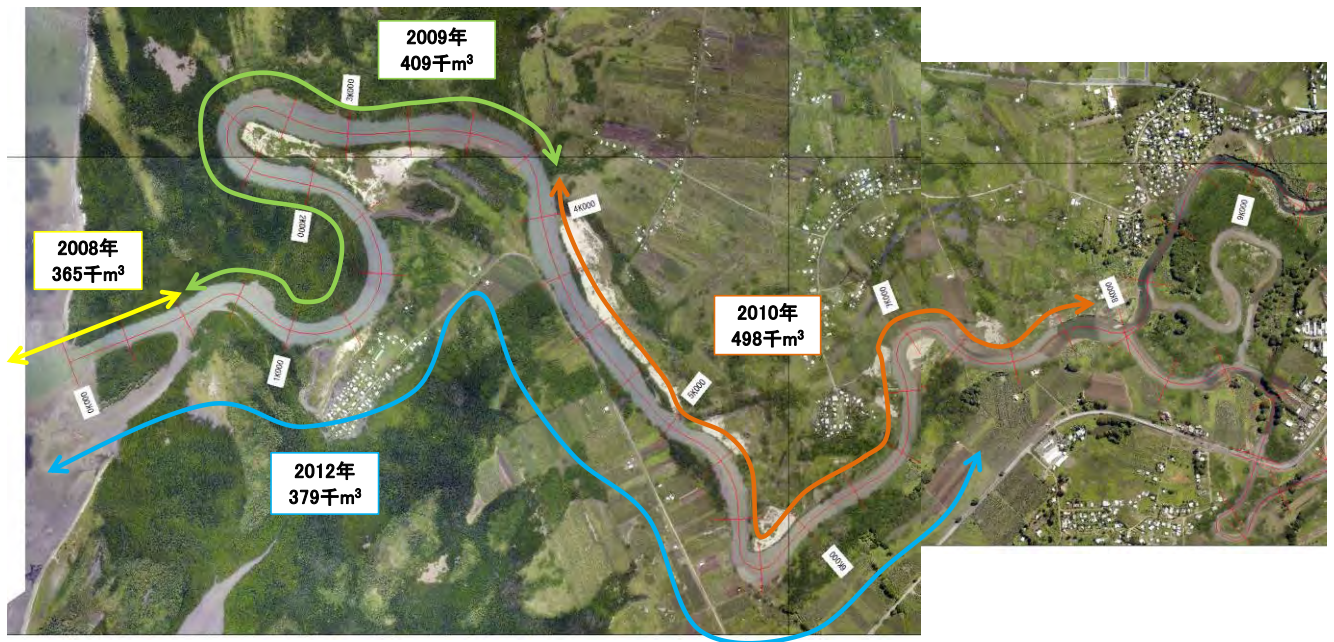


図 9-5 河道浚渫の実施位置図

### 9.1.3 その他

#### (1) ダム堆砂量

バツルダムの堆砂量について収集整理を実施したが、堆砂測量は実施されていなかった。

同ダムは 1982 年に完成したダムであり、現在約 32 年が経過している。ダム上流の流域面積は 38.6km<sup>2</sup> であり、ナンディ川全流域 (516km<sup>2</sup>) の約 7% の流出土砂量がダム貯水池で捕捉されていると考えられる。



## 9.2 現地再委託調査

### 9.2.1 河床材料調査

#### (1) 調査概要

河床材料調査の概要を表 9-2 に示す。調査は 2014 年 11 月 11 日～11 月 13 日に実施した。調査地点を図 9-6 に示す。調査箇所は全 13 箇所であり、本川（ナンディ川）で 6 箇所、ナモシ川で 1 箇所、ナワカ川で 2 箇所、マラクア川で 2 箇所、デナラウ湾で 2 箇所である。なお、デナラウ湾については第一次調査において、ナンディ本川がデナラウ湾に分派していることが明らかとなったため、派川およびデナラウ湾における調査を追加したものである。

表 9-2 河床材料調査の概要

項目	内 容	備 考
調査期間	2014 年 11 月 11 日～2014 年 11 月 13 日	
調査箇所	13 箇所（本川、支川、デナラウ湾）	
調査項目	河床材料の粒度分布	

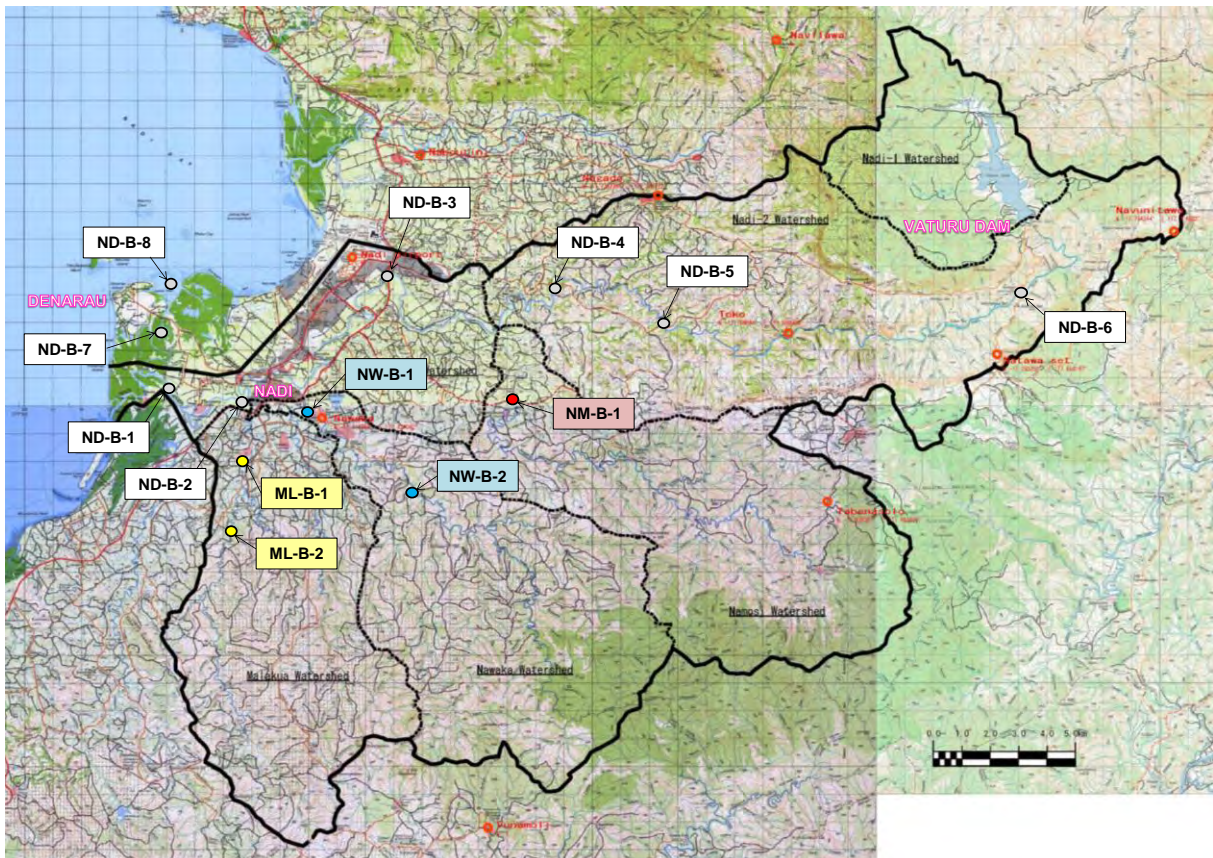


図 9-6 河床材料調査の実施箇所

調査方法は、下流の感潮区間は河床が水中であるため、採泥器（エクマンバージ型採泥器）によって採取した（図 9-7）。その他の区間に関しては河原の水際において、表層及び下層の河床材料採取を行った（図 9-8）。表層の粗粒分は現地でサイズ(長径・中径・短径)と重量を計測し、下層は表層 0.5m を剥ぎ取って河床材料採取を実施した。



図 9-7 水面下における河床材料の採取（感潮域、デナラウ湾）



図 9-8 河原における河床材料の採取（河川中流・上流）

**(2) 調査実施状況**

調査実績を表 9-3 に、代表的な調査地点の調査実施状況を表 9-4 に示す。調査全地点に同行し、現場における採取位置を選定し、採取方法について技術的な指導を合わせて行った。

**表 9-3 河床材料調査の実施状況（実績）**

No	調査地点	縦断距離	調査方法	調査位置	備考
1	ND-B-1 (ナンディ川)	4.1k	水中採取	流心部 (表層)	感潮域 (常時水面が存在する箇所)
2	ND-B-2 (ナンディ川)	7.9k	陸面採取 (干潮時に実施)	中州 (表層・下層)	感潮域 (干潮時は河床が露出する)
3	ND-B-3 (ナンディ川)	18.8k	陸面採取	中州 (表層・下層)	Back-load Bridge
4	ND-B-4 (ナンディ川)	30.5k	陸面採取	中州 (表層・下層)	
5	ND-B-5 (ナンディ川)	35.6k	陸面採取	中州 (表層・下層)	
6	ND-B-6 (ナンディ川)	53.7k	陸面採取	中州 (表層・下層)	ハツルタム直下地点
7	ND-B-7 (デナラウ湾)	—	水中採取	流心部 (表層)	ナンディ川からの派川
8	ND-B-8 (デナラウ湾)	—	水中採取	流心部 (表層)	
9	NM-B-1 (ナモシ川)	5.2k	陸面採取	中州 (表層・下層)	
10	NW-B-1 (ナワカ川)	4.8k	陸面採取	中州 (表層・下層)	
11	NW-B-2 (ナワカ川)	10.8k	陸面採取	中州 (表層・下層)	
12	ML-B-1 (マラクア川)	2.8k	陸面採取	中州 (表層・下層)	
13	ML-B-2 (マラクア川)	7.8k	陸面採取	中州 (表層・下層)	

表 9-4 河床材料調査の実施状況 (例：ナモシ川 NM-B-1)

調査位置 (遠景)	調査位置 (近景)
	
採取土砂 (表層)	採取土砂 (下層)
	
河川水を用いた採取容積の計測	調査風景
	

### (3) 調査結果

調査結果を以下に示す。

- ▶ ナンディ川本川は粒径 0.1mm 以下の粘土・シルト成分から最大 200mm 程度の玉石まで幅広い粒径が存在する。
- ▶ 支川はマラクア川の中流部地点(NL-B-1)を除いてほぼ同じ粒度分布である。
- ▶ ナンディ川河口部の河床材料(ND-B-1)は 1mm 以下であり、1mm 以下の成分が河口から流出しており、海岸へ供給されている。

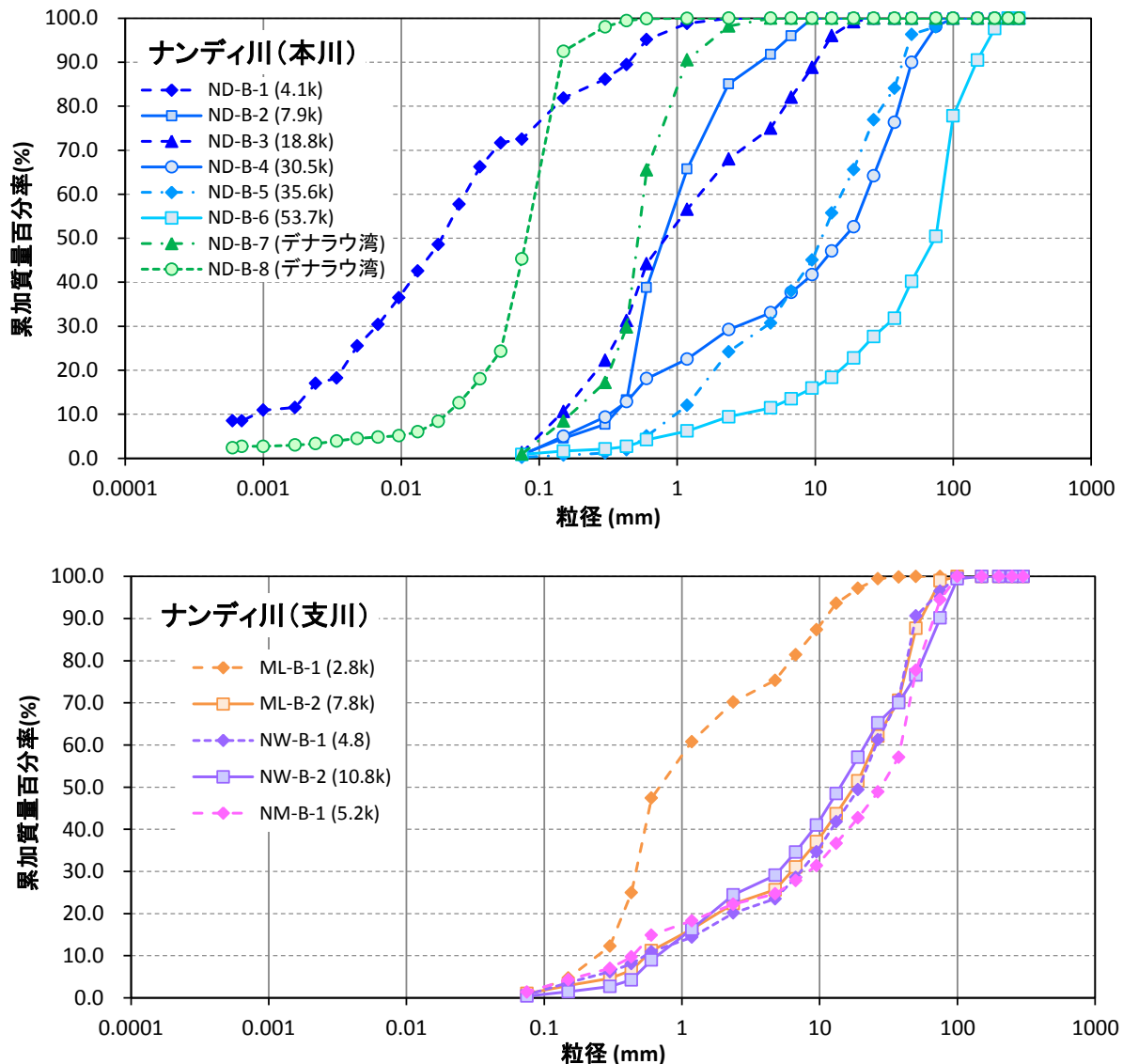


図 9-9 河床材料調査結果 (粒径加積曲線)

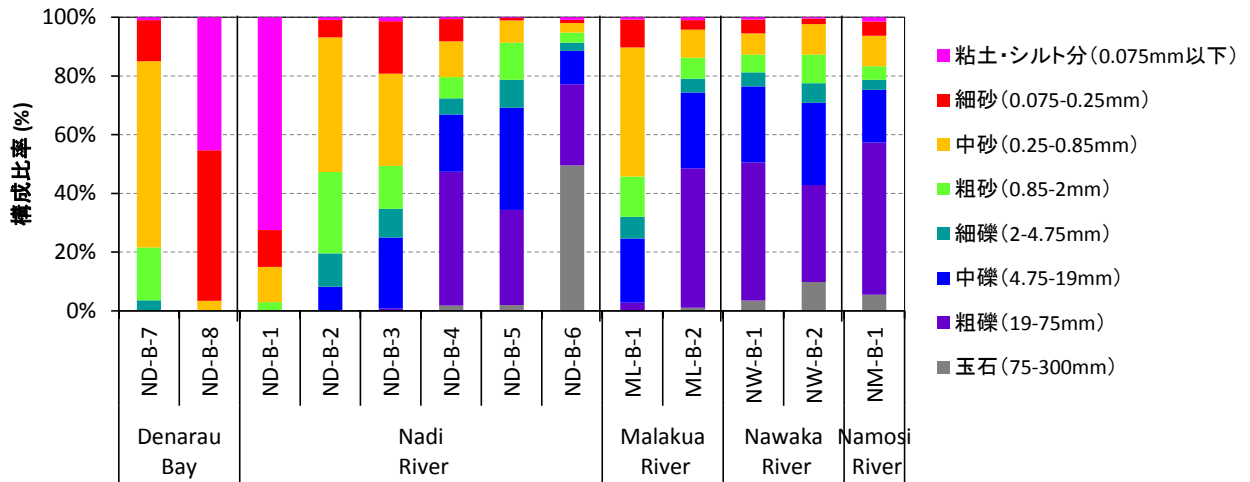


图 9-10 河床材料調査結果 (粒度構成比率)

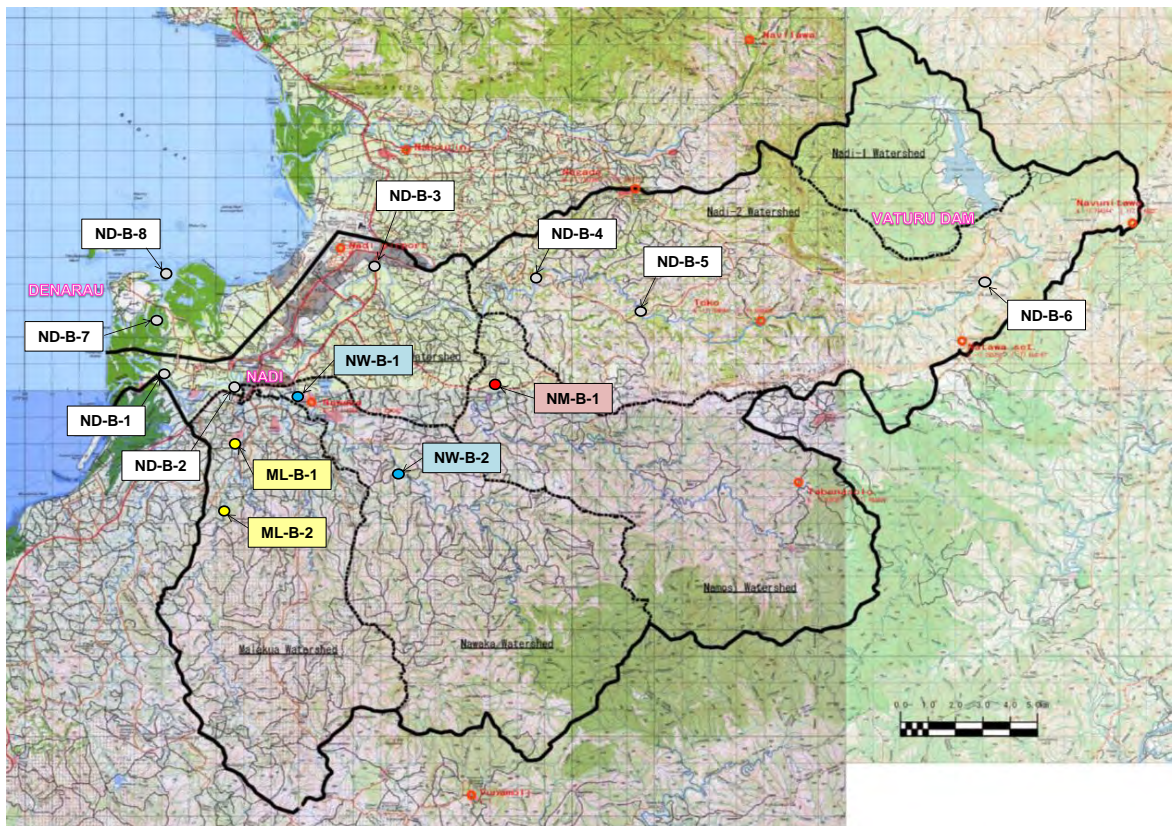


图 9-11 河床材料調査位置図 (再掲)

