

湿原外縁部での既設施設（横断工）を利用した排水路の設計

荒口 誠

1. はじめに

(1) 業務概要

本業務は、国営総合農地防災事業「幌延地区」の事業計画に基づき新興東幹線排水路の測量調査、地質調査及び実施設計を行ったものである。
業務位置：天塩郡幌延町 設計延長：L=1.30km
計画流量： $Q=2.14\sim2.83\text{m}^3/\text{s}$
計画勾配：1/3200～1/6300
計画断面：底幅B=2.0m 法勾配：1：2.0
流入工：N=14箇所 道路横断工：N=2箇所

(2) 現地作業における留意点

現地調査においては、特に希少野生動物である鳥類のチュウヒの保護に留意しながら調査を行うとともに、口蹄疫や鳥インフルエンザ等の家畜伝染病対策を徹底して行った。

(3) 設計作業における留意点

対象路線は、泥炭土に起因した地盤沈下により、接続する明渠や暗渠排水に必要な高さを確保する事が困難であった。また、町道横断構造物が2箇所あり、農業水利施設の機能診断の手法に準拠し、既設利用が可能か否かの検証を行った。改築と新築の比較においては、今後のライフサイクルコストも含めて総合検討を行った。

地先への工事用地など説明に際しては、施工中現場のUAV写真や3DCG（三次元グラフィックス）を用いるなど分かりやすい説明を行い、円滑に業務を遂行する事が出来た。

2. 地区の概要

幌延地区は、宗谷総合振興局管内中部の幌延町に位置し、天塩川の右岸及びその支流に拓けた酪農地帯となっている（図－1）。地域内の農業用排水路及び農用地は、前歴事業である開墾建設事業 音類（おとるい）地区（昭和23～43年）、国営総合農地開発事業 サロベツ第1地区（昭和49～平成8年）等により整備が行われた。しかし、地域内には泥炭土が広く分布していることから、農業用排水路



図－1 「幌延地区」の位置

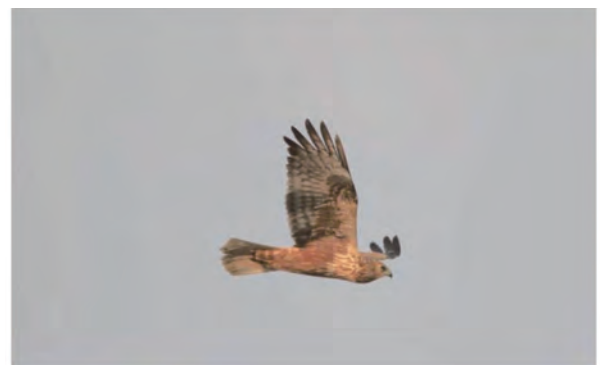
及び農用地においては、泥炭土壌に起因する地盤沈下の進行による機能低下から、降雨時には湛水被害が発生するとともに、農用地においては、過湿被害、不陸障害及び埋木障害が発生しているため、牧草の生産量及び農作業の機能が低下している状況である。

これらのことから、本地区では、国営総合農地防災事業により農業用排水路の整備を行うとともに、暗渠排水、整地を行い、農業経営の安定を図ることを目的としている。

3. 希少野生動植物対策

本地域は、隣接する丘陵の森林、天塩川水系の河畔林、地区内の防風林といった緑地環境や天塩川及び河跡湖といった水辺環境が形成され、多様な自然環境となっている。

また、本地域では他の業務で環境モニタリング調



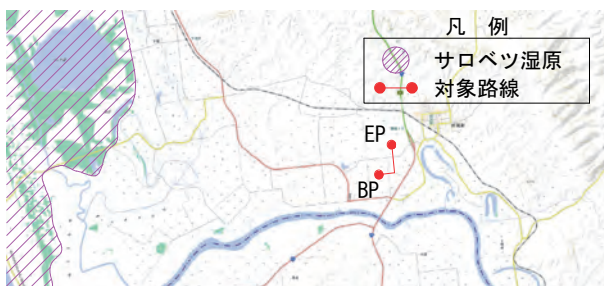
写真－1 サロベツ湿原でのチュウヒ

査を行っており、環境省レッドリスト絶滅危惧ⅠＢ類に指定されているチュウヒの飛来及び営巣が確認されている（写真－１）。ⅠＢ類とはⅠＡ類ほどではないが、近い将来野生での絶滅の危険性が高いものである。

