

貴志川における噴砂と堤防の応急対策について

長尾 壮治¹

¹ 近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 船戸出張所 (〒649-6262和歌山県和歌山市上三毛1122-2)

紀の川水系貴志川では、2011年台風12号の出水により、最高水位と堤内地盤の比高差は約2.6mとなった。これにより、堤防法尻部および堤内地の水田や畑等の10箇所超で噴砂跡が発見された。貴志川における堤防点検結果では、基礎地盤のパイピング破壊に対する安全性が不足する区間が約3.6kあり、うち、3.0kが未対策となっている。調査・検討を踏まえた一連の対策の実施には、一定の時間を要するが、噴砂の生じた箇所については、水位上昇により、再び噴砂が生じ、堤防の沈下など危険性がある中で、出水期までに原因の推定と応急対策の実施が課題であった。本報告は、紀の川水系貴志川で発生した噴砂の原因と応急対策について紹介する。

キーワード 河川堤防, 浸透対策, パイピング, 応急対策

1. はじめに

紀の川水系貴志川は和歌山県北部を北流し、紀の川本川19.4k付近で合流する支川であり、合流点から5.2kまでが国管理区間である。

2011年9月に発生した台風12号による出水では、紀の川本川及び支川貴志川においても避難判断水位を超過する水位を観測した。支川貴志川においては、最高水位と堤内地盤の比高差は約2.6mとなった。これにより、堤防法尻部および堤内地の水田や畑等で噴砂跡が発見された。水位上昇によって、再び噴砂が生じ、堤防の沈下など危険性がある中で、次期出水期までに応急的な対策を実施する必要があり、その応急対策について検討したものである。



図-1 紀の川流域概要及び船戸出張所管理区間

2. 貴志川での噴砂

(1) 台風12号と貴志川の状況

台風12号の出水による紀の川流域の2日間平均雨量は船戸地点上流で415mmであり、1959年(昭和34年)9月伊勢湾台風時の2日間雨量313mmを大きく上回り、戦後最大値を更新する雨量であった。また、降り始めから5日間で年間雨量の4分の3が集中している。

紀の川水系の支川である貴志川においても流域平均で334mmの雨量があり、水位は5.65mを観測し、避難判断水位5.50mを超過した。貴志川左岸0.2k付近(紀の川市丸栖地区)においては、内水被害が発生し、排水ポンプ車による排水作業が実施された。



写真-1 貴志川左岸0.2k付近(紀の川市丸栖地区内水被害)

(2) 噴砂発見までの経緯

台風12号通過後の9月13日に貴志川沿川の自治体より、堤内側の田畑で地盤の隆起が見られ、噴砂も確認できるため現地確認の依頼を受けた。同日に現地確認を実施したところ左岸1.2k付近～2.0k付近にかけて5箇所で噴砂跡を確認した。

噴砂跡が確認された付近は主に水田として利用されている。噴砂発見時は稲の収穫前であり全体的な噴砂状況の把握は困難であったため、収穫後に再度、噴砂箇所の確認を実施した。



写真-2 噴砂状況 (貴志川左岸1.7k付近)

(3) 噴砂状況調査

稲刈後に実施した現地調査で概ね噴砂箇所が把握できた。噴砂箇所は大きく分けて6地点で14箇所の噴砂跡を確認した。(図-2)

噴砂は最大径で約5.7m、周辺地盤から約0.3m隆起しているものから、約0.5mのものまで様々であった。噴砂場所は、畑や水田に通じる通路(コンクリート舗装)の目地部等でも一部確認されたが、最も多く噴砂を確認した

のは水田内であった。噴砂位置については、法尻近傍だけでなく、法尻から約30m離れた水田内部でも確認された。

(4) 噴砂箇所と堤防詳細点検結果

貴志川は全川に渡って透水性の高い砂礫層(Ag層)が基礎地盤として連続しており、堤体盛土も砂礫が主体のため基礎地盤の砂礫層と同様に透水性が高い堤防である。

2005年から2007年にかけて実施した貴志川の堤防点検では、点検延長10.2kmのうち、3.6kmが浸透に対して安全性照査基準を満足しない結果であり、いずれもパイピング破壊に対する基準が照査基準値を満足しない結果であった。

