

天神川氾濫災害調査報告書

令和6年8月

天神川氾濫災害調査委員会

天神川氾濫災害調査報告書

目 次

| | |
|---------------------|--------------|
| ま え が き | ・ ・ ・ ・ ・ 1 |
| 1. 天神川の概要 | ・ ・ ・ ・ ・ 2 |
| 2. 天神川堤防強化対策工事 | ・ ・ ・ ・ ・ 6 |
| 3. 令和5年5月7日～8日の出水状況 | ・ ・ ・ ・ 12 |
| 4. 氾濫事象の再現 | ・ ・ ・ ・ ・ 15 |
| 5. 氾濫災害の発生要因 | ・ ・ ・ ・ ・ 25 |
| 6. 残工事の施工方法 | ・ ・ ・ ・ ・ 26 |
| 7. 今後の安全な河川工事のあり方 | ・ ・ ・ ・ ・ 27 |
| 参 考 | ・ ・ ・ ・ ・ 30 |

ま え が き

天神川は、古くは奈良時代の高僧である行基により、昆陽上池（現在の昆陽池）に導水するため、昆陽上池溝として端を発し、約 1,300 年の中で上流から流れてくる土砂による埋没、浚渫の繰り返しにより周辺の平面地よりも河床が高い天井川の様相を呈している。昭和 23 年 7 月 21 日では天神川流域で甚大な被害が記録されているが、昭和 26 年から着手した中小河川改修事業により飛躍的に流下能力が向上し、また、河床張りコンクリートを施したことで漏水に対しても強固な構造となったため、事業完了後、甚大な洪水被害は発生していない。時間の経過により護岸や河床張りコンクリートが老朽化し、堤防からの漏水が確認されたことから、平成 21 年度より堤防強化工事（伊丹市荻野 3 丁目～宝塚市山本中 3 丁目 L=2,280m）に着手した。伊丹市荒牧 6 丁目付近を除いて堤防強化工事が完了しており、残る伊丹市荒牧 6 丁目で実施していた工事は、天神川の河床下部を横断する伊丹市道長尾荒牧線の隧道改築に必要となる隧道部の土留工及び仮設鋼板水路を設置するものであった。できる限り洪水被害が周辺に影響を与えないよう河川内工事は非出水期に限定し、令和 5 年 5 月末までに完成する予定であったが、令和 5 年 5 月 7 日～8 日の降雨により堤防が決壊し、浸水被害が発生した。

兵庫県では、河川工事中に起きた氾濫災害であることを重くみて、氾濫発生の要因等を調査したうえで、当該箇所における残工事の施工方法を整理するとともに、今後の安全な河川工事のあり方を審議する目的で、令和 5 年 5 月 17 日、「天神川氾濫災害調査委員会」を設置した。本調査委員会では、これまで 4 回にわたって委員会を開催し、目撃証言や周辺のカメラ映像、降雨状況、堤防の土質、計画と施工の差異など兵庫県が提供する関係資料などを様々な角度から分析を行い、工学的な観点から氾濫原因及びその要因について取りまとめた。また、明らかとなった氾濫要因を踏まえた残工事の工法検討、さらには天神川氾濫災害の教訓を活かし、河川工事を行う上で重要となる設計、施工段階のチェック機能の強化、河川技術者としての人材育成など今後の河川工事のあり方についても審議を行った。

この報告書は、これまでの委員会を通じて得られた知見を取りまとめたものである。

最後に、天神川氾濫災害の教訓を今後の河川整備に活かされることを強く祈念する。

令和 6 年 8 月 30 日
天神川氾濫災害調査委員会
委員長 大石 哲

1. 天神川の概要

(1) 天神川流域の概要

天神川は、宝塚市中山五月台にその源を発し、途中、天王寺川と合流し、武庫川へ流下する、流域面積 8.2k m²、法河川延長 5.2km の兵庫県が管理する二級河川である。古くは、奈良時代の高僧である行基により、昆陽上池（現在の昆陽池）に導水するため、昆陽上池溝として端を発し、約 1,300 年の中で上流から流れてくる土砂による埋没、浚渫の繰り返しや災害復旧や河川改修事業により現在の天神川となった。晴れた日であれば水が流れない枯れ川であるが、一旦、雨が降ると、水位が急に上昇する河川である。天神川流域の土地利用の特色として、1950 年代頃は田畑が広がっており、宅地はあまり見られない状況であったが、1970 年頃には宅地開発が進み、1980 年頃には現在と同程度まで市街化が進んでいる。

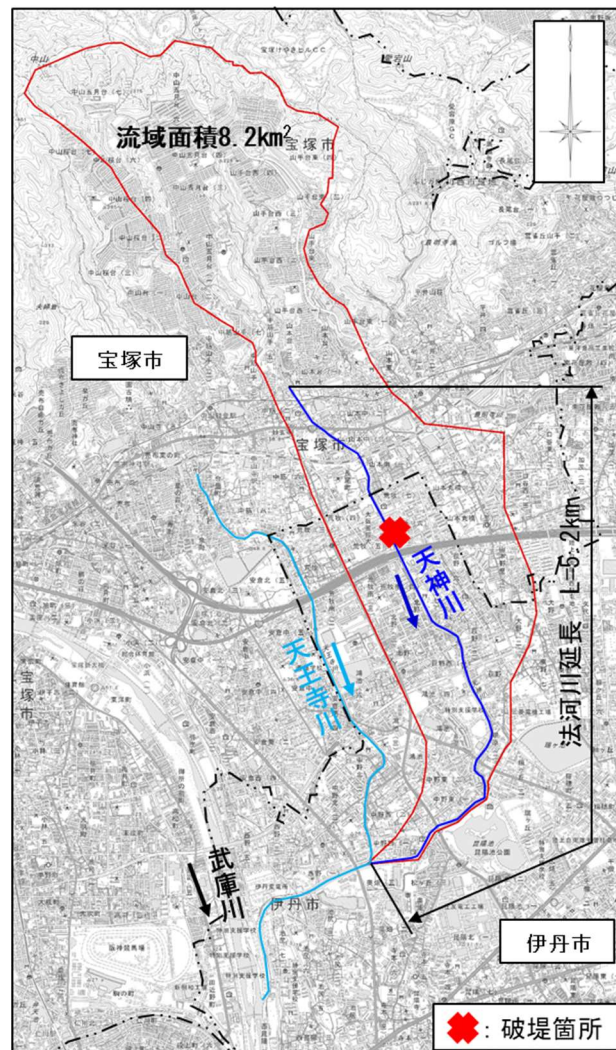
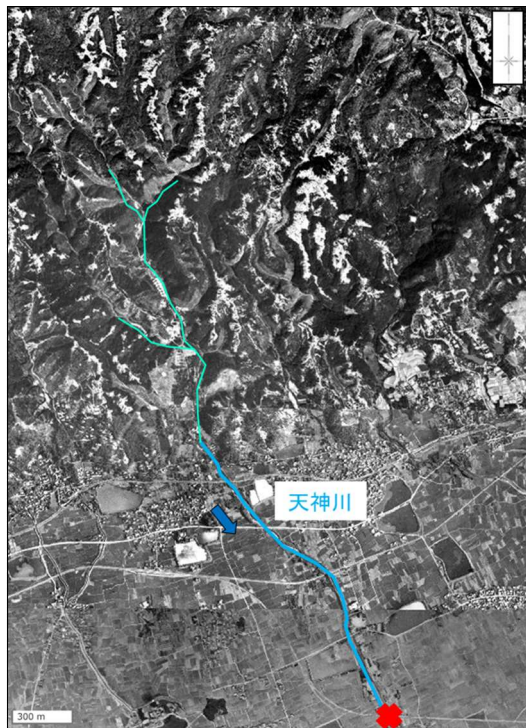
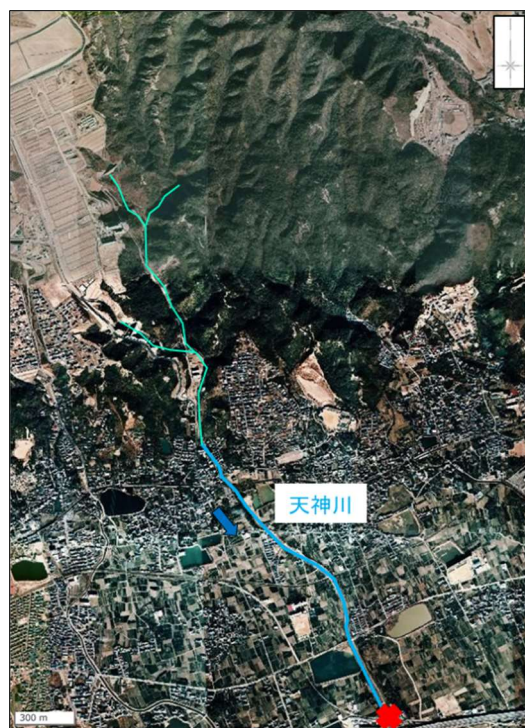


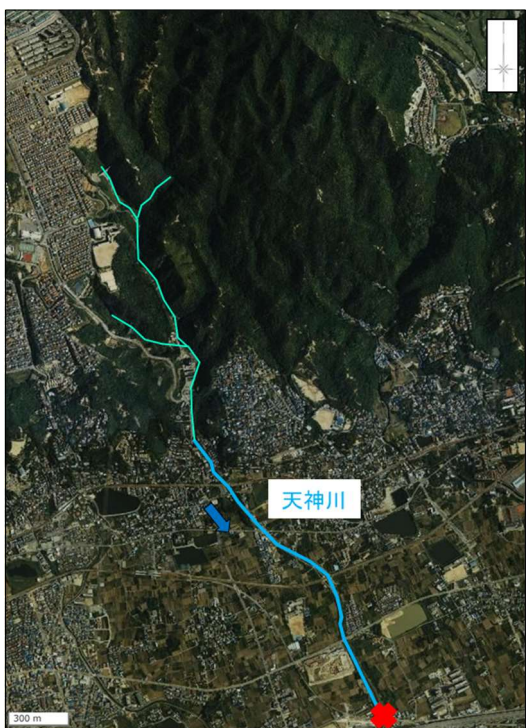
図-1.1 天神川流域図



(1950 年代)



(1970 年代)



(1980 年代)



(現在)

◆ : 破堤箇所

(2) 治水事業の沿革

ア 天神川における主要洪水

天神川で著名な洪水としては、昭和7年7月1日梅雨前線による豪雨（被害額30,644円）、昭和10年6月28日梅雨前線による豪雨（被害額：408,939円）、昭和13年7月5日梅雨前線による豪雨（被害額1,868,842円）、昭和20年10月9日阿久根台風（被害額2,277,733円）、昭和23年7月21日の豪雨と昭和23年9月10日アイオン台風（被害額52,722,600円）、昭和36年6月26日梅雨前線による集中豪雨（武庫川全体被害額：約8.8億円）が記録として残っている。

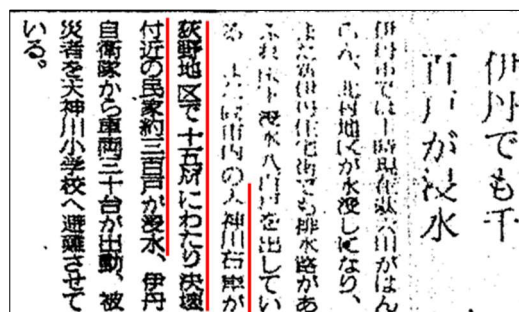


写真-1.1 堤防決壊で作業する自衛隊員
(神戸新聞(阪神版)昭和36年6月28日)

毎日新聞 昭和36年6月27日(夕刊)

イ 河川改修の経緯

本格的な河川改修事業が始まったのは、昭和26年から着手した中小河川改修事業であり、昭和23年7月21日洪水と同規模洪水を安全に流下させることを目標(破堤箇所での目標流量：48m³/s)に、天王寺川合流点から現 JR 福知山線付近までの延長 5,898.5m の河道拡幅工事を行った。この改修では、天井川の弱点を解消すべく、出来るだけ縦断勾配を緩くするとともに、河床を下げることに配慮し、また、漏水対策として河床張りコンクリートを施している。

