

〔農工研技報 212〕
〔29 ~ 42, 2012〕

水路の沈下による水利用・水理機能の低下に関する実態調査 および分析

中田 達*・藤山 宗**・樽屋啓之*・田中良和*

目次

I 緒言	29	3 沈下に対する地形的・地質的要因	34
II 調査地区の概要	30	V 岡堰地区における調査結果	35
1 小貝川流域の概要	30	1 水路の沈下とそれに応じた対策事業の経緯	35
2 小貝川水系における用排水システム	30	2 水路の縦断測量結果と 沈下対策区間との対応	35
III 調査方法	31	3 沈下に伴う水理機能の低下の評価	35
1 聞き取り調査	31	VI 水路の構造的な変状が引き起こす水利用・ 水理的な機能低下事例の分析	38
2 測量調査	31	VII 結言	40
IV 福岡堰地区における調査結果	31	参考文献	41
1 水路の沈下とそれに応じた対策事業の経緯	31	Summary	42
2 水路の縦断測量結果と 沈下対策区間との対応	32		

I 緒言

我が国の農業水利施設の多くが長期供用下におかれ更新の時期を迎えつつある中、農業水利システムにおける総合的な機能診断の必要性や性能照査型設計への指向が高まっている。水路システムを対象として、これまでに水利用・水理機能についての性能項目が提示され（中ら、2008）、機能診断手法の検討事例が積み上げられてきた（三春ら、2008；三春ら、2009；樽屋・三春、2009；伊藤ら、2011）。施設の補修・更新事業に際しては、現時点において保持している機能と、建設当時（過去）に保持していた機能、さらには将来的に保持すべき（計画上の）機能の全てに対して、同じ客観的基準で比較できる評価手法が望まれる。水路の本来機能である、受益面積に対する需要水量を確保し圃場へと配水するためには、水路システム内の各施設における通水性や分水制御性といった評価指標を適切に機能診断する必要がある。しかし、それらを現時点でそのような要請に一律に応えられるような方法は確立されておらず、構造性能にくらべて水利用・水理性能に関する性能設計の導入が進みにくい

理由の一つになっている。

従来、コンクリート水路では、長期間の供用によって発生する、摩耗やひび割れなどの変状が問題にされてきた。これらの変状は、水理学的には、水路潤辺の摩擦に大きな影響を及ぼすと考えられている。具体的には、変状により潤辺の摩擦力が大きくなるために、単位断面積あたりで輸送できる流量が減少し、水位が上昇し、その結果、水路の余裕高を越えて溢水するという因果関係が想定された。ストックマネジメント事業に基づく機能診断では、早い段階から、上述した考え方にに基づき、マンシングの粗度係数の変化を通じて水路の水理機能を評価する事例が蓄積されてきた（織間・中島、2004；（財）日本水土総研、2006）。

一方、水路材料の変状とは性質を異にする水路構造の変位現象として、水路の沈下がある。水路の沈下は、地震・液状化による突発的な地盤沈下だけでなく、地下水のくみ上げや脆弱な地盤などを背景とする中長期的な圧密沈下もその起因と想定され、構造物の立地条件や地形条件等の違いに基づいて不均一に生じる。これまでに水路の沈下は、余裕高さの減少に伴う溢水や切断された継ぎ目からの漏水といった流れに直接影響する要因として課題視されていた。今後、水路システムの補修・更新を性能照査型設計にしたがって進める上で、水利用・水理機能の診断は不可欠であるが、水路の沈下に伴って発生する段差や漏水などの機能低下を、バレル単位で詳細に調査した事例は少なく、また、このような構造的な変位

* 水利工学研究領域水路システム担当

** (株) 三祐コンサルタンツ

平成 24 年 1 月 17 日受理

キーワード 機能診断, 要求性能, 不同沈下, 用水システム, 漏水, 余裕高

が水路の水利機能に及ぼす影響は、これまで十分に検討されていなかった。

本報告は、小貝川水系の歴史の古い開水路系水路システムにおいて実施した、沈下の実態とその原因、水利機能に関わる項目の調査結果をまとめたものである。管理組織からの聞き取り調査や学術・技術情報などのコンクリート開水路の水利利用・水理的機能診断を実施するのに必要となるデータを広範に収集した。また、水路標高の水準測量を行って水路縦断面図を作成し、水路の沈下の程度や縦断面方向の変位パターンの実態を把握することを目的とした。

なお、本報告における調査の実施に際しては、対象地区の水路システムを管理する福岡堰土地改良区の青嶋事務局長、岡堰土地改良区の中山工務管理課長には、データの収集や聞き取り調査などの多大なるご協力を賜った。ここに記して感謝申し上げる。

II 調査地区の概要

調査対象地区は茨城県の小貝川からそれぞれ取水する、福岡堰地区および、岡堰地区の2地区で行った。

1 小貝川流域の概要 (佐藤, 1987)

Fig.1に小貝川および小貝川が合流する利根川、西側に隣接して流れ、おなじく利根川と合流する鬼怒川の位置関係を示した流域の概略図を示す。小貝川は、水源を栃木県那須郡南那須町の丘陵(標高187m)に発し、茨城県取手市南端に於いて利根川に合流する流域面積1,043.1 km²、流路延長111.8 kmの河川である。小貝川と鬼怒川は茨城県西部の氾濫原低地をながれ河道を1つに

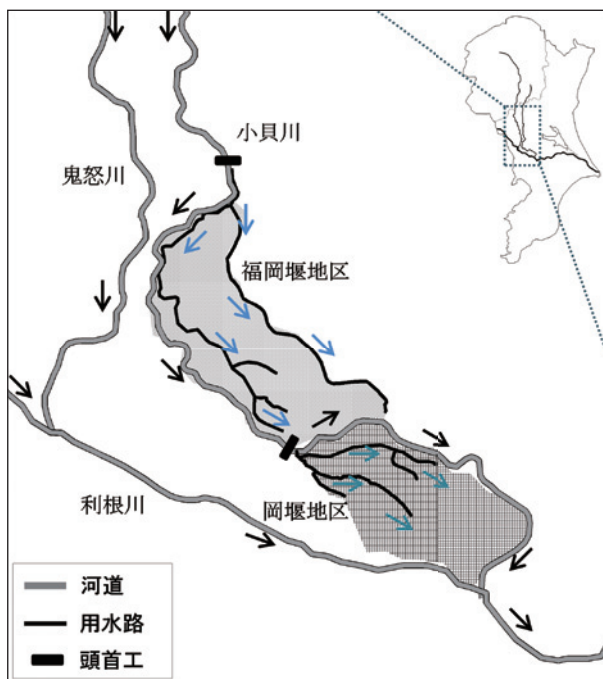


Fig.1 調査地区の概要
Study sites

合流する時代もあったが、江戸時代初期(1630年)に鬼怒川および小貝川の分離が進められた。鬼怒川と小貝川を分離することにより、広大な湿地であった谷和原領一帯を洪水被害から守るとともに、新田開発が進められた。Fig.2に国土交通省5万分の1都道府県土地分類基本調査(地形区分図)における小貝川流域の地形図を示す。小貝川下流域においては、右岸側の守谷市街をなす台地と左岸の筑波山麓台地の間の沖積面を流下し、福岡堰地区および、岡堰地区は鬼怒川および鬼怒川と小貝川の合流河川が形成した堆積面に位置する。

2 小貝川水系における用排水システム

小貝川流域では、上部に、鬼怒川から取水し灌漑している水田があり、その下に、上流地区から小貝川の支流へ流出してきた落水を利用する中流部の用水群がある。そして、関東三大堰(福岡堰、岡堰、豊田堰)は、これらの用水群のさらに下流に位置している。したがって、小貝川下流三大堰が利用できる水量は、鬼怒川からの取水とその用水配分、小貝川中流部での水利利用によって決まってくる。

a 福岡堰地区

小貝川の福岡堰より取水し、台通用水路(延長12.6 km, 計画最大流量6.7 m³/s)、川通用水路(延長10.5 km, 計画最大流量6.6 m³/s)等に分岐されて、灌漑が行われている(Fig.3)。台通用水路は東部の丘陵地沿いを、川通用水路は小貝川左岸沿いをながれ、それぞれの幹線水路から地区内の中央に向かって支線がめぐらされ、地

