



柵渠型排水路底面における浸透破壊 一事例報告と 現地調査一

田中, 勉 ; 高嶋, 亙 ; ファン, ティ ハン チャン ; 坂井田, 貴士 ; 浦田,
憲 ; 井上, 一哉

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 12:231-244

(Issue Date)

2008-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/81001292>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81001292>



柵渠型排水路底面における浸透破壊 —事例報告と現地調査—

Seepage Failure of Bottom Soil within Double Sheet-Pile-Wall-Type Ditch —A Case History and Site Investigation—

田中 勉¹⁾

Tsutomu Tanaka

高嶋 亙²⁾

Wataru Takashima

ファン ティ ハン チャン³⁾

Pham Thi Hanh Tran

坂井田貴士⁴⁾

Takashi Sakaida

浦田 憲⁵⁾

Ken Urata

井上 一哉⁶⁾

Kazuya Inoue

概要：岐阜県H市における柵渠型排水路で、水路底面にボイリングが発生し、水路溝畔が陥没した。本地点においては、排水路として、鉄筋コンクリート組立柵渠を用いた二面水路が採用された。コンクリートパネルの根入れ深さが小さいために水路底面にボイリングが発生したと考えられる。ここでは、まず、ボイリングの発生と水路溝畔陥没の状況について述べた。次に、地盤構成材料の物理的・力学的性質及び地下水位の変化について調べた。そして、日本道路協会の方法を用いて水路底面の浸透破壊に対する安定性を評価し、ボイリング発生の原因について考察した。

キーワード：柵渠型排水路, 鉄筋コンクリート組立柵渠, ボイリングに対する安定性, 日本道路協会の方法

1. 序論

地下水位の高い地点における地盤の掘削では掘削底面のボイリングが問題となる。対応を誤ると地盤が浸透破壊を起こすことになるので浸透流に関しては十分に注意しなければならない。

ここでは、岐阜県H市における柵渠型排水路底面で発生したボイリングに関して、(1) 破壊状況についての報告、(2) 地盤材料の物理的・力学的性質の試験及び地下水位観測結果と考察、(3) 日本道路協会の方法を用いた安定解析と破壊原因の考察を行う。柵渠型排水路では、浸透流がちょうど掘削問題における複列矢板内の浸透流、すなわち、二次元集中流の状態(Fig.1(b)参照)となり、水路底面の地盤は、単列矢板における二次元浸透流問題の場合(Fig.1(a)参照)よりも、浸透破壊に対して安定性が低下する可能性が指摘される。排水路は通常長距離にわたることから、その線上で1ヶ所でも地質・水理条件が悪く安定条件からはずれると、水路底面が浸透破壊の危険にさらされることになる。浸透破壊を防止するためには、水路全長にわたって地質・水理条件を把握し、その条件に対して水路底面

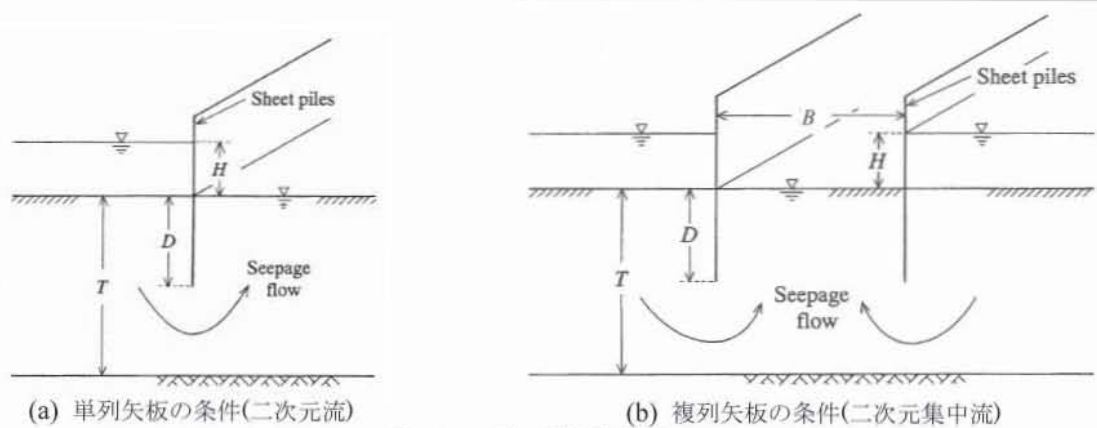


Fig.1 二次元浸透流問題

Table 1 濃尾平野の地質と形成過程

地質時代				万年前	濃尾平野の地質	濃尾平野の地史
新 生 代	第 四 紀	完 新 世	後 氷 期	0.5	南陽層 { 上部砂層 下部粘土層	自然堤防形成 木曽川三角洲の形成 縄文海進、海は平野の奥まで進入
				1.0		
		更 新 世	ウ ル ム 氷 期	2.0	濃尾層 第一礫層 鳥居松礫層 小牧礫層	海面上昇、濃尾層堆積 ウルム氷期最盛、海面今より100m低下 鳥居松面形成 小牧面形成
				3.5	熱田層上部	熱田面形成：ウルム氷期の至間氷期 御岳火山の軽石堆積
	新 生 紀	新 世	リウ ウ ル ム 氷 期 ス ム 氷 期 ↑ 間 氷 期 の く り か え し ↑ 第 二 瀬 戸 内 期 東 海 湖 期	20	熱田層下部	海面低下(ウルム氷期) 熱田海進、海は平野の奥まで進入
					第二礫層 埋没段丘	海面低下(リス氷期) 先熱田期の海進
					第三礫層 先海部累層	海面低下 傾動運動、養老断層生成 浸食平坦化作用
				100~200	東海層群	東海湖消滅 東海湖縮小、中心は北西へ移動 傾動運動、東海湖形成 準平原化作用
	第 三 紀	鮮 新 世	第 一 瀬 戸 内 期	500		
			中 新 世	1500	瑞浪層群など	傾動・断層運動・海退 中新世の海進

(出典：通商産業商工業技術院地質調査所発行「津島地域の地質」)¹⁾

の安定性を確保する必要がある。また、掘削工事における仮締切りの場合には短期的な地盤の安定性についてのみ考慮すればよいが、水路の場合には供用期間にわたる長期的な地盤の安定性が確保されなければならない。

2. ボイリング発地点の地質

本地点は、濃尾平野北西部に広がる肥沃な沖積平野の一面にあたり、長良川、木曽川及びその支流等によって形成された氾濫原地帯に相当し、かつては地表面に自然堤防や旧河道及び後背湿地などの微地形が発達していた。しかし、近年ではこれらの微地形が不明瞭となっている。調査地点付近の地質構成は地質年代的に中新統から鮮新統までの非常に厚い堆積層で構成されている。堆積層の全層厚は最厚部で1,500m以上にも達し、更新統及び完新統

