

# 矢口川排水機場建設における太田川左岸堤防への影響とその対策について

山下 篤志<sup>1</sup>・榎谷 有吾<sup>2</sup>・谷上 正晃<sup>3</sup>

<sup>1</sup>中国地方整備局 太田川河川事務所 調査設計第一課 (〒730-0013 広島県広島市中区八丁堀3-20)

<sup>2</sup>中国地方整備局 河川部 河川計画課 (〒730-8530 広島県広島市中区上八丁堀6-30)

<sup>3</sup>国土交通省 総合政策局 官民連携政策課 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3)

太田川水系矢口川流域では、内水対策として、太田川堤防の近傍に排水機場の増設を計画している。本論文では、排水機場の建設が堤防に与える影響の検討内容について記す。

キーワード 内水はん濫, 排水機場, 浸透流解析

## 1. 矢口川の内水被害の概要

### (1) 矢口川の概要

矢口川は11k500地点で太田川に合流する流域面積5.201km<sup>2</sup>の河川である(図-1)。広島市東区温品町の松笠山(標高374.3m)に発し、広島市安佐北区口田の市街地を流下し、下流端付近で都市下水路である絵坂川が合流する。

### (2) 矢口川流域における内水被害

矢口川流域では、1969年3月に、太田川から矢口川に水が逆流することを防ぐため、水門が設置されている。しかし、水門を閉鎖すると、矢口川の水が堤内に湛水するため、浸水被害(内水被害)が発生していた。1972年には、浸水面積が2haに及ぶ内水被害が発生した。そのため、1989年に、救急内水対策事業によって、4m<sup>3</sup>/sの排水機能を確保した。



図-1 矢口川位置図

しかし、矢口川流域においては、その後も、2005年及び2010年において、床上浸水被害を伴う大規模な内水被害が発生しており(図-2)、更なる内水対策が必要となっている。

## 2. 矢口川総合内水対策計画

### (1) 矢口川総合内水対策計画

矢口川流域では、内水被害を解消するために、国・県・市で、2012年7月に「矢口川総合内水対策計画(以下、「計画」という。)」を策定した。計画では、年超過確率1/10規模の降雨が生じた場合においても、床上浸水被害を防止することを目的とし、ハード対策とソフト対策が計画されている。このうち国が整備する、ハード対策として、新規排水機場の建設が位置づけられている。これは、既存の4m<sup>3</sup>/sの排水機場に加えて、新たに8m<sup>3</sup>/sの排水機場を増設することで、内水の排水機能を増加させるものである。

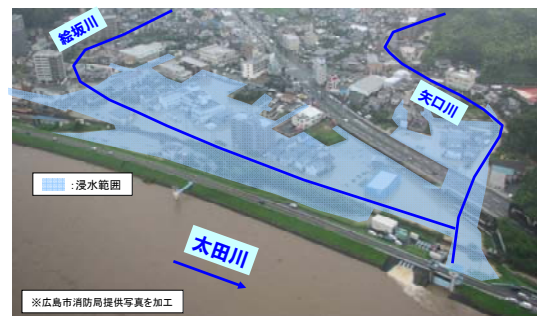


図-2 内水浸水被害の範囲図(2010年7月)

### 3. 排水機場建設による課題

#### (1) 排水機場の建設位置

内水氾濫は、水門を閉め切ることにより起因する。そのため、排水機場は水門周辺に建設することが効果的である。一方、堤防に近接して排水機場を設置すると、排水機場の振動により堤防に影響を及ぼす可能性があるため、できるだけ堤防から離して設けるよう努めなければならない<sup>1)</sup>。しかし、矢口川水門の周辺には既に救急内水排水機場が建設されているほか、堤防と平行してJR芸備線が運行している。そのため、図-3 のとおり、既設排水機場に隣接した位置に新規排水機場を建設することとした。なお、堤防に影響を与えない方法としては、太田川側に堤防を張り出す方法もあるが、流下断面を狭め洪水時の河川水位が上昇するため採用しないこととした。

