

報文集

平成17年度

第17号

社団法人 北海道土地改良設計技術協会

報文集 第17号 目次

農業用パイプラインの安全性能向上に関わる施設管理手法の考察 1 —管内水理挙動の監視と収集データの活用—	徳井 順 植屋 賢祐 阿部 匡弘
F R P M管圧力水路の最適流速に基づく小水力開発計画の策定 11	高島 康夫 宮田 広信 野口 和彦 島田 元樹
農業用ダムにおける試験湛水時と完成後の挙動について 21	岡田 一久
コンクリート構造用水施設の劣化損傷について 29	中嶋 明美
市街地を通過する用水路の改修設計 37 ～既設水路の最大活用と新技術工法による改築設計～	鈴木 和志
欧州におけるバイオエタノール事情 43	菊池 貞雄 井上 嘉明
航空レーザ技術を利用した防鹿柵設計 55	小林 伸行 川邊 馨 滝澤 昭博 實松 千尋

農業用パイプラインの安全性能向上に関わる 施設管理手法の考察

－管内水理挙動の監視と収集データの活用－

徳井 順 植屋 賢祐 阿部 匡弘

1. はじめに

わが国は、国土の立地条件や気候風土に起因して、古来より多くの自然災害に見舞われてきた。とくに、2003年から2004年にかけては各地で地震や台風などの大規模な自然災害が相継ぎ、農業水利施設も甚大な被害を受けたことは記憶に新しい。

自然災害による農業水利施設の被害は、とくに地震によるものが顕著で、ダムやため池など盛土構造物のほか、線構造の水路施設における被害の発生が多く報告されている。このうち、近年水利組織が大規模化した農業用パイプラインは、施設利用が制限される1次的な被害に加えて、高圧・大量の漏水による耕地への冠水や道路・建物等への被害拡大など2次的な影響も大きく、公共の安全確保の立場からも安全性能の向上が急務である。

しかし、線的な広がりを持つパイプラインの全てに、ダムなどと同レベルの安全性能をハード的に求めることはコスト面から限界がある。ハード的な弱点のカバーには、施設管理などソフト面からのアプローチが考えられるが、農業用パイプラインにあっては、管理要員確保の立場などから人的な対応には限界がある。このため、管理労務をサポートする技術開発の必要性が生じている。

本報告は、農業用パイプラインの安全管理に着目した管理の一例として、①携帯電話通信技術を活用した監視システムによるパイプラインの管理事例と、②観測によって得られた情報の分析によ

る管理基準等の検討事例を紹介するとともに、③実管理に対応した監視システムを提案する。

2. 施設の安全性能向上に関わる管理項目

(1) 漏水量

パイプラインの機能維持にあたり、最も重要な管理項目の一つとして漏水管理が挙げられる。

漏水の有無や量的変化の把握は、水資源の確保・利用など利水管理上の必要性のほか、小規模なものでも経年変化や地震等の自然災害の影響で拡大し、管の離脱に至って大きな被害につながるなど、とくに安全管理上から重要である。

しかし、パイプラインは施設の多くが地中構造物のため異常箇所の目視確認が難しい。漏水事故防止のためには、常に漏水の有無や傾向を把握して異常の早期検知を可能にする監視体制の整備が重要である。

(2) 施設操作に伴う水理挙動

パイプラインの安全性に係る水理挙動として、流量の変化に起因して発生するサージングやウォーターハンマなどの非定常現象がある。このため、人為的な流量変更操作は、これらの挙動の影響が設計値の範囲となるように行うことが原則である。

しかし、水利組織の複雑化等により、設計時点から実管理に十分対応できるレベルの数値シミュレーションを行うことは難しく、数値計算と実際の施設で観測される挙動との整合性が低い場合が

見られるのも事実である。

安全な施設操作のためには、実際の施設で観測されるデータに基づいた「施設操作基準」の整備が有効であり、これには、基礎データの収集に対応できる観測設備の整備が必要である。

(3) その他の水理挙動

パイプラインにおけるその他の水理挙動の一例として、人為的な流量変更操作による水理挙動から、漏水発生（拡大）時の管内流速の急変に伴うウォーターハンマの発生が予想される。

また、一昨年の上勝沖地震では、畑地かんがい用パイプラインで地震動に起因した比較的大きな管内水圧の変動が確認された事例もあり、施設の立地・構造条件および水理条件によっては、このような水理挙動が管の離脱や付帯施設の損壊、すなわち漏水事故につながる可能性が懸念される。

このため、パイプラインにおける常時の水理挙動の観測が、緊急時の即応性の向上や被害の拡大防止に有効と考えられる。ただし、これらの挙動については不明確な部分が多く、データの蓄積による詳細分析が今後の課題であり、これにも、基礎データの収集に対応できる観測設備の整備が必要である。

3. 監視設備に求められる性能

前述の管理項目は、いずれも管内の圧力変化を監視することで把握できる。管理項目の特性から監視装置の具備すべき条件は、①測定精度が高いこと、②きめ細かい測定間隔の観測が可能なることに加えて、③情報収集の確実性が基本となる。さらに、実管理段階の導入を考慮すれば、④少労力・広範囲の観測への対応、⑤既存の水管理システムへの組み込み、⑥廉価な建設および維持管理コストなどが具備すべき条件として加味されることになろう。

これらの条件を制約するのは、主として通信回線と電源の確保に係るものであり、本報文中で紹介

した監視システムは、現在、一般にも広く普及している携帯電話通信技術を活用した機器構成となっている。

監視システムの構成は図-1のとおりで、装置は、①空気弁の排気弁などに設置して管内水圧を計測する圧力センサー、②データロガーや携帯電話を内蔵した現場側通信装置、③現場側の電源装置および④データ収集や観測水圧から水位換算等を行う観測者側のモバイル端末（パソコン）と処理ソフトで構成され、測定精度は0.00013MPa（水頭0.013m）、測定間隔は1秒～1時間まで任意に設定できる。

本システムを利用したパイプラインの管理事例は通水試験への適用である。通水試験における情報の利用目的は、①充水作業の安全性確保、②漏水の有無判定・早期検知と、③漏水がある場合の漏水箇所の特特定などが挙げられ、これらの点から本システムの性能を評価すると次のとおりである。

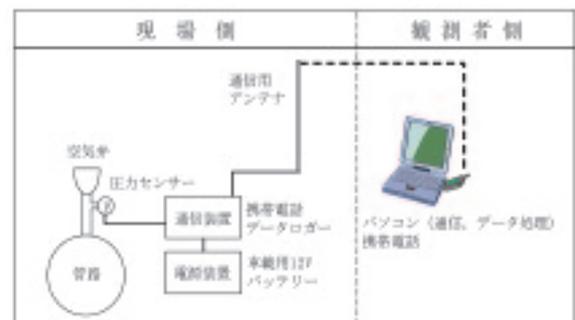


図-1 監視システムの構成

・測定精度：上記のとおり、漏水判定に十分対応できる測定精度を有している。

・測定間隔：上記の範囲で任意に設定可能だが、設定時に考慮すべき条件として、必要情報の把握以外に電源装置の容量の制約から、観測可能期間が測定間隔（測定回数）に規定される点が挙げられる。試験では、緊急時の即応性の確保と、漏水箇所特定などの継続観測への対応を勘案し、測定間隔を1分とした。（この場合、2週間程度の連

続観測が可能)

・情報収集の確実性：試験エリアの携帯電話の通信状態は概ね良好であり、通信状態が不良の場合でもアンテナの伸長により通信を確保することができた。本システムは、中山間部に立地する施設の場合でも、簡易な施設対応で通信の確保が可能である。

4. パイプラインの管理事例¹⁾

(1) 充水・落水作業の安全性確保

一般に、空の状態にある管路の水張り作業は、充水量（充水速度）を設計流量の1/5～1/10程度²⁾として、管路内の制水弁で流量制御を行う方式がとられている。

この場合、特に配水管路などの末端部は高圧・小口径となるため、より小流量・小開度の制御が必要となる。しかし、小口径ゆえに弁の開度計が設置されていないことや、弁自体が地中埋設型となっているため制御精度の確保は非常に難しく、充水作業における安全管理上の課題であった。

これに対し本システムは、携帯電話から現場の観測装置にアクセスしてデータを収集し、この水圧データを専用の処理ソフトを用いて水位に変換してグラフ描画できる。これにより、水張り作業中の充水位変化を高い精度で迅速に把握でき、充水状況に応じた柔軟な充水速度の調整が可能になった。

図-2は、水張り作業中に管内水位の異常な変

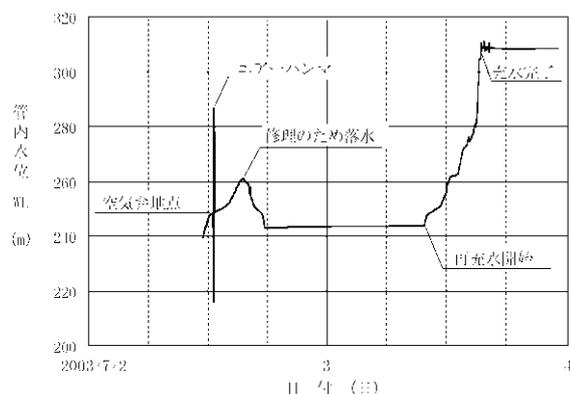


図-2 充水作業中のエアハンマの発生

動を検知した事例である。その後の調査により、施工時の空気弁保護キャップの取り忘れから、排気不良でエアハンマが発生したことが原因と判明した。(エアハンマ:管路中の大きな空気の塊が抜けた時、空気が抜けてしまった領域に周囲の水が一瞬にして入り込み衝撃を与える現象)

このように、本システムによるリアルタイムの管内水位観測は、充水作業中、任意の場所・時間に充水速度のチェックや管内異常の検知が可能になるなど、充水作業の安全性を確保することに大いに役立った。

(2) 異常発生 of 早期検知

従来、水張り後の漏水観測は、定期的な巡回を通して量水標やゲージ類を観測者が目視で確認する方法をとっていた。しかし、この場合は、①観測者間で生じるデータの読み取り誤差があること、②高圧時には観測精度が著しく低下すること、さらに、③観測範囲・箇所次第では密なインターバルでの観測が不可能であることなどがデメリットとして挙げられ、とくに、異常事態が発生した場合、発見・対応が迅速にできないことが従来からの課題であった。

図-3は、漏水観測期間中に減水傾向の変化が確認された事例である。図-3中に----線で示した減水の予測ラインに対して、観測値が急変（減水傾向が増加）している様子を捉えている。本システムは、試験範囲が広域でも遠隔からのアクセ

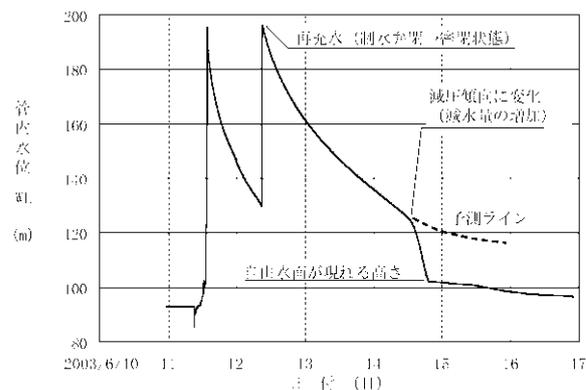


図-3 漏水観測中に異常を検知した事例

スにより効率的に情報収集ができることから、変状の有無やその発生を早期に把握することが可能になった。このように、本システムの漏水観測への適用は、広域を対象としたパイプラインの通水試験における安全性の確保に関して、有用な情報を提供するものであった。