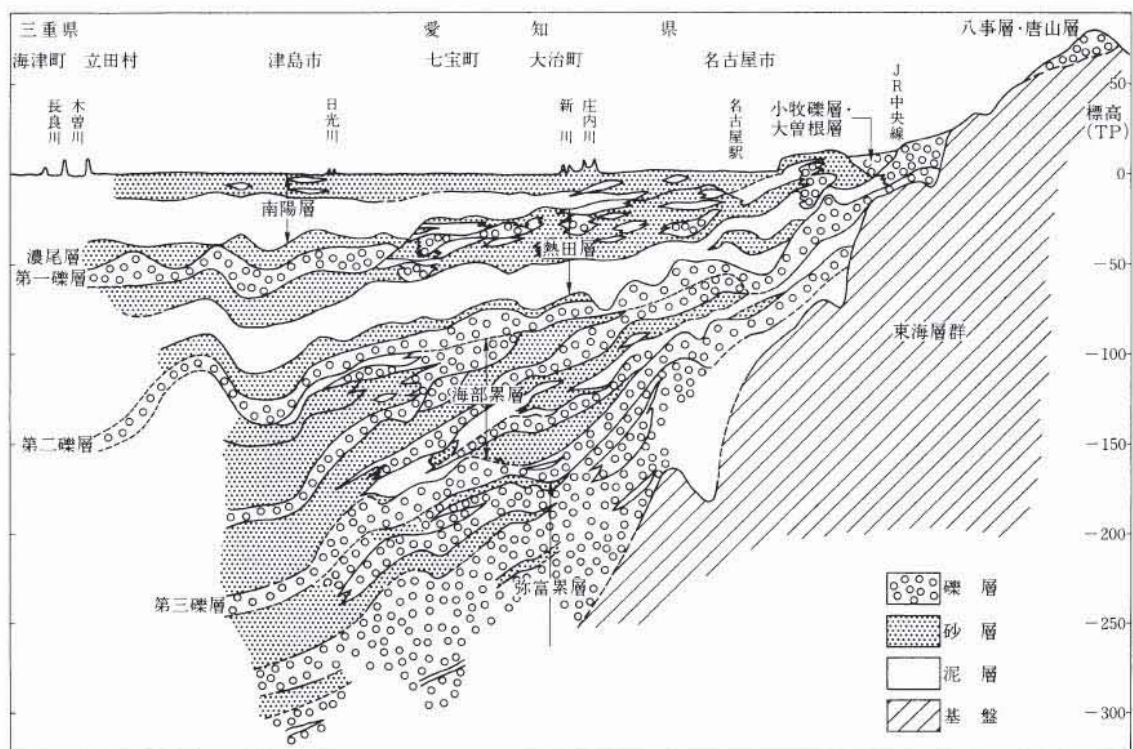


Fig.2 濃尾平野の第四紀層の地質断面図—東西方向—
(桑原 徹・牧野内 猛: 日本の地質『中部地方 II』編集委員会編, 1988)²⁾

のみでも数 100m の層厚をもつ。また、この堆積層中には海成層が数枚含まれており、熱田海進や縄文海進の時期には現在の濃尾平野北部にまで海が進入していたことが明らかにされている(Table 1, Fig.2 参照)。

ボーリング発生地点の表層地質は完新統の南陽層に相当し、自然堤防性の砂質土及び後背湿地性の粘性土から成っている。Fig.3 にボーリング発生地点の位置図を示す。

ここでは、ボーリングが発生した地点近傍 Bo.1 及びボーリングが発生していない地点近傍 Bo.2 においてそれぞれ各 1 本のボーリング調査を行った(Fig.3 参照)。Bo.1 及び Bo.2 地点は約 240m 離れている。Bo.1, Bo.2 におけるボーリング柱状図をそれぞれ Figs.4(a), (b) に示す。ボーリング調査により確認された G.L.-5m 付近までの地質は、上から、表土(農耕土)、砂質土(シルトまじり細砂・粗砂)と粘性土(シルト・砂まじりシルト)の互層からなる。ボーリングが発生した地点の計画水路底面は EL.2.58m、発生していない地点の計画水路底面は EL.2.44m である。

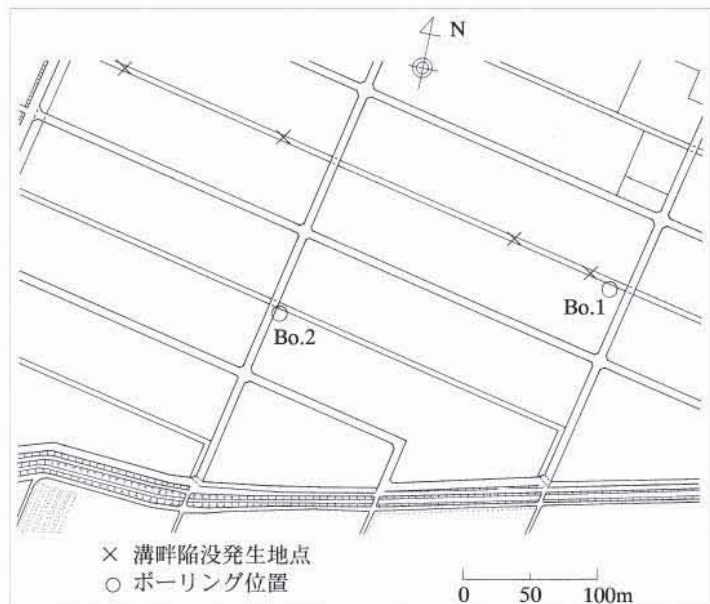


Fig.3 ボーリング発生地点の位置図

(1) ボーリング発生地点近傍 Bo.1(地盤高 EL. 3.50m (ボーリング時))の地質

a) G.L.-0.3m 以浅: 表土 農耕土であり、砂まじりシルトを主体とし、植物根及び腐植物を含有する。含水は低位である。

b) G.L.-0.3m~-1.10m: シルトまじり細砂 砂粒子は全般にほぼ均一である。シルトを全体にやや不均質に混入し、下部ではシーム状のシルトを挟む。また、腐植物を少量含有する。含水は中~高位である。なお N 値は測定さ

れていない。

c) G.L. -1.10m ~ -3.90m : シルト 粘性が強く全体に軟質である。微砂～細砂を不均質に少量混入し、所々腐植物をやや多く含有する。含水は中位である。N 値は 1～2 が測定されている。

d) G.L. -3.90m 以深 : シルトまじり細砂 上部は微細砂主体よりなる。シルトを全体にやや不均質に混入し、腐植物を少量含有する。含水は中位である。N 値は 10～15 が測定されている。

ボーリング発生地点近傍のボーリング Bo.1 と水路の位置関係及び地質の状況を Fig.5 に示す。

(2) ボーリング未発生地点近傍 Bo.2 (地盤高 : EL. 3.60m (ボーリング時)) の地質

a) G.L. -0.3m 以浅 : 表土 農耕土であり、砂まじりシルトを主体とし、植物根および腐植物を含有する。含水は低位である。

b) G.L. -0.3 ~ -1.90m : 砂まじりシルト 粘性が強く軟質なシルト主体よりなり、微砂～細砂をやや不均質に混入する。また、腐植物を少量含有する。含水は低～中位である。N 値は 2 が測定されている。

c) G.L. -1.90m ~ -2.80m : 粗砂 細砂を多く混入し、砂粒子は不均一である。なお、シルトを少量混入し腐植物を少量含有する。含水は高位である。N 値は 8 が測定されている。

d) G.L. -2.80m ~ -3.70m : シルト 粘性が強く軟質である。層全般に腐植物を多く含み、所々微砂～細砂を少量混入する。なお、含水は中位である。N 値は 1 が測定されている。

e) G.L. -3.70m 以深 : 砂まじりシルト 粘性が強く軟質なシルト主体よりなり、微砂～細砂をやや不均質に混入する。なお、部分的に砂がち～シルト質砂状を呈する。また、腐植物を少量含有する。含水は中位である。N 値は 2 が測定されている。