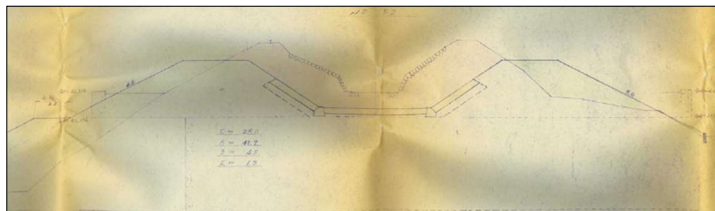


図-1.2 計画横断図(昭和26年頃)

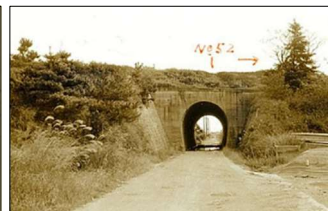


写真-1.2 荒巻トンネル
(昭和26年頃)

(3) 天神川の整備概要

ア 武庫川水系河川整備計画

河川法に基づき、平成 23 年 8 月に武庫川水系河川整備計画を策定した。武庫川水系における整備目標は、戦後最大洪水である昭和 36 年 6 月洪水と同規模の洪水を流下させることとし、天神川については既に整備目標である流下能力を有していることから河道拡幅や河床掘削等による整備はなく、計画高水位以下の洪水による浸透や浸食に対して十分な安全性を確保するための堤防強化が位置づけられている。

イ 流量配分

天神川（破堤箇所）における計画高水流量は $50\text{m}^3/\text{s}$ である。

ウ 天井川区間

天神川の県管理区間の延長は 5.2km であり、このうち 2.8km の区間が堤内地盤より河床が高い天井川の様相を呈している。



図-1.3 天神川平面図

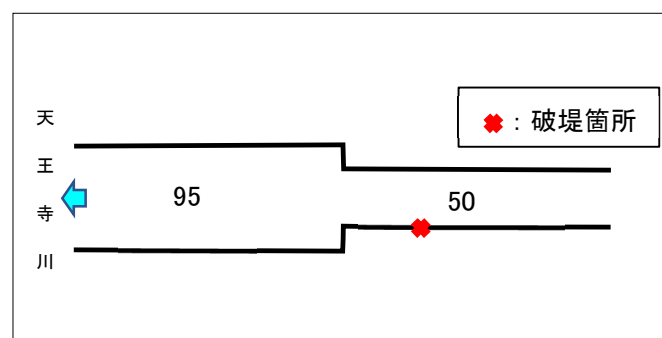


図-1.4 天神川流量配分図

2. 天神川堤防強化対策工事

(1) 事業の概要

堤防からの漏水が確認されたことから、浸透や浸食に対して十分な安全性を確保するため、老朽化した河床張りコンクリートや護岸の改修を行う堤防強化工事（総合流域防災事業）として平成21年度から事業着手している。事業区間の延長は、2,280m（伊丹市荻野3丁目～宝塚市山本中3丁目）であり、今回の工事箇所を除き、令和5年6月までに工事は完了している。

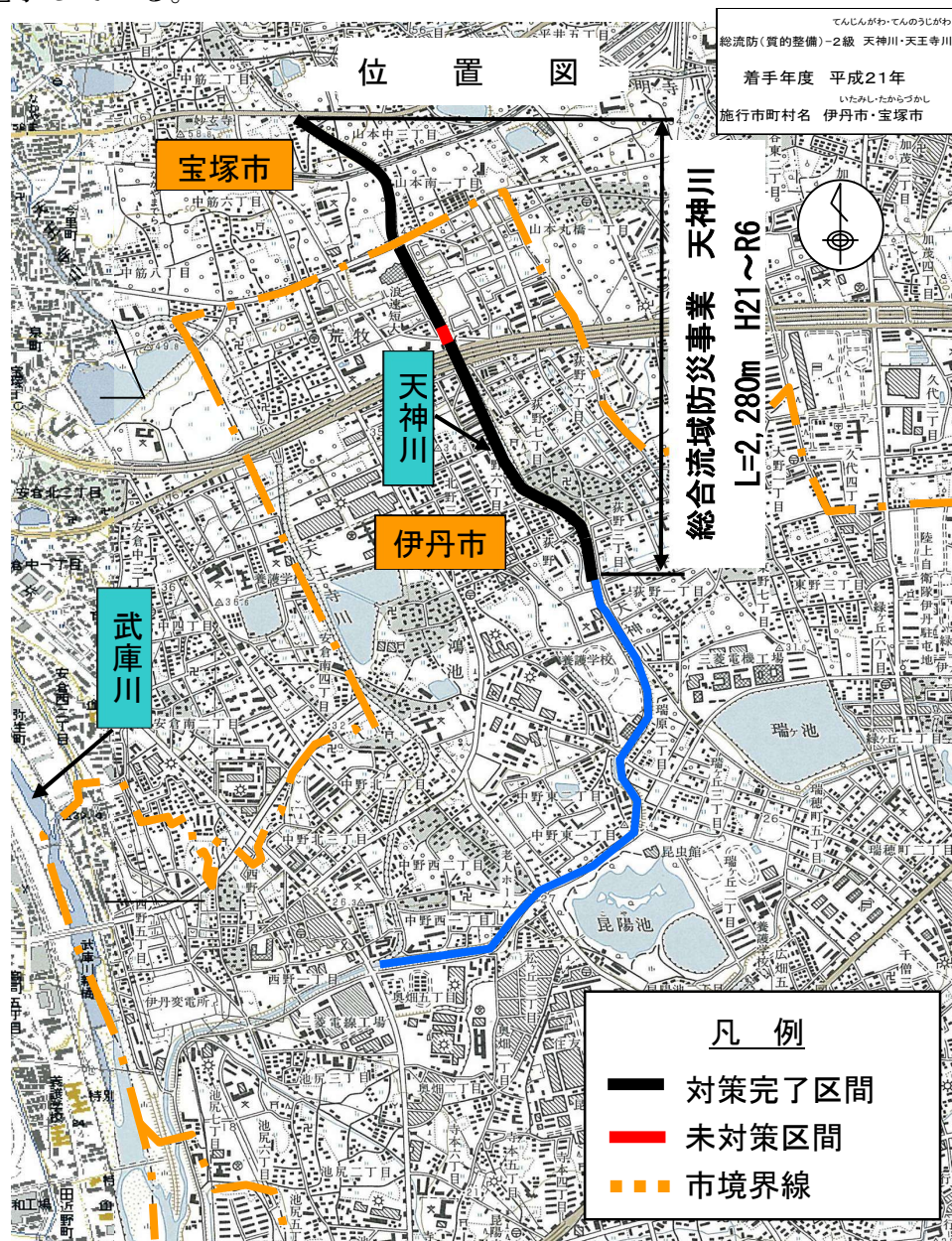


図-2.1 事業位置図

(2) 堤防強化工事の概要

天神川の河道下を貫く市道長尾荒牧線荒牧隧道の改築及び天神川堤防強化の本体工の発注に先立ち、本体工で必要となる仮設工事部分を工事発注した。

工事内容は、①通学路利用されている隧道の通行止めに先立つ迂回路の整備、②重機等の荷重による隧道崩落を防止するための流動化材を用いた隧道内充填、③隧道周辺の土砂を支えるための土留工（親杭横矢板、切梁等）の設置、④工事期間中、河川内の流水を受ける仮設鋼板水路の設置である。これらは、既設隧道を撤去した後、新たにボックスカルバートを設置する本体工の準備として行われており、工期は令和4年3月7日から令和5年7月31日を予定していた。



図-2.2 平面図

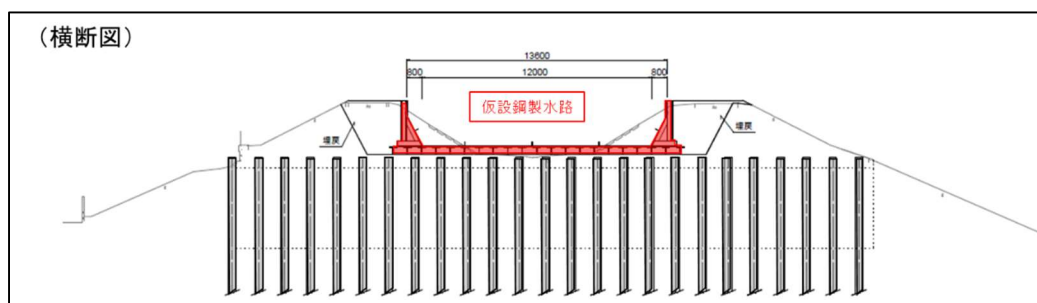


図-2.3 横断面図（仮設鋼板水路）

(3) 出水時の施工状況

本災害が生じた令和5年5月7日までの工事経緯としては、令和4年5月6日に現場着手し同年6月3日に迂回路の整備（延長L=27m）を完了させた。その後、出水期のため、一旦工事を中止した。

同年10月3日から工事を再開させ、同年10月28日に隧道内の充填工事（充填量 $V=526.2\text{m}^3$ ）を完了させた。（図-2.4 参照）

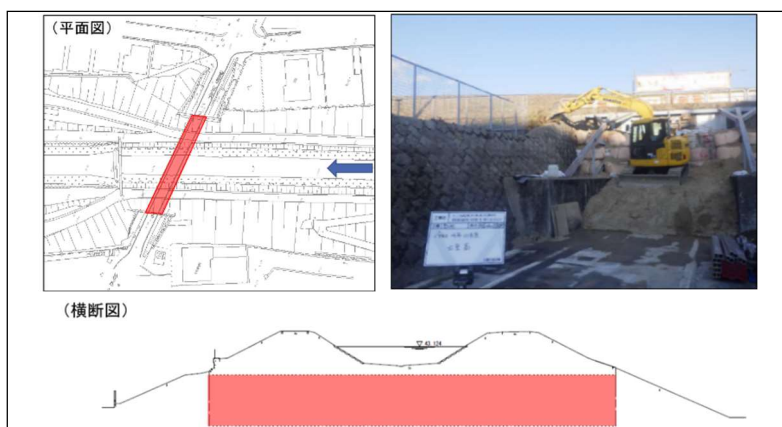


図-2.4 隧道内充填図

出水期が明けた同年11月7日から河川内の工事に着手し、初めに土留工の親杭（H鋼）打設に必要となる施工ヤードの設置を行った。親杭を打設する区間は、左右岸の堤外側、左右岸の堤内側の4つに大きく分けられる。堤外側の親杭打設に関しては、河川内に大型土のうと盛土で作業ヤードを確保し、堤内側においては、隧道入口付近に、重機が据え付けられるよう仮設構台を構築した。親杭は、右岸堤外側、左岸堤内側、左岸堤外側、右岸堤内側の順で合計98本打設し、同年12月23日に完了した。（図-2.5 参照）

