

由良川堤防漏水対策による 地下水影響検討の結果について

井上 雅之

近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 福知山出張所 (〒620-0875 福知山市字掘小字今岡2459-14)

福知山市街地に面する由良川左岸では、平成25年台風18号出水時に堤防法尻及び堤内地の20箇所超で漏水、噴砂痕が確認された。それをうけ、由良川堤防では護岸コンクリートのクラック補修と張コンクリート先端から洪積砂礫層に達する鋼矢板打設による遮水対策を講じる計画となり、昨年度は最優先の施工区間について地下水流動実態調査及び影響予測解析を行った。本発表では、全区間の施工に先立ち、残施工区間における施工前データの蓄積ならびに地下水への影響が予測される全範囲における水利用実態調査の実施により、解析モデルの精度向上、施工影響区間全域の地下水流動の把握ならびに残区間施工による地下水利用に対する影響検討を行った結果について報告するものである。

キーワード 河川堤防, 地下水利用, 遮水鋼矢板施工, 三次元モデル解析

1. はじめに

由良川は京都府、滋賀県、福井県境の三国岳に発し、山間部を西流したのち福知山市内で流路を北東に転じ日本海に注ぐ幹線流路延長146kmの一级河川である(図-1)。

平成25年9月に発生した台風18号による出水では、福知山地点で5時間にわたり計画高水位を超過し、由良川の水位と堤内地盤の比高差が約5mに達した。これにより、堤防法尻や堤内地で噴砂痕(水田・畑地)や漏水(堤脚・擁壁)が複数確認されたほか、井戸からの噴砂も発生している(図-2)。

平成16年10月台風23号以来の大規模出水を背景に、特に36.4k上流の特殊堤(カミソリ堤)区間では堤防強化への地元要望が強く、対応が急務となっている。同時にこの区間は寺社・古民家が密集し、井戸が多数分布する特徴がある。



図-1 由良川流域および検討地区位置図

こうした地域特性をふまえ、昨年度においては漏水・噴砂が確認された中で災害対策対応が急務であった区間について地下水影響予測及びモニタリングを実施した。

本発表では、昨年度の結果をふまえ、調査範囲拡大、調査期間延長によって精度の向上した3次元解析モデルを用い、堤内地下水全体の地下水流動の把握、今後の鋼矢板遮水区間拡大における地下水影響予測結果ならびに今後の施工に伴うモニタリングについて検討を行った結果について述べる。

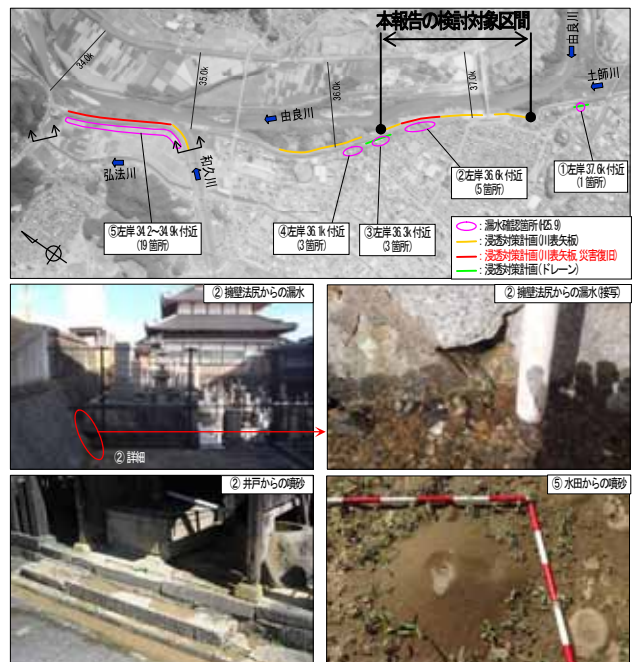


図-2 平成25年9月台風18号時の漏水・噴砂状況

2. 昨年度の検討状況

(1) 堤防地盤モデル

検討区間における堤防地盤について文献地質図および既往堤防調査資料から、堤防下に高透水性を示す層厚 8~10m の沖積砂礫層が、その下位に低透水性の洪積粘土質砂礫層が広範囲に分布することが確認された。

