

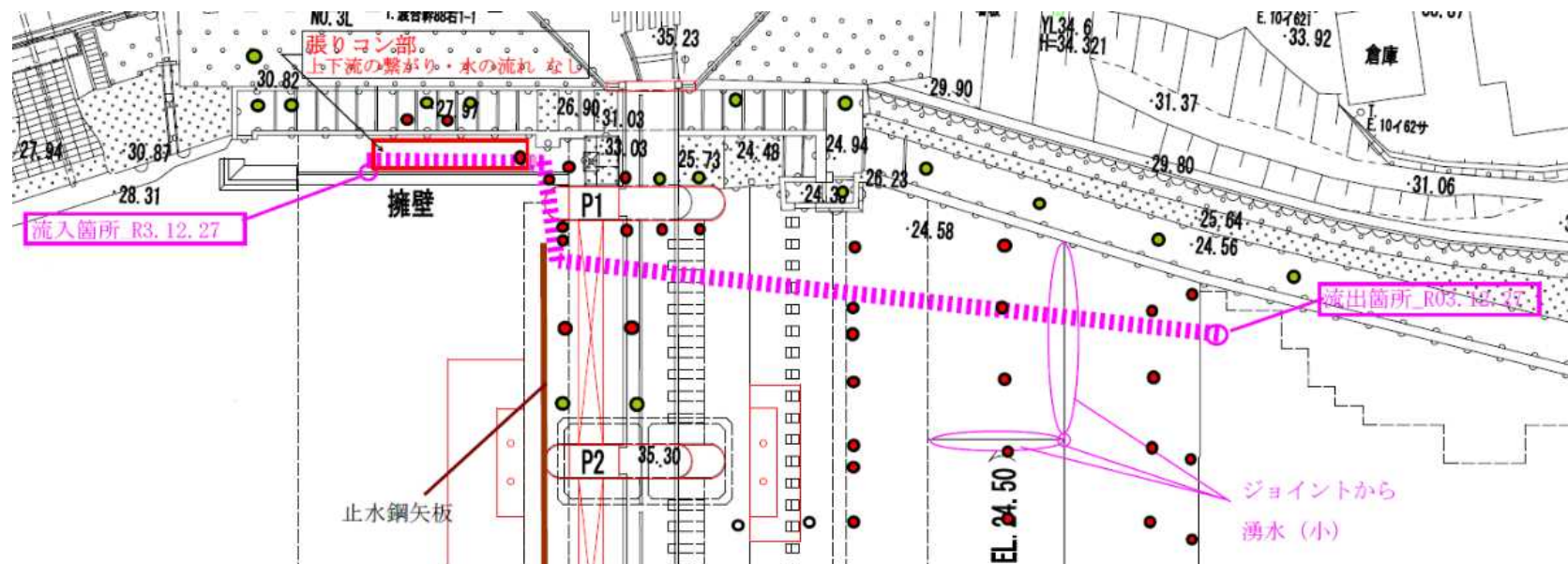
漏水発生メカニズム(案)

- 1 水みちの経路
- 2 浸透路長の確認
- 3 発生要因
 - ・ 設計関係
 - ・ 地盤関係
 - ・ 経年・劣化関係
- 4 パイピングメカニズム
- 5 教訓

