

4. モニタリング計画内容の検討結果の報告

4.1 松川における流砂の粒径別運動形態の検討

一次元不等流計算により摩擦速度や無次元掃流力を算出し、松川ダム下流河川の土砂動態について考察し、モニタリング計画の検討に資するものとする。

ここでは「涸沼川洪水観測レポート[2]1990～2000、平成13年3月、国土交通省土木研究所河川部河川研究室（土木研究所資料第3798号）」を参考に、以下の手順で検討した。

- ① 一元不等流計算の実施にあたり、計算流量や粗度係数、下流端水位などの計算条件を設定。
なお、粗度係数については、一次元不等流計算を実施して得られた計算水位と、上茶屋における水位・流量の実測値の比較により、設定した粗度係数の妥当性を確認する。
- ② 一次元不等流計算を行い、摩擦速度 u_* 、無次元掃流力 τ_* の縦断分布を整理。
- ③ 粒径毎の沈降速度 w_0 を算出し、②で整理した u_* を用いて各断面の u_*/w_0 を求め、流量別の粒径別の運動形態を整理。

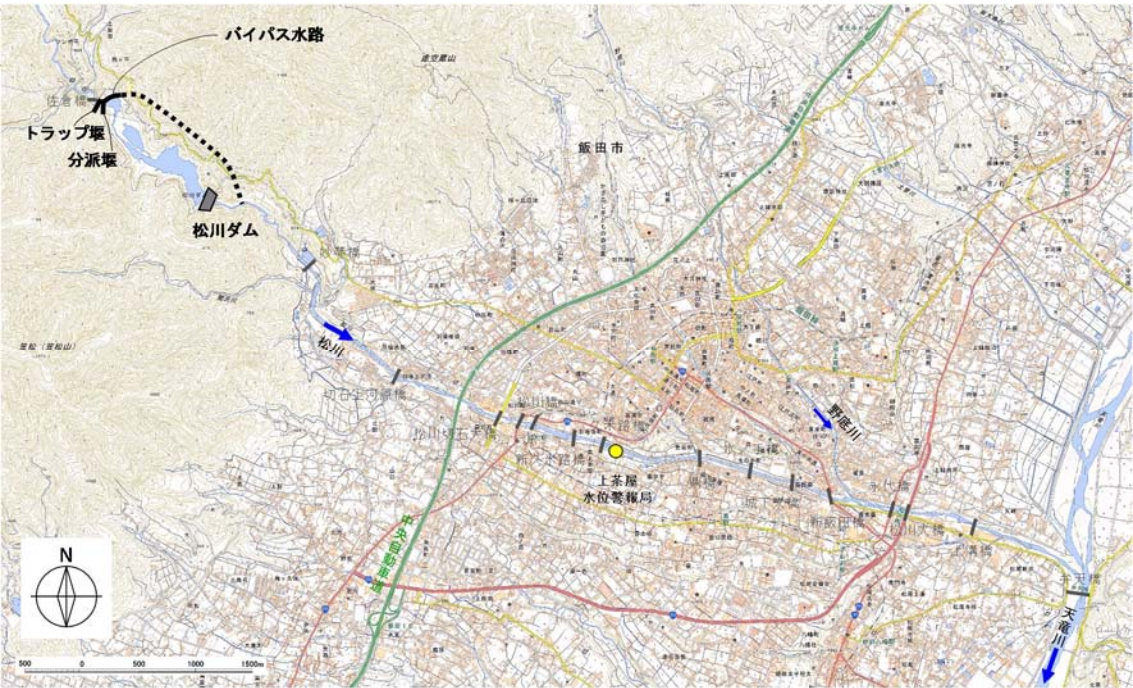


表-5.2.1 各水理量毎の粒径別 u_*/w_0

有効粒径集団		粒径集団2		粒径集団3			粒径集団4	
有効粒径集団が寄与する場所		セグメント2		セグメント3、河口テラス 中水敷形成			涸沼テラスより下流及び高水敷形成	
水位 (T.P.m)	d(mm)	3.36	1.68	0.84	0.42	0.21	0.106	0.075
12.0 11.5 11.0 10.5 10.0 9.5 9.0 8.5 8.0 7.5 7.0 6.5	$w_0(\text{cm/s})$	39.38	24.80	14.41	7.20	3.60	1.34	0.67
	u_*/w_0	0.56	0.89	1.53	3.06	6.13	16.45	32.86
		0.54	0.85	1.47	2.93	5.87	15.75	31.45
		0.51	0.81	1.40	2.80	5.59	15.01	29.98
		0.48	0.77	1.33	2.65	5.30	14.23	28.43
		0.46	0.73	1.25	2.50	5.00	13.41	26.79
		0.43	0.68	1.17	2.34	4.67	12.54	25.04
		0.40	0.63	1.08	2.16	4.32	11.60	23.17
		0.36	0.57	0.98	1.97	3.94	10.57	21.12
		0.32	0.51	0.88	1.76	3.52	9.44	18.86
		0.28	0.44	0.76	1.52	3.04	8.15	16.28
		0.23	0.36	0.62	1.23	2.46	6.61	13.21
		0.16	0.25	0.43	0.85	1.71	4.59	9.17

		u_*/w_0	Z	観測手法
概ね浮遊	ウォッシュロード的運動形態	10以上	1/4以下	バケツ採水
上・下層に多少の濃度差		5.0～10.0	1/4～1/2	5割、8割水深での採水、バケツ採水
上・下層に濃度差	浮遊砂的運動形態	2.5～5.0	1/2～1	3割、8～9割水深での採水
下層を浮遊		1.25～2.5	1～2	2～3割、8～9割水深での採水
跳躍を伴った掃流	掃流形態	0.625～1.25	2～4	掃流砂観測
掃流		0.625以下	4以上	掃流砂観測

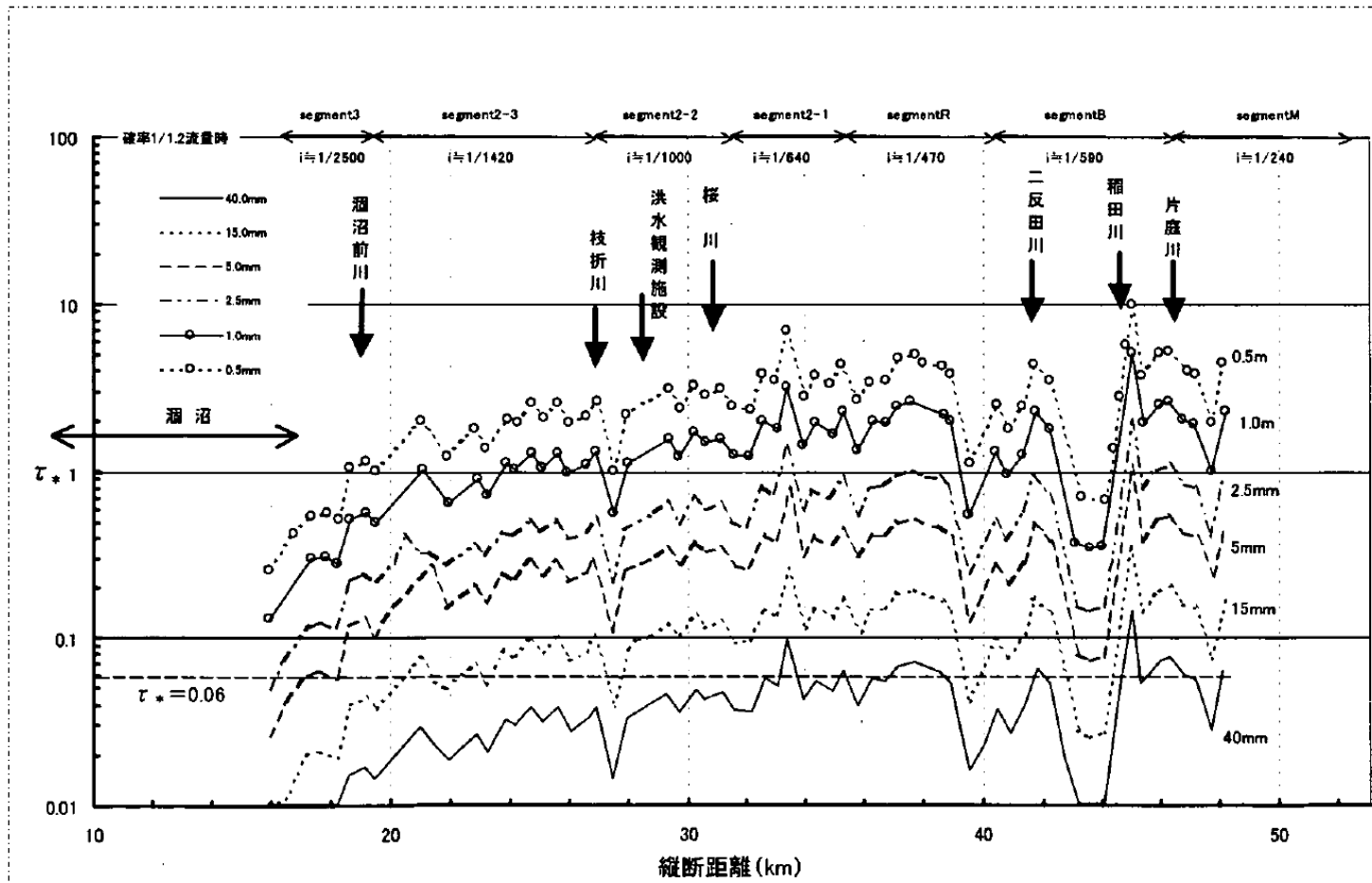


図-3.2.2 粒径別 τ_* 縦断計算値(確率 1/1.2 流量時)

