

報文集

平成29年度



報文集 第29号 目次

ダブルリングレーザーによる管内面形状測定機械を用いた管内面診断技術の検証……………	1
藤田 壮一郎・樺 沢 雅 之	
雨煙内 ^{う えんない} ダムの耐震性能照査について……………	11
竹 内 国 雄	
平成28年十勝地方の豪雨災害と農地農業施設等の被害状況……………	23
土 谷 富士夫	
「平成28年 8 月北海道豪雨」の分析と評価ー主に上川南部地域を中心としてー……………	31
弓 野 俊 幸	
被災発生時におけるドローンを活用した迅速な状況把握……………	43
平 野 良 治	
開水路系を含む送水系パイプラインの通水試験における留意点……………	51
高 橋 洋	
大区画水田の事業効果計測(労働時間調査)におけるGPSデータ観測時の 定点カメラ活用による調査の充実について……………	57
南 寿 範	
肥培かんがい施設調査設計における三次元モデルの活用……………	65
安 藤 和 弘	
区画整理における外郭測量の留意点……………	75
山 崎 良	

ダブルリングレーザーによる管内面形状 測定機械を用いた管内面診断技術の検証

藤田壮一郎・樺沢 雅之

1. はじめに

近年、北海道内各地でパイプラインの破損事故が増加していることを背景に、パイプラインの劣化進行度を定量的に把握し、適切な機能保全対策を講じることが求められている。

これまでに北海道内で敷設整備されたパイプラインは、小中管径の賦存量が多いが、人力による入管調査が困難（労働安全衛生規則によりφ800mm未満は入管不可）であることから、効率的な管路の劣化・変状調査の実施が進んでいない状況である。

そのため、効率的かつ高精度の管内調査手法として、管内調査機械を用いた調査技術の確立に期待が寄せられている。

本報では、直轄かんがい排水事業「大原地区」（北海道洞爺湖町および豊浦町）で造成された「大原用水路」において実施した「管内面検査用カメラ

＋ダブルリングレーザー搭載型管内面形状計測機械」による管内面診断技術の検証事例について報告する。

2. 調査概要

(1) 調査目的

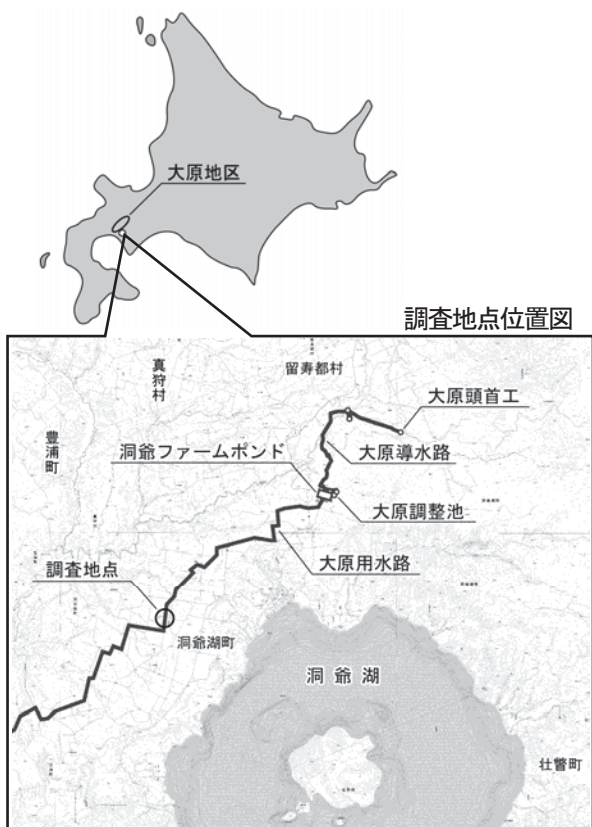
管内面診断技術は、国のストックマネジメント技術高度化事業における全国検証テーマおよび長寿命化技術の適用性評価等に係る検証課題で、「カメラによる変状（ひび割れ・腐食・継手間隔等）の正確な把握」と「レーザーによるたわみ量の高精度計測」および「管内における調査ロボットの正常作動と即時の挙動把握」が挙げられている。

これらを踏まえ、農業用小口径管水路内における本調査と解析の目的を以下のとおり設定した。

- 【目的1】管内面検査用カメラによって、管内の変状を把握できるか検証すること
- 【目的2】ダブルリングレーザー搭載型管内面形状計測機械によって、管のたわみ量を高い精度で計測できるか検証すること
- 【目的3】曲点部や傾斜がある管水路内で、内面形状計測機械が正常に作動できる条件を検証すること

(2) 大原用水路の施設概要および調査対象管

- ① 管理者 洞爺湖町洞爺総合支所、豊浦町
- ② 造成事業 直轄かんがい排水事業「大原地区」
 - ・ 本体工事 平成3年～平成8年
 - ・ 供用開始 平成9年
- ③ 施設延長 16,754m
 - ・ 強化プラスチック複合(FRPM)管 7,606m
 - ・ ダクタイル鋳鉄管(DCIP) 7,823m
 - ・ 硬質塩化ビニル管 1,325m
- ④ 調査対象管
 - ・ 強化プラスチック複合(FRPM)管 φ700mm



(3) 調査区間

調査を実施する大原用水路全線を対象に、複数の勾配をもつ区間、縦断・平面的に曲点を持つ区間を複数抽出し、調査効率を考慮した上で、次の3区間を調査区間として選定した(図-1)。

- ①区間：11.9%の急勾配であり、平面および縦断に曲点をもつ上り区間
- ②区間：比較的急勾配の下り区間
- ③区間：縦断的な勾配変化点をもつ、比較的緩い勾配の上り最長区間

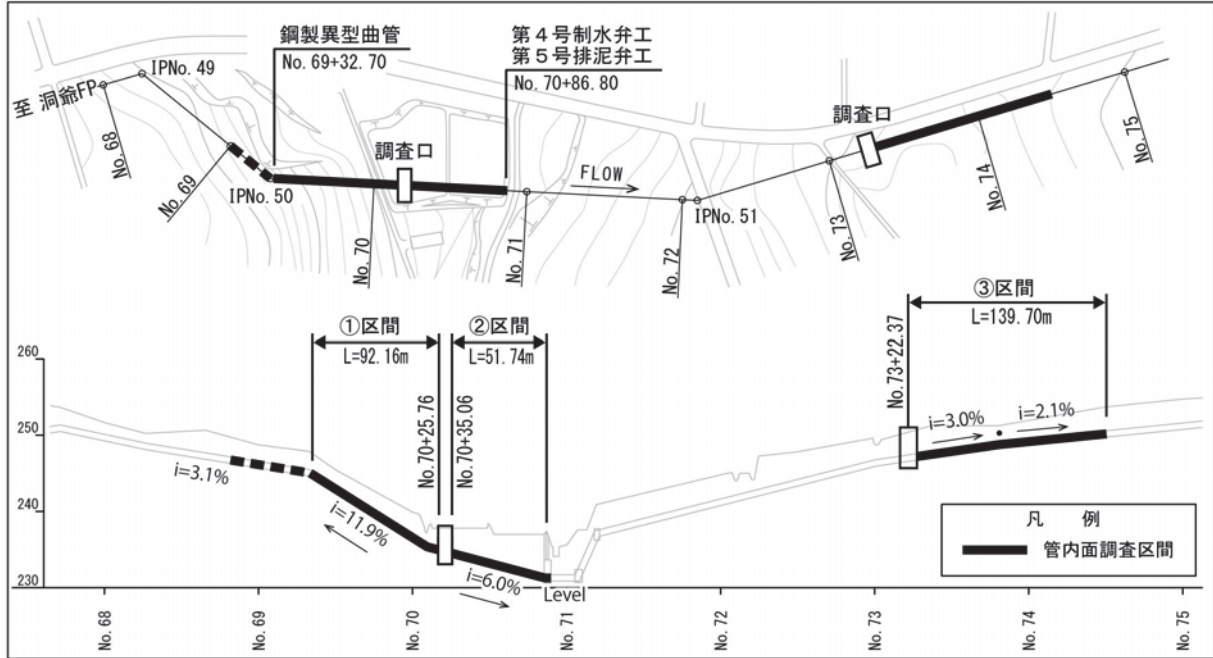


図-1 調査区間縦断面図

3. 管内面検査用カメラによる調査結果

調査員が管内で直接目視できない管径における調査精度を検証するため、管内面検査用カメラ(写真-1)を用いて、管内の変状調査を実施した。

(1) 管内面調査機械の仕様

管内状況の確認調査は、自走台車(写真-2)の上にデータ転送ケーブルを接続した管内検査用カメラを搭載し、管内を自走しながら撮影した映像を監視車輻内のモニター(写真-3)で確認する方法で行った。

○管内面検査用カメラ仕様

- ・構造：防水構造
- ・撮影方法：単板式CCD
- ・有効画素数：38万画素
- ・重量：5kg

○データ転送ケーブル仕様

- ・φ9mm、最大延長500m
- ・重量：0.13kg/m



写真-1 管内面検査用カメラ

○自走台車仕様

- ・平均移動速度：0.20m/秒
- ・重量：61kg

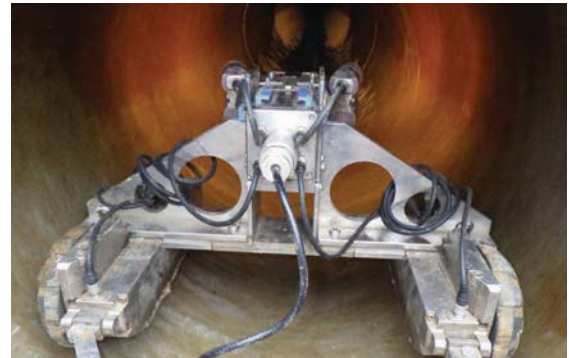


写真-2 自走台車



写真-3 監視車輻内モニター

(2) 管内面調査方法

管内面調査は、調査口に設置した管内面形状計測機械を操作監視車輛のオペレーターが、モニターで機械の挙動を確認しながら操作して行った(写真4～7)。

なお、調査は、機械設置前に高圧洗浄車(ポンプ圧力20MPa、水量230L/分)で管内を洗浄してから実施した。



写真-4 操作監視車輛



写真-5 管内面のモニター確認状況



写真-6 操作盤および監視モニター



写真-7 管内面調査機械の管内進入の状況

(3) 管内面調査結果

1) ①区間 (L=92.16m)

No. 70+25.76地点の調査口から上流側に向かって、管内面形状計測機械(管内検査用カメラ搭載)を設置し、No. 69+32.70地点(鋼製異形管)に向かって管内映像による内面調査を実施した。

調査地点に近接して駐車した監視車輛のモニター画像から、目視調査に耐える洗浄がされていたことと、カメラに装備したライトにより十分な照度があることを確認した。また、管体の状態として、部分的な被膜の剥がれを確認したが、水理機能上もしくは管体の安全性に影響を及ぼす規模の変状は確認されなかった(写真-8、9)。

さらに、継手部は通過時に、一旦、機械を停止させるなどして入念に確認したが、継手間隔の開きや破損等の変状はなかった。管内検査用カメラによる管内面調査では、管内状況は健全であることが確認できた(写真-10)。



写真-8 汚れや傷等なし

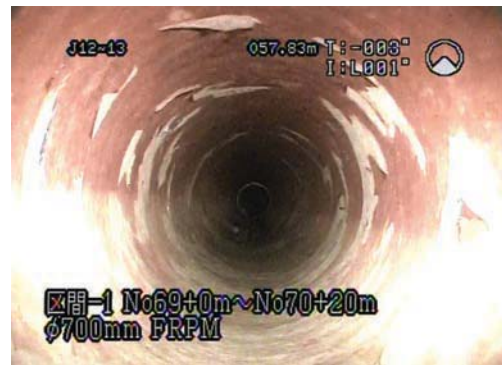


写真-9 被膜の剥がれ

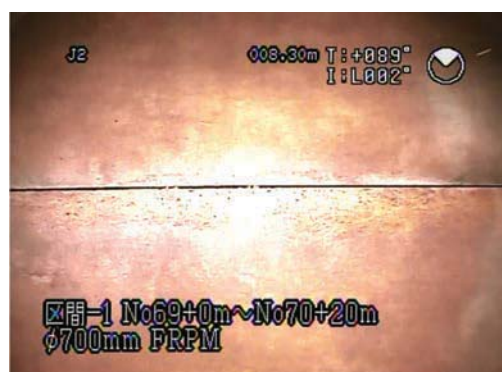


写真-10 継手部の開きなし

2) ②区間 (L=51.74m)

No. 70+35.06地点の調査口から下流側に向かって、①区間と同様に管内面調査機械を設置し、下流側のNo. 70+86.80地点(第4号制水弁工)に向かって管内映像による内面調査を実施した。

高圧洗浄機により管内洗浄を行ったが、第5号排泥工(No. 70+86.80)付近で、全ての土砂を除去することができなかつたため、管内底面に一部土砂が堆積していた。

また、管内面では、ひび割れ、蛇行、沈下は確認されず、継手部に大きな開きや破損等の変状も認められなかつた(写真-11~13)。

よって、管内検査用カメラによる管内面調査から、管内状況は比較的健全性が確保されていると判断できる。



写真-11 ひび割れ・蛇行・沈下等なし

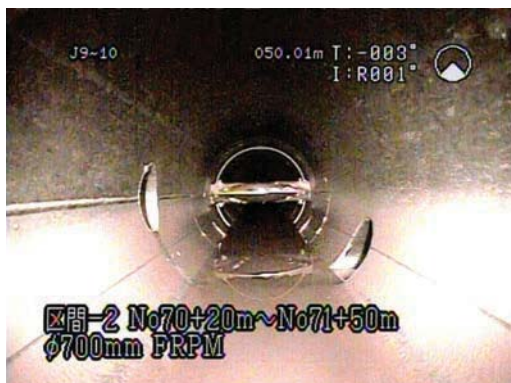


写真-12 調査終点(制水弁地点)



写真-13 継手部の開きなし

3) ③区間 (L=139.70m)

No. 73+22.37地点の調査口から下流側に向かって、①②区間と同様に管内面調査機械を設置し、管内映像による内面調査を実施した。

管内面は、部分的にヘドロが付着しているが、水理機能上特に問題となる変状は確認されなかつた(写真-14)。

また、ひび割れ、蛇行、沈下もなく、継手部における破損等の変状や継手間隔の開きも確認されなかつた(写真-15、16)。

本調査は、12月の冬期間に実施したことから、外気温と管内温度の違いにより、カメラレンズが曇り、モニターによる調査下流端付近での目視が困難になった。これ以外では、管内検査用カメラによる管内面調査では、問題なく管内の状況を正確に把握できた。



写真-14 汚れや傷等がなく健全



写真-15 被膜の剥がれ



写真-16 継手部の開きなし

4. ダブルリングレーザーによるたわみ量調査結果

調査区間の管水路（管径φ700mm）のたわみ量を縦断的に把握するため、ダブルリングレーザー搭載型管内面形状計測機械（写真-17～19）を用いて計測を行った。

(1) ダブルリングレーザーの仕様

たわみ量の計測は、自走台車の管内検査用カメラからダブルリングレーザーに載せ替えて行った。計測方法は、センサー先端部から管軸に対して直交に照射した2本のレーザー光により、360°の断面データを取得することで、管路方向に連続的に解析するものである。

- ・計測間隔：10mm毎（1 mあたり100断面）
- ・計測箇所：4方向（0°、45°、90°、135°）
- ・ダブルリングレーザー重量：6 kg

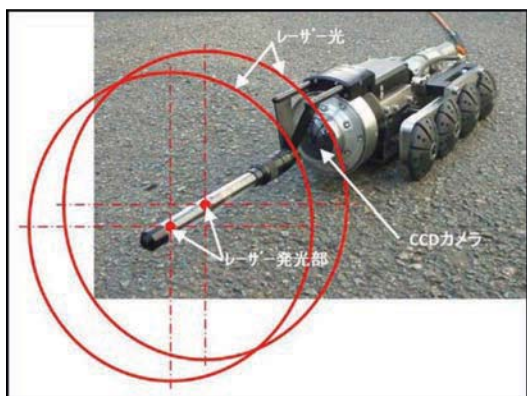


写真-17 ダブルリングレーザー



写真-18 自走台車+ダブルリングレーザー



写真-19 管内面調査機械（ダブルリングレーザー照射状況）

(2) たわみ量計測結果

本調査は、ダブルリングレーザー搭載型管内面形状計測機械から得られた4方向の断面データから、横軸に測定延長、縦軸に計測値を示したグラフを作成した。

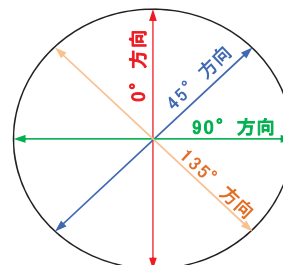


図-2 測定方向

1) ①区間（L=92.16m）

この区間におけるたわみ量の平均は、0°方向-7mm、45°方向-2mm、90°方向+1mm、135°方向-3mmとなり、安全な範囲であるが、たわみが確認された（図-3）。

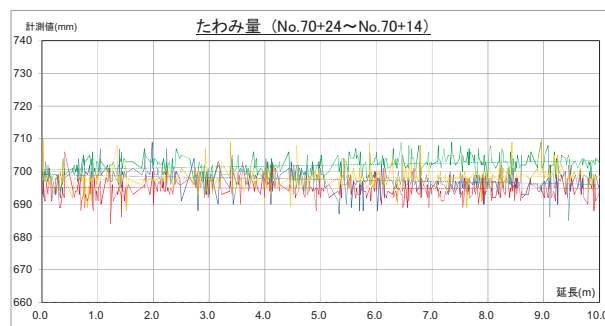


図-3 ①区間（L=10m抽出）のたわみ量

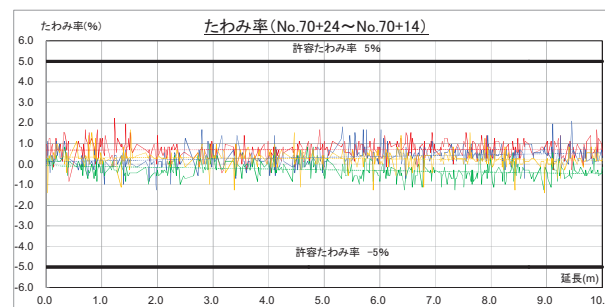


図-4 ①区間（L=10m抽出）のたわみ率

たわみの変形方向としては、上載荷重の影響により0°方向（鉛直）に押しつぶされ、90°方向（水平）に伸びている傾向を示している。

さらに、たわみ率で示すと、平均で0°方向0.85%、45°方向0.34%、90°方向0.04%、135°方向0.43%となり、計測したたわみ率は許容たわみ率（5%）を下回っており、安全性が確保されている状態であった（図-4）。

2) ②区間 (L=51.74m)

この区間におけるたわみ量の平均は、0°方向-9mm、45°方向-3mm、90°方向+5mm、135°方向-2mmとなり、非常に小さなたわみ量であった(図-5)。

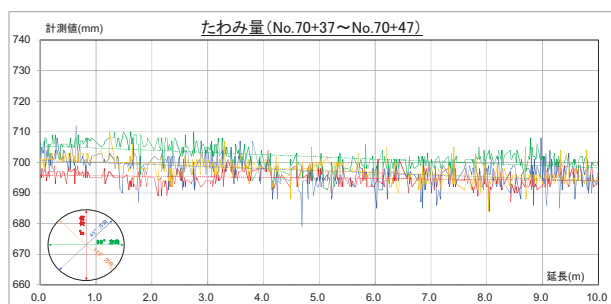


図-5 ②区間(L=10m抽出)のたわみ量

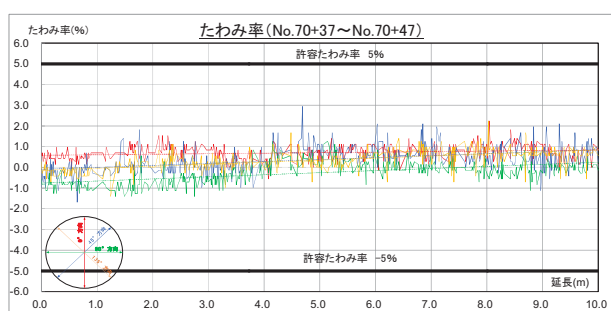


図-6 ②区間(L=10m抽出)のたわみ率

たわみの変形方向としては、上載荷重の影響により鉛直方向からつぶされた状態にあるといえる。

さらに、たわみ率で示すと、平均で0°方向1.31%、45°方向0.36%、90°方向-0.75%、135°方向0.23%となり、計測したたわみ率は許容たわみ率(5%)を下回っており、②区間においても安全性が確保されている状態であった(図-6)。

3) ③区間 (L=139.70m)

この区間におけるたわみ量の平均は、0°方向-5mm、45°方向-1mm、90°方向+3mm、135°方向±0mmとなり、安全な範囲であるが、たわみが確認された(図-7)。

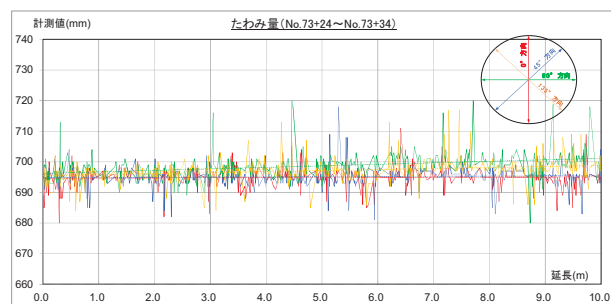


図-7 ③区間(L=10m抽出)のたわみ量

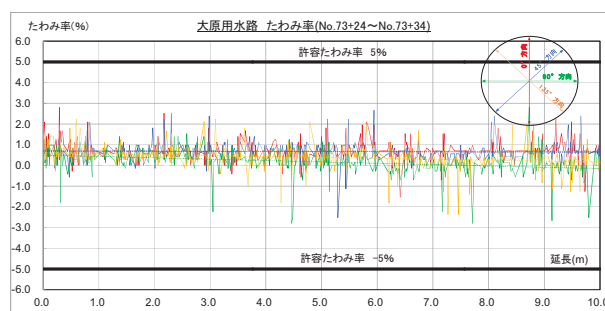


図-8 ③区間(L=10m抽出)のたわみ率

たわみの変形方向としては、上載荷重の影響により0°方向(鉛直)に押しつぶされ、90°方向(水平)に伸びている傾向を示している。

さらに、たわみ率で示すと、平均で0°方向0.65%、45°方向0.20%、90°方向-0.35%、135°方向0.03%となり、計測したたわみ率は許容たわみ率(5%)を下回っており、③区間においても安全性が確保されている状態であった(図-8)。

(3) たわみ率による健全度評価

1) 評価方法

評価方法は、以下の手順で行った。

- ① 計測機械により1cm間隔でたわみ量を計測
- ② 計測データにはバラツキがあるため、前後のデータを確認し大きな差異を計測誤差として補正処理
- ③ 補正処理したデータによるたわみ率と許容たわみ率(5%)の比較

2) 評価結果

①、③区間のたわみ率は1~2%の範囲であり、②区間では、調査起点から終点に向かって2~3%程度まで増加していた。

この要因は、①、③区間の現場条件である土被りが2m程度でほぼ一定であるためと考えられ、たわみ率も一定となっている。一方で、②区間の現場条件は、土被りが起点から終点に向かって深くなっており、終点地点の最大土被りが5.6mであることから、たわみ率も増加しているものと判断される。

さらに、調査区間におけるたわみの変形方向としては、全区間において0°方向(鉛直)に押しつぶされ、90°方向(水平)に伸びている傾向を示した。これは、上載荷重の影響によるものと判断される。

ただし、たわみ率は調査区間全体を通して、許容たわみ率5%を下回っていることから、たわみ量の観点から健全度は確保されていると評価できる。

5. ダブルリングレーザーによる管内面形状測定機械を用いた管内面診断技術の検証結果

前項までの管内面調査結果から、管内面形状計測機械を用いた調査技術の適用性について評価した。

(1) 管内面検査用カメラによる管内変状の把握に対する適用性と課題

管内面形状計測機械（管内検査用カメラ）を管内に搬入し、管内カメラ映像から、管内面の変状（ひび割れ、欠損、継手不具合）等の確認を行った。

本調査で用いたカメラは、管内連続展開画像を処理できる機能をもっていないため、動画画像による変状確認を行った。

動画画像からは、内面ひび割れ、欠損、継手の不具合、管内面状況（土砂堆積状況）、鋼製異形管の腐食状況等の有無について、現地調査時点のモニタ画像と録画した動画により管内状況を確認した（写真-20、21）。



写真-20 鋼製異形管との接続部

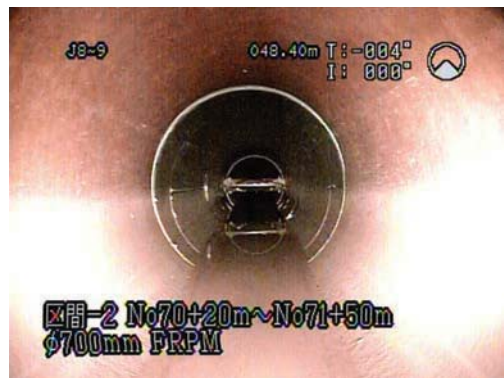


写真-21 管内の滞水状況

この調査手法は、変状があった場合の正確な位置や角度、距離等の指標を評価することができない。

そのため、超広角（魚眼）カメラで撮影した直視映像から画像展開処理ができる「管内画像展開システム」を導入し、管内面を平面図化することにより、調査精度を高める必要がある。

また、本調査は平成28年12月5～7日に実施しており、調査区間③を実施した日の天候は雪、外気温-8.9℃であった（写真-22）。

(2) ダブルリングレーザー搭載型管内面形状計測機械による「たわみ量」計測精度の検証

本調査の管体開口端部における人力計測したたわみ量と管内面形状計測機械（ダブルリングレーザー搭載）で計測したデータを比較し、管内面形状計測機械の測定精度の検証を行った。

また、左記気象条件において、ダブルリングレーザーによるたわみ量計測を行った結果、測定誤差と見られる異常値が多数計測された。この要因は、外気温と管内面との温度差の影響により、ダブルリングレーザー照射部に結露が発生したため、適正なレーザー照射ができなかったことによるものと判断される。

そのため、今後管内面調査を実施する場合には、冬季厳寒期を避ける他、やむを得ず冬季調査となる場合には、管水路の開口部を2箇所とし、送風機等を使用するなど、管内の通気性確保が必要であると考える。



写真-22 調査時の管体露出状況

このほか、上記結露対策が困難な場合には、ダブルリングレーザーによるたわみ量計測ではなく、機械式計測機器（写真-23）の導入を検討するのも有効であると考えられる。



写真-23 参考：機械式計測機器
（センサー部分が直接管体に接触して計測する方式）

次に、管内面形状計測機械（ダブルリングレーザー搭載）の計測データは、1 cm間隔で計測されているが、細かな計測誤差があるため、1 mの平均計測値を用いた。比較検証の結果（表-1, 図-9）は以下のとおりである。

- ・計測誤差は1～4 mm
- ・百分率に換算すると、0.1～0.6%と非常に小さい以上より、管内面形状計測装置（ダブルリングレーザー搭載）の測定精度は、高いものと判断できる。

本調査で導入した管内面形状計測機械は、我が国で4台（H28.12時点）しか普及していないため、機器調達準備に時間を要したことから、冬季の12月調査となった。

管内面形状計測機械は、管内自走車本体、カメラ装置、ダブルリングレーザー装置、計測装置走行制御データ処理搭載車輻から構成されており、全体システムの費用は数千万円と非常に高価な装置であるため、機械コストを下げ、計測機械の普及台数が増加すること期待するところである。

表-1 たわみ量（人力計測とレーザー計測）対比表

調査箇所	計測方向	諸元		たわみ量(mm)		計測誤差	
		管厚t(mm)	直径2R(mm)	人力計測	レーザー計測(1m平均値)	(mm)	(%)
①断面	鉛直	14	700	696	694	2	0.3
	水平	14	700	702	701	1	0.1
②断面	鉛直	14	700	698	696	2	0.3
	水平	14	700	703	706	-3	-0.4
③断面	鉛直	14	700	695	691	4	0.6
	水平	14	700	702	698	4	0.6

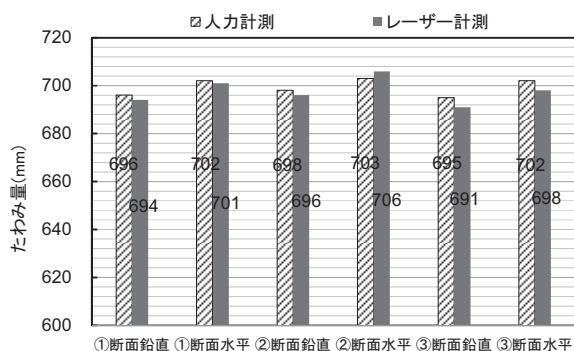


図-9 たわみ量（人力計測とレーザー計測）対比グラフ

(3) 小口径管路における管内面形状計測機械の作動条件の検証

管水路埋設条件（曲がり部、傾斜部等）の異なる区間において、管内面形状計測機械を走行させる性能試験を実施した。

調査区間①～③における管水路の傾斜勾配および曲がり部の敷設条件は、表-2のとおりである。

表-2 管水路敷設条件

調査区間	測点	延長(m)	傾斜勾配(%)	曲点角度(° ' ")	
				垂直曲点	平面曲点
①区間	No.70+25.76 ～ No.69+33.60	92.16	6.0 → 11.9 → 3.1	4° 09' 54"	36° 40' 10"
②区間	No.70+35.06 ～ No.70+86.80	51.74	-6.0 → Level	2° 59' 49"	-
③区間	No.73+22.37 ～ No.74+62.07	139.70	3.0 → 2.1	0° 32' 34"	-

1) ①区間

調査区間をNo. 70+25.76～No. 69+33.60（図-10）とし、調査口から上流側のNo. 69+32.60地点（鋼製異形曲管）に向かって、上り勾配の走行試験を実施した。

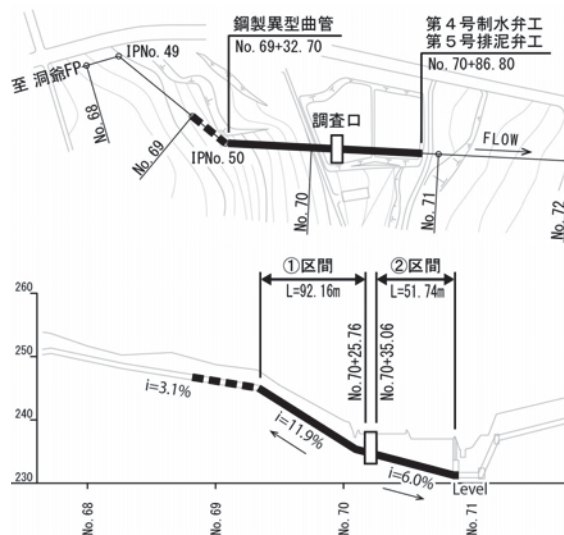


図-10 ①区間および②区間縦平面図

①区間における走行状況は、起点部から上り傾斜勾配6.0%のFRPM管を14.3m前進し、No. 70+09.10地点の鋼製異形曲管（垂直曲点4°09'54"、L=1.00m）を通過後、傾斜勾配11.9%のFRPM管を75.0m前進した。