#### (2) 排水機場建設が堤防に与える影響

(1)の位置に排水機場を建設する場合、機場本体が堤体内の一部に食い込むこととなる。排水機場を堤体内に建設すると、堤防の横断的な浸透水の流れが阻害され堤体内水位が上昇すること(図-4)、阻害された浸透水が排水機場に縦断的に沿って流れ排水機場端部に浸透水が集中することが想定される。これらによる課題は、①排水機場端部盛土への浸透水の集中によりパイピングの危険性が高まる、②堤体内水位上昇により通常よりも吐出管周りでのパイピングの危険性が高まる、③排水機場の振動が堤防近傍の地盤に伝わる事により堤防の安全性が低下する可能性があることと考えられる。

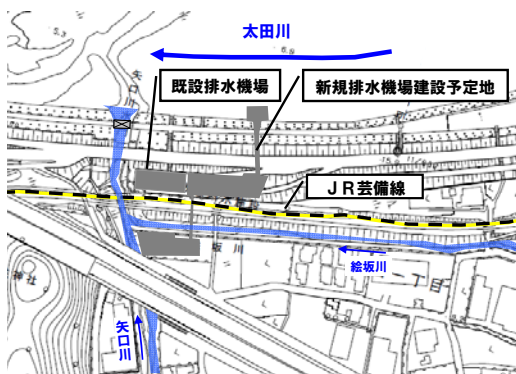


図-3 新規排水機場の建設位置

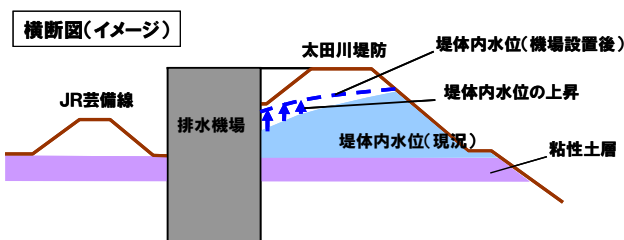


図-4 新規排水機場の建設による影響イメージ

#### (3) 課題①について

排水機場の建設予定地では、図-5 に示す様に堤防下に不透水層が存在するため、浸透水が排水機場の下部から堤内側に流れるとは考えられない。また、新規排水機場より下流側では不透水層が見られないこと、既設排水機場に盛土箇所があることなどより、図-6 に示す様な流れになると考えられる。すなわち、浸透水が排水機場に沿って流れ、最終的に排水機場端部付近に浸透水が集中し、堤防のり尻付近でも水位が高くなる。そのため、堤防のり尻付近で土粒子に加わる水圧が高まり、パイピング発生の危険性が増し、堤防の安全性が低下することになる。

#### (4) 課題②について

課題①と同様に、土粒子が流出する可能性が高い箇所として、堤防を横断する吐出管がある。堤体内水位が上昇することにより吐出管まわりの流速が高まること、浸透水の流れを遮る遮水壁<sup>2)</sup>で浸透水の流れを阻害し、遮水壁周辺に浸透水が集中して水圧が上昇することが考えられる。その結果、土粒子が流出しパイピングが発生する恐れがある。パイピングが発生すると土粒子は次々と流出し、最終的には堤防の崩壊を招く危険性がある。