(3) 漏水箇所の特定

パイプラインの漏水は、付帯施設内や地表面に湧水するなど、目視確認が可能な場合を除き発見が難しい。とくに、大口径に加えて布設勾配が緩い場合は、漏水に伴う管内水位の低下量が小さくなり、目視やアナログ式の圧力ゲージの精度では減水の確認が困難である。

以下は、比較的緩勾配のオープンタイプパイプラインを対象に（勾配0.13°、口径1200mm、延長5.5km）、アナログ式の圧力ゲージと本システムを用いて管内水位の同時観測を行った事例である。図-4にアナログ式の圧力ゲージによる観測状況を示すが、当図のみでは減水があると断定はできない。一方、本システムを用いた場合は図-5のように明らかに減水傾向が確認できる。

このとき、付帯施設の点検や周辺踏査から異常は確認されなかったが、水位の低下傾向が続いたため観測を継続したところ、5日後に水位低下が停止した。その後、再充水による観測でも当初と同じ水位で停止した。観測経過は図-6のとおりである。

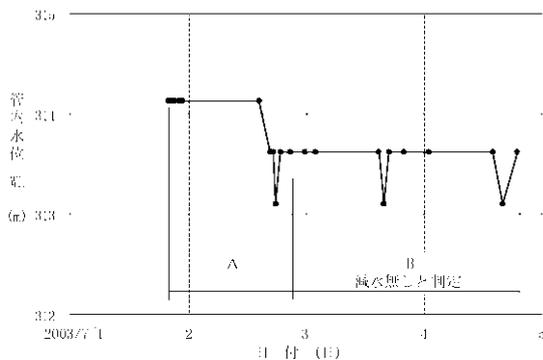


図-4 アナログ式の圧力ゲージによる観測
(任意観測：数時間間隔)

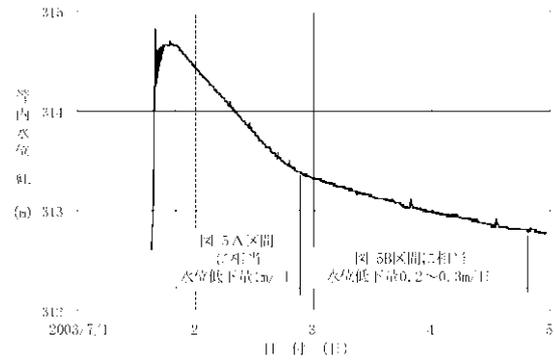


図-5 監視システムによる観測（1分間隔）

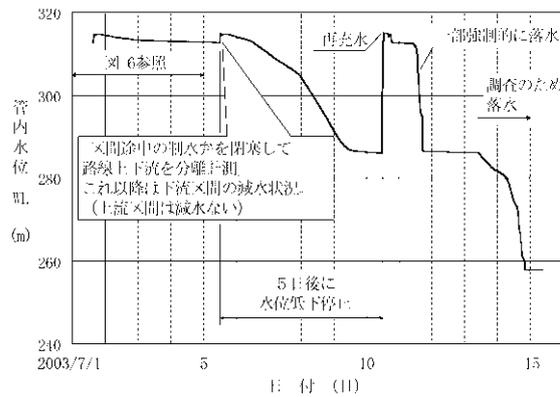


図-6 長期監視による管内水位の変化

この結果に基づき、水位低下の停止標高に該当する付近で管体工調査を実施したところ、管体のたわみや継ぎ手の抜け出しなどの漏水要因を確認することができた。

本システムの導入効果として注目すべき点は、測定精度の高さから、①漏水の有無の判定精度が向上すること、加えて、省労力で長期の観測にも容易に対応できることから、②他路線の試験進行に影響を与えずに漏水箇所の特定制業が行えることである。

5. 管理基準等の検討事例

(1) 漏水量管理基準の検討

通水試験の漏水観測に本システムを用いることで、常時の水理挙動についても従来よりも高い精度で把握することが可能になる。このため、施設の供用開始時点では、この観測結果を漏水量の管

理基準値として用いることができる。

また、施設供用後も監視を継続することにより、常時の夜間や冬期間などの観測データを加えて詳細な分析を行うことができ、管理基準の安全性の判定精度を高めていくことが可能である。

(2) 弁類の操作基準整備に関する検討³⁾

弁類操作のうち、幹線水路に付帯する排泥弁の操作は、分水栓の操作に比べて制御の対象流量が比較的大きくなる一方で、一般に操作頻度が少ないことから、施設管理者でも操作に不慣れなことが予想される。このため、操作時の安全性確保には操作基準等を整備する必要性が高い施設である。

本項は、実際にパイプラインの排泥弁を使用した操作試験で観測された水撃圧データを、操作基準作成の基礎となる数値シミュレーションモデルの再現性向上に活用した事例である。

対象施設の概要を表-1に示す。

操作試験では図-7のように観測機器を配置して流量と水圧の変化を観測した。図-8に示すように、排泥弁からの放水量を段階的に増加させ、このとき弁操作に伴って発生する水撃圧を観測し、その規模、継続時間および圧力振動周期等を把握し、数値シミュレーションモデルの諸定数の補正に用いた。

なお、試験中は分水栓等の利用はなく、流量変化の要因は排泥弁からの放水のみである。

水撃圧のシミュレーションモデルは、水の弾性体理論に基づく非定常流況解析の一手法である中心差分法⁴⁾を用いた。

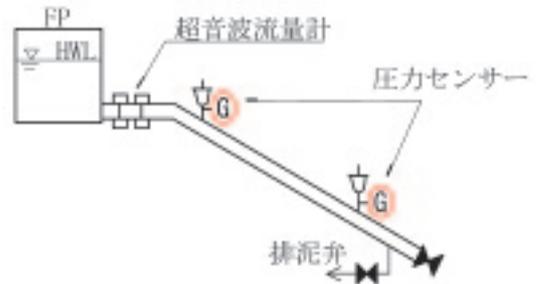


図-7 水撃圧観測の概念図

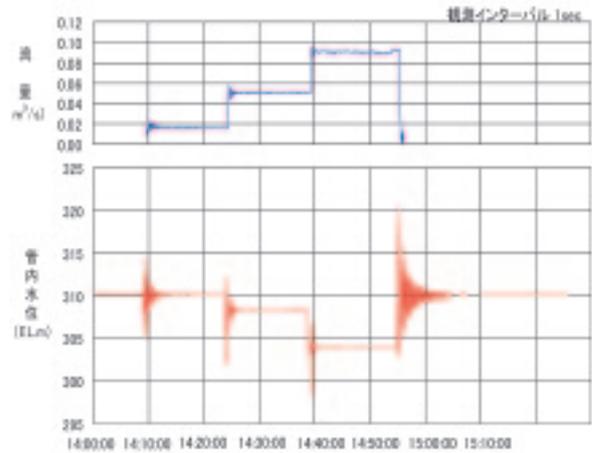


図-8 流量、水撃圧の観測事例

シミュレーションモデルにおける計算条件のうち、差分距離 Δx は100m、単位時間 Δt は対象施設の設計流量と圧力波の伝播速度を基に0.05sとした。

Δx および Δt のほか、シミュレーションモデルの再現性に関わる要素である等価流速係数(C)と圧力伝播速度(a)は、表-2に示すとおり、①設計時点で用いられる標準値や理論値を使用した場合(ケース1)と、②観測記録を基に補正した値を使用した場合(ケース2)を設定し、それ

表-2 諸定数の補正值

対象施設	延長(km)	管種	管径(mm)	最大静水圧(MPa)
施設A	20.4	FRPM,DCIP	φ700~200	0.9
施設B	13.4	FRPM,DCIP	φ600~150	1.5
施設C	12.3	FRPM,DCIP	φ1200~250	0.8

対象施設	圧力伝播速度 a (m/s)		等価流速係数 C	
	理論値	実測による補正值	理論値	実測による補正值
施設A	560	600	130	90
施設B	560	550	150	40
施設C	410	690	140	110

それぞれのシミュレーションモデルの再現性を比較した。なお、モデルに使用した弁の操作時間と操作量（開度）は試験における実績である。

対象3施設について、ケース1およびケース2の計算条件の下に弁操作時の水撃圧をシミュレートし、シミュレーション結果と実測値との整合性から、各ケースの再現性を検証した。

図-9および図-10は施設Aにおける実測値とシミュレーションの比較である。

シミュレーションモデルの諸定数に理論値のみを使用した場合は（図-9：ケース1）、水撃圧のピークや圧力振動周期にずれが目立つ。モデルの再現性を評価する指標として相対誤差 j を用いると、本ケースの場合は $j=0.71$ である。

一方、諸定数のうち、等価流速係数 C と圧力伝播速度 a を実測から得られた値に置き換えた場合は（図-10：ケース2）、水撃圧のピークや圧力振動周期が実測値とよく一致している。この場合の相対誤差は $j=0.23$ となり、ケース1に比べてシミュレーションモデルの再現性が大幅に向上したと判断できる。

この傾向は表-3に示すとおり、施設Bおよび施設Cについても同様であり、対象としたいずれの施設でも、簡易な弁の操作試験から得られた観測データの活用によって、シミュレーションモデルの再現性が大幅に向上している。

施設の計画・設計時点では、シミュレーションに必要な諸定数は標準的な値を代入せざるを得ず、その再現性は良好とは言えない場合が多い。これに対し、実際に施設が完成した場面では、簡易な弁の操作試験で得られるデータがシミュレーションの再現性向上に役立つ。再現性の高いシミュレーションモデルは、実際の施設では危険と思われる短時間の弁操作に伴う水撃圧の予測も比較的高い精度で再現できることから、弁類操作基準の作成に有効である。

このように、一時的な観測機器の設置によっても、実管理に十分有用な情報が得られる。観測機

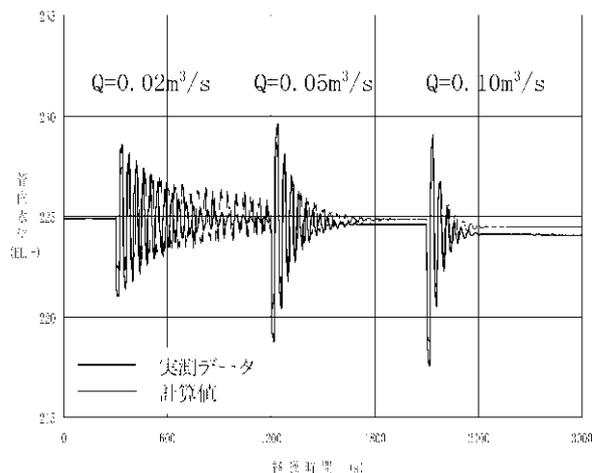


図-9 ケース1のシミュレーション結果

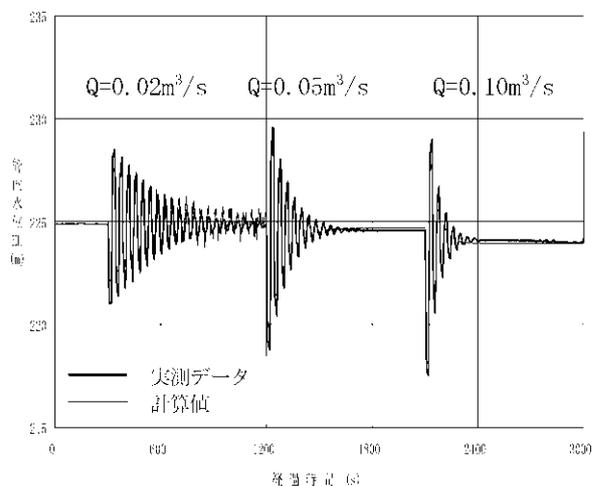


図-10 ケース2のシミュレーション結果

表-3 再現性の比較（相対誤差）

対象施設	相対誤差=実測値-計算値 / 実測値	
	ケース1	ケース2
施設A	0.71	0.23
施設B	0.46	0.02
施設C	0.85	0.27

器が常設されれば、日常の管理操作に伴う膨大な水理挙動のデータが蓄積されるので、これらを有効に活用すれば、継続して操作基準の精度向上が図れる。また、施設管理に有用なその他の知見も得られる可能性がある。