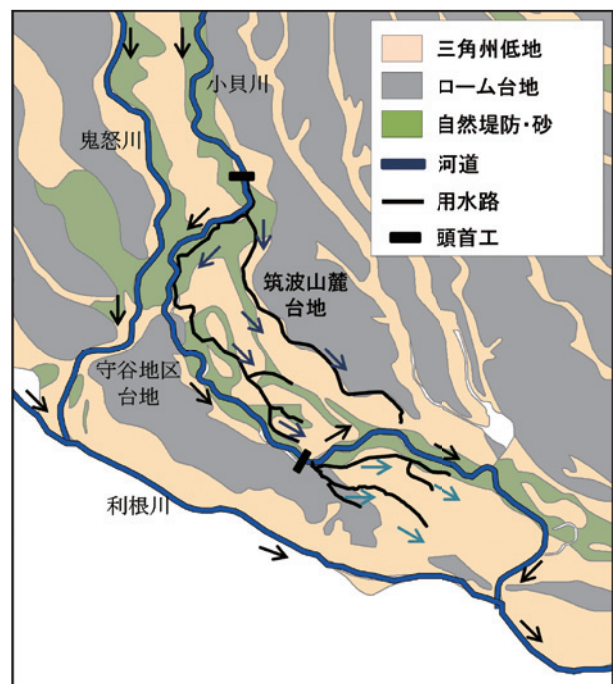


Fig.2 小貝川流域の地形区分
(国土交通省 5万分の1 都道府県土地分類基本調査 地形区分図より改編)

Physiographic division in Kokai river basin

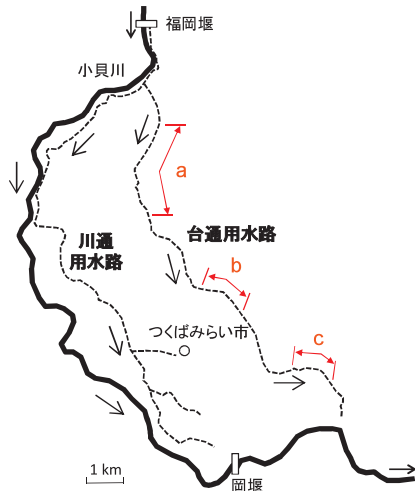


Fig.3 福岡堰地区の用水系統および測量区間

The irrigation canal systems of the Fukuokazeki area and surveying sections

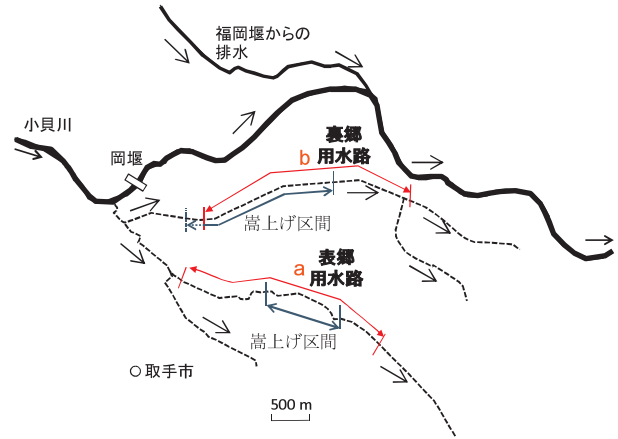


Fig.4 岡堰地区の用水系統および測量区間

The irrigation canal systems of the Okazeki area and surveying sections

区中央を流れる排水路である中通川に排水される。福岡堰地区は小貝川下流三大堰の最上流に位置しているため、水利用に関して最も有利であると言える。基本的には重力灌漑であり、地区内の上流側は用排分離であるが、代かき期には下流での水不足に陥ることもあり、支線排水路から用水路へとポンプを稼働させて用水の反復利用を行っている地区もある。

b 岡堰地区

小貝川の福岡堰より下流に位置する岡堰より取水し、表郷用水路（延長 8.1 km，計画最大流量 4.2 m³/s）、裏郷用水路（延長 9.8 km，計画最大流量 5.3 m³/s）に分岐されて、灌漑が行われている（Fig.4）。

岡堰頭首工は福岡堰地区からの排水河川である中通川の合流部より上流に位置するため、福岡堰の排水を利用することができず、水利用に関して、より不利であり、水確保のため間断取水および用水の反復利用が行われている。

III 調査方法

沈下が発生した水路において、溢水・流量不足・漏水といった水理機能の性能低下をいち早く発見するために、事前の聞き取り・文献調査などをもとに測量調査計画を立て、通水断面の変化に関する機能診断を実施した。実態調査における聞き取り調査および測量調査の方法を以下に示す。

1 聞き取り調査

対象地区の水路システムを管理する福岡堰土地改良区および岡堰土地改良区に聞き取り調査を行った。

聞き取り項目としては、水路の諸元、地区の地形的・地質的特徴、沈下している区間、過去に沈下していた区

間、沈下により生じた課題（溢水、漏水、分水障害など）、および沈下対策の概要・事業履歴などである。

2 測量調査

聞き取り調査をもとに地区内の水路敷高の水準測量調査を行う区間を決定した。それぞれの測量調査区間を Fig.3 および Fig.4 に示す。福岡堰地区は台通用水路の上流部 3.6 km（a 区間）、中流部 1.6 km（b 区間）、下流部 1.3 km（c 区間）の 3 区間を対象とした。岡堰地区は表郷用水路の 3.0 km（a 区間）、裏郷用水路の 3.3 km（b 区間）の 2 区間を対象とした。

測量は、コンクリート打設の目地と目地の 1 区切り（6～9 m 程度）を 1 バレルとし、各バレルの中央部の水路敷高を水準測量で測定した。同時に標尺・水準器を用いて水路壁高さおよび水位痕跡高さを測定した。水位痕跡は水路壁の摩擦度合いや水草・泥の痕跡が残っており、灌漑期間中の通常期の水位として、容易に特定することができた。

IV 福岡堰地区における調査結果

1 水路の沈下とそれに応じた対策事業の経緯

聞き取り調査によって、台通用水路の沈下の経緯とその対策を明らかにした。Fig.5 に水路の沈下対策にかかる事業の年表の概要図を示した。台通用水路においては、1960 年代から 1970 年にかけて土水路から三面張りのコンクリート水路に改修した（Fig.6-a）。地下 4 m ほどの深さに松杭を打設していたものの、脆弱な地盤のため、70 年代中頃から水路の沈下がみられ、水路底版の沈下が進み、L 字型の側壁との継ぎ目部分から地盤へと漏水が生じるようになった。これに伴って擁壁の亀裂、漏水、溢水等が生じ始めた。底版との地盤の沈下により水路床と地盤との間に空隙ができ、漏水が流入して土砂を

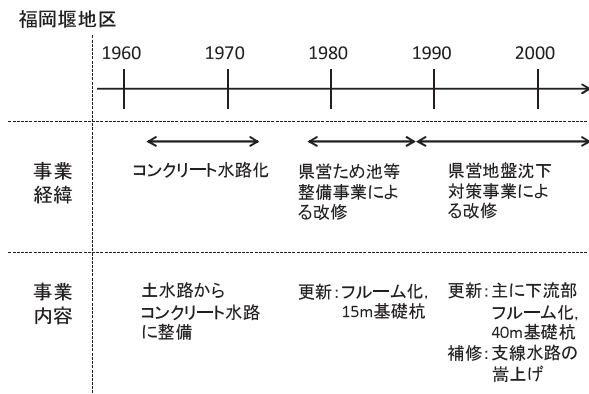


Fig.5 福岡堰地区の沈下に対する事業の経緯

Chronological table of the renewal projects for the subsidence of canals in Fukuokazeki irrigation systems

流失させ、沈下を加速させたとも考えられている。1978年から県営ため池等整備事業により沈下量の大きいところから事後保全としてバッチ状に改修を行い、各バレル(9mピッチ)の地盤に基礎杭を15m程度打設した上に受台(グレー部)を設け、L字型の側壁は採用せず、コンクリートフルーム水路として3面を継ぎ目無く敷設した(Fig.6-b)。下流区間では1988年から地盤沈下対策事業により、各バレル(9mピッチ)に深層40m程度まで基礎杭を打設して沈下区間の水路を改修している。

2 水路の縦断測量結果と沈下対策区間との対応

Fig.7に測量区間を示した。国土交通省の5万分の1都道府県土地分類基本調査 表層地質図(龍ヶ崎,土浦)を用いて水路と表層地質との対応を示した。台通用水路は表層が火山灰のロームの台地部と氾濫原の堆積物が主