#### (5) 課題③について

排水機場の振動により周辺地盤に影響を与え、堤防が沈下する恐れがある。

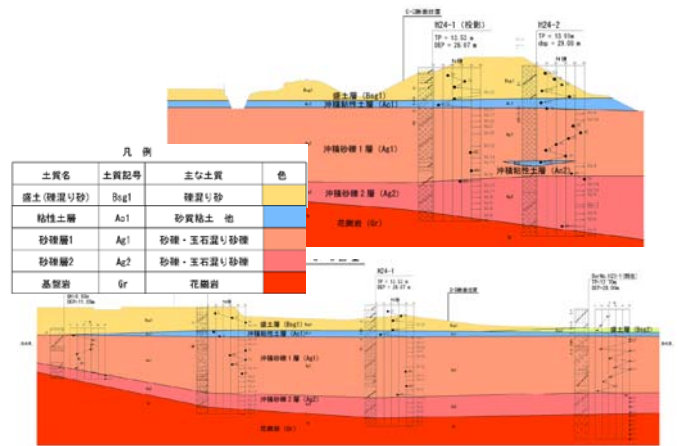


図-5 土質縦横断面図

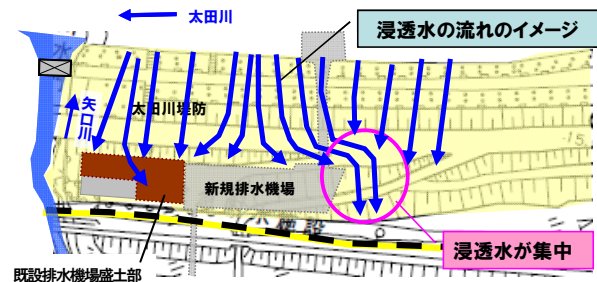


図-6 排水機場周辺で想定される浸透水の流れ

#### 4. 影響検討と対応策

3. で示した影響の検討について、排水機場を建設した場合の堤体内の水位等を3次元浸透流解析によって検討、振動が堤防へ与える影響確認を既設排水機場周辺の現地調査で実施した。

##### (1) 解析モデル (3次元浸透流解析)

3次元浸透流解析モデルは、横断土質構造に加えて、縦断土質構造が浸透流に及ぼす影響を把握することができる解析モデルである。今回の検討では、堤防、排水機場、土質構造をモデル化し、横断方向と縦断方向の浸透水の流れによる影響を含めて、3次元的に堤体への影響を検討する。

##### (2) 矢口川下流域のモデル化

解析を行う範囲としては、構造物による地下水位への影響範囲を包括する範囲とすることが望ましい。そのため、堤防縦断方向については、水位低下の影響範囲を透水係数から算出することができる「Sichardt の式」を用いて500mの範囲とした。横断方向については、堤内側は堤防天端より約300m遠方で地形が変化するため、この範囲を包括する範囲とし、堤外側は河川水が存在する程度の範囲として、のり尻から100mを包括する範囲とした<sup>3)</sup>(図-7)。

表-2 透水係数の設定

地層名	設定値 (cm/s)
Bsg1 盛土(礫混じり砂)	$2.8 \times 10^{-2}$
Ac1 粘性土層	$3.6 \times 10^{-7}$
Ag1 砂礫層1	$5.5 \times 10^{-3}$
Ag2 砂礫層2	$6.9 \times 10^{-2}$
Gr 基盤岩	$1.0 \times 10^{-7}$

表-3 外力条件 (降雨)

事前降雨	総降雨量	290mm	過去10年間の月間降雨量の平均値
	降雨強度	1mm/hr	河川堤防の構造検討の手引きより
洪水時降雨	総降雨量	396mm	計画降雨量
	降雨強度	10mm/hr	河川堤防の構造検討の手引きより

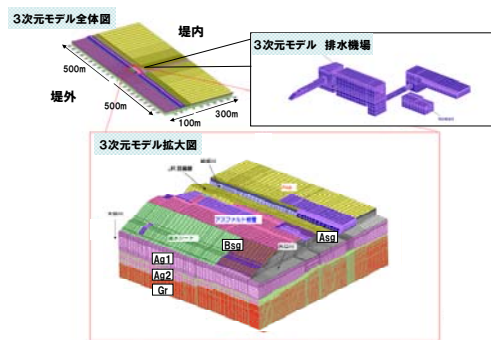


図-7 3次元浸透流解析による矢口川下流域のモデル化

基礎地盤の土質は、盛土の下に不透水層であるAc1が堆積し、その下に玉石混じり砂礫(Ag-1、Ag-2)が厚く堆積している。基盤岩は締まった花崗岩であり、モデル化範囲の基盤層とした。各地盤の透水係数については、地質調査及び土質試験の結果より、表-2のとおりとした。