この浸透対策として、護岸コンクリートのクラック補修と張コンクリート先端から洪積砂礫層に達する鋼矢板打設による遮水対策を講じる計画となった(図-3)。

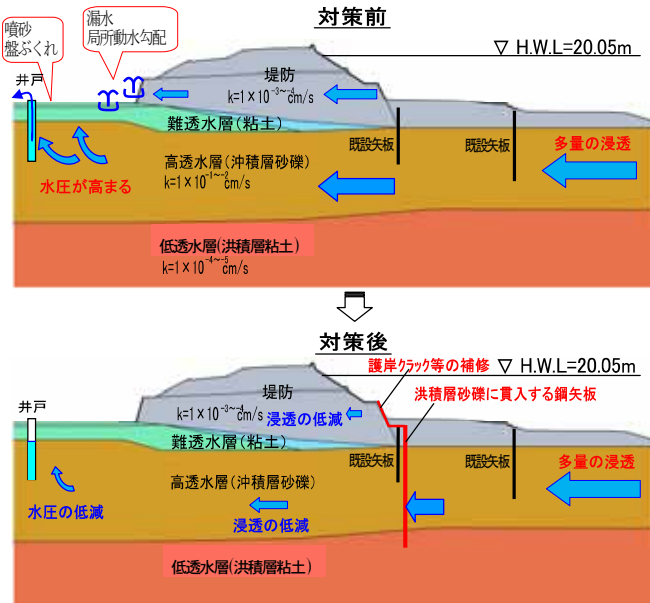


図-3 現況の漏水機構および対策工法

(2) 地下水利用、帯水層構造、流動状況の把握

寺町地区において、保全対象を明確にするため、公共井戸の資料調査及び民生井戸の聞き取り調査を実施した。その結果、施工区間全体で約 111 の井戸が存在し、民生の小規模井戸、一部事業用の中規模井戸が多数確認された。水利用の特徴としては、寺町地区には飲用かつ上水道未使用の民生井戸が確認された(図-4)。

本地域の地質構成は文献地質図および既往堤防調査資料から、上位から①沖積砂礫層(高透水)、②第三紀層や洪積層(低透水地盤)、③基盤岩(難透水)に区分される。主要な帯水層は平野表層に広く分布する沖積砂礫層に特定され、由良川及び各支川と一連の浅層地下水である。地下水の分布や流動を評価・解析するために沖積砂礫層底面の構造を面的に把握した。

施工前の地下水位及び水質の分布を把握するために、ボーリング観測孔及び各支川での一斉観測を行った。その結果、寺町地区及び周辺の地下水は西または南の段丘・丘陵地から由良川へ向かう流れが支配的であり、弘法川からの涵養も受けているものと推定された。

また、連続水位観測により由良川から200m圏内で河川水位との連動性が高いことが確認された(図-5)。

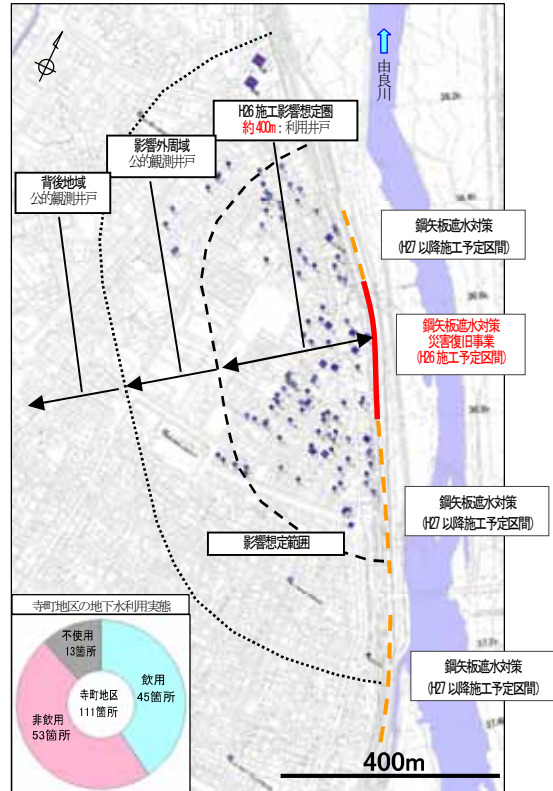


図-4 寺町地区(災害復旧区間)周辺の井戸分布

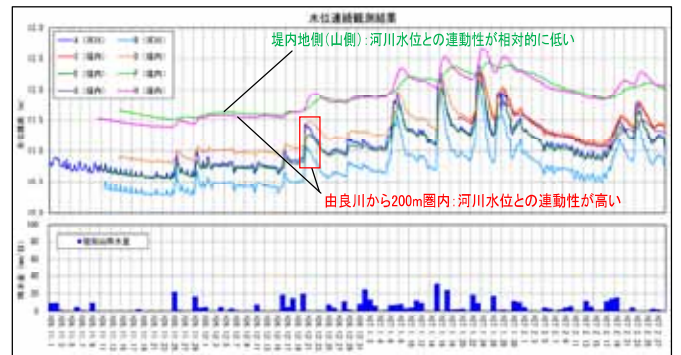


図-5 寺町地区の連続水位変化

(3) 解析モデルの構築

地下水の『利用実態』『帯水層構造』『地下水流動』の基本条件から、寺町地区における鋼矢板遮水により、由良川から200m程度の範囲で地下水位のダムアップと、流速の低下に伴う水質変化の可能性が指摘される。検討地区では①水みちとなり得る旧河道が複雑に分布、②帯水層底面の不陸が激しい、③音無瀬橋付近で河川~地下水の水位(湧出~浸透)が逆転する、④洪積層に達していない既設矢板下側の迂回浸透を正確に再現する必要がある等から、三次元モデルを採用した。