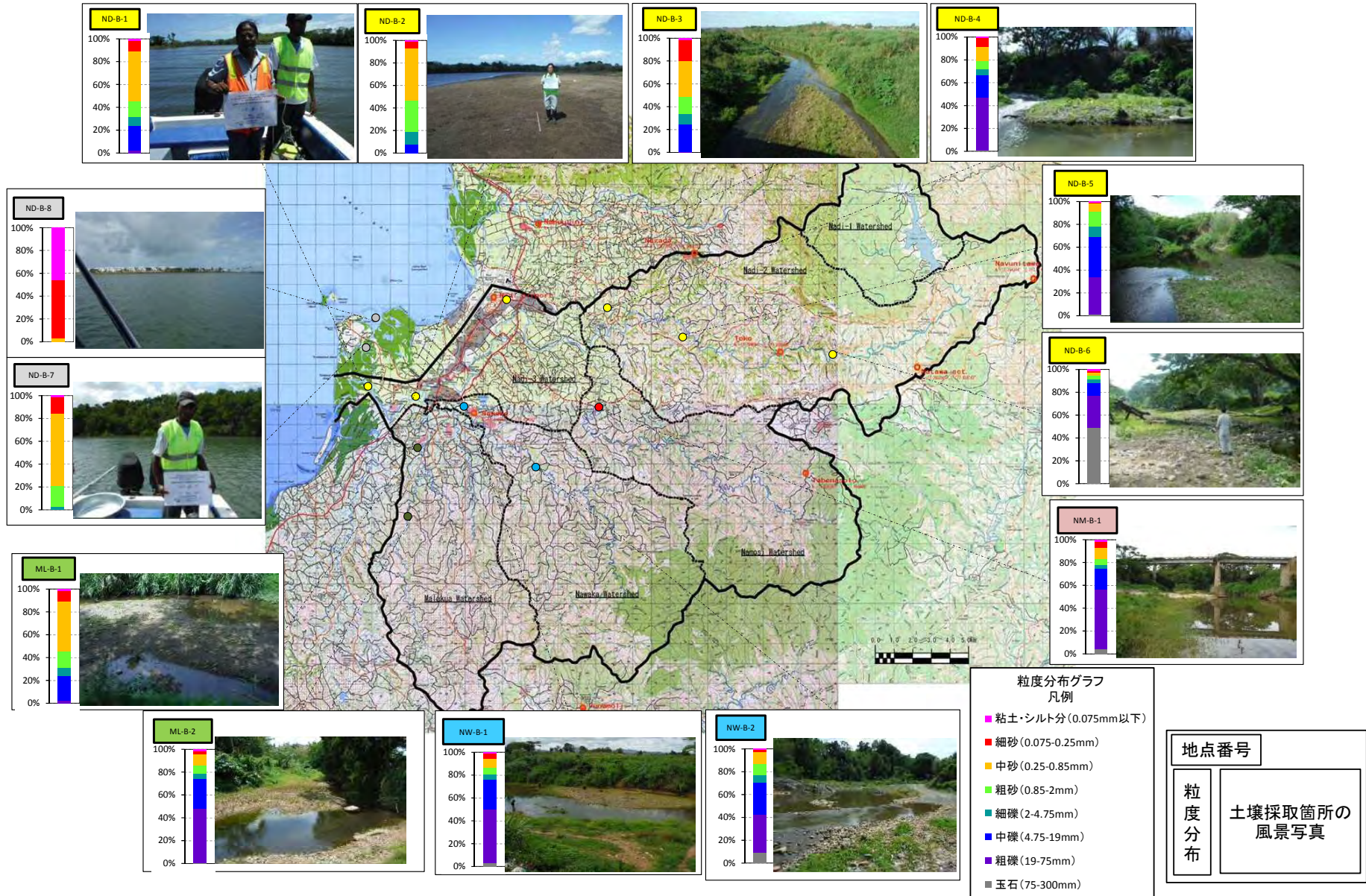


図 9-12 河床材料調査地点の様子

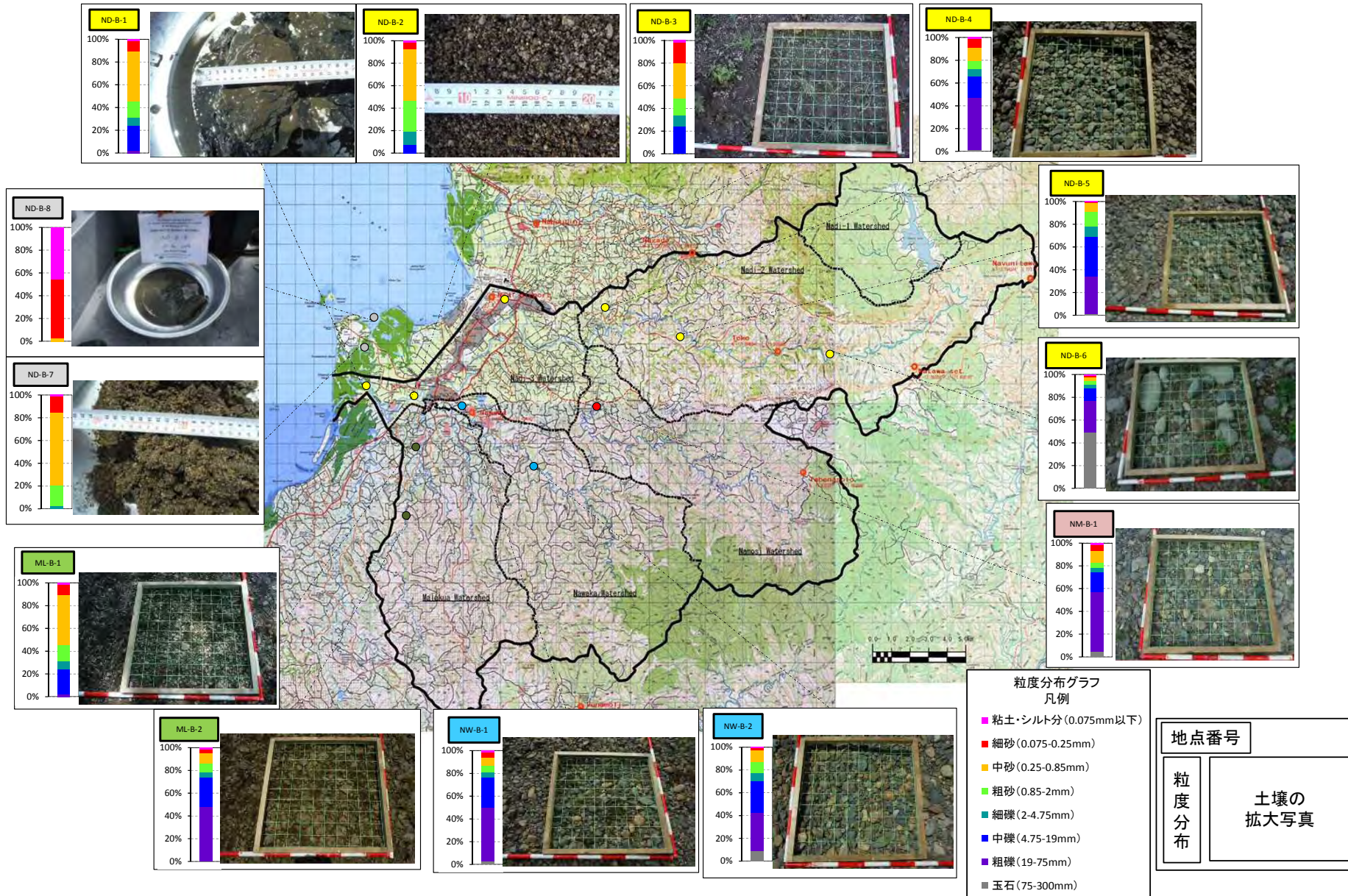


図 9-13 河床材料調査地点の様子 (河床材料)



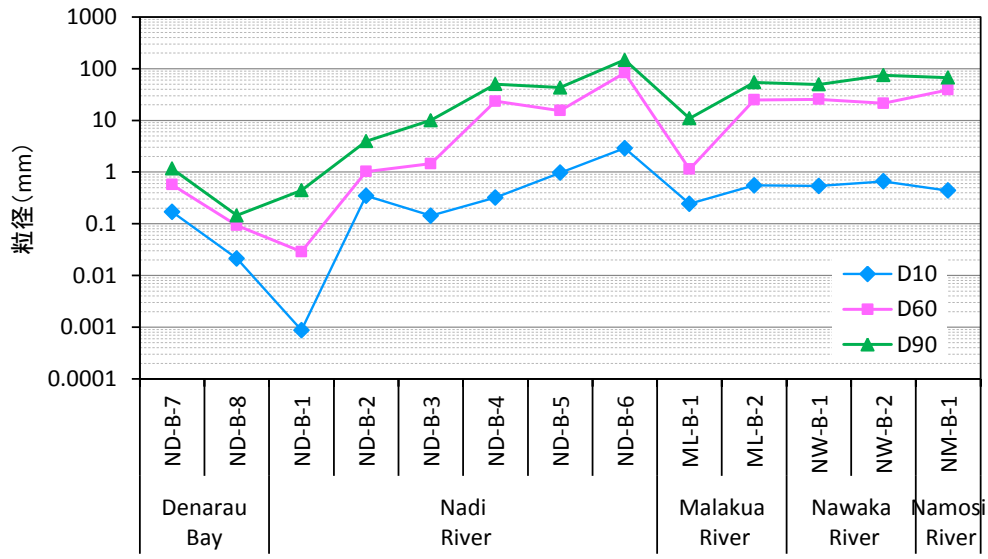


图 9-14 河床材料调查结果 (D<sub>10</sub>、D<sub>60</sub>、D<sub>90</sub>)

## 9.2.2 濁度調査・流量観測

ナンディ川の流出土砂の実態を把握するため、濁度に関する採水調査、濁度計・水位計の設置、流量に関する観測を実施した。以下に、各調査の概要および調査結果を述べる。

### (1) 採水調査

#### 1) 調査概要

採水調査の概要を表 9-5 に示す。調査は低水時の流況、流下土砂量を調査する目的であり、2014 年 11 月から 2015 年 3 月に 4 回実施した。調査地点を図 9-15 に示す。

表 9-5 採水調査の概要

項目	内容	備考
調査期間	2014 年 11 月～2015 年 3 月	
調査回数	全 5 回 (毎月 1 回)	
調査地点	7 箇所	本川 3 箇所、ナモシ川 1 箇所、ナカ川 2 箇所、マラクア川 1 箇所
採取方法	バケツ採水	採取量 2L
水質分析項目	S S 濃度	

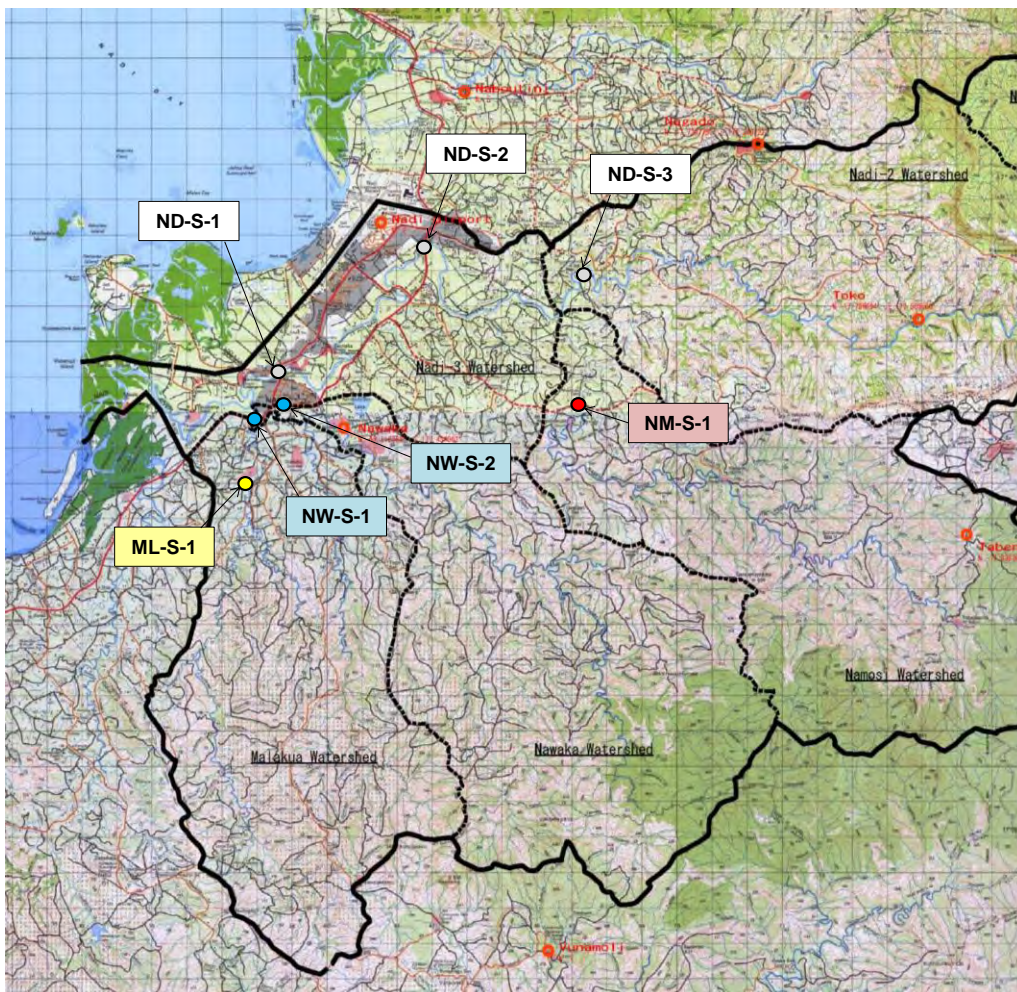




図 9-16 採水調査の調査風景 (例：マラクア川 ML-S-1)

## 2) 採水調査結果

採水調査の結果を表 9-6、図 9-17 に示す。

- 調査は乾季から雨季にかけて 5 回実施したが、1 月以降、高い濁度が確認された。
- 2 月の観測では、いずれの地点も高濃度の濁度が見られるが、特に、支川のナモシ川で高い濁度が認められた。

表 9-6 採水調査結果

調査日	NadiMainRiver			NamosiRiver	NawakaRiver		MalakuwaRiver
	ND-S-1 Nadi Town Bridge	ND-S-2 Back road Bridge	ND-S-3 Votua levu WL Station	NM-S-1 Mulomulo Bridge	NW-S-1 Navu Bridge	NW-S-2 Geleloa Bridge	ML-S-1 Wooden Bridge
2014/11/18	5	7	6	10	6	7	1
2014/12/19	8.8	13	7.8	6	8.4	7	1.7
2015/1/21	47	180	177	170	48	34	18
2015/2/17	123	59	51.9	338	89	64	62.1
2015/3/20	39.4	17.4	10.9	13.2	11.4	12.2	18.1

(単位:NTU)

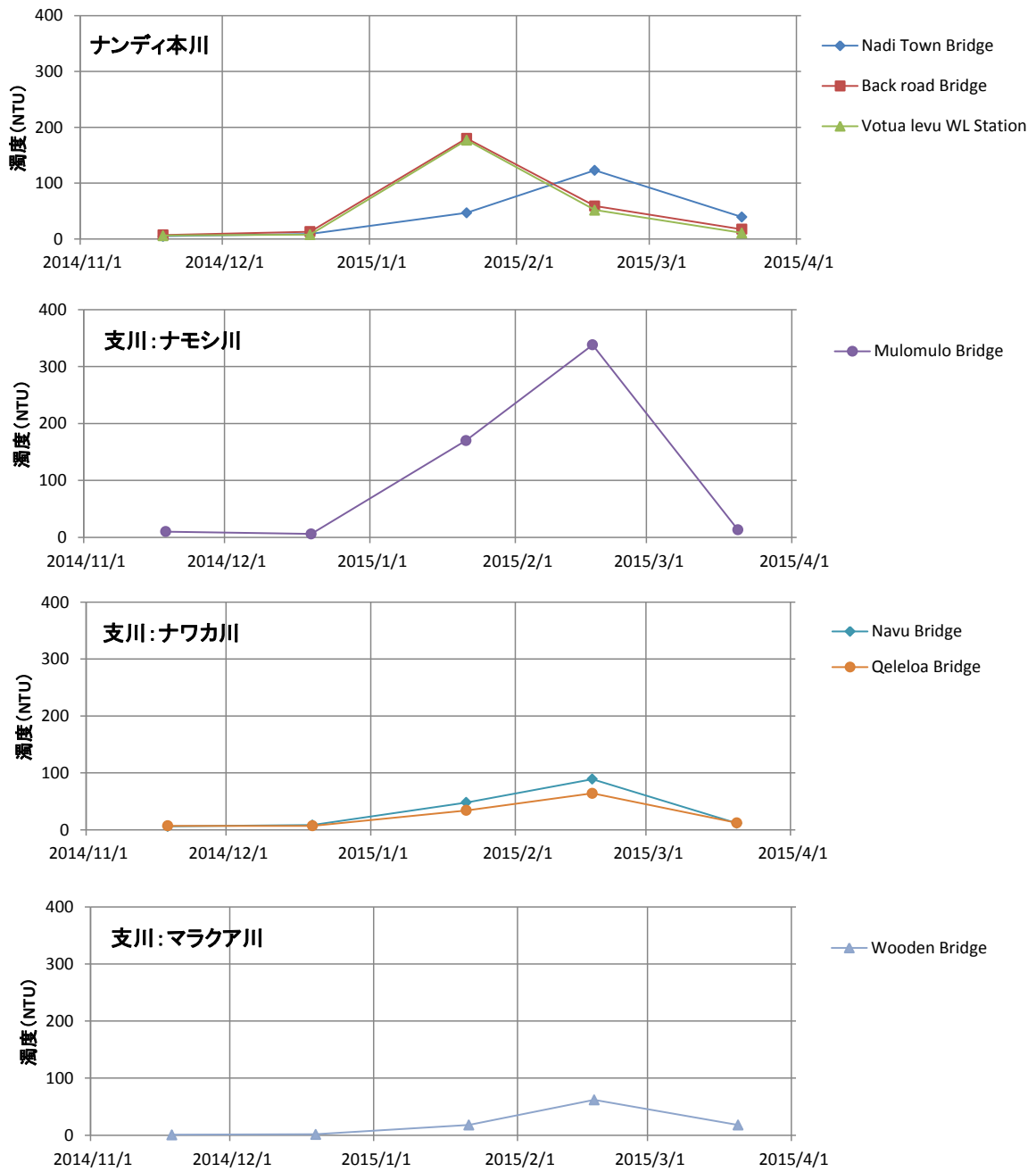


図 9-17 採水調査結果

### 9.2.3 低水流観

#### (1) 調査概要

低水流観の概要を表 9-7 に示す。低水時の浮遊土砂量を調査することが目的であり、12 月～3 月にかけて毎月 1 回実施した。測定位置は別途実施する高水流観で設定した測線を用いることとした。測線上にメモリー付きのロープを張り、1～2m 間隔で水深と流速を計測した。

そのうえで区間ごとの面積と平均流速から区間流量を算出し、横断全体での流量を算出した。算出結果の一例を表 9-8 に示す。

表 9-7 低水流観の概要

項 目	内 容	備 考
調査期間	2014 年 12 月～2015 年 3 月	
調査回数	4 回 (毎月 1 回)	
調査地点	4 箇所	本川 2 箇所、ナモンシ川 1 箇所、ナワカ川 2 箇所
計測方法	測線上で 1～2m 間隔で水深と流速を各 2 回計測	平均値で流量を計算
計測項目	水深、流速	流速は現地の水深に合わせて 1 点法、2 点法により実施



図 9-18 低水流観の調査風景 (例：ナンディ本川 ND-S-2)

表 9-8 整理結果の一例

THE PROJECT FOR THE PLANNING OF THE NADI RIVER FLOOD CONTROL STRUCTURES IN THE REPUBLIC OF FIJI  
Flow Measurement by Current Meter

Site: ND-S-1 (Nadi main road Bridge)  
Date: 20/03/2015  
Time:start of observation 145 pm  
end of observation 220 pm

No. of Measuring	Distance from <input type="checkbox"/> Left bank <input type="checkbox"/> Right bank	Water Depth			Ratio of Water Depth	The depth of Current Meter	Velocity			Average Velocity	Average Depth	Divided Wide	Divided Area	Area	Divided Discharge
		1st	2nd	Average			1st	2nd	Average						
Line	m	m	m	m	%	m	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	m	m	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
No.1	0	0.00	0.00	0.00											
No.2	2	0.23	0.23	0.23	60	0.12	5.0	7.0	6.0	6	0.12	2.00	0.24	1	0.06
No.3	4	0.53	0.53	0.53							0.38	2.00	0.76		
No.4	6	0.74	0.79	0.77	20	0.15	6.0	4.0	5.0	8	0.65	2.00	1.30	2.98	0.24
					80	0.60	13.0	9.0	11.0			0.84	2.00		
No.5	8	0.89	0.90	0.90											
No.6	10	1.05	1.05	1.05	20	0.21	12.0	13.0	12.5	12.25	0.98	2.00	1.96	4.16	0.51
					80	0.84	12.0	12.0	12.0			1.10	2.00		
No.7	12	1.14	1.16	1.15											
No.8	14	1.19	1.19	1.19	20	0.24	18.0	16.0	17.0	16	1.17	2.00	2.34	4.76	0.76
					80	0.96	15.0	15.0	15.0			1.21	2.00		
No.9	16	1.22	1.22	1.22											
No.10	18	1.35	1.34	1.35	20	0.27	24.0	22.0	23.0	23.5	1.29	2.00	2.58	5.48	1.29
					80	1.08	24.0	24.0	24.0			1.45	2.00		
No.11	20	1.53	1.56	1.55											
No.12	22	1.75	1.77	1.76	20	0.35	25.0	30.0	27.5	30.25	1.66	2.00	3.32	6.94	2.1
					80	1.40	34.0	32.0	33.0			1.81	2.00		
No.13	24	1.81	1.91	1.86											
No.14	26	1.78	1.73	1.76	20	0.35	35.0	40.0	37.5	36.5	1.81	2.00	3.62	7.26	2.65
					80	1.40	33.0	38.0	35.5			1.82	2.00		
No.15	28	1.93	1.83	1.88											
No.16	30	1.76	1.74	1.75	20	0.35	37.0	38.0	37.5	33.25	1.82	2.00	3.64	7.12	2.37
					80	1.40	30.0	28.0	29.0			1.74	2.00		
No.17	32	1.71	1.73	1.72											
No.18	34	1.71	1.72	1.72	20	0.34	38.0	40.0	39.0	41	1.72	2.00	3.44	6.9	2.83
					80	1.36	41.0	45.0	43.0			1.73	2.00		
No.19	36	1.76	1.72	1.74											
No.20	38	1.62	1.59	1.61	20	0.32	41.0	45.0	43.0	40.5	1.68	2.00	3.36	6.62	2.68
					80	1.28	36.0	40.0	38.0			1.63	2.00		
No.21	40	1.64	1.64	1.64											
No.22	42	1.59	1.57	1.58	20	0.32	46.0	50.0	48.0	42.75	1.61	2.00	3.22	4.80	2.05
					80	1.28	37.0	38.0	37.5			0.79	2.00		
No.23	44	1.72	1.72	0.00											
Total														58.02	17.54

Q= 17.54 m<sup>3</sup>/s  
A= 58.02 m<sup>2</sup>  
V= 0.30 m/s

## (2) FMS とのデモンストレーション

2014年11月19日に低水流観の調査地点の1つであるナモシ川の MuloMulo Bridge 地点において FMS と合同のデモンストレーションを実施した。FMS の流量観測方法を実演して頂き、観測方法の参考とした。



図 9-19 FMS による低水流観のデモンストレーション



### (3) 低水流観の調査結果

調査結果を表 9-9 に示す。

- ▶ 調査はいずれも平常時に実施しているが、1 月以降の流量は本川、支川とも増水している様子が伺える。
- ▶ 雨季における支川のナモン川、ナワカ川の流量はいずれも同程度であった。

表 9-9 低水流観の観測結果（流量）

調査日	Nadi River		Namosi River	Nawaka River
	ND-S-1	ND-S-2	NM-S-1	NW-S-1
	Nadi Town Bridge	Back road Bridge	Mulomulo Bridge	Navu Bridge
2014/12/19	5.8	0.3	0.2	1.1
2015/1/16	3.6	—	—	—
2015/1/21	—	10.4	3.8	2.4
2015/2/17	17.2	14.5	11.2	12.8
2015/3/20	17.5	14.6	3.8	3.2

