

長殿地区における減勢工を有した砂防堰堤の設計について

酒井 良¹

¹近畿地方整備局 紀伊山地砂防事務所 工務課 (〒637-0002 奈良県五條市三在町1681)

2011年8月末から9月4日にかけて日本列島に接近・上陸した台風12号は、紀伊半島で総降水量1,800mmを超える記録的豪雨をもたらし、奈良・和歌山両県では17箇所の河道閉塞が発生した¹⁾。なかでも奈良県十津川村長殿地区は、崩壊の規模が極めて大きくかつ上流に湛水池が形成されるなど、近年、稀にみる自然災害であり、そのため対策実績もほとんどない。そのような状況での対策として、高さ100mに及ぶ河道閉塞部を切り下げ、切り下げにより発生した土砂で湛水池を埋積して安定させ、さらに閉塞部の直下流において砂防堰堤を設け、天然ダム脚部を固定する計画を立案した。

キーワード 河道閉塞，砂防堰堤，減勢工，湛水池，砂防ソイルセメント工法

1. はじめに

平成23年(2011)台風12号で発生したような大規模な河道閉塞（天然ダム）への対策は、全国的にも実施事例が少ないため、従来の砂防工学のみならず多角的な検討が必要となる。対策箇所の一つである「長殿地区（奈良県十津川村）」においては、幅約300m、長さ約700mに及ぶ深層崩壊により最大高さ約100mの河道閉塞が形成されたが、災害発生直後に着手した仮排水路工の施工が完了し、現在は本格的対策として砂防堰堤の工事に着手し始めたところである。

ここでは、平成24年度に取りまとめた長殿地区の河道閉塞における本格的対策の基本的な考え方、及び対策工（砂防堰堤、排水路工、河道閉塞部切り下げ）の内容を報告する。

2. 対策施設の内容と基本的な考え方

長殿地区は、十津川の本川右岸支流に位置する長殿谷下流域において発生した崩壊土量約680万³に達する河道閉塞である。下流河道への急激な土砂等の流出を防止し土砂災害を未然に防止するため、以下の内容と考え方により河道閉塞部とその周辺における対策工を設計した。