終点（No. 69+32.60）では、鋼製異形曲管と接続されており、進行方向に対して合成曲点36°40'10"曲管があったことから、この地点で管内面形状計測機械が走行不能となった（写真-24）。



写真-24 鋼製異形曲管 (No. 69+32.60)

さらに、①区間における走行性能試験結果として、調査口から傾斜勾配上り6.0%の区間 (L=16.16m) では、走行速度0.19~0.21m/sとほぼ一定速度で前進することができ、垂直曲点部 (4°09'54") においても、走行速度0.19~0.20m/sの一定速度を確保しながら前進できた。

その後、進行距離50mを過ぎた段階で、管路の傾斜勾配11.9%が急なことから、管内面形状計測機械が管内をスリップしながら、かろうじて前進する状況となった。

このとき、進行距離70mを越えた段階で、走行速度が0.02~0.06m/sと急激に低下する状況となった。その要因として、管内面形状計測機械の重量66kgに加え、データ転送用ケーブルが9.1kg/70m (1m当り0.13kg)、合計75.1kgに増加したことが負荷となり、傾斜勾配11.9%を前進することができなかったものと判断される。

さらに、終点部 (No. 69+33.60) の鋼製異形曲管 (平面曲点36°40'10"、垂直5°22'46"、φ700mm) では、管内面形状計測機械の大きさから曲がりきれなかったため、この地点で走行不能となった (図-11)。

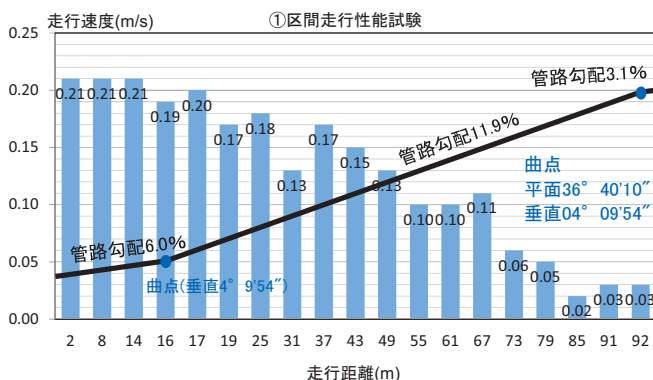


図-11 ①区間走行性能試験結果

2) ②区間

調査区間をNo. 70+35.06~No. 70+86.80 (図-10) とし、調査口から下流側のNo. 70+86.80地点 (第4号制水弁工) に向かって、下り勾配の走行試験を実施した。

②区間における走行状況は、起点部から下り傾斜勾配6.0%のFRPM管を50.25m前進し、No. 70+85.50地点 (第5号排泥工、第6支線分土工) から鋼製異形曲管 (垂直曲点2°59'49"、L=1.30m) を通過した。

終点 (第4号制水弁工) には、バタフライバルブの円盤状の弁体があり (写真-25)、管内面形状計測装置が前進できないことから、この地点を調査終点とした。



写真-25 第4号制水弁工の弁体 (No. 70+86.80)

さらに、②区間における走行性能試験結果として、調査口から傾斜勾配-6.0%の区間 (L=50.14m) は、走行速度0.19~0.21m/sとほぼ一定速度で前進することができ、垂直曲点部 (2°59'49") においても、走行速度0.19~0.20m/sの一定速度を確保しながら前進することができた (図-12)。6%程度の下り勾配においては、自走台車の走行性能をほぼ発揮することが明らかとなった。

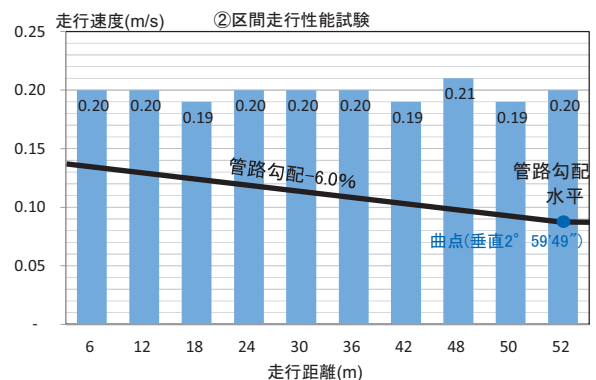


図-12 ②区間走行性能試験結果

3) ③区間

調査区間をNo. 73+22.37～No. 74+62.07 (図-13)とし、起点部から上流側に向かって、上り勾配の走行試験を実施した。

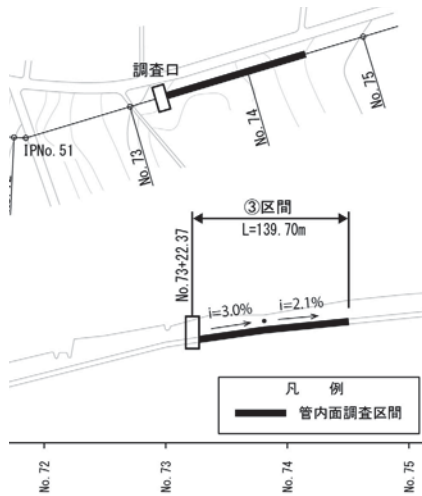


図-13 ③区間縦平面図

③区間における走行状況は、調査口から傾斜勾配3.0%のFRPM管を43.7mを走行速度0.20～0.21m/sとほぼ一定速度で前進し、No. 73+66.07地点から、走行速度は0.08～0.14m/sと低速走行で管内をスリップしながら前進し始めた。その後、スリップを繰り返しながら96.0m前進することができた。

さらに、③区間における走行性能試験結果として起点部より55.70m地点の垂直曲点部(0°32'34")の走行は、特に問題もなく前進していたが、進行距離100mを越えた段階での走行速度は0.10～0.14m/sとなり、起点部と比較すると約50%の走行速度まで低下した(図-14)。その要因は、管内面形状計測機械の重量66kgに加え、データ転送ケーブルが13kg/100m(1m当り0.13kg)、合計79kgに増加したことで、管内でスリップ状態を引き起こし、走行速度の低下を招いたものと判断される。

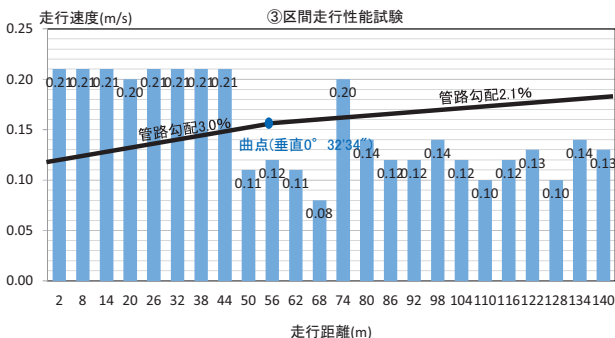


図-14 ③区間走行性能試験結果

4) 管内面形状計測機械の走行性能まとめ

本調査で管内面形状計測機械の走行性を確認した結果から、今後、同様の調査を行う場合に留意すべき点を以下に要約する。

- 管径φ700mmで平面曲げ角度36°を曲がりきれなかったことから、極力直線区間を選定する。
- 11.9%の上り勾配で、調査延長20mを超えてから右肩下がりに走行速度が低下したことから、上り勾配では6%程度が走行性能を発揮できる限界と考えられる。
- 下り勾配では、自走台車のタイヤのグリップが効く限り、問題なく測定が可能であると考えられる。

また、管内面形状計測機械においても、本体の小型化やモーター出力の増強、データ転送ケーブルの軽量化などの性能を向上することにより、調査可能範囲は広がるものと考えられる。

6. おわりに

本調査により、管内面調査機械は管内面を目視で確認できる有効な調査手法であることが確認できた。

ただし、調査機械自体の性能向上や、調査環境の適切な設定など、適用範囲を広げる上での課題も得られたので、今後、この技術のブラッシュアップを図っていきたいと考える。

最後に、本調査の前後におこなった水抜き作業および充電作業にご協力いただいた施設管理者の洞爺湖町担当者の方をはじめ、調査にご協力いただいた施工会社、調査機器メーカーならび室蘭開発建設部の関係各位に、紙面を借りて心より感謝申し上げます。
(株ドーコン)

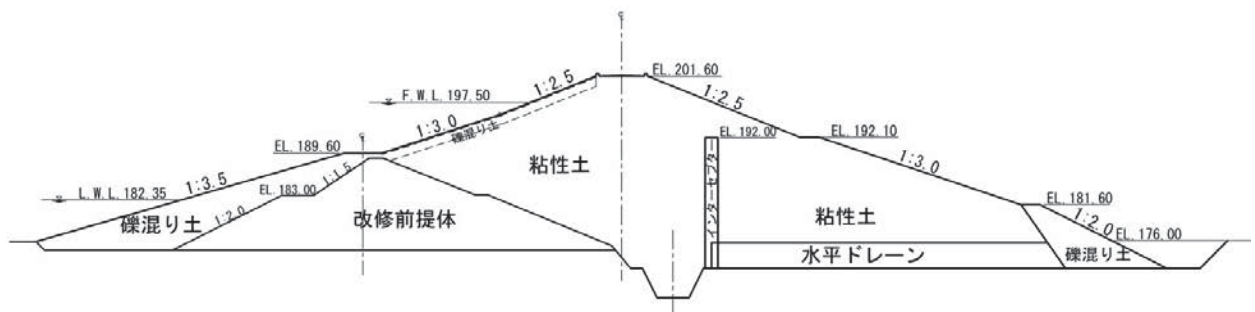


図-2 堤体標準断面図

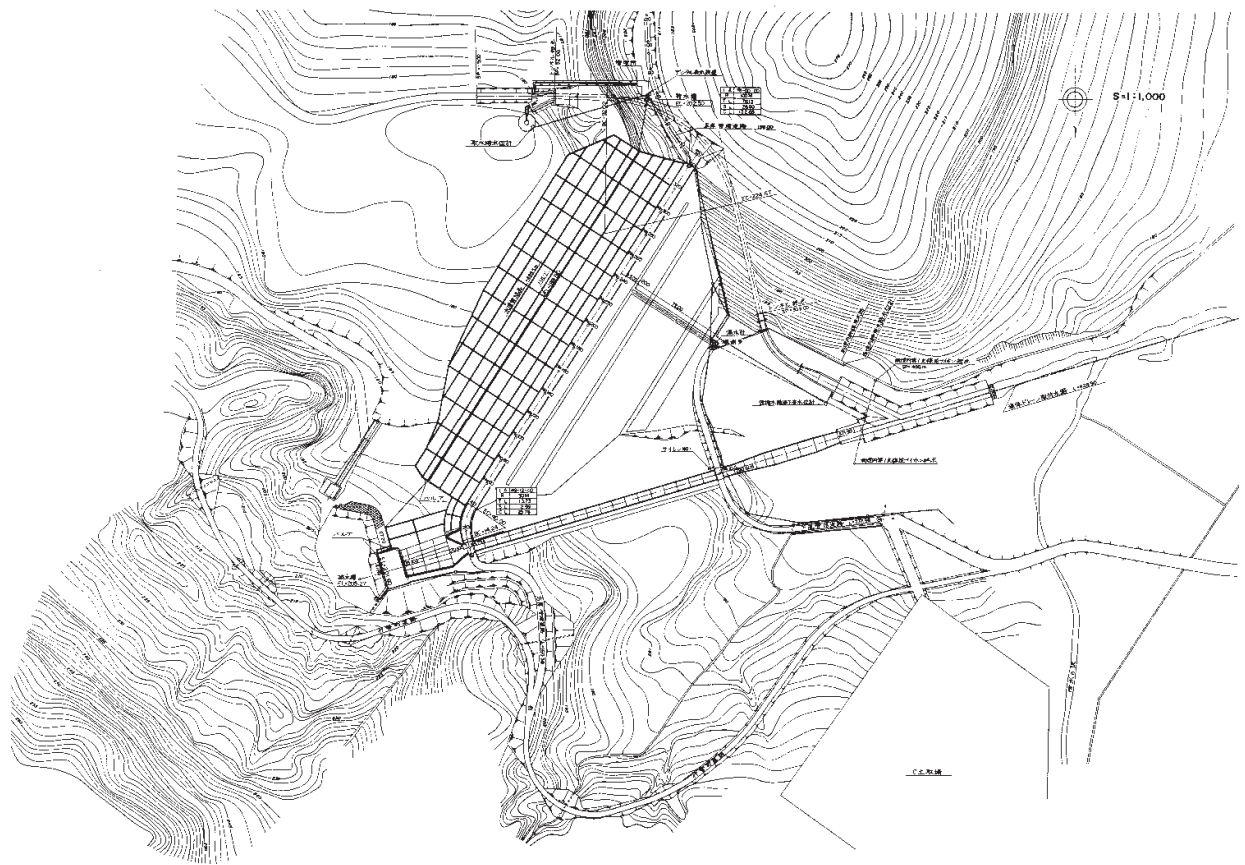


図-3 堤体平面図

3. レベル1地震動に対する耐震性能照査

(1) 耐震性能目標

フィルダムのレベル1地震動に対する耐震性能は、「供用期間内に1～2度程度発生する確率をもつ地震動強さ」に対して、「ダムにすべり破壊が生じないこと」、「ダムに残留変形が生じないこと」とされている。(国営造成農業用ダム耐震性能照査マニュアル 平成24年3月)

具体的には、ダム当該地点における地震力(地震係数)を作用させた安定計算(震度法)において、すべり破壊に対して所要の安全率(Fs) 1.2以上を確保することである。

(2) 堤体の安定計算結果

1) 当初設計

本ダムでは、堤体の嵩上げを設計する時点において、堤体のすべり破壊に対する安定計算が実施されている。(表-1、表-2)

その結果からすれば、すべり破壊に対する最小安全率は、上流側法面Fs=1.217、下流側法面Fs=1.443であり所要の安全率を満足している。

表-1 安定計算に用いた設計数値一覧表

項目	記号	単位	改修前堤体	粘性土	礫混り土
土粒子の密度	ρ_s	—	2.75	2.69	2.65
含水比	w	%	25.0	30.8	10.0
乾燥密度	ρ_d	t/m ³	1.50	1.41	1.70
湿潤密度	ρ_t	t/m ³	1.88	1.84	1.87
飽和密度	ρ_{sat}	t/m ³	1.95	1.88	2.06
水中密度	ρ_{sub}	t/m ³	0.95	0.88	1.06
粘着力	C	tf/m ²	4.0	4.5	0
内部摩擦角	ϕ	°	15.0	20.0	35.0
透水係数	k	cm/s	1.8×10^{-6}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-3}

改修前堤体のせん断強度は三軸圧縮試験UUより設定している

表-2 安定計算結果一覧表

ケース	堤体条件	貯水位	地震係数	安全率	
				上流側	下流側
1	完成直後	空虚	—	1.621	1.552
2	常時満水位	FWL197.50m	0.12	1.217	1.443
3	水位急低下	FWL→LWL	0.12	1.229	—

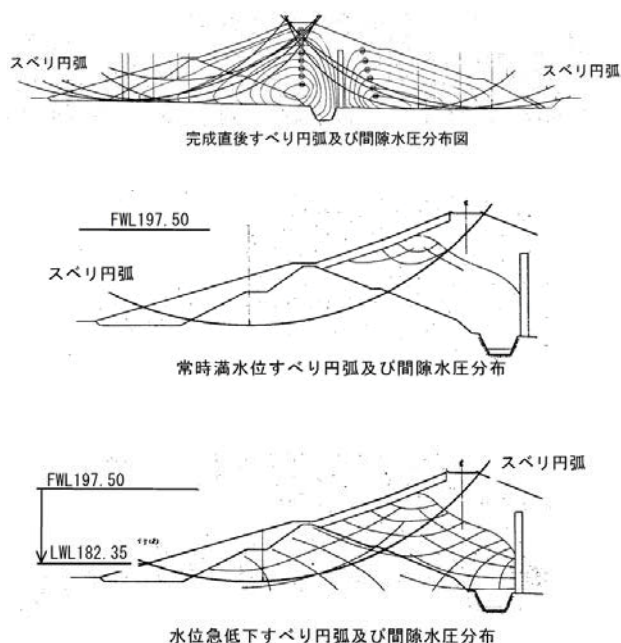


図-4 当初設計の安定計算結果図

2) 堤体下流水位を考慮した安定計算

当初設計においては、堤体内の浸潤線がインターセプターで完全に低下する形状で安定計算を行っている。一方、堤体内に設置されている浸潤線観測孔の水位計測結果では、堤体下流に浸潤線が形成されていることが明らかとなった。

そのため、堤体下流の水位をモデル化し(図-5参照)、表-1を用いて堤体の安定計算を実施した。

その結果、堤体下流の水位を考慮しても、すべり破壊に対する安全率は、上流側法面Fs=1.269、下流側法面Fs=1.474であり所要の安全率を満足することを確認した(図-6参照)。

以上より、本ダムの堤体は、レベル1地震動に対する耐震性能を有していると判断した。

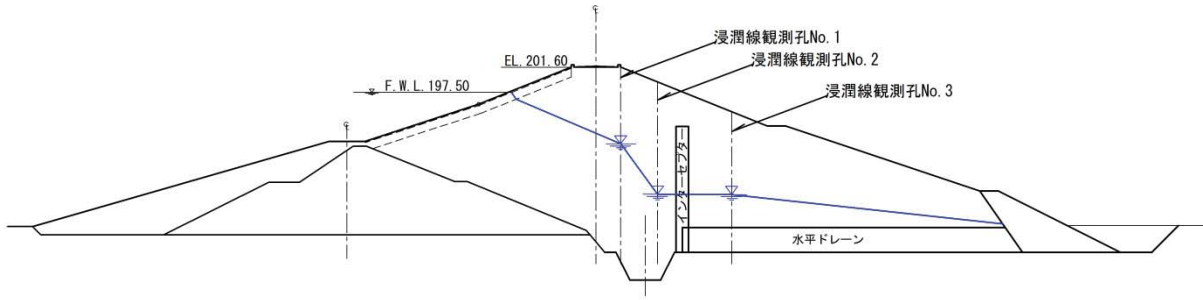


図-5 堤体内浸潤線形状

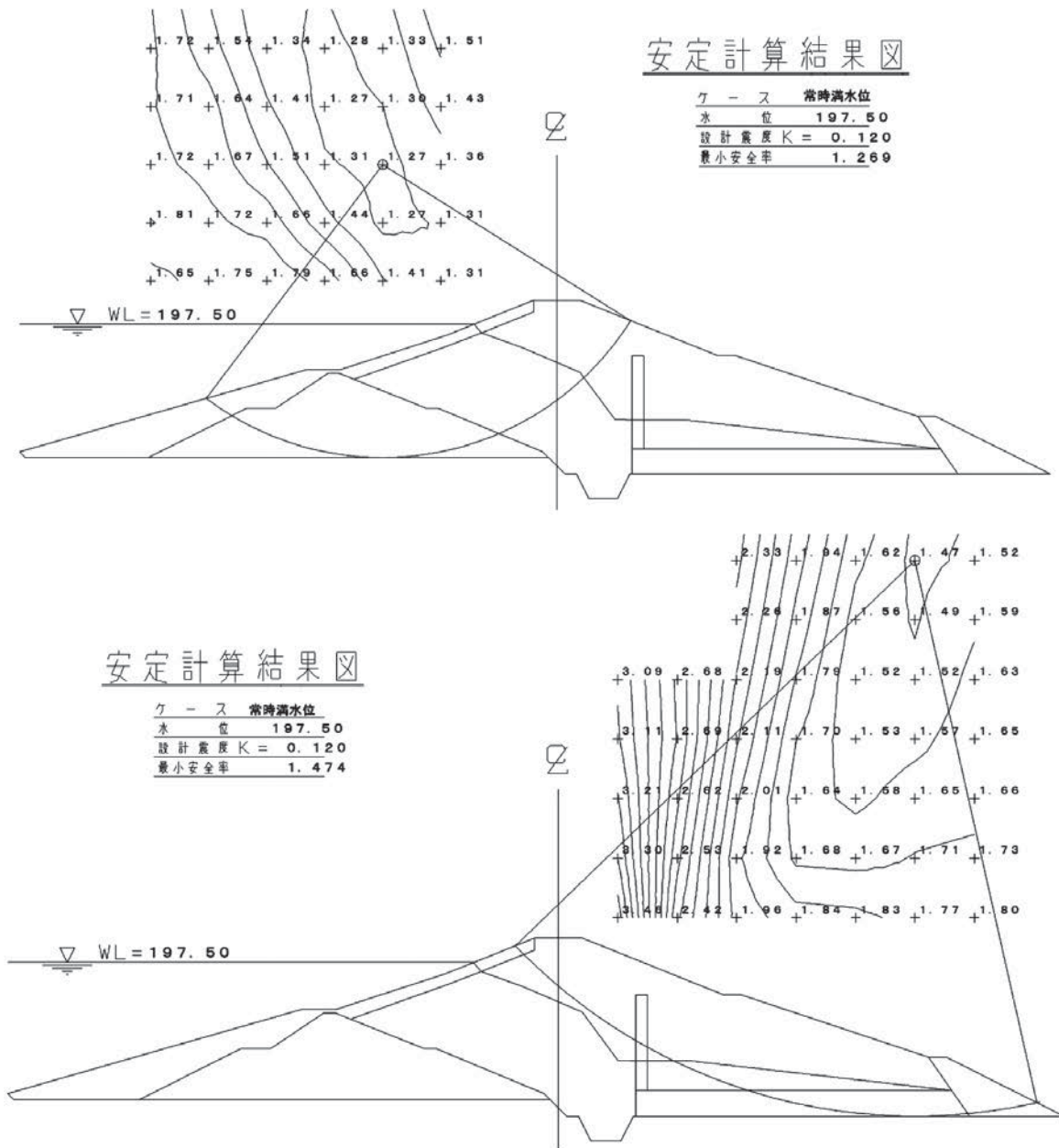


図-6 堤体下流水位を考慮した安定計算結果図

4. レベル2地震動に対する耐震性能照査

(1) 耐震性能目標

フィルダムのレベル2地震動に対する耐震性能は、「現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さをもつ地震動強さ」に対して、「地震によりダムに構造的な損傷が生じた場合でも構造的な損傷が修復可能であり、ダムの貯水機能、放流機能が維持されること」とされている。(国営造成農業用ダム耐震性能照査マニュアル平成24年3月)

具体的には、ダム当該地点における最大級の地震波形を設定して地震応答解析を行い、堤体のすべり破壊が発生しても、鉛直変位量が許容値内(1.0m未満)となることである。

(2) レベル2入力地震動の設定

解析に用いる入力地震動は、「内陸活断層型」と「プレート境界型」の2タイプとする。

入力地震動の設定に当たっては、位相特性と振幅特性を考慮する必要があり、ダム周辺の地震断

層により生じる地震動、既往の地震動、地域の防災計画において想定されている地震動等の情報を収集し、入力地震動(地震波形)を設定した。

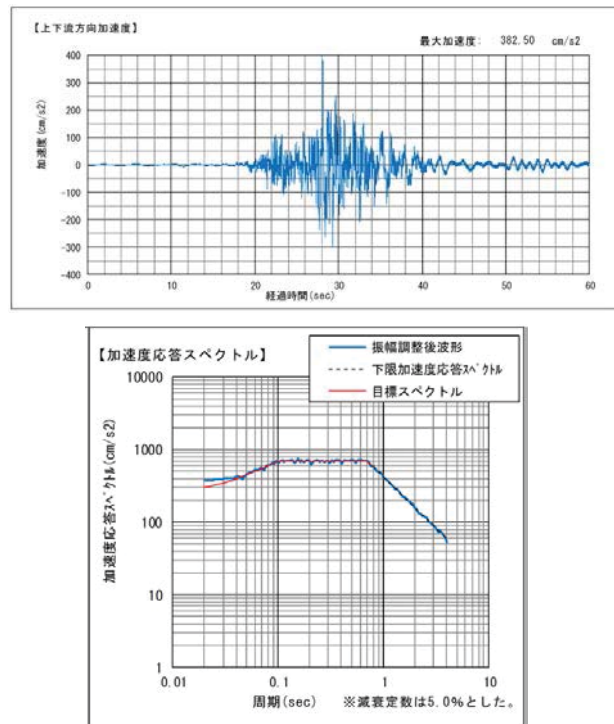


図-7 内陸活断層型入力地震動

表-3 入力地震動設定方針

1) 内陸活断層型	2) プレート境界型
<p>a) 振幅特性 (加速度応答スペクトル)</p> <p>1)本ダム地点の過去地震、2)断層モデルによる想定地震について H23 ダム距離減衰式で加速度応答スペクトルを作成し、加速度応答スペクトルが最も大きくなるものから決定した。</p> <p>増毛山地東縁断層帯の H23 等価距離式による加速度応答スペクトルを用いる。</p> <p>照査用下限線を下回る部分は下限線まで引き上げダムの固有周期に係わる部分について平滑化して目標スペクトルを設定した。</p>	<p>a) 振幅特性 (加速度応答スペクトル)</p> <p>1)本ダム地点の過去地震、2)断層モデルによる想定地震について H23 ダム距離減衰式で加速度応答スペクトルを作成し、加速度応答スペクトルが最も大きくなるものから決定した。</p> <p>北海道留萌沖 N225E (道) の H23 最短距離式による加速度応答スペクトルを目標スペクトルとして設定した。</p> <p>プレート境界型の場合、照査用下限線は考慮しない。</p>
<p>b) 位相特性 (原種波形)</p> <p>道内ダムでの適切な観測波形がないため、振幅特性採用波である「増毛山地東縁断層帯」の当該ダムサイトにおける模擬地震波を用いる。*1)</p> <p>*1) 防災科学研究所の J-SHIS (地震ハザードステーション) の主要活断層帯に、「増毛山地東縁断層帯」があり、この模擬地震波は 1km メッシュ毎に速度波形として公開されているので、当該ダムに最も近いメッシュの速度波形をダウンロードし、これを微分した加速度波形を採用することとした。</p>	<p>b) 位相特性 (原種波形)</p> <p>漁川ダム監査廊で観測された、H15 年十勝沖地震 (本震) 時の波形を用いる。*2)</p> <p>*2) 漁川ダムは堤高 42m のロックフィルダムであり、基礎岩盤は低溶結の軽石質凝灰岩である。雨煙内ダムの基礎岩盤は中生代ジュラ紀の蛇紋岩であり、地質的には異なるが、①開発局管轄の道内フィルダム底部監査廊波形としては、最大の波形であること、②漁川ダムの加速度応答スペクトルが雨煙内ダムの目標スペクトルに概ね近いことから、これを採用することとした。</p>
<p>c) 波形の作成</p> <p>上記の a) 及び照査用下限線を網羅する目標加速度応答スペクトルに b) の位相特性を加えて波形を作成する。</p> <p>作成した波形の加速度応答スペクトルが目標加速度応答スペクトルに概ね一致するまで調整を行う。</p>	<p>c) 波形の作成</p> <p>上記の a) の目標加速度応答スペクトルに b) の位相特性を加えて波形を作成する。</p> <p>作成した波形の加速度応答スペクトルが目標加速度応答スペクトルに概ね一致するまで調整を行う。</p>

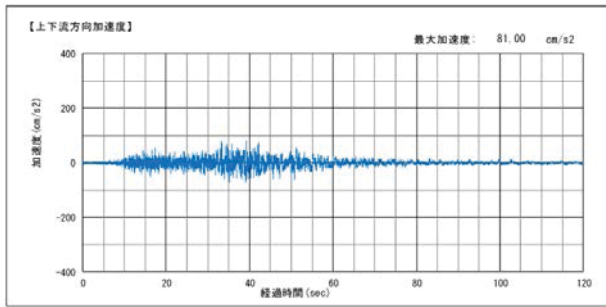


図-8 プレート境界型入力地震動

(3) 解析パラメータを設定するための調査試験

本ダムにおいては、改修前提体の基礎地盤の性状、盛立材料の特性に関する資料が残っていないことから、ボーリング調査及び土質試験を行った。

1) ボーリング調査

改修前提体の基礎地盤の地層を確認して、解析モデルに反映させるためにボーリング調査を行った。(H26-B-No.1)

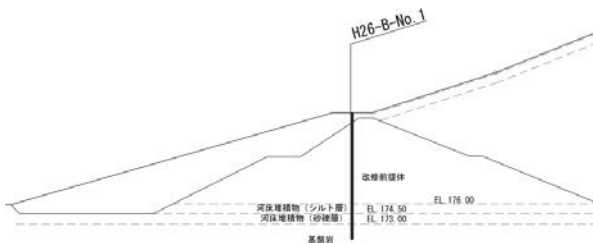


図-9 ボーリング調査位置及び地層境界

その結果、改修前提体の基礎地盤は、基盤岩の上位に河床堆積物が分布していることを確認した。

2) 堤体材料の地震時の強度低下試験

堤体改修時の粘性土、礫混り土は、施工当時の記録より締固め度(D値)95%以上の盛立施工が実施されていることが確認された。一方、改修前提体については、改修時の現地調査において締固め度がD値88%の試験値があり、地震時の揺れに伴う繰り返し载荷により強度が低下することが懸念された。

そのため、地震時の繰り返し载荷を想定した試験を行い、せん断強度の低下状況を確認した。

試験は、土の繰り返し非排水三軸試験(JGS 0541)と三軸圧縮試験(CU)(JGS 0523)の組み合わせ(繰り返し载荷+単調载荷試験)、ダム地点で想定される最大級の地震のマグニチュード(M=7.8)から繰り返し回数(20回)を設定して、非排水状態で軸ひずみ15%まで圧縮を行い、せん断強度を求めた。

尚、試験に用いる供試体の密度は、改修前調査時に確認された締固め度D値88%に調整した。

一方、同じ供試体を用いて、繰り返し载荷を行わずにせん断試験(単調载荷試験)を行い、繰り返し载荷を与えた場合との強度比較を行い地震の揺れ(繰り返し载荷)に伴う強度低下を確認した。