チュウヒは、タカ目タカ科チュウヒ属に属する猛禽類である（英名harrier）。また、世界的に繁殖している地域は、バイカル湖周辺から東、アムール川流域、サハリン、南は中国の内蒙古中部から中国東北地方北部から中部、ウスリー地方、日本の九州以北であり、越冬している地域は中国南部、日本、他東南アジア諸国である。主に湿地や干拓地、湖沼岸、河川の岸边などの広いヨシ原で繁殖し、渡りの時期には河原や比較的狭い湿地にも現れる。環境省が行った営巣環境の調査（環境省2015）では、巣は背後地であるサロベツ湿原（図－２）のヨシ群落（ヨシの他はスゲ類等が生育）にあり、群落を構成する植物の種数は比較的少なく、植生構造も単純であった。

営巣環境の条件として、巣の直下が湛水し、周囲が水域などで遮られることにより、外敵である哺乳類の侵入しづらい環境であることが重要と推察されている。従って、本排水路計画で造成される排水路は牧草地に位置しているのでチュウヒの生息に特段の影響はないと思われた。

しかし、業務の測量調査の野外活動がチュウヒの繁殖に影響することが懸念された。当排水路は環境モニタリング調査から判明したチュウヒの配慮区域より、行動範囲外と推定されたが、比較的営巣地点と近いと飛来する可能性があった。そこで現場作業時期を調整し、チュウヒの活動が少なくなる７月以降に行うスケジュールとした。更に測量作業員には、もし現場でチュウヒに遭遇した場合には、「注視せず」「近寄らず」「追い払わない」「驚かさない」等の対応を行う事を現地調査前のスタートアップ会



図－２ 対象路線とサロベツ湿原の位置関係

議で周知した。

希少植物に対しては、環境省レッドリストに記載されているオオバタチツボスミレ（写真－２）・エゾナキソウが排水路の周辺に自生していないかを事前に確認した。その他に「現場のゴミの清掃」「車両の急発進・急停止の禁止」も含め現場管理の徹底を行い周辺環境に対しての負荷をできるだけ低くするように心がけた。



写真－２ オオバタチツボスミレ

４．現場での安全管理等について

（１）疫病対策

本業務対象地域は、北海道でも有数の酪農地帯であることから、口蹄疫の予防対策として現場への立入に際しては、幌延町内のガソリンスタンドで車両下回りを中心に洗車し、タイヤや車両に付着した土砂の除去を行った（写真－３）。

ほ場内の立入に際しては、土地所有者毎にブーツカバーを交換し着用した。また、鳥インフルエンザ対策として作業員には、ほ場内や近傍で鳥の死骸を発見した場合は、触れずに管理技術者に連絡することを事前に周知した。



写真－３ ガソリンスタンドでの洗車

(2) 安全対策

測量対象地域にある町道は、国道と高規格道路 I C を結ぶ、バイパスとして利用されていて交通量が多い（当時）ことから測量作業の安全確保が課題となった。そこで、対策として反射ベストの常時着用と見張り員の配置を実施した。測量時期が夏季となることから熱中症対策として、作業員に毎日スポーツドリンクと塩分入りの飴を支給した。また、毎日 WBGT（暑さ指数）を確認すると共に、気温が30度を超えることが予想された場合は1時間毎に休憩時間を確保した。

これらの留意事項を現場立入前のスタートアップ会議で説明すると共に毎日の始業前のミーティングで確認した。

(3) 新型コロナウイルス対策

現場作業時は、新型コロナウイルスの流行期間であったため、作業員の毎日の検温を実施すると共に作業車にアルコール消毒液を常備し、複数人での作業時はマスクを着用した。また、車両のハンドルや測量器械など不特定多数が触れる可能性のあるものは定期的な消毒を行い、作業従事者の感染を防止した。これらの感染対策が功を奏し、作業中は一人の感染者も出ることなく業務を遂行できた。

5. 縦断線形の検討

(1) 縦断検討のフロー

縦断線形検討に当たっては、泥炭土に起因した地盤沈下が発生していたため、接続する明渠や暗渠排水に必要な高さを確保する事が困難と予想された。排水路の河床高は、現況流路の河床勾配、河床高を重視し、局部的な凹所洗掘区間を除き、計画水位が耕地面以下になるように極力現況河床高よりも下に設定した。また農用地整備での暗渠排水による地下水排除に必要な深さを縦断線形検

