

報 文 集

平成27年度

第27号

一般社団法人 北海道土地改良設計技術協会

報 文 集 第27号 目 次

山部トンネル背面空洞化対策について.....	1
	鈴 木 康 弘
国営農地再編整備地区における農道橋機能診断の一事例.....	7
	大 野 一 司・成 谷 浩 之
区画整理設計実施事例の紹介.....	13
	柴 崎 光 啓
北海道の畑地用水需要と営農の経年変化について ―国営2地区を事例として―.....	23
	新 津 雅 士・及 川 雄 生
簡易ガス調査によるP C管の劣化探査と劣化深さを踏まえた試掘調査・分析結果.....	31
	後 藤 秀 樹
コンクリート柵渠水路の設計について ～比較的規模の大きい排水路の事例～.....	43
	和 田 洋 之
農道橋調査設計における三次元モデルの導入.....	51
	高 橋 秀 之

山部トンネル背面空洞化対策について

鈴木 康弘

1. はじめに

山部トンネルは、国営山部土地改良事業（昭和40年度～昭和54年度）により整備された、トンネル型式：1.6R 偏平馬てい形（ $2R=2.68\text{m}$ ）、矢板工法、延長 $L\approx 2.6\text{km}$ の水路トンネルである。

本施設は築造後約40年が経過し、厳しい気象条件の下、経年による老朽化が著しく、施設の機能維持や安全性の確保が困難な状況となっていたため、国営造成土地改良施設整備事業「山部二期地区」において、施設の整備を行った。

本報告は、道内の農業施設としては初めて、トンネル背面空洞化対策として長距離圧送を可能とする「可塑性グラウト（フライアッシュ）工法」の設計・施工を行ったことから、この事例を報告する。



写真-1 山部トンネル（SP. 1, 600付近）

2. 機能診断

2.1 調査内容

トンネルの劣化状況を把握するため、以下の調査を実施した。

- ① 目視調査
- ② 電磁波レーダー調査（縦断方向・横断方向）
- ③ 覆工コンクリート調査
- ④ ボアホールカメラ直接観測

2.2 目視調査結果

- ・下記区間でひび割れ及び湧水が確認された。
 - ①SP. 0～100（上流側坑口部）
 - ②SP. 500～700、③SP. 900～1, 300
 - ④SP. 1, 400～1, 800、⑤SP. 1, 900～2, 100
 - ⑥SP. 2, 300～2, 600付近（下流側坑口部）
- ・ひび割れ方向（湧水箇所を含む）
 - ④区間：斜め及び縦断方向に発生
 - ①～③、⑤～⑥区間：横断方向に発生
- ・④区間では、幅 2.0mm 程度のひび割れが両側スプリングライン付近に連続して発生している。
- ・全線でアーチ・サイド部からの湧水が確認された。
- ・④区間の縦断方向ひび割れからは、湧水が生していない。これは、ひび割れが覆工を貫通していないか、地山の地下水が少ない区間と考えられる。



写真-2 縦断方向ひび割れ（SP. 1, 560付近）

2.3 電磁波レーダー調査結果

電磁波レーダー調査は、覆工背面の空洞化状況の確認、トンネルタイプ判定（管理図面が無くトンネルタイプが不明）を目的として、縦断方向2測線（クラウン部、右岸側スプリングライン付近）、横断方向26測線について実施した。

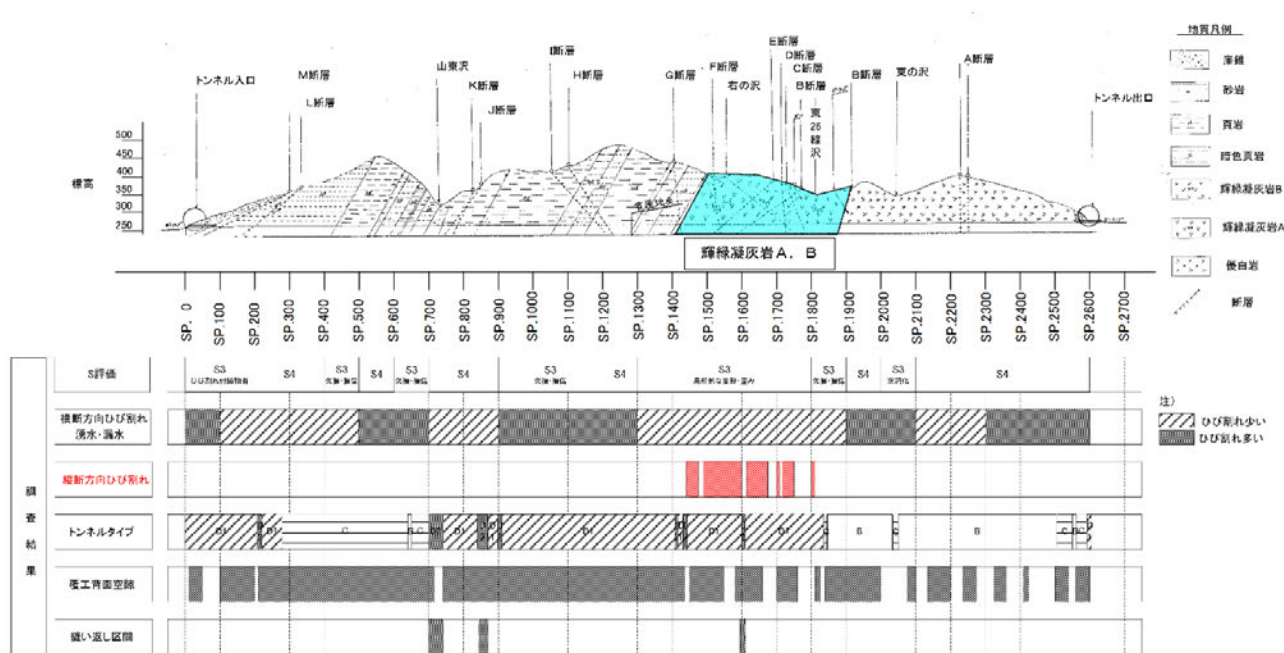
調査結果は、下記のとおりであった。

- トンネル全線にわたり上部覆工背面に空隙が認められる。なお、空隙箇所でもひび割れが全く発生していない区間があり、空隙とひび割れの関連性は見られない。
- 右岸スプリングラインにおいては、主に支保工ピッチ及び覆工厚を調査し、トンネルタイプを判定した。縦断方向ひび割れが発生している区間（SP. 1, 440～1, 805）は、支保工間隔が0.9m以下（Dタイプ区間）となっており、この区間の地質は輝緑凝灰岩の劣化部であり、施工時の地山の状態は良くなかったものと推定された。
- 全ての測線において、顕著な空洞、緩みが天頂部付近で見られ、側壁背面まで続くと推定された。
- 覆工背面の空洞量は、トンネル延長L=2.6kmに対して、2,700m³程度（1.04m³/m）と推定された。

2.4 覆工コンクリート調査結果

覆工コンクリート調査は、縦断方向ひび割れ部（SP. 1, 562、SP. 1, 622）において、コアボーリングを行い、ひび割れ性状、ひび割れ深さを確認することを目的に実施し、調査結果は下記の通りとなった。

- 覆工内面側に開口ひび割れが発生しており、一部貫通していた。
- 地山側においてひび割れ先端の圧縮破壊は起こっていなかった。
- コンクリートの圧縮強度は設計基準強度18N/mm²を十分上回っていた。
- 採取したコア供試体の中性化深さは最大値で4.7mmと小さい値を示しており、トンネル内環境は特に問題ないと判断された。
- ひび割れが多く発生している区間の覆工厚は0.43～0.51mであり、他区間（0.25～0.36m）より覆工厚さが厚かった。（設計巻厚0.2m）



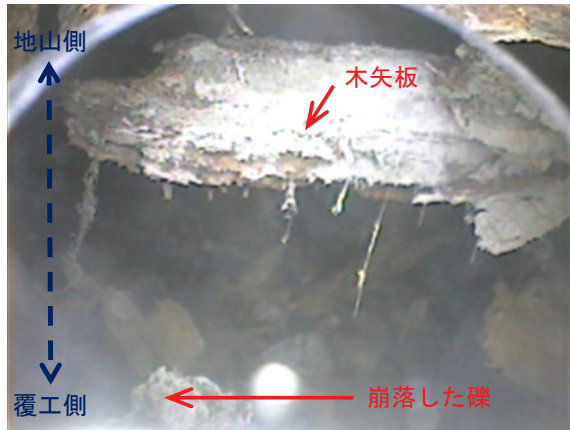
注：トンネルタイプは、電磁波レーダー調査により推定されたものである。

図－1 調査結果縦断図

2.5 ボアホールカメラ直接観測結果

ボアホールカメラによって、覆工背面の状況を確認した。

- ・覆工背面には崩落した木矢板、礫等が5～20cm程度堆積していた。
- ・木矢板は、腐食が進んでいた。

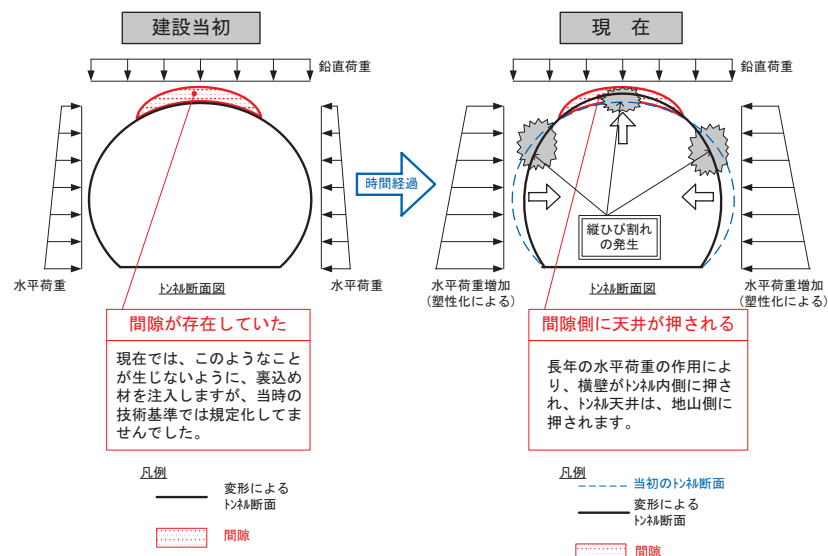


写真－3 覆工背面崩落物堆積状況
(SP. 7,000付近)

2.6 調査結果とりまとめ

調査結果より、本トンネルで確認された劣化内容は以下の通りである。

- ① トンネル背面空洞化（頂部から側部において縦断方向全区間）
- ② トンネル縦断方向及び斜め方向のひび割れ（SP. 1,400～SP. 1,800）
- ③ トンネル横断方向のひび割れ（0～100,500～700,900～1300,1900～2100,2300～2600）



図－2 水平荷重増加による変形模式図

3. 劣化要因の推定

前述（2.6）の劣化は、下記が要因と推定した。

① 「トンネル標準示方書」は昭和44年に大幅に増補され、裏込め注入の重要性が表記されたが、それまでのトンネルでは、裏込め注入を行っていない場合が多かった。山部トンネルは昭和41年から昭和43年にかけて施工が行われており、当時の設計基準に基づき、裏込め注入を行っていなかったため、トンネル背面に空洞が確認された。

② 地質縦断図によると、縦断方向ひび割れが発生している区間の地質は、輝緑凝灰岩であり断層も多く、地山の自立性が懸念される状況にあるため、施工後トンネル背面の地山（輝緑凝灰岩）が塑性化したことにより、水平方向荷重が増加したため（図－2参照）と推定した。

なお、本トンネルは、昭和54年に通水が開始されており、通水前に施工時に発生したひび割れ等の補修を行っている。現地調査においても補修箇所跡が多数見受けられるが、縦断方向ひび割れの補修は行われた跡がない。したがって、施工後10年程度は縦断方向のひび割れは発生していなかったと考えられた。

③ 横断方向のひび割れは、温度応力、コールドジョイント等の初期欠陥が要因であり、外力の作用によるひび割れではないと推定した。

4. トンネル背面空洞化対策工法の検討

4.1 対策工法の選定

前述の通り、機能診断で確認された縦断方向ひび割れは、トンネル掘削による周辺地山の塑性化に伴い、覆工コンクリート側部へ水平方向荷重（塑性圧）が作用したことが原因であると推定した。

一般的に塑性圧の解消方法としては、覆工コンクリートと地山を密着させ（地盤反力を覆工全面に均等に作用させる）、覆工コンクリート全体に軸力を作用させることにより、構造的な安全性を確保する工法である裏込め注入工法が最も有利となる。

本施設についても、施工上（トンネル断面、延長等）採用に問題がないと考えられることから、トンネル背面空隙部への裏込め注入工法を採用した。

（表－１参照）

表－１ 変状原因と対策工法

変状原因 対策工法	地 圧								近 接 施 工
	塑性圧	漏圧・斜面	地すべり	地山の緩みによる鉛直圧	水圧	凍上圧	地盤沈下	支持力不足	地震
1 ポインティング	△	△	△	○	△	△	△	△	○
2 当て板、ネット	△	△	△	○	△	△	△	△	○
3 裏込め注入	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
4 内 巻 吹付けコンクリート 場所打ちコンクリート	○	○	○	△	△	△	△	△	○
5 セントル補強工	○	○	○	○	△	△	△	△	○
6 繊維シート接着工	○	○	○	○	△	△	△	△	○
7 鋼板接着工	○	○	○	○	△	△	△	△	○
8 ロックボルト補強工	◎	◎	◎	△	△	△	△	△	○
9 ストラット工	○	○	○	△	△	△	△	△	△
10 インバートコンクリート	○	○	○	△	△	△	△	△	○
11 路盤下補強工	△	△	△	△	△	△	△	△	△
12 アンカー補強工	◎	◎	◎	△	△	△	△	△	○
13 地山注入工	△	△	△	△	△	△	△	△	△
14 排水工改良・新設	△	△	△	△	◎	◎	◎	◎	△
15 断熱工	△	△	△	△	◎	◎	◎	◎	△
16 斜面安定工	△	△	△	△	△	△	△	△	◎
17 部分改築	○	○	○	○	○	○	○	○	○
18 改築	○	○	○	○	○	○	○	○	○

凡例

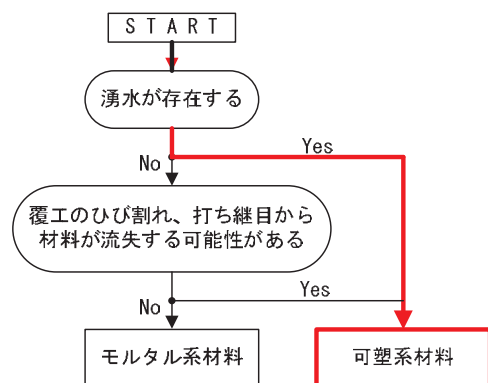
- ◎：変状に対して最適と考えられる対策
○：変状に対して適合すると考えられる対策
△：変状に対して場合によっては有効な対策

4.2 裏込め注入工法（材料）の選定

裏込め注入工法（材料）の選定は、下記の理由より、セメント系材料においては、可塑性注入材料を検討対象として選定した。

① 本トンネルの覆工部において、部分的にクラックからの漏水が確認されており、地下水条件下での充填作業となる。よって、水により材料分離が生じるモルタル系注入材料では、十分な裏込め注入効果を発揮できないと判断した。

② モルタル系注入材料は、流動性が良いため、覆工のひび割れ、打ち継目から材料が逸走する可能性がある。一般的に可塑性注入材料の場合、5～8mm程度のひび割れからの流出は殆ど無い。



図－３ セメント系注入材料選定フロー

以上より、裏込め注入工法（材料）は可塑性注入材料（図－３参照）とし、数種類の工法を比較検討して「可塑性グラウト（フライアッシュ）工法」を採用した。採用理由は下記の通りである。

- ・本トンネルのような長大トンネルにおいても圧送可能（最大で4.0km）な材料であり、仮設プラント等の移動を必要としないため、施工性に優れる。
- ・経済性に優れる工法（材料）である。
- ・火力発電所の副産物であるフライアッシュを再生資源として利用するため、環境安全性に優れる材料である。（「環境基準」を満足するため、土壌、地下水等への影響の懸念は無い）

表－２ 可塑性グラウト配合表

材料	主 材			可 塑 化 材			
	セメント	フライアッシュ	混練水	可塑化材 1	混練水	可塑化材 2	混練水
単位重量 (kg/m³)	400	400	596	3	47	20	35

5. 可塑性グラウト（フライアッシュ）工法について

本工法の特徴は下記の通りである。



写真-4 プラント外観全景

① 超長距離の圧送が可能（実証試験：4000m）

中継ポンプなどの設備が不要なため、アジテーター車が使えない小断面トンネルに適している。

② 環境に配慮した工法となる

混和材はフライアッシュ、セメントは高炉セメントを採用しているため、再生資材の有効利

用が可能であり、環境に配慮した工法である。

③ 現場プラントでの施工が可能

生コン工場が遠隔地であっても、現場自前プラントであるため施工がスムーズである。

6. おわりに

本工事は山部トンネルが農業用水専用の水路トンネルであることから、非かんがい期である平成25年11月から平成26年2月にかけて図-4の対策計画に基づき施工された。

トンネル延長が長いこと、厳冬期であること等から厳しい施工条件であったが、現場ではトラブルもなくスムーズに工事が実施され、トンネルの漏水、ひび割れに対して解決を図ることが出来た。

今後、背面空洞化対策を必要とし、小断面、超長距離圧送となるトンネル施設の対策事例として参考になれば幸いである。

(株三祐コンサルタンツ)

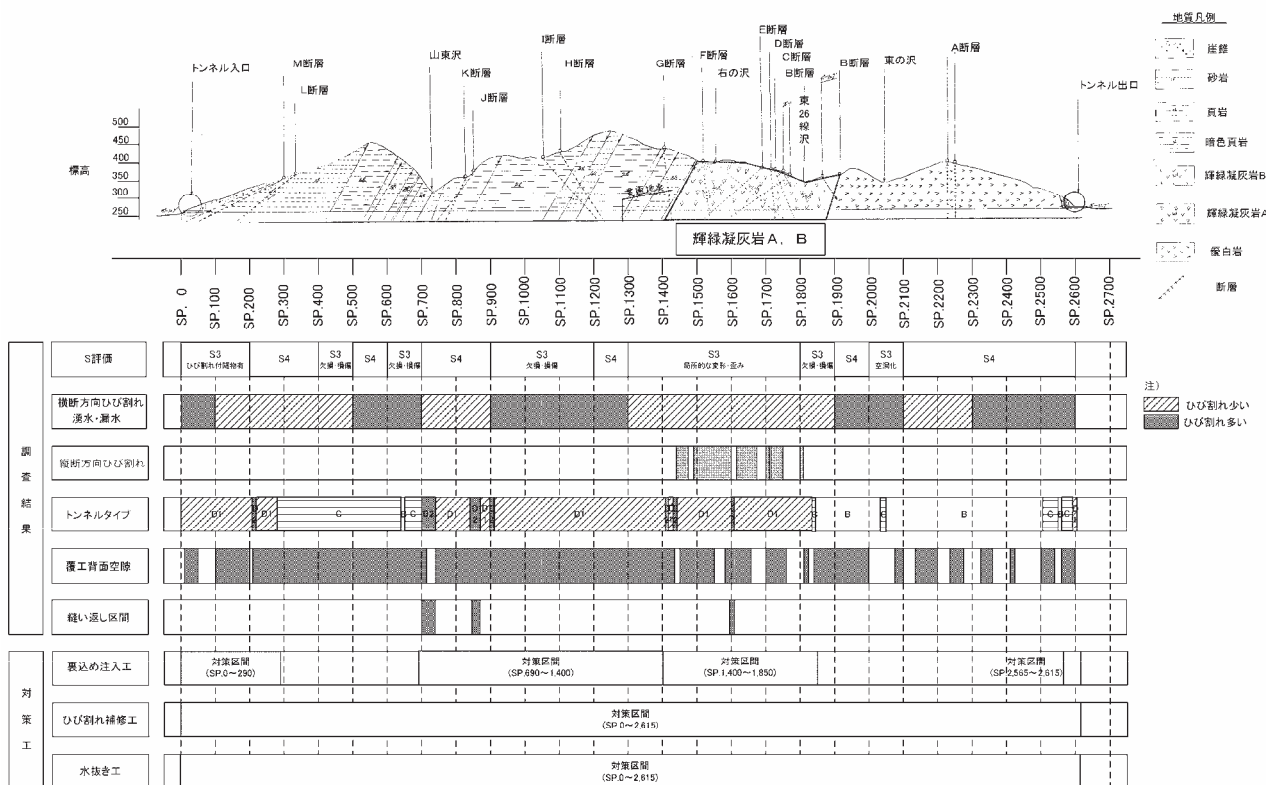


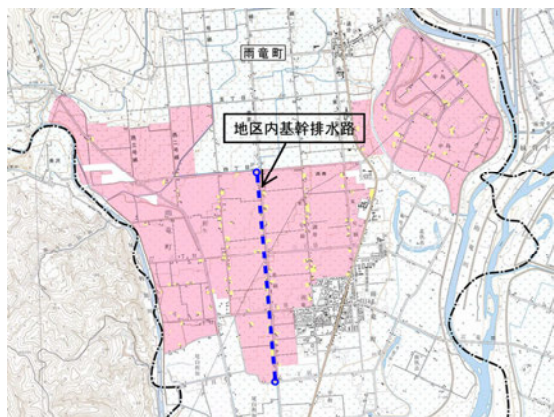
図-4 対策計画図

国営農地再編整備地区における農道橋機能診断の一事例

大野 一司・成谷 浩之

1. はじめに

本報では、国営緊急農地再編整備事業「雨竜暑寒地区」内にある基幹排水路に架橋された農道橋の機能診断（調査・診断）の実施事例について紹介する。この基幹排水路は、国営雨竜土地改良事業（S42～S48）で一次整備されたが、排水量の増加や老朽化による機能低下のため、H3～H18年度に二次整備が行われた。その際、農道橋は既設利用とされたため、橋梁本体は40年以上が経過している。本調査は、今後の区画実施設計に伴う既設農道橋の利用について判断する目的で機能診断を実施したものである。



図－1 位置図

2. 対象施設の概要

対象橋梁は、町道および宅地前の橋梁を除く区画整理に係る14橋梁であり、主な形式は表－1および写真－1に示す2形式である。

表－1 主要橋梁形式一覧表

	CTスラブ橋	コルゲートアーチ橋
幅員	3.5m～4.0m	3.5m～4.0m
支間長	4.5m～6.0m	3.5m
上部工形式	CTスラブ桁	コルゲートアーチ
下部工形式	パイルベント橋台	重力式橋台
基礎構造	RC既製杭φ200	直接基礎
竣工年	S44～S45	
経過年	44年～45年	



写真－1 CTスラブ橋（手前）とコルゲートアーチ橋（奥）

3. 農道橋の機能診断における適用基準

農業水利施設における機能診断は、一般に「農業水利施設の機能保全の手引き」¹⁾に準拠するが、その対象工種は「パイプライン、開水路、頭首工、水路トンネル、ポンプ場、除塵設備、電気設備、水管理制御設備」であり、「橋梁工」については手引きの対象工種とはなっていない。

このため、手引きに準拠することは困難であり、手引きを部分的に準用するか、または、他の機関が作成した要領等を適用することになる。

橋梁工の点検および診断は、平成24年12月に発生した笹子トンネルの天井板落下事故に端を発し、近接目視により5年に1回の頻度を基本とした点検および健全性の診断を実施することが平成26年3月に義務づけられた。このため、平成26年6月に統一的な尺度で健全度を診断するための「道路橋定期点検要領」²⁾が策定された。

道路橋の点検要領は、表－2に示すとおりに分類されるが、対象の農道橋については、施設管理者が町であること、橋梁構造が直轄国道橋に比べ単純であること等を踏まえ、主に市町村向けに作成された。①「道路橋定期点検要領 H26. 6 国土交通省 道路局」を適用することとした。

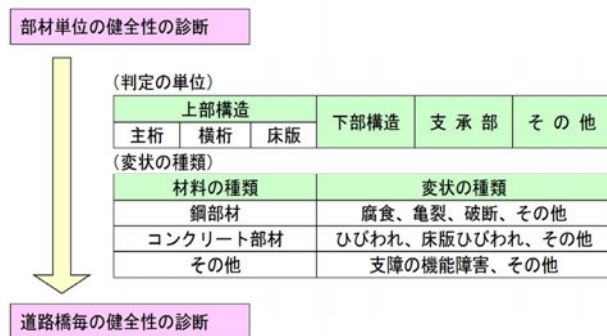
表－2 各定期点検要領の比較表

各道路管理者による定期点検要領の適用について			
	①道路橋定期点検要領 ²⁾ (H26. 6 国土交通省 道路局)	②橋梁定期点検要領 ³⁾ (H26. 6 国土交通省 道路局 国道・防災課)	③各道路管理者 独自の要領 ⁴⁾
点検方法	近接目視を基本。必要に応じて触診や打音等の非破壊検査等を併用		
判定の単位 (部材単位毎)	部材単位(上部構造<主桁、横桁、床版>・下部構造・支保部・その他)毎に、変状の種類(鋼部材の場合は、腐食、亀裂、破断、その他)毎に判定を行う。	全部材の最小単位(例：主桁の場合、横桁間等に仕切られた1本単位)である要素毎、損傷種類毎に判定を行う。	省令・告示の規定を満足すれば、各道路管理者が必要に応じて、①より詳細な点検、記録等の要領を独自に定めてよい。
健全性の診断 (部材単位毎)	部材単位毎、変状の種類毎に、Ⅰ～Ⅳの判定区分により診断する。(それぞれの区分は、下記構造物単位毎と同じ)	部材単位毎、損傷の種類毎に、Ⅰ～Ⅳの判定区分より診断する。(それぞれの区分は、下記構造物単位毎と同じ)	
健全性の診断 (構造物単位毎)	構造物単位毎に、Ⅰ～Ⅳの判定区分により診断する。 (Ⅰ：健全、Ⅱ：予防保全段階、Ⅲ：早期措置段階、Ⅳ：緊急措置段階)		

4. 健全性の判定区分と診断手順

定期点検では、図－2の診断手順により部材単位の健全性の診断と道路橋毎の健全性の診断を行う。

部材単位ならびに道路橋毎の健全性の診断は表－3の判定区分により行うことを基本とする。（点検要領²⁾ P 3～P 6）



図－2 健全性の診断手順

表－3 健全性の診断 判定区分

区 分		状 態
I	健 全	構造物の機能に支障が生じていない状態
II	予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態
III	早期措置段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態
IV	緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態

