

第2回天井川に関する技術検討委員会 参考資料5 水文・水理状況に関する調査結果

目次

1. 降雨状況の確認・整理	1
1.1 流域近傍雨量観測所	1
1.2 XバンドMPレーダー観測記録に基づく流域平均雨量の推定	3
2. 流出量の推定	6
2.1 計算モデル	6
2.2 流出計算結果	10
3. 河道内水理状況の推定	11
3.1 計算モデル	11
3.2 計算結果	13

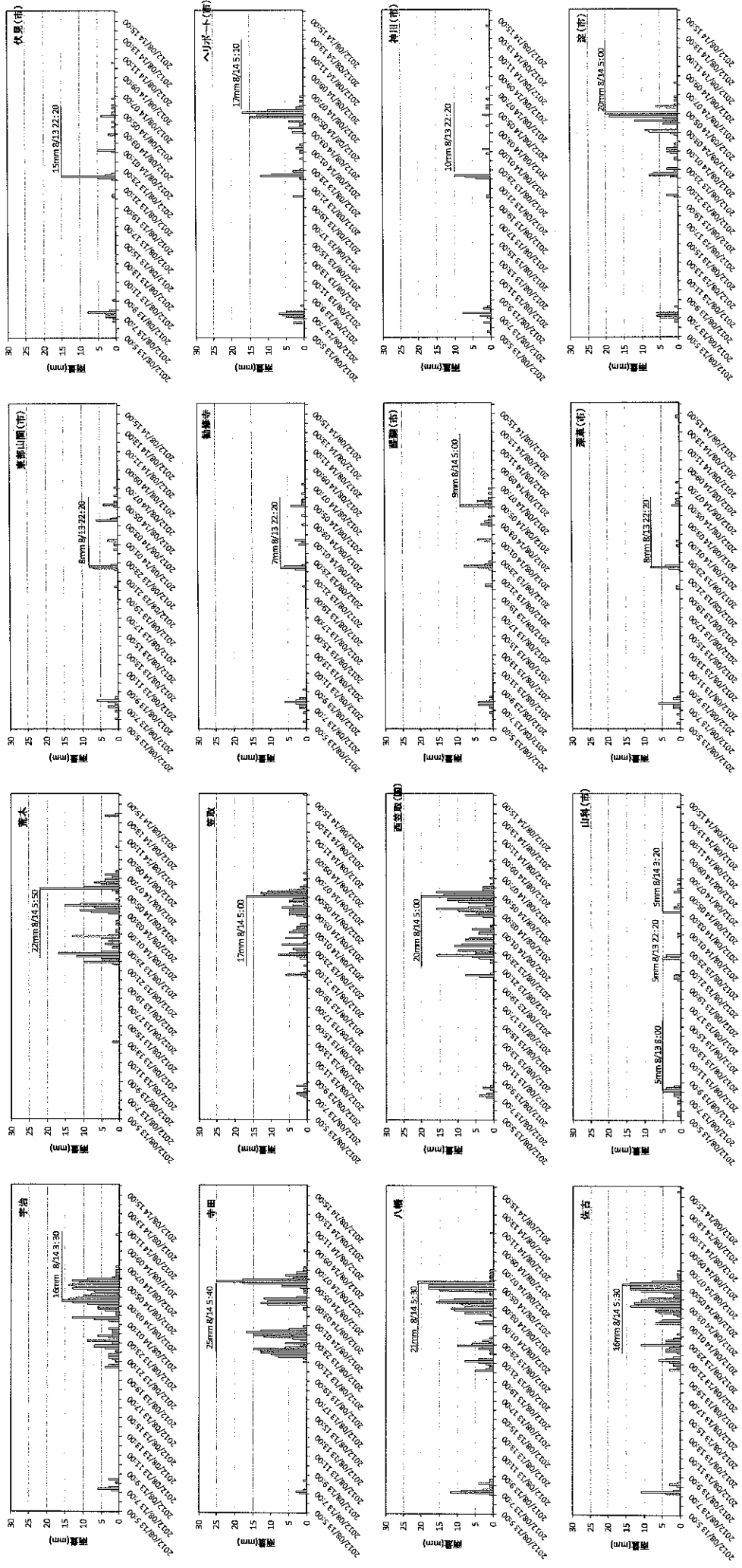


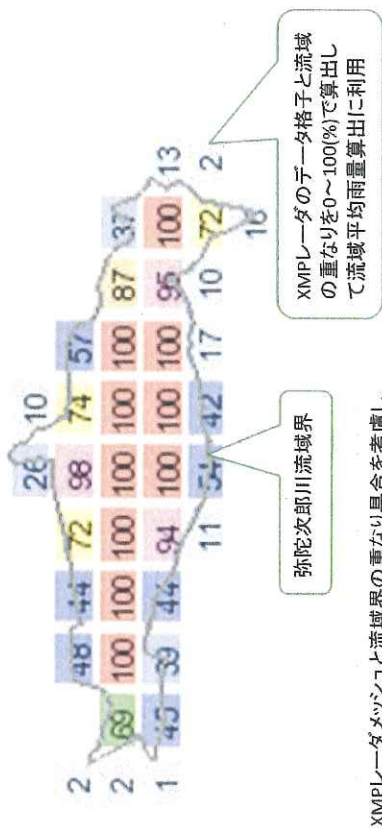
図-2 降雨観測記録

1.2 Xバンド MP レーダー観測記録に基づく流域平均雨量の推定

(1) 流域平均雨量の推定

国土交通省による X バンド MP レーダー観測記録から、流域平均雨量の算定を行った。

X バンド MP レーダーでは、1 分刻みの降雨強度データが 250m のデータ格子で得られており、データ格子と弥陀次郎川流域の重なりからの重み付けにより流域平均雨量を算定した。



XMPレーダーメッシュと流域界の重なり具合を考慮し、上記の重み付けにより流域平均雨量を算出

図-3 レーダー観測記録から流域平均雨量算定の概念図

X バンド MP レーダーの観測記録から得られた流域平均雨量のハイエトグラフを、宇治観測所における降雨観測記録と合わせ、以下に示す(上段: レーダー記録, 下段: 宇治観測所)。

- ・ X バンド観測記録による流域平均雨量は、宇治観測所における観測記録と比較して総じて降雨量は大きい。
- ・ X バンド観測記録の雨量のピークは 8/14 4:50 であり、このデータに基づくと、雨量のピークが到達する前に破堤したこととなる。
- ・ 8/13 20:00 頃から 8/14 1:00 頃にかけての事前降雨がかなり大きく、この段階でかなり水位が上昇していた可能性がある。

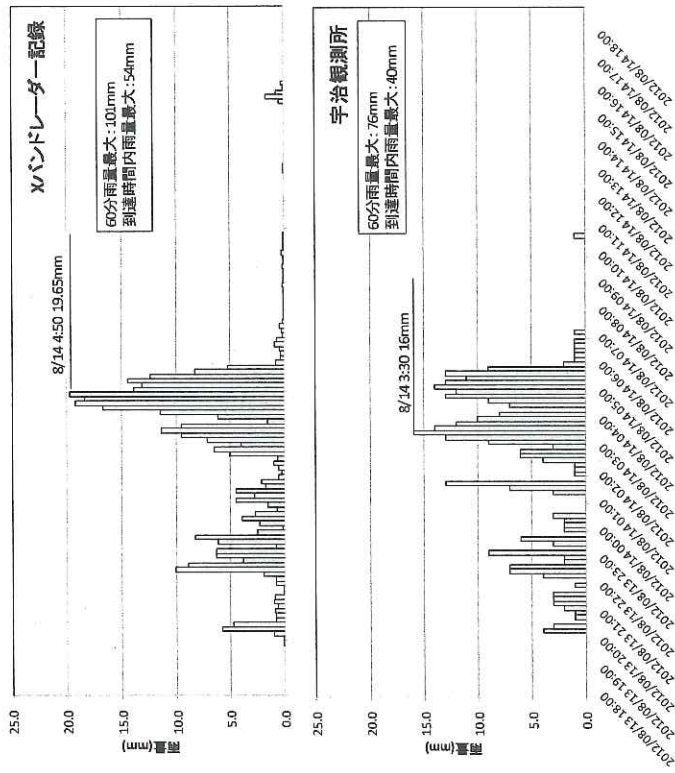


図-4 Xバンドレーダー観測記録に基づく流域平均雨量算定結果

表-2 Xバンドレーダー観測記録に基づく流域平均雨量算定結果

	10 分間雨量 最大値	60 分間雨量		降水到達時間内	
		最大値	最大値	雨量最大値	降雨強度換算
Xバンド記録	19.7mm (8/14 4:50)	101mm	39mm	117mm/hr	
宇治観測所	16mm (8/14 3:30)	76mm	30mm	90mm/hr	

