耳川水系総合土砂管理計画と山須原ﾀﾞﾑ改造計画
(Ⅱ.仮締切下部の構造上の特徴とその計画・施工の概要について)

九州電力株式会社　耳川水力整備事務所:正会員　川上　馨詞
前田建設工業㈱　九州支店:本間　誠一，正会員　眞岸　徹，正会員　○吉田　宏三郎

1.はじめに

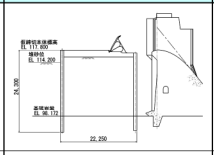
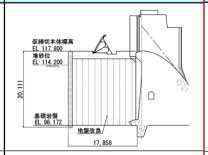
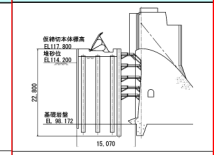
宮崎県の耳川水系は，平成 17 年 9 月台風 14 号により大きな被害を受けた.本工事は，耳川水系で実施されている総合土砂管理計画の中核をなすﾀﾞﾑ通砂運用を目的とした，山須原発電所ﾀﾞﾑの改造工事である. 改造では，既存の 8 門のｹﾞｰﾄの中央 2 門を撤去し，堤体を 9.3m切り下げ大型の1門のｹﾞｰﾄを設置する[1)]. 堤体取り壊し工事に先立ち，鋼管矢板を基本構造とした下部工と，仮設ｹﾞｰﾄ(SR 堰)の上部工からなる仮締切を設置する. 以下，山須原ﾀﾞﾑのﾀﾞﾑ改造の内，仮締切下部工の計画・施工の概要について紹介する.

2.仮締切下部工の構造上の特徴と施工

(1)締切仕様の検討と構造上の特徴

仮締切下部工は，比較検討(表-1)の結果，工期・工事費ともに優位な一重締切案を採用した. また，この構造形式は，設計洪水量(3,387m^3/s)を設計洪水水位以下で流下可能であることを水理実験で確認している.

表-1 仮締切下部工の工法比較

	鋼管矢板二重締切案(原案)	地盤改良案	鋼管矢板一重締切案
概　要			
工　期	中	大	中
工事費	大	中	小
評　価	×	△	○

一重締切案の特徴は以下の 2 点である. ①仮締切に作用する土圧・水圧を支保工を介して堤体に伝達する構造であり，堤体の一部が取り壊された状態で荷重が作用した場合の堤体の安定性を確保する必要がある. ②複数年河川内でその機能を維持する必要がるため，出水期の洪水に対し，支保工を含む仮締切の安全を確保する必要がある.

(2)仮締切下部工の施工

ﾀﾞｳﾝｻﾞﾎｰﾙﾊﾝﾏｰ工法にて岩盤内へ鋼管矢板を打設する前にﾊﾞｲﾌﾞﾛﾊﾝﾏｰ工法にて導杭を打ち込もうとしたところ，異物に当たり施工不能となった. このため，異物の確認や埋没している深度を確認するため，①潜水調査，②作業構台の杭施工状況のｵﾍﾟﾚｰﾀｰへのﾋｱﾘﾝｸﾞ，③H 鋼杭の試し打ち，④文献による出水記録などの調査を実施した. その結果，平成 17 年と昭和 57 年の堆積層に大量の「根株付の生木」が埋没している可能性が高いことが判明した(図-2 は矢板施工後の実績図). これは，大規模台風時にダム上流で斜面崩壊が発生し，樹木が土砂に巻き込まれて河川内を流下しダム直上流に堆積したものと推定した. 対応策を検討した結果，鋼管矢板の施工方法を先行削孔置換工とし，全旋回掘進(φ2000)による流木撤去後に砂置換した状態で，ﾀﾞｳﾝｻﾞﾎｰﾙﾊﾝﾏｰ工法により鋼管矢板を打設する工法を採用し施工を終えた.

