

日下川新規放水路における コスト縮減方策と事業進捗（中間報告）

高知河川国道事務所 工務課 穴山 光太
高知河川国道事務所 建設専門官 畑本 浩之

現在、床上浸水対策特別緊急事業（日下川）では床上浸水被害を防止するため、放水路トンネルを整備中である。約5.3kmと長大な放水路トンネルであり、多大な事業費が必要となることから断面的なFEM解析を行った構造の変更及び出水の実態を踏まえた放水路呑口部の設計を行うことで事業費コストの縮減を図った。コスト縮減方策の結果と鋭意施工中である新規放水路工事における現在までの進捗状況について報告を行う。

キーワード 検討部会有限要素法解析（FEM）、コスト縮減、事業進捗

1. 床上浸水対策特別緊急事業（日下川）の概要

高知県内を流れる一級河川仁淀川の河口から14.3kmの右岸に合流する日下川沿いに位置した日高村では、度重なる浸水被害が発生しており、これまでに派川日下川放水路（高知県）及び日下川放水路（国土交通省）の整備を行っている。しかし、平成26年8月に発生した台風12号により、国道の冠水や村の駅浸水など甚大な被害を受けたため、翌年「床上浸水対策特別緊急事業（日下川）」が採択され、床上浸水対策を行うこととした。また、国・高知県・日高村が連携して総合的に治水対策を推進するため平成27年3月に「日下川総合内水対策計画」を策定し、三者が連携した浸水対策を実施することとなった（図-1）。国では新たな放水路の整備を行うこととし、再度、台風12号と同等規模の洪水が発生した場合、想定される109戸の床上浸水が事業完成により解消することを目的とし、地域住民の安全で安心な生活のために一日でも早い整備を実施している。

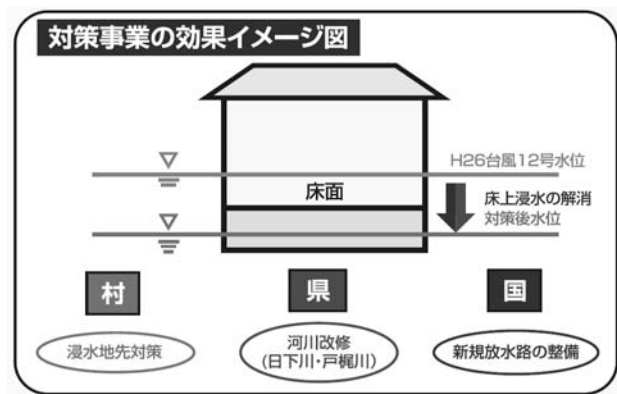


図-1 国・県・村が連携した総合内水対策計画

2. 日下川新規放水路工事の概要

通常の出水時には、日下川を流れる水は仁淀川本川に合流する。一方、洪水時に仁淀川本川の水位が上昇した場合は日下川へ逆流することを防止するため、仁淀川との合流部に整備されている神母樋門を閉鎖する必要がある。日高村の中央を流れる日下川の河床勾配は1/3,000程度と極めて緩やかな勾配であることから水はけが悪い傾向にある。また、氾濫域である平地部についても仁淀川合流部から上流にいくほど低い低奥型地形を形成しているため、内水氾濫を引き起こしやすい地形特性を有している。このような特性がある日高村は樋門の閉鎖により日下川を流れる水の逃げ道が無くなることで浸水被害を受けているため、仁淀川本川まで放水路を整備することによって浸水被害が軽減されることを目的としている（写真-1）。