(1) 部材単位の健全性の診断

① 判定の単位

道路橋は機能や役割の異なる多くの部材が複雑に組み合わされた構造体であり、部材の変状や機能障害が道路橋全体の性能に及ぼす影響は、橋梁形式等によって大きく異なる。また、一般的には補修・補強等の措置は必要な機能や耐久性を回復するために部材単位で行われるため、健全性の診断を部材単位で行う。

② 変状の種類

定期点検の結果を受けて実施する措置は、原因や特性の違う損傷の種類に応じて異なる。同じ部材に複数の変状がある場合は、それぞれの変状の種類毎に判定を行う。

(2) 道路橋毎の健全性の診断

① 道路橋全体の状況把握

道路橋毎の健全性の診断は、部材単位の診断

とは別に、道路橋全体の状況を把握することを目的に行うものである。

部材単位の健全度が道路橋全体の健全度に及ぼす影響は、構造特性等によって異なるため、総合的に判断することが必要である。一般的には、構造物の性能に影響を及ぼす主要部材に着目して、最も厳しい健全性の診断結果で代表させる。

5. 機能診断の実施内容

5.1 点検作業の概要

(1) 事前調査および現地踏査

橋梁の性能低下の状況や劣化要因の特定・評価に必要な橋梁の経歴、供用環境、地域特性に関する既存資料を事前に収集整理するとともに、施設管理者からの聞き取りを行い現地踏査における確認事項や留意点等の確認を行った。

(2) 点検準備

既存資料及び現地踏査による情報を踏まえた点検帳票、部材番号図等を作成した。また、点検に必要な器具の準備、点検の日程等を調整した。

(3) 点検の実施（近接目視と定量計測）

点検帳票、部材番号図に基づき、近接目視点検を実施した。点検は、部材毎に実施し、橋梁の現時点における損傷状況を把握することにより、構造物の耐久性・耐荷性に影響を及ぼす可能性のある損傷を早期に発見する。また、現地調査（定量的な測定等）が必要な場合は調査地点、調査項目等を決定する。

5.2 定量的な計測の実施

対象橋梁のうち、上部工型式がC Tスラブ桁の橋梁のほとんどで、写真－2に示すような「剥離・鉄筋露出」が点在している状況であった。



写真－2 剥離・鉄筋露出状況

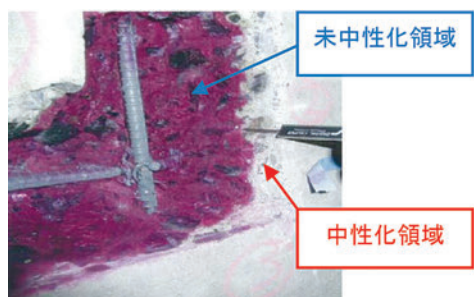
C Tスラブ橋におけるこれらの劣化原因を特定するため、以下の理由から中性化深さ試験及びはつり調査を実施した。

- ① 塩害地域に該当せず、凍結防止剤の散布による影響も考えにくい。
- ② 凍害劣化が生じやすい漏水部などの水掛かり部に該当しない部位においても「剥離・鉄筋露出」が顕在化している。
- ③ プレキャスト製品で品質が良いと考えられるが、建設から44～45年経過している。
- ④ プレキャスト製品であるため、現場打ちコンクリートに比べ、鉄筋かぶりが小さい。

(1) コンクリート中性化深さ試験の実施方法

中性化深さ試験の位置は、健全なコンクリート面で実施することを基本とし、はつり調査を併せて実施することで中性化深さと鉄筋腐食の関連性を確認した。なお、C Tスラブ橋は、S 45、46年に建設されており、環境条件もほとんど同じ状況であるため、各建設年度の橋梁を1橋（計2橋）抽出して実施した。

中性化深さ試験の方法は、JIS A 1152「コンクリート中性化深さの測定方法（フェノールフタレイン法）」に準じ、はつり調査面にて実施した。中性化深さの計測状況を写真－3に示す。



写真－3 中性化深さ計測状況

(2) 中性化深さ試験の評価法

中性化に関する健全度評価は、鉄筋位置までの中性化残り（かぶりコンクリート厚－中性化深さ）によって評価するが、その基準は表－4に示すように様々な文献より提案されている。

本業務においては、表－4に示す分類の中で、最も一般的な評価法であるコンクリート標準示方書「維持管理編」⁵⁾に基づき評価した。

(3) はつり調査の実施方法

はつり調査は、ピック等でかぶりコンクリートのはつりを行い、鉄筋を露出させて目視する事により、鉄筋のかぶり、鉄筋の腐食状況等を直接確認するものである。

(4) はつり調査の評価法

評価方法としては、目視による鋼材の腐食グレードを分類するのが一般的である。その基準は表－5に示すように様々な文献より提案されている。

本件では、各文献における判定方法の中で、最も一般的である「コンクリート標準示方書「維持管理編」」⁵⁾に基づき腐食度分類を行った。

表－4 中性化残りによる評価基準

鉄筋腐食の可能性	中性化残り		
	非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル	コンクリート標準示方書「維持管理編」	コンクリート診断技術'13
腐食が生じる	0mm 未満	—	—
腐食が生じる可能性有り	10mm 未満	10mm 未満 ^{※1}	8mm 未満 ^{※2}
将来腐食が生じる可能性有り	30mm 未満	—	—
腐食が生じる可能性無し	30mm 以上	—	—

※1 塩化物イオンを含む場合は 15mm 未満とする

※2 塩化物イオンを含む場合は 20mm 未満とする

表－5 鉄筋の腐食状況に応じた評価基準

鋼材の状態	鉄筋腐食度分類		
	非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル	コンクリート標準示方書「維持管理編」	塩害橋梁維持管理マニュアル(案)
腐食なし	④	I	①
ごく表面的な腐食	③	II	②
断面欠損の軽微な腐食	②	III	③
断面欠損が著しい腐食	①	IV	④
鋼材の破断	—	—	⑤

6. 診断結果の概要

劣化の多くは各橋梁の地覆、橋座、床版、下部工に発現しており、その劣化原因の多くは凍害によるものと推定された。また、橋梁の健全性は判定区分Ⅱが4橋、判定区分Ⅲが10橋の2グレードに区分された。

対象橋梁14橋の健全性一覧表を表－6に示す。

表－6 各橋梁の健全性一覧表

No	橋梁型式	供用年	経過年	橋長(m)	径間番号	橋梁毎の健全性診断	部材単位の診断（各部材の最悪値を記入）												
							上部構造(主)			下部構造(主)	支承	その他（各部材の最悪値を記入）							
							主桁	横桁	床版			伸縮装置	舗装	地覆	防護柵	排水装置	落橋防止	土留工等	
1	CTスラブ			6.34	1	Ⅲ	—	—	Ⅱ	Ⅲ	—	Ⅱ	—	—	—	—	—	—	Ⅱ
2	CTスラブ			6.34	1	Ⅲ	—	—	Ⅱ	Ⅲ	—	Ⅱ	—	—	Ⅱ	—	—	—	—
3	CTスラブ			6.34	1	Ⅲ	—	—	Ⅱ	Ⅲ	—	Ⅱ	—	—	—	—	—	—	Ⅱ
4	コルゲートアーチ	1970	44	7.00	1	Ⅱ	—	—	I	Ⅱ	—	Ⅲ	—	—	—	Ⅲ	—	—	—
5	CTスラブ	1970	44	5.34	1	Ⅲ	—	—	Ⅲ	Ⅲ	—	Ⅲ	—	—	—	Ⅲ	—	—	—
6	CTスラブ	1970	44	5.34	1	Ⅲ	—	—	Ⅲ	Ⅱ	—	Ⅲ	—	—	—	Ⅲ	—	—	—
7	ボックスカルバート	1993	21	3.70	1	Ⅱ	—	—	—	I	—	Ⅱ	—	—	—	Ⅱ	—	—	—
8	CTスラブ	1970	44	5.34	1	Ⅲ	—	—	Ⅲ	Ⅲ	—	Ⅱ	—	—	—	—	—	—	Ⅱ
9	PCプレテン			7.44	1	Ⅱ	—	—	Ⅱ	I	—	I	—	—	—	—	—	—	—
10	PCプレテン			7.44	1	Ⅲ	—	—	Ⅱ	Ⅲ	—	Ⅱ	—	—	Ⅱ	—	—	—	—
11	CTスラブ	1971	43	5.34	1	Ⅲ	—	—	Ⅲ	Ⅱ	—	Ⅲ	—	—	Ⅲ	—	—	—	—
12	CTスラブ	1971	43	5.34	1	Ⅲ	—	—	Ⅱ	Ⅲ	—	Ⅱ	—	—	Ⅱ	—	—	—	—
13	PCプレテン			7.44	1	Ⅲ	—	—	I	Ⅲ	—	Ⅱ	—	—	Ⅱ	—	—	—	—
14	CTスラブ	1971	43	5.34	1	Ⅱ	—	—	Ⅱ	Ⅱ	—	Ⅲ	—	—	Ⅲ	—	—	—	—

(1) 判定区分Ⅱ（予防保全段階）・Ⅲ（早期措置段階）

判定区分Ⅱ（予防保全段階）と判定区分Ⅲ（早期措置段階）の事例を写真－4～写真－7に示す。



(判定区分Ⅱ)

(判定区分Ⅲ)

写真－4 床版の判定例



(判定区分Ⅱ)

(判定区分Ⅲ)

写真－5 下部工（基礎杭）の判定例



(判定区分Ⅱ)

(判定区分Ⅲ)

写真－6 下部工（縦壁）の判定例



(判定区分Ⅱ)

(判定区分Ⅲ)

写真－7 地覆の判定例

写真－4は、床版の劣化状況の一例であるが、後述するように中性化に起因するものでないことから、凍害によるコンクリート剥落後に鉄筋が腐食したものと推定された。これらは、図－3に示すとおり本地区が凍害劣化の影響を受けやすい地域（凍害危険度④）に位置していること、また、建設から40年以上経過していること等が要因であると考えられた。

1. ○内の数値は凍害危険度、

凍害危険度	凍害の予想程度
5	極めて大きい
4	大きい
3	やや大きい
2	軽微
1	ごく軽微

2. 凍害重み係数 t_{90} ー良質骨材、またはAE剤を使用したコンクリートの場合。
3. コンクリートの品質が良くない場合には、
—— 内の地域でも凍害が発生する。

図－3 凍害危険度の分布図¹⁾

(2) 中性化に起因しないと判断した理由

表－７に示す中性化深さ試験及びはつり調査結果から、代表橋梁の２橋ともに中性化深さは0.8mm程度と極めて小さな値であった。代表橋梁No.6については、極めて鉄筋かぶり（5.55mm）が小さかったため、評価値の10mm未満となり中性化判定はNG（腐食が生じる可能性有り）と評価した。

表－７ 中性化試験及びはつり調査結果一覧表

中性化深さ試験結果一覧表						
橋梁名	調査箇所	中性化深さ(mm)		かぶり厚(mm)	中性化残り	判定 (評価値10mm)
		最大値	平均値			
代表橋梁工 No6 (S45)	主桁 代表部	0.95	0.86	5.55*	4.69	NG
代表橋梁工 No11 (S46)	主桁 代表部	0.91	0.82	11.66	10.84	OK

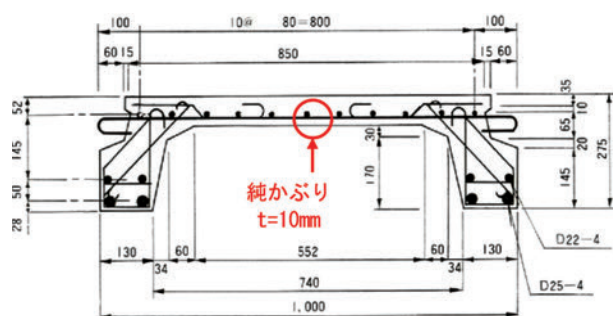
はつり調査結果一覧表（鋼材の腐食度）						
橋梁名	調査箇所	鉄筋径実測値(mm)		かぶり厚実測値(mm)		腐食グレード
		主筋	配力筋	主筋	配力筋	
代表橋梁工 No6 (S45)	主桁 代表部	9.56	6.01*	13.85	5.55*	I
代表橋梁工 No11 (S46)	主桁 代表部	9.58	6.06	19.39	11.66	I

※ スペーサー筋

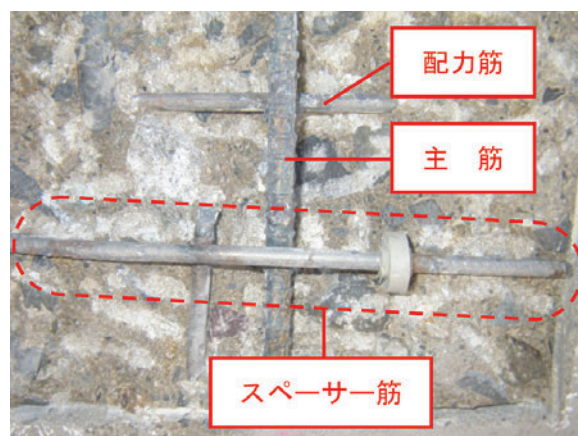
しかしながら、はつり調査の結果では、鉄筋は極めて健全な状態であり、また、プレキャスト製品で物質透過性に優れた緻密なコンクリートであることから、主桁に点在して生じている「剥離・鉄筋露出」は、中性化に起因するものではないと判断した。

C Tスラブ桁は、工場で製作されたプレキャスト製品であるため、一般的に水セメント比が小さく耐久性が高いため、最小かぶりが25mm（道路橋示方書 Ⅲコンクリート橋編 P187）と規定されている。

しかし、建設当時のC Tスラブにおいては、図－４に示すとおり純かぶりが10mmであり、また、写真－８に示すとおりスペーサー筋が配置されているため、スペーサー筋の純かぶりが4mm程度となり、これが鉄筋露出の原因となっていると考えられた。



図－４ C Tスラブ配筋図



写真－８ スペーサー筋配置状況

7. おわりに

本報で農道橋の機能診断調査の一事例を示した。これまで、農道橋の点検・診断については、農業水利施設のように基準等が示されていないため、個々の現場で対応してきた。しかし、「国土強靱化基本計画」（平成26年6月3日閣議決定）を受けて策定された「インフラ長寿命化計画（行動指針）」（平成26年8月19日）により今後の農道橋の長寿命化に向けた取り組みが推進されるものと考えられる。

最後に、このような投稿の機会を与えて頂いた関係各位の皆様へ深く感謝申し上げる次第である。

（株）ドボク管理

参考文献

- 1) 農業水利施設の機能保全の手引き（H19.4）
- 2) 道路橋定期点検要領（H26.6）
- 3) 橋梁定期点検要領（H26.6）
- 4) 橋梁点検・維持管理要領（H26.9）
- 5) コンクリート標準示方書「維持管理編」（2013.10）

区画整理設計実施事例の紹介

柴崎 光啓

1. はじめに

道内における国営農地再編整備事業は、水田、畑地とも区画整理を基幹事業に実施されている。水田区域では、ほ場の大区画化や排水条件の改善による生産基盤の整備、農用地の流動化及び農地の集積を行う区画整理に伴って暗渠排水、客土、用排水施設整備等が計画・実施されている。

本報告は、田面差のある水田地帯の区画整理実施設計において検討した「農区全体での整地工運土計画」及び「末端用水施設設計に係る用水配分計画（代掻期ローテーション）」について紹介する。

2. 農区全体での整地工運土計画

区画整理における整地工計画では、現況田の標高や形状などの地形条件により、計画耕区間に大きな段差が生じたり、営農性・安全性を踏まえた受益者要望等により段差調整を行うケースがある。この段

差調整は、耕区間運土という形で処理することになるが、運土が発生する場合は、別途運土量を適切な機種により積算することが求められる。

今回、段差調整が伴う整地工において、運土計画及び機種選定をどのような方法により行ったのかその事例を紹介する。

2.1 区画計画条件

本計画の対象農区は、号線区画である。この農区は、図1に示す傾斜方向で現況田が構成されており、最大田差は約2.7mである。

【区画計画条件】（図－2参照）

- ・対象農区は8枚の耕区で構成する。
- ・ほ場の長辺方向は、現況同様東西方向とする。
- ・段差条件：ターン農道のターン部の長さを出来る限り短くするため、ほ場間段差を60cmとする。



図－1 現況ほ場概要図



図－2 計画耕区概要図

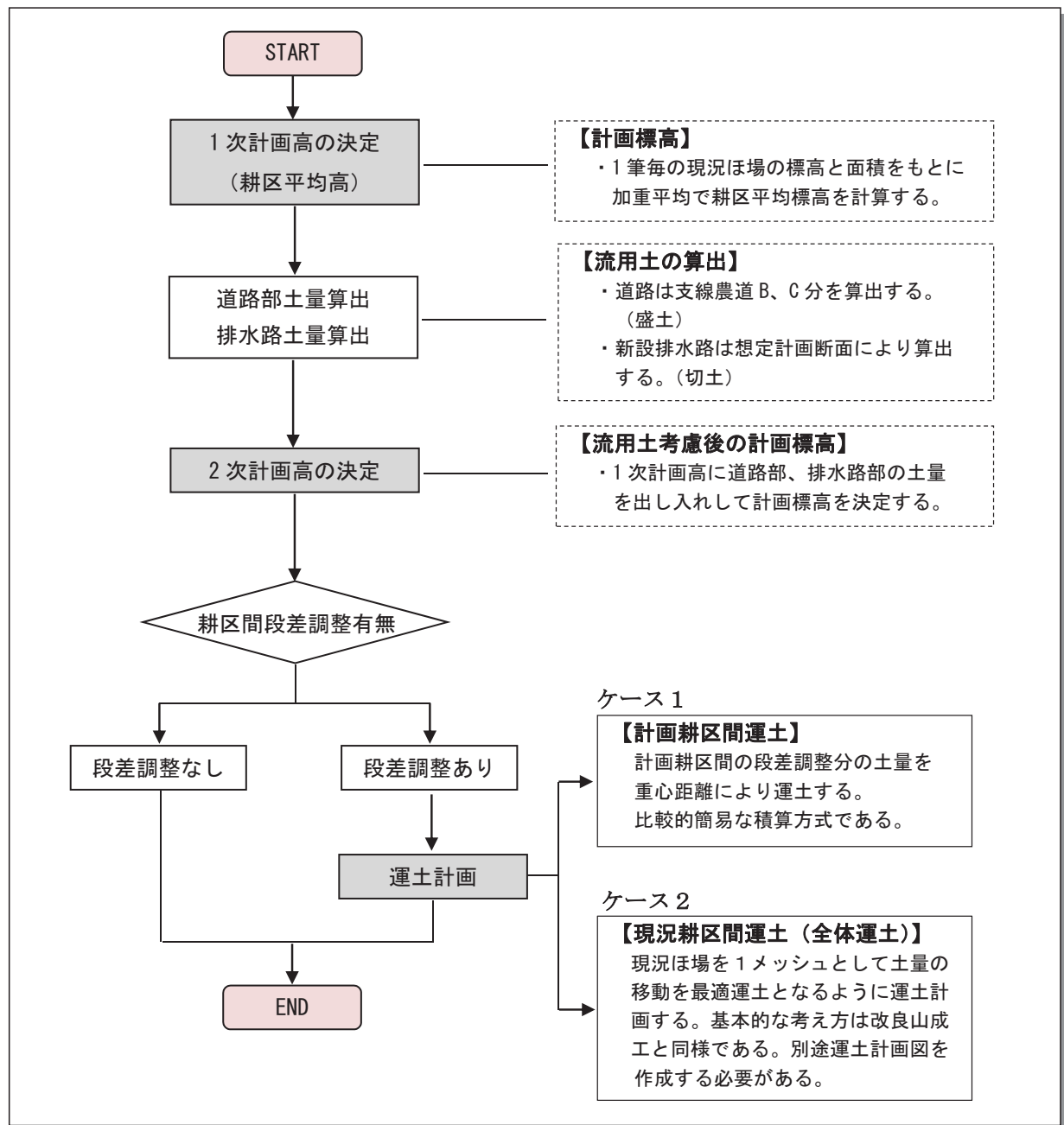
2.2 整地工計画フロー

下図に整地工計画フローを示す。

1次計画高は、現況ほ場1筆1標高の面積範囲として算出する加重平均法により求め、道路などの流用土を考慮して2次計画高を決定する。段差調整がない場合は、これを計画標高として完了するが、段差調整がある場合は隣接ほ場間の段差をどの程度にするかを設定し、関係するほ場間で土量の調整を行い、ほ場計画高を決定する。切盛土に対しては土の変化率は考慮しない。

2.3 運土計画及び掘削運搬機種選定

この地区は、計画標準区画が3.4haの大区画化を図る計画であるが、対象農区が緩傾斜を有することから、整地工はそれぞれの耕区だけで完結させることは難しく、耕区間の段差の状態によっては農区全体の段差調整が必要となる場合もある。従って、地区の区画整理設計にあたっては、運土計画の考え方や掘削運搬機種の選定において経済的となる整地工を検討することが重要となる。



図－3 整地工計画フロー

(1) 運土計画

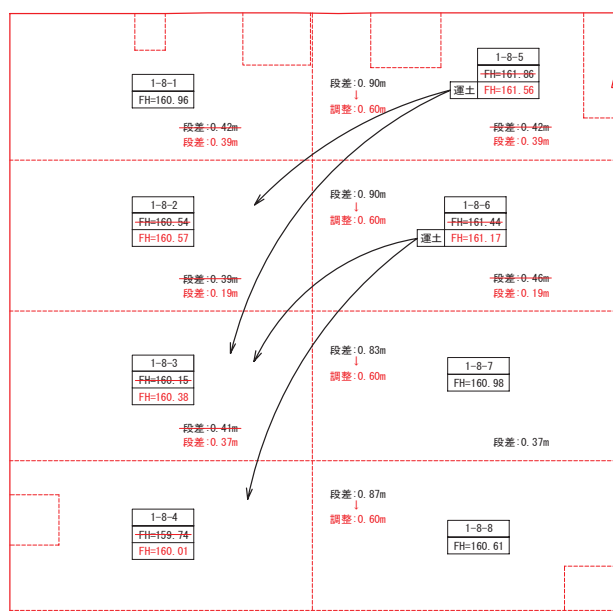
運土計画にあたっては、経済性のほか地区全体の流用土計画、現場条件等を踏えて実態に則した計画を樹立する必要があるが、本工区の場合は、整地工計画フローに示したとおり、段差調整ありの場合の運土計画には2通りの方法が考えられる。ケース1は、計画耕区内での通常のほ場整備整地工を基本とし、別途、計画耕区内に集積した段差調整分の土量を別の計画耕区へ運土する方法、ケース2は、現況ほ場の標高と耕区計画標高との差分だけ関係する耕区へ運土する方法で、現況ほ場を1メッシュとした「改良山成工」と同様の方法である。

運土計画として以下の2ケースを抽出して比較することとした。

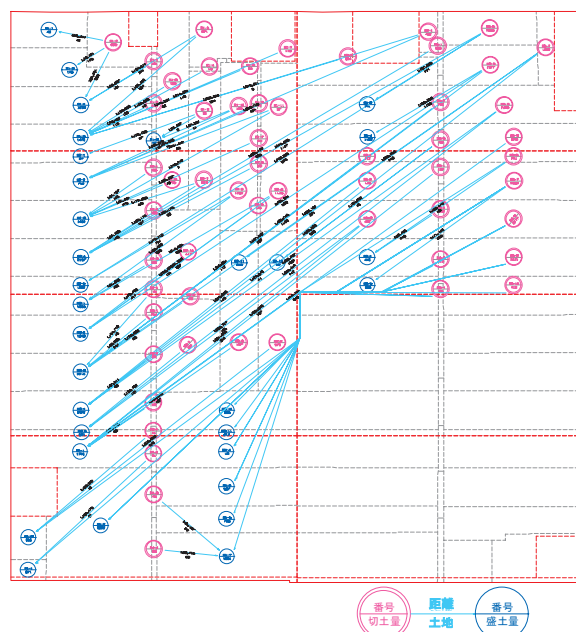
表－1 運土計画の比較

ケース	内 容
1	段差調整前後の計画標高を基に運土量を算出し、計画耕区間の重心距離を運土距離として算出する。
2	段差調整後の計画標高と現況ほ場単位の標高を基に、現況ほ場間で最小運土距離となるように運土解析を行い、運土量を算出する。

各ケースの運土計画図は、図－4及び図－5に示すとおりである。



図－4 ケース1運土計画図



図－5 ケース2運土計画図

(2) 掘削運搬機種選定

掘削運搬機種として使用される施工機械には、ブルドーザやスクレップドーザなどがある。スクレップドーザは、農地造成などで主に使用しているが、水田などの整地工では今まであまり使用されていない。このことは、区画面積が小さく長距離の運土がなかったことや、一般的なスクレップドーザは接地圧も大きく、土砂を抱え込んで運搬するため過転圧となりやすい、などが主な理由である。区画整理における整地工では道路や農地造成と違い、土の変化率を見込んで運土計画を行っていないことから、極端な過転圧は計画標高に影響を及ぼすため避ける必要がある。

このようなことから、掘削運搬機種としては道内でのスクレップドーザの保有が少ないことや過転圧の心配などから、60mまではブルドーザとするが、それ以上は10 t ダンプまたは不整地運搬車により行うこととした。

表－2 掘削運搬機種選定

運土距離	機 種
60m以下の場合	ブルドーザ
60mを超える場合	10 t ダンプ 不整地運搬車（不整地は400m以下）

(3) 概算工事費

上述の基に概算工事費を算出して比較すると表－3に示すとおりとなった。

表－3 整地工運土概算工事費

		概算工事費 (千円)	摘 要
ケース 1		41,519	全運土を10 t ダンプにより行う。
ケース 2	10 t ダンプ	39,830	全運土を10 t ダンプにより行う。
	不整地運搬車	41,236	運土距離400mを超える場合は10 t ダンプを使用する。

2.4 農区全体での整地工運土計画のまとめ

① 整地工運土計画について2ケースを比較した結果、ケース2が経済的な運土計画となった。

ケース1は、耕区の重心距離で運土する（耕区間で発生する様々な運土は加重平均化される）という考え方で比較的簡易な手法となるが、運土積が大きくなるため、ケース2の方が経済的になったと考えられる。