①流入口

②堰体位置

③ 流出口



1 水みちの経路（第2段階）

・令和4年5月15日

①流入口

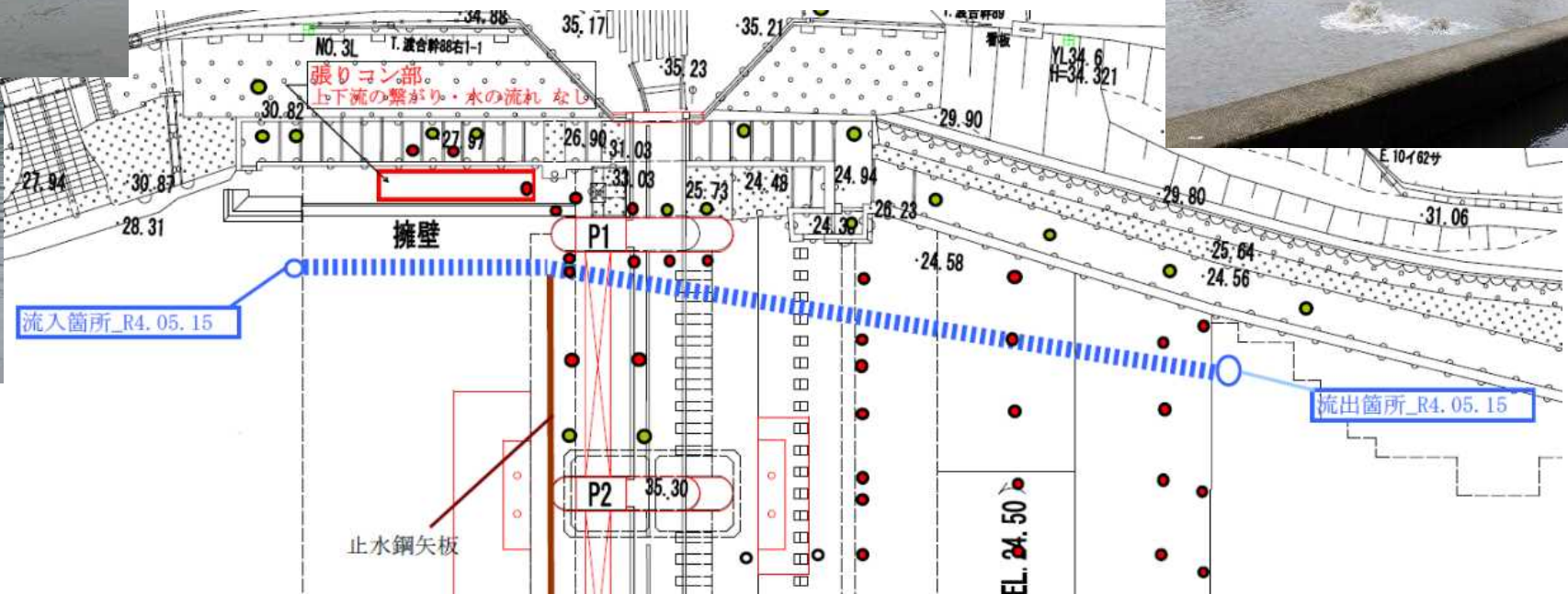
上流側エプロンの上流端で吸込み渦の観察された地点。

②堰体位置

左岸取り付け部の止水矢板のない範囲を流下したと仮定。

③流出口

下流側エプロンの下流端で流出していた地点。



①流入口

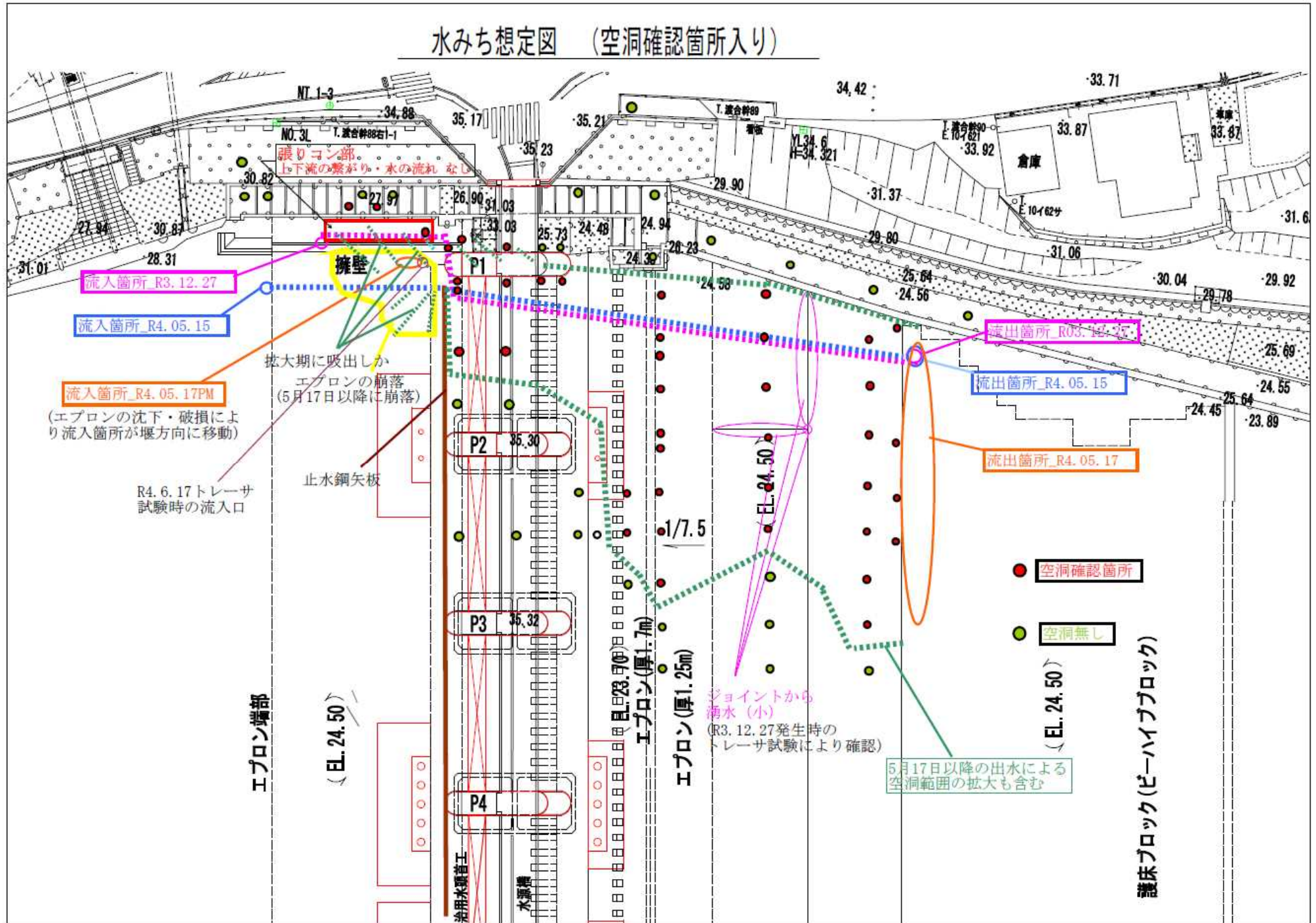
②堰体位置

③ 流出口

なお、下流側エプロンの空洞は令和4年5月17日以降、時間経過とともに次第に広範囲になったと考えられ、これは大きな流水の流下によって河床砂礫が吸い出されたことによるものと推測。



1 水みち想定図



2 浸透路長の確認（水理学的安定性）

建設当時の設計では、ブライの方法で係数Cを粗砂の12、上下流最大水位差 ΔH を5.9mとして計算しており、必要浸透路長は、ブライの方法で70.8m、レーンの方法で29.5mとなる。

（必要浸透路長）

①ブライの方法 $C \times \Delta H = 12 \times 5.9 = 70.8\text{m}$

②レーンの方法 $C' \times \Delta H = 5 \times 5.9 = 29.5\text{m}$

（堰本体の止水矢板を考慮したケース）

①ブライの方法

赤字：上流エプロン

$$S = 2 \times 4.0 - 0.8 + 18.2 + 1.7 + 2 \times 10 - 2.7 + 15.5 + 6.8 + 2 \times 4.0 - 1.0 + 6.0 + 20.0 + 0.8 = 100.5\text{m} \geq 70.8\text{m} \quad \textcircled{\circ}$$

②レーンの方法

$$L = (18.2 + 22.3 + 6.0 + 20.0) / 3 + (2 \times 4.0 - 0.8 + 2 \times 10 - 2.7 + 2 \times 4.0 - 1.0 + 0.8) = 54.4\text{m} \geq 29.5\text{m} \quad \textcircled{\circ}$$

（堰本体の止水矢板を考慮しないケース）

①ブライの方法

赤字：上流エプロン

$$S = 2 \times 4.0 - 0.8 + 18.2 + 1.7 + 0 + 15.5 + 6.8 + 2 \times 4.0 - 1.0 + 6.0 + 20.0 + 0.8 = 83.2\text{m} \geq 70.8\text{m} \quad \textcircled{\circ}$$

②レーンの方法

$$L = (18.2 + 22.3 + 6.0 + 20.0) / 3 + (2 \times 4.0 - 0.8 + 0 + 2 \times 4.0 - 1.0 + 0.8) = 37.1\text{m} \geq 29.5\text{m} \quad \textcircled{\circ}$$

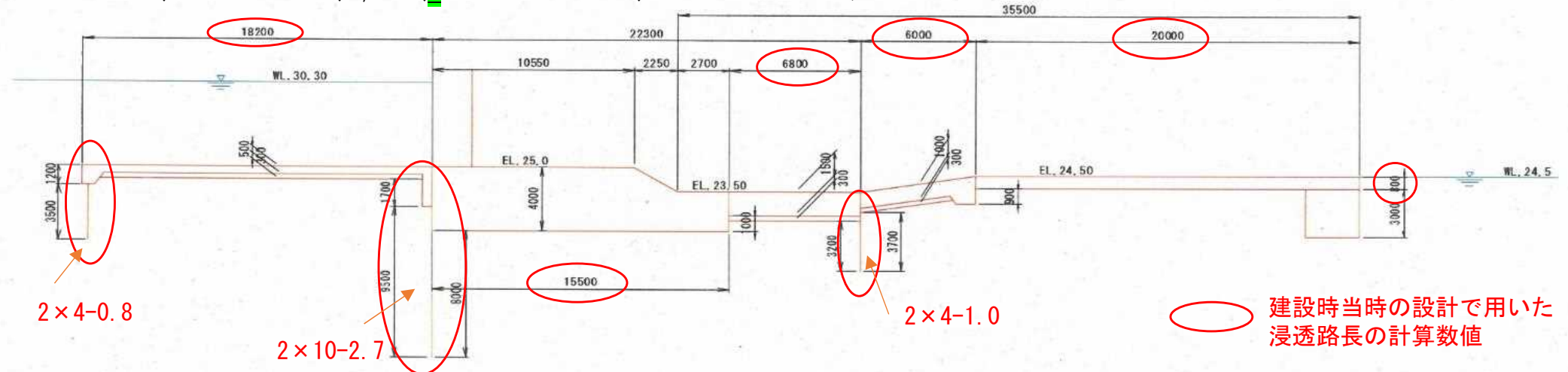
（上流エプロンが機能しない場合で堰本体の止水矢板を考慮しないケース）

①ブライの方法

$$S = 1.7 + 0 + 15.5 + 6.8 + 2 \times 4.0 - 1.0 + 6.0 + 20.0 + 0.8 = 57.8\text{m} < 70.8\text{m} \quad \times$$

②レーンの方法

$$L = (22.3 + 6.0 + 20.0) / 3 + (0 + 2 \times 4.0 - 1.0 + 0.8) = 23.9\text{m} < 29.5\text{m} \quad \times$$



2 浸透路長の確認（水理学的安定性）

堰本体の止水矢板がない場合でも、浸透路長は確保

[堰本体の左岸取り付け部に矢板がない理由（推測）]

○止水矢板がなくとも、浸透路長を確保している

- ・ 全体的に止水矢板が設置されているのは、垂直浸透路による揚圧力の減殺のためであり、その結果、エプロン必要厚を1,000mmから800mmとすることが可能となった。