(1) 河道閉塞部における本格的対策工の内容

本格的対策工は、大きく次の3工法に分類できる。すなわち、①河道閉塞部の下流面脚部に計画する基幹とな

る砂防堰堤工、②河道閉塞部の排水路工とその末端（砂防堰堤の上流部）に設置する減勢工、③河道閉塞部の切り下げと湛水池の埋積である。



図-1 長殿地区の河道閉塞状況

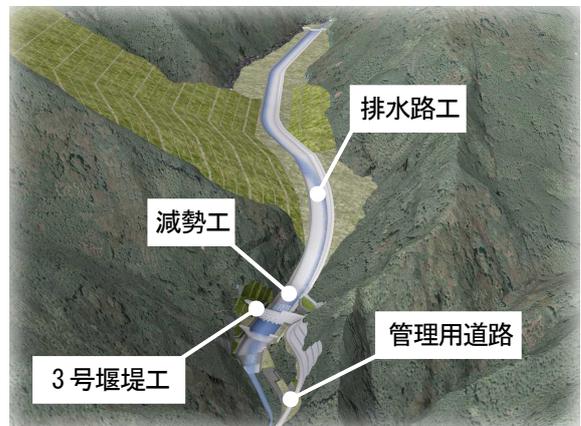


図-2 本格的な対策工計画の俯瞰図

(2) 計画の骨子

対策工は、まず、河道閉塞部脚部を固定し、閉塞部に設置する排水路工からの洪水を減勢させて安全に流下させることを目的に基幹となる砂防堰堤を計画した。

そのため、この砂防堰堤は、本来の土砂ポケット部に減勢工を有した構造となっている。

また、堰堤の構造は、閉塞部とその周辺における大量の堆積土砂と工事で発生する残土を有効活用するため、砂防ソイルセメント工法を採用している。

河道閉塞部の排水路工と減勢工の計画は、水理式と不等流解析により構造の諸元を決定し、水理模型実験によってその妥当性を確認することとした。

高さ約100mに及ぶ閉塞部は、約25mを切り下げて湛水池を埋積することで、その安定を確保することとした。

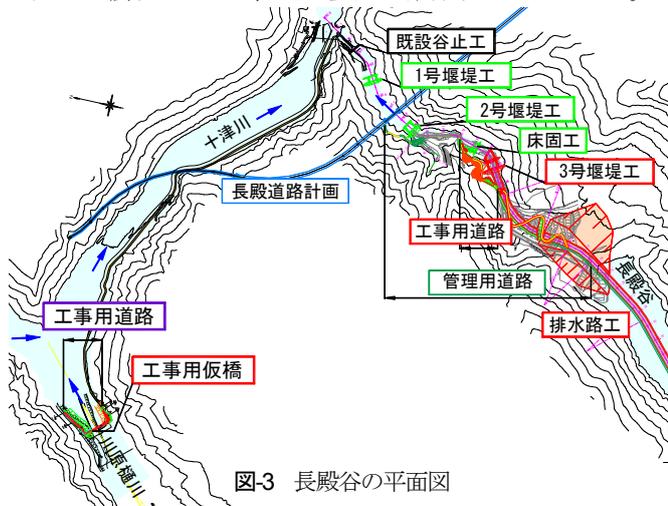


図-3 長殿谷の平面図

(3) 対策施設の配置方針と基本的な考え方

対策施設は、洪水流の越流に伴う河道閉塞部の浸透破壊や越流破壊を防止し、それにより河道閉塞部の二次侵食を防ぎ、下流河道への土砂や流木の流出を抑制することを目的とする。具体的な現象と施設配置の考え方は、以下のとおりである。

まず、浸透破壊に対しては、河道閉塞部の下流面脚部の排水路工末端に、減勢工を有した基幹となる堰堤工を計画して対応する。ここで減勢工には、脚部にみられる伏流水や湧水を導流するためにドレーン工を設置する。

越流破壊に対しては、排水路工を整備して、計画規模の洪水断面（100年超過確率）を確保する。仮に計画規模をうわまわって溢水した場合でも、急激な侵食を防止するために、砂防ソイルセメント工により排水路工周辺を強化する。さらに、仮に計画規模を超過する洪水が排水路工から溢流して河道閉塞部を侵食した場合でも、河道閉塞部全体が破壊に至らない施設として、排水路工の末端部に基幹となる堰堤工を設置する（図-4参照）。これにより、脚部侵食を防止し閉塞部の安定を図るものである。

また、崩壊地や崩壊土砂の安定性を損なわない範囲で、施工性について検討し、可能な限り閉塞部天端高さ

を切り下げる。この天端の切り下げにより発生した土砂を用いて上流の湛水池を埋積する。

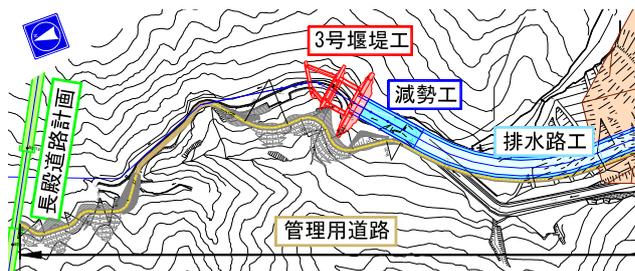


図-4 河道閉塞部の対策平面図

3. 基幹となる砂防堰堤工と減勢工および排水路工

ここでは河道閉塞部における主たる本格的な対策工である減勢工を有する砂防堰堤工と、河道閉塞部に設置する排水路工について述べる。

(1) 閉塞部下流面脚部に計画する基幹となる砂防堰堤工

堰堤位置は、河道閉塞部の脚部を固定して排水路工からの洪水を十分に減勢させることが可能であることや、河道が曲流し左岸の支尾根部が張り出している地形特性等を考慮し、定めることとした。

堰堤は、河道閉塞部脚部を固定し、閉塞部の排水路工からの洪水を減勢させて安全に流下させることを目的としているため、砂防堰堤本来の土砂ポケット部に減勢工を配置する構造である。また、大量の堆積土砂と工事で発生する残土を有効活用するため、砂防ソイルセメント工法[INSEM-SBウォール工法]を採用した。