② 本計画においては、不整地運搬車の単価は10 t ダンプに比べ高くなり、10 t ダンプによる運土計画が最も経済的となった。

③ 耕区間で運土を行う場合、積算上の係数となる現況傾斜勾配が変化する（緩くなる）ことから過積算となる可能性があるため、「ほ場整備整地工」（ケース1）の適用には留意が必要となる。

これらの要因を踏まえ、本計画ではケース2を整地工運土計画として採用した。

この事例では、現況ほ場間で移動させる方が経済的となったが、どのような農区においてもこの事例と同じになるとは限らない。また運土計画図を作成する（最適運土を算定する）ためには、ある程度の経験と労力が必要となる。区画整理設計に係る整地工運土計画の一事例として参考にいただければと思う。

3. 末端用水施設設計に係る用水配分計画

区画整理設計に伴い、用水系統を再構築することになるが、事業計画ではかんがい計画に基づく各用水路の計画用水量（設計用水量）が明記されている。これに対し末端の区画整理対象ほ場の設計に使用する用水量は、基本として代掻期ローテーション流量（代掻作業水量＋管理用水量）を使用することになるが、これについては事業計画書には記載されていないことがほとんどである。

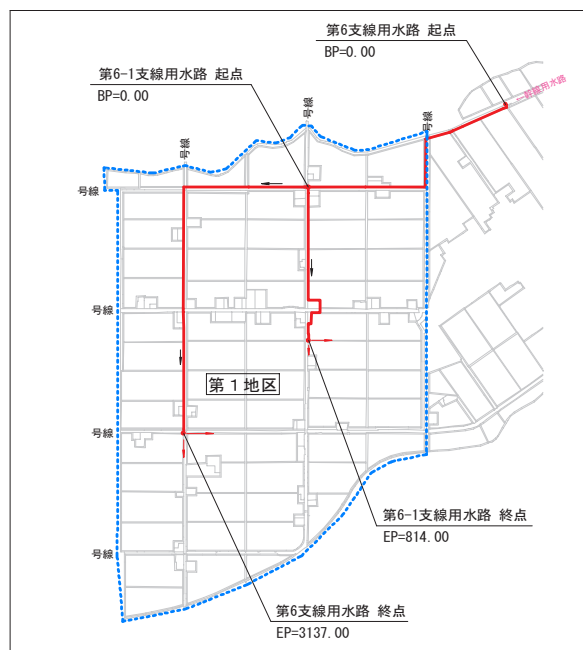
このような末端用水路設計で使用する用水量は、支線用水路規模、ほ場内用水路規模でその算出方法も異なる。ここでは支線規模が200ha程度で構成されている支線用水路の用水配分計画について紹介する。

3.1 対象区域概要

対象区域は下記に示すとおり、受益面積は202.6haで水田67%、畑33%（内かん水対象面積55.5%）、支線用水路は2路線で計画されている。

この地区の用水計画において、1日当り代掻き面積：3.4ha（1耕区分）、代掻日数：21日となっていることから、設計上のかんがい区域は、下式で求めた値とする。

$$3.4\text{ha/日} \times 21\text{日} \times 2\text{ローテーションブロック} \div 67\% = 213.13\text{ha}$$



図－6 ローテーションブロック区域図

3.2 用水計画基礎諸元

事業計画書に記載されている用水計画の基礎諸元のうち、対象区域に関する代掻期、普通期についての条件を以下に整理する。

(1) 単位用水量

- ・代掻日数～21日
- ・代掻期単位用水量(粗) $q_1=4.5713(\text{m}^3/\text{s}/1000\text{ha})$
- ・普通期単位用水量(粗) $q_2=2.9956(\text{m}^3/\text{s}/1000\text{ha})$
- ・汎用畑単位用水量(粗) $q_3=0.5787(\text{m}^3/\text{s}/1000\text{ha})$

※ $q_3=\text{日消費水量}3\text{mm}\times\text{単位面積}(1,000\text{ha})\times10,000\text{m}^3/\text{ha}/86400\text{sec}\times1/\text{かんがい効率}(60\%)$

表－4 還元田代掻期単位用水量

土性区分		土壌 $1(\text{m}^3/\text{s}/1000\text{ha})$
代 掻 期	減水深(mm)	243
	単位用水量	1.3393
	第2半旬	9 / 21
	第3半旬	14 / 21
	第4半旬	19 / 21
	ピーク	21 / 21
	単位用水量(純) (普通+代掻)	3.8856
	単位用水量(粗)	4.5713
普 通 期	減水深(mm)	22
	単位用水量(純)	2.5463
	単位用水量(粗)	2.9956

※粗用水量＝期別単位用水量 $\times1/0.85$

※代掻期単位用水量＝減水深 $\times10,000/(21\text{日}\times86,400)$

※第○半旬用水量＝

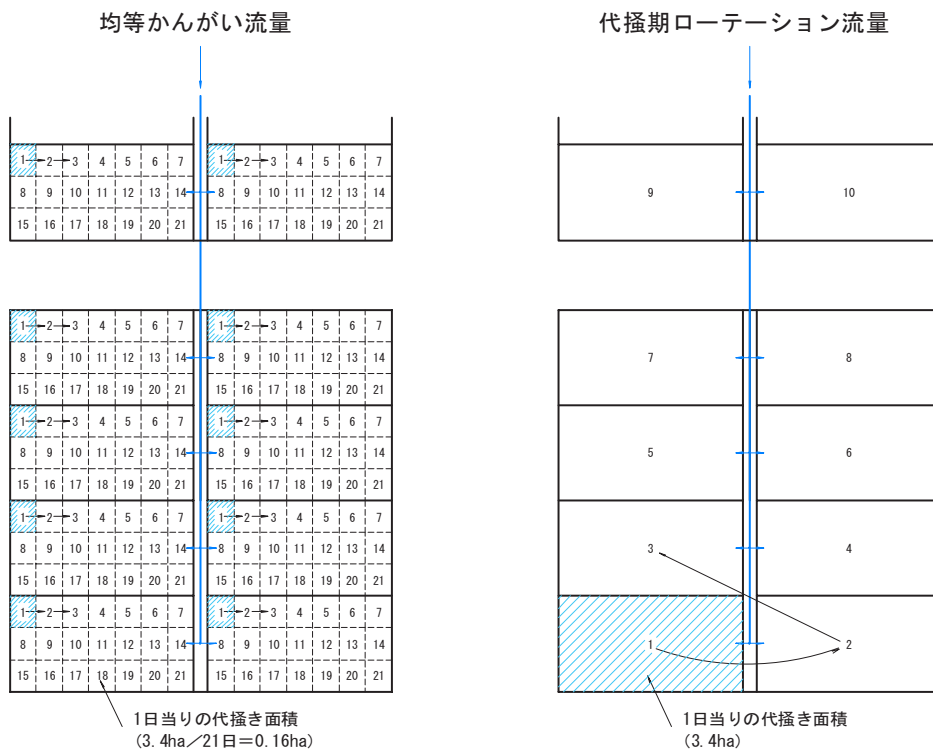
代掻期単位用水量＋普通期単位用水量 $\times\text{日数}/21\text{日}$

(2) 均等かんがい流量

均等かんがい流量は、表－4の代掻期単位用水量(粗) $\times$ 水田面積＋汎用畑単位用水量(粗) $\times$ 汎用畑面積で求められる流量で、一般的に事業計画流量と表現されることが多い。国営事業における幹線用水路などは、この流量を用いて施設規模を決定しており、地区の用水計画の基本となる流量である。

しかし、この流量は「かんがい区域全てのは場を同時に21日間かけて代掻きする」という考え方の流量となるので、代掻期ローテーション流量「3.4ha/耕区を1日で代掻きする流量」と比較して、全体流量（取水口部）では同じ流量となるものの、末端に行くほど差異が大きくなる（流量が小さくなる）。

実際には、代掻き作業順序に則って必要となる用水量とは異なってくることから、区画整理事業における末端用水施設計画（支線用水路やは場内用水路の施設規模計画など）にあたっては、過小（不足）とならないよう適用範囲に留意が必要な流量である。



図－7 均等かんがい流量と代掻期ローテーション流量の概念図

(3) 代掻期ローテーション流量

1) 代掻作業単位水量

代掻期の用水量については、代掻き期間並びに日々の代掻き面積を勘案して計画地区における必要水量を決定する必要がある。

「土地改良計画設計基準 計画 農業用水(水田)」(H5.5 P.39)では代掻き用水量について以下のように記述されている。

「かんがいの初期に、田植あるいは直播を容易にし漏水を防止する目的で実施される代かき作業は、短期間のうちに多量の用水を必要とする。この代掻き用水量は、用水計画上の総量としては小さいが、需要量としてのピークが高いために、水源計画、施設容量の決定などに重要な役割を果たす水量である。代掻き用水量は、代掻きは1回で行い、代掻き作業はかん水終了後直ちに実施するものとして、それに必要な程度の湛水深を与えるための当初水量とする。」

代掻期の用水量は、代掻き作業に要する水量と代掻き後の減水深により求めるもので「農業農村整備事業計画マニュアル」(H21.1農業土木協会 P.4-69)による方法で算定する。

・代掻作業水量(mm/日)

= 代掻期減水深(mm/日) × 代掻日数 - 普通
期減水深 × (代掻日数 - 1)

・代掻作業単位用水量 q_4 ($m^3/s/1,000ha$)

= $\frac{\text{代掻作業水量} \times \text{単位面積}(1,000ha) \times 10,000m^2/ha}{1,000mm \times 86,400sec}$

表-5 代掻期作業単位用水量(粗)

	代掻期減水深 (mm/日)	普通期減水深 (mm/日)	代掻作業水量 (mm/日)	代掻作業 単位用水量 q_4 ($m^3/s/1000ha$)
土壌1	39.49603	25.88198	311.7770	36.0853

※代掻期・普通期減水深 = 代掻期・普通期単位用水量(粗) × 86,400(s)/10,000

2) 代掻期ローテーション流量の算出方法

代掻期の用水路における施設容量を求める式としては、基準等より次式①が示されている。

・等面積方式・・・・・・・・①式

$$q_i = \frac{A}{n}q + \frac{A}{n}d(i-1)$$

$$q_{max} = \frac{A}{n}(q + (n-1)d)$$

$$a_i = \frac{A}{n} (= \text{一定})$$

q_i : 代掻き開始後*i*日目の必要水量

i : 代掻き開始からの日数

q_{max} : 代掻き期間中の最大必要水量

q : 代掻き用水量

n : 代掻き日数

d : 代掻き後のほ場単位用水量

A : 計画面積

※「土地改良事業計画設計基準 計画 農業用水(水田)」H5.5 P.42

この方式は、計画面積を代掻き日数で除した分が1日当たりの代掻き面積として算出したものである。

さらに、この等面積方式をトラクターの作業能力を考慮した代掻き作業機日当り能力から求めた場合、次式②により求める。よって、新たに計画される耕区面積は、1日で代掻作業を完了できる作業機械を導入して行われるため、下式のAMを日当り代掻き面積つまり耕区面積として算定する。

$$Q = \frac{AM \cdot q_1 + (As - AM)q_2}{8640 \times (1 - P)} \dots \dots \dots \text{②式}$$

Q : 必要水量(m^3/s)

As : 支配面積(ha)

AM : 代掻き作業機日当り能力(ha)

q_1 : 代掻き用水量(mm/day)

q_2 : 管理用水量(mm/day)

p : 水路損失率

n : 代掻き作業機持込み台数

N : 代掻き日数

※「土地改良事業標準設計 第11編 ほ場整備」H3.3 P85

以上より、この地区における代掻期ローテーション流量は、代掻作業用水量+管理用水量+汎用畑用水量から構成され、以下の式となる。

・1ローテーションブロックのとき

$$Q_{\square} = q_4 \times 3.40ha + q_2 \times \{(A \times 67\%) - 3.40ha\} + q_3 \times (A \times 33\% \times 55.5\%)$$

ここに、 A : 計画面積(ha)

q_2 : 普通期単位用水量($m^3/s/1,000ha$)

q_3 : 汎用畑単位用水量($m^3/s/1,000ha$)

q4 : 代掻作業単位用水量($\text{m}^3/\text{s}/1,000\text{ha}$)

※ 2 ローテーションブロックの場合は、
日当り代掻面積 : 3.40haを6.80haに変更する。

3.3 ローテーション規模による流量の算出

(1) ローテーションブロックの定義

ローテーションブロックは、日当り代掻き面積を代掻き期間内に順番にかんがいする区域を水管理ブロックとして区分したものである。

この面積が下記以上の面積となる場合は基本的には2つのローテーションブロックを持つことになり、この場合の日当り代掻き面積は2つ分を計上する必要がある。

表－6 ローテーションブロック面積

- ◎条件
- ・受益面積 213.13ha (水田67% 畑33%)
 - ・代掻日数 21日
 - ・日当り代掻き面積 3.4ha (水田)
- ◎ 1 ローテーションブロック面積の上限値
- A = 3.4ha/日 × 21日 = 71.4ha (水田)
- A = 71.4ha/0.67 = 106.57ha (水田 + 畑)

(2) ローテーションブロックの検討

ローテーションブロックについて3ケースを検討した。

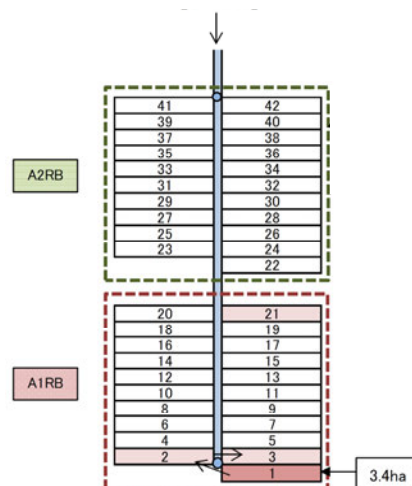
支線用水路のかんがい面積は、213.13haとなっており、ローテーションブロック規模が1ローテーションブロックより大きくなるため(2倍)、2つのローテーションブロックを設定する必要がある。

なお、ケース1においては、A2ブロックは、理論的に代掻期間内に作業を終了することは出来ない。

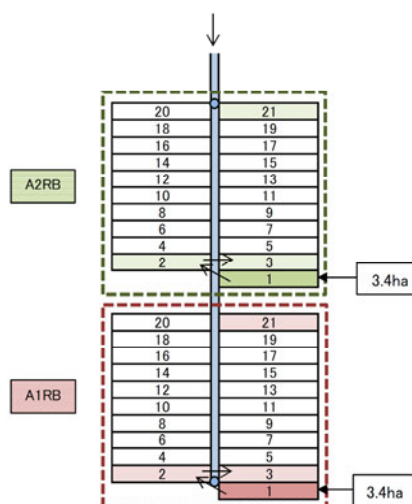
しかし、過去の計画事例では、1ローテーションブロック面積を若干超えるものに対しては、営農形態や転作状況、経済性、水利条件等を管理者と協議して、1ローテーションブロック内に含めて計画することが多いので、比較検討ケースとして流量を算定した。図－8、図－9、図－10にケース1～3の代掻作業ローテーションの概念図を示す。

表－7 ローテーションブロック検討ケース

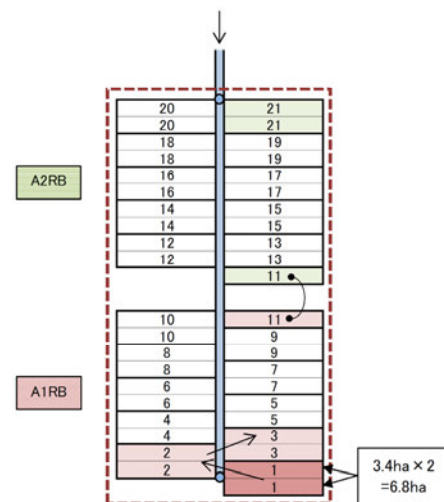
ケース	内 容
1	2ローテーション規模であっても1ローテーション分の日当り代掻き面積3.4haより算出した場合
2	2ローテーション規模とし、ブロックを上流域と下流域に区分しそれぞれのブロックで日当り代掻き面積を3.4haとした場合
3	2ローテーション規模とし、2ブロックを1ブロックとし日当り代掻き面積を6.8haとした場合



図－8 ローテーションブロック (ケース1)



図－9 ローテーションブロック (ケース2)



図－10 ローテーションブロック (ケース3)

(3) ローテーション流量の比較

各ケースにおけるローテーション流量を表－8に整理する。

表－8 ローテーション流量の比較表

	受益 面積 (ha)	水田 面積 (ha)	均等かん がい流量 ①(m³/s)	ローテーション流量(m³/s)					
				ケース 1 ②	②/① (%)	ケース 2 ③	③/① (%)	ケース 3 ④	④/① (%)
1	10.15	6.8	0.03216	0.12377	385	0.12377	385	0.24646	766
2	20.30	13.6	0.06432	0.15540	242	0.15540	242	0.26790	417
3	30.45	20.4	0.09648	0.17684	183	0.17684	183	0.28935	300
4	40.60	27.2	0.12864	0.19829	154	0.19829	154	0.31079	242
5	50.75	34.0	0.16080	0.21973	137	0.21973	137	0.33224	207
6	60.90	40.8	0.19296	0.24118	125	0.24118	125	0.35368	183
7	71.04	47.6	0.22512	0.26263	117	0.26263	117	0.37513	167
8	81.19	54.4	0.25728	0.28407	110	0.28407	110	0.39658	154
9	91.34	61.2	0.28944	0.30552	106	0.30552	106	0.41802	144
10	101.49	68.0	0.32161	0.32696	102	0.32696	102	0.43947	137
—	106.57	71.4	0.33769	0.33769	100	0.33769	100	—	—
11	111.64	74.8	0.35377	0.34841	98	0.46091	130	0.46091	130
12	121.79	81.6	0.38593	0.36985	96	0.48236	125	0.48236	125
13	131.94	88.4	0.41809	0.39130	94	0.50381	121	0.50381	121
14	142.09	95.2	0.45025	0.41275	92	0.52525	117	0.52525	117
15	152.24	102.0	0.48241	0.43419	90	0.54670	113	0.54670	113
16	162.39	108.8	0.51457	0.45564	89	0.56814	110	0.56814	110
17	172.54	115.6	0.54673	0.47708	87	0.58959	108	0.58959	108
18	182.69	122.4	0.57889	0.49853	86	0.61103	106	0.61103	106
19	192.84	129.2	0.61105	0.51997	85	0.63248	104	0.63248	104
20	202.99	136.0	0.64321	0.54142	84	0.65393	102	0.65393	102
21	213.13	142.8	0.67537	0.56287	83	0.67537	100	0.67537	100

※水田面積は3.4ha毎で計算するが、ここでは6.8ha毎を抽出整理している。

※計画転作率 水田67% 畑33% (畑作物55.5% 無かん水44.5%)

※均等かんがい流量：表－4の代掻き単位用水量(粗)×A(67%)＋汎用畑用水量×A(33%)で求められる流量で、一般的に事業計画流量と表現する場合が多い。

3-4. 末端用水施設設計に係る用水配分計画のまとめ

① 検証結果から以下のようなことが確認できた。

- ・【ケース 1】 1 ローテーション規模以上となる上流域では均等かんがいよりも流量が小さく不足する状況となる。
- ・【ケース 2】 上・下流ブロック境界で計算上の日当たり代掻き面積が変わるので、流量の変化が大きくなる。
- ・【ケース 3】 3.4ha×2箇所ずつの代掻きとなるため、下流側ブロックで流量が多くなりケース 2 に比べ経済性に劣る。

② 2 ローテーション規模の支線用水路では、各ローテーション区域が同時に代掻きしていくことで期間内の代掻き作業を終了できるため、【均

等かんがい】及び【ケース 1】による用水量はそれに合致したものではないと判断した。また、【ケース 3】は不経済であること、地区の営農形態に合致しないことから、不採用とした。

③ 1 ローテーション規模より大きいかんがい区域を持つ支線用水路では、これを超える区間に対しては、流量にさほどの差異がないことから、幹線用水路上流側施設と同様に均等かんがい流量により用水量を計画している事例が多いと思われる。

④ 表－8の下欄に記述した【均等かんがい流量】と【ケース 2】を比較すると、1 ローテーションを超えてからの【均等かんがい流量】は【ケース 2】に比べ小さくなる区間が生じ、均等かんがい流量では施設規模が過小となることが考えられた。このためこの業務では、用水管理者と

の協議を踏まえ、2ローテーション規模となる場合の代掻用水量は、2ローテーション分を確保することを前提とし、上流側・下流側それぞれのブロックで同時に代掻きする【ケース2】による考え方に基づいた計画とした。

ローテーションの設定は、水利条件や営農区域のあり方によっても異なるため、支線用水路が抱える営農区域の配置条件に基づいて検討する必要がある。また、かんがい区域の規模によっても今回のような設定はなじまない場合もあり、それぞれの条件に応じて整理することが必要と思われる。

代掻期ローテーション計画の一事例として参考にいただければと思う。

(罫ランドプランニング)

北海道の畑地用水需要と営農の経年変化について －国営 2 地区を事例として－

新津 雅士・及川 雄生

1. はじめに

戦後の北海道における農業は、食糧増産を目的とする稲作に重点を置いた政策により、水田用水への安定水源確保のため、昭和30年（1955）頃から国営かんがい排水事業による大規模な農業用ダムの建設が始まっている。当初は水田中心であったが、その後、水田に加えて新たに畑地を取り込んだ農業用ダムの建設が昭和40年代中頃から、さらに畑地かんがい用の農業用ダムの建設が昭和50年代後半から始まっている（図－1）。

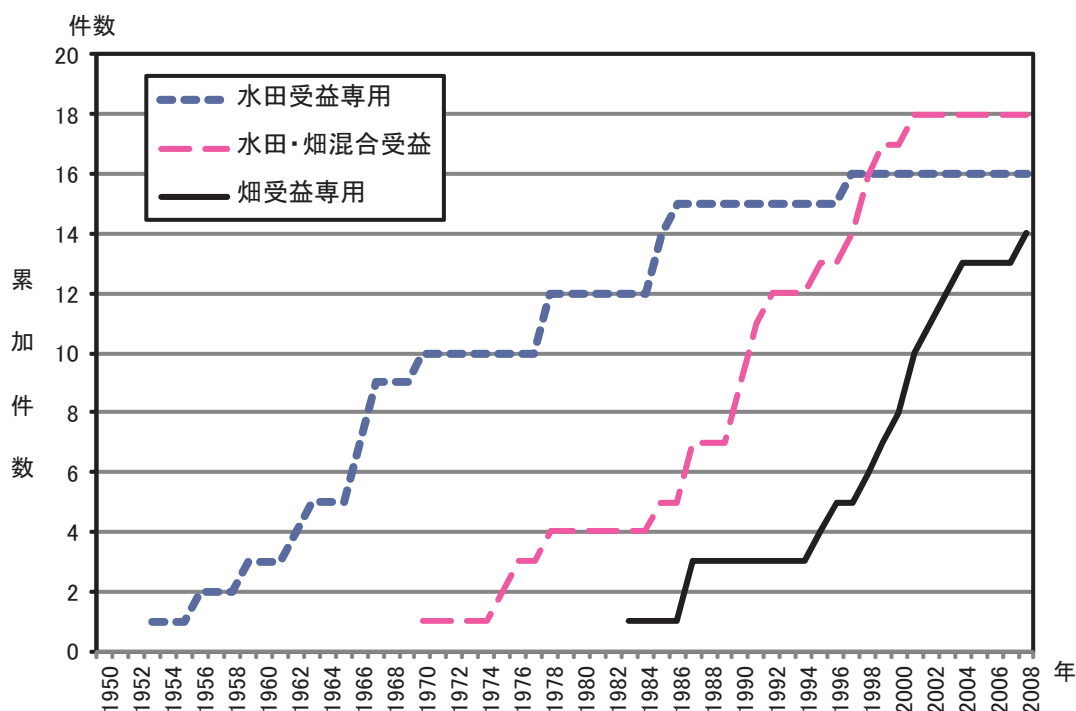
平成4年以降より調整池（300千 m^3 ～10千 m^3 未満）を水源とする畑地かんがいの整備も実施されるようになり、新たな水利用秩序の形成に向けて始動している。

北海道の畑地かんがい施設は、供用開始後10年～

20年程度と比較的歴史が浅く、末端の水利施設整備が必ずしも十分に施工されていない状況にある。

一方、国営事業等により畑地かんがい用水が確保され、安定供給が可能になったことを契機に、事業実施以前と比べて新規野菜等の栽培面積の拡大や高収益性作物の導入が図られるようになり、農業経営の安定化に寄与されたとの報告がされている地区もある。

以上のような状況を踏まえて、本報告では畑地かんがい用水の水源をもつ国営2地区を事例として、供用開始後の水源施設における取水実績の経年変化の把握を行うとともに、気象や地域営農との関係について、これまでに公表されている資料を基に考察し、畑地かんがいの今後の課題、施設整備の展開方向について考察した。



資料：農林水産省所轄（直轄事業）の完成ダム一覧（国造成）より北海道分を抜粋

図－1 国営かんがい排水事業による農業用ダム建設推移図（北海道）

2. 取水実績と気象（降水量による整理）

2.1 対象地区の選定

対象地区は、国営かんがい排水事業で畑地かんがい用水の水源を持つ完了地区で、かつ竣工後10年以上の取水実績を有する地区の中から、道南に位置するA地区とB地区を選定した。国営事業の概要を表－1に示す。

表－1 対象地区の事業概要（畑地かんがい）

	A地区	B地区
主要工事	ダム1箇所 揚水機1箇所 用水路6条L=20.9km	調整池1箇所 頭首工2箇所 揚水機1箇所 用水路8条L=26.0km
事業期間	S56～H10	S62～H8

2.2 対象取水施設の分析期間

対象取水施設は、A地区のダムとB地区の調整池とした。分析期間を表－2に示す。なお、A地区ダムについては、かんがい方式を従前のスプリンクラー・多孔管の併用から多孔管へと転換を実施した平成16年からの分析とした。

表－2 対象取水施設の分析期間

	A地区ダム	B地区調整池
分析期間	2003年(H16) ～2013年(H25) 計10年	1997年(H9) ～2013年(H25) 計15年(2ヶ年欠測)

