

第 2 回
天井川に関する技術検討委員会

資料1－弥陀次郎川の決壊メカニズムの解明

京 都 府

目次

- 1 . 護岸・堤防の構造に関する調査結果 3
- 2 . 被災時の状況に関する調査結果 18
- 3 . 水文・水理状況に関する調査結果 27
- 4 . 浸透流解析に向けての考察 56

報告内容

項目	調査内容	調査目的
護岸 および 堤防の構造	<ul style="list-style-type: none">・現況護岸設計図面・地質調査・レーダー探査・点検補修履歴	護岸および堤防の構造を把握し、破堤の要因となり得る事項を整理・抽出する。
被災状況	<ul style="list-style-type: none">・近隣住民への聞き取り調査(追加)・流下物調査	洪水時・洪水前の河道状況を把握する。
水文・水理状況	<ul style="list-style-type: none">・降雨状況(Xバンドレーダー記録等)・流出計算・河道内水理状況	外力としての降雨量を把握する。 洪水時の河道内の水理状況を把握する。

1. 護岸・堤防の構造に関する調査結果

① 護岸等の構造

→ 竣工図書等による確認

② 堤防の土質状況

→ 土質調査による確認

③ 護岸, 河床コンクリート背面の変状

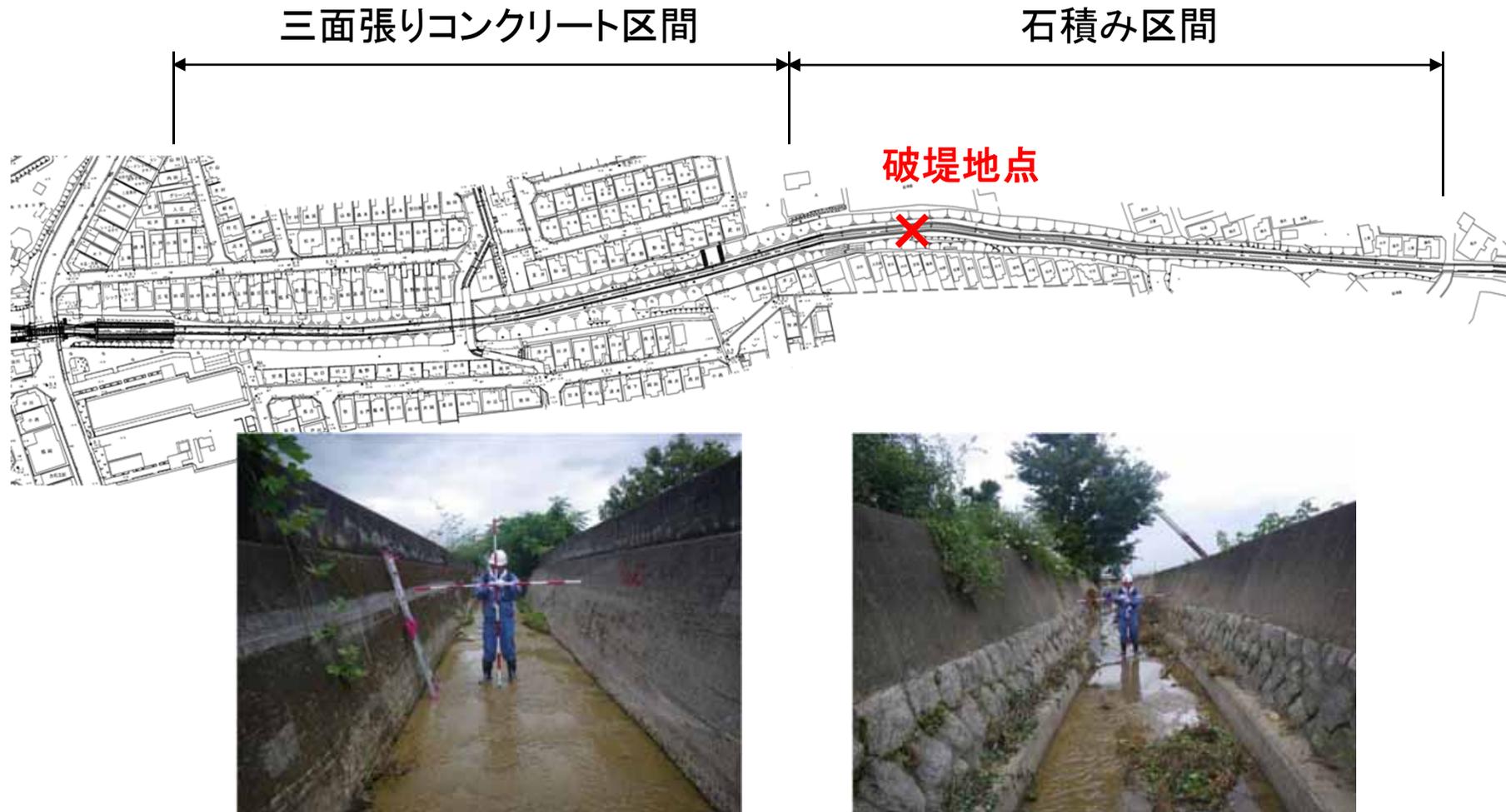
→ レーダー探査による確認

④ 過去に弥陀次郎川で見られた護岸等の損傷の状況

→ 過去の補修実績による確認

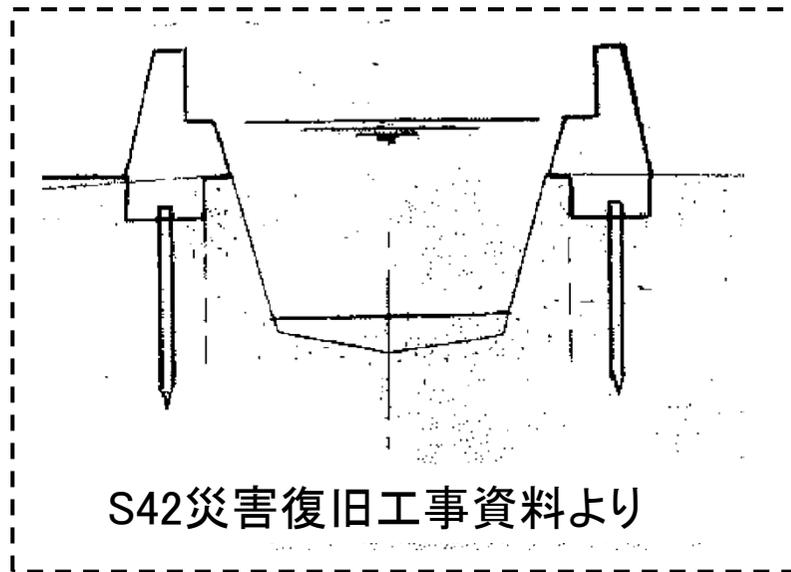
① 護岸等の構造
(竣工図書等による確認)

弥陀次郎川の護岸構造

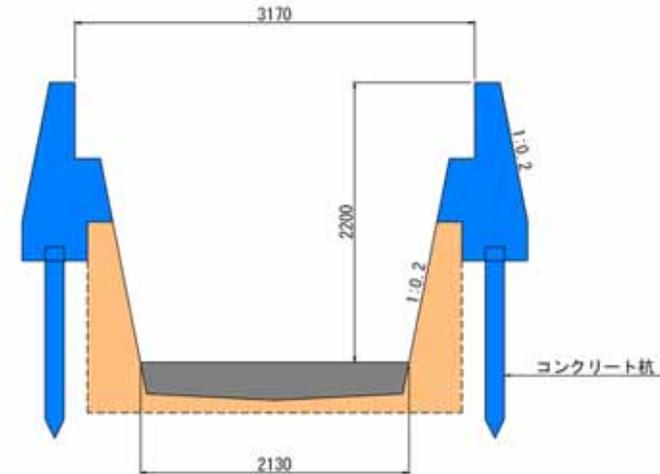


弥陀次郎川の護岸構造は、下流側の「**三面張りコンクリート区間**」と上流側の「**石積み区間**」の大きく2タイプに区分できる。このうち、**破堤地点**は「**石積み区間**」に位置している。

三面張りコンクリート区間の構造



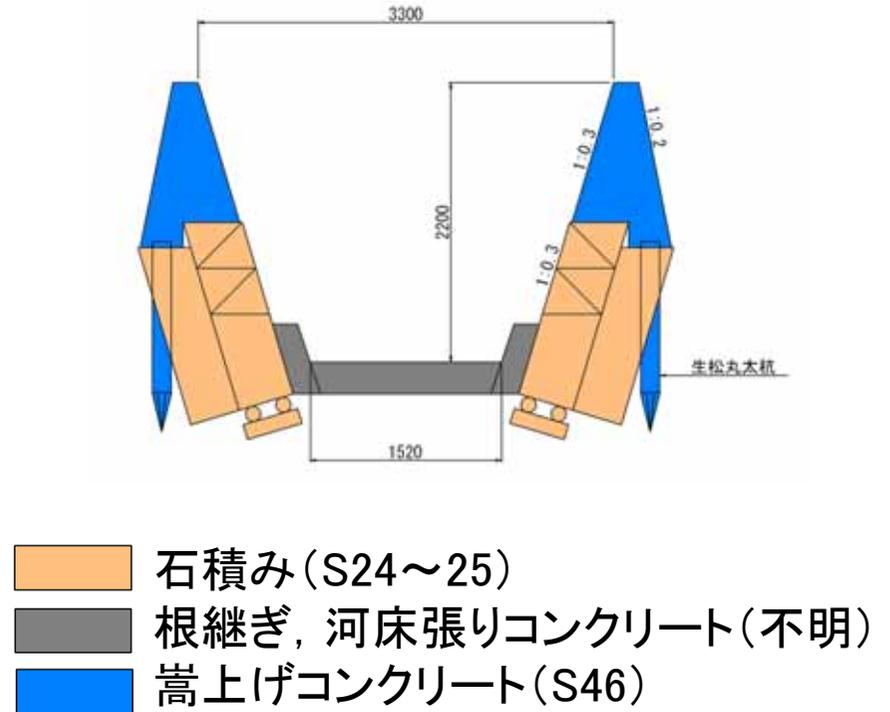
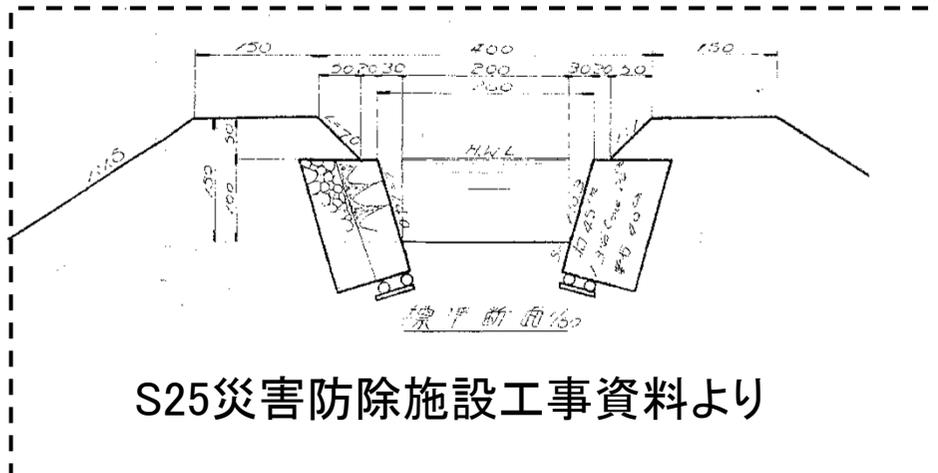
S42災害復旧工事資料より



- 三面張りコンクリート(不明)
- 河床張りコンクリート(S42)
- 嵩上げコンクリート(S42)

過去の竣工図書等より、三面張りコンクリート区間の構造は、まず、**三面張りコンクリート**(図の肌色箇所)が設けられ、その後**河床張りコンクリート**(図の灰色箇所)を施工した後、**嵩上げコンクリート**(図の青色箇所)が施工されて現在の構造に至っていると考えられる。

石積み区間の構造



過去の竣工図書等より、石積み区間の構造は、まず、**練り石積み** (図の肌色箇所) が設けられ、その後**根継ぎ**と**河床張りコンクリート** (図の灰色箇所) を施工した後、**嵩上げコンクリート** (図の青色箇所) が施工されて現在の構造に至っていると考えられる。

石積み護岸の構造確認

石積護岸補強工事

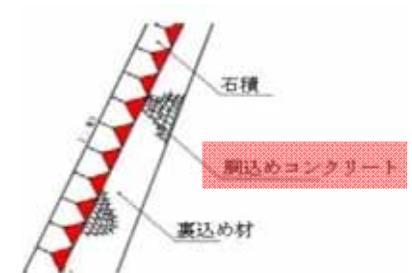
石積護岸の目地からモルタルを注入



上出橋下流で抜石したところ、胴込コンクリートが確認された



練り石積み護岸と判断



石積み護岸の構造確認



練石積み護岸であるが、近年施工のものほど堅固に一体化された構造ではない。

② 堤防の土質状況
(土質調査による確認【速報】)

土質調査位置



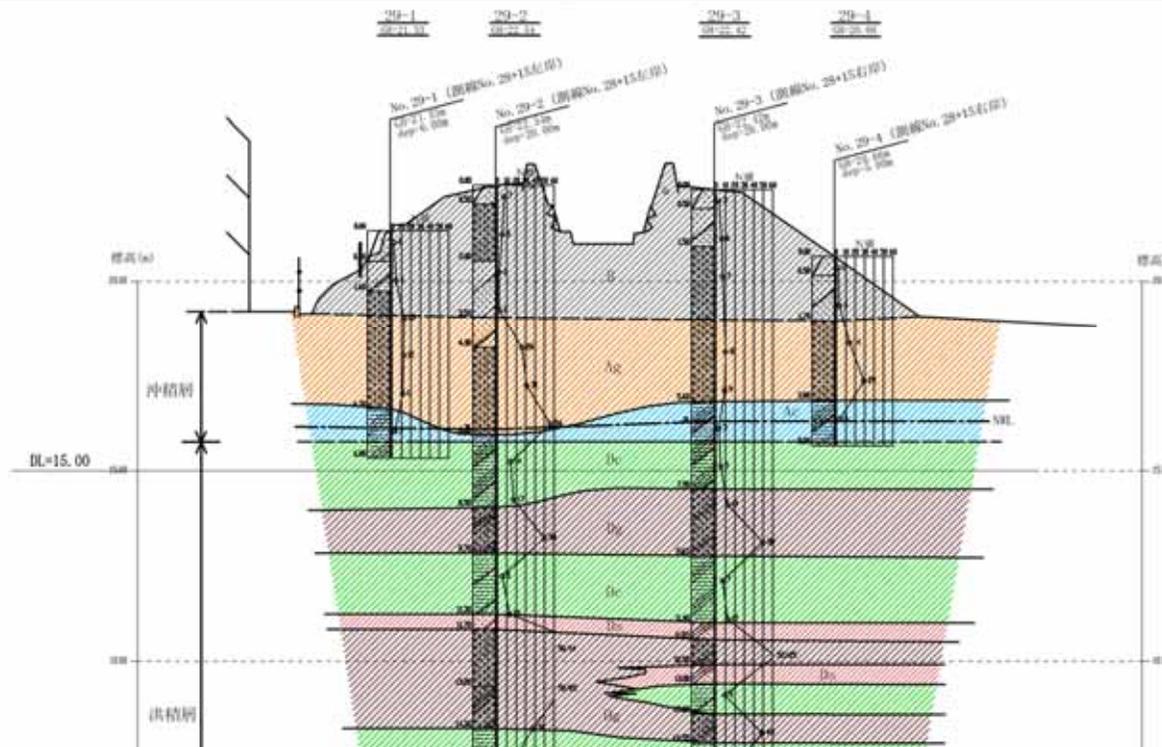
弥陀次郎川の堤防の土質状況を把握するため、破堤地点下流（No.21）、破堤沈直近（No.29）、破堤地点上流（No.36）の3断面で合計8本のボーリング調査を行った。