堤防詳細点検結果と噴砂の生じた箇所を比較すると、パイピング破壊に対して照査基準値を満足しない区間及びその付近で噴砂していることが分かった。堤防点検は堤防本体の漏水に対する安全性として、堤防法尻部のパイピングの有無について評価しているため、点検結果と噴砂箇所を直接比較することは出来ないが、堤体・基礎地盤とも透水性が高い区間で噴砂しており、今回噴砂が確認されなかった箇所においても、噴砂の危険性が内在していると言える。

今回の噴砂によって、堤体基礎地盤部の土粒子が流出している場合、みず道が形成されている可能性があり、堤防の沈下などの危険性があるため、噴砂土層の推定と噴砂の原因について助言を頂くため、9月下旬に堤防調査委員会による調査や、噴砂土砂土層の推定のため、10月上旬に近畿技術事務所による噴砂の調査・分析が実施された。また、調査結果を基に対策工の実施までの間の応急対策の検討と対策工の検討(実施中)を実施した。調査結果及び検討結果は次章以降にとりまとめた。



図-2 噴砂箇所と堤防点検結果

3. 憤砂土層及び憤砂原因の推定

(1) 憤砂土層の推定

憤砂土砂が堤体土または堤防基礎地盤のどの層から流出したのかを推定するために、憤砂箇所①、②、③について憤砂土砂を採取した。採取した土砂は既往土質調査結果と比較を行うとともに、粒度試験から得られた粒度分布とも比較し、流失元の土層の推定を行った。

その結果、憤砂箇所①、②についてはAs層、③はAg層が憤砂したと推定される。現地では、憤砂の中心付近に穴が空いているところが見られたが、その穴がパイピング孔として連続しているかどうかは不明であった。

憤砂孔横の土層構成は、表層は水田の粘性土、深度0.6m付近から礫混じり砂が確認された。



写真-3.4 憤砂孔(左)と憤砂孔の横の土層構成(右)

(2) 憤砂の原因

堤防調査委員会及び近畿技術事務所による調査結果から憤砂現象は、河川からの堤内地への浸透水が、水田表層の難透水層で湧出を妨げられて被圧され、難透水層の薄いところや弱部を突き破って、浸透地盤の砂を流動化させて巻き上げながら湧出したことで発生したと推測される。

また、憤砂が法尻だけでなく、法尻からかなり離れた水田内部でも発生していることから、浸透水は堤内地側法尻より深い堤体基礎地盤を伝ってきたものであると想定される。憤砂が起こる前には、水田・畑の地盤が浸透水の被圧水圧によって持ち上げられ、盤ぶくれを生じた

可能性があるが、現在見られる憤砂下面は、周辺の水田面と高さが一致しており、憤砂後に水圧が解放されたことによって元に戻ったことも考えられる。

(3) 憤砂の発生機構

憤砂の発生機構は、次のように推定される。

- ①被圧された浸透水により水田耕作土、As層の相対的に軽いところが持ち上げられ、盤ぶくれが生じる（直接②が始まる場所もある）。
- ②水田耕作土、As層の薄いところ、あるいは構造物との隙間を突き破って被圧水が噴出する（ボイリング）。
- ③急な水流により流動化しやすいAs層から土砂を取り込み憤砂が生じる。Ag層内からも流動化しにくい粗粒分を残して土砂の流失が発生する。
- ④As層内には土砂の流失によってパイピングが発生する。

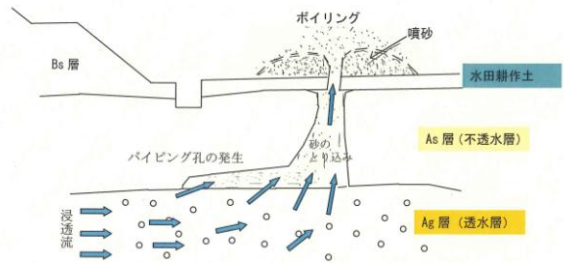


図-3 憤砂の発生機構 (推定)

4. 応急対策工の検討にあたって

応急対策の検討に先立ち、貴志川の地形と台風12号について整理した。

(1) 既往調査と地形、地質条件の整理

調査結果より、堤防基礎地盤部の漏水に起因する憤砂であると考えられるため、治水地形分類図等を利用して貴志川周辺の地形、地質条件の整理を実施した。(図-4)