○左岸取り付け部は、左岸に近づくにつれて岩盤線が上がるため止水矢板を打設できなかった

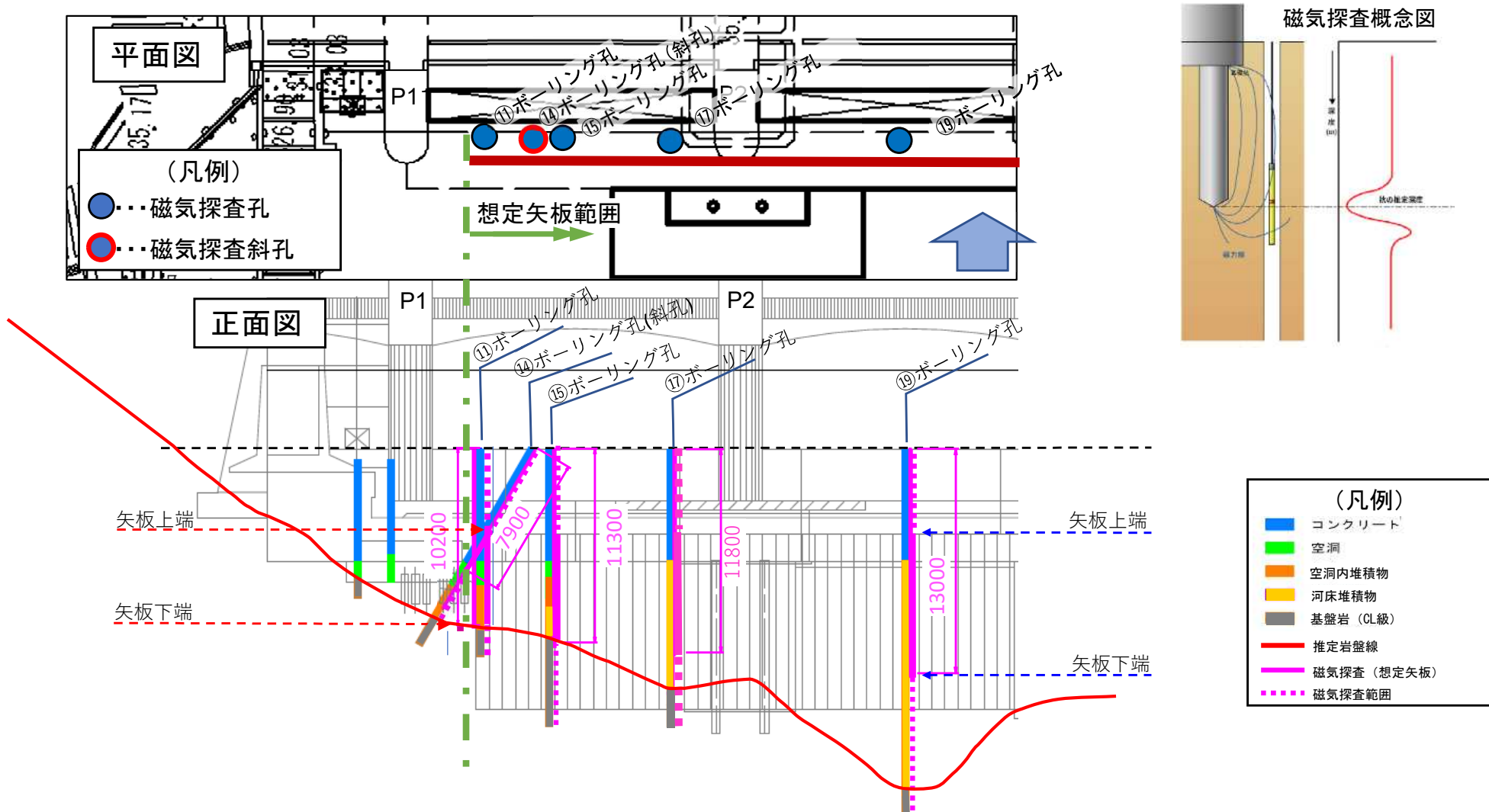
- ・ 当時の技術では打ち込みができなかった。
建設当時の記録に、10mの矢板を8m打ち込み、土留めとして使用した後に2m打ち込もうとしたが、打ち込み困難であったとの記述。
- ・ 岩盤線が高いため、浸透量は堰中央付近と比べて小さいと建設当時の技術者は考えた可能性がある。

3 発生要因 設計関係（止水矢板の設置状況）

堰本体の止水矢板の設置範囲及び深度を確認するため、ボーリング孔にて磁気探査を実施。

【結果】

- ・ No.⑭ボーリング孔（斜孔）で、止水矢板の設置左岸端と思われる反応。
- ・ No.⑮ボーリング孔で、想定岩盤線付近で止水矢板の反応。
- ・ No.⑲ボーリング孔で、想定される止水矢板下端位置に比べて 2 m 短い位置で止水矢板下端の反応。



3 発生要因 設計関係（下流エプロンの継目の止水機能による影響）

- 下流エプロンの継目の止水性（止水板の有無）を確認するためコア抜き調査を実施。
- 継目に止水板が入っていなかったことを確認。
- 削孔したコアの形状から、継目の開きは10mm～20mm。



コンクリートコア（継目に隙間）



コンクリートコア（内側）
止水板 なし

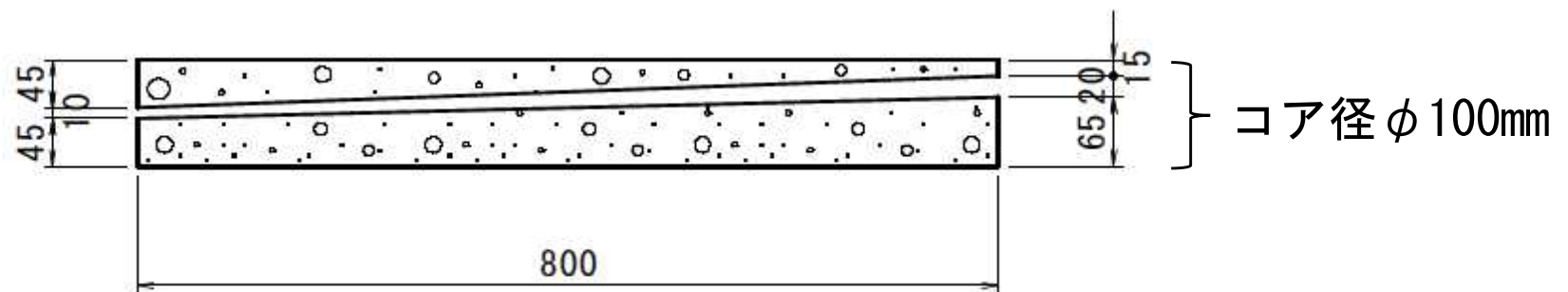
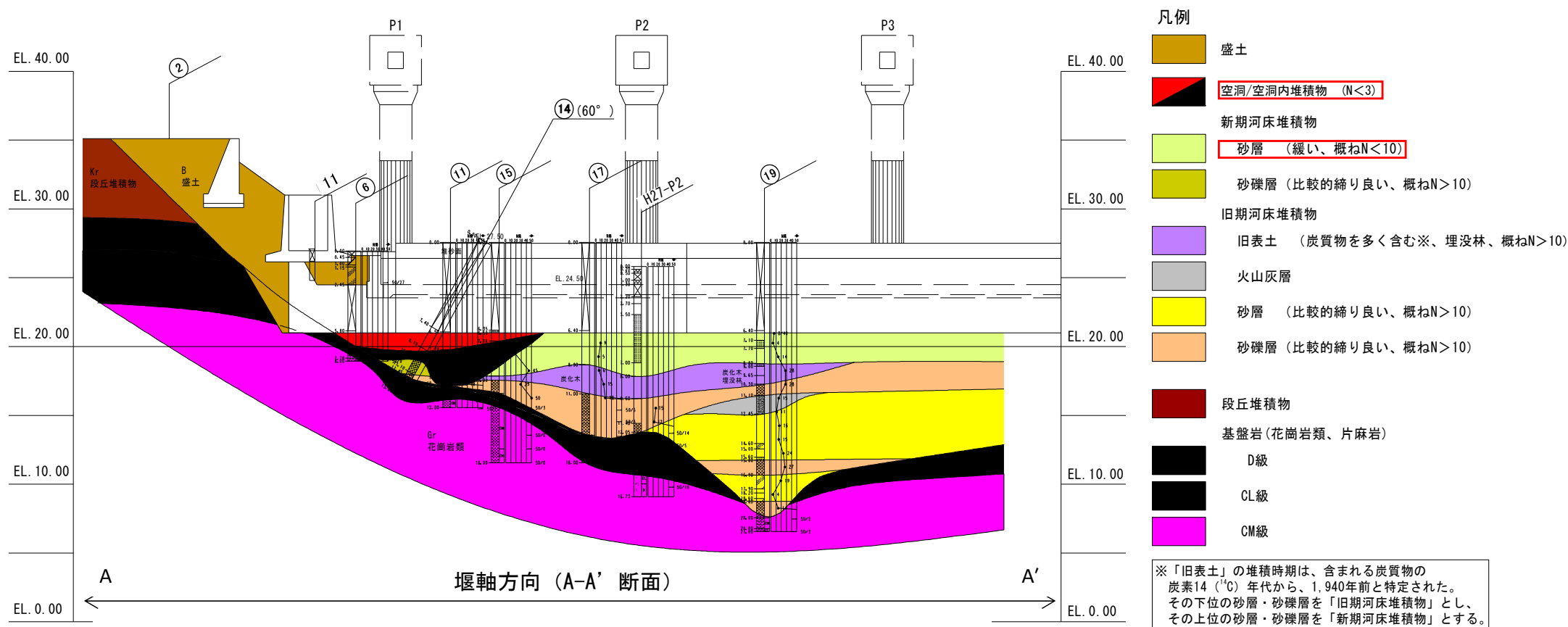