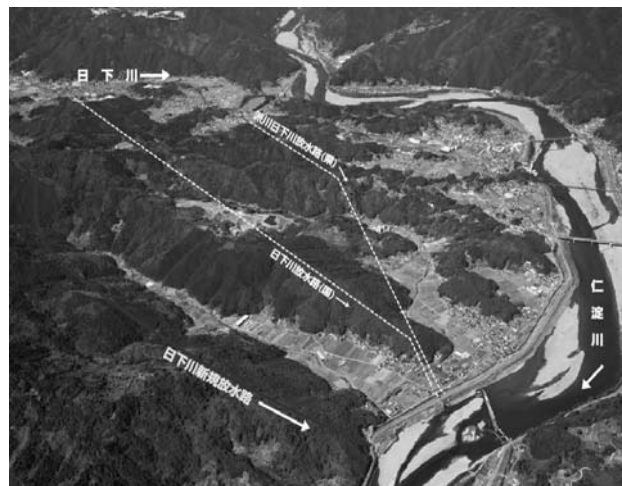


写真-1 既設放水路（2本）と新規放水路ルート写真

総合内水計画で国が整備することとした日下川新規放水路は全長約5.3kmにわたる水路トンネルである。新設の放水路は呑口側と吐口側の2件工事によって整備されており、NATM工法を用いて施工を行っている。両工事ともに作業坑を設置し、放水路本坑に向かって掘削を行い、本坑からは両サイドに2パーティーで作業を進めることで効率的な施工を実施している。掘削は地質状況により適宜変更しており、岩質が硬い地層ではダイナマイトによる発破掘削を実施している。また、特に坑口に近い箇所や土被りの薄い箇所においては近隣の建築物に対して騒音や振動が大きな値を示しており、高性能な仮設備を設置し、騒音を抑制したり発破時には制御発破を実施し、発破音を分散させることで住民等へ配慮した施工を行っている。

また、放水路全長においてほとんどの区間で地山が悪いことが想定されており、補助工法の併用で安全に施工を進めているとともに吐口側には地元の生活用水として高知県が整備した鎌田用水が放水路に対して直角に通っているため、工事中に悪影響を与えないための保護目的としてパイプーフ工を用いた施工を実施する計画としている（写真-2）。



写真-2 新規放水路と鎌田用水路の位置関係

3. 放水路工事におけるコスト削減内容

全長5kmを超える水路トンネルであり前述したとおり様々な配慮を実施しながらの施工となれば、多大な整備費用となるため、施工性に配慮しつつ可能な限りコスト削減を実施する必要がある。そこで仁淀川流域学識者会議をもとに設計に対する削減策の提案・助言を行う「仁淀川床上浸水対策特別緊急事業検討部会」を設け、学識者と意見を交わした（図-2）。検討部会は計2回行われ、1回目は事業の概要・課題の説明を行い、2回目においてコスト削減策の検討を行った。一方で削減策の提案以外に設計、施工計画の妥当性についても検討し、施工面での配慮や安全性も同時に適切な事業進捗となるための管理を行った。

検討部会では、トンネル断面のアーチ部に採用してい

た鉄筋構造とインバート部のコンクリート強度について当初設計内容からより高度な検討を行うことで無筋化が実現する可能性があるとの助言を受けた。また、検討部会後には近年の出水における実態を踏まえた放水路の呑口側の構造についても平面形状及びスクリーン面積の精査を行うことでコスト削減を可能とする設計が実現した。

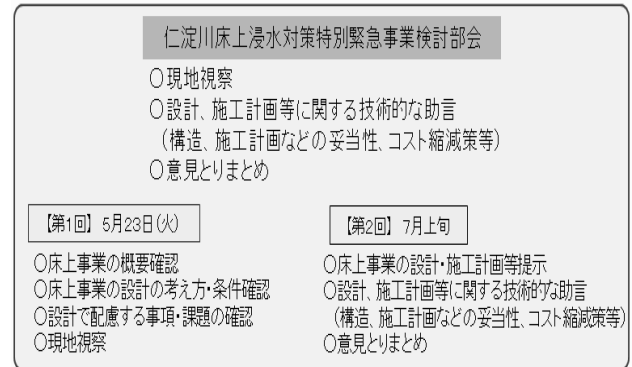


図-2 床上検討部会の内容の流れ

(1) トンネル断面の両端下部における無筋化の検討

昭和57年に国が整備した日下川放水路トンネルについて、水枯れが発生し農業用水や飲料水等、トンネル周辺の水利用に大きな影響を与えた過去がある。そのため、トンネル工事中は中央排水を設けて施工するものの整備後は、水枯れを防ぐため中央排水を閉めて地下水位を元の状況まで回復させる設計が必要であった（図-3）。