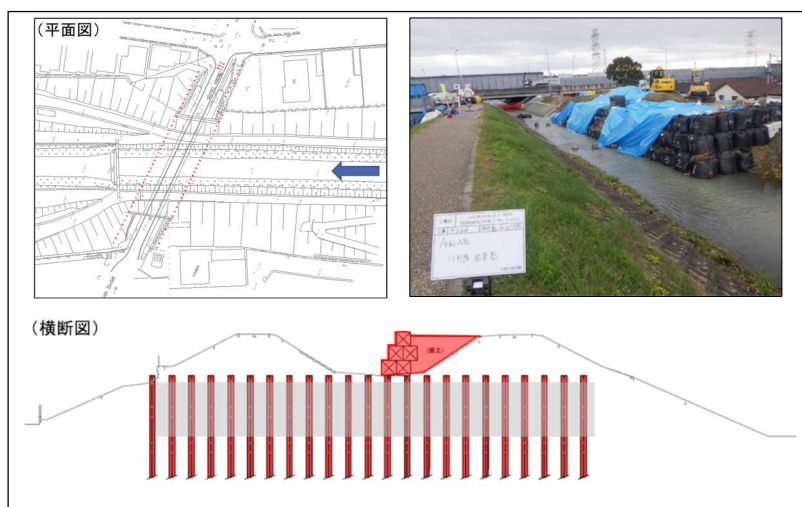


図-2.5 土留め杭打設図

以後の工事については、河川中央部、右岸部、左岸部の工区に分けて施工した。

令和5年1月5日から河川中央部の切梁（土留めの支保工）の設置に着手し、既設河床張コンクリートを撤去したのち、切梁（4本）の設置を行った。

次に、左岸側を通水させるために大型土のうで仮締切し、左岸側にコルゲートフリューム管を設置した。（図-2.6 参照）

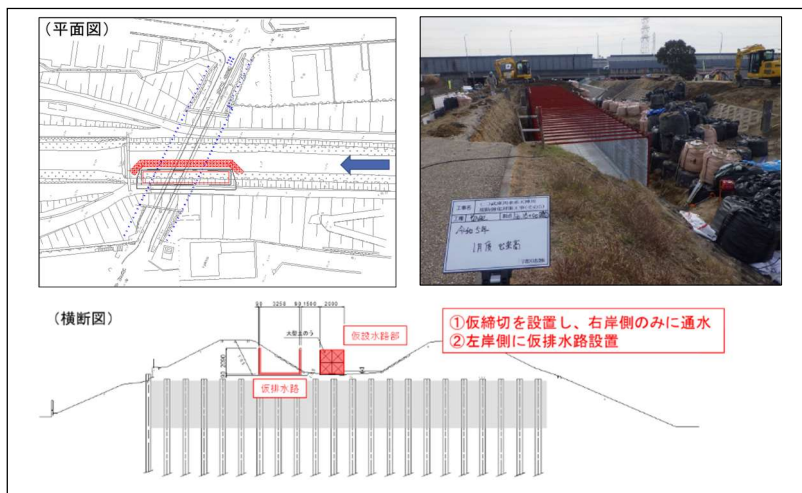


図-2.6 左岸仮排水路設置図

コルゲートフリューム管に通水させ、右岸側の既設河床張コンクリート、既設護岸を撤去し、切梁（10本）の設置を行った。次に、仮設鋼板水路の受桁コンクリート橋台を設置し、H鋼受桁を橋台間に渡して、敷鉄板の敷設、右岸側の仮設鋼板水路（延長L=25.3m）を据え付け、同年3月29日に完了させた。（図-2.7 参照）

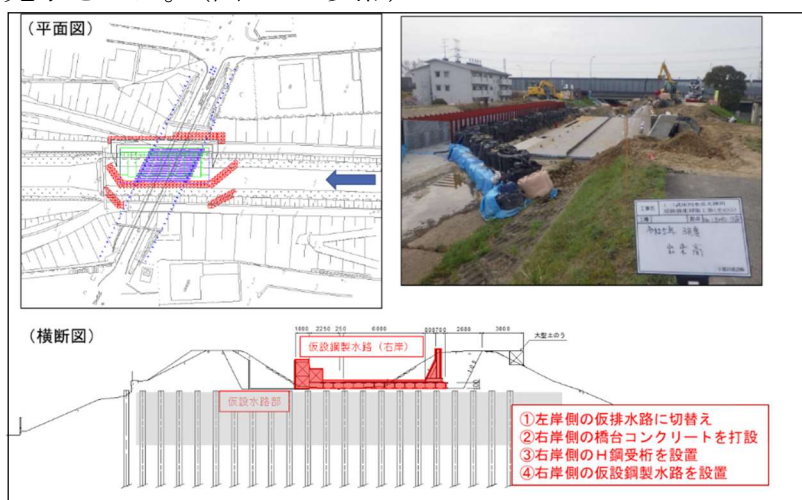


図-2.7 右岸仮排水路設置図

また、右岸側の仮設鋼板水路背面の堤体盛土を埋戻すとともに、仮設鋼板水路の上下流の既設護岸に擦り付ける取付護岸を施工し、令和5年4月10日から右岸側から左岸側へ施工区間を切り替えるため、右岸側に設置した仮設鋼板水路の上に大型土のう（上段1袋、下段1袋の1列2段積）を設置し、右岸側に通水させるための仮締切工を設置した。さらに、左岸側の既設護岸を撤去し、切梁（5本）の設置を行った。次に、仮設鋼板水路の受桁コンクリート橋台の設置が完了したところで、7日の出水を迎え、詳細な状況は以下のとおりである。（図-2.8 参照）

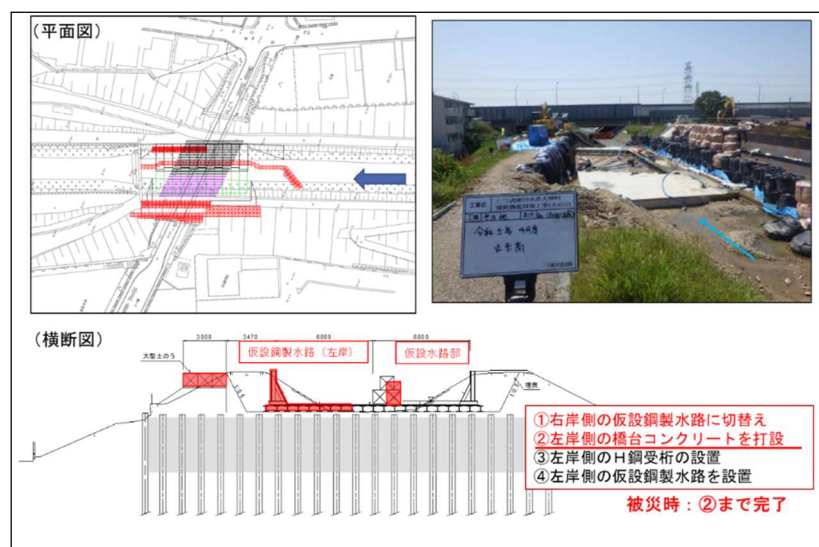


図-2.8 左岸鋼製水路設置図（被災時）

下流の取合護岸部、仮設鋼板水路、上流の取合護岸部を包括するように No. 18+4.5～No. 18+49 において、大型土のうによる仮締切工を設置していた。上流部の No. 18+44～No. 18+49 の区間では、大型土のうを下2列、上1列で積み既設護岸に擦り付けており、No. 18+44 より下流の区間では、大型土のうを下1列、上1列で積んだ状態であった。

No. 18+7.5～No. 18+33.5 の右岸側では、資材搬入に用いるクレーン重機の作業ヤードを確保するために、河川内の右岸側に大型土のうを4段積み上げて河積を狭めていた。

左岸堤防については、荒牧隧道部である No. 18+4.5～No. 18+33.5 まで、堤防を開削した川表側は大型土のうを3段積み上げ、川裏側は、堤防幅を拡幅するために大型土のうを積み上げていた。No. 18+22～No. 18+37.5 では、堤防天端幅を3m確保すべく、堤防横断方向に大型土のうを3列並べていた。No. 18+34～No. 18+44 では、取合護岸の施工に先立ち、既設護岸

を撤去していた。左岸川表部の法面保護として、No. 18+4.5～No. 18+33.5まで遮水シートで覆っており、No. 18+33.5～No. 18+44 では、ブルーシートで法面を覆い保護していた。

河床部の状況としては、取合護岸部（下流部：No. 18+4.5～No. 18+8.6、上流部：No. 18+34～No. 18+44）は既設河床張りコンクリートを取り壊しており、基盤面の土砂が露出していた。仮設鋼板水路の No. 18+8.6～No. 18+34 については、延長 15.5m の H 鋼受桁を支える上下流のコンクリート橋台が 5 月 1 日に設置完了しており、コンクリート橋台間（H 鋼受桁設置区間）については、土留工の支保工である切梁および埋め戻された土砂が露出している状態であった。

なお、5 月 8 日以降、H 鋼受桁を設置する工事を予定していた。

3. 令和5年5月7日～8日の出水状況

(1) 気象状況

前線が本州付近に停滞し、西日本から東日本の太平洋側を中心に活発な雨雲が発生した。伊丹市の警報・注意報の発令は、7日15:31に大雨注意報発表、21:36に洪水注意報発表、23:38に大雨警報発表、8日6:02に大雨警報解除、11:36に大雨注意報が解除された。

表-3.1 注意報・警報の発表状況

| 月日 | 時 | 分 | 気象情報 |
|------|----|----|---|
| 5月7日 | 15 | 31 | 大雨注意報発表(伊丹市・宝塚市) |
| | 18 | 43 | 大雨注意報発表(川西市) |
| | 21 | 36 | 洪水注意報発表(伊丹市・宝塚市) |
| | 22 | 53 | 大雨警報発表(宝塚市) 洪水注意報発表(川西市) |
| | 23 | 38 | 大雨警報発表(伊丹市) |
| | 23 | 59 | 大雨警報発表(川西市) |
| 5月8日 | 3 | 50 | 大雨警報解除⇒注意報発表(川西市) |
| | 6 | 2 | 大雨警報解除⇒注意報発表(伊丹市・宝塚市) 洪水注意報解除(伊丹市・宝塚市・川西市) |
| | 11 | 36 | 大雨注意報解除(伊丹市・宝塚市・川西市) |

(2) 降雨状況

天神川流域において被災箇所周辺にある国県市の雨量計データを収集し、ティーセン分割により流域平均雨量を算定した結果、10分間降雨量のピークは、23:40から23:50分の5.9mm、60分間降雨量のピークは、23:00から24:00の29.4mmであった。また、設置時期が古く、観測期間が長い県保有の雨量観測所 宝塚・伊丹・多田院の3箇所で過去の雨量データと比較した結果、5月の降雨としては、観測期間59年で宝塚で過去2番目、伊丹で過去4番目、観測期間が28年の多田院で過去2番目に強い雨となり、非出水期中の5月の時間雨量としては、強い降雨であるものの、想定内の降雨であった。

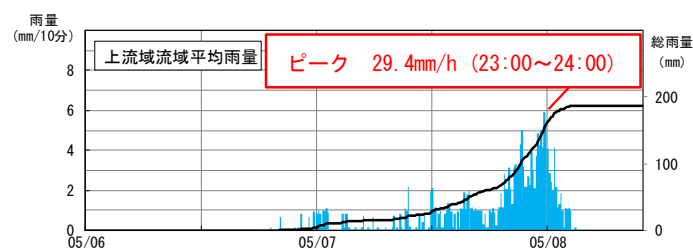


図-3.1 上流域流域平均雨量図



図-3.2 雨量局位置図

表-3.2 時間雨量の比較表

| 観測所名 | 観測開始年 (観測期間) | 【今回】 最大時間雨量 | 過去の雨量と比較 | |
|------|-----------------|-----------------------------|----------|-------------------|
| | | | 5月 | 非出水期間 (11月～5月) |
| 宝塚 | 1964年 (59年間) | 33 mm/hr (7日23:00～24:00) | 過去2番目 | 過去4番目 |
| 伊丹 | 1964年 (59年間) | 23 mm/hr (7日23:00～24:00) | 過去4番目 | 過去11番目 |
| 多田院 | 1995年 (28年間) | 27 mm/hr (7日23:00～24:00) | 過去2番目 | 過去4番目 |

(3) 出水状況（伊丹市の防犯カメラ映像）

決壊箇所から約 50m離れた箇所に伊丹市防犯カメラが設置されており、破堤後の濁水の出水状況が記録されていた。5月8日0時28分に濁水を確認、0時29分に画面半分が濁水に覆われ、0時30分には防犯カメラで視認できる市道全てが濁水で覆われた。さらに、0時35分に緩やかに水位が上昇し、0時55分には自動車が流されるほどの出水状況であった。