破堤地点直近の土質断面【速報】

破堤箇所直近(No.29)の土質断面を下図に示す。

以下のような特徴が見られる。今後、土質試験結果を踏まえ、詳細な状況の確認を行う。

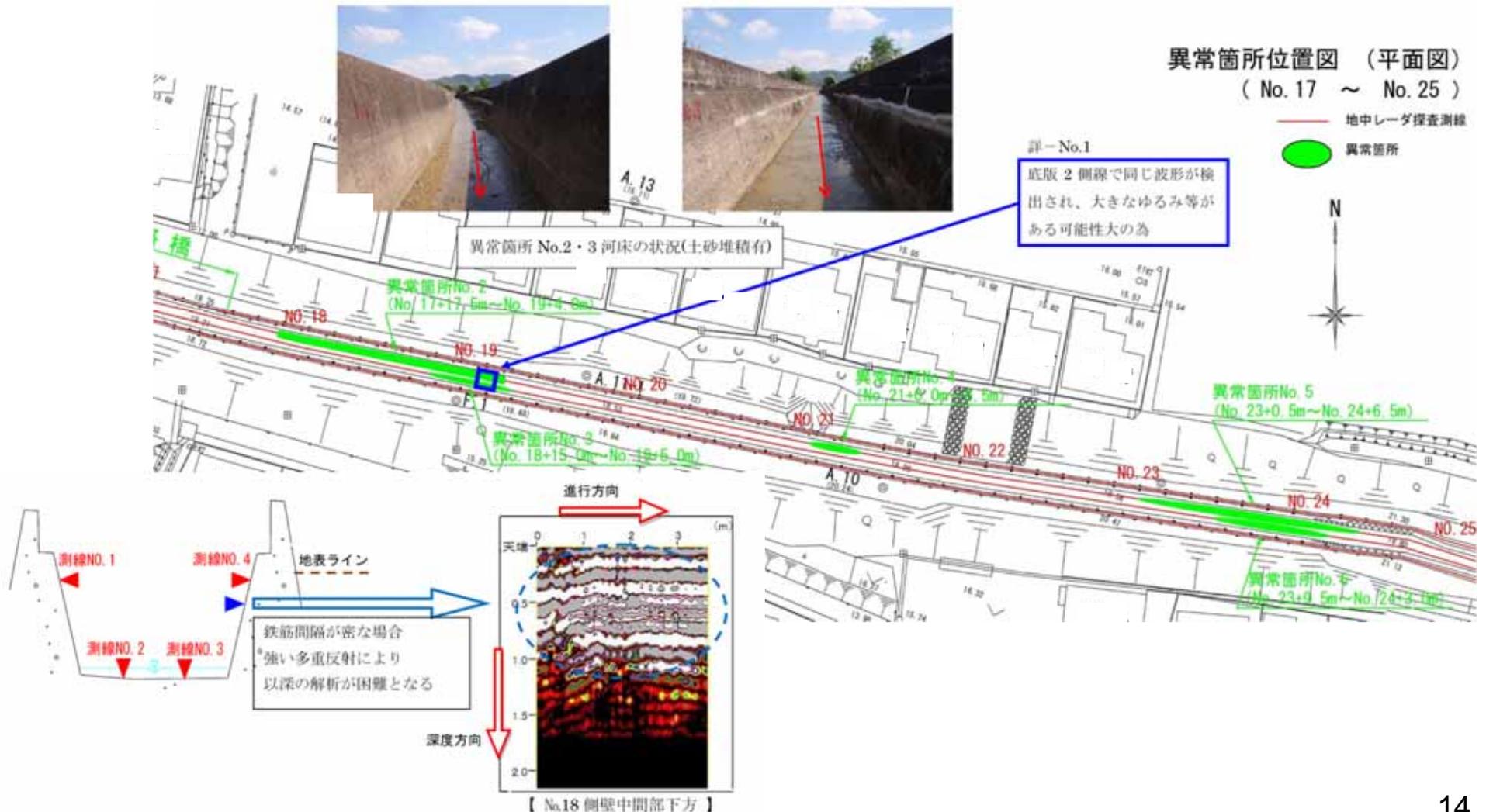
- ・ 堤体および基礎地盤は、礫分の多い砂質土で構成され、透水性が高いと推測される。
- ・ 平常時の地下水位は堤体下3m程度と深い。
- ・ 堤体下3～4m程度で洪積層が確認される。



③ 護岸，河床コンクリート背面の変状
(レーダー探査による確認【速報】)

レーダー探査による変状状況【速報】

レーダー探査による調査の結果、河床コンクリート背面に、変状の可能性が考えられる箇所がいくつか確認された。
今後、これらの変状箇所についてコア抜きおよびファイバースコープによる確認を行う。



④ 過去に弥陀次郎川で見られた護岸等の損傷の状況
(過去の補修実績による確認)

過去の損傷状況(平成17年度補修実績の例)

弥陀次郎川では、点検により必要と判明した補修工事を行っている。補修工事の内容は概ね以下のとおりで、ここでは平成17年の補修実績を例として示す。

損傷の内容	補修の内容
河床コンクリートの破損・めくれ	河床コンクリート打設
石積みの目地の開き	モルタルによる目地の間詰め
パラペット等のクラック	クラック充填



特徴的な損傷状況

コンクリートの破損・めくれ



(補修前)



(補修後)

石積みの目地の開き



(補修前)



(補修後)

2. 被災時の状況に関する調査結果

① 近隣住民への聞き取り調査

→ 前回に引き続き聞き取り調査を実施

② 流下物調査

→ 河口部における流下物(コンクリート片, 雑割石等)の散乱状況を調査

① 近隣住民への聞き取り調査
(前回に引き続き聞き取り調査を実施)

近隣住民への聞き取り調査(追加)(1/4)

○地元への情報提供の依頼

弥陀次郎川の天井川区間の8月14日の状況について
(9月5日以降 地元へ依頼文を配布)

→ 情報提供の申し出なし

○調査の概要

日時 1回目:2012年10月12日(木)(6名:上出橋付近住民)

2回目:2012年10月13日(金)(4名:欠壊箇所住民)

場所 京都府宇治市五ヶ庄および木幡熊小路

実施者 京都府職員, コンサルタント

○主な聞き取り項目

①洪水時の様子

②洪水以前の様子

近隣住民への聞き取り調査(追加)(2/4)

○調査位置図



近隣住民への聞き取り調査(追加)(3/4)

○上出橋付近住民

洪水時の様子

- 上出橋のガードレールやフェンスに流木, 丸太などが引っかかり水が溢れた。
- 上出橋下流の河道は水が満杯で流れていた。
- 漂流物には, 流木, 丸太, 大きな石, 砂, ドラム缶があった。
- 8月13日夜に、上出橋付近で越水が目撃された情報はない。

洪水以前の様子

- 河道内に大きな木は生えていなかった。
- 堤防から漏水を確認したことはない。

近隣住民への聞き取り調査(追加)(4/4)

○欠壊箇所住民

洪水時の様子

- ・堤防から水は越水していなかった。
- ・台所の地下収納庫からブクブク音がして浮き上がってきた。また、お風呂場からは水が出てきた。
- ・漂流物には、流木、丸太、石、細かい砂利、土砂があった。

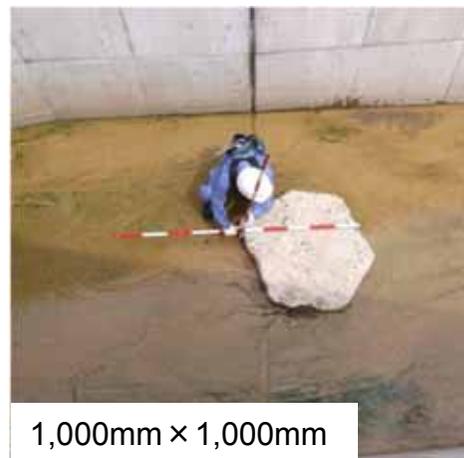
洪水以前の様子

- ・河道内に小さな木や草が生えていた。
- ・堤防に生えていた木のうち、一部の木は伐採されたが根は残っていた。
- ・以前は堤防に竹林・タケノコが生えていたが、最近では伐採され生えていない。
- ・堤防から漏水を確認したことはない。
- ・堤防には、モグラ、タヌキ、イタチ、ヘビが生息していた。

② 流下物調査
(河口部における流下物の散乱状況を調査)

河口部の流下物状況(コンクリート片)

弥陀次郎川の河床張りコンクリートと推測される**コンクリート片が、主に弥陀次郎川河口部～宇治川合流部までの間で多数確認**された。これらには、破堤箇所の河床張りコンクリートも含まれていると考えられる。
このため、**河床コンクリートは、破堤前に損傷を受け下流に流れていったと推測される。**



河口部の流下物状況(雑割石)

破堤箇所の石積みの材料と推測される雑割石が、宇治川合流部および弥陀次郎川河口部で合計4個確認された。
コンクリート片に比べて量が少ないため、雑割石の多くは、破堤前には下流に流れていかなかったことが推測される。



3. 水文・水理状況に関する調査

①降雨状況

流域近傍の降雨観測記録

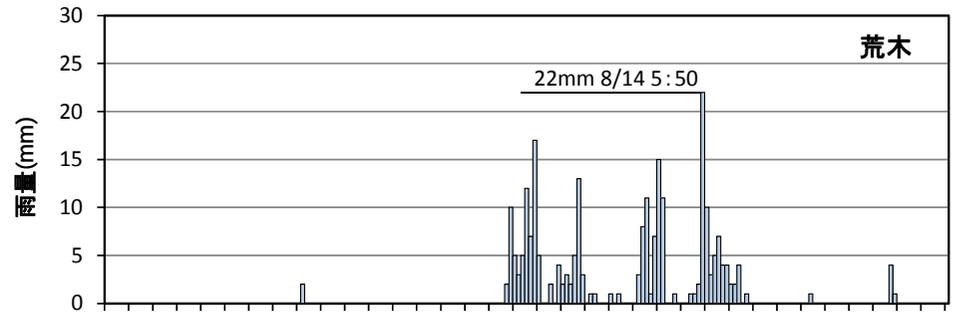
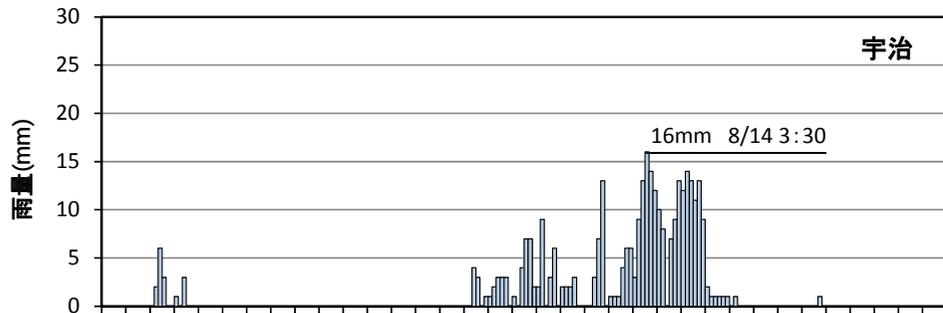
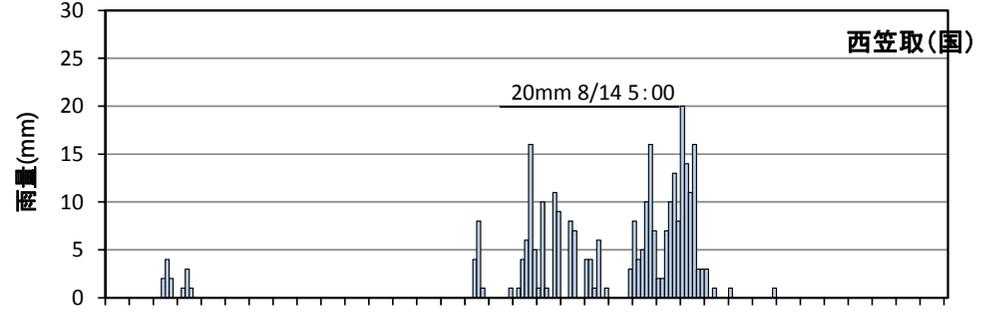
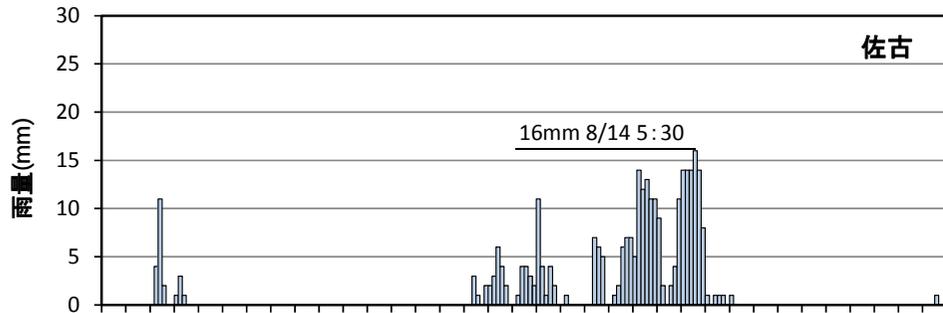
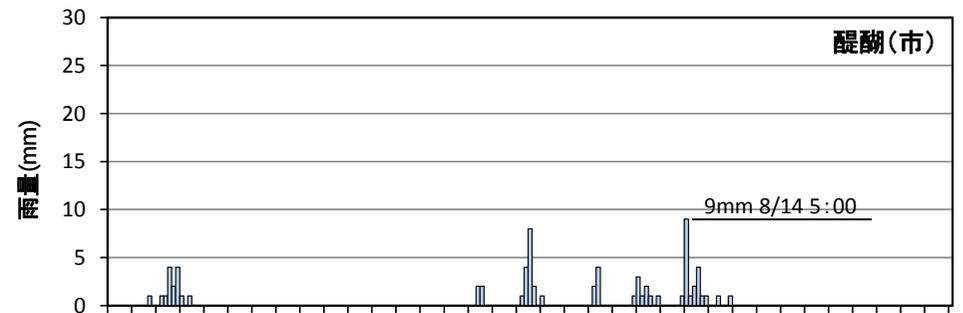
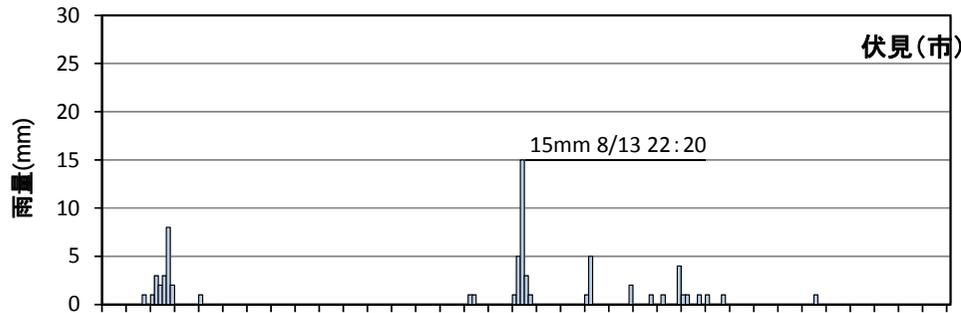
観測所名	雨量 (mm)		
	10分最大	60分最大	総雨量
宇治	16	76	322
寺田	25	79	339
八幡	21	103	322
佐古	16	83	303
荒木(府)	22	53	237
笠取	17	59	188
西笠取	20	82	290
山科(市)	5	20	65
東部山間	8	18	59
勧修寺	7	18	59
醍醐(市)	9	18	71
深草(市)	8	15	45
伏見(市)	15	25	68
へりポート(市)	17	67	152
神川(市)	10	21	55
淀(市)	20	72	175