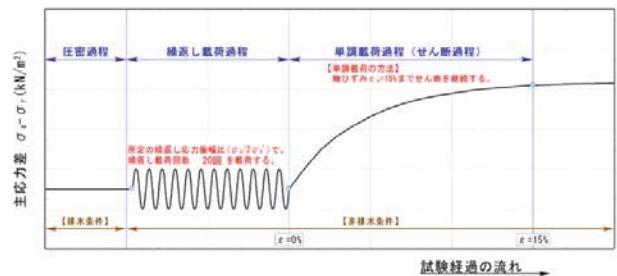


図-10 繰り返し载荷+単調载荷試験概念図

その結果、繰返し载荷過程における軸歪み $\epsilon = 5\%$ を生じた場合の強度低下（主応力差）は14.3%であった。

よって、レベル2地震応答解析によりすべり破壊が発生した場合の改修前堤体のせん断強度は、通常の三軸圧縮試験により求められたせん断強度（ $\tau = 18.4\text{kN/m}^2 + \sigma \tan 13.4^\circ$ ）を14.3%低下させて以下のとおりとした（図-11参照）。

$$\tau = 16.4\text{kN/m}^2 + \sigma \tan 12.1^\circ$$

尚、堤体嵩上げ部のせん断強度は、地震の揺れに伴う強度低下は生じないとした。

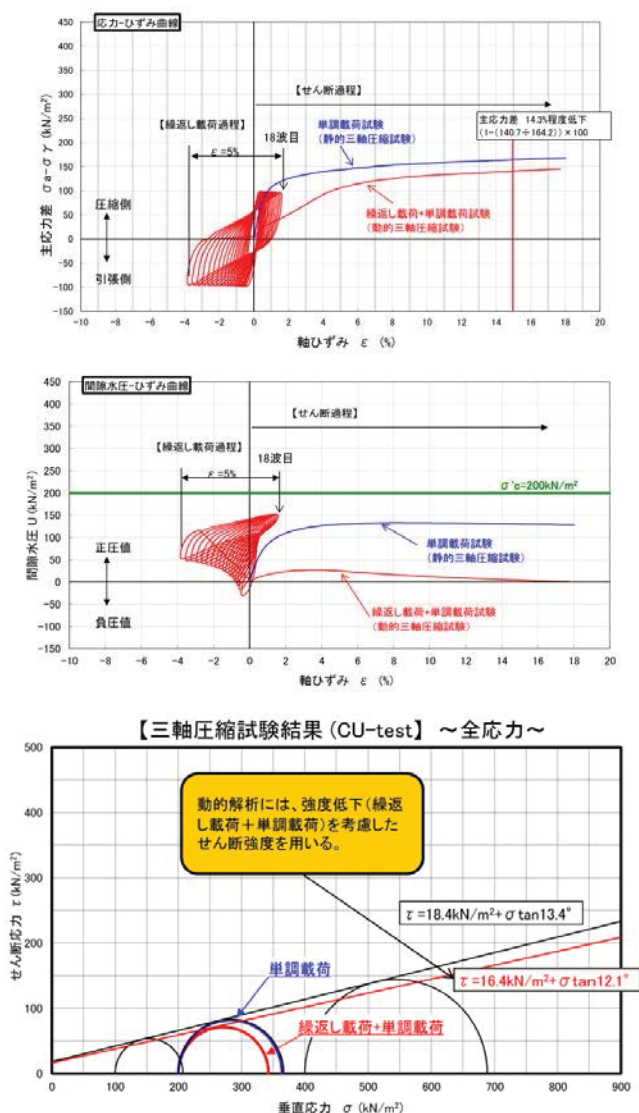


図-11 繰返し载荷+単調载荷試験結果図

(4) 解析モデル及びパラメータの設定

1) 解析モデル

解析モデルは、河床部の堤体最大断面を用い、解析領域は、モデル境界の影響を緩和するため、「水平方向は堤敷幅の5倍」「鉛直方向は堤高の3倍」とした。

また、モデル端部の境界条件は、底面は弾性基盤との境界に $\rho \cdot V_s$ のダッシュポット、側面はダッシュポット（ $\rho \cdot V_s$ ）で自由地盤と連結するモデル（粘性境界）とした（図-12、図-13参照）。

堤体内浸潤線については、降雨時及び融雪期に一時的な水位がインターセプター下流側に形成されることから、レベル1耐震性能照査においては下流水位を考慮した安定計算を実施した。ただし、常時は水平ドレーンで堤体内の浸透水が排水されることから、レベル2解析においては、インターセプターの下流水位は考慮しないモデルとした。

2) 静的解析パラメータ

静的解析パラメータについては、以下の方針により設定した。

- 堤体盛土はDuncang-Changモデル、基礎地盤は線形モデルとした。
- 改修前堤体は、ボーリングコアを用いた三軸圧縮試験結果を基に設定した。
- 改修後の堤体は、施工時の品質管理試験の結果を用いるが、試験値が無いパラメータについては、一般値として他ダムの解析値を採用した。
- 河床堆積物の剛性特性は、標準貫入試験の結果を基に、他ダムの解析値を採用した。
- 基礎岩盤は、圧縮強度試験結果及び参考文献を基に設定した（表-4参照）。

3) 動的パラメータ

動的解析パラメータについては、以下の方針により設定した。

- 改修前堤体は、地震による強度低下を考慮したせん断強度を採用する。
- S波速度は、各材料、基礎地盤のN値より換算した。
- せん断剛性比、減衰定数については、改修前堤体は繰返し三軸試験結果より設定した。他の材料については一般的な材料の双曲線モデルを採用した。
- 基礎地盤は、類似した地質の物性値より設定した（表-5参照）。

材料区分

番号	区分	材料名
①	堤体	改修前堤体
②	堤体	粘性土
③	堤体	礫混り土（上流）
④	堤体	インターセプター
⑤	堤体	水平ドレーン
⑥	堤体	礫混り土（下流）
⑦	基礎	河床堆積物（シルト層）
⑧	基礎	河床堆積物（砂礫層）
⑨	基礎	基礎岩盤

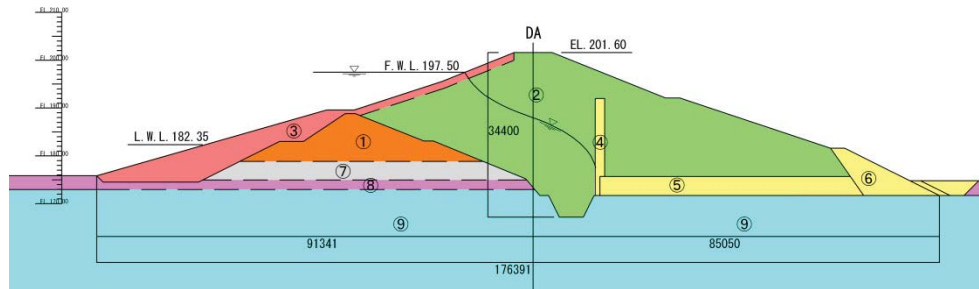


図-12 堤体解析モデル及び材料区分

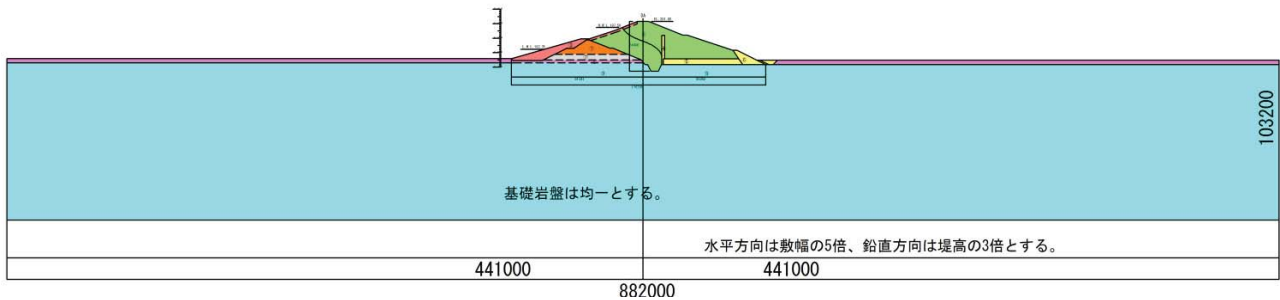


図-13 全体解析モデル

表-4 静的パラメーター一覧表

区分	ゾーン	材質	番号	湿潤重量 γ_t KN/m ³	飽和重量 γ_{sat} KN/m ³	剛性EI			ポアソン比			粘着力 C Mpa	内部摩擦角 ϕ 度	透水係数 K m/sec
						K	N	Rf	G	F	D			
堤体	改修前堤体	粘性土	①	15.7	16.8	131	0.84	0.92	0.40	0.07	1.55	0.018	13.4	1.00E-07
	改修後堤体	粘性土	②	18.4	19.1	300	0.80	0.80	0.45	0.08	10.00	0.045	20.0	5.80E-08
	上流被覆土	礫混り土	③	18.3	20.2	400	0.50	0.90	0.33	0.00	0.00	0.000	35.0	5.00E-06
	インターセプター	砂礫	④	18.3	20.2	850	0.37	0.49	0.32	0.27	13.82	0.000	30.0	1.00E-05
	水平ドレーン	砂礫	⑤	18.3	20.2	850	0.37	0.49	0.32	0.27	13.82	0.000	30.0	1.00E-05
	下流礫混り土	砂礫	⑥	18.3	20.2	850	0.37	0.49	0.32	0.27	13.82	0.000	35.0	1.00E-05
土質基礎	河床堆積物	シルト層	⑦	19.7	21.2	9.2			0.45			0.021	0.0	1.00E-06
	河床堆積物	砂礫層	⑧	21.1	21.5	40			0.33			0.018	24.3	1.00E-06
岩盤基礎	基礎岩盤	蛇紋岩	⑨	24.5	24.5	1275			0.2			0.200	40.0	1.00E-07

表-5 動的パラメーター一覧表

区分	ゾーン	材質	番号	湿潤重量 γ_t KN/m ³	飽和重量 γ_{sat} KN/m ³	P波速度 Vp m/sec	S波速度 Vs m/sec	動ポアソン比 ν	初期せん断剛性 G0 MPa	初期ヤング率 E0 MPa	G/Go、h~ γ 曲線	粘着力 C MP	内部摩擦角 ϕ 度
	改修後堤体	粘性土	②	18.4	19.1	1,550	215	0.49	90	269	コアゾーン一般値	0.045	20.0
	上流被覆土	礫混り土	③	18.3	20.2	1,600	220	0.49	100	297	ロックフィルター一般値	0.000	35.0
	インターセプター	砂礫	④	18.3	20.2	1,600	220	0.49	100	297	ロックフィルター一般値	0.000	30.0
	水平ドレーン	砂礫	⑤	18.3	20.2	1,600	220	0.49	100	297	ロックフィルター一般値	0.000	30.0
	下流礫混り土	砂礫	⑥	18.3	20.2	1,600	220	0.49	100	297	ロックフィルター一般値	0.000	35.0
土質基礎	河床堆積物	シルト層	⑦	19.7	21.2	1,500	200	0.48	86	257	動的変形試験結果	0.021	0.0
	河床堆積物	砂礫層	⑧	21.1	21.5	1,600	275	0.48	166	492	繰返し h=5%	0.018	24.3
岩盤基礎	基礎岩盤	蛇紋岩	⑨	24.5	24.5	2,000	700	0.40	1,225	3,430	繰返し h=5%	0.200	40.0

(5) レベル2地震応答解析結果

1) 内陸活断層型地震

内陸活断層型地震を入力波とした場合の解析結果は図-14に示す通りであり、応答加速度は、ダム基礎部で 3.678m/sec^2 (368gal)、天端部で 5.981m/sec^2 (598gal)、上流小段で 7.661m/sec^2 (766gal) となり、ダム天端部の応答加速度はダム基盤部の1.6倍、上流小段で2.1倍となった。

2) プレート境界型地震

プレート境界型地震を入力波とした場合の解析結果は図-15に示す通りであり、応答加速度は、ダム基礎部で 0.810m/sec^2 (81gal)、天端部で 2.548m/sec^2 (255gal)、上流小段で 2.139m/sec^2 (214gal) となり、ダム天端部の応答加速度はダム基盤部の3.1倍、上流小段で2.6倍となった。

(6) 塑性変形解析結果

塑性変形解析は、ニューマーク法、渡辺・馬場法により、すべり破壊に対する安定計算を行った。

1) 内陸活断層型地震

すべり安定計算結果は(表-6参照)、上流側法面において、最少安全率 $F_s=0.613$ (US10上流側)、すべり沈下量は 0.202m であった。下流側法面において、最少安全率 $F_s=0.953$ (DS3下流側)、すべり沈下量は 0.000m であった。

2) プレート境界型地震

すべり安定計算結果は(表-7参照)、上流側法面において、最少安全率 $F_s=0.902$ (US10上流側)、すべり沈下量は 0.003m であった。下流側法面においては、すべり破壊は発生しなかった。(安全率 $F_s=1.0$ 以上)

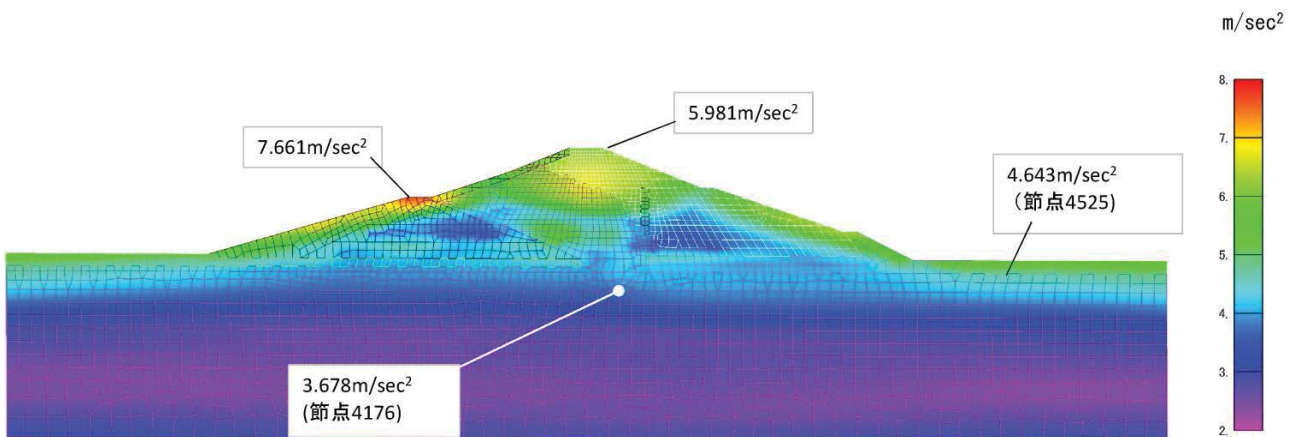


図-14 地震応答解析結果 (内陸活断層型地震)

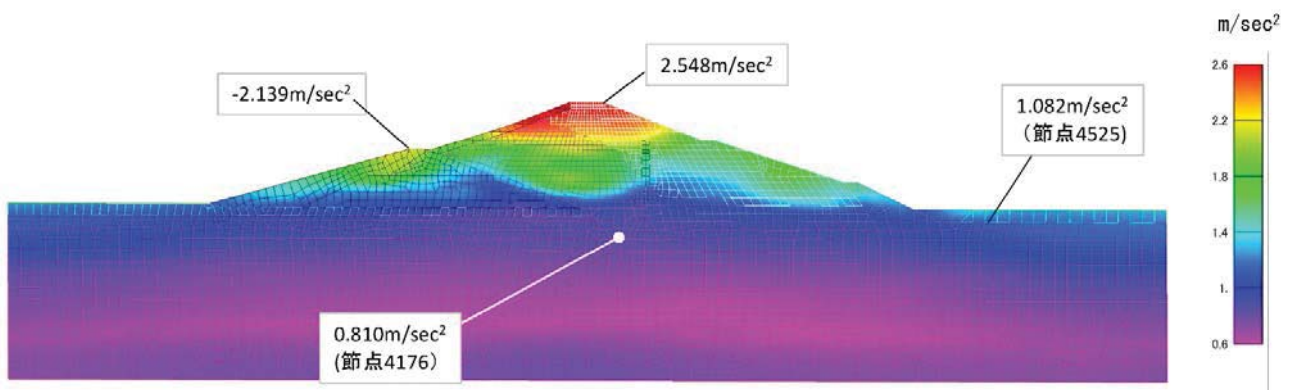


図-15 地震応答解析結果 (プレート境界型地震)

(7) 耐震性能照査結果

地震応答解析及び塑性変形解析の結果より、レベル2地震発生時には、堤体にすべり破壊は生じるものの、すべり土塊の鉛直変位量（沈下量）は、許容値内（1.0m未満）であった。

また、堤体の下流側法面において、すべり破壊は発生せず、ダム貯水機能は維持できると考えられる。

以上より、本ダムの堤体は、レベル2地震動に対する耐震性能を有していると判断した。

5. おわりに

2012年3月に閣議決定した土地改良長期計画において、2011年3月の東日本大震災の教訓を踏まえ、土地改良施設の耐震強化を推進する方針が打ち出された。これに伴い、全国全ての国営造成農業用ダムを対象に、設計・施工内容の確認、健全性の確認、レベル2地震動に対する耐震性能照査を行って、総合的な安全性評価を実施することとなった。

本稿では、均一型フィルダムの耐震性能の検討を述べてきたが、断面形状、材料特性が異なるフィルダムの耐震性能照査では、多くの調査試験及び解析が必要であり、本検討事例が、その一助となれば幸いである。

最後に、本報文をまとめるにあたり御助言頂いた北海道開発局札幌開発建設部ならびに関係各位に対し、ここに深甚なる謝意を表します。

(株)三祐コンサルタンツ

参考文献

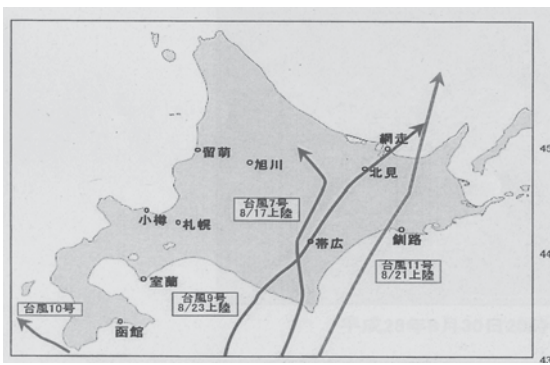
- 1) 農林水産省 農村振興局 国営造成農業用ダム耐震性能照査マニュアル（平成24年3月）
- 2) 農林水産省 農村振興局 土地改良事業計画設計基準設計「ダム」（平成15年4月）

平成28年十勝地方の豪雨災害と農地農業施設等の被害状況

土谷富士夫

1. はじめに

2016年8月に北海道を襲った4つの台風（7、11、9、10号）による豪雨（図－1）は、十勝地方の無数の中小河川堤防を決壊させ「56年水害」以来、35年ぶりの洪水異常事態を招いた。特に台風10号の襲



図－1 北海道を横断し4台風の通過経路

来は、日高山脈に接する帯広市と芽室町、清水町、新得町の農地、農業施設、農道などに多大な被害を与えた。一方、国道274号線（日勝道路）では無数の道路崩壊が発生し、7合目（標高850m）と8合目付近では斜面崩壊と流水が道路を飲み込んで深い谷を形成した。被害から1ヵ月経過した9月30日に調査を行った。7合目から徒歩で日勝峠を超え、内部が陥没した三国の沢覆道（写真－1）まで踏査



写真－1 三国の沢覆道内部の道路陥没

した。全線通行不能なため、災害復旧に架設道路建設が急ピッチで行われた。日高側でも日高町千栄で千呂露橋が崩落し、岩瀬橋が損壊しているため、日勝道路は不通になっていた。

（この報文は、被災当時の調査結果を踏まえて投稿されたものです。被災後1年に当たり掲載しました。）

2. 台風10号の特徴

8月15日頃にエウーク島の北西海上で発生した低気圧部が、16日21時に熱帯低気圧になって発達した。そして21日には、四国沖の北緯29度10分、東経113度20分で台風となった。この台風は緯度の高いところで発生した台風であって、海水温の高い海域へ進んだために、より発達して数日間停滞した。この海域で発生した台風としては異例の長寿台風となった。

台風の接近と同時に、朝鮮半島付近に寒冷低気圧が発生し日本海側に居座ったことから、西日本では大気の状態が不安定になった。8月28日15時に最低気圧940hPaを記録する大型で非常に強い台風となった。

30日岩手県大船渡市付近に上陸した台風は、北上して十勝管内上士幌町（ぬかびら温泉郷）で351.5mmの統計開始以来の極値を更新した。31日4時頃、南富良野町で空知川の堤防が2ヵ所で決壊し、市街地を浸水した。帯広市でも札内川の堤防が一部決壊した。芽室町では芽室川が氾濫し、周辺道路や住宅が浸水した。清水町ではペケレベツ川が氾濫して洪水は民家を押し流した（写真－2）。

測候所のある帯広市の記録によると、平年の8月総雨量は139mmで年間雨量は887.8mmである。しかし、2016年の8月の総降水量は378mmを記録し、年間の42.6%が一機に降ってしまった。その詳細は、8月1日に15.5mm、9日に15.5mm、17日（台風7号によ



写真-2 ペケレベツ川氾濫による民家流失

り)に87.5mmの大雨を記録した。さらに21日に39.0mm、22日に16.0mm、23日に15.5mmと再び降雨を記録した。こうした多雨は山肌の保水力に限界の飽水状態に近付いた。10号の影響は30日に64.5mm、31日に26.5mmと斜面崩壊と河川洪水を引起すのには十分な豪雨となってしまった。29日から31日までの降水量の分布を図-2に示す。

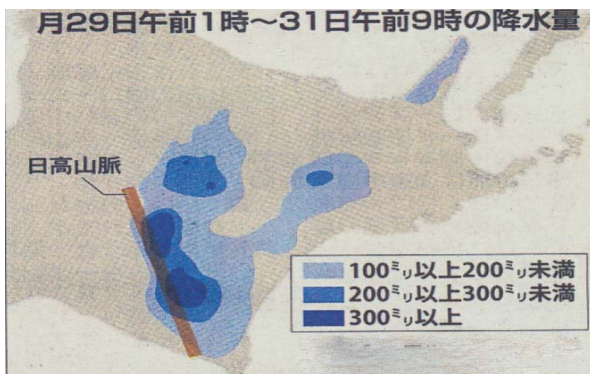


図-2 29日から31日までの降水量分布

今夏はラニーニャ現象の発生で記録的な猛暑になると気象庁は注意を喚起したが、豪雨に関する注意報はほとんどなかった。温暖化によりインド洋の海面温度が高い状態が続き、太平洋高気圧の西への張出しが弱く、高気圧の縁を通過する台風が北海道十勝を3つ通過する稀な結果をつくり、これに台風10号が追討ちをかけた。

しかも、十勝管内に降る雨は一様な分布ではなく、山岳地帯で台風10号の雨雲が急速に発達し、大雨を降らせる「地形性降雨」現象を引き起した(日本気象協会北海道支部の解析)。

アメダス新得は234.0mm、中札内村上札内は278.0mm、ぬかびら源泉郷は328mmの日雨量を記録した(図-3)。

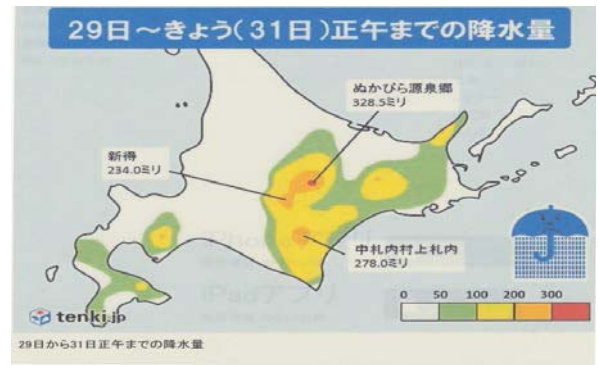


図-3 日高山脈に降った降水量

戸蔭別川上流の観測所では、16日から31日まで895mmの豪雨を記録した。北海道開発局の雨量計では狩勝(南富良野町)で512mm、日勝(清水町)で367mmと山間部を中心に大きな豪雨となった。結局8月は1ヵ月に8回の大雨になった。

一般にこの夏の北海道の降水量は187%と、戦後最も多くなった(気象予報士 片山由紀子)。この経験したことない大雨は、台風を北へ北へと押し流す気象条件が続いた。この70年余りを振り返ると、1960年前後は雨は多く、その後は少なく、再び多くなると10年周期で多い少ないを繰り返してきた。温暖化の進行に加えて、この年のようにエルニーニョが終わっても続く、世界的な高温が背景にあると考える。この記録的な大雨は、揺れ動きながら、ときにはダイナミックに変化する。北海道は大雨に向合う時代になったといえよう。

3. 日高山脈の地形と地質

日高山脈は北海道の背骨をなす大山脈で、狩勝峠から襟裳岬まで南北約140kmにわたっている。壮年期の地形をなし、険しい山々が1,000~1,900mを超える山岳がつながっている。フェーン現象や上昇気流をつくるのには十分の高さである。また、道東地方の気候帯が道南、道央との違いがあるのは、この山脈が気流を分断しているともいわれている。日高山脈はジュラ紀から白亜紀の頃、地向斜に砂岩や泥岩が堆積し日高層群が形成され、現在これを中軸部に変成岩、深成岩から成りたち、山稜に沿った日高変成帯を形成している。この変成帯は東側に花こう

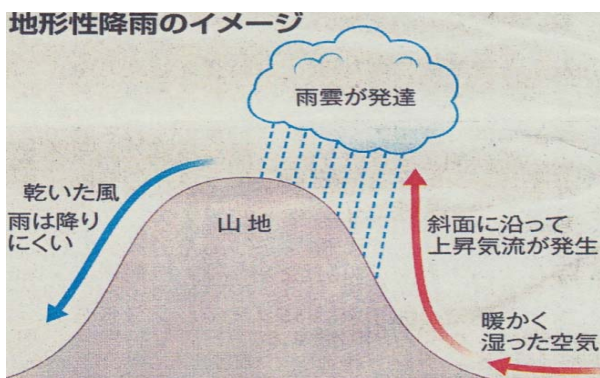
岩、西側に斑レイ岩を伴い、白亜紀になってから地
向帯から隆起帯に変わり、陸化して山脈を成す間に、
変成作用を受けたものである。花こう岩の大岩帯は
日勝峠に広範に広がり、日勝トンネルを過ぎると、
花こう岩から斑レイ岩、角閃岩の変成帯の岩石に移
り変わっている。

十勝側の中小河川に流出した土石流の主体は、こ
の花こう岩を母材とした風化残積土からなる「マサ
土」と呼ばれる粘着性が乏しく、降雨による流動性
の高い土である。兵庫県地方では、土石流を多く作
り出す厄介な土と意識されている。

4. 地形性降雨の発生

太平洋高気圧が平年より北東の東海上に位置して
いた影響など、北海道付近は高気圧の西側に沿って
北上する台風の通り道になった。帯広測候所による
と10号の接近前に、十勝では平年の2～3倍の雨が
既に降っていた。管内の10地点では月降水量1位を
更新した。これによって山林や河川の保水力は、既
に低下してゼロに近かった。

さらに、10号接近の29～30日には「地形性上昇気
流」という現象が起きた。千島近海にある高気圧か
ら湿った東寄りの風が吹き、日高山脈の斜面にぶつ
かって上昇気流が発生し、雨雲が発達し、山脈沿い
に強い雨を降らせる現象が起きた（図－4）。その



図－4 地形性降雨のイメージ

後は10号の接近でさらに湿った空気が入り込み、30
日夜から台風本体の雨雲がかかった。29～31日の総
雨量は、解析雨量によると上士幌町ぬかびら源泉郷
で300mmを越すなど記録的な豪雨となった。保水力

の低下した山や河川では、山肌や川底にたまった土
砂が一気に下流に流れる「土石流」が発生した。

パンケシントク川（新得）、ペケレベツ川（清水）、
久山川（清水）など管内9河川、20ヵ所で土石流発
生が確認された。日高山脈では標高が高い地帯に風
化が進んだ花こう岩の不安定土砂が分厚く堆積して
いた。この谷底にたまった花こう岩風化の細かな土
石流が多発した。通常の状態では動かないといわれ
る、たまった花こう岩が風化した細かな土砂が流出
したのである。氾濫した清水町のペケレベツ川では、
2つの砂防ダムの空き容量計の40万m³が完全に埋まっ
てしまった。山地に近い川は土砂が堆積して川床が
上昇し、谷底には細かい土砂が取り残されている。
数年間は少量の雨でも土砂が流れやすく、川が溢れ
る状態となっていたと推測される。特に日高山脈か
ら流れる久山川上流など複数の箇所でも土石流が発見
された（北大特任教授小山内信智による）。

十勝管内の日高山脈の河川上流部で土石流が複数
発生し、下流の清水町では家屋が流され現在も1名
が行方不明となっている。もちろん、土石流は清水
町のペケレベツ川や新得町のパンケシントク川の上
流部で発生しており、場所によって大小異なる。8
月中旬の連続した降雨に、200mm以上の降雨が加わっ
ていたことにより、谷にたまっていた土砂が土石流
となって移動したのだ。

今回の土石流の特徴は日高山脈の東側は花こう岩
が多く、比較的小規模の崩壊しか通常は起らないが、
谷筋に堆積した細かい土砂を巻き込み、大きな土石
流につながったのである。

74人が亡くなった2014年の広島での土石流災害も
同様な原理で発生した。上流部の土石流がどこまで
流れ下ったかは不明であるが、粒の小さな土砂が洪
水の流れにのって下流まで大量に運ばれ、河川の氾
濫に影響したのである。

5. 河川堤防限界を越す水流と蛇行

十勝における水系6河川、12カ所で最高水位になり、十勝川は一時決壊寸前まで達した。台風10号の豪雨の影響で、十勝川水系6河川の16観測所うち、12カ所が観測史上最高の水位を観測した。特に豊頃町茂岩観測所では過去最高の2.6mを超える12.68mを観測し、通常より10m以上高く、計画高水位を1.05m上回った。国土交通省の雨量計によると、中札内村の札内川ダムで507mm、帯広岩内仙峡で465mm、芽室の伏見で414mmを記録した。国の直轄河川は一般に100年に1度、道などの管轄中小河川は50年に1度程度の降水量を想定して整備計画が立てられているが、200年に1度という想定を超える河川増水が発生したと言える。写真-3は堤防を越えた溢れた美生川の氾濫状況を示す。



写真-3 洪水によって決壊氾濫した美生川

河川流量が増えたことによる蛇行が堤防決壊などの大きな被害をもたらしたと指摘されている。普段は護岸や堤防に閉じ込められて動かない河川であるが、流量が多いと蛇行して川岸を侵食して広がってゆく。蛇行部の川岸の損壊が激しく、越流すると護岸堤防は破壊し、流水は近隣の農地に流れ込み洪水を引起した。山間部の積算500mmを超える記録的な降水量により流量が増し、自由に河川は蛇行する。この影響を直接受けたのが、河川に架かる道路や鉄道の橋であった（北大清水康行教授による）。

6. 道路や鉄道などの交通網の寸断

豪雨で国道274号の日勝峠や国道38号線の狩勝峠、JR根室線は通行止めになった。根室線下新得川の



写真-4 根室線下新得鉄道橋の崩壊跡

鉄道橋が崩落し、写真-4は崩落現場の復旧工事を示し結局仮復旧に4ヵ月近くを要した。道東自動車道のみ開通したが、豪雨の爪痕も所々に残った。道路脇の斜面にはブルーシートがかかり、沿道にも土のうが並んだ。十勝の農産物の半数は貨物列車で札幌や本州に出荷されてきたが、不通のためJR貨物はトラックやフェリーなどを駆使して運んだ。しかし、道路輸送量には限界があった。都市間高速バスも増便して対応したが、輸送力はカバーできていなかった。根本的に交通網を考えるなら、道東道の追い越し車線の増加を求める声も多かった。特に、増水によって橋梁の損壊、流出が多発し、市町村道の道路網を寸断した。