ボーリング未発生地点近傍のボーリング Bo.2 と水路の位置関係及び地質の状況を Fig.6 に示す。

(標高 EL.3.50m, 孔内水位 G.L. -0.60m)

深さ (m)	標高 EL. (m)	土質 記号	土質 名	N 値			
				10	20	30	40
0	3.20		表土				
1	2.40		シルトまじり細砂				
2			シルト				
3							
4	-0.40						
5	-1.95		シルトまじり細砂				

(a) Bo.1

(標高 EL.3.60m, 孔内水位 G.L. -2.10m)

深さ (m)	標高 EL. (m)	土質 記号	土質 名	N 値			
				10	20	30	40
0	3.30		表土				
1	1.70		砂まじりシルト				
2	0.80		粗砂				
3	-0.10		シルト				
4			砂まじりシルト				
5	-1.90						

(b) Bo.2

Fig.4 ボーリング調査結果

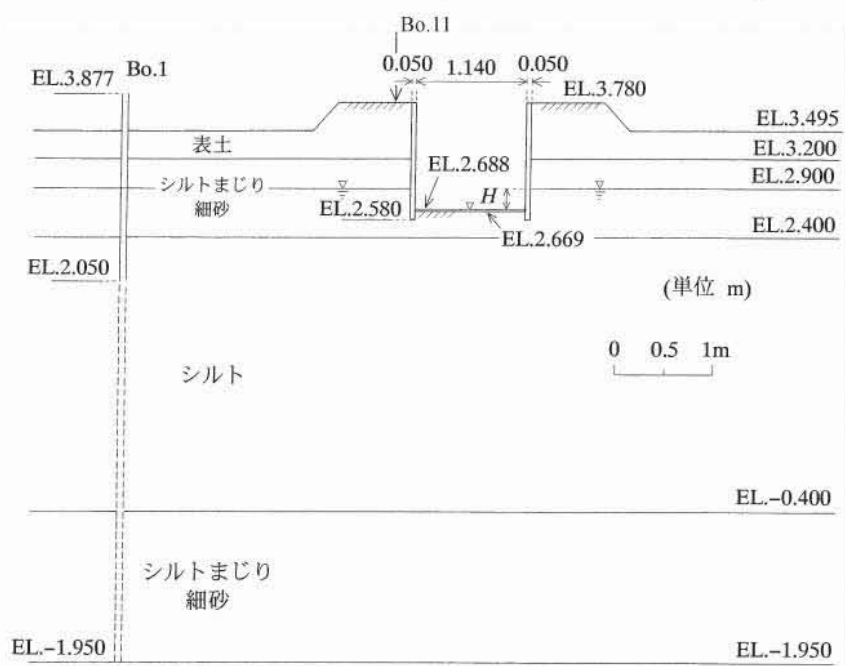


Fig.5 ボーリング発生地点近傍のボーリング Bo.1 と水路の位置関係及び地質の状況

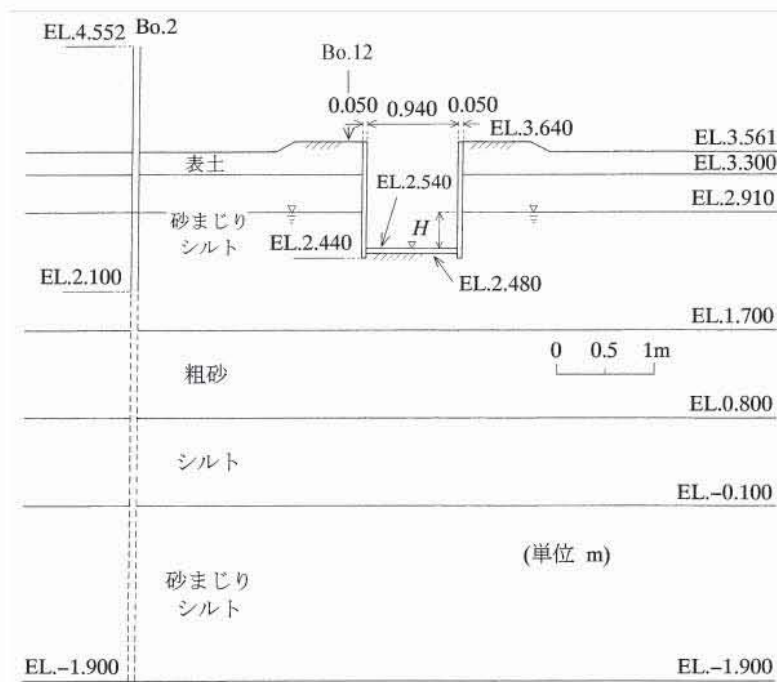


Fig.6 ボイリング未発生地点近傍のボーリング Bo.2 と水路の位置関係及び地質の状況

3. 工事の概要と破壊状況

岐阜県 H 市におけるほ場は、小区画で道路幅が狭く、水路も用排兼用のため大型機械を導入した営農体系に適していなかった。これを改善するため平成 9 年から県営ほ場整備事業に着手した。H 市中部地区の受益面積 58ha について、基盤整備と生活環境整備を実施し平成 17 年度に完了している。

ここでは、排水路として鉄筋コンクリート組立柵渠(別名プレハブ水路)を採用した。これはパネル間において浸透効果と集水効果を発揮させることによって高い安全性を期待するものであった。しかし、代かき時に水路溝畔のいたる所で大きな陥没が発生するようになった。Fig.7 に水路溝畔の陥没状況を示す。パネル間において透水があまり見られず、その効果が発揮されなかったことが破壊原因の一つにあげられる。毎年代かき時に陥没した穴の修復におわれ、地元役員の苦労は計り知れない。そのため、陥没が生じないように水路底面に敷きコンクリートを張るという対策を講じた。



Fig.7 田植え期における溝畔陥没の発生 (2001/06/19)

Fig.7 に水路溝畔の陥没状況を示す。パネル間において透水があまり見られず、その効果が発揮されなかったことが破壊原因の一つにあげられる。毎年代かき時に陥没した穴の修復におわれ、地元役員の苦労は計り知れない。そのため、陥没が生じないように水路底面に敷きコンクリートを張るという対策を講じた。

ここで、鉄筋コンクリート組立柵渠とは、コンクリート二次製品として加工されたアーム部(土留枠または支柱)とパネル部(柵板または土留板)を現場で組み合わせて構築する二面水路である。下部の水路底面は現位置の地盤材料のままとされている。鉄筋コンクリート組立柵渠には、アームが水路の通水断面内に突出している直壁形と通水断面内でアームとパネルの内壁が連続している傾斜壁形がある。いずれも、通常、水路底にコンクリートライニングを施さないこともあって、施工が簡単でかつ施工時期の選択等の制約を受けることが少ないなど、施工面で利点がある。ここでは直壁形鉄筋コンクリート組立柵渠を採用した。

