

# 平成29年台風21号による 木津川基盤漏水の調査報告

有本 浩太郎<sup>1</sup>・嶋田 剛士<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 河川部 河川計画課 (〒540-8586大阪市中央区大手前1-5-44)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 奈良国道事務所 管理第二課 (〒630-8115 奈良市大宮町3丁目5-11)

昨年の台風21号の影響で木津川の河川堤防において漏水、堤体損傷、河岸洗掘等の被害が発生した。とくに久御山地区および上津屋地区では、基盤漏水に伴い、堤防から離れた堤内耕作地で噴砂および陥没が見られた。過去にも同様の現象が発生している地区でもあったので、今回、堤防から堤内地側も含めた一連の地盤構成を把握し、噴砂の発生源や水みちを推定するために、ボーリング調査の他、噴砂箇所のトレンチ掘削やレーダ探査等の詳細調査を実施した。本稿では、漏水・噴砂の調査、事象解析の結果を報告する。

キーワード 基盤漏水、堤防安定性検討、浸透流解析、トレンチ調査

## 1. はじめに (木津川堤防の特徴)

木津川の堤防は、宇治川や桂川の堤防と比較すると砂質土が多くを占めており、浸透に対して相対的に脆弱な堤防となっている(図-1、写真-1)。また、木津川は河床が高く堤防も高いことから、水位と堤内地盤高の比高差が大きくなる特徴があり、破堤時の浸水リスクが高い河川と言える。



写真-1 堤体材料の砂質土

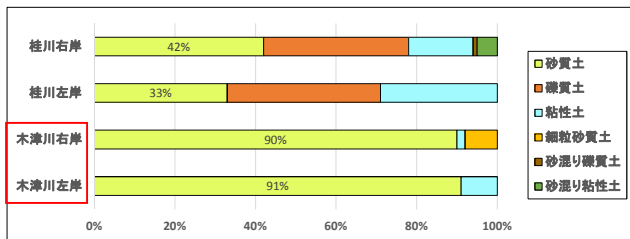


図-1 堤体土質の構成比率

## 2. 出水状況と被災状況

2017年10月20日から断続的な降雨の後に、超大型の台風21号が近畿に接近し、22日夜から23日明け方にかけて非常に激しい降雨となった。近畿南部では約830mm、中部においても約490mmを越える雨量となり、近畿管内の各地で浸水被害が多発した。木津川においては氾濫注意水位を超える水位が各観測所で記録され、多数の漏水被害や河岸洗掘被害が発生した(図-2)。



図-2 主な被災箇所

図-3に水位観測所の観測データを示す。この図は平成25年の出水データと比較しているが、今回の出水はピーク水位は平成25年のそれより低いものの、ピーク前の水位は平成25年時よりも高いレベルで推移していた。

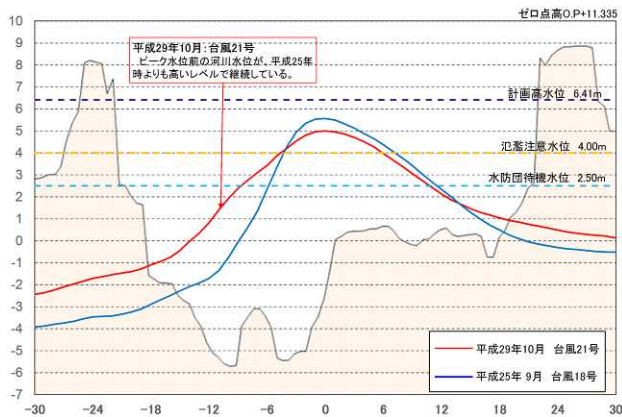


図-3 八幡水位観測所の水位データ (左岸1.4k+261.7m)



写真-3 漏水状況 (久御山地区R5地点)



写真-4 水防活動による釜段と噴砂の状況 (R5地点)