網掛けは総雨量の上位5観測所。

弥陀次郎川流域の南側に雨の強かったエリアが分布している。



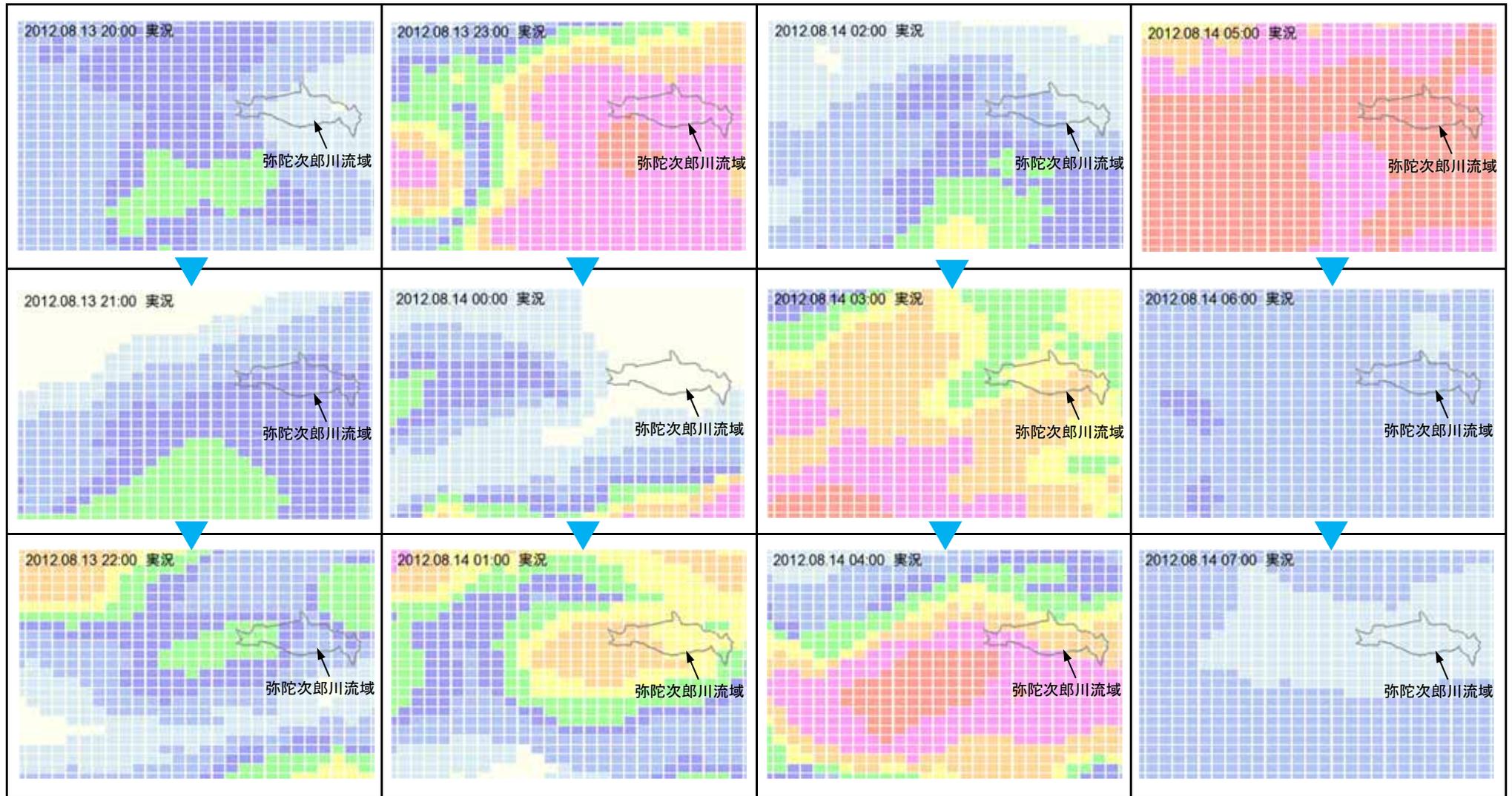
流域近傍の降雨観測記録



2012/08/13 5:00
 2012/08/13 7:00
 2012/08/13 9:00
 2012/08/13 11:00
 2012/08/13 13:00
 2012/08/13 15:00
 2012/08/13 17:00
 2012/08/13 19:00
 2012/08/13 21:00
 2012/08/13 23:00
 2012/08/14 01:00
 2012/08/14 03:00
 2012/08/14 05:00
 2012/08/14 07:00
 2012/08/14 09:00
 2012/08/14 11:00
 2012/08/14 13:00
 2012/08/14 15:00

2012/08/13 5:00
 2012/08/13 7:00
 2012/08/13 9:00
 2012/08/13 11:00
 2012/08/13 13:00
 2012/08/13 15:00
 2012/08/13 17:00
 2012/08/13 19:00
 2012/08/13 21:00
 2012/08/13 23:00
 2012/08/14 01:00
 2012/08/14 03:00
 2012/08/14 05:00
 2012/08/14 07:00
 2012/08/14 09:00
 2012/08/14 11:00
 2012/08/14 13:00
 2012/08/14 15:00

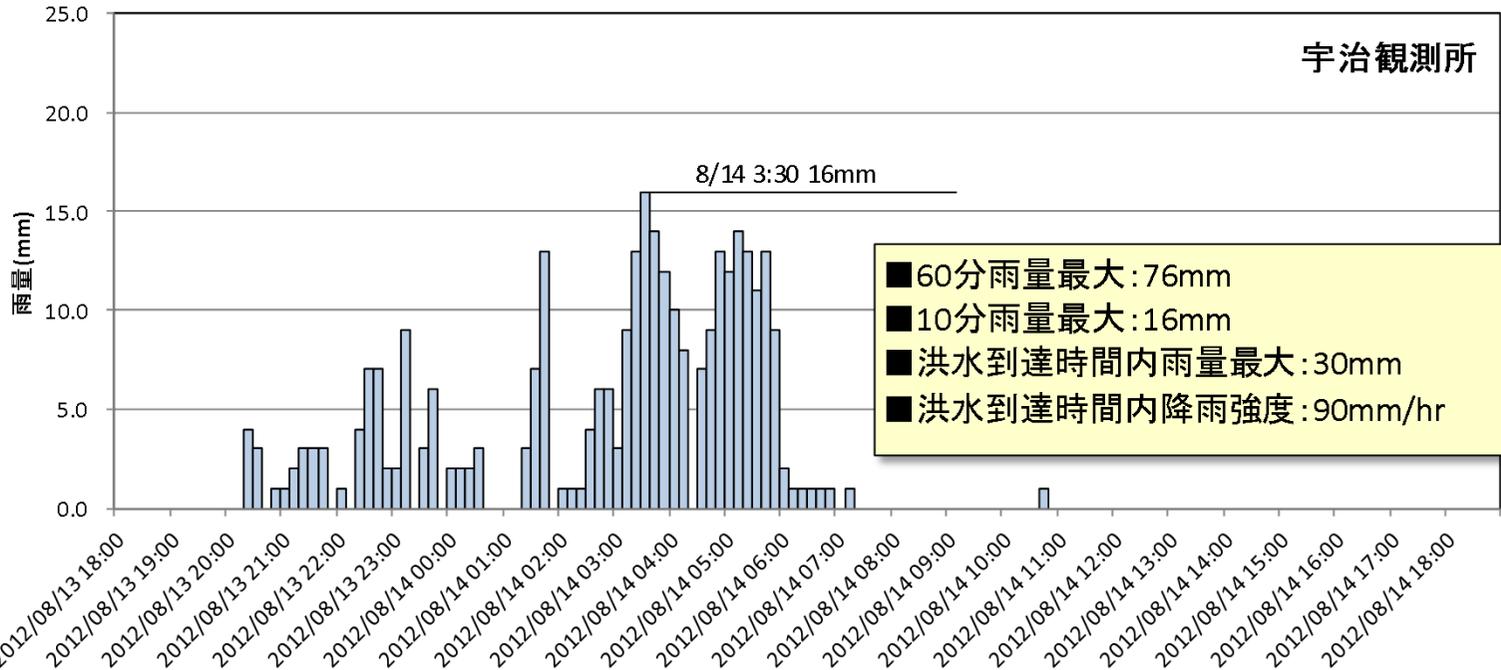
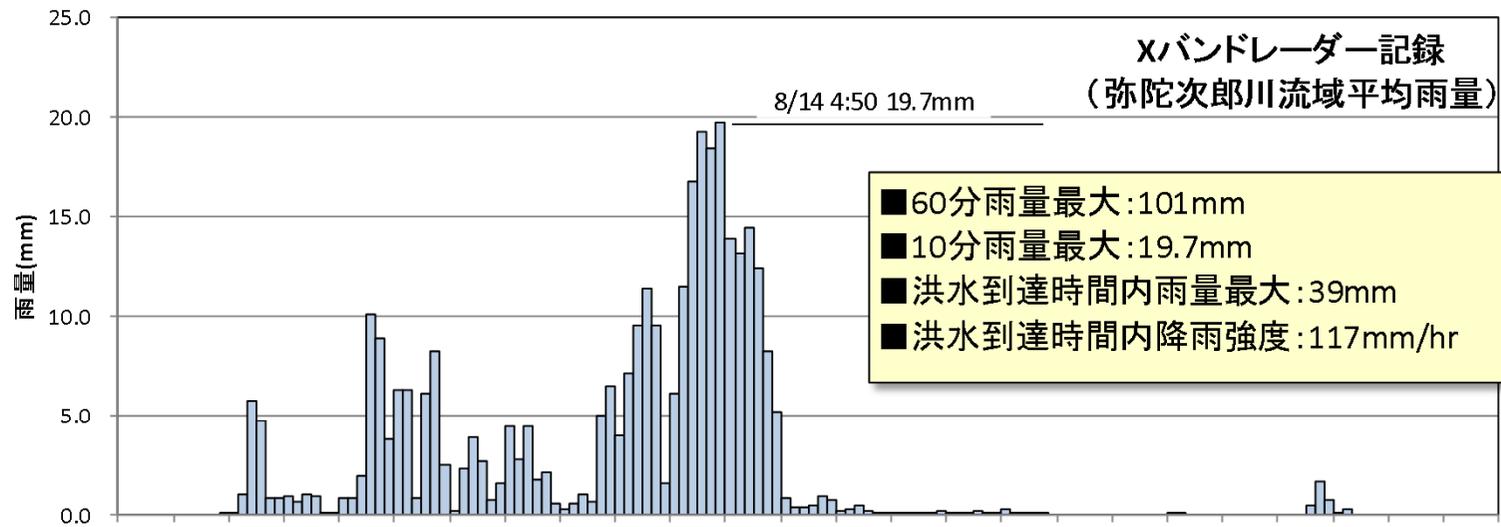
XバンドMPLレーダー観測記録



凡例(降雨強度)



XバンドMPLレーダー観測記録に基づく流域平均雨量

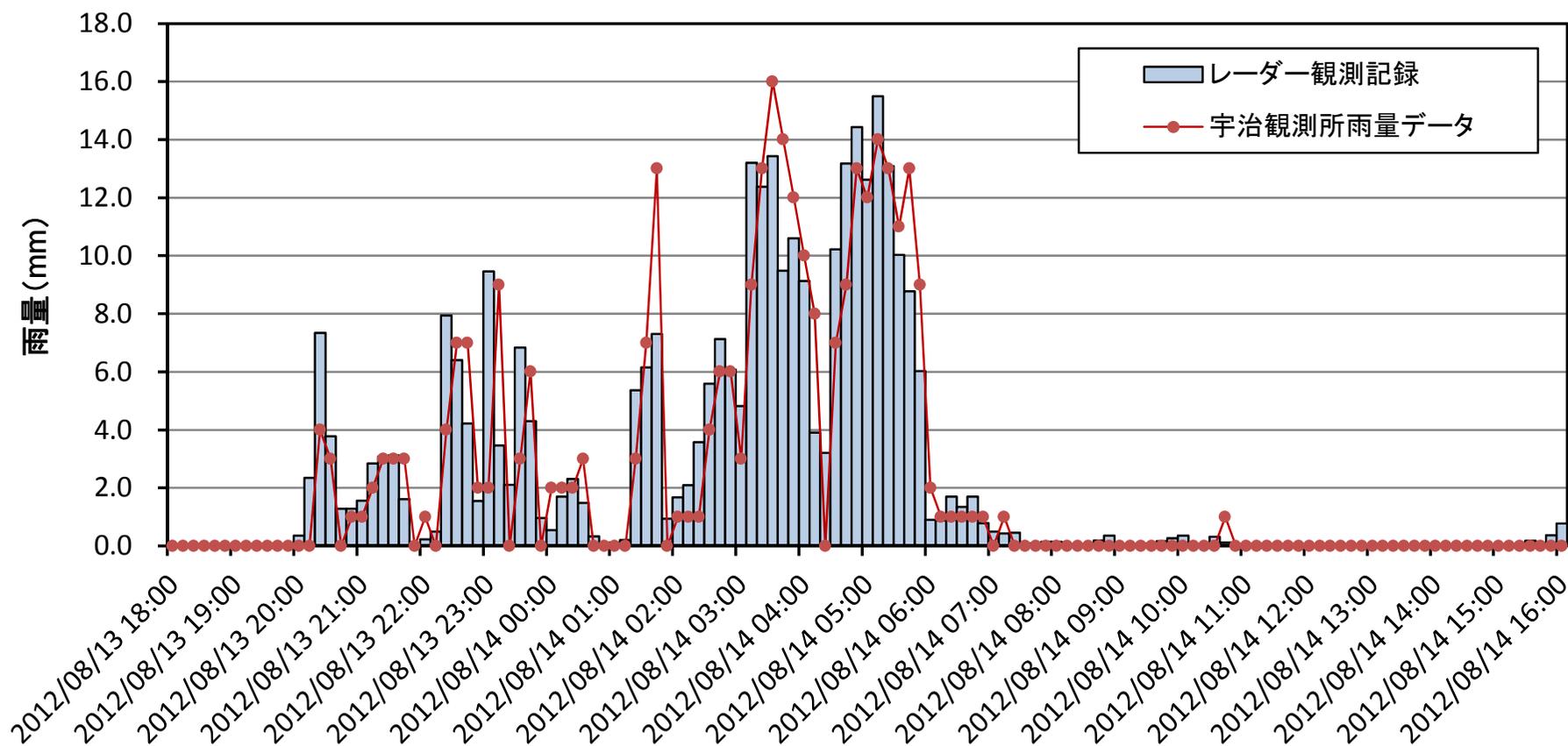


2012/08/13 18:00
 2012/08/13 19:00
 2012/08/13 20:00
 2012/08/13 21:00
 2012/08/13 22:00
 2012/08/13 23:00
 2012/08/14 00:00
 2012/08/14 01:00
 2012/08/14 02:00
 2012/08/14 03:00
 2012/08/14 04:00
 2012/08/14 05:00
 2012/08/14 06:00
 2012/08/14 07:00
 2012/08/14 08:00
 2012/08/14 09:00
 2012/08/14 10:00
 2012/08/14 11:00
 2012/08/14 12:00
 2012/08/14 13:00
 2012/08/14 14:00
 2012/08/14 15:00
 2012/08/14 16:00
 2012/08/14 17:00
 2012/08/14 18:00