※洪水到達時間 20min

(2) レーダー観測記録の検証

XバンドMP レーダーの観測記録から得られる降雨波形の検証を目的として、宇治観測所地点における降雨波形をレーダーの観測記録から作成し、観測所の雨量データと比較した。比較結果を以下に示す。
 レーダー観測記録から作成した降雨波形と宇治観測所の雨量データの雨量データは概ね一致している。

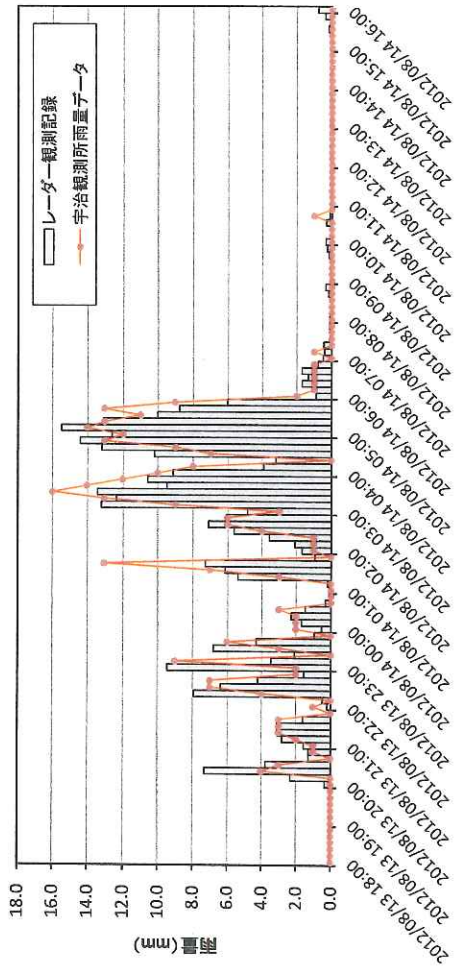
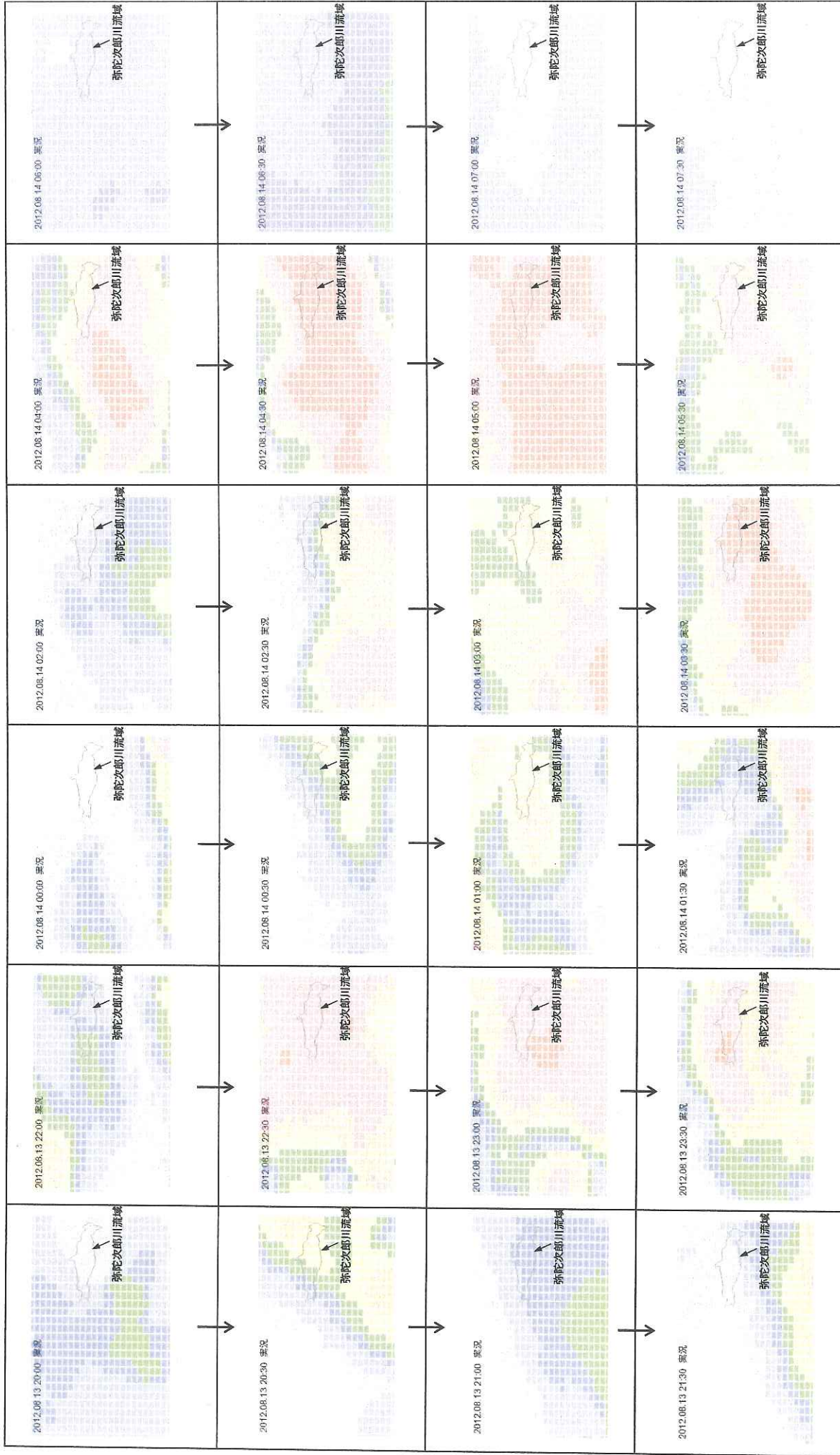


図-5 レーダー観測記録と降雨観測所雨量データの雨量の比較 (宇治観測所)

XバンドMPLレーダー雨量観測記録(弥陀次郎川流域, 2012.8.13 20:00 ~ 2012.8.14 7:30)



凡例(降雨強度) 0.1 1 5 10 20 30 50 80 (mm/hr)

2. 流出量の推定

2.1 計算モデル

(1) 計算手法

前ページまでに算定された流域平均雨量に基づき、流出量の推定を行う。計算手法は、合成合理式によるものとする。

(2) 流域界

計算に用いる流域界は、全体計画策定時の計算モデルを基本とする。ただし、流域界の一部については、今回現地踏査を行った上で確認・修正を行った。今回の計算で用いた流域界を以下に示す。

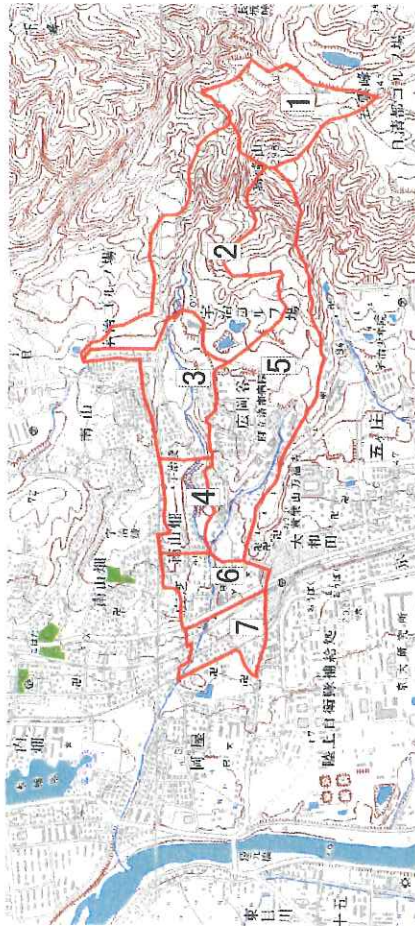


図-6 弥陀次郎川流域図

(3) 流出係数

合成合理式で用いている流出係数は、国土地理院による細密数値情報 10m メッシュ土地利用データ (1996 年版) によって流域内の土地利用状況を確認し、これに基づいて設定した。