##### (3) 浸透流解析の外力条件

降雨条件は、表-3のとおり設定した。多雨期の地盤の浸潤状態を表現するため事前降雨を与え、図-8に示すとおり、太田川の計画降雨が発生し、水位が計画高水位まで上昇することとした。

##### (4) 解析結果 (浸透水の流れ)

解析結果について、自由地下水位コンター及び流速ベクトルにより浸透水の流れを図-9に示す。堤防内に構造物の無い堤防一般部に比べ、新規排水機場箇所の堤体内水位が高くなっている。また、横断的に阻害された浸透水が構造物上下流端で堤内側へ流れており、特に新規排水機场上流端で流速が速くなっている。これは、構造物と盛土下のAc層により堤体内水位が上昇し、構造物箇所の浸透水が端部へ回り込んでいるためと考えられる。

##### (5) 課題①の影響検討

###### a) 評価方法

排水機場端部の盛土箇所で水位が上昇することの危険性を評価するために、局所動水勾配を用いて確認する。局所動水勾配が高ければ、評価地点において土粒子が流出する危険性が高いこととなる。

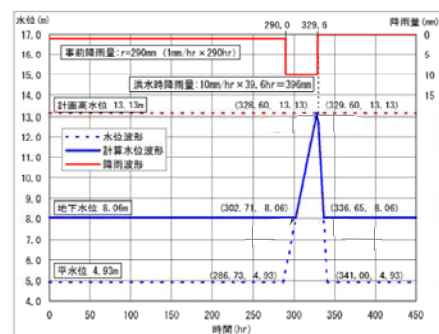


図-8 外力条件 (降雨量・水位の時間推移)

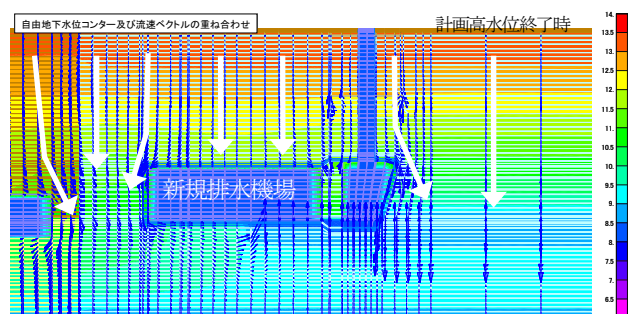


図-9 解析結果 (排水機場整備後の浸透水の流れ)



## b) 検討箇所

評価地点は、3.の課題で示したように、排水機場の上流近傍で浸透水が集中することであるが、下流端の盛土については JR 軌道盛土と一体となっており堤防断面が大きく安全度が高いと考えられる。そのため、ここでは排水機場上流付近の5箇所を評価地点とし、さらに、堤体内の水位上昇が排水機場の建設による影響であることを示すため、比較対象として排水機場による影響範囲外と考えられる堤防一般部の5箇所についても解析対象とした(図-10)。

以上の条件により、堤防のり尻部について評価した。

## (6) 課題①の影響検討結果及び対策検討

### a) 影響検討結果

評価地点(①~⑩)の局所動水勾配の解析結果を図-11示す。排水機場近傍の評価地点①~③において、堤防一般部(評価地点⑥~⑩)と比較して局所動水勾配が上昇している。これは、排水機場による影響と考えられるため、現況と同等の堤防安全性を確保可能な対策を検討する。