漏水、噴砂の被害が大きかった久御山地区 (右岸 6.0k) および上津屋地区 (左岸 5.6k) の状況を示す。

① 久御山地区

当地区の漏水は堤防屈曲部付近に集中しているが、堤防から遠い場所において漏水が発生した。とくに漏水が大きかった場所がR4、R5地点であり、この地点においては水防活動が行われた。なお、小さな漏水は過去からも発生していた。

② 上津屋地区

当地区はこれまでも漏水被害が多発している地区であり、その対策として川表側に遮水シートおよび遮水矢板(L=10m)、一部区間で川裏のり尻にドレーン工が施工されていた。しかしながら、今回の出水で再び漏水、噴砂が発生した。

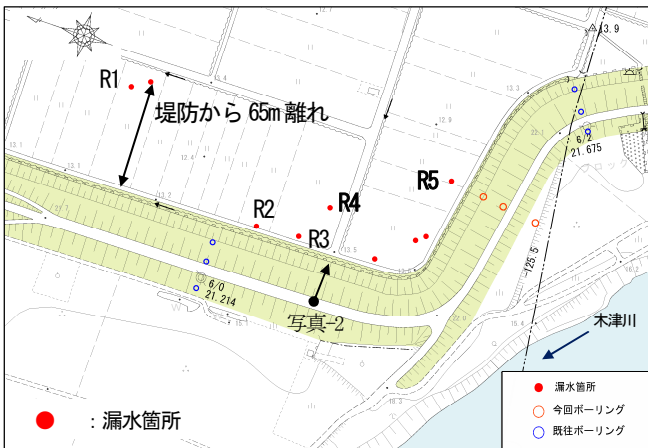


図-4 主な漏水箇所 (久御山町久御山地区)

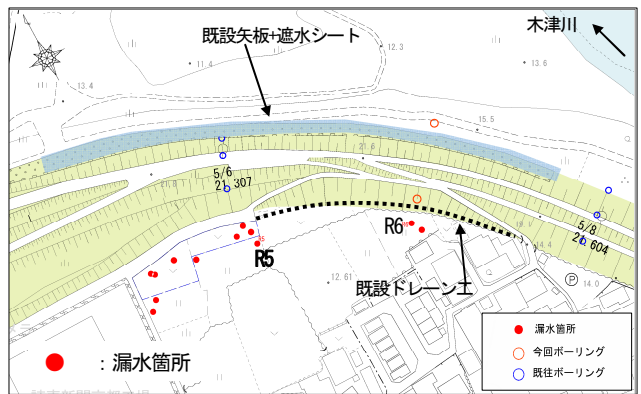


図-5 主な漏水箇所 (八幡市上津屋地区)



写真-2 被災箇所遠景 (堤防上より撮影) (R4,R5地点)



写真-5 漏水状況 (R5地点)



写真6 漏水後の陥没状況 (R5地点)

### 3. 堤防安全性照査手法の課題

久御山地区の浸透に対する既往の照査は「対策不要」の結果であった(図-6, 表-1)。今回、計画高水位(H.W.L)まで水位が達しなかったものの噴砂が生じたことから、既往照査は今回の現象を再現できていないこととなる。したがって、今回実施する調査によって詳細な地盤情報を取得し、漏水原因の分析と併せて適切な安全性照査手法も検討する必要がある。

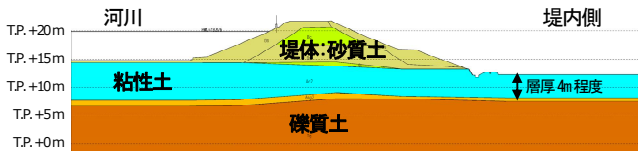


図-6 既往照査断面図 (久御山: 右岸6.0k)

表-1 漏水箇所の既往照査結果

地区名	噴砂地点	既往照査地点	すべり安全率Fs			局所動水勾配		盤ぶくれ	G/W	評価
			川表	川裏	鉛直iv	水平ih				
久御山	右岸6.0k ~6.2k	6.0k	1.51	1.69	-	-	1.77 <sup>注1)</sup>		対策不要	