管内の幹線を含む一部の道路と西部の町村道を中心に通行止めが続いている。1ヵ月を経ても12市町村の国道、道道、市町村道の計57路線59区間で不通が続いた。一部では通行止め区間で交通事故が発生しており、二次災害を防ぐため、道路管理者は注意を呼びかけた。

また被害は増水した川で橋梁の流失、路肩の崩壊などが各地で発生した。国道274号日勝峠だけでなく、市町村道も大きなダメージを受けた。内容は国道1路線1区間、道道は6路線8区間、市町村道は50路線50区間が台風被害で通行止めになっており、復旧に時間がかかっている。特に、十勝管内の西部と南部を結ぶ道々清水大樹線で、上美生橋（芽室町）が橋のたもと付近から削られる（写真-5）など3区間で幹線通行止めが発生した。



写真－5 幹線道々にある上美生橋の崩落



写真－7 侵食溝は農家の基礎に迫っている

7. 農業施設の被害

施設の損壊270カ所、管内の家屋の浸水は306件に達した。台風10号の最接近から2週間後の被害調査によると、農業関係の被害推計額は、約120億円と推定される。台風10号だけの農業被害は104億4,900万円である。内訳は農作物が72億3,500万円（そのうちジャガイモ31億4千万円）、農地の流出や土砂の堆積のほか、用水路や農道の損傷などが含まれる。共同利用施設（野菜選別施設など）の被害は三市町村で5件、被害額は7,400万円である。

農地の被害面積は8,881.3haで管内の耕地面積の約3.5%が被災したことになる。芽室川などの氾濫した芽室町が1,437ha、清水町が1,047haとなっている。写真－6は清水町での河川から溢れた流水は道



写真－6 清水町友山地区の農地侵食による溝

路を走り、さらに農地を侵食し深い溝穴が形成された情景である。

また、侵食溝は農家の基礎直前まで進み、写真－7に見られるように即座に防止対策が求められている。侵食された土石流が農地に堆積された事例を写真－8に示す。



写真－8 清水町御影の土砂が堆積した農地

十勝総合振興局が災害申請した項目をみると、農地は184カ所、公共牧場13カ所、ため池1カ所、頭首工1カ所、用水路37カ所、排水路148カ所となっている。写真－9は公共牧場の草地に発生した侵食



写真－9 公共牧場草地に侵食で生じた流水路

溝である。開発局調査によると、清水町石山頭首工が全壊、排水路では羽帯で2.5kmの護岸ブロックの損壊、旭山では護岸ブロックの損壊と橋梁の破壊、上旭では1.5km護岸ブロックの損壊が起っていた。写真－10は排水路の護岸ブロックの被害状況を示す。

その後の復旧事業で、北海道開発局は豪雨で土壌が流亡した十勝地方の農地へ河川改修の掘削土の搬



写真-10 明渠排水路の護岸ブロック破損

入を始めた。流亡農地の復旧には、十勝川と利別川下流部の洪水対策として、川幅を広くするため掘削した土を利用している。ようやく土の確保できる見通しが立った農家から安堵（あんど）の声が上がったが、流亡農地が多く、土の運搬・復旧は次年度以降まで続く見込みである。建設部などで決めた工事で、農家に土や輸送の経費負担は発生しない。農家から安堵の声がする反面、養分改善が課題との声が上がっている。掘削土は軟弱で水分が多く含む泥炭土が多いため、堤防の盛り土や道路などに使えず、これまでも農地の土壌改良に一部活用していた。掘削土を分析したJAめむろによると、養分のバランスは良いが、改善する土づくりには長い時間がかかると述べている。

また農業用水に関しては清水町の水源「円山水系」の応急復旧工事と通水試験が11月15日に行われた。翌日、朝にも清水、芽室両町の貯水槽ファームポンド（ため池）に送水され、大半の農家で被災前と同じように水を使えるようになった。円山水系の取水施設や送水管が土石流によって被災し、農家約800戸が断水した。芽室町の約20戸はファームポンドより先の水道橋が破損したため、復旧は11月末になった。芽室川上流部で埋設した送水管が破損していることが発覚し、破損箇所の特定や修繕に時間を要したので、復旧にずれ込みが生じた。

8. 農業用水の断水による酪畜への影響

十勝地方は畑作経営農家ばかりでなく、山沿には酪農・畜産農家も多い。台風10号の大雨で、調整池

や頭首工が激しく損傷したため、清水町や芽室町では水源とファームポンド、各農場をつなぐ管路が寸断された。農業用水が必要なため、JAホクレンがタンクローリーを手配したり、消防署が対応してファームポンドや個々の農家に水を運んだ。清水町では水源から貯水施設を経て農場までの仮管路が確保されるまで、町やJAが連日続けていた給水が必要であった。凍結に見舞われる本格的な冬の到来前に、生命線である水の安定的確保が早急な課題となった。

清水町の経産牛320頭を飼育するある農家では、不安の表情をみせていた。農業用水の貯水施設「ファームポンド」と農場を結ぶ管路が復旧し、給水に頼った3ヵ月後に一区切りがついたことから、農家は安堵した。冬にも係わらず作業が続く酪農家にとって、断水は死活問題であるからだ。一般的な農家では40tほどの水が必要である。簡易的な井戸水と8t分のタンクへの給水で対応してきた農家もあった。

水源からファームポンドと農場をつなぐ管路に泥や石などが詰ったり、町や業者の復旧作業でようやく通水にこぎ着けたところもある。こうした災害に対処するため、本格的な井戸を掘ったところもある。水質が良ければ農業用水から切り換える農家もあった。しかし、井戸の掘削費は500万円以上とのことで、簡単に農家が捻出できる金額ではない。飲料水や農業用水の通水被害は、報道されにくいので、一般に知られていない災害である。

9. おわりに

100年に一度とも想定される豪雨被害は膨大で、交通網の遮断や農村での農地や農業施設被害は広範囲にわたっている。この豪雨は最近、200年以上に1度の豪雨との見解が表示されている。豪雨対策として堤防かさ上げに限定せず、遊水池の設置が好ましい。著者は欧州視察旅行で、ドイツの河川などを多数見てきた。洪水被害防止に遊水池の機能が大きく、普段はピオトープとして利用され環境にも優しかった。限られた人員と時間に限界があるので、多くの内容は報道記事を参照させて頂いた。取材にあたった報

道員の方々に深く感謝いたします。

なお現在では、ようやく日勝峠の仮復旧の目途がつき、清水町、芽室町、帯広市の3市町における、細かな農地、農業施設についても、災害復旧工事が鋭意進められている。今回の内容は多少おおざっぱであるが、記述にあたり北海道開発局、北海道農政部、JAめむろなどから資料等を頂いたことに深く感謝申し上げます。

(株)ズコーシャ

参考文献

- 1) 清水康行：2016年8月北海道豪雨災害調査報告、北海道地区自然災害科学資料センター報告、北海道大学大学院工学院、pp. 3－48、2017
- 2) 北海道新聞社：連続台風 記録と防災、道新報道2016、北海道新聞社、pp. 2－63、2016
- 3) 瀬川秀良：日本地誌北海道地方、朝倉書店、pp. 74－91、1974

「平成28年 8 月北海道豪雨」の分析と評価 －主に上川南部地域を中心として－

弓野 俊幸

1. はじめに

昨年8月の北海道は大型の台風が相次いで到来し、大雨による浸水発生、河川堤防決壊による河川氾濫、土石流発生による土砂被害の発生、強風による家屋倒壊など、各地でさまざまな被害が発生した。この8月発生豪雨は、たとえば連続して台風が到来した気象現象、各地で繰り返し発生した強い強度の降雨、そして深刻な被害発生など、北海道にこれまでになかった形態での災害の爪痕を残した。

本調査では、この期間の気象記録や被害記録などを振り返りながら、これらの特異な気象現象について、主に上川南部地域を中心に降雨記録の整理やその分析・評価を行い、それらから読み取れる今回豪雨の特徴を明確化することを試みた。本報告ではそれらの経過や結果について報告する。なお本書での「平成28年8月北海道豪雨」とは、同年8月17日～31日の期間内に北海道で発生した台風性降雨の総称として使用した。

(この報文は、北海道豪雨による気象現象と農業被害について投稿されたものです。被災後1年に当たり掲載しました。)

2. 8月北海道豪雨発生経過の概要

平成28年8月に発生した豪雨の概要について述べる。この年の8月は、17日～23日のわずか一週間ほどのあいだに3個の台風が北海道に上陸し、道央から道東地域を中心にほぼ全道の範囲に、大雨による河川氾濫や土砂災害などを発生させた。

また、8月29日からは前線に伴う降雨が発生、その後に台風第10号が北海道に接近し、この台風の影響により北海道東部を中心に記録的な大雨を観測、また道南地方を中心に35メートルを超える最大瞬間

風速を観測した。これら8月下旬に連続した台風について、北海道への接近の順に下記に整理して示す。またこの台風第10号を含め一連の4個の台風それぞれの経路を図-1に示した。

道内アメダス観測点記録から8月豪雨における道内の降水状況を見ると、雨量観測点の多くが8月の月降水量最大値(第1位)を更新、また道東太平洋側の多くの観測点が平年値を大きく超える降水量を観測した。

<平成28年8月上陸台風の経過>

- 8月17日：台風第7号は17日17時半ごろ襟裳岬付近に上陸
- 8月21日：台風第11号は21日23時過ぎ釧路市付近に上陸
- 8月23日：台風第9号は23日6時ごろ新ひだか町付近に上陸
- 8月30日：台風第10号が渡島半島に接近し翌未明に温帯低気圧へと変わる

[札幌管区気象台資料より引用]

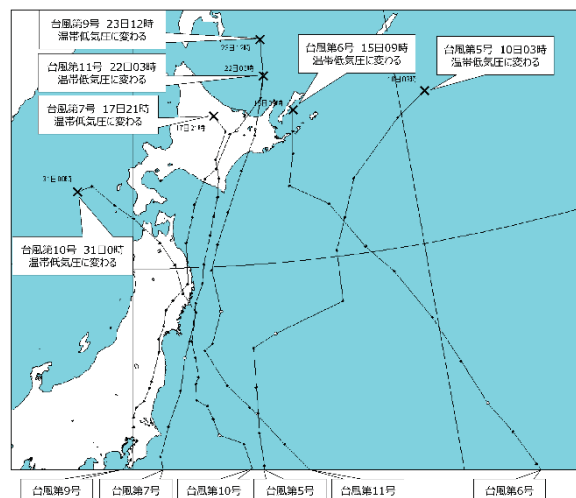


図-1 平成28年8月豪雨関連台風の経路図

また特記すべきこととして、8月29～31日の台風第10号の接近時には、太平洋側から温かく湿った南東風が長時間日高山脈に向け吹き寄せる現象が継続し、日高山脈の東側斜面（十勝川水系流域内）に3日間の合計値が300～500mmを超える記録的な降雨を発生させた。道東地域に発生したこのときの特異な降雨現象は「地形性降雨」と呼ばれ、十勝地方の日高山脈沿いの地域を中心に深刻な土砂被害、河川氾濫被害などを発生させた。

8月後半のおおよそ半月間に生じたこの台風性豪雨とその経過について、札幌管区气象台は台風の接近・通過ごと、それぞれに「気象速報」を公表し関連の気象データを開示した。本項では、これら資料を利用していただきながら、この半月間を三期（「16～17日」、「20日～23日」、「29日～31日」の三分区）に分け、それぞれ区分ごと発生した気象概況を振り返り、豪雨発生経過をあらためて確認し把握する。

2.1 「8月16～17日」の経過

[札幌管区气象台資料より引用]

降水量合計（16日から17日）

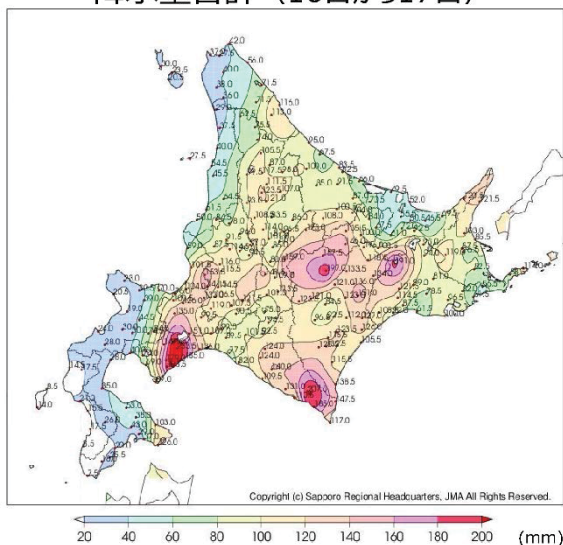


図-2 降雨の分布(1)

●気象概況（台風第7号の到来）

台風第7号は東北地方の太平洋側海上を北上、17日17時半頃に襟裳岬付近に上陸し、3時間半後の同日21時に道東中央部付近にて温帯低気圧へと変わった。

16日夜から17日にかけて、北海道の広い範囲で大雨が発生し、17日夕方から台風の接近・通過に伴い、太平洋側を中心に暴風雨や高波に襲われる大荒れの

天気となった。同期の降水量合計値分布図を図-2「降雨の分布(1)」に示す。強い雨の分布は、胆振西部・日高東部、道東中央部に集中した。

主な記録：

16～17日総雨量

胆振地方白老町森野 233.5mm

日高地方浦河町中杵臼 207.5mm

同上日最大風速

釧路地方釧路市幸町

最大風速 南31.8m（極値）

瞬間最大風速 南43.2m（極値）

●社会的影響

台風第7号の接近・通過に伴い、上川・石狩地方などで床上・床下浸水が発生、浸水害や土砂災害発生恐れから、多くの自治体市町村が避難指示、避難勧告、避難準備情報などを発令した。太平洋側では暴風による住宅等一部損壊が発生、国道・道道の通行止め、JRの運休などが発生した。

2.2 「8月20～23日」の経過

[札幌管区气象台資料より引用]

降水量合計（8月20日から23日）

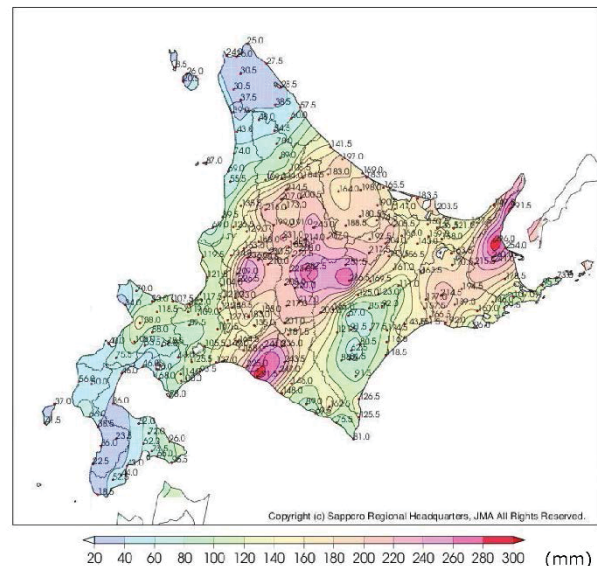


図-3 降雨の分布(2)

●気象概況（台風第11号と第9号の到来）

台風第11号は21日朝に東北地方太平洋沿岸部にあり、その進路を北に向けて21日23時過ぎに釧路市付近に上陸、4時間後の翌22日3時にオホーツク海上

で温帯低気圧へと変わった。

台風第9号は発達しながら日本の南側太平洋上を北上し、22日12時半頃に千葉県館山市付近に上陸した。その後関東・東北地方を北上・縦断して、23日6時頃に北海道日高地方新ひだか町付近に再上陸、日高山脈から北見地方を縦断して6時間後の同日12時にオホーツク海上に到達、温帯低気圧へと変わった。同期の降水量合計値分布図を図-3「降雨の分布(2)」に示す。強い雨の分布は、胆振東部、空知・上川中央部、根室北部に集中して発生した。

大雨の影響により網走地方常呂川(21日)、空知地方石狩川下流(23日)が氾濫、「氾濫発生情報」が発表された。注)：()表示の日付は氾濫発生情報の発表日を示す。

主な記録：20日～23日総雨量

根室地方糸檜別 296.5mm

羅臼&日高地方日高門別 291.5mm

●社会的影響

記録的な大雨の発生により多くの河川が氾濫し、住宅の床上・床下浸水が相次いで発生した。また、各地で土砂災害が発生し、住宅の一部損壊などが生じた。浸水や土砂災害発生の恐れから、多くの市町村が数日間にわたり避難指示・避難勧告を発令した。交通関係では国道・道道の通行止め、JRの運休などが発生した。

2.3「8月29～31日」の経過

[札幌管区気象台資料より引用]

降水量合計(8月29日から31日)

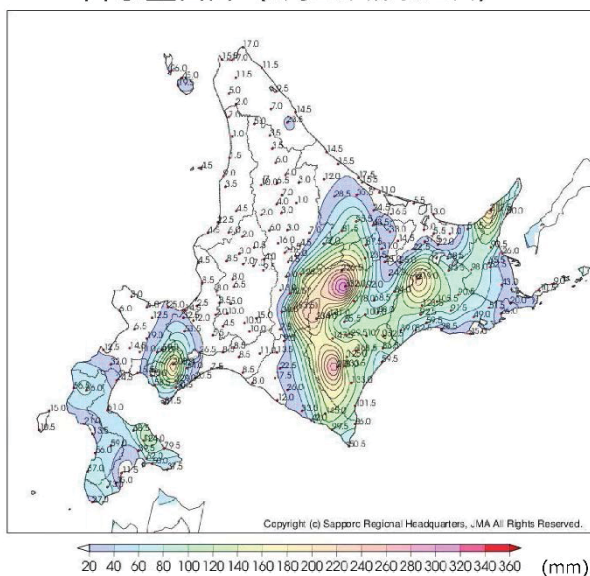


図-4 豪雨の分布(3)

●気象概況(台風第10号の接近)

台風第10号は30日12時には風速15メートル以上の領域を広げ大型の勢力になり東北地方に接近、同日18時前に岩手県大船渡市付近に上陸した。同台風はその後も北北西に進み、21時には函館市南西の日本海に抜け31日0時に温帯低気圧へと変わった。同期の降水量合計値分布図を図-4「降雨の分布(3)」に示す。

北海道地方に暖かく湿った空気が流入したことにより、29日から太平洋側東部を中心に降雨が続き、31日までの総雨量が特に日高山脈の周辺で300～500mmを超える大雨となった。雨の分布は、道南、胆振西部、後志のほか、道東に広く広がったが、特に十勝の日高山脈に沿う地域に強い雨の分布が集中した。

大雨の影響により十勝川水系札内川が氾濫し、「氾濫発生情報」が31日に発表された。石狩川水系空知川流域の南富良野町では31日早朝に空知川堤防が決壊し氾濫による浸水が発生した。

また台風の接近時には、日本海側南部や太平洋側西部を中心に、海上で猛烈な東よりの風が吹き、函館空港で最大瞬間風速36.5メートルを観測するなど暴風や猛烈なしけとなった。

●社会的影響

大雨の影響により多くの河川が氾濫したため、特に十勝・空知・上川地方では住宅の床上・床下浸水が数多く発生し、さらに渡島地方では暴風により住宅の損壊が相次いだ。

また、河川の氾濫や台風の接近に備え、多くの市町村で避難指示・避難勧告は発令された。交通関係では国道・道道の通行止め、JRの運休などが発生した。

3. 8月北海道豪雨による被害について

北海道に発生した8月豪雨による被害の全体像を概観する。また全体被害の中から特に農業関係被害に着目し、その被害の地域ごと分布やその詳細内容について調べ明らかにする。

3.1 8月豪雨被害の全容

北海道総務部災害検証委員会事務局が公表した資料「平成28年8月～9月にかけての大雨等災害について」より、8月北海道豪雨による被害概要を表-1に示す。表の下段※1に示すように、国の被害と道・市町村被害の集計時期に相違はあるが、公表された国直轄分、北海道・市町村分を合わせた被害総額は2,803億円である。なお参考までに、石狩川水系の中心部に大規模な氾濫被害を発生させた昭和56年8月台風災害時の総被害額は2,705億円であった。数多くの台風が度重なり上陸・接近した今回の8月豪雨は、北海道が過去に経験したことがない深刻なダメージを発生させたと言えよう。

表-1 8月豪雨による総被害額概要

区分	被害区分	被害額(億円)	合計(億円)
道及び市町村	農業関連	543	小計1,979
	公共土木施設等関連	1,197	
	水産・林業関連	145	
	その他(商工業・水道施設)	94	
国交省(直轄分)		824 ^{※2}	
総計			2,803

※1) 小計値は10月25日現在の集計額、8月の台風第7号、第11号、第9号、第10号及び台風第13号から変わった低気圧による一連の被害額。

※2) 国交省が公表した9月14日現在の直轄分の被害額。

3.2 農業被害の地域分布・その内訳など

被害発生 の地域分布を確認するため、総被害の中から農業関係被害を取り上げ、地域ごと発生被害の詳細を確認した。北海道農政部が公表した平成28年9月27日付け資料「平成28年8月の大雨等による農業関係被害総額等について」(台風第7・11・9号と第10号の合計)より、農業関係被害の内訳や地域分布を表-2に整理した。

表-2から農業被害発生 の地域別分布を観ると、上川、網走、十勝の3地域に被害が集中していることが判る。この3地域合計の農業被害額は全道農業被害総額の9割以上を占める。さらに十勝単独での農業被害額は全道農業被害総額の55%を超える。3地域への農業被害の集中、とりわけ十勝への極端な農業被害の集中を読み取ることができる。

表-2 8月の大雨による農業関係被害額

振興局 区分	農作物関係被害			共同利用 施設被害	農地・農業 用施設被害	計
	農作物等	その他 ^{※1}	小計			
空知	267	2	269	-	835	1,104
石狩	86	4	90	-	-	90
後志	51	34	85	-	-	85
胆振	617	108	725	-	46	771
日高	224	84	308	-	564	872
渡島	823	332	1,155	-	20	1,175
檜山	103	360	463	-	-	463
上川	1,327	754	2,081	2,784	2,449	7,314
留萌	2	2	4	-	-	4
宗谷	0	6	6	-	-	6
オホーツク	4,334	28	4,362	45	7,764	12,171
十勝	18,422	1,122	19,544	170	10,270	29,984
釧路	11	116	127	6	64	197
根室	0	56	56	-	-	56
合計	26,269	3,007	29,276	3,005	22,012	54,293

※1) 農作物関係の“その他”は、家畜斃死、生乳廃棄、農業用ハウス等、畜舎・納屋等、機械等の合計額。

さらに被害内訳詳細について述べる。被害を受けた「農作物」の種類を観ると、上述した被害集中地域の農業事情を写して畑作物への被害が集中する。主な被害の形態は、水稻(上川)、豆類、ばれいしょ、てんさい、たまねぎ等の冠水被害や浸水被害、スイートコーン、飼料用とうもろこしの倒伏被害などである。十勝では、ばれいしょ、てんさい、大豆、ながいも、スイートコーン、飼料用トウモロコシなどの作付面積26千haが被災し、184億円の農作物被害を被った。十勝管内の農作物被害額は全道農作物被害総額の70%を超えており、この点からも十勝農業が極めて深刻な被害を受けたことが判る。

表-2中の2項目「共同利用施設」の被害は、前出の3地域に釧路を加えた4つの地域で発生した。被害発生 の形態は、穀類乾燥調整施設、ポテトチップス工場等の浸水による機器等の損壊、共同放牧施設内の水源施設の破損、鳥獣(シカ)進入防止柵の損壊などである。被害額の内訳を見ると、上川管内に28億円(共同利用施設関係被害額の93%相当)が集中する。

同表中の3項目目「農地・農業用施設」の被害は、道南から道央、さらには道東へと広く被害が分布し

月間に降雨が多く、冬季の積雪量は1 m程度である。

富良野川は、その流域東部にある十勝岳連峰に源を発し、同様に十勝岳連峰から発して富良野盆地内を流下するヌッカクシ富良野川・ペベルイ川などの支流を集めながら、富良野市北部の学田付近において石狩川水系空知川に合流する。台地・山地から流下する河川は急勾配を示し、山地・台地・丘陵地などを浸食しながら流下する。

富良野川及びその流域全体の諸元を表-3に示す。また富良野川の流域図を図-6に示す。図中には関連する雨量観測点位置を表示した。

表-3 富良野川流域諸元表

区分	諸元	備考
水系区分など	石狩川水系	空知川の支流河川
流域面積	373.9 km ²	山地 222.5km ² 、平地 151.4km ²
流路長	40.20 km	
計画日雨量	178 mm/24 時間	確率規模 1/50
計画高水流量	1,400 m ³ /s	貯留関数法による

4.2 8月豪雨の記録とその特性分析など

上川南部地域に発生した8月豪雨の実態をより具体的に明らかにすることを目的とし「上川南部地域」で観測された降雨記録を入手、それら記録の整理・分析などを行った。降雨記録は気象庁が発表する観測降雨記録を利用、雨量の評価・分析では北海道が公開する「北海道の大雨資料」を利用し8月豪雨についての確率評価及び特性分析を試みた。以下その結果を報告する。

4.2.1 観測降雨記録の概要

上川南部地域における8月17日～31日までの降雨記録の整理について述べる。

気象庁が開示する上川地方気象観測点は全37地点である。これら観測点の中から富良野川流域を中心とし着目すべき雨量観測点として「上富良野」、「白金」、「富良野」の3点を抽出した。そのほか上川南部地域内の雨量観測点とし、空知川流域内の「麓郷」、「幾寅」、「金山」の3雨量観測点を加え、あわせて6雨量観測所の期間内降雨記録を整理した。その結

果を表-4に示す。(上川南部地域の降雨観測点のうち前富良野岳、前時雨山の両点は8月期間中「欠測」である。また最も南にある占冠雨量観測点は、河川水系による流域区分上は鶴川流域に該当する。これらの事情より、この3点の雨量観測点は本検討の対象外とした。)

表中には各観測点の標高等など基本諸元、8月17～31日間の主たる降雨記録(日雨量、最大60分雨量、最大10分雨量)を示した。さらに豪雨と被害発生の相互関係を確認する目的で、それぞれの日付の「最大時間雨量とその発生時間」、「集中降雨発生の時間帯と合計雨量」などを整理した。

4.2.2 降雨記録の確率分析

上川南部地域の確率雨量について、北海道がホームページ上に公開する「北海道の大雨資料(第12編 記録編I & 確率雨量編II)」から引用し表-5を作成した。雨量観測点は、前掲表-4中の観測点5カ所【注:表-4中の金山雨量観測点は大雨資料において確率分析が行われていない。これを本検討から除外した】である。大雨資料による確率分析は、日雨量と時間雨量による確率分析が行われている。表-5中「観測地点名の欄には、各観測点が8月17～31日の期間中に記録した最大の日雨量を示した。確率年は大雨資料より「3年～200年確率」の10区分である。表中に赤線で示すのは、各観測点が記録した実績雨量値(観測地点の欄中表示)が確率年区分のどの位置に該当する境界を赤ラインで表示した。これにより発生雨量の規模、該当する確率年、他の観測点値との相互関係などが一瞥で理解できるだろう。

4.3 発生降雨記録のまとめと評価

富良野川流域を中心に、その周辺観測点の観測雨量値について評価を行う。

図-6に示した富良野川流域の形状と雨量観測点の配置を観ると、十勝岳連峰周辺の標高の高い流域部に生じる降雨は、「白金」雨量観測点(標高650m)の記録値が近似すると考えられる。流域中心部、富

表一 4 上川南部地域（富良野川及び空知川流域内）降雨観測点8月期の記録表

流域区分	観測点名 標高と記録年数	月日 ('16年8月)	実測記録(最大記録)			最大時間雨量の 発生時間と時間雨量	降雨集中の 時間帯と合計雨量	特記すべき事項
			日雨量 mm/day	60分雨量 mm/h	10分雨量 mm/10min			
富良野川流域	・白金観測点 標高EL.650 25年間(+13年)	8/17	157.5	31.0	7.0	19時 28.5mm/h	18~21時(4) 95.0mm	・夕方 ¹ の集中豪雨(95)
		8/20	75.5	24.5	7.0	16時 19.0mm/h	14~20時(7) 47.5mm	・午前・午後二度の雨(47)
		8/23	180.0	50.5	10.5	6時 49.0mm/h	4~8時(5) 157.5mm	・早朝の集中豪雨(157)
		8/30	67.0	12.0	5.0	23時 10.5mm/h	21~23時(3) 28.5mm	・夜半の雨(28)
		8/31	49.0	30.0	7.5	1時 28.0mm/h	1~2時(2) 41.5mm	・前日との一山雨量(70)
		8/17	78.0	15.5	4.0	19時 14.0mm/h	18~20時(3) 33.5mm	・夕方の雨(33)
	・上富良野観測点 標高EL.220 76年間記録	8/20	106.5	25.5	8.0	12時 18.0mm/h	15~19時(5) 44.0mm	・午後の強い雨(44)
		8/23	92.0	18.0	4.0	4 & 5 & 6時 16.0mm/h	2~8時(7) 81.0mm	・早朝の集中豪雨(81)
		8/30	5.5	1.5	1.0	21&22時 2.5mm/h	21~22時(2) 5.0mm	・小雨(翌日の総雨量0.5)
		8/17	145.0	45.5	10.0	19時 40.0mm/h	18~20時(3) 78.0mm	・夕方 ¹ の集中豪雨(78)
		8/20	74.5	15.0	6.5	15時 13.5mm/h	15~19時(5) 39.5mm	・午後の雨(39)
		8/23	93.5	19.5	5.5	4時 19.5mm/h	2~8時(7) 83.0mm	・早朝の集中豪雨(83)
空知川流域	・麓観測点 標高EL.315 38年間記録	8/30	11.5	3.5	1.5	20&22時 3.0mm/h	19~22時(4) 9.5mm	・小雨(翌日の総雨量1.5)
		8/17	108.0	20.5	6.0	19時 18.0mm/h	17~21時(5) 63.5mm	・夕方 ¹ の強い雨(63)
		8/20	71.5	23.0	9.0	11時 22.0mm/h	11~16時(6) 59.0mm	・午前~午後の強い雨(59)
		8/23	109.5	23.5	6.5	7時 22.5mm/h	1~8時(8) 108.0mm	・夜半~朝の豪雨(108)
		8/30	36.5	9.0	3.5	22時 7.0mm	19~24時(6) 30mm	・Ref. (翌日総雨量4.5)
		8/17	95.0	18.5	5.5	19時 18.0mm/h	12~19時(8) 59.5mm	・午後~夕方 ¹ の強い雨(59)
	・金山観測点 標高EL.284 11年間記録	8/20	73.0	27.5	9.0	14時 20.5mm/h	14~17時(4) 56.0mm	・午後の強い雨(56)
		8/23	71.5	22.5	6.0	4 & 5時 18.5mm/h	3~6時(4) 57.0mm	・早朝の強い雨(57)
		8/30	33.0	7.0	2.0	19時 5.0mm/h	14~21時(8) 26.5mm	・Ref. (翌日の総雨量5.5)
		8/17	111.0	19.0	5.5	18時 16.0mm/h	17~20時(4) 54.5mm	・夕方 ¹ の強い雨(54)
		8/20	50.5	15.5	5.0	15時 14.5mm/h	14~17時(4) 31.0mm	・午後の雨(31)
		8/23	68.5	17.0	5.0	4時 16.0mm/h	3~7時(5) 58.5mm	・早朝の強い雨(58)