### b) 対策検討(遮水シート)

対策工として遮水シートの設置を検討した。遮水シートによって、堤体内への河川水の浸透を防ぎ、堤体内の水位上昇を抑える。遮水シートは、図-12のとおり、堤防川表側の護岸に設置することとした。

対策後の解析結果を図-13に示す。対策前の局所動水勾配に対する比率を示している。遮水シートを設置すると、設置前に比べ排水機場の近傍(評価地点①~⑤)で局所動水勾配の低下を示す結果が得られた。

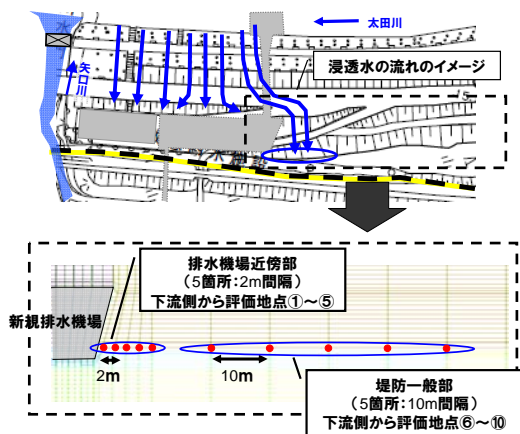


図-10 評価地点(課題①)

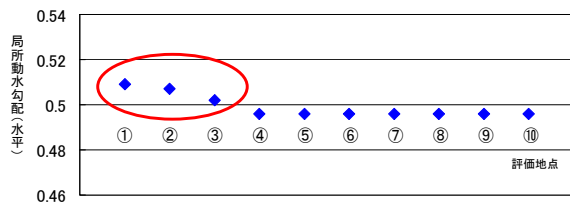


図-11 解析結果(のり尻における局所動水勾配)

### c) 対策検討(ドレーン工)

遮水シートにより、堤体内の水位上昇を抑える効果が期待できるが、今回は堤防定規断面の一部に工作物を設置するという特殊な状況であることから、さらなる対策として「ドレーン工」の設置を検討した。ドレーン工により、堤防のり尻付近の浸透水を排出し、のり尻付近の水位を低下させることができる。ドレーン工は、図-12の通り設置すると想定した。

対策後の解析結果を図-13に示す。遮水シートに加えてドレーン工を設置すると、排水機場の近傍で大きく局所動水勾配を低下させる結果が得られた。

自由地下水水位コンター及び流速ベクトルにより対策後の浸透水の流れを図-14に示す。遮水シート未設置区間からの浸透水の回り込みにより遮水シート端部で水位上昇が見られるものの、堤防一般部に比べ堤体内水位上昇は少なく、遮水シートによる効果が現れている。新規排水機場上流端部には、対策前と違い堤防一般部から水が集まるが、ドレーン工の効果によりのり尻付近の水位は低下している。

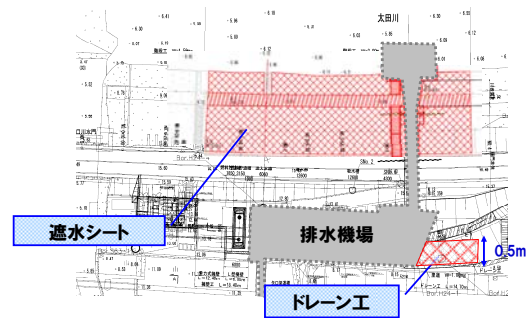


図-12 対策工の設置位置

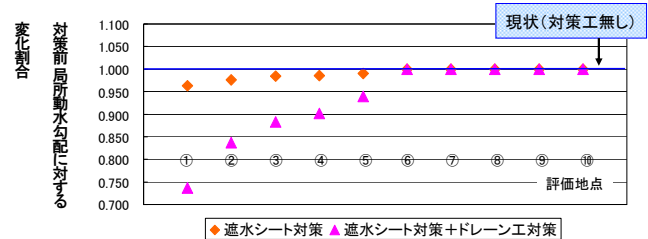


図-13 対策後の解析結果(対策前との比較)

