

熊野川の濁水対策について

岡本 陽一

近畿地方整備局 河川部 河川管理課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

熊野川では平成23年紀伊半島大水害以降、濁水長期化が顕著となり沿川自治体では熊野川の景観保護を求める意見書を採択するなど、濁水長期化問題が大きな課題となっている。

この濁水長期化問題を解決するため、平成26年6月に学識者、行政、ダム管理者からなる熊野川濁水対策技術検討会を設立し、濁水長期化要因分析や対策について技術的な検討を行った。

検討会での結論を受け、行政、ダム管理者がそれぞれ実施する対策と結果のモニタリングについて調整を行い、その結果を熊野川沿川市町村長、国、関係県、ダム管理者で構成する「熊野川の総合的な治水対策協議会」に報告し、課題の解決に取り組んだものである。

キーワード アカウンタビリティ、景観、環境

1. 紀伊半島大水害

平成23年台風12号による洪水は、基準地点（相賀）において計画規模を超える洪水が発生した。その概要は以下に示すとおり。

- ・降雨継続期間：8月31日から9月5日までの6日間
- ・基準地点（相賀）上流域の降雨量：総雨量1,425mm、2日雨量1,193mm
- ・熊野川の状況：HWLを大きく上回り、市街地への浸水被害発生

この結果、紀伊山地（奈良・和歌山・三重）では3000カ所を越える斜面崩壊が発生し、その土砂量は約1億m³にも及び、奈良県、和歌山県では河道閉塞を伴う深層崩壊等が発生し甚大な被害が発生した。



図-1

2. 熊野川流域の概要

熊野川中流域は熊野本宮大社旧社地から熊野速玉大社までの約34kmが「川の参詣道」として平成16年に世界遺産に登録されている。その上流域は昭和30～40年にかけて発電目的とした利水ダムが建設され、世界遺産登録区域の上流には風屋ダムから取水している十津川第一発電所、二津野ダムから取水している十津川第二発電所が設置されている。（図-1）

3. 熊野川の濁水長期化状況

熊野川（十津川筋）では、平成23年台風12号以降ダム貯水池に流入する河川の濁度が低下しても貯水池内の濁度が低下するのに時間を要し、その結果発電所放流口付近では上流からの河川水と比較して濁りが顕著となっており、また十津川と北山川合流点においても北山川の清水が合流するため十津川の濁水が顕著となっている。

（写真-1）



写真-1

データで見ても、河川の平均濁度が上昇し濁度20度以上の日数も長期化するようになり(図-2)、また中小規模の降雨でも濁度が上昇し濁りが長期化するような状況が続いている。(図-3)

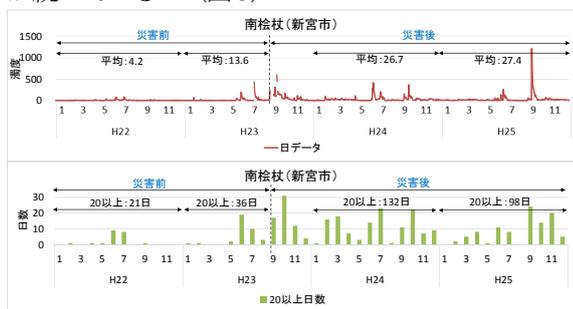


図-2



図-3

このような状況から、平成26年3月には熊野川下流市町において地方自治法99条の規定に基づく「世界文化遺産川の参詣道「熊野川」の景観保護を求める意見書」が採択されるなど濁水長期化問題が大きな課題となっている。

4. 熊野川濁水対策技術検討会

平成23年紀伊半島大水害以降、熊野川の河川管理者である近畿地方整備局、三重県、奈良県、和歌山県と沿川市町村長及びダム管理者が、相互の連携を強化し、熊野川の上流一貫したハード対策及びソフト対策にまたがる総合的な治水対策を推進するため、「熊野川の総合的な治水対策協議会」を平成24年7月に設立しており、今回課題となっている熊野川の濁水長期化問題についても、本協議会における課題の一つとして解決に取り組むもの

とした。

この濁水長期化問題を技術的に検討するため、平成26年6月に学識者、行政、ダム管理者からなる熊野川濁水対策技術検討会を設置し、濁水長期化要因分析や対策について技術的な検討を行った。