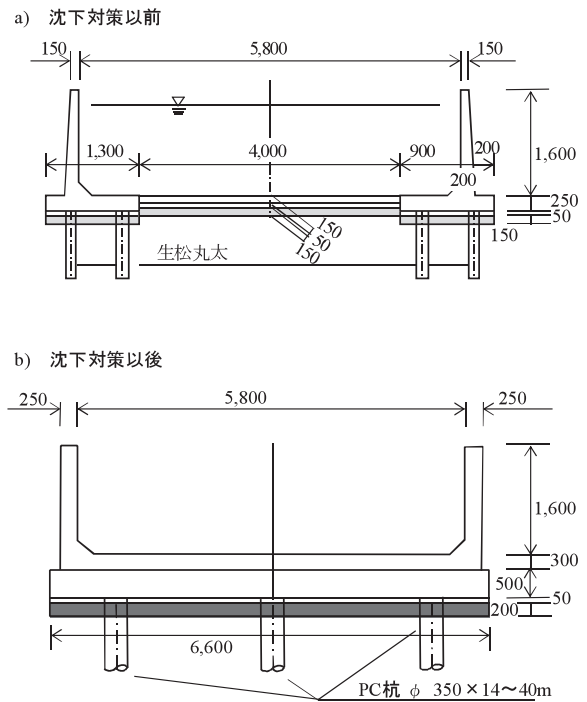


Fig.6 福岡堰地区の用水路断面形状の変遷

a) 沈下対策以前 b) 沈下対策後

The change of the irrigation canal cross-section of the Fukuokazeki area before and after maintenance for the subsidence

な谷津とが交互に入り組んだ地形となっていることがわかる。上流から中流部にかけて拡大した図において、聞き取り調査から得た県営ため池等整備事業によりバッチ状に改修を行った区間および未改修の谷津区間を図示した。台地に入り組む谷津地帯に改修区間が並び、脆弱な

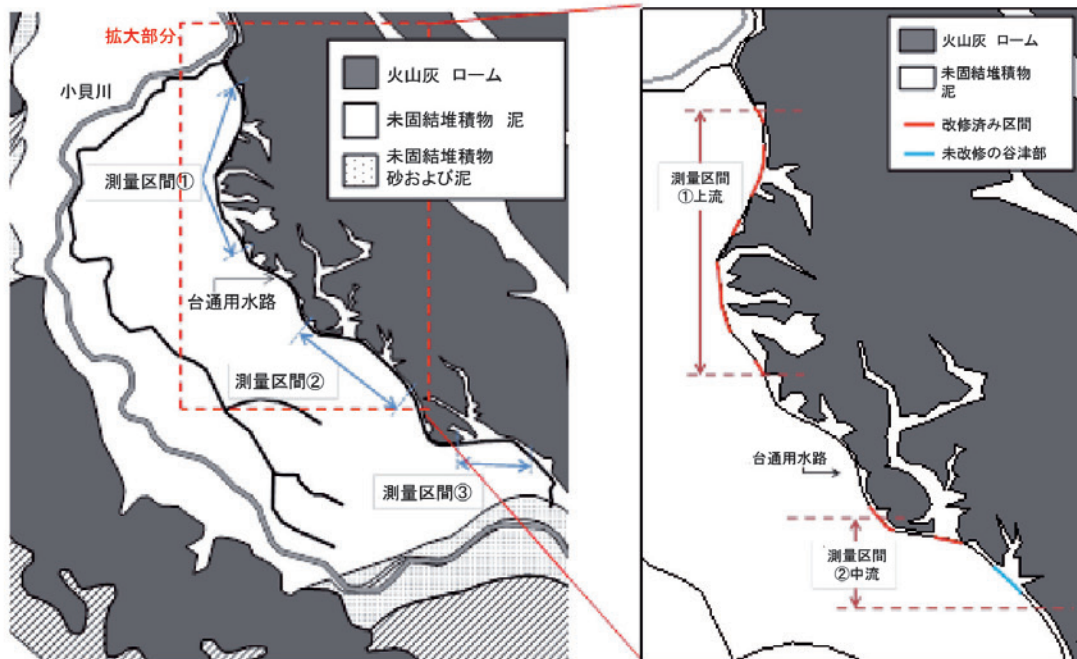
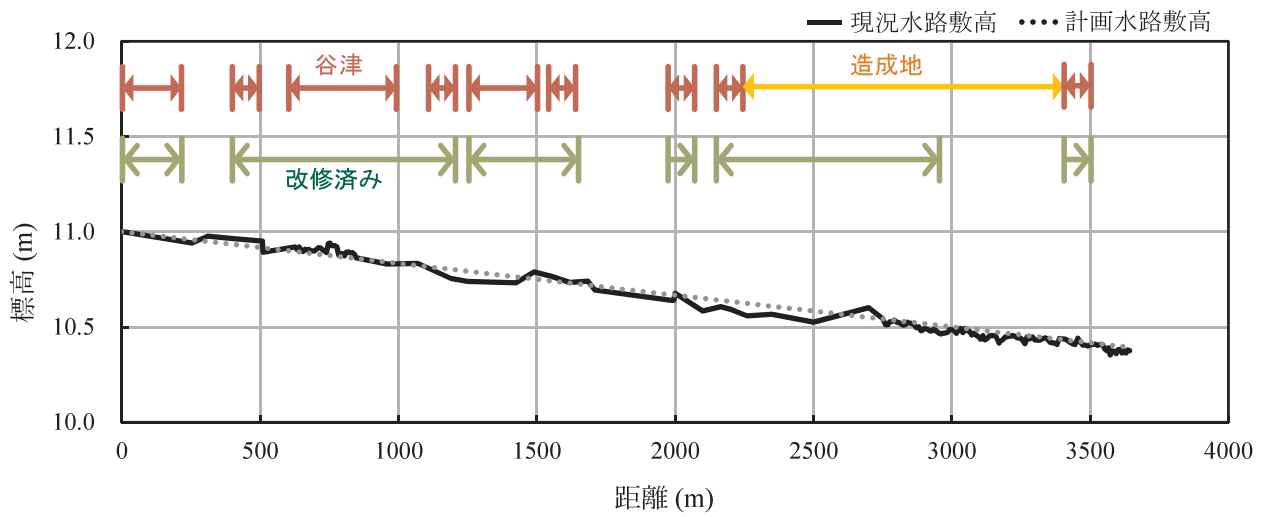


Fig.7 測量区間と表層地質の対応

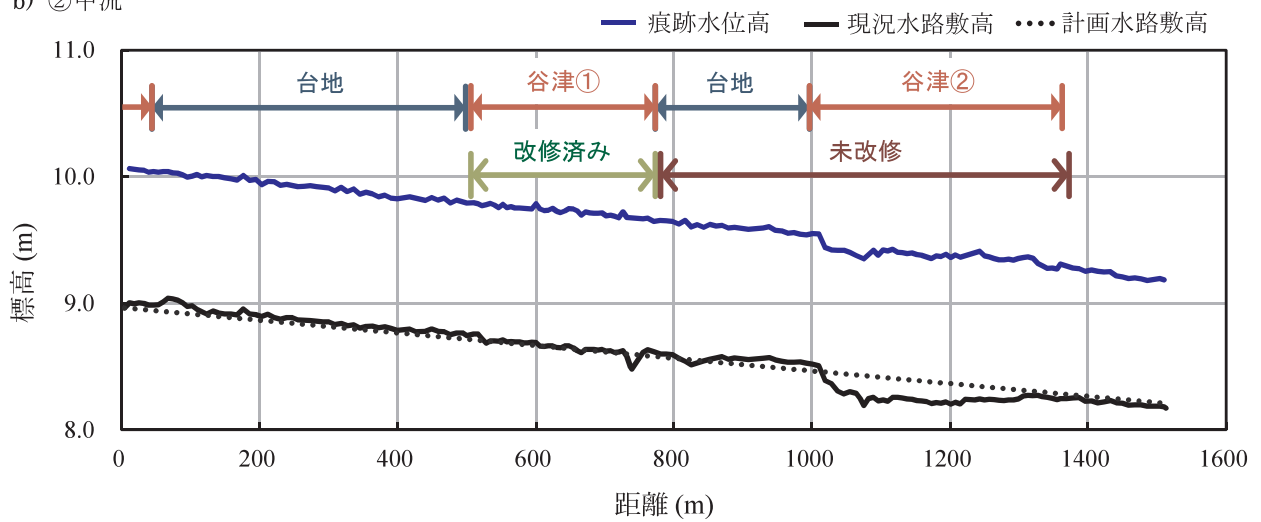
(国土交通省5万分の1都道府県土地分類基本調査 表層地質図より一部抜粋・改編)