2.3 取水実績の分析

(1) 分析手法

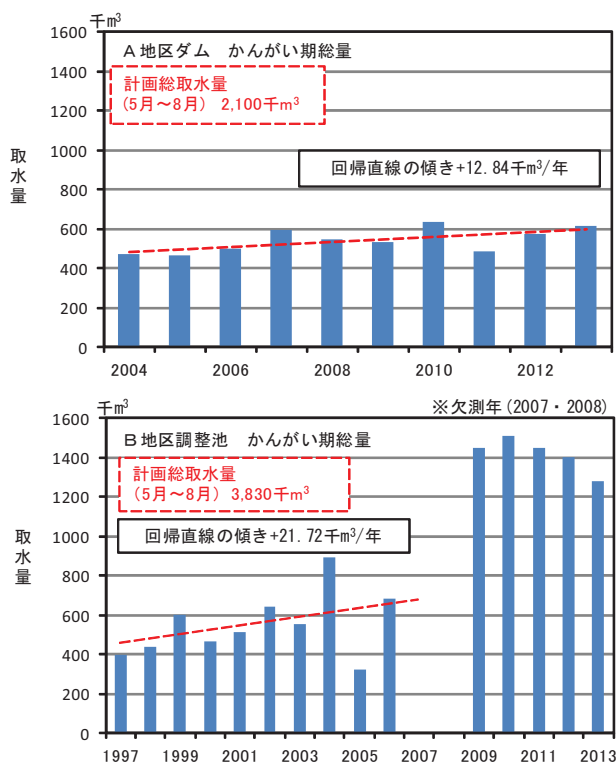
取水実績は、年別の取水量変化の把握を目的とするため、管理月報の日取水量を基にかんがい期間（水利用が多い5月～8月に設定）総量を算定した。また、作物の生育に応じた用水量の変動が想定されるため、月別（5月、6月、7月、8月）の総量について整理を行った。

(2) 分析結果

1) 取水実績総量

年別取水実績について、かんがい期総量を整理した結果を図－2に示す。年別データを基に回帰直線を算出した結果、両水源施設とも勾配が右上りの正值となり、年を積み重ねる毎に徐々に取水量が増えていく傾向が示唆された。ただし、B地区調整池では2ヶ年欠測（2007・2008）が続いたため、1997年～2006年の検討を行った。なお、2009年以降のB地区調整池掛りは関連事業完了に伴うかんがい区域拡大やハウス団地の新設・増棟により、総取水量が1997年～2006年に対して増加している。

一方で、検討期間の降水状況が計画基準年相当ではなかった中で、かんがい期総量（計画総取水量）に対し、取水量が多い年でA地区ダムが3割程度、B地区調整池が4割程度であり、用水利用の拡大の余地を残している。



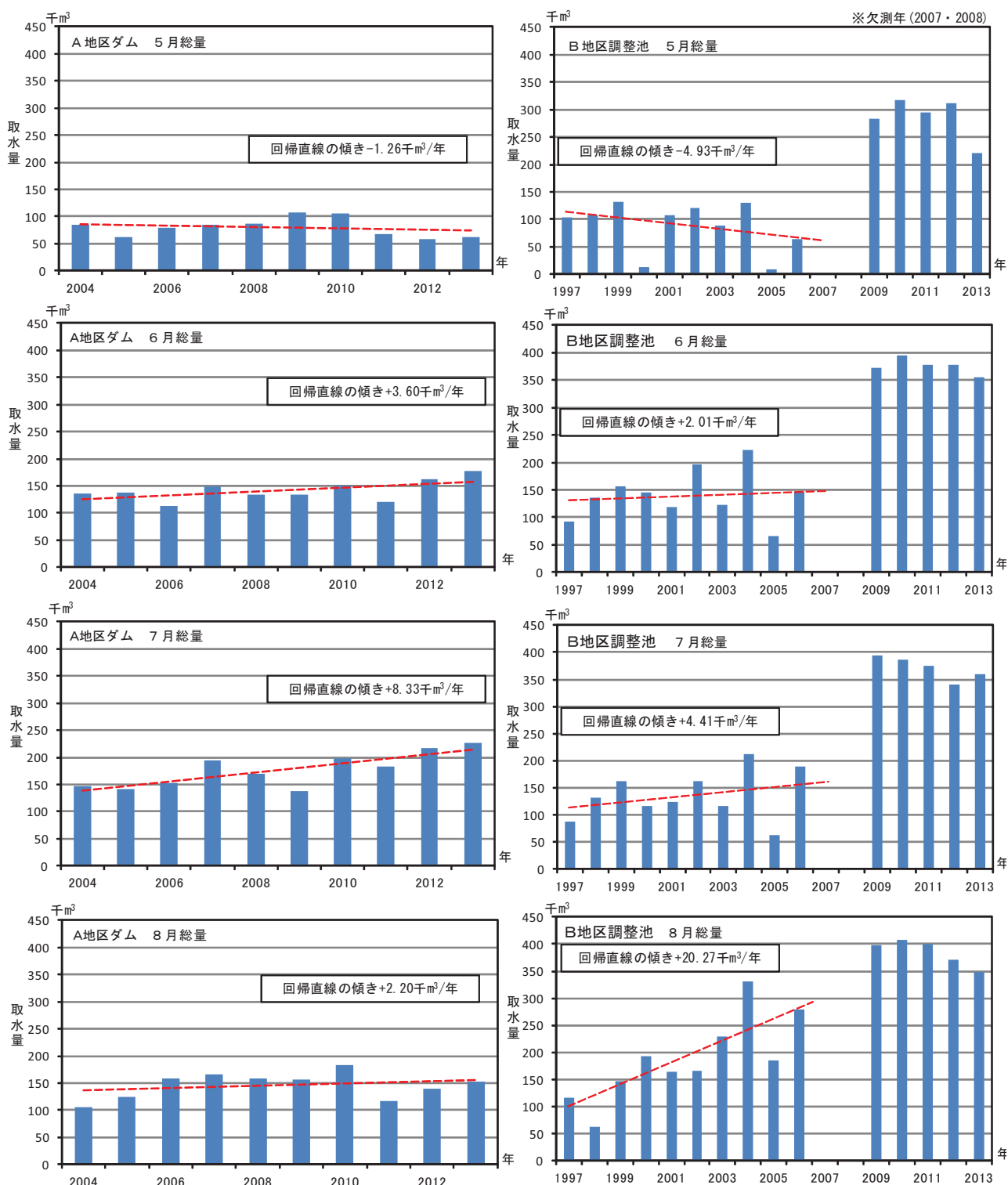
図－2 かんがい期総量取水量推移図（5月～8月）

2) 取水実績月別

取水実績の月別結果を図－3に示す。

かんがい期総量と同様に回帰直線を算出した結果、5月以外は、両水源施設とも勾配が右上りの正值となっている。5月は、播種・定植時の極少量の利用であり、ほ場の水分状況に影響

を受けることから、年別にバラツキが生じているものと推察される。6月以降は作物の生育に必要な用水に加え、防除用水利用等の多目的用水利用もあり、用水の安定的な利用が図られているものと考えられる。



図－3 かんがい期月別総量取水水量推移図

2.4 気象（降水量）分析

(1) 分析手法

使用する降水量は、対象とする水源施設の近傍で長期の蓄積データを有する表－3に示すアメダス観測所を選定した。

降水量は、かんがい期における年別および月別の総量について、平年値との比較整理を行った。また、日降水量5mm未満は用水計画で有効雨量として見込まないこと、道内の一般的な間断日数が6日～8日であることから、5mm未満の日が6日以上連続する連続干天日数について、日降水量データより年別の総計日数の整理を行った。

表－3 アメダス観測地点一覧表（降水量5月～8月）

観測地点名	I 観測所	II 観測所
標高	15m	4m
近傍水源地	A地区ダム	B地区調整池
データ 収集期間	2003年(H16) ～2013年(H25) 計10ヶ年	1997年(H9) ～2013年(H25) 計17年

1) 降水量

検討期間の月別平均値と平年値・計画基準年との比較結果を表－4に示す。I 観測所で5月、7月、8月、II 観測所で5月、7月が約10%、II 観測所8月が20%程度、平年値を上回った。この現象は、近年の集中豪雨等の多発が影響したものと考えられる。その他の月は、平年値との大きな差は生じていない。なお、比較的降水量が少ない6月・7月は、計画基準年と比べて検討期間平均でI 観測所が約2倍、II 観測所が約5倍多い状況にある。

2) 連続干天日数

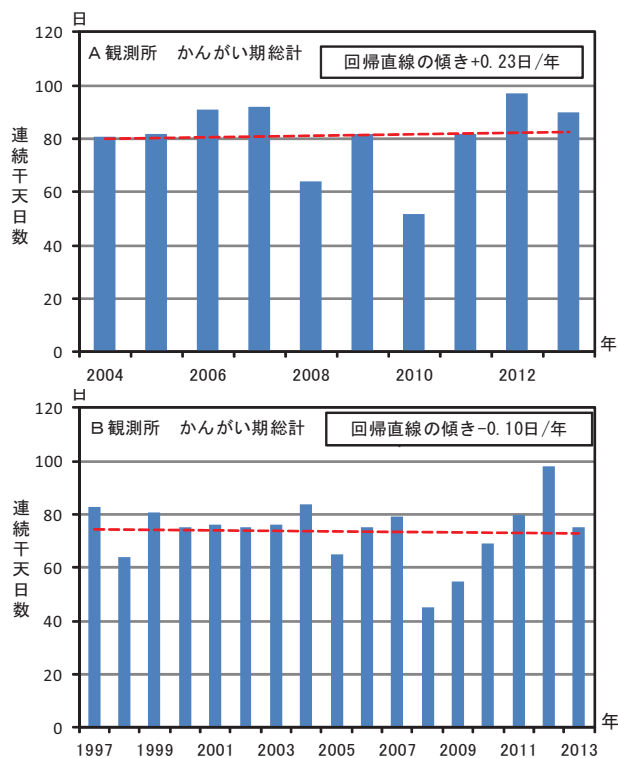
連続干天日数の整理結果を図－4に示します。年別データを基に回帰直線を算出した結果、勾配がI 観測所で+0.23日/年、II 観測所で-0.01日/年となり、ほとんど変動がないことが確認された。

表－4 月別降水量等一覧表

	①検討期間 平均 mm	②平年値 1981～2010 <計画基準年> mm	③平年値・ <計画基準年> に対する比率 ①÷②
【I 観測所】検討期間2004～2013・計画基準年1973(S48)			
5月	65.6	58.7 <74.5>	1.12 <0.88>
6月	43.7	43.3 <20.5>	1.01 <2.13>
7月	93.3	87.3 <31.5>	1.07 <2.96>
8月	127.8	114.0 <289.5>	1.12 <0.44>
【II 観測所】検討期間1977～2013・計画基準年1976(S51)			
5月	98.4	89.9 <73.5>	1.10 <1.34>
6月	75.0	73.7 <14.0>	1.02 <5.36>
7月	145.4	124.6 <28.5>	1.17 <5.10>
8月	163.4	167.9 <97.5>	0.97 <1.68>

※計画基準年の値は、該当管内の気象官署を使用

以上より、検討期間における降水量が平年値を若干上回る傾向にあり、連続干天日数に変動がない状況で、取水実績が増加傾向にあることが確認された。また、検討期間は、計画基準年相当の降水状況ではないことから、極端な取水実績の増加が見られなかったものと判断される。



図－4 かんがい期連続干天日数推移図
(5月～8月)

3. 地域営農の変化

3.1 対象地域

対象とした地域は、A地区の受益地であるa町およびB地区の受益地の約9割を占めるb町とした。

3.2 野菜作付面積及び単収の変化

(1) 検討内容

地域営農の変化の検討内容は、対象地域における畑地かんがい導入後の主要野菜の作付面積及び単収推移を既存の統計資料より把握し、検討することとした。

(2) 検討期間

A地区は平成10年、B地区は平成8年に完了している。よって検討開始は、A地区は平成10年、B地区は平成8年からとし、平成25年（公表された統計値の最近年）迄を検討期間とした。

(3) 対象作物

a町は、メロン、すいか作付面積が多く、生産額も大きいため、メロン、すいかを対象作物とした。

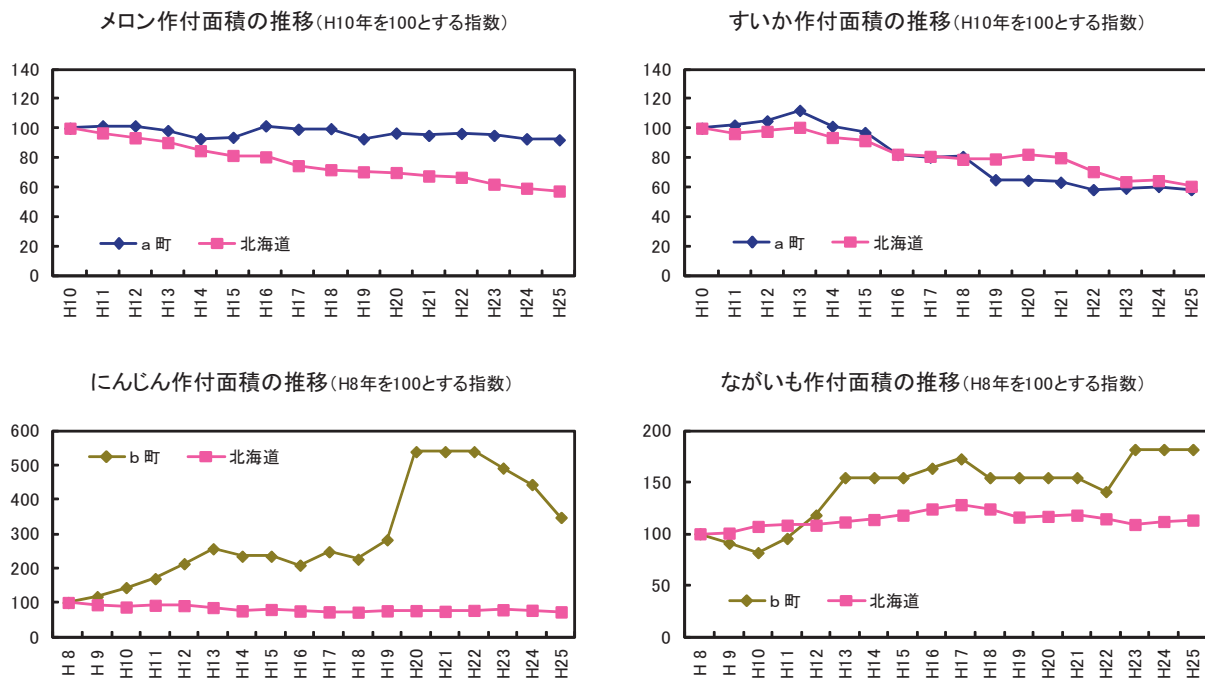
b町では、近年、にんじん等の根菜類を中心に高収益性野菜の作付が増加しており、畑地かんがい導入後に作付面積が増加している作物の中から、長期累年統計で調査されている、にんじん、ながいもを対象作物とした。

(4) 作付面積の推移

地区完了年を100とする指数により、北海道と対象地域の主要野菜の作付面積の推移の傾向を比較した結果を図－5に示す。北海道のメロンの作付面積は減少傾向にあるが、a町のメロンは、堅調に作付面積を維持している。

一方、すいかの作付面積は北海道とa町ともにほぼ同様に減少傾向にある。

a町では畑地かんがい導入により、高品質野菜のブランド化を確立しているが、現在では高齢化



[北海道] 資料：北海道農林水産統計年報
[a町] 資料：北海道農林水産統計年報（H10～18、23～25年）、北海道農政部農産振興課調べ（H19～22年）
[b町] 資料：北海道農林水産統計年報（H8～18、23～25年）※H16年迄、合併前の関係町を含む。
北海道農政部農産振興課調べ（H19～22年）※にんじんは農林水産関係市町村別統計（H19～22年）

図－5 主要野菜の作付面積の推移（地区完了年を100とする指数）

等に伴い労働力減少によって、すいかよりkg当たり単価の高いメロンへの生産量維持に注力しているものと推察される。

b町では、畑地かんがい導入以前と以後の現在の作付面積を比較すると、にんじんは3.5倍、ながいもは1.8倍に増加している。これに比べ北海道のにんじんは約3割減少、ながいもは1割増加しており、b町のにんじん・ながいもの作付増が顕著であるものと判断される。このことは、畑地かんがい用水の安定確保と畑地かんがい施設整備を契機にして、高収益性野菜の導入を可能とし、地域において積極的に推進されていることが背景にあると考えられる。

(5) 単収の推移

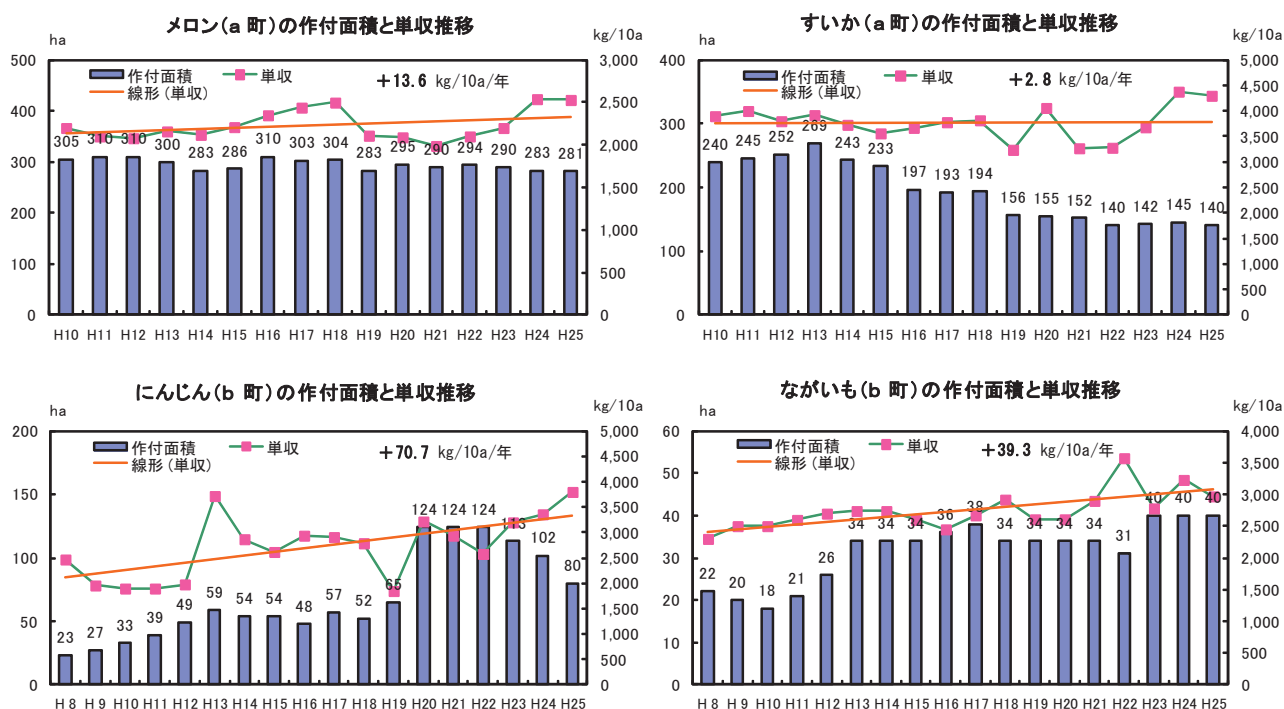
対象地域における地区完了年～平成25年までの各野菜の単収推移を図－6に示す。各野菜単収の回帰直線から、単収が増加傾向で推移していると

判断される。

作物特性による標準単収に差があるため、一概に判断できるものではないが、10a当たりの単収増はメロンで13.6kg、にんじん70.7kg、ながいも39.3kgという結果であった。

なお、すいかは近年、市場で小玉すいかへのニーズが高まり、品種変更となったことからこれまでとの比較を行うことができなかった。

長期的な単収増加は、農業者の営農努力はもとより、末端かんがい施設整備の関連事業の進捗によって、畑地かんがいの普及がもたらしたものと推察される。また、近年では平成24年が対象地域の少雨年であり、b町を管轄する胆振農業改良普及センターでは6月に野菜類へのかん水実施の営農指導を行っている。少雨年であっても、野菜単収は平年並以上の水準が確保されており、畑地かんがい効果が発揮されたものと推察される。



[北海道] 資料：北海道農林水産統計年報
 [a町] 資料：北海道農林水産統計年報（H10～18、23～25年）、北海道農政部農産振興課調べ（H19～22年）
 [b町] 資料：北海道農林水産統計年報（H8～18、23～25年）※H16年迄、合併前の関係町を含む。
 北海道農政部農産振興課調べ（H19～22年）※にんじんは農林水産関係市町村別統計（H19～22年）

図－6 主要野菜の作付面積及び単収推移（実数）

3.3 地域農業者の意向

北海道農政部では、平成19年度に関連事業を実施した当該対象地区を含む地域で導入した散水機等の利用状況等について、受益農家へアンケート調査を実施し、「畑地かんがい施設利用状況調査（平成20年3月）」として取りまとめている。そこで、この資料からの引用により、農家の意向と要望等を以下に示す。

(1) 関連事業A地区（平成11年完了）

【営農の変化】

- ・畑地かんがい用水の確保を契機として、メロンの生産が伸びている。
- ・所得が増え経営が改善されている。

【畑地かんがいを利用するうえでの要望等】

- ・バルブ等の故障が多い。
- ・皆が一斉に使うので、水圧に変動があり、安定した散水ができない。

(2) 関連事業B地区（平成12年完了）

【営農の変化】

- ・野菜の作付けが増加した。
- ・レタス、キャベツは畑地かんがいによって出荷時期を1日単位で調整できるようになった。にんじんも胴割れを抑制できるようになるなど、品質が向上している。
- ・畑地かんがいの導入により、「経営が安定した」とする農家が4割、残り6割は「経営が改善した」との意向を示している。

【畑地かんがいを利用するうえでの要望等】

- ・「精度の高い気象情報」や「畑の排水条件の改善」があがっている。
- ・今後の展開として、「畑地かんがいと有機栽培の組み合わせを目指していきたい」との意向を示している。

4. まとめ

畑地かんがい専用の水源をもつ国営2地区（A地区、B地区）では、取水実績の増加傾向から畑地か

んがいの普及状況が進んでいることが伺える。

また、営農変化により、作物の品質および収量の向上、高収益性野菜の導入と作付面積増加、営農労力の軽減などを実現させており、農業経営の安定と改善をもたらしているものと評価できる。

一方、降水量が計画基準年相当ではない状況にあったが、かんがい期総量（計画総取水量）に対して取水実績が3割～4割程度に達し、今後はハウス団地の新設・増棟などの土地利用の変化に対応した畑地かんがい用水の更なる有効利用の可能性も秘めているものと考えられる。有効利用に向けては末端かんがい施設の整備を進め、さらに、3.3項目で示した地域農業者の意向を踏まえた既存かんがい施設の改善や用水需要に対応した安定配水など、維持管理に関わる方策等の対応が今後期待される。

5. おわりに

平成27年3月31日に農政の中長期目標となる「新たな食料・農業・農村基本計画」が閣議決定された。本計画で農地・農業用水は、農業生産に欠くことのできない基礎的資源と位置付けられ、農地・農業用水の有効利用を通じて農業生産性向上と食料自給率、食料自給力の維持向上を図ることとしている。その具体的な施策の一つに、第3「食料の安定供給の確保」として、力強い農業を支える農業基盤整備において、“農地の大区画化、汎用化や畑地かんがい施設の整備を推進”することが盛り込まれている。

北海道の畑地帯等での経営意欲の高い担い手の確保・労力軽減に向け、より一層の畑地かんがい施設の整備と畑地かんがい用水の有効利用の推進により、全道的な畑地帯の一層の発展が期待できると考えられる。

最後に、本報文集に投稿の機会を与えていただいた（一般社団法人）北海道土地改良設計技術協会の各位に対し厚く御礼申し上げますとともに、取水実績データ収集など、関係機関の協力を賜ったことを記して謝意を表します。

（株）アルファ技研

簡易ガス調査によるP C管の劣化探査と劣化深さを踏まえた試掘調査・分析結果

後藤 秀樹

本稿は、本州における事例であるが、道内においても広く活用が期待できることから、その調査、試験、分析の結果を紹介するものである。

1. はじめに

P C管のカバーコートモルタル（以後、カバーコート）についての研究では、水島・伊藤・小泉・毛利¹⁾が、埋設後25年以上を経過している場合や、地下水に侵食性遊離炭酸が20mg/ℓ以上、硫酸イオンや塩素イオンが200mg/ℓ以上含まれ、かつ土壌調査のANSI A21.5（米国国家規格付録の項記載）の腐食性評価が10点以上の場合に、P C管が破壊または劣化する傾向にあることを報告している。また、後藤・根岸等²⁾³⁾⁴⁾は、室内劣化促進試験と恒常的に侵食性遊離炭酸を含む地下水下にある埋設管の試掘調査の結果から、侵食性遊離炭酸濃度30mg/ℓ以上で炭酸侵食による劣化促進の懸念を報告している。

しかし、東北地方のA地区の築造後31年経過の幹線用水路（クローズドパイプライン P C管φ1100～1000mm）は、降雨時以外は、地下水が管周辺にほとんどないにもかかわらず、カバーコートが破損した。このため、過年度調査では、試掘調査を実施して、①水酸化カルシウム（カバーコート成分）の消失と炭酸カルシウム（劣化生成物）の生成が認められたこと、②劣化が促進した管周辺の二酸化炭素濃度が他の管周辺より高いこと、③侵食性遊離炭酸・硫化物・有機酸が介在している複合劣化の可能性あることを報告していた。

本稿では、過年度調査結果を踏まえ、①雨水による地下浸透水のみが管表面に触れる区間において、簡易ガス調査により劣化が進行した管を発見出来る可能性と、②管の劣化深さを踏まえた試掘調査・分析の事例を報告する。

2. 簡易ガス調査

2.1 簡易ガス調査実施の経緯

土壌中に有機物が存在すると、微生物の働きにより土壌中の酸素を利用した有機物の分解が起こり、二酸化炭素（以後、CO₂）が発生すること

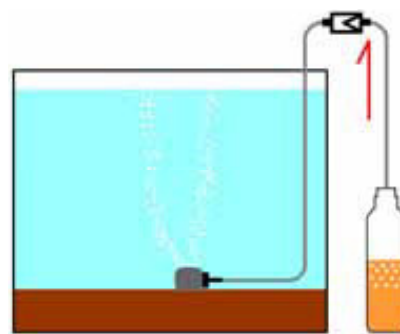


図-1 酵母菌によるCO₂添加装置
さくらペット水物HPより

は多くの研究で明らかになっている。藤川⁵⁾は、耕盤を有するほ場では表層付近に微生物の多くが存在しているが、深度100cmでも土壌のCO₂濃度が高いことを報告している。