図-3.3 伊丹市防犯カメラ位置図

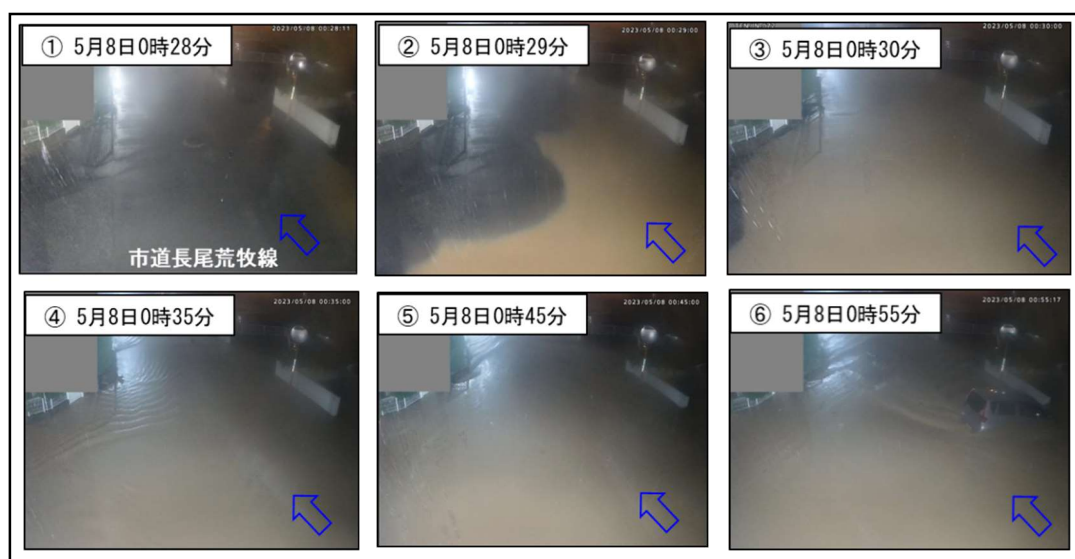


写真-3.1 伊丹市防犯カメラ映像

(4) 目撃情報

氾濫原因の究明にあたり、客観的な情報を得る必要があるため、地元住民、工事施工業者から目撃情報を聴聞した。氾濫事象の再現に活用する主な証言は以下の通りである。

- ① 7日 23:30 頃 No. 18+20 付近で仮締切工の大型土のうからの越流が始まる。
- ② 7日 23:40 頃 No. 18+20 から No. 18+40 付近まで大型土のうからの越流が拡大。

- ③ 8日 0:00頃 No. 18+20 から No. 18+40 区間で大型土のうからの越流が継続し、左岸側に流水が流れ込み、仮締切内の水位が上昇（大型土のうの2/3程度、約60cm）
- ④ 8日 0:25頃 No. 18+20、No. 18+40 付近で大型土のうが転倒していることを確認。左岸川裏側堤防法面中腹の小段部からの漏水（パイピング）を確認
- ⑤ 8日 0:30頃 隧道の左岸上流端部付近で堤防の決壊を確認。決壊幅は約5m程度であった。
- ⑥ 8日 1:15頃 上流側へ決壊が進み、最終的な決壊幅約30mとなったことを確認。

（5）氾濫被害状況

令和5年5月7日～8日出水による天神川からの氾濫は、伊丹市防犯カメラ映像、目撃情報、流況解析等による氾濫事象の再現計算結果を総合的に分析すると、5月8日0:30頃、天神川と市道長尾荒牧線が交差する隧道部付近の左岸川裏側堤防法面中腹の小段部からパイピングが発生し、堤防が決壊したと推定される。決壊した延長は約30mであり、浸水面積は約3.3haにも広がっている。人的被害は負傷者1名、物的被害は、床上浸水2棟、床下浸水10棟である。



図-3.4 浸水範囲図



写真-3.2 天神川破堤直後(5/8 2:30)



写真-3.3 市道へ土砂流出状況(5/8)

4. 氾濫事象の再現

(1) 流量の推計

ア 伊丹市ライブカメラ映像による流量の推計

今回の出水による洪水痕跡について現地調査を行ったが、明確な痕跡水位を確認することができなかった。このため、被災現場の約 300m 上流に設置している伊丹市のライブカメラの映像から水深を計測し、等流計算により流下流量を求めると、ピーク流量は 8 日 0:00 の 16.0 m^3/s となった。

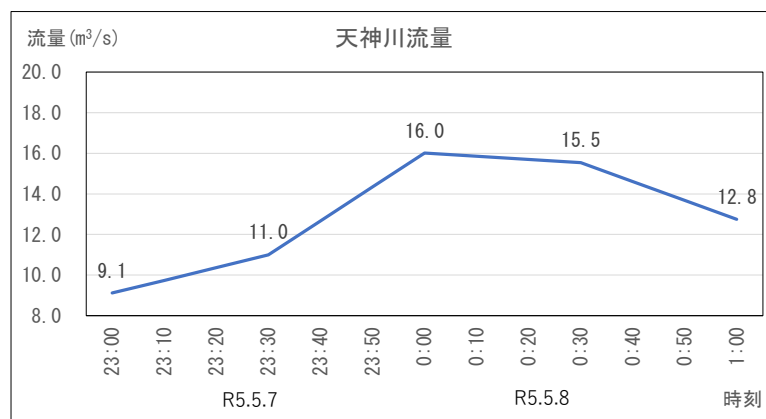


図-4.1 伊丹市ライブカメラ地点のハイドログラフ

イ 準線形貯留関数モデルによる流量の推計

武庫川水系河川整備計画の流出解析手法である準線形貯留関数モデルを用いて被災現場の流量を推定した。ただし、天竺川には水位計を設置していないこと、また、流量観測も行っていないことから、流出解析モデルの同定作業を行うことができないため、解析に用いた定数は標準値とし、参考値として流量を算出した。なお、流域上流部にある防災調整池の貯留効果も考慮して流出モデルを構築している。

流出解析の結果、ピーク流量は 8 日 0:00 の 14.65 m^3/s となり、伊丹市ライブカメラ映像から算出した流量のピークの時刻、流量とも概ね一致していることが確認できた。

(2) 計画と施工の差異

ア 計画時の仮締切工

仮締切工は近畿地方整備局設計便覧に基づき、近隣の宝塚雨量局で非出水期の過去 5 カ年間における最大雨量 27mm/h を上回る 30mm/h から算出した流量 20.2 m^3/s の流下能力を備えた設計とし、底盤幅 $W=4.0\text{m}$ 、高さ $h=2.0\text{m}$ とする通水断面が計画されていた。仮締切工に用いる大型土のうは下段 2 列、上段 1 列の積み方が示されていた。

イ 施工時の仮締切工

施工時の大型土のうの高さは 1.6m であった。積み方についても下段 1 列上段 1 列の積み方としていた。大型土のうの配置については、施工ヤードを確保するため、計画時に比べて上流側に約 9.5m 延伸、下流側ではクレーン足場用大型土のうと約 15.0m に渡って追加して配置していた。

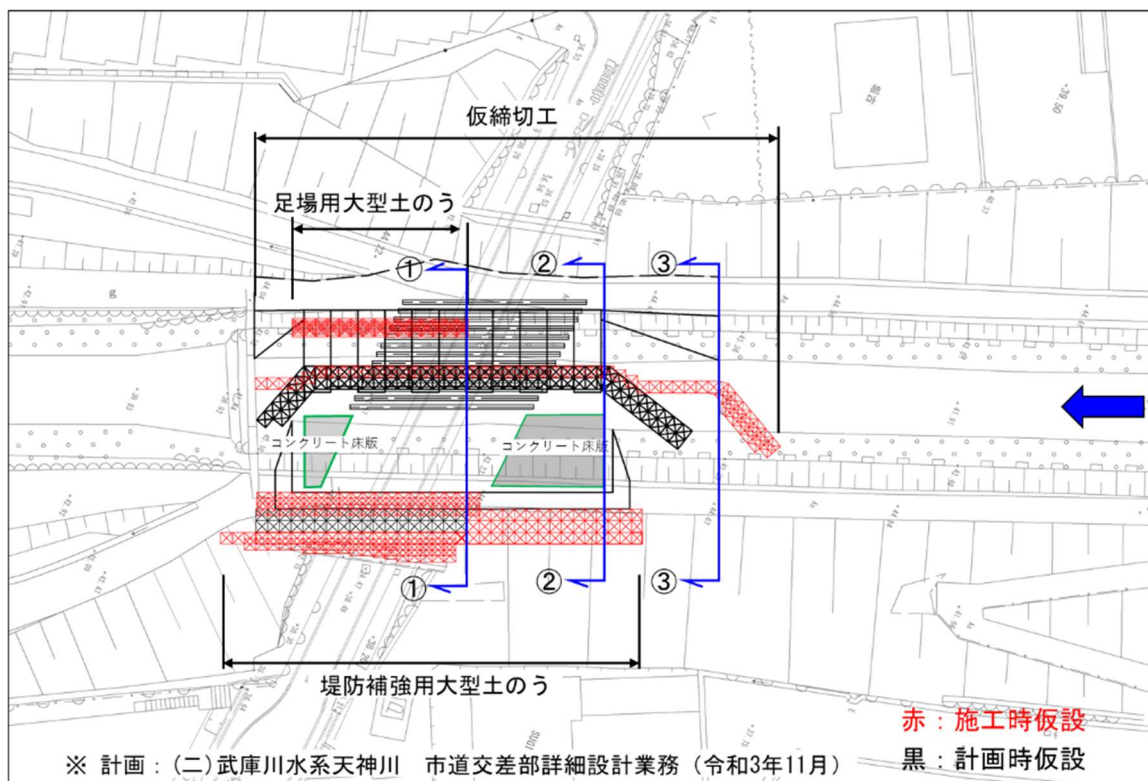


図-4.2 大型土のう平面図（計画と施工）

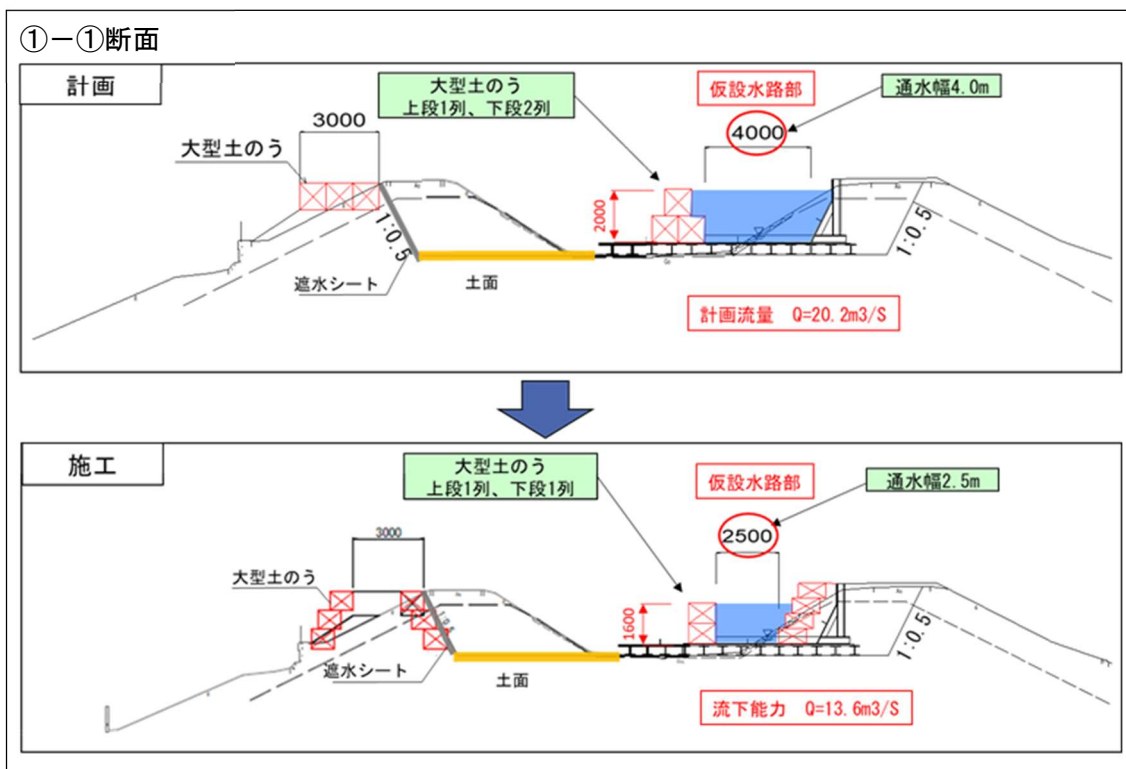


図-4.3 横断面 (①-①断面)