(3) 地震による水理挙動の分析^{5),6)}

2003年9月26日未明、北海道の十勝沖を震源とするM8.0の強い地震が発生した。

当時、国営かんがい排水事業芽室地区ではパイプラインの通水試験を行っており、地震発生時刻には、管路途中の空気弁地点に圧力センサーを設置して1分間隔で管内水圧を観測していた。⁷⁾

この地震により、施設近傍の地震観測所で震度5弱の揺れが観測され、管内水圧の観測データには地震発生に対応した水圧変動が記録された。

地震発生当時、配水系パイプラインの2系統で通水試験を行っていた。一方の系は延長約3 km、口径200~300mmで満水状態にあった。もう一方の系は延長約2 km、口径600~700mmで管内に自由水面が存在していた。両系統はともに満水時の静水圧が約1 MPa、ダクタイル鋳鉄管製のクローズドパイプラインである。

満水状態にあった系では、本震発生直後に図-11に示す管内水圧の変動(水撃圧の発生)が確認された。

一方、管内に自由水面があった系は図-12に示すとおり、本震発生直後から圧力センサーが故障して欠測になった。また、本震から約80分後に発生し震度4を記録した最大余震では、図-13に示すような空気弁体の周期的な上下動が確認された。

満水だった系の水圧変動は、観測記録から設計水圧の範囲にあったことが確認された。一方、管

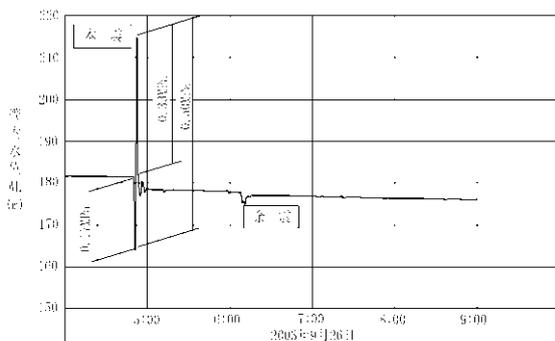


図-11 管内水圧の変動状況(満流管路)

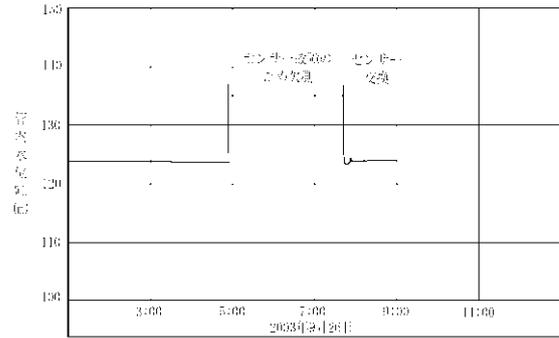


図-12 管内水圧の変動状況(自由水面あり)

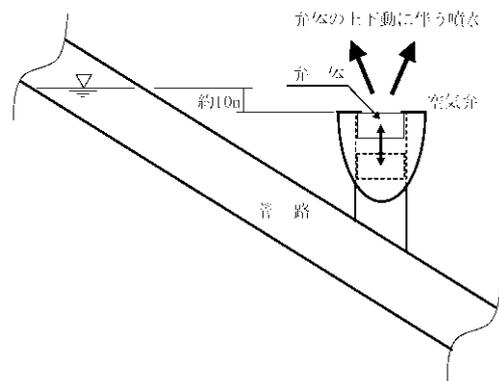


図-13 余震で確認した空気弁の動揺

内に自由水面があった系の水圧変動は、地震直前の水理条件や空気弁の動揺を考慮した数値シミュレーションにより、圧力センサーの計測範囲(2 MPa)を超えた可能性が示された。また、対象地域の地震動の特徴として、管軸方向に大きな揺れが起こった可能性に加え、周期2~6秒程度のやや長周期帯域といわれる振動成分が卓越していたことが判った。

地震発生当時の管内の水理条件や、推定される水圧変動の大きさおよび地震動の特徴から、管内に自由水面が存在する系の水圧変動の要因として、スロッシング現象の発生が推察された。スロッシング現象とは、水槽などの貯留水面の1次固有振動周期と地震動など外力の振動周期が一致した場合に水面の動揺が発生し、共振して動揺が増幅する現象である。

本事例では、推定された水圧変動量の割に施設の被害は軽微なものだった。これは、対象施設が

設計水圧1.4MPa程度と比較的高耐圧の施設だったことや、高水圧の作用が短時間だったことなどが要因と思われる。しかし、より低耐圧な施設の場合は、同様の現象によって施設に重大な影響を及ぼす可能性が考えられる。

農業用パイプラインは、非かんがい期の通水停止や安全管理の一環としての一部落水により、管内に自由水面が存在することがある。このとき、管内水面の1次固有振動周期と対象地域で過去に発生した地震動の卓越周期が一致する場合は、とくに、低耐圧の管路やその付帯施設では、スロッシングの発生に伴う施設への影響が懸念される。管理面からの対応としては、施設機能維持用水として通年の通水管理（満水管理）を行うことが、事故防止のための有効手段の一つと考えられる。

このように、地震発生時に偶然捉えられた少ない情報でも、上記のような知見が得られるなど、管内水圧監視は施設の耐震性能の向上においても有用な情報を与えるものである。ただし、地震の発生日時を当てることは非常に難しく、地震による水理的挙動を捉えるには観測機器の常設が不可欠である。

6. 実管理に対応した監視システム

通水試験に用いた監視システムは、仮設型の簡易な機器構成であり、電源装置には車載用バッテリーを用い、通信回線は一般の携帯電話回線を使用していた。また、データの収集・処理は、試験現場で携帯用のノート型パソコンで行っていた。

これに対して、実管理に対応した監視システムは、通常、常設・常時監視型になるため、継続監視に伴う通信費の増大に配慮した通信回線の選択が最大の課題である。

また、情報の収集と処理は一般に管理センターで行うため、水路巡視員等に対しては、これとは別に情報把握の手段が必要になる。

これらを踏まえ、実管理に対応した常設型の管理システム構成を次頁図-14に示した。



写真-1 観測装置の設置例

先ず、課題の通信回線については、現状、パケット方式でデータ伝送を行う Dopa 網の利用がコスト面で有利である。Dopa 網は通信費用が抑えられる反面、回線維持コストで割高になるが、これを開設・維持する IDC 事業者などの利用によって問題は解決される。

次に、水路巡視員等への情報提供については、インターネットを利用した情報閲覧や E-mail による警報の通知で対応している。

この管理システムは写真-1に示すとおり、開水路を対象とした水管理システムとして既に整備実績がある方式であり、テレメーター装置などを用いた従来の管理システムに比べ、建設費や維持管理費が格段に安価で、所要の性能を十分に備えている。

なお、通信回線については、現状の携帯電話通信のほか、地震等の広域かつ大規模な災害時における通信確保や、きめ細かい観測に伴う大量のデータ伝送などを考慮すると、今後、サービスエリアの拡大が予定されている mcAccess e (800MHz 帯デジタル MCA 無線機)などの利用も有効となろう。

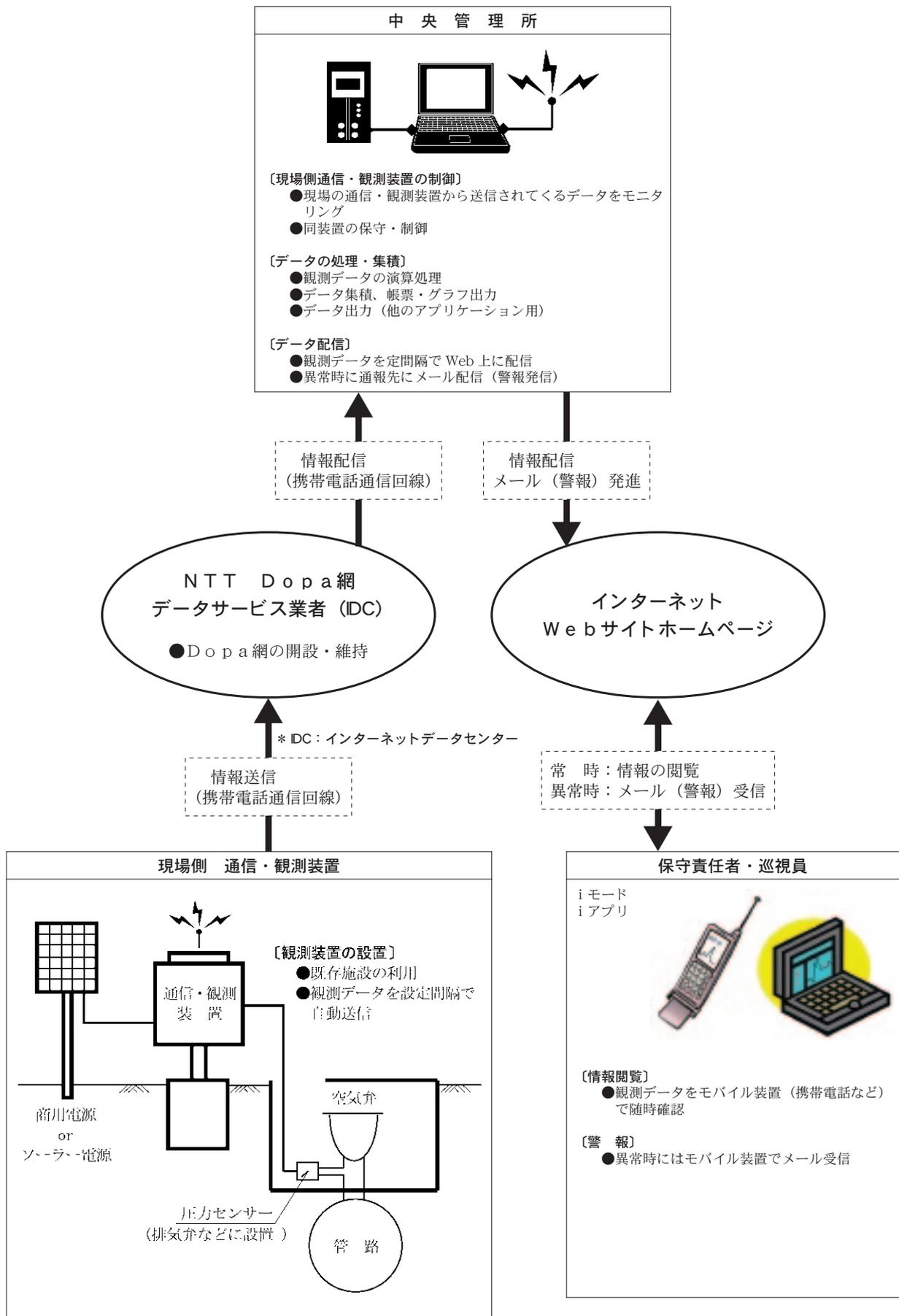


図-14 監視システム構成図

7. おわりに

地震等の自然災害が多いわが国では、構造物に高い安全性能が求められる。例えば、液体を貯留する貯水槽の設計には、地震動に対する貯留水の応答性が考慮される。しかし、同様に液体を貯留するパイプラインについては、水理挙動に関する情報量の少なさから、水の応答性については不明確な部分が多いのが現状である。