4. 鉄筋コンクリート組立柵渠の諸元

ここでは、鉄筋コンクリート組立柵渠について、ボイリングが発生した地点及び発生していない地点における断面形状について説明する。また、前述のように、ここではアームが水路の通水断面内に突出している直壁形を採用しているため、パネル部分とアーム部分の 2 種類の断面図を示す。

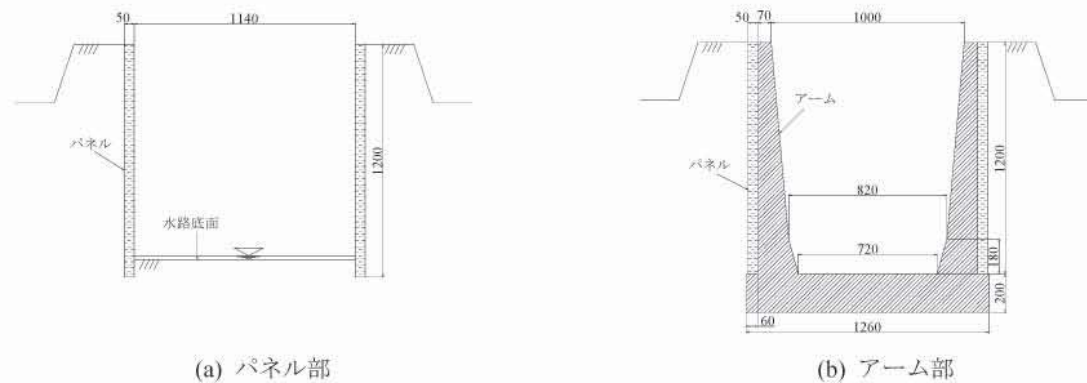


Fig.8 ボイリング発生地点の柵渠形状

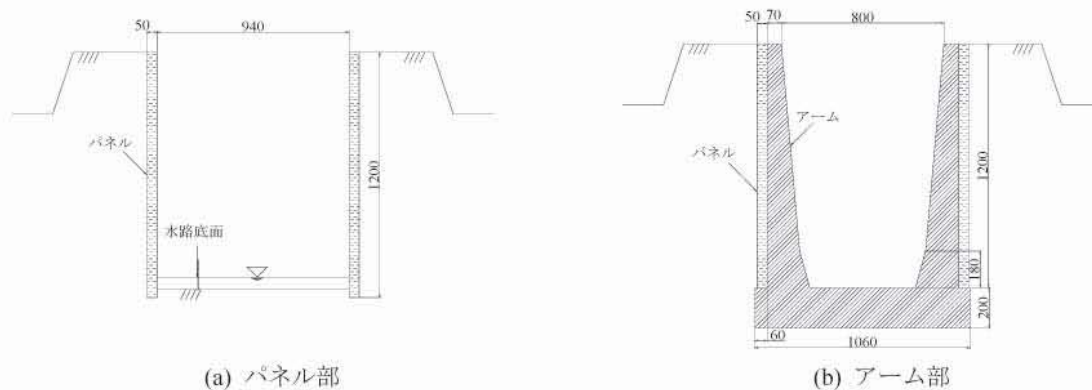


Fig.9 ボイリング未発生地点の柵渠形状

(1) ボイリング発生地点の柵渠形状

Figs.8(a), (b)にそれぞれボイリングが発生した地点 (Bo.1 近傍)のパネル部とアーム部の断面図を示す。パネルは、1枚の大きさが高さ300mm、長さ995mm、厚さ50mmであり、4枚で高さ1,200mmの水路が構成されている。水路幅は1140mmである。水路の有効幅は、アーム部を考慮すると1000mmとなる。

(2) ボイリング未発生地点の柵渠形状

Figs.9(a), (b)にそれぞれボイリングが発生していない地点 (Bo.2 近傍)のパネル部とアーム部の断面図を示す。水路の高さは1,200mm、幅は940mmであり、ボイリングが発生した地点の柵渠に比べ200mm狭くなっている。水路の有効幅は、アーム部を考慮すると800mmとなる。

5. 水路溝畔陥没の原因と対応策

(1) 水路溝畔陥没の原因

当初、埋戻しが不十分なことによる施工不良や砂地盤の特性に起因して水路溝畔が陥没するのではないかと考えた。しかし、施工状況の確認から一層の撒き出し厚さが20~30cmであり、振動コンパクタにより十分締め固められているため、施工不良が原因ではないと判断した。

ボーリング調査の結果、水路底面の土質はシルト質細砂であったが、1m程度深い層でシルトや場所によっては砂の層が見られる。現地では時折砂が湧き出す現象が見られることと、代かき時など地下水位が高い時期に陥没が発生することから考えて水路底の表層ボイリングから背後の土粒子の移動(パイピング)が誘発されたものと判断した。また、好天が続いたにもかかわらず地表水が残留していることと、パネル間からの透水効果が見られなかったことから、過剰間隙水圧が水路底面にかかったことが原因であると考えた。

(2) ボイリングの再発防止工法

ボイリングの再発防止工法としては、敷きコンクリート、埋戻し土の土質改良、U字溝等既製品での敷設替えが考えられたが、経済性及び施工性から、厚さ0.1mの敷きコンクリート工法を採用した。0.1m厚の敷きコンクリ



Fig.10 隙間からの細土粒子の噴出現象(2003/08/24)



Fig.11 2004/05/24 の代かき期の水路溝畔陥没

ートの水中重量は、コンクリートの密度を 2.35t/m^3 とすると、単位 m^2 当たり、およそ $0.1 \times (2.35 - 1.0) \times 9.8 = 1.32$ (kN/m^2)となる。

設計時のボーリング調査によると田面から 0.6m の範囲は粘性土で透水しにくい層であり、表層水と地下水はほとんど遮断されると考えた。田面から 0.6m 以上の深いところに地下水が存在すると考えると、背後におけるパネル下端からの地下水位 h_w は $h_w = 0.3\text{m}$ となる。敷きコンクリートによって浸透水を完全に遮水してしまうと、水路底面に $h_w = 0.3\text{m}$ の水頭がすべてかかることになる。この場合、過剰間隙水圧 u_e は $u_e = 0.3 \times 9.8 = 2.94$ (> 1.32) (kN/m^2)となり、独立したコンクリート床版は浮き上がることになる。敷きコンクリート打設時に水路底中央部に水路縦断方向に 2m 毎にウィーブホールを設け揚圧力の軽減を図った。

しかしながら、敷きコンクリートと柵渠パネルとの取付け部分の施工は難しく、施工時に小さな孔隙が生じ背後の地下水位が高くなったときにはその隙間から細土粒子が噴出する現象(パイピング)が見られた(Fig.10 参照)。この現象は地下水位が高くなったときに顕著となり、水路底面付近のシルトまじり細砂が大量に吹き出して大きな陥没を生じることになった(平成15年9月24日の豪雨時、及び、平成16年5月24日の代かき期(Fig.11 参照))。