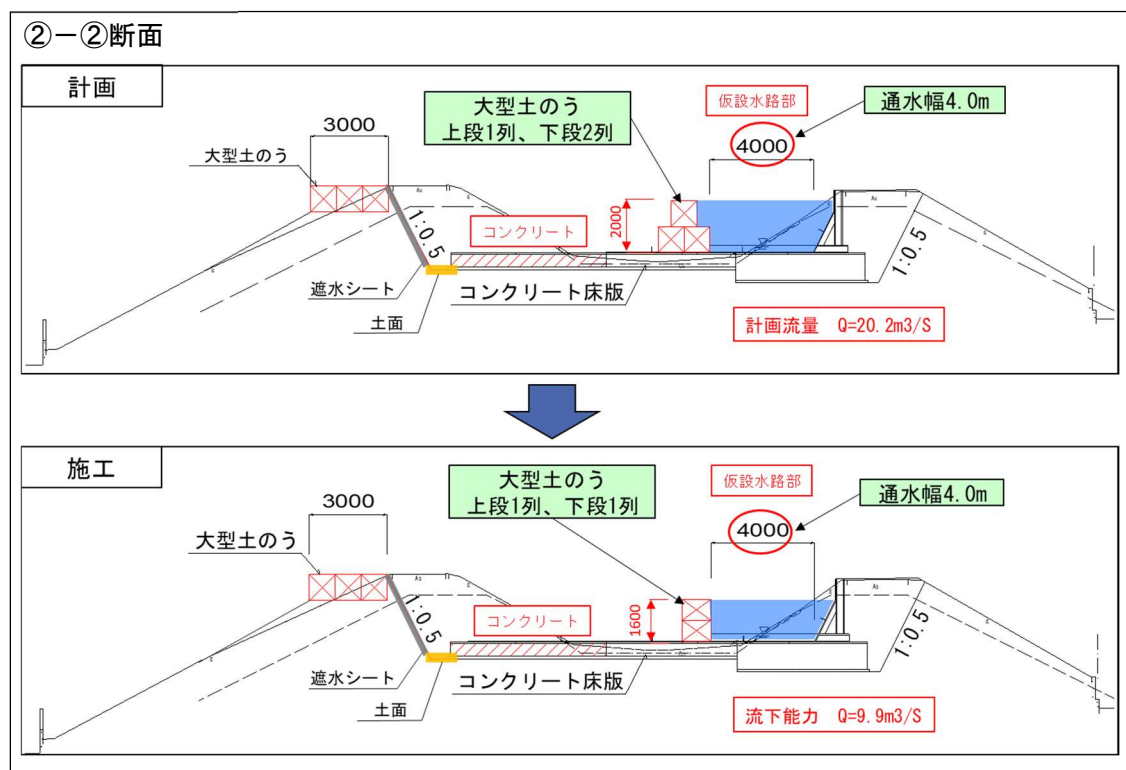


図-4.4 横断面 (②-②断面)

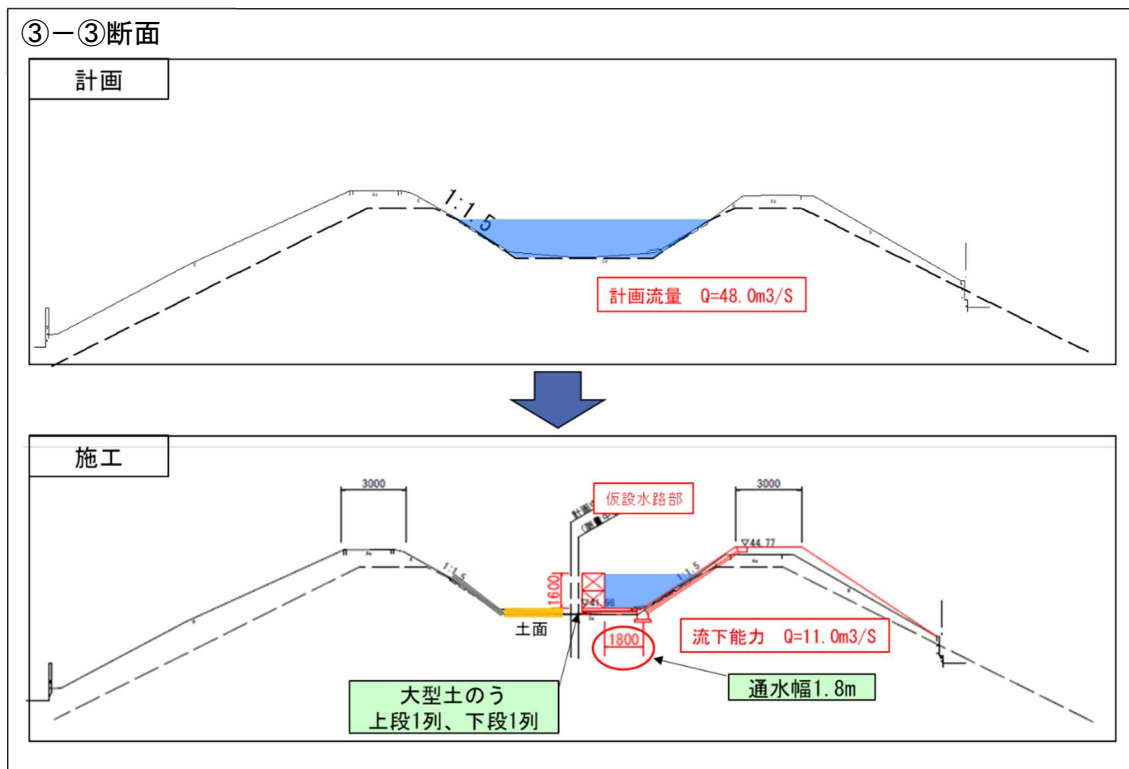


図-4.5 横断面図（③-③断面）

（３）流況再現計算

ア 一次元不等流計算モデルによる流況再現

河道水位は、一般に等流計算や一次元不等流計算により算定される。ここでは、仮締切工内の流下能力を確認するため、一次元不等流計算を実施した。河道条件については、①仮締切工は計画時断面、②仮締切工は施工時断面の２ケースとし、大型土のうの配置を踏まえて、断面変化に応じて計算断面を設定した。また、上流端流量については、伊丹市ライブカメラ映像から算出した流量ハイドロを用いた。一次元不等流計算の結果、7日23:30に仮締切工を越水し、目撃証言と一致した。

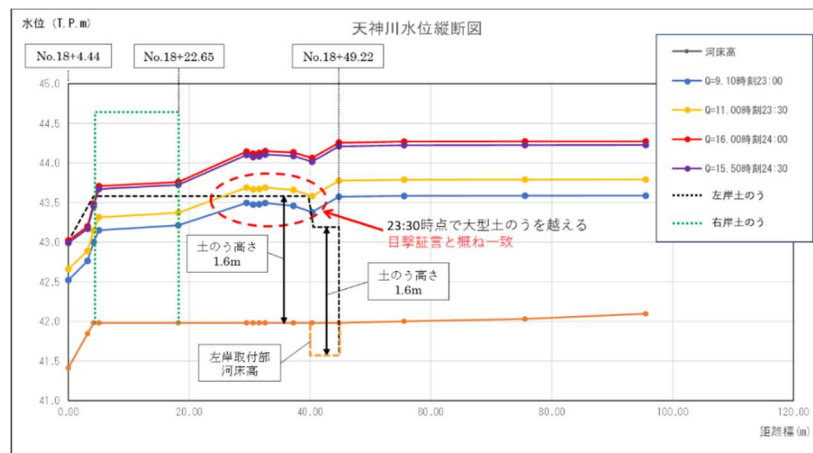


図-4.6 水位縦断面図（一次元不等流計算より）

イ 平面二次元不定流計算モデルによる流況再現

一次元不等流計算では仮締切工を越流した後の流況を再現することができないため、平面二次元不定流計算モデルによる流況再現を実施した。計算に用いた河道条件などは一次元不等流計算モデルと同様とし、解析のメッシュ分割は、土のうの大きさ(約 1m)を考慮して 50cm 程度とした。平面二次元不定流計算による流況計算と各時刻の目撃証言が一致することを確認した。

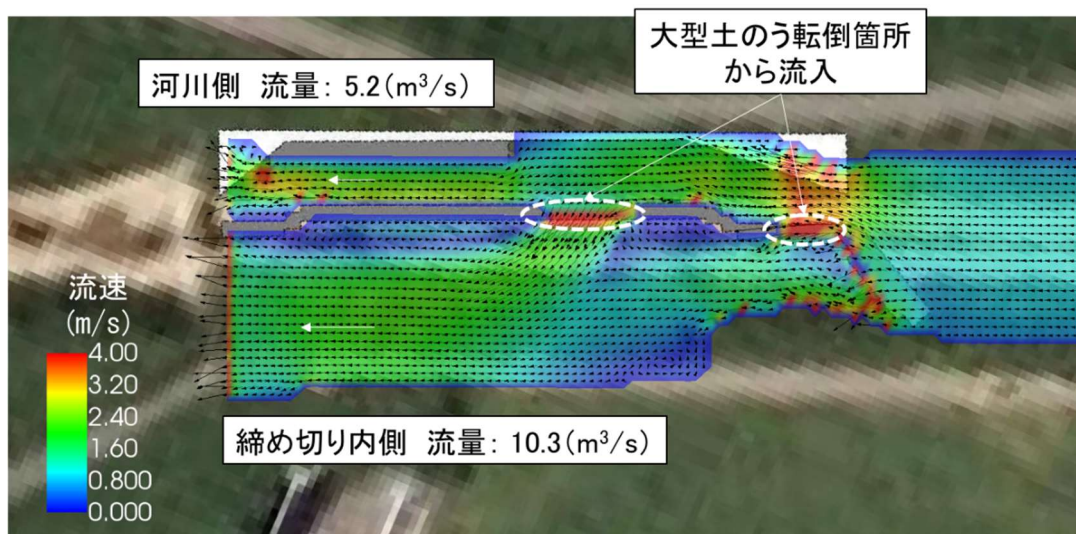


図-4.7 流況再現図 (5月8日 0:30 二次元不定流計算より)

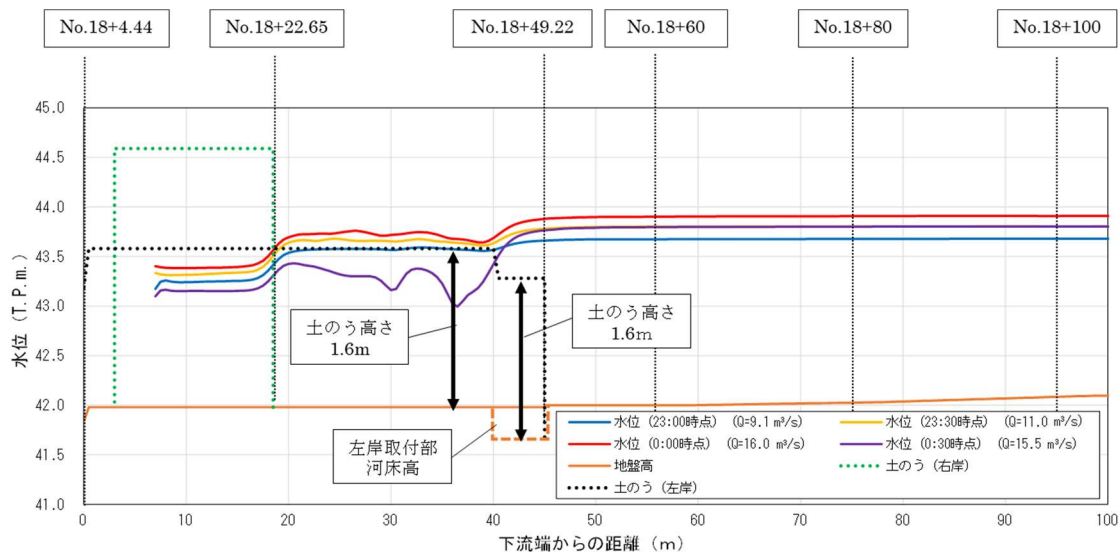


図-4.8 水位縦断面図 (二次元不定流計算より)