※洪水到達時間20min

レーダー観測記録の検証

- 宇治観測所地点(ジャストポイント)におけるレーダー観測記録と宇治観測所雨量データの比較
- 両者は概ね良好な対応を示している。



宇治観測所地点におけるレーダー観測記録と観測所雨量データの比較

②流出計算

流出計算モデル

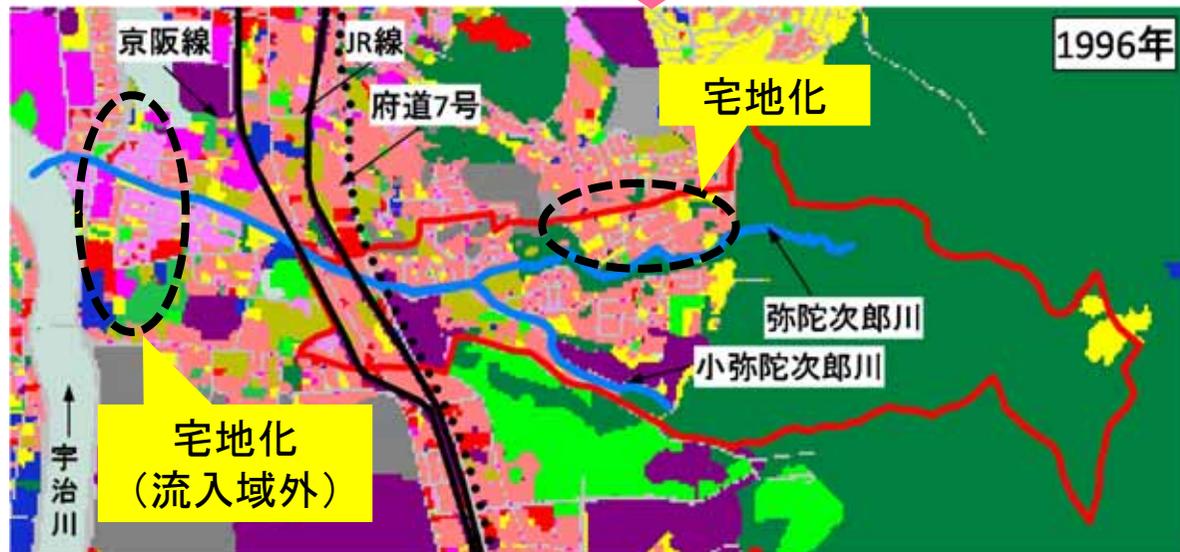
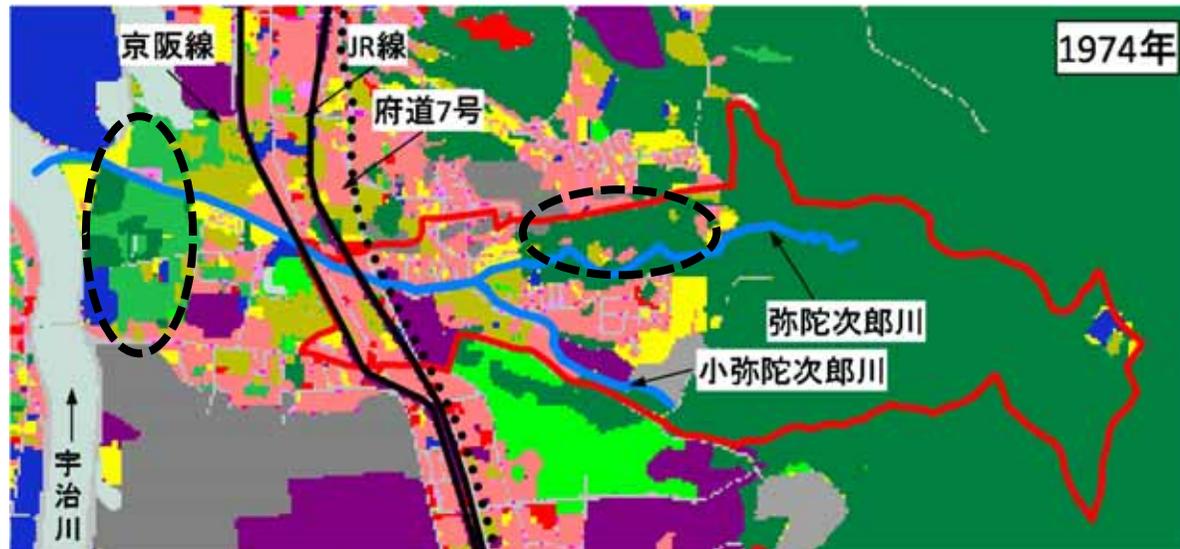
- 計算手法:
→ 合成合理式
- 降雨条件:
→ レーダー観測記録に基づく
降雨波形
- 流域面積: 1.44km²
- 洪水到達時間: 20.0分



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 小弥陀次郎川
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	

流域土地利用の変化

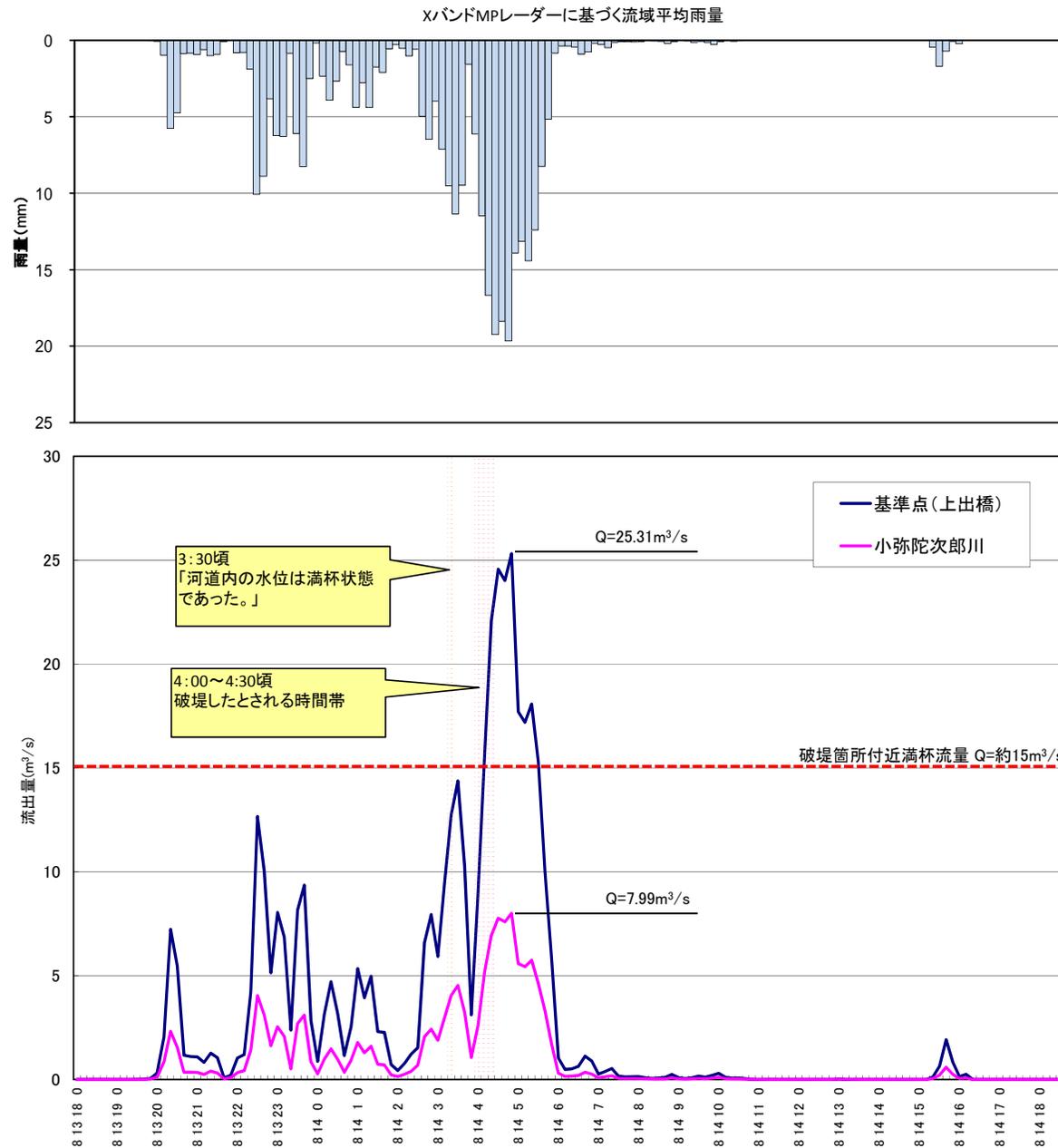


凡例

表示	土地利用区分
■	山林・荒地等
■	田
■	畑・その他の農地
■	造成中地
■	空地
■	工業用地
■	一般低層住宅地
■	密集低層住宅地
■	中高層住宅地
■	商業・業務用地
■	道路用地
■	公園・緑地等
■	その他の公共公益施設用地
■	河川・湖沼等
■	その他
■	海

細密数値情報10mメッシュ土地利用データに基づく

流出計算結果



③河道内水理状况

河道内水理検討の概要

- 検討目的：
洪水時の流量・水位（特に破堤箇所の水位）・流速を把握し、破堤メカニズム解明のための知見を得る。
- 検討手法：
一次元不等流計算にて水位計算を行う（ $Q = 10\text{m}^3/\text{s} \sim 20\text{m}^3/\text{s}$ の間で、 $1\text{m}^3/\text{s}$ ピッチで水位を確認）。
- 粗度係数の設定：
【河道内樹木を考慮しない場合】と【河道内樹木を考慮する場合】の2ケースを検討する。
- 被災時流量の推定：
上出橋上流部における水理状況から、被災時の流量を推定する。
- 被災箇所水位の推定：
上記流量が被災箇所を流下したときの水位を、不等流計算により確認する。
- 被災箇所流速の推定：
上記流量が河道を流下したときの流速を、不等流計算により確認する。

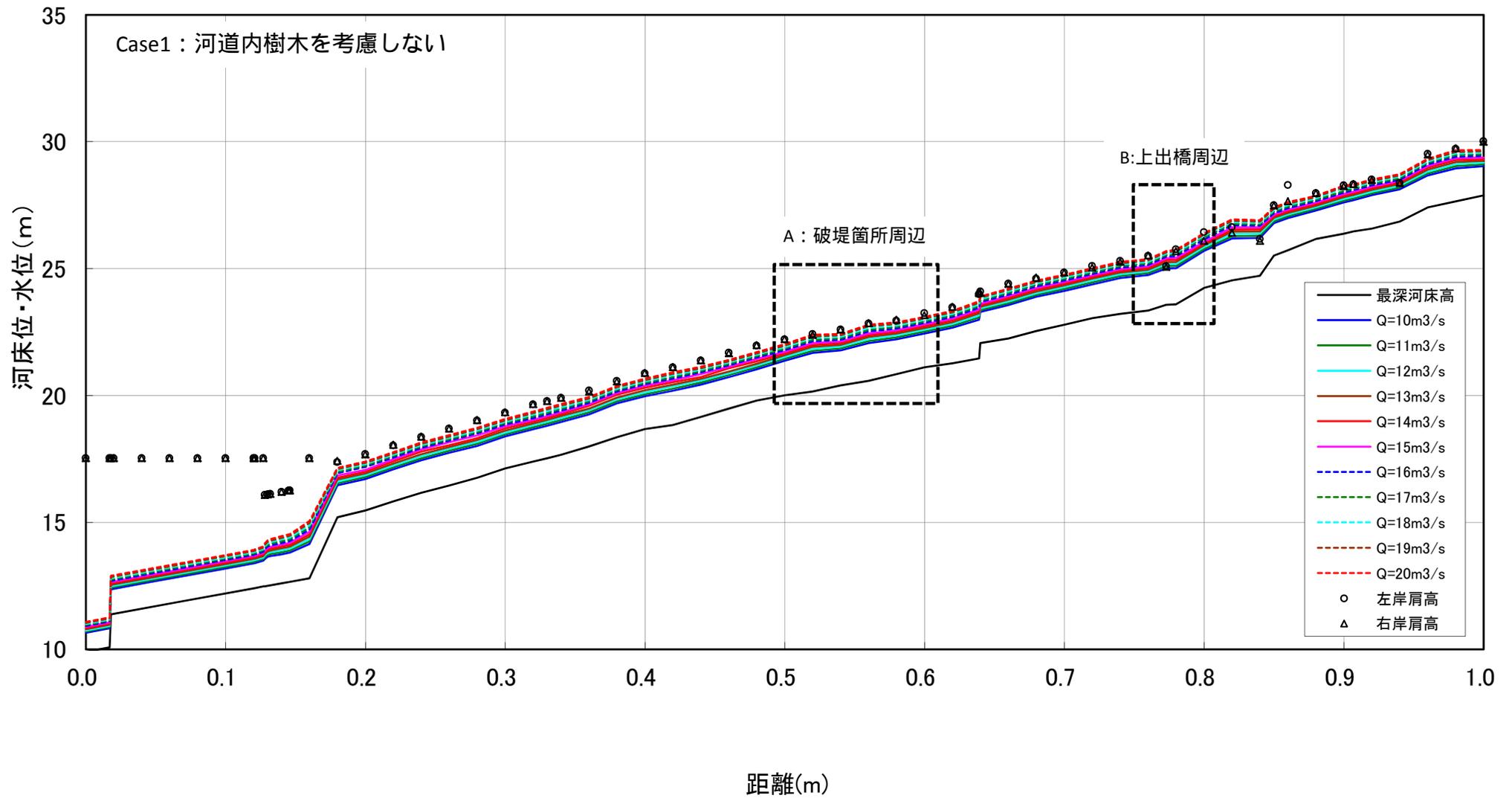
河道内水理の再現【Case1:河道内樹木を考慮しない場合】

■粗度係数:

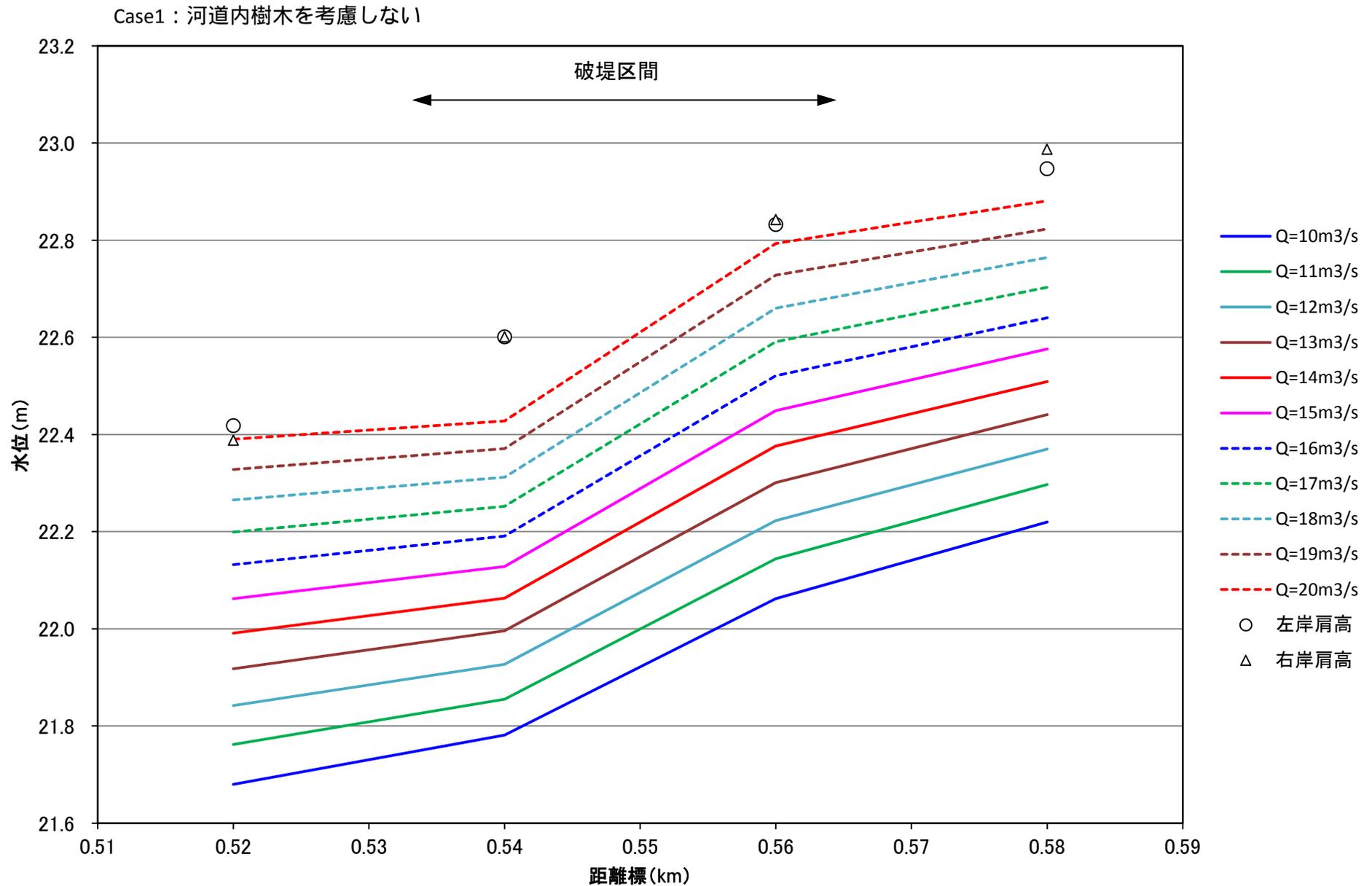
粗度係数Case1:河道内の樹木を考慮しない場合

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

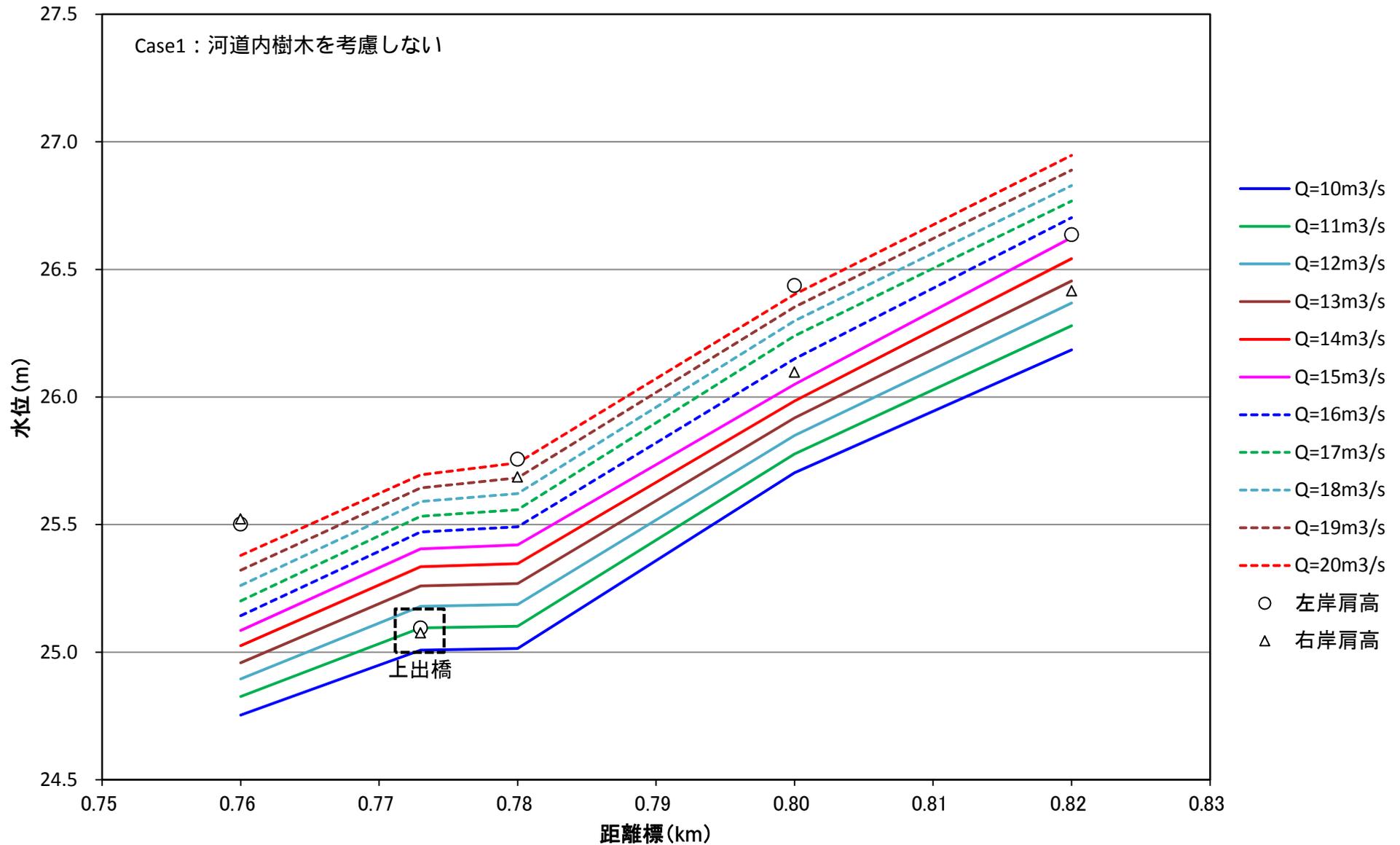
水位縦断計算結果Case1



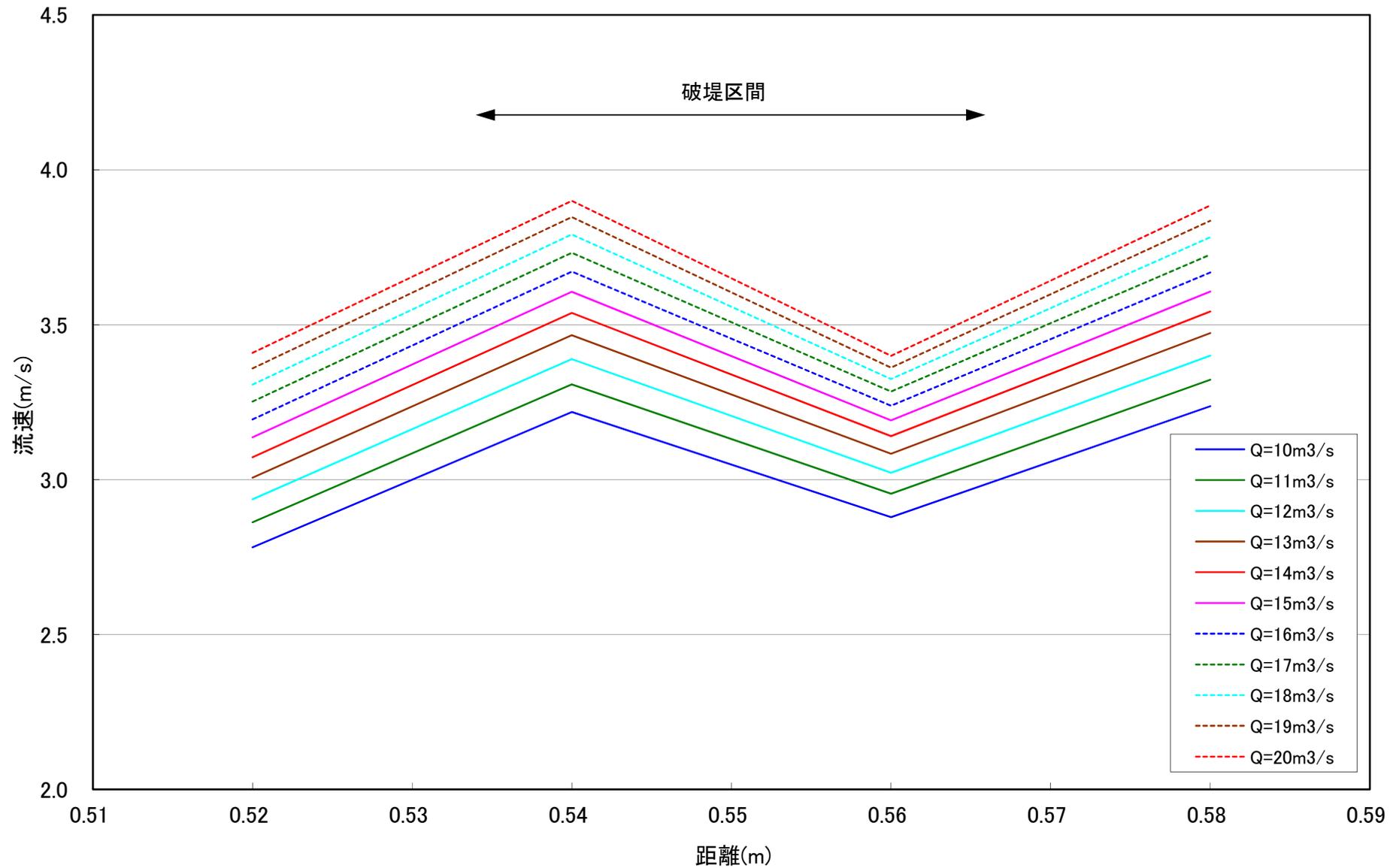
水位縦断計算結果Case1【A部:破堤箇所周辺拡大】



水位縦断計算結果Case1【B部:上出橋周辺拡大】



破堤箇所周辺の流速分布Case 1



河道内水理の再現【Case2: 河道内樹木を考慮する場合】

■ 計算手法: 次元不等流計算

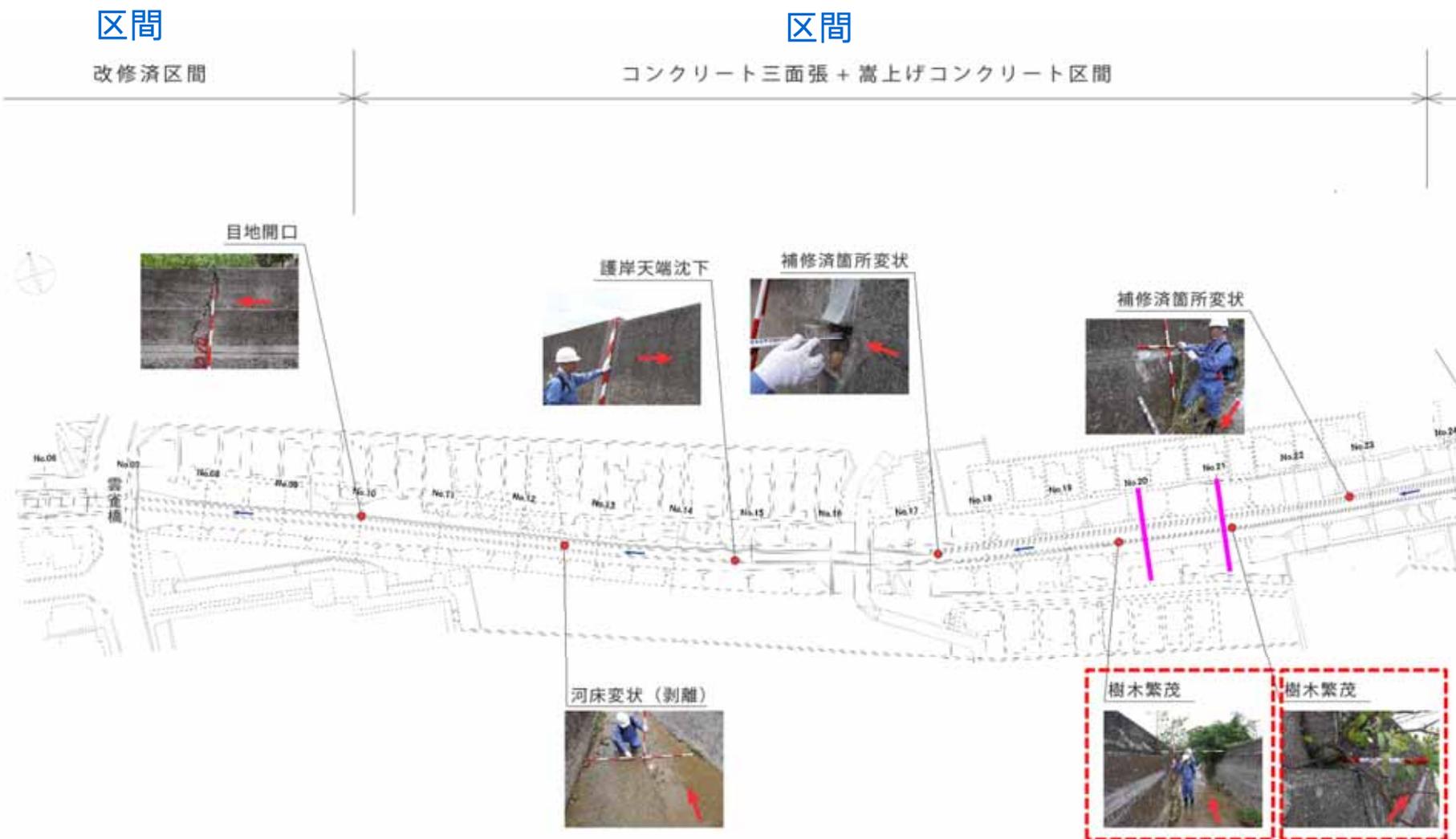
→ $Q = 10\text{m}^3/\text{s} \sim 20\text{m}^3/\text{s}$ の間で、 $1\text{m}^3/\text{s}$ ピッチで水位を確認

■ 粗度係数:

粗度係数Case2: 河道内の樹木を考慮する場合

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

粗度係数に樹木の繁茂を考慮する断面(1)