Table 2 ボイリング発生地点近傍の地盤材料の性質 (表土, Bo.1 試料, 埋戻し土及び噴出砂)

(Bo.1 より)	表土 —	EL.3.20~2.40 (シルトまじり細砂)	EL.2.40~-0.40 (シルト)	EL.-0.40~-1.95 (シルトまじり細砂)	埋戻し土 —	噴出砂 —
G_s	2.641	2.657	2.656	2.658	2.655	2.651
U_c	29.196	15.271	14.377	13.963	13.973	2.544
D_{50} (mm)	0.0424	0.172	0.00770	0.0598	0.175	0.227
e_{max}	—	1.290	—	1.585	1.242	1.231
e_{min}	—	0.521	—	0.701	0.616	0.670
w_L	25.215	—	41.209	—	—	—
w_p	22.140	—	29.032	—	—	—
k_{15} (cm/s)	2.712×10^{-5}	1.310×10^{-3}	7.659×10^{-6}	1.466×10^{-4}	2.265×10^{-3}	4.054×10^{-3}
土質の分類	シルト	シルト質砂	シルト	シルト	シルト質砂	粒度分布の悪い砂

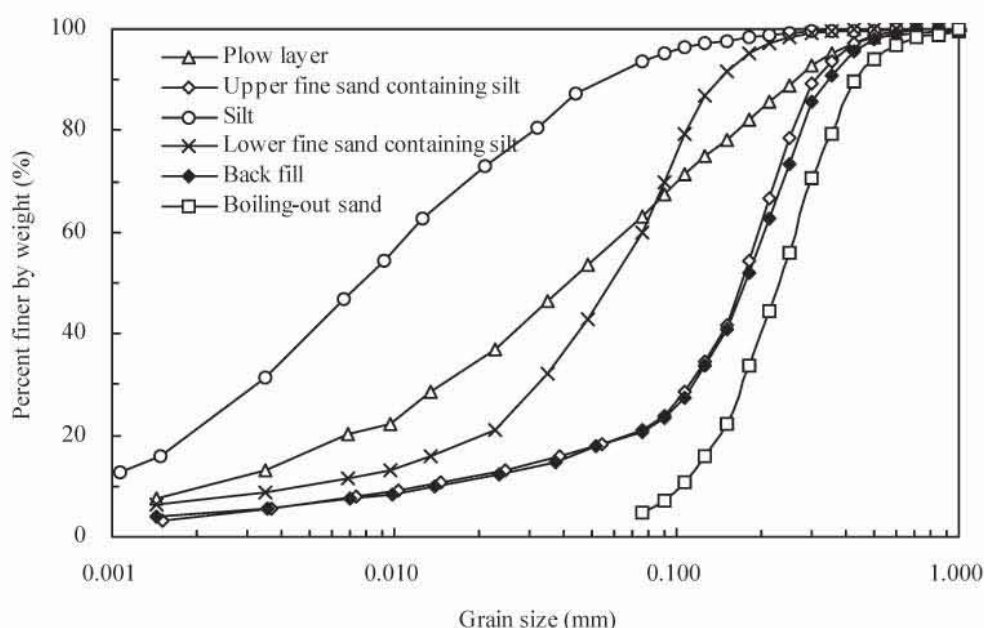


Fig.12 粒径加積曲線(ボイリング発生地点近傍)

6. 地盤材料の物理的性質及び透水係数

前述したボイリング発生地点近傍 Bo.1, 及び, 未発生地点近傍 Bo.2 のボーリング試料について, 物理的性質及び透水係数の試験を行った。また, 埋戻し土の物理的性質及び透水係数を把握するために, 溝畔においても地表から深さ約 1.10~1.19m のボーリング調査 Bo.11(Fig.5 参照), Bo.12(Fig.6 参照)を行い標準貫入試験及び試料のサンプリングを行った。ボイリング発生地点近傍の溝畔におけるボーリング調査 Bo.11 によると, 埋戻し土は, シルトまじり細砂(シルト質砂)であり, モンケンが自沈し N 値が 0 であった。Table 2 において, ()内は室内における物理的性質試験の結果による土質分類を表す。埋戻し土は, 大変ゆるんだ状態にあることがわかった。一方, ボイリング未発生地点の溝畔におけるボーリング調査 Bo.12 によると, 埋戻し土は, 砂混じりシルト(粘質土)であり, N 値が 2 であり Bo.2 地点の同標高部分の土層とほぼ同じ土質であった。埋戻し土は, もとの地盤とほぼ同じようによく締固まった状態にあることがわかった。

(1) ボイリング発生地点

表土, ボーリング Bo.1 のサンプリング試料, 埋戻し土(Bo.11 試料)及びボイリングによって水路底に噴出した砂について, 物理的性質及び透水係数を求めた。物理的性質を Table 2 に, 粒径加積曲線を Fig.12 に示す。Table 2 において, G_s は土粒子の比重, U_c は土の均等係数, D_{50} は土の 50%粒径, e_{max} , e_{min} は最大, 最小間隙比, w_L 及び w_p は液性限界及び塑性限界, k_{15} は 15℃時の透水係数を表す。

Table 3 ボイリング未発生地点近傍の地盤材料の性質 (表土, Bo.2 試料, 埋戻し土及び水路底の土)

	表土	EL.3.30~1.70	EL.1.70~0.80	EL.0.80~-0.01	EL.-0.10~-1.90	埋戻し土	水路底の土
(Bo.2 より)	—	砂まじりシルト	粗砂	シルト	砂まじりシルト	—	—
G_s	2.640	2.650	2.655	2.569	2.629	2.642	2.653
U_c	33.333	21.395	2.423	21.739	18.736	30.200	27.103
D_{50} (mm)	0.0250	0.00172	0.386	0.00700	0.0113	0.0184	0.0180
e_{max}	—	—	1.11834	—	—	—	—
e_{min}	—	—	0.71770	—	—	—	—
w_L	30.730	30.181	—	36.836	30.154	30.151	31.136
w_p	23.145	27.917	—	31.341	22.125	20.845	21.048
k_{15} (cm/s)	1.785×10^{-4}	3.984×10^{-7}	1.197×10^{-2}	1.780×10^{-6}	6.260×10^{-6}	3.816×10^{-6}	8.653×10^{-6}
土質の分類	シルト	シルト	粒度分布の悪い砂	シルト	粘質土	粘質土	粘質土