ウ 模型実験による流況再現

明石工業高等専門学校の神田名誉教授の指導により、水理模型実験を実施した。模型の縮尺は1/34とし、伊丹市ライブカメラから算出した流量ハイドロを用い、水位を計測した。水理模型実験から得られた水位と平面二次元不定流計算モデルの計算水位は概ね一致しており、被災現場の流況を精緻に再現することができた。水理模型実験及び平面二次元不定流計算モデルによる流況再現から伊丹市ライブカメラ映像による流出量（ピーク流量 $16.0\text{ m}^3/\text{s}$ ）の算定や目撃証言の流況が精緻に再現できたと判断した。なお、これらの解析結果などから施工時における仮締切工内の流下能力は $9.9\text{ m}^3/\text{s}$ であることが確認できた。



写真-4.1 水理模型実験 ($Q=16.0\text{ m}^3/\text{s}$: ピーク時)

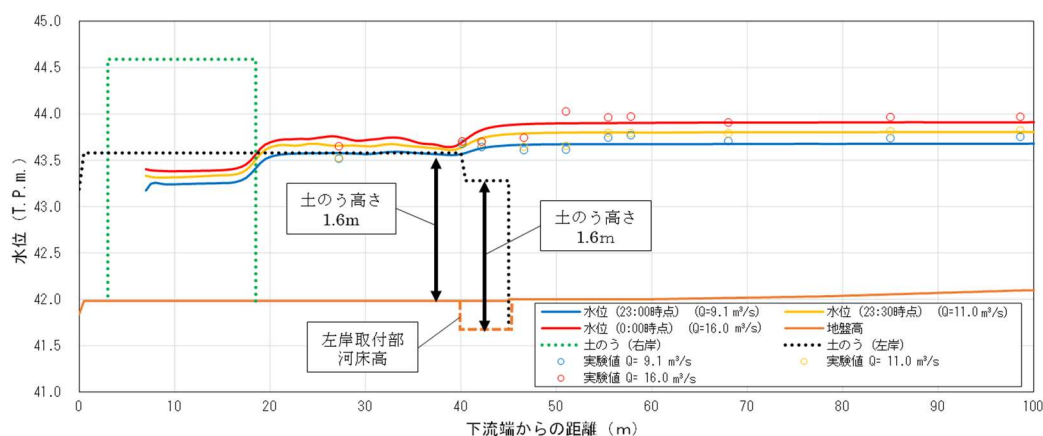


図-4.9 水位縦断図 (水理模型実験と二次元不定流計算との整合)

(4) 大型土のうの安定性

ア 施工時 (1列2段積み) の安定性

大型土のうの安定性については、「耐候性大型土のう積層工法 設計・施工マニュアル」を参考に安定計算を行った。大型土のうの重量は、間詰材として利用した購入土の材料試験結果に基づき設定 (15.4 kN/m^3) した。

大型土のうに与える外力は、目撃証言において、8日0:25頃にNo. 18+20、No. 18+40 付近で大型土のうの転倒が確認されていることから、同時刻の平面二次元不定流計算モデルから得られた水深（仮締切内 0.66m、外水深 1.75m）とした。1 段目と 2 段目の大型土のうの袋体間については、滑動、転倒とも安定しているが、大型土のうの底面では滑動、転倒とも不安定となる結果となった。

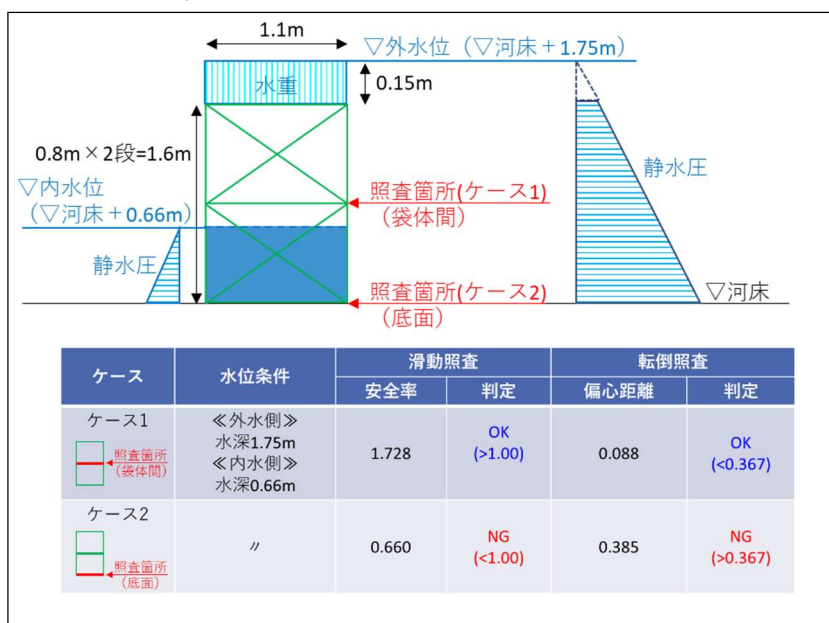


図-4.10 大型土のう安定性の照査（1 列 2 段積み）

イ 計画時（2 列 2 段積み）の安定性

計画時の大型土のうの安定性についても、施工時と同様の安定計算を行った。安定計算の結果、滑動及び転倒に対する安定性を有していることが確認できた。

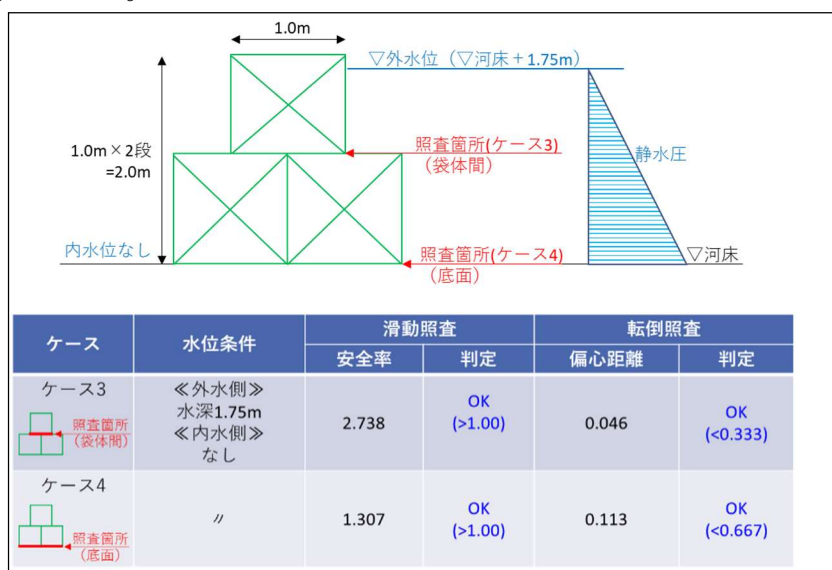


図-4.11 大型土のう安定性の照査（2 列 2 段積み）

(5) 浸透流計算によるパイピング破壊の再現

ア 土質調査の実施

既往の詳細設計業務においてボーリング調査や浸透解析が実施されているが、透水係数については室内試験結果による推定値であることから、精緻に現場の地質条件を確認するため、堤体盛土の現場透水試験を2カ所で行った。また、浸透流計算に必要となる地質想定断面を精緻に確認するため、地質ボーリング調査を2カ所で行った。堤体盛土部の粒度試験結果では60%粒径は1.42mm～18.8mmであり、中礫に相当し、透水係数は $1.28 \times 10^{-4} \text{m/s}$ であった。

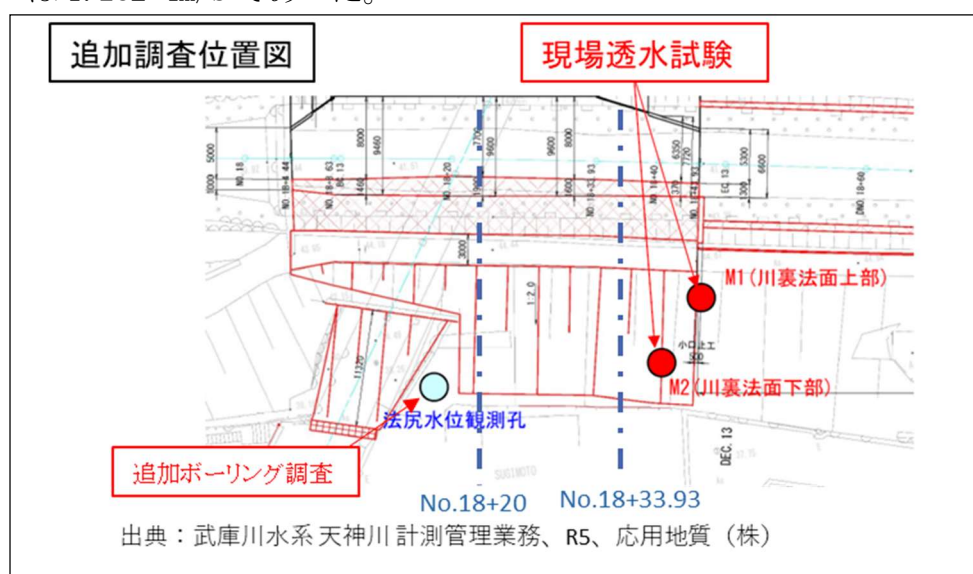


図-4.12 ボーリング調査位置図



写真-4.2 ボーリングコア写真

イ 二次元浸透流計算の実施

土質調査から得られた土質の性状、透水係数を用いて二次元浸透流計算によりパイピング破壊について検証を行った。検討位置は、パイピングが生じた隧道部左岸堤防部（ケース1）及びその上流側の左岸堤防部（ケ

ース 2) とした。堤防への外力条件については 5 月 7 日からの流域平均雨量と 5 月 7 日 23:00 仮締切工から越流が開始した時点から二次元不定流計算より算出した仮締切工内の水位とした。浸透流計算の結果、隧道部左岸堤防部 (ケース 1) において、8 日 0:25 に左岸川裏側堤防法面中腹の小段部の局所動水勾配が限界動水勾配を上回りパイピングが生じたことと考えられた。これは目撃証言とも一致しており、堤防決壊の原因と考えられる。

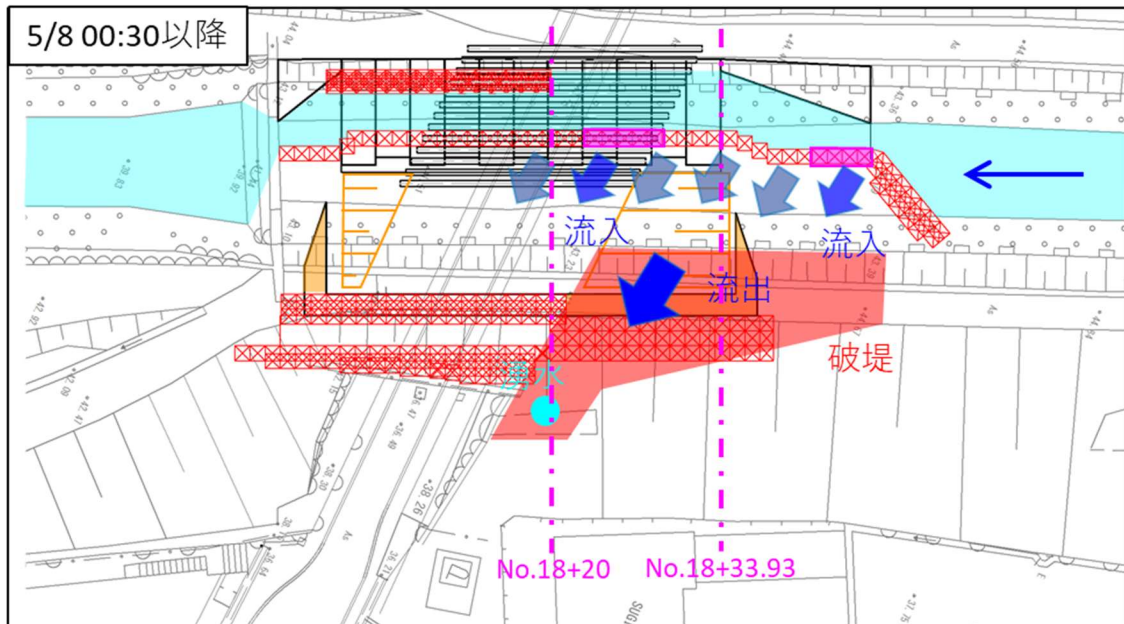


図-4.13 平面図 (浸透流計算)