注1)粘土層厚が厚く照査対象外のため参考値

### 4. 調査方針

今回発生した基盤漏水のメカニズム、及び対策工の検討を行う目的で調査を行った。基盤漏水の発生原因を分析するために着目した点を以下に示し、基盤漏水の概念図を図-7に示す。

#### 【主な調査方針】

- ①表層の粘土層の厚さ
- ②粘土層の土質特性
- ③漏水箇所の詳細な状況確認
- ④地盤の空洞の有無
- ⑤透水性地盤の連続性と透水係数

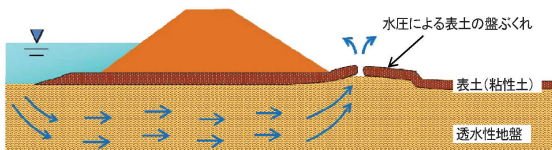


図-7 基盤漏水の概念図

なお、今回漏水した箇所は①堤防から離れており地盤情報が不足していること、②過去において何度も漏水が発生していること、③漏水量や噴砂の規模が大きいこと等から、以下のとおり短期間に段階的に概査、詳細調査を実施した(表-2)。同時に、堤防調査委員会を2回開催し、適宜、学識者の意見を伺いながら進めていった。

- ・第1回: 11/16 (調査方針の審議)
- ・第2回: 2/26 (調査結果, 対策工について審議)

表-2 調査, 検討の実施工程

段階	期間	実施内容
発災	10/23	漏水、噴砂の発生
Step1	10/25~	漏水箇所の現地確認、調査方針立案
-	11/16	第1回堤防調査委員会
Step2	12/11~	概査(地中レーダ探査、簡易ボーリング、スウェーデン式サウンディング)及び詳細調査の計画
Step3	12/21	トレンチ掘削調査(堤防調査委員会立会)
Step4	1/9~	詳細調査(ボーリング、電気探査、室内土質試験、UAV測量等)
Step5	1/29~	被災メカニズムの検討
Step6	2/5~	浸透流解析及び対策工の検討
-	2/26	第2回堤防調査委員会

### 5. 調査結果 (久御山地区)

#### a) 調査結果

図-8に土質断面図を示す。当地区は堤体は砂質土であり基礎地盤は表層から粘土層(Ac2)が層厚4m程度分布している。この粘土層の下位には透水性の良い礫質土層(Asg2, Tg, Og)が厚く分布しているが、難透水層は確認されていない。各層は概ね水平構造を呈している。

出水時に確認した痕跡水位によれば、河川水位と堤内地盤高の比高は5m以上になったものと推定される。

堤内地盤高と河川水位の比高	継続時間(推定)
5m	9hr
4m	14hr
3m	20hr

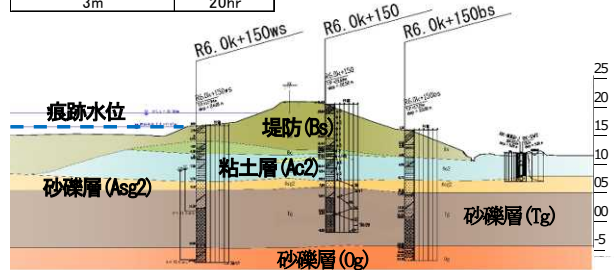


図-8 土質断面図 (今回調査: 右岸6.0k+150m)

以下、前述の調査方針ごとに結果を記載する。

#### ① 表層の粘土層の厚さ (図-9)

堤内地側の被覆土層を調査した結果、被覆土層厚は概ね4m~5mであった。ただし、漏水箇所では被覆土層が薄くなっており、所々で被覆土を割るように下部の砂層が上昇している箇所も多く認められた。なお、被覆土層厚が概ね4.0mを越えると漏水は発生していない。