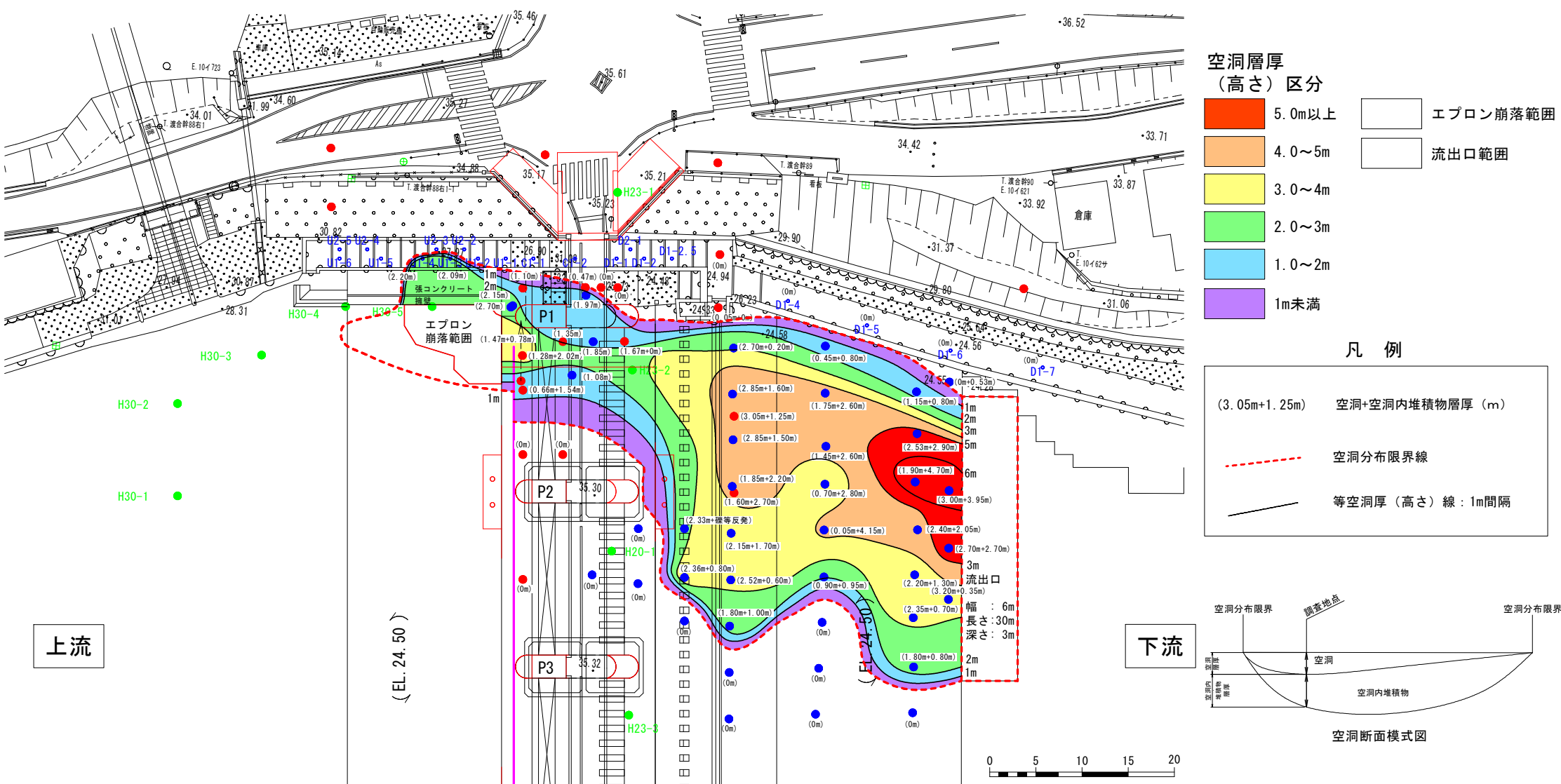
図-2 コンクリートコア概要図

○P1-P3堰柱間の洪水吐き堰体コンクリートに、厚さ2～3m程度、N値10未満相当の砂層が分布。
 ○P1堰柱下部の空洞内堆積物（N値3未満）は、砂層（N値10未満）が流水により流され、水みちに堆積したものと推測。



3 発生要因 地盤関係 (空洞厚さ分布図 (平面図))

資料5-3



○明治用水頭首工は、昭和26年度～昭和32年度までの7年間で建設。

その設計は、河川計画（当時）の計画高水流量2,800m³/s（頭首工地点）に基づいたもの。

○昭和49年に改定された河川計画では、計画高水流量は、頭首工設計当時の約2倍の5,500m³/s（頭首工上流地点）に変更。

○設計当時の想定を超える流量が度々流下しており、エプロン等への外力が発生。

① 昭和34年(1959年) 伊勢湾台風	岩津地点(頭首工下流)	流量 約3,600m ³ /s
② 昭和36年(1961年) 台風6号と前線	同上地点	流量 約3,300m ³ /s
③ 昭和44年(1969年) 台風7号	同上地点	流量 約3,100m ³ /s
④ 昭和47年(1972年) 梅雨前線・台風6,7,9号	同上地点	流量 約2,600m ³ /s
⑤ 平成12年(2000年) 秋雨前線・台風14号	同上地点	流量 約4,300m ³ /s
⑥ 平成16年(2004年) 台風23号	高橋地点(頭首工上流)	流量 約1,800m ³ /s
⑦ 平成25年(2013年) 台風18号	高橋地点(頭首工上流)	流量 約2,500m ³ /s