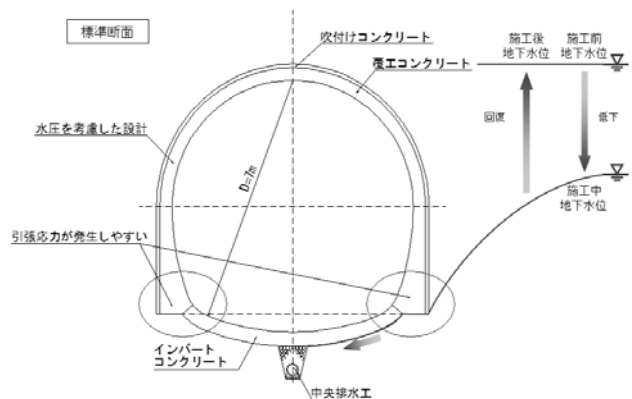


図-3 当初設計における有筋構造断面

放水路トンネルは道路トンネルよりも一般に施工基盤が低いため周辺から地下水圧の影響を受け、断面の両端下部において引張応力の発生が考えられた（図-4）。当初設計段階では内水圧に対する断面検証を行う際に、覆工厚と内空幅の比及び岩盤の弾性係数から引張応力を算出し、鉄筋の必要性について照査を行った。また、外水圧に対する断面検証としては骨組解析を用いて鉄筋照査を行い、引張応力が作用するアーチ部とインバート部の接続部において鉄筋が必要との結果になった。

上記の設計思想について第1回検討部会で討論を行った結果、学識者から骨組解析よりも精度が高い有限要素法解析（FEM）を用いて軸方向力や圧縮力等も解析する

ことで鉄筋が不要となり、コスト縮減が図れる可能性があるとの技術的提言を受けたことため、FEM解析を行い有筋構造から無筋構造に変更するためにアーチ部及びインバート部のコンクリート厚の検討を行った。なお、アーチ部については施工中の工事車両の離合幅を考慮し、両端下部において地盤面に直線的に掘削する計画であったためコンクリート厚が他の部分より強靱な構造となっていることから厚さの変更はせずにFEM解析を行った。一方、インバート部は当初の設計条件である35cmから40cmに変更し、有筋構造時より許容応力を大きくして解析を行ったが外力のほうが大きくなりNGとなった。その後、インバートは45cmで解析を行うと満足する結果となり、断面構造が確定した。断面の変更に伴い、インバートの打設厚は10 cm増え、コンクリート量が追加となったものの鉄筋量が約2,800t削減され、約500百万円の縮減に繋がったと考えられる。

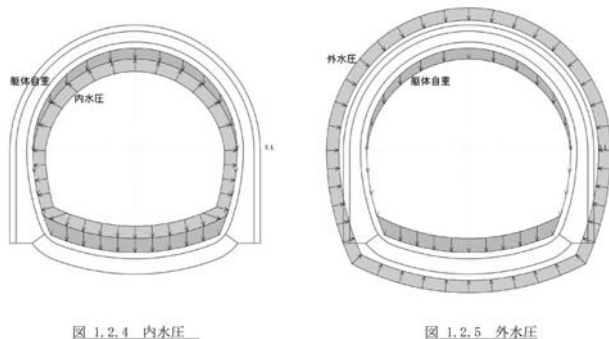


図4 作用する荷重モデル

(2) 放水路呑口部の平面形状の検討

放水路呑口部の導水路箇所について、設計思想としては、既設放水路の構造に倣った設計条件を基本としている。また、平面二次元の流量解析を行い洪水時の水の流れや流量・流速等の検討を行った結果、呑口護岸形状については八の字形にすることで既設放水路と一体化され、より安全に水を流せる計画とした。加えて護岸線形を広げることによって隣接する地山に近づくことになり、山側に近づくにつれて支持層が浅くなることから固い地盤を活かした基礎構造とし岩着させることでコストを抑えた設計が可能との思想であった。しかし、当初計画段階からコスト縮減に配慮した設計を実施してきたが、同時に呑口部で行っていた地質調査において指定基準値を超えるヒ素、フッ素、鉛の重金属が確認された。重金属を含んだ土砂は当時の土壤汚染対策法に基づき適正に処理する必要があるため、処分場へ搬出することで計画段階では予想できなかった多大なコストの増大に繋がることが判明した。現計画段階では8万m³の掘削を予定していたが、地質調査の結果を踏まえ発生土砂の処分量を減らし、事業全体のコスト縮減を図る必要が生じた。