作成したモデルの計算値と実際に観測した地下水位を比較することにより、作成したモデルの再現性を検証した。検証の結果、計算値と観測値の相関が高いことから、モデルの信頼性は十分に確保されていることを確認した(図-6)。

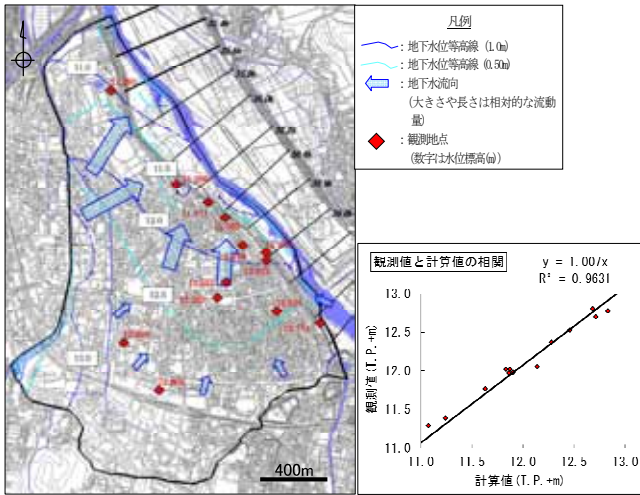


図-6 実測地下水の再現計算結果

(4) 地下水位影響予測

構築した三次元地下水解析モデルを用いて、平成 26 年度施工区間である 36.6k-60 から 36.8k の区間に漏水対策（鋼矢板）を行った場合の影響予測を行った結果、矢板設置箇所から約 30m の範囲で地下水位が最大で 0.20m 程度上昇する予測となった(図-7)。

残施工区間についても同様に、一連区間を遮水した場合の地下水影響予測を三次元解析モデルを用いて行った。その結果、矢板設置箇所を中心として放射状に広がり、地下水位が最大で約 0.45m 上昇する予測結果となった

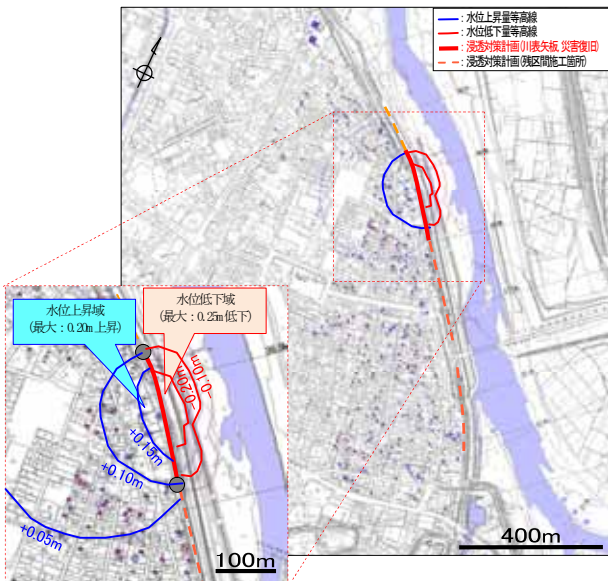


図-7 影響予測結果 (H26 年度施工区間)

(5) 施工モニタリング

施工時の地下水モニタリングの結果、矢板打設前と矢板打設後では由良川水位と代表地点（36.6k+50-堤内）の地下水位の水位差が施工前に比べ0.20m増加した（施工前+0.15m、施工中+0.25m、施工後0.35m）。堤内地の地下水の濁りは施工中において発生しなかった(図-8)。平成 26 年度対策区間施工から 1 年が経過した後、施工前と施工後の水位および水質を比較し、定性的な影響評価を行ったところ、平成 26 年度施工区間に対して当