出典：涸沼川洪水観測レポート[2]1990～2000、平成13年3月、国土交通省土木研究所河川部河川研究室（土木研究所資料第3798号）

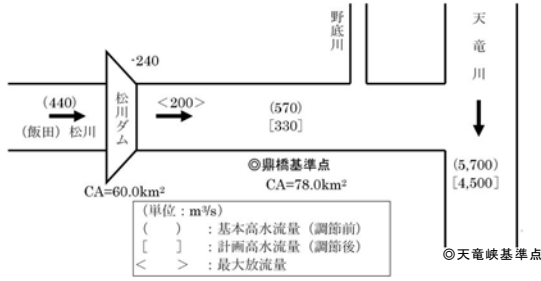
出典：涸沼川洪水観測レポート[2]1990～2000、平成13年3月、国土交通省土木研究所河川部河川研究室（土木研究所資料第3798号）

4.1.1 計算条件の設定

松川における流砂の粒径別運動形態の検討にあたり、一次元不等流計算により摩擦速度 u_* や無次元掃流力 τ_* を算出する。

計算条件は表-4.1 のとおりとした。

表-4.1 計算条件一覧表

項 目	算 定 条 件	摘 要												
(1) 計算範囲	・ No. 2(0k100)～No. 172(8k600) (天竜川合流点～松川ダム直下)	100m ピッチ＋河川横断構造物												
(2) 使用断面	・ 平成 28 年測量成果	平成 27 年度 国補ダム建設(治水ダム)事業に伴う測量業務成果												
(3) 河道水位 算定手法	・ 一次元不等流計算													
(4) 流量配分 計算流量	計算は以下の 3 ケースについて行い、いずれのケースも上流区間と下流区間の流量比率は 200 : 330 とする。  計画高水流量配分図 <table><tr><th>計算流量 \ 区間</th><th>松川ダム～ 鼎橋</th><th>鼎橋～ 天竜川合流点</th></tr><tr><td>計画高水流量</td><td>200m³/s</td><td>330m³/s</td></tr><tr><td>平均年最大ダム放流量</td><td>89.15m³/s</td><td>147.10m³/s</td></tr><tr><td>バイパス放流開始流量</td><td>20m³/s</td><td>33m³/s</td></tr></table>	計算流量 \ 区間	松川ダム～ 鼎橋	鼎橋～ 天竜川合流点	計画高水流量	200m³/s	330m³/s	平均年最大ダム放流量	89.15m³/s	147.10m³/s	バイパス放流開始流量	20m³/s	33m³/s	平均年最大ダム放流量はダム完成以降 S50～H28 の 42 年間の平均値
計算流量 \ 区間	松川ダム～ 鼎橋	鼎橋～ 天竜川合流点												
計画高水流量	200m³/s	330m³/s												
平均年最大ダム放流量	89.15m³/s	147.10m³/s												
バイパス放流開始流量	20m³/s	33m³/s												
(5) 下流端水位	・ 各計算流量時の等流水深 ・ 天竜川の計画高水位 (HWL)													
(6) 粗度係数	・ 0.040	実績水位・流量との比較により妥当性を確認した												

[計算条件の補足説明]

(1) 計算範囲

平成 27 年度に実施された測量における最下流の測線は No. 0 (0.000km) であり、その位置は図-4.1 に、断面形状は図-4.2 に示すとおり、天竜川合流点に位置している。一次元不等流計算の際には、No. 0 は計算に不適當であるため、そのひとつ上流の、測線 No. 2 (0.100km) を下流端として計算を行うものとした。

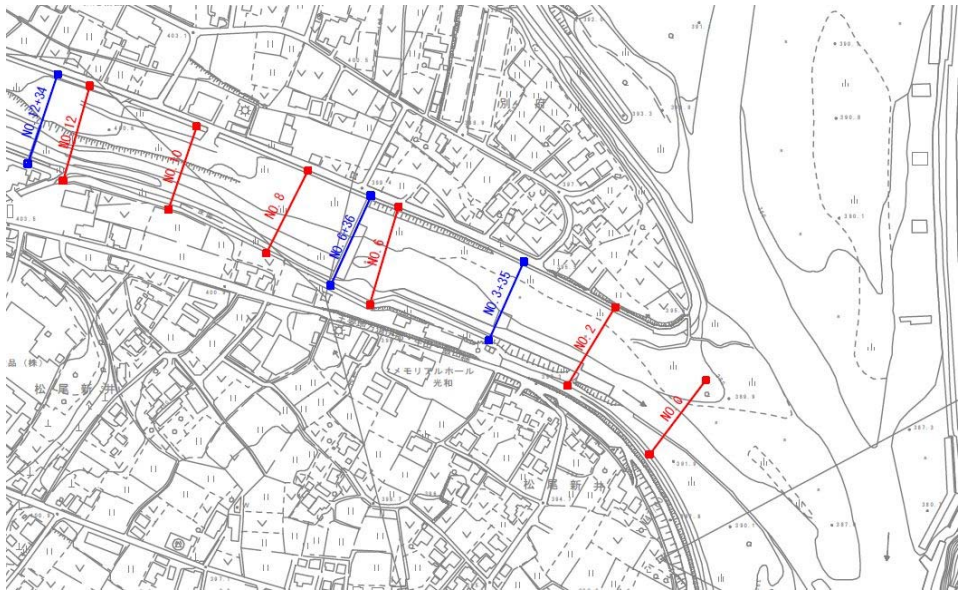


図-4.1 測線位置図 (平成 27 年度測量成果より)

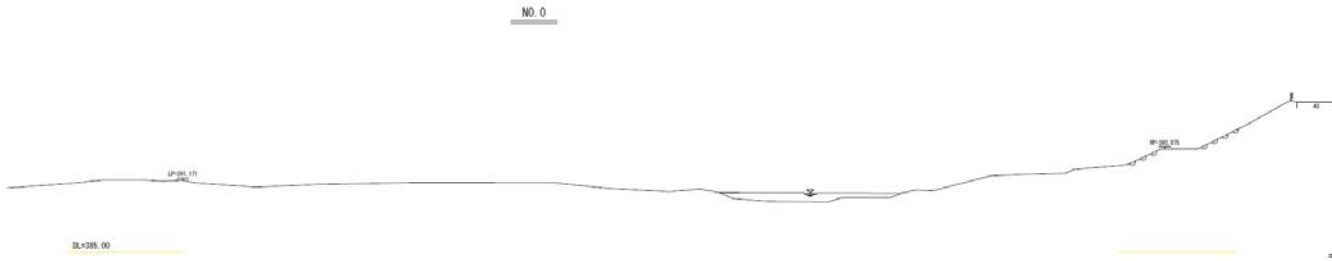


図-4.2 測線 N0.0 の断面形状 (平成 27 年度測量成果より)

(4) 流量配分・計算流量

計算流量は、松川ダム下流で発生しうる流量変動のうち、土砂動態にかかわる比較的小さい流量と、最大流量を対象とすることで、おこりうる現象の範囲をとらえるため、以下の３ケースとした。

- 計画高水流量：松川ダム下流河道において、最も掃流力が大きくなるため。

ただし、松川ダム完成以降現在までの 42 年間で、200m³/s のダム放流を行った実績はなく、180m³/s 以上の放流でも 2 回実施されたのみであるため、参考程度としておく。

- 平均年最大ダム放流量※：土砂動態を考えるうえで代表的な流量であるため。
- バイパス放流開始流量：バイパスの影響を評価するうえで最も小さい流量であるため。

※平均年最大ダム放流量の整理

松川ダム完成以降、昭和 50 年から平成 28 年までの流況を整理したものを表-4.2 に、松川ダム完成以降の各年の年最大流入量および年最大放流量を図-4.3 に示す。