Correspondence of surveying section and the subsurface geological map

a) ①上流



b) ②中流



c) ③下流

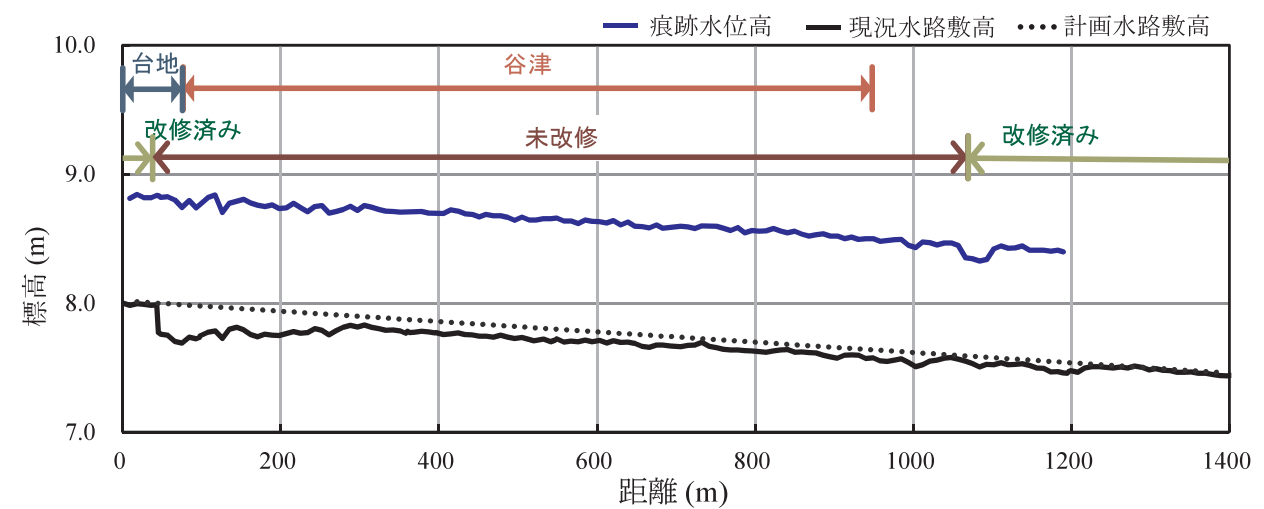


Fig.8 福岡堰地区 台通用水路の水理縦断面図

a) 上流, b) 中流, c) 下流

Longitudinal sections of irrigation canals in Fukuokazeki irrigation systems

a) upper, b) middle, c) lower stream



Fig.9 改修区間（左）と未改修区間（右）の境目
Border of repair section (left) and non-repair section (right)



Fig.10 台通用水路 下流未改修区間のバレル間の不同沈下
Subsidence between the barrels of the downstream non-repair section



Fig.11 未改修区間のバレル間の横ずれ
Wide gap between the barrels of the non-repair section

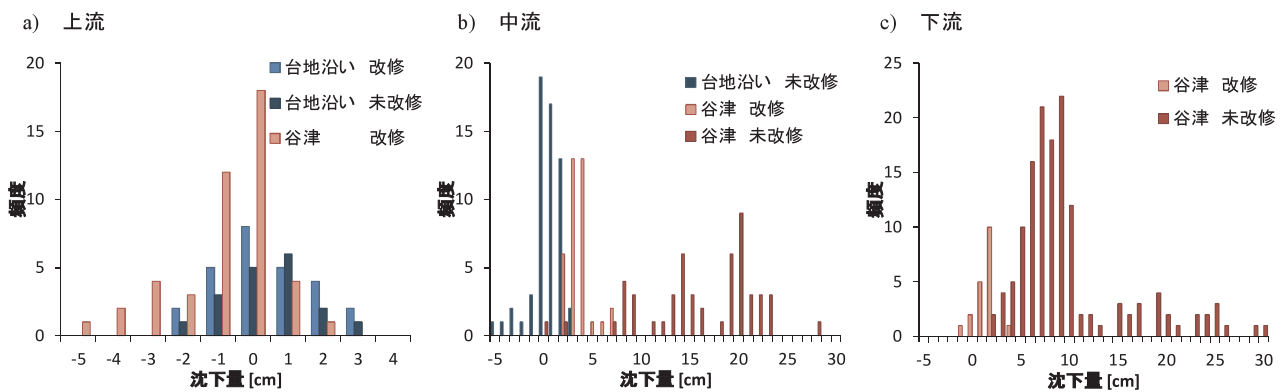


Fig.12 地形・改修履歴の分類による沈下量ヒストグラム
Subsidence histogram by the classification of the topography and the repair history

沖積土の地盤では沈下が大きかったことがうかがえる。

Fig.8に3区間の水路縦断面図を示す。上流区間 (Fig.8-a) では、現況では水路の改修がなされているため、谷津であっても大きな沈下は見られなかった。中流区間 (Fig.8-b) では、改修がなされた谷津①では沈下が見られないが、宅地から谷津につながる未改修の区間 (谷津②) では300 mほどの区間に渡って沈下していた。水路の計画水路敷高から推定する沈下量は20 cm程度であった。水路床の沈下に伴い、水位痕跡も水路床と同様の水位低下を起こしていたが、低下量は約9 cmと、水路床の沈下と比べ小さかった。谷津を超え水路左岸が台地に沿うようになると改修区間と未改修区間の境目が識別でき (Fig.9)、水路敷高は計画時の高さに戻り、沈下は生じていなかった。下流区間 (Fig.8-c) はそのほとんどが未改修区間にあたるが、上流・下流を沈下対策事業の改修済み水路で挟まれている。改修区間と未改修区間の境目で20 cmほどの段差が形成され、それより200 m程度は逆勾配となっていた。これより上流ではさらに大きな沈下が生じていたために改修がなされたものと推察される。下流の未改修区間におけるバレルごとの上下のずれは最大8 cm程度であった (Fig.10)。沈下区間には土砂や貝などの堆積物がたまり、粗度係数が増加することでさらなる通水性能の低下につながる事が予想され

る。また、上下の段差だけでなく横ずれも生じており (Fig.11)、目地の補修はされているものの、漏水が課題となっているとのことであった。

国土交通省の5万分の1都道府県土地分類基本調査表層地質図と水路縦断面距離を対応させる (Fig.7-拡大図 b) ことで、対象の水路区間は、水路が台地あるいは谷津に位置しているか、さらには、改修がなされたか否かによって分類できる。計画水路敷高と現況の敷高の差を沈下量として、その頻度を取り、Fig.13に示した。台地沿いに敷設された水路においては改修の有無にかかわらず、沈下量がほぼ±3 cm以内に収まり (Fig.13-a, b: 淡青, 濃青), また、地盤に基礎杭が打設されている改修後の谷津部の水路 (Fig.13-a, b: 淡赤) も台地沿いと同じく沈下量は小さい。未改修の谷津部 (Fig.13-b, c: 濃赤) は他の3分類と大きく異なり、中流・下流区間では10~20数cmの沈下を生じていた。施工時の計画水路敷高との誤差範囲が不明なため、現況水路敷高と計画水路敷高の相対的な差からは正確な沈下量は算定できないものの、地盤と対策履歴の分類による沈下量の差は明確に現れた。

3 沈下に対する地形的・地質的要因

福岡堰地区は小貝川の氾濫原に位置し、軟弱な地盤が

水路構造の沈下を引き起こしていると考えられる。国土交通省の5万分の1都道府県土地分類基本調査 表層地質図（龍ヶ崎，土浦）より，福岡堰地区近辺の地質について既存の資料より整理した。ボーリング位置図（Fig.13-a）地質断面図（Fig.13-b）およびボーリング柱状図（Fig.13-c）を示す。福岡堰地区中央部のボーリングA～E地点の深度10m～35m付近は，沖積層（藤代層（藤代部層）および小貝川層）が堆積しており，その下には砂礫層が堆積している。国土交通省関東地方整備局常総国道事務所が行った近隣の台地側のボーリングF地点およびG地点での標準貫入試験を行った結果をFig.13-dに示した。N値の分布をFig.13-cの柱状図と対応させると，谷部では深度25m程度までN値の小さい沖積層が主体であり，深度37m以深になってN値50以上の安定した地盤となっていることがわかる。台地上のG地点では深度10m～20m付近に見和層とみられる比較的N値が大きな層が堆積している。