該地区における地下水位および水質の大きな変化が見受けられないことにより施工影響が収束したことが考えられる(図-9)。

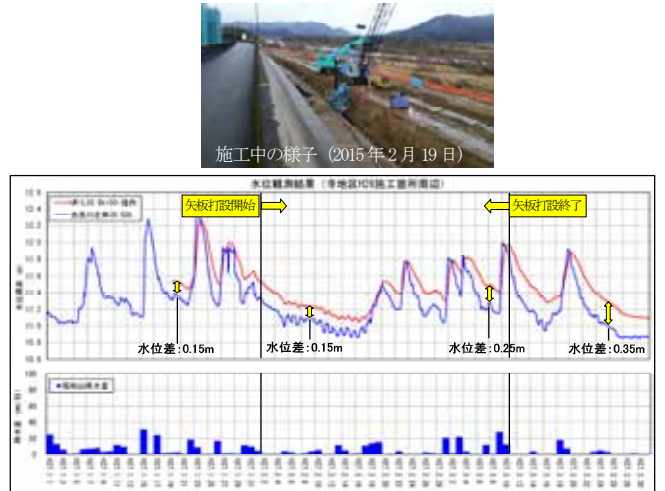


図-8 モニタリング観測結果

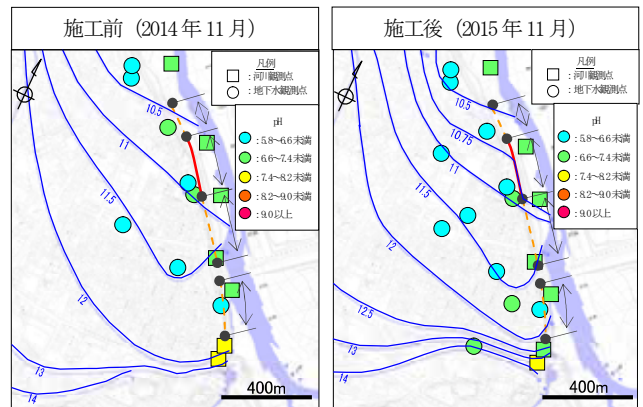


図-9 施工前と施工後 1 年における地下水コンターと水質の変化

3. 全体区間の地下水位分布と流動状況

昨年度の結果をふまえて全体区間の地下水流動の把握、ならびに影響予測を行うため、まずはじめに地下水解析エリア周辺の地下水流動機構を面的な把握を目的とした、地下水位観測および河川水位観測を幅広い流況下で実施した。水位観測では、地下水位・水質の測定を行い、平成 28 年度には新たに地下水調査範囲拡大、調査期間延長により既施工区間での施工後データおよび残施工区間の施工前データの蓄積を目的に地下水利用実態調査を行った。調査より施工区間地域全体での地下水流動状況の把握、後述する 3 次元モデル解析の精度向上に繋がった(図-10)。以下に地下水流動の特徴を記す。

寺町～内記下流

本地域では、背後の山麓及び弘法川から涵養され、沖積平野下を緩やかに流下し、由良川下に湧出する流れが確認されている。鋼矢板遮水ラインから約 50m の範囲では、由良川へ湧出する流れが矢板によって遮断されるため、堤内側で 5～15cm の地下水位上昇がみられる。

内記上流

37.0k の早瀬上流側では、由良川から 100~150m の範囲で地下水が堤内向きの動水勾配を示しており、由良川からの地下水と山地丘陵からの地下水との間に「地下水位の谷」が存在している。この地下水位の谷の位置は流況に応じて変化することが確認されており低流況ほど谷筋が明瞭となる。

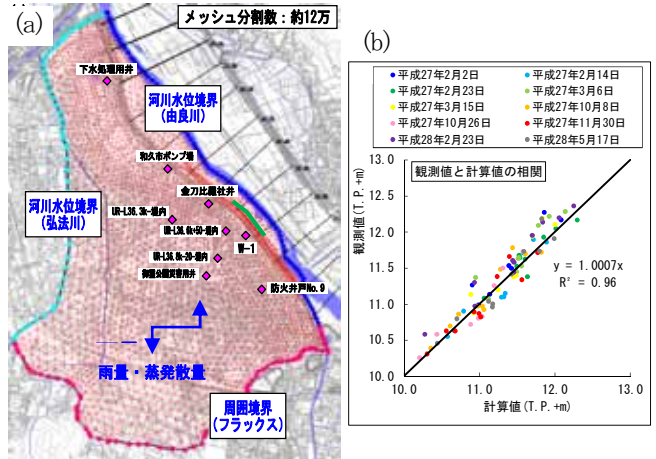
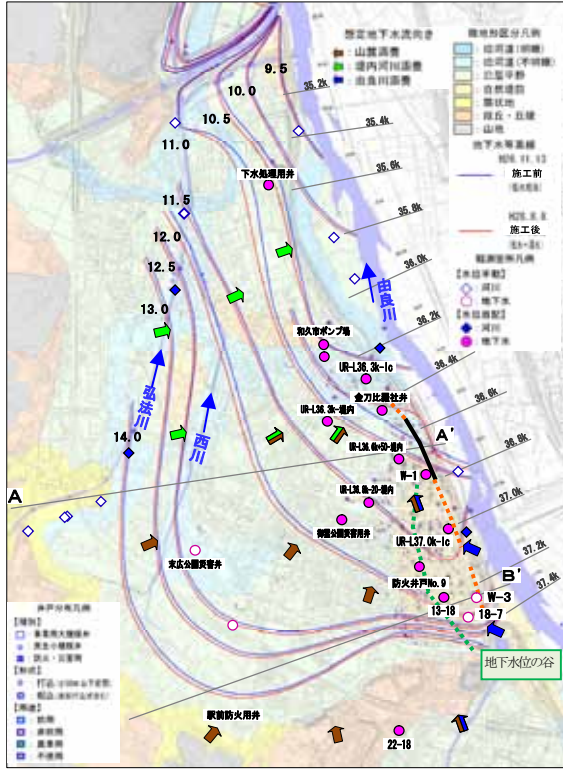