表-4.2 より、松川ダム完成以降、昭和 50 年から平成 28 年までの 42 年間の年最大放流量の平均値は 89.15m³/s であった。

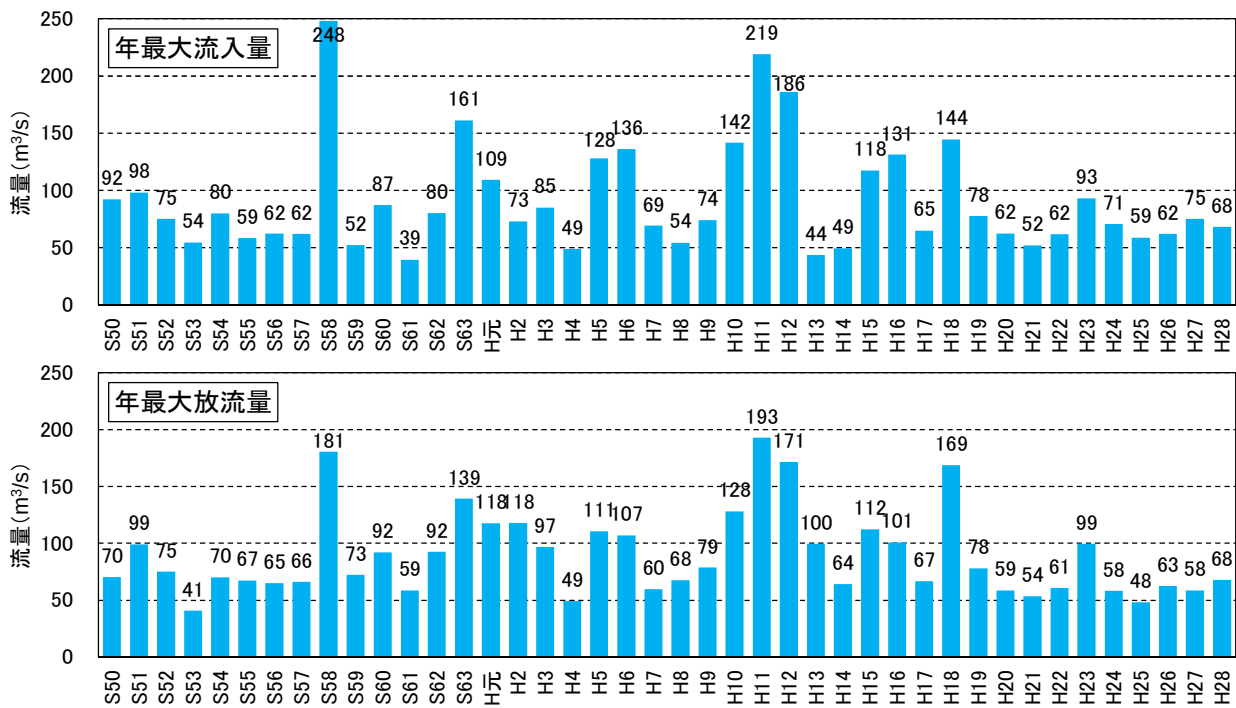


図-4.3 各年の年最大流入量および年最大放流量（S50～H28）

表-4.2 松川ダム完成以降の流況（S50～H28）

流入量								放流量							
年	最大	豊水	平水	低水	渇水	最小	年平均	年	最大	豊水	平水	低水	渇水	最小	年平均
S50 (1975)	92.39	2.59	0.82	0.07	0.05	0.00	2.53	S50 (1975)	70.40	2.40	0.69	0.00	0.00	0.00	2.52
S51 (1976)	98.04	5.05	2.02	0.11	0.05	0.00	3.88	S51 (1976)	99.17	4.97	2.02	0.00	0.00	0.00	3.87
S52 (1977)	75.08	2.16	0.41	0.05	0.05	0.02	2.17	S52 (1977)	75.11	2.12	0.33	0.00	0.00	0.00	2.15
S53 (1978)	54.34	1.51	0.26	0.07	0.04	0.01	1.64	S53 (1978)	40.82	1.49	0.25	0.00	0.00	0.00	1.63
S54 (1979)	80.00	3.91	0.91	0.07	0.03	0.01	2.80	S54 (1979)	70.27	3.90	0.91	0.00	0.00	0.00	2.81
S55 (1980)	58.50	4.80	2.12	0.14	0.04	0.01	3.51	S55 (1980)	67.20	4.84	1.96	0.00	0.00	0.00	3.51
S56 (1981)	62.22	3.86	1.22	0.08	0.03	0.01	2.77	S56 (1981)	64.95	4.00	1.23	0.00	0.00	0.00	2.77
S57 (1982)	61.88	2.90	0.67	0.06	0.03	0.02	2.49	S57 (1982)	66.13	3.04	0.69	0.00	0.00	0.00	2.52
S58 (1983)	248.23	5.81	1.93	0.29	0.03	0.02	4.80	S58 (1983)	180.61	5.92	1.70	0.00	0.00	0.00	4.78
S59 (1984)	52.23	3.04	1.45	0.08	0.03	0.02	2.24	S59 (1984)	72.52	3.08	1.23	0.00	0.00	0.00	2.24
S60 (1985)	67.32	5.15	2.47	1.13	0.05	0.03	4.76	S60 (1985)	91.96	5.27	2.43	1.15	0.00	0.00	4.77
S61 (1986)	39.42	1.45	0.10	0.03	0.02	0.00	1.66	S61 (1986)	58.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.66
S62 (1987)	80.12	1.44	0.15	0.05	0.02	0.01	1.68	S62 (1987)	92.48	1.92	0.56	0.02	0.00	0.00	1.69
S63 (1988)	161.32	2.34	0.67	0.06	0.02	0.01	1.86	S63 (1988)	139.14	2.29	0.70	0.05	0.00	0.00	1.85
H元 (1989)	109.22	3.02	1.29	0.12	0.04	0.00	2.73	H元 (1989)	117.54	2.78	1.35	0.10	0.00	0.00	2.74
H2 (1990)	73.04	2.51	1.24	0.16	0.00	0.00	2.30	H2 (1990)	117.91	2.26	1.07	0.58	0.00	0.00	2.73
H3 (1991)	84.92	3.80	1.32	0.14	0.05	0.00	2.30	H3 (1991)	96.75	3.12	1.21	0.19	0.00	0.00	2.73
H4 (1992)	48.84	1.40	0.27	0.07	0.02	0.00	1.20	H4 (1992)	49.23	1.31	0.60	0.10	0.00	0.00	1.21
H5 (1993)	127.98	4.00	0.89	0.07	0.00	0.00	3.63	H5 (1993)	110.70	3.53	0.77	0.21	0.00	0.00	3.63
H6 (1994)	136.14	0.24	0.05	0.04	0.00	0.00	0.52	H6 (1994)	106.98	0.59	0.13	0.00	0.00	0.00	0.52
H7 (1995)	69.18	1.59	0.19	0.05	0.02	0.00	2.05	H7 (1995)	59.52	1.60	0.25	0.00	0.00	0.00	2.05
H8 (1996)	54.18	2.20	0.68	0.09	0.02	0.00	2.09	H8 (1996)	67.56	2.31	0.66	0.00	0.00	0.00	2.09
H9 (1997)	73.86	2.29	0.49	0.07	0.03	0.00	2.44	H9 (1997)	78.66	2.19	0.59	0.00	0.00	0.00	2.44
H10 (1998)	141.60	4.88	1.10	0.10	0.04	0.00	3.97	H10 (1998)	128.04	4.84	1.02	0.00	0.00	0.00	3.97
H11 (1999)	219.12	2.83	0.79	0.07	0.02	0.00	3.25	H11 (1999)	192.78	2.56	0.76	0.00	0.00	0.00	3.25
H12 (2000)	186.16	2.89	1.17	0.11	0.02	0.00	2.46	H12 (2000)	171.39	2.98	1.08	0.20	0.00	0.00	2.46
H13 (2001)	43.67	1.05	0.25	0.06	0.02	0.00	0.92	H13 (2001)	99.70	1.17	0.41	0.00	0.00	0.00	0.92
H14 (2002)	49.30	1.65	0.23	0.06	0.02	0.00	1.28	H14 (2002)	64.09	1.53	0.26	0.00	0.00	0.00	1.28
H15 (2003)	117.52	5.25	1.81	0.31	0.03	0.00	4.04	H15 (2003)	112.23	5.23	2.05	0.35	0.00	0.00	4.04
H16 (2004)	131.14	3.79	1.29	0.10	0.04	0.00	3.35	H16 (2004)	100.86	4.00	1.33	0.00	0.00	0.00	3.35
H17 (2005)	64.93	1.19	0.10	0.04	0.00	0.00	1.12	H17 (2005)	66.82	1.19	0.05	0.00	0.00	0.00	1.09
H18 (2006)	144.43	2.10	0.48	0.07	0.01	0.00	2.35	H18 (2006)	168.81	2.25	0.60	0.00	0.00	0.00	2.36
H19 (2007)	77.60	2.37	0.82	0.07	0.03	0.00	2.01	H19 (2007)	77.98	2.44	0.80	0.00	0.00	0.00	1.99
H20 (2008)	62.38	1.96	0.53	0.06	0.02	0.00	1.74	H20 (2008)	58.61	1.98	0.60	0.19	0.00	0.00	1.73
H21 (2009)	52.03	3.82	1.50	0.32	0.03	0.00	3.36	H21 (2009)	53.57	3.54	1.70	0.56	0.00	0.00	3.29
H22 (2010)	61.78	6.97	2.68	0.78	0.04	0.00	4.87	H22 (2010)	60.77	7.04	2.50	0.80	0.00	0.00	4.82
H23 (2011)	93.12	6.97	2.68	0.78	0.04	0.00	4.76	H23 (2011)	99.42	7.04	2.50	0.80	0.00	0.00	4.75
H24 (2012)	70.74	2.98	0.81	0.09	0.02	0.00	2.71	H24 (2012)	58.26	2.91	0.98	0.00	0.00	0.00	2.63
H25 (2013)	58.82	2.03	0.86	0.08	0.02	0.00	1.73	H25 (2013)	48.07	2.39	0.99	0.00	0.00	0.00	1.72
H26 (2014)	62.20	2.43	1.13	0.15	0.03	0.00	2.49	H26 (2014)	62.63	2.48	1.18	0.00	0.00	0.00	2.46
H27 (2015)	75.18	3.65	1.84	0.89	0.09	0.00	3.51	H27 (2015)	58.47	3.82	1.74	0.76	0.00	0.00	3.52
H28 (2016)	68.26	2.74	1.10	0.31	0.04	0.02	2.50	H28 (2016)	67.65	2.88	1.09	0.23	0.00	0.00	2.50
平均 (S50～H28)	90.68	3.06	1.02	0.18	0.03	0.00	2.63	平均 (S50～H28)	89.15	3.03	1.02	0.15	0.00	0.00	2.64