信州大学の報告⁶⁾では、ボーリング調査のような大掛かりなものではなく、土壌に100cm程度の深さに管を差し込み、そこから土壌のCO₂を採取する簡易ガス調査で、それより深い位置の有機物の有無を確認することが可能であることが示されている。

また、観賞用水草水槽にCO₂を添加する方法には、室内劣化促進試験²⁾³⁾⁴⁾と同様に炭酸ボンベから水槽にCO₂を供給する方法と図-1に示した酵母菌が排出したCO₂を水槽に供給する方法がある。

よって、水槽の環境下と同様の現象が、地中においても以下の①～④の過程で起こりえると考え簡易ガス調査を実施し、地中のCO₂濃度の高い地点と低い地点における試掘調査・分析結果を比較検討することで、簡易ガス調査の有効性を検証することにした。

① CO₂は可溶性であり、土中は雨水の移動速度が遅く、藤川⁵⁾の報告のように雨水が浸潤することでCO₂が地中深部に蓄積する。

- ② 地中深部に蓄積したCO₂が水槽実験同様に地下浸透水内の侵食性遊離炭酸濃度を増加させる。
- ③ 侵食性遊離炭酸を含む水がカバーコートに接触し、劣化を促進させる。
- ④ 以上からCO₂濃度が高い地点の埋設管は地表面下1 m以上でも劣化が進行している。

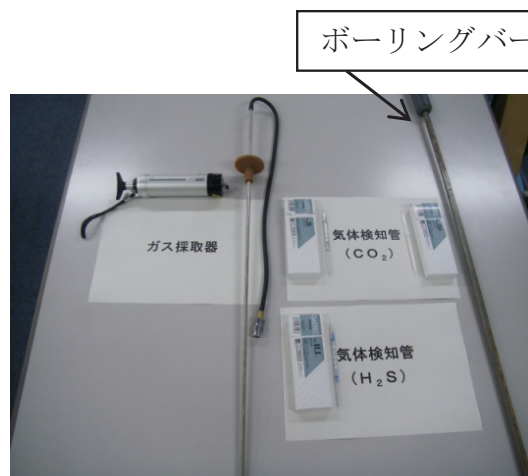
また、CO₂濃度の高い地点の試掘管の劣化の度合いを確認するため、P C管の新管を製作して、両試料の管体化学試験結果【中性化試験、E P M A（電子線マイクロアナライザ）、蛍光X線分析、粉末X線回折】を比較することにした。

2.2 調査機材

調査機材は、写真－1 のとおりであり、解説を次に示す。

- ① ボーリングバー：ガス採取用の穴を開ける機材
- ② ガス採取器：気体検知管を鋼製パイプの先端に接続し、気体の吸引を行う。
- ③ 気体検知管：気体の濃度を測定する器材

調査範囲は、既往論文の調査地点のように、有機物（廃棄物）が投棄されている形跡がないことから、既往論文調査地点より各気体が低濃度であると予想して、2Lの気体検知管を用いて最初の測定を行ない、測定範囲を上回った場合には2Hの気体検知管を用いて簡易ガス調査を行った。気体検知管の測定・目盛範囲を表－1 に示す。



写真－1 調査機材

表－1 気体検知管の測定・目盛範囲

二酸化炭素	
2LL	測定範囲 300～5000ppm 目盛範囲 300～5000ppm
2L	目盛範囲 0.25～3.0%
2H	測定範囲 0.5～20% 目盛範囲 1～10%

硫化水素	
4LL	測定範囲 0.25～120ppm 目盛範囲 (2.5)～60ppm

2.3 調査方法

調査方法は、次のとおりである。

- ① 付帯工の位置から路線位置を特定し、調査地点を5～10m毎にマーキングする（図－2）。
- ② ボーリングバーで穴を掘り（写真－2）、ガス採取器に気体検知管を接続する。
- ③ ガス採取器を土中に差し込みガスを吸引し、所定時間保持する（写真－3）。
- ④ 気体検知管（CO₂、硫化水素（以後、H₂S））の着色を読み取り、濃度を確認する。

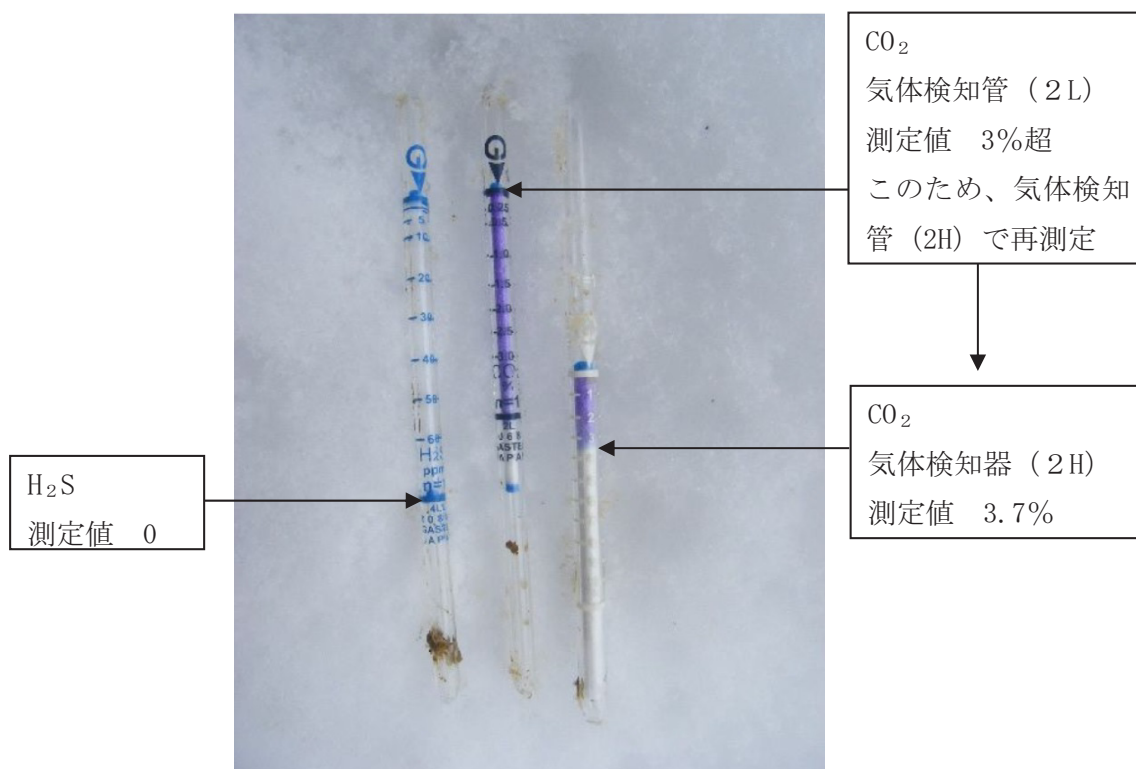
気体検知管の読み取り例を写真－4 に示す。



写真－2 ボーリングバーによる掘削



写真－3 土中ガスの吸引



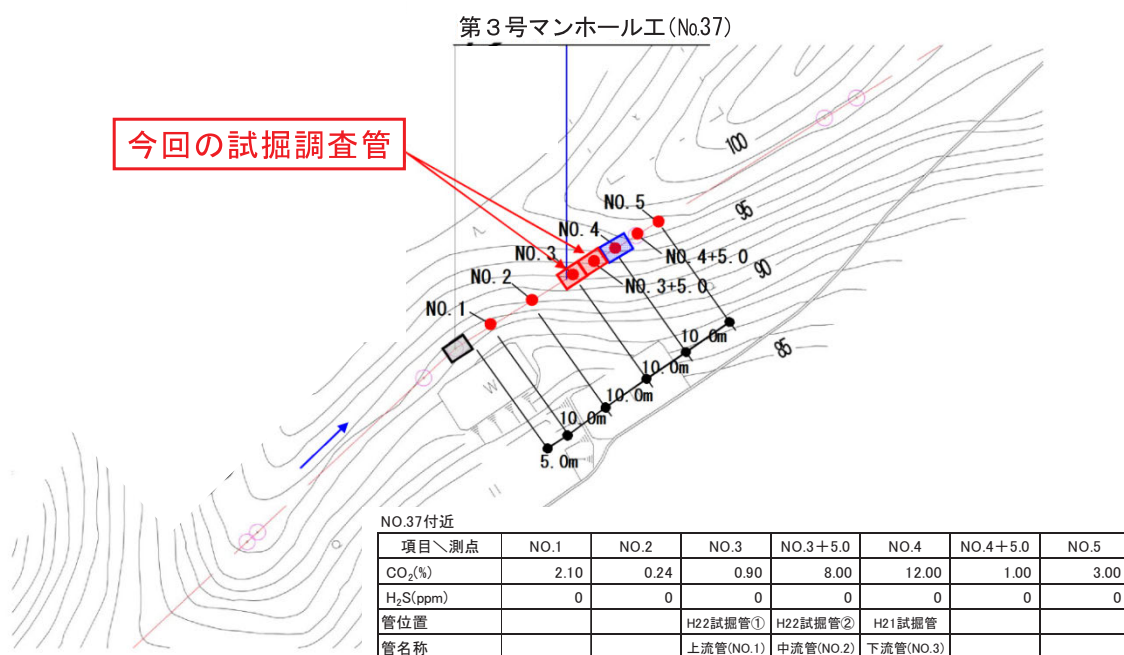
写真－４ 気体検知管の読取例

2.4 調査結果

簡易ガス調査は、森林と草地の４地点で合計27か所の実施で、CO₂濃度の平均は約２％、図－２のNo.4では最大値12％を測定し、H₂Sは検出限界未満であった。

この結果から、図－２に示すその３地点の２本の

管（No.3、No.3＋5.0）とH21試掘管（No.4）を試掘調査することになった。参考までに、大気中のCO₂濃度は0.04％程度であるが、伊藤ら⁷⁾の調査では、草地で0.62～6.62％の測定値が示されている。



図－２ 簡易ガス調査 その３地点の調査位置と測定結果

3. PC管の試掘調査

3.1 調査の目的

- ① 最も地中のCO₂濃度が高い場所の管【中流管（No.2）、下流管（No.3）】と、その直上流側のCO₂濃度が低い場所の管【上流管（No.1）】を掘削し、調査結果の比較検討を行う。検討結果を基に、有機物分解や土中微生物の呼吸に由来する物質を地上から測定することによって、迅速かつ容易にPC管の劣化状況を把握する手法の有効性を確認する。
- ② 地層、埋戻土の構成、地下水の有無等から劣化要因を推測する。
- ③ 劣化状況から地下浸透水による劣化であるか否かを推測する。

3.2 調査方法

(1) 目視・打音・簡易中性化試験、カバーコートの厚さ測定

管外面の機能診断では、カバーコートの目視観測・ハンマーによる打音調査・風化状況の指標である中性化試験・カバーコートの厚さ測定等を行い、施設状態評価（S評価）と余寿命を予測した。なお、中性化試験とカバーコートの厚さの測定は、PC管に設けた1mメッシュの測定点をドリルで削孔し、ドリル削孔を利用し行った。

また、PC管の構造的機能で最も大切なPC鋼線は、1部に発錆を生じるとそれが徐々に広がり、写真－5、6のような破損を招くため、管外面調査では、劣化部を削り出し、劣化が深く進行している最大劣化深さの箇所を探し、管体化学試験（中性化試験、E PMA、蛍光X線分析、粉末X線回折）の試料を採取した。



写真－5 PC鋼線の破断（他地区事例）



写真－6 PC管の破損箇所（他地区事例）

(2) PC管外部スケッチ、掘削面スケッチによる現況診断

管の現況性状を写真のみでなくスケッチにより描写を行い、カバーコート及び掘削面を詳細に把握し、劣化状況や傾向を確認する。

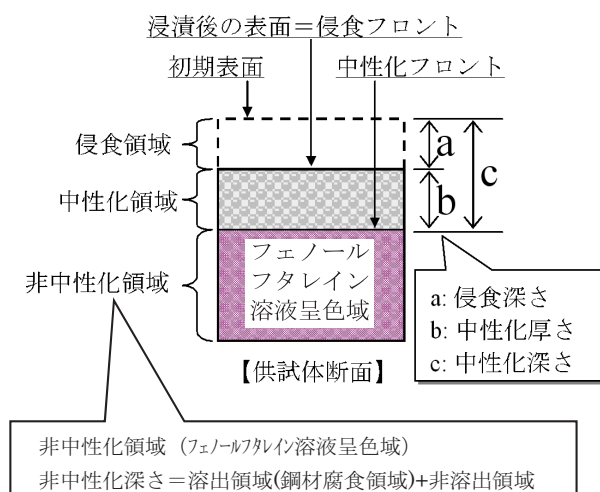
(3) 室内試験・分析用の試料採取

管外部の劣化が水質・土質に起因している可能性があるため、布設管周辺の水及び土を採取し環境状況を判断する。なお、掘削した場所には、地下水がなかったため、近傍の湧水を採取した。

3.3 劣化深さの定義

久田等⁸⁾は、硫酸の作用するセメント硬化体の研究において図－3の劣化深さを定義している。

本稿では、図－3の劣化深さの定義を侵食性遊離炭酸にも適用する。また、非中性化領域の中で元素が溶出している範囲は溶出領域と定義した。なお、溶出領域はE PMAによって、製造直後のPC管から5%以上減少していると判断できる範囲とする。



3.4 カバーコートの目視状況（No.2 管の事例）

カバーコート表面は、写真－7のように、管頂から側面にかけて上から下に水をかけたように劣化が進行していた。また、全ての管において山側の劣化範囲が広く、カバーコートの骨材の突出が多いことが顕著に確認された。



3.5 各管の調査結果と施設状態評価

1 mメッシュにおける中性化深さ（＝侵食深さ＋中性化厚さ）と非中性化領域（かぶり厚さ）の測定結果は、次にとおりである。

(1) 侵食厚さ(カバーコートの喪失深さ)

侵食深さは、劣化現象によってカバーコートが喪失した深さのことである。各管の侵食深さは、表－2のとおり、中流管（No.2）が最も侵食深さが大きい。

表－2 侵食深さ総括表 (mm)

調査管	測定値	最大値	平均値	最小値
上流管 (No.1)		5.13	2.19	0.10
中流管 (No.2)		15.66	8.03	4.60
下流管 (No.3)		11.50	4.34	2.00

(2) 中性化厚さ

表－3に示すように、中性化厚さは上流管（No.1）と下流管（No.3）が最も大きい。また、前者が平均値、最小値共に、後者より大きい。なお、中性化厚さの最大値を測定した箇所と侵食深さの最大値の場所は異なる。

表－3 中性化厚さ総括表 (mm)

調査管	測定値	最大値	平均値	最小値
上流管 (No.1)		4.03	3.04	2.26
中流管 (No.2)		3.76	2.70	1.70
下流管 (No.3)		4.03	2.64	1.61



写真－7 中流管（No.2）の山側の調査写真

(3) 中性化深さ

表－４に示すように、侵食深さと中性化厚さの合計である中性化深さが最も大きい管は中流管であった。

表－４ 中性化深さ総括表 (mm)

調査管 \ 測定値	最大値	平均値	最小値
上流管(No.1)	8.53	5.23	3.47
中流管(No.2)	17.36	10.73	7.27
下流管(No.3)	14.50	6.98	4.42

(4) 被り厚さ

表－５のように、被り厚さは、管外周面からＰＣ鋼線までの深さ（ＰＣ鋼線の被り厚さ）であり、中流管（No.２）が最も被り厚さが小さい。

表－５ 被り厚さ総括表 (mm)

調査管 \ 測定値	最大値	平均値	最小値
上流管(No.1)	24.33	19.06	14.87
中流管(No.2)	15.40	11.97	4.34
下流管(No.3)	18.00	15.66	8.50

(5) 非中性化領域

表－６のようにフェノールフタレイン溶液で赤色に呈色する範囲（深さ）は、中流管（No.２）が最も小さかった。

表－６ 非中性化領域（深さ）総括表と健全度 (mm)

調査管 \ 測定値	最大値	平均値	最小値	健全度
上流管(No.1)	21.53	16.02	11.47	S-5
中流管(No.2)	12.73	9.27	2.64	S-3
下流管(No.3)	15.58	13.02	5.50	S-3

(6) 施設状態評価

ＰＣ管の施設状態評価は、表－７の農業水利施設の機能保全の手引き「パイプライン」⁹⁾ P51に示されており、その評価基準を用いて表－８で試験管を評価した。この表に示されているように、

S-2はＰＣ鋼線腐食・破断であり、管内圧を受け持つＰＣ鋼線が多数破断した場合は、写真－５、６のように管が破損する。

S-3は、中性化残り又はカバーコート厚10mm未満、S-4は該当無、S-4は中性化残り10mm以上である。この規定は、フェノールフタレインの吹付けによる呈色から定義された。

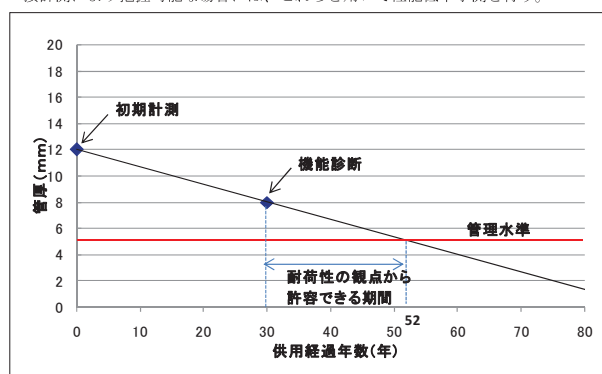
中性化深さが鋼材に到達する以前に、鋼材の腐食が開始することが多くの研究および実構造物の調査から明らかになっている。また、中性化残り10mm以上では腐食が軽微にとどまることが多いことがコンクリート標準示方書設計編¹⁰⁾に示されている。

この評価を前述の劣化深さの定義に合わせると、非中性化領域が10mm以上の場合はS-5、10mm未満の場合、S-3評価になる。表－８の各管の健全度は、中流管（No.２）と下流管（No.３）は、健全度がS-3の評価になる。しかし、ＰＣ管は、補修・補強が困難であるため、事実上、余寿命は０年で更新する必要があるという評価になった。

(7) 余寿命予測

農業水利施設の機能保全の手引き「パイプライン」⁹⁾ P57には、ＰＣ管のカバーコートの劣化や

③ 材料の劣化要因から部材の劣化特性を考慮して推計
 ＰＣ管におけるカバーコートモルタルの劣化や鋼管の肉厚など、劣化の特性が直接計測により把握可能な場合には、これらを用いて性能低下予測を行う。



図－５ 管内の摩耗の事例

表－７ ＰＣ管の施設状態評価

健全度ランク			S-5	S-4	S-3	S-2
管外面調査	試験調査	PC管外観調査(中性化残り)	中性化残り10mm以上	－	中性化残り又はカバーコート厚10mm未満	PC鋼線腐食・破断

鋼管の肉厚等測定による性能予測例として、図－５の直線の予測式が示されているが、これは、管内の摩耗の事例である。

侵食性遊離炭酸による劣化深さは、川東等¹¹⁾の汚泥処理施設の処理水に長期浸漬した実験によって、コンクリートが遊離炭酸の経年積算（x：ppm・年）の(1)、(2)式（ $\sqrt{t}$ 則）に従うことが確認されている。

水流有：Y=0.803 $\sqrt{X}$ －2.20 … (1)

水流無：Y=0.376 $\sqrt{X}$ －0.65 … (2)

また、後藤、根岸²⁾の試掘試験によってカバーコートも前述の式と同様に(3)式の $\sqrt{t}$ 則に従うことが確認されている。

Y₃=0.4465 $\sqrt{X}$ … (3)

ただし、Y₃：最大劣化深さ（mm）

このため、上流管（No.1）は、現在までの経過年数と劣化深さから、 $\sqrt{t}$ 則に則り余寿命（11年）を算出した。中流管（No.2）と下流管（No.3）は、非中性化領域が10mm未満のため、余寿命0年である。

3.6 土壌調査

土壌の腐食性の評価は、ANSI A-21.5による土壌の腐食性評価基準を使用した。ANSI A-21.5は、ANSI/AWWA C105/A21.5「Polyethylene Encasement for Ductile Iron Pipe Systems（ダクタイル鉄管類のポリエチレン装着）」であるポリエチレンスリーブの米国国家規格の付録の項に示されている。調査項目は、比抵抗（腐食電流の流れやすさ）、pH値、Redox電位（酸化還元電位：土壌の通気性の良否の判断）、水分および硫化物（腐食反応に寄与するもの）の有無であり、その評価を点数化し、その合計点数が10点以上になれば腐食性の土壌と判断して、ポリエチレンスリーブ法により防食対策を考慮することとされている。

試掘管の管周辺の土は、このANSI A-21.5の評価

では合計点数が1点であり、P C管の破損に至る可能性がある土壌とは言えなかった。

また、塩酸、硫酸、硝酸は低濃度で、有機酸は検出限界未満であり、カバーコートを劣化させる物質は含まれていなかった。

3.7 水質調査

(1) 侵食性遊離炭酸とランゲリア指数による劣化の指標

ランゲリア指数とは、水の腐食性と炭酸カルシウム（以後、CaCO₂）皮膜形成の目安とされている。ランゲリア指数がプラスの値で数値が大きい程、CaCO₂の析出が起こり易く非腐食性になる。ゼロであればCaCO₂の析出も溶解もしない平衡状態にあり、マイナスの値ではCaCO₂皮膜は形成されにくく、その絶対値が大きくなるほど水の腐食傾向は強くなる。一般的には、ランゲリア指数は、鋼材の腐食性の指標となるもので、水質基準では、－1.0以下で腐食性と判定している。辻本¹²⁾は、塩酸、硫酸、硝酸が低濃度で腐食の問題がない環境において、侵食性遊離炭酸20mg/ℓ以上、ランゲリア指数が－2.0以下でP C管の破損事例を報告している。

表－9 ANSI A21.5による土壌の腐食性評価基準

測定項目	測定値	点数
比抵抗（Ω・cm）	< 1500	10
	1500～1800	8
	1800～2100	5
	2100～2500	2
	2500～3000	1
	測定値 38,000～86,000 > 3000	0
pH 値	0～2	5
	2～4	3
	4～6.5	0
	測定値 6.8～7.5 6.5～7.5	0*
	7.5～8.5	0
Redox 電位（mV）	> 8.5	3
	> 100	0
	50～100	3.5
	0～50	4
	測定値 391～456 < 0	5
水分	排水悪く常に湿潤	2
	排水良く一般に湿っている	1
	排水良く一般的に乾燥している	0
硫化物	検出	3.5
	測定下限値未満 検出なし	2

* 硫化物が存在し、Redox 電位が低いとき（100mv 以下）は 3 点を加算する。
合計点が 10 点以上のときは、鑄鉄管に対して腐食性であるので防食方法を考慮すること。

表－8 施設状態評価と余寿命予測

調査管	測定値	最大値	平均値	最小値	健全度	余寿命	耐用年数	CO2濃度
上流管(No.1)		21.53	16.02	11.47	S-5	11年	42年	0.90%
中流管(No.2)		12.73	9.27	2.64	S-3	10mm未満のため寿命0年	31年未満	8.00%
下流管(No.3)		15.58	13.02	5.50	S-3			12.00%

(2) 採水場所

過年度調査では試掘地点の400m下流で管周辺に地下水があり水質分析を行っている。また、今回の調査では、管周辺に地下水がなかったため、斜面沿いに湧水を探し、斜面の法尻に湧水を確認し、採水を実施した。

表－10 地下水の分析結果

試料採取箇所 分析項目	既往調査 管周辺地下水	本調査 谷側の湧水
ナトリウムイオン(mg/ℓ)	5.5	4.9
カリウムイオン (mg/ℓ)	1.0	0.6
カルシウムイオン(mg/ℓ)	－	3
マグネシウムイオン(mg/ℓ)	1.7	1.66
二価鉄(mg/ℓ)		<0.05
硫酸イオン(mg/ℓ)	8.7	5.38
硝酸イオン(mg/ℓ)	<0.1	0.17
塩化物イオン(mg/ℓ)	8.5	7.4
侵食性遊離炭酸(mg/ℓ)	21	13.6
ランゲリア指数	-3.8	-2.56
酢酸(mg/ℓ)	－	<1
酪酸(mg/ℓ)	－	<1
乳酸(mg/ℓ)	－	<1
シュウ酸(mg/ℓ)	－	<1
クエン酸(mg/ℓ)	－	<1
水素イオン濃度(pH)	6.1	6.9

(3) 水質分析結果

本調査の土壌調査と谷川の湧水の分析等から硫酸、硝酸、塩酸、有機酸（酢酸、酪酸、乳酸、シュウ酸、クエン酸）による化学的侵食の可能性が低いことが分かった。

また、前述の事例と比較すると、既往調査の管周辺の地下水は、侵食性遊離炭酸が21mg/ℓ(>20mg/ℓ)、ランゲリア指数が-3.8(<-2.0)であることから、P C管の化学的腐食の原因は、侵食性遊離炭酸である可能性が高いことが分かった。

3.8 管体化学試験

(1) 試験試料

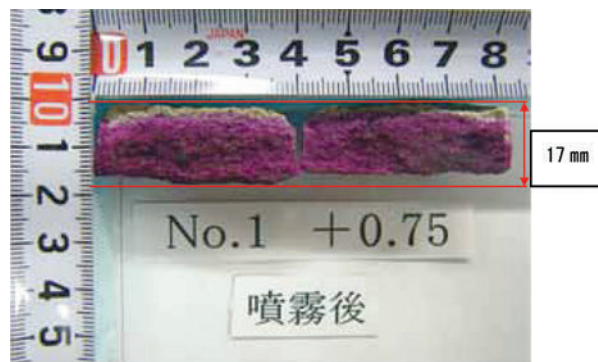
CO₂濃度の高い地点で試掘した管の劣化度合いを確認するため、P C管の新管を製作して、両試料の管体化学試験結果（中性化試験、E PMA、蛍光X線分析、粉末X線回折）を比較する。また、管体化学試験結果と試掘調査結果を基に劣化深さを示す。

(2) 中性化試験

製作直後のP C管の中性化深さは0.0mmと見なすが、製造後31年経過した上流管（No. 1）の管上流側から0.75m地点の中性化厚さは1.9mmであった。なお、写真－8のように試掘管の表面部分までの劣化が進み、写真－9のようにカバーコート厚（P C線までのかぶり厚さ）は、施工当初の30mmに対し17mm（中性化深さ1.9mm含む）になっていた。