[説明] 注1：(アマダス観測点の選定) 上川総合振興局管内雨量観測点より、2016年8月に大きな降雨を観測した「上川南部地域」(富良野川・空知川の両流域)雨量観測点6箇所を抽出し、その雨量記録を整理した。
 注2：日雨量、60分雨量、時間雨量(正時刻み)の赤字表示記録は、「災害復旧事業採択要件」(24時間雨量80mm以上、60分雨量20mm以上)を適用させ、同要件を超えた記録であることを示す。
 注3：表中黒枠で囲った記録値は、期間内・各観測点での「最大記録値」を示す。



図一六 富良野川流域図

良野盆地北部には「上富良野」雨量観測点（標高220m）があり、ここでの観測記録が流域中心部の降雨を代表する。また流域の南西部に相当する富良野市市街地には、「富良野」雨量観測点（標高174m）が設置されている。そのほか流域周辺の雨量観測点は、北部の「美瑛」雨量観測点（標高250m）、南部の「麓郷」雨量観測点（標高315m）などがあるが、いずれも水系区分では他流域に該当する。

8月豪雨記録の整理と降雨発生確率に関する分析の結果から、判ったことを以下に説明する。

4.3.1 八月豪雨記録の特性

8月豪雨記録の整理結果から明らかになった8月豪雨の特性について述べる。

それぞれの記録は、その特色として台風の速い移動速度のため「短時間（半日程度）のうちに大規模

降雨を集中して発生」させる降雨特性を示した（例：白金観測点8/23の降雨は早朝4時から8時までの5時間に157mmの雨量を記録）。同様に多発した台風に伴う雨の特色として、日ごと、場所ごと、それぞれの記録値が大きな“ばらつき”を示したことである。たとえば上述の8/17記録日雨量最大記録（157.5mm）は白金、8/20記録の同記録（106.5mm）は上富良野、8/23記録の同記録（180.0mm）は再び白金、8/30記録の日雨量最大記録（168.0mm）は幾寅、と異なる観測点が示し相互に“不揃い”である。

また、確率評価の項でも述べる様に、時間雨量記録の確率評価がたいへんに高いことも、今回降雨記録の特色と言える。この原因については、「到来した台風のいずれもが、本州を横切ることなく太平洋上を通過する経路を辿り北海道を直撃した、その分だけ“強い勢力を維持した状態”で北海道に接近し

表－5 富良野川流域諸元表

(1) 日雨量

観測地点	3年	5年	7年	10年	20年	30年	50年	70年	100年	200年	備考
上富良 (106.5)	70	87	99	111	136	152	173	187	202	234	EL. 220
白金 (180.0)	75	89	97	105	120	129	139	146	154	168	EL. 650
富良野 (145.0)	66	82	93	104	126	139	155	166	178	200	EL. 174
麓郷 (109.5)	66	82	92	102	123	135	151	161	173	195	EL. 315
幾寅 (168.0)	81	97	106	116	134	144	157	165	173	188	EL. 350

【日雨量のグラデーション区分 [I : 0～99、II : 100～149、III : 150～179、IV : 180～199、V : 200超え]】

(2) 時間雨量

観測地点	3年	5年	7年	10年	20年	30年	50年	70年	100年	200年	備考
上富良野 (25.5)	22	25	27	28	32	34	36	37	39	41	EL. 220
白金 (50.5)	23	27	29	32	36	38	41	43	46	50	EL. 650
富良野 (45.5)	21	25	27	29	34	37	40	42	45	49	EL. 174
麓郷 (23.5)	20	24	26	29	34	37	42	44	47	53	EL. 315
幾寅 (19.0)	22	28	32	36	46	52	61	67	73	87	EL. 350

【時間雨量のグラデーション区分 [I : 0～29、II : 30～39、III : 40～49、IV : 50～59、V : 60超え]】

説明(1)&(2)共通：観測地点ごとの最大雨量記録値が該当する確率年位置を赤線で表示した。

表－4中観測点のうち、金山は大雨資料において確率評価が行われていない。よって上記検討から除外した。

た」ことが関連するかと考察した。

さらに今回発生 of 降雨で特に注目するのは、北海道地方8月の1ヶ月に4度の台風が上陸し、そのうち17～23日の7日間に3度の台風が「上川南部地域に大雨を発生させた」ことである。各観測点についてこの間の雨量記録の合計値を求めると、白金 (413mm)、上富良野 (276.5mm)、富良野 (313mm) であり、特に、「白金、上富良野、富良野」三観測点の平均値は334mmを示す。今回の降雨記録の特色については、「大規模な降雨が短期間に同一地域で繰り返し発生した事」であり、この評価は「過去の記録にはなかったことが発生」と表現して良いだろう。

次に度重なって生じた降雨を水文学の流出現象にあてはめ考えてみる。短期間に度重なって生じた降雨は、初期に発生した降雨が流域内表土に浸透し土壌を飽和状態へと近づける。このためあとから生じた降雨は、土中への浸透成分を減じ、逆に流出する

成分を増大させることになる。この点は度重なる豪雨への防災を考えると、また雨量と被害量の関係を考える上で、たいへん重要なことだろう。

4.3.2 日雨量の確率評価

表－4に示した上川南部地域8月豪雨の記録から、日雨量記録の確率評価を行う。

「北海道の大雨資料」より作成した「雨量確率分析結果」(表－5)を利用し、日雨量実測記録の確率評価結果を明らかにする。以下の欄を参照されたい。

<日雨量記録確率評価の結果>

- ・ 8/17雨量記録最大値157.5mm/D (白金)
→100～200年確率日雨量相当
- ・ 8/20の同上値106.5mm/D (上富良野)
→7～10年確率日雨量相当
- ・ 8/23の同上値180.0mm/D (白金)
→200年確率日雨量相当以上

4.3.3 時間雨量の確率評価

前項目雨量記録と同様に、表－4に示した8月豪雨の記録から、時間雨量記録（雨量は「最大60分雨量」を使用する）に関する確率評価の結果を以下に示す。

以下、特に強い雨量強度を示した時間雨量の記録について補足説明する。

下記の整理結果を見ると、観測記録の中に極めて強い1時間雨量（8/17：45.5mm/h 富良野、8/23：50.5mm/h 白金）が観測されており、これらの記録の確率評価は「100～200年確率を超える規模」と表現できる。参考までに、過去の記録を調べると、富良野の時間雨量記録第1位は50mm/h、よって上記の45.5mm/hは第2位の記録に該当する。白金の第1位記録は75.5mm/h、同様に50mm/hは第2位記録である。当日には時間刻みの極めて強い降雨が発生したことが判る。

<時間雨量実測記録確率評価の結果>

- ・ 8/17時間雨量記録最大値45.5mm/h（富良野）
→100年確率時間雨量相当以上
- ・ 8/20の同上値25.5mm/h（上富良野）
→5年確率時間雨量相当以上
- ・ 8/23の同上値50.5mm/h（白金）
→200年確率時間雨量相当

5. まとめ・感想・謝辞など

さまざまに記録のばらつきがあるが、富良野川流域が非常に強い雨（豪雨）に襲われたことを確認した。豪雨により発生した出水規模は、富良野川支流ベベルイ川上流で8月23日出水時の洪水痕跡を確認したが、その計測水深は暫定規模の河川改修工事が終了した河川断面に対し、ほぼ計画洪水位相当であった。また地元からの情報として、富良野川水系の河川では、一部支流を除き河川敷地内での出水の流下だったと聞く。

以下は評価作業についての感想である。表－4&5に示した降雨記録整理と確率評価は、上川南部地

域以外（十勝西部地域、網走地域の4河川流域 常呂川、網走川、渚滑川、湧別川）においても同様の整理と評価を行った。それらからの感想として、報道などから伝わる現地発生被害の深刻さに比べ、雨量記録から観る被害が過少に感じられ、両者のあいだに“アンバランス”を感じた。あとで判ったことだが、たとえば十勝西部周辺ではダム・河川・道路など、公共施設の維持管理のため山間部に設置された雨量計の記録概要が開示され、これら観測記録はいずれもが29～31日の3日間に500mmを超える猛烈な雨量を観測している【十勝川・札内川上流域の戸蔦別（505mm）、札内川ダム（507mm）、空知川上流域の狩勝（507mm）、串内（515mm）など】。それらの記録を見ることにより、先に感じた“アンバランス”は解消することができた。

最後に本紙面をお借りして、8月豪雨による災害に逢われた皆様に心からお見舞いを申し上げます。復旧に向けあらゆる努力が今なお継続されていると思いますが、一刻も早く復旧作業が終了し、もとの穏やかな日々・暮らしへの復帰が叶うよう願っております。

また報文作成にあたり、さまざまな公表資料を参考にさせていただきました。それら資料を下記の参考文献欄に示し、このことへのお礼を申し上げます。ありがとうございました。

（内外エンジニアリング北海道㈱）

<参考文献>

- ・ 「気象速報」3報（8/25、8/30、9/5各発表）札幌管区気象台
- ・ 「大雨による出水の概要（速報版）」8/24、8/26各発表）北海道開発局
- ・ 「平成28年台風第10号による出水状況について」（平成28年9月2日）北海道開発局 建設部 河川管理課 水災害予報センター
- ・ 「平成28年8月20日からの大雨及び台風第10号による出水の概要」（平成28年9月30日）北海道開発局

- ・「2016年8月北海道水害緊急報告 石狩川水系の状況」(株)パスコ
- ・「平成28年8月から9月にかけての大雨等災害について」(平成28年9月)災害検証委員会事務局(北海道総務部危機対策局危機対策課)
- ・「平成28年8月の大雨等による農業関係被害総額等について(台風第7・11・9号と第10号による被害の合計)」(平成28年9月27日)北海道農政部
- ・「2016年8月北海道豪雨災害調査団緊急報告会報告資料」(平成28年9月29日開催)土木学会水工学委員会
- ・(一社)北海道土地改良建設協会平成28年度技術研修会 講演資料「近年の北海道の大雨の特徴と農業土木への課題」2017年2月16日 松岡直基氏

被災発生時におけるドローンを活用した迅速な状況把握

平野 良治

1. はじめに

現在、国土交通省が「i-Construction」を推進するに伴い、土木工事における測量作業で無人航空機 UAV (Unmanned aerial vehicle) 通称ドローンの活用が進んでいる。従来の測量方法では、多くの時間と人員がかかってしまうが、ドローンを測量に用いることで、短期間で3次元化された地形データを取得することが可能になる。また、災害が発生した場合、土砂崩れなどが原因で、人力による測量が実施できない場合でも、迅速に現地の状況が把握でき、早期の復旧作業開始につながる。

本稿では平成28年8月に発生した台風で被災した御影地区の頭首工において、被災当時に行った状況把握の手順について記述する。

2. 空撮写真を用いた現況図作成手順

現地図面を下記のフローにより作図した。

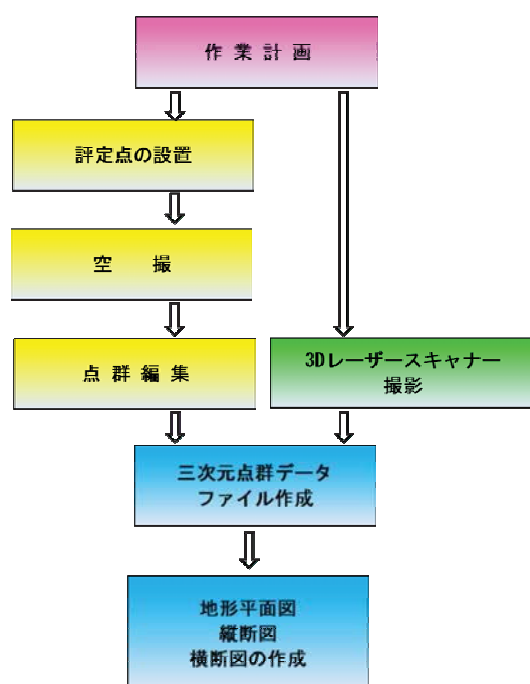


図-1 現況図作成フロー図

3. 作業計画

被災が広範囲であったため既設頭首工の上下流300m程度、及び河道とその周辺状況が分かる範囲を空撮するものとし、立木による電波障害を考慮して3つのエリアに分割して撮影する計画とした。

ドローンの離発着は上空が開けた河原から行うものとし、撮影高度は、兩岸の立木から30m以上の高さを保つよう河原から80m程度の高度で飛行させることを基本とした。

飛行ルートは地図上で計画し、ドローンのフライトコントロールに対応した専用のソフトウェアを用い、撮影高度、写真撮影間隔、写真ラップ率等を考慮し図-2に示す飛行ルートを設定した。

撮影高度	80m
空中写真重複度	オーバーラップ90%以上、 サイドラップ60%以上
撮影間隔	等間隔撮影で2秒に1枚

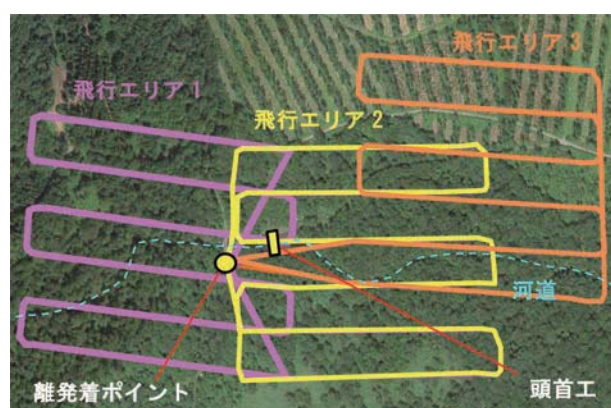


図-2 飛行計画図

4. 標定点の設置

氾濫で洗堀された河原を中心に、複数の写真に標定点が写し込めるよう40m～150m程度の間隔で標定点（対空標識）（写真－1 図－3）を設置し、VRS測量により平面直角座標と標高点を与えた（写真－2）。

【解説】

VRS測量とは仮想基準点方式と呼ばれ、複数の電子基準点の観測データから、測量現場のごく近傍にあたかも基準点があるかのような状態を作り出す技術である。電子基準点は、国土地理院より提供されており、この情報を利用することにより、測量データの誤差を補正し、高精度な位置情報を取得できる仕組みである。

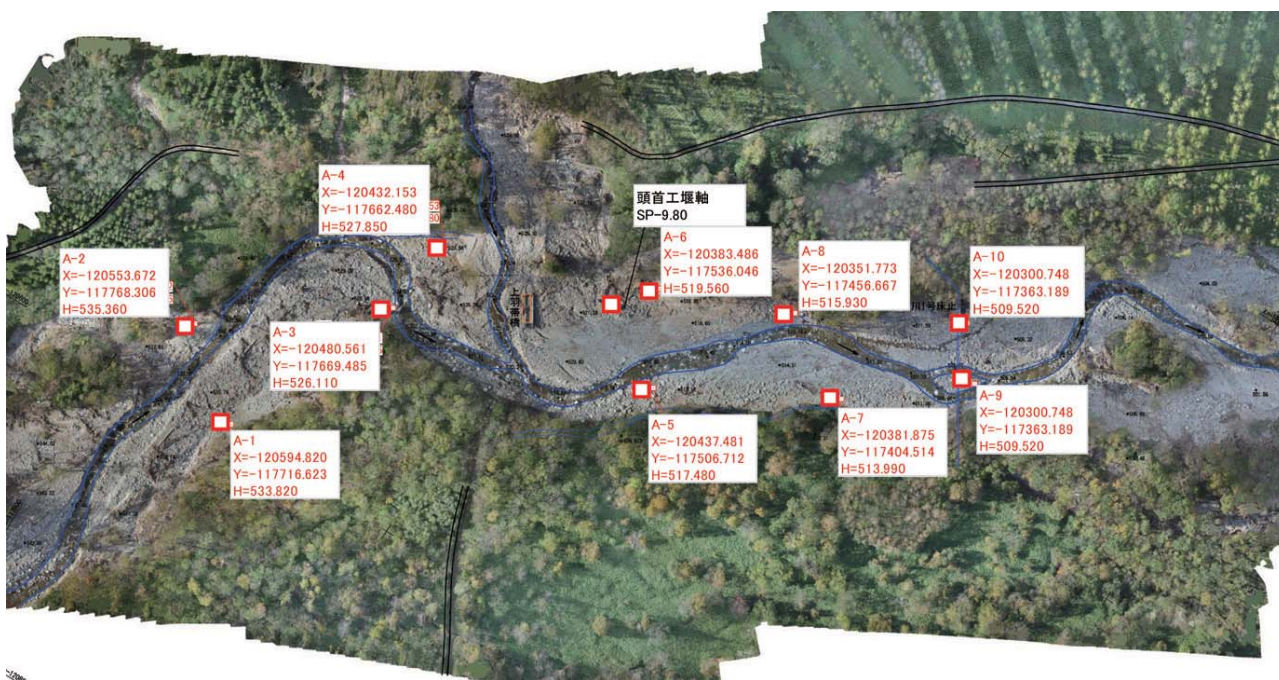
作業員は、現在の位置を計測し、これをVRSデータセンターへ携帯電話を通じて送信し、VRSデータセンターでは、これを元に作業員の近くに目に見えない「仮想基準点」を設置する。「仮想基準点」が設定された後は、作業員は移動局として単独で計測を行っていくことができる技術である。



写真－1 標定点（対空標識）の設置状況



写真－2 VRSを用いた標定点の計測状況



図－3 標定点（対空標識）配置図

5. 空撮

災害調査における、従前の測量技術である航空レーザー測量や航空写真測量は高コストであり、手軽に撮影を行うことができなかったが、ドローンを使用する場合、解析ソフトも含め比較的安価である。また、航空機よりも低空で飛行できるため、より高解像度の画像を収集することができる。

作業計画に基づきドローンで自動飛行を行い、1016枚の航空写真を上空から撮影した。

撮影に使用したドローンは谷間の飛行による乱気流の影響を軽減するため、飛行重量の大きなDJI社製S900（写真-3）を使用した。

【S900仕様】

機体全長（水平寸法）：900mm
飛行重量：6.2kg
最大飛行時間：18分
撮影カメラ：Ricoh GR（写真-4）

【Ricoh GR仕様】

有効画素数：約1,690万画素
撮像素子：23.7mm×15.7mm
サイズ：CMOS
レンズ：非球面レンズ2枚
重量：約245g



写真-3 DJI社製UAV S900



写真-4 Ricoh GR

6. 3Dレーザースキャナー撮影

ドローンによる空撮は平面的な情報の収集には有効であるものの、法面部や立木の影になっている箇所情報は誤差が生じやすい。

これを補間するため、RIEGL社製3Dレーザースキャナー（写真-5）を用いて地形の点群情報を収集した。

【3Dレーザースキャナー仕様】

直径×高さ 180×308mm
重量 9.6kg
測定距離 600m

3Dレーザースキャナーは、スキャナーから照射されたレーザーにより、対象物の空間位置情報を取得することにより、従来の「単点」の測量ではなく、短時間に大量かつ“側面的”な「3次元空間の点群座標」を取得する計測技術であり、これを法面部中心に被災した箇所も含めて測量し、UAV空撮測量と組み合わせ、点群処理を行い全体の地形情報を迅速に収集した。



写真-5 RIEGL社製3Dレーザースキャナー

7. 点群編集

ドローンで撮影した写真は、SfM技術を使用した写真解析ソフトウェアに入力して、解析処理を行うことで、主に被写体の三次元形状、被写体の寸法、オルソ画像、三次元点群などの成果等が得られる。SfM (Structure from Motion) と呼ばれるアルゴリズムを使って写真から特徴点を抽出し、各写真の撮影した位置と傾きを自動的に解析し、更に特徴点の三次元座標などを外部に出力することができる技術である。



図-4 点群データ図

空撮写真を基に生成した点群データと3Dレーザースキャナーで取得した点群データを合算して、テキストファイルで点群データ (X、Y、Z、RGB) を整理した。合算データの地形モデルの出力 (図-4、図-5) に示す。

8. 地形平面図、縦断面図、横断面図の作成

編集した三次元点群データ (図-6) から、プログラムソフトを使用して、頭首工付近平面図、縦断面図、横断面図を自動作成した (図-7、図-8、図-9)。



図-5 プログラムファイルにより表示した鳥瞰図



図-6 図面作成用点群データ

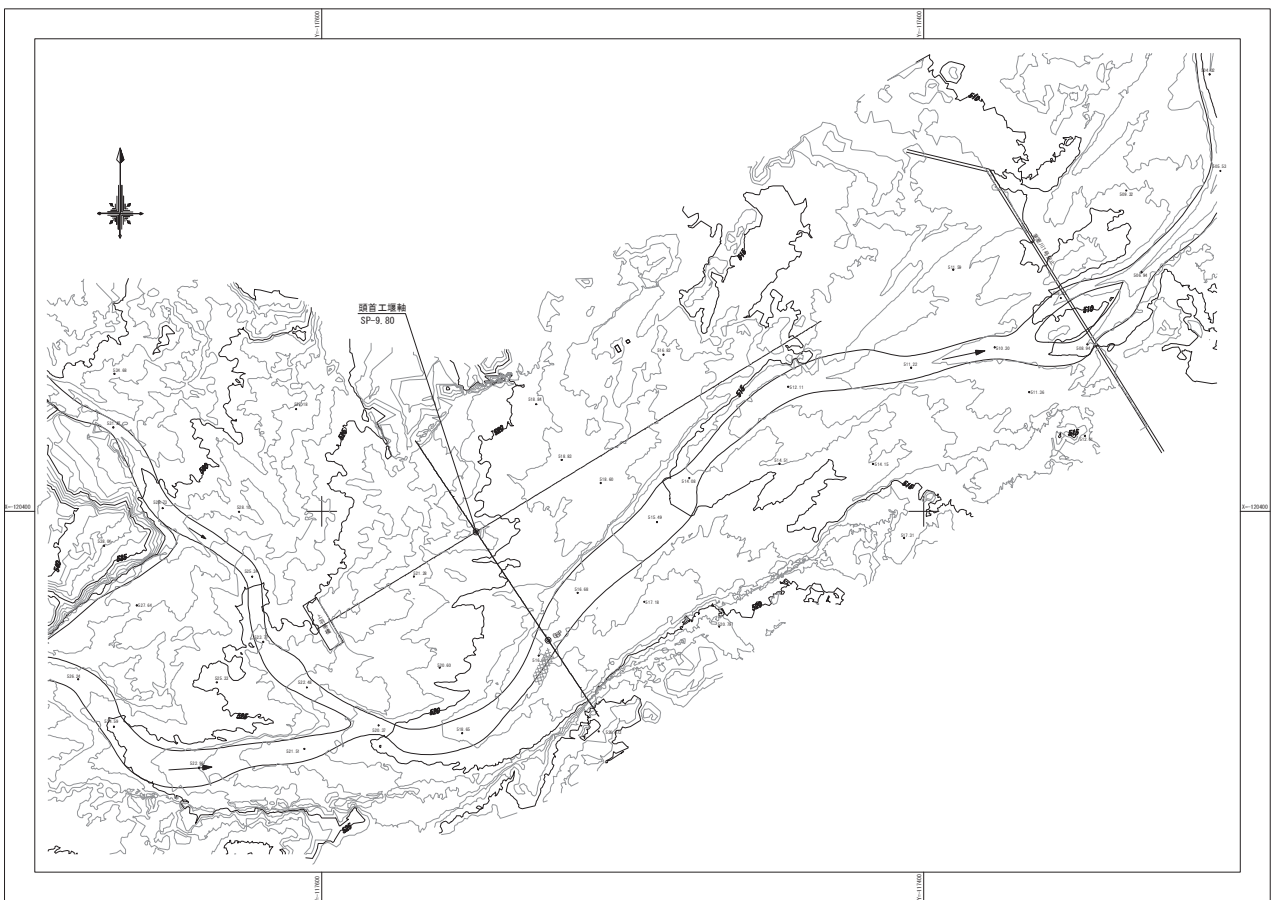


図-7 作成した頭首工付近平面図

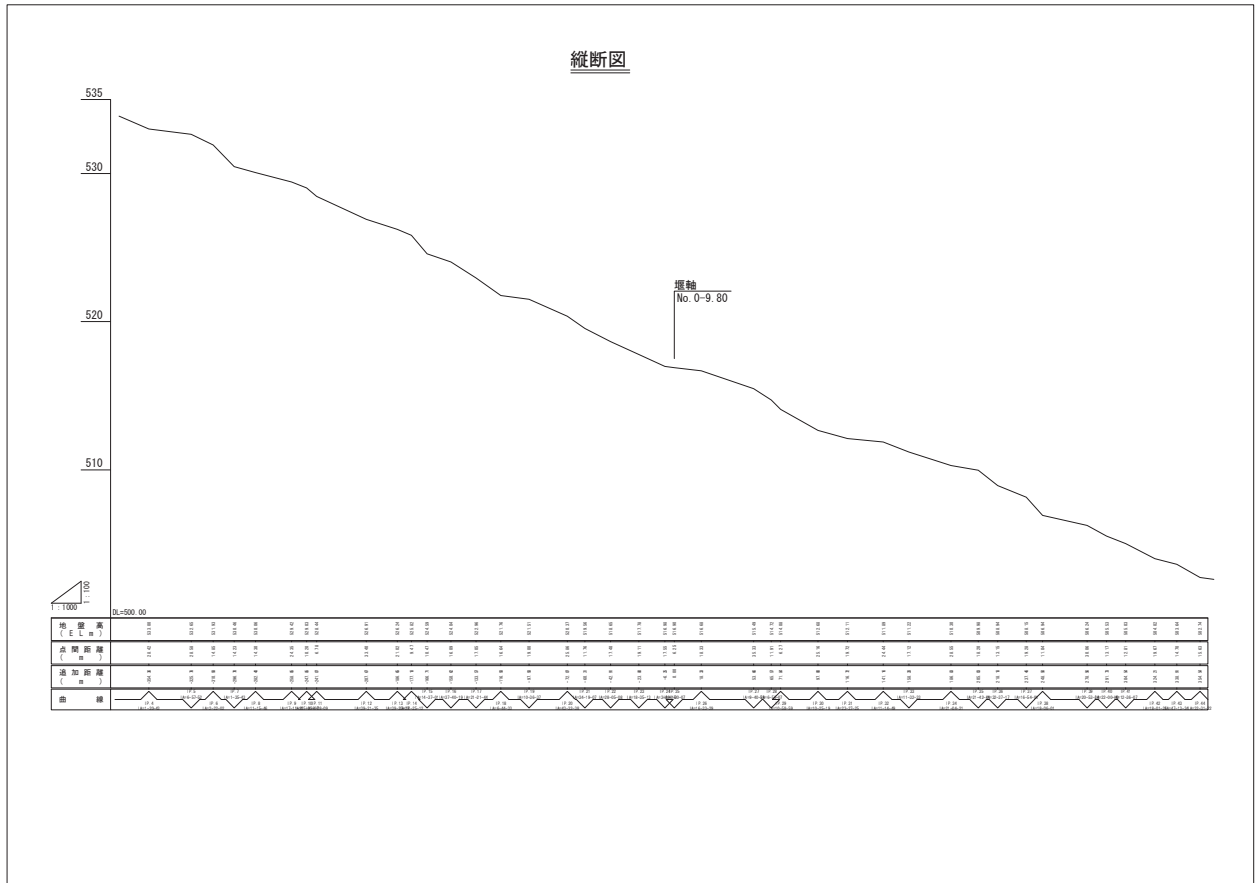


図-8 作成した縦断図

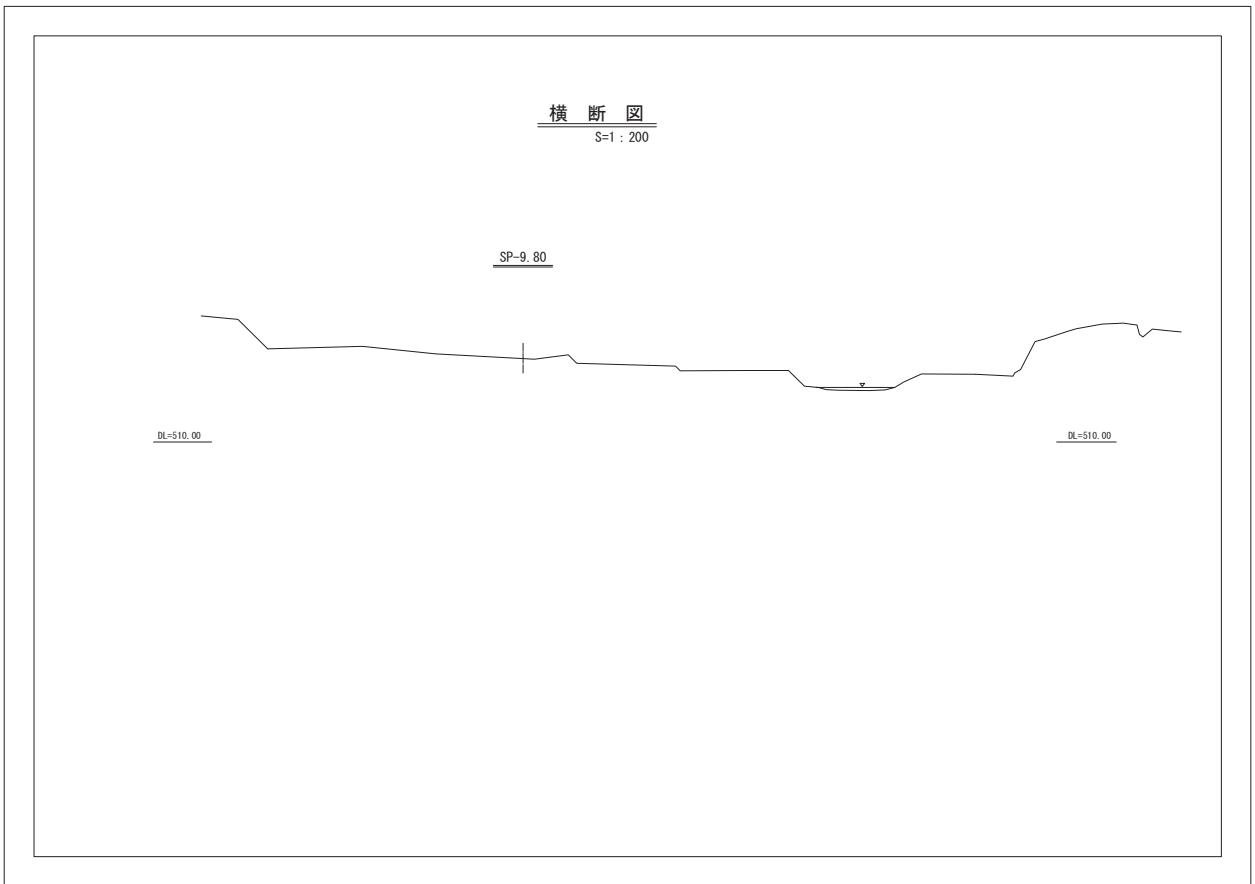


図-9 作成した横断図

9. 作業効率化の実現

本稿で記載した手順で調査を行った結果と災害時に従前より行われてきた測量を比較した場合、以下のような効果が得られた。

従来
1. アナログ方式、人海戦術による調査が主体
2. 道路寸断により移動手段が限定され、被害の全容把握に時間を要する。
3. 2次災害の危険性
4. 現地調査が写真・スケッチが主体であり、精度が悪く、復旧事業には、再度詳細調査が必要。