パイプライン事故の要因としては、自然災害のほか、利水管理操作に伴うサージングやウォーターハンマなどの非定常的な水理現象の影響も指摘される。

水利組織の大規模化に伴い有事の被害拡大が懸念される農業用パイプラインでは、安全性能の向上が急務である。対応として、現状では不明確な部分が多い地震動や施設の管理操作に伴う水理挙動を精度良く解明し、その対策を講じていくことが重要と考える。

近年はITの発達によって高性能な観測機器や情報通信網が利用し易い環境にある。今回紹介したシステムも、市場にある技術を利用して当社が開発したものであり、このような監視システムの整備によって、パイプラインの水理挙動に関する膨大な情報の蓄積と、それによる分析精度の飛躍的な向上が期待できる。パイプラインにおける水理挙動の高精度な解明は、施設の管理技術面だけでなく、施設設計や施工技術面からも安全性能の向上に資する重要な課題であり、現象を捉える監視システムの整備・普及が不可欠といえる。

近年は、土地改良施設の維持管理にあたり、用水の効率的利用や施設の安全性確保に加え、経費の節減も強く求められている。このため、管理システム等の導入は、管理レベルの向上とともに管理組織の財政や組織力に特に配慮すべきであり、当社では、IT、高度施設管理、省労力、省コスト等をキーワードに、これらに対応した監視システムの開発と性能の規定化に向け、日夜研鑽を重ねております。

謝 辞

本報文の執筆にあたり、業務報告成果の転載等について、多分なるご理解とご協力を頂きました。独立行政法人北海道開発土木研究所農業土木研究室、ならびに北海道開発局帯広開発建設部帯広農業事務所の皆様には、ここに記して厚くお礼申し上げます。

(株)アルファ技研

参考文献

- 1) 徳井 順ら：北海道の水管理システムにおけるITの活用－携帯電話通信技術を活用したパイプラインの安全管理－、農業土木学会誌 Vol.72/No.6、pp.29～32 (2004)
- 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） p. I-1 (1995)
- 3) 阿部匡弘ら：パイプラインにおける弁類の安全操作方法の検討手法－実測データの活用による管内発生水撃圧の非定常流況解析－、第53回農業土木学会北海道支部研究発表会講演集、pp.16～19 (2004)
- 4) 吉野・栗田：管水路（パイプライン）の設計手法（その5）中心差分法を用いたパイプライン非定常水理解析、ARIC情報第42号、pp.5～22 (1996)
- 5) 北海道開発土木研究所農業土木研究室：地震による管内発生水撃圧の検討業務報告書(2004)
- 6) 植屋賢祐ら：「03十勝沖地震」に伴う管内発生水撃圧の分析、平成16年度農業土木学会大会講演会講演要旨集、pp.800～801 (2004)
- 7) 北海道開発局帯広開発建設部帯広農業事務所：平成15年度施行芽室地区通水試験業務報告書 (2004)

FRPM 管圧力水路の最適流速に基づく 小水力開発計画の策定

高島 康夫 宮田 広信 野口 和彦 島田 元樹
(技術士)

1. はじめに

T川第二発電所開発計画（以下中流計画と略称する）については報文集第16号¹⁾において論じたところである。これに続いて本論文は、新たに中流計画取水口の直上流に放水口をもつ上流計画を策定することにより、上流、中流両計画間に遊休落差を生ずることなく、T川のもつ水力資源を最も有効に活用するT川一貫開発計画の達成を目指し、その一環となる中流計画を策定する。この策定には新たに提案するFRPM管圧力水路の最適流速の算定理論を適用する。

2. 計画地域の概要

日高山脈中部に源を発するT川は約40km東流して十勝川の第1次支流である札内川に合流する。T川中流には通産指定の札25川西測水所があり昭和36年1月1日より現在まで約44年に亘って流量観測が実施されているのでT川上流における計画地点の流量推定が可能であり、得られる結果の信憑性は高い。

さて、道道“上札内・帯広線”がT川下流でT川を渡る戸蔦橋の右岸袂においてこの道道より分岐してT川右岸沿いに上流に向う“拓成・戸蔦線”が走り、上流拓成橋に達している。

さらに“拓成・戸蔦線”が拓成橋に達する直前点より分岐してT川右岸沿いに上流に向う林野庁所管の林道“T川林道（延長11.069km）”が伸びている。この林道は拓成橋より約10km上流地点に

架るT川橋によりそれまでの右岸沿いから左岸沿いにルートを変更し、さらに約3.5km上流地点に架る“びれい”橋を渡って再び右岸沿いとなり上流に向っている。(図-1参照)

拓成橋～T川橋の間にはT川右岸側から計6条の支沢が流入するが、その内の主たる支沢はオピリネツ川とピリカペタヌ沢川である。さらにT川橋と“びれい”橋の間には右岸側より昭和ノ沢が流入している。

T川林道は支沢オピリネツ川を幌後橋により、続いて支沢ピリカペタヌ沢川をピリカペタンス橋によって渡って上流T川橋に達している。即ち下流よりT川橋までT川林道は右岸沿いである。

ところで前記のとおり、T川橋とびれい橋の間、林道は左岸沿いとなるので、右岸側には道路がないものとして、近年発行の2万5千分および5万分地形図“札内岳”には示されていないが、現時点においてはT川橋より約1100m上流のT川には新たに八重橋が架されており、上記林道から分岐し、八重橋を渡り上流の昭和ノ沢まで達する昭和ノ沢林道がT川右岸沿いに新設されていることを現地調査により知った。(写真-1,2,3,4)

次節以降に記述するように、本論で検討対象とするT川上流計画は取水堰を昭和ノ沢合流点の下流に、発電所をピリカペタヌ沢川合流点の直上流にとり、水路をT川右岸沿いとする計画であるが、この水路区間における既存道路の有無は計画



図-1 T川上流計画 S = 1 / 100,000
(国土地理院発行 五万分之一地形図、幌尻岳・札内岳を一部転写)

の経済性を左右する重要要素である。

昭和ノ沢林道の存在により本上流計画の経済性は向上し、後節5で算定するように、その建設単価は一般に経済性の指標とされている200円

/kWh²⁾を切ることができた。このことはとくに小水力開発計画の策定における現地調査の重要性を実感させられた一例である。



写真-1 T川に新設された“八重橋”



写真-2 昭和ノ沢林道



写真-3 八重橋よりT川上流を望む

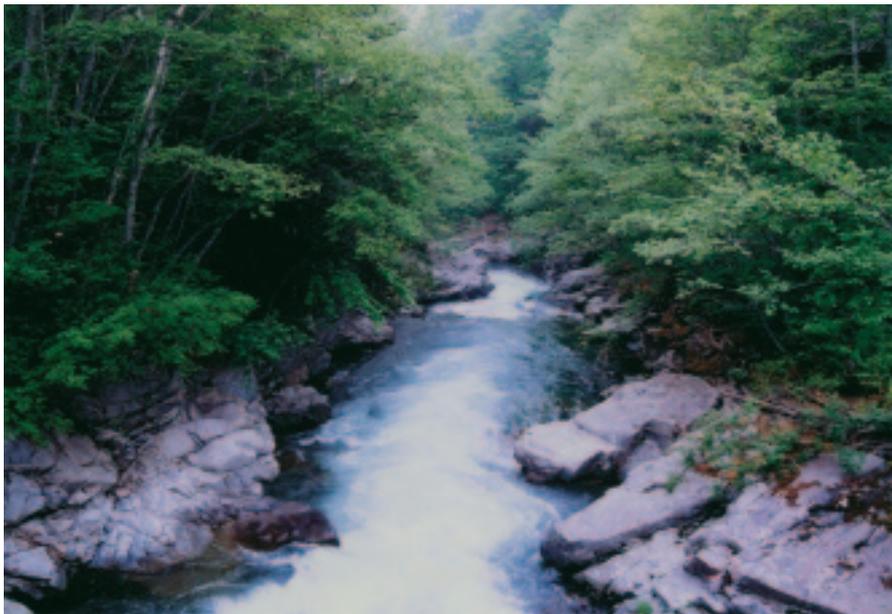


写真-4 八重橋よりT川下流を見る

3. 計画候補案の選定

(1) 発電所位置および放水位

既論¹⁾の中流計画の取水口位置はT川の右岸支流であるピリカペタヌ沢川の流入点の直下流に選定され、その取水位の標高は460mとなっている。T川のもつ水力資源を最も有効に活用するため上流計画の発電所位置をピリカペタヌ沢川合流点の直上流とすることによりその放水位は、中流計画の取水位との間に遊休落差を残さない460mとする。

(2) 取水堰位置候補案の選定

取水堰（取水位）の候補案としては次に示す数案が考えられる：

本上流計画の水路は既存林道沿いとすることにより計画の経済性を高めるため、右岸沿いの水路とするが、節2においてみたように、ピリカペタ

ヌ沢川の上流には別の右岸側からの支沢昭和ノ沢が合流している。

水路橋新設による昭和ノ沢横断は建設費の増加を招き、計画の経済性を低下するから、取水堰位置は水路橋の建設を必要としない沢合流点より下流とする。

よって候補案として考え得る取水堰位置の上流限は昭和ノ沢合流点となる。この合流点付近のT川の水位即ち取水位は地形図より555mと読取れる。しかして1/25000地形図より読取り可能な標高の精度は約5mであるから、取水位を5m刻みに低下させたF,E,D,Cなる4案を候補案に選び比較検討する。これら4案の取水位、流域面積、放水位および水路長を地形図上で測定した結果を表-1に示す。

なおこの表には後続の項、節における測定値および算定結果等も併せ記入されている。

表-1 T川上流計画候補案の諸元（1種管使用）

	単位	F	E	D	C
流域面積	km ²	64.1	64.6	64.9	65.7
取水位	m	555	550	545	540
放水位	m	460	460	460	460
落差	m	95	90	85	80
水路長	m	4873	4529	4233	4037
取付道路長	m	1490	1490	1490	1490
上限流速 v _{lim}	m/s	2.073278	2.383066	2.752114	3.077938
最尤流速 v _{mot}	m/s	2.073278	2.383066	2.368281	2.360226
建設単価 CD	円/kWh	182.588	180.606	183.295	188.631
			最適案		

(3) 要新設取付道路延長の測定

前記のとおり水路長のかなりの区間は既存林道沿いとなるが、なお既存道路のない区間および既存道路から離れて取水堰および発電所に至る区間には取付道路の新設が必要となる。これらの新設を要する取付道路延長を地形図上において測定する。

a) 取水堰～既存林道間 Lβ1

昭和ノ沢合流点付近における昭和ノ沢林道面の標高は約570mと推定される。これに対して表-1にみるように本計画各案の取水位は555～540mであるので、水路に負圧を生じさせないために、取水堰～林道間に略水平勾配の取付道路の新設が必要である。

この区間の延長Lβ1は地形図に昭和ノ沢林道

の表示がないので正確には測定できないが、全案を通じて300mと推定する。(確定計画策定時にはこの区間の現地測量が必要である)

b) 八重橋～T川橋間 Lβ2

節2でみたように昭和ノ沢合流点から八重橋までの間およびT川橋から下流には右岸側に林道が通じているが、八重橋～T川橋の間は右岸側に道路がない。よって水路建設のためこの間に取付道路の新設が必要となる。この区間長Lβ2は地形図上における推定により1140mである。

c) 右岸林道～発電所間 Lβ3

右岸林道がピリカバタンヌ橋を渡る直上流において林道より分岐して発電所に至る区間に取付道路の新設が必要である。この区間の延長Lβ3は同じく地形図上において50mと測定される。

d) 取付道路延長の計 Lβ

要新設取付道路の合計延長Lβはa)～c)の計として1490mとなる。このLβの値を表-1に示す。

4. 上限流速の算定

前節3の検討により各計画候補案の諸元の測定を終了した。本節においては1種FRPM管を水路として採用するときの各案の水路流速の上限値vlimを算定する。

水路流速の算定式は既論¹⁾において論じたところである。再掲すれば

$$v := \frac{588H}{L} \cdot \left[\left(\sqrt{\frac{4 \cdot P_{\max}}{H}} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \quad (1)$$