(1)濁水長期化要因の推定

a)降雨

熊野川流域の年平均降水量は約2,800mmであり、わが国の年平均降水量約1,700mmの約1.6倍に相当する降水量となっているため、流域全体で濁質発生の外力が大きい。

b)地形・地質

熊野川流域の地質は、流域北東部の一部に秩父帯、中央部の広範囲に四万十帯が分布している。流域の大部分を占める四万十帯は、北から日高川帯、音無川帯、牟婁帯に分けられる。

四万十帯の中でも北山川流域は砂岩・泥岩互層で構成される湯川層を主体とし、やや堅固な砂岩・泥岩の割合が比較的高いが、十津川流域はチャートや緑色岩類といった異地性の岩体を含むメランジェを含む層が多いため、十津川流域に崩壊が多く見られ、崩壊に伴う濁水が流れ込む状況にあるといえる。(図-4)

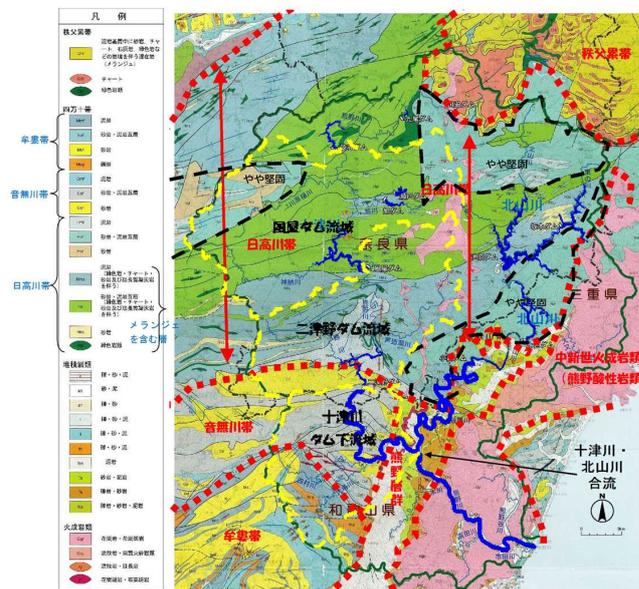


図-4

c)崩壊地分布

平成23年台風12号災害後時点の崩壊地は、十津川流域のうち風屋ダム流域に多く分布し、またH23年災害後とそれ以前から存在していた崩壊地を航空写真から判読し比較した結果、H23年災害前に比べ濁質源としての寄与が大きい大規模崩壊が多く存在することがわかった。(図-5)

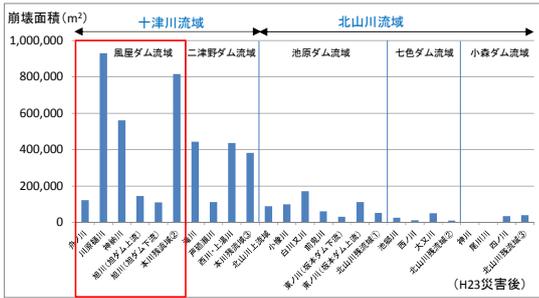
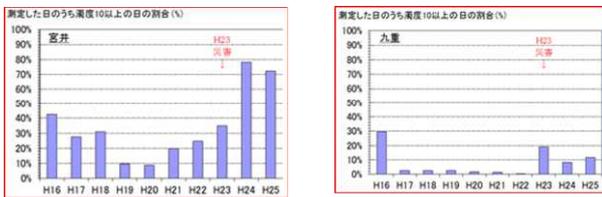


図-5

d) 河川濁度のデータ

至近10カ年の日濁度データを用いて濁度10以上の日の割合を整理すると、平成23年台風12号以降では北山川筋に比べ十津川流域では高濁度状況が長期化している状況となっている。(図-6)



十津川（宮井）

北山川（九重）

図-6

e) 濁質発生源を推定するための調査

十津川流域は濁質発生ポテンシャルが大きく、その流域内で濁質発生源をさらに絞り込むため、土質調査、空撮による崩壊地堆積土砂状況調査及び出水後の貯水池流入河川の濁水状況について把握を行った。

土質調査は濁水の原因となる細粒分の状況を把握するため粒度試験と沈降試験を実施することとし、調査地点は十津川流域の地質詳細図(図-4)から、風屋ダム流入河川の神納川北側が砂岩・泥岩の互層で、南側が泥岩に分かれていることから、神納川北側(小井谷、小井谷、三田谷)の崩壊地と神納川南側(五百瀬、足谷)の崩壊地及び風屋ダム流域と下流の二津野ダム流域を比較するため西川について調査を行った。

粒度試験結果では神納川北側で粘土・シルト分の割合が高く、濁水長期化の要因となる10μm以下の粒径の割合が大きいことがわかる。(図-7)