UAV及び3Dスキャナー活用
1. 外業の短縮による時間・人員のコストダウン。
2. 被災直後の詳細測量により実施設計、施工までの必要な情報を取得。
3. 正確な土工量や土砂量の算出による積算精度の向上。
4. 災害現場等の危険な現場でも安全に計測。
5. 断面図・鳥瞰図・等高線図等の精度向上。
6. 現地作業時間は1/5程度で実施可能。

また、従来のRTK測量ではなくVRS測量を採用したことで、標定点を設置する作業が容易となったこともあり、従来5～7日程度要していた外業が、今回の試みでは1日で終了することができ、現地作業時間は1/5程度となった。

また、写真測量ソフトウェアを使用することで、必要な図面作成を短時間で行うことが可能となり、内業についても従来の1/3程度となった。

10. 今後の課題

今回、調査で判明した課題を以下に示す。

① 流木や土砂による高低変化

今回のような河川災害を受けた箇所では、流木や粒径の大きい転石があるため、空撮写真による解析では、除去しにくい点的要因の障害物があり、三次元点群処理を行った後、側面からの確認を行い除去しなくてはならない。

② 地盤認識

空撮を行った時期が9月であり、河畔林が繁茂しているため、上空からの撮影では地盤を認識することが出来ずない。また水面については他の情報が反射してしまうため撮影精度が悪く、今後は撮影前に現場状況及び撮影時期について確認しなくてはならない。

③ 撮影画像データの品質

解析結果を左右する要素である、ピント、シャッタースピード、露出により、ブレの少ない画像を取得が重要である。

このような測量の品質や精度に関わる基準や作業手順を定め、測量業者が円滑かつ安全にドローンによる測量を実施できる環境を整えるため、国土地理院より平成28年「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)」が公開された。また、国土交通省より公開されている「UAVを安全に運用するためのガイドライン」や「UAV飛行に関する許可・承認の審査要領」などの資料に基づいてドローンの運用を行うことで、安定した品質を望むことができる。

11. おわりに

災害直後に迅速な現況把握を行い、昨年度中に災害査定と復旧設計を終了し、平成29年7月現在、災害復旧作業が施行されている（写真－6、写真－7）。



写真－6 御影地区土砂掘削状況



写真－7 ポンプ排水状況

急速に普及し始めたドローンによる写真測量と写真解析技術によって、より広範囲を、簡単に、そして安全に計測できるようになった。

現在は新たな技術として、本稿の標定点はVRSを用いて精度の高い座標と標高付けを行ったが、本調査を行わず、簡易に標定点へ座標を与える方法としてGPS内蔵型の対空標識（写真－8）を用いる方法や、機体にプリズムを装着したドローンをトータルステーションで自動追尾することで、標定点設置そのものを省略するシステム等も開発され、作業の効率化を図られる技術も多く出現しているが、簡易GPS程度の精度であり悪く、調査目的に応じての

使用が求められる。今後も UAV、SfM技術の急速な発展が予想され、さらなる活用が期待される。



写真－8 GPS内蔵対空標識

（株）フロンティア技研

開水路系を含む送水系パイプラインの 通水試験における留意点

高橋 洋

1. はじめに

本報は、開水路系を含む送水系パイプラインの通水試験を行う際の留意事項について、国営土地改良事業で造成されたパイプラインのうち、弊社が平成26年度に担当した開水路（水路トンネル）とパイプラインで構成される複合水路での通水試験を踏まえ、①水張り作業に係る留意点、②水密性および機能の評価に係る留意点として報告する。

通水試験の対象施設は（以下、「試験対象施設」という）、延長約30kmに及ぶ送水系水路であり、管径2,100～1,200mmのオープンタイプパイプラインと取水施設（頭首工）の直下流に接続する延長約1kmの水路トンネル（標準馬てい形2r型、2r=2,200mm）を含んでいる。

2. 水路システムの概要

試験対象の水路システムは、オープンタイプパイプラインと水路トンネルにより構成される複合水路である。その特徴として、①本線の管種は主として鋼製管（STW）であり、②オーバーフロー式のオープンスタンド分水工により13の水理ユニットに分かれ（連続するオープンタイプパイプライン）、③当該区間の上流部の水路トンネルは開水路流を呈することが挙げられる（図-1）。

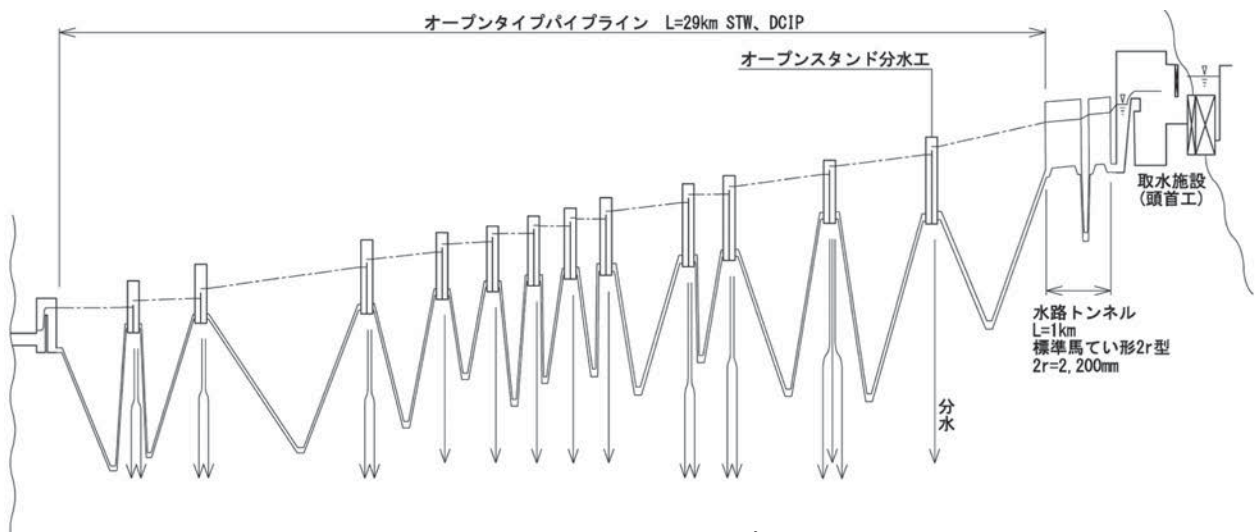


図-1 通水試験の対象としたパイプラインの概要図

3. 通水試験の概要

通水試験は、パイプラインの水密性と安全性の確認を目的として行われる。通水試験は漏水試験と水圧試験に分類され、さらに、漏水試験は継目試験と水張り試験に分類される（図-2）¹⁾。本報は、パイプラインの敷設を完了した後に、当該区間に充水し、主として水密性の確認を目的に行う“水張り試験”を対象とした。水密性の確認の対象は、管体、継手、通気施設、保護施設（排泥施設）である。

試験対象施設では、水張り試験で水密性および安全性を確認した後に、開水路（水路トンネル）区間について、流量を数段階で変更して用水到達時間の検証を行った。

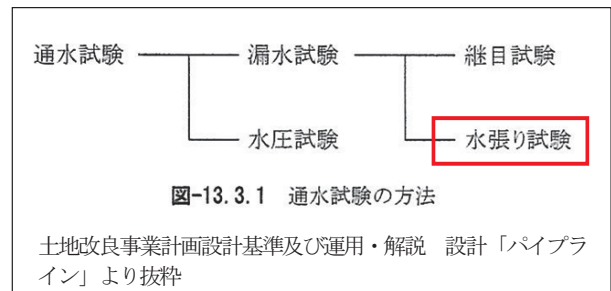


図-2 通水試験方法の分類

4. 水張り作業に係る留意点

(1) 充水量

管水路が空虚の状態からの初期の水張り作業は、エアハンマーなどによる危険防止のため、管内の空気と水の入れ替えがスムーズに行われるように、充水量は計画最大流量の1/5～1/10以内の流量で十分時間をかけて行うこととされている²⁾。

試験対象施設は、最大管径2,100mmで設計流量はQ≈約5 m³/sと規模が大きい。加えて、その線路は山間域を通り起伏が多く傾斜も大きい。初期の水張り作業のときに管内は空虚である。この際、下りの傾斜部は開水路流を呈して射流で流下し流速が大きくなる場合がある。このとき、管水路内の跳水の発生、あるいは下り傾斜の下端部においてスラスト力による継手(DCIP)の抜け出し等が懸念される。充水量は、計画流量に比して流量は少なくても、管内の射流の発生や満流時よりも狭い範囲(管底付近)に流水のエネルギーが集中することなどに配慮を必要とした。

試験対象施設の充水量qは、規定の試験工期を踏まえつつ、設計流量が5 m³/s以上で管径が同程度であるA地区の事例を参考として(表-1)、q=0.3 m³/s(設計流量の1/17)を最大として計画した。実際の水張り作業の現場では、排気不良によるエアハンマーなどの不具合はなく、安全かつ所定の試験工期に作業を完了しており、充水量として妥当であったと判断する。

表-1 他地区における水張り試験の充水量一覧表(当社実績)

地区名	実施年度	施設規模		充水量 q (m ³ /s)	Q/q
		管径 (mm)	設計流量 Q (m ³ /s)		
A地区	H8	2,000	8.000	0.300	1/27
B地区	H11~15	1,650	3.900	0.200	1/20
C地区	H15	2,000	3.600	0.250	1/14
D地区	H20	2,400	2.557	0.250	1/10
E地区	H26	3,000	17.827	0.500	1/36

(2) 用水到達時間

初期の水張り作業は、計画流量に比して小流量で行う。管径(設計流量)が大きい場合の充水量は、設計流量の数十分の一となる。このとき、とくに水路トンネルなどの開水路部は、圧力流の管水路に比して用水の到達により多くの時間を必要とし、試験工程への影響が大きい。通水試験における用水到達時間は、試験工程計画や人員配置計画の策定に係る

重要事項である。

延長L≈約1,000mの水路トンネル(標準馬てい形2r型)を含む本地区では(図-3)、試験工程計画の段階で水路トンネルにおける用水到達の特性時間として、概ね定常状態となるまでの時間を把握できる式1の貯留にもとづく特性時間(2/3～全量到達)を参考とした³⁾。

$$T = \frac{\Delta V}{\Delta Q} \quad (2/3 \text{ 到達時間}) \quad \dots \text{式1}$$

$$\Delta V = \frac{Q_2 \cdot n \cdot L}{12 \cdot r^3} - \frac{Q_1 \cdot n \cdot L}{12 \cdot r^3} \quad (\text{標準馬てい形断面 } 2r \text{ 型}) \quad \dots \text{式2}$$

ここに、T:用水到達時間(s)、ΔV:貯留変化量(m³)、ΔQ:流量変化量(m³/s)、Q₁:変化前流量(m³/s)、Q₂:変化後流量(m³/s)、n:粗度係数、L:区間距離(m)、I:勾配、r:上部半円の半径(m)

表-2は、水張り試験の完了後に流量を3段階に変更し、水路トンネル区間の用水到達時間を検証した際の計算値と実測値である。試験計画の段階で水路トンネルの粗度係数nは、コンクリート水路の標準値としてn=0.015を想定した。この場合、各流量の計算値と実績値との差は最大4分であり、式1による計算値は、実際の作業に概ね支障のない精度と判断できる。一方、用水到達時間が実績値に最も近い粗度係数を逆算すれば、n=0.012となった。なお、表の用水到達時間には、弊社における複数地区の実験経験にもとづき1~1.5km/分と想定したときの管水路(L=3.6km)の用水到達時間(3分)を含む。

上記のとおり、式1は試験の工程計画策定において実用的な精度を有する結果であった。この際、とくに、より延長の長い開水路区間を含む場合に、初期の通水段階における粗度係数nは、磨耗等の少ないコンクリート水路の状態も想定して、n=0.015~0.012程度から複数選定し準備しておくことが試験計画の検討に有効と考える。

表-2 用水到達時間の検証結果

流量 (m ³ /s)	用水到達時間(分)			
	貯留変化にもとづく計算値			実績値
	n=0.015	n=0.013	n=0.012	
0.0 → 0.5	26	23	22	22
0.5 → 1.0	16	15	15	17
1.0 → 1.8	14	13	12	11

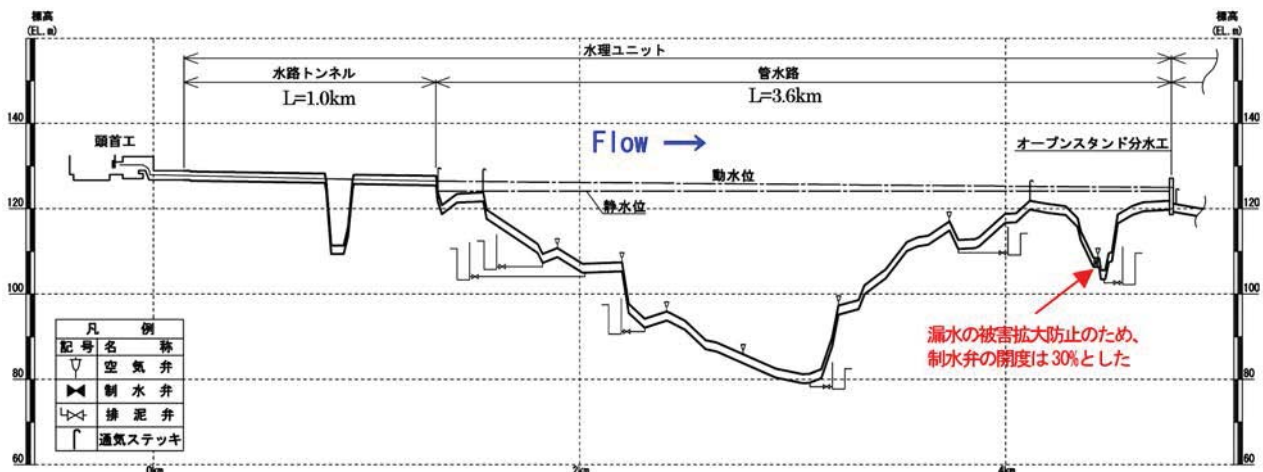


図-3 水路トンネルを含むパイプラインの縦断模式図

(3) 漏水等の被害拡大防止

山間地域に敷設されることの多い送水系パイプラインでは、付帯施設の制水弁工や排泥弁工の操作方式は手巻き式であることが多い。このとき、とくに本管に設置される制水弁は、管径が大きくなれば、その開閉操作に多くの時間を必要とする。

本地区の水張り試験では、水張り作業中に漏水を生じた場合の被害拡大防止策として、管水路の途中に設置される制水弁の開度は、全閉までの操作時間を短縮するため、充水量の通過に支障とならない範囲で小開度とした（写真-1 開度30%程度）。試験対象施設の制水弁は、低キャビテーションバタフライ弁が設置されており、小開度でもキャビテーションは生じにくい。なお、通常のバタフライ弁が用いられている場合は、キャビテーションに対する検証を行い、安全な範囲で開度を設定している。



写真-1 管路途中の制水弁の中間開度設定の事例
(水張り作業時、流量制御は別地点)

5. 水密性および機能の評価に係る留意点

(1) 管体および継手の水密性

試験対象施設では、管体および継手の漏水は生じなかった。

試験対象施設は、延長約30kmのうち、その約9割で鋼製管が用いられている。本管の漏水を生じなかった理由として、鋼製管は管径2,100~1,350mmの規模のため、①管体の接合部は内外面溶接され確実に一体の管路が形成されたことにより、②接合部からの漏水の危険度が少なくなった効果が大きいと推察する。

(2) 付帯施設の水密性

① 通気施設

試験対象施設の水張り試験では、空気弁工や排泥弁工等の付帯施設において漏水を生じた。

空気弁工からの漏水は、遊動弁体の止水不良と配管のフランジ部からの漏水であった。遊動弁体の止水不良は、パッキンとの間のゴミ詰まりを原因とするケースが他の要因に比して多く見られた。この場合は、充水後の清掃により速やかに止水した（図-4）。また、フランジ部からの漏水の原因は、パッキンの不具合によるものであった（写真-2）。

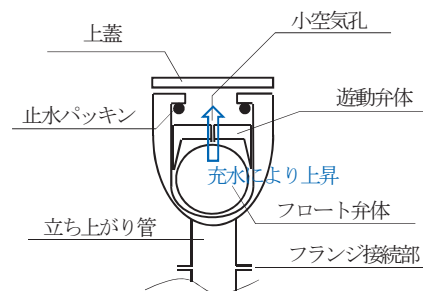


図-4 空気弁の構造概念図

以上の漏水は比較的少量の場合が多いものの、放置すれば空気弁室が水没して給排気機能に支障を及ぼす可能性などがあることから、水張り完了後の巡回による状況確認が重要である。



写真-2 空気弁工の漏水事例

空気弁の止水不良による漏水のうち、試験対象施設における特徴的な事例は、図-5に概略の縦断形状を示した水理ユニットの高標高に位置する空気弁で生じた止水不良である(図-5①)。止水不良を生じた空気弁は、当初7.5k仕様の製品が用いられていた。一方、当該空気弁工は、特に静水頭2m未満の位置に配置していた。

本空気弁の止水不良は、静水位のとき、弁の止水のための水圧が十分得られないことが原因と判断した。静水頭が2m未満の場合には確実な止水が可能な低水圧に対応した施設の設計が必要である。

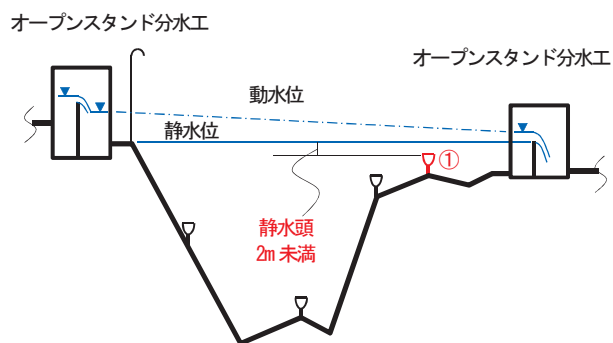


図-5 静水頭の小さい空気弁のある水理ユニットの概念図

② 保護施設(排泥施設)

上記に加えて、付帯施設からの漏水として排泥弁工における弁の止水不良(不足)があった。空虚あるいは水圧が低い場合に全閉して漏れがない場合でも、充水に伴う水圧の上昇によって漏れを生じる場合があった。この際、ゴミの挟み込みの可能性もあるので、一旦、小開度で開操作してシール部の洗浄を行い、再度、厳重に閉そく操作を行うことにより漏水は停止した。

排泥弁は、水張り作業の事前および管内の洗

浄のために使用した後の閉そく確認とともに、水張り作業中は定期的な巡回により止水状況を確認することが重要である。

(3) 漏水の観測方法と評価における安全性と精度の向上

減水が管路からの漏水に起因する場合、減水量は水圧の低下に伴って減少する。一方、減水量が同じでも、水面(水圧)低下の速さは自由水面が位置する管路の敷設勾配によって変化する。水密性の評価においては、これらの判別が重要であり、1~10分間隔のきめ細かい連続観測によりこのような判別が可能となる。

本地区の水張り試験では、遠方監視機能を備えた自記式水圧(圧)計による計測を行い、漏水の判別の精度向上を図るとともに、観測した水圧データの水位標高への変換や、水位の異常判定(警告閾値)による警報機能を備えたスマートフォン用のアプリケーション(自社開発)を利用することにより、減水傾向の変化(漏水の発生と拡大)への即応を可能とし、試験の安全性の向上に努めた(写真-3~写真-4)。



写真-3 自記式水圧計の設置事例



写真-4 遠方監視装置の使用事例
スマートフォンアプリ(自社開発)による監視例

なお、水張り作業のときと同様の理由から、漏水観測期間は管水路の途中に設置される制水弁の開度を小開度としている。ただし、通水断面確保の必要はなく、水圧が伝達すれば良いので、水張り作業のときよりもさらに小さい開度5%程度とした。

(4) 漏水観測における管内への混入空気の影響

図-6は、試験対象施設のうち、一つの水理ユニット(図-7)における水張り後の水位観測事例である。水理ユニット途中の空気弁工における水圧観測値を水位に換算したものである。WL=121.5m付近で一旦充水作業を終えて(A区間)、夕方から管内水位(水圧)を監視したところ、水位の低下が見られた。空気弁工等の付帯施設やパイプライン線路上の点検から漏水などの異常は確認されなかったため、水位監視を継続した。水位の低下は約12時間後にWL=120m付近で停止し、翌朝の点検からも施設の異常は認められなかったことから、残りの充水作業を行った(B区間)。B区間(静水位まで)の

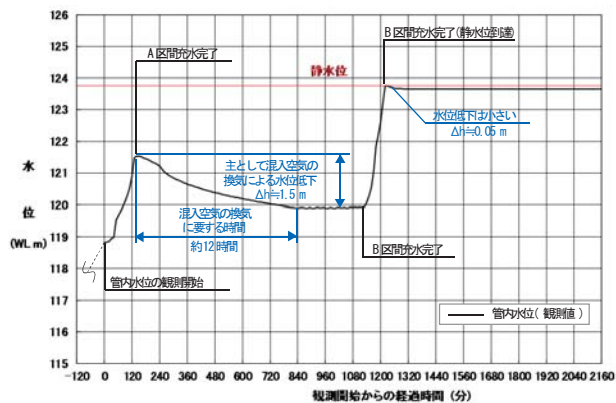


図-6 漏水観測における混入空気の影響事例

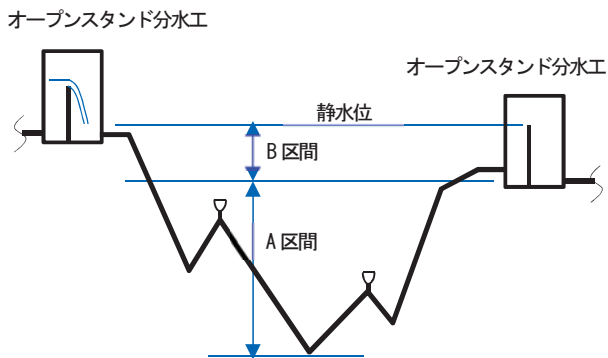


図-7 漏水観測で混入空気の影響を観測した水理ユニットの概念図

水張り後にも若干の水位低下が見られたが、30分程度経過した後から水位低下は見られなくなった。前日の水位低下傾向を併せて、水位低下は漏水が原因ではないと判断した。

水位(水圧)低下の要因は、対象区間の管種が鋼製管(溶接継手)であることから継ぎ手部の伸びや吸水などの影響は小さく、主として水張り作業中に管水路内に滞留した空気(気泡)の影響と判断した。試験対象施設は、オーバーフロー式のオープンスタンドにより複数の水理ユニットが連続するオープンタイプパイプラインである(前出の図-1参照)。

水張りの際、スタンド隔壁からの水脈落下により生じた気泡が管内連行し(写真-5)、さらに、急傾斜部等における非満流の流れに起因して生じた気泡が管水路内に滞留した。管内の気泡は、流水停止後に空気弁工や自由水面部から徐々に排除され、水位低下を生じたものと推察する。翌朝再開した静水位までの水張りは、水理ユニットの高位部が対象で傾斜が緩いこともあり、流水により発生・連行する気泡が少なく、水張り完了後の水位低下は比較的小なくなったものと推察する。

水流が隔壁から越流して管内に流入する構造のオープンスタンドを含む場合や、起伏が大きく急傾斜部を含む場合は、漏水の観測とその評価にあたり、水張り作業で生じて管内に滞留する気泡の影響に留意が重要である。水張りにより発生・連行する気泡の量は、施設の構造に加えて充水量とも関係があることから、とくに規模の大きいオープンタイプパイプラインでは、水張り作業時間(試験工期)の制約などに配慮しつつ、適正な充水量(少流量)の設定が重要と考える。



写真-5 落水水脈による気泡の発生事例

6. まとめ

開水路系を含むパイプラインの水張り試験について、実績にもとづく留意点をまとめると以下のとおりである。

- (1) 水張り作業における1/5～1/10以内の充水量として、既往の実績にもとづき、設計流量 $\approx 5\text{ m}^3/\text{s}$ の管水路において充水量 $q=0.3\text{ m}^3/\text{s}$ （1/17）を上限とした水張り作業を行い、所定の工期内で安全に試験を完了した。
- (2) 通水試験の工程計画や人員配置計画には、開水路部の用水到達時間の考慮が重要である。コンクリート水路では、 $n=0.015\sim 0.012$ の範囲で用水到達時間を把握しておくのが良い。初期通水の場合は、水路の磨耗等も少ないため、粗度係数が小さいときの適合がより良い傾向にある。用水到達時間は実測により検証することで、水路システム供用後の安全で効率的な操作管理にも有用となる。
- (3) 管径800mm以上の鋼製管は、接合部が内外面溶接されて一体の管路が形成されるため、接合部からの漏水の危険度は小さく、したがって施設全体としての漏水も生じにくい。重要度の高い大規模な幹線水路の安全性確保に有用である。一方、水圧により作動・止水する空気弁工は、漏水防止として、その配置と静水位との関係を考慮のうえで止水性能を備えた製品の選定が重要である。
- (4) 水密性の評価には、水圧の変化や管路の敷設勾配の影響の判別が重要であり、1～10分間隔のきめ細かい連続観測が有効である。自記式水位計に遠方監視や警報の機能を加えた観測を行うことで、漏水の発生や拡大への即応を可能として試験の評価精度と安全性を向上できる。
- (5) 水張り作業に伴って管水路内に滞留した気泡が、水位（水圧）低下の原因となる場合があった。気泡の量や大きさにより、その影響の大きさや継続時間は異なるものと推察され、漏水有無の判定に影響する。気泡の発生は充水量の増大に伴って増加する傾向にあり、規模の大きい送水系パイプラインでは、水張り作業時間の制約などに配慮しつつ、適正な充水量（少流量）の設定に留意が重要である。

- (6) 通水試験中、管水路の途中に設置される制水弁の開度は、全閉までの操作時間を短縮するため、充水量の通過や水圧の伝達に支障とまらない範囲で小開度とすることにより、漏水等の非常時の被害拡大防止に有効となる。

7. おわりに

農業用パイプラインは、敷設工事を完了した時点だけでなく、供用後の維持管理段階においても、施設の点検・整備あるいは機能診断調査等のための落水により空虚となる機会がある。一旦、管路が空虚となれば、再通水に向けて初期通水と同様の充水作業を必要とする。このとき、安全で効率的な作業の実現には、本報で紹介したような施設の構造・規模ならびにパイプライン形式などによって特徴的な水理特性や付帯施設の挙動などを十分に把握したうえで、作業計画を検討し作業現場の管理に当たることが重要と考える。

本報の内容は、国営土地改良事業において造成されたパイプラインの通水試験業務の実績にもとづき整理したものです。関連業務のご発注により貴重な経験の場をご提供下さいました北海道開発局の関係各位には、ここに記して御礼申し上げます。

(株)アルファ技研

参考資料

- 1) 農林水産省農村振興局整備部設計課監修：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」、平成21年3月、p. 532
- 2) 農林水産省構造改善局総務課施設管理室：基幹水利施設指導・点検・整備マニュアル（パイプライン編）、平成7年1月
- 3) 農林水産省農村振興局整備部設計課監修：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路工」、平成26年3月、p. 731

大区画水田の事業効果計測（労働時間調査）におけるGPSデータ観測時の定点カメラ活用による調査の充実について

南 寿範

1. はじめに

北海道は、農業産出額が平成27年現在で全国の約13%（1.1兆円）を占める農業地帯であり、日本の食料基地としての役割を担っている。しかし、高齢化や後継者難による離農の進行が深刻であり、労働力不足や農地分散を解消し、作業効率性の高い生産基盤への整備が待たれている。

こうした状況の中で、農地再編整備事業による区画整理や排水改良等が実施され、ほ場の大区画化と排水不良地の解消により田畑輪換の定着と併せ農作業の効率化を図り、生産コストの低減を目指している。特に、区画整理に伴うほ場の大区画化、区画の整形化は、単位当たり労働時間の大幅な節減が見込まれ、担い手の減少に伴う一方での経営規模拡大への取り組みや、農作業の効率化に伴う余剰労働力を活用した新規高収益性作物の導入が期待される。

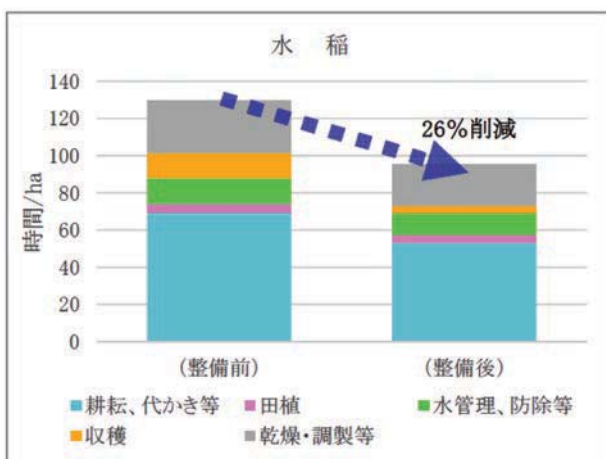


図-1 事業実施地区における労働時間節減状況
(引用・参考文献2より)

現在、事業実施中の地区における労働時間調査結果においては、水稻の単位当たり労働時間について現状よりも26%の節減が認められている（図-1）。

本稿は、ほ場の大区画化等による労働時間節減効

果を検証するための労働時間計測調査に際し、観測に伴う負担軽減と適期による作業状況の細部把握のために試みた、GPS機器と定点カメラを組み合わせた調査手法を紹介するものである。

なお、調査地点である国営農地再編整備事業「I地区」は、道南に位置する水田地帯であり、区画整理では暗渠排水の施工と併せ地下水位制御システム(FOEAS)の整備が行われている。この事業による効果発現検証のための調査を平成27年度から実施しており、大区画化等による農作業の効率化を検証するため、整備前後の各ほ場における労働時間の計測、比較分析を行っている。

2. 定点カメラ設置の目的

【従来の調査手法（ストップウォッチ等による計測）】

従来、調査対象ほ場における労働時間の計測は、ストップウォッチやビデオカメラ等を用いた目視で行われ、ほ場内作業開始時から終了時まで調査員が立ち会い、作業状況を観測するものであった。

このため、調査員は、作業開始前に調査ほ場へ到着する必要があるため、作業予定確認のために、調査対象農家と頻りに連絡を取る必要がある。また、天候や他の作物の作業状況から、予定した時間に作業が行われないなどの場合には、待機した後に対応することになり現地に長期間滞在する必要がある。

調査対象農家においても、繁忙期の田植え時期や稲刈り時期等では、調査員と頻りに連絡を取ること負担になることや調査員の現地到着まで農作業を一時ストップしてもらう必要も生じる恐れがある。その一方で、観測データの確実な入手も必要であり、これらへの対応を検討する必要に迫られた。