ここに

Pmax：水路に生ずる最大水頭(m)

H：計画地点の総落差(m)

L：計画地点の水路延長(m)

v：Pmaxが生ずるときの水路流速(m/s)

式(1)の適用に際して留意すべきことは、vは与えられたH、Lなる諸元をもつ計画の水路を通することができる流速の上限値を算定する式であることである。なんとなればPmaxはFRPM管の許容最高水頭であるからPmax以上の水頭を生ずるようなvの採用は許されないからである。

この故に式(1)によって算定されるvを別途算定される最適流速(次節参照)と区別するために上限流速と呼ぶ。

Pmaxの値はFRPM管の各管種について定められた一定値であるから、これらのPmaxを式(1)に代入して得られる上限流速は各管種について一定値となる。以降これらの上限流速値をvlimで表す。

例えば本計画水路においては1種管を採用するがその場合のvlimの値は式(1)のPmaxに135mを代入した

$$v_{\text{lim}} = \frac{588H}{L} \cdot \left[\left(\sqrt{\frac{540}{H}} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \quad (2)$$

となる。

式(2)を用いて候補案F,E,D,Cの上限流速を算定した結果を表-1のvlim欄に示す。この表によるとvlimの最小値はF案の2.073378m/sで、最大値はC案の3.077938m/sとなっておりvlimの値は落差が小なるに連れて大きくなっている。

5. 最適流速の算定と最適計画の決定

前節においてみたように水路の設計流速は上限流速以下に設定されなければならない。

一方、最低流速は水路内に土砂が沈殿したり、水虫や藻が発生することを避けるために1.0m/s程度以上としなければならないことが経験上知られている³⁾。

よって水路の最適流速は1.0m/s～vlimなる範囲のある値でなければならない。

しかして各候補案の最適流速は候補案毎に異なる。よってこれらそれぞれの最適流速をvmotで

表し、最尤流速なる別名で呼び最終的に確定する最適流速 v_{opt} と区別する。

最尤流速 v_{mot} は水路流速 v を上記制限範囲内で種々変化させた場合、計画の kWh 当り建設単価を最低とする値としてトライアル算定手法によって求められる。

もし、 v_{mot} と v_{lim} が一致する L, H をもつ計画地点を見出すことができれば、その地点は FRPM 管のもつ耐圧強度をフルに活用した最適計画となる。

しかしながら v_{mot} と v_{lim} が一致する候補地点が 2 地点以上存在する場合も起り得る。このような場合は、これらの地点の内、 v_{lim} の大なる方の地点が最適地点となる。このような場合が起ることの事例は後続の適用例において、F 案と E 案の双方とも v_{mot} と v_{lim} が一致し、この内の v_{lim} の値が大なる E 案が最適地点となっていることからみることができる。

しかして F 案と E 案の優劣はそれらの案の発生電力量当りの建設単価の高低によって定まり、単位電力量当りの建設単価の低い方をもって最適案とする。よって v_{lim} 値の大なる E 案が最適案となり、従って E 案の v_{mot} が最終的に最適流速 v_{opt} として確定する。

最適案算定のためのトライアル計算が必要なる所以である。従ってトライアル手法を用いることなく、任意に抽出された一計画地点においてその地点の L, H より算定された v_{lim} の値を鵜呑みにして最適流速として採用することは誤りである。

F, E, D, C 全案について最尤流速 v_{mot} を算定した。この内、E 案の算定過程を代表例として表-2 E に示す。また図-2 はかくして得られた流速 v に対する建設単価 CD の値をプロットしたものである。表-2 E 中の流域面積、取水位、放水位、落差、水路長および取付道路長は表-1 の E 案欄の数値をそのまま転記したものであるが、流速 v のみはトライアル値として 1.0, 1.5, 2.0 m/s および表-1 の E 案の v_{lim} 値を用いた。

これらの各流速のときの最大使用水量、導水路径、幾日流量日数、有効落差、設備出力、設備利用率、年間発生電力量、総建設費、単位発生電力量当りの建設単価の計算結果を表-2 E に示す。算定に際しては全案について FRPM 管 1 種を採用し、適用測水所として T 川下流にある川西測水所の観測流量を流域面積比により換算した流量を用いた。ここに川西測水所の流域面積 117.9 km² に対する E 案の流域面積 64.6 km² の比は 0.55 であるのでガイドブック³⁾ の基準範囲 0.5~1.5 内にあり、流域面積比換算による計画地点の流量推定が可能である。計算手法の詳細は既論¹⁾ における T 川第二発電所開発計画の算定手法と同様であるので以下記述を省略する。

表-2 E および図-2 において E 案の建設単価の最低値は $v_1 = v_{lim}$ のときに起り、その値は CD=180.606 円/kWh となっている。従って E 案の最尤流速 v_{mot} は v_{lim} に一致し、その値は $v_{mot} = 2.383066$ m/s となる。これらの CD および v_{mot} の値を前の表-1 の該当欄に記入した。

同様に他の F 案、D 案、C 案についても計算し、それらの算定値は同様に表-1 に記入されている。

表-1 をみると F 案、E 案とも v_{lim} と v_{mot} が一致している。この内、E 案の v_{lim} 値の方が F 案の v_{lim} 値より大である。よって本計画の最適流速 v_{opt} は E 案の 2.383066 m/s となる。これは E 案の建設単価 180.606 円/kWh が 4 案中の最低であることから言えることである。さらに 4 案の各最尤流速 v_{mot} 中の最大値は 4 個ある v_{mot} 値の中の最大値である E 案の 2.383066 m/s であって、この案の上限流速 v_{mot} と一致していることも読取れる。これに対して D 案、C 案の v_{mot} 値はそれぞれの v_{lim} 値以下である。これらの結果は一見煩雑にみえる最尤流速 v_{mot} と最適流速 v_{opt} なる 2 種類の流速を定義することの必要性を示すものである。

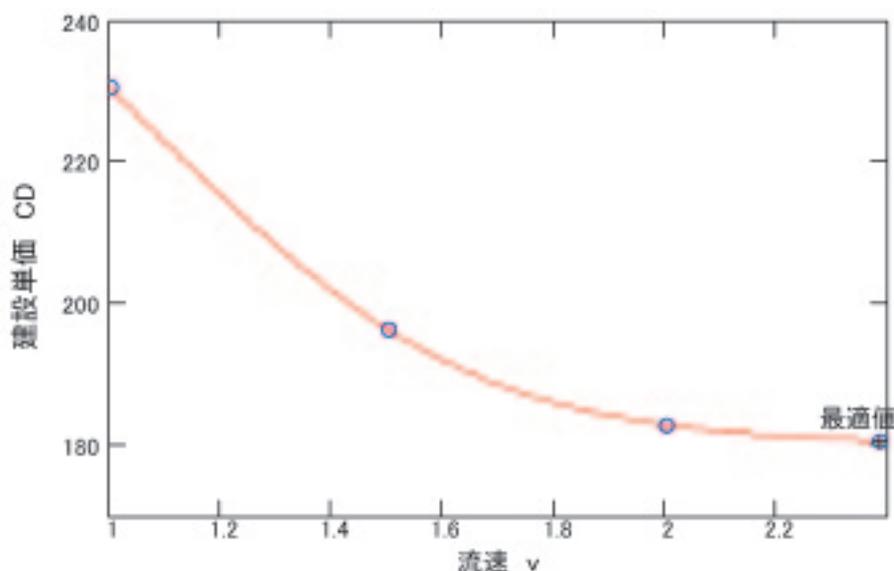
表-2E T川上流計画E案における各水路流速に対する建設単価等の算定

流速トライアル値 v_1	m/s	1.0	1.5	2.0	2.383066
流域面積 CA	km ²	64.6	全左	全左	全左
取水位	m	550	全左	全左	全左
放水位	m	460	全左	全左	全左
落差 H	m	90	全左	全左	全左
導水路長 L	m	4529	全左	全左	全左
放水路長	m	10	全左	全左	全左
導水路勾配 H/L		1/50.32	全左	全左	全左
取水堰地点川幅	m	20m 両断崖	全左	全左	全左
堤長	m	20	全左	全左	全左
堰高 $\phi + 2$	m	3.8	3.5	3.5	3.5
取付道路延長 $L\beta$	m	1490	全左	全左	全左
内訳	堰～既存道路間	m	300	全左	全左
	水路中間部	m	1140	全左	全左
	既存道路～発電所	m	50	全左	全左
取付道路率 λ		0.3290	全左	全左	全左
最大使用水量 Q	m ³ /s	2.5447	2.6507	3.5343	4.2112
導水路直径 ϕ	m	1.8	1.5	1.5	1.5
幾日流量日数	日	191.7	187.3	154.4	132.3
有効落差 H_e	m	87.6	84.4	80.5	76.8
設備出力 P	kW	1835.1	1840.7	2341.4	2660.9
設備利用率 ξ		0.7643	0.7532	0.6809	0.6342
年間発生電力量 W	mWh	11685.1	11540.5	13199.4	13908.1
総建設費 K10	百万円	2693.1	2265.8	2413.2	2511.9
建設単価 CD	円/kWh	230.470	196.332	182.827	180.606
					最適案
使用プログラム名		戸蔦別3 E(v=1.0)GLmcd	戸蔦別3 E(v=1.5)GLmcd	戸蔦別3 E(v=2.0)GLmcd	戸蔦別3 E(vlim)GLmcd

最適計画であるT川上流計画E案の概要を纏めて示せば次表のとおりである：

表-3 T川上流計画

取水堰位置： 昭和ノ沢合流点から約300m 下流 のT川本流	水路流速： 許容上限流速： 2.383m/s 設計流速（最適流速）： 2.383m/s
発電所位置： ピリカペタヌ沢川合流点の直上流	要新設取付道路延長： 1490m
流域面積： 64.6km ²	最大使用水量： 4.211m ³ /s
取水位： 550m	設備出力： 2661kW
放水位： 460m	年間発生電力量： 13908mWh
総落差： 90m	総建設費： 2512百万円
取水堰： 高さ 3.5m 堤長 20m	建設単価： 180.606円/kWh
水路諸元：	
使用管種： FRPM 管 1種	
管径： 1.5m	
水路長： 4529m	



$$\text{interp}(V1,VX,VY,2.383066) = 180.606$$

図-2 水路流速の変化に対応する建設単価の補間曲線（E案）

6. むすび

本論文は日高山脈中部に源を発するT川における小水力開発計画としてT川上流計画を採り上げ、最適計画を策定したものである。

最適計画策定のために、その基礎となるFRPM管圧力水路の最適流速理論を適用してこの計画の最適案を求めた。策定結果、上流計画の単位発生電力量当りの建設単価は現時最経済的とされる²⁾ 200円/kWhを下回る180円/kWhを得ることができた。

この計画の発電出力2660kWは略1400戸の電灯電力需要に見合う。京都議定書の発効により火力発電によるCO₂の放出が制約される今日、本上流発電所は既論の中流、下流発電所とともにT川一貫開発を形成する一発電所として、電力事業者はもとより、土地改良事業および土地改良区、農業共同組合などの農業団体、水道等の公共事業体、地元市町村等が手掛けるのに格好の規模である。

本論文がこれら諸事業者の水力開発参入への積極的な意欲の喚起に結びつくものであることを期待して止まない。

謝辞：本論文執筆に当り貴重な情報を提供して戴いた野中則彦氏に深甚の謝意を表します。

(サン技術コンサルタント(株))

参考文献、資料

- 1) 高島康夫、宮田広信、野口和彦、島田元樹：“強化プラスチック管を水路とするT川第二発電所開発計画”、(社)北海道土地改良設計技術協会、報文集、第16号、平成16年6月、pp.83～92
- 2) 清野良平、吉田紀之、高橋修：“河川ポテンシャル度を用いた水力開発手法の考案”、電力土木、No.291,2001,p.11～15.
- 3) 新エネルギー財団水力本部：“中小水力発電ガイドブック”、新訂5版、2002年2月、p.54p.67.