処分量を減らすための設計案として八の字で開いていた護岸形状を左右ともに約20°ずつ縮めて正面スクリー

ンに対して直角にすることによって発生残土量を削減することができると考えた。しかし、同時に水利上の制約条件にも留意する必要があるため、再度流況解析を行い精査しながら検討を進めた(図-5)。

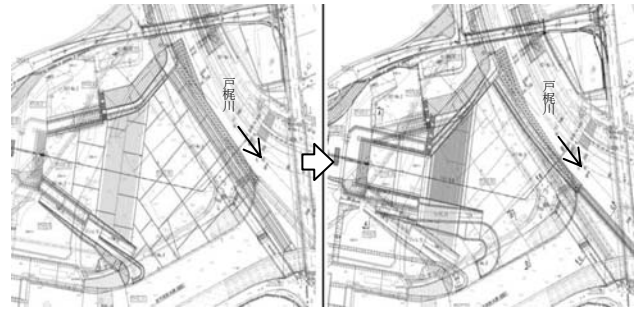


図-5 呑口部の平面形状変更図

流況解析の精査内容としては、当初の八の字形の護岸に対して流入河積が減少することから新規及び既設放水路の分派直後断面及びスクリーン流入の直前断面において評価を行った。当事業で設定されている許容湛水位以下の流入口の河積は約538m²となっているが、分派直後の断面では約554m²の河積が確保できており満足する結果となった(図-6)。また、スクリーン直前断面においても導水路幅を既設と同じ20mで設定しているため、流入河積も同じになり問題ないと考えた。

直角形状の護岸に変更することによって約10,000m³の発生土量を削減することができ、重金属を含んだ土としての処理費用も抑えられることから約170百万円のコスト縮減が図れる見込みである。

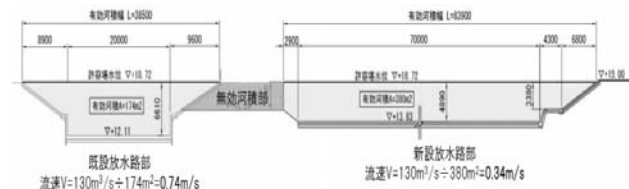


図-6 分派直後の河積検断面

(3) サイドスクリーン面積縮小の検討

通常時は水が流れていない導入路部であるが、洪水時には河川の水位が上昇し、上流から多くの塵芥が流れてくる。既設の放水路には入り口部に塵芥の混入を防止するためにスクリーンを設置しており、除塵機により塵芥を集積できる構造としている(図-7)。

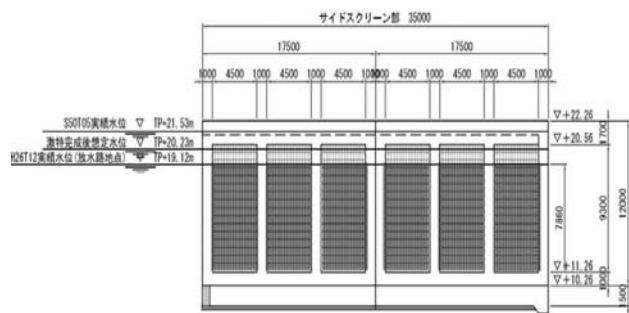


図-7 水路のサイドスクリーン展開図

新規放水路についても今後の大規模な出水に備えて既設のスクリーンに合わせた設計をしていたが、平成26年台風12号の洪水で既設放水路のスクリーンに流入した洪水は実績最高内水位以下で約590m²であった。また、この台風12号が襲来した際には、除塵機が一時的に停止していた時間があったことが判明し、本来の放流能力よりも低い状態が続いていたことが予想される（図-8）。このような水位が上昇しやすい状況であり、浸水被害を出したにも拘わらず、既設のスクリーン面積の全体が浸水したわけではないことが明らかとなった。また、新規放水路に計画しているスクリーン全体の面積が640m²であることに対して既設放水路のスクリーンに流入した洪水の浸水面積の方が小さいことを考えると新規放水路のスクリーン面積について縮小できる可能性があるとして検討を行った。