【GPS機器による計測】

近年、GPS（衛星利用測位システム）機器を用いた労働時間の計測手法が採用されており（例：美唄地区（引用・参考文献3）等）、トラクター等の作業機にGPS機器を搭載することにより、位置及び時間情報を取得し、作業経路や労働時間の把握を行っている。I地区においても労働時間調査の手法として、GPS機器を用いた計測を採用している。

GPS機器による計測は、作業する農家がGPS機器を操作することで、作業種毎に調査員が立ち会わなくとも労働時間の計測が可能であり、調査対象農家の負担の軽減と確実なデータの取得ができる。

また、従来の計測手法と比較しても調査精度が高く、作業毎の正確な労働時間が把握できるとともに、調査に要する労力が少ないことから、調査対象ほ場を数カ所設けることや、同水準の経年データの蓄積等が可能となる利点がある。

【定点カメラ設置のねらい】

GPS機器による労働時間の計測は、前述の通り、調査対象農家の臨機応変の農作業に対応してデータ取得が可能となるが、I地区で使用したGPS機器は、計測開始時やデータの保存時に操作が必要であり、操作ミス等によるデータの欠測が生じる恐れがあった。また、GPS機器で取得した作業経路のみでは判別できない作業の情報（前進・後退の区分、作業機が駆動しているか否か、作業停止時の要因等）があるため、作業状況の細部の把握においても、現地確認は重要だと考えた。

このため、I地区では、計測開始時と作業終了時（データ保存時）に調査員が立会してGPS機器を操作するとともに、作業状況を現地で確認することとした。

今後、同様の調査をする場合、調査ほ場が複数となった際には、調査対象農家及び調査員の負担軽減を図りつつ、確実なデータ取得が可能となる手法の



図-2 GPSデータで取得した作業軌跡

検討が重要と考えた。特に、事業効果の検証には継続的な調査が必要であるため、農家の協力を得るためには、調査対象農家の負担軽減は最重要事項である。

このため、GPS機器と定点カメラを併用することにより、

- ① GPSデータが欠測した場合に定点カメラの情報から労働時間を補完することが可能か。
- ② GPSデータのみでは把握できない作業状況を補足可能か。
- ③ 調査対象農家の負担軽減につながるか。
について、試験的に定点カメラを設置し検証した。

3. 試験導入機器（定点カメラ）の選定

試験に用いる導入機器の選定にあたっては、定点カメラの導入が有効であるかの検討段階であること、ほ場全体を撮影するためには複数台のカメラが必要であることから、ある程度価格を抑えた機器を準備した。

このため、定点カメラの導入試験には、水位や融雪状況の撮影等において使用実績のある、下記の機器を採用した。

■ 導入機器（図-3参照）

品名：画像データ記録装置
撮影間隔：最短で1分毎に1枚（静止画）
保存媒体：CFメモリーカード （16GB・・・約150日分保存可能）
電源：太陽光発電モジュール

試験導入機器の概要は以下の通りである。

- ① 太陽光発電で長期間撮影が可能：電線からの電源供給の場合、立地条件や費用の観点から課題があるため、電源には太陽光発電を採用した。

- ② CFメモリーカードにデータを保存可能：容量はメモリーカード次第であるが、16GBのカードで、約150日分のデータが保存可能である（夜間撮影停止の場合）。

- ③ 1分毎に1枚の静止画撮影可能：作業状況を把握するためには、動画の撮影が望ましいと考えられるが、動画撮影の場合、バッテリー容量やデータ保存容量が課題となる。クラウドサーバーに保存する場合には、通信料が高額となる等の課題があるため、低コストで導入可能な、1分毎に撮影される画像データ記録装置を採用した。

4. 設定条件

定点カメラの設定及び設置は、以下の通りである。

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">① 調査ほ場1枚につき2台設置
→ほ場全体を撮影可能とするよう、1本の支柱に2台のカメラを設置した。撮影した画像は図-4であり、施工後の面積約2haのほ場は、2台のカメラで全体を網羅することが可能であった。② 撮影間隔は1分毎に1枚
→導入機器の最短の間隔である1分毎に1枚の撮影とした。③ 記録時間は毎日5時～19時
→保存容量及びバッテリーの節約のため、夜間は撮影を停止することとした（夜間は光源不足のため、何も映らない）。④ ダミーカメラの設置
→防犯対策として、ダミーの防犯カメラを設置した。 |
|---|



図-3 定点カメラ設置状況



図-4 調査ほ場の撮影状況

5. 定点カメラの記録結果

【ほ場内作業】

下図の通り、定点カメラにより、ほ場内作業の様子を撮影することができた（6月中旬の設置したため、試験記録は水管理作業と収穫作業である）。



1分後



図-5 収穫作業開始時



図-6 収穫作業完了時

撮影結果より、ほ場内作業開始から終了までに要した作業時間を把握することが可能であった。

作業時の様子として、撮影が1分間隔であったことから、直線作業時は、1枚毎に約50m作業が進行していたことが確認できた。旋回の様子は、旋回時間の平均は16秒/回（実測値）であったため記録されていない部分が多く、1回当たりの旋回時間の把握は困難であった。

また、定点カメラを設置した対辺付近では、作業機が非常に小さく写り、詳細な作業状況の把握は難しかった。

さらに、天候事情により、日没時も作業を継続した場合もあったが、日没時は光源が足りず、記録した画像データに写らず、作業状況の確認は出来なかった。



図-7 対辺付近での作業の様子



図-8 日没直前の様子

【その他の作業（水管理作業等）】

水管理作業は、ほ場毎の水口、排水口、耕作道を撮影範囲に収めることで、図-9のように作業の状況を記録することができた。



図-9 水管理作業の様子

水管理作業時間は、これまでは、調査対象農家に作業日報への記録を依頼し、それを基に労働時間を整理していた。しかし、この手法だと、経営全体の時間しか把握できず、大区画化に伴うほ場毎の労働時間の把握は困難であった。

I地区では、ほ場毎の水管理作業時間を把握するため、水管理作業時もGPS機器による労働時間の記録を行った（水管理作業は、全てを調査員が帯同することは困難なため、調査対象農家にGPS機器の操作を依頼した）。しかし、水管理は生育期の日々の見回りであり作業回数も多いことから、調査対象農家の負担も多く、欠測も生じていた。

今回の定点カメラは1分毎の記録のため、詳細な時間は把握できなくても作業回数を確認することができ、GPSの欠測データを補完することが可能であった。さらに、撮影間隔が短い定点カメラを使用することで、定点カメラ単体で水管理時間の把握が可能になると考えられる。

6. 考察

今回の試験結果より、今後の調査で活用していくために必要な定点カメラの条件は、短い時間の作業

状況、広い範囲の作業状況、暗い時間帯での作業状況を把握できるものが求められ、以下の3点が考えられる。

① 撮影間隔が短い（または動画で記録可能）

労働時間の節減要因は、大きく分けて「大区画化、整形化による単位当たり“作業巡回回数の減少”」、「排水改良、客土等の立地条件改善による“作業速度の向上”」の2点が挙げられる。

全体の労働時間の節減状況は、1分毎の記録でも、一定の精度で把握可能である（全体労働時間のうち、最大2分の誤差）。

ただし、労働時間の節減が認められた場合、その節減要因が何であったかを分析することも、事業効果を検証する上では重要であると考えられる。このため、直線作業時間、巡回時間、その他（作業停止時間等）の時間を区分する必要がある。

しかし、巡回に要する時間は、H28年の実測値では9～40秒/回（施肥、耕起、移植・施肥、代かき、収穫時の巡回時間）であり、撮影間隔が長いと、巡回状況の把握は困難である。

また、通話等により作業を停止した場合、1分毎の記録では、移動した距離が短いだけにみえる場合があり、作業を停止したのか、ぬかるみ等のほ場条件に起因する低速作業だったのかを判別不能である。

こうした巡回時間や作業停止状況の把握のためには、動画での記録が望ましいといえるが、バッテリーや保存容量、設備投資の観点から導入が難しい場合は、概ね5秒間隔以下（巡回時間以下を想定）で記録可能な画像データ記録装置であれば、活用可能と考える。

② 望遠性の高いカメラの導入または複数箇所に設置する

本調査は水田が対象であり、整備後のほ場でも区画規模が2ha程度であったため、1ほ場当

たり2台の設置で、ほ場全体を網羅することができた。しかし、対辺付近では、作業機が非常に小さく写り、詳細な作業状況の把握は難しかった。このため、望遠性の高いカメラと広角カメラを組み合わせる、あるいは、同性能のカメラを複数台設置する場合には対辺上に設置するなど、ほ場のどの部分で作業が行われても、作業の様子が確認できるように設置することで、作業状況の確認に活用可能と考える。

③ 日没時作業の撮影が可能

日没時は光源不足により、記録データでは作業状況が確認できなかった。しかし、実際には、日没後にも作業が継続されることもあり、暗い時間帯の作業を確認する必要がある。日没時作業を記録するためには、暗視機能のついたカメラ等が必要となる。

調査対象農家に、作業開始時に連絡を依頼することで、作業実施中に調査員が現地に向かうことが可能となり、日没時の作業は現地確認可能となると考える。ただし、日没後の撮影が可能になれば、現地確認が出来ない場合でも、作業状況の把握が可能となる。

7. 結論

前項の条件を満たす定点カメラを用いることができれば、GPSデータの補足、補完が可能であると言える。

このため、不確定な作業予定の確認のための複数回にわたる調査員との密なやり取りは不要となり、調査農家の負担軽減が図られると考える。

また、水管理作業等、長期間にわたる作業の労働時間の把握においては、作業日報やGPS機器での記録に加え、一つの選択肢、もしくは補足調査として定点カメラの設置は調査の精度を上げることに寄与すると考える。

また、余談ではあるが、近年、GPS機器の進歩はめざましく、データ欠測防止に有効な製品も増加

している。

電源を入れるだけで計測が開始され、自動的にデータが保存されるGPS機器など、高齢者の農家でも操作が容易であり、欠測の恐れも少ない機器が販売されている。

さらに、取得データをリアルタイムにネットワーク経由で確認できる機器もあり、GPS機器が起動されているか、遠隔地でも確認することが可能になるため、操作ミスによる欠測の防止も可能である。

加えて、近年、普及が進んでいるGPSガイダンスは作業時間及び経路の記録が可能であり、調査対象農家がGPSガイダンスを使用している場合には、データを入手できれば、労働時間の整理が可能である。事業計画にGPSガイダンスの導入が策定されている地区も出てきていることから、今後、GPSガイダンスを用いた労働時間調査が実施しやすくなる。

このように、近年では、データの欠測の恐れが少ないGPS機器が安価に入手可能となっており、事業効果検証の労働時間調査に導入可能である。

ただし、GPSデータの欠測が防止されても、定点カメラの設置は、作業状況の確認が出来ることの意義はある。特に、調査初年目は、調査対象農家の作業傾向の把握や、整備直後のほ場の場合、土質等の変化で作業の仕方が変わることが想定され、現地確認をすることが不可欠であるため、GPS機器と併用した定点カメラの設置は、作業状況を把握する手法の一つとして有効であると考ええる。

(林環境保全サイエンス)

【引用・参考文献】

- 1) 北海道農政部（2017）「北海道農業・農村の現状と課題」
- 2) 柴田 亮・橋本 昌直・鈴木 淳（2017）「大規模土地改良事業の実施地区における事業効果－富良野盆地地区における地域への波及的効果－」
- 3) 赤川 豊文・渡辺 秀博・長尾 賀津（2016）「農作業機械の稼働時間計測におけるGPS受信記録機の活用方法について（第1報）」

肥培かんがい施設調査設計における三次元モデルの活用

安藤 和弘

1. はじめに

「国営環境保全型かんがい排水事業」根室地区は、根室振興局管内東部に位置する根室市の酪農専用地帯を対象とした地区で、生産性向上による農業経営の安定化を図る目的と併せて、環境保全型農業の推進を目的とした肥培かんがい施設の整備が計画されている。

本報文は、事業計画に基づき建設する肥培かんがい施設の実施設設計を行うに当たり関係受益者と合意形成を図ることが重要な施設配置計画、施設形状決定、施工計画、施設細部決定について三次元モデルを活用した事例を報告する。

(業務概要)

■設計

- ・肥培かんがい施設実施設計：1ブロック



図-1 位置図 (nonscale)



写真-1 現況写真

2. 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。

設計対象箇所の現地路線測量の実施と併せて、肥培かんがい施設実施設計時における施設配置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、当肥培かんがい施設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。

(1) 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」である。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（現況地形、現況地物（営農施設等））がそのまま記録される。また、同じ方法で計測すれば、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。

(2) 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。

(3) 作動原理（図-2参照）

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ンを行う。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ビットのパラレルで出力され、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。

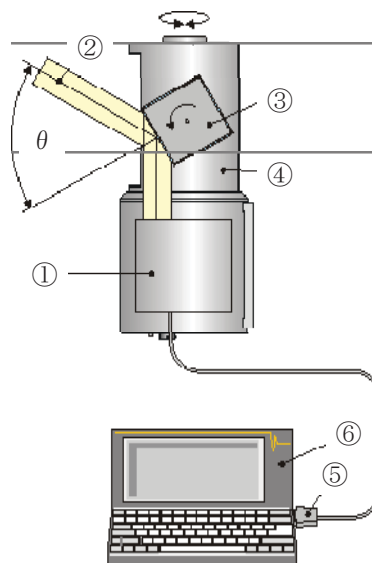


図-2 システム概要図

(4) 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

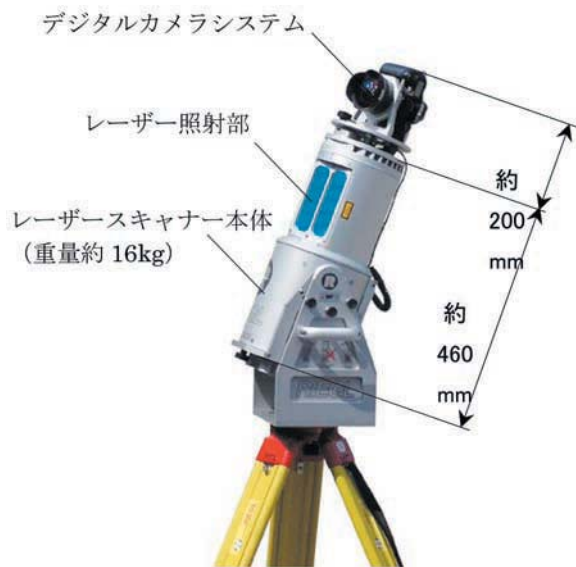


写真-2 レーザースキャナー本体

2) デジタルカメラシステムの役割

スキャニングそのものに“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

ている。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。

(5) 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。

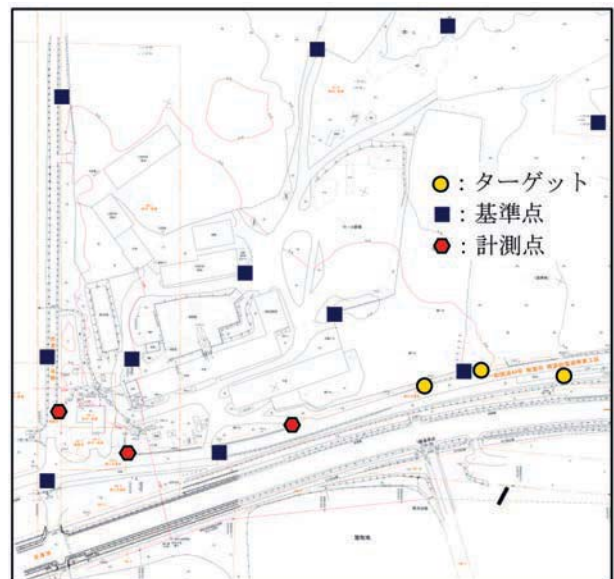


図-3 レーザー測量用基準点と計測点

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。

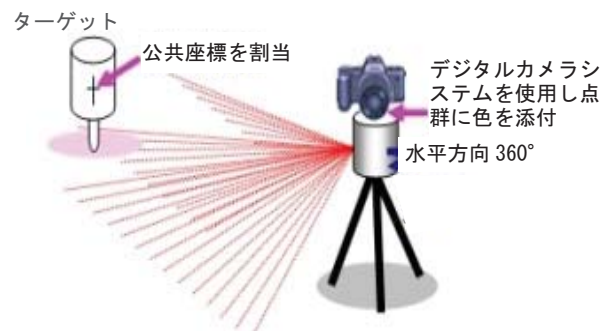


図-4 スキャニングイメージ



写真-3 スキャニング状況(1)

地上型三次元レーザー scanner 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。



写真-4 スキャニング状況(2)

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。



写真-5 現況画像 (点群カラー画像)

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。

(6) 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。

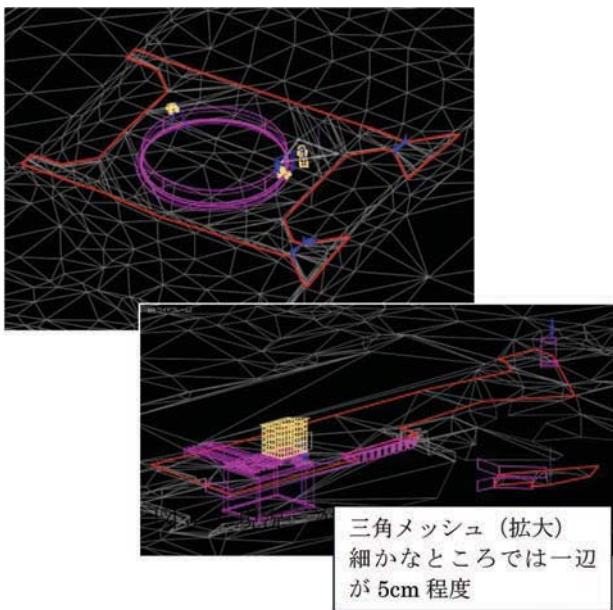
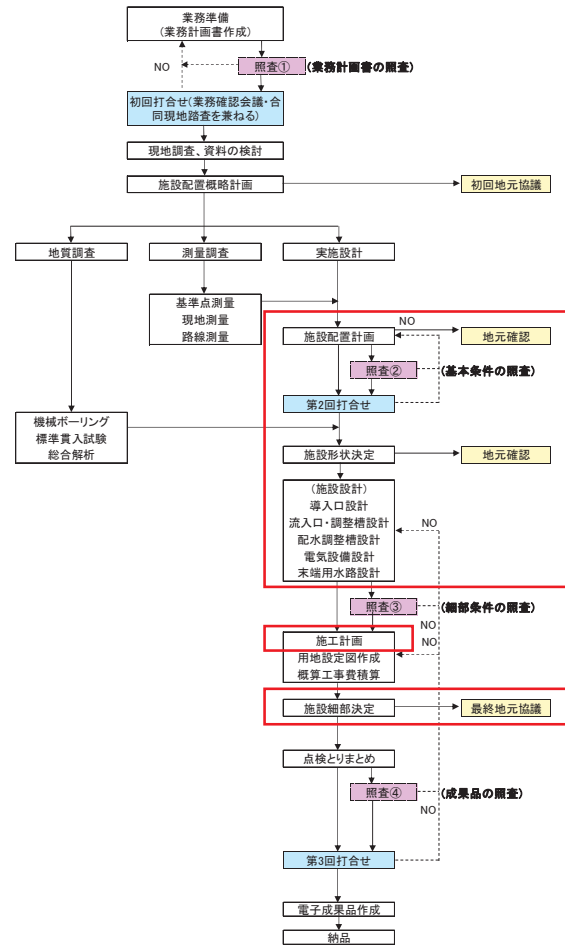


写真-6 現況三次元モデル

3. 設計作業フロー



□ : 三次元モデルを活用した作業項目

図-5 設計作業フロー

上記は肥培かんがい施設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、営農環境状況として既設営農施設（牛舎、堆肥舎、尿溜等）と新築牛舎（予定）に配慮し、かつ、営農作業中における施工配慮を踏まえた施設配置計画とすることが必要であった。

また、周辺土地利用活用（現況の道路と各ほ場との配置）を踏まえた、スラリー散布における交通アクセス状況を関係受益者と合意形成を図ることが、最重要課題とされた。

したがって、今回は主として、施設配置計画（流入口、調整槽、配水調整槽、各管理用道路等）を含む施工計画の規模が、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。

4. 3Dアニメーション動画の作成

三次元レーザースキャナーにより計測し、データを編集し作成した地形3次元モデルと設計図（2次元）から作成した設計3次元モデルを組み合わせ、市販3Dアニメーションソフトにより3D動画を作成した。

設計造成物及び施工時仮設の3D動画より出力した3D画像データを以下に示す。

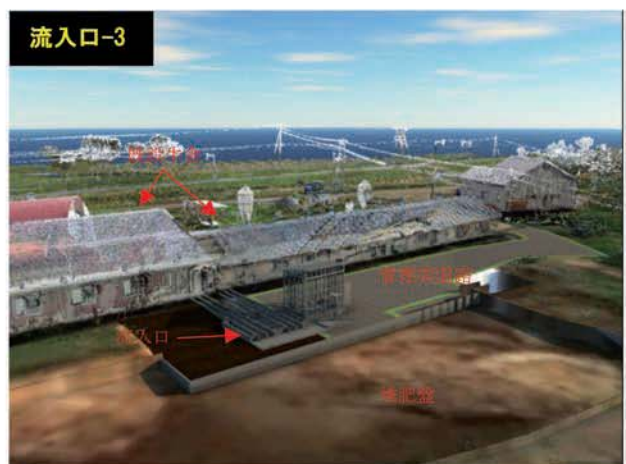
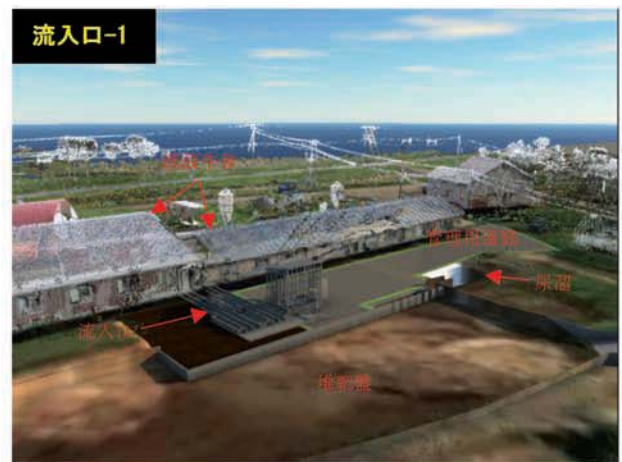
当業務では、関係受益者との合意形成も意識しつつ、現況及び設計の三次元モデルを使用しながら、より広くイメージが伝わり易くすることに留意した。

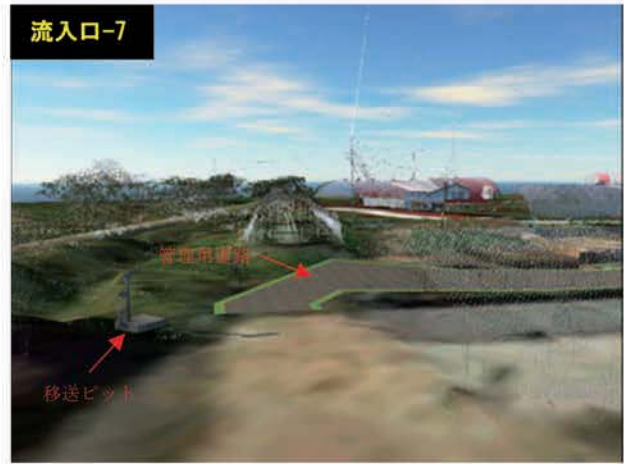
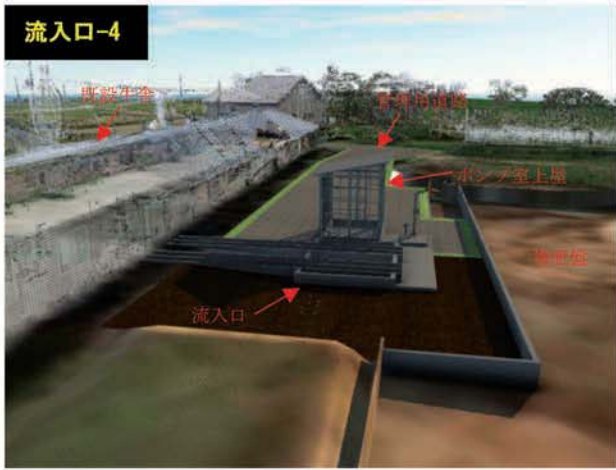
ここでは抜粋した画像を掲載するが、実際には、一連の流れを動画としてプレゼンテーションを行った。

【施設配置計画】

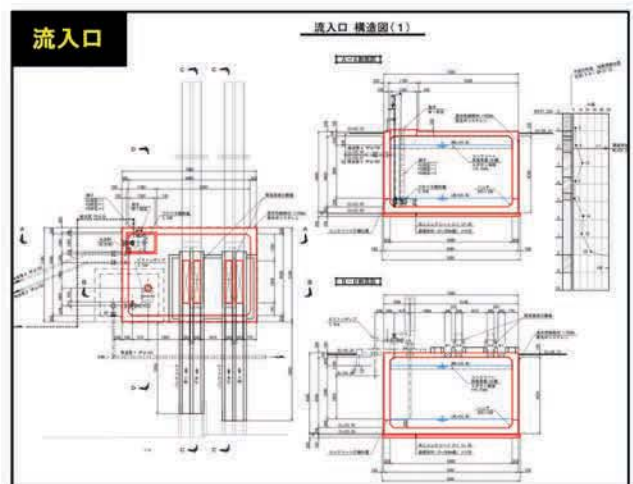
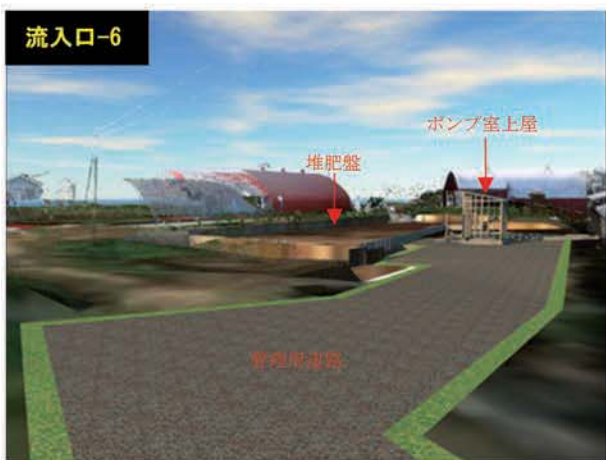
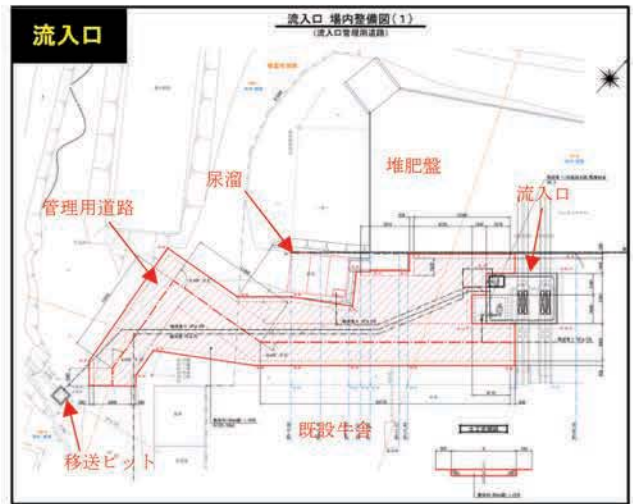
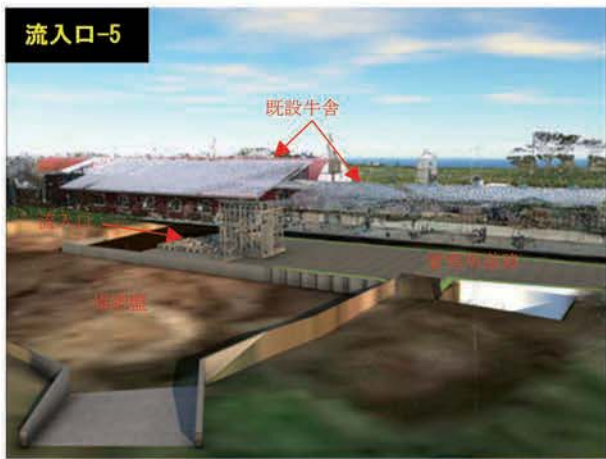


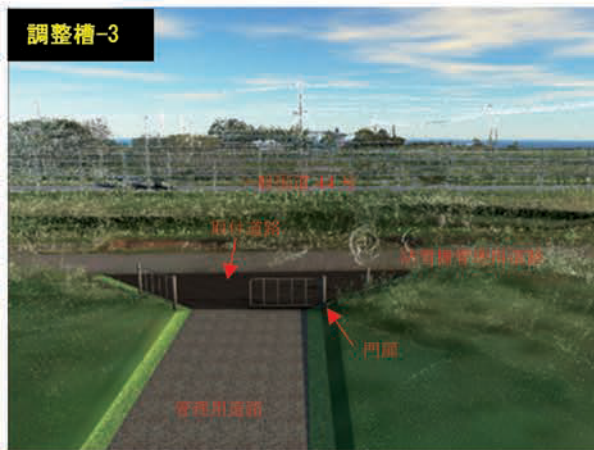
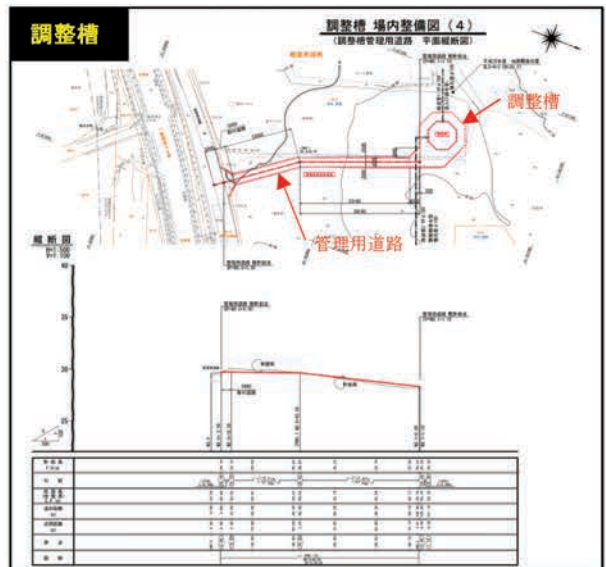
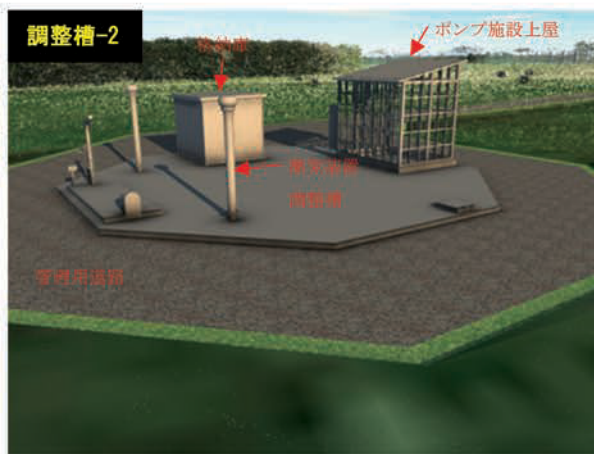
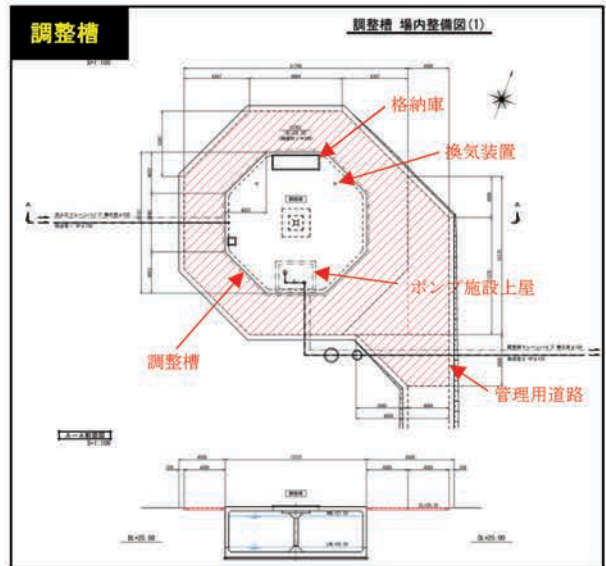
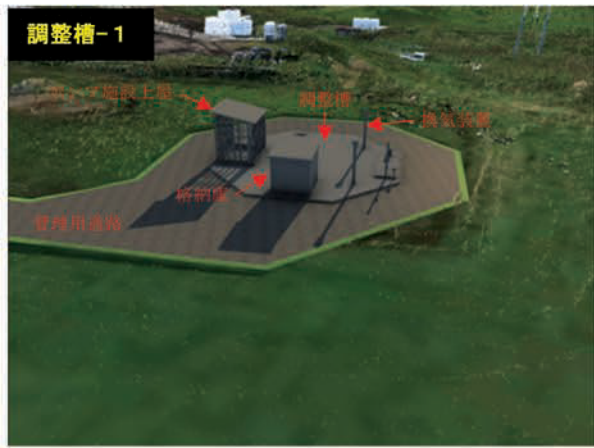
全体図の対比