細密数値情報 10m メッシュ土地利用データにおける土地利用の分類は表-3 に示す 16 分類であり、これらを『河川砂防技術基準 (案)』に示される土地分類ごとの流出係数と対応させることにより、各流域の流出係数を設定した。

表-3 10m メッシュ土地利用分類と河川砂防技術基準(案)土地利用分類の対応表

10mメッシュ土地利用分類	読み替え	参考表	流出係数
山林・荒地等	勾配が急な山地	表2-5(2)	0.50
農地/田	かんがい中の水田	表2-5(1)	0.70
農地/畑・その他の農地	平坦な耕地	表2-5(1)	0.45
造成地/造成中地	開地	表2-5(2)	0.20
造成地/空地	開地	表2-5(2)	0.20
宅地/工業用地	浸透面の野外出来場などの開地を若干持つ工業地盤や崖が若干ある住宅地域	表2-5(3)	0.65
宅地/住宅地/一般低層住宅地	浸透面の野外出来場などの開地を若干持つ工業地盤や崖が若干ある住宅地域	表2-5(3)	0.65
宅地/住宅地/密集低層住宅地	敷地間の開地が非常に少ない地域や類似の住宅地盤	表2-5(3)	0.80
宅地/住宅地/中高層住宅地	住宅公園地などの中高層住宅団地や1戸建て住宅の多い地域	表2-5(3)	0.50
宅地/商業・業務用地	敷地間の開地が非常に少ない地域や類似の住宅地盤	表2-5(3)	0.80
公共公益施設用地/道路用地	道路	表2-5(2)	0.85
公共公益施設用地/公園・緑地等	芝、樹木の多い公園	表2-5(2)	0.21
公共公益施設用地/その他の公共公益施設用地	浸透面の野外出来場などの開地を若干持つ工業地盤や崖が若干ある住宅地域	表2-5(2)	0.65
河川・湖沼等	水面	表2-5(2)	1.00
その他	浸透面の野外出来場などの開地を若干持つ工業地盤や崖が若干ある住宅地域	表2-5(3)	0.65

他にも設省河川砂防技術基準 (案) 調査編 pp. 87~88 にも以下のように示されているので、参考とする。

表 2-5 (1) 日本内地河川の係数

急峻な山地	0.75~0.90
三紀層山岳	0.70~0.80
起伏のある土地および樹林	0.50~0.75
平坦な耕地	0.45~0.60
かんがい中の水田	0.70~0.80
山地河川	0.75~0.85
平地小河川	0.45~0.75
流域の半ば以上が平地である大河川	0.50~0.75

表 2-5 (3) 用途別総合流出係数標準値

敷地内の開地が非常に少ない地域や類似の住宅地域	0.80
浸透面の野外出来場などの開地を若干持つ工業地域や崖が若干ある住宅地域	0.65
住宅公園地などの中高層住宅団地や1戸建て住宅の多い地域	0.50
樹木を多く持つ高層住宅地域や畑地などが割合残る都外地域	0.35

表 2-5 (2) 工種別密着流出係数標準値

工種	種	流出係数
崖線		0.90
道路		0.85
その他の不透水面		0.80
水面		1.00
開地		0.20
芝、樹木の多い公園		0.21
勾配の緩い山地		0.30
勾配の急な山地		0.50

(4) 洪水到達時間

合成合理式の計算に用いる洪水到達時間は、『中小河川計画の手引き（改訂案）』に従い、クラークン式によって算定した。

a) クラークン式による洪水到達時間
クラークン式では、一般に雨水が流域から河道に至る流入時間と河道内の流下時間の和で示される。

(1) 流入時間

雨水が流域から河道に流入するまでの時間については、以下の値が標準とされている。

- ・ 山地流域 : 2km² 30分
- ・ 特に急傾斜区域 : 2km² 20分
- ・ 下水道整備区域 : 2km² 30分

基本的には、当該河川の流域から流入域 2km² を先取りし、上記の値を用いて流入時間を設定するとともに、流入域を除いた流域の河道延長を用いて河道流下時間を算定する。(流入時間の最大値は上記値となる。)

ただし、流入域 2km² を除いた流域面積が極端に小さくなる場合には、地形図上で河道を示す青線の上流端の上流域を流入域とし、その流入時間を次のような方法で算定するとともに、青線の上流端から下流を河道として河道流下時間を算定する手法も用いられている。

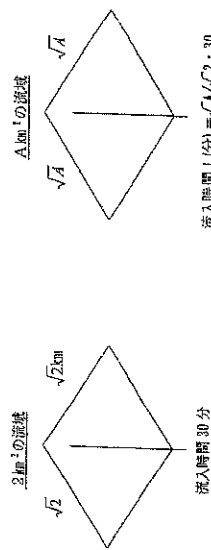


図 2-13 2km²未満の流入域の場合の流入時間算出方法

(1) 河道流下時間

河道流下時間 T_2 は次式で与えられる。

$$T_2 = \frac{1}{3,600} \frac{L}{W}$$

ここに、 L : 河道上流端（流域から流入域 2km²を除いた流域の最遠点、又は 1/25,000 地形図で示されている水色の部分の最上流）から流量検討地点までの流路の距離 (m)、
 W : 洪水伝播速度 (m/s) である。

クラークン式は洪水伝播速度として以下を与えている。

表 2-3 流路長 L と洪水伝播速度 W の関係

L	1/100 以上	1/100 ~ 1/200	1/200 以下
W	3.5m/s	3.0m/s	2.1m/s

ここに、 L_1 : 河道上流端と懸索地点の標高差 (m) を流路長 (L) で割ったものである。

(5) 計算モデル

以上により設定された合成合理式による流出計算モデルの定数を以下に示す。

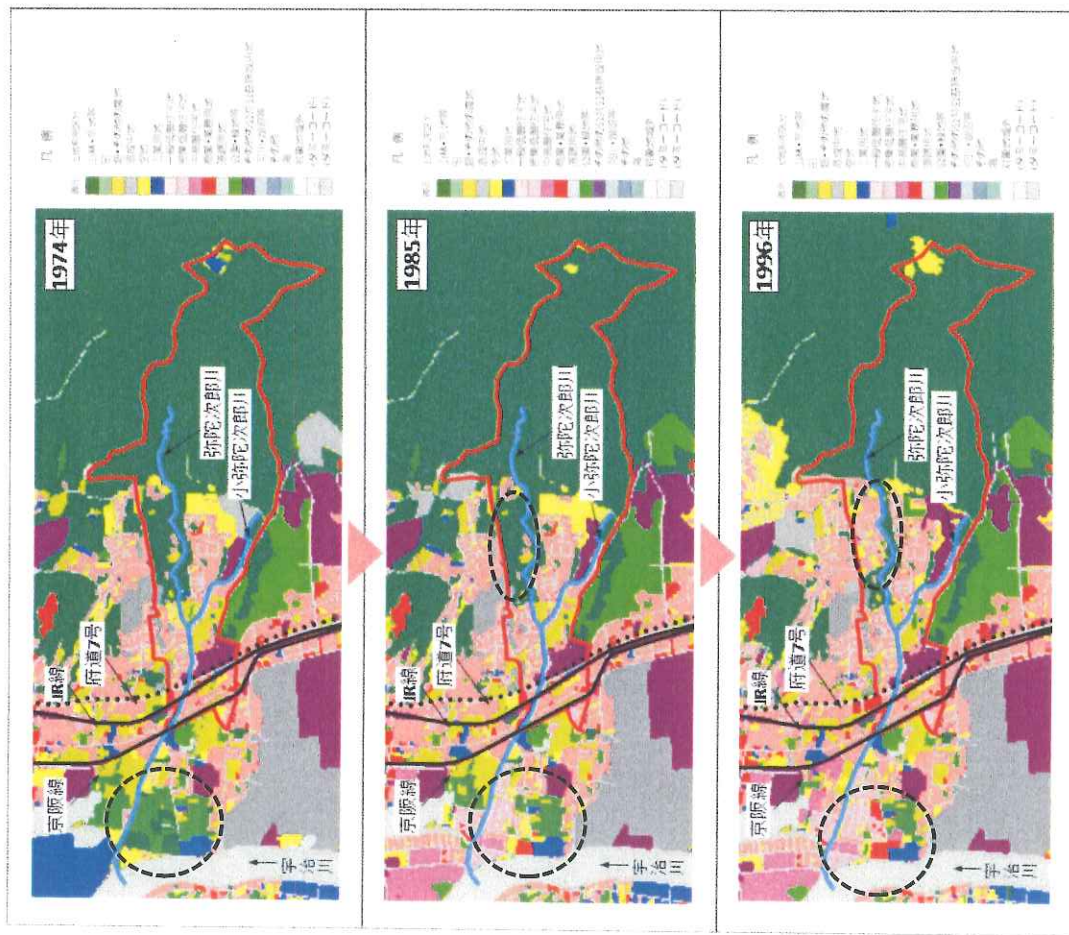
表-4 流出計算モデル定数一覧表

流域番号	流域面積 (km ²)	流出係数 F	流路長 (m)	流路勾配	流入時間 (分)	到達時間 (分)	備考
1	0.176	0.471	0	0	8	8.0	
2	0.370	0.501	840	0.067	-	4.0	
3	0.174	0.547	640	0.051	-	3.0	
4	0.082	0.583	505	0.040	-	2.4	
5	0.455	0.536	805	0.064	-	3.8	支川
6	0.099	0.658	260	0.021	-	1.2	
7	0.082	0.642	270	0.021	-	1.3	
計	1.438					20.0	