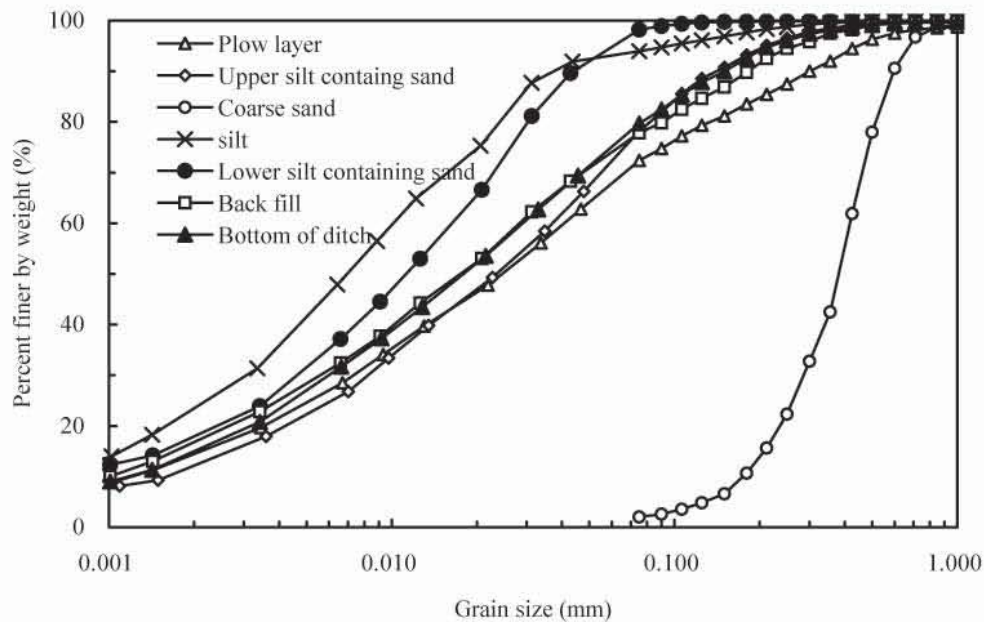


Fig.13 粒径加積曲線(ボイリング未発生地点近傍)

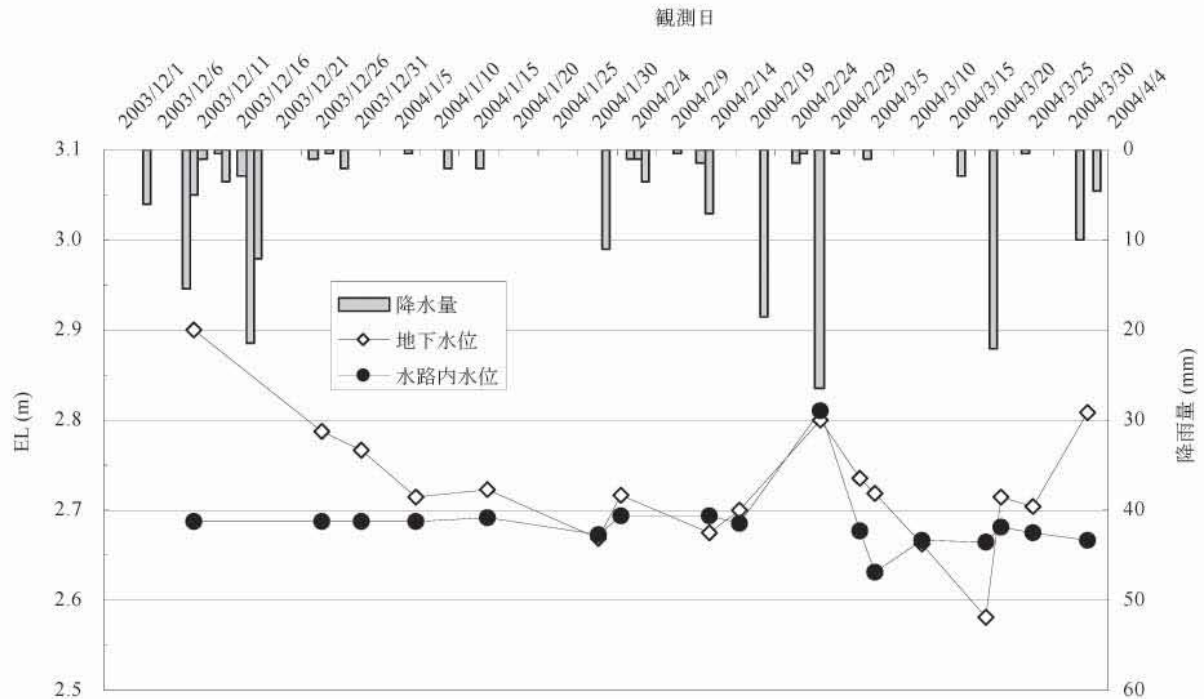
Fig.4(a)より Bo.1 におけるボーリング結果では、表土を除いて、上からシルトまじり細砂、シルト、シルトまじり細砂となっているが、物理試験の結果では上からシルト質砂、シルト、シルトとなった。深さ EL.2.4~1.95m の土質は、ボーリング結果においては EL.-0.4m 地点で変化しているが、物理試験の結果では同じシルトに分類された。下層のシルトは、上層のものより粒径が粗く透水係数も 19 倍と大きくなっている。また、ボイリングによって水路底に噴出した砂は、水路底の標高(EL.2.669m)、物理的性質(Table 2)、粒径加積曲線(Fig.12)から判断して、ボーリング Bo.1 の EL.3.20~2.40m におけるシルトまじり細砂(細粒分が流失したもの)と考えられる。また、この地点における埋戻し土はシルト質砂に分類され、Table 2、Fig.12 から、EL.3.20~2.40m のシルト質砂とほぼ同じ土質であると考えられる。

(2) ボイリング未発生地点

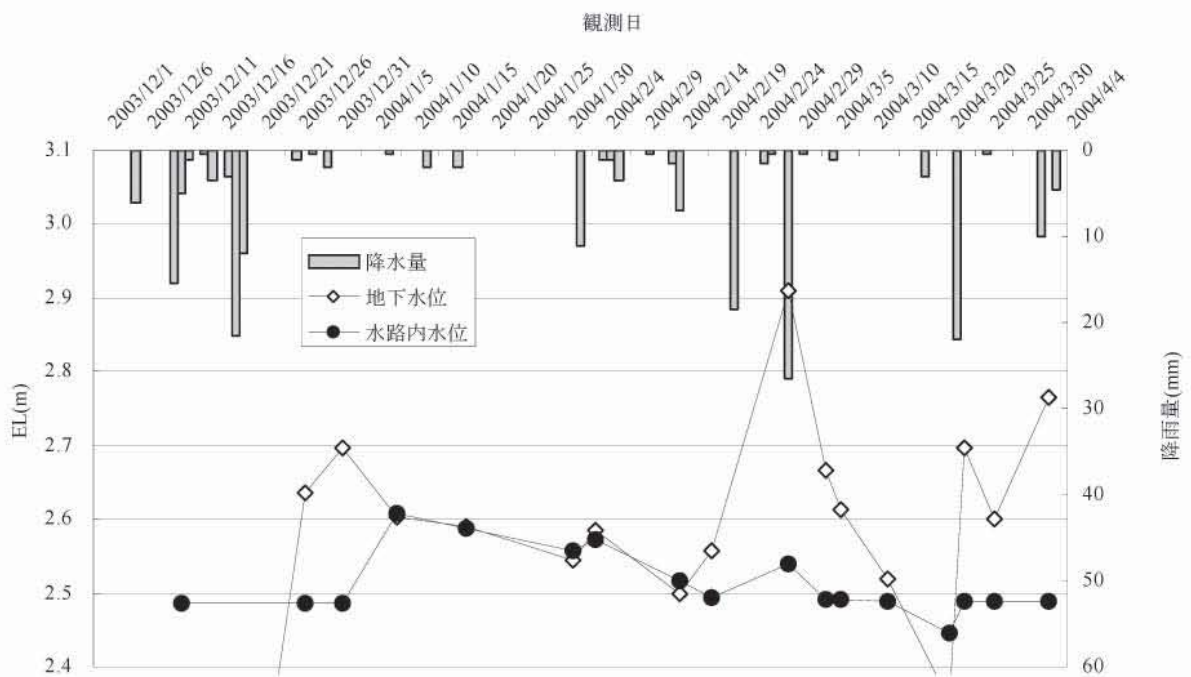
表土、ボーリング Bo.2 のサンプリング試料、埋戻し土(Bo.12 試料)及び水路底の土について、物理的性質及び透水係数を求めた。物理的性質を Table 3 に、粒径加積曲線を Fig.13 に示す。