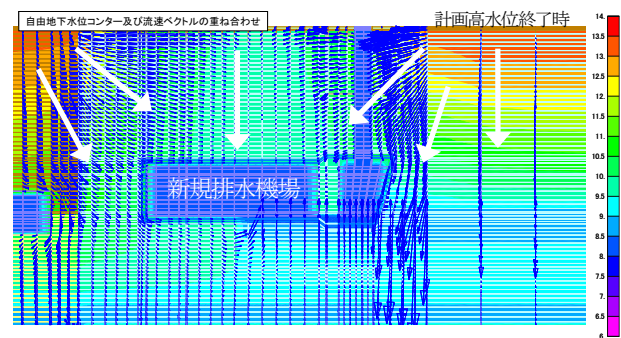


図-14 解析結果(対策後の浸透水の流れ)

(7) 課題②の影響検討

a) 評価方法

吐出管周りで流速、局所動水勾配により、土粒子が移動しないことを確認する。局所動水勾配が基準値内に収まること、局所流速と Justin の式及び多粒子限界流速式<sup>4)</sup>による限界流速を比較することで評価した。

b) 検討箇所

遮水壁で浸透水の流れが阻害され、遮水壁周辺で流速が高くなる場合がある。今回の場合、排水機場建設の影響で堤体内水位が高く、通常よりも流速が高くなり遮水壁周辺にパイピングが発生する恐れがある。そのため、局所動水勾配の評価地点については、パイピングの発生が懸念される吐出管の遮水壁を中心に8地点で評価した。(図-15)

(8) 課題②の影響検討結果及び対策検討

a) 影響検討結果

評価地点(①~⑩)毎の局所動水勾配の解析結果を図-16示す。評価地点③、評価地点⑦において、太田川の水位が計画高水位まで上昇するのに合わせて局所動水勾配も上昇し、計画高水位終了後も数時間程度に渡って、堤体内の局所動水勾配が上昇するとの結果が得られた。

計画高水位終了時の流速コンター図と流速ベクトル図の重ね合わせを図-17に、全水頭コンター図と湿潤面を図-18に示す。遮水壁箇所浸透水が回り込む流れが見られ、遮水壁端部の流速が0.03m/hourと周辺と比べ高くなっている。限界流速はJustinの式で201.6m/hour、

多粒子限界流速式で4.3m/hourであり、流速については基準を満足する結果となった。

b) 対策検討(遮水シート)

対策工として遮水シートの設置を検討した。設置位置、設置範囲は(5)と同様とした。

対策後の解析結果を図-19に示す。評価地点③、評価地点⑦において、対策工が無い場合と比較して局所動水勾配が低下し基準値を下回る結果が得られた。

(9) 浸透流解析結果についての考察

解析の結果、堤体内構造物と盛土下のAc層が要因となって堤体内水位が上昇し、構造物箇所の浸透水が端部へ回り込み、流れの集中が生じると推察される。このことにより、構造物と接続する盛土箇所の安全性が低下すると考えられる。当箇所では、堤防一般部においても盛土下にAc層が存在し浸透水が堤体内に留まり水位が高くなっているため、のり尻箇所の水位を低下させるドレーン工が有効となった。

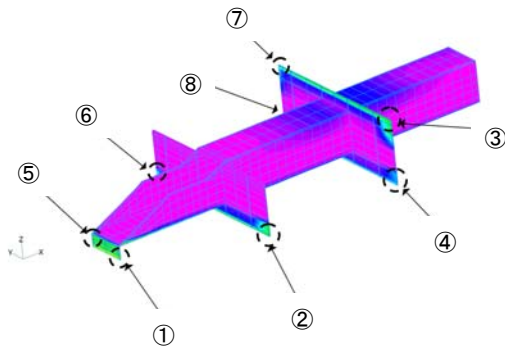


図-15 評価地点(課題②)