3 発生要因 経年・劣化関係 (下流エプロンの劣化状況と対応①)

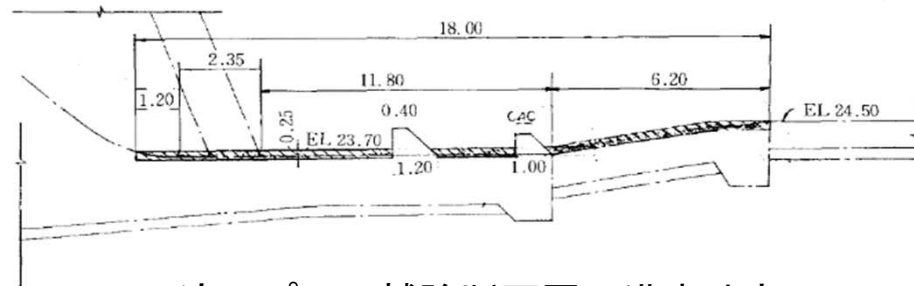
- 昭和50年頃までに生じた度重なる洪水により、河床護床工の沈下や破損が発生。
- 昭和53年から昭和58年まで国営事業で下流エプロンの堰本体に近い部分を改修。



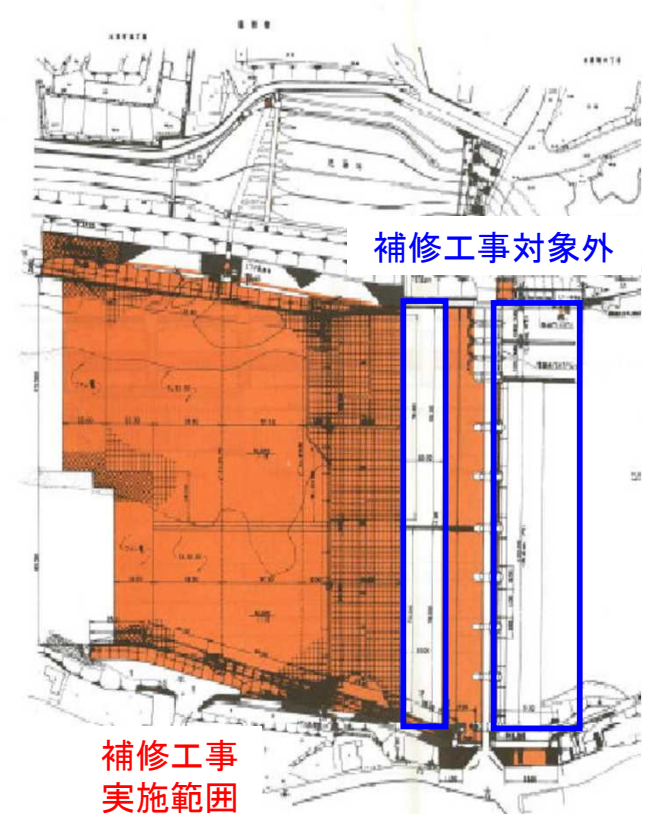
下流エプロンの劣化状況
(骨材の流出・欠損)



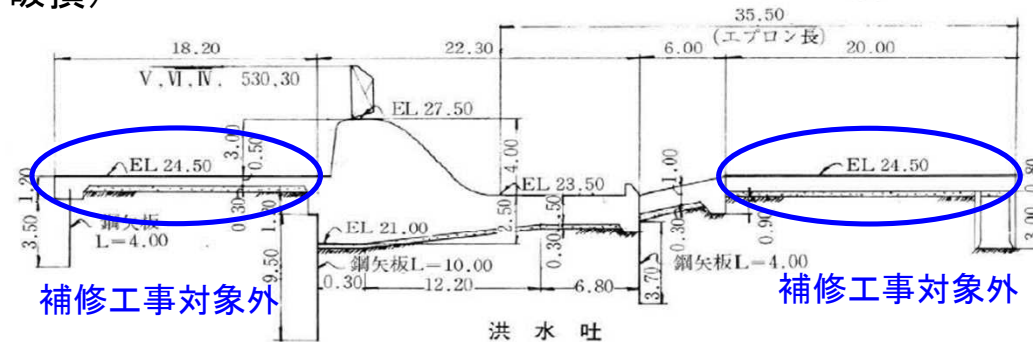
護床工の劣化状況
(沈下・破損)



下流エプロン補強断面図 洪水吐き



補修工事
実施範囲



補修工事対象外

補修工事対象外

○平成16年に右岸洪水吐き4号近くのエプロンの接合部から漏水が発生したため、ポリマー材の注入により止水。

○また、漏水箇所周辺も摩耗により鉄筋が露出していたため、コンクリート打設により補修。



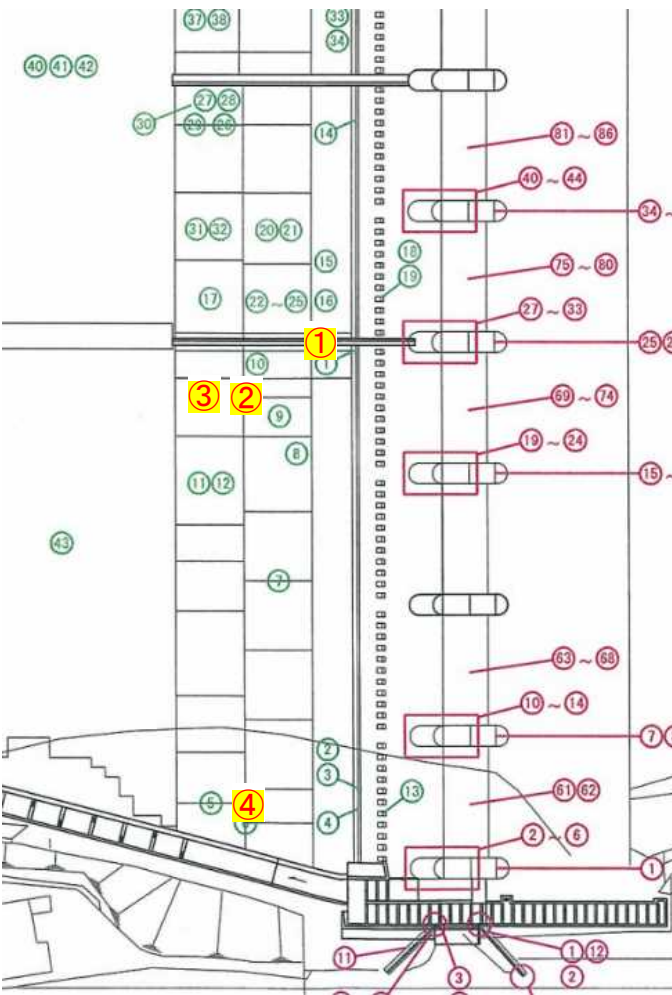
接合部からの漏水状況



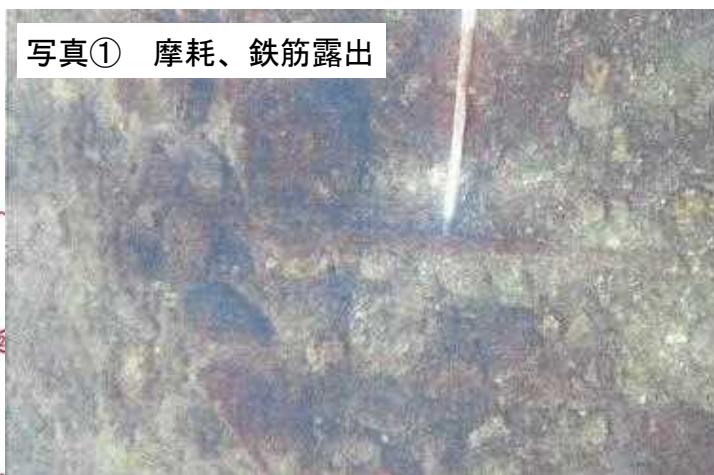
エプロンの摩耗状況
(鉄筋の露出)