台通用水路の台通用水路の谷津に沿った区間では，台地部のロームが浸食され沖積土が覆い被さった地質構造を持っていると考えられ，地盤沈下対策以前の4～5mの松杭の打設では安定した基礎となりえずに沈下が生じた。しかし流域中央部の氾濫原の地質と異なり，比較的浅い層にN値の大きな台地起源の砂礫層があり，1回目の改修事業（県営ため池等整備事業）における15m程度の基礎杭の打設であっても基礎としての効果があったと考えられ，改修がなされた谷津区間では顕著な沈下を生じていない。下流部は氾濫原の地質に近く，2回目の改修事業（県営地盤沈下対策整備事業）においては，深度40mまで基礎杭を打設して支持層とする必要があったと考えられる。

V 岡堰地区における調査結果

1 水路の沈下とそれに応じた対策事業の経緯

福岡堰地区と同様に，聞き取り調査によって，水路の沈下対策事業の年表を示した（Fig.14）。岡堰地区では，1960年代半ばに三面張りのコンクリート水路とした。水路の地盤には5m程度の松杭を打設がなされていた。しかし，福岡堰と同様に数年で沈下が生じ，現在までに2回の改修事業が行われた。一回目の改修事業の実施年度については不明であったが，二回目は1980年代後半から県営地盤沈下対策事業による改修がなされた。改修の判定基準は計画敷高より30cm以上の沈下量であった。改修時には，福岡堰と同様，深度40m程度まで基礎杭を打設してある。沈下30cm未満の水路では，計画時の壁高と同等の高さまで壁面の嵩上げ補修がなされた。

2 水路の縦断測量結果と沈下対策区間との対応

測量対象区間の水路縦断図をFig.15に示す。Fig.4に

現況の沈下区間および改修・補修区間を示した。

表郷用水路（Fig.15-a）では，改修・補修状況は大きく3つに分類される。上流の分水工から落差工がある流下距離1100m付近までは未改修区間である。この区間では，流下距離100m付近の緩やかなカーブにさしかかる区間で沈下を生じており，たびたび溢水が生じた。そのため，土地改良区によって，湾曲部外側の直下流の壁面上に13cm程度の嵩上げがされていた（Fig.16）。水路痕跡から推定される余裕高は15cmほどであり，代かき期などの最大流量を流下させる際には依然として溢水の危険性がある。落差工より下流においては，水路が沈下している区間が約1kmに渡って続いている。沈下対策として水路擁壁上部にコンクリートの嵩上げを行なわれた区間である。嵩上げ高さは最大で70cmであった（Fig.17）。改修の判定基準は30cm以上の沈下であったが，判定地点の選定によって，基準以上の沈下を生じた水路においても嵩上げによる補修で対応が済まされている実態が明らかになった。下流では水路の改修がなされ，元来の計画水路敷高に戻っている。沈下区間と改修区間の接続部は距離10mほどにわたって0.5m程度の逆勾配となっていた。沈下区間の水面形は下流の改修区間の水面形と滑らかにつながっており，水路壁の嵩上げによる対策がなされなければ，約700mにもわたって溢水の危険性を有することになっていた。

裏郷用水路においても2kmにわたる嵩上げ補修区間がみられた（Fig.15-b）。計画水路敷高と現況の敷高との差は最大70cm程度であり，こちらも補修前は溢水などの問題が生じていた可能性がある。測定開始点から250m下流において沈下量が大きくなっているが，その直上流には新たに2基の角落としが連続して設けられていた（Fig.18）。これは，水路の沈下による水位の低下に対して，上流の分水に必要な所定の水位を確保するために設置された。分水位は高すぎても問題があり，溢水しない適切な余裕高が確保されていなければならないし，漏水は水路周囲の農地の湿害，排水障害や人家への影響回避，あるいは損失水量の低減のために極力回避しなければならない。嵩上げ区間では，補修前の分水ゲート操作部の高さが不足し，改修が必要とされたゲートも存在した。水路内の水位が変化すれば，沈下前と同等の水量を支線で確保するためのゲート開度が異なると考えられ，各農家が行う分水口の操作が水路の沈下に伴ってどのような変遷を経てきたかといった管理面での対策に関して，さらなる調査が望まれる。

3 沈下に伴う水理機能の低下の評価

二つの用水路ともに水位痕跡は嵩上げ区間と改修区間で滑らかにつながっており，水面形の大きな変化は見られなかった。嵩上げ区間では水路底の沈下部に死水域があると考えられる。計画水路敷高と現況の敷高の差（Fig.15斜線部）をとり，死水量を推定したところ，表

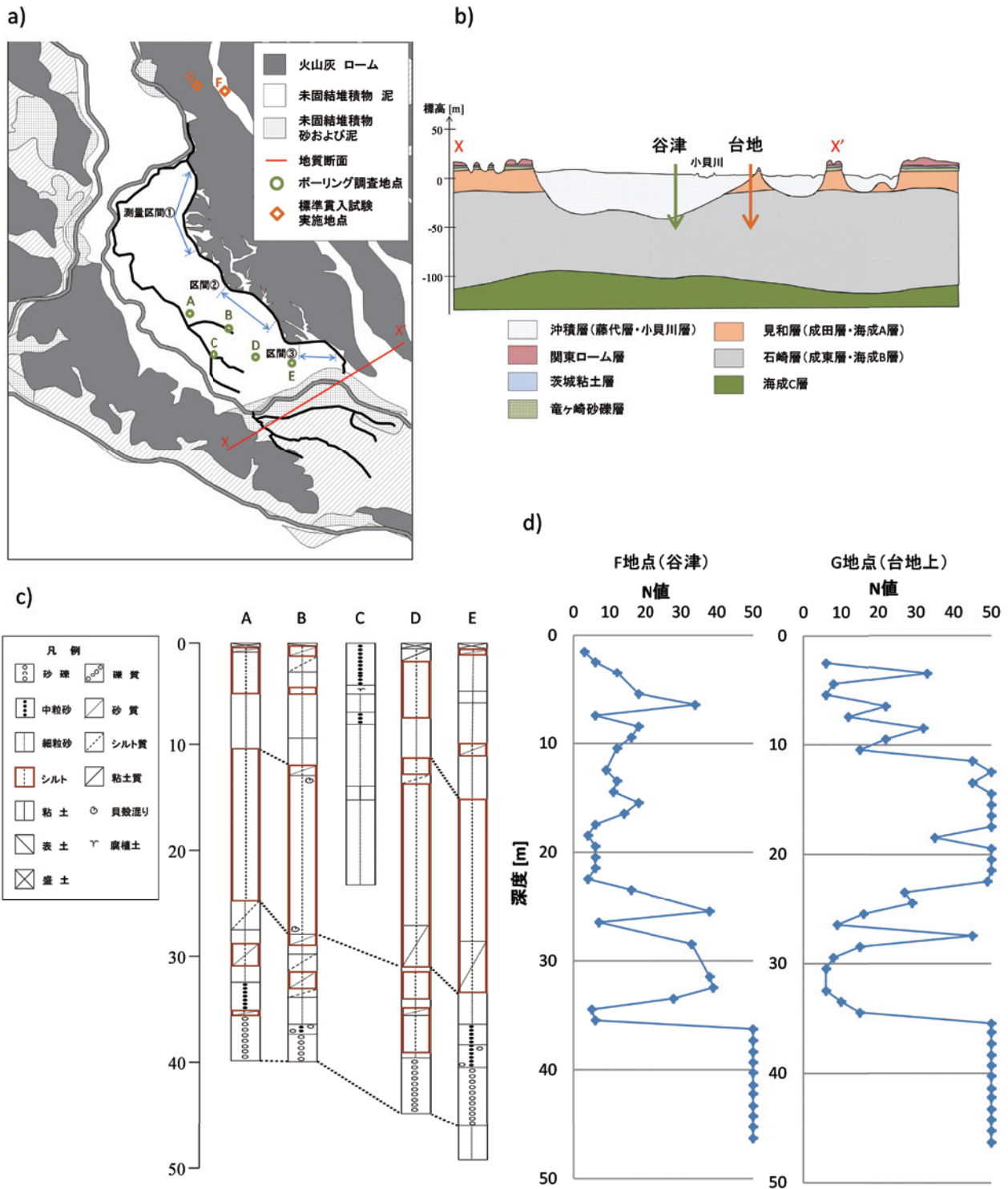


Fig.13 小貝川流域の地質構造

a: ボーリング調査地点

b: 地質断面図 (国土交通省 5万分の1 都道府県土地分類基本調査 地形区分図より改編)

c: ボーリング柱状図 (同上)

d: F, G 地点における標準貫入試験結果

(平成17年度圏央道(つくば市鳥名地区)地質調査17k32(ボーリングNo.3:F谷津, No.1:G台地上),
国土交通省 関東地方整備局 常総国道事務所, 平成18年 改編)