表-5 流出係数算定表

流域 番号	山林・荒地等 (ha)	農地/畑・ その他の 農地 (ha)	造成地/造 成中地 (ha)	造成地/空 地 (ha)	宅地/工業 用地 (ha)	宅地/住宅 地/一般低 層住宅地 (ha)	宅地/住宅 地/密集低 層住宅地 (ha)	宅地/住宅 地/中高層 住宅地 (ha)	宅地/商 業・業務 用地 (ha)	公共公益 施設用地/ 道路用地 (ha)	公共公益 施設用地/ 公園・緑 地等 (ha)	公共公益 施設用地/ その他の 公共公益 施設用地 f=0.65	河川・湖 沼等 (ha)	その他 (ha)	総面積 (ha)	流域別 流出係数
	f=0.50	f=0.45	f=0.20	f=0.20	f=0.65	f=0.65	f=0.80	f=0.50	f=0.80	f=0.85	f=0.21	f=0.65	f=1.00	f=0.65		
1	15.90	0.00	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.61	0.471
2	36.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.04	0.00	0.02	0.00	36.95	0.501
3	6.72	0.00	0.05	2.17	0.06	5.98	0.07	0.01	0.05	1.68	0.19	0.15	0.00	0.00	17.42	0.547
4	2.77	0.01	0.02	0.37	0.01	2.18	0.22	0.13	0.02	0.82	0.00	0.00	0.00	0.95	8.22	0.583
5	24.89	0.00	0.02	2.44	0.04	7.67	0.40	0.17	0.10	2.35	1.24	4.39	0.06	0.00	45.54	0.536
6	0.00	0.01	0.00	0.30	0.00	2.94	0.31	0.14	0.22	1.35	0.00	3.20	0.00	0.80	9.85	0.658
7	0.00	0.02	0.00	0.35	0.16	4.30	0.32	0.05	0.42	0.77	0.05	0.99	0.00	0.00	8.16	0.642
ΣA	87.08	0.04	0.09	7.33	0.27	23.08	1.32	0.50	0.81	7.04	1.52	8.73	0.08	1.75	143.75	0.537

■参考～弥陀次郎川流域土地利用の変遷
 細密数値情報 10m メッシュ土地利用データにより、弥陀次郎川流域の土地利用の変遷を確認した。



- ・流域のおよそ50%程度は山地によって占められている。
- ・1985年から1996年にかけて、弥陀次郎川右岸側の山林において宅地開発が見られる。その他の箇所では、土地利用の著しい変化は見られない。
- ・河口部の左岸側において田から宅地への変遷が見られるが、この部分は流入域外となっている。

2.2 流出計算結果

以上の流出計算モデルにより、8/14 洪水時の流量ハイドログラフを計算すると以下の通りとなる。
 なお、モデルに与えた降雨は、XバンドMPレーダー観測記録より作成した流域平均雨量である。

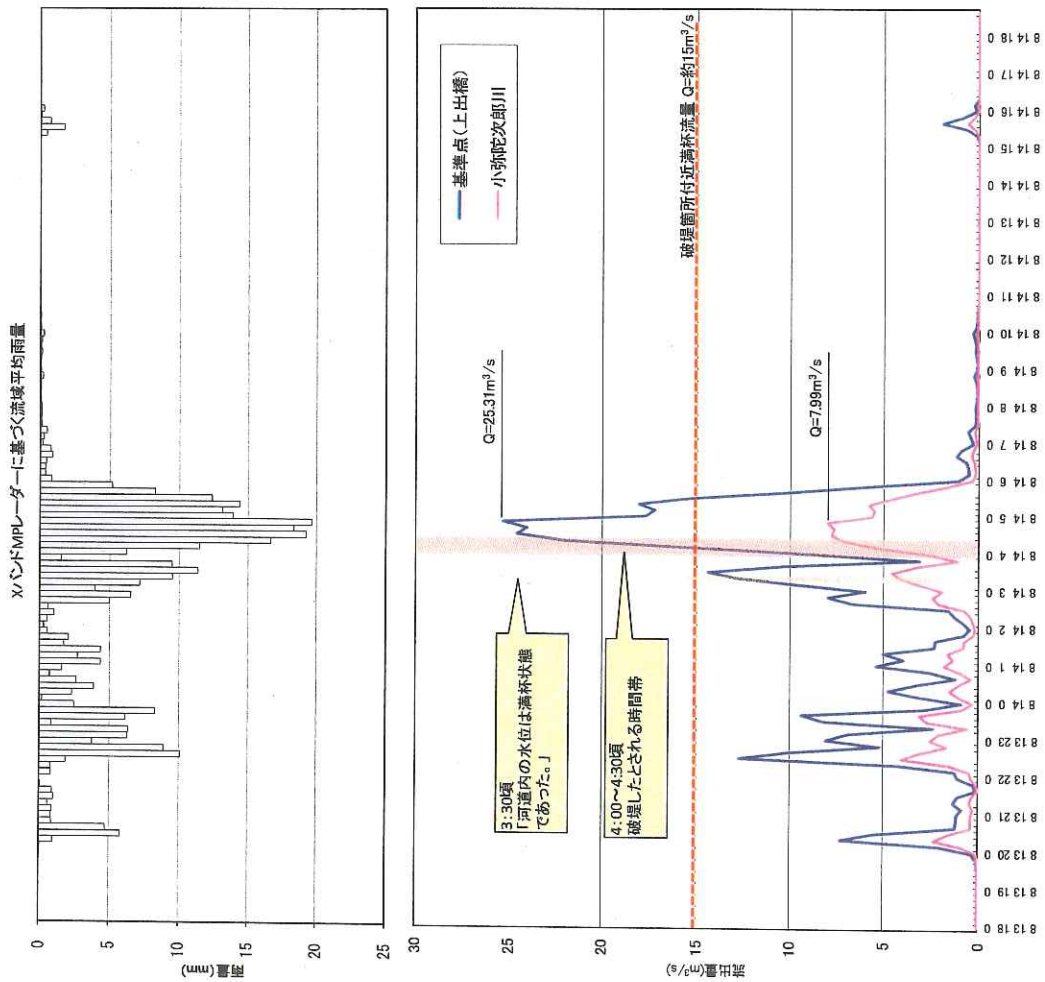


図-7 流出計算結果

3. 河道内水理状況の推定

3.1 計算モデル

(1) 計算手法

一次元不等流計算モデルにより、 $Q=10\text{m}^3/\text{s}\sim 20\text{m}^3/\text{s}$ の区間で $1\text{m}^3/\text{s}$ ピッチで流量を変化させ、各流量に
対する水位を確認した。

(2) 粗度係数

河道の粗度係数は、対象河道の護岸構造を踏まえ、下表の通り設定した。

粗度係数の設定は、河道内の樹木を考慮しない場合【Case1】と考慮する場合【Case2】の2ケースとし、
Case2において河道内の樹木を考慮する断面は、被災後の現地踏査結果を踏まえ、次ページに示す通りとした。

表-6 粗度係数一覧表

【Case1：樹木を考慮しない】

区間	距離標	粗度係数	粗度係数設定の考え方
①	合流点～0.195km	0.026	河床(粗礫:n=0.029)と護岸礫ブロック(n=0.024)の合成粗度
②	0.195km～0.46km	0.020	コンクリート水路
③	0.46km～	0.023	コンクリート(n=0.020)と粗石空積(n=0.033)の合成粗度