(単位:m<sup>3</sup>/s)

### (4) 流量と浮遊砂量の関係式の算出

低水流観による各地点の流量および同日に実施された採水調査による濁度を用いて流量と浮遊砂量の間関係を調べた。流量と濁度から算出された浮遊砂量を表 9-10 に、それを基に作成した調査地点別の流量と浮遊砂量の間関係を図 9-20 に示す。

表 9-10 観測結果による浮遊砂量の算出

調査日	Nadi River		Namosi River	Nawaka River
	ND-S-1	ND-S-2	NM-S-1	NW-S-1
	Nadi Town Bridge	Back road Bridge	Mulomulo Bridge	Navu Bridge
2014/12/19	51	4	1	9
2015/1/21	169	1,879	638	117
2015/2/17	2,112	857	3,796	1,140
2015/3/20	691	254	50	36

(単位:g/s)

流量と浮遊砂量の関係式を算出した結果を図 9-20 に示す。

- 浮遊砂量の推定式 (L-Q 式) は低水時の流量によるものであるため、高水時の浮遊砂量の推定精度は不十分の可能性があるが、L-Q 式の係数値はいずれも日本の河川で確認されている範囲であった。なお、バックロード・ブリッジ地点 (ND-S-2) に関しては、他の地点と係数値の傾向が異なっていたことから、同地点で別途実施した濁度と水位の連続観測結果を用いて別途 L-Q 式を算出し、検証・見直しを行った (8.3.2 (2)参照)。
- 4 箇所の中ではナモシ川の調査地点における係数値が大きく、細粒土砂が出やすい傾向が認められた。

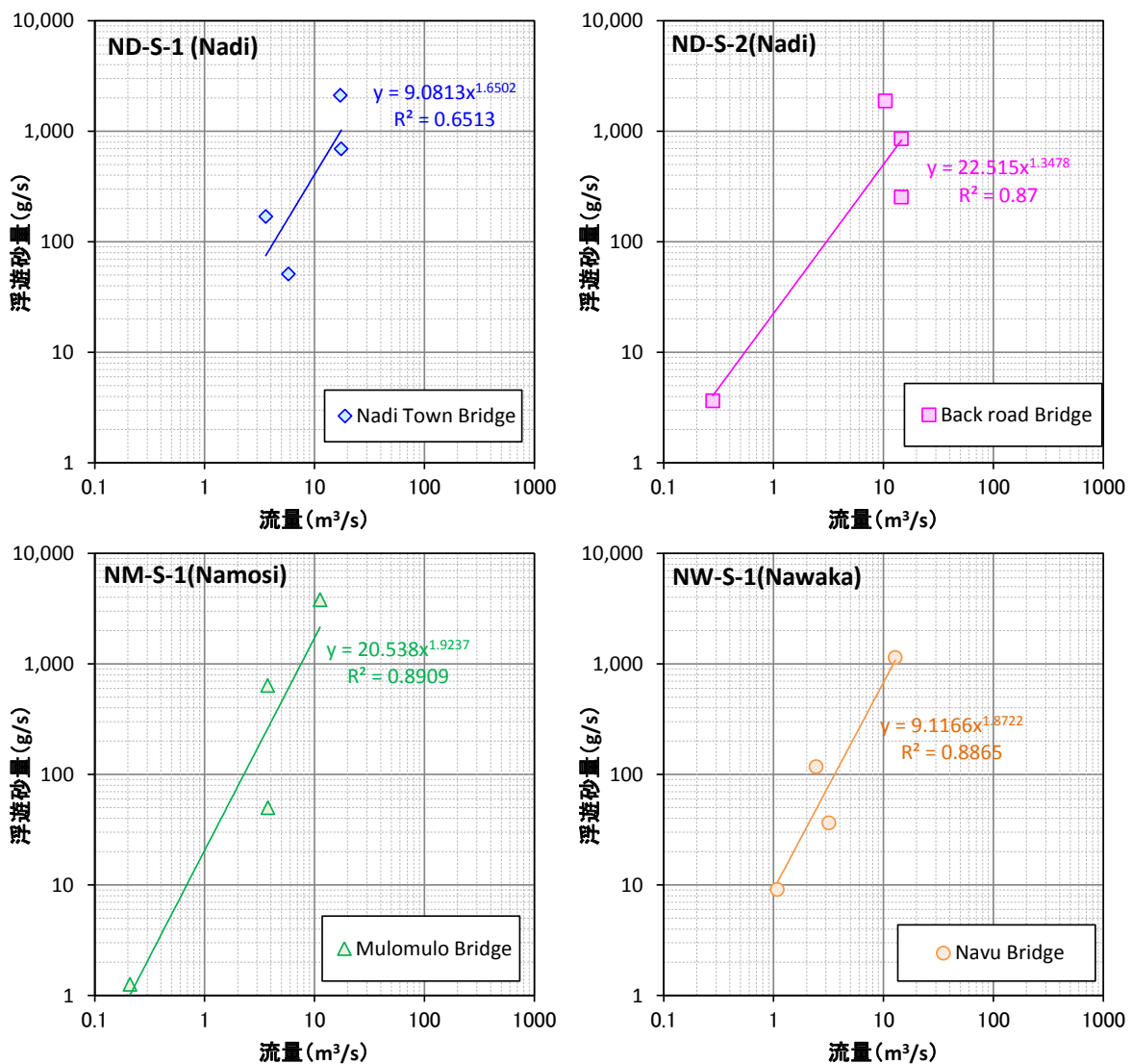


図 9-20 浮遊砂量式 (L-Q 式) の推定

## 9.2.4 水位計・濁度計の設置

### (1) 調査概要

ナンディ川流域の土砂流出量を連続的に把握するため、ナンディ川本川およびナワカ川の2箇所にて自記式の水位計と濁度計を設置した。調査概要を表 9-11 に示す。なお、水位計測にあたっては大気圧の変動を補正する必要があるため、大気圧の計測も同時に実施した。

表 9-11 濁度計・水位計の設置概要

項目	内容	備考
観測期間	2014年11月～2015年3月	
設置地点	Back Load Bridge (ナンディ本川) Navu Bridge (ナワカ川)	
使用器材	水位計： ダイバー水位計 (DIK-613A) ※1 濁度計： 小型メモリー濁度計 (COMPACT-CLW) ※2	※1 大起理化学工業株式会社製 ※2 JFE アドバンテック製
測定間隔	10分 (水位計)、30分 (濁度計)	
測定項目	水位、濁度	



写真 9-1 使用した観測機器 (左側2本が水位計、右が大気圧計)



写真 9-2 使用した観測機器 (左：濁度計全体、右：センサー面)

## 1) 機器の設置方法

設置に際しては特に洪水時の流失に配慮した構造とした。両地点とも機器を保護するために鋼管の中で固定した。さらに、盗難対策として鋼管の取り出し口に鍵を取り付けた。

ナワカ川のナブ・ブリッジ (Navu Bridge) では鉄道橋の基礎杭の下流側に固定し、流木等の衝突による流失リスクを低減させた (写真 9-3 参照)。なお、対象地点は感潮域のため水位が周期的に変動することから、大潮の干潮時でも露出しない高さに設置した。

ナンディ川のバックロード・ブリッジ (Back road Bridge) に関しては橋脚に固定できる方法が見つからなかったため、鋼製アングルを河床部に打ち込み、アングルに器材を固定した (写真 9-4 参照)。当該地点は感潮域ではない。また、流量が最も少ない時期であったことから、現状の水位見合いで水中に固定した。



写真 9-3 観測機器の設置状況 (ナワカ川 ナブ・ブリッジ)



写真 9-4 観測機器の設置状況（ナンディ本川、バックロード・ブリッジ）

## 2) 保守点検に関する指導

設置した計測機器に関しては定期的（毎月）にデータを回収させ、設置状況についても問題ないか確認させることとした。データ収集に関してはPCと計測器をケーブルで接続し、データ回収の専用ソフトを用いる必要があるため、データ回収、機器の計測再スタートのやり方についても指導した（写真 9-5 参照）。



写真 9-5 データ回収ソフトの使用方法的説明

## (2) 調査結果

図 9-21～図 9-22 に水位と濁度の観測結果を示す。なお、濁度に関しては 2015 年 1 月中旬～2 月中旬の約 1 ヶ月にわたって測定機器の不具合によって欠測が生じた。また、ナワカ川に関しては前半の濁度データに一定のノイズが発生していたため、同一地点で実施された採水調査時の濁度データを用いて補正を行っている。水位に関しては、対象期間のほぼすべての期間を計測することができた。以下に観測結果の特徴を述べる。

(ナンディ本川：バックロード・ブリッジ)

- ▶ 11 月から 12 月の期間、12 月上旬に一時増水したものの、その他の期間の観測水位は概ね安定しており、濁度も低かった。
- ▶ 2 月以降、水位の上昇が頻繁に見られ、雨季に移行した様子が伺われる。濁度も最大 600～800(NTU)まで上昇した。

(ナワカ川：ナブ・ブリッジ)

- ▶ 感潮区間のため、平常時は潮汐の影響で振幅を繰り返している。
- ▶ 濁度の変動はナンディ本川と同様に、11 月から 12 月の期間は 12 月上旬に上昇したものの、その他の期間は低い濃度で推移した。
- ▶ 2 月以降は増水が頻繁に発生し、濁度は最大 800(NTU)まで上昇した。

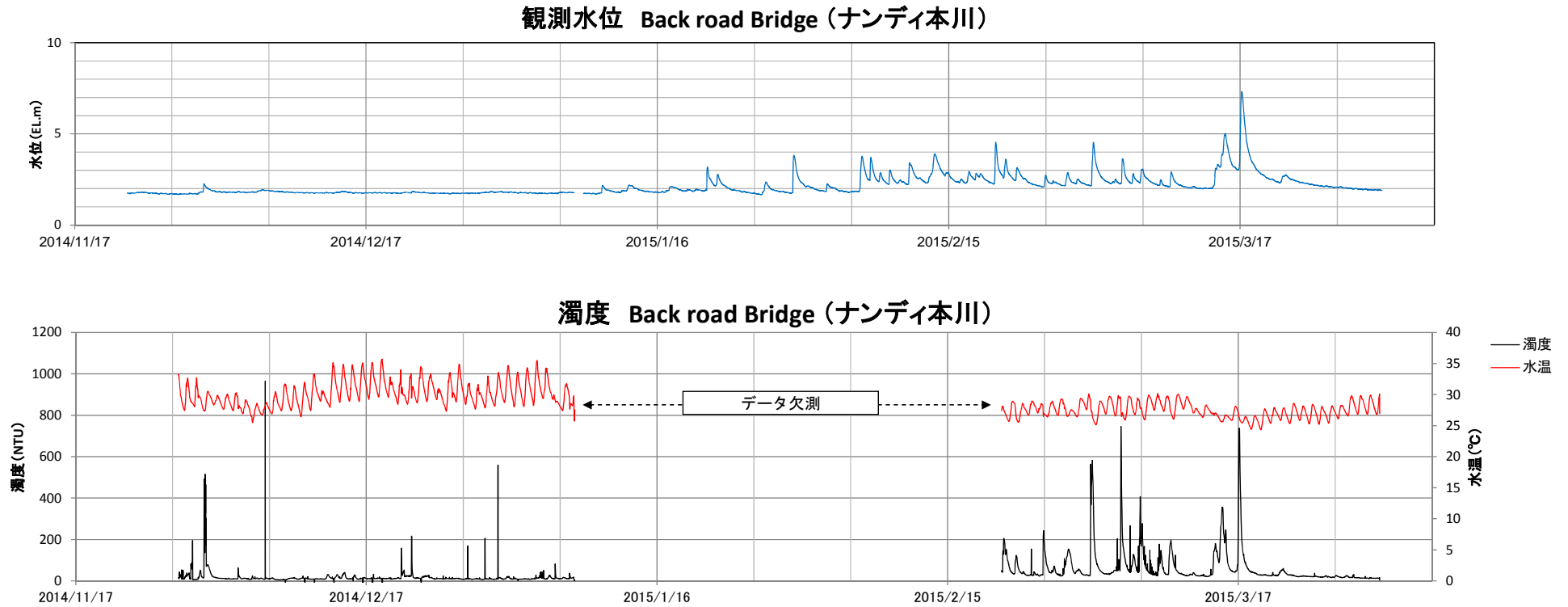


図 9-21 水位・濁度の連続観測結果 (ナンディ本川 : Back Road Bridge)

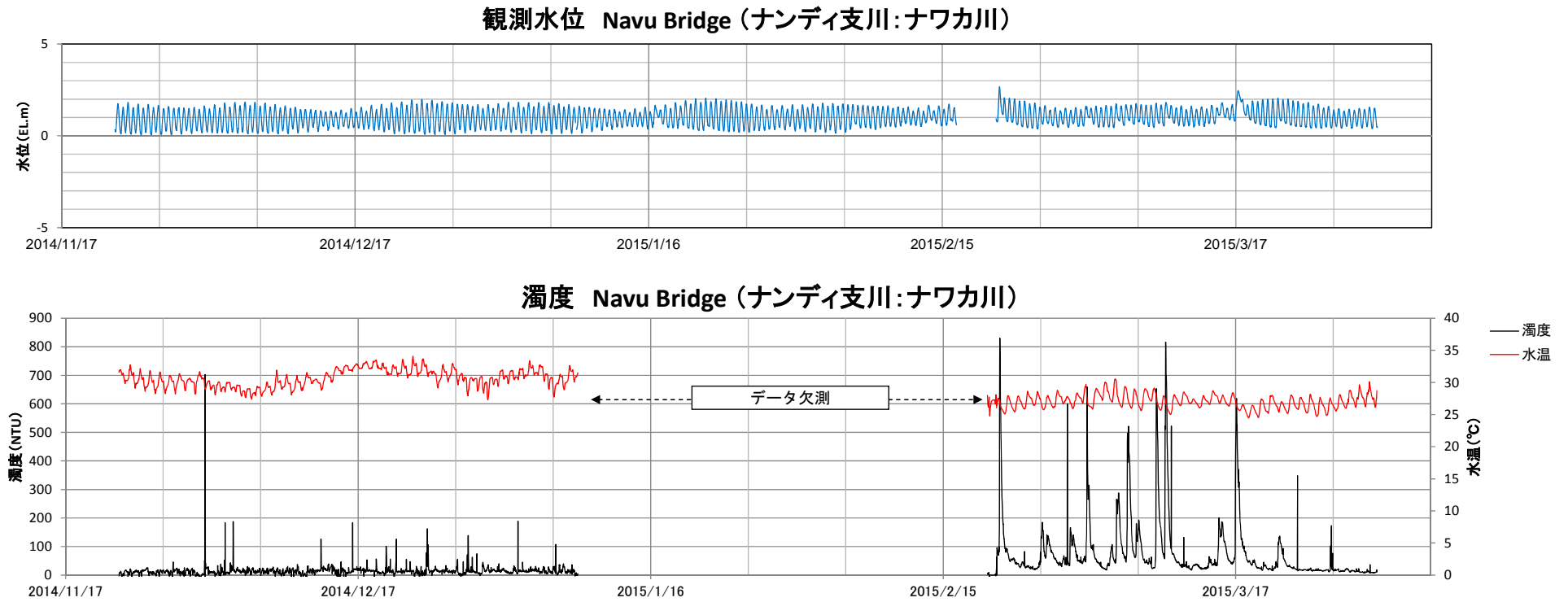


図 9-22 水位・濁度の連続観測結果 (ナンディ川支川 : ナワカ川 : Navu Bridge)



### 9.3 土砂動態解析

収集資料および本プロジェクトで実施した現地調査の結果を基にナンディ川の土砂動態を分析し、河床変動解析モデルによって現状の再現計算および将来予測を実施する。

#### 9.3.1 土砂動態に関する現況の把握

##### (1) 縦断形状の変化

1998年と2014年に実施されたナンディ川本川の河川横断測量の結果を用いて縦断形状の変化について比較・考察した。縦断図を図9-23に示す。これより、以下のことが言える。

- ・ 下流部では河床が上昇傾向の区間と低下傾向の区間が連続している。下流部は前述のとおり、2008～2012年にかけて0k～7.8kの区間で河道浚渫が実施されており、4k～7kにおける河床低下の要因と考えられる。
- ・ 10k～20kの区間は下流ほど大きな変動は見られないが部分的な変動が認められる。
- ・ 20kより上流では下流ほどの変化の大きさは見られないものの、全体的に河床低下の傾向が認められる。
- ・ 川幅はナワカ川合流後に2倍程に広がるものの、1998年と2014年で大きな変化は認められないと考えられる。

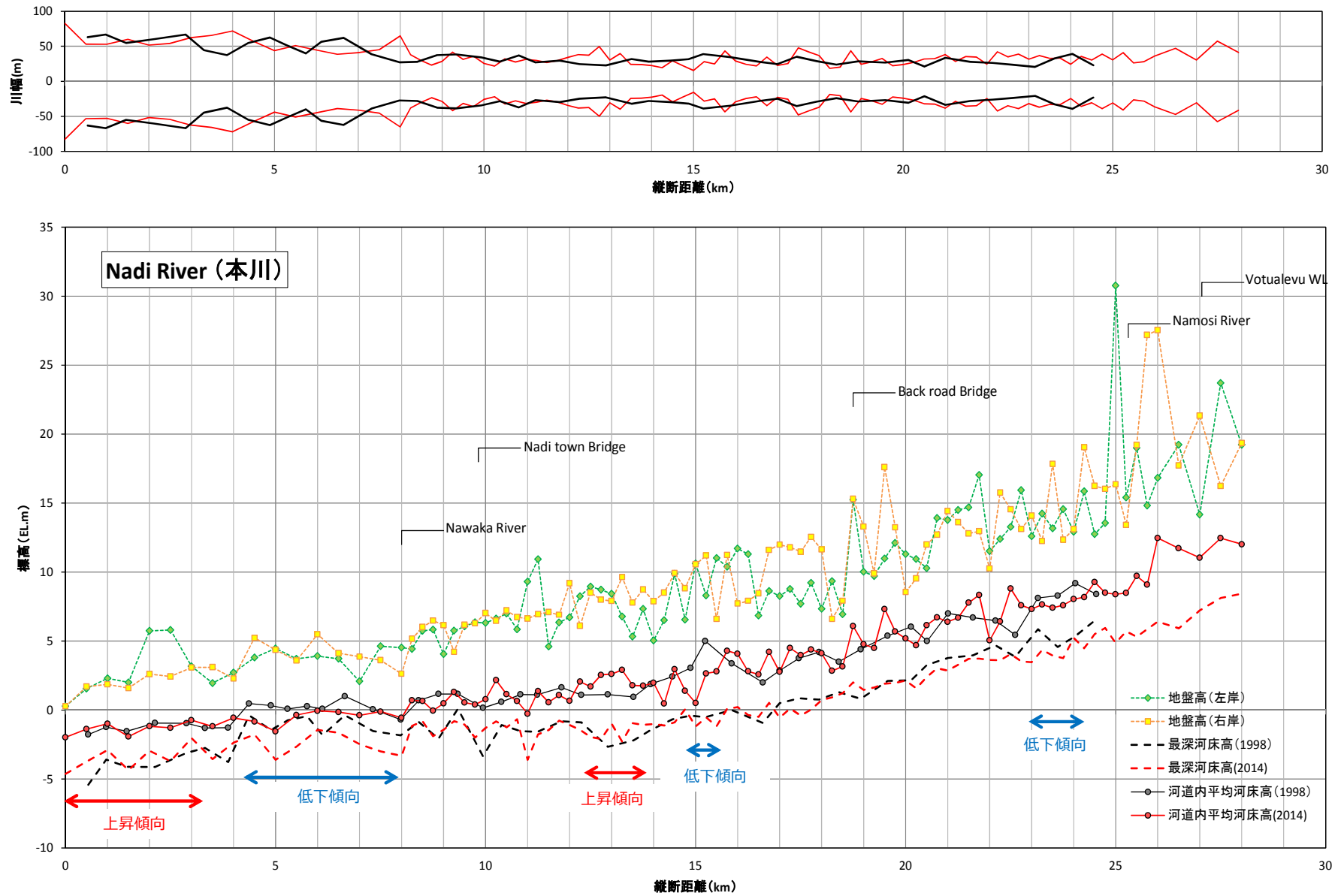


図 9-23 河床縦断形状の変化状況 (ナンディ川本川 : 0.0k~28.0k)

## (2) 横断形状の変化

1998年と2014年の2時期で測量地点に近い横断地形の比較を行った。図9-24、図9-25に縦断図と共に示す。

これより以下のことが言える。なお、図9-23に示すように、1998年と2014年の横断測量の測線位置は縦断距離が多少異なるため、ここでの分析は定性的な考察に留めることとした。また、示した横断図の中には9.3k地点や24.0k地点のように左右岸の地盤高がほぼ一致している断面が存在することから、標高の基準高はほぼ一致していると考えられる。

- ・河口部の河床上昇区間では、1998年に比べて2014年は、滞筋が土砂で埋まっている様子が見られる。
- ・10k付近の横断は測量位置が一致していないため詳細な分析は難しいが、河床形状に大きな変化は発生していないものと考えられる。
- ・15k以上の河道区間は縦断形状として河床低下している状況が認められるが、横断形状で確認すると、みお筋の低下や川幅の拡幅（側岸侵食等）によるものと考えられる。