3 発生要因 経年・劣化関係 (下流エプロンの劣化状況と対応③)

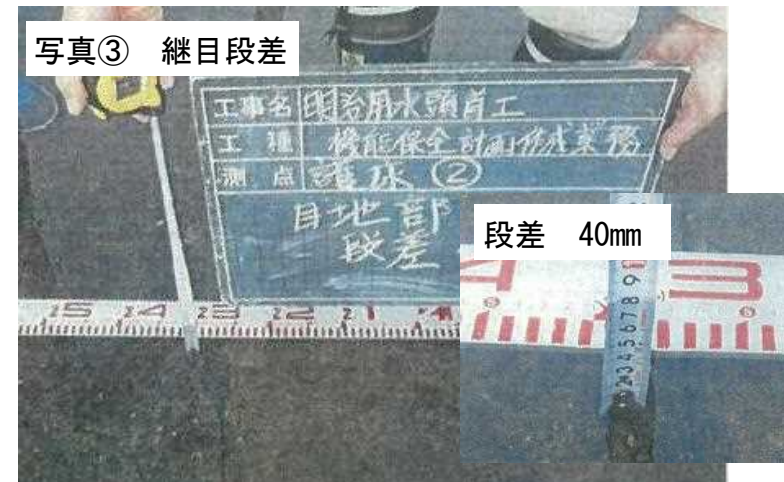
- 平成20年に明治用水頭首工の機能保全計画を作成するため、施設の機能診断を実施。
(ただし、上・工水への供給があるため、通水を停止させない管理を行っており、調査は限定的なものとなっている。)
- エプロンについては、摩耗、ひび割れ等により、一部に粗骨材の剥離・鉄筋露出・欠損が認められ、将来的に補修が必要な状態。



写真① 摩耗、鉄筋露出



写真③ 継目段差



写真② ひび割れ



写真④ 継目欠損



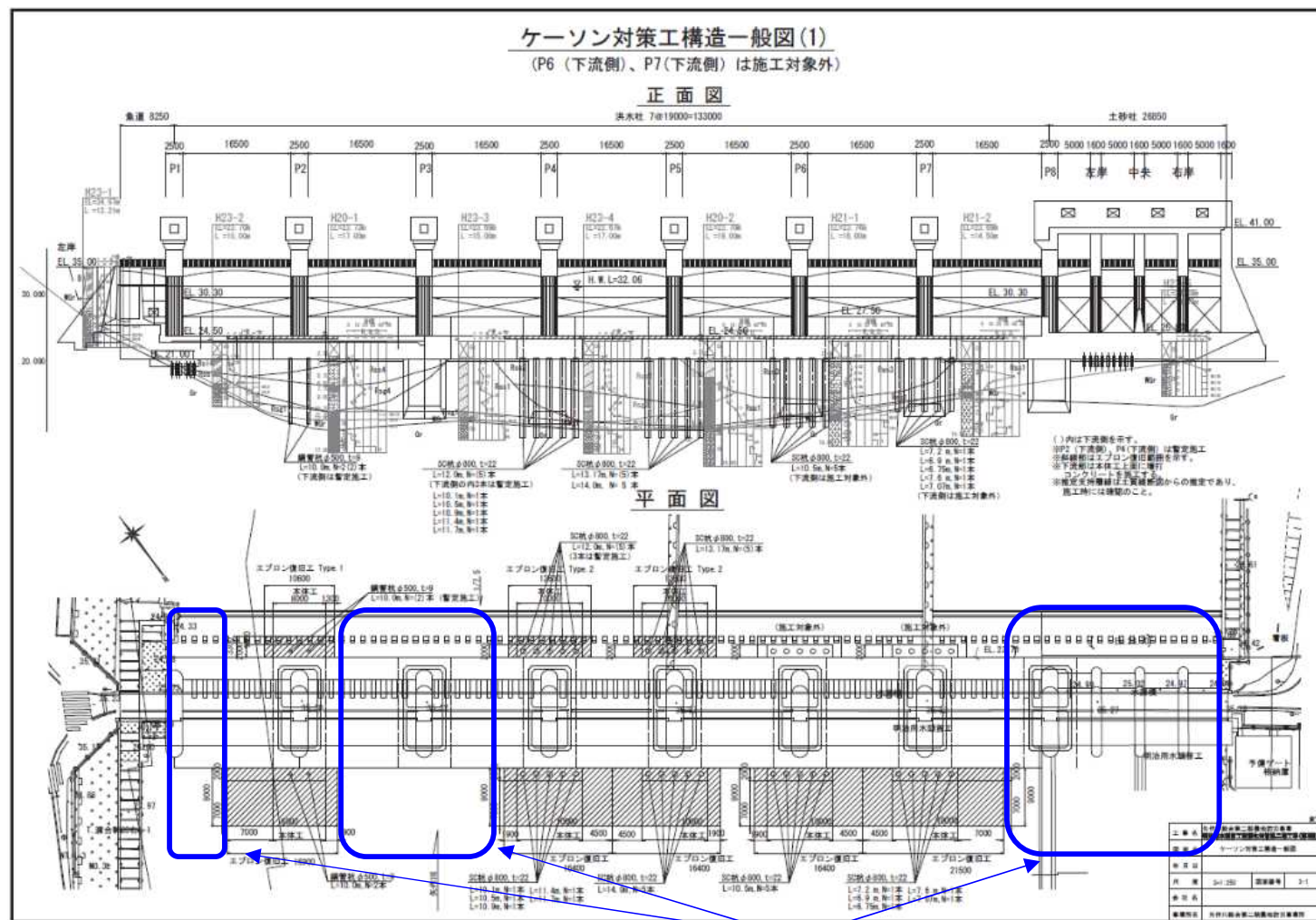
- 平成27年から令和3年までに頭首工の耐震対策を実施する中で、ケーソン対策工の施工に併せて、上流及び下流エプロンの一部を更新。
- P1堰柱は、耐震性能確認結果施工対象外となったことから、P1堰柱上下流のエプロンも更新の対象外。