写真－8 試料外側表面の状況



写真－9 割裂面の呈色状況

製作直後のP C管のカバーコートは、モルタルを吹き付けるため、管の色は灰色であるが、掘削管の表面は写真－8のように茶褐色である。この茶褐色の部分は、写真－9のフェノールフタレイン溶液で呈色していない部分に当たり、外観調査では、ほぼ骨材のみの状況であり、明らかにCaの溶出が確認できた。Caの溶出が認められる部分は、ほとんど強度が無いと判断される。

(3) EPMA

中性化厚さと溶出領域でCaが減少している。

1) Ca (カルシウム) の溶出

中性化厚さと溶出領域でCaが減少している。

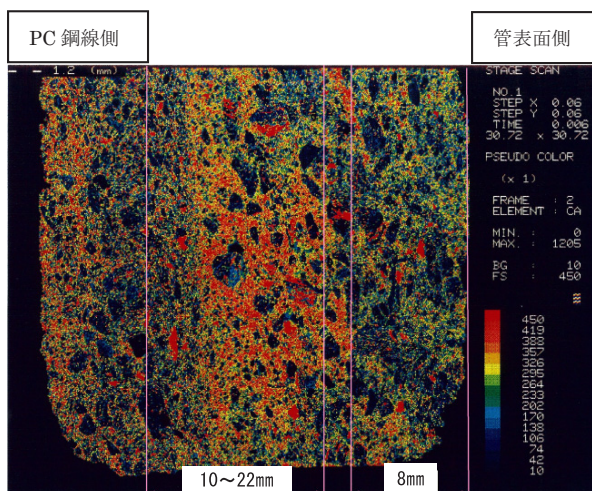


写真-10 製作直後の管 Ca (カルシウム)
カラーマッピング 表面0~8mmやや薄い、
10~22mm濃い

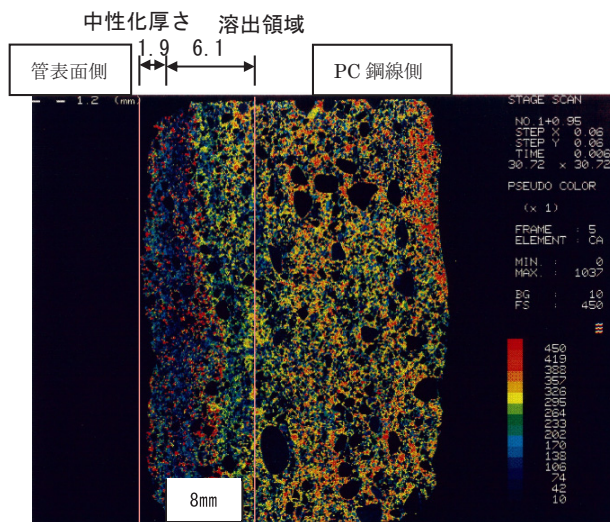


写真-11 掘削管 Ca (カルシウム)
カラーマッピング 0~8mmまで薄い
中性化厚さ1.9mm、溶出領域6.1mm

2) Mg (マグネシウム) の溶出

Mgは、Caよりやや遅れて溶出している可能性が高い。

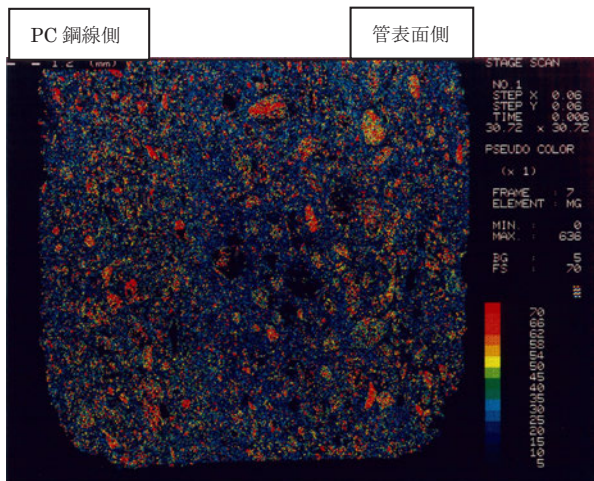


写真-12 製作直後の管 Mg (マグネシウム)
カラーマッピング ほぼ一様に分布

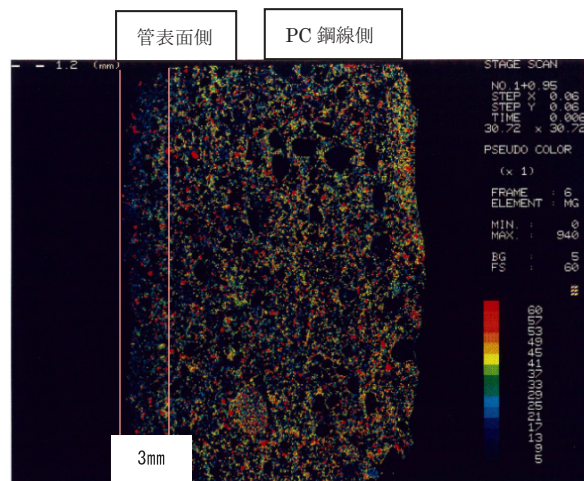


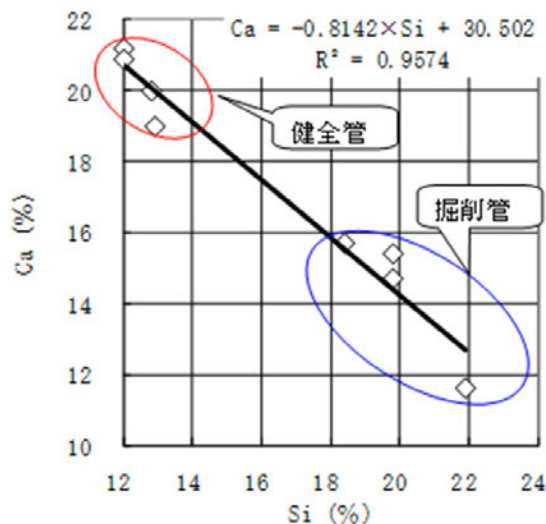
写真-13 掘削管 Mg (マグネシウム)
カラーマッピング 0~3mmまで薄い

3) その他の元素

S (硫黄) などの有害元素の増加は確認できなかった。

(4) 蛍光X線分析の結果

健全管に対し掘削管は、図-6に示すとおり、Si含有量が約1.6倍、Caは逆に約0.7倍である。このことから掘削管からCaが溶出し、骨材由来のケイ素が残っていることが分かる。



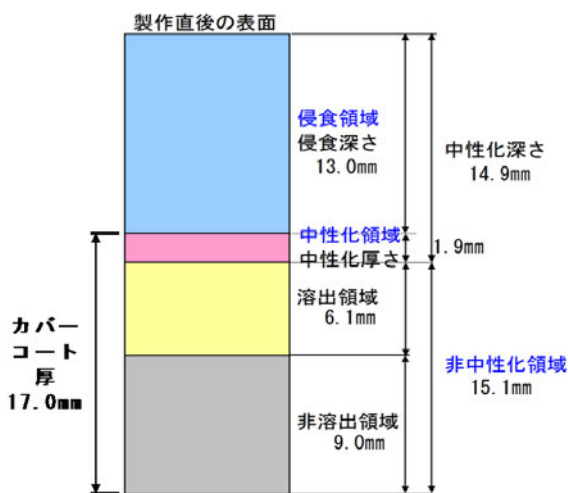
図－6 CaとSiの関係

(5) 粉末X線回折の結果

健全管の CaCO_3 (15～20%) と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (12.5～25%) に対し、掘削管は CaCO_3 (2.5～7.5%) と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (2.5%) と大幅に少なくなっていることからCaが溶出していることが分かる。

(6) 被り厚さの劣化領域区分

上流管 (No. 1) のNo. 1 + 0.75地点において採取した試料の被り厚さは、上流管の1 mメッシュの調査点の平均値19.06mmに対し、17mmであった。この試料を劣化深さの定義に沿って、図－7のように各領域区分を行うと、非中性化領域 (フェノールフタレイン溶液の呈色反応範囲) 15.1mmであり、さらに細分すると健全な非溶出領域は、9.0mm、溶出領域は6.1mmであった。



図－7 上流管No. 1 + 0.75の領域区分

3.9 考 察

(1) 簡易ガス調査の有効性

下記の観点から、安価で容易な簡易ガス調査は、P C管やコンクリート構造物の劣化を探る有効な調査であると判断される。

- ① 簡易ガス調査で CO_2 濃度が高い部分から試掘した管の劣化が顕著である。
- ② 簡易ガス調査で CO_2 濃度の低い部位の上流管は、標準耐用年数 (40年) 相当であり、一般的な環境下の物と同等であった。しかし、 CO_2 濃度が高い部位からの中流管と下流管は、侵食性遊離炭酸による劣化が進行し、耐用年数が31年未満になっていた。

(2) 試掘調査・分析の結果

下記の観点から、侵食性遊離炭酸によるカバーコートの劣化や、土中の二酸化炭素が雨水 (浸透水) へ溶解込むことにより侵食性遊離炭酸が生成され劣化に起因すると推測される。

- ① 水質調査、土壌調査の結果から侵食性遊離炭酸以外の劣化因子がみいだせない。
- ② 管体科学調査の結果、セメント生成物 (CaとMg) の溶出が確認でき、その他の有害物質がカバーコートに残っていない。
- ③ 管外面調査から、カバーコートの劣化範囲の形状が、土中の重力水が管頂から降り注いだように管体の上部表面に確認された。

4. 最後に

水に溶ける遊離炭酸は、「おいしい水」の水質要件として3～30mg/ℓの記載¹³⁾があるが、遊離炭酸が多い場合には、水道施設ではコンクリートや管路の維持管理の観点からエアレーション、アルカリ処理等の対策によって、その濃度を20mg/ℓ以下にする。また、下水処理場終末処理システムにおける10年以上の暴露試験に係る川東等の論文¹¹⁾では、遊離炭酸 (30mg/ℓ前後) の環境において、①コンクリートは中性化により質量は減少するが、②エポキシ樹

脂は、その中性化に対し腐食の抑制効果がある、と報告されている。

しかし、農業用水や多くの農業用施設は遊離炭酸への対応を行っていないことから、今後はPC管だけではなく、土中に構築された種々のコンクリート構造物の長寿命化のため、機能診断調査に侵食性遊離炭酸の存在の確認と、その対策についての検討も必要と考える。その際、簡易ガス調査は簡単な器具を使用し、歩行による移動も容易で経済的な調査であることから、大掛かりな試掘調査を行う前に、現地踏査等に採用することが望ましいと考える。

(NTCコンサルタンツ㈱)

引用文献

- 1) 水島淑博・伊藤保裕・小泉和広・毛利栄征：劣化PC管の調査・診断手法の検討 農業農村工学会全国大会講演要旨集PP436-437 2008
- 2) 後藤秀樹・根岸将也：PC管カバーコートモルタルの化学的腐食に関する考察 平成27年農業土木北海道 第37号pp15-23
- 3) 根岸 将也・後藤 秀樹・伊藤 廣志・梶原 義範：遊離炭酸による侵食を受けるPC管カバーコートモルタルの劣化評価 平成20年度農業農村工学会大会
- 4) 取違剛・横関康祐・根岸将也・後藤秀樹・小澤勝幸・伊藤廣志：地下水中の遊離炭酸がモルタルの劣化に及ぼす影響 平成20年度農業農村工学会大会講演会
- 5) 藤川智紀：耕盤を有する農地土壌中のCO₂とO₂の挙動 土壌の物理性 No.94、p 41～43 (2003) 土壌物理学会
- 6) 岐阜市椿洞地区表層調査結果報告書 信州大学工学部 平成16年 9月26日
- 7) 伊藤洋・山田百合子：土壌中のCO₂濃度のリアルタイム測定 土木学会第65回年次学術講演会 (平成22年 9月)
- 8) 久田真・皆川浩・寺川明日美・納口今日恭太郎：硫酸が作用するセメント硬化体の劣化進行に関する研究 土木学会論文集 Vol.64 No.3、389-399, 2008.7
- 9) 農業水利施設の機能保全の手引き「パイプライン」 監修農林水産省農村振興局整備部水資源課施設保全管理室 pp57
- 10) 2012年制定 コンクリート標準示方書 [設計編]p146 公益法人 土木学会
- 11) 川東龍夫・鈴木宏信・宮川豊章・藤井学：酸素活性汚泥処理法を用いた下水施設におけるコンクリートの腐食メカニズム 土木学会論文集 No.599/V-40 20-39 1998.8
- 12) 辻本昌弘・小川亘・上島奈美子；コア式プレストレストコンクリート管の調査・診断手法の検討 独立行政法人 水資源機構HPより
- 13) 昭和60年厚生省の「おいしい水研究会」からの提言

コンクリート柵渠水路の設計について ～比較的規模の大きい排水路の事例～

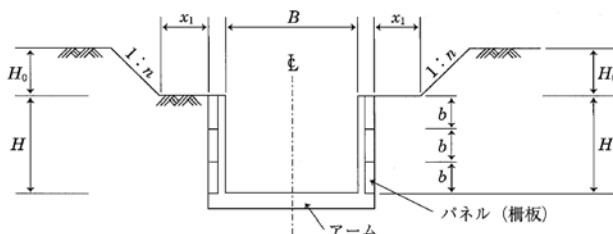
和田 洋之

1. はじめに

本報告では、畑作地帯に新設したコンクリート柵渠型排水路の設計事例について紹介する。

2. コンクリート柵渠水路の概要

コンクリート柵渠水路は、鋼材を用いて加工された親柱（土留め枠または支柱）とプレキャストコンクリートとして製造されたパネル（柵板または土留板）の部材を現場で組合わせて構築する水路である（図－1）。



図－1 コンクリート柵渠水路の概念図

（土地改良事業計画設計基準 設計「水路工」 H13. 2より）

土地改良事業計画設計基準 設計「水路工」（H26. 3 農林水産省農村振興局、以下「設計基準水路工」と記載）では、プレキャストコンクリート水路の1種類として「鉄筋コンクリート組立柵きよ（通称 プレハブ水路又は組立水路）」として記載されている。

また、排水路計画設計技術指針（H25. 3 北海道開発局農業水産部、以下「排水路指針」と記載）では、コンクリート板柵渠工の名称で記載されており、施設用地の軽減を図る場合や、軟弱地盤地帯において地盤沈下が予想される場合に用いることがあるとされている。

また、用排水路設計指針（H26. 4 北海道農政部、以下「用排水路指針」と記載）では、コンクリート

柵渠の名称で記載されており、軟弱地盤に対応可能な可動性を有した構造を持ち、水路断面を小さくして農用地の有効利用を図ることができるものとされている。

北海道内では、「排水路指針」や「用排水路指針」に記載があるように、軽量であることの利点を生かし、石狩川流域等の泥炭性軟弱地盤の排水路に古くから広範囲にわたって用いられてきた水路形式である。

しかし、これまでの適用例は比較的小規模な排水路が多く、例えば改訂前の「設計基準 水路工」（H13. 2版）では、標準設計図面集における鉄筋コンクリート組立柵きよの適用範囲を表－1のように規定しており、水路幅3.0m、水路高さ1.2mが最大となっている。また「用排水路指針」では、コンクリート柵渠水路の構造検討手法を記載しているが、同指針でも柵渠法長の上限は概ね2.0mまでを想定したものである。

本事例では、これまでの適用事例に比べて規模の大きいコンクリート柵渠水路の設計を行ったので、本報告でこれを紹介する。

表－1 鉄筋コンクリート組立柵きよの適用範囲

（単位：mm）

$B \backslash H$	400	500	600	900	1, 200
400					
500					
600					
800	適				
1, 000		用			
1, 200			範		
1, 400				囲	
1, 600					
1, 800					
2, 000					
2, 500					
3, 000					

注) 着色部分は標準設計図面集で検討している範囲

B ：水路底幅

H ：水路高さ

（土地改良事業計画設計基準 設計「水路工」 H13. 2より）

3. 本事例の設計条件

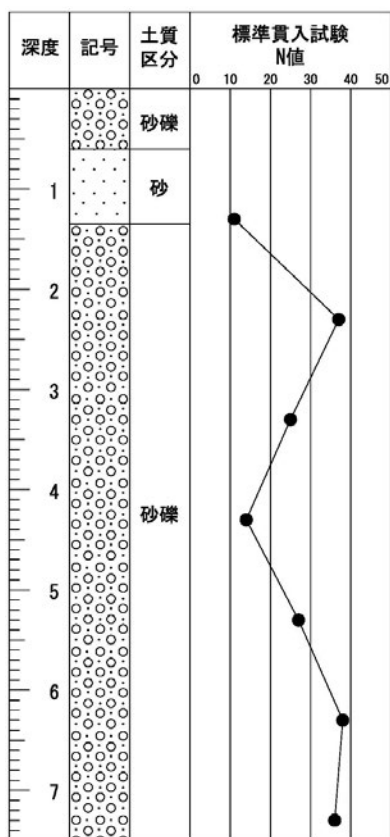
3.1 地域概要

本事例の設計対象となった地域は、タマネギを主体とする畑作地帯である。従前は排水路が整備されていなかった地域であるが、近年の降雨量や排水量増加に伴い湛水被害が頻発するようになったため、排水路の新設整備が計画されたものである。本報告ではこの排水路の下流区間約1.5kmの設計事例を紹介する。

3.2 土質条件

設計対象となった排水路位置の土質は、大部分が砂礫層となっており、標準貫入試験結果（N値）でN=10以上が得られる土質条件である（図－2）。

これまでコンクリート柵渠水路が多く用いられている軟弱地盤地域とは異なり、排水路造成の基盤としては十分な支持地盤が存在する状況であった。

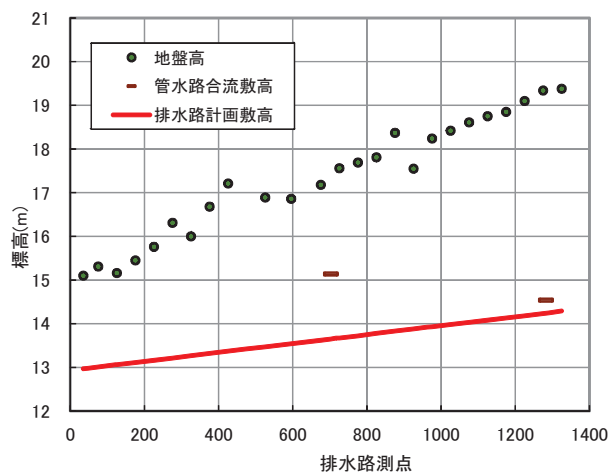


図－2 対象地域の土質条件

3.3 縦断条件

本排水路には合流する複数の管水路（排水路）が計画されており、本排水路はこれらの管水路が合流可能である必要があった。

そのため管水路の合流敷高から本排水路の計画河床高が定まっており、設計条件となる水路高は最大で約5.0mと比較的切深が大きい水路条件である（図－3）。



図－3 本排水路の縦断条件

3.4 水路タイプ・構造型式

本排水路の水路タイプは、地形的制約のなかで排水路切深2.0～5.0mに対応可能なタイプとして、擁壁型水路（法勾配なし）が設計条件となった。

設計に先だってコンクリートフルーム、コンクリート柵渠、鋼矢板水路の3種類の擁壁型水路の比較検討を行い、経済性に優れたコンクリート柵渠水路を構造型式に採用した設計を行うこととなった（表－2）。

表－２ 水路構造型式の比較選定結果

構 造	鋼矢板水路	コンクリート柵渠水路	鉄筋コンクリート水路
模式図			
特 徴	土中に打込んだ鋼製矢板により背面土圧に抵抗し、法面を保護する水路構造。施工時には、まず鋼製矢板を打ち込みを行った後、上部から順に水路内の掘削や横梁の設置を行う。	鋼製の親柱とコンクリート柵板を組み合わせる背面土圧に抵抗し、法面を保護する水路構造。施工時には水路設置に必要な範囲の仮掘削を行った後、親柱・柵板の設置、背面土の埋め戻しを行う。	鉄筋コンクリートの側壁と底板が構造的に一体となって、土圧・水圧等の荷重を支持する水路構造。施工時には打設に必要な範囲の仮掘削を行った後、コンクリート打設、背面土の埋め戻しを行う。
工事費	6,000(千円/10m)	4,900(千円/10m)	6,600(千円/10m)
評 価		○	

※ 検討条件：水路切深 5.0m、擁壁高 4.0m、水路敷幅 3.0m

※ 鋼矢板水路及びコンクリート柵渠水路は、維持管理に支障ない位置に横梁を設ける形式とした

4. 本事例の設計内容

4.1 細部条件

(1) 根入れ

「排水路指針」では一般的な排水路の基礎工根入れを設計河床高よりおおむね0.5mと規定しているが、コンクリート柵渠水路の基礎工根入れに対する明確な記述はない。しかし、排水路の河床について、「様々に変化する流水のエネルギーに応じて洗掘堆積を繰り返ししながら休みなく移動する」、という基本的な考え方を記載している。

このため、コンクリート柵渠水路についても河床が変動すると考え、設計河床高から0.5mの基礎工根入れを確保する設計とした（図－4 参照）。

(2) 裏込砂利

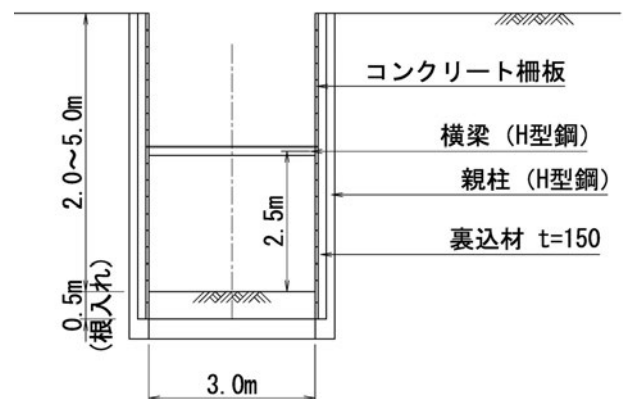
これまでのコンクリート柵渠水路の施工事例では、背面排水対策として15cm～30cmの裏込砂利が施工されてきたが、近年では裏込砂利を15cmとして施工することが一般的となっている（「排水路指針」より）。本排水路はこれまでの施工事例にない規模のコンクリート柵渠水路であるが、土質条件が砂礫土であり埋め戻し土の透水性も高いことから、近年施工事例の多い15cmの裏込砂利を設ける設計とした（図－4 参照）。

(3) 横梁

本事例では工事費縮減策として、コンクリート柵渠水路に横梁を設ける構造を採用した。採用にあたっては、以下の課題が考えられた。

課題① 農業事業は1/10年確率の洪水に対して整備を行うため、計画規模を超過する洪水が生じる恐れが十分にある。横梁を設けると計画超過洪水により排水路の破損等を生じる恐れがある。

課題② 未舗装の農地からの排水を受け持つため、洪水時の土砂流入が不可避であり、定期的な土砂撤去を行う必要がある。横梁を設けると縦断的な土砂撤去作業の妨げになる恐れがある。



図－4 本排水路の標準断面図

これらの課題は本事例に限ったものではなく、一般的な農業用排水路にも該当する課題である。

本事例ではこれらの課題について、以下に示す設計を行うことで解決し、横梁を設けた構造を採用することとした（図－４参照）。

解決策① 横梁の設置位置は、排水本川である河川の計画規模（１／５０年確率規模）の洪水位よりも高い位置とする。

解決策② 地域で利用可能（レンタル可能）なミニバックホウが、排水路内を縦断的に走行可能な横梁の設置高を確保する。ただし、ミニバックホウの水路内への吊り下ろしと土砂の搬出のため、横梁を設けない区間も一部に確保する。

上記①と②の双方を満たす横梁の設置位置として計画河床から２．５ｍの高さを設定し、水路高３．０ｍ以上の区間で経済的に優れている横梁を設ける方式を採用した（表－３参照）。これにより横梁を設けない場合に比べ、約１．５ｋｍの設計区間で約１億円の工事費の削減が可能となった。

表－３ 横梁設置による排水路工事費の削減

水路規模	延長単価(千円/10m)		採用タイプ
	横梁あり	横梁なし	
水路高2m	採用不可	4,100	横梁なし
水路高3m	4,400	4,900	横梁あり
水路高4m	4,900	6,900	横梁あり
水路高5m	5,300	9,700	横梁あり

4.2 構造設計

コンクリート柵渠水路の標準的な構造設計手法は「用排水路指針」に記載されている。本事例では同指針に記載された手法を基本としつつ、以下に示すような方法で設計を行った。

(1) 荷重条件

コンクリート柵渠水路の構造設計にあたっては、水路壁に作用する水平土圧のほか、積雪荷重や上載荷重を考慮した検討を行った。

1) 積雪荷重 (q_s)

積雪荷重は、地域の１０年確率最大積雪深１．３ｍに単位重量３．５ｋＮ／ｍ³を乗じた値とし、４．６ｋＮ／ｍ²を載荷して検討を行った。ただし、後述する自動車荷重と比較して大きい方を採用した。

2) 上載荷重 (q_w)

コンクリート柵渠の背面の上載荷重は、フリューリッヒの地盤応力の理論を応用し、モーメント換算により求めた。

ア) 水路背面の台形盛土荷重

水路背面の台形盛土荷重は、以下に示す式により、盛土高及び仮想距離に応じた換算係数を算定し、水路背面上の等分布荷重に換算して検討を行った。

$$q_w = \gamma \cdot H_0 \cdot I_w$$

$$I_w = \left[1 + \left(\frac{X}{H} \right)^2 - \frac{2}{\pi} \left\{ 1 + \left(\frac{X}{H} \right)^2 \right\} \tan^{-1} \left(\frac{X}{H} \right) - \frac{2}{\pi} \left(\frac{X}{H} \right) \right]$$

q_w : 盛土荷重の換算等分布荷重 (kN/m²)

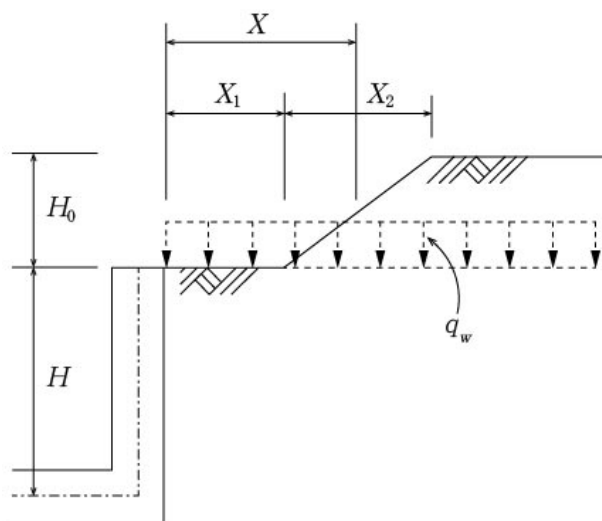
γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)