単位：m³/s

単位：m³/s

出典：S50～H11：松川ダム貯水位・流入量・放流量年表（様式 4）
H12～H26：ダム年報（様式-2）を基に整理したもの。最大値は瞬時値。
H27～H28（豊平低渇・年平均）：平成 27 年度国補ダム建設（治水ダム）事業に伴う環境調査業務委託 松川ダム（再開発）飯田市 松川ダム(5) 業務報告書
H27～H28（最大・最小）：毎正時のダム運用データより抽出

(5) 下流端水位

(余白)

下流端水位は、実際におこりうる比較的高い水位と低い水位を対象とすることで、土砂動態の範囲をとらえることが可能と考え、以下の2パターンについて計算を行った。

- ・天竜川の松川合流点における計画高水位：下流端水位として可能性のある最も高い水位
- ・等流水深：検討目的にてらしあわせて考えられる最も低い水位

なお、天竜川の松川合流点における計画高水位は、天竜川の測線が松川合流点から離れている為、その上下流の断面の計画高水位を直線補間した値（TP. 395. 855m）を用いた。

表-4. 3 天竜川の松川合流点における計画高水位

天竜川距離標 (km)	流心追加距離 (m)	計画高水位 (TP. m)	備考
147. 6	32433	395. 300	
147. 6+130. 0	32563	395. 855	松川合流点
147. 8	32632	396. 150	

また、各計算流量の等流水深は下表のようになった。

表-4. 4 各計算流量時の等流水深

計算流量（下流端の流量）（m³/s）		等流水深（TP. m）
計画高水流量	330	392. 780
平均年最大ダム放流量	147. 10	391. 940
バイパス放流開始流量	33	391. 080

0. 100km（下流端の断面）の断面形状と下流端水位は下図のようになった。

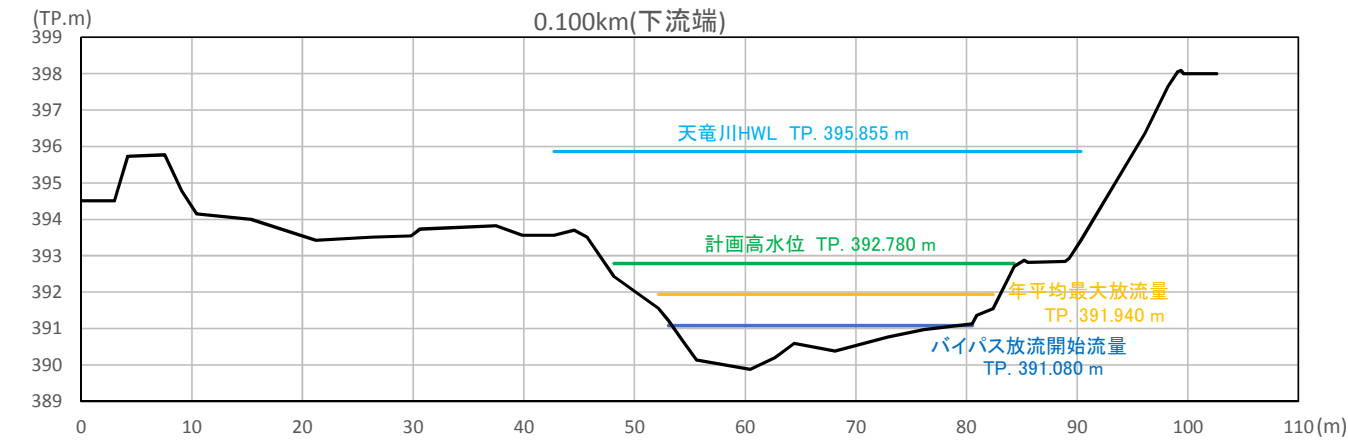


図-4. 4 断面形状と下流端水位

(6) 粗度係数

粗度係数は、計画上定められた粗度係数がないため、既往検討資料や各種マニュアルを参考に、0.029、0.033、0.035、0.040 の4種類について計算し、得られた計算水位と、松川唯一の水位観測所である上茶屋の実測水位との比較を行い、粗度係数の妥当性を検証した。

下流端水位は天竜川の松川合流点における計画高水位とした。これについては後述するが、下流端水位による計算水位の影響範囲は天竜川合流点～上溝橋下流の区間であり、上茶屋の計算水位には影響しないことを確認している。

計算流量は、平成28年8月5日に上茶屋のHQが変更されていることから、平成28年8月5日以降の上茶屋実測流量の最大値である42.6m³/sと、バイパス放流開始流量程度である20.2m³/sの2ケースとした。ここでは、粗度係数の検証が目的であることから、計算区間の全区間（天竜川合流点～松川ダム直下）で一定の流量とした。

計算ケース一覧を以下に示す。

表-4.5 粗度係数の検証計算ケース一覧

ケース名	計算流量 (上茶屋実測流量)	粗度係数	下流端水位	計算結果の妥当性検証に用いる水位 (上茶屋実測水位) (TP. m)
1-1	20.2 (バイパス放流開始 流量程度)	0.029	天竜川 HWL	458.03
1-2		0.033		
1-3		0.035		
1-4		0.040		
2-1	42.6 (平成28年8月5日 以降の上茶屋実測流 量の最大値)	0.029		458.59
2-2		0.033		
2-3		0.035		
2-4		0.040		

(参考)

既往検討資料で設定されている粗度係数

- ・n=0.040：H11 治水経済調査(建設技術研究所)
- ・河床 n=0.035、護岸 n=0.029：H14 浸水想定区域図策定（パスコ）
- ・岩・土砂河床 n=0.035、ブロック護岸 n=0.029：H18 県単水防管理事業に伴う調査業務委託（長姫）
- ・n=0.033：H25 国補ダム建設(治水ダム) 事業に伴う全体計画変更資料作成業務委託 松川ダム(再開発)飯田市 松川ダム(3)（ニュージェック）

ケース1-1～2-4までの8ケースについて、一次元不等流計算を行い、計算水位と実測水位の比較を行った（表-4.6 参照）。各ケースの水位縦断面図および計算結果一覧は次頁以降に示す。

なお、上茶屋の実測水位と計算水位との比較の際には、水位計の位置と計算断面の位置が離れていることから（図-4.5 参照）、断面 NO.80+22（4.023）と断面 NO.81+16（4.066）の計算水位を内挿して得られた水位とした。