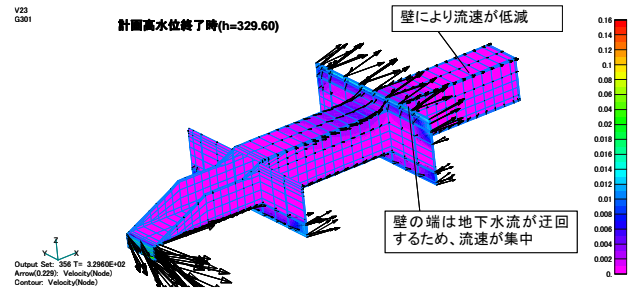


図-17 解析結果(流速: 吐出管まわり)

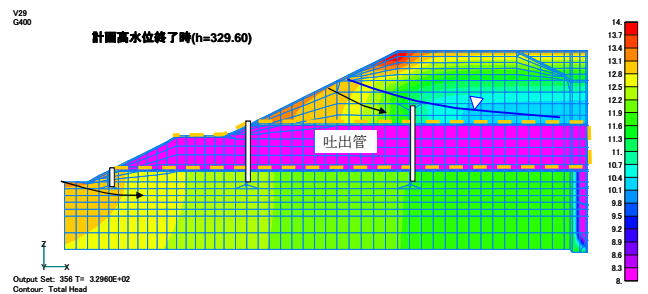


図-18 解析結果(全水頭: 吐出管まわり)

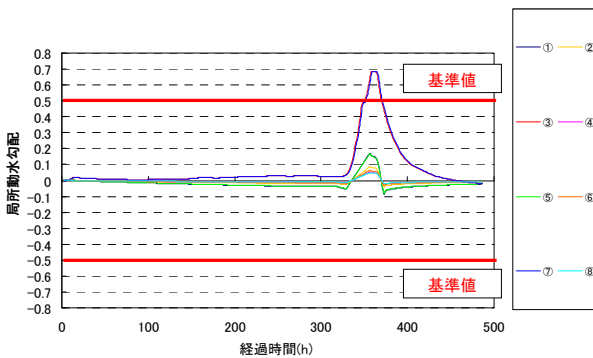


図-16 解析結果(局所動水勾配: 吐出管まわり)

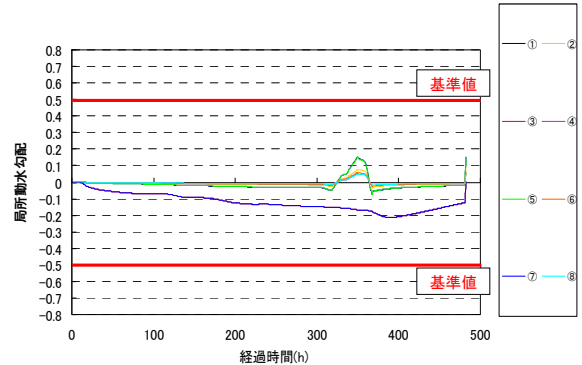


図-19 対策実施後の解析結果(局所動水勾配: 吐出管まわり)

吐出管まわりについては、遮水壁により吐出管周辺の流速は低減されているが、遮水壁周辺で流速及び動水勾配が大きく上昇している。これは、浸透水の流れが遮水壁で遮られたことによって、遮水壁を回り込む様に流れが集まり、局所的に水位が上昇したためと推察される。吐出管まわりでは河川水の影響で堤体内水位が高くなっているため、遮水壁付近の水位上昇を抑えることが出来る遮水シートが有効となった。これは、遮水壁が堤防の川表側付近に設置されるため、遮水シートによって河川水が流れ込むのを防ぐことで、効果的に堤体内水位の上昇を抑えることができると考えられる。