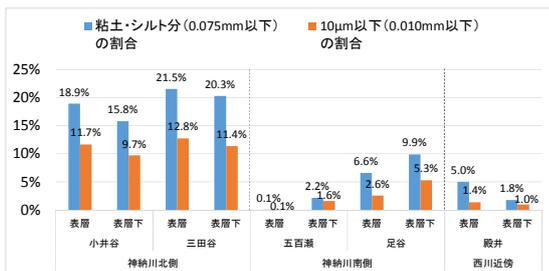


図-7

沈降試験結果(SS,濁度)では、神納川北側(小井谷、三田谷、足谷)、神納川南側(足谷、五百瀬)ともにSS、濁度が低下しにくく、西川(殿井)では低下しやすい状況となっている。(図-8)

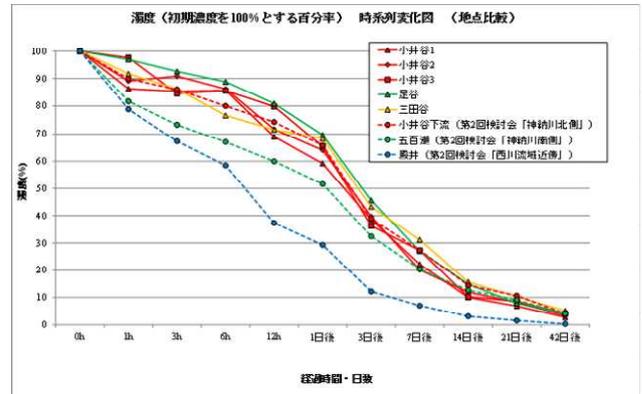


図-8

次に、大規模崩壊地及び崩壊地の直下の河道堆積物について空撮調査を行った結果、大規模崩壊地の直下には不安定な崩壊土砂が堆積し、これが広い面積で存在していることが確認できた。

これにより崩壊地及び崩壊地直下の堆積土砂が降雨時や降雨後の流水に接触している間、濁水の発生源となると考えられる。一方で堆積土砂を濁質供給源と仮定した場合、崩壊地直下の不安定な堆積土砂が、流水に接しておらず流路部分がアーミー化しているような場所も確認できたため、このような崩壊地については流出濁質量は比較的小さい可能性が考えられる。

また、平成23年台風12号災害によって河道内の標高が高い位置に堆積している箇所が流域の広い範囲で分布しており、このような場所は中小洪水時には濁水発生源とはならないが、ある程度の洪水が発生すれば崩れ落ちて濁水の原因となることが確認できた。

出水後の貯水池流入河川の濁水状況については、平成26年台風19号及び10/22の前線通過に伴う出水後に調査を行った。

その結果、濁水長期化が顕著である状況は確認されおらず、工事に伴う濁りが発生している箇所は存在するものの、それ以外に濁質源を供給している箇所の特定には至らなかった。

f) 貯水池(風屋ダム、二津野ダム)の状況

貯水池においては、平成23年台風12号災害以前からダム下流に対する濁水軽減対策として、ゲート放流等によって濁水早期排出を行い貯水池内の水位を低下させ、流入河川の濁水状況のみで清水を貯留する運用を行っていたが、平成23年台風12号災害以降は、ダム流入河川の濁水質量増加や濁水長期化によって清水層が形成されにくい状

況となっており、貯水池内の濁りが長期化する状況となっている。

(2)濁水長期化対策の検討

a)濁水対策技術検討会で検討した対策

全国において実施されている濁水長期化対策について当該地域での適用性を整理し、以下の対策について効果を検証した。

①流域対策

崩壊地対策と河道への土砂流出防止の推進
河道内（貯水池含む）堆積土砂撤去の推進

②施設改良

濁水フェンス（風屋ダム、二津野ダム）
取水設備改造（風屋ダム、二津野ダム）

③運用変更

運用改善（濁水早期排出、清水貯留期間延長）
支川清水の活用の検討
発電運用の変更

b)対策効果のシミュレーション

効果予測地点を、風屋ダム（十津川第一発電所放水口）、二津野ダム（十津川第二発電所放水口）とし、予測モデルは鉛直二次元水温・濁水解析モデルを用いて解析を行った。

解析にあたってはモデルの妥当性を検証するため、平成23年災害後の状況について現況再現計算を行い同定していることを確認している。（計算対象期間は平成23年災害後濁度、流量等の観測データが揃っている平成26年1月～平成26年9月末を対象としている。）