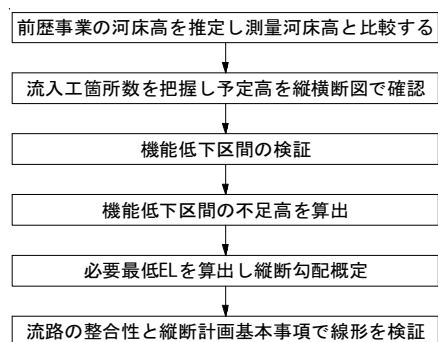


図-3 縦断線形検討フロー

討フローにて検討した（図-3）。

(2) 機能低下区間

本排水路において、一部のほ場では耕地面高が低いため暗渠落口高も低くなった。暗渠落口高は、幹線排水路を排水面とする場合、平水位より少なくとも0.05mは上位にしなければならない。本設計では図-4の範囲が現状ではこの条件を満たさない。なお、このほ場の暗渠は設計済みであったため、修正を行った（図-5）。



図-4 排水流域図

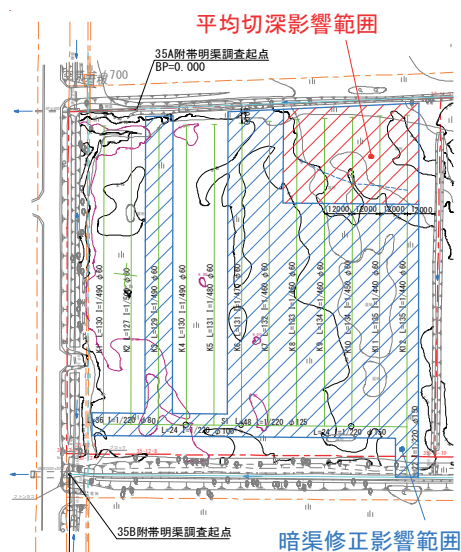
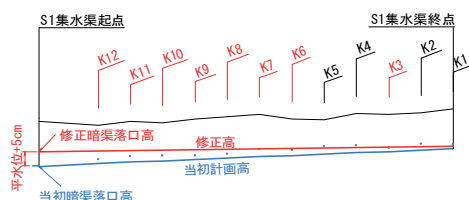


図-5 暗渠修正影響範囲

(3) 機能低下区間への対策

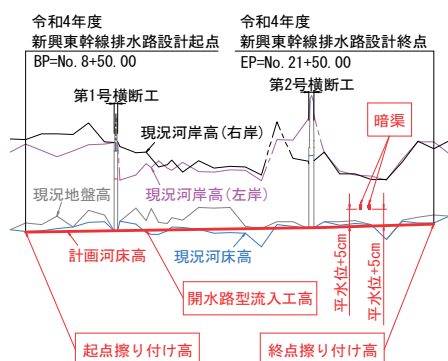
機能低下区域を解消するため、水理計算により排水路の平水位を算出し、暗渠に影響がない必要高を計画した。図-6に示す様に、暗渠配線勾配を緩勾配にし、水理計算により適切な口径を採用した。また、受益者に了承を得て平均切深を浅くするなどの工夫をした。



図－6 集水渠修正縦断面図

(4) 縦断決定

暗渠の落口高のほか、起点・終点側の擦付高、開水路型流入工の高さ、第1号・第2号横断工の既設高などを考慮し、図－7に示す縦断線形を決定した。



図－7 決定縦断面図

6. 水路構造物の既設利用について

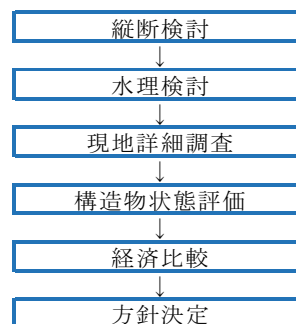
(1) 概要

第1号横断工（既設コルゲートアーチ $S=3500\text{mm}$ 、 $R=1810\text{mm}$ ）、第2号横断工（既設ボックス： $B2500\text{mm}\times H2000\text{mm}$ ）は、事業計画策定業務において、既設構造物でも流下能力はあるが、当初計画の河床高が確保できないため要改修となっている（表－1）。