【Case2：樹木を考慮する】

区間	距離標	粗度係数	粗度係数設定の考え方
①	合流点～0.195km	0.026	河床(粗礫:n=0.029)と礫ブロック(n=0.024)の合成粗度
②	0.195km～0.46km	一般部:0.020 植生部:0.035 ～0.036	コンクリート コンクリート(n=0.020)と雑草・灌木(n=0.040)の合成粗度
③	0.46km～	0.023 植生部:0.035 ～0.036	コンクリート(n=0.020)と粗石空積(n=0.033)の合成粗度 コンクリート(n=0.020)と雑草・灌木(n=0.040)の合成粗度

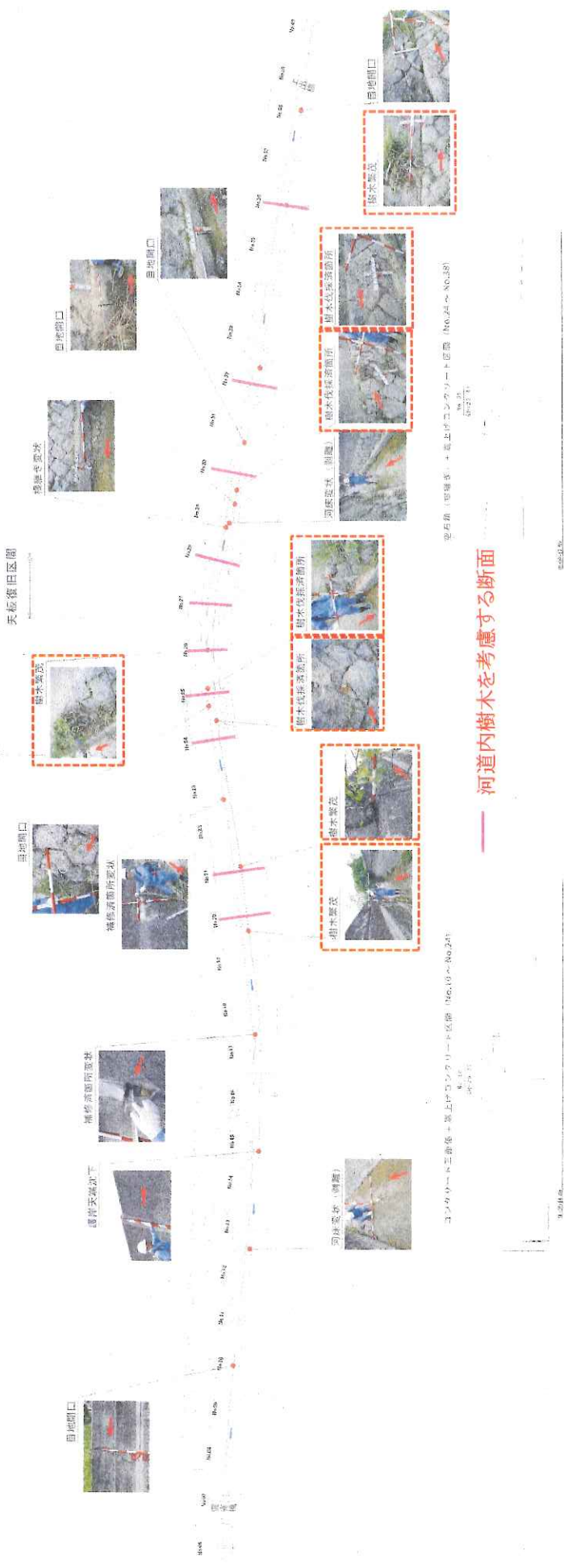


現地踏査結果を踏まえ、矢板復旧区間についても樹木を考慮した

改修区間

コンクリート三面壁 + 嵩上げコンクリート区間

石積 + 横置き + 嵩上げコンクリート区間



— 河道内樹木を考慮する断面

3.2 計算結果

(1) 被災時の想定流量

① 上出橋上流部の満杯流量が破堤箇所まで流下したと想定した場合

8/14 の発災時には、上出橋上流 (0.78k~0.82k 付近) において溢水が確認されている。当該箇所の上流部の満杯流量が下流の破堤箇所まで流れたものと想定すると、想定流量は Case1 の場合で $Q=12.5\text{m}^3/\text{s}$ 程度、Case2 の場合で $11.5\text{m}^3/\text{s}$ 程度となる。

② 上出橋による狭窄箇所をゲートと見なした場合

上出橋によって作られる狭窄箇所を水平水路床のゲートと見なし、ゲートからの自由流出の流量算定式により、流下した流量を推定する。

以下の計算により、想定流量は $Q=13.5\text{m}^3/\text{s}$ となる。

■ 水平水路床ゲートからの流出 (『水理公式集』p.254)

C=	0.5
a=	1.5m
B=	2.8m
g=	9.8m/s ²
h ₀ =	2.1m
Q=	13.5m ³ /s

C 流量係数 (右図)

a ゲートの開き

B 一桁下から河床までの高さとする

流出幅

上出橋地点における平均川幅

上流水深

上出橋直上流における満杯水深とする

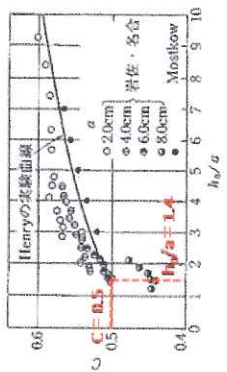
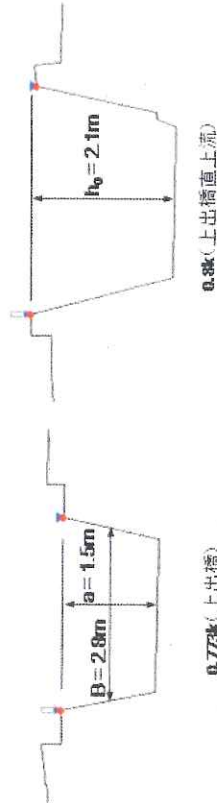


図 3-2.3 スルースゲートの流量係数の自由流出



0.773k (上出橋)

第2章 ゲートおよびバルブ

2.1 ゲートおよびバルブからの流出

2.1.1 水平水路床のゲート

(a) 自由流出 (図 3-2.1 参照)

$$Q = C_e a B \sqrt{\frac{2g(h_0 - C_e a)}{1 - (C_e a/h_0)^2}} \quad \dots\dots\dots (3-2.1)$$

$$Q = C_e a B \sqrt{2gh_0} \quad \dots\dots\dots (3-2.2)$$

ここに、 Q : 流量, a : ゲートの開き, B : 流出幅, C_e : 収縮係数, h_0 : 上流水深, C : 流量係数。
 【解説】 ゲートの上流、下流のエネルギーの関係式をエネルギー損失を無視してつくり、流量の式としてまとめると式 (3-2.1) が得られる。式 (3-2.2) は一般的に使用されている流量の式である。

図 3-2.2 は Müller¹⁾, Pajep²⁾ によって求められた収縮係数 C_e の理論曲線と, Smetana³⁾, Benjamin⁴⁾, 岩佐・名合⁵⁾ の刃形リップの実験値を示しているが, C_e は a/h_0 以外の要素にも関係づけられることがわかる。図 3-2.3 は流量係数の形で示したものであるが, 比較的良くまとまっている。

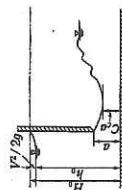


図 3-2.1 スルースゲートからの自由流出

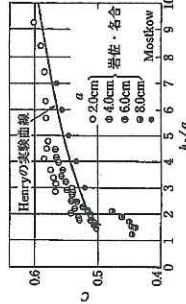


図 3-2.2 収縮係数

(b) もぐり流出

$$Q = C_e a B \sqrt{2gh_0} \quad \dots\dots\dots (3-2.3)$$

ここに、 C_e : 流量係数, a : ゲートの開き, B : 流出幅, h_0 : 上流水深。
 【解説】 もぐり流出の場合には下流水深と上流水深の関係が決まるので、式 (3-2.1) のような式にまとめられ難い。その代わりに流量係数 C_e が h_0 、