堰堤工は最深河床からの根入れ2mを確保し、ローダムの最大高さである14.5mを採用した。基礎地盤は玉石混じり砂礫ないし転石層で、確実な支持力を得るために、下位層である岩盤までの深さ2~3mをバックホウ混合によるセメント処理を行い、地盤改良することとした。

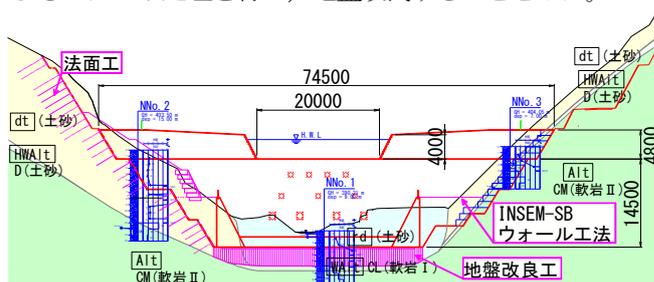


図-5 砂防堰堤工の正面図

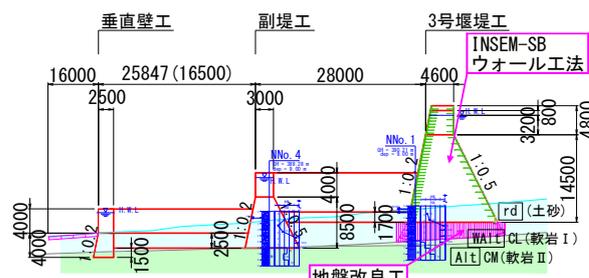


図-6 砂防堰堤工の側面図

表-1 砂防堰堤工の諸元

項目	内容	備考
堰堤名	3号堰堤	
堤長	74.5m	
堤高	14.5m	根入れ2m以上
堤体積	約7,200 m ³	
型式	重力式不透過型(INSEM工法)	INSEM-SBウォール工法
上下流法勾配	下流1:0.20 上流1:0.50	
計画流量	210m ³ /s	土砂混入20%
水通し高さ	H=4.0m(水深3.2m+余裕高0.8m)	土砂含有を考慮した清水流量による越流水深 Dh = 3.2m
水通し幅	20.0m	
基礎工	浅層地盤改良工	バックホウ混合による
前庭保護工	副堰堤+垂直壁+水叩き+側壁護岸工	副堰堤重複高さ4.2m

表-2 副堰堤工の諸元

項目	内容	備考
堰堤名	3号堰堤の副堰堤工	
堤長	51.0m	
堤高	8.5m	根入れ2m以上
堤体積	約2,200 m ³	
型式	重力式コンクリート型式	
上下流法勾配	下流1:0.20 上流1:0.50	
計画流量	210m ³ /s	土砂混入20%
水通し高さ	H=4.0m(水深3.2m+余裕高0.8m)	土砂含有を考慮した清水流量による越流水深 Dh = 3.2m
水通し幅	20.0m	
水叩き長さ	本堰堤間28.0m、垂直壁間16.5m	
水叩き厚さ	本堰堤間1.70m、垂直壁間2.50m	水じょく池あり

(2) 河道閉塞部の排水路工とその末端(砂防堰堤の上流部)に設置する減勢工

a) 排水路工の計画

河道閉塞部は可能な限り越流高さを下げることとし、掘削に伴い発生した土砂で上流の湛水池を埋積する計画とした。よって、閉塞部に設ける排水路工は、湛水池上流から埋積後の湛水池へ、さらに切り下げ後の閉塞部天端を通過して、基幹となる堰堤へと導流する延長1kmに及ぶ流路工である。

図-7に示すように、設計では堰堤軸と排水路工の線形がその下端で鉛直に交差するように線形を設定した。排水路工全体では曲線部を可能な限り少なくし、曲線を設ける場合でも、曲線半径と計画河道幅の比が10以上となるように計画することにより、湾曲部の水位上昇の影響を抑えた。また、①掘削に伴う旧地山の切土を回避して地形改変を少なくすること、②不安定な崩壊地脚部での切土を抑えるためになるべく崩壊地へ寄せないことに留意し、比較検討して線形を決定した。