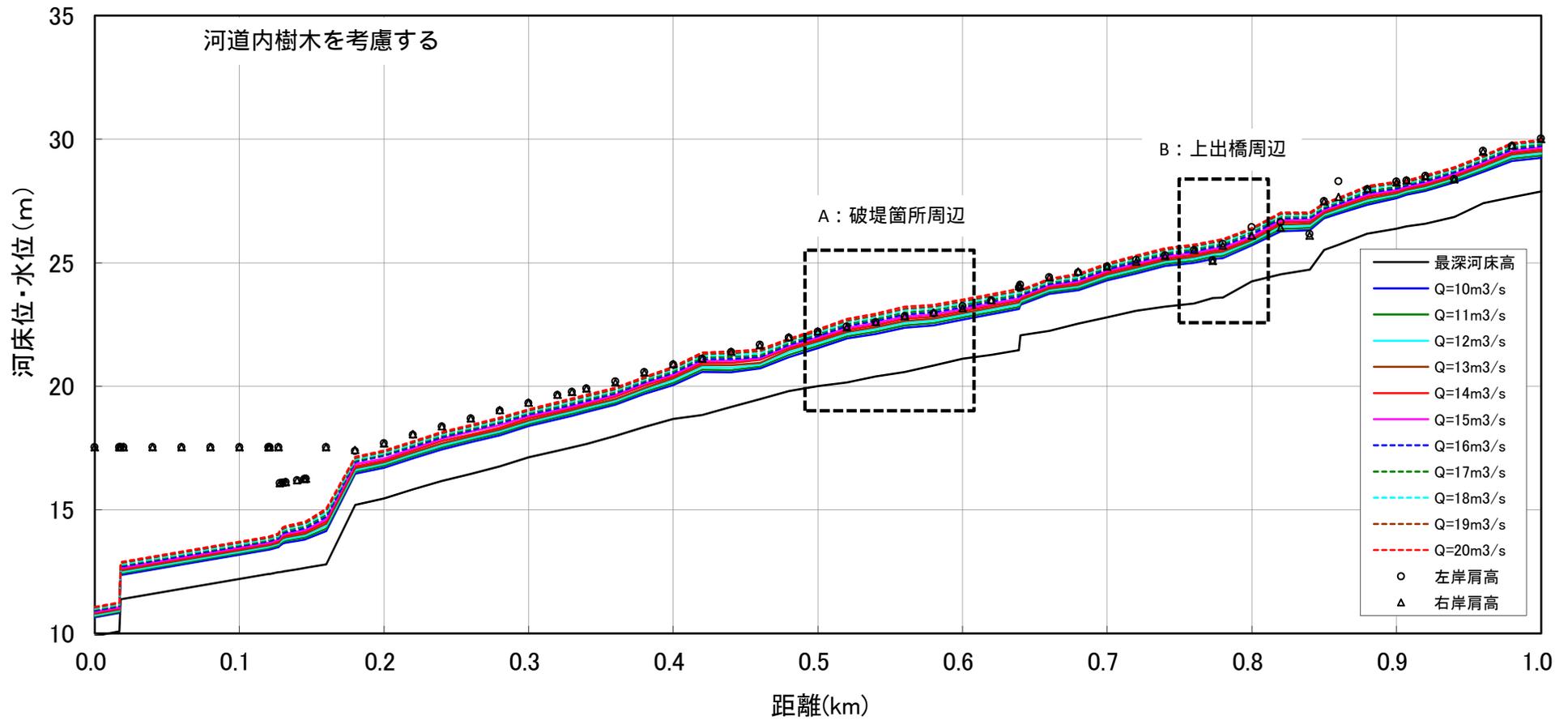


— 河道内樹木を考慮する断面

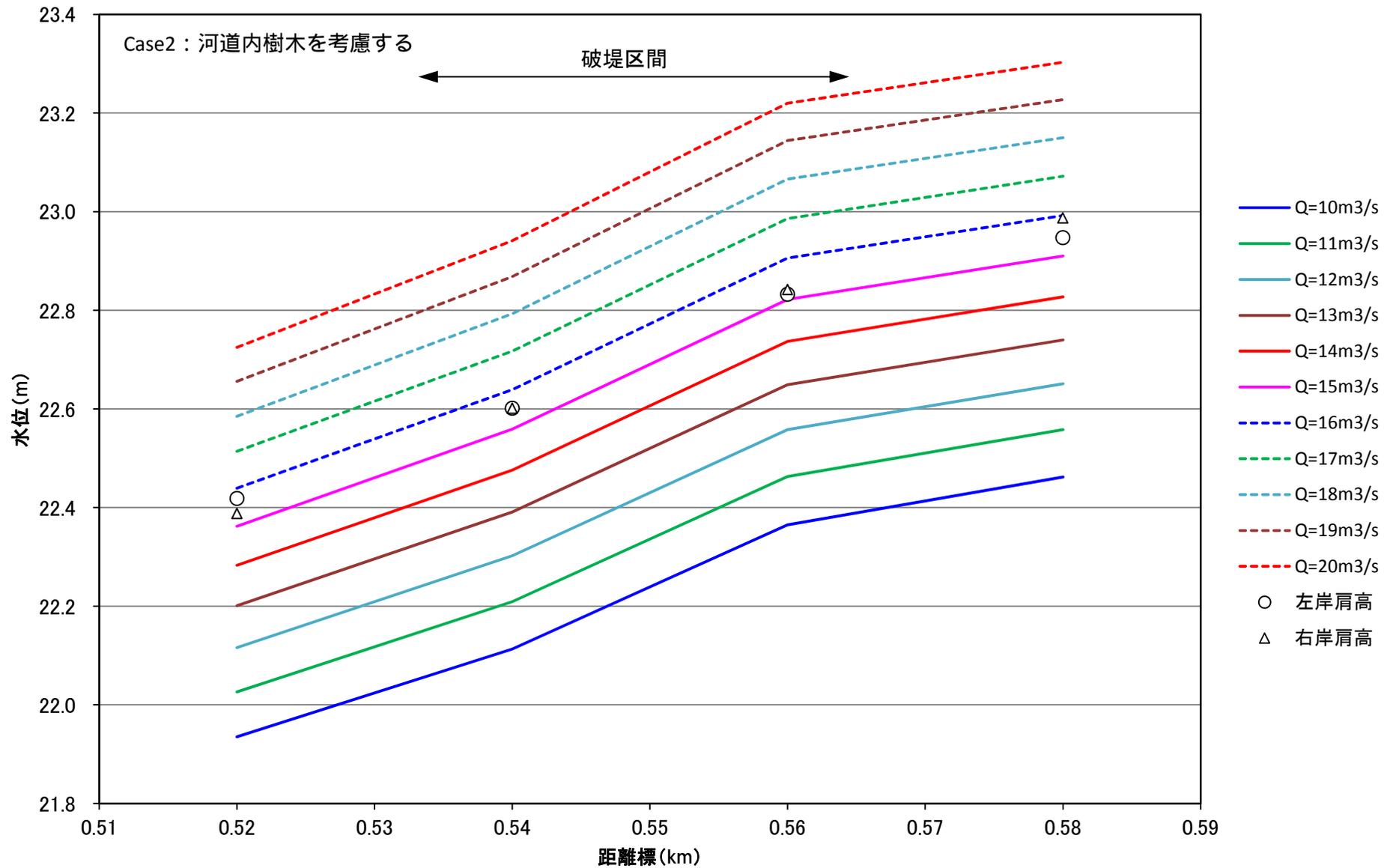
粗度係数に樹木の繁茂を考慮する断面(2)



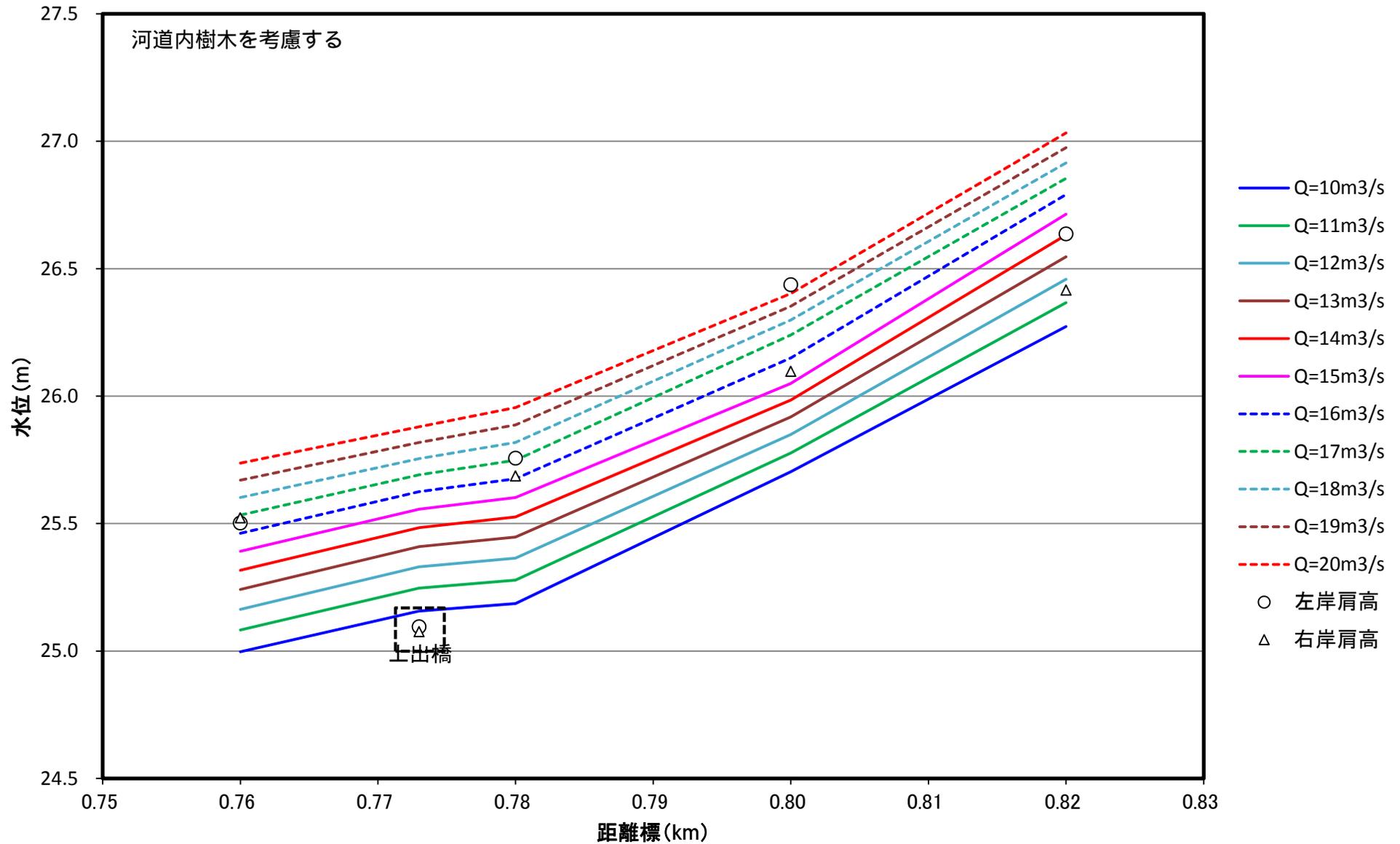
水位縦断計算結果Case2



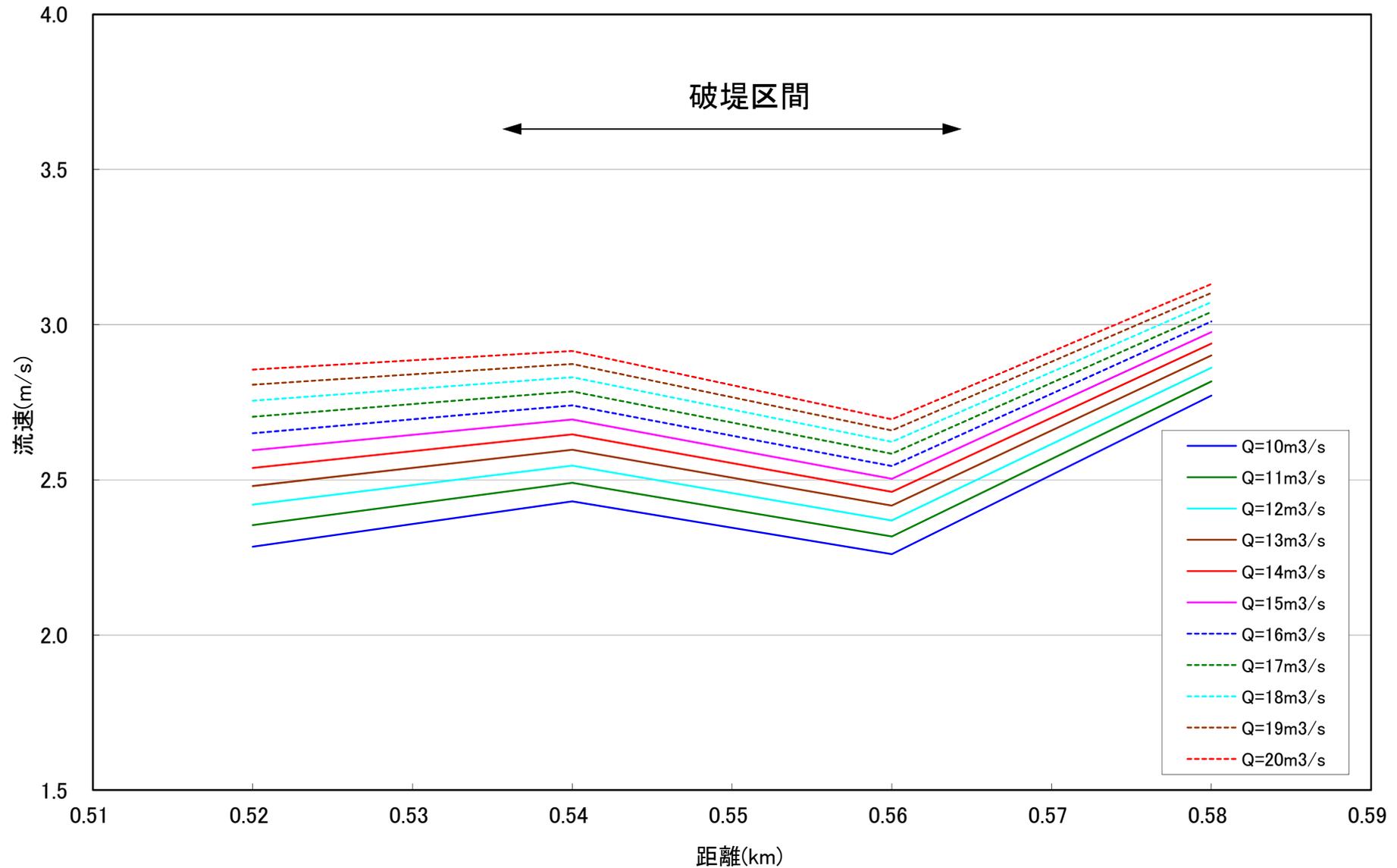
水位縦断計算結果Case2【A部:破堤箇所周辺拡大】



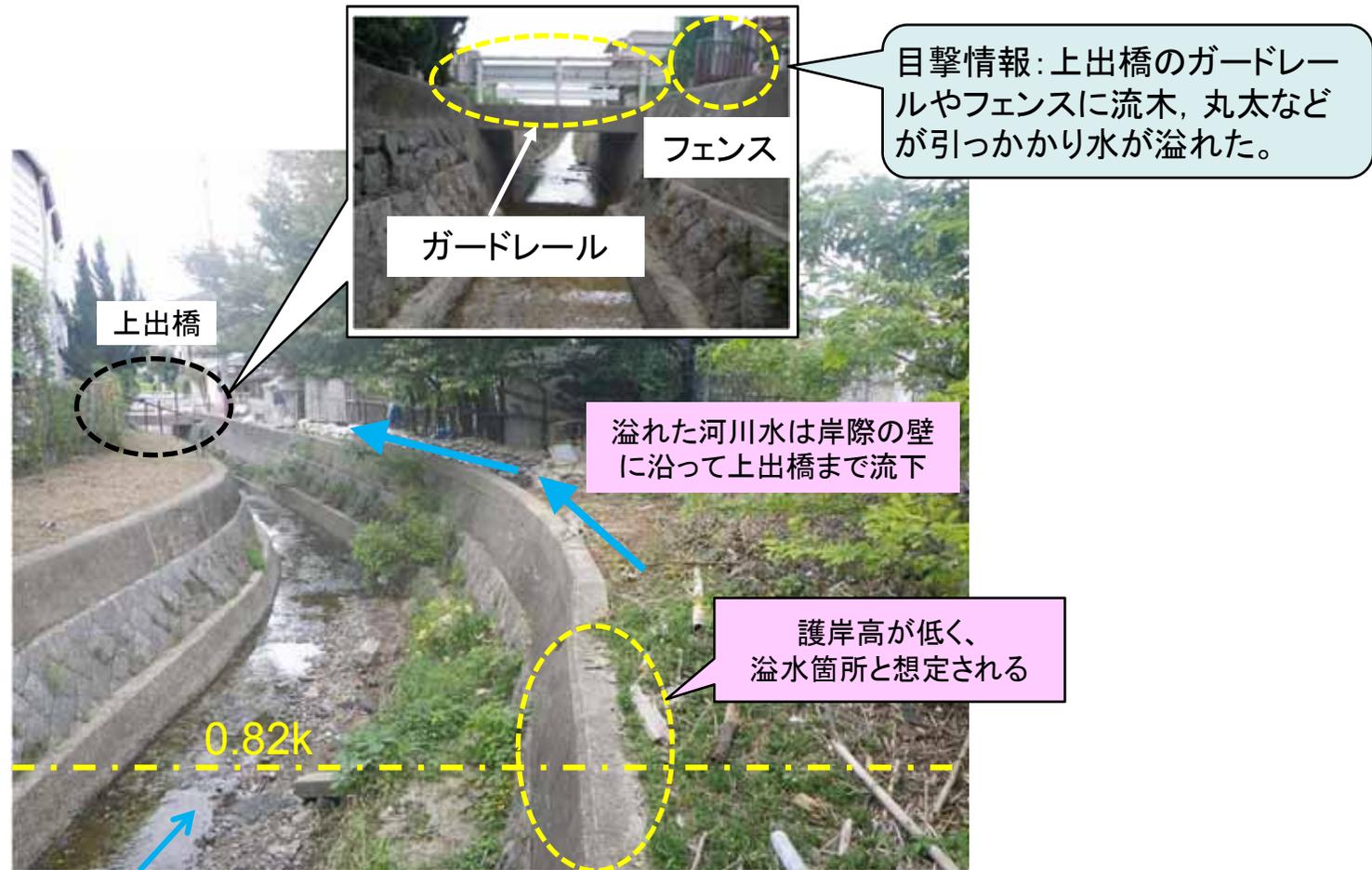
水位縦断計算結果Case2【B部:上出橋周辺拡大】



破堤箇所周辺の流速分布Case2



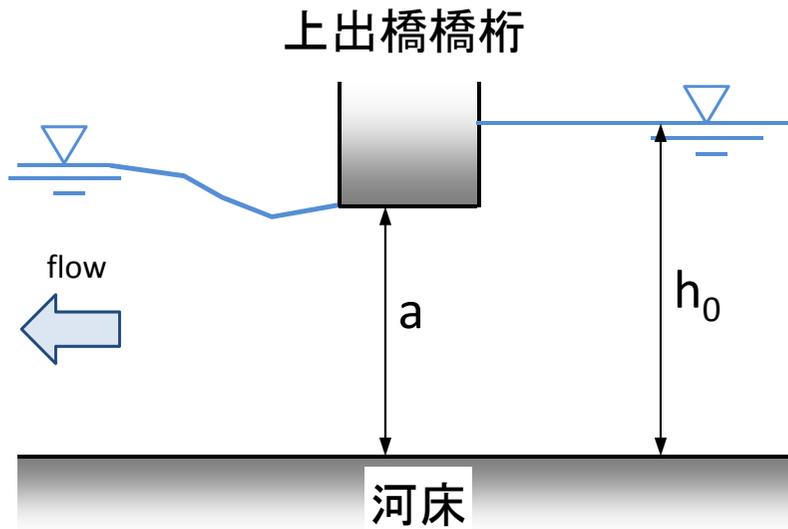
上出橋上流部の溢水状況の推定



0.82k付近で溢れた水は、岸際の壁に沿って上出橋まで流下し、上出橋に堰き止められるような状況であったと推察される。

被災流量の推定

- ・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として流量を推定する。
- ・以下の計算式により、想定流量は $Q=13.5\text{m}^3/\text{s}$ となる。
- ・ $Q=13.5\text{m}^3/\text{s}$ が破堤箇所を流下した場合の水位は、堤防肩高より10cm～20cm程度下となる。



$$Q = CaB\sqrt{(2gh_0)}$$

Q: 流量

C: 流量係数 (0.5)