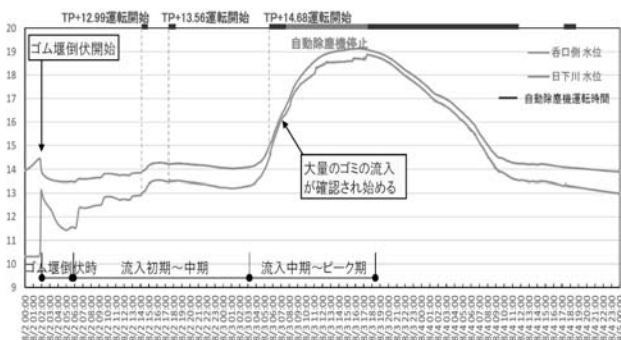


図-8 H26.8 台風12号流入部における水位グラフ

新規放水路が整備されることによって塵芥の流入も配分されることから放流能力の向上が期待された。また、台風12号時の実態から塵芥等が本格的に流入し始める水位はTP+14.5m程度であることが判明し、当時に自動除塵機が運転を開始したTP+13.0m程度の水位から塵芥が詰まったとしてもTP+13.0m以下の部分から通水は可能である。上記の条件を踏まえ、当初設計ではサイドスクリーンは17.5m×2スパンの全長35mであったが1スパンのみとした時のTP+13.0m以下のスクリーン面積を算出すると約126m²となる（図-9）。これはトンネル断面積の40.6m²以上確保できており、1スパンのみでもスクリーン部においてボトルネックになることはないことが想定された。

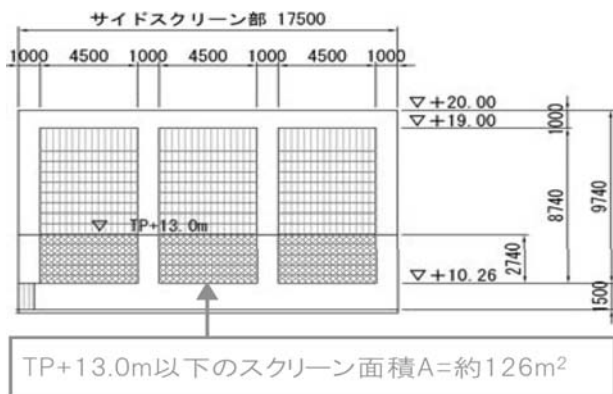


図-9 H26.8 台風H2612号流入部における水位グラフ

この結果、当初設計からサイドスクリーンの施工面積の半減により、約93百万円の削減が実現したと考えている。

4. 現在までの事業進捗

日下川新規放水路は、令和元年6月中旬時点において呑口部作業坑が完了し、本坑は呑口側に89m、吐口側に463mまで掘削している。また、吐口部は作業坑が7月から着手する予定である。着手前の懸念事項であった呑口側の騒音・振動対策については、防音パネル等で仮設備ヤード全体を囲んだり、トンネル作業坑口に高性能な二重の防音パネルを施工し、周囲の住民に対して配慮しながら施工を進めることができている。また、近年ではあまり例が見られない施工であることから地元高校、大学などの教育機関や、JICA、建設業に従事する方々の勉強の場として活用されている。そして、地元に対しての説明会や近傍幼稚園児との交流なども積極的に実施し、地域の理解を得ながら事業を進めている（写真-3）。



写真-3 新規放水路呑口部における現場見学会の様子

5. まとめ

日下川新規放水路では設計段階に加え、受注者からの提案により、施工段階においてもトンネル坑外のLED照明化や車両回転場掘削断面の見直しが図られており、より一層のコスト削減に務めている。また、自動停止油圧ショベルの導入を行い効率的な工事の推進に努め、工期短縮につなげることで機械のリース費用の低下などにも配慮している。

放水路トンネルは、施工位置が地中深くになることや、一般的な道路トンネルより断面が小さく、作業スペースが十分に確保できないことから、突発的な湧水による崩落や作業効率の悪化が懸念されている。地盤や地質の状況を確認しつつ専門家などの意見を伺いながら安全で効率的な施工に努めていく。

参考文献

平成27-28年度 新日下川放水路詳細設計業務
仁淀川床上浸水対策特別緊急事業検討部会 報告書