Fig.4(b)より Bo.2 におけるボーリング結果では、表層を除いて、上から砂まじりシルト、粗砂、シルト、砂まじりシルトとなっているが、物理試験の結果では上からシルト、粒度分布の悪い砂、シルト、粘質土(CL)となった。また、水路底の土は、粘質土(CL)と分類された。

ここで、ボーリング Bo.2 の EL.3.30~1.70m における砂まじりシルトについて考える。EL.3.30~1.70m における砂まじりシルトは、室内における物理的性質試験でシルト(ML)に分類されたが、



(a) Bo.1



(b) Bo.2

Fig.14 継続的に観測した地下水位、水路内水位及びH市近傍(岐阜)の降水量(気象台発表)

- ① 塑性図上で粘質土(CL)に大変近いこと、
- ② 同一標高における水路底の土が粘質土(CL)であること、
- ③ 埋戻し土が粘質土(CL)であることから、

粘質土(CL)と考えるのが妥当である。したがって、ここでは、ボーリング未発生地点における水路底面付近の土質は粘質土(CL)と考えることにする。また、埋戻し土は、Table 3, Fig.13 から、EL3.30～1.70mの砂まじりシルト(ここでは粘質土(CL)と考える)、水路底の土、及び、表土とほぼ同一の土質であるといえる。

7. 地下水位の変化

ボーリング孔 Bo.1 及び Bo.2 を利用して、2003/12/05～2004/04/03 の期間において、地下水位を継続的に観測した。Figs.14(a), (b) に、それぞれ、Bo.1 及び Bo.2 において、継続的に観測した地下水位、水路内水位及び H 市近傍(岐阜)の降水量(気象台発表)³⁾を示す。また、観測時に同時に水路内地盤高を測定した。水路内地盤高は、上流側から運ばれてきた土砂が堆積したり、堆積していた土砂が下流側に流されたりして常時変化している。地下水位の観測は、2004 年 4 月 11 日以降にも行ったが、降雨があったとき、代かき期、田植え期など、特別な事象があったときの断続的な計測となっている。ここでは、まず、継続的な観測期間における地下水位の状況について述べ、次に、断続的に観測したデータについて述べる。

(1) Bo. 1 における地下水位の変化

Fig.14(a)から、降雨が観測された日から数日は地下水位が高くなることがわかる。また、まとまった降雨がないと地下水位は EL.2.669～2.723m (G.L.-0.827～-0.772m)付近に落ち着くことがわかる。低水位期の水路内水位は、2004/01/09～2004/02/15 の期間における観測値の平均から EL.2.688m である。

ここで、継続的な観測期間について、地下水位と水路内水位の差、すなわち、水路壁前後の水位差を求めると、2003/12/12 に最大値を示し 0.212m となった。また、水路内地盤標高は 2003/01/09～2004/02/15 の期間における観測値の平均から EL.2.669m となり、計画水路底面標高 (EL.2.580m) から 0.089m だけ上方にある。2003/12/12 における水路断面の状況を示すと Fig.15 のようになる。

まとまった雨が降ると、地下水位が上昇することが予想される。ボーリング発生時には地下水位がさらに上昇していたと考えられる。2004/04/11 以降の断続的な測定結果によると、水路壁前後の水位差は、2004/05/16 の大雨時 0.600m、2004/05/22 の代かき期 0.456m であった。2004/05/24 のボーリング発生時、地下水位が田植え期の地下水位 EL.3.543m (G.L.0.048m) (2004/06/13 観測)と同程度であったと推定すると、水位差は 0.878m(推定値)となる。

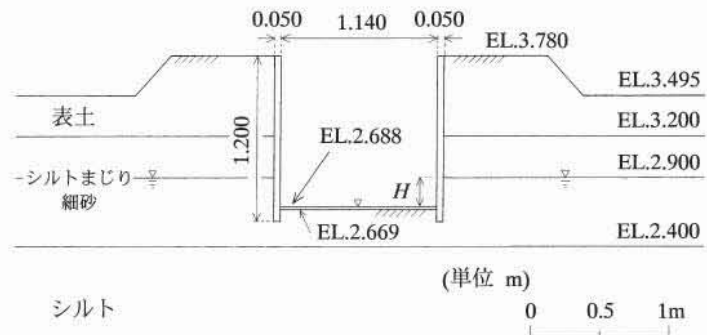


Fig.15 2003/12/12 における水路断面の状況(ボーリング発生地点近傍)

(2) Bo. 2 における地下水位の変化

Fig.14(b)から 2003/12/12 の観測値を除いて、降雨が観測された日から数日は地下水位が高くなっていることがわかる。また、まとまった降雨が観測されないで地下水位は EL.2.500～2.604m (G.L.-1.061～-0.971m)付近に落ち着くことがわかる。低水位期の水路内水位は 2004/01/09～2004/02/15 の期間における観測値の平均から EL.2.569m である。

ここで、継続的な観測期間における地下水位と水路内水位との差を求めると、2004/02/29 に最大値 0.370m を示した。また、水路内地盤標高は 2004/01/09～2004/02/15 の期間における観測値の平均から EL.2.487m となり、計画水路底面標高 (EL.2.440m) から 0.047m 上にある。2004/02/29 における水路断面の状況を示すと Fig.16 のようになる。

2004/04/11 以降の測定結果によると、水位差は 2004/05/16 の大雨時に最大値 0.757m を示した。

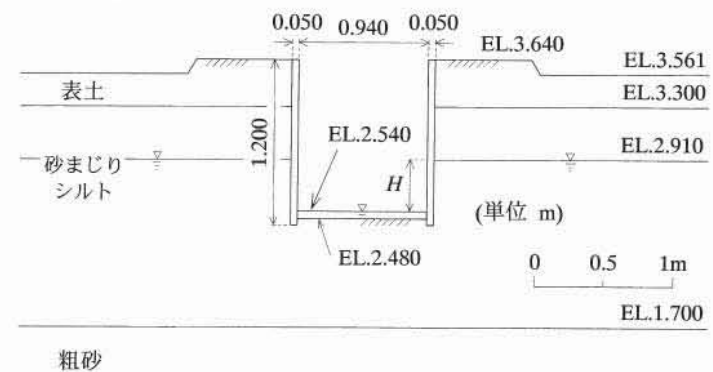


Fig.16 2004/02/29 における水路断面の状況(ボーリング未発生地点)