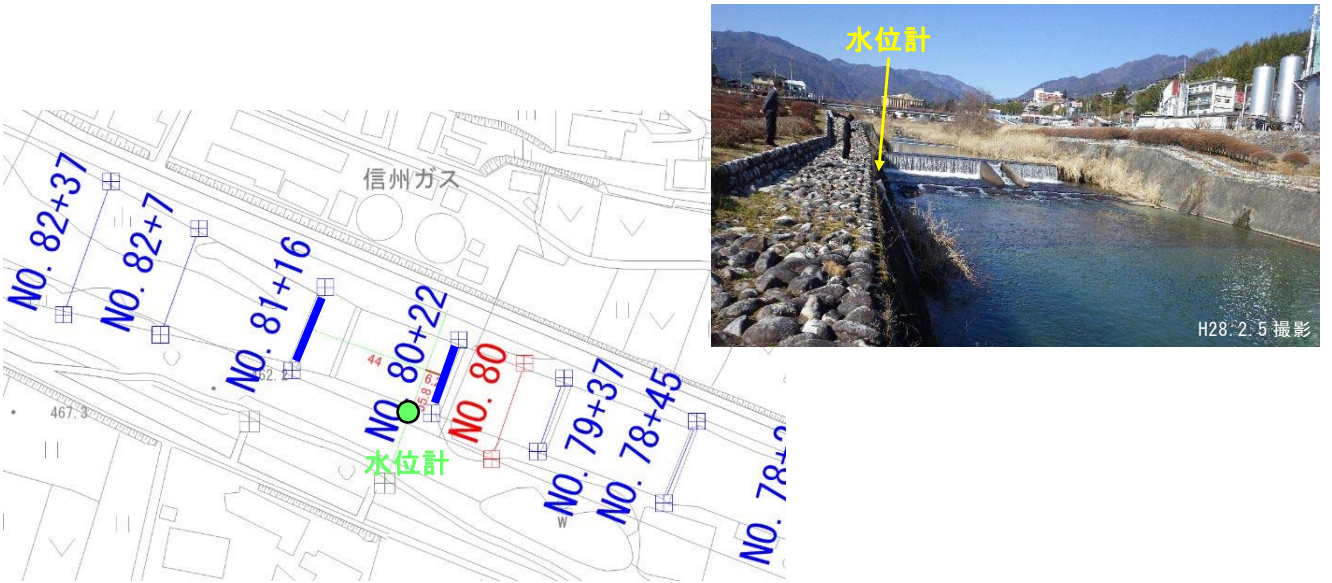


図-4.5 上茶屋における水位計の位置と断面の位置の関係

表-4.6 粗度係数の検証計算結果

ケース名	計算流量 (上茶屋実測流量) (m³/s)	粗度係数	下流端水位	計算結果の妥当性検証に用いる水位 (上茶屋実測水位) (TP. m)	計算水位 (TP. m)	実測水位と 計算水位の差 (m)
1-1	20.2 (バイパス放流開始 流量程度)	0.029	天竜川 HWL	458.03	458.199	0.17
1-2		0.033			458.214	0.18
1-3		0.035			458.229	0.20
1-4		0.040			458.25	0.22
2-1	42.6 (平成28年8月5日 以降の上茶屋実測流 量の最大値)	0.029		458.59	458.521	-0.07
2-2		0.033			458.537	-0.05
2-3		0.035			458.552	-0.04
2-4		0.040			458.579	-0.01

表-4.6 より、バイパス放流開始流量程度（ケース1-1～1-4）の場合は実測水位より計算水位のほうが17～22cm程度高く、バイパス放流開始流量以上（ケース2-1～2-4）の場合は実測水位より計算水位のほうが1～7cm程度低い結果となった。

今回計算を行う流量は、平均年最大流量（89.15m³/s）や計画高水流量（200m³/s）で、バイパス放流開始流量より大きな流量であることから、上茶屋流量が42.6m³/sのケースの再現性が高いほうが良いと考え、ケース2-1～2-4のうち最も実測水位と計算水位の差が小さい粗度係数0.040を用いることとした。

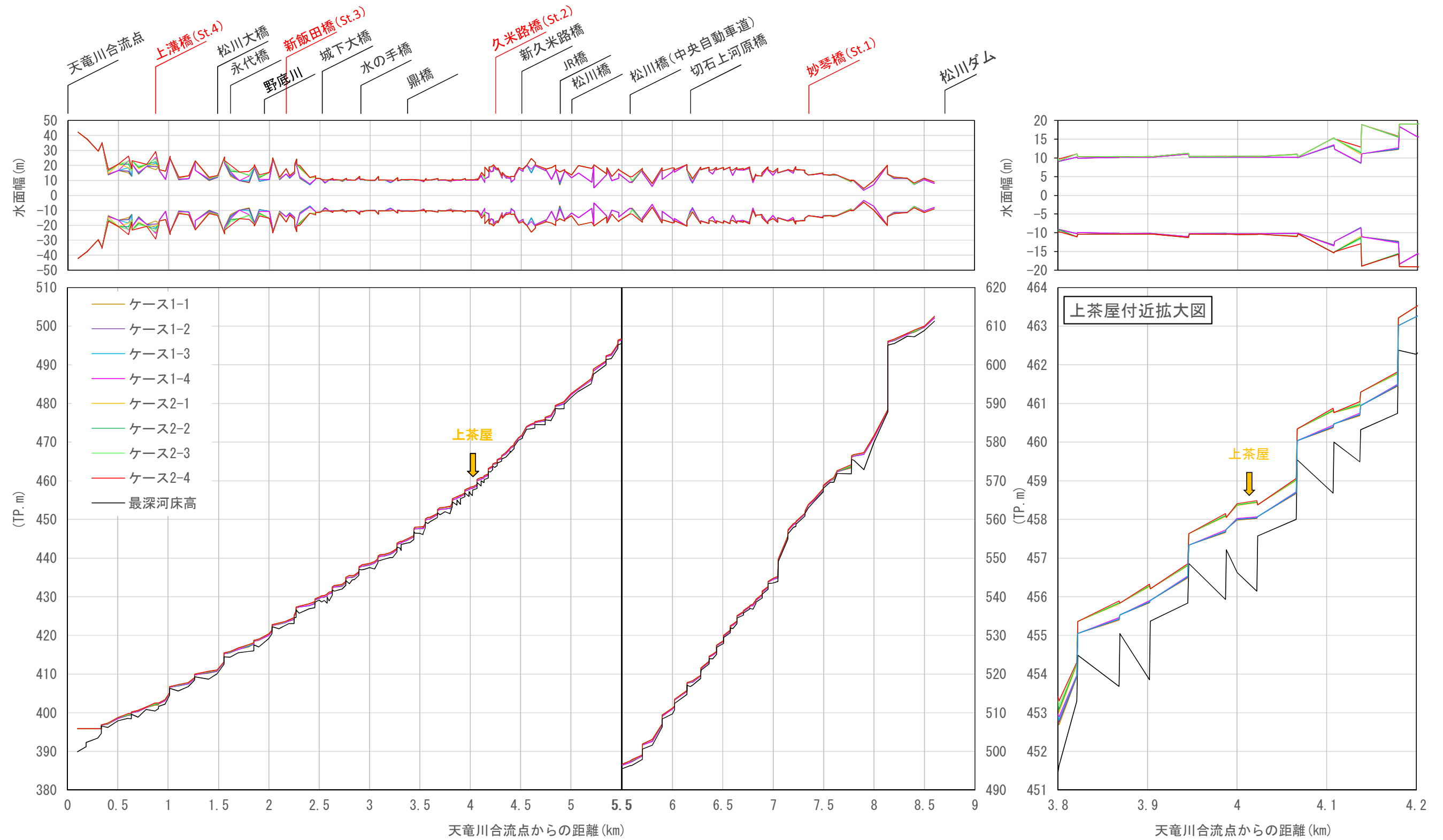


図-4.6 各ケースの水位縦断図（粗度係数の検証）

4.1.2 計算結果の整理

(1) 摩擦速度 u_* および無次元掃流力 τ_*

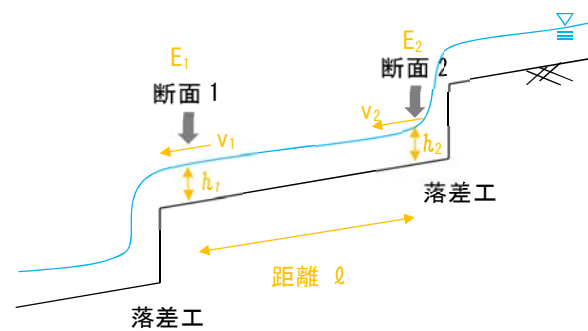
表-4.1 に示した計算条件のもと、一次元不等流計算結果をおこない、以下に示す式を用いて摩擦速度 u_* を整理した。

$$u_* = \sqrt{g R i_e}$$

ここで、 g ：重力加速度（=9.8m/s²）
 R ：径深（m）
 i_e ：エネルギー勾配

なお、エネルギー勾配は、松川は勾配が急であり、落差工も多いことから、安定的な i_e をつくるため、下図に示すように、今回は落差工の直上と直下の断面のエネルギー高を算出し、区間距離で除した値を用いるものとした。

$$\text{エネルギー勾配 } i_e = \frac{\text{断面1と断面2のエネルギー高の差分}(E_1 - E_2)}{\text{断面Iと断面IIの距離 } l} = \frac{\left(h_2 + \frac{v_2^2}{2g}\right) - \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2g}\right)}{l}$$