エプロン打設前



エプロン打設状況



過去10年間の最大洪水時の下流の流況

約400m³/sを超える洪水時にエプロン下端部付近で跳水が発生

○最大流量Q_{max}=1,474m³/s【平成25年9月16日12:00】

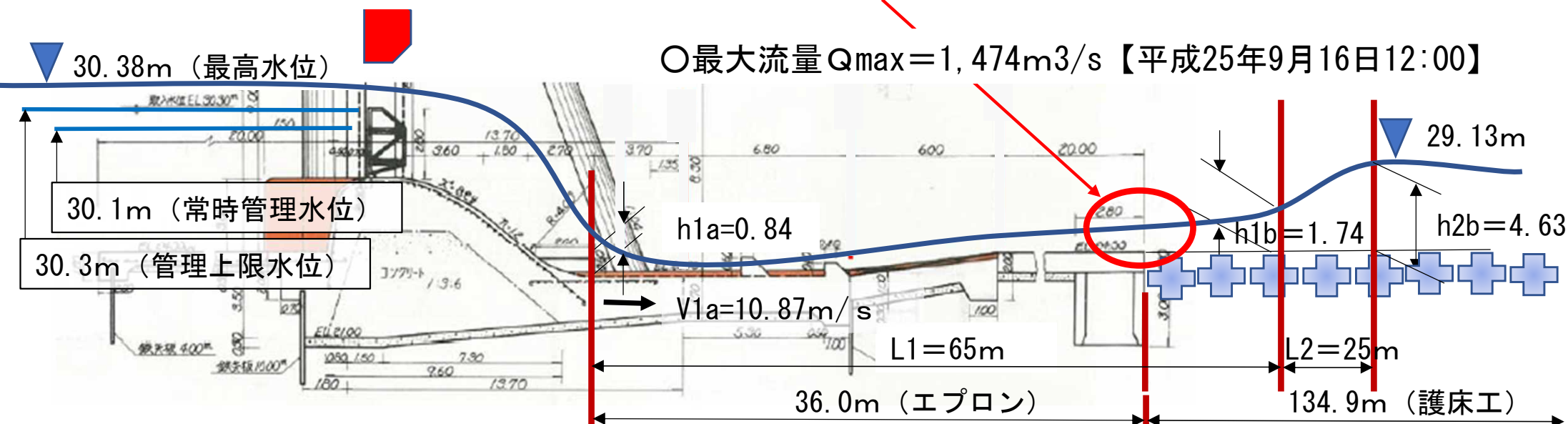


図 洪水吐き断面図

流量 (m ³ /s)	越流水位 (m)	V1a (m/s)	L 1 (m)	L 2 (m)	下流水位 (m)	流量 (m ³ /s)	越流水位 (m)	V1a (m/s)	L 1 (m)	L 2 (m)	下流水位 (m)
400	28.36	9.73	19	12	26.62	2000	30.01	11.25	69	30	30.05
500	28.50	13.18	39	13	26.92	3000	30.79	11.84	73	38	31.59
600	28.63	10.01	41	15	27.2	4000	31.49	12.33	73	45	32.92
1000	29.08	10.46	57	20	28.17	4360	31.72	12.49	73	47	33.7

※洪水の規模が400m³/s程度までは、下流エプロンの範囲で跳水が発生。
洪水の規模が500m³/s程度を超えると跳水の発生位置は、護床工の範囲。

3 発生要因 経年・劣化関係（下流エプロン下端部での跳水による影響 ②）

資料5-3

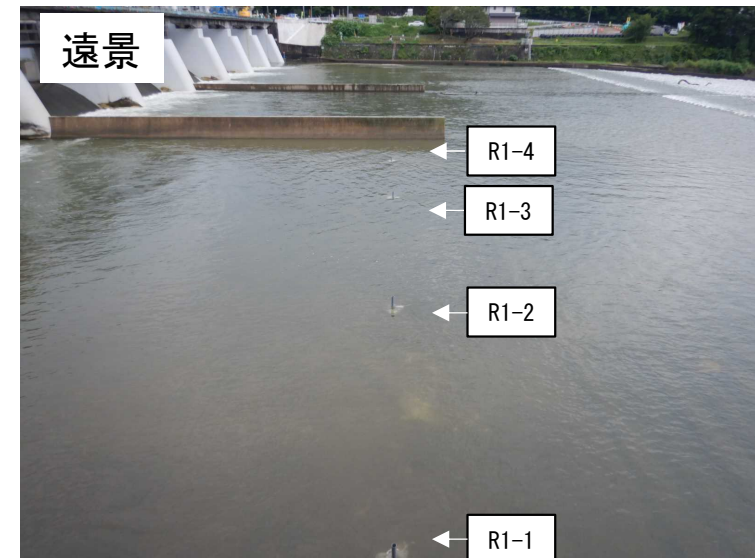
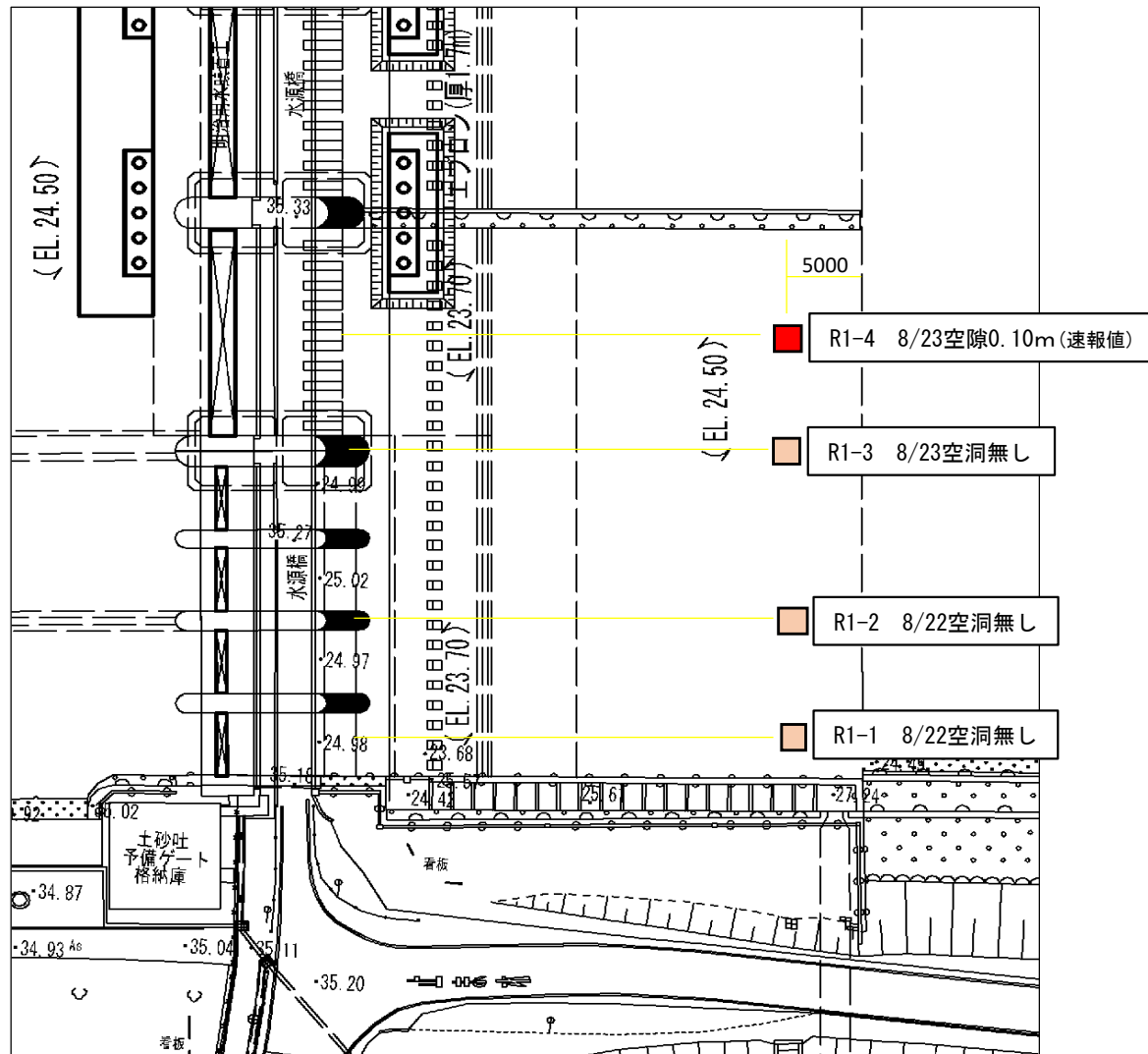
- 公開されている高橋観測所（頭首工直上流）の水文データ（2002年～2020年の19年間）から過去の洪水履歴を整理。
- 19年間で400m³/sを超える日が77日発生。昭和33年の供用開始から昨年までの63年間に換算すると255日程度発生。
- 約400m³/sの流量時にエプロン下端部での跳水により土粒子の巻上げが生じ、この繰り返しのより、下流からのパイピングホールの形成に影響したものと推察。