(2) 破堤箇所の想定水位

Q=13.5m³/s の流量が破堤箇所において流れた場合、当該箇所における水位は、堤防肩高を 10cm~20cm 下回る[粗度係数 Case2 の場合]。

これにより、8月14日の洪水時においては、継続的な越水は破堤箇所では生じていなかったと推察される。

(3) 河道内流速

想定される被災流量が破堤箇所において流れた場合、当該箇所における流速は概ね2.5~3.5m/s程度となる。繰り石積み護岸の設計流速の目安は右表の通りであり、これによれば、洪水時の河道内流速は護岸の設計流速以内に収まっていたこととなる。

表-7 護岸工法別設計流速の目安

護岸の法勾配が1:1.5より急な場合に適用する工法例
(他工法等の施工実績を踏まえ、今後見直ししていくものとする。)

復旧工法例	設計流速 (m/s)							適用条件等
	2	3	4	5	6	7		
木系	丸太格子	●	●	●	●	●	●	<ul style="list-style-type: none"> ・細石の少ない河川に適用。 ・背後に住宅や重要施設がない場合に適用。
	木製ブロック	●	●	●	●	●	●	<ul style="list-style-type: none"> ・法勾配が1:1.5より急な場合に適用。 ・細石河川に適用。 ・船石の少ない河川に適用。 ・背後に住宅や重要施設がない場合に適用。
	杭 冊	●	●	●	●	●	●	<ul style="list-style-type: none"> ・細石河川に適用。 ・船石の少ない河川に適用。 ・背後に住宅や重要施設がない場合に適用。 ・現地河川で材料の入手が容易な場合に適用。(注)
石系	自然石 (細積)	●	●	●	●	●	●	<ul style="list-style-type: none"> ・細石河川に適用。 ・細石がコンクリートは表面に出ないよう深目地を敷く。 ・設計流速5m/s未満の箇所については、適用河川が他の工法についても充分比較検討すること。
	連結自然石 (空積)	●	●	●	●	●	●	<ul style="list-style-type: none"> ・細石河川に適用。 ・船石の少ない河川に適用。 ・強い衝撃又は過分濃度の高い場所では適用しない。 ・傾斜が急峻な箇所は、設計流速5m/s未満の箇所は、適用河川が他の工法についても充分比較検討すること。
かご系	かごマット (多段)	●	●	●	●	●	●	<ul style="list-style-type: none"> ・プロテクティブを適用。 ・設計流速5m/s程度以上では、強度重視型を適用。
	ポーラスコンクリート	●	●	●	●	●	●	<ul style="list-style-type: none"> ・細石河川に適用。 ・船石の少ない河川に適用。 ・傾斜が急峻な箇所は、設計流速5m/s未満の箇所は、適用河川が他の工法についても充分比較検討すること。
コンクリート系	環境保全型ブロック	●	●	●	●	●	●	<ul style="list-style-type: none"> ・細石河川に適用。 ・船石の少ない河川に適用。 ・傾斜が急峻な箇所は、設計流速5m/s未満の箇所は、適用河川が他の工法についても充分比較検討すること。
	コンクリートブロック積	●	●	●	●	●	●	<ul style="list-style-type: none"> ・細石河川に適用。 ・船石の少ない河川に適用。 ・傾斜が急峻な箇所は、設計流速5m/s未満の箇所は、適用河川が他の工法についても充分比較検討すること。
その他	補強土	●	●	●	●	●	●	<ul style="list-style-type: none"> ・細石河川に適用。

*凡例

- 適用可能な箇所
- 基本的には使用しない箇所 (他の護岸工法で施工できない場合のみ使用)
- 上表の適用範囲は、施工実績等から求めた目安である。したがって、越水の被災状況等によっては、その被災原因の調査を踏まえて、上表の範囲外でも既設工法が適用できる場合がある。
- 土質にかかわらず、設計流速に適用である合理的な工法は積極的に採用してよい。
- 各河道毎に決定した「美しい山河を守る災害復旧事業実施方針」を踏まえて、上表の補充・追加を図ること。

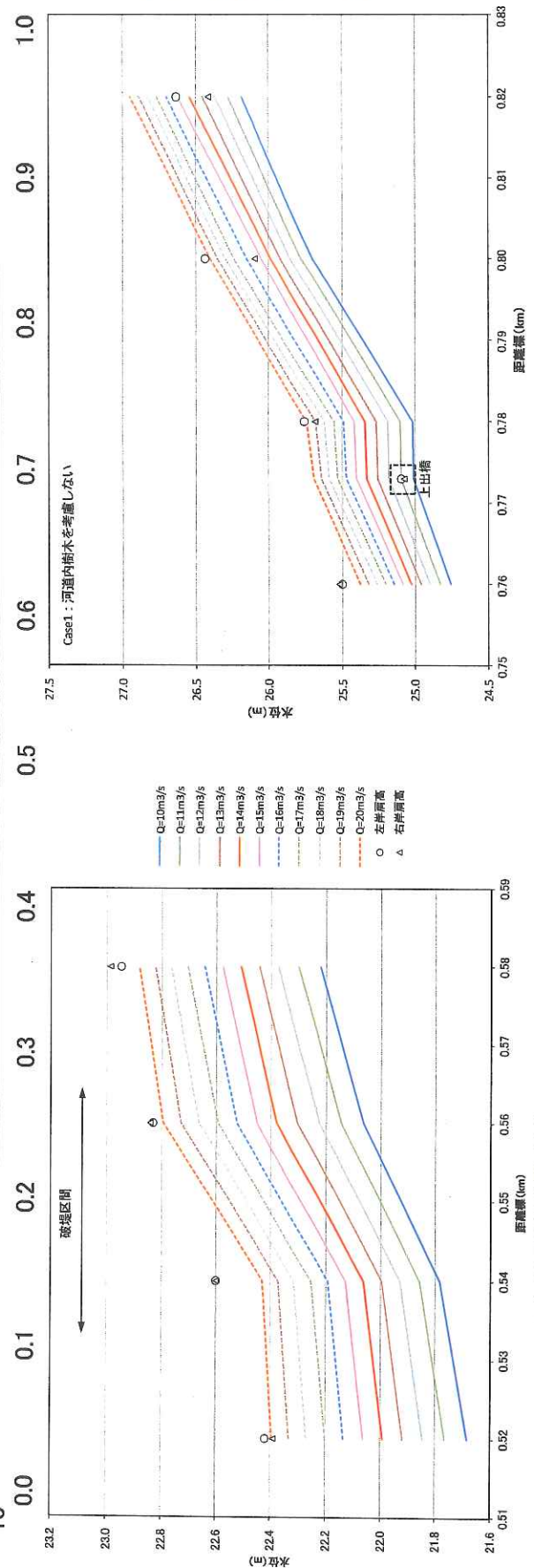
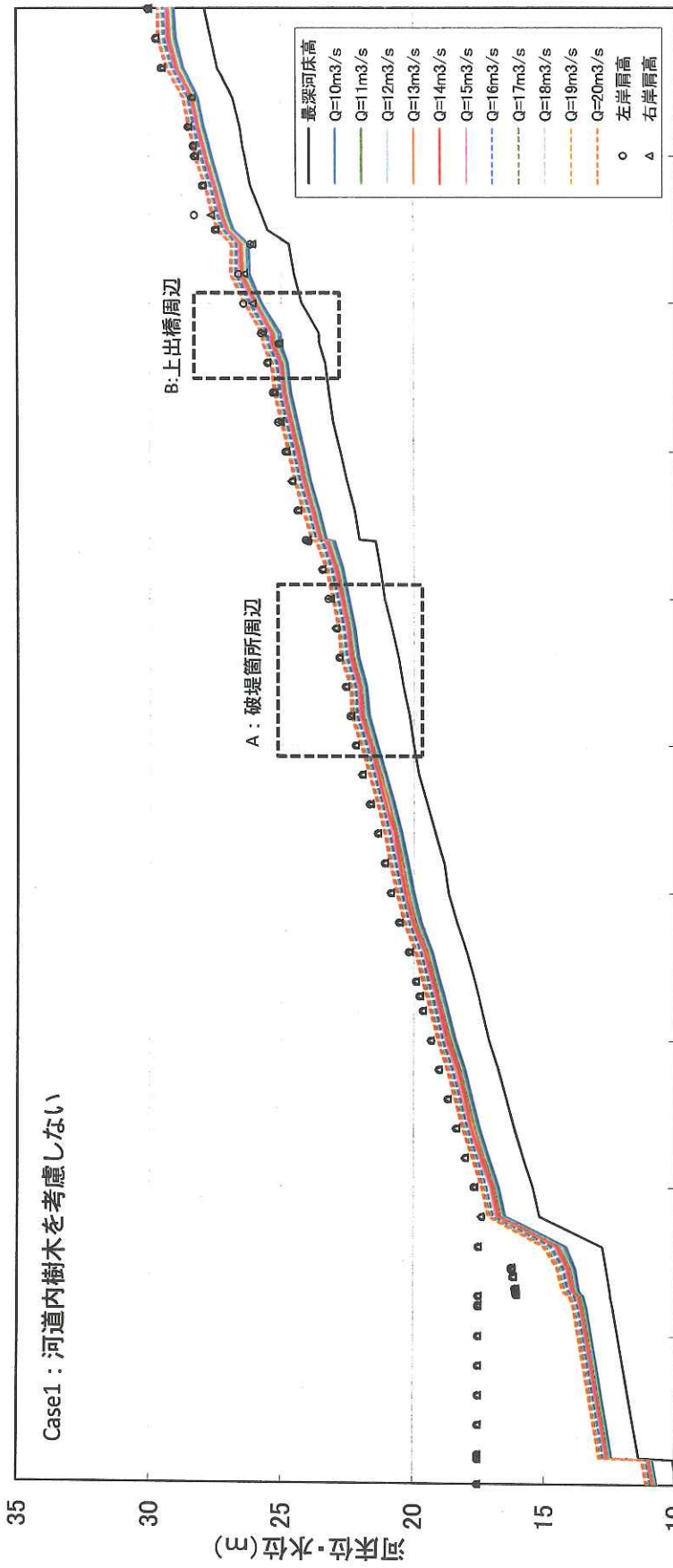