排水路工の河道幅は、河道閉塞部から十津川本川合流部までの区間における長殿谷の溪床幅が20~30mであることから、基幹堰堤の水通し幅に同じ20mに設定した。護岸勾配は1:1.0で、計画流量210m³/sの余裕高さ80cmを含めた護岸高さは3.0mである。これに対して、斜路部(L=200m)は曲線半径R=200mとなるため、ナップ式(射流区間)による水位上昇を考慮して、右岸部で1.4m、左岸部で5.4mとした(図-9参照)。

護岸工の構造は、吹付けコンクリート(厚さ50cm)の三面張り構造とし、その周辺を厚さ2.0mの砂防ソイルセメント工で補強する計画である。

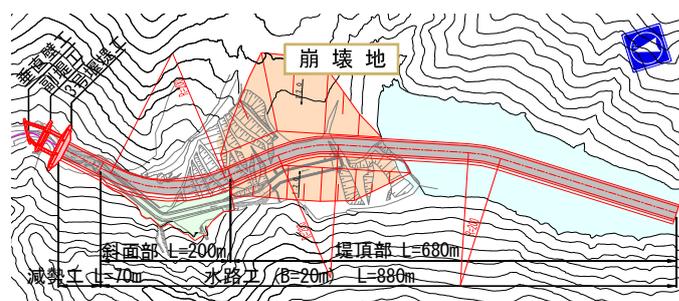


図-7 排水路工の平面図



図-8 排水路工の縦断面図

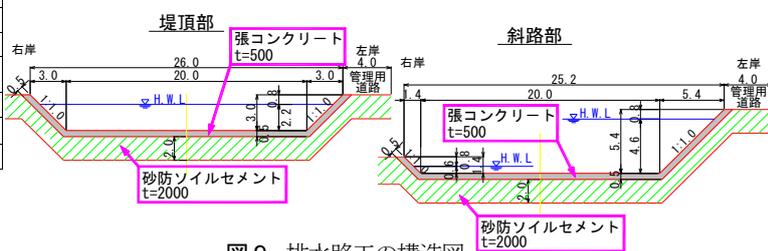


図-9 排水路工の構造図

b) 減勢工の計画

排水路工は河道閉塞部天端から下流面にかけての高低差h≒80mを有し、天端部の勾配i=1/260、排水路工斜路部の勾配はi=1/2.5である。現況の高低差が最大約100mで、約25m(堤頂造成高EL475m)を切り下げる計画であるが、依然、高低差が大きく、流速20m/s(Fr=8.9)に及ぶ高速(射流)で流下してくる。そのため、排水路工脚部に延長L=70mの減勢工を設置して、下流の基幹堰堤の機能と併せて、洪水を減勢させる計画とした。

図-10に示すように減勢工は厚さ2.0mのコンクリート構造であるが、ドレーン工の機能を併用させるために、途中、揚圧力を低減させるフィルターを設ける。フィルターはふとんカゴ工とし、これにより河道閉塞部の下流面脚部における伏流水や湧水の導流を図るものである。

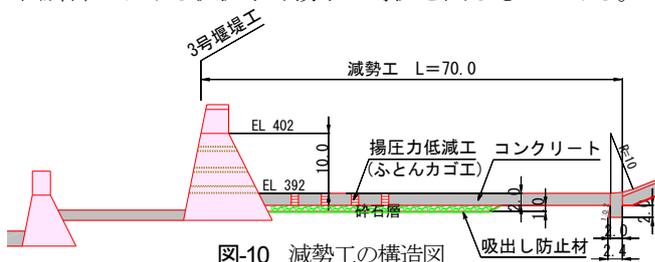


図-10 減勢工の構造図

4. 河道閉塞部天端の敷高検討

(1) 閉塞部の切り下げと事業のスケジュールについて

河道閉塞部を切り下げ、湛水池の埋積してその安定を図ることとした。この際、閉塞部の天端全体を可能な限り切り下げる方針とし、掘削土量に基づく施工性や長殿

地区で計画する砂防施設全体の施工工程を踏まえて、閉塞部頂部における現実的な排水路の敷高を検討した。

ここで、事業の全体工程としては、概ね5ヶ年で完了する計画とし、閉塞部の切り下げの施工は非出水期（11月～翌年6月）の8ヶ月間/年で行うものとして、事業全体のスケジュールを考えた。