表-4.1 外力条件表

| 段階 | 時刻 | 被災時の状況 | 仮締切工内水位 (m) ※1 | |
|----|----------------|---|----------------|------------|
| | | | No18+20 | No18+33.93 |
| 初期 | ~5/7 23:00迄 | 仮締切工内、流水なし | 0.00 | 0.00 |
| ① | 5/7 23:00 | 仮締切工上流から越流開始 | 0.78 | 0.85 |
| ② | 5/7 23:30 | No18+20付近、越流開始 | 0.92 | 1.01 |
| ③ | 5/7 23:40 | 越流範囲の拡大 | 0.99 | 1.09 |
| ④ | 5/8 00:00 | 仮締切工内水位の上昇 | 1.08 | 1.16 |
| ⑤ | 5/8 00:25 | 仮締切工内水位のピーク No18+20付近、法面中腹 でパイピング | 1.17 | 1.23 |
| 最終 | 5/8 00:30 | No18+20付近で破堤 | 1.15 | 1.20 |

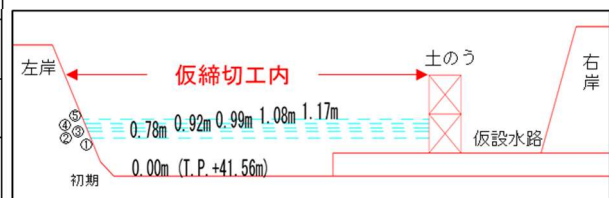


図-4.14 断面図 (No. 18+20)

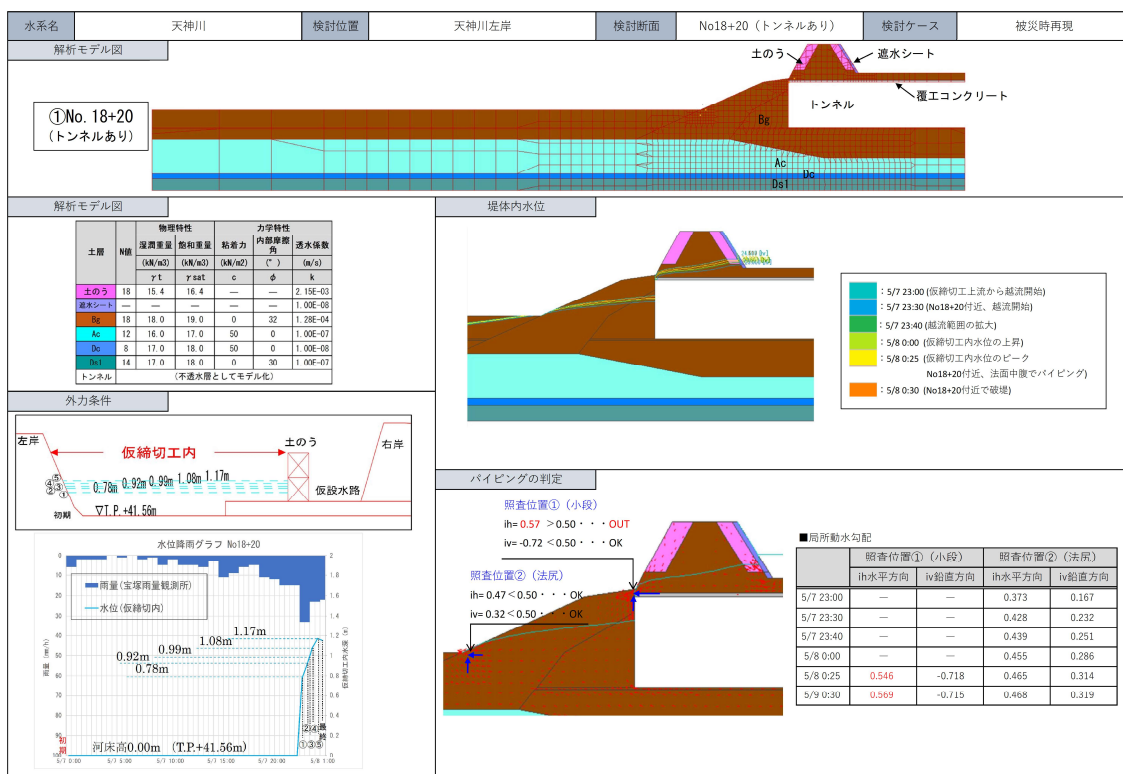


図-4.15 浸透解析結果 (ケース 1 : No. 18+20)

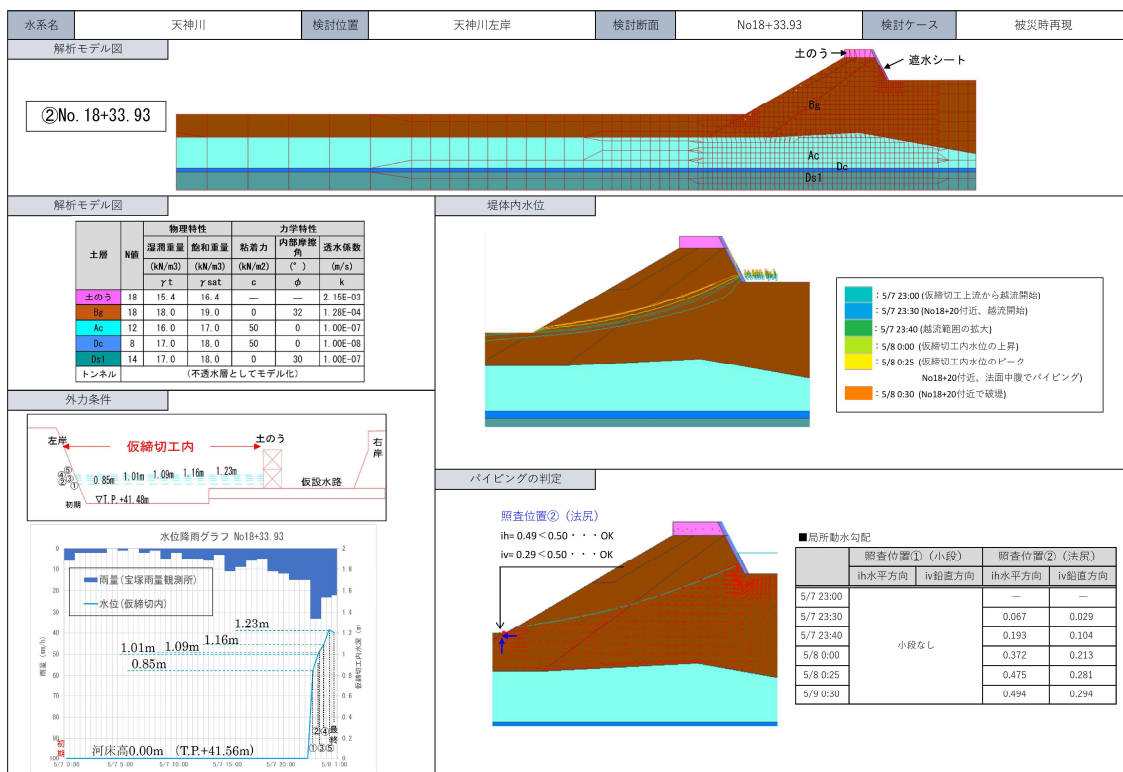


図-4.16 浸透解析結果 (ケース 2 : No. 18+33.93)

5. 氾濫災害の発生要因

(1) 堤防決壊の原因

前節までの検討結果を基に、令和5年5月7日～8日の出水による堤防の決壊原因は次のように推察される。

- ア 令和5年5月7日～8日の時間雨量は、宝塚雨量観測所で33mm/hr(5月過去2位)、伊丹雨量観測所で23mm/hr(5月過去4位)、多田院雨量観測所(5月過去2位)で5月の時間雨量としては強い雨であったが、被災箇所の流域平均雨量が29.4mm/hであり、本工事で想定している雨量(30mm/hr)と同程度であった。
- イ 流出量の推定結果より、被災現場のピーク流量は5月8日0:00、16.0m³/sと推察される。一方、当該区間の流下能力は50.0m³/sであり、工事を実施していなければ安全に流下させることができた。
- ウ 仮締切工は、近畿地方整備局設計便覧に基づき、非出水期間中の過去5年で第1位に相当する30mm/hrから流量20.2m³/sが流下できる通水断面が計画されている。一方、5月7日時点の河道状況は、施工ヤードを確保するためクレーン用の足場土のうなどを設置していたため、仮締切工内の流下能力は9.9m³/sとなり、仮締切工の大型土のうを越水したことで、一部が転倒し、仮締切工内に溢水した。
- エ 仮締切工内は、既設河床張コンクリートを剥離させた状態であり、容易に仮締切工内に流入した水が河床から堤防へと浸透できる状態であった。仮締切工内の流入は5月7日23:00頃に始まり、その後、仮締切工内の水位や堤体内の水位が上昇したことから川裏側堤防法面中段付近からパイピングが発生し、堤防決壊に至ったと考えられる。

(2) 氾濫災害の要因について

堤防決壊に至った複数の要因から原因を特定するため、①「雨量」、②「仮締切工の通水断面」、③「大型土のうの安定性」、④「河床の遮水性」に着目し、それぞれ条件を変えて、シミュレーションを実施した。

堤防決壊の要因としては②「仮締切工の通水断面」、④「河床の遮水性」のいずれかが適切に出来ていれば堤防の決壊を防ぐことが可能であったと考えられる。

「仮締切工の通水断面」については、施工時の受発注間の確認不足。「河床部の遮水性」については、詳細設計など計画時の配慮不足及び施工時の受発注間の確認不足が挙げられる。

6. 残工事の施工方法

前節の氾濫災害の発生要因を考慮し、安全対策に万全を期した上で、天神川堤防強化対策工事を再開する必要がある。

このため、残工事を施工するにあたり氾濫災害の要因を踏まえ以下の対策を講じ、施工を進めることとする。

(1) 仮締切工の通水断面

工事中は、コルゲートフリュームにより通水断面を確保する。

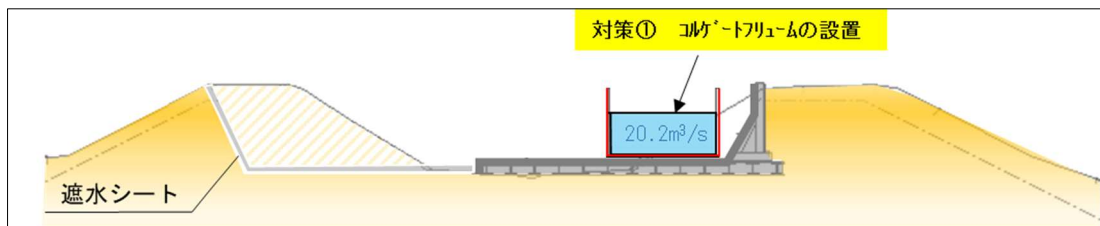


図-6.1 横断面図（通水断面確保）

(2) 河床の遮水性

工事中は、工事に支障がない範囲で遮水シートによる浸透対策を講じる。

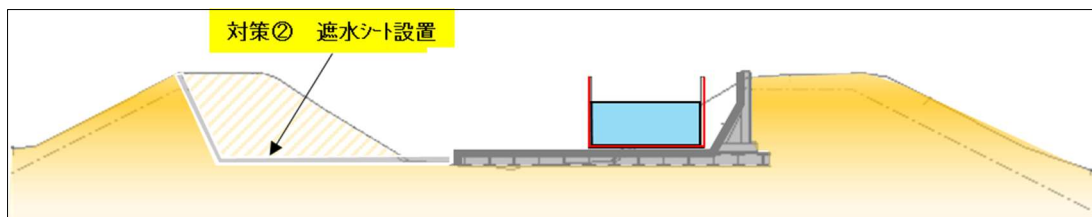


図-6.2 横断面図（遮水対策）

(3) 堤防の安全性の確保

「仮締切工の通水断面」「河床の遮水性」、の対策に加え、容易に浸透破壊する天井川の特徴や堤防下にボックスハートを設置する工事の難易度を考慮し、万一に備え、新たに仮堤防を設置する。