表－1 既設カルバートの諸元

施設名	第1号横断工	第2号横断工
構造	メタルコルゲート	既成品RCボックスカルバート
大きさ	$H=2.31\text{m}$ $R=1.81\text{m}$	$B=2.50\text{m}$ $H=2.00\text{m}$
長さ	$L=10.80\text{m}$	$L=17.00\text{m}$
部材厚	$t=3.2\text{mm}$	$t=0.20\sim0.22\text{m}$
供用年数	4年	14年

第1横断工は令和元年施工で約4年経過。第2号横断工は平成21年施工で約14年と施工後の年数が比較的少ない。発注者・幌延町ともに、経済性や工事時に迂回路が不要なため、既設利用が可能であれば利用したいとの要望があった。そこで、既設利用が出来るか図－8に示すフローに則り検討を行った。



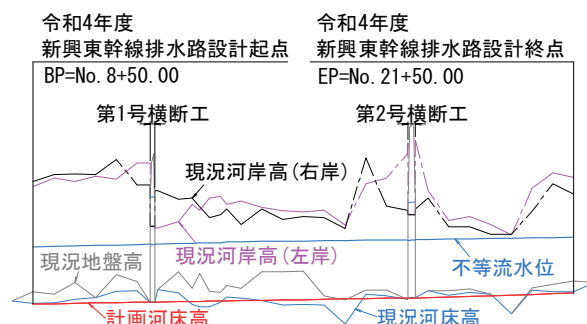
図－8 既設カルバートの利用可否検討フロー

(2) 縦断検討

前述の「5. 縦断線形の検討」のとおり、現況の勾配を踏襲することで、第1号、第2号カルバートとも既設利用は可能である。

(3) 水理検討

本業務の水理計算は、下流域の状況や法肩部分が大きく開いているなど水路断面が変化しているため不等流計算により求めた。計算結果により、耕地面高が低い箇所においても、水深が排水断面を越流することはない。そのため、現況施設を利用できると判断した（図－9）。



図－9 水理縦断面図

(4) 現地詳細調査

縦断検討・水理検討を踏まえ、現状のカルバートが使用可能か現地詳細調査を行った。

1) コルゲートメタルカルバート

a) 目視検査

近接目視の結果、水面にかかる部分の鋼材は、汚れているが腐食は認められない。部材のセクションも設計図通りの配置で問題は無い。また接合のボルトについても錆や摩耗は認められなかった。

b) 形状計測

断面形状について現地で簡易レーザー距離計を用いた測定とアイフォーンをスキャナーとして利用した3Dモデルで計測した。アーチ形状

の変形は認められず良好な状態を維持出来ていることが確認された（写真－４、図－10）。



写真－４ アイフォンでの撮影



図－10 3Dモデル化したコルゲートメタルカルバート

c) 鋼板の板厚測定

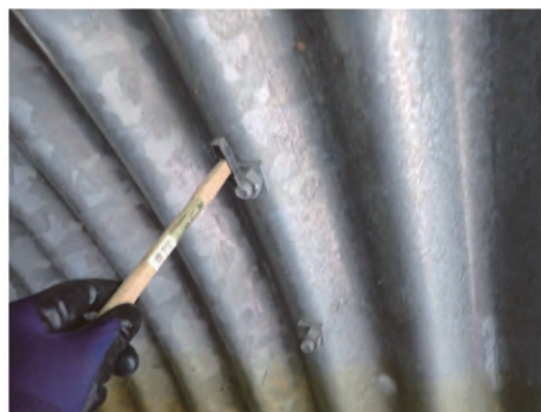
部材の腐食が予想されたカルバート下部の水面付近で超音波式板厚計測器を用いて鋼板の厚さを測定した結果、施工時と同じ3.2mmと計測された（写真－５）。従って鋼板SS330は腐食もなく良好な状態が維持されていると判断した。



写真－５ 板厚の測定

d) 打音検査

鋼板ユニットの接合に使用されている、ボルト全数の1/4程度をハンマーで叩いて打音を確認した（写真－６）。その結果ボルト緩みを示す音（一般に他より低音になる）は確認されなかった。従ってカルバートを接合しているボルトの緩みは発生していないと判断した。