図-11 モデルにおけるメッシュの分割・検証地点および結

5. 過年度および今後の施工影響評価

実測データ及び地下水解析モデル計算に基づき、平成 26 年度施工による影響評価及び残区間施工時の影響予測結果を踏まえた地下水利用に対する影響評価を行った。

(1)平成 26 年度施工による影響評価

a) 地下水特性に対する影響

鋼矢板打設により由良川へ湧出する流れが遮断（ダムアップ）され、堤内地下水位の上昇・水質変化・出水後（降雨後）における地下水位低下速度の鈍化・地下水流向の変化が懸念された。

まず地下水位の変化については、由良川水位観測地点（国 36.63k）と矢板打設区間近傍観測井（UR-L36.6k+50-堤内）の日平均水位を平成 26 年度施工前中で比較検討を行った。その結果、水位差は矢板打設前・中・後にかけて拡大していき、平水位時において施工前後で比較すると 0.05~0.12m の地下水位上昇が認められた（図-12）。施工後 1 ヶ年の観測により、流況変化による影響の拡大等がない「影響の収束」が確認された。また、水質は矢板打設中を含め、有意な変化（濁りの発生や飲用項目の数値悪化）はなく、地元からの施工後における利水障害等の報告もなかった。

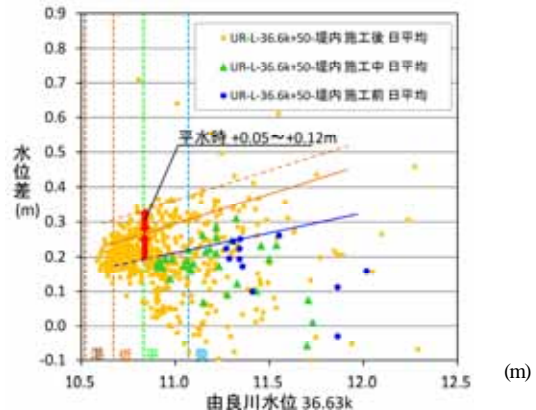


図-12 由良川-地下水水位差分布図

次に、矢板打設前後における出水後（降雨後）における地下水位低下速度鈍化の有無や流向変化について、実

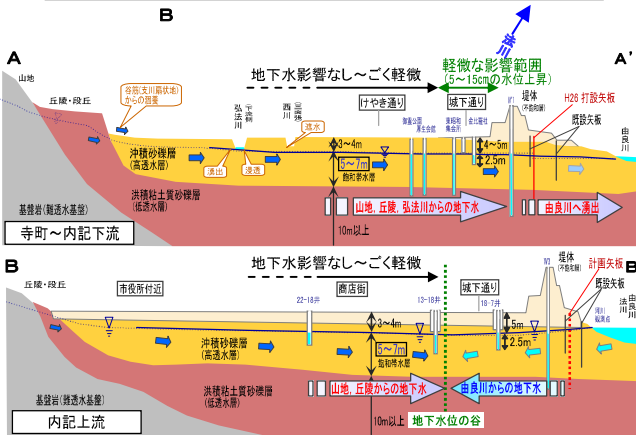


図-10 H26 施工前後における地下水流動平面図・断面

4. 解析モデル

解析モデルについては、昨年度と同様に、三次元モデルを採用した（図-11(a)）。平成 28 年度に調査範囲拡大及び調査期間延長し、実施した水利用実態調査により、より精度の向上した 3 次元モデルを構築した。

作成したモデルの再現性については、実測した地下水位とモデルの計算値を比較し検証を行った。検証の結果、計算値と観測値の相関性が高いことからモデルの信頼性が十分に確保されていることを確認した（図-11(b)）。

測水位データ、解析モデルによる再現計算結果より検証を行った。H26年度矢板打設前後の類似の水位ピークを有する降雨後の地下水位低下速度を比較した。矢板打設区間近傍における水位低下中のハイドログラフは、施工前後で概ね同等の勾配・水位低下時間を示すことから、地下水位低下速度の鈍化は認められない。(図-13) また、施工前後の流向・流速変化は矢板至近部(堤防裏法尻から10m以内)に留まっており、旧河道を通じ、由良川へ排水される流経路に変化はない。(図-14)