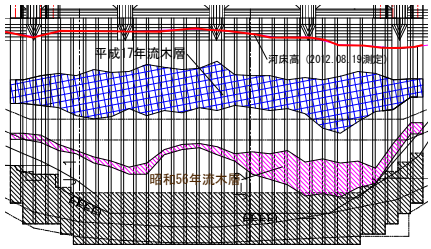


図-2 仮締切上流面図(流木層実績)

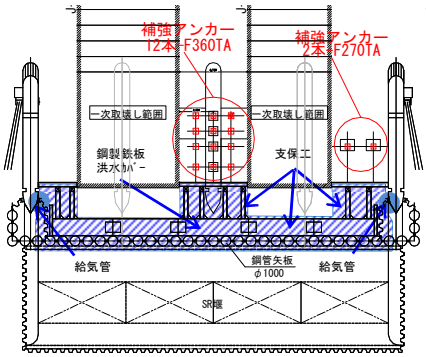


図-3 仮締切・一次取壊し平面図

3.堤体取り壊し時の堤体の安定性確保

堤体取り壊し時の自重の低下や支保工からの伝達荷重により堤体の安定性が低下するため，予め仮設の補強ｱﾝｶｰ(F360TA:ｱﾝｶｰ長 26.0～31.0m，定着長 7.5m，F270TA:ｱﾝｶｰ長 25.0m，定着長 5.5m)を設置した(図-3). 実施工では多ｻｲｸﾙ試験・1 ｻｲｸﾙ試験により品質確認をした後， F360TA では，設計ｱﾝｶｰ力 Pd=1700kN/本に対し，定着荷重 1870kN/本(1.1Pd)を目標に緊張力を導入した.

4.支保工架設時の荷重の再配分と計測管理

支保工は，全 5 段で計画した(図-4). 施工にあたっては，仮締切だけでなく，伝達荷重の状態を把握し堤体の安定を確認することを目的に，施工段階から切梁軸力・腹起し応力，鋼管矢板の変位・断面力，底盤ｺﾝｸﾘｰﾄの有効応

ｷｰﾜｰﾄﾞ　通砂，ﾀﾞﾑ改造，流木，仮締切，洪水ｶﾊﾞｰ,ｱﾝｶｰ
連絡先　〒812-451 福岡市博多区博多駅東 2 丁目 14 番 1 号　前田建設工業㈱　九州支店　土木部　TEL092-451-1549

力，間隙水圧，補強ｱﾝｶｰ力の計測監視を行った．締切内の掘削時には掘削土量の約 1 割の流木が確認された．また切梁設置時には，締切壁の応力度低減を目的に本設 2,3,4 段の切梁にﾌﾟﾚﾛｰﾄﾞを導入した．なお，本構造は仮締切に作用する荷重を堤体に伝達するもの

であることから，伝達荷重をできるだけ低標高部に移し，堤体に作用するﾓｰﾒﾝﾄを低減するため，施工時に荷重の再配分を実施した．これは支保工架設後に一旦締切内を充水し，矢板の変位を一部戻したのち，油圧ｼﾞｬｯｷやｺﾝｸﾘｰﾄの間詰めによって低標高部の支保工に荷重を伝達するものである．施工の結果，特に最下段の支保工(ｺﾝｸﾘｰﾄ)に荷重を伝達でき，堤体安定性が向上したことを確認した(6.(1)参照)．