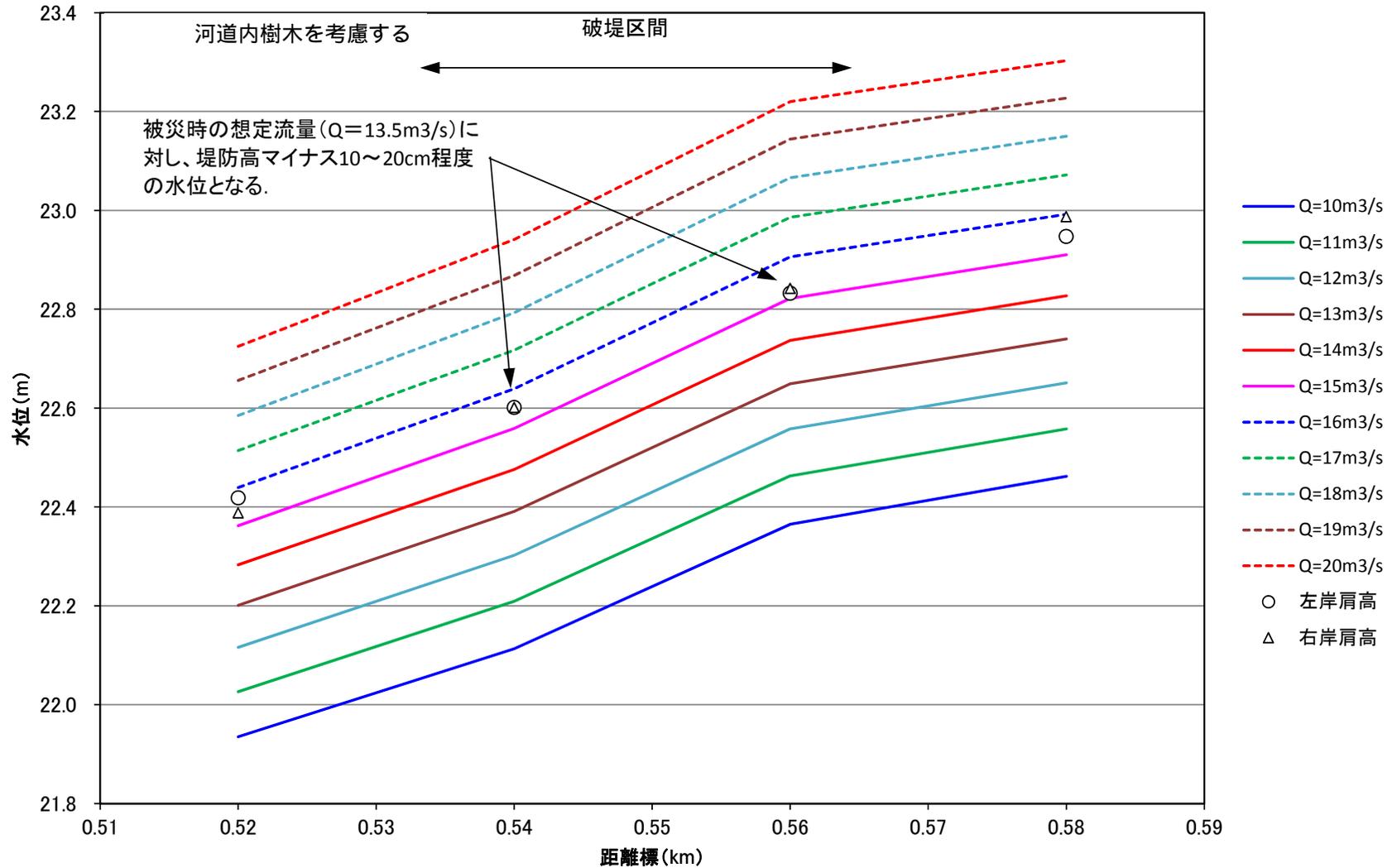
a: ゲートの開き

→ 桁下から河床までの高さとした

h₀: 上流水深

→ 上出橋直上流における満杯水深とした

被災時の水位状況に関する考察



被災時の護岸安全度に関する考察

- 破堤箇所の流速: 2.5m/s~3.5m/s程度
- 練り石積み護岸の設計流速: 8m/s以下

護岸形式別設計流速の目安

復旧工法例		設計流速 (m/s)					適用条件等
		2	3	4	5	6	
木系	丸太格子	2.5~3.5					<ul style="list-style-type: none"> ・瀬込河道に適用。 ・転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	2.5~3.5					<ul style="list-style-type: none"> ・法勾配が1:1.0より急な場合に適用。 ・瀬込河道に適用。 ・転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 橋	2.5~3.5					<ul style="list-style-type: none"> ・瀬込河道に適用。 ・転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。
石系	自然石 (純積)	2.5~3.5					<ul style="list-style-type: none"> ・現地周辺で材料の入手が容易な場合に適用。(右記参照) ・網込めコンクリートは表面に出ないように深目地とする。 ・設計流速 5 m/s未満の箇所については、適用可能な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)	2.5~3.5					<ul style="list-style-type: none"> ・瀬込河道に適用。
かご系	かごマット (多段)	2.5~3.5					<ul style="list-style-type: none"> ・瀬込河道に適用。 ・転石の少ない河川に適用。 ・強い酸性又は塩分濃度の高い場所では適用しない。(鉄線が腐食対策されている場合は除く。) ・用水等の取水施設があり、取水に支障をきたすおそれがある場合には適用しない。
コンクリート系	ポラスコンクリート	2.5~3.5					<ul style="list-style-type: none"> ・ブロックタイプを適用。 ・設計流速 5 m/s程度以上では、強度重視型を適用。
	環境保全型ブロック	2.5~3.5					<ul style="list-style-type: none"> ・様々なタイプのもがあるため、現地の環境にふさわしいものを選定する。 ・設計流速 5 m/s未満の箇所については、適用可能な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	2.5~3.5					<ul style="list-style-type: none"> ・原則として使用しないこととし、他の護岸工法が用できない場合のみ適用。
その他	補強土	2.5~3.5					<ul style="list-style-type: none"> ・瀬込河道に適用。

*凡例  適用可能な範囲

調査結果のまとめ

項目	調査結果
護岸 および 堤防の構造	<ul style="list-style-type: none">・破堤箇所は練り石積み護岸であるが、雑割石と胴込コンクリートが一体化した状態では無い。・堤体は礫分の多い砂質土で透水性が高い堤体である。・河床張りコンクリートの補修が過去に行われており、今回の出水でも摩耗や剥離が見られる。
被災状況	<ul style="list-style-type: none">・越水があったとの情報は住民ヒアリングでは得られていない。・堤体から水の浸出があったとの目撃情報がある。・被災箇所から流出したと思われる河床張りコンクリートが、河口付近において多く確認された。また、雑割石も数個確認された。
水文・ 水理状況	<ul style="list-style-type: none">・想定流量と水位の再現計算から、越水は生じていない。・洪水時に発生した流速は、護岸の設計流速を下回る。

4. 浸透流解析に向けての考察

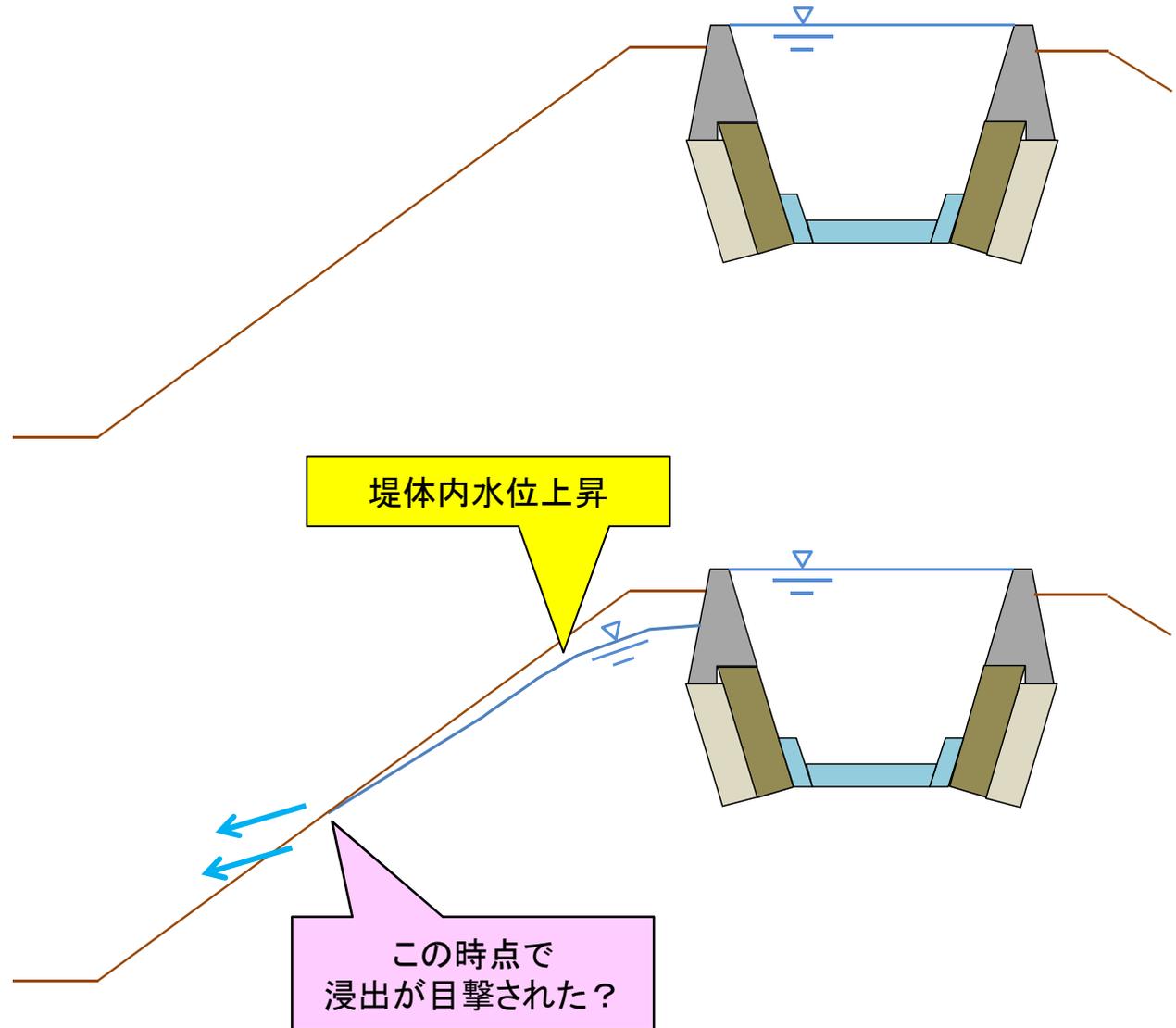
破堤要因の考察

要因	破堤要因 となった 可能性	推測根拠
越水	なし	<ul style="list-style-type: none"> ・被災時の想定流量と水位の関係 →継続的な越水はなかったと考えられる。 ・近隣住民ヒアリング →越水の見撃証言は得られていない。
浸食	あり	<ul style="list-style-type: none"> ・流下物調査 →河床張りコンクリートと見られるコンクリート片が下流部で確認された。 ・被災時の想定流速と護岸設計流速の関係 →想定流速は設計流速を下回っており、流速による破損は考えがたい。 →河床張りコンクリート流出後に護岸が一部損壊したと考えられる。
浸透	あり	<ul style="list-style-type: none"> ・住民情報：堤防からの水の浸出 →雨水または河川水の浸透が破堤を招いた？ →浸透流解析によって今後検証

これまでのデータから想定される破堤シナリオ(その1)

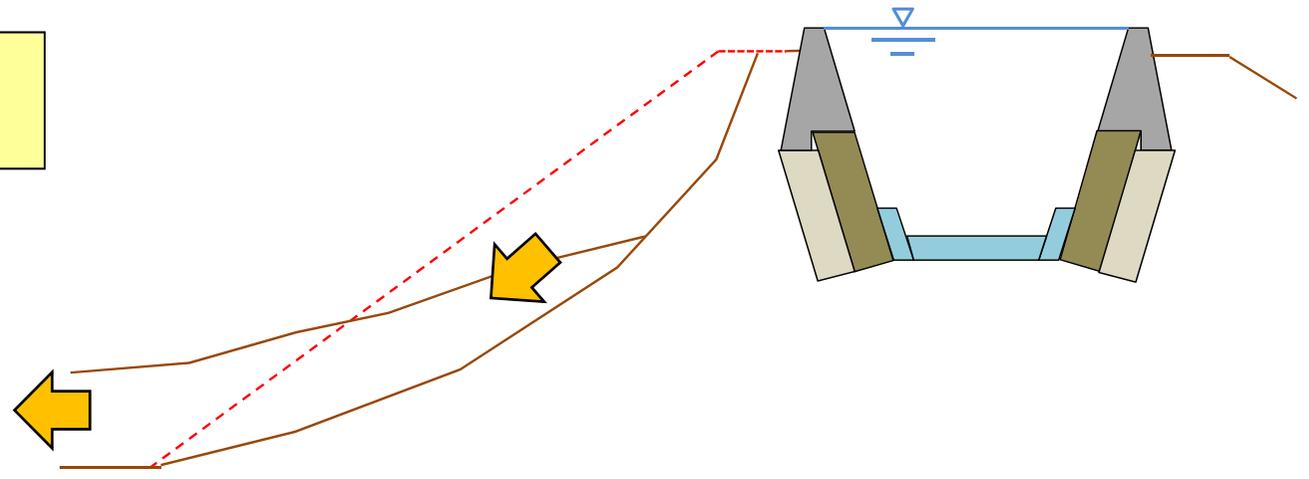
①水位上昇

②堤体内水位上昇

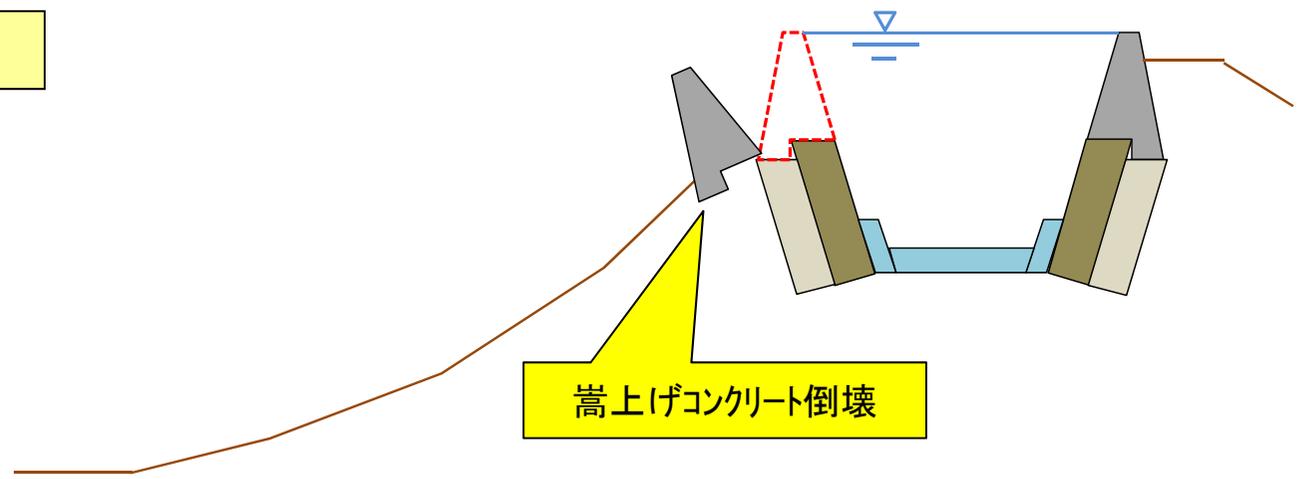


これまでのデータから想定される破堤シナリオ(その1)