H_0 : 盛土高 (m)

I_w : 等分布荷重換算係数

X : 仮想距離 ($X = X_1 + \frac{1}{2} X_2$) (m)

H : 壁高＋底版厚／２ (m)



図－５ 台形盛土荷重の換算

イ) 水路背面に作用する自動車荷重 (q_Q)

水路背面に作用する自動車荷重は、以下に示す式により、壁背面から自動車荷重の作用位置までの離れ距離に応じた換算係数を算定し、水路背面上の等分布荷重に換算して検討を行った。

$$q_Q = Q \cdot I_w$$

$$I_w = \left[1 + \left(\frac{X}{H} \right)^2 - \frac{2}{\pi} \left\{ 1 + \left(\frac{X}{H} \right)^2 \right\} \tan^{-1} \left(\frac{X}{H} \right) - \frac{2}{\pi} \left(\frac{X}{H} \right) \right]$$

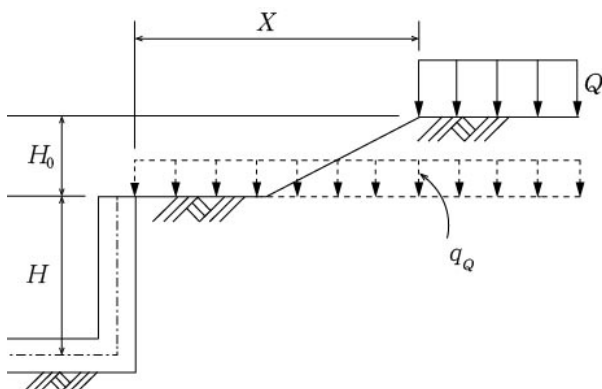
ただし、 $X \geq (H + H_0)$ のときは $q_Q = 0$

q_Q : 換算等分布荷重 (kN/m^2)

Q : T 荷重/車両占有面積 (kN/m^2)

I_w : 等分布荷重換算係数

X : 壁背面からの荷重の作用する位置までの距離 (m)



図－6 自動車荷重の換算

(2) 柵板設計

1) 柵板の設計曲げモーメント

柵板の設計曲げモーメントを表－4に示す。

本事例では、「用排水路指針」に記載のあるSP-1～SP-4の規格品では強度が不足するため、特注品として設計曲げモーメント値の大きい柵板を製作して用いる設計とした。

表－4 柵板の設計曲げモーメント

柵板名称	設計曲げモーメント ($\text{kN} \cdot \text{m/m}$)	備 考
SP-1	3.43	
SP-2	5.69	
SP-3	7.85	
SP-4	10.79	
特注	14.60	

2) 柵板の使用限界深さの算定

柵板の使用限界深さは、「用排水路指針」を参考に、以下式を用いて求めた。

$$H' = \frac{8 \cdot Ma}{\gamma \cdot Ka \cdot B^2} - h$$

$$Ka = \frac{\cos^2 \phi}{(1 + \sin \phi)^2}$$

$$h = \frac{q_s + q_w + q_Q}{\gamma}$$

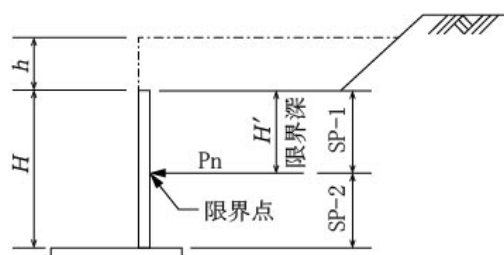
H' : 柵板の仕様限界深さ (m)

Ma : 柵板の設計曲げモーメント ($\text{kN} \cdot \text{m/m}$)

Ka : 土圧係数

ϕ : 土の内部摩擦角 ($^\circ$)

h : 上載荷重換算高 (m)



図－7 柵板の使用限界深さ

(3) H型鋼（親柱）設計

1) H型鋼の許容最大抵抗曲げモーメント

コンクリート柵渠水路に用いるH型鋼の許容最大抵抗曲げモーメントは、「用排水路指針」に記載されている。しかし本事例のように規模の大きい柵渠を対象としたH型鋼については記載がない。このため同指針と同様の算定方法により、H型鋼の許容最大抵抗曲げモーメントを表－5のように設定した。

なお算定にあたっては、錆代として両面で2.0mmを控除した断面で検討を行った。

表－5 H型鋼の許容最大抵抗モーメント

H型鋼寸法	許容抵抗モーメント M(kN・m)	備 考
100×100×6×8	7.56	
198×99×4.5×7	14.27	
200×100×5.5×8	17.63	
248×124×5×8	27.10	
250×125×6×9	32.40	
298×149×5.5×8	40.57	
300×150×6.5×9	48.30	
350×175×7×11	82.36	
400×200×8×13	130.75	

2) H型鋼の選定（横梁を設けない場合）

側柱に生じる外力モーメントは底梁との接合部で最大となり、その大きさは以下式で算定できる。この曲げモーメントが許容最大抵抗曲げモーメント以内となるH型鋼を選定した。

$$Mc = \frac{1}{6} \cdot \gamma \cdot Ka \cdot B \cdot (3h + H) \cdot H^2$$

Mc : 側柱に生じる最大曲げモーメント
(kN・m)

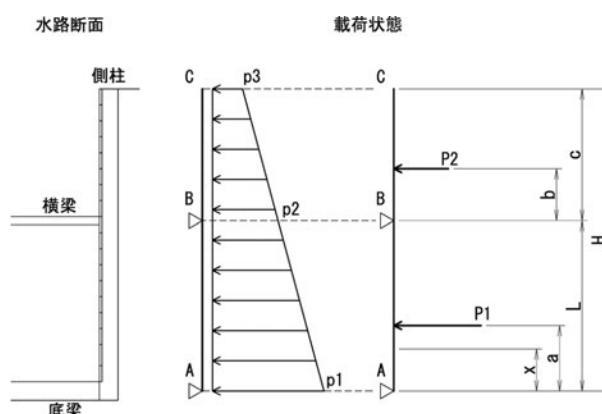
B : 親柱間隔 (m)

γ 、 Ka 、 h 、 H : 柵板設計の項に同じ

3) H型鋼の選定（横梁を設ける場合）

横梁を設けたコンクリート柵渠水路の構造計算手法は「用排水路指針」には記載されておらず、以下に示す方法で検討を行った。

横梁を設けた場合のコンクリート柵渠の側柱は、図－8に示すような載荷状態であると考えられる。またその構造は、底梁と側柱の接合点（A点）と、横梁と側柱の接合点（B点）の2点でピン支持され、側柱頂部（C点）に向かって突き出た形の梁構造である。



図－8 側柱に載荷される加重

このような側柱に生じる曲げモーメントは、分布加重を合力換算したうえで（図－8参照）、以下式によって算定した。

○加重強度

$$p1 = \gamma \cdot (h + H) \cdot Ka \cdot B$$

$$p2 = \gamma \cdot (c + h) \cdot Ka \cdot B$$

$$p3 = \gamma \cdot h \cdot Ka \cdot B$$

○合力算定

$$P1 = \frac{p1 + p2}{2} \cdot L, \quad a = \frac{p1 + 2p2}{3(p1 + p2)} \cdot L$$

$$P2 = \frac{p2 + p3}{2} \cdot c, \quad b = \frac{p2 + 2p3}{3(p2 + p3)} \cdot c$$

○AB間の曲げモーメント

$$M1 = \frac{L-a}{L} \cdot x \cdot P1 - \frac{b \cdot x}{L} \cdot P2 \quad (0 \leq x \leq a)$$

$$M2 = \frac{(L-x)}{L} \cdot a \cdot P1 - \frac{b \cdot x}{L} \cdot P2 \quad (a \leq x \leq L)$$

○BC間の最大曲げモーメント (B点)

$$M3 = b \cdot P2$$

$p1 \sim 3$: A、B、C点における荷重強度(kN)

$P1$: AB間の分布荷重の合力(kN)

a : $P1$ の作用位置 (A点からの距離)(m)

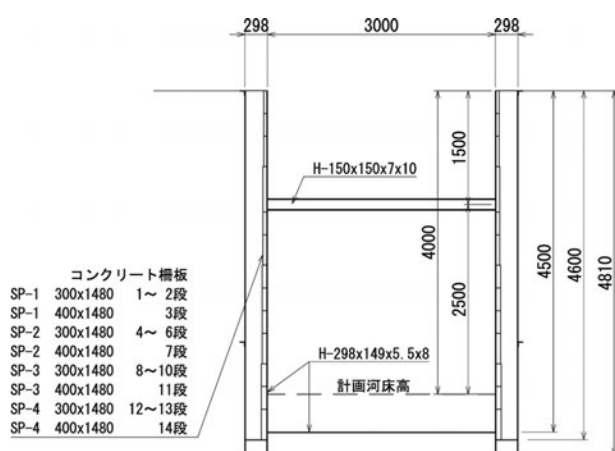
$P2$: BC間の分布荷重の合力 (kN)

b : $P2$ の作用位置 (B点からの距離)(m)

L : 底梁から横梁までの距離(m)

c : 横梁から側柱頂部までの距離(m)

親柱の設計に当たっては、上記に示した側柱に加わる曲げモーメントM1～M3の最大値を算定し、算定値が許容最大抵抗曲げモーメント以内となるH型鋼を選定した。



図－9 部材選定結果（水路高4.0mの例）

4.3 施工方法

本事例ではこれまでのコンクリート柵渠水路の施工例に比べて水路高が大きいので、その施工方法を考案した。水路高が高い（親柱の高さ4m以上）場合は、親柱を上下に分割したうえで、図－10に示す手順で施工を行う設計とした。

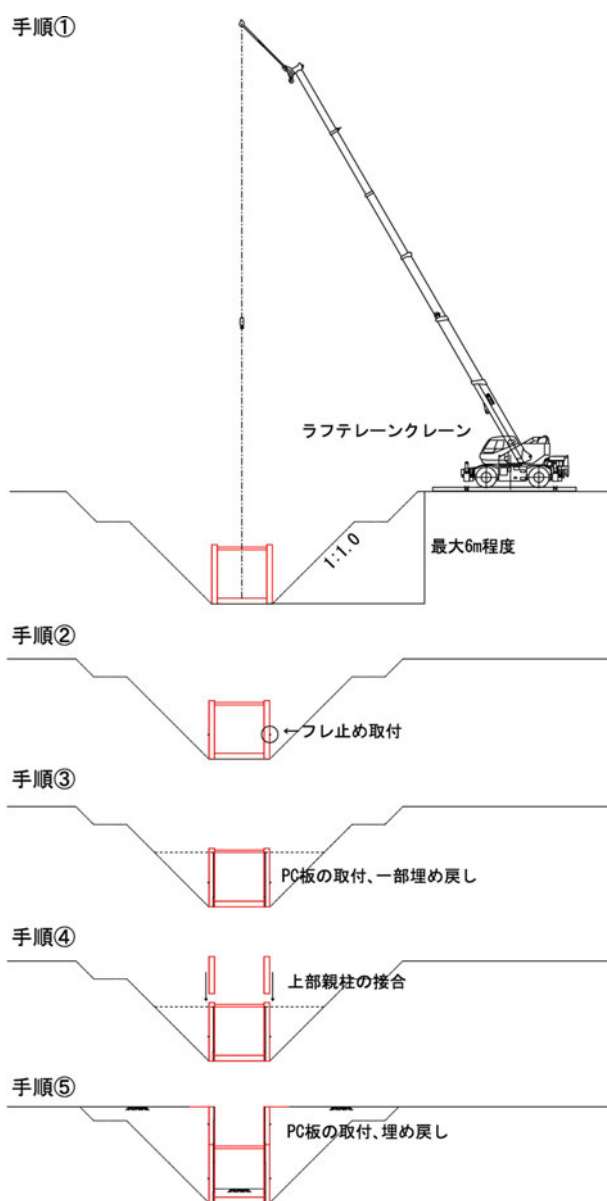
手順1 底梁から横梁部分までの親柱を、予め地上で組み立てた後、クレーンを用いて所定の位置に配置する。

手順2 転倒しないよう前後の親柱をフレ止めで接合しながら、縦断的に親柱を順次施工する。

手順3 横梁の深さまでPC板を設置しながら背面土を埋め戻す。

手順4 横梁より上部側の親柱を接合する。

手順5 PC板を設置しながら天端まで背面土を埋め戻す。



図－10 コンクリート柵渠水路の施工手順

5. 施工後の状況

本事例の施工後の写真を図－11～図－13に示す。図－11は水路高2.0mの横梁を設けない区間、図－12と図－13はそれぞれ水路高3.0mと4.0mで横梁を設けた区間である。設計区間の施工が完了し下流区間から供用が開始されている状況である。



図－11 施工後写真（水路高2.0m区間）



図－12 施工後写真（水路高3.0m区間）



図－13 施工後写真（水路高4.0m区間）

6. 終わりに

本報告では、これまであまり適用例のない規模のコンクリート柵渠水路の設計事例を紹介した。

コンクリート柵渠は擁壁型水路のなかでも比較的軽量で、かつ経済性に優れるという利点があるため、これからも排水路に広く採用される可能性があると考えられる。その設計の際に本報告が参考になれば幸いである。

(株)ドーコン

参考引用文献

- ・土地改良事業計画設計基準 設計「水路工」
(H26. 3 農林水産省農村振興局)
- ・土地改良事業計画設計基準 設計「水路工」
(H13. 2 農林水産省農村振興局)
- ・排水路計画設計技術指針
(H25. 3 北海道開発局農業水産部)
- ・用排水路設計指針
(H26. 4 北海道農政部)

農道橋調査設計における三次元モデルの導入

高橋 秀之

1. はじめに

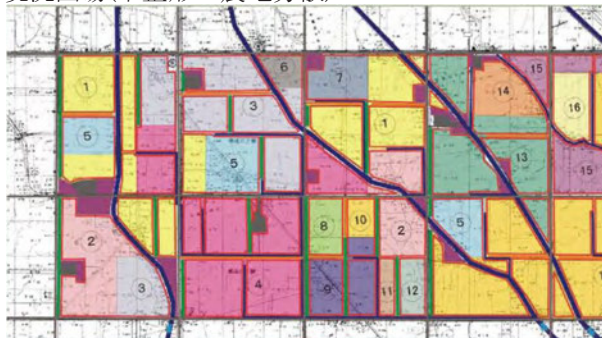
本業務箇所である鹿追町は、十勝の北西部にあり、畑作・酪農が盛んな地域である。国営農地再編整備事業「中鹿追地区」では、“低コスト大規模畑作・酪農経営を目指す生産基盤づくりへのアプローチ”として、農地の分散解消と併せて不整形で分断された圃場を排水路や耕地防風林の再編による整形化及び大区画化を行い、コントラクター利用を核とした営農体制を確立し、労働力不足解消と生産コストの低減を図ることを目的として、下に示す各工種の工事による整備が進められている。本地区の事業概要は以下のとおりである。

- ① 関係町：鹿追町、音更町
- ② 受益面積：2,077ha
- ③ 受益戸数：72戸
- ④ 主要工事：区画整理（2,071ha）
農地造成（6ha）
道路4条 L=14.0km
排水路2条 L=2.5km
- ⑤ 主要作物：ばれいしょ、てんさい、豆類、小麦
野菜など

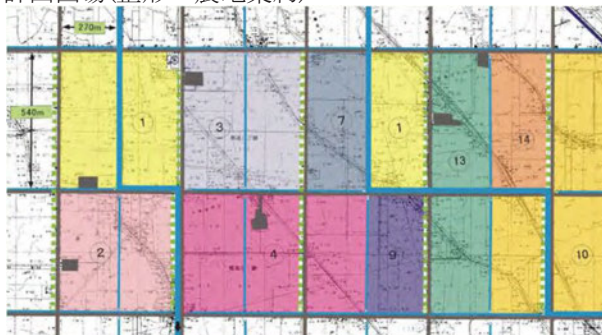


図－1 位置図 (nonscale)

現況圃場(不整形・農地分散)



計画圃場(整形・農地集約)



図－2 大区画化整備イメージ（出典：開発局HP）

2. 架け替え対象橋梁

対象となる農道橋は、鹿追町が管理する普通河川南1線川と交差する町道北3線に架かる「うづき橋」で、既設橋梁を取り壊し、国営農地再編整備事業により架け替える計画である。



写真－1 既存のうづき橋

3. 現地測量調査

(1) 測量データ三次元化への取り組み

2012年度に国土交通省より「CIM (Construction Information Modelingの略)」を推進普及させる方針が示された。CIM は、最新のICT技術を活用して建設生産システムの計画、設計、施工、管理の各段階において情報を共有することにより、効率的で質の高い建設生産システムを構築することを目指している。このため、調査設計段階から三次元データの共有を図ることにより、ミスや手戻りの大幅な減少、事業効率や経済効果に加え、よりよい施設整備・維持管理の向上が期待できるものである。

本業務では、設計対象箇所の現地路線測量の実施と併せて、橋梁実施設計時における仮設計画及び工事の際の支障物を考慮した施工計画の精度を高め、これから実施する工事のイメージをより分かりやすい形で共有しながら建設の生産性向上を目指し、当橋梁周辺の現況を全体的にかつ正確に捉えるべく、三次元レーザースキャナーによる計測を行い、三次元設計に反映させることとした。

(2) 三次元レーザースキャナーとは

三次元レーザースキャナーの一般的な定義は、「対象物の三次元座標データ（点群データ）を、自動的・規則的に、高速（1秒あたり数百ないし数千点）で、ほぼリアルタイムに取得する機器」とされ、表面形状を短時間で精密に計測できる優れた技術であり、計測対象物（今回の場合は橋梁地点前後の地形）がそのまま記録される。よって、同じ方法でさえ計測すれば、誰が計測しても均一なデータを取得できる普遍性があり、測量技術者による現況情報の収集・取得、現況図作成の知識、技量に左右される他の現況測量手法とは大きな違いがある。

(3) 三次元レーザースキャナー計測の特徴

トータルステーション等を使用した従来の地形

測量、写真測量と比較して、特に「大量データ取得」、「短時間」、「安全」、「正確」、「データの加工・保存」の点で優れている。

1) 大量データの取得

- ・大規模かつ複雑な形状の計測が可能である。
- ・一度に高密度な点群データを大量に取得。

2) 時間の省力化

- ・今回使用の機種は、1秒あたり8,000点もの点群データの取得が可能であり、測量時間を大幅に短縮できる。
- ・従来の測量に比べ格段に効率化が図れる。

3) 正確性

- ・従来のトータルステーションと同等の精度を有している。
- ・距離精度：10mm@50m

4) 安全性

- ・人が近づくことが困難な場所、危険地帯の計測に有効である。
- ・急傾斜地、崩壊地の形状計測に向いている。

5) データの加工・保存性

- ・任意の位置で断面図が作成できる。
- ・三次元モデルの作成が容易である。
- ・求めたい面積、体積の計算が容易にできる。
- ・二次元の平面図・立面図・断面図などCADデータへ容易に加工できる。

(4) 作動原理（図－3参照）

距離測定電子回路部①は、高速スキャナ用としてレーザー周波数、信号処理、データインターフェースなどで構成された装置である。レーザービーム②は、複数の反射面を持った回転ポリゴン③によって高速で角度が変化する。このポリゴンは、高速スキャン用途では、設定可能な速度で連続的に回転し、 $\theta = 80^\circ$ までの角度の一定方向のスキャニ

ングを行う。一方、低速スキャン用途及び小さなスキャン範囲の用途では、ミラーが上下方向に揺動する。これに対し、もう一方向のスキャン④（フレームスキャン）は、ヘッド全体をモーターで360° 駆動させている。測定された「距離」、「受光強度」及び「角度」の情報が8ビットの平行で出力され、プリンターポート⑤にてデータ処理ソフトを搭載したPC⑥に接続される仕組みとなっている。

以下に三次元レーザースキャナーのシステムを示す。

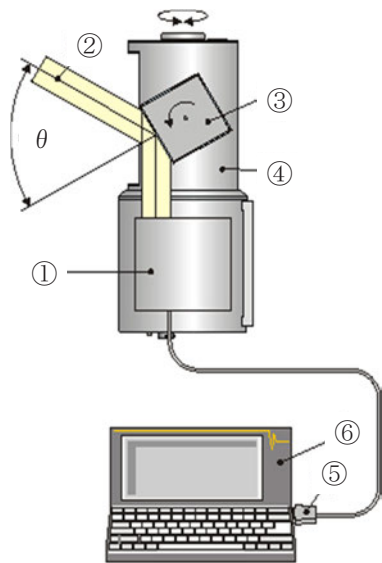


図-3 システム概要図

(5) 使用機種

1) 仕様

今回使用したレーザースキャナーは、RIEGL社製LMS-Z420i（写真-2）であり、仕様は下表-1のとおりである。

表-1 レーザースキャナー仕様

計測原理	time of flight 方式 ミラー回転/揺動（垂直） +モーター光回転（水平）
作動温度	0～+40℃
計測範囲	2～1,000m
計測精度 繰返し精度(単発) (平均化)	±10mm ±8mm ±4mm
スキャン範囲	80° ×360°
計測時間・点数	8,000 点/秒
使用レーザー	近赤外パルスレーザー 安全規格：class1

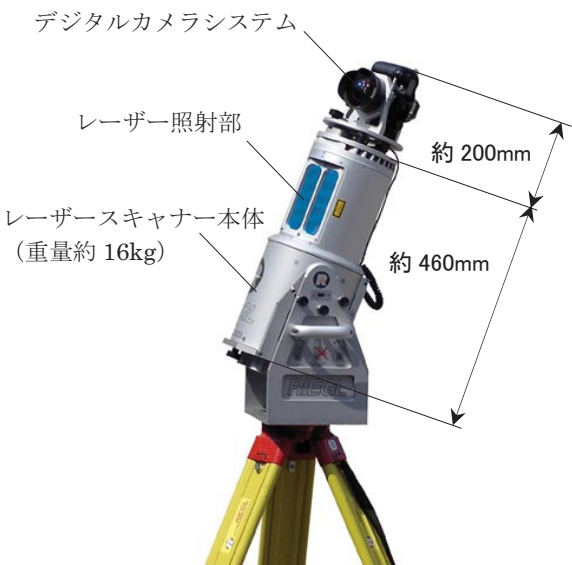


写真-2 レーザースキャナー本体

2) デジタルカメラシステム役割

スキヤニングそのものに“色”は存在しないが、スキャナーヘッドに搭載された専用のデジタルカメラシステムにより、必要スキャン範囲を撮影した高画素デジタル画像からスキャンデータ（点群）の各点三次元座標に同期したカラー情報を抽出し、そのカラー値（RGB）を属させることによって点群に色を載せることができる。このことにより、高分解能デジタルカメラのカラーピクセルデータを使用した3Dカラーテクスチャリングを可能とし、高ピクセルの3Dカラー画像が作成できる。

(6) 三次元点群データの取得・編集

1) 基準点の設置（計測準備）

VRS-GPSを用いて三次元レーザー測量用に基準点を設置し、基準点よりトータルステーションでターゲットに座標（X, Y, Z）を付した。

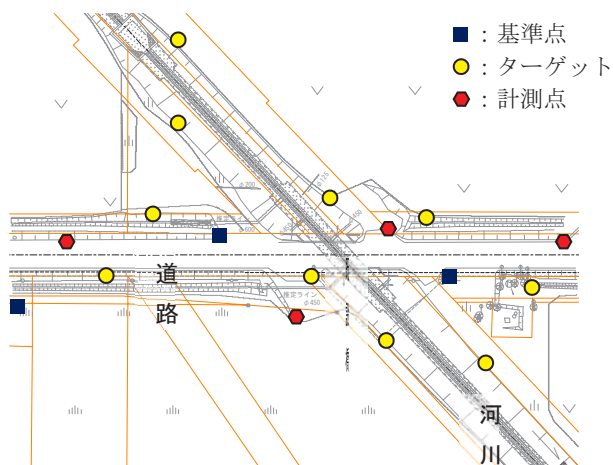


図-4 レーザー測量用基準点と計測点



写真-4 スキャニング状況(2)

2) スキャニング

スキャニングと同時にデジタルカメラで写真を撮影し後に点群に色を載せる。

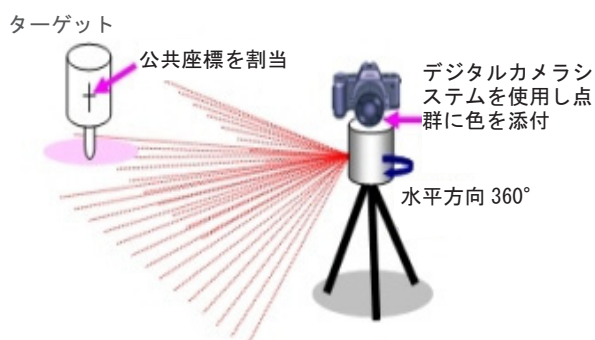


図-5 スキャニングイメージ



写真-3 スキャニング状況(1)

地上型三次元レーザー扫描仪は、他の測量機器と同様に、三脚に本体を据える形と、車載での計測方法がある。後者は、より広い範囲の計測に適しており、今回は、両方の方法を併用した。

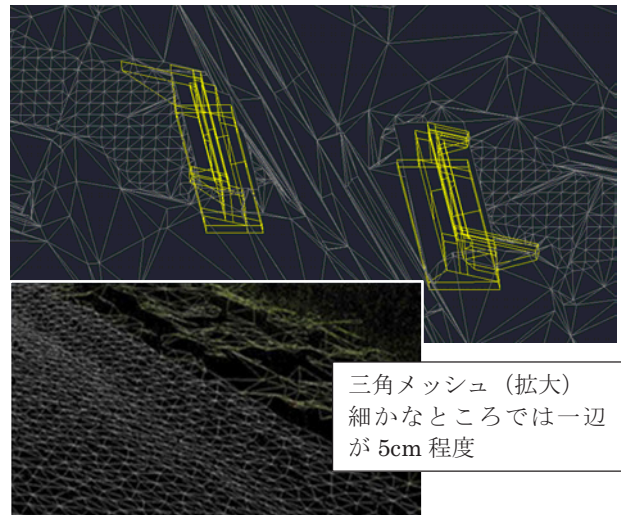
3) 点群データの編集(3D画像の作成)