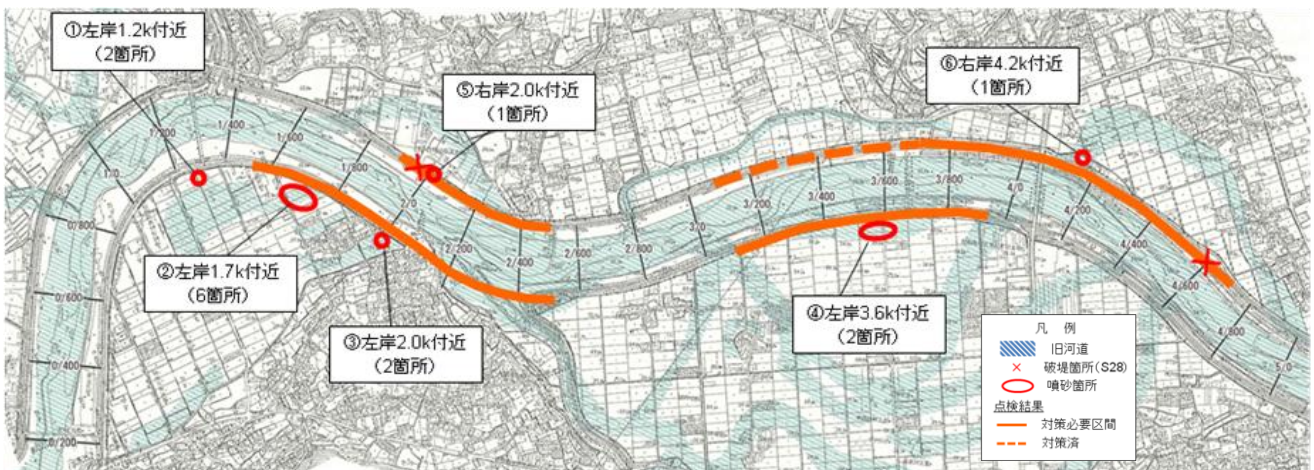


図-4 噴砂箇所と旧河道 (推定) 位置図

その結果、右岸下流側を除く5地点は全て旧河道で憤砂していることが分かった。旧河道に該当しなかった右岸下流側は、1953年(昭和28年)の出水時に破堤した箇所であり、旧河道に囲まれた自然堤防となっており、土質調査結果からも基礎地盤部に透水性の高いAg層が分布し、その上面にAs層が分布していることが分かった。

(2)水位・雨量データの整理

貴志川における過去10年(2002年~2011年)の水位・雨量データを整理して、憤砂が発生した台風12号の特異性について検討を行った。

水位データは貴志川水位観測所、雨量データは堤防安全性検討の事前降雨量で用いられている善田局雨量観測所のデータを基本として利用した。なお、善田局の雨量データは台風12号出水時に欠測であったため、同観測所の雨量に近似できる神田観測所のデータを使用した。

また、今回の憤砂の原因は、堤内外の水位差によるものと考えられるため、定期横断測量結果から貴志水位観測所の堤内地盤高をT.P+25.0mと設定し、T.P+25.0mに達した出水を抽出し特異性を検証した。

その結果、憤砂が発生した台風12号出水は、過去10年間で最もピーク水が高く、高水位(T.P+25.0m以上の水位)継続時間も30時間と長い出水であった。さらに、総雨量も395mmと際だって多かったことから、堤防は飽和状態にあったと推測される。

表-1 主要7出水の水位・雨量

出水時期	ピーク水位 (T.P.m)	高水位 継続時間 (h)	善田局雨量観測所		備考
			総雨量 (mm)	時間 最大雨量 (mm/h)	
① 2003.8.9	25.40	5.0	143	20	
② 2004.10.20	26.00	8.0	159	23	
③ 2008.5.25	25.22	5.0	124	23	
④ 2009.10.8	26.41	12.0	114	11	
⑤ 2009.11.11	25.62	7.0	150	53	
⑥ 2010.7.14	25.29	14.0	145	17	
⑦ 2011.9.4(台風12号)	27.64	30.0	※395	27	※神田観測所