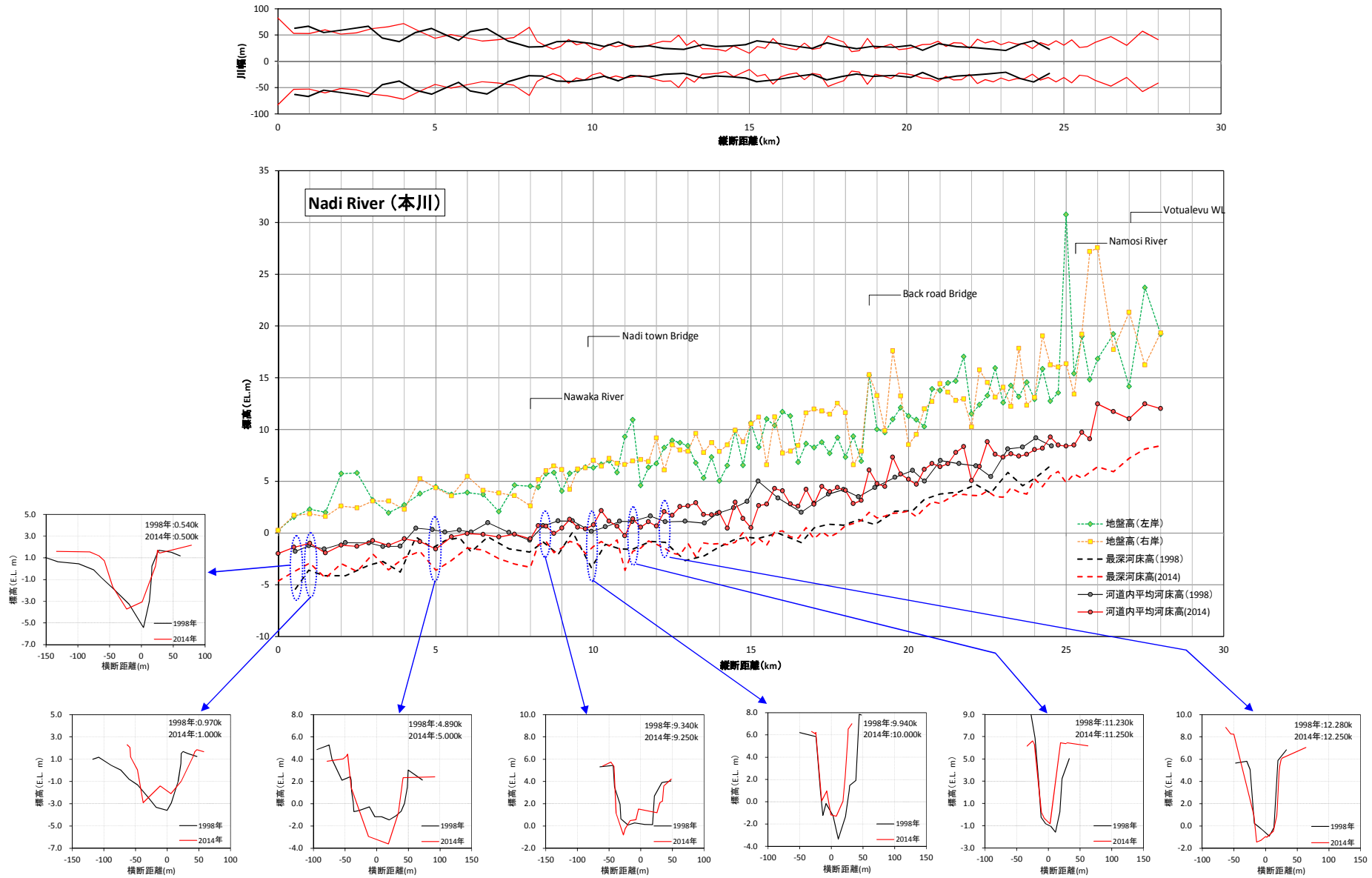


図 9-24 横断形状の変化状況 (ナンディ本川 : 0.0k~12.0k)

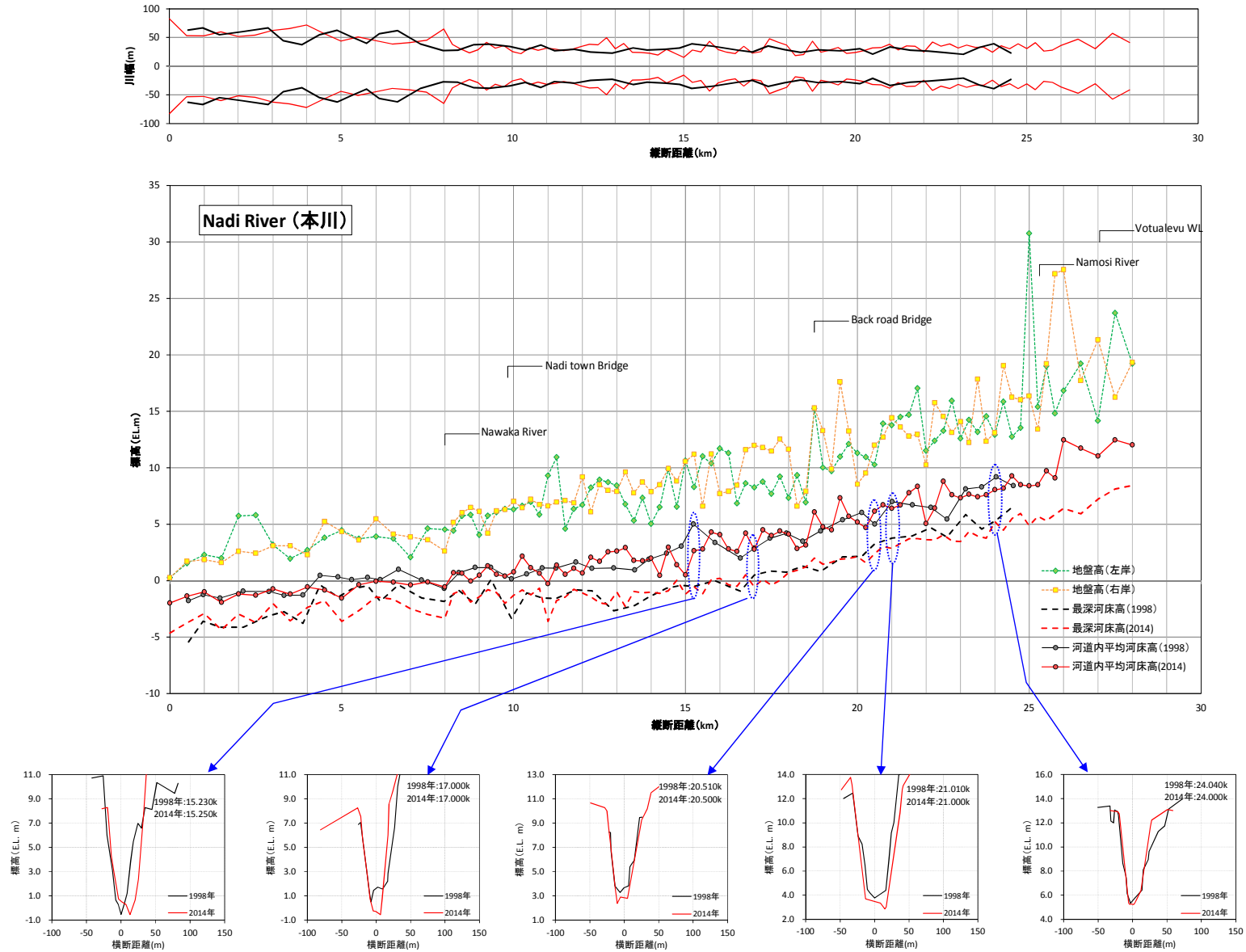


図 9-25 横断形状の変化状況 (ナンディ本川 : 15.0k~24.0k)

### (3) 流出土砂量の推定

濁度と水位の連続観測結果を用いて観測期間中における流出土砂量（浮遊砂）を推定した。対象地点はバックロード・ブリッジ（ナンディ川本川）、ナブ・ブリッジ（支川：ナワカ川の2箇所である。

#### 1) H-Q 式の整理

流出土砂量を算出するにあたり、観測水位を流量に換算する必要がある。H-Q 式については、低水流観の観測結果及び 2015 年 3 月 17 日にトレーニングの一環として実施された高水流観の結果があることから、これらの結果を用いて H-Q 式を算出した。

算出された H-Q を図 9-26、図 9-27 に示す。

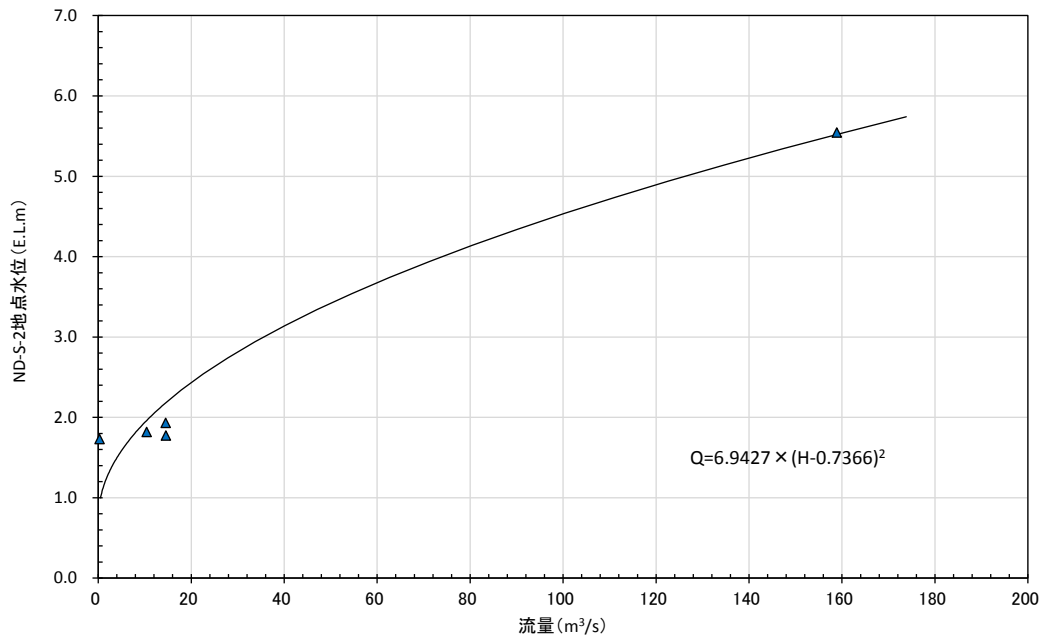


図 9-26 推定に用いた H-Q 式（ナンディ本川）

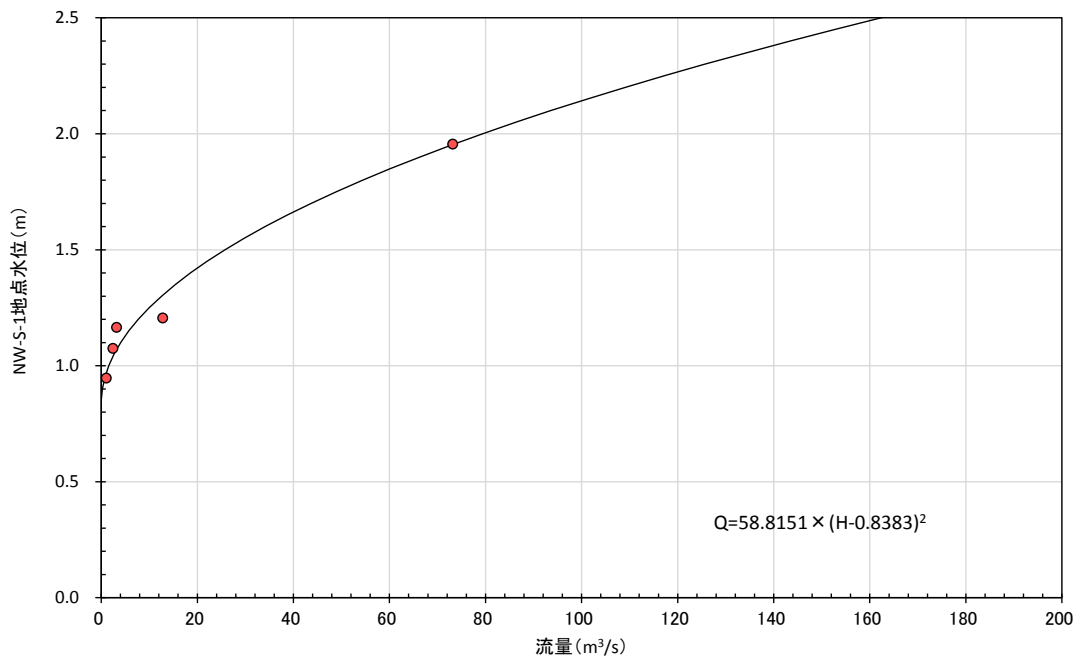


図 9-27 推定に用いた H-Q 式 (ナンディ支川 : ナワカ川)

## 2) 流出土砂量の算出

整理した H-Q 式を用いて流出土砂量を算出した結果を示す。なお、算出にあたっては以下の前提を基に行った。

- 濁度が欠測の期間（1月中旬～2月中旬）に関しては、地点毎に算出した H-Q 式を用いて水位を流量に換算し、L-Q 式（流量と流砂量の関係式）によって流量を流砂量に換算した。
- ナワカ川のナブ・ブリッジは感潮区間のため潮汐によって水位が周期的に変動しており、H-Q 式から単純に流量を算出するのが困難である。そこで、24 時間平均値を用いることで潮汐の影響を除き、流量を推定することとした。

観測結果に基づいて推定された各地点の流出土砂量を図 9-28、図 9-29 に示す。これより以下のことが言える。

- 両地点とも雨季に入ってから流出土砂量が急激に増加している。
- ナンディ本川（バックロード・ブリッジ地点）とナワカ川（ナブ・ブリッジ地点）における 3 月末までの浮遊砂の流出土砂量はそれぞれ 15 千 m<sup>3</sup>、3 千 m<sup>3</sup> となった。
- 濃度の大きさは両地点で大きな差は見られないことから、両者の差が生じる理由の 1 つとしては各地点の上流域の流域面積や地形特性が異なることが考えられる。また、ナンディ本川筋は上流にナモン川流域を抱えているが、当該支川はその他の支川に比べて浮遊砂が流出しやすい特徴が見られることも要因の一つと考えられる。そこで以降において地形特性による土砂生産ポテンシャルの観点から検証を行った。

表 9-12 流出土砂量の推定結果

地点名	総流出土砂量	流域面積
バックロード・ブリッジ	15 千 m <sup>3</sup>	276km <sup>2</sup> (59%)
ナブ・ブリッジ	3 千 m <sup>3</sup>	190km <sup>2</sup> (41%)



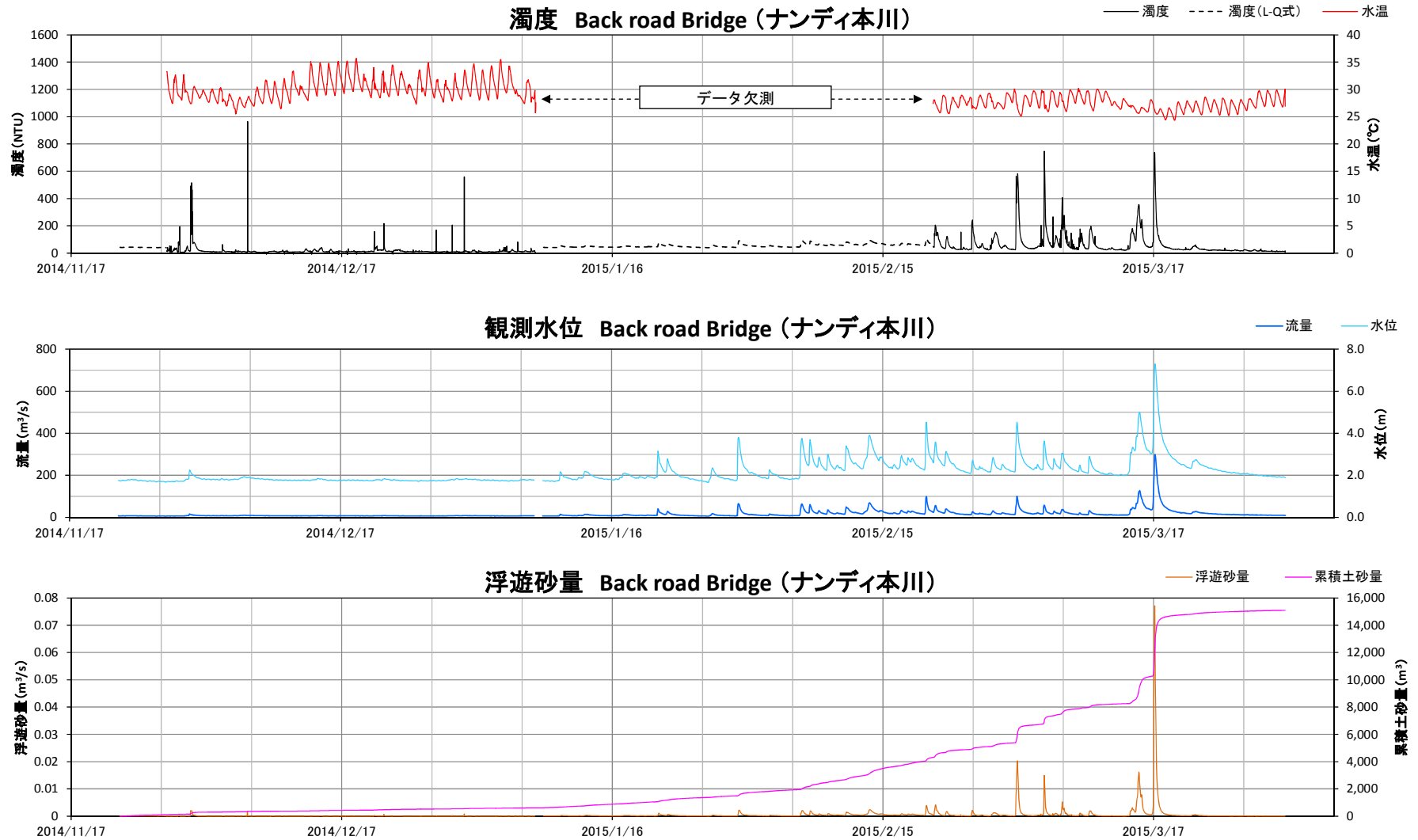


図 9-28 観測結果に基づく流出土砂量の推定結果 (ナンディ本川)

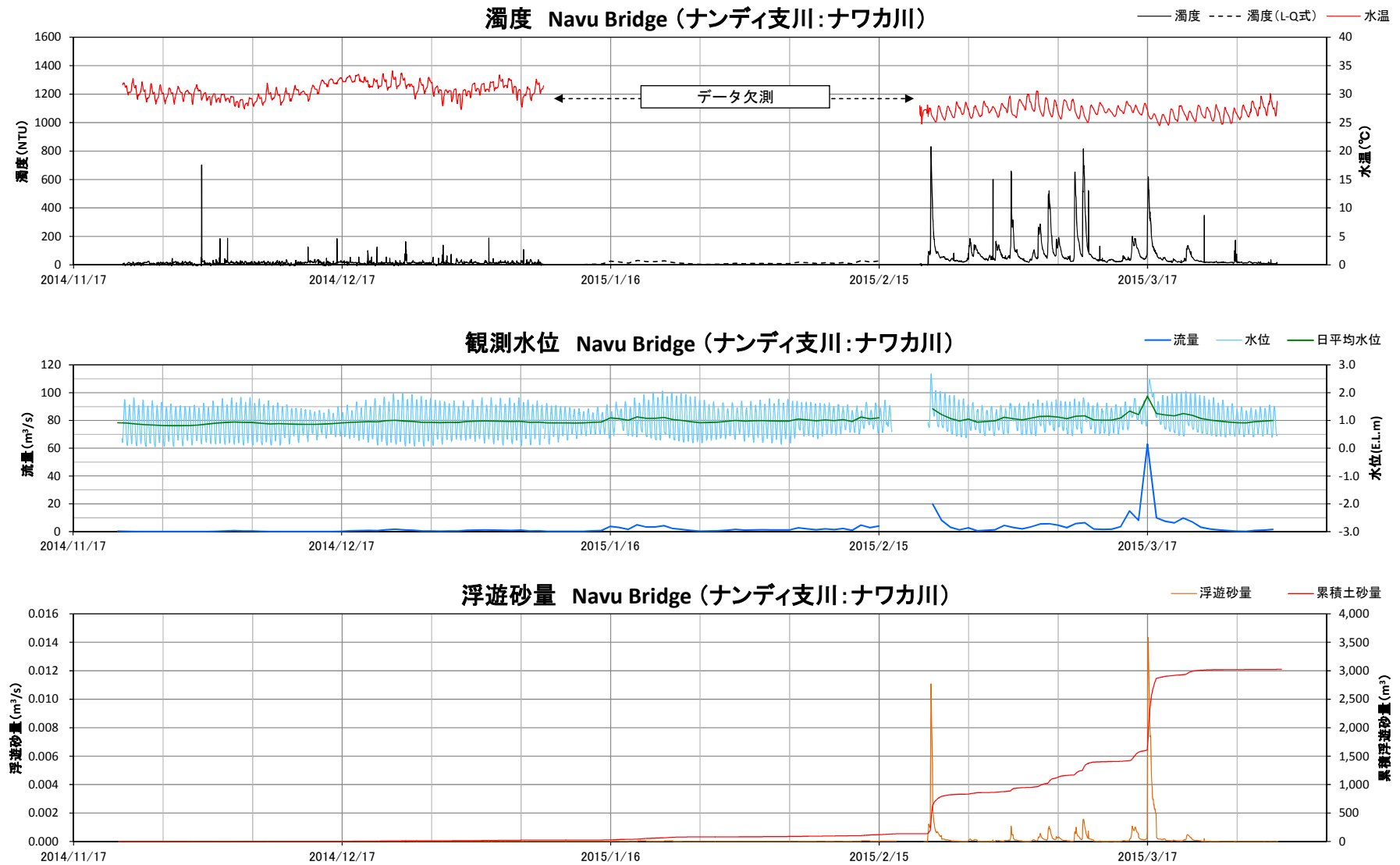


図 9-29 観測結果に基づく流出土砂量の推定結果 (ナンディ支川:ナワカ川)

### 3) 流域地形特性分析に基づく流出土砂量の検証

前項で推定された本川筋（ナンディ本川、ナモシ川）と支川筋（ナワカ川、マラクア川）の流出土砂量の比率について、流域地形データを用いた土砂生産ポテンシャルによる検証を行った。