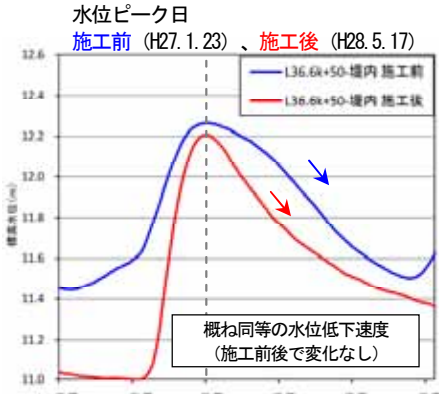


図-13 施工前後の地下水位低下

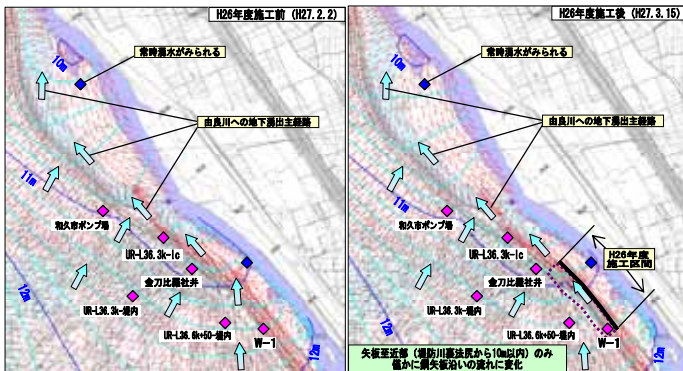


図-14 施工前後の流向分布の変化 (モデルによる再現計算)

b) 堤防本体に対する影響

鋼矢板打設により、堤防から10mの範囲で流向・流速が僅かに変化し、地下水の流れが矢板打設箇所近傍に集中することにより堤防本体へ影響が懸念された。当該地の再現計算で得られた最大流速は $V_p=0.03\text{cm/s}$ (砂礫の有効間隙率一般値20%で実流速換算後)であり、既存ボーリングの粒度試験25%粒径 $D_{25}=0.41\text{mm}$ で文献の限界流速と対比した結果、パイピングの安全率としては「安全圏」とであると判定した(図-15)。

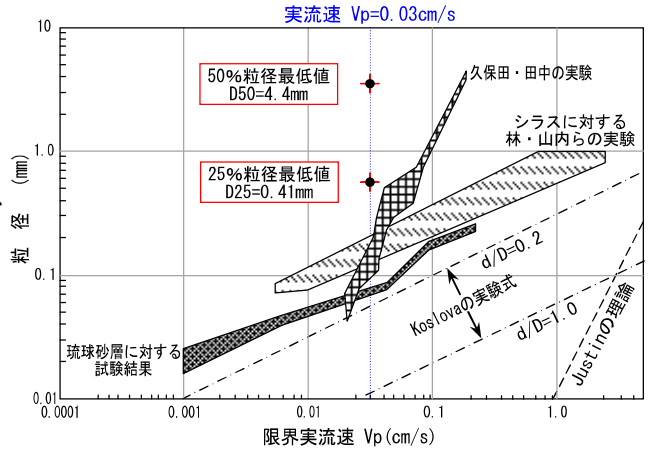


図-15 粒径と限界流速の関係 (大野ほか, 1982に加筆)

(2) 全体区間施工後の影響予測と利用への評価

三次元モデルを用い、残区間の施工ステップごとの地下水変動(地下水位・流速・流向)を予測した(図-16)。当該地域では37.0k付近を境に地下水流動のメカニズムが異なるため、施工区間によって予測結果が以下のように分けられる(図-17)。

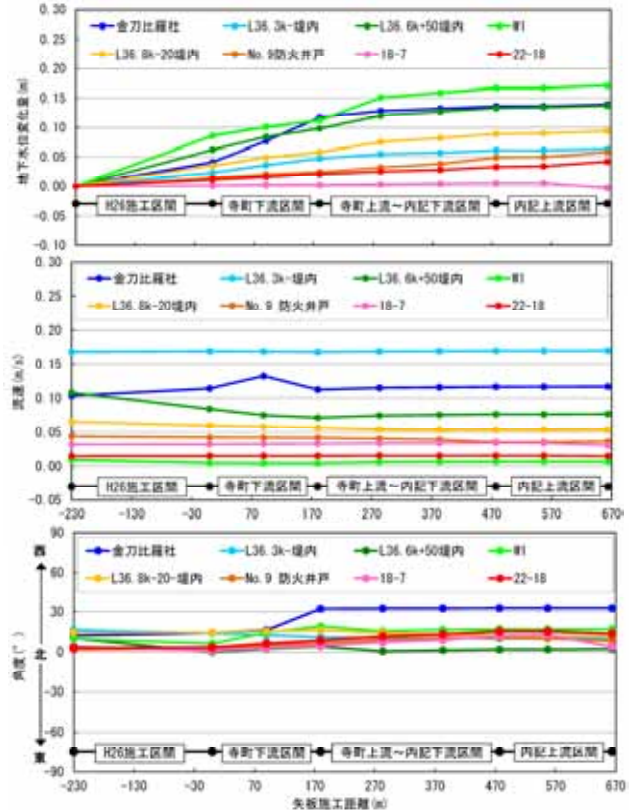


図-16 施工進捗毎の評価地点における水位・流速・流向の変化

寺町～内記下流: 背後地から由良川へ向かう地下水のせき上げにより、鋼矢板打設ラインから概ね250mの範囲で0.1m～0.2mの地下水位上昇が予測される。地下水位が上昇することから、揚程軽減となり取水への量的影響は発生しない。地表付近の土壤水分量については、予測される水位変化量が地下水面の深度(4m前後)と比較して小さく、当該地区の地盤特性(砂礫卓越)からみて影響は極めて小さいと評価される。なお、水質面で