Geological maps in Kokai river basin

a) boring exploration points, b) geological cross-section

c) boring log, d) standard penetration test results at Point F and G

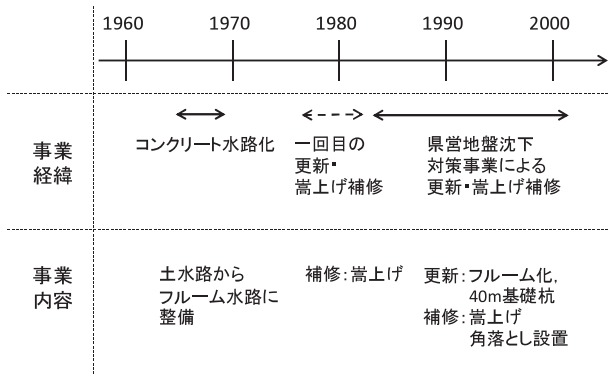


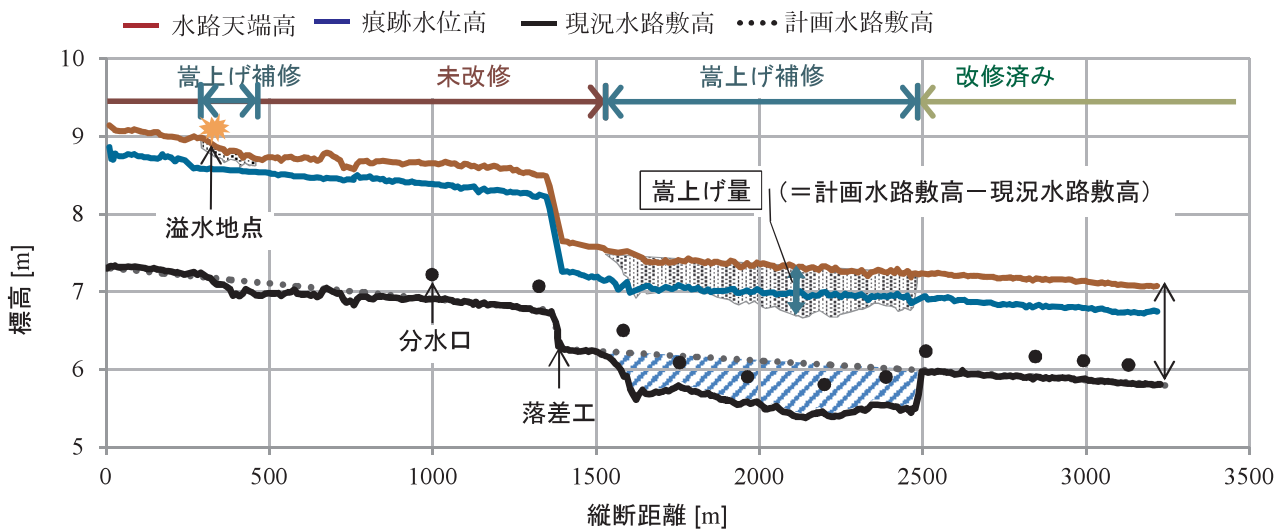
Fig.14 岡堰地区の沈下に対する事業の経緯

Chronological table of the renewal projects for the subsidence of canals in Okazeki irrigation systems

郷用水路では約 2800 m³, 裏郷用水路では約 3300 m³と算出された。これは1つの支線水路への分水量の2日から3日間分に匹敵する水量となる(支線分水量 30 L/sで12時間供給するとその水量は約 1300 m³となる)。岡堰地区は前述の通り, 間断灌漑や配水のブロックローテーション, 下流での水の反復利用などを行わざるを得ないような水源事情に厳しい地区であるため, 死水量に起因する下流への水到達時間の遅れや送配水効率など水利用的機能の低下におよぼす影響を評価していくべきである。

対象区間において不等流解析をおこなった。表郷用水路では途中に落差工があるので2区間に分けて解析した。上流端, 下流端の境界条件を Table 1 に示した。下

a) 表郷用水路



b) 裏郷用水路

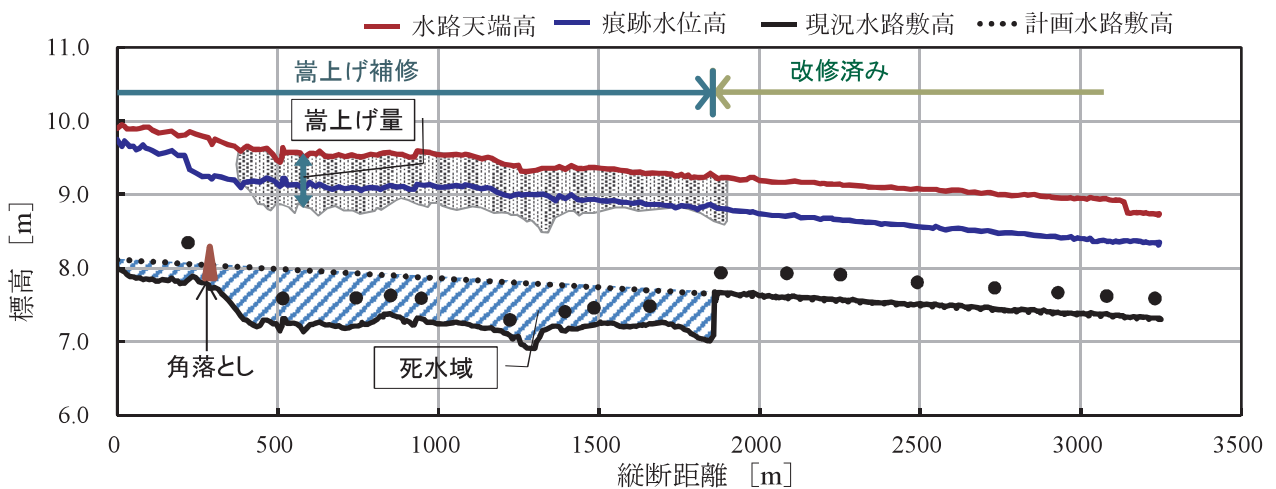


Fig.15 岡堰地区の水理縦断面図

a) 表郷用水路, b) 裏郷用水路

Longitudinal sections of irrigation canals in Okazeki irrigation systems

a) Omotego (Southern side), b) Urugo (Northern side)



Fig.16 溢水が生じた区間の嵩上げ補修状況
The expansion of canals walls on the section
where overflow occurred



Fig.17 嵩上げ補修最大時（嵩上げ量 70cm）
の水位痕跡と補修前の天端高さの比較
Comparison between water level trace and
previous wall edge height in the maximum
expansion situation



Fig.18 沈下した水路に敷設された
角落とし構造物
The intake weirs installed in subsidence canals
to keep water level

Table 1 不等流解析に用いる境界条件
Boundary condition for nonequivalent flow analysis

		水路幅	上流端	下流端
		B [m]	Q_U [m^3/s]	h_D [m]
表郷用水路	落差工の上流	1.8	2.25	1.48
	落差工の下流	2.75	2.0	0.94
裏郷用水路		3.25	3.4	1.05

流端には水位痕跡の実測値を水位の境界条件として与え、上流端は表郷用水では 2011 年 8 月の調査時の流量の実測値を与え、その計画流量との比を用いて裏郷用水路の流量を与えた。

Fig.19 に水路敷高には現況の沈下した敷高と計画時敷高の 2 パターンで解析を行った結果の水面形を示す。沈下区間での現況の水面形は計画時の水面よりも低下しており、計画水位と現況水位との差は沈下区間の上流部で最大となり、表郷用水路では 13.6 cm、裏郷用水路では 8.7 cm となった。ただし、水位痕跡はむしろ計画水位の計算値とほぼ一致していた。沈下箇所底面の逆勾配や土砂等の堆積による断面の縮小などにより、通水抵抗が上昇し、単位断面あたりで輸送できる流量が減少し、水位の上昇が引き起こされたと考えられる。また、表郷用水路上流部での沈下区間での計画水位と現況水位との差は 3.6cm であった。この区間においては溢水が発生したことが確認されている。ただし、水位の上昇要因は、水路の沈下や湾曲による流速分布の偏りなどの複合的な要因が重なったものと考えられるが、今回の不等流解析からだけでは特定できなかった。