(2) 河道閉塞部の切り下げと湛水池の埋積

長殿地区では河道閉塞部上流の湛水池の水位は、既往最高水位EL=487mであるが、常時の水位は低く、平均水位標高EL=470mで、現況の天端高さEL=500mに大きな余裕がある。よって、閉塞部を可能な限り切り下げ、上流の湛水池を埋積して越流高さを下げる計画とした。

そこで切り下げ可能な閉塞部天端高さを決定するために、天端敷高と掘削幅を変化させ、それぞれの排土量を集計した。検討パターンは、図-11に示すようにEL=495～475mを5m間隔で変化させ、それぞれに対して掘削底面幅 B=50～100mを10m間隔で変化させた、全30パターンについて土量を算定した。

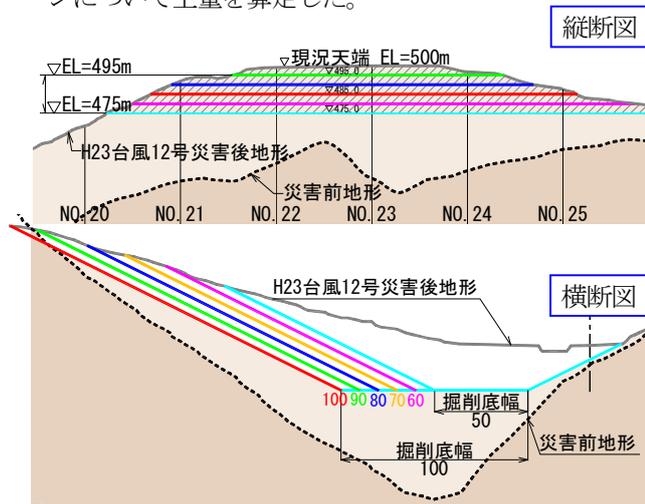


図-11 切り下げパターン図

表-3 施工機械別の切り下げ施工期

単位: 日(ヶ月)

施工機械	掘削底幅 (m)	天端切り下げパターン 敷高 EL (m)				
		475	480	485	490	495
ブルドーザ 32t級 (3台)	50	444 (14.8)	251 (8.4)	131 (4.4)	61 (2.0)	16 (0.5)
	60	520 (17.3)	300 (10.0)	159 (5.3)	71 (2.4)	19 (0.6)
	70	605 (20.2)	357 (11.9)	193 (6.4)	86 (2.9)	23 (0.8)
	80	694 (23.1)	419 (14.0)	232 (7.7)	107 (3.6)	27 (0.9)
	90	788 (26.3)	489 (16.3)	278 (9.3)	134 (4.5)	34 (1.1)
	100	885 (29.5)	563 (18.8)	329 (11.0)	166 (5.5)	45 (1.5)
大型 ブルドーザ 65t級 (3台)	50	222 (7.4)	125 (4.2)	66 (2.2)	30 (1.0)	8 (0.3)
	60	260 (8.7)	150 (5.0)	79 (2.6)	35 (1.2)	10 (0.3)
	70	303 (10.1)	178 (5.9)	96 (3.2)	43 (1.4)	11 (0.4)
	80	347 (11.6)	210 (7.0)	116 (3.9)	54 (1.8)	14 (0.5)
	90	394 (13.1)	245 (8.2)	139 (4.6)	67 (2.2)	17 (0.6)
	100	443 (14.8)	281 (9.4)	165 (5.5)	83 (2.8)	22 (0.7)

■: 排土工の施工期間が「8ヶ月以内」 敷高が最も低くなるパターン
 ■: 排土工の施工期間が「12ヶ月以内」 敷高が最も低くなるパターン
 ■: 排土工の施工期間が「12ヶ月以上」

次に、事業全体の工程(5ヶ年)からこの排土工を施工できる期間を2年と考え、非出水期(11月～6月)での施工条件で、仮排水路工の復旧に要する期間を除いた排土工

の施工可能期間を「4ヶ月×2ヶ年=合計8ヶ月」と想定して、この期間で施工可能な敷高(掘削底幅)を算定した。

ここで、実施工では重機は大型ブルドーザ65t級を3台用いることができると考え、最も敷高の低くなるパターンを算定した。その結果、表-3に示すように「天端切り下げ高さEL=475m, 掘削底面幅 B=50m」が最も天端高さを低くできるケースである。これに要する排土量は約556,000m³である。