また、以下に示す岩垣式により、粒径毎の限界摩擦速度 u_{*c} を算出したものを表-4.7 に示す。
[岩垣式]

$$\begin{aligned} d \geq 0.303 \text{ cm} ; u_{*c}^2 &= 80.9d \\ 0.118 \leq d \leq 0.303 \text{ cm} ; &= 134.6d^{31/32} \\ 0.0565 \leq d \leq 0.118 \text{ cm} ; &= 55.0d \\ 0.0065 \leq d \leq 0.0565 \text{ cm} ; &= 8.41d^{11/32} \\ d \leq 0.0065 \text{ cm} ; &= 226d \end{aligned}$$

表-4.7 粒径毎の限界摩擦速度 u_{*c}

d (mm)	u_{*c} (m/sec)	備考
0.15	0.014	バイパス計画におけるウォッシュロードと浮遊砂の境界
2	0.037	バイパス計画における浮遊砂と掃流砂の境界
10	0.090	
20	0.127	
75	0.246	礫分と石分の境界

また、一次元不等流計算により得られた摩擦速度 u_* を基に、以下に示す式を用いて無次元掃流力 τ_* の整理を行った。

$$\tau_* = \frac{u_*^2}{sgd} = \frac{R i_e}{sd}$$

ただし、 S ：砂粒の水中比重 $\left(S = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}\right)$,
 ρ_s ：砂粒の密度、 d ：砂の粒径、

無次元限界掃流力 τ_{*c} は以下の式で表され、 $d \geq 0.303 \text{ cm}$ の場合には $\tau_{*c} = 0.050$ （一定値）として計算される。

$$\tau_{*c} = \frac{u_{*c}^2}{sgd}$$

流量別の水位縦断図を図-4.7 に、摩擦速度 u_* の縦断分布を図-4.8 に、各計算流量における粒径別の無次元掃流力 τ_* の縦断分布を図-4.9 に示す。なお、 u_* および τ_* は落差工間の代表値で表現している。

図-4.7、図-4.8、図-4.9 よりわかることは以下の通りである。

- 水位縦断図より、下流端水位の違いによる影響範囲は天竜川合流点から 2 つ目の落差工までである。
- 計画高水流量および平均年最大流量では、7.5 cm 程度の粒径の土砂も概ね全ての区間で移動が起これと予想される。
- バイパス放流開始流量では、10mm 以下の粒径の土砂は全ての区間で $u_* > u_{*c}$ となっており、移動すると考えられる。すなわち、バイパス計画においてダム下流へ供給されるとされている 2mm 以下の土砂は、移動すると考えられる。ただし、出水後の流量低減期には、掃流力が小さくなり、移動の途中で土砂が堆積することも考えられる。