は地下水の流向・流速は有意な変化は予測されず、水質悪化の可能性は低い。

内記上流：由良川・法川から堤内へ向かう地下水の遮断により、鋼矢板打設ラインから概ね 80m の範囲で 0.05~0.1m の地下水位低下が予測される。地下水位の低下範囲は限定的で低下量も小さいため、量的影響は軽微と推定される。水質面では地下水の流向・流速は有意な変化は予測されず、水質悪化の可能性は低い。ただし、当地区では河川から堤内向きの地下水流動が存在することから、施工中における濁水流入の可能性があるので、慎重な施工が必要になる。

地名	矢板からの距離 (m)		地盤高		H26.8 観測 (低水~高水位)		予測水位変化量 (m) (鋼矢板打設前比)	
	H26 区間	全体区間	GL (m)	GL (-m)	GL (m)	GL (-m)	H26 区間	全体区間
金刀比羅社	26.4x30	88	90	15.9	5.211	10.589	+0.041	+0.129
UR-L36.3x-堤内	26.4x-80	275	225	15.48	4.714	10.786	+0.023	+0.063
UR-L36.6x-50-堤内	26.6x+55	100	100	16.117	5.295	10.822	+0.062	+0.137
W1	26.8x-20	25	25	21.289	10.443	10.844	+0.066	+0.171
UR-L36.8x-20-堤内	26.8x+175	300	300	16.15	4.925	11.225	+0.035	+0.094
No.9 防火井戸	27.0x+55	480	180	16.598	5.254	11.342	+0.014	+0.058
18-7	27.2x+25	550	70	16.92	5.188	11.732	+0.001	-0.003
22-18	27.2x+20	710	350	16.215	2.16	14.055	+0.011	+0.042

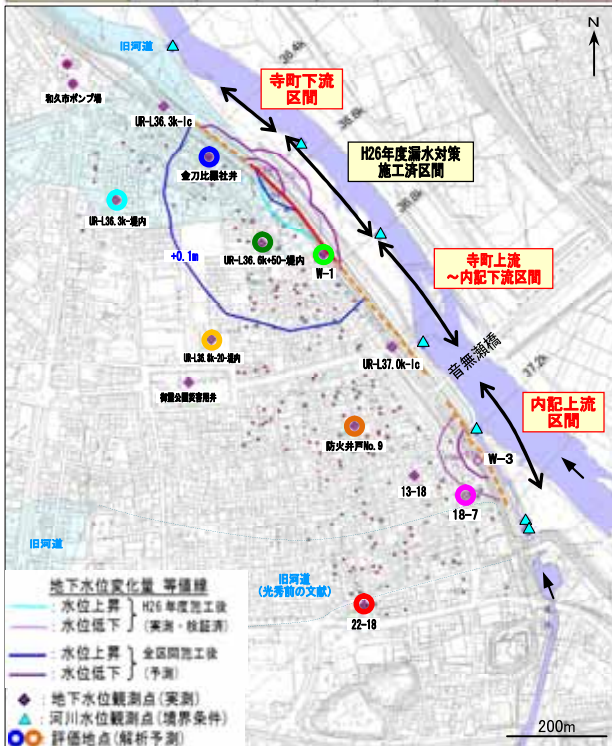


図-17 H26 年度施工影響の再現及び全区間施工後の影響予測

6. 今後の施工にともなうモニタリング計画

鋼矢板遮水区間は最終的に延長約 1km に達するため、施工の進捗に応じて影響が累加すると考えられる。平成 26 年度施工の影響実績、今後の影響予測結果を踏まえ、3 区間が年度別に順次施工されることを想定し、施工区間に重点配置し、施工済み区間では順次観測の項目・密度を低減させていくことにより、影響発生の有無と累積・収束を合理的に把握する（図-18）。施工後の地下水位の上昇・低下は量的に軽微であり利用上の影響は生じないと考えられるが、施工 3 年目の内記上流地区

（由良川近傍範囲）は、由良川から堤内向きの地下水流動が存在するため矢板打設中の濁水流入の可能性があるので、当地区に大規模な取水井はないが、一部銭湯、池水（鯉）、飲食物加工用に常用されている井戸が含まれていることから、リアルタイム水位・濁度監視を含む慎重なモニタリングが必要である。施工時には施工者・地元関係者との情報共有を図りつつ慎重な工事を進めていく。

7. まとめ

○H26 年度施工による施工影響評価

地下水位は平水時 0.05~0.12m の上昇にとどまり、水質についても濁り等の有意な変化は見られなかった。出水時の地下水位低下速度は施工前後で概ね同等となった。