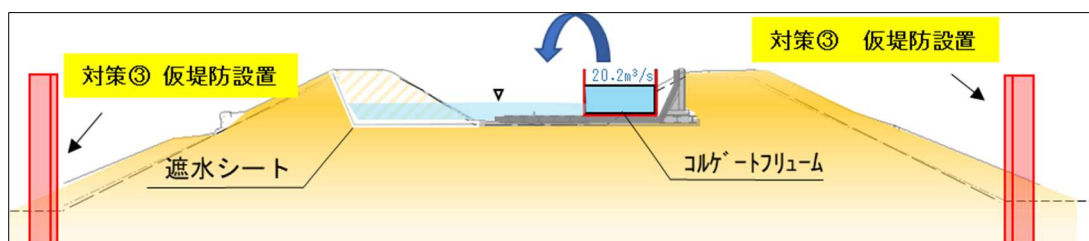


図-6.3 横断面図（堤防の安全性確保）

7. 今後の安全な河川工事のあり方

(1) 降雨の激甚化による施工時期の検証

近年、異常気象は激甚化・頻発化し、長期的な傾向として雨の降り方が変化しており、施工リスクが増加している。そのため、今回の氾濫を受け施工時期の検証を行った。

しかし、R5 年 5 月 7 日～8 日の降雨については想定内の降雨量であったこと、非出水期中（11 月～5 月）の降雨発生回数は 5 月が最多であるため、5 月降雨に着目した結果、今回の工事で想定していた 20mm/h 以上降雨についても 1964 年の統計開始以降、発生回数が少なく顕著な傾向が見られなかったため、今回の降雨に伴う施工時期の見直しを行わないこととした。

施工時期の検証のため、とりまとめた降雨特性は次のとおり。

ア 異常気象の激甚化、頻発化（全国の傾向）

「1 日の降水量が 200 ミリ以上の大雨を観測した日数は、1901 年以降において有意な増加傾向にあり、その最初の 30 年と直近の 30 年とを比較すると、約 1.7 倍に増加している。また、1 時間降水量 50 ミリ以上の短時間強雨の発生頻度は、1976 年以降の統計期間において有意な増加傾向にあり、その最初の 10 年と直近 10 年を比較すると、約 1.4 倍に増加している。」（令和 4 年版 国土交通白書 抜粋）

イ R5 年 5 月 7 日～8 日の降雨について

5 月としては、過去 2 番目（宝塚観測所：最も近い雨量観測所）の時間雨量を観測したが、計画時の想定時間雨量は 30mm/h（想定流量：20.2m³/s）であり、今回の流域平均雨量の最大時間雨量は 29.4mm/h（算定流量：16.0m³/s）であった。そのため、5 月の時間雨量としては、強い降雨であるものの、想定内の降雨である。

ウ 非出水期（11 月～5 月）の雨量特性（過去からの傾向）

天神川の氾濫災害箇所にもっとも近い宝塚雨量観測所で、非出水期の降雨の平均月間発生回数を 10mm/h、15mm/h、20mm/h、25mm/h、30mm/h 毎に統計開始の 1964 年から 2020 年までの 56 年間で整理した結果、全ての降雨において 5 月が最多である。

表-7.1 非出水期の雨量特性（宝塚雨量観測所）

| 雨量観測所 | 観測月 | 平均月間発生回数（1964年～2020年） | | | | |
|-------|-----|-----------------------|------------|------------|------------|------------|
| | | 10mm/h以上降雨 | 15mm/h以上降雨 | 20mm/h以上降雨 | 25mm/h以上降雨 | 30mm/h以上降雨 |
| 宝塚 | 11月 | 0.60 | 0.18 | 0.07 | 0.04 | 0.02 |
| | 12月 | 0.25 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.02 |
| | 1月 | 0.07 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| | 2月 | 0.26 | 0.07 | 0.04 | 0.00 | 0.00 |
| | 3月 | 0.58 | 0.11 | 0.04 | 0.00 | 0.00 |
| | 4月 | 1.04 | 0.28 | 0.12 | 0.05 | 0.02 |
| | 5月 | 1.63 | 0.63 | 0.14 | 0.05 | 0.02 |

エ 5月の雨量特性

宝塚雨量観測所において、今回の工事で想定していた 20mm/h 以上降雨に着目すると統計開始の 1964 年から 2020 年までの降雨平均月間発生回数の増加傾向は見られない。

また、兵庫県内の各県民局に近接した雨量局毎で整理した結果、宝塚雨量観測所と同様に増加傾向は見られなかった。

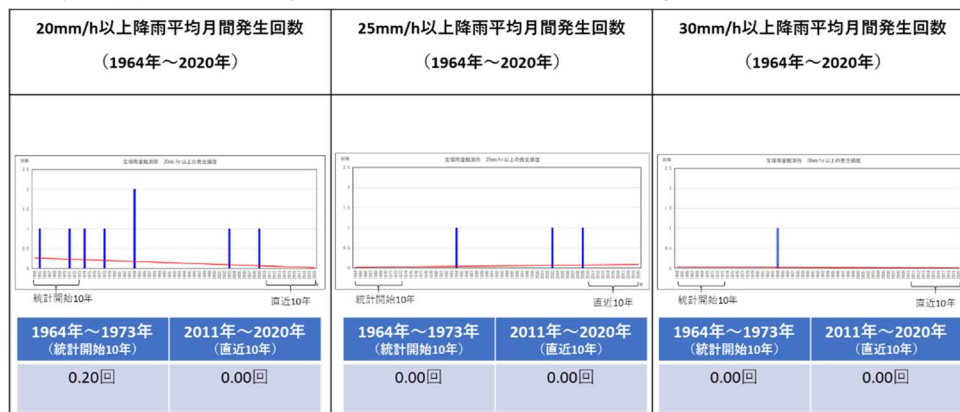


図-7.1 5月の降雨平均月間回数（宝塚雨量観測所）

(2) 再発防止への取組み

今回の河川工事は極端な天井川の形状となっている河川で行われ、堤防から洪水が溢れることなく、パイピング現象によって浸透破壊に至っており、氾濫をもたらしたした点では、一般的な河川とは異なっていた。

また普段は水が流れていないことで、その特殊性を見いだすことは難しく、通常の河川工事とは異なる困難性があった。そのため、河川工事に対する一定水準の経験や専門的知識、専門的な識見を要する工事であったと考えられ、この氾濫災害を教訓に、より安全に河川工事ができる環境の構築を講じておく必要がある。

これらのことを踏まえ、再発防止対策を以下のとおりとりまとめた。

(図-7.2 参照)

ア 高い技術力を有する土木技術職員の育成

河川工事を計画段階から設計、施工に至る一連の業務を一貫して経験させることで、河川工事に対する一定水準の経験や専門的知識を有する職員を育成する。また、今回の事案について職員との対面による意見交換会の実施や県土木技術職員に研修を実施することとする。

イ 河川技術検討会の設置

一般的な河川とは異なる天井川などの難易度が高い河川工事は、一定水準の経験や専門的知識、専門的な識見を要するため、学識者や外部専門家からアドバイスを受け、設計を進めることとする。

ウ 設計・施工技術連絡会議（三者会議）の実施

氾濫要因の一つである「仮締切工の通水断面」が計画より小さかったこと、過去（平成 30 年 12 月 16 日）に漏水実績があったことなど、施工時の現場確認や受発注者間の情報共有が不足していた。

このことを踏まえ、「河川技術検討会」を開催した河川に係る難易度の高い工事については、発注者、設計者、受注者の三者で設計思想、条件及び施工上の課題等について、工事着手前に必ず情報共有を行うこととする。

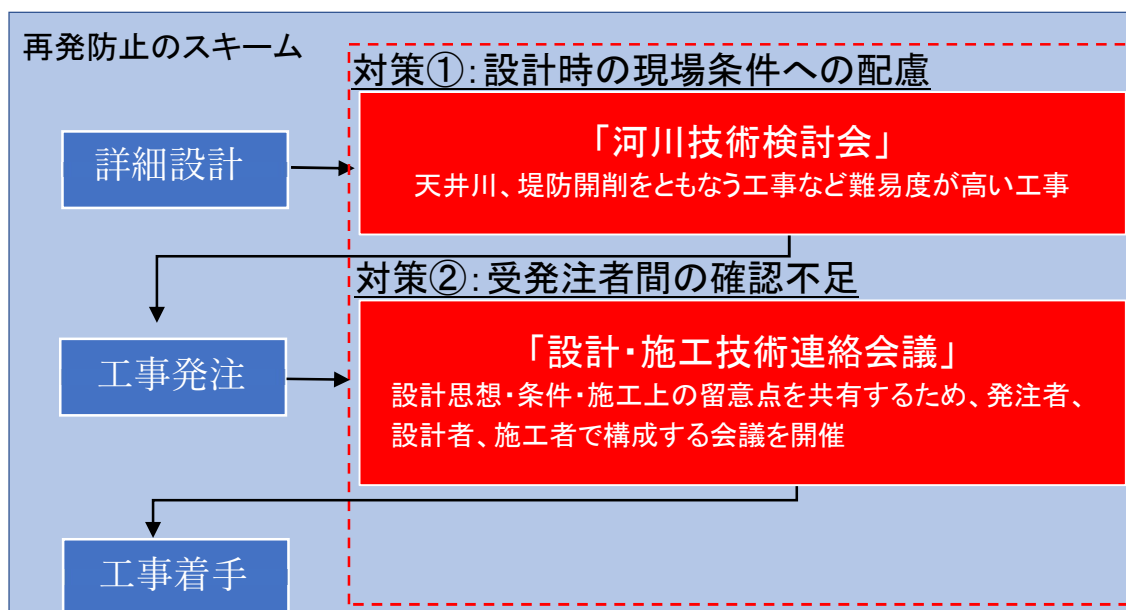


図-7.2 再発防止スキーム図

【参考】

天神川氾濫災害調査委員会の経緯

(1) 第1回

- ①日 時：令和5年6月8日(木) 14時～15時50分
- ②場 所：兵庫県民会館7階「鶴」
- ③内 容：1) 氾濫に係る事実確認

(2) 第2回

- ①日 時：令和5年7月21日(金) 9時30分～11時10分
- ②場 所：兵庫県民会館7階「亀」
- ③内 容：1) 氾濫事象の再現

(3) 第3回

- ①日 時：令和5年8月7日(月) 14時～15時15分
- ②場 所：兵庫県民会館7階「亀」
- ③内 容：1) 氾濫災害の発生要因（計画、施工、雨量）

(4) 第4回

- ①日 時：令和6年5月16日(木) 14時～15時
- ②場 所：神戸市教育会館「501」
- ③内 容：1) 残工事の施工方法
2) 今後の安全な河川工事のあり方

天神川氾濫災害調査委員会の構成

| | | |
|-----|-------|------------------|
| 委員長 | 大石 哲 | 神戸大学都市安全研究センター教授 |
| 委 員 | 神田 佳一 | 明石工業高等専門学校名誉教授 |
| | 角松 生史 | 神戸大学大学院法学研究科教授 |