計測データから座標 (X, Y, Z) 及びカラー写真イメージを付した3D画像を作成した。このときすでに点群全てに標高が付されており、どの方向からでも下図のように現況の外観を3D画像で見ることができる。





図－6 現況画像（点群カラー画像）



図－7 現況三次元モデル

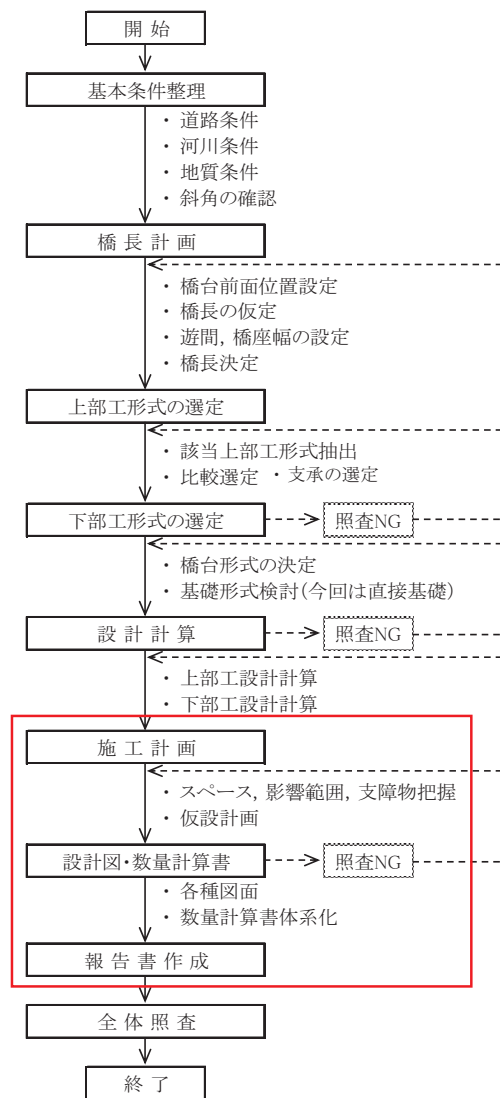
4) 現況測量データの補完

三次元レーザースキャナーによる現況計測は、高密度で正確な点群データであるが、そのまま現況断面図化はできない。特に実施設計においては、点群データのみで断面図化すると、地表面を覆う植物で地盤面が隠れてしまい、逆に正確な地盤線を表現できなくなる。また、水面や反射強度の弱い材質に対してはデータそのものが得られない弱点もある。よって、単なるイメージのためだけではなく、詳細な検討に用いる際には、必ずトータルステーションやレベルを併用して正確な地盤線を捉える必要があり、今回は、従来型の現況測量に三次元レーザースキャナーによる計測を加え、通常の実施設計で使用する以上の頻度の現況点及びその高さをトータルステーション等で補足した。

(7) 三次元モデルの作成

上記を踏まえ作成した三次元モデルが以下に示す図である。変化点が少ないところの三角メッシュを少なく抑え、複雑で変化点の多い箇所については、細かくデータを作成した。

4. 設計作業フロー



□ : 三次元モデルを活用した作業項目

図－8 設計作業フロー

上記は橋梁設計の一般的な流れを示したものである。当現場においては、営農状況及び周辺土地利用との関係から通行止めにする事は不可とされており、工事の期間中は迂回路設置、施工ヤードの確保によって耕作地の借地が広範囲に及ぶ恐れがあった。あわせて、隣接地権者との合意形成を図るうえで、施工の各段階で影響範囲がどの程度に及び、現況の道路・河川、その他既存のライフライン等どのように干渉するのか、が課題とされた。

したがって、今回は主として、仮設計画を含む施工計画、架け替えられる橋梁の規模が、現地にどのような形で設けられるのかを取得した三次元データを活用しながら具体的に検討、再現することとした。

5. 農道橋実施設計

5.1 基本条件整理

(1) 道路条件

町道北3線の道路規格に準じ、かつ、雪の落ちこぼれ幅を加え橋梁の有効幅員を決定した。

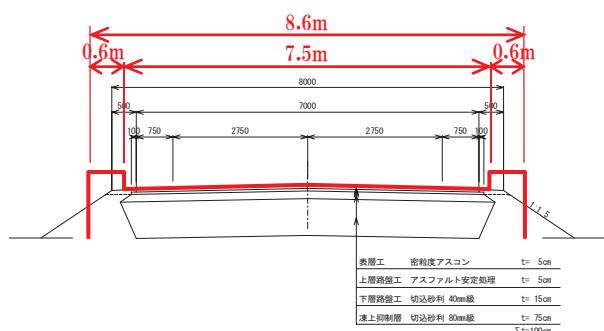


図-9 橋梁幅員

(2) 河川条件（普通河川：南1線川）

流域面積：A=5.84km²

計画流量：Q=8.09m³/s(河川手法1/4・Q)…採用

計画流量：Q=5.78m³/s（農業手法：比流量）

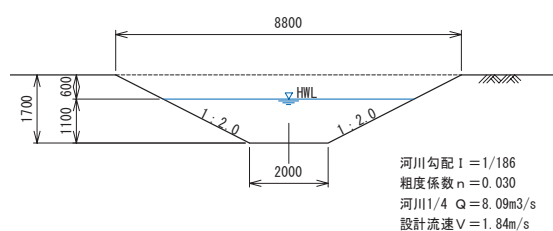


図-10 河川断面

上図のとおり、河床幅+（水深+余裕高）×法勾配×2を河川断面の上幅とし、これより外側に橋梁を設置することとした。

(3) 地質条件と橋台位置

土質調査結果より、橋台基礎底面の地盤は良質な支持層と判断でき、直接基礎による設計が可能であった。橋台位置は、既定土盛り等を考慮し図-11のように仮定し以下の検討を行った。

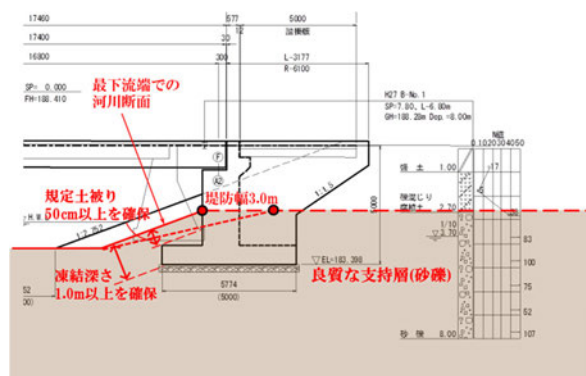


図-11 支持層の確認

(4) 橋長

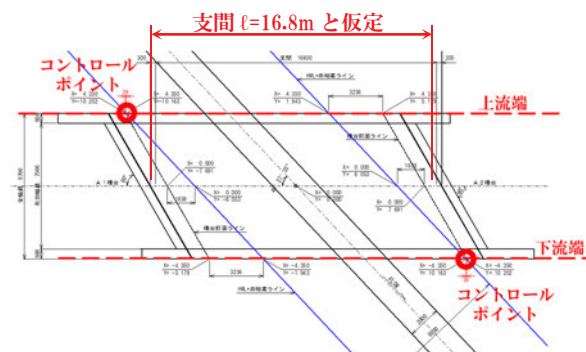


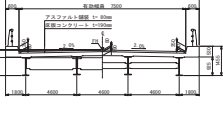
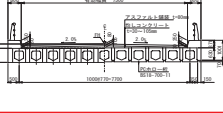
図-12 斜角検討平面図

道路と河川との交角は約47°である。河川と橋梁の交角は上限とされる60°を適用し、橋梁全幅の上流端、下流端の橋台前面位置（コントロールポイント）からそれぞれ河川断面を侵さないこととし、橋長は17.46mとなった。

5.2 上部工形式

次頁のとおり、「プレテンション方式PC単純桁橋」を採用した。

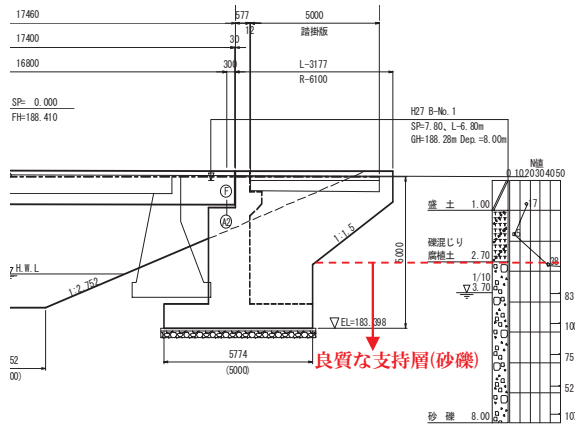
表－2 上部工比較検討

上部工概略断面	摘 要	評価
	・架設はトラクタレーン架設となる。 ・斜角の適用範囲が$\theta \geq 70^\circ$のため、橋長が1.5m長くなる。 ・床版が現場打ちのため、比較的現場工期が長い。 ・将来的に塗装替えの費用が必要になる。 ・経済性に劣る。 43,200千円 ($\alpha=1.35$)	△
	・架設はトラクタレーン架設となる。 ・桁は工場製作のため、一定の品質が期待できる。 ・現場施工が少なく、施工期間を短縮できる。 ・桁高が低く、周辺掘り付けに有利である。 ・経済性に優れる。 32,000千円 ($\alpha=1.00$)	○

「プレテンション方式 PC 単純桁橋」を採用。

5.3 下部工形式

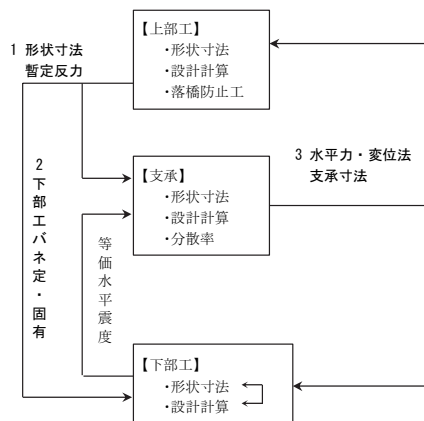
下部工は、逆T式橋台（直接基礎）を採用した。



図－13 橋台側面図とボーリング柱状図

5.4 設計計算

(1) 設計計算フロー

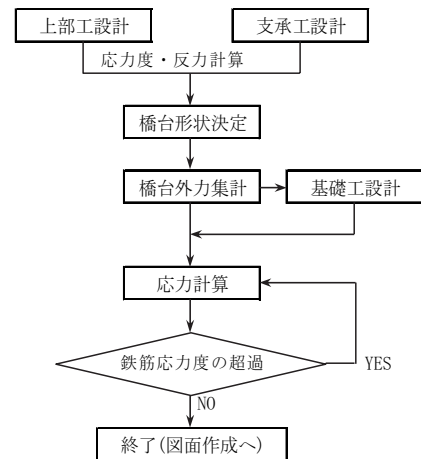


図－14 基本形状決定計算

図－14から図－16を繰り返し計算し、基本形状を決定した。

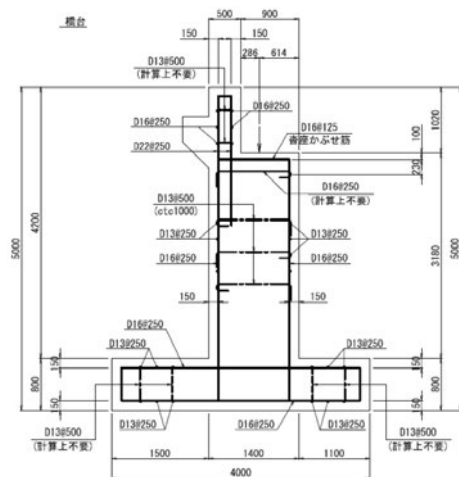
(2) 下部工設計計算

下部工設計計算フローを以下に示す。



図－15 下部工設計計算フロー

2段階のレベルの設計地震動を考慮し、各応力・耐力計算を行い、下部構造を決定した。



図－16 概略配筋図

6. 施工計画

(1) 仮設等の影響範囲を考慮した施工計画

- ① 迂回路・仮管渠装置
- ↓
- ② 大型土のう設置（橋梁前後）、ポンプ排水
- ↓
- ③ 護岸ブロック・落口樹・管渠撤去
- ↓
- ④ 大型土のう設置（半断面）
- ↓
- ⑤ 既設上部工撤去
- ↓
- ⑥ 既設橋台撤去
- ↓
- ⑦ A1橋台設置
- ↓
- ⑧ 大型土のう撤去
- ↓
- ⑨ 上部工架設
- ↓
- ⑩ 大型土のう設置（橋梁前後）、ポンプ排水
- ↓
- ⑪ 護岸ブロック・落口樹・管渠設置

図-17 施工フロー（仮設メイン）

橋梁設計委託業務においては「施工計画」について報告が求められているものの、実際には工事を受注した施工業者によって策定される「施工計画書」にて詳しく計画されるため、設計者にはあまりなじみのない作業工種であり、工事の流れを詳細にイメージできない場合も多い。当業務では、隣接地権者との合意形成も意識しつつ、現況及び設計の三次元モデルを使用しながら、より広くイメージが伝わり易くすることに留意した。

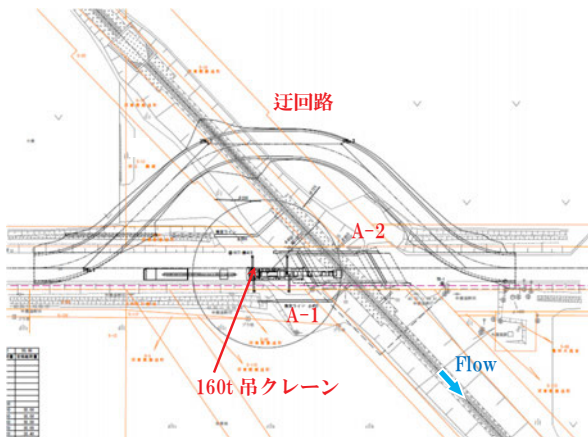
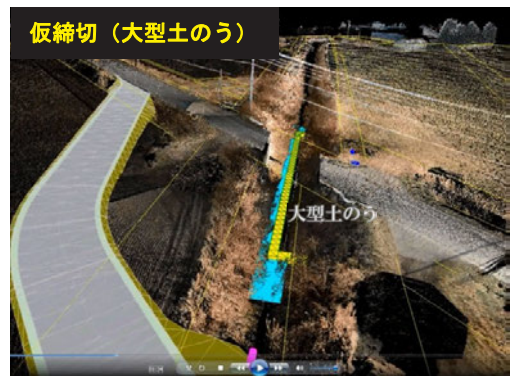
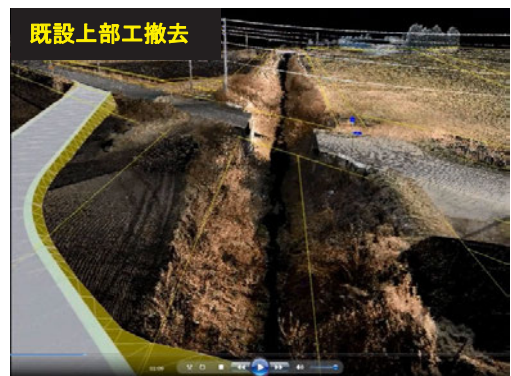
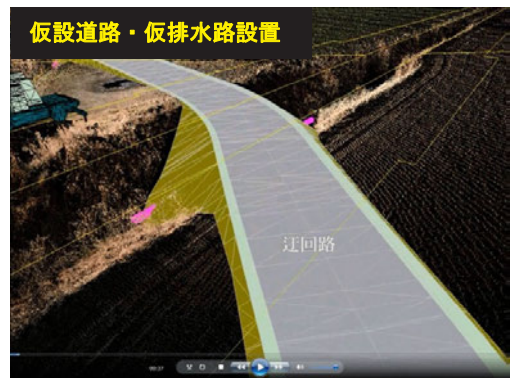
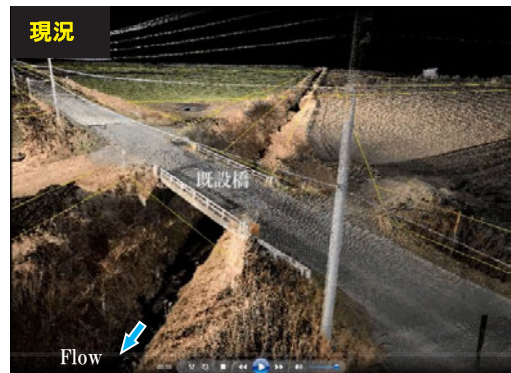


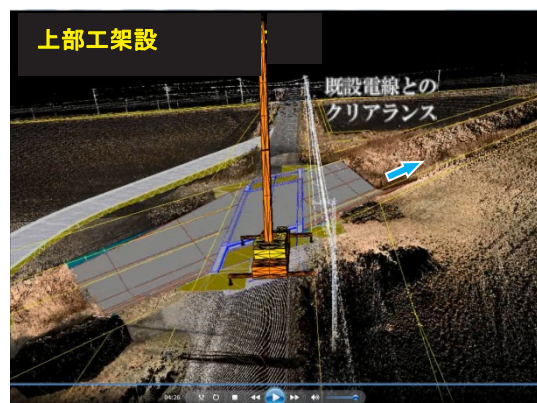
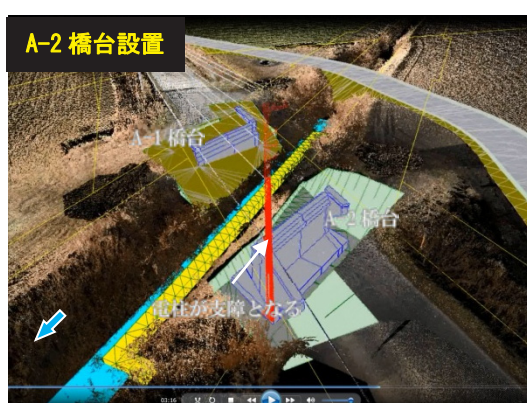
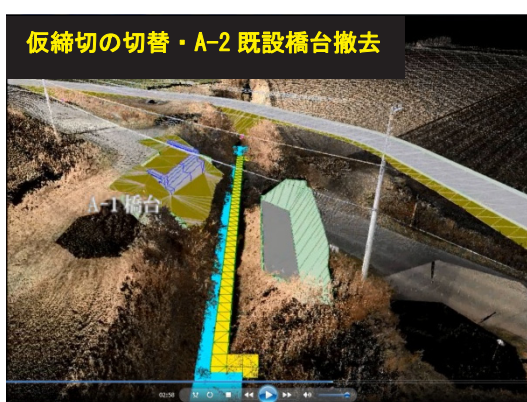
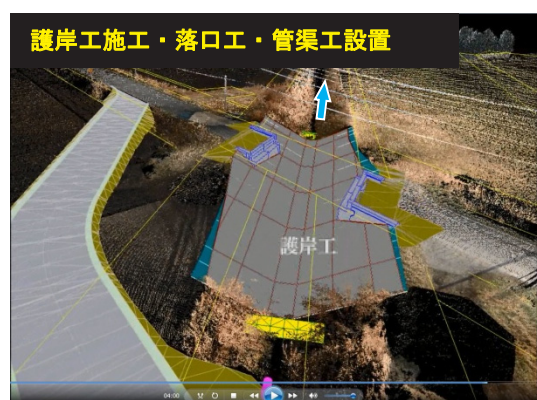
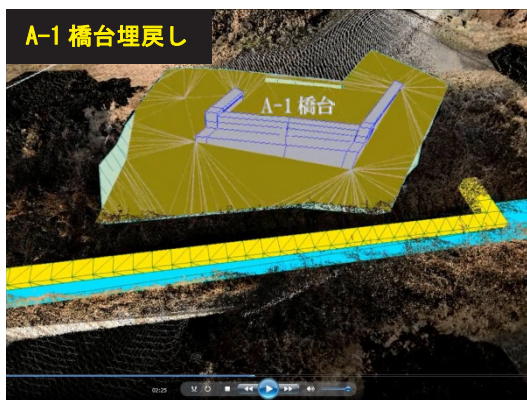
図-18 施工計画図

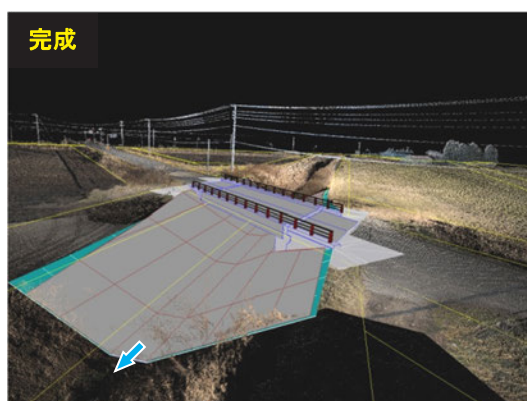
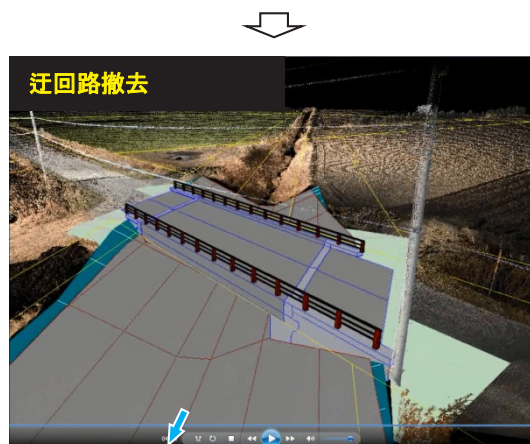
上図だけではなく、レーザースキャナーにて計測した現況データに三次元設計データを重ね合わせ、より具体的なイメージを提示することに努めた。

(2) 施工立体イメージの提供

ここでは抜粋した画像を掲載するが、実際には、一連の流れを動画としてプレゼンテーションを行い、動画データも成果品として納品している。







上記画像の現況・設計データは、ともに三次元で作成されていることから形状が正確であること、どの角度からでも立体で形状の確認が可能であることが大きな特徴である。これにより仮設を含む施工一連の流れ及び周辺への影響をより正確な形で分かりやすいイメージを提供することができた。

7. 設計のまとめ

(1) 設計図

設計図は、大きく区分すると以下のとおりである（下線付きは、三次元設計に反映させたもの）。

- ・ 橋梁一般図
- ・ 上部工構造図、配筋等詳細図
- ・ 下部工構造図、配筋等詳細図
- ・ 橋梁附属物詳細図
- ・ 施工計画図、仮設計画図

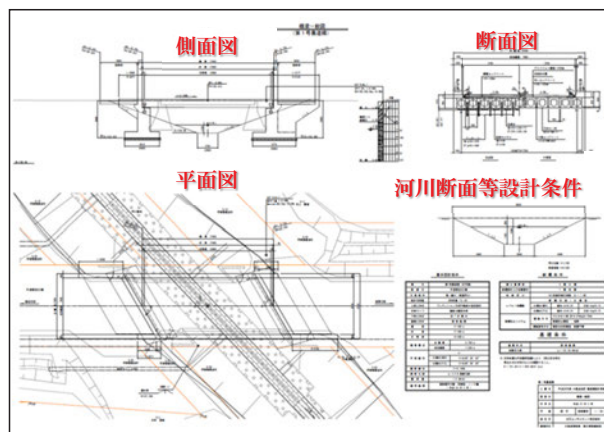


図-19 設計図の一例（橋梁一般図）

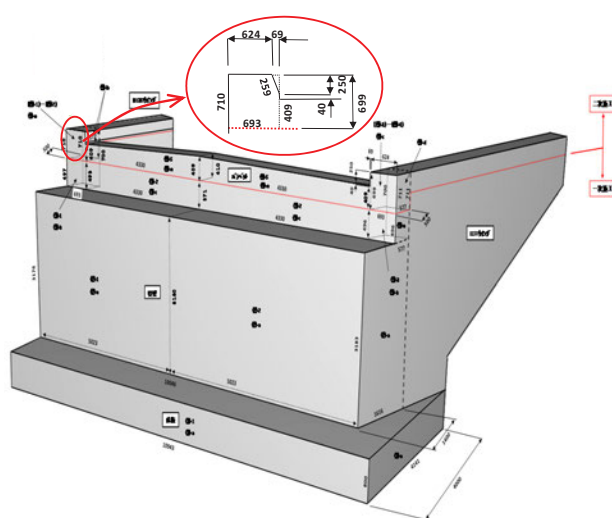


図-20 工事数量出典根拠の整理の一例

(2) 数量計算

これまで二次元の設計図面だけでは、工事数量の細かな数値までを確認しづらい面が多かったが、近年は、三次元CAD等の普及により、構造物の立体イメージの作成が容易になってきている。図-20に示すとおり細かなところまで構造物を立体的にイメージし確認することが可能となり、工事の発注者・受注者とも理解しやすくなっている。

(3) 報告書

橋梁構造各部の検討内容等の一般事項の他、特に考慮した施工段階での注意事項等について、三次元データを活用しながら解説し、アニメーションと併せて報告書として取りまとめた。

8. 最後に

今後はさらに、計画・調査・設計段階から三次元モデルが導入され、施工、維持管理の各段階においても三次元モデルに連携・発展させ、併せて事業全体にわたる関係者間で情報を共有化し、一連の建設生産システムの効率化・高度化が進んでいくと考える。このため、どのような表現がより伝わりやすいか共有しやすいかを含め、三次元データの利点・欠点を十分理解しながら活用を考えていく必要がある。最後になりましたが、本報告にあたり、発表の場を与えていただいたとともに、多大なるご協力をいただいた関係各位に深くお礼を申し上げます。

(北王コンサルタント 榎)

報 文 集 第27号

平成27年 9 月30日

編 集 (一社)北海道土地改良設計技術協会

広報委員会 明田川洪志・松崎 吉昭・館野 健悦

福田 正信・小笠原 武・下谷 隆一

平山ちぐさ・山岸 晴見・源 秀夫

発 行 (一社)北海道土地改良設計技術協会

〒060-0807 札幌市北区北 7 条西 6 丁目NDビル 8 階

電 話 (011)726-6038 F A X (011)717-6111

印刷 (株)三誠社 電話 (011)622-9211



●表紙写真●

第29回「豊かな農村づくり」写真展
北の農村フォトコンテスト応募作品

「田植えのころ」

－美唄市にて撮影－

石田 亨 氏 作品

A E C A

HOKKAIDO

Agricultural Engineering Consultants Association