### (10) 課題③の影響検討

#### a) 調査箇所

本箇所の太田川堤防では、既に堤防天端道路に車両が通行し、堤脚近傍の JR 芸備線で鉄道が運行している。また、既設排水機場もあり、新設排水機場以外に太田川左岸の堤防に影響を与える種々の要因が既に存在している。このことから、現地での振動調査、堤防緩み調査を実施し、新設排水機場以外の振動と既設排水機場周辺堤防の状況を確認することで、振動の影響を検討する。(図-20)

表-4 振動調査結果

	①ポンプ振動 (ポンプ基礎)	②ポンプ振動 (ポンプ近傍 地盤)	③鉄道振動	④道路交通 振動
振動加速度 (Gal)	11.7	22.7	41.4	2.1
変位振幅 (mm)	0.0033	0.0047	0.031	0.0042

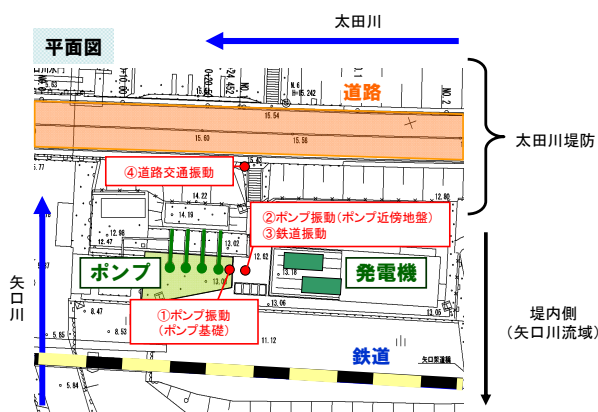


図-20 振動調査の位置図

#### b) 調査結果

振動調査の結果を表-4 に示す。表のとおり、振動加速度及び変位振幅ともに鉄道の振動の数倍大きいとの結果が得られた。ただし、鉄道は比較的短時間で通過するため、長時間の振動に対する堤防への影響も調査することも必要と考えられる。そこで、本箇所に既に建設され24年間経過している既設排水機場の周辺堤防のゆるみを調査することによって、堤防に影響が出ていないか確認した。

ゆるみの調査は、既設排水機場を含む堤防断面上の N 値と堤防の一般部分の N 値を比較することで調査した。その結果、堤防一般部では N 値が平均 5、既設排水機場断面部の N 値が平均 7 とほぼ同等であった。

以上より、排水機場の振動による堤防への影響については、矢口川箇所では軽微であると考えられる。

## 5. まとめ

本論文では、矢口川流域における排水機場の建設が堤防へ与える影響について、3次元浸透流解析を用いて検討した。その結果、排水機場が浸透流を阻害することによって堤体内の水位が上昇するが、遮水シートとドレーン工を設置することで堤体の安全性は現状以上に確保出来ることが分かった。また、吐出管の遮水壁周りに水が集中しパイピングが発生する危険性が高まるが、遮水シートを設置することでパイピング発生危険性を低下させることが分かった。

3次元浸透流解析によって堤体内の水の流れについて把握することができたが、数値解析は様々な条件を仮定したもとの成立しているものであるため、解析結果と実現象の乖離がある可能性が高い。今後の課題として、排水機場建設後には、堤体内水位観測による対策工の効果確認など、定期的なモニタリングが必要と考える。

今回、矢口川流域では、排水機場を堤体内に建設する特殊な状況であることから、3次元浸透流解析によって堤防への影響を詳細に検討した。今回の検討内容が、今後の排水機場建設等による堤防への影響検討に対する一助となれば幸いである。

#### 参考文献

- (社)日本河川協会：改訂解説・河川管理施設等構造令
- (財)国土開発技術研究センター編：柔構造樋門設計の手引き
- (財)国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き
- 杉井俊夫・山田公夫・中島賢：多粒子限界流速を用いた地盤の浸透破壊メカニズムに関する研究、浸透破壊メカニズムと評価法に関するシンポジウム論文集, pp. 123-128, 2002.