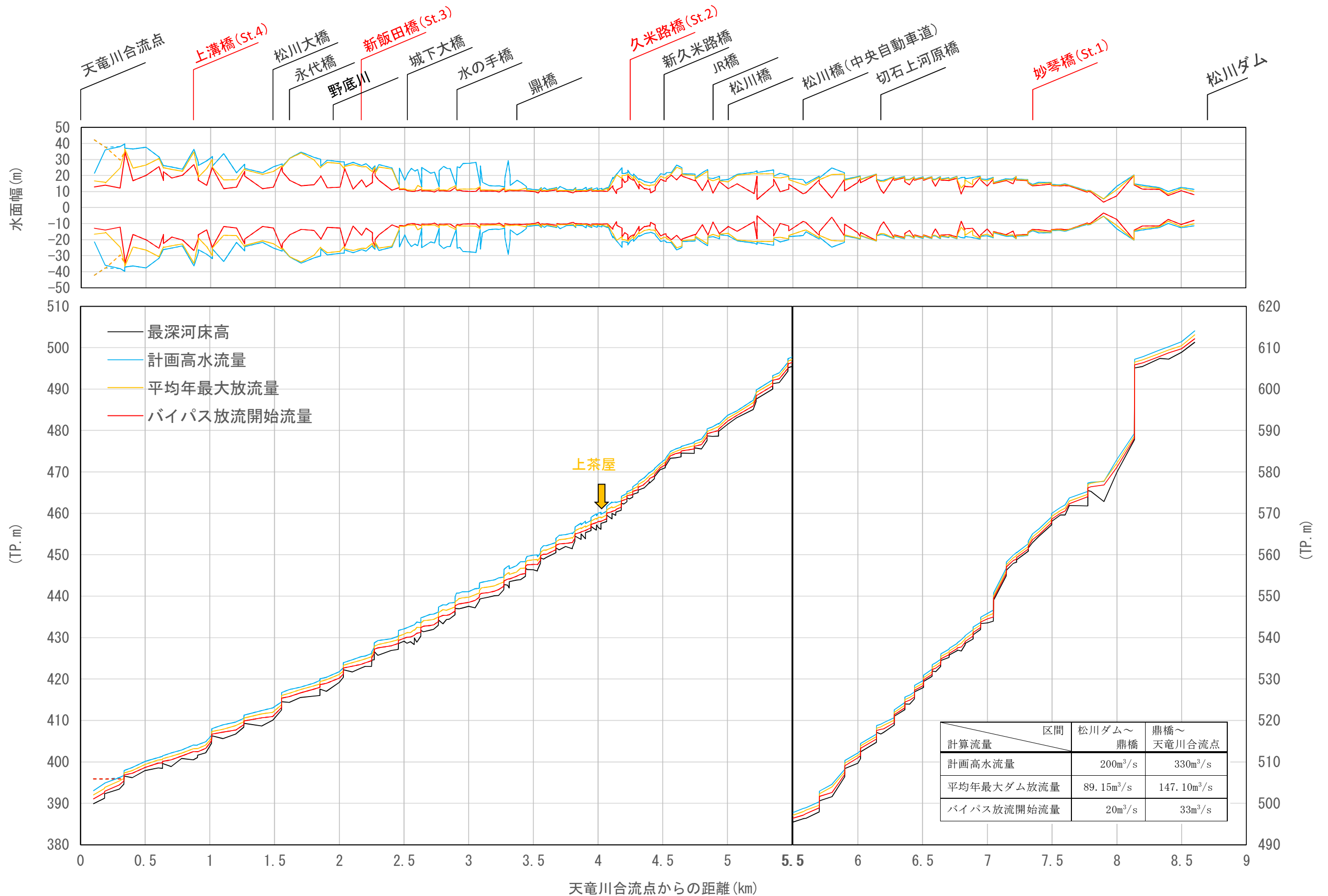


図-4.7 流量別の水位縦断面図（実線：下流端水位：等流水深、点線：下流端水位：天竜川 HWL、使用断面：平成 28 年測量成果）

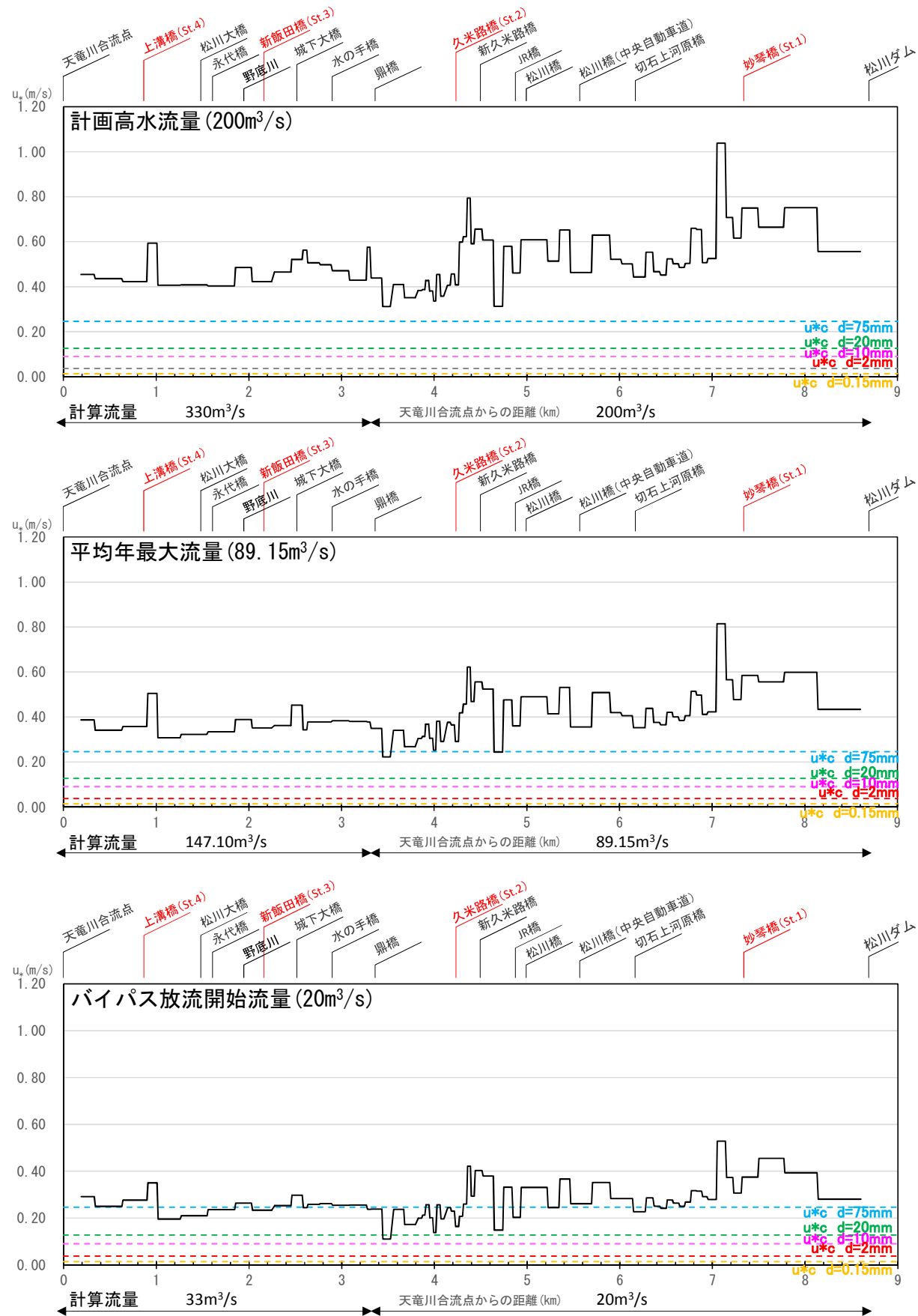


図-4.8 流量別の u^* 縦断図 (実線：下流端水位：等流水深、点線：下流端水位：天竜川 HWL)

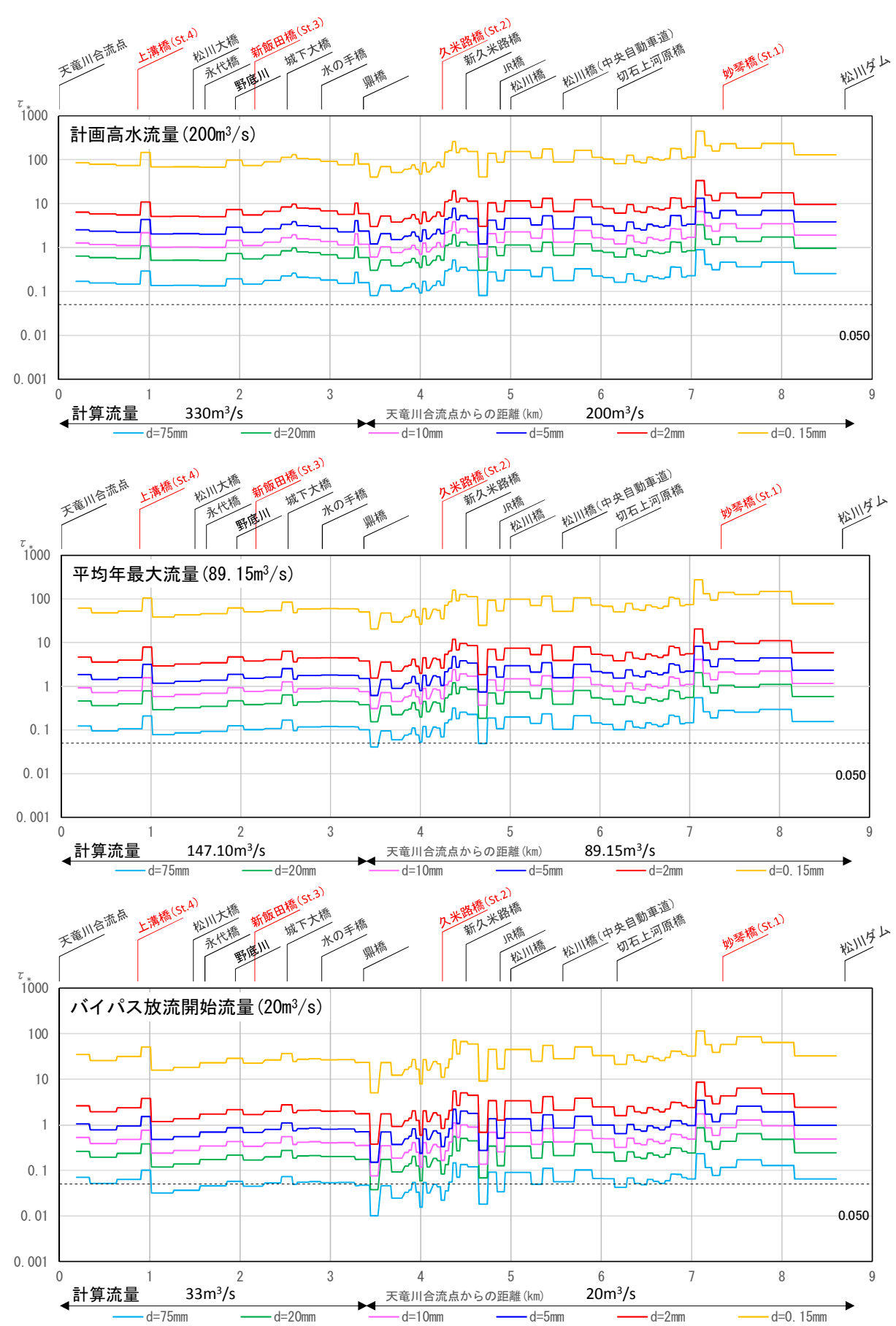
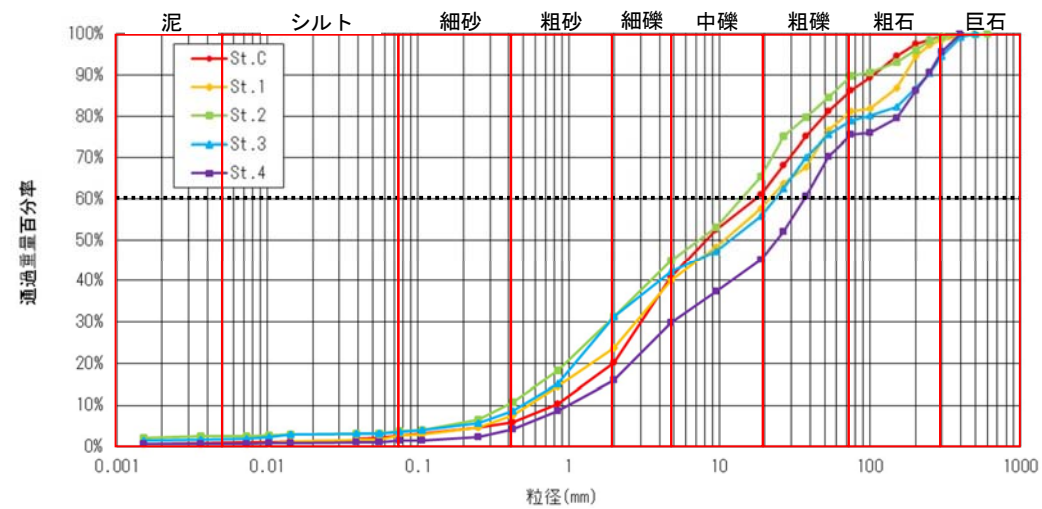


図-4.9 流量別の粒経別 τ^* 縦断図 (実線：下流端水位：等流水深、点線：下流端水位：天竜川 HWL)