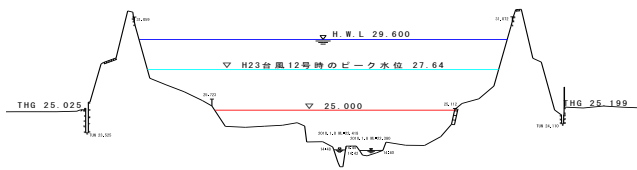


図-5 貴志川水位観測所横断面図

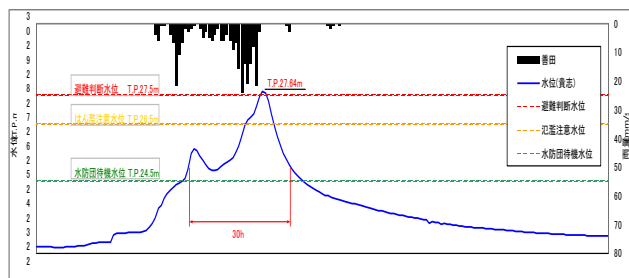


図-6 台風12号雨量・水位データ

5.応急対策工

今回憤砂が発生した箇所については、堤防詳細点検において、照査基準値を満足しない区間周辺での憤砂であり早期の対策実施が望まれるが、対策工実施までには一定の期間を要する。幸い台風12号による出水以降、大きな出水はなく、憤砂も確認されていないが、出水期をむかえるにあたり、憤砂箇所のハード面とソフト面の応急対策を検討した。

(1)ハード面の応急対策

a)対策工の候補案

貴志川における憤砂は基礎地盤漏水に起因するものであるため、基礎地盤の漏水対策を検討した。

- ①遮水：川表側へ遮水シートや遮水矢板を設置することで河川水の侵入を遮断する方法
 - ②押え盛土：川裏側での押え(盛土等)によりボーリングの発生を防止する方法
 - ③水抜き：川裏側へ侵入した水を抜くことにより、河川側と堤内地側との水圧をバランスさせる方法
- 上記3案について比較を実施した。

b)候補案の比較・選定

ここで、①案については、応急対策としては費用が高く、対策完了までに期間を要することから不適である。また、②について堤内側は民地であるため、現実的でない。③案について、河川水が基礎地盤(Ag層)を伝って、堤内側へ伝わり、被圧水圧が上昇することで生じた現象であることから、水圧低減対策は効果的である。また、堤防調査委員会においても法尻部に地下水路、法尻水路を設けて水抜きを実施することが効果的である。との助言も頂いており、③案の水抜き案を採用することとした。水抜きは対策工検討の際に実施したボーリング孔を利用してコストの縮減が図れる。