農業用ダムにおける試験湛水時と完成後の挙動について

岡田 一久

まえがき

本ダムは、1市3町にまたがるA地区、B地区及びC地区の18,500haに及ぶ畑地かんがいの共用水源施設として、二級河川D川水系普通河川E川に建設したダムである。

本発表は、平成14年5月試験湛水開始から平成15年12月の完成検査合格を経て現在（平成16年8月）に至るまでの挙動を対比し、今後の管理委託に向けた管理基準値の検証と、ダムの安定性評価について検討結果を報告する。

表1-1 ダム諸元表

基礎	新第三紀中新世安山岩	
ダム概要	堤体	流域面積 A=21.100(km ²)
		貯水池面積 A=0.534(km ²)
		総貯水容量 V=7,100,000(m ³)
		有効貯水容量 V=6,400,000(m ³)
		天端標高 EL.367.00(m)
		設計洪水水位 EL.364.00(m)
		常時満水位 EL.362.30(m)
	洪水吐型式	側水路型
	設計洪水量	Q=280(m ³ /s)
	越流水深	H=1.70(m)
	減勢方式	Ⅲ型静水池
	仮排水路型式・内径	標準馬蹄・2 R=3.7m
	設計流量	Q=105(m ³ /s)
	取水施設型式	傾斜式シリンダーゲート
	最大取水量	Q=3.282(m ³ /s)

1. ダム概要

本ダムは、堤高73.0m、堤頂長345.0m、堤体積1,998千 m³の中心遮水ゾーン型フィルダムで、主な諸元は、表1-1のとおりである。

2. 実績とその後の湛水状況

平成14年～15年の試験湛水実績と平成16年湛水計画を図2-1に示す。（平成14年5月9日～平成15年12月15日までを試験湛水と称し、平成15年12月16日からの湛水をH16年湛水と称する。）

なお、H16年湛水は試験湛水とは異なり、貯水位の上昇・下降速度の制限や貯水位保持期間の制約は設けず、将来の貯水池実運用を見通し下記の条件を考慮して行った。

- ①湛水開始日はH15年12月16日とし、サケ捕獲期（9月1日～12月15日）での貯水位保持と融雪影響の検証のため満水位保持期間を長くとする目的から、低下開始日をH16年7月20日とした。
- ②満水位（FWL.362.3m）から落水時の挙動を把握するため、目標低下水位をWL.353.0m

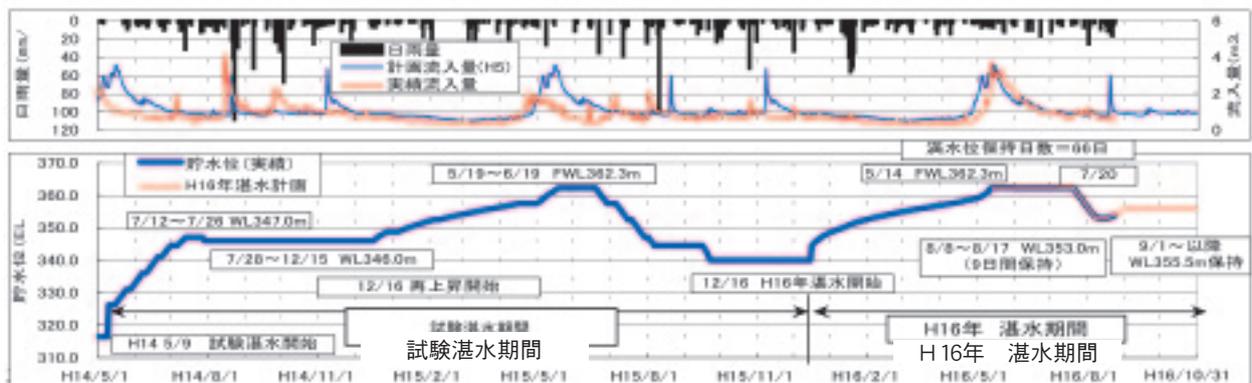


図2-1 試験湛水実績とH16湛水状況

と設定し、この保持日数を9日間とした。

③目標地下水位の保持後は、シリンダーゲート点検架台(手摺り天端EL.354.6m)に対する結水防止を考慮して、WL.355.5m以上を9月1日までに確保することとした。

3. 浸透水量の挙動と管理基準値の評価

フィルダムの安全管理において最も重要な項目である浸透水量観測について、本ダムでは観測精度の向上と安全監視体制の強化を目的に、コアおよびコア基礎からの浸透水量を河床・左右岸の3ヶ所(A～C系統)に、堤敷部基礎浸透を2ヶ所(D, E系統)の計5系統に分離計測し、系統毎に管理基準値を設定している。以下に、試験湛水

結果に基づく管理基準値の修正結果と、それを用いたH16年湛水での検証結果を示すものである。

3-1. 試験湛水時の浸透水量管理基準値

本ダムにおける試験湛水時の浸透水量管理基準値は、各種解析の結果から表3-1のように決定している。

3-2. 貯水位の影響予測値の再検証

A～E系統で観測された満水位時の実測浸透水量は、浸透流解析による予測値よりも少ない量であった。このことから、試験湛水前に行った浸透流解析の条件設定や解析断面の追加、解析モデル条件の見直しを行い、検証解析を実施した。

図3-1に試験時の貯水位影響量、検証解析による貯水位影響量、実測浸透水量より推定した貯水位影響量の比較を示す。検証解析による予測値は、満水時では実測浸透水量を比較的良く再現しているものの、中間水位や低水位時においてA～D系統で相違が生じるとともに、E系統では満水時に過小となった。なお、検証解析結果と実測浸透水量との相違については、本ダムの地質特性が

表3-1 浸透水量管理基準値の構成

$QK = QW + QR + QS + 2\sigma$ (l/min) QK：浸透水量管理基準値 QW：貯水位の影響予測値(FEM浸透流解析による) QR：降雨の影響予測値(A～D系統はフィルター分離AR法、E系統はタンクモデル法による) QS：融雪の影響予測値(算出モデルは、降雨モデルと同じ) 2σ ：解析誤差(実測降雨融雪影響と降雨融雪予測モデル予測値の差による標準偏差の2倍)
--

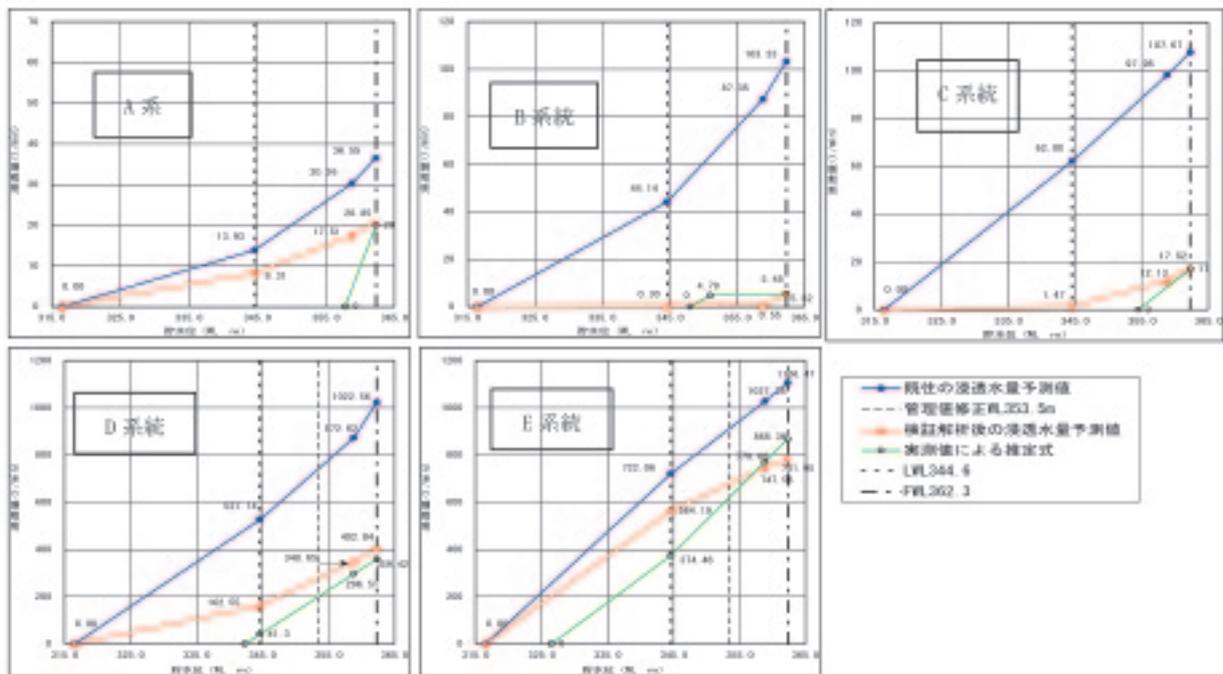


図3-1 試験時の貯水位影響量、検証解析による貯水位影響量、実測浸透水量より推定した貯水位影響量の比較図

亀裂性の岩盤であり、亀裂の有無による浸透経路及び浸出条件が複雑なため、既往調査結果から十分な解析精度が得られなかったためと考える。

以上より、今後の管理基準値に用いる貯水位影響予測値は、再検討した浸透流解析結果よりも再現精度の高い、試験湛水時の実測値を利用した貯水位と浸透水量の直線近似式を用いるのが妥当であると判断した。

3-3. 降雨・融雪による影響量の再検証

降雨・融雪による影響量についても現行の雨雪モデルによる予測値と実測値の違いから、降雨時の単位図係数やタンク係数の修正及び融雪単位図の追加等を行って再解析を実施することとした。

降雨時の修正した予測値と実測値は、各系統とも降雨初期時およびピーク時の影響量を良く再現しており、その波形はほぼ一致している。

ただし、大雨時の予測値が実測値よりも小さい箇所も認められるが、H14年10月の大雨時の実測値を包括するような予測モデルを策定するとH14年8月の大雨時の予測値は、かなり過大な値となることから、H14年10月の予測値超過の分は、予測誤差で補うこととした。また、融雪の影響期間における実測値と予測値は、各系統とも比較的良く再現している。

ただし、予測値のピークがH15年4月30日頃に生じていることに対して実測値ピークは、これよりも以前に生じている等、若干、予測値が実測値よりも過大に予測されている箇所も認められる。このことについて、図3-2に示すように過年度の融雪期間に観測された浸透水量と修正した融雪影響予測値を重ね合わせて描くと、本年の融雪影響予測値を重ね合わせて描くと、本年の融雪影響量は、過年度に比べてピークとなった日が早く、その量も少ない年であったと判断され、過年度の融雪期の観測データを合わせ見れば、修正した融雪影響モデルは、過大なモデルでなく、ほぼ妥当なモデルであると判断される。