また、平成 27 年度に実施された河床材料調査結果から、松川ダム下流河川の A～E の 5 つの区間の代表粒径（d60）を整理すると図-4.10 のようになる。



出典：平成 27 年度 国補ダム建設（治水ダム）事業に伴う環境調査業務委託
松川ダム（再開発）飯田市 松川ダム(1) 報告書

図-4.10 平成 27 年度河床材料調査結果（線格子法・容積法）

表-4.8 平成 27 年度河床材料調査結果（線格子法・容積法）より得られた代表粒径

	S. C	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
d60 (mm)	17	21	14	23	36

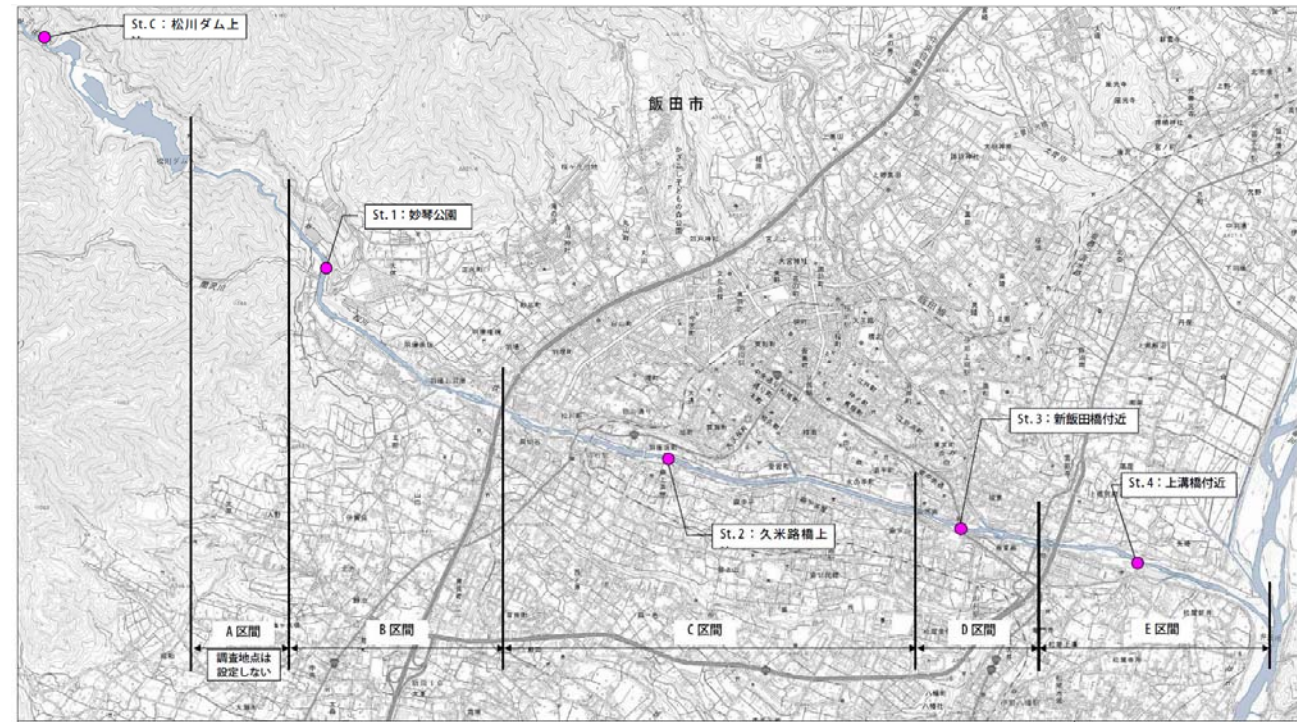


図-4.11 調査地点と河川環境区分の位置関係

A～E の各区間の代表粒径をもちいて τ_* の縦断分布を整理すると図-4.12 のようになる。

なお、A 区間については河床材料調査地点が設定されていないことから、St. 1 の粒径を用いて整理した。

図-4.12 よりわかることは以下の通りである。

- 概ね全区間で $\tau_{*c} < \tau_*$ となっていることから、現在河床を構成している土砂は移動すると想定される。

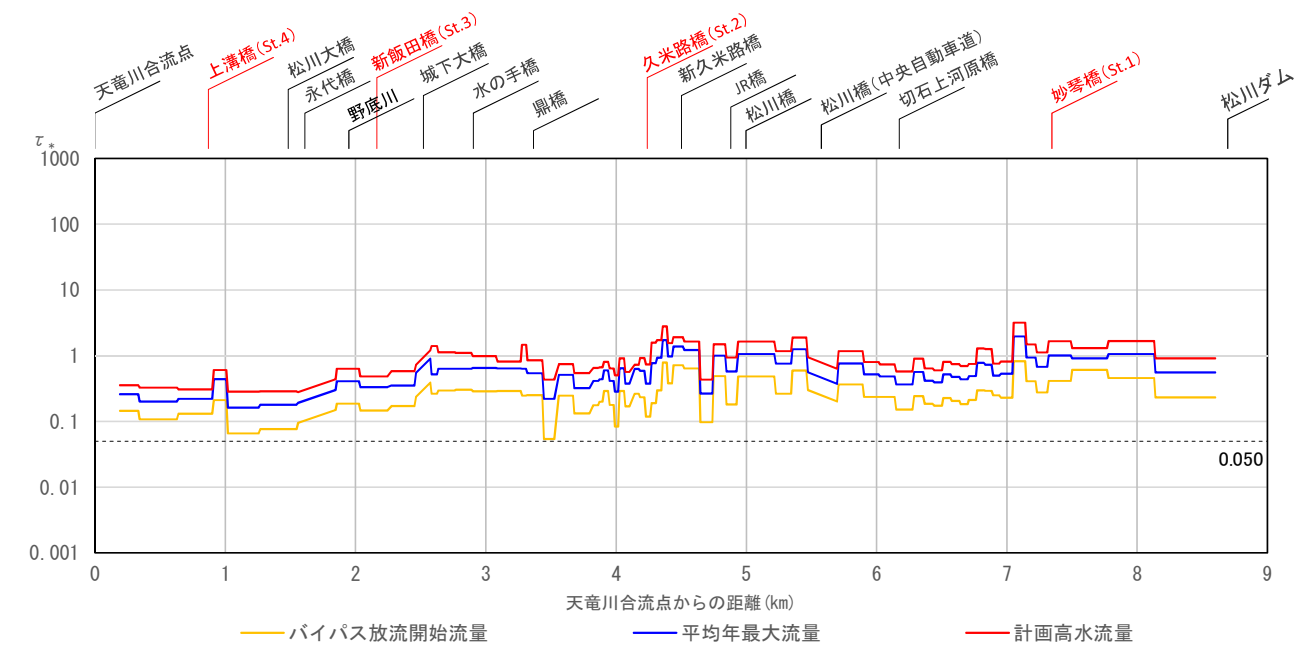


図-4.12 各区間の代表粒径による流量別の粒径別 τ_* 縦断図

(2) 粒径別運動形態の推定

粒径別運動形態は、摩擦速度 u_* と沈降速度 w_0 によって、表-4.9 に示すような目安が示されている。

表-4.9 u_*/w_0 による運動形態の目安

		u_*/w_0	Z	観測手法
概ね浮遊	ウォッシュロード的運動形態	10以上	1/4以下	バケツ採水
上・下層に多少の濃度差		5.0～10.0	1/4～1/2	5割、8割水深での採水、バケツ採水
上・下層に濃度差	浮遊砂的運動形態	2.5～5.0	1/2～1	3割、8～9割水深での採水
下層を浮遊		1.25～2.5	1～2	2～3割、8～9割水深での採水
跳躍を伴った掃流	掃流形態	0.625～1.25	2～4	掃流砂観測
掃流		0.625以下	4以上	掃流砂観測

出典：瀬沼川洪水観測レポート[2]1990～2000 平成13年3月、ISN0386-5878 土木研究所資料第3798号

一次元不等流計算によって得られた u_* と、以下に示す Rubey の実験式から得られる粒径毎の沈降速度を用いて、各計算流量時の運動形態の縦断変化を推定する。

[Rubey の実験式]

$$\frac{w_f}{\sqrt{sgd}} = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36v^2}{sgd^3}} - \sqrt{\frac{36v^2}{sgd^3}}$$

ただし、 v ：水の動粘性係数 ($\approx 0.01\text{cm}^2/\text{s}$)

s ：砂粒の水中比重 (砂の標準値 1.65)

d ：砂粒の粒径 (cm)

g ：重力加速度 ($980\text{cm}/\text{s}^2$)

各計算流量における粒径別の u_*/w_0 の縦断分布を整理したものを図-4.13 に示す。

図-4.13 よりわかることは以下の通りである。

- 平均年最大流量では、0.15mm 程度の粒径は全区間でウォッシュロード的運動形態となっている。粒径 10mm を境として、それより小さな粒径は浮遊砂的運動形態、それ以上の粒径は掃流砂的運動形態であることが想定される。
- バイパス放流開始流量では、0.15mm 程度の粒径は全区間でウォッシュロード的運動形態となっている。粒径 5mm を境として、それより小さな粒径は浮遊砂的運動形態、それ以上の粒径は掃流砂的運動形態であることが想定される。
- モニタリング計画においてバケツ採水を実施する際には、ウォッシュロード的運動形態の土砂のみ採水することとなるため、調査結果の分析や評価を行う際には、そのことに留意が必要である。

以上、本節の結果をまとめると以下のようになる。

- バイパス計画において、バイパス放流により松川ダム下流河川に土砂が堆積することはない、という想定がなされており、それをもとにインパクターレスポンスの検討やモニタリング計画の立案が行われている。今回の土砂動態の概略検討により、バイパスを経由して松川ダム下流に供給された土砂は、バイパス放流中は松川ダム下流河川で堆積する可能性は低いものの、その後の流量低減期には堆積する可能性があることが明らかになった。
- 松川ダム下流河川で河床高や河床材料が変化する可能性があるため、河川横断測量や河床材料調査といった、土砂動態を把握する為の調査が必要である。
- 概略検討の結果、摩擦速度 u_* や無次元掃流力 τ_* は、縦断方向で概ね同程度の値となっていることから、局所的に土砂が堆積すると想定される地点はないと判断され、調査地点の設定の際に、土砂動態の観点からは、特に着目すべき地点は無いと考えられる。