#### (i) 土砂生産ポテンシャルの推定方法

土砂生産ポテンシャルの推定は「ダム堆砂量推計の手引き（案）、国土交通省 河川局 河川環境課、平成 17 年 4 月」に記載されている土砂生産強度マップによる推計手法に準じた手法を用いることとした。

本手法は日本の国土交通省が新設ダムの計画堆砂量を決定する際の推定手法の 1 つとして用いられている。土砂生産強度マップは国土交通省および水資源機構管理の 22 ダムの実績堆砂データをもとに、ダム流域の地形等をパラメータとして検討されており、堆砂量の推計には以下の回帰式が用いられる。

$$\text{比流砂量} = A \times (\text{平均標高}) \times (\text{起伏度}) + B$$

ここで、比流砂量：ある地点を流下する土砂量を流域面積で除した値（ $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ ）

平均標高：流域内の標高値の平均値（m）

起伏度：土砂生産強度マップ作成にあたって定義した地形量（下記参照）

係数 A、B は流域の地質によって定まる定数である。

比流砂量は単位流域面積あたりの土砂生産量であることから、対象流域の地形データを用いて平均標高や起伏度を算出して掛け合わせれば、各流域の土砂生産ポテンシャルを概算、比較することができる。

そこで本手法を用いて、ナンディ本川および各支川の土砂生産ポテンシャルを算出することとした。

#### ■起伏度とは

抽出したメッシュ毎に最高標高と最低標高との差を求めて起伏量とする。得られた起伏量について階級幅を決めてヒストグラムを作成し、次式によって起伏度が求められる。

$$(\text{起伏度}) = [\Sigma (\text{最頻値より大きな起伏量 (階級)}) \times (\text{度数})] / (\text{流域面積})$$

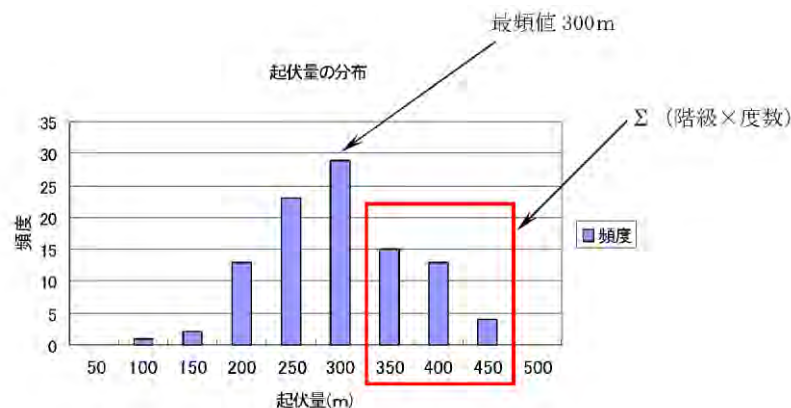


図 9-30 起伏量の分布と起伏度の求め方（例）

(ii) データ作成方法

検討には LiDAR データとフィジー政府発行の 5 万分の 1 地形図を用いた。ナンディ川流域全体を 100m メッシュに区分し、各 100m メッシュ内の地盤高データを基に平均標高と最高・最低標高を整理した。

(iii) 推定結果及び考察

各流域における地形特性（平均標高、起伏度）を表 9-13、図 9-31 に示す。これより、地形特性として土砂生産ポテンシャルが高い流域はナンディ川及びナモシ川と言える。ナワカ川は流域に平野部を多く抱えるため平均標高や起伏度がやや低く、土砂生産ポテンシャルもやや低くなる。マラクア川は平均標高が最も低いため、土砂生産ポテンシャルもかなり低い。

本川筋（本川、ナモシ川）、支川筋（ナワカ川、マラクア川）で比較すると本川筋の土砂生産ポテンシャルは支川筋の約 3 倍という結果となった。

この結果は、前述の本川筋の流出土砂量が支川筋の約 5 倍となった観測結果を裏付ける結果であり、本川筋のほうが支川筋よりも土砂生産が活発であると考えられる。

表 9-13 土砂生産ポテンシャルの算出結果

No.	流域	流域面積 (km <sup>2</sup> ) ①	平均標高 (EL.m) ②	起伏度 ③	土砂生産 ポテンシャル(×10 <sup>3</sup> ) ①×②×③	対象区分での 比較
1	ナンディ川	184.0	359.9	24.4	1,617	2,381
2	ナモシ川	92.0	282.2	29.4	764	
3	ナワカ川	134.0	219.3	21.0	617	774
4	マラクア川	56.0	136.5	20.5	157	

9-45

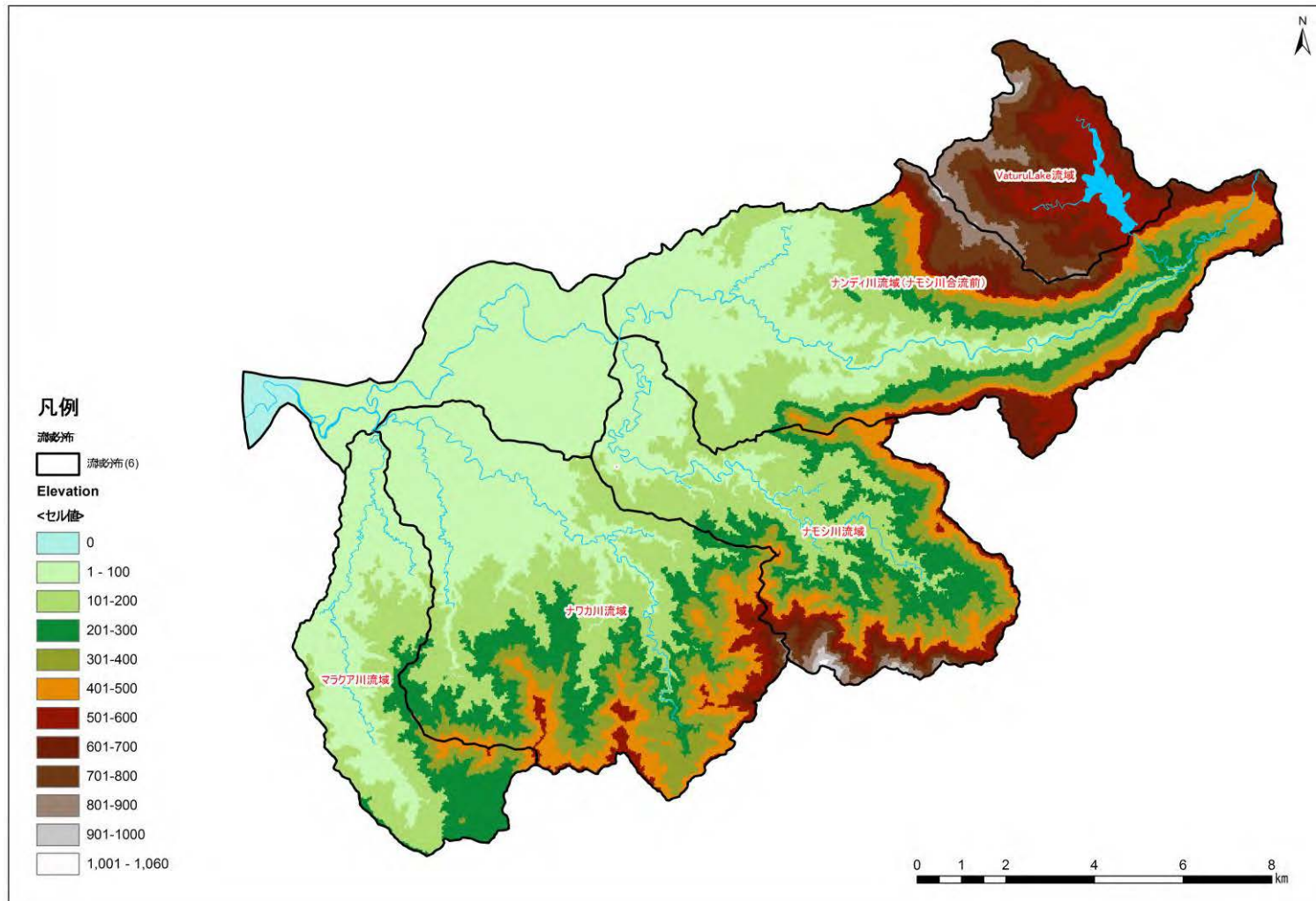
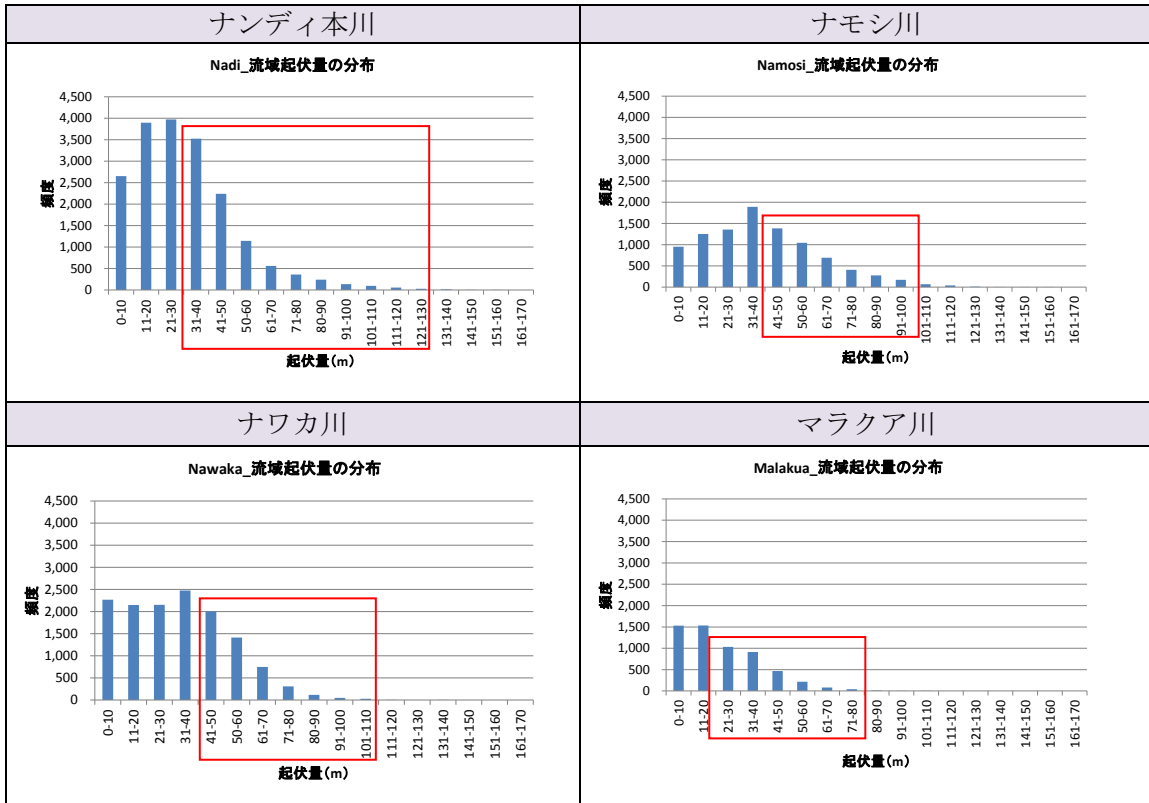


図 9-31 検討対象領域の地形特性

表 9-14 各流域の起伏度の算出結果



□ : 起伏度の算出対象範囲

### 9.3.2 現状の土砂動態のまとめ

以上の結果を踏まえて、ナンディ川の土砂動態の現状をまとめた。

- ナンディ川では河口部で細粒土砂の堆積に伴う河床上昇が見られる。
- ナンディ川の 4k~7k 区間では河床低下傾向が見られるが、これは過去に実施された河道浚渫が要因の一つと考えられる。
- ナンディタウン・ブリッジ地点(10k)より上流区間では滞筋の低下等の河床低下傾向が見られた。近年の土砂流出傾向としては上流からの土砂供給量が減少している可能性がある。
- 浮遊砂の流出土砂量について調査した結果、本川筋（ナンディ本川、ナモシ川）の流出土砂量は支川筋（ナワカ川、マラクア川）の約 5 倍となり、海岸域へ供給される細粒土砂量としては、本川筋の影響が比較的大きいものと考えられる。
- 本川・支川の L-Q 式や観測された濁度を踏まえると、浮遊砂の流出量が多い河川はナンディ本川、ナモシ川が挙げられる。ナワカ川、マラクア川の 2 支川は流域面積、流出土砂量の規模が類似している。

### 9.3.3 計算条件の整理

#### (1) 流量波形データの作成

##### 1) 対象出水の抽出

計算の外力条件である流量データについては実測データが不十分であること、本川と支川で流量波形が異なると考えられることから、観測雨量を用いた流出解析によって流量データを作成して境界条件として与えることとした。

対象流量としては、河床変動解析では土砂移動が活発となる出水時が特に重要であることから、流出解析の際に選定された主要 26 洪水（17 年間）のうち、再現期間である 1998～2014 に発生した No.4～No.26 の 23 洪水とした。

表 9-15 再現対象出水（一覧）

No.	年月日	ピーク水位		ピーク雨量		時差tg (hr)	2tg (hr)	Votualevu～ NaditownBridge 流下時間	選定	
		生起時間	水位(m)	生起時間	雨量(mm)					
1	1997/1/25-1/27	1997/1/25 22:00	6.20	1997/1/25 11:00	18.02	11.00	22.00		○	
2	1997/1/30-1/31	1997/1/31 1:00	6.20	1997/1/30 11:00	10.43	14.00	28.00			
3	1997/3/7-3/10	1997/3/8 2:00	8.70	1997/3/8 2:00	26.89	0.00	0.00			
4	1999/1/18-1/19	1999/1/19 8:00	9.40	1999/1/19 4:00	33.66	4.00	8.00		○	
5	2000/5/4	2000/5/4 17:00	6.90	2000/5/4 15:00	26.52	2.00	4.00		○	
6	2000/12/5-12/7	2000/12/7 14:00	6.70	2000/12/7 10:00	26.89	4.00	9.00		○	
7	2000/12/12	2000/12/12 16:00	6.50	2000/12/12 11:00	17.70	3.00	6.00		○	
8	2001/3/14	2001/3/14 20:00	9.00	2001/3/14 17:00	49.75	3.00	6.00		○	
9	2001/10/22	2001/10/22 17:00	6.20	2001/10/22 14:00	23.99	3.00	6.00		○	
10	2002/2/23-2/24	2002/2/24 12:00	8.40	2002/2/24 9:00	20.36	3.00	6.00		○	
11	2003/3/9-3/14	2003/3/12 16:00	7.10	2003/3/12 13:00	23.13	3.00	6.00		○	
12	2005/4/18-4/19	2005/4/19 1:00	9.50	2005/4/18 19:00	24.30	6.00	12.00		○	
13	2007/2/9-2/10	2007/2/9 22:00	6.30	2007/2/9 19:00	16.67	3.00	6.00		○	
14	2007/2/12	欠測		2007/2/12 21:00	27.90					
15	2007/3/24-3/26	2007/3/25 10:00	9.50	2007/3/25 0:00	18.80	10.00	20.00		○	
16	2008/1/28-1/30	欠測		2008/1/29 3:00	19.63					
17	2008/2/25	2008/2/25 5:00	6.60	2008/2/25 3:00	2.46	2.00	4.00			
18	2008/3/29	2008/3/29 20:00	7.30	2008/3/29 14:00	18.39	6.00	12.00		○	
19	2008/11/28-11/29	2008/11/29 5:00	5.80	2008/11/29 2:00	22.33	3.00	6.00		○	
20	2009/1/7-1/11	欠測		2009/1/10 21:00	38.50					
21	2009/1/12-1/15	2009/1/13 19:00	9.80	2009/1/13 16:00	26.41	3.00	6.00		○	
22	2011/2/18-2/19	2011/2/18 21:00	7.04	2011/2/18 18:00	18.77	3.00	6.00		○	
23	2012/1/5-1/7	2012/1/7 4:00	6.52	2012/1/5 18:00	11.22	34.00	68.00			
24	2012/1/23-1/25	欠測		2012/1/23 7:00	30.67					
25	2012/3/29-4/2	欠測		2012/3/30 5:00	47.88					
26	2014/1/29-1/31	2014/1/30 15:00	7.68	2014/1/29 23:00	20.61	16.00	32.00		○	
平均						5.31	10.62	4.60		
NaditownBridge洪水到達時間								15.2		

#### 2) 計算方法

本川および支川（ナモシ川、ナワカ川、マラクア川）の流量波形については本プロジェクトで別途構築された流出解析モデルを用いることとした。

表層の土地利用のパラメータである等価粗度やK値、P値等については2012年3月洪水で同定した値を用い、ボツアレブ観測水位をH-Q式で換算した流量と比較検証した。R<sub>sa</sub>については出水前の降雨発生状況によって変化するため、洪水前の流量や増水のタイミング等によって適宜調整した。

なお、再現計算の結果、ボツアレブ地点の観測水位と計算水位が明らかに大きく異なる場合については、ボツアレブ地点の観測水位をH-Q式を用いて流量換算し、支川とボツアレブ地点より上流の流域面積の比率で各支川の流量波形を作成した。



### 3) 計算結果

以上の計算方法で流出解析を実施した結果の一例を図 9-32 に示す。

2007年2月9日洪水はピーク流量が400m<sup>3</sup>/s程度の洪水であるが、立ち上がりのタイミング、ピーク流量、減水過程の全般が比較的良好に再現されている。

一方、2001年3月14日洪水は、流出率が1を超えており、観測雨量の規模ではボツアレブ地点の水位上昇を十分に再現できなかった。これは対象流域における雨量計の配置数が少なく、当該洪水に関してはボツアレブ上流域の降雨状況を必ずしも十分に捉えられていなかったことが考えられる。よって、このようなケースについては、ボツアレブの観測水位を真値としてH-Q式によって流量時系列を算出し、他の3支川ではボツアレブの計算流量を流域面積比で換算して与えることとした。

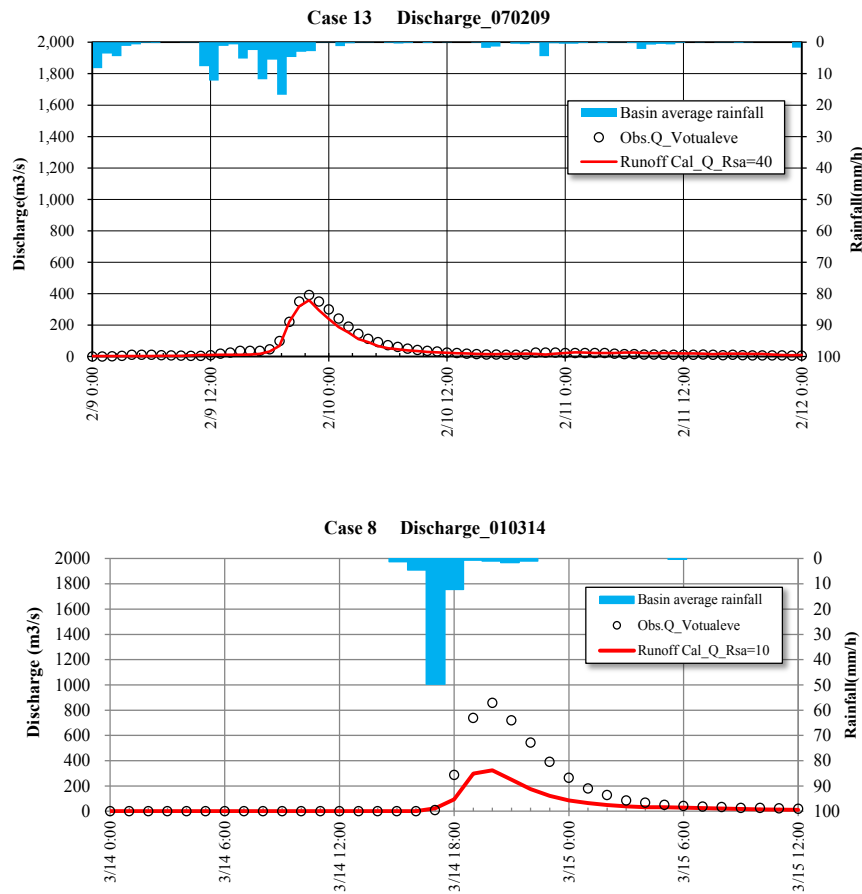


図 9-32 河床変動解析に用いた流出解析の一例

次に対象とした 23 洪水について最終的に得られた流量波形のピーク流量および流量波形を表 9-16、図 9-33 に示す。

表 9-16 計算に用いる洪水流量波形（本川・支川ピーク流量）

No.	発生年月日	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)				流量算定根拠
		ナンディ川	ナモシ川	ナワカ川	マラクア川	
4	1999/1/19	1,194	370	625	494	流出解析
5	2000/5/4	483	441	255	109	流出解析
6	2000/12/7	469	333	200	76	流出解析
7	2000/12/12	353	190	219	122	流出解析
8	2001/3/14	857	428	624	261	HQ
9	2001/10/22	401	228	315	193	流出解析
10	2002/2/24	686	361	287	106	流出解析
11	2003/3/12	416	251	150	66	流出解析
12	2005/4/19	963	481	701	293	HQ
13	2007/2/9	355	276	176	52	流出解析
14	2007/2/12	1,052	526	766	320	HQ
15	2007/3/25	963	481	701	293	HQ
16	2008/1/29	1,075	538	783	327	HQ
17	2008/2/25	433	217	316	132	HQ
18	2008/3/29	542	271	395	165	HQ
19	2008/11/29	345	72	52	8	流出解析
20	2009/1/10	1,134	452	533	250	流出解析
21	2009/1/13	1,029	515	750	313	HQ
22	2011/2/18	501	250	365	152	HQ
23	2012/1/7	422	211	307	129	HQ
24	2012/1/24	1,007	504	734	307	HQ
25	2012/3/29	1,848	861	1,026	406	流出解析
26	2014/1/30	607	303	442	185	HQ
	平均	723	360	440	197	