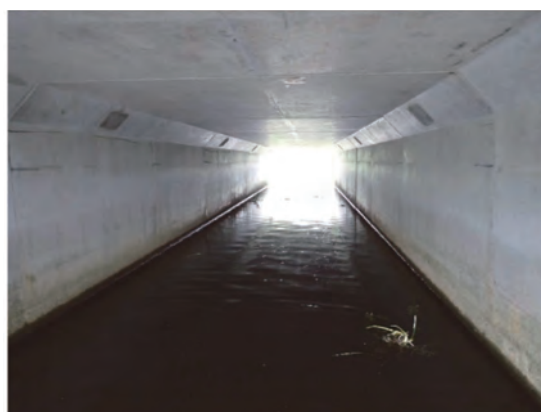


写真－６ 打音検査の様子

2) R Cボックスカルバート

a) 目視検査

カルバート内部の直接風雨に晒されることのない、コンクリート表面は光沢があり、クラックや欠損は見当たらず、継目についても近接目視で全継目が良好な状態であることを確認した。しかし、横断工呑口部には30cmのヘドロが堆積していることを確認した（写真－７）。



写真－７ R Cボックスカルバートの現状

b) 形状計測

メタルカルバートと同様にレーザー距離計と簡易スキャナーで計測を行い、変形がないことを確認した（図－11）。



図－11 3Dモデル化したR Cボックスカルバート

c) 強度推定

カルバート内部の壁面でシュミットハンマーを用いた強度試験を行った（写真－８）。その結果、表－２に示す設計基準強度を上回る値が計測されたので、良好な状態が維持されていると判断した。



写真－８ シュミットハンマーによる強度試験

表－２ R Cボックスの推定強度

設計基準強度 σ_{cK} N/mm ²	シュミットハンマー による強度 N/mm ²	
35	1回目	2回目
	56	55

d) 水質検査

現地調査では、河川水の濁りが確認されたため、濁りに含まれる成分が構造物に与える影響が懸念された。このため、各横断工地点で河川水を採取し、電子式水質計で河川水の状態を確認した。測定の結果、各調査項目は水道水や河川水の基準値等の範囲内であるため、構造物に与える影響はないと判断した（表－３）。

表－３ 電子式水質計の測定結果

検査項目	記号	単位	第1号 横断工	第2号 横断工	水道水等 平均値
総溶解固形物	TDS	ppm	0	0	50mg/L
電気伝導度	EC	μ S/cm	132	132	30～400
水素イオン濃度	PH	—	7.06	6.76	5.8～8.6
塩分	Salt	%	0.00	0.00	—
比重	S.G	—	1.00	1.00	1
酸化還元電位	ORP	mv	392	310	200～600

3) 評価

ボックスカルバートの状態は、全ての点検項目で問題点がなく、総合的に健全度はS-4と判断した。

(5) 劣化予測

現地調査結果を基に「農業水利施設機能保全の

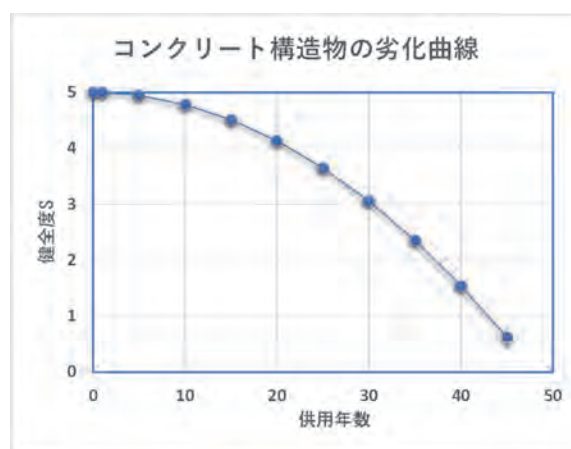
手引き」¹⁾の鉄筋コンクリート開水路の劣化曲線を用いて行った。

$$Y = bX^2 + a \quad \dots \dots \dots \text{式－1}^{1)}$$

ここに、 $b = -0.00216$

$$a = 5$$

本件は、金属製とR C製のカルバートである。式－１は、コンクリート開水路に用いる式であるが、コルゲートメタルカルバートについては、製品寿命が一般に30年以上と言われているが50～60年使用している例もある。当該地点での錆の状況、水質の具合から見ても図－12の劣化曲線に当てはめても問題ないと判断した。