8. 日本道路協会の方法による水路底面の浸透破壊安定性ーボーリング発生地点近傍ー

Fig.15 の状態に関して、日本道路協会 (1999 年)の方法⁴⁾を用いて水路底面 (Bo.1 近傍)のボーリングに対する安

定解析を行うと、敷きコンクリートがないとした場合、浸透破壊に対する安全率 F_s は 2003/12/12 条件時 $F_s=1.070$ 、平成 16 年 5 月 16 日の大雨時 $F_s=0.378$ 、平成 16 年 5 月 22 日の代かき期 $F_s=0.497$ となり、大雨時や代かき期にはすでに限界状態を大きく越えた状態にあることがわかる。ここで、地盤は層状の堆積層からなっているが、計算では一層からなっていると考えた。また、土の水中単位体積重量は、シルトまじり細砂の場合の一般的な値である $\gamma=9.8\text{kN/m}^3$ について考えた。水路底の地盤の浸透破壊に対する安定性はパネルの根入れ深さによって決まるものであるから、本事例のように根入れ深さが小さい場合には、ボイリングに対する安定性が小さくなり、何らかの対策を講じないとボイリングが発生することになる。地下水位が高くなる場合、孔隙からのパイピング現象を防ぐためには、その時点では、水路内水位を高く設定することで対処せざるを得なかった。浸透破壊の原因を明らかにするためにはより詳細な解析が必要である。

9. 結論

岐阜県 H 市における鉄筋コンクリート組立柵渠型排水路底面においてボイリングが発生し、水路溝畔に大きな陥没が生じた。ここでは、まず、本ボイリング事例について、事例報告と対応策について述べた。次に、地盤材料の物理的・力学的性質及び地下水位観測を行い、日本道路協会の方法を用いて水路底面の浸透破壊に対する安定性評価を行った。そして、ボイリングの発生原因についての考察から次の結論を得た。

<柵渠型排水路底面におけるボイリング発生事例と報告>

- (1) 鉄筋コンクリート組立柵渠 (別名プレハブ水路)を排水路に用いた。排水路底面が砂質シルトからなっており、代かき時においてボイリングが発生し溝畔に大きな陥没が発生した。
- (2) 対応策として水路底に敷きコンクリートを打設し、再発を防いだ。
- (3) 敷きコンクリートと柵渠パネル下端に孔隙が存在し、地下水位の高いときに水路底にボイリングが発生した。また、豪雨時、代かき期及び田植え期の地下水位上昇時にボイリングが再発し、背後の土粒子の移動(パイピング)が生じ、溝畔の陥没が再発した。
- (4) 豪雨期、代かき期及び田植え期には地下水位がかなり上昇したものと考えられる。

<地下水位観測結果>

現場における地下水位の継続的な傾向を調べるために、2003/12/05～2004/04/03 の間、継続的に地下水位を観測した。その後、断続的な観測を行い、次の事柄がわかった。

- (5) 継続的及び断続的な地下水位観測結果から、ボイリングが発生した地点近傍 (Bo.1)の地下水位は、降雨と連動して高くなり、大雨時、代かき期、田植え期にはさらに高くなることがわかった。

<日本道路協会の方法による水路底面の浸透破壊に対する安定解析とボイリング発生原因の考察>

日本道路協会の方法を用いて水路底面の浸透破壊に対する安定解析を行った。そして、次の結論を得た。

- (6) 水路底面の浸透破壊に対する安定性は、パネルの水路側根入れ深さによって決まるものであるから、本事例のようにパネルの水路側根入れ深さが小さい場合には、ボイリングに対する安全性は小さくなり、何らかの対策を講じなければボイリングが発生することになる。
- (7) 地下水位が高くなる場合、孔隙からのパイピング現象を防ぐためには、その時点では、水路内水位を高く設定することで対処せざるを得なかった。
- (8) 排水路は、通常、長距離にわたることから、その線上で 1 ヶ所でも地質・水理条件が悪く安定条件からはずれると、水路底面が浸透破壊の危険にさらされることになる。水路全長にわたって、地質・水理条件を把握し、その条件に対して水路底面の安定性を確保する必要がある。また、
- (9) 掘削工事の仮設締切り矢板のように短期的な地盤の安定性について考慮するだけでなく、水路が供用される長期間にわたって地盤の安定性が確保されなければならないことにも注意が必要である。

謝辞

ボーリング調査、地下水位調査、試料採取などの現地調査、及び、資料収集や報告書作成にあたり、岐阜県岐阜地域農山村整備事務所の皆様、当該地区の渡辺工区長には大変お世話になった。ここに期して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 高田康秀, 近藤善教, 宮村 学(1979): 津島地域の地質, 地域地質研究報告 5 万分の 1 図幅(附図付き) 京都(11) 第 19 号, p.26, 通商産業省工業技術院 地質調査所.
- 2) 桑原 徹, 牧野内猛(1988): 5.4 東海地域, (2)濃尾平野地域, 日本の地質 5, 日本の地質『中部地方 II』編集委員会編, pp.164~166, 共立出版.
- 3) 気象統計情報(気象台ホームページ): http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_s1.php?prec_no=52&prec_ch=%8A%F2%95%8C%8C%A7&block_no=47632&block_ch=%8A%F2%95%8C&year=2003&month=12&day=&elm=daily&view=
- 4) 日本道路協会編: 道路土工 一仮設構造物土工指針, 日本道路協会, pp.76~82, 1999.

著者

- 1) 田中 勉, 神戸大学大学院農学研究科, 教授
- 2) 高島 互, 岐阜県飛騨農林事務所農村整備課
- 3) ファン ティ ハン チャン, 神戸大学大学院農学研究科
- 4) 坂井田貴士, 京都府中丹西土木事務所
- 5) 浦田 憲, 農林水産省東北農政局平鹿水利事業所
- 6) 井上一哉, 神戸大学大学院農学研究科, 助教

Seepage Failure of Bottom Soil within Double-Sheet-Pile Wall-Type Ditch

—A case history and site investigation—

Tsutomu Tanaka
Wataru Takashima
Pham Thi Hanh Tran
Takashi Sakaida
Ken Urata
Kazuya Inoue

Abstract

Boiling occurred at the bottom soil within double sheet-pile-wall-type ditch (or prefabricated ditch) during puddling and the ditch border collapsed. After the bottom of the ditch was covered with a concrete slab, boiling still occurred when there was heavy rain and during certain activities such as puddling and transplanting rice seedling. Resistance against seepage failure of the bottom soil is based on how deeply sheet-pile walls (or panels in this case) are installed. In this case, the penetration depth was so small that the bottom soil of the ditch was unstable when the groundwater level increased. Changes in the groundwater level were observed continuously from 2003/12/05 to 2004/04/03. The data show that the groundwater level increases with rainfall, and the increase in the groundwater level was large during certain activities such as puddling and transplanting. The largest hydraulic head difference, H , during the continuous observation period was 0.212m on 2003/12/12. On intermittent observation, the H values were 0.600m on 2004/05/16 after heavy rain and 0.456m on 2004/05/22 during puddling. The greatest H value at the time of transplanting was estimated as 0.878m on 2004/05/24, when boiling failure occurred.