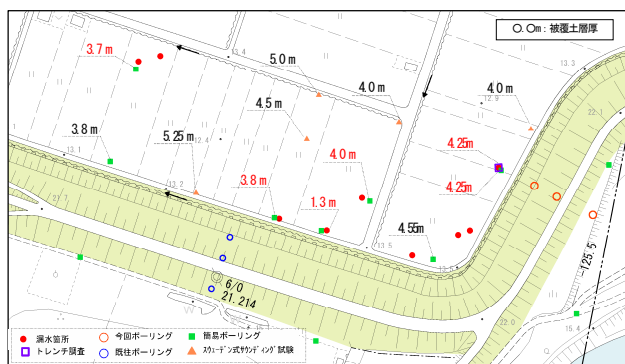


図-9 漏水箇所の粘土層厚 (赤字が漏水箇所)

する砂質土(噴砂跡)も確認できた(写真-9)。



写真-7 トレンチ掘削立会状況 (R-4地点)

② 粘土層の土質特性 (図-10, 図-11)

当地区の表層に分布する粘土層は、砂分が多く混入しており低塑性であることがわかった。したがって、水の浸入によって水みちが形成されやすい特徴があった。

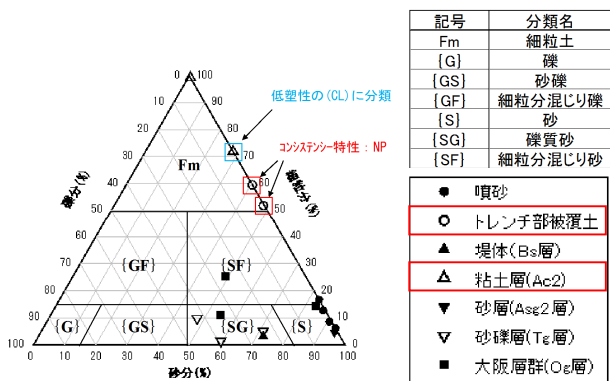


図-10 土質の分類 (三角座標)



写真-8 噴砂口の状況

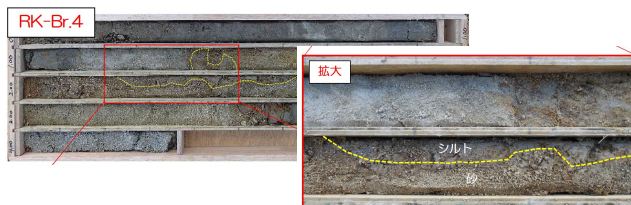


写真-9 ボーリングコア中に介在する噴砂跡 (R3地点)

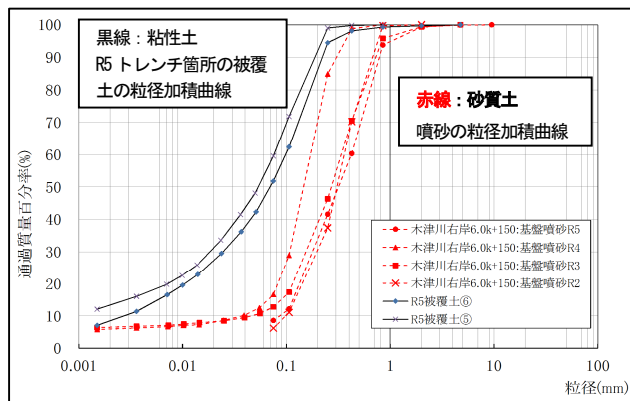


図-11 粒径加積曲線

③ 漏水箇所の詳細な状況確認 (写真-7~写真-9)

R4地点, R5地点でトレンチ掘削を行い, 噴砂箇所の状態を直接目視し詳細を把握した。その結果, 噴砂は被覆土層である粘土層 (Ac2) を割るように上方に上がっていることが確認できた。その他には, 所々に褐色を帯びた砂溜まりも確認され, 以前から繰り返し噴砂が生じていたことが示唆された。R5地点では, 噴砂口となった孔がそのままの形状で確認できた。

また, ボーリングコアでは粘土層中に縦方向に介在

④ 地盤の空洞の有無 (図-12)