図-8 弥陀次郎川水位計算結果 (粗度係数 Case1)
 (A部:破堤箇所周辺拡大)
 (B部:上出橋周辺拡大)

破堤箇所近傍流速縦断面 Case 1

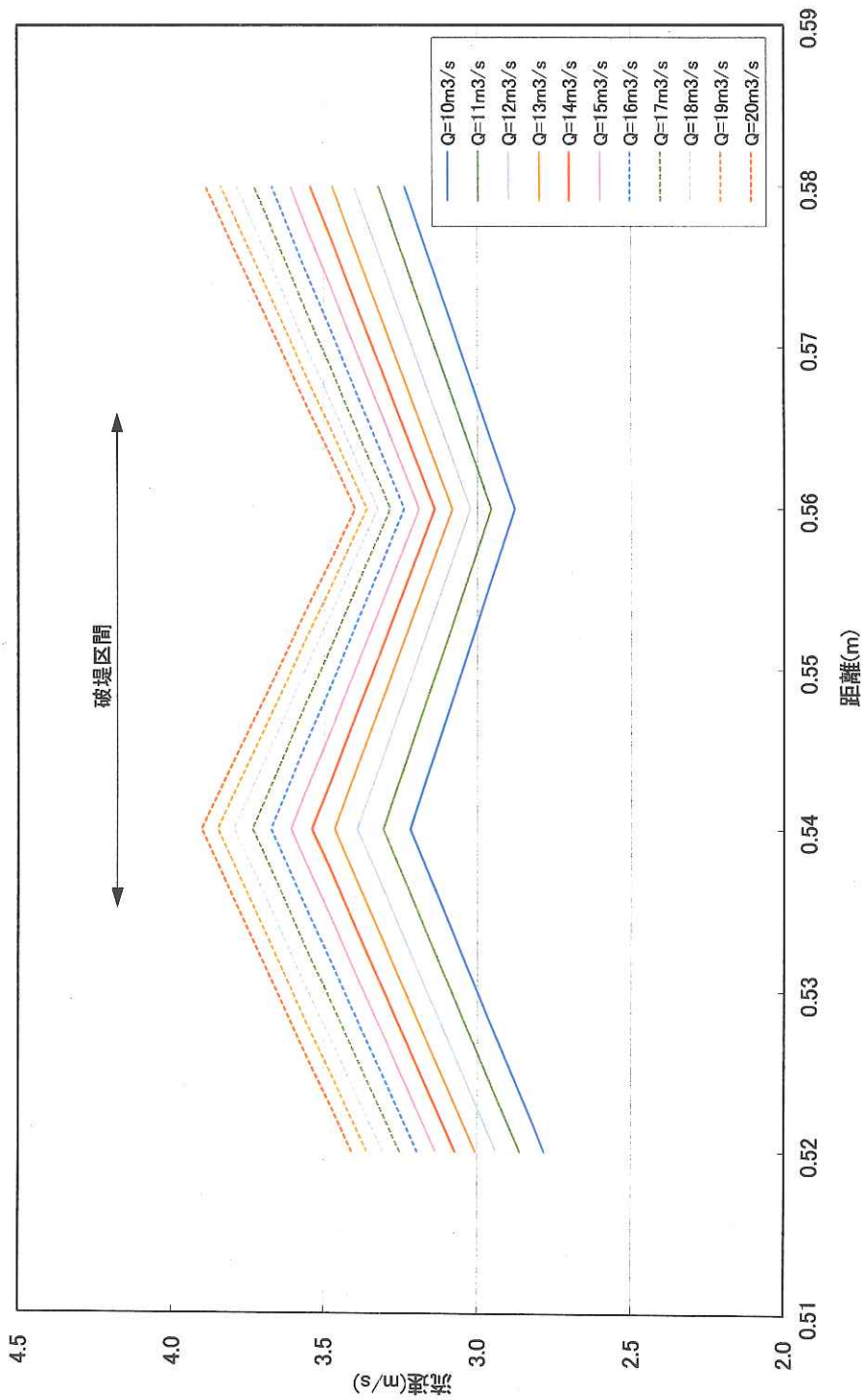
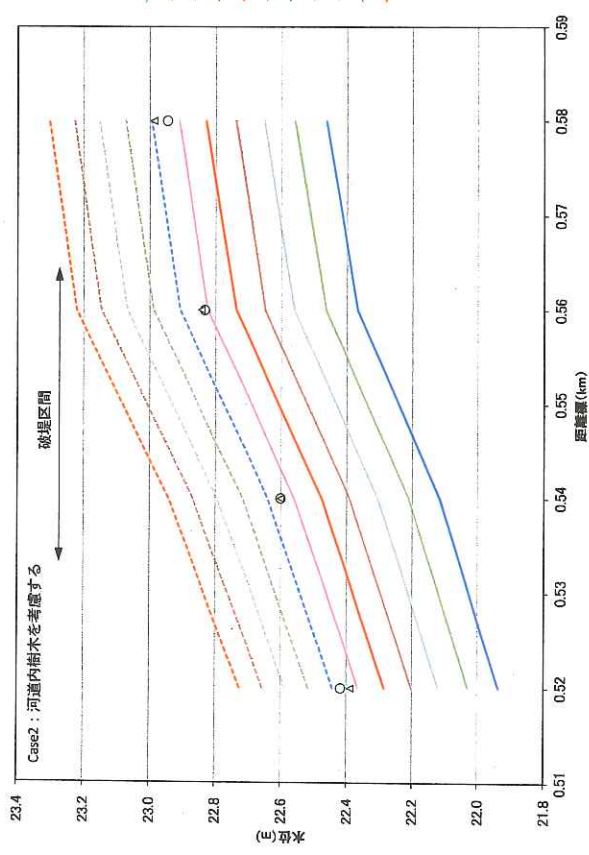
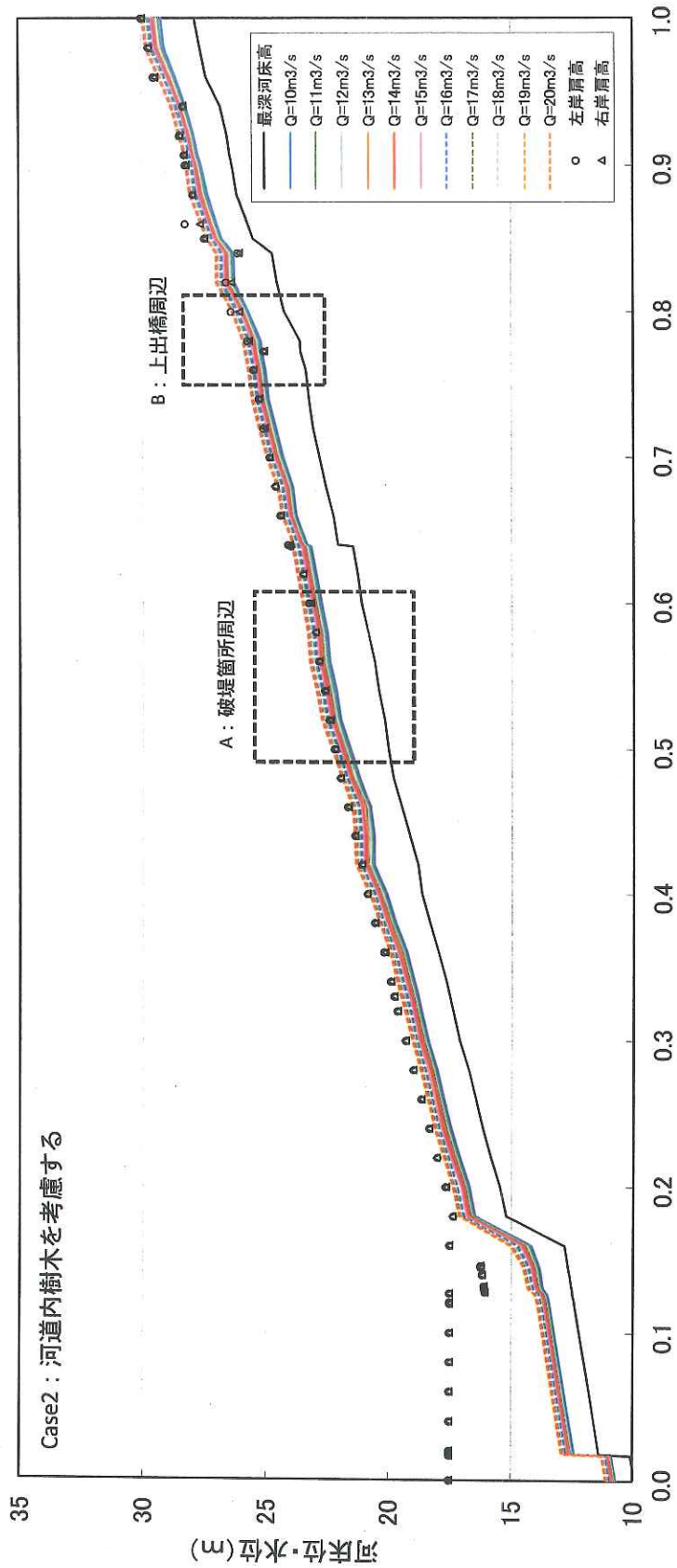
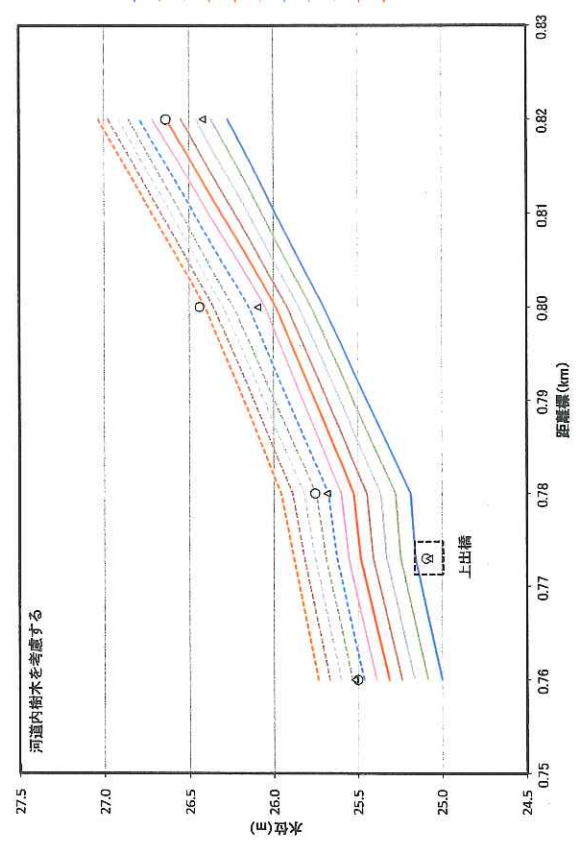