図－12 劣化曲線

(6) 経済比較

新設の場合と補修や土砂撤去しながら、今後50年使用した場合を経済比較する。

条件

- ・製品寿命はR C－B O Xの築50年としてコンクリートメタルカルバートも同じとする。
- ・既設利用の場合、土砂は概ね10年に一度撤去するものとする。
- ・劣化曲線により、築30年でR Cは内面を塗装剤被覆工法、メタルカルバートは内面をポリウレア樹脂工法で被覆し、S-4相当まで回復させる。
- ・新設の場合は、土砂が堆積しない縦断線形とするので、土砂撤去は行わない。

新設の場合1280万円である。これに対して既設利用の場合のコストは表－４に示す。

補修や土砂撤去を考慮した現況利用だと2060年まで644万円のコストが必要と予想された。

従って、第1号第2号とも、本業務では概ね10年に一度の土砂撤去を見込んだ既設利用とした。

表－４ 既設利用の場合のコスト

	経過 年数	0年	10年	現在	20年	30年	40年	50年	総合計
カルバート 種類	西暦	2010	2020	2023	2030	2040	2050	2060	
メタル	本体		新設			修理		更新	
	土砂			撤去	撤去	撤去	撤去		
RC	本体	新設				修理		更新	
	土砂			撤去	撤去	撤去	撤去		
本体補修費	メタル					100万			644万
	RC					160万			
土砂撤去費				96万	96万	96万	96万		

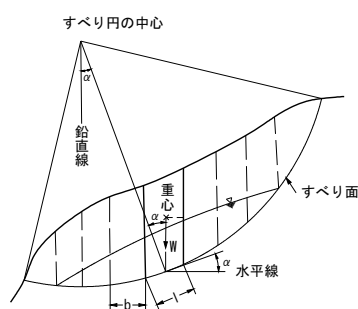
7. 附帯施設の設計

(1) 横断工水衝部の補強盛土工の設計

横断工を既設利用すると、流水が横断工水衝部に接するので保護が必要となった。既設水衝部の状態を確認したところ、第1号横断工の既設水衝部は、令和元年施工時の植生土のうのみで、範囲も既設アーチカルバート周辺だけであった。従って水衝部の保護としては不十分である。このことから本業務では、土留め壁の検討を行った。なお、第2号横断工の水衝部は、既設設備としてフトン竈が設置してあった。検討の結果、高さや断面的にも既設利用が可能であることが確認できたので、新たな土留め壁等は計画しなかった。

カルバート工前後の水衝部は、一般的にコンクリート構造物等によるウイング、擁壁等を用いるが、軟弱地盤となる当排水路においては重量構造物を避けるのが望ましい。また、早期の緑化を図る目的から、植生土のうを用いた工法を採用し、補強盛土の設計を行った。

補強盛土の検討に当たっては、円弧すべりによる安定計算図-13、式-2により、補強領域内部を通るすべり破壊に対する検証と補強領域の外側を通るすべり破壊に対する検討を行い、ジオグリッドの必要引張強さ、敷設間隔、敷設長を決定した。



図－13 地滑り安定計算

$$Fs = \frac{\sum \{c \cdot l + (W - u \cdot b) \cos \alpha \cdot \tan \phi\}}{\sum \sin \alpha} \quad \text{式-2}^{2)}$$

ここに

F_s : 安全率 c : 粘着力 ϕ : せん断抵抗角

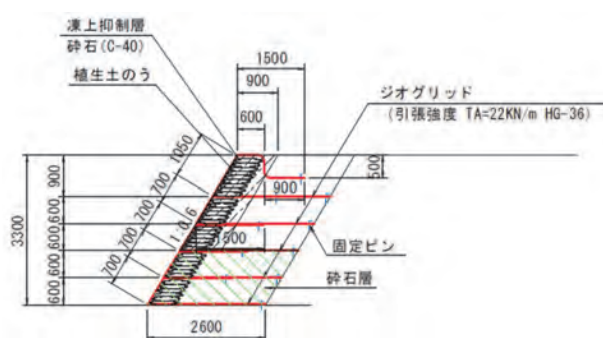
U : 間隙水圧

当初検討時、現況地盤での検討において円弧すべりによる安定計算の安全率は常時1.2、地震時1.0を満足しなかったため、地盤改良の検討が必要となった。その方法としては、A 薬液注入、B パイルネット、C ジオグリッドによる敷網工が考えられる。そのため、上記の3項目の比較検討を行った結果を表-5に示す。