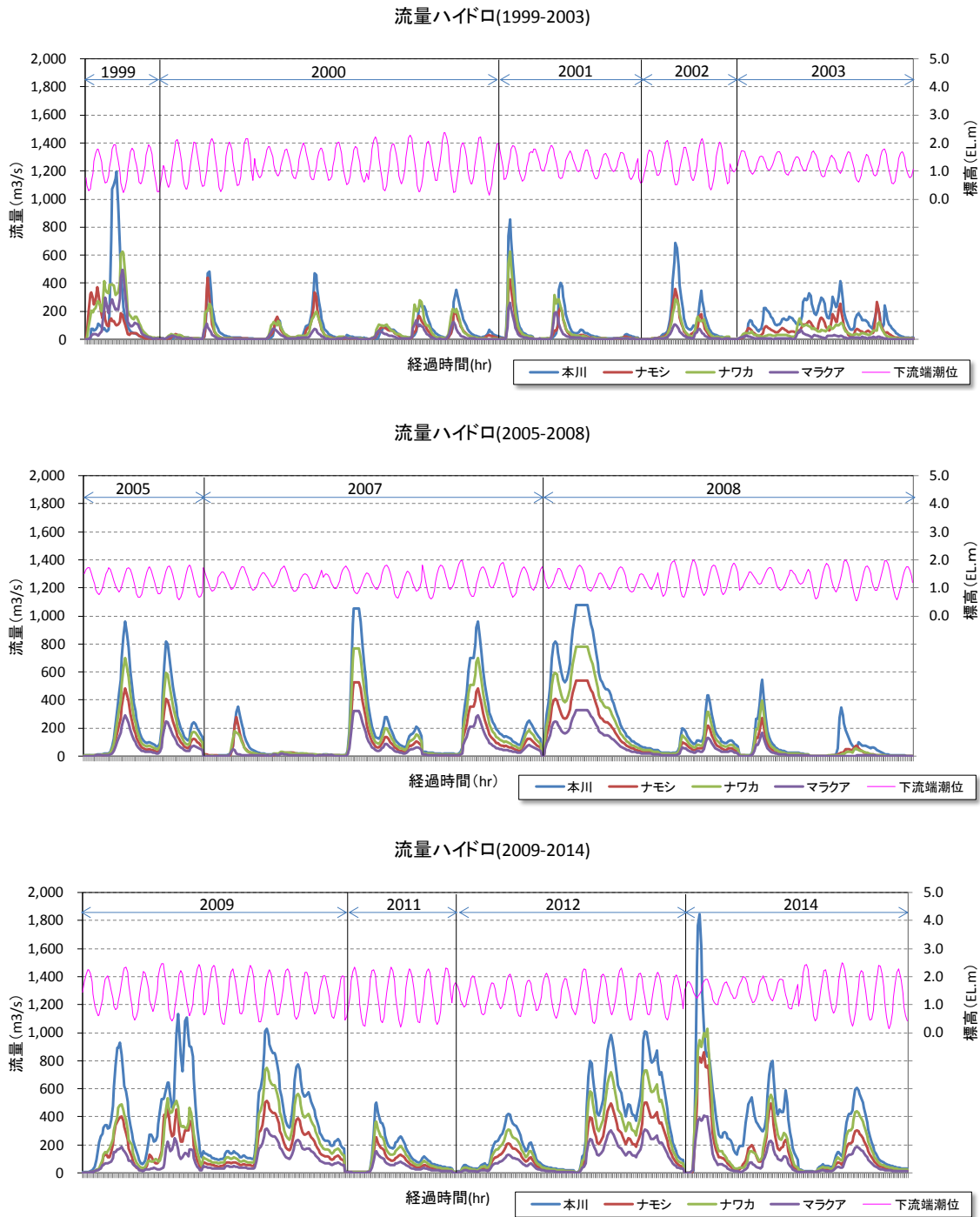


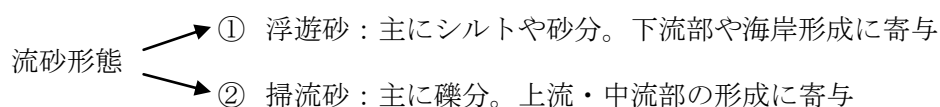
図 9-33 計算に用いた洪水流量波形 (本川・支川流量時系列)

## (2) 流入土砂量の推定

### 1) 推定方法

流入土砂量の推定は再現計算において重要な要素の1つである。流入土砂の成分としては浮遊砂と掃流砂の大きく2つの種類に分けることが出来る。浮遊砂は主にシルト分・砂分で構成されており、主に河川の下流部や海岸地形の形成に寄与する。掃流砂は主に礫分で構成され、河道の中流部や上流部の地形形成に寄与する。

本プロジェクトの場合、河川改修に伴う海岸地形への影響を把握することが主な目的の1つであることから、海岸地形の形成に寄与するシルト分や細砂分といった浮遊砂の設定が重要と言える。



#### ■浮遊砂量の設定

本川および支川の流出部において流量とSSの負荷量調査を実施しており、調査結果より求められる経験的な流砂量式を設定する。そのうえで、計算結果については本川のバックロード・ブリッジ地点と支川のナブ・ブリッジ地点での通過浮遊砂量を観測結果と比較する。

#### ■掃流砂量の設定

掃流砂成分に関しては洪水時に河床を移動するため掃流砂を直接観測することは困難である。そのため、一般的には横断形状が把握できている区間において河床材料調査を実施し、流砂量公式を用いて推定を行う。ただしこの場合、流砂量は平衡流砂量が計算されるため、過大な設定になる可能性がある。実際は推定値に補正係数を乗じて平均河床高の変動を再現できるように調整する必要がある。

以上を踏まえ、本検討では以下のように推定方法を設定した。

表 9-17 流入土砂量の設定方法

河川名	流入浮遊砂量	流入掃流砂量	備考
ナンディ本川	L-Q式(観測式) 地点：バックロード・ブリッジ	流砂量公式*	流域面積比によりナモシ川分を除く
ナモシ川	L-Q式(観測式) 地点：ムロムロ・ブリッジ	〃	
ナワカ川	L-Q式(観測式) 地点：ナブ・ブリッジ	〃	
マラクア川	L-Q式(観測式) 地点：ナブ・ブリッジ	〃	水質調査の結果、ナワカ川と濁度の変動が類似していたことによる

※実測の河床変動等を再現できるように流砂量に補正係数を乗じて調整する

<バックロード・ブリッジ地点のL-Q式について>

バックロード・ブリッジ地点におけるL-Q式が他の地点と傾向が異なるため、連続観測の濁度データを用いたL-Q式の見直しを行った。その結果、L-Q式の係数値が他の地点との整合が高まったため、再現計算および将来予測ではこのL-Q式を参考に設定することとした。

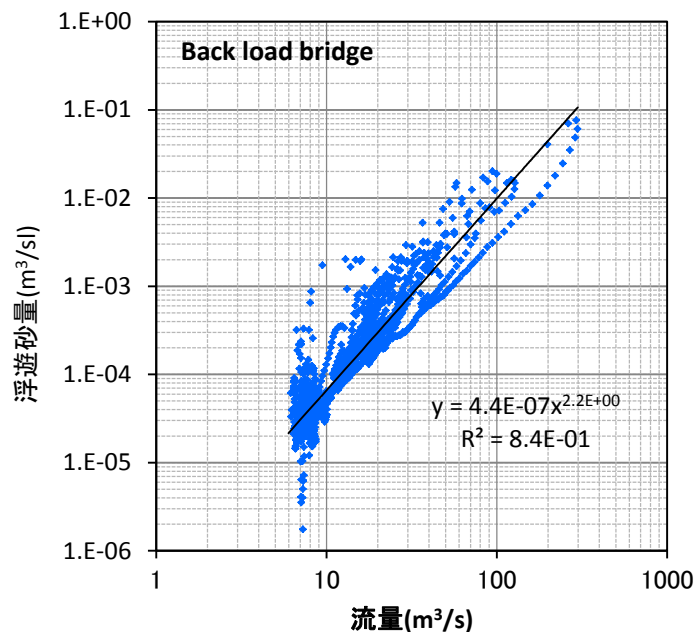


図 9-34 バックロード・ブリッジ地点におけるL-Q式

2) 推定結果

再現計算及び将来予測で最終的に設定した流入土砂量を表 9-18 に示す。

表 9-18 再現計算および将来予測における流入土砂量

現況(空隙込み)

河川名	粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	玉石	合計
Nadi	17.4	30.5	8.4	4.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	60.5
Namosi	20.8	38.1	10.0	4.2	0.2	0.0	0.2	0.1	0.0	73.6
Nawaka	8.5	15.0	4.0	4.0	0.3	0.1	0.4	0.2	0.0	32.5
Malakua	0.6	1.1	0.3	3.3	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	5.6

単位: 千m<sup>3</sup>/年

将来(空隙込み)

河川名	粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	玉石	合計
Nadi	15.7	27.6	7.6	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.7
Namosi	18.6	34.0	8.9	3.8	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	65.6
Nawaka	7.8	13.7	3.7	3.6	0.3	0.1	0.4	0.1	0.0	29.7
Malakua	0.6	1.0	0.3	3.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	5.2

単位: 千m<sup>3</sup>/年

**(3) 計算で使用する粒径区分**

河床変動解析では実際の河床を構成する大小様々な粒径成分の移動・堆積を計算可能だが、実際には粒径成分を数段階（5～10程度）に区分し、区分毎に代表粒径を設定する。本検討では対象河川の河床材料調査結果を踏まえて、以下の粒径区分を設定した。

**表 9-19 計算に用いた粒径区分**

分類		粒径区分(mm)		代表粒径(mm)
粒径 1	玉石	500.0	～ 75.0	106.0
粒径 2	礫分	粗礫	75.0 ～ 22.4	37.7
粒径 3		中礫	22.4 ～ 6.69	9.5
粒径 4		細礫	6.69 ～ 2.00	3.08
粒径 5	砂分	粗砂	2.000 ～ 0.669	1.30
粒径 6		中砂	0.669 ～ 0.224	0.46
粒径 7		細砂	0.224 ～ 0.075	0.14
粒径 8	シルト	0.075	～ 0.005	0.019
粒径 9	粘土	0.005	～ 0.001	0.0022

### 9.3.4 河床変動解析の概要

河床変動解析には河道縦断方向の1次元河床変動解析モデルを用いた。本プロジェクトにおける河床変動解析の目的はナンディ川の洪水対策の実施による中長期的な河床地形、流出土砂の予測であるため、それらの目的を現実的な計算時間で適切に評価可能な1次元モデルが適切と考えられる。

#### (1) 河床変動モデルの概要

使用する河床変動モデルの概要を表9-20、模式図を図9-35に示す。本モデルは河川の一般的な横断形状や大小様々な粒径（混合粒径）を考慮可能な河床変動モデルである。

対象領域は河川の河口～上流であり、下流端で潮位変化を考慮した不等流モデルを採用する。河床変動に関しては、掃流砂、浮遊砂の運動を考慮している。なお、浮遊砂に関しては予測精度が比較的高い非平衡モデルを採用している。

表 9-20 使用する河床変動解析モデルの概要

項目	内容
流れの計算	1次元不等流モデル
流砂の計算	1次元河床変動モデル（混合粒径モデル）
掃流砂の運動	・ 芦田・道上式
浮遊砂の運動	・ 浮遊砂の非平衡性を考慮。基準面濃度には芦田・道上式を採用
解析手法	マコーマック法

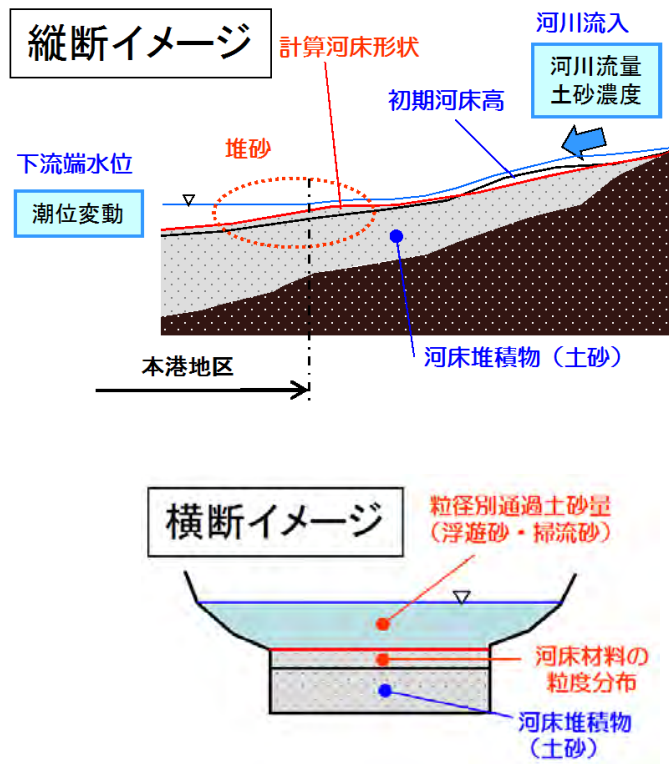


図 9-35 河床変動モデルの模式図

## (2) 基礎方程式

流入土砂移動モデルの基礎方程式を以下に示す。

### < 1次元河床変動計算の基礎方程式 >

#### 流砂の連続式

$$\frac{\partial A_s}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left( \sum_j Q_{Bj} \right) + \sum_j B_{su} (q_{sj} - q_{dj}) \right\} = 0 \quad \text{式(1)}$$

#### 粒径別浮遊砂輸送方程式

$$\frac{\partial (\bar{C}_j A)}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{C}_j Q)}{\partial x} = B_{su} (q_{sj} - q_{dj}) \quad \text{式(2)}$$

#### 交換層における粒径別土砂収支式

##### 河床上昇時

$$\frac{\partial (P_{sj} A_{sa})}{\partial t} = -\frac{1}{(1-\lambda)} \left\{ \frac{\partial Q_{Bj}}{\partial x} + B_{su} (q_{sj} - q_{dj}) \right\} - P_{s1j} \left( \frac{\partial A_{sb}}{\partial t} \right) \quad \text{式(3)}$$

##### 河床低下時

$$\frac{\partial (P_{sj} A_{sa})}{\partial t} = -\frac{1}{(1-\lambda)} \left\{ \frac{\partial Q_{Bj}}{\partial x} + B_{su} (q_{sj} - q_{dj}) \right\} - P_{oj} \left( \frac{\partial A_{sb}}{\partial t} \right) \quad \text{式(4)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{dj} = w_{sj} C_{Bj} \\ q_{dj} = w_{sj} \bar{C}_j \end{array} \right. \quad \text{式(5)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{dj} = w_{sj} \bar{C}_j \end{array} \right. \quad \text{式(6)}$$

ここで、 $A$  は流水断面積( $m^2$ )、 $Q$  は流量( $m^3/s$ )、 $t$  は時間( $s$ )、 $x$  は河道下流方向距離( $m$ )、 $z$  は基準位置からの鉛直上向きの高さ( $m$ )、 $g$  は重力加速度( $m^2/s$ )、 $H$  は水面高さ( $m$ )、 $A_s$  は河床横断面積( $m^2$ )、 $\lambda$  は堆積土砂の空隙率、 $Q_{Bj}$  は粒径別掃流砂量( $m^3/s$ )、 $q_{sj}$  は乱れによる粒径別浮遊砂浮上フラックス( $m/s$ )、 $q_{dj}$  は粒径別浮遊砂沈降フラックス( $m/s$ )、 $w_{sj}$  は粒径別土粒子沈降速度( $m/s$ )、 $C_{Bj}$  は浮遊砂の粒径別底面濃度( $m^3/m^3$ )、 $\bar{C}_j$  は粒径別断面平均浮遊砂濃度( $m^3/m^3$ )、 $R$  は径深( $m$ )、 $C_{Bej}$  は浮遊砂の粒径別基準面濃度( $m^3/m^3$ )、 $P_{sj}$  は交換層に占める各粒径成分の割合、 $A_{sa}$  は交換層断面積( $m^2$ )、 $A_{sb}$  は交換層を除いた河床断面積( $m^2$ )、 $P_{s1j}$  は $\Delta t$  前の  $P_{sj}$ 、 $P_{oj}$  は交換層直下の土質ブロックに占める各粒径成分の割合、 $a$  は交換層厚( $m$ )、 $B_{su}$  は浮遊砂の浮上・沈降が生じる水路幅( $m$ )、 $I_e$  はエネルギー勾配、 $n$  はマンニングの粗度係数を意味する。 $B_{su}$  には河床面の水路幅  $B_s$  を、 $w_{sj}$  には Rubey の実験式を用いた。なお、粘土、シルト分の  $q_{sj}$ 、 $q_{dj}$  に関しては別途本業務の検討を踏まえてモデル化を行った。



### 9.3.5 計算手順

河床変動計算の一般的な流れを図 9-36 に示す。まず流れ場の計算により水面形や流速の縦断分布が求められ、それら水理量と流砂量公式から流砂量(掃流砂量、浮遊砂量)が算出される。次に流砂量を用いて河床変動計算が行われ、河床形状が求まる。最後に計算された最新の河床形状と流砂量を用いて交換層の粒度分布が計算される。

実際の流れ場、流砂量の計算では計算方法によって多少の差異があるが、基本的にはこのフローで河床変動計算が進む。

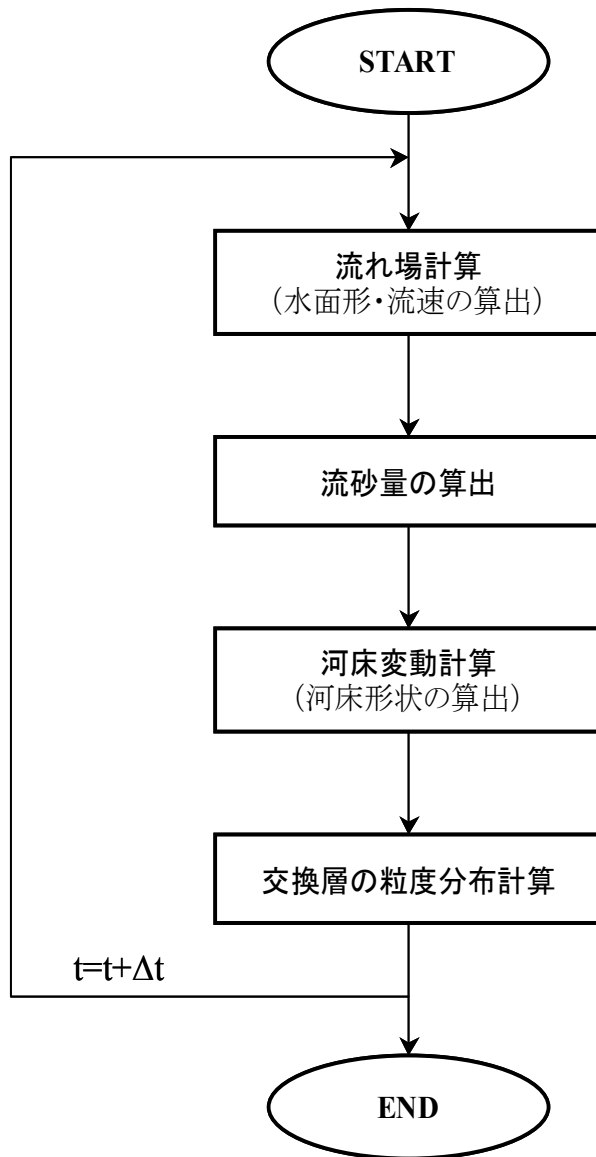


図 9-36 河床変動計算の手順

### 9.3.6 現況再現計算

以上の計算条件を基に再現計算を実施した。再現計算の主な設定条件を表 9-21 に示す。

#### (1) 計算の実施方針

再現計算にあたっては、以下の方針で行った。

- 解析モデルの検証は、本川の縦断的な河床変動傾向や本川筋と支川筋の浮遊砂量の流出傾向を主に確認する。なお、支川に関しては過去の河川測量資料が存在しないため、検証作業は実施しない。

表 9-21 主な再現計算の設定条件

項目	設定内容	備考
解析モデル	1次元河床変動解析モデル	
計算期間	1998～2014（17年間）	
計算領域	本川：ナンディ川(28.0km) 支川：ナモシ川(5km)、ナワカ川(10km)、マラクア川(5km)	
初期河床	本川：1998年の平均河床高(実績)を設定 支川：2014年の平均河床高(実績)を設定	支川の測量は1998年は未実施
時間刻み	計算の収束状況を踏まえて設定	
空間刻み	$\Delta x = 250\text{m}$ (※)	※2014測量の縦断間隔
代表粒径数	9粒径 対象範囲：粘土(0.005mm)～玉石(300mm)	
河床材料	2014年の河床材料調査結果を基に設定	
上流端	流量) 主要な洪水時の流量(時系列データ) 土砂) 掃流砂：流砂量公式により推定 浮遊砂：本川・支川とも実測 L-Q 式により推定	本川、支川の上流端から時系列データとして与える
下流端	水位) 観測潮位 土砂) 河口地点を通過	
河道浚渫	2008～2012に実施された浚渫(場所、土砂量)を考慮する	
粗度係数	セグメント毎に計画粗度を設定	
空隙率	0.4	

## (2) 計算結果

再現計算の結果を次ページ以降に示す。これより以下のことがわかる。

### <下流区間の再現性について>

- 下流部では河道浚渫が実施されており、計算では1~4mの河床低下が生じている。実測でも4~8kmにおいて1m程度の低下が見られるが、0~4km区間では目だった河床変動は認められなかった。
- 0~4km区間において計算と実測で結果が異なる理由としては、①河口部では一度河口から流出した土砂が波浪によって河道内に流入してくること、②河口部では海水が逆流してくるが、細粒土砂が海水と接触することで凝集沈降が促進されたことが考えられる。ただし、これらの現象は非常に複雑な現象であり、定量解析には研究レベルの高度な技術を必要とするため、現象の再現は現実的に困難である。

### <中流区間の再現性について>

- 中流区間では実測では20~25k区間でやや低下傾向が認められるが1m前後の変動であり、大きな河床変動は見られない。計算では20~25k区間の低下傾向は再現性が不十分であるが、河床が安定している状況は概ね再現できていると考えられる。