漏水に伴って多量の噴砂が生じたことから, 周辺地盤, とくに堤防付近の空洞の有無について調査するとともに水みちの推定を行った。

結果, 空洞は認められなかったものの, 地盤の緩みと思われる異常信号が認められた。その箇所は堤防の屈曲部(水衝部)付近に多かった。

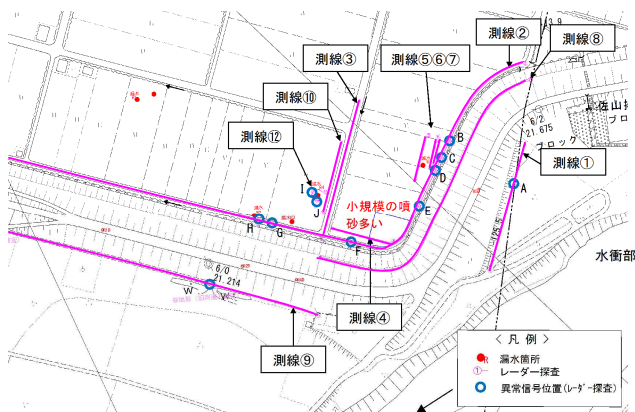


図-12 レーダ探査結果

⑤ 透水性地盤の堤防横断方向の連続性

上記の調査で、漏水は粘土層下の透水層（礫質土層）を通っていることが推察される。これらの透水層と河川との関連および透水係数を把握した。

結果、当地区の透水層の分布標高は、河川の河床高さとほぼ同じ高さに分布しており、帯水層（Asg2、Tg等）の透水係数も良好（ $k=10^4(m/s) \sim 10^5(m/s)$ オーダー）であることから、出水時には河川水が堤内側に流入しやすい状況であることがわかった（図-13）。

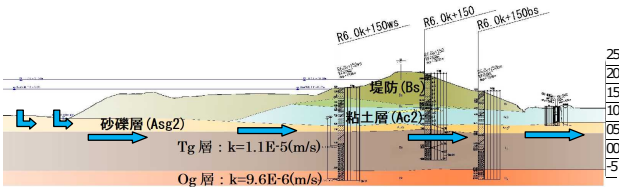


図-13 透水層の分布と現場透水試験値

b) 噴砂の特性からみた噴砂発生源の推定

噴砂及び堤体土、基礎地盤の粒径加積曲線を図-14に示す。噴砂の粒径は0.1(mm)～0.8(mm)の幅で平均粒径(D50)は0.3(mm)程度である。噴砂は流水によって洗われているため地盤の粒径をそのまま表しているものではないが、この粒径が多く混在する地盤が噴砂の基である可能性が高い。この噴砂の粒径と似通っている土質はAsg2層、及びOg層の一部であるが、分布深度を考慮するとAsg2層が噴砂である可能性が高い。また、前述の写真-7のとおりトレンチ掘削の結果、噴砂は被覆土層であるAc2層より下位から上昇していることから、Ac2層直下に分布するAsg2層が噴砂源である可能性が高い。

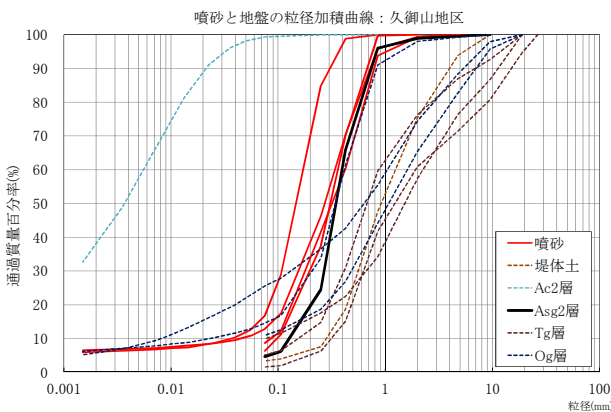


図-14 噴砂と地盤の粒径加積曲線

c) 漏水の原因

当地区は、被覆土層である粘土層が層厚4m程度分布しているため、一般的には漏水が発生しにくい地区である。しかしながら、当地区の被覆土層は低塑性粘土のため、遮水性が低く水みちが形成されやすい土質特性となっ