表－５ 地盤改良経済比較表

A.薬液注入	2,010万円
B.パイルネット	600万円
C.ジオグリッド(敷網工)	230万円

表-5により、補強盛土は、ジオグリッド(敷網工)が有利となるため採用した(図-14)。敷網工を配置した場合においても円弧すべりによる安定計算を行い、安全率が常時1.2、地震時1.0を満足していることを確認した。



図－14 補強盛土 標準断面図

(2) 沈砂池の設計

本排水路は、環境配慮施設として工事期間中や施工後の土砂等が下流に流出することを抑制するため、河川に合流する改修区間の起点付近直上流に沈砂池を設置した。沈砂施設は一般部に比べて河床幅を広く確保して、流下断面積を広げることにより、流速を落として土砂の沈降を図る施設である。その規模は、本排水路に関わる工事対象受益地から発生する増加土量分を捕捉可能な大きさとした。

流亡土量は以下の式-3で求める。

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \cdots \text{式-3}^{3)}$$

ここに

A：単位面積当たり流亡土量（tf/ha）

R：降雨係数（tf・m²/ha・hr） K：土壌係数（h/m²）

L：斜面長係数 S：傾斜係数 C：作物係数

P：保全係数

計算の結果、堆砂量16m³/年となった。

沈砂池の構造は、延長を長く幅は狭くして極力維持管理がしやすい構造とした。また、関係機関や受益者への説明は、3Dモデルでイメージを説明し理解度を高めた（図－15）。



図－15 沈砂池3Dモデル

8. 受益者とのコミュニケーション形成について

(1) 受益者打合せ

本業務対象地域は、北海道でも有数の酪農地帯であったことから、受益者はほとんどが酪農家であった。従って打合せする時期は、年に2～3回ある集中的な牧草収穫時期は避けると共に、訪問時間は一般的に酪農家の休憩時間とされる午前9：00～12：00の間に限定した。

(2) 工事説明資料

受益者説明においては、まず工事現場のイメージを把握してもらうため、過年度工事の写真を発注者に提供してもらい、排水路工事全体のイメージの理解に利用した（写真－9）。

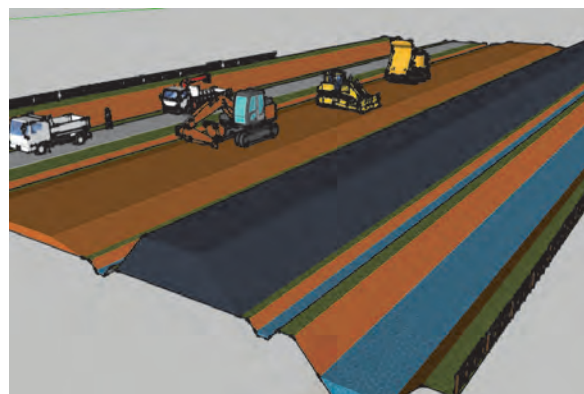


写真－9 受益者説明に用いた写真

また、本業務の敷地幅計画については、平面図と3Dモデリングソフトで作成したCGを受益者説明に用いた（図－16、17）。説明会では、工所用道路や掘削土置き場・仮排水路などの説明が3Dで表現されることから、施工の状況説明をわかりやすく行う事が出来た。その結果、受益者の排水路工事に対する理解度を向上させることが出来た。



図－16 敷地幅計画に使ったCG図その1



図－17 敷地幅計画に使ったCG図その2

9. 終わりに

業務遂行に当たっては、発注者の稚内開発建設部稚内農業事務所並びに幌延町の関係各位には多大な御協力と御指導を受けたことに感謝致します。最後に本稿提出の機会を与えてくださいました（一社）北海道土地改良設計技術協会に感謝申し上げます。

（株）三幸ランドプランニング 主席技師（技術士）

引用文献

- 1) 農業水利施設機能保全の手引き 平成21年 農業土木事業協会 P59
- 2) 道路土工 切土工・斜面安定工指針 平成21年 社団法人日本道路協会 P399
- 3) 土地改良事業計画指針「農地開発（改良山成畑工）」平成4年 農林水産省構造改善局計画部 P158