VI 水路の構造的な変状が引き起こす水利用・水理的な機能低下事例の分析

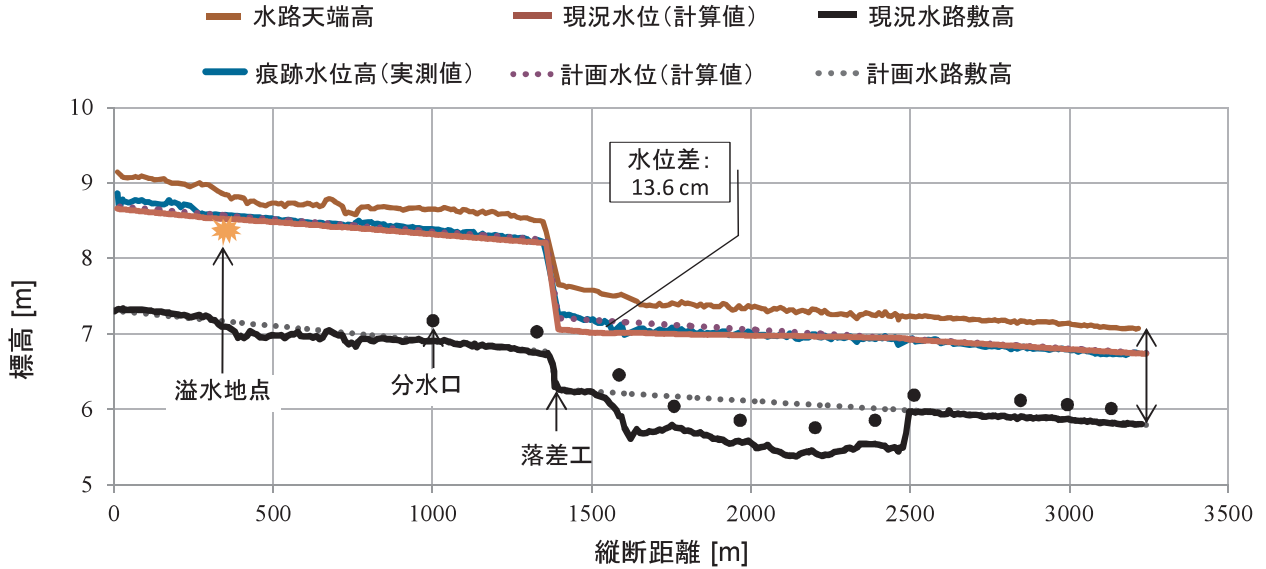
水路の機能診断に当たっては、まず水路に対する要求性能を明確にする必要がある。用水路における第一義は各圃場に所定の水量を配水することであるから、その

要求性能のいくつかは明確である。水理機能においては通水性や水密性、水利用機能においては配水均等性や分水制御性などといった機能が提示されている。本調査では水路の構造的な変状として水路の沈下をとりあげた。水路の沈下によって引き起こされうる水利用・水理機能の低下事例としては、以下の 3 つに大きく分類できる。第 1 は水位や流速の変化および水頭損失の増加などの通水性能の低下である。第 2 は、不同沈下によりバレルの縦横断面がずれ、目地やクラックから生じる漏水の発生、すなわち水密性能の低下である。第 3 は、分水工周辺での水位低下あるいは溢水などによる分水の不均等、不安定化などの分水制御性能の低下である。

現時点において保持している機能を定量化するために必要と考えられる調査項目を **Table 2** にまとめた。本調査のような詳細な測量を水路システムの全線において実施することが、人的・経済的リソースの制限上、難しい場合には、調査実施前の文献調査や農家・土地改良区の職員への聞き取り調査はより一層重要となる。とくに土地改良区の職員の方と実際に水路を一つ一つの問題を確認しながら踏査することによって沈下に関する水路の機能低下の現状とその要因を推察できる。灌漑期には流量や水面形の観測、漏水箇所の視認ができるが、水路敷の測量や分水工の位置確認は通水時には難しいため、機能診断のための調査実施に当たっては少なくとも灌漑期・非灌漑期を通して観察することが求められる。また、数年に一度の渇水時や洪水時における、機能の低下度合いや通常期にはみられなかった機能低下事例の顕在化などについても念頭に置くべきで、そのためには複数年のデータの蓄積を必要とする。

調査対象水路において、これらの要求性能を評価するために得られる現状データは限られているため、既存の資料をできる限り広範に収集することとなる。**Table 3** に水路の沈下を機能診断する際に最低限必要と思われる資料を列挙した。水利システムとその取入河川・周辺河川との関係や土地利用の変遷はその水利システムの成り

a) 表郷用水路



b) 裏郷用水路

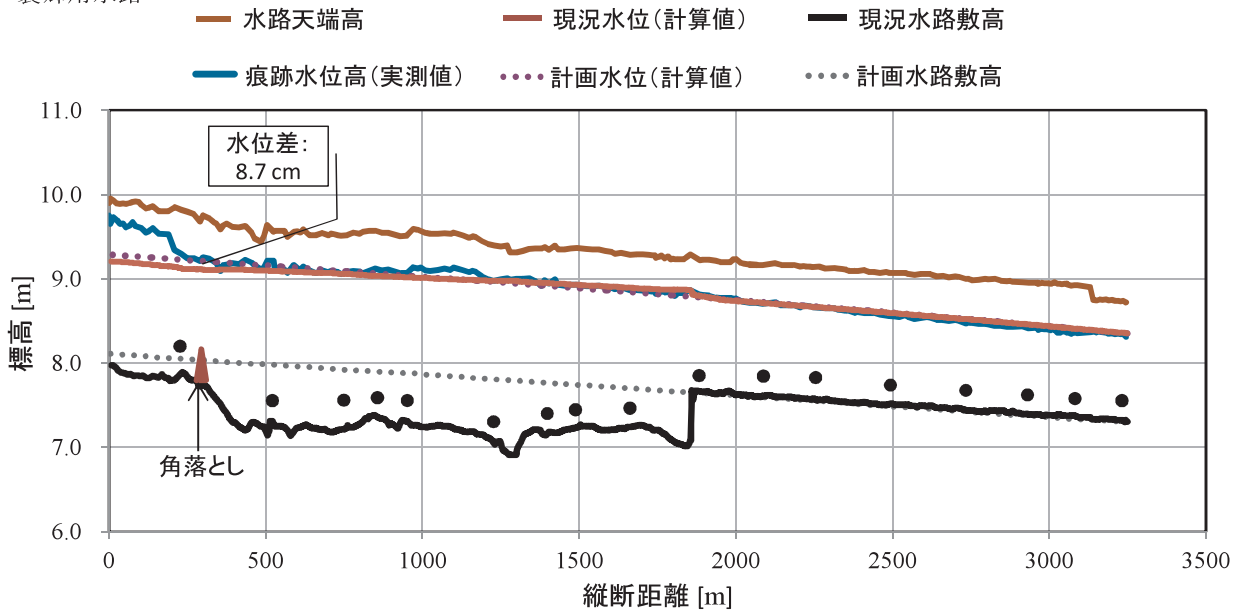


Fig.19 沈下の有無による水面形の比較

Comparison of the water surface between subsidence canal bed and original design level

立ちを説明する最も基本的な資料である。表層地質や地質の強度を示す標準貫入試験結果 (N 値) の資料の多くは既存の構造物を設計した際の蓄積があり、入手は比較的容易である。このような地形・地質に関する事項から近年の農地開発や周辺開発の動向、地震による被害履歴といった、さまざまな時間的スケールにおける地区概要に関する資料は、水路システムの持つ地域固有の背景を明らかにしてくれる。対象とする水路システムの竣工図は、竣工当時の計画水量・水位・勾配等を網羅した基本資料であり、当時求められた性能を定量的に表すことを可能とする。また、水路構造物に既に何らかの対策が施されている地区においては、その対策の経緯、事業内容を明らかにしておく必要があり、その際にも蓄積されている竣工図や地質調査図が必要である。さらには、

対象水路だけでなく、その周辺における構造物の建設の工事履歴を収集し、とくにポンプ排水を伴う工事が行われている場合には、工事による地下水の変動等が水路構造に変状をもたらしていなかったか否かの確認が必要であろう。