次に、平成23年災害前の状況について再現計算を行うため、風屋ダムへの流入濁質条件を平成23年災害前の状態で与えて計算を行った。具体的には、図-9に示す流量と濁度の関係式を作成し平成23年災害前の関係式に平成26年1月～平成26年9月末の流況を与えて再現している。

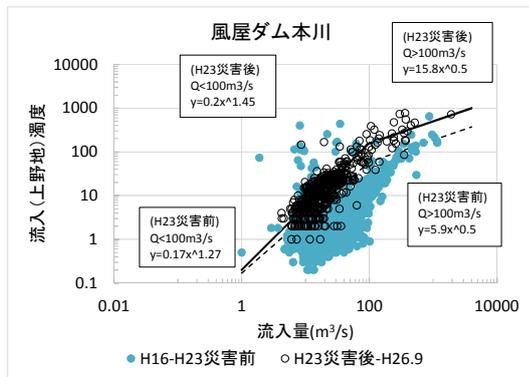


図-9

貯水池対策の各メニュー及び流域対策の組み合わせの効果予測については、始めに風屋ダムへの流入濁質条件を現況（流域対策なし）として、濁水フェンス、濁水フ

ェンスと表面取水設備の改造、濁水フェンスと選択取水設備の新設を組み合わせた場合について予測を行い、最適ケースを検討した。この最適ケースに流入濁質条件を流域対策ありとし流入濁質量を低減させた場合の効果を反映し、風屋ダム（十津川第一放水口）最適案の予測結果とした。

次に、前述の最適案を二津野ダムへの流入濁質条件とし、濁水フェンス、濁水フェンスと表面取水設備の改造、濁水フェンスと選択取水設備の新設を組み合わせた場合について効果予測を行い、二津野ダム（十津川第二放水口）での最適案の予測結果とした。（図-10）

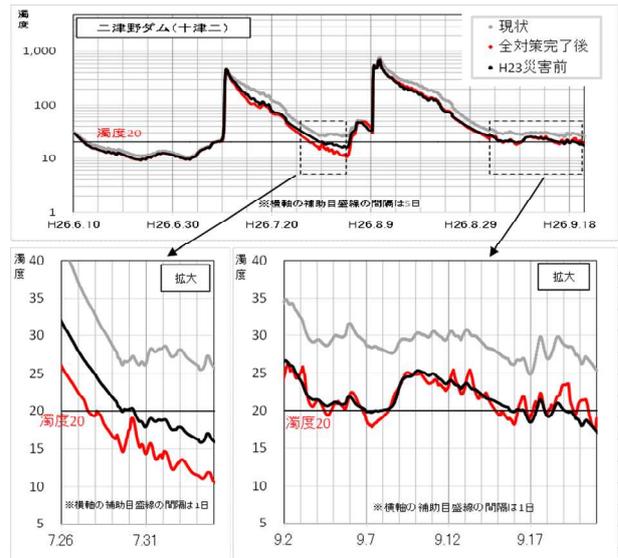


図-10

なお、国、県が計画、実施している河道内堆積土砂の撤去や、今後ダム運用の変更により期待される効果については、現段階に於いて定量的な評価が難しいため、今回実施したシミュレーションにおいては効果に含めていない。

c) 十津川第二発電所放流水濁度と河川流量による南桧杖の濁度の関係

熊野川下流の濁度は、十津川、北山川等の流量、濁度、十津二発電所放流量と濁度等の影響を受け、本川（相賀）流量と十津二放流濁質量（ここでは取水量×濁度と定義）には一定の関係がみられる。（図-11）

これにより、洪水時を除き、平成23年台風12号災害前の濁度水準を確保することが可能となる発電運用の目安が得られた。具体的には、以下のことが言える。

- ・濁度10以下であれば、いつでもフル発電可。
- ・濁度15以下で相賀流量が低水流量以上であればフル発電可。
- ・濁度20以下で相賀流量が平水流量以上であればフル発電可。
- ・濁度30以下で相賀流量が豊水流量以上であればフル発電可。