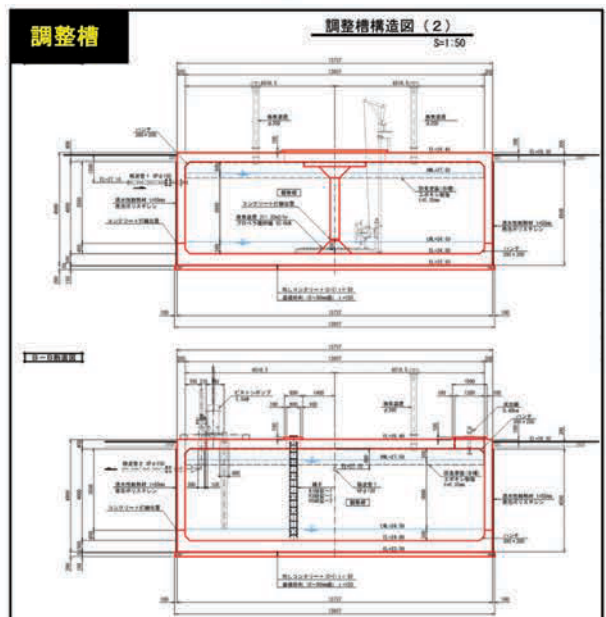


流入口設計図との対比





調整槽設計図との対比





上記及び前頁までの画像、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。

5. 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(株))

区画整理における外郭測量の留意点

山崎 良

1. はじめに

区画整理における外郭測量の特質として、路線測量等の真値が一つの標高測量とは異なり、法務局に備え付けられている地図（以降地籍図）、地積測量図等の書証、地形や境界標などの物証、土地所有者等からの聞き取り調査等の人証を、総合的に判断し優先順位を付け、公平に筆界を特定する必要があります。

外郭決定に当たっては、基準点測量成果の精度検定とともに、地籍図との間で生ずる筆界のばらつきについてどのように判断するか慎重に検討する必要があります。同一現場条件は二度と出現しないと考えるべきです。よって技術者の経験、収集資料、現地石標状況、地形条件により、優先順位の決定などに留意して外郭を決定する必要があります。

2. 資料収集

資料調査として地籍図（図-1）、全部事項証明書（登記簿（図-2））、地積測量図（図-3）等の資料収集を行います。地図の作成年度、地図の縮尺、筆界点の成果を精査し復元精度を推定します。一般的に作成年度が新しく、地図縮尺の分母が小さい大縮尺の地図の方がより現地に合致し復元精度が高くなります。

表題部 (土地の表示)		図号 (区画)	不動産番号 44 [] 59
地籍番号 Z2-3.0	筆界特定 (区画)		
所在 []			平成17年9月1日受更 平成17年12月1日登記
① 地 積	② 地 積	③ 地 積 m ²	原簿及びその付録 (登記簿付録)
303番	雑種地	913.2	不特 (平成14年3月4日)
303番1	(区画)	938	④ 303番1ないし303番6に分筆 (平成15年2月25日)
所有権 []			

権利部 (甲区) (所有権に関する事項)			
権利番号	登記の目的	受付年月日・受付番号	権利者その他の事項
1	所有権保存	平成14年4月10日 第910号	所有者 []
付記1号	1番登記名義人表示変更	平成15年9月2日 第2708号	原簿 平成15年9月1日所管換 所有権 []

図-2 全部事項証明書

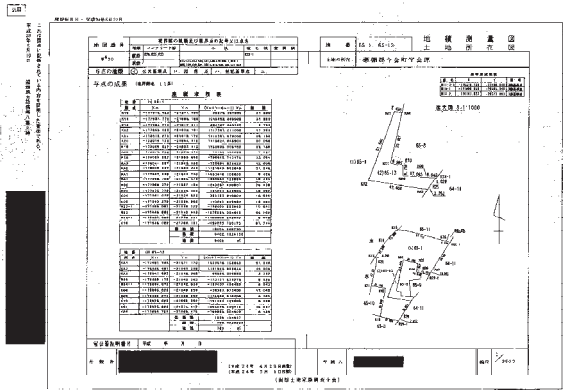


図-3 地積測量図

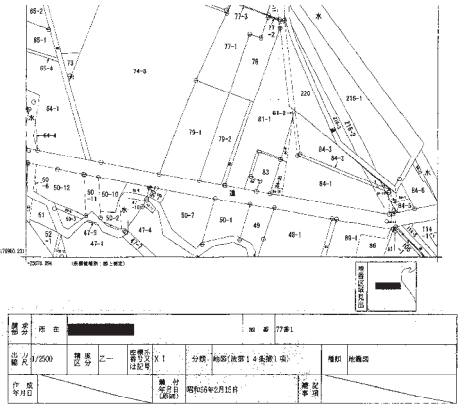


図-1 地籍図

その他の資料として、河川、道路台帳図（図-4）があり、管理者である国、北海道、地方公共団体等から必要な資料収集を行います。これらは境界証明時に重要な資料になりますので、確実に収集する必要があります。資料によっては、管理成果と法務局管理の地積測量図成果が一致していないこともありますが、基本的には法務局管理の地積測量図成果を優先します。あくまでも管理成果は、河川道路の管理区域線であり、筆界と一致していないこともあります。

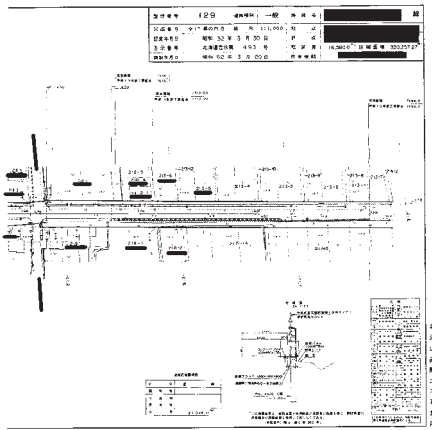


図-4 道路台帳図



写真-2 傾斜石標測定 (中心位置)

3. 境界確認、境界測量

資料収集後、それぞれの座標成果等に基づき現地標識を探索します。同時に地形の把握作業として、例えば水路、法肩、法尻、トラフ等の構造物、庭木などの位置調査を行います。調査結果より現地標識(石標)が傾斜している状態も多く見受けられます。この傾斜している標識の確認方法は、本来の真位置を推定し測定します。(写真-1、写真-2) 傾斜石標の中心を測定している事例もありますが、本来の石標(印)位置ではありません。その後計算を行います。計算値は垂直に埋設されている標識より信頼性が低くなります。また埋設者不明石標や所有者(測量業者以外)が埋設した石標も存在しますが信頼性はかなり低いと判断せざるを得ません。埋設当時に、立木や塀などがあり、傾斜状態で埋設した石標については、その中心を測定し差異を確認し決定します。



写真-1 傾斜石標測定 (真位置)

4. 境界(筆界)特定

境界測量後に筆界を特定する作業であり、特に重要となるのが筆界と所有権界です。

例としてA氏B氏の水田が有り、畦畔の中心が両者の認識している筆界=所有権界となります。経年によりA氏からC氏、B氏からD氏に所有権移転を行い、水田から更地として現在宅地になったと仮定します。D氏がC氏の隣接地より1m離して車庫を建てるため、両者で話し合い後に車庫を建造しました。車庫から1m離れた線が、地籍図と合致していれば、筆界=所有権界となりますが、合致していないときには、両者が話し合いで決定した車庫より1m離れた線が新たな所有権界と認識され、筆界と一致していない状況になります(図-5)。

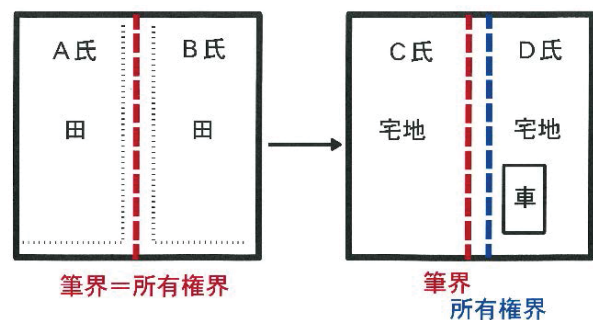


図-5 筆界と所有権界

区画整理の外郭測量で復元している線は「筆界」であり、所有権界ではありません。筆界は基本的に不動の線です。時効取得した土地も、分筆登記を行わなければ当初の筆界は動きません。筆界には原始

筆界と創設筆界があり、原始筆界は地籍図が作成時から存在していた筆界で、創設筆界は分筆登記等によりその地籍図に書き込みされた筆界です。この2種類の筆界でも信頼性が異なり、例えば分筆登記の地積測量図形状を地籍図に書き込みされた創設筆界は、書き込み精度により地籍図と地積測量図の形状が一致しないこともあります。その時は法務局と協議を行い、基本的には地積測量図の形状で測量を行います。現在は地籍図が電子化され地積測量図も座標管理されているため、書き込み誤差はなくなりました。

また、隣接者の両者が認識している線が「所有権界」であって、地籍図を基に現地復元し、所有者が初めて筆界に気づく事もあります。安易に所有者の人証による線を検証せずに筆界と決めつけるのは避けるべきと考えます。

地籍成果を完全な成果と考えている技術者も多々いますが、地籍成果の作成年度、当時の測量方法など様々な要因により信頼性が異なることから、それぞれの資料の優先順位や信頼性を判断して筆界を特定することが大切です。

5. 立会承諾（境界証明）

立会承諾を行う際は、道路、河川台帳図成果と現地標識（石標）実測値との差が重要です。

成果と実測値の平均二乗誤差※1（図-6）が、地籍図に示している精度区分（図-7）の精度内であれば、特に問題なく、成果を採用して筆界を特定し、立会（境界証明）作業を行います。

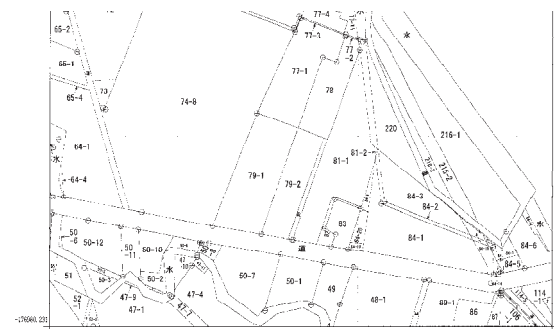
次に、実測精度が誤差の限度外となった現場例1、2、3について説明します。特定の計算方法は、現場ごとに異なり且つ管理者や所有者の筆界認識や地形などによっても異なります。そのため、現場例1、2、3の計算例をそのまま使用するのではなく、現場に合致した方法で行い、円滑に立会（境界証明）を得るため、分かりやすく特定根拠の説明を関係者に行うことが重要です。

別表第四 一筆地測量及び地積測定の見差の限度（第十五条関係）

精度区分	筆界点の位置誤差		筆界点間の図上距離又は計算距離と直接測定による距離との差異の公差	地積測定の見差
	平均二乗誤差	公差		
甲一	2 cm	6 cm	$0.020m + 0.003\sqrt{Sm} + 0mm$	$(0.025 + 0.0034\sqrt{F})\sqrt{Fm^2}$
甲二	7 cm	20 cm	$0.04m + 0.01\sqrt{Sm} + 0mm$	$(0.05 + 0.014\sqrt{F})\sqrt{Fm^2}$
甲三	15 cm	45 cm	$0.08m + 0.02\sqrt{Sm} + 0mm$	$(0.10 + 0.024\sqrt{F})\sqrt{Fm^2}$
乙一	25 cm	75 cm	$0.13m + 0.04\sqrt{Sm} + 0mm$	$(0.10 + 0.044\sqrt{F})\sqrt{Fm^2}$
乙二	50 cm	150 cm	$0.25m + 0.07\sqrt{Sm} + 0mm$	$(0.25 + 0.074\sqrt{F})\sqrt{Fm^2}$
乙三	100 cm	300 cm	$0.50m + 0.14\sqrt{Sm} + 0mm$	$(0.50 + 0.144\sqrt{F})\sqrt{Fm^2}$

備考
 一 精度区分とは、見差の限度の区分をいい、その適用の基準は、国土交通大臣が定める。
 二 筆界点の位置誤差とは、当該筆界点のこれを決定した与点に対する位置誤差をいう。
 三 Sは、筆界点間の距離をメートル単位で示した数とする。
 四 四は、図解法を用いる場合において、図解作業の級が、A級であるときは〇・二に、その他であるときは〇・三に当該地籍図の縮尺の分母の数を乗じて得た数とする。図解作業のA級とは、図解法による与点のプロットの誤差が〇・一ミリメートル以内である級をいう。
 五 Fは、一筆地の地積を平方メートル単位で示した数とする。
 六 mはメートル、cmはセンチメートル、mmはミリメートル、m²は平方メートルの略号とする。

図-6 国土調査法施行令（平均二乗誤差）



住所	77番1
出典	1/2500
精度区分	乙
図解法	X1
分類	地図(出第14条第1項)
種類	地籍図
作成年月日	昭和56年2月15日
補記事項	

これは筆界に示されている内容を正確に示した図面である。

図-7 精度区分

[現場例1] 河川成果と実測値の平均二乗誤差が、地籍図に示している精度区分の精度外で、ベクトル（方向と量）がほとんど一致している事例です（図-8、図-9）。

ベクトルの中心は河川成果を示し外側が現地石標等を示しています。

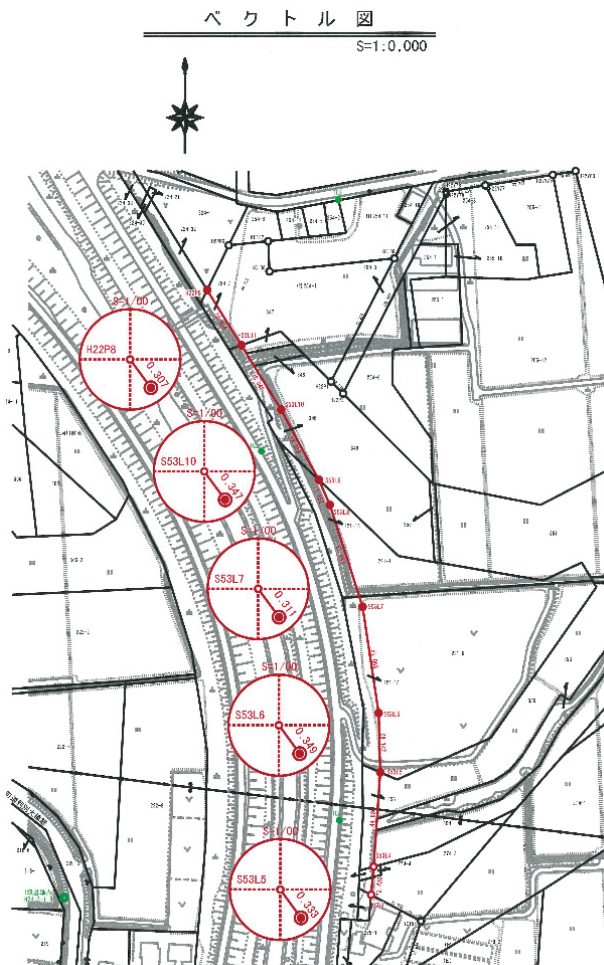
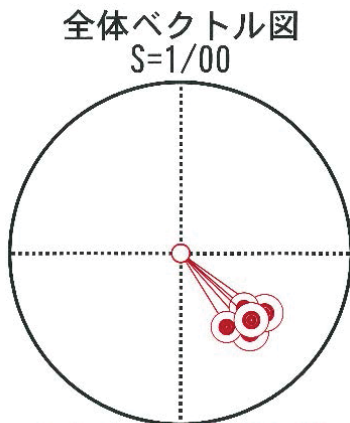


図-8 ベクトル図



方向と量がほぼ一致

図-9 全体ベクトル図

計算例としてベクトル（南東方向と量）の平均値の計算を行い成果値に補正します。

- 平均値（補正量）の計算
 $\Delta X = -247\text{mm}$ $\Delta Y = 292\text{mm}$
- 補正計算

$$X = \text{成果値} - 0.247 = 0000.000$$

$$Y = \text{成果値} + 0.292 = 0000.000$$

現地標識（石標）にマッチングした手法で、特定を行い平均二乗誤差の再計算を行い、地籍図の精度内であることを確認し、筆界を特定します。河川成果と実測値の差について、管理者に特定根拠の説明を行い、了解を得る必要があります。管理者は河川成果を変更する事に難色を示すことが多いですが、現場例で仮に河川成果を採用して特定すると、次の問題を生じます。

問題点1：奥行きのある石標があれば奥行きのある辺長確保が難しい。

問題点2：石標沿いに塀や庭木などの物証が設置してあれば、河川成果採用では個人所有者からの立会承諾も難しい。

所有者は奥行きのある石標、塀が筆界と認識していることは容易に推定でき、石標が筆界であると推定できます（図-10）。

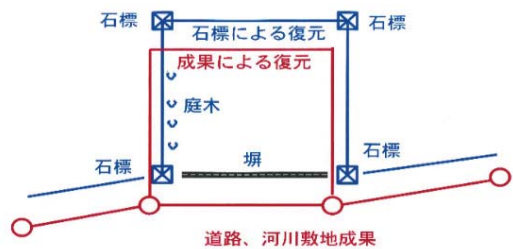


図-10 成果、石標による復元の違い

このようなケースでは管理者に河川成果の修正を依頼する必要があります。河川成果と現地石標のずれの主原因として、基準点測量の精度による誤差だと推定できます。トータルステーションによる基準点測量では既知点より相対的な位置関係は推定できますが、昨今ではGNSS測量機を使用することにより、絶対位置も判定できるように高精度の測量成果を出せるようになりました。その結果、河川成果と現地石標とのずれを明確に判定できるようになりました。当時の基準点より復元測量を実施すると上記の様な問題に気づく事が難しいのですが、高精度での基準点測量を実施できる、近年においては、このような現象が多く見受けられるようになりました。

〔現場例 2〕 河川成果と実測値の平均二乗誤差が、地籍図に示している精度区分の精度外で、ベクトル（方向と量）にばらつきがある事例です（図-11、図-12）。

ベクトルの中心は河川成果を示し外側が現地石標等を示しています。

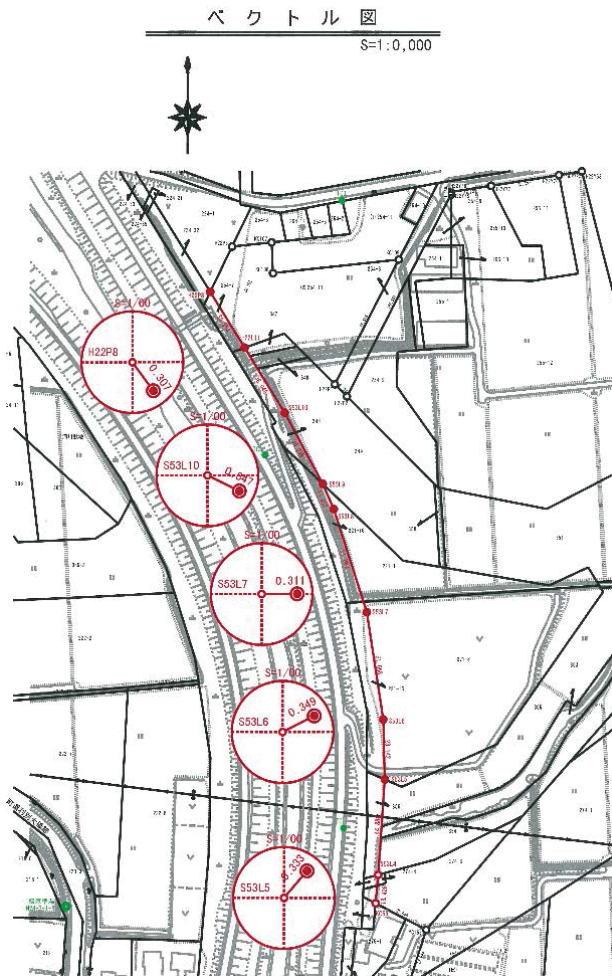


図-11 ベクトル図

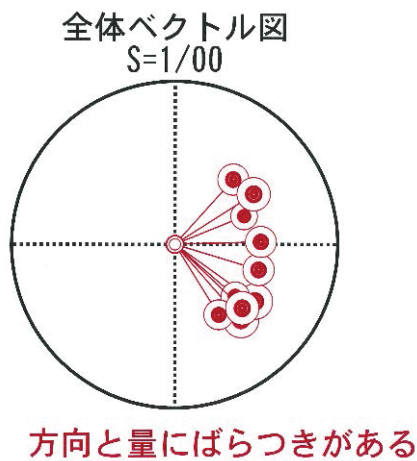


図-12 全体ベクトル図

計算例として北側、南側の石標実測値を直線（図-13）として仮定し、中間石標からその直線に垂線の計算を行います。現地標識（石標）にマッチングした手法で、特定を行い平均二乗誤差の再計算を行います。地籍図の精度区分に収まるかの確認を行い、筆界を特定します。特定根拠の説明、河川成果の修正等、現場例 1 と同様に行い、その後境界証明を申請することとなります。

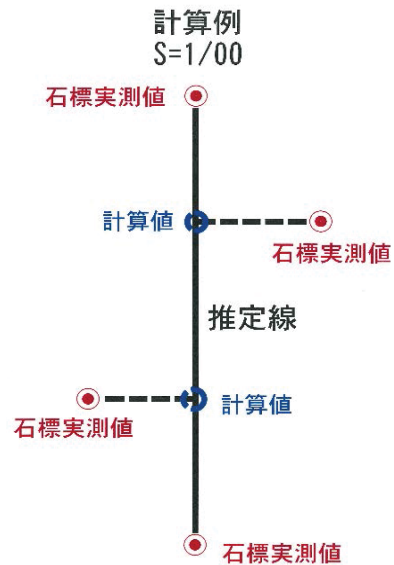


図-13 計算例

様々な計算方法があり、上記以外にも石標実測値の最小二乗法による回帰直線などがあります（図-14）。

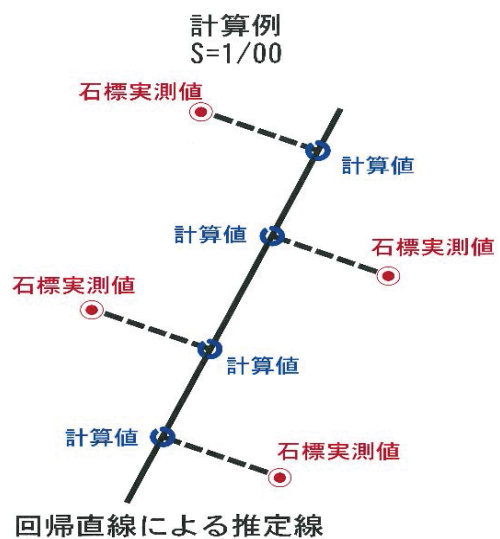


図-14 計算例

〔現場例3〕河川成果と実測値の平均二乗誤差が、地籍図に示している精度区分の精度外で、1点だけ全体ベクトル（方向と量）から著しく成果と離れている事例です（図-15、図-16）。

ベクトルの中心は河川成果を示し外側が現地石標等を示しています。

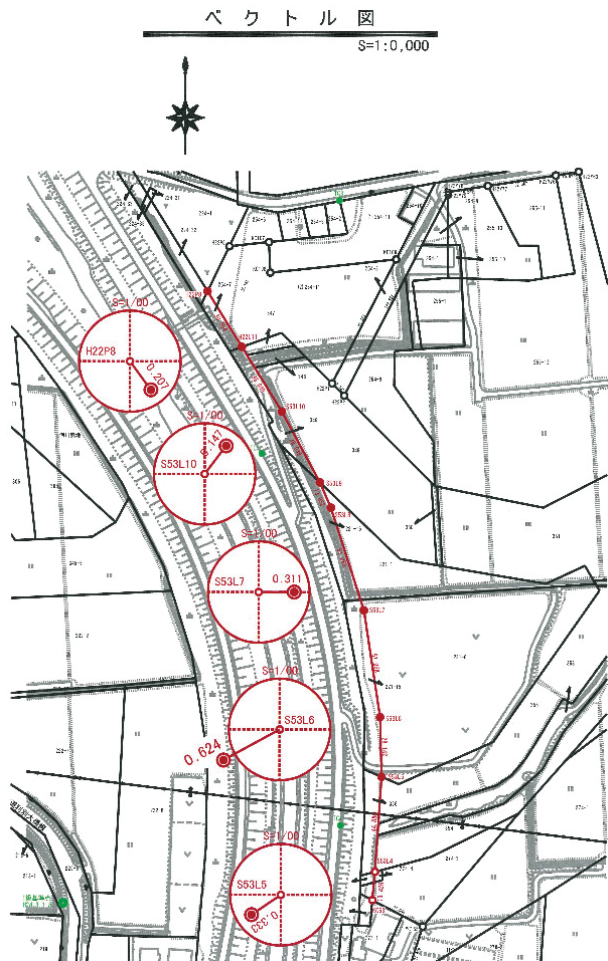


図-15 ベクトル図

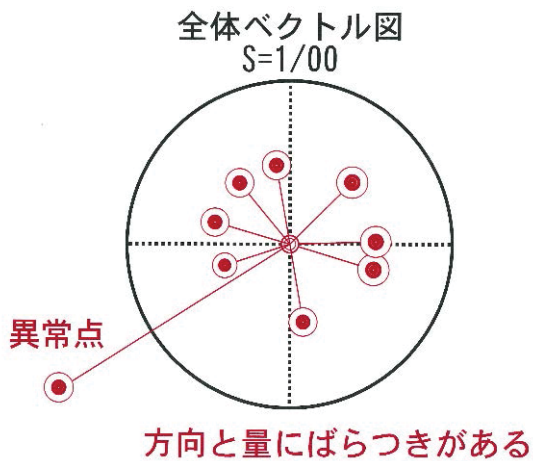


図-16 全体ベクトル図

南西側の石標が、河川成果と著しく離れているケースで、人為的な埋設ミス、経年変化による移動（除雪等）など様々な要因が考えられます。南西側の石標を異常点として特定を行い、平均二乗誤差の再計算を行い、地籍図の精度区分に収まるかの確認を行い、筆界を特定します。特定根拠の説明、異常点の説明等、現場例1と同様に行い、その後境界証明を申請することとなります。

6. おわりに

外郭測量は、発注者の判断や技術者の経験、技量、特定方法の優先順位などによっても特定成果に差が生じます。一般的な傾向として道路、河川台帳図等の成果がすべて正しいと判断する技術者が非常に多く、現場例1、2をその様な判断で成果採用して筆界の特定を行った結果、石標から約30cm程度離れた箇所に、筆界復元の木杭を設置したり、また石標を成果位置に移動させる事例もありました。地籍図と明らかな「ずれ」が無く、形状も一致している事が前提です。現地石標にマッチングさせる特定方法が土地所有者の財産を守り、且つ石標を筆界と推定でき、現場例1、2の様に筆界を石標で特定を行うのが良い方法の一つだと確信しています。道路、河川台帳図等の成果だけではなく、成果の作成当時の測量方法や地図作成方法の誤差を考慮するなど、多方面から柔軟に検討を行い、土地の特性や現地石標、地形等を総合的且つ公平に判断して外郭測量を実施する必要があるものと自覚し、日々の測量を行っております。

（株アルト技研）

用語解説

※1 平均二乗誤差とは、成果と実測値の差を二乗の合計を観測数n-1で割った平方根で計算した数値。

平均二乗誤差の計算 (単位:mm)

成果	成果	実測	成果	成果	成果	成果	成果	成果
点	X	Y	点	X	Y	ΔX	ΔY	ΔL
H19R21	-65,261.810	35,078.291	EC1	-65,261.790	35,078.301	-0.020	-0.010	0.000500
H19R22	-65,245.964	35,057.529	EC2	-65,245.973	35,057.517	0.009	0.012	0.000225
H19R23	-65,235.305	35,040.805	EC3	-65,235.300	35,040.802	0.004	0.004	0.000032
H19R24	-65,227.249	35,022.081	EC4	-65,227.256	35,022.082	0.007	-0.021	0.000450
H19R27	-65,141.016	34,885.088	EC5	-65,141.113	34,885.057	0.097	0.031	0.010370
H19R28	-65,137.416	34,878.118	EC6	-65,137.413	34,878.093	-0.003	0.023	0.000538
合計						0.094	0.039	0.190
平均						0.016	0.007	0.012135
平均二乗誤差						±√0.012135/(6-1)=0.049		
筆界点の位置誤差(平均二乗誤差)								乙1 25cm

報 文 集 第29号

平成29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 荒金 章次・松崎 吉昭・館野 健悦・小笠原 武
源 秀夫・福田 正信・山岸 晴見・下谷 隆一
平山ちぐさ

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31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

「肥培かんがい施設建設」

－別海町にて撮影－

岡本 孝幸 氏 作品

A E C A

HOKKAIDO

Agricultural Engineering Consultants Association