图-9 弥陀次郎川河道内流速計算結果(粗度係数 Case1)



(A部:破堤箇所周辺拡大)



(B部:上出橋周辺拡大)

図-10 弥陀次郎川水位計算結果 (粗度係数 Case2)

破堤箇所近傍流速縦断面図・Case2

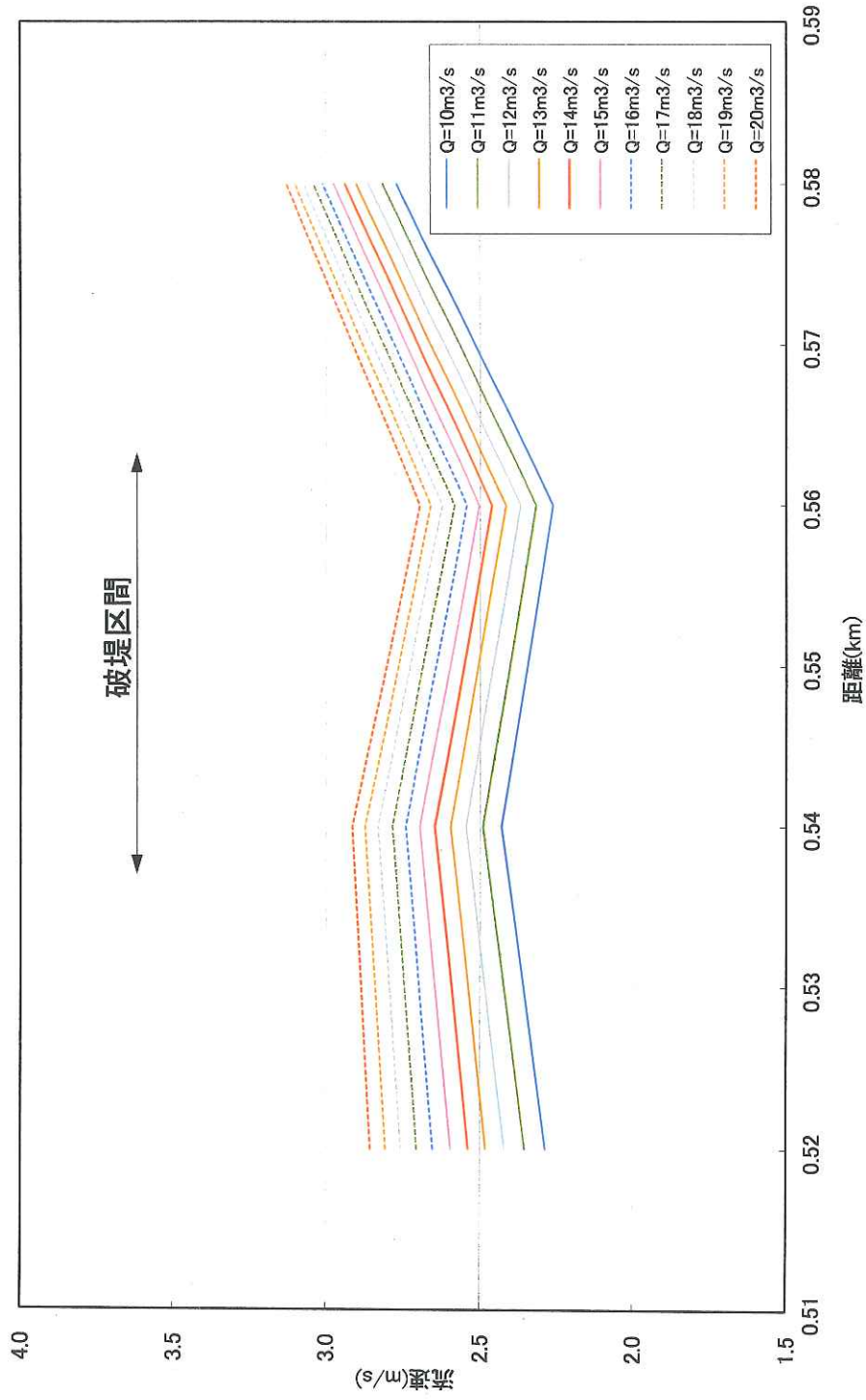


图-11 弥陀次郎川河道内流速計算結果(粗度係数 Case2)