単位：m³/s

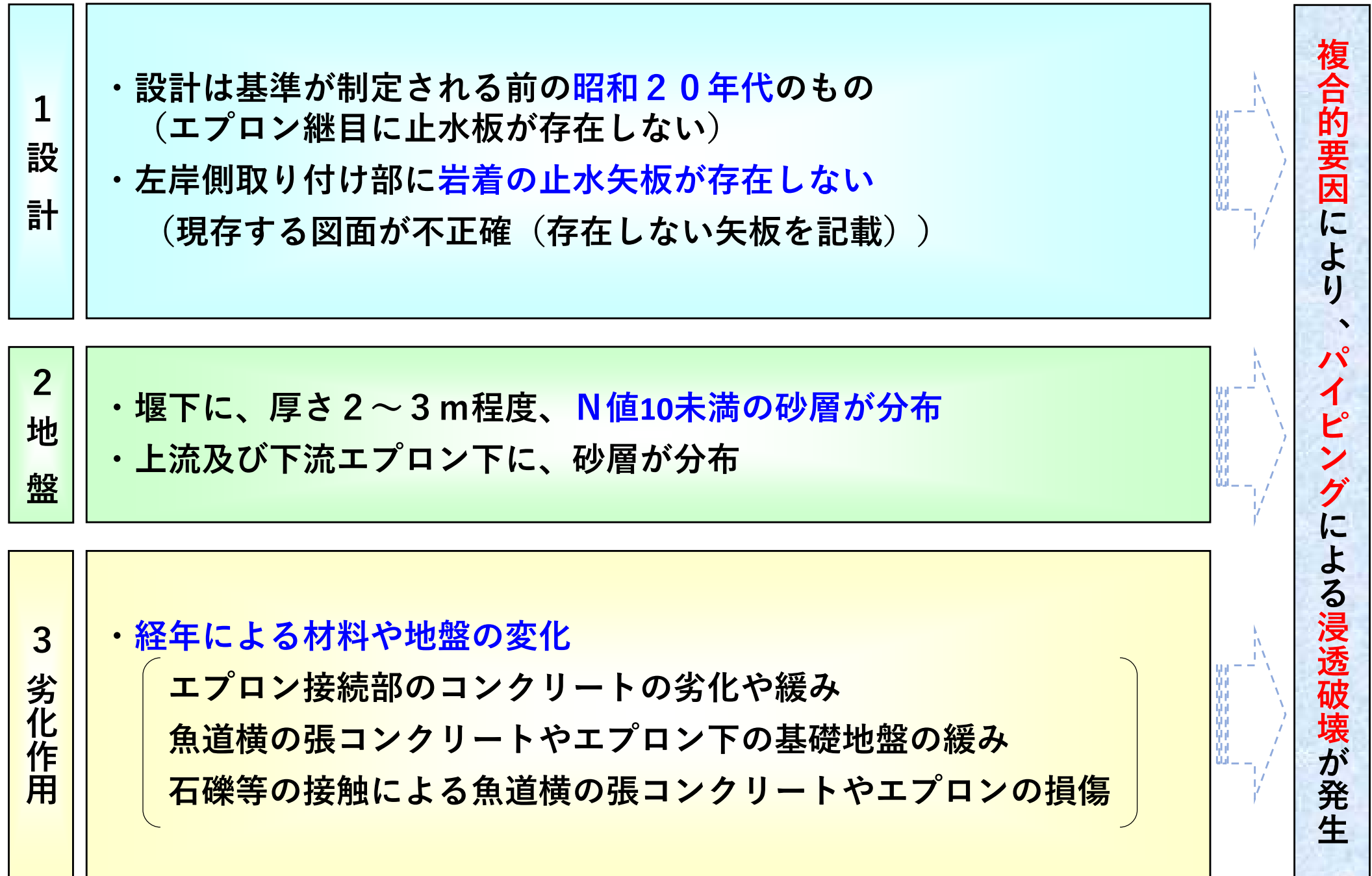
順位	年月日	最大流量	順位	年月日	最大流量	順位	年月日	最大流量	順位	年月日	最大流量	順位	年月日	最大流量
1	平成25年9月16日	2,513.59	17	平成16年6月22日	1,102.36	33	平成22年7月14日	699.28	49	平成29年10月22日	541.60	65	令和2年7月10日	448.92
2	平成16年10月20日	1,803.66	18	平成16年6月21日	1,090.44	34	平成21年8月2日	698.90	50	平成24年6月20日	537.90	66	令和2年7月27日	445.42
3	平成15年8月9日	1,798.78	19	平成15年8月10日	998.25	35	平成15年8月15日	691.86	51	令和2年7月9日	533.21	67	平成23年9月3日	444.38
4	平成23年9月21日	1,697.95	20	令和元年8月16日	944.63	36	平成19年7月14日	681.36	52	令和1年7月4日	517.68	68	平成23年5月29日	441.04
5	平成16年10月21日	1,632.16	21	令和2年7月6日	922.62	37	平成22年7月10日	678.62	53	令和2年7月4日	506.79	69	平成27年7月23日	440.46
6	平成30年10月1日	1,592.03	22	平成23年5月11日	875.69	38	令和2年6月30日	671.09	54	平成22年6月16日	503.11	70	令和1年7月1日	436.30
7	平成19年7月15日	1,554.75	23	令和2年7月7日	839.13	39	平成23年9月20日	639.91	55	平成18年7月20日	502.98	71	平成29年8月22日	432.70
8	令和2年7月8日	1,468.43	24	平成30年9月30日	836.16	40	平成18年6月16日	629.34	56	平成29年8月18日	501.56	72	平成29年10月29日	419.54
9	平成30年9月5日	1,435.10	25	平成23年9月22日	824.67	41	令和2年7月26日	624.75	57	令和2年7月11日	491.99	73	平成15年8月16日	418.89
10	平成23年7月20日	1,403.81	26	平成28年9月20日	819.47	42	平成28年9月21日	617.38	58	平成30年7月5日	479.29	74	平成16年9月30日	409.86
11	平成16年10月9日	1,354.31	27	平成23年5月12日	806.50	43	平成23年7月19日	615.99	59	平成24年7月12日	476.69	75	平成21年8月3日	409.63
12	平成29年10月23日	1,309.25	28	平成21年8月1日	793.13	44	平成26年9月25日	599.19	60	令和1年10月25日	474.49	76	平成23年9月5日	401.85
13	令和2年7月1日	1,290.24	29	平成23年9月4日	793.00	45	令和1年7月27日	591.43	61	平成24年6月22日	473.20	77	平成18年7月21日	401.36
14	平成30年7月6日	1,155.82	30	令和2年10月10日	764.16	46	平成22年7月29日	591.41	62	令和2年7月14日	463.06			
15	平成18年7月19日	1,140.68	31	平成22年7月15日	716.03	47	平成22年7月30日	568.66	63	令和2年7月25日	459.50			
16	平成30年9月4日	1,130.56	32	令和2年7月12日	705.83	48	平成20年6月29日	560.38	64	平成27年9月9日	451.01			

3 発生要因 経年・劣化関係 (右岸下流エプロン空洞調査結果)

- 右岸下流エプロン下の空洞状況を確認するため、コア抜き調査を実施。
- R1-4は空隙0.10m (速報値)を確認。
- 簡易貫入試験は河川水位が下がった後に実施。



4 パイピングメカニズム（案）



1 漏水発生前

（1）最新の基準による設計の照査

- ・浸透路長の確認
- ・止水矢板の有無確認
- ・上下流エプロン継目の止水板の有無確認
- ・魚道や張コンクリート部の基礎の確認

（2）地盤の確認

- ・緩い砂層など、パイピングの危険性を把握

（3）必要取水量の確保

- ・可能な範囲で代替水源確保を検討

2 漏水発生後

（1）緊急対策

- ・水位を低下させ、漏水箇所を速やかに閉塞

（2）応急対策

- ・可能な限りの取水の確保
- ・被害の拡大防止と早急な原因究明
- ・迅速な専門家への相談（委員会の設置等）

（3）恒久対策

- ・原因を踏まえた確実な対策の実施