図-12の湛水池の貯水量のH-V計測結果から、EL=475mにおける湛水池の容量は約510千m³で概ね排土量と同様のボリュームである。また、図-13のとおり、湛水池の平均水位はEL=470mであり、EL=475mでの切り下げ高さであれば非出水期において水替えなしで施工が可能である。

地震時を含めた排水路工掘削に伴う敷高の安定検討は、斜面安定上、標高EL=461mまでの掘削が可能と判定されており、計画のEL=475mに対して十分な余裕がある。

以上のことから、EL=475mにて閉塞部の天端高さを切り下げ、これに伴い発生する土砂で上流の湛水池を埋積する計画とした。

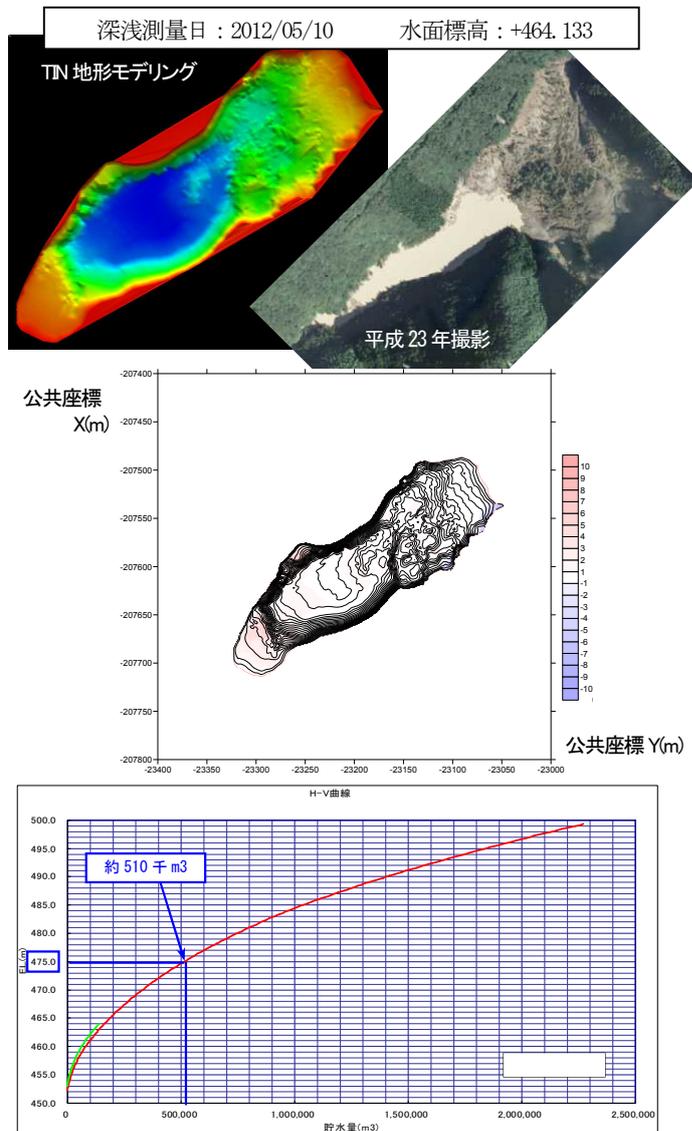


図-12 天端敷高と湛水池の水位状況

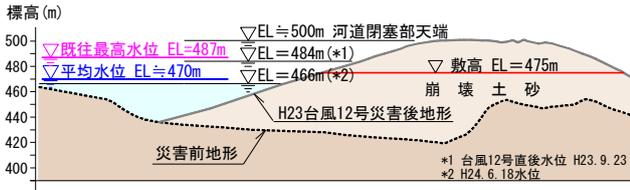


図-13 水面標高と貯水量の観測結果

5. 今後の課題

平成24年度においては、基幹となる砂防堰堤工については構造検討を含めた詳細設計を実施した。排水路工や閉塞部の切り下げについては、対策施設の検討をほぼ終えたが、今後は、構造検討等にかかる詳細設計を実施し、以下の課題の解決していく予定である。