構造機能と直結する水利用・水理機能の照査指標の定量的評価は、今後検討していくべき課題として残っている。たとえば、通水性評価であれば、沈下や浮上の程度が軽微で、それが連続的に生じているような場合には、平均的には水路潤辺の抵抗の増加に基づく通水能力の低下、すなわち、粗度係数の増加として解釈でき、これまでの性能評価指標を参考にできるであろう。それに対して、段差の程度が大きくなるにつれて、通水断面の局所的な不連続が無視できなくなると、抵抗をエネルギーの

Table 2 水路の沈下に関する機能診断項目とそれぞれの調査項目
Function diagnosis indicators and their observation contents with the subsidence

調査期間	調査項目	水理学的性能		通水性		水密性	分水制御性	
		機能診断項目		粗度の 変化	通水断面 の変化	漏水の 有無	分水位の 過不足	分水量の 過不足
非 かん がい 期	水路敷高の測定			○	○		○	
	水路側壁高(左右岸)の測定			○	○	○		
	痕跡水位高の測定			○	○		○	○
	土砂堆積量の測定				○			○
	外観調査(目地損傷およびクラックの有無)			○		○		
	分水口高の測定						○	○
	角落し堰上げ高の測定				○		○	○
かん がい 期	水位・流量観測			○		○	○	
	縦断水面形の計測			○	○		○	
	水路背面の目視調査(緩み確認)					○		
	水路周囲への漏水の有無					○		○
通 年	調査結果に基づく不等流計算			○	○		○	
	農家・管理者への聞き取り			○	○	○	○	○

Table 3 沈下に起因した資料整理内容
Existing document contents necessary for the function
diagnosis due to subsidence

地区概要	河道の変遷
	表層地質
	標準貫入試験結果(N値)
	土地利用の変遷 (農地および宅地の区分)
	地下水位
	地震履歴
竣工図	平面図、縦断図、横断図等
工事履歴	水路構造物の工事時期および内容 対象地区周辺における 工事時期および内容 (特にポンプ排水を伴う工事)

局所損失として取り扱う段階に移行する。このような現象は、水理学的には、段上がり、段落ち、水路断面の急縮などによる局所損失としては既に整理されているものである。しかし、局所損失の影響で水路に発生する波動や流速変動などが水路機能に及ぼす影響は、必ずしも体系的に整理されているわけではない。また、水位や流速の局所的な変動が、複数の原因地点に及び、これらが相互に影響を及ぼし合うことによって、水路にとって不都合な、不安定な流れの発生なども懸念されるところである。漏水量を指標とする水密性能の評価には、バレル間の目地からの漏水量を定量的に計測する性能照査技術の開発が期待される。分水における水利用機能の維持・保全のためには、各地域に送水すべき流量に対する送水能力の維持はもちろんのこと、要所において、きちんと所定の分水位を確保していなければならない。これらの評

価においては、各分水工の持つ機能を適切に分類した上で、分水工周辺での水理現象を観測し、評価を行う必要がある。今後この種の水理機能診断調査を、多くの農業水利現場で実施できるよう、これら機能診断のためのデータ収集と照査指標の検討を進めていく必要がある。

Ⅶ 結 言

本調査は、小貝川水系の歴史の古い開水路系水路システムにおいて、沈下の実態とその原因、水理機能に関わる項目の調査結果をまとめたものである。対象としたのは、現場打ちコンクリート開水路で、全て幹線用水路である。予め関係する土地改良区での聞き取りを基に、沈下が生じた水路区間および沈下対策が施された水路区間を選んで、集中的に調査した結果、以下のような知見が得られた。

- 1) 水路の沈下には地盤条件が強く作用し、谷津のような沖積土の地盤において水路の沈下が生じやすいことが確認された。沈下への対策としては、基礎地盤までの杭の打設が有効であったことが、改修後の水路には大きな沈下はみられなかったことから確認できる。水路改修以外の沈下への対策工法として、水路壁の嵩上げ補修による事後保全が施され、余裕高の確保がなされていた。
- 2) 沈下によって性能低下を生じる水理学的機能は、通水性、水密性、および分水制御性が考えられる。現地測量調査および不等流解析による通水性の診断では、水路床の逆勾配や壁面の摩耗などにより、流水に対する摩擦抵抗が増大し、断面通水能力の低下が

生じていることが示唆された。また、水頭の損失により、下流の分水工において所定の流量・水位が維持できなくなることが懸念される。ただし、沈下に伴う段落ち流れや跳水などの局所的な流れの変化はないと考えられた。

- 3) 水利用機能の診断にあたっては、角落とし等で水位を確保し分水を制御している箇所が見受けられたため、今後、分水ゲート等の管理方法などの調査から、分水量の確保などの機能診断を実施していく必要がある。

参考文献

- 1) 茨城県 (1982) : 1/50,000 土地分類基本調査「土浦」
- 2) 茨城県 (1986) : 1/50,000 土地分類基本調査「竜ヶ崎」
- 3) 伊藤夕樹・田中良和・向井章恵・樽屋啓之・中 達雄 (2011) : 調整池容量の拡大に伴う用水路系での水利学的性能の向上効果の検証, 農業農村工学会論文集, 275, 33-40
- 4) 織間宏明・中島賢二郎 (2004) : 開水路における粗度係数の検討, JIID 研究レポート, 25, 65-69
- 5) 国土交通省 関東地方整備局 常総国道事務所 (2006) : 平成 17 年度圏央道 (つくば市島名地区) 地質調査 17k32 (ボーリング No.1, No.3)
- 6) 中 達雄・樽屋啓之 (2008) : 用水路系に対する水利学的性能の基本的考え方, 農業農村工学会論文集, 256, 9-16
- 7) 三春浩一・田中良和・向井章恵・樽屋啓之・中 達雄 (2008) : 用水路の通水性に対する性能設計の試行と機能保全対策の検討事例, 農業農村工学会論文集, 258, 51-56
- 8) 三春浩一・田中良和・向井章恵・樽屋啓之・中 達雄 (2009) : 用水路システムの水理および水利用に対する機能診断事例, 農業農村工学会論文集, 260, 113-119
- 9) 佐藤政良 (1987) : 3. 小貝川水系の水管理, 水利システムと水管理, 鈴木光剛 編, (株) 公共事業通信社, 67-101
- 10) 樽屋啓之・三春浩一 (2009) : 用水路系における水理・水利用機能診断のチェックポイント, 水土の知, 77 (4), 11-14
- 11) 山本晃一・阿左美敏和 (2007) : 第 1 編 小貝川の河道特性 - 鬼怒川に支配された河川, (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 編, 河川環境総合研究所資料 18 号 河道・環境特性情報の読み方と利用 - 事例研究を通じて -, 1-49
- 12) (財) 日本水土総合研究所 (2006) : 2. 水理的機能評価, 水土の知を語る (No.11) 性能設計を考える - その 3 - 水利システムの機能評価 -, 67-116

Field Survey on the Subsidence of the Canals and Its Influence on the Water Delivery and Hydraulic Functions

NAKADA Toru*, FUJIYAMA So**, TARUYA Hiroyuki* and TANAKA Yoshikazu*

Summary

The subsidence often occurs in the open canals under long-term service located on the weak ground. The phenomena like overflow and water leakage caused by the subsidence of the canals decreased the water use and hydraulic functions. In this study, we estimated the subsidence of the canals by interviews to irrigation systems administrators and by surveying longitudinal sections of irrigation canals in Fukuokazeki and Okazeki irrigation systems. The subsidence of the open canals was easy to occur in the valleys with the alluvial soil which deeply entrenched highland. The new canals were renovated with the deeply-driven piles to the stable ground if the subsidence occurred more than 30 cm which is one of criteria of acceptance for renewal projects. The other subsidence canals were repaired by expansion of canals walls to be equal to original design levels. Maximum expansion of canals walls reached to 70 cm. However, the water surface in subsidence channels jointed smoothly to the renewal channels without rapidly-varied flow. By water level calculations, it is estimated that water levels in subsidence canals declined around 10 cm from original design levels. The intake weirs installed in some section suggest the water management methods changed to divide water to branch lines. The check points for function diagnosis were listed based on each indicator such as free board, water level, water diversion, and water leakage. Accumulating field survey data and defining appropriate performance requirement are needed to evaluate how each problem decreases water use and hydraulic functions.

Keywords: diagnostic study, performance requirement, subsidence, irrigation canal systems, water leakage, free board