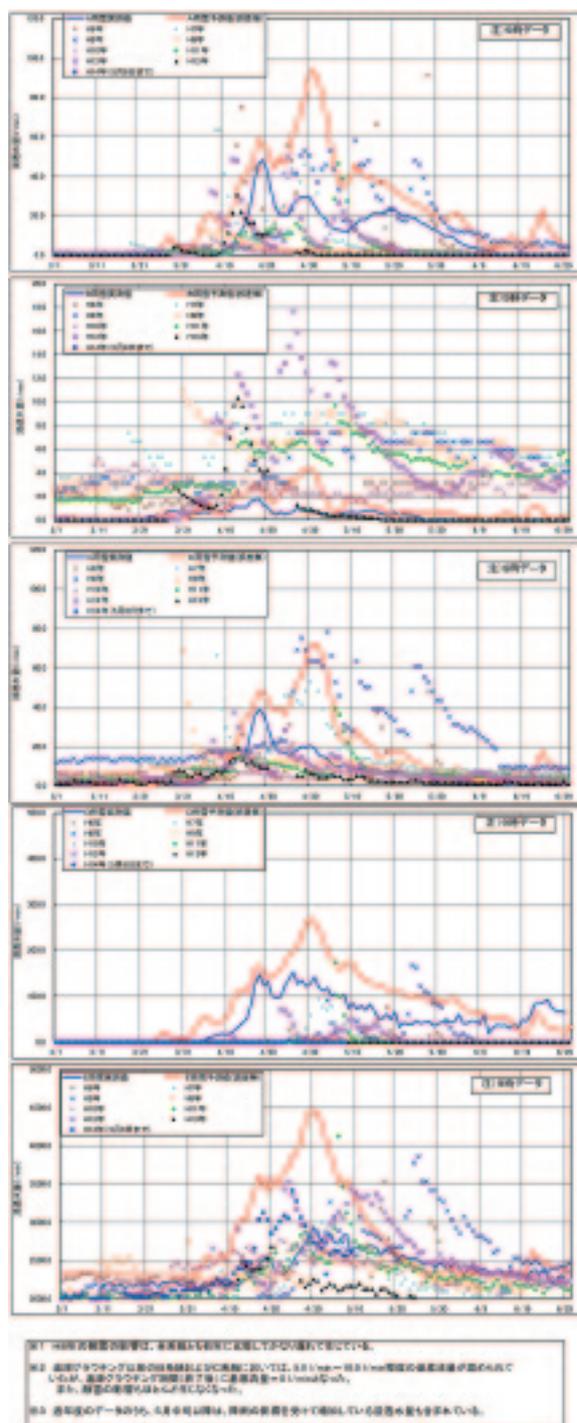


図3-2 検証した雨雪モデルによる予測値と過年度の実測値との比較

3-4. 修正後の浸透水量管理基準値の評価

検証後の修正した貯水位影響予測値と降雨・融雪影響予測値に、予測誤差(2σ)を加え修正した管理基準値と現行の管理基準値、及び実測浸透水量を対比し、図3-3に示す。修正した管理基準値は、実測値に対して過大・過小ともならず、実測値の挙動を比較的良く再現しているとも

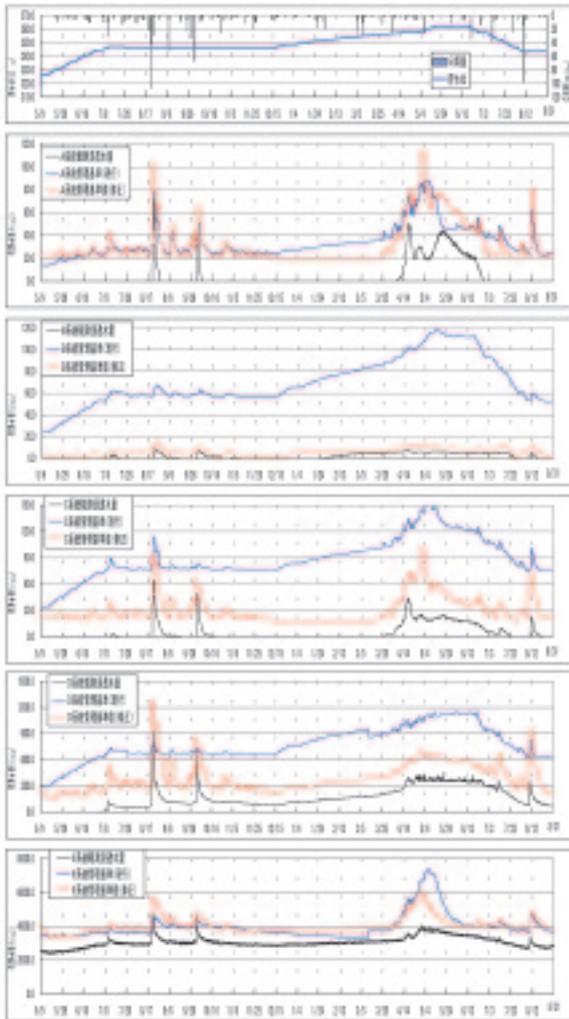


図3-3 試験時管理基準値と修正管理基準値との比較経時変化図

に、H14年10月の大雨時に実測値が予測値を超過していたC系統、D系統、E系統においても実測値をカバーしている。

したがって、修正した浸透水量の管理基準値については、妥当なものであると判断される。

3-5. 試験湛水時とH16年湛水の浸透水挙動比較 (1) A～C系統

試験湛水開始から現在までのA～C系統浸透水量および修正管理基準値の経時変化図を図3-4に示すが、H16年湛水におけるA～C系統浸透水量は、A～C系統とも管理基準値の超過は認められていない。

表3-1に示すように試験湛水時とH16年湛水

の融雪期最大観測浸透水量を比較すると、A系統ではH16年湛水の値が試験湛水時に比べて20 l/min程度多いが、B、C系統ではほとんど変化していない。

また、満水位保持期間中に安定した浸透水量を比較すると、A系統ではH16年湛水の値がゼロとなったが、B、C系統では試験湛水時の安定浸透水量よりも若干少ないかほぼ同様であった。

H16年湛水におけるB、C系統の安定浸透水量が試験湛水時よりも若干減少したことについては、試験湛水時の満水位保持最終日が6月19日とH16年湛水時の7月20日に比べ約1ヶ月早く、試験湛水での安定流量には若干の融雪影響量が残留していたものが、H16年湛水では融雪影響がほとんどなくなったためと考えられる。

ただし、A系統については、試験湛水に観測された安定流量が全て融雪影響であった可能性も考

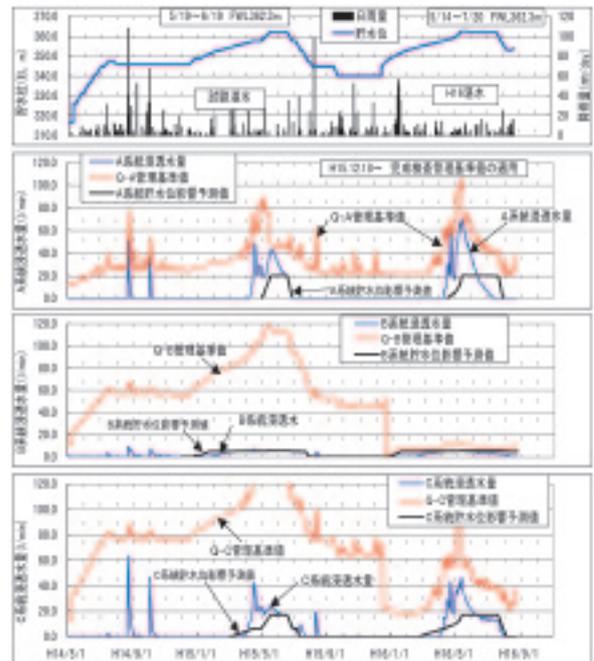


図3-4 A～C系統浸透水量および管理基準値の経時変化図

表3-1 A～C系統の挙動比較

	A系統		B系統		C系統	
	試験湛水	H16年	試験湛水	H16年	試験湛水	H16年
融雪期間中の最大浸透水量 (l/min)	50.22	69.72	7.21	5.99	43.96	46.42
満水位保持期間中に安定した流量 (l/min)	20.00	0.00	5.00	4.00	17.00	14.00
満水時の貯水位影響予測値 (l/min)	19.91		5.48		16.95	

えられ、これについては、次項「3-6.H16年浸透水量の挙動検討と修正管理基準値の評価」で地下水水位観測孔等の挙動と併せて検討を行うこととする。

(2) D, E系統

試験湛水開始から現在までのD, E系統浸透水量および修正管理基準値の経時変化図を図3-5に示すが、H16年湛水のD, E系統についても管理基準値の超過は認められていない。

なお、表3-2に示すD, E系統のH16年湛水の融雪時ピーク浸透水量は、試験湛水時に比べてD系統で120l/min程度少なく、E系統で1000l/min程度多く生じているが、H16年湛水の満水位保持期間中の安定浸透水量は、D系統では試験湛水に比べて約230l/min減少し、E系統では約300l/min増加している。

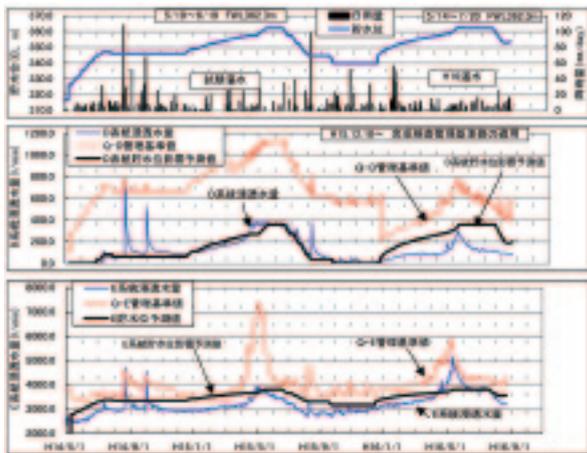


図3-5 D, E系統浸透水量および管理基準値の経時変化図

表3-2 D, E系統の挙動比較

	D系統 (l/min)		E系統 (l/min)	
	試験湛水	H16年	試験湛水	H16年
融雪期最大浸透水量	425	302	4073	5141
満水位安定浸透水量	350	120	3400(880)	3700(1180)
満水時貯水水位影響予測値	359		3801(貯水影響分1278)	

表3-3 満水位における安定浸透流量 (l/min)

	A系統	B系統	C系統	D系統	E系統	合計
試験湛水	20	5	17	350	3400	3792
H16湛水	0	4	14	120	3700	3838

すなわち、D系統の減少分がE系統に流入したと考えられ、ダム全体の総量は表3-3に示すとおり、ほとんど変化していない結果となっている。

3-6. H16年浸透水量の挙動検討と修正管理基準値の評価

(1) A~C系統

試験湛水時の検討にてA~C系統浸透水量は、近傍の地下水水位観測孔と密接な関係があることが判明しており、図3-6に示すように貯水位と地下水水位観測孔の相関は、試験湛水とH16年湛水で大きく変化していない。

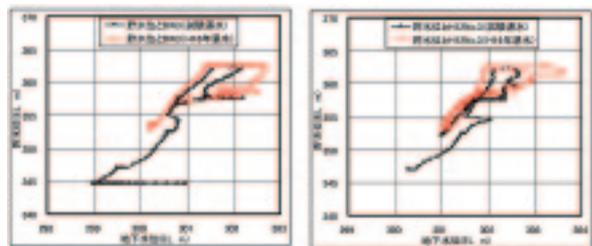


図3-6 A, B系統近傍の地下水水位観測孔と貯水位の相関図

また、図3-7に示したA~C系統と近傍の地下水水位との相関図より、A~C系統浸透水量は、地下水水位がEL299~EL301.5m程度になった頃より観測され始めており、この関係についても試験湛水とH16年湛水でほとんど変化していない。したがって、B, C系統の貯水位影響予測値は、前述のとおりB, C系統浸透水量を比較的良く再現しているとともに、周辺地下水水位との関係も変化していないことから、試験湛水結果から修正した管理基準値での運用で特に問題ないと判断した。