ている。その下位には河道から連続して透水性の良い砂礫層～礫まじり砂層（Asg2層、Tg層）が分布している。

このような地盤条件の中、これまでの度重なる出水で被覆土層に水みちが徐々に形成されることで、さらに砂の流動が助長され大きな噴砂が発生したと推察される。また、堤防が屈曲し2面が河川に面していることから、漏水量が大きくなり、それに伴って噴砂量も多くなったと推察される。

6. 今回の調査で判明した点と今後の課題

(1) 判明した事項

今回の調査で、粘土層厚と漏水の関係や被覆土の土質特性、地形区分による漏水リスク、基盤漏水の堤体への影響等が把握できた。判明した点を以下にまとめる。

- ・粘土層（被覆土層）が層厚3m～4m程度分布していても低塑性粘土の場合は漏水が発生する可能性がある。
- ・相対的に被覆土層が薄い場所は漏水リスクが高い。
- ・一度漏水が発生した箇所は水みちが形成されているため、同地点で漏水が何度も発生するようになる。
- ・旧河道および地盤高が低い箇所は基盤漏水のリスクが相対的に高い（7章で詳述）。

(2) 今後の課題

現在、上記の調査結果をとりまとめ対策工の検討を実施しているが、これまでに判明した課題を以下に示す。

① 照査手法

今回漏水、噴砂が発生した箇所は、過去の質的照査で対策不要の箇所であった。しかしながら、当地区のように被覆土層が低塑性粘土の場合は、層厚が厚く盤ぶくれの照査対象外の場合でも適切に判定する必要がある。

今回対策を検討する上で、実際の被災を再現する必要があったので、既往照査以外に新たに検討した判定内容とその結果を表-3に示す。

表-3 判定手法による解析結果の変化

判定段階	判定手法	圧力水頭 (m)	揚圧力W (kN/m)	被覆土重量G (kN/m)	G/W	判定
step1	盤ぶくれ	5.52	54.09	62.59	1.16	OK
判定段階	判定手法	全水頭差 (m)	層厚 (m)	動水勾配	安全率Fs	判定
step2	ボーリング	1.86	3.66	0.51	1.75	OK
step3		3.24	3.66	0.89	1.00	OUT

Step1 盤ぶくれ照査：被覆土層がある場合の通常的手法である。被覆土層下面の圧力水頭と被覆土の重量バランスで照査を行った。→ 許容値を満足

Step2 ボーリング照査：噴砂した砂の限界動水勾配を室内土質試験値から求めこれを許容値とし、浸透流解析

により被覆土層に働く動水勾配を求めて判定した。

当地区の噴砂層の限界動水勾配, 判定式は以下のとおりである。

$$\text{限界動水勾配 } i_c = \frac{G_s - 1}{1 + e} = 0.89$$

ここで,  $G_s$ : 土粒子の密度 2.64 (g/cm<sup>3</sup>)

$e$ : 間隙比 0.847

安全率  $F_s = i_c / (\text{被覆土層上面と下面の全水頭差/層厚})$

しかしながら, 上記の計算においても許容値を満足することから, 以下のように再検討を行った。

Step3 透水係数を修正したボーリング照査: ボーリング箇所は水みちの形成により透水係数が高いが, 噴砂地点から堤内側は水みちが形成されていないと仮定し, 以下のように堤内側は一般的な砂層の透水係数とした。

【Asg2層の透水係数の修正】

当初設定値:  $k=1.0E-4$ (m/s)

→ 現場透水試験や粒径より設定

修正設定値

・河道から噴砂地点まで:  $k=1.5E-4$ (m/s)

→ 水みちの形成を考慮し当初設定値の1.5倍の透水係数とした。

・噴砂地点から堤内側:  $k=1.0E-6$ (m/s)