○全区間施工後の施工影響予測

寺町~内記下流

0.1m~0.2m の地下水位上昇が予測される。量的な影響や水質悪化が起こる可能性は低く、土壌水分量も当該地区の地盤特性より影響は極めて小さいと思われる。

内記上流

0.05~0.1m の地下水位低下が予測されるが、範囲が限定的で低下量も小さいため、量的な影響や水質悪化の可能性は低いと思われる。ただし、河川から堤内向きの地下水流動が存在するため、慎重な施工が必要となる。

○今後の施工モニタリング

H26 年度の施工実績や今後の影響予測結果を踏まえ、今後も影響発生の有無と累積・収束を合理的に把握する必要がある。

8. 謝辞

本稿の作成にあたり多くのご指導及びご助言をいただきました平成 26 年度「由良川左岸地下水調査業務」の担当者様、受託者である建設技術研究所（株）に感謝の意を表します。

引用文献

大野睦雄・山崎 弥・トランデュックフィオアン：砂のパイピング特性に関する実験的研究，第 17 回土質工学研究発表会講演集，pp.2317~2320，1982

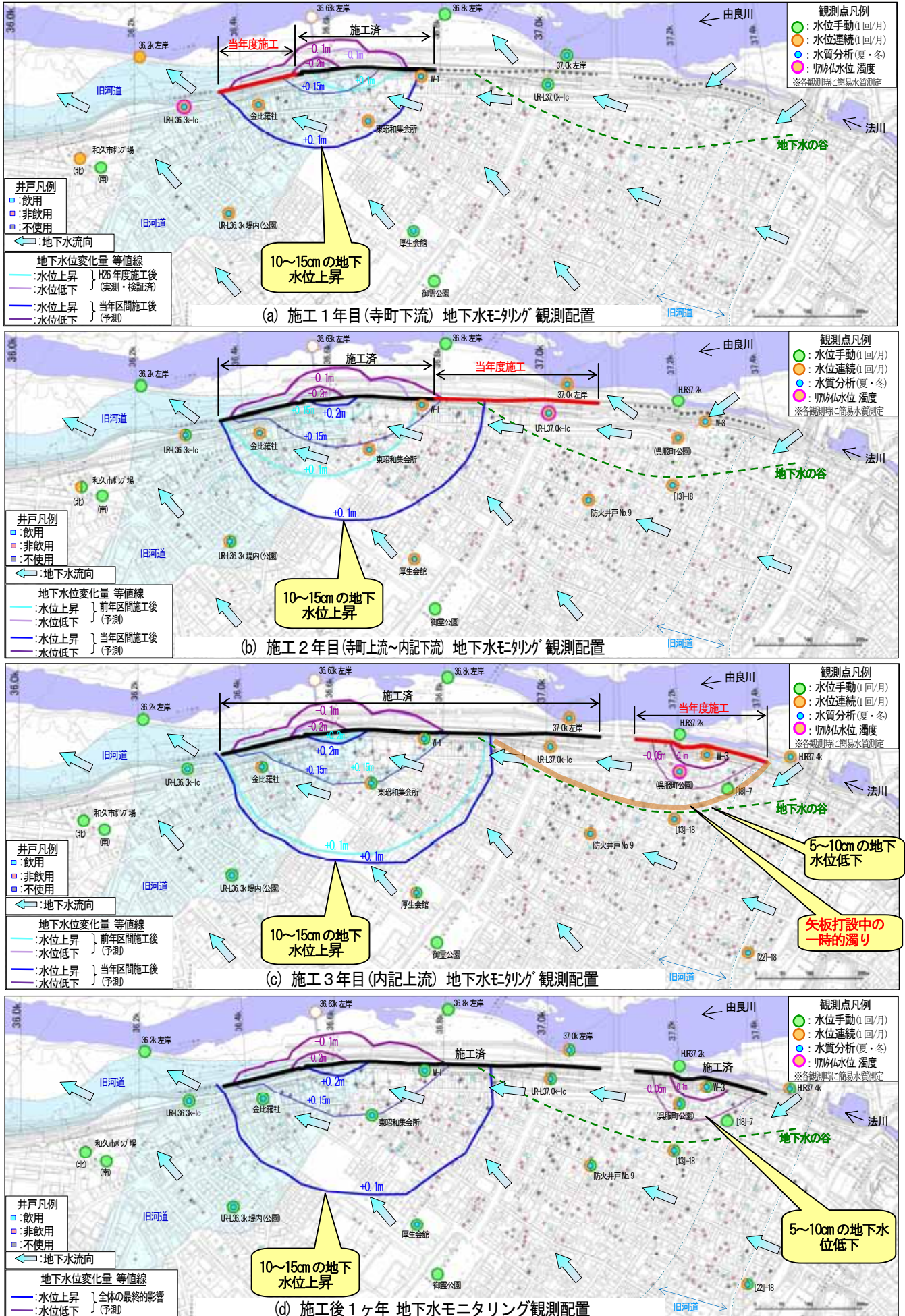


図-18 年度毎の地下水モニタリング観測配置図