③すべり破壊
またはパイピング発生



④嵩上げコンクリート倒壊～破堤



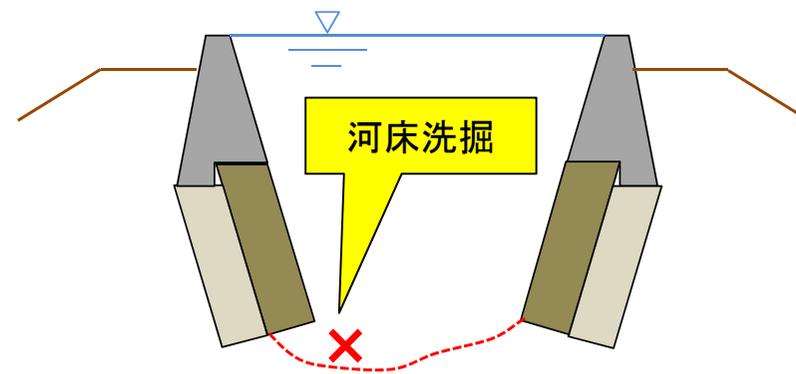
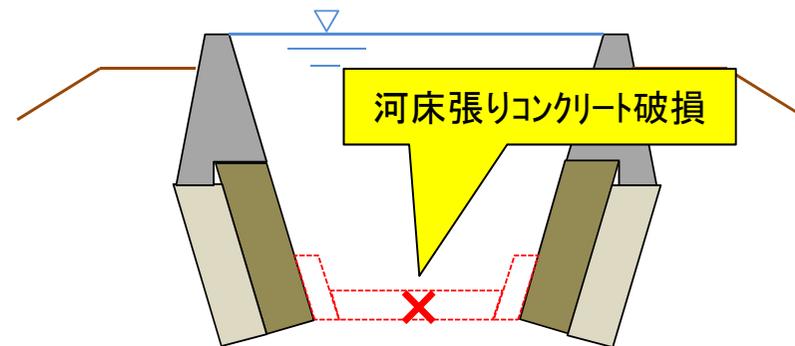
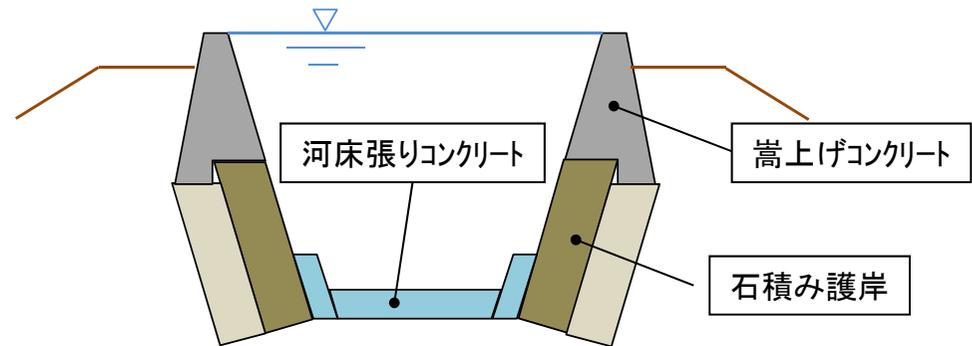
これまでのデータから想定される破堤シナリオ(その2)

①水位上昇

(土石や流木等の混入した洪水)

②河床張りコンクリート破損

③河床洗掘

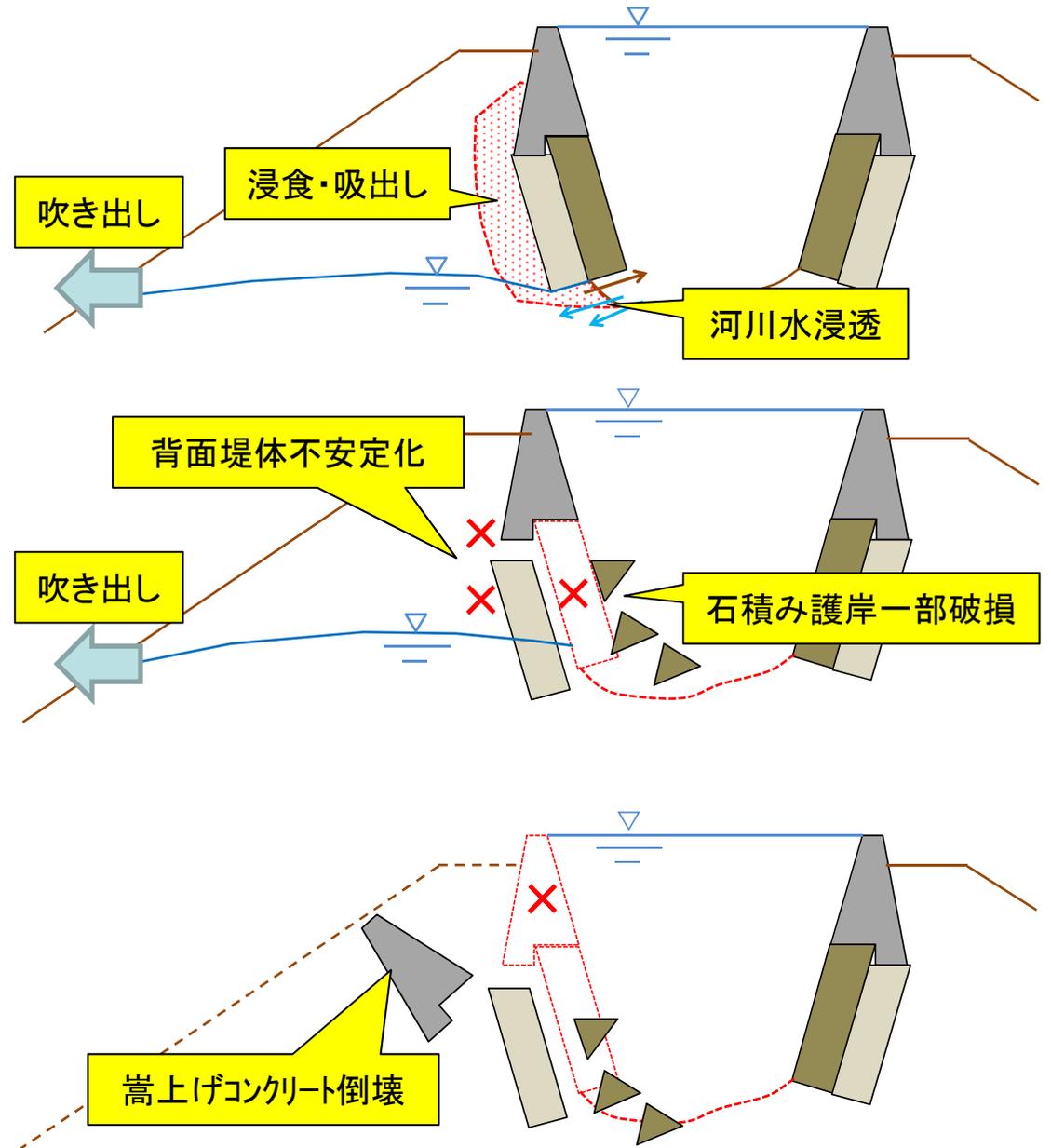


これまでのデータから想定される破堤シナリオ(その2)

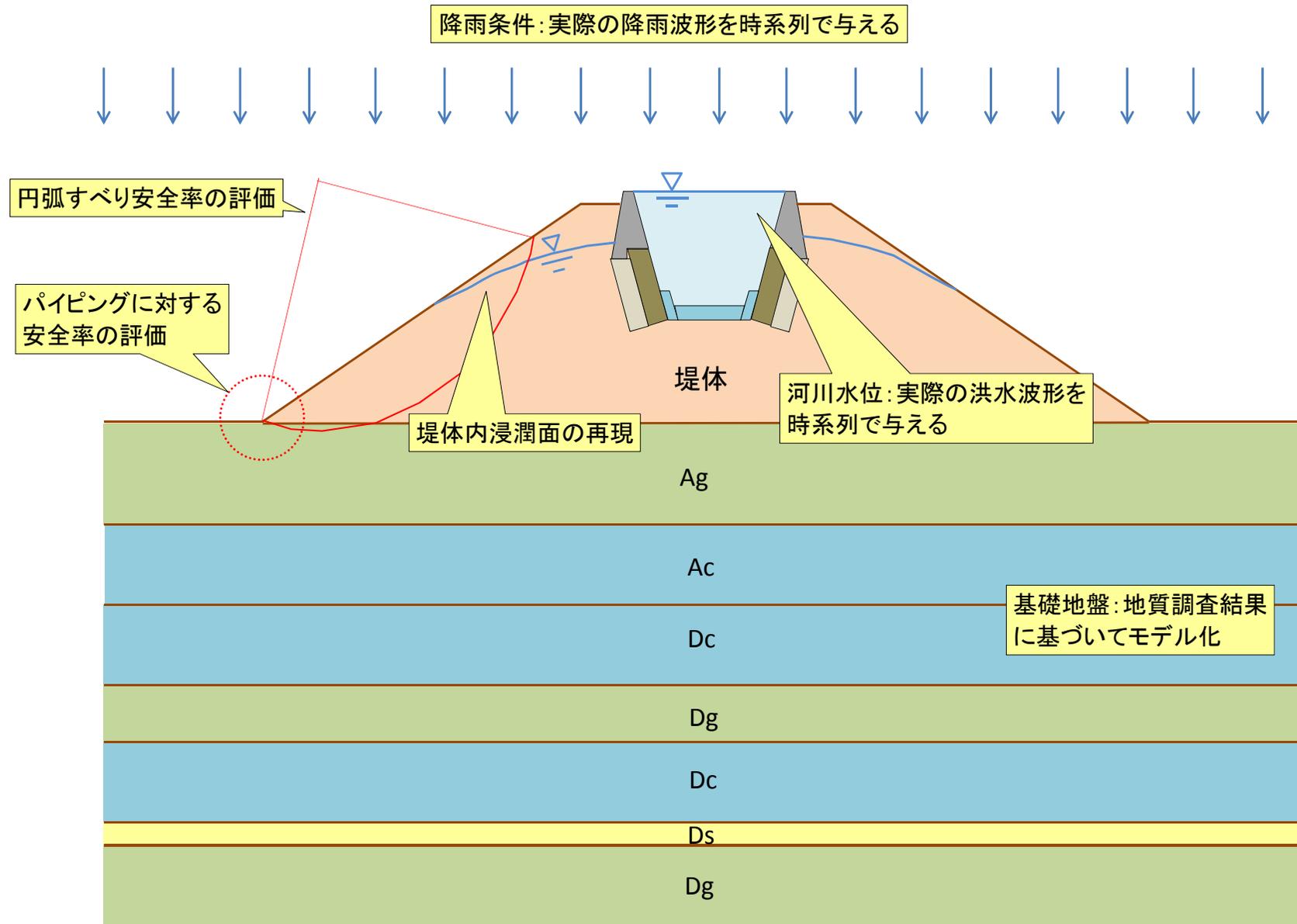
⑤ 浸食・吸出しの進行

④ 護岸一部破損、吹き出しの浸食により堤体崩壊

⑤ 嵩上げコンクリート倒壊～破堤



今後の検討事項【浸透流解析】



浸透流解析のイメージ

浸透流解析の実施方針

■ 解析対象断面

破堤箇所直近の土質調査実施断面: No.29

■ 解析条件

・土質条件

- 強度定数
 - 透水係数
- 土質試験(現在実施中)に基づいて設定

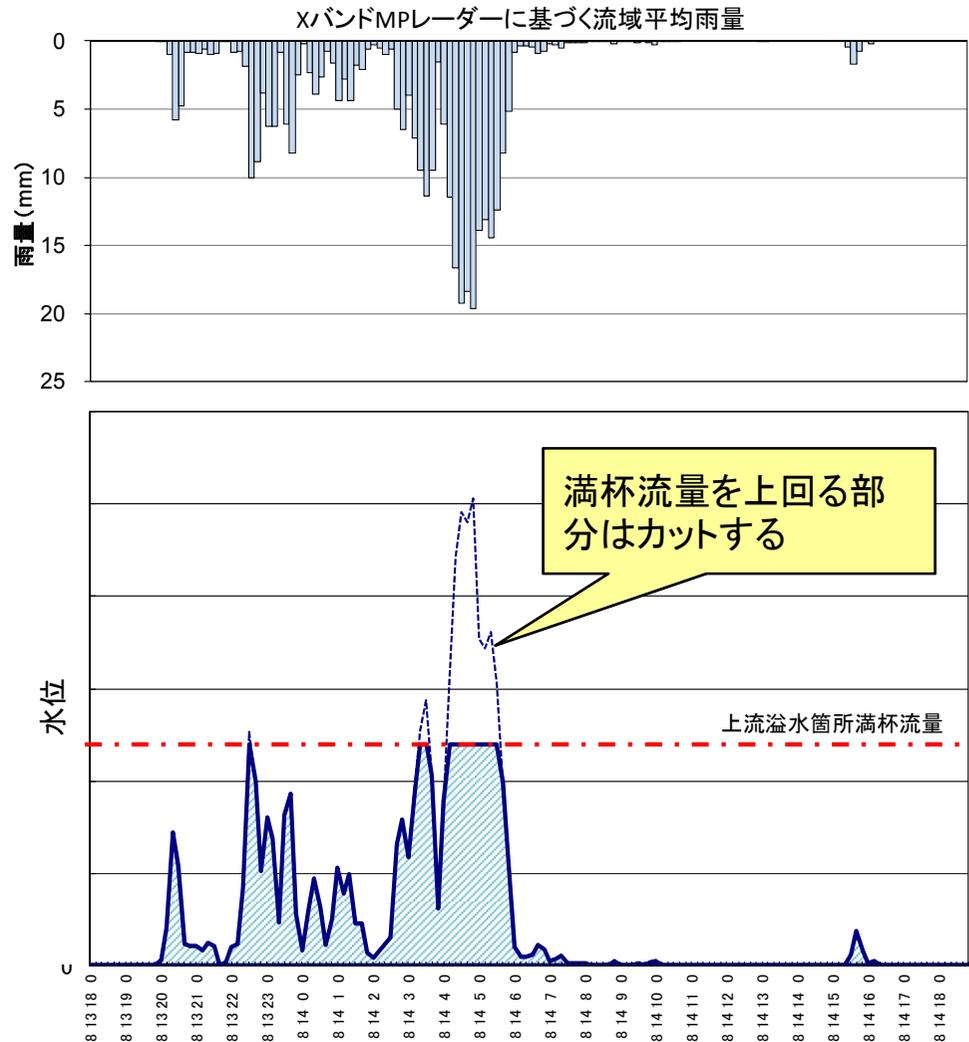
・外力

- 降雨波形
 - 外水位波形
- 実洪水の降雨波形、水位波形を与える

・護岸、河床張りコンクリートのモデル化

Case1: 護岸・河床Coの遮水性を考慮する

Case2: 護岸・河床Coの遮水性を考慮しない



降雨波形・外水位波形