### <流下土砂量の再現性について>

- 本年度のバックロード・ブリッジ地点とナブ・ブリッジ地点の浮遊砂の流下土砂量の比率は5：1であった。一方、再現計算の結果、各地点の浮遊砂（粘土・シルト・細砂）の合計値は12万m<sup>3</sup>/年：3万m<sup>3</sup>/年となり4：1となった。多少の差はあるものの、本川筋のほうが浮遊土砂の流出量が大きい傾向が比較的良好に再現できたと考えられる。

以上から、本モデルでは河口部の再現性に一部課題が残るものの、全体的な河床変動の特徴や海岸地形に寄与するシルト分や細砂分の流下土砂量の特徴についても概ね再現することができたと考えられる。よって、本モデルはナンディ川の土砂動態を予測するのに有効と判断した。

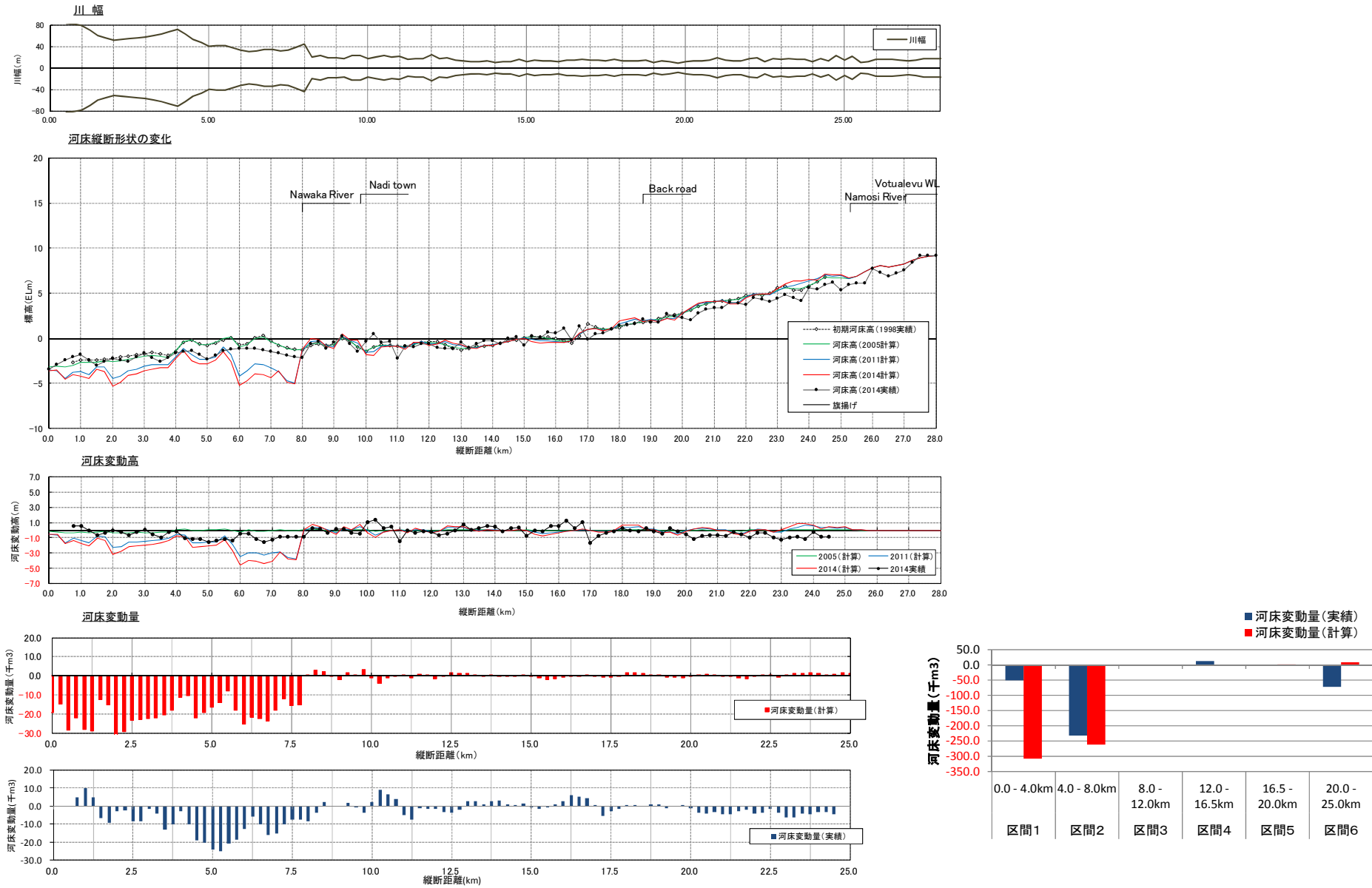


図 9-37 再現計算結果 (ナンディ本川区間)

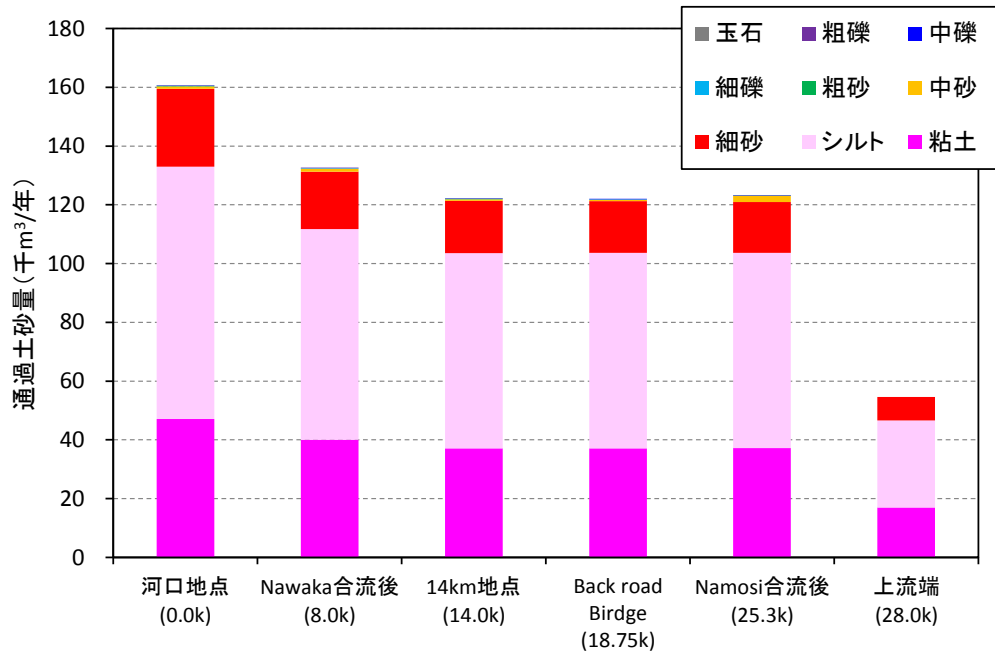


図 9-38 再現計算結果 (粒径別流下土砂量)

表 9-22 再現計算結果 (粒径別流下土砂量)

地点	粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	玉石	流下土砂量
河口地点 (0.0k)	47.1	85.9	26.5	0.79	0.21	0.07	0.02	0.00	0.00	160.6
Nawaka合流後 (8.0k)	40.0	71.7	19.5	0.96	0.18	0.09	0.11	0.00	0.00	132.6
14km地点 (14.0k)	37.1	66.5	17.9	0.46	0.19	0.09	0.07	0.00	0.00	122.2
Back road Birdge (18.75k)	37.1	66.5	17.6	0.46	0.14	0.09	0.13	0.00	0.00	122.0
Namosi合流後 (25.3k)	37.1	66.6	17.2	2.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	123.1
上流端 (28.0k)	16.9	29.7	8.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.6

(単位: 千m<sup>3</sup>/年)

### 9.3.7 将来予測計算

#### (1) 計算の条件

再現計算で検証された河床変動解析モデルを用いて将来予測計算を実施する。将来予測計算の主な計算条件を表 9-23 に示すとともに、計算の主な実施方針を以下に示す。

- 将来予測では、対策を実施しない場合における河道の変化状況を予測する。よって、過去に実施された河道浚渫は本将来予測では考慮しない。
- 予測期間は将来 50 年間とする。
- 将来 50 年間の流量波形については、再現計算で作成した 17 年間の洪水を 3 回程度繰り返し返して作成する。その際、2012 年 3 月洪水に関しては、その生起確率を考慮し、50 年間で 1 回発生する設定条件とする。

表 9-23 将来予測計算の主な設定条件

項目	設定内容	備考
解析モデル	1次元河床変動解析モデル	検証済みモデル
計算期間	将来 50 年間	
計算領域	本川：ナンディ川(28.0km) 支川：ナモシ川(5km)、ナワカ川(10km)、マラクア川(5km)	
初期河床	本川：2014 年の平均河床高(実績)を設定 支川：2014 年の平均河床高(実績)を設定	
時間刻み	再現計算の設定値	
空間刻み	$\Delta x = 250\text{m}$	
代表粒径数	9 粒径 対象範囲：粘土(0.005mm)～玉石(200mm)	
河床材料	2014 年の河床材料調査結果を基に設定	
上流端	流量) 主要な洪水流量を 50 年分繰り返し与える 土砂) 流砂量式による粒径別の推定値 (※)	※再現計算で検証された係数を用いる
下流端	水位) 観測潮位 土砂) 河口地点を通過	
河道浚渫	浚渫は考慮しない	
粗度係数	再現計算と同じ	
空隙率	0.4	

※青文字は再現計算の設定と異なる

## (2) 計算結果

将来計算の結果を次ページ以降に示す。これより以下のことがわかる。

### <下流区間の河床変動について>

- 0～4km では 1m 程度の河床低下が認められるが、これは再現計算の節でも述べたように本モデルでは河口部特有の土砂堆積機構を考慮するのが困難であることが起因しているためと考えられ、実際には波浪や塩水の化学的作用によって粘土・シルト成分の堆積が促進されると推測される。
- 上記以外は年の経過とともに部分的な河床の上昇や低下は認められるものの 1m 前後の変動に留まっており、比較的安定している。

### <中流区間の河床変動について>

- ナモシ川合流点の下流部でやや堆積傾向が認められるが、中流区間も 1m 前後の変動に留まっており、比較的安定していると考えられる。

### <流下土砂量について>

- 将来予測の結果、本川筋と支川筋の粘土・シルト・細砂の合計値は 11 万 m<sup>3</sup>/年：2.6 万 m<sup>3</sup>/年となり 4：1 となった。今後も流域の土地利用状況や気象状況に大きな変化がなければ、これまでと同程度の流下土砂量が発生すると考えられる。

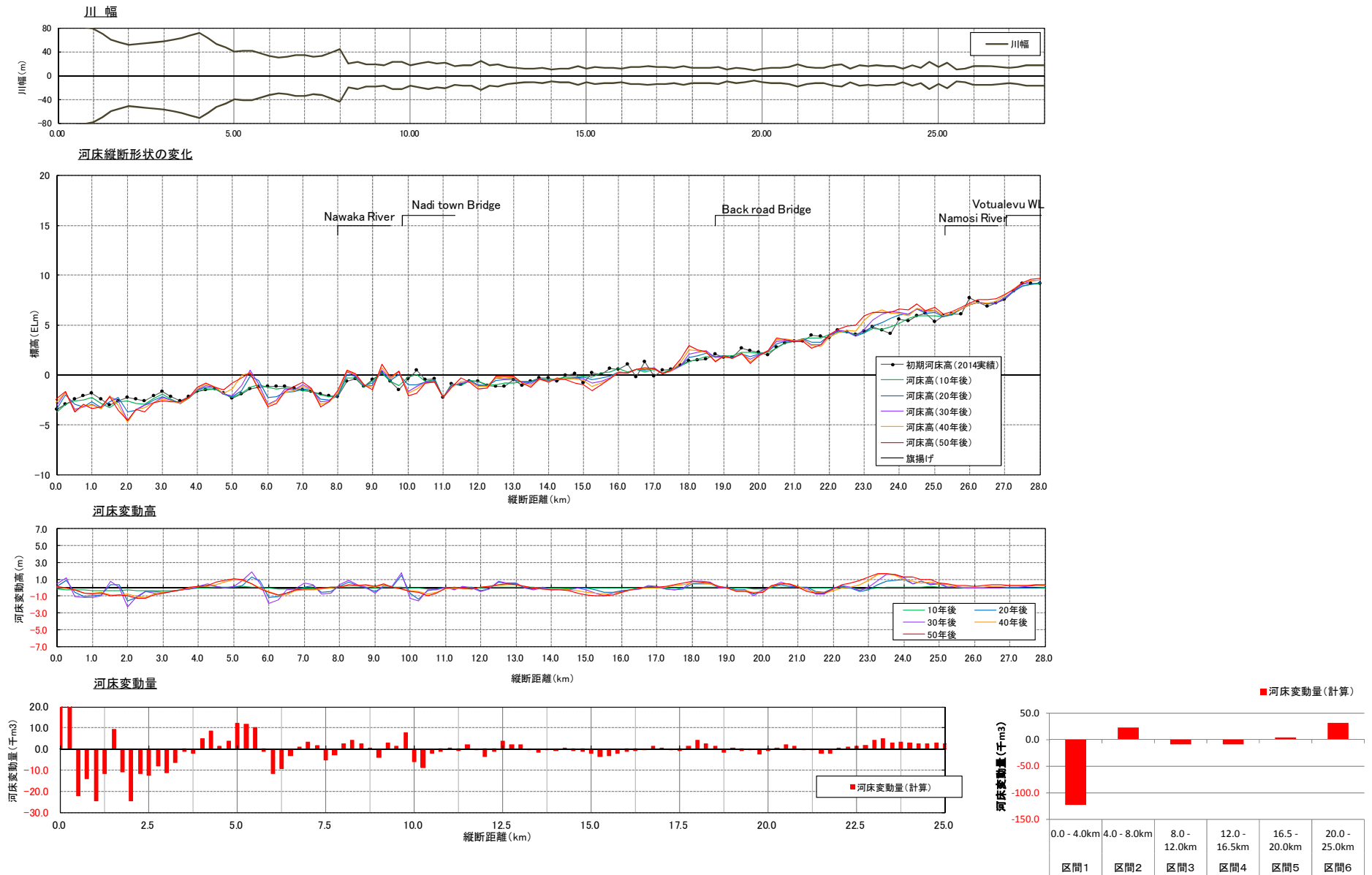


図 9-39 将来予測結果 (無体策：ナンディ本川区間)



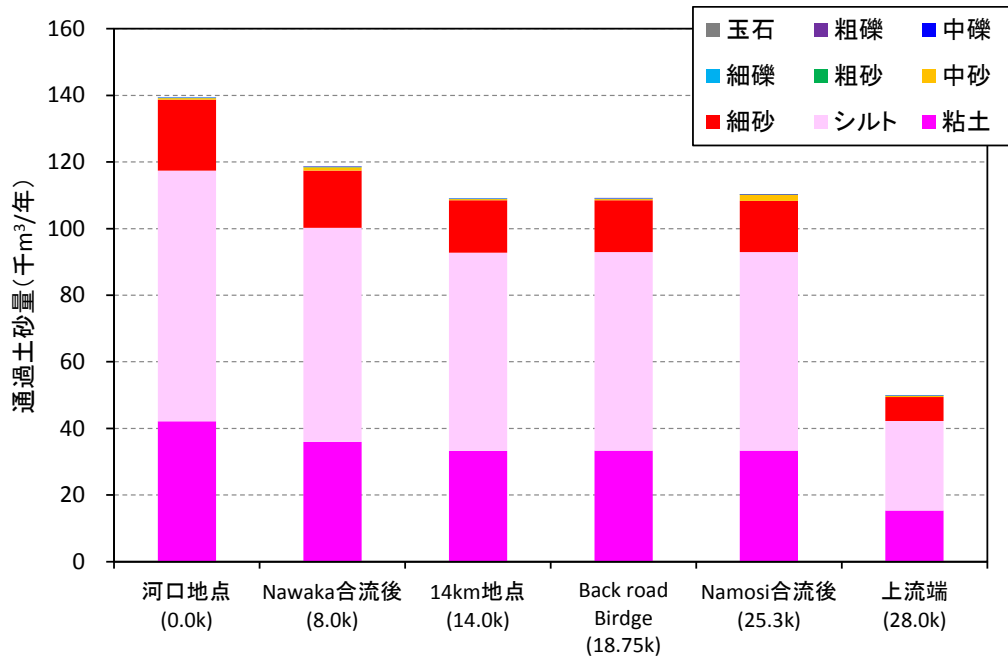


図 9-40 将来予測結果 (粒径別流下土砂量)

表 9-24 将来予測結果 (粒径別流下土砂量)

地点	粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	玉石	流下土砂量
河口地点 (0.0k)	42.2	75.2	21.3	0.45	0.13	0.05	0.01	0.00	0.00	139.3
Nawaka合流後 (8.0k)	35.9	64.3	17.2	0.98	0.08	0.05	0.08	0.00	0.00	118.6
14km地点 (14.0k)	33.2	59.6	15.7	0.32	0.14	0.07	0.07	0.00	0.00	109.1
Back road Birdge (18.75k)	33.3	59.6	15.6	0.36	0.10	0.06	0.11	0.00	0.00	109.1
Namosi合流後 (25.3k)	33.3	59.7	15.4	1.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	110.2
上流端 (28.0k)	15.3	26.9	7.2	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.8

(単位: 千m3/年)

【参考】 1/30 年確率規模の洪水による流出土砂量への影響について

将来予測計算で与えた 50 年間分の洪水ハイドロは再現計算で用いた 1998 年～2014 年の 17 年間に発生した主要洪水を 3 回繰り返して作成したものである。その際、1/50 年確率の 2012.3 洪水に関しては超過確率を踏まえて 50 年間で 1 回の発生としたが、30 年確率の 2009.1 洪水に関しては 3 回繰り返して与えており、超過確率の観点ではやや過大な土砂量が設定されている可能性がある。ここでは参考として、2009.1 洪水を将来予測計算から 1 回分除外した場合の河口流出土砂量への影響を確認した。

計算結果を図 9-41、表 9-25 に示す。その結果、河口流出土砂量は 139 千 m<sup>3</sup>/年から 127 千 m<sup>3</sup>と約 9%の減少となった。よって、30 年確率洪水は流出土砂量として 1 割程度の影響があると考えられる。

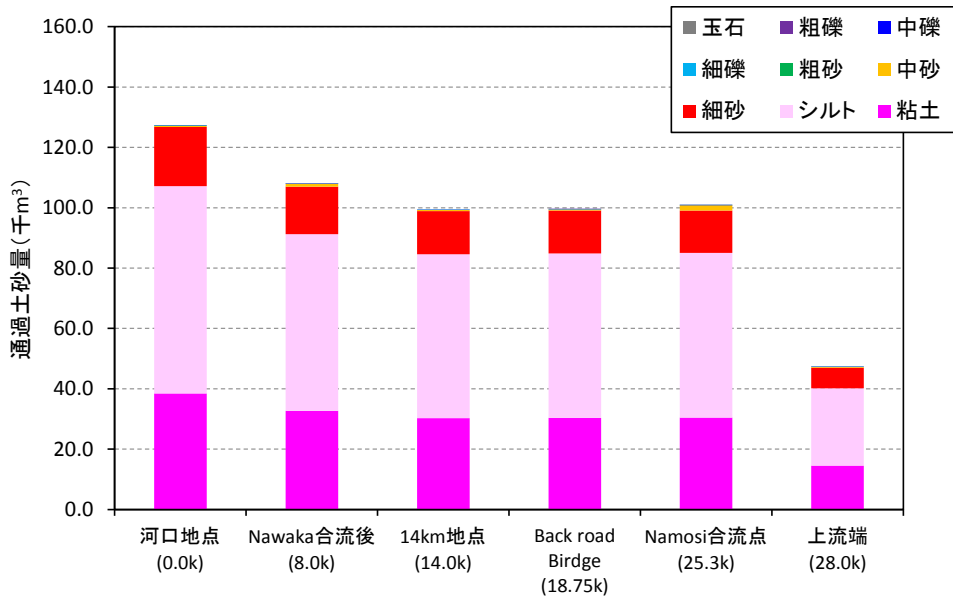


図 9-41 【参考】 将来予測結果 (30 年確率洪水を 1 回分除いた場合)

表 9-25 【参考】 将来予測結果 (30 年確率洪水を 1 回分除いた場合)

	粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	玉石	流下土砂量
河口地点 (0.0k)	38.5	68.6	19.6	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	127.3
Nawaka合流後 (8.0k)	32.7	58.5	15.7	0.9	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	108.1
14km地点 (14.0k)	30.3	54.3	14.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	99.5
Back road Birdge (18.75k)	30.4	54.4	14.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	99.6
Namosi合流点 (25.3k)	30.5	54.6	14.1	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.9
上流端 (28.0k)	14.6	25.6	6.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.3

(単位: 千m<sup>3</sup>/年)

### 9.3.8 土砂動態解析のまとめ

本検討の結果、明らかになったことを以下に列挙する。

- 現況においては中流部でやや河床低下が認められるが変動は 1m 前後であり、比較的安定している河床と考えられる。また、下流部では 2008～2012 に実施された河道浚渫(合計 1,651 千 m<sup>3</sup>)によって 4km～8km 区間で 1～2m の河床低下が認められた。なお、0km～4km 区間は 1998 年の河床高と同程度であり、浚渫後に粘土・シルト分が再堆積したものと推察される。
- 河床変動計算による 1998 年～2014 年の 17 年間の現況再現計算の結果、河口流出土砂量は年間 160 千 m<sup>3</sup> であり、ほぼ 10 割が粒径 0.2mm 以下の粘土、シルト、細砂である。これらのうちのシルト、細砂分が現状のナンディ川河口沿岸の海浜形成に寄与していると考えられる。
- 洪水対策事業を実施しない場合の将来 50 年間の予測計算を実施した結果、ナンディ川の河床地形に特に大きな変化は生じなかった。現況の河道地形は土砂の流入と流出がバランスした安定的な河道と考えられる。また、河口流出土砂量は年間 139 千 m<sup>3</sup> となり、現況よりもやや少ない土砂量となった。