一方、A系統の降雨・融雪影響を除いた貯水位影響量は、H16年湛水の挙動より、数字的にゼロとなるが、これは、貯水位の影響を受けながらもA系統周辺の地下水水位がEL301.0m~EL301.5m程度にならないと浸透水量として現れないためである。すなわち、A系統に浸透水量が観測されるのは、降雨および融雪時期のみであり、降雨や融

雪影響によって一時的に堤体右岸周辺の地山地下水水位がEL301.0m～EL301.5m程度に上昇すると、A系統観測ブロックの浸透水量として観測されると考えられる。

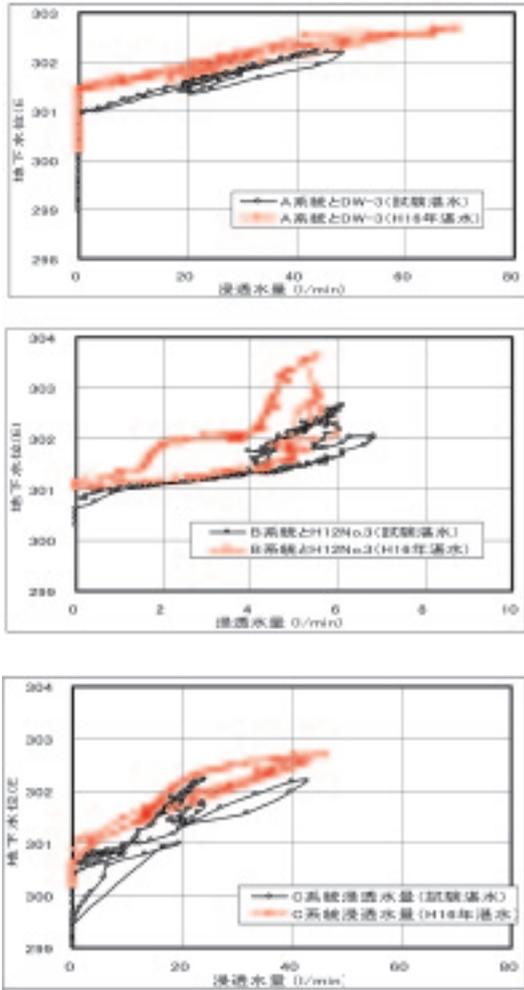


図3-7 A～C系統浸透水量と近傍の地下水水位観測孔との相関図

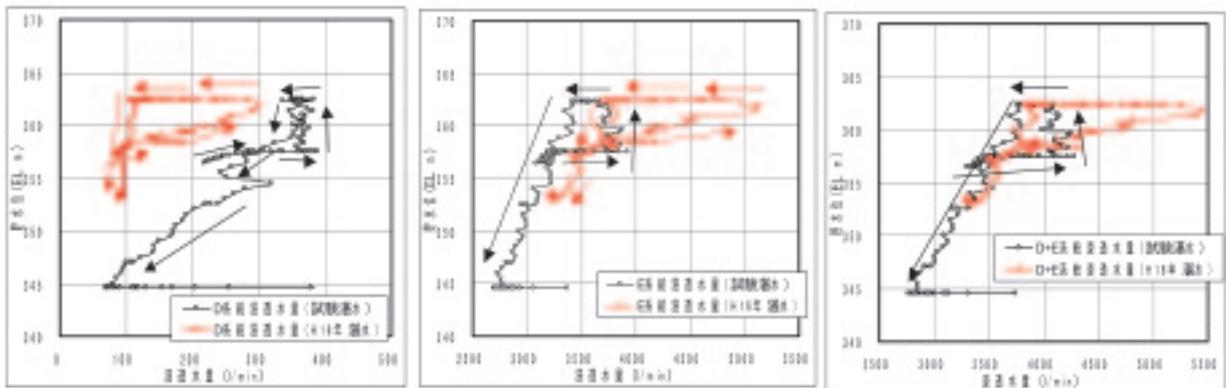


図3-8 試験湛水とH16年湛水のD、E系統浸透水量挙動を比較した貯水位との相関図

以上より、今後のA系統の貯水位影響予測値については、次のように考えることとした。

貯水位影響予測値(管理基準値)は、現行の修正モデル式(FWL=20.0 l/min)をそのまま適用していくこととした。この理由は、貯水位影響による今後の地山地下水水位変動がH16年湛水の状況と同様になるとは言い切れず、また、コアおよび基礎直下からの浸透水量も、飽和の進行によって増加する可能性が考えられるためである。

(2) D, E系統

試験湛水時とH16年湛水のD, E系統浸透水量挙動を比較した貯水位との相関図およびD+E系統とした場合の貯水位との相関図を図3-8に示す。下図より、D系統の減少とE系統の増加に対して、D+E系統とした場合の浸透水量を見る

表3-4 D系統およびE系統周辺の地山地下水水位比較

孔番	試験湛水に比較してH16年湛水の地下水水位				
	貯水位上昇時	融雪ピーク時	満水位 安定時	落水時	
D系統周辺	H12No.3(上)	20cm程度 低い	1 m程度 高い	15cm程度 低い	ほぼ同じ
	H12No.3(下)	40cm程度 高い	65cm程度 高い	70cm程度 高い	20cm程度 高い
	H12No.4(上)	ほぼ同じ	50cm程度 高い	ほぼ同じ	ほぼ同じ
	H12No.4(下)	ほぼ同じ	50cm程度 高い	ほぼ同じ	ほぼ同じ
	DW-9	ほぼ同じ	30cm程度 高い	ほぼ同じ	ほぼ同じ
	DW-2	10cm程度 高い	75cm程度 高い	20cm程度 高い	ほぼ同じか20cm程度低い
	DW-4	ほぼ同じ	40cm程度 高い	20cm程度 低い	20cm程度 低い
	DW-1	ほぼ同じ	60cm程度 高い	5 cm程度 低い	5 cm程度 低い
E系統周辺	DW-3	ほぼ同じ	50cm程度 高い	10cm程度 低い	ほぼ同じ
	No.9	10cm程度 低い	30cm程度 高い	ほぼ同じ	ほぼ同じ
	DW-6	15cm程度 低い	40cm程度 高い	18cm程度 低い	ほぼ同じか18cm程度低い
	DW-8	25cm程度 低い	20cm程度 高い	20cm程度 低い	20cm程度 低い
	96-4	ほぼ同じ	1 m程度 高い	ほぼ同じ	ほぼ同じ
	2号揚水位	5 cm程度 低い	25cm程度 高い	5 cm程度 低い	ほぼ同じ
	DW-5	30cm程度 低い	30cm程度 高い	20cm程度 低い	ほぼ同じ
	E系統観測孔	ほぼ同じ	20cm程度 高い	ほぼ同じ	ほぼ同じ
法面湧水孔	ほぼ同じ	20cm程度 高い	ほぼ同じ	ほぼ同じ	

と、試験湛水と H16年湛水での D + E 系統の浸透水量は、試験湛水と H16年湛水の融雪影響の差を除けば、大きな変化はない（相関図中の貯水位低下時（左側）ラインを参照）と判断される。

D 系統および E 系統周辺の地山地下水位を試験湛水と H16年湛水で比較したところ、表 3 - 4 に示すとおり、融雪ピーク時の地下水位は、ほとんどの観測孔で 20cm ~ 1 m 程度、試験湛水時の地下水位よりも高い水位を示しており、これが融雪影響の差となって現れていると言える。一方、貯水位上昇・落水期間では、若干低い水位の観測孔もあるが、試験湛水時とほぼ同じ水位を示しており、浸透水量に大きな変化が生じなかった現象の理由と言える。

また、地下水位観測孔の挙動をみても、D 系統浸透水量の減少量が E 系統に流入したとされる明確な差異は認められなかった。

したがって、D 系統で減少した理由および D 系統の減少量が E 系統に流入した理由としては、地山地下水位の渇水や豊水等による一時的な変化と、地山地下水位の複雑な水理機構と浸透経路および基盤の飽和進行によって、D 系統と E 系統の集水バランス（集水経路）が若干変化し、E 系統側に多く流出したことで生じたものと想定される。

（3）H16 湛水による修正管理基準値の評価

以上より、試験湛水終了時に作成した A ~ E 系統の修正管理基準値は、H16 年湛水により概ね適正なものと判断されたため、同管理基準値により管理委託後のダム安全管理を行っていくものとする。

4. 間隙水圧および地山地下水位の挙動評価

4 - 1. 間隙水圧計の挙動評価

図 4 - 1 に河床断面の間隙水圧計と貯水位との相関図（代表計器）を示す。

コア内に設置した間隙水圧計の挙動を試験湛水時と H16 年湛水で比較すると、H16 年湛水では間

隙水圧計の水頭値が高くなり、反時計回りのループが右側へ移動する挙動を示しているが、貯水位の変動による増減傾向（勾配）は、試験湛水とほとんど変化してない。また、この傾向はコア内に設置しているほとんどの計器で同様な傾向を示しているため、コア内の飽和進行はバランス良く進行しているものと判断される。

基盤内に設置している間隙水圧計についても、基盤内上流側に設置した計器は、試験湛水の挙動とほぼ同様の挙動を示している。基盤内下流側に設置した計器は、水頭値の上昇が認められ、飽和の進行が伺えるものの、貯水位の変動に対する間隙水圧の増減傾向は、試験湛水とほとんど変化していない。

また、フィルター内の間隙水圧計および立上り管水位についても、止水壁天端標高 EL297.2m 以下の EL295.0m ~ EL296.5m の範囲内で増減を繰り返している。

以上より、コア内および基礎基盤の遮水性については、特に問題のない挙動であると判断される。

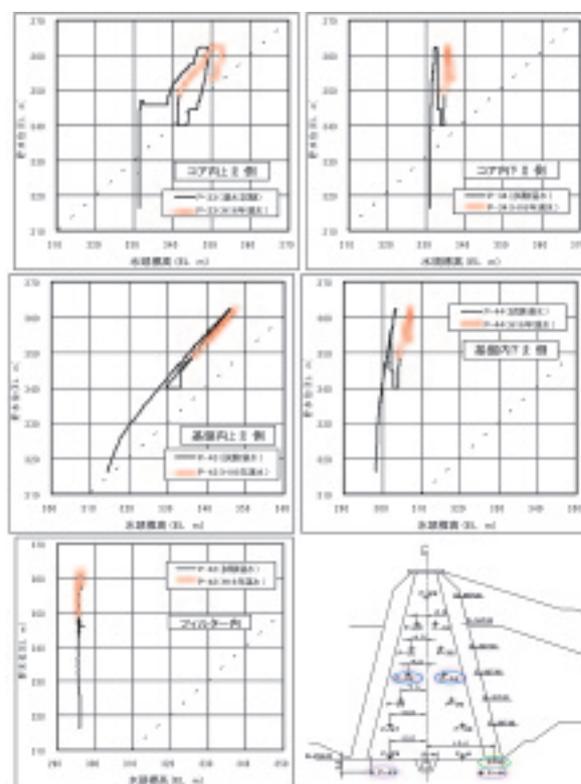


図 4 - 1 河床部断面の間隙水圧計と貯水位との相関図

4-2. 地山地下水位計の挙動評価

H16年湛水の地山地下水位観測孔の挙動として、ほとんど全ての観測孔とも試験湛水の