→ 一般的な砂質土層の透水係数を設定した。

## ② 堤内地側の土質情報の取得

一般的に堤防の調査は堤防断面内で実施するため, 堤内地側の土質情報が少なく, 今回のような漏水に対して信頼性の高い検討が困難となる。堤内地は一般的に民地となり調査は制限されることから, より効率的で非破壊的な調査が望まれる。

## ③ 漏水, 噴砂の対策の必要性

今回の出水で多量の漏水, 噴砂が発生した。今後の噴砂の繰り返しにより堤体に悪影響を及ぼす可能性が考えられることから, どの程度の漏水, 噴砂で対策工を必要とするかを判断する基準設定が望まれる。

## 7. 漏水リスクの高い場所, 見るべき着目点

今回漏水が発生した場所についてまとめた結果, とくに基盤漏水は以下の場所でリスクが高いと言える。

- ・旧河道
- ・漏水履歴がある場所
- ・背後地が盛土等の行き止まり地形の箇所
- ・周囲より地盤が低い場所
- ・砂質地盤

・低塑性粘土の下に高透水層がある箇所

上記の事項に複数該当する箇所は, 要注意箇所としてとくに出水時の監視や出水後の点検が望まれる。

図-15に以前から漏水が頻発している箇所の治水地形分類図を示す。図-16には漏水箇所の地盤標高を示す。

結果, 漏水が頻発する箇所は, 旧河道で周辺より地盤が低い場所に多く, 他の漏水箇所においてもこのような条件に当てはまる箇所が多かった。

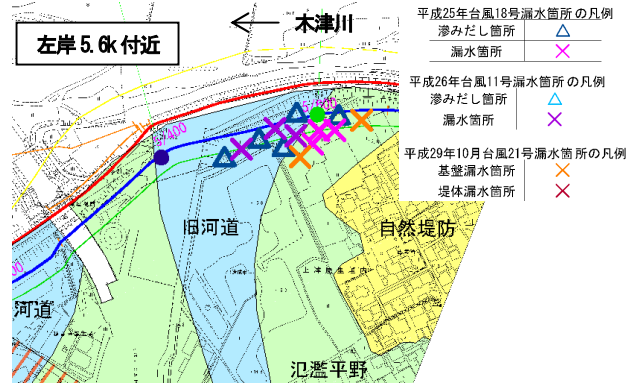


図-15 漏水箇所と地形治水分類

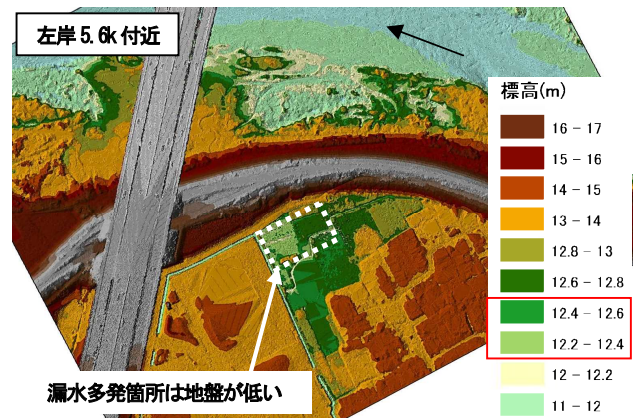


図-16 漏水箇所と地盤標高 (LPデータより作成)

## 8. まとめ

今回の調査では, これまであまり扱われてこなかった基盤漏水の調査を概査から詳細調査まで一連で実施したことにより, 堤防と漏水箇所を含む堤内地側の一連の土質構成や噴砂の状況を短期間で把握することができた。

これらの調査の観点および調査方法は, 今後同様の事象が起こった際に活用されることが期待される。

今後, こうした情報を一元管理し, 堤防巡視時に活用したり, 水防団とも共有することが大切であると考えられる。

なお, 本稿は, 淀川河川事務所工務第一課に在籍した際に取り組んだ内容をもとに作成したものである。