## 9.4 洪水対策による影響検討及び緩和策検討

本プロジェクトで構築した河床変動モデルを用い、選定された洪水対策案による将来予測を実施した。予測期間は計画規模と同等年数（50 年間）とし、「対策事業なし」の予測結果と比較することで対策事業による影響を抽出するとともに、緩和策の検討を実施した。

### 9.4.1 洪水対策による河床変動予測

#### (1) 計算条件

検証された河床変動解析モデルを用いて洪水対策を考慮した予測計算（以下、対策予測と呼ぶ）を実施した。対策予測の主な計算条件を表 9-26 に示すとともに、計算の実施方針を以下に示す。

- 対策予測では、マスタープランのうち**本川・支川の河道拡幅、遊水地の設置による河道の変化状況を予測**する。よって、過去の河道浚渫は本将来予測では考慮しない。
- 予測期間は将来 50 年間とする。
- 将来 50 年間の流量波形については、将来予測計算と同様に再現計算で作成した 17 年間の洪水を 3 回程度繰り返して作成する。その際、2012 年 3 月洪水に関しては、その生起確率を考慮し、50 年間で 1 回発生する設定条件とする。

表 9-26 対策予測の主な設定条件

項目	設定内容	備考
解析モデル	1次元河床変動解析モデル	検証済みモデル
計算期間	将来 50 年間	
計算領域	本川：ナンディ川(28.0km) 支川：ナモシ川(5km)、ナワカ川(10km)、マラクア川(5km)	
初期河床	本川：計画断面の平均河床高(実績)を設定 支川：計画断面の平均河床高(実績)を設定	
対策内容	河道拡幅[本川・支川] 遊水地 2 箇所[本川 20.5k、22.5k]	各対策工の諸元は第 7 章の検討結果を用いた
時間刻み	再現計算の設定値	
空間刻み	$\Delta x = 250\text{m}$	
代表粒径数	9 粒径 対象範囲：粘土(0.005mm)～玉石(200mm)	
河床材料	2014 年の河床材料調査結果を基に設定	
上流端	流量) 主要な洪水流量を 50 年分繰り返し与える 土砂) 流砂量式による粒径別の推定値 (※)	※検証された係数値を用いた
下流端	水位) 観測潮位 土砂) 河口地点を通過	
河道浚渫	浚渫は考慮しない	
粗度係数	再現計算と同じ	
空隙率	0.4	

※青文字は再現計算の設定と異なる

## (2) 予測結果

将来計算の結果を図 9-42、図 9-43、表 9-27 に示す。これより以下のことがわかる。

### <下流区間の河床変動について>

- 0～5km の河道区間は 5km 上流部に比べて掘削規模が小さく、改修前と同様に 1m 程度の河床低下が認められる。しかし、この点は再現計算の所でも述べたように河床変動モデルの限界であり、実現象としては、波浪や塩水の化学的作用による粘土・シルト成分の堆積が促進されると推測される。
- 5～10km 区間は拡幅区間であるが改修後の河床地形に大きな変化は認められず、比較的安定していると考えられる。

### <中流区間の河床変動について>

- 中流区間では河道掘削区間（拡幅部）より上流の河道において河床低下が生じた。これは河道拡幅によって洪水時の水位が低下するようになった結果、上流の未改修区間の水位も低下して出水時の流速が増加し、河床低下が進んだものと推察される。河床低下区間は 19k～21k であり、河床低下量は最大で 2m 程度であった。なお、この影響の度合いについては「緩和策の検討」で詳述する。

### <流下土砂量について>

- 対策予測の結果、本川筋と支川筋（ナワカ川・マラクア川）の粘土・シルト・細砂の合計値は 11 万 m<sup>3</sup>/年：1 万 m<sup>3</sup>/年となった。今後も流域の土地利用状況や気象状況に大きな変化がなければ、これまでと同程度の流下土砂量が発生すると考えられる。
- また、対策予測計算では遊水地を考慮しているが、解析の結果、1 千 m<sup>3</sup>/年程度の粘土～中砂の土砂が遊水地に捕捉されると推定される。

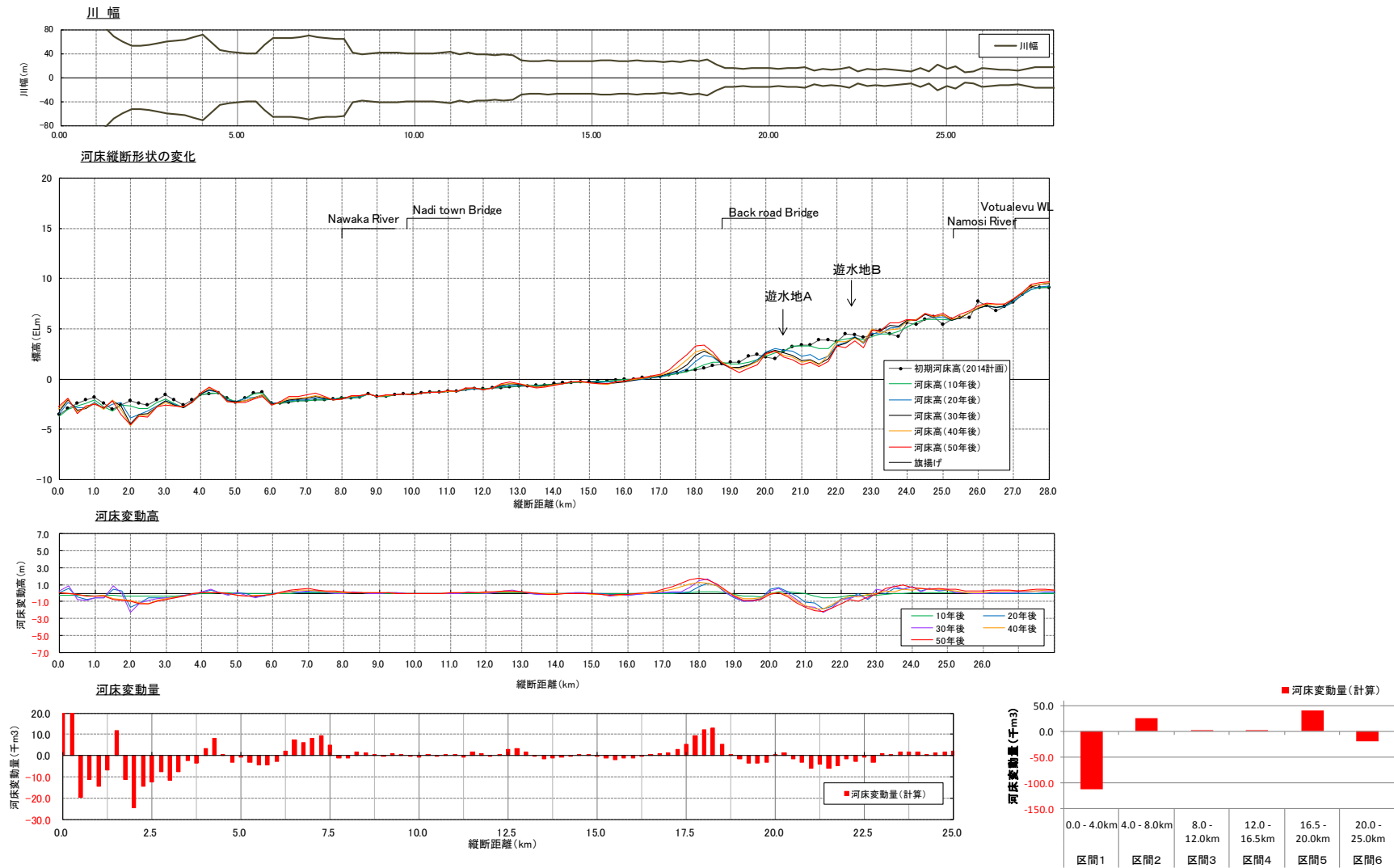


図 9-42 対策予測結果 (対策あり：ナンディ本川区間)

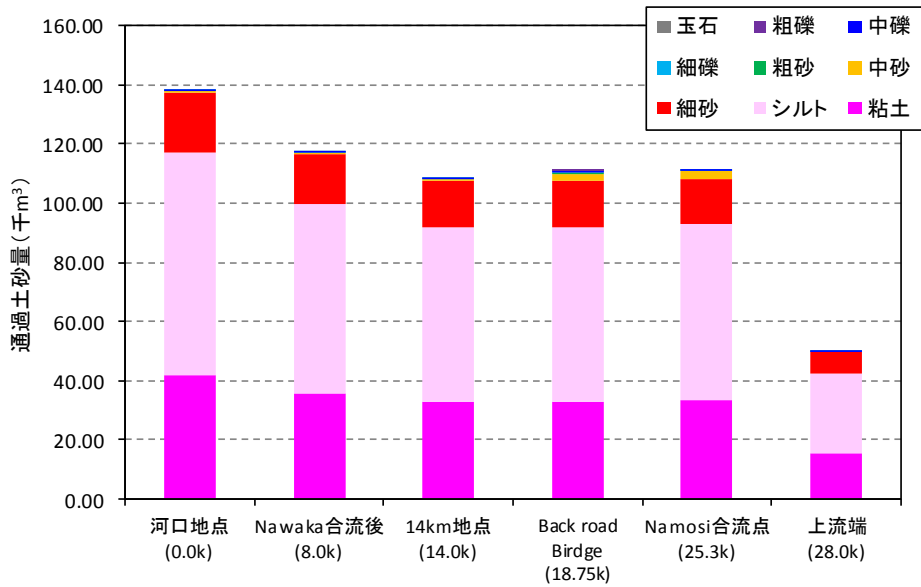


図 9-43 対策予測結果 (粒径別流下土砂量)

表 9-27 対策予測結果 (粒径別流下土砂量)

	粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	玉石	流砂量
河口地点 (0.0k)	41.99	74.87	20.78	0.32	0.12	0.05	0.00	0.00	0.00	138.1
Nawaka合流後 (8.0k)	35.65	63.81	16.99	0.49	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	117.0
14km地点 (14.0k)	32.94	59.04	15.76	0.23	0.18	0.07	0.02	0.00	0.00	108.3
Back road Birdge (18.75k)	32.95	59.04	15.73	2.08	0.35	0.23	0.51	0.00	0.00	110.9
Namosi合流点 (25.3k)	33.32	59.67	15.39	2.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	110.7
上流端 (28.0k)	15.34	26.91	7.19	0.49	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	49.9
遊水地 (22.5k+20.5k)	0.28	0.51	0.13	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0

単位: 千m<sup>3</sup>/年

## 9.4.2 対策事業による影響分析

前述の対策なしの将来予測結果と対策事業等を考慮した将来予測結果（対策予測結果）を比較し、対策事業による治水面への影響を定量的に分析した。

### (1) 治水面への影響

「対策事業あり」と「対策事業なし」の将来 50 年後の予測結果について比較を行った。平均河床高、河床変動高の観点で比較した結果を図 9-44 に示す。

治水面への影響として一般的なものは、河床上昇に伴う流下能力の低下、河床低下による護岸崩壊等の治水施設への影響が考えられる。図を見ると、19k～23k 付近の河床低下、0k～5k 付近の細粒土砂の堆積（河床上昇）が比較的顕著な現象であることから、これらの現象について治水面での影響について考察する。

#### 1) 河床低下

19～23k では比較的広範囲にわたって河床低下が生じている。50 年間で平均河床高が最大 2m 程度低下すると予想された。平均河床で 2m の低下なので最深河床高は更に深くなることから、将来的には治水施設に影響を及ぼす可能性がある。しかし、すべての地点で一様に河床低下するわけではない。また、河床低下は比較的侵食されやすい箇所から徐々に進行していくことから、早急な対策を講ずる必要性は小さいと考えられる。

#### 2) 河床上昇

河床上昇は 0～5k の区間で発生する可能性がある。予測結果では対策事業の有無で河床高の変化に違いは認められなかったが、過去の実績において当該区間では河道浚渫を実施している。なお、河口部の通過土砂量を確認すると、対策事業なしの場合：13.9 万 m<sup>3</sup>/年、対策事業あり：13.8 万 m<sup>3</sup>/年となっており、対策事業によって堆積土砂量が増加するわけではない。よって、事業の影響という意味では河口部の浚渫は対象外と判断する。



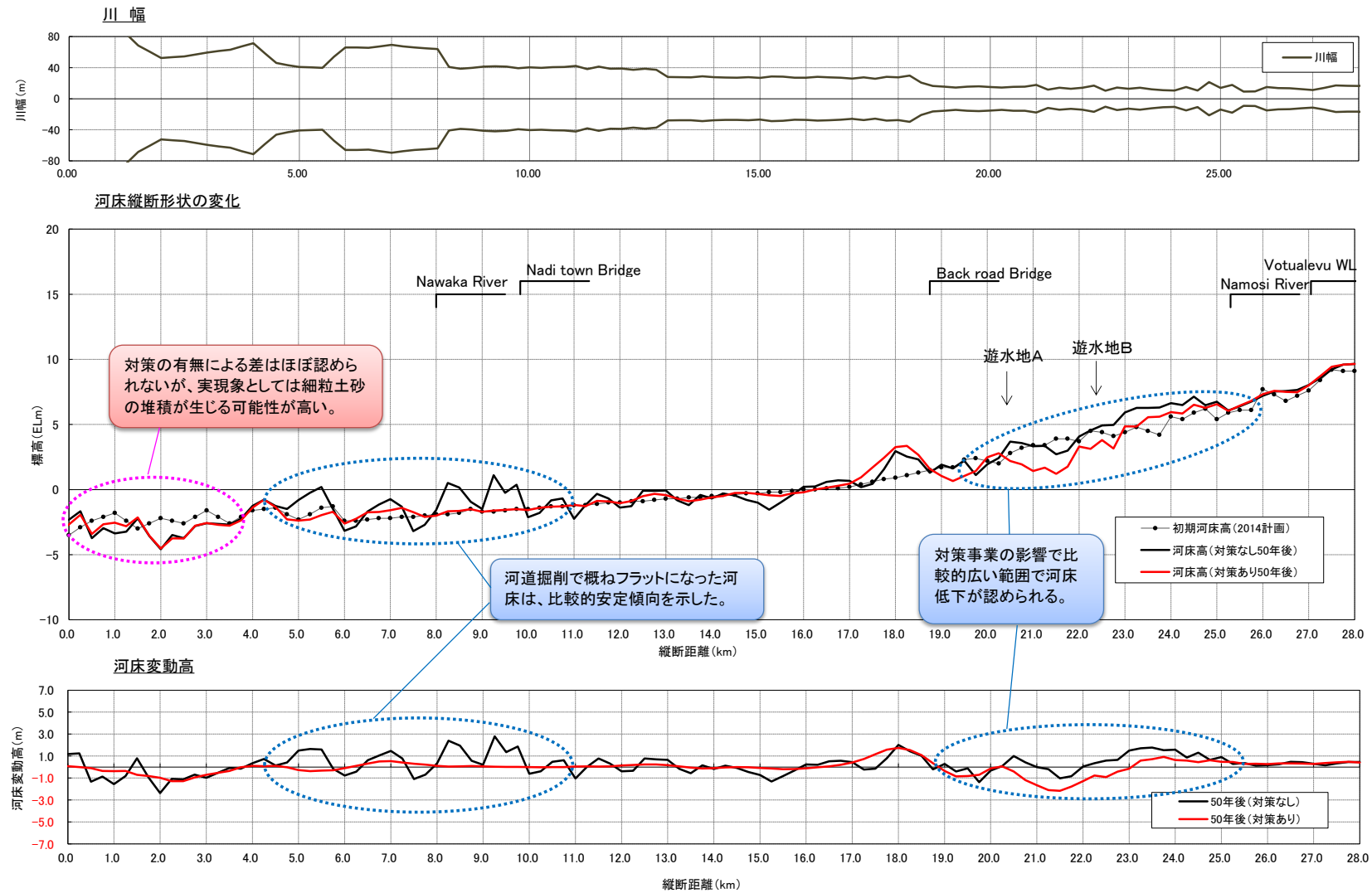


図 9-44 事業対策の有無での地形変化の比較

### 9.4.3 緩和策の検討

対策事業の影響分析結果を踏まえ、課題箇所の整理、緩和策の必要性の整理を行い、今後の対応策について検討した。

#### (1) 課題箇所の整理

対策事業の影響分析の結果、影響が比較的顕著に現れていたのが 19k~23k の河床低下区間である。原因は河道拡幅に伴う洪水時の流況変化であり、発生メカニズムとしても定性的には生じ得る現象である。なお、最下流部の河道浚渫は前述のとおり、対策事業に関係なく発生するものであるため、課題箇所には含まないこととする。

表 9-28 課題箇所の抽出

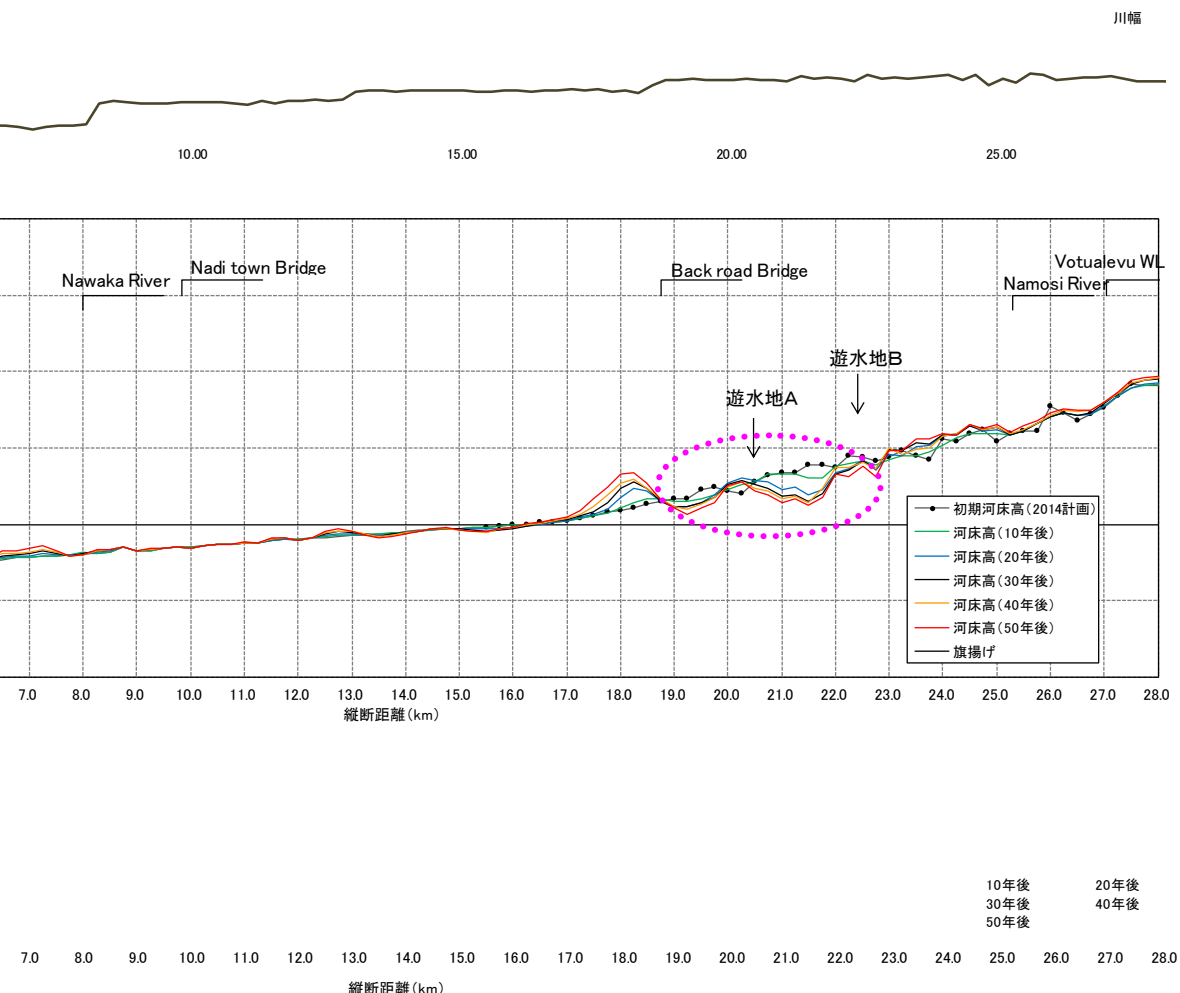
課題箇所	課題点	対策事業との関連性
19k~26k	河床低下	河道拡幅に伴う洪水時の流況変化

#### (2) 緩和策の必要性の整理

上記で抽出した河床低下区間について緩和策の必要性を整理した。

まず、河床変動解析結果を参考に課題箇所の河床低下の状況を再度確認すると以下ようになる。

- ✓ 事業実施 10 年後に 22k 付近で河床が約 1m 低下する。



また、一般的な河床低下対策として床止め工が考えられるが、「床止めの構造設計手引き（国土開発技術センター編）H10.11」の中で、「**河床が安定せず長期的な低下傾向が続く場合には対策が必要とされる**」との記述もあり、河床低下対策は実際に生じてみないと不確定なことが多く含まれる。また、上述のように当該河床低下は徐々に発達する現象であることから、基本的には発生後対応が妥当と考えられる。

以上から、当該課題箇所に関しては対策事業に合わせて緩和策をすぐに講じることはせず、対象区間の地形変化状況に合わせた対応をとることとする。

### (3) 課題箇所への対応方針

総合土砂管理の分野で抽出した課題箇所（河床低下区間）については、前述のとおり、すぐに緩和策を講じることはせず、当面は地形変化状況をモニタリングするとともに、砂利採取のような直接的な河床低下を制限するなどの対応をとることが適切と考えられる。

表 9-29 課題箇所への対応

課題箇所	課題点	対策事業との関連性	緩和策の必要性	対応方針
19k～23k	河床低下	河道拡幅に伴う洪水時の流況変化	当面の必要性は低い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地形の定期的な監視</li> <li>・当該区間の砂利採取の制限</li> </ul>