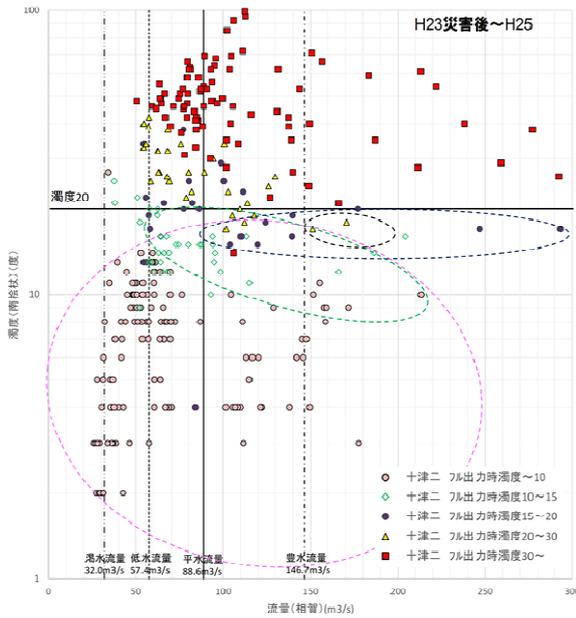


図-11

(3) 熊野川濁水対策技術検討会のまとめ

今回の調査結果、対策工のシミュレーション結果及び検討会での議論等から技術検討会提言を以下のようにまとめられた。

a) 濁水長期化要因

- ・平成23年台風12号災害による大規模崩壊地の発生や既存崩壊地の拡大、崩壊地の下に存在する不安定土砂が降雨や流水に接することによって濁質の発生源となっている。また、河道内の高い位置に堆積している土砂が洪水時に崩落することで濁質発生源となっており、このような箇所が流域に広く分布している。
- ・貯水池においては、中小洪水であってもダム流入河川の濁質量増加や濁水長期化により清水層が形成されにくく貯水池内の濁水が長期化する状況となっている。
- ・また、従来から濁水早期排出等の運用によりダム下流に対する濁水軽減対策に取り組んできたが、平成23年台風12号災害以降はその効果が発現されにくい状況となっている。
- ・これらの結果、ダム下流において濁水長期化が顕著である状況が、平成23年台風12号災害後においてみられる。

b) 対策検討

- ・現状のダム運用による対策だけでは濁水長期化の軽減が図りづらいことから、流域対策、貯水池対策及びこれらの効果を最大限発揮させるような運用等あらゆる面からの検討が必要である。
- ・流域対策としては、濁質発生を抑制するための流域の崩壊地対策や、流域に広く分布し濁質発生源となっている河道内に高く堆積している土砂の撤去などの取り組み

が必要であり、加えて河道内の掘削工事箇所自体が濁質の供給源とならないように最大限の配慮を行うことが必要である。

- ・貯水池対策としては、清水層を温存しつつ洪水時には濁水層を中下層に導いて早期排出し、温存された清水層と濁水層を混合させることなく清水を取水することや、温存した清水層を掘削工事などで新たに濁らせないようにすることが重要であり、これらを実現するため濁水防止フェンスの設置や選択取水設備への改造が必要である。
- ・また、流域対策や改造した設備の効果を最大限に発揮させるための運用を検討することでダム下流河川における濁水軽減効果を発現させることが重要である。

c) 効果把握

- ・流域対策として国、県が計画及び実施している崩壊地対策及び河道内堆積土砂撤去などの対策、貯水池内での対策として風屋ダム及び二津野ダムで濁水防止フェンスと選択取水設備の改造の実施、発電の運用及び濁水早期排出の運用を変更することで、その効果を予測した結果、十津川第一発電所放水口、十津川第二発電所放水口地点で濁度20度を下回る日数が平成23年12号台風以前の状態まで軽減できることが確認できた。
- ・また新宮（南桧杖）地点では、十津川第二発電所の放流濁度、流量と、相賀流量、南桧杖の濁度の関係を整理し、発電の運用と流域対策及び貯水池対策を組み合わせることにより濁度軽減が図れるとともに、発電制約を緩和できる日数が増加する等発電へのメリットも確認できた。
- ・なお、対策実施状況に合わせその効果をモニタリングしていくことが重要である。

d) まとめ

- ・対策の実施にあたっては、シミュレーション上の様々な仮定や自然要因（流況の変化や豪雨等による崩壊地の拡大）なども考慮し、できる限り余裕をもった対策が必要であり、また対策効果の把握については、モニタリングを実施しながら効果を検証し、その結果を流域対策、貯水池対策、運用変更に反映させていくことが重要。
- ・濁水を十分に軽減するには、治山・砂防事業等によって崩壊地を復旧し、結果的に森林に戻してゆくことが必要であり、これによって土砂災害全般に対する防災効果を得ると同時に、流域の林業振興を含む地域計画に貢献することも期待する。
- ・現在の風屋ダムの選択取水設備は運用上の制約があるため、抜本的な改造を望まれる。
- ・本検討会の結果を踏まえ、今後は行政、ダム管理者において実施する対策を調整し、熊野川の濁水が軽減されるよう努められたい。
- ・なお、本検討会で示された条件では平成23年台風12号災害以前の状態まで濁水を軽減できることが確認できた