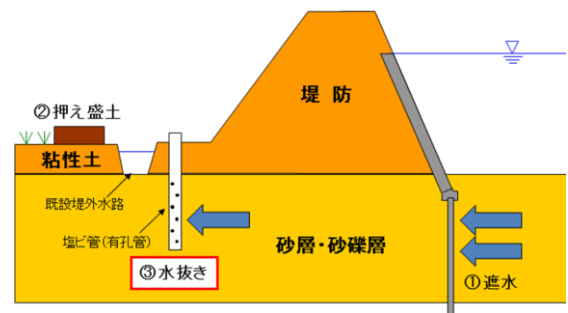


図-7 ハード対策案

c)対策工

水抜きは憤砂箇所や旧河道付近の堤内側法尻に12カ所設置した。水抜きにはストレナ加工をしたφ50mmの塩ビ管を使用し、ストレナ管の外側には砂分の混入防止

と水抜きがパイピングの誘因とならないようフィルター層を設けた。

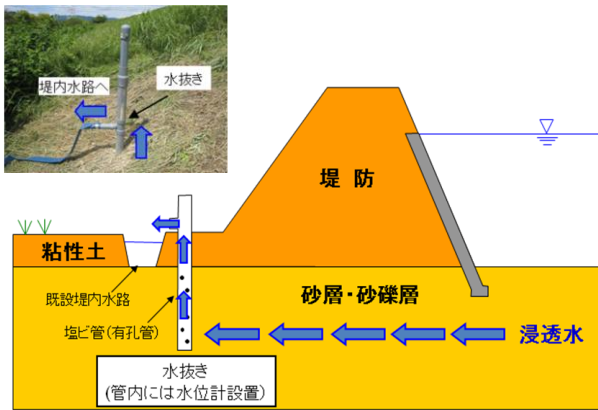


図-8 水抜き概要図と設置状況

(2)ソフト面の応急対策

a) 憤砂発生条件

今回の憤砂が発生した時刻や水位は不明であるが、ピーク水位と堤内地盤高 (T.P+25.0m) との差は約2.6mであり、過去10年間の水位状況から2番目に水位の高かった2009年10月8日出水時の比高差は約1.4mであったが、今回のような憤砂が発生した記録はなく、2009年10月出水時の水位と今回の水位の間で憤砂が発生したものと推定される。

さらに、地元自治体や地元住民に過去の憤砂について聞き取りを実施したところ、「今回の規模の憤砂は記憶にないが、部分的に小規模な憤砂が発生したことはあった。」とのことだった。ただし、明確な時期までは不明であった。

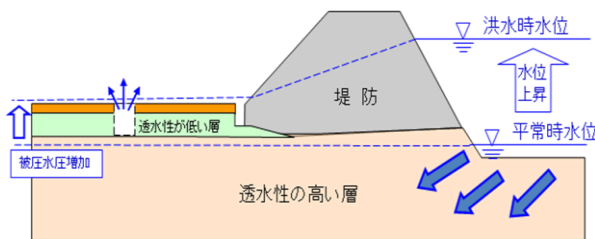


図-9 憤砂の発生模式図

b) 水位観測孔の設置と出水時巡視

現時点では憤砂が発生する条件には不明点があることから、今年度のソフト対策は、ハード対策で設置した水抜きに水位計を設置し、地下水位を計測することとし、河川水位が堤内地盤高を超えると予想された時点を目安に、堤防及び堤内側の憤砂状況等の確認を行い、憤砂が発生する危険性が高くなる条件を設定するためのデータ収集を行う。

なお、巡視開始水位は、堤内地盤高と貴志水位観測所

の関係から貴志水位観測所の水位が3mを超えると予想される場合に開始する。

c) 憤砂水位の検証

次年度以降で対策工が実施されるまでの間については、台風12号出水時の実績降雨・水位波形を外力として浸透流解析を実施し、今年度得られたデータ等と実現象との差異を検証したうえで、憤砂の発生条件を設定し、出水時の巡視の目安となる条件を設定する予定である。

d) 水防工法の想定と資材の準備

今回の現象は、河川水が基礎地盤 (Ag層) を伝って、堤内側へ伝わり、被圧水圧が上昇することでパイピングが生じたと考えられる。一般的に堤体からの漏水については、「月の輪工法」や「釜段工法」といった水防工法が用いられることから、パイピングが発生した際、早期に水防活動が行えるよう、予め土のう等の資材を憤砂箇所や旧河道周辺に設置し、応急対策が早期に行える状況を整えた。

e) 地域への説明

今回の憤砂は、地元住民から自治体への連絡で見えられたものであり、地元自治体や地元住民から不安の声が寄せられている。これらについては、憤砂の原因の推定結果、対策工実施までの間の対策 (ハード・ソフト) の説明を実施するとともに、中小洪水が発生した際は応急対策の効果について説明を実施することで対応していく。また、出水後には地元とともに点検を実施していく予定である。

6.課題と今後について

対策工については、現在検討中であり、憤砂箇所の応急対策として、被圧水圧の低減を目的として水抜きを設置したが、出水期間までに実施可能でかつ効果的であると思われる応急対策を選定し、実施したものであり、今後、再び憤砂が発生する可能性がなくなった訳ではない。応急対策実施後に再び憤砂が発生した場合、どのように対応していくのか。また、得られた地下水位データ等から検証された憤砂の発生条件をどのように判断し、また活用していくのか。さらなる検討が必要である。そのためにも、本応急対策の効果の検証に努めるとともに、その結果を関係者で共有し、効果的な応急対策について模索していきたい。本課題は紀の川水系貴志川において発生した憤砂について応急対策を検討したものであり、他の河川においても対策の一助となることを期待するものである。

参考文献

- 1)、2)近畿技術事務所：貴志川左岸 洪水時憤砂の発生元地盤の推定調査