(1) 排水路工の計画について

河道閉塞斜路部($i=1/2.5$)の排水路工の構造は、洪水流下速度約20m/sと高速なためコンクリート工と砂防ソイルセメント工を採用したが、閉塞土砂の性状や維持管理の方法を考慮し、さらに詳細な構造の検討が必要である。

排水路工の斜路部でのコンクリート厚さは、当初計画では $t=20\text{cm}$ としていた。一方、「長殿地区砂防堰堤の減勢効果等に関する水理模型実験」²⁾の結果、排水路クレスト部において負圧の発生が認められ、この部分に $R=5\text{m}$ の縦断曲線を設けることで負圧の発生を解消した。このため、斜路部においてもある程度負圧の発生に抵抗できる構造が望ましい。また、流速約20m/sに耐えうる構造として、施工性を考慮した上で、斜路部のコンクリート厚さを決定する必要がある。現設計では実験結果を勘案して、 $t=20\text{cm} \rightarrow 50\text{cm}$ へ変更している。

排水路工のコンクリート底盤は砂防ソイルセメント工で補強する計画としているが、これについても同様に、その補強範囲や補強厚さを検討する必要がある。

(2) 減勢工の計画

排水路工の脚部に設ける減勢工は、洪水が直接流下する箇所であり十分な強度を有する必要がある。現設計は厚さ2.0mのコンクリート構造で、途中、揚圧力を低減させるためにふとんカゴ工によるドレーン構造を設けることとしている。

今後は河道閉塞部天端からの落差と水理計算による跳水の形態との関係を考慮し、減勢工の呑口標高の調整を行って、コンクリート工の底盤に設置する碎石層の厚みを確保するなどの検討が必要である。

また、河道閉塞部脚部に認められる相当量の湧水を処

理し、揚圧力を低減させるために設置する揚圧力低減工（ドレーン工）の詳細な構造を決定する必要がある。

さらに、斜路部との取り付けは河道が曲流するため右岸斜面脚部に接近し、排水路工下端の減勢工掘削時に、斜面への影響がある。この掘削面の安定処理が必要である。ここは河道閉塞部脚部からの多量の湧水が認められる箇所でもある。補助工法を採用するなど施工上の配慮が必要である。加えて、堰堤軸右岸には10m以上の厚い崩積土が分布し、堰堤掘削など施工においては安全性に最大限の配慮が必要である。

(3) 基幹堰堤および排水路工の管理方法

基幹堰堤の上流部の減勢工部の扱いは上記の二つの手法があるが、そのいずれの方法を用いるにあたっては、維持管理の方法や管理基準を定めておく必要がある。同様に、排水路工に堆積が予想される土砂や流木の除去等の管理手法の検討も必要である。

(4) 長殿谷の全体計画

十津川本川への土砂等の流出防止には、今後、基幹堰堤下流の渓床堆積土砂の固定を目的とした堰堤等施設の配置が必要である。長殿谷の谷出口である最下流の既設堰堤を利用した上で、基幹堰堤の下流に堰堤を配置して現渓床部に分布する堆積土砂をかん止する計画となる。長殿谷の左岸支流からの土砂流出に対する施設の調整効果が期待できる位置に、堰堤を配置するなどの工夫が必要となる。

6. おわりに

長殿地区の本格的対策工は設計検討をほぼ平成24年一杯で終え、年が明けた平成25年1月には、縮尺1/60の排水路工～基幹となる砂防堰堤工の模型を作成して、計画の210 m³/sの洪水流量を流下させる水理実験を行い、流況の安全を確認した²⁾。

今年度は、将来的に管理用道路への転用が可能な工事用道路や砂防堰堤の基礎掘削に始まり、INSEM材を用いた砂防堰堤の工事が本格化する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通白書 2012
- 2) 水山高久, 桜井亘, 大山誠, 池田暁彦, 西尾陽介, 西岡孝尚, 南部啓太, 長井斎, 岸根泰三, 柳崎剛, 丸田龍一郎: 長殿地区河道閉塞排水路工に関する水理模型実験, 平成25年度砂防学会研究発表