が、次のステップとしてさらなる濁水軽減に努められたい。

5. 対策内容とモニタリングについて

濁水対策技術検討会での提言をうけ、近畿地方整備局、近畿中国森林管理局、三重県、奈良県、和歌山県、ダム管理者において対策内容を調整し、平成26年12月に「熊野川の総合的な治水対策協議会」で技術検討会結果の報告を行い、以降2回の協議会を経て、以下の対策推進及びモニタリングを実施していくことが確認された。

(1)実施内容

a)流域対策

近畿中国森林管理局、近畿地方整備局、三重県、奈良県、和歌山県は既定の治山事業、砂防事業（約158ha）を推進する。また、近畿地方整備局、三重県、奈良県、和歌山県は河道堆積土砂の撤去を、ダム管理者は貯水池内堆積土砂の撤去を推進する。

b)貯水池対策

①濁水フェンス設置：風屋ダム、二津野ダム

②取水設備改造：風屋ダム

※二津野ダム取水設備改造については、浮沈式濁水フェンスによって濁水排出及び清水を取水設備へ導くことで取水設備改造と同様の効果があることを確認。

c)運用変更

①運用改善

濁水早期排出期間について、従来9日程度としていたものを、平成23年台風12号災害以降で風屋ダムのピーク流入量が最大であった平成26年台風11号出水において、風屋ダムの熊野川本川濁度低減日数が12日であったことを基に出水ピーク後12日間とし、その期間で低下可能な水位を設定。

清水貯留期間は洪水被害軽減対策のための容量を考慮しつつ清水貯留量を最大限確保できる水位を設定。

②支川清水の活用

左岸支川の滝川及び芦瀬川については取水堰から取水し風屋ダムに注水しているが、出水後に比較的速やかに清水となるため、清水貯留期間中はこれら支川からの取水を停止し二津野ダムに清水を供給することとした。

③発電運用の変更

現在実施している「十津川第二発電所放水口濁度17度以上でハーフ出力運転（流量40m³/s）」に対し、同濁度が40度以上となる場合には「1/4出力運転（流量

20m³/s）」を運用方法に追加する。（図-12）

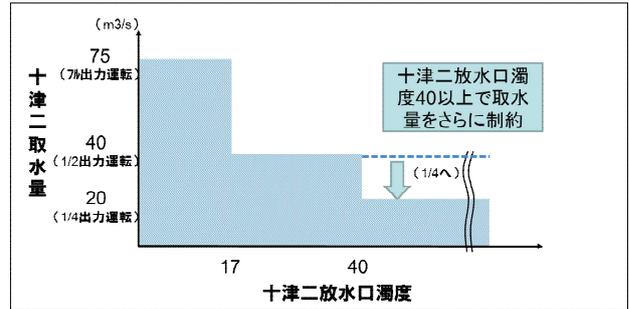


図-12

(2)モニタリング

これらの対策を実施することにより、平成23年台風12号災害以前の状態まで濁水を軽減できることがシミュレーションより確認されたが、濁水の発生は毎年の出水状況と河川や流域の多くの要因が影響するため、全ての対策が終了するまで、定期的にモニタリングを実施し、必要な改善措置を行う。

a)モニタリングのポイント

- ①流域対策、施設改良の進捗状況と運用変更の実施状況について対策を実施する各機関から報告
- ②直近1年間の濁度の状況と対策による効果の評価
- ③上記結果を踏まえ今後実施する流域対策、施設改良、運用変更の確認

b)結果の報告時期

各年度の出水期後に上記①②について報告を行い、各年度当初（出水期まで）に上記③について報告を行う。

c)データの公表

濁度状況をモニタリングするため、十津川と北山川の合流前から合流後の地点、直轄基準点、最下流地点の濁度データを近畿地方整備局のホームページで公開し、また、北山川合流地点の下流にモニタリングカメラを設置し画像を公開する。

6. 最後に

技術検討会の設置、各機関が実施する対策及びモニタリングの一連の取組について、熊野川の総合的な治水対策協議会において高い評価をいただいた。

今後は、対策、モニタリング及び必要な改善措置をPDCAによって確実に遂行し、熊野川の濁水が軽減されるよう努めるものである。

以上