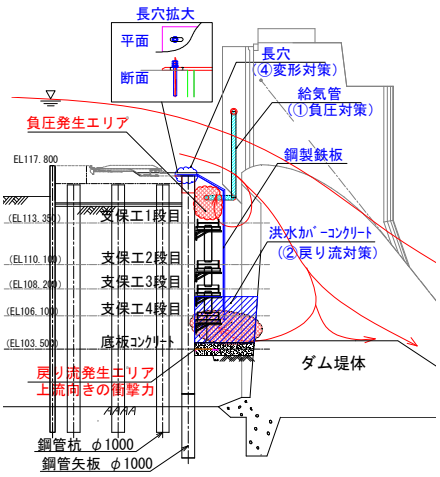


図-4 洪水時の流況ｲﾒｰｼﾞと対策工

5.洪水時の仮締切・支保工の安全性確保

出水時のﾘｽｸを把握するため，縮尺 1/50 模型を用いて水理実験(対象流量は 600,1500,2000,3387m³/s)を行った．実験の結果，支保工上段部で負圧が発生，下段部で落水した水が戻る流れ(以後，「戻り流」と呼ぶ)による衝撃力の発生を確認した(図-4)．負圧については，1,500m³/s 程度で最大となり，流量が増加すると下流水位が上昇し，負圧は減少した．一方下段の3,4段目では 1500 m³/s以上の流量になると戻り流が仮締切背面に衝突し，静水圧以上の水圧が観測された．また流量の増加により着水地点が下流側に移動することでこの水圧は流量に係らず概ね一定となった．以上の結果を踏まえて，構造上以下の対策(図-4)を実施する．①負圧対策：給気管からの外部給気による対応とする．給気管の仕様は，設計洪水流量 3,387m³/s 流下時の流速 9.5m/s より求めた連行空気量 13m³/sを給気できる規模として，φ350mm×2本とする．②戻り流対策：衝撃力を緩和するためにｺﾝｸﾘｰﾄ壁を支保工3段目下端まで構築する．また戻り流はｺﾝｸﾘｰﾄ壁に衝突した後上方に堰上げられ，背面鉄板に衝突する可能性があるため，ｺﾝｸﾘｰﾄ壁を鋼製鉄板より下流に張り出す．③振動対策：鋼製鉄板が共振しないことを確認したが，ゆるみ防止に高力ﾎﾞﾙﾄで固定し可能な範囲で溶接も併用する．④仮締切の変形対策：鋼製鉄板は浮上り防止を目的に仮締切と固定するが，仮締切の下流方向への変形による荷重を伝達しないようﾎﾞﾙﾄ孔を小判型の長穴とし固定する．

6.仮締切構築後の計測管理

締切完成後の計測の結果，2出水期を経て約500 m³/s～1200 m³/s規模の洪水を数回経験，熊本地震では震度5強を経験しているが，洪水や地震による影響はない．

(1)切梁軸力，底盤ｺﾝｸﾘｰﾄの有効応力

①設置1年目(堤体取り壊し前)：洪水ｶﾊﾞｰと堤体の間がﾎﾟｹｯﾄの状態(図-4)であり，洪水時には水が溜まり，支保工反力が減る状態となった．また，洪水ｶﾊﾞｰｺﾝｸﾘｰﾄを 3.6m施工し，洪水を 2 度経験した後，施工ｽﾃｯﾌﾟが変わらない状態で底版ｺﾝｸﾘｰﾄの有効応力が徐々に増加，3.5 か月で最大 5N/mm² まで増加した．その後収束したが，現在も平均 2N/mm² 程度の応力が残った状態である．当初底板ｺﾝｸﾘｰﾄの応力は 0.2N/m2 程度であった．洪水時を含め下流側からの数回の押し戻しにより掘削履歴がﾘｾｯﾄされ，想定した支保工荷重の再配分が加速したと考えられる．②設置 2 年目(一次取り壊し完了後)： 洪水時には SR 堰倒伏の直前まで上流側の水位が上昇し，支保工反力が増加する．SR 堰倒伏後には水位が低下し，支保工反力は通常時の値に戻ることが確認された．

(2)補強ｱﾝｶｰの緊張力

ｱﾝｶｰの緊張力は導入後 3 か月でほぼ安定し，外気温の変化，洪水による多少の変動はあるが，現在F360TAは平均約1850kN/本，F270TAは約1620 kN/本と一次管理基準値内(表-2)で推移している．

表-2 補強ｱﾝｶｰの管理基準

	2BL(F360TA)		3BL(F270TA)	
	上限値	下限値	上限値	下限値
一次管理基準値	1,950	1,700	1,670	1,500
二次管理基準値	2,105	1,550	1,687	1,300
三次管理基準値	2,260	1,400	1,704	1,100

一次管理基準値：緊張力及び設計ｱﾝｶｰ力
二次管理基準値：一次と二次の中間値
三次管理基準値：ﾃﾝﾄﾞﾝ許容値及び必要ｱﾝｶｰ力

6.おわりに

本稿の施工事例が,同種工事の一助になれば幸いである．

<参考文献>

1)向原 秀樹,川上 馨詞：耳川水系総合土砂管理計画と山須原ﾀﾞﾑ改造工事(Ⅰ.通砂運用の概要及び山須原ﾀﾞﾑ堤体仕様の検討概要について)，第 72 回土木学会年次学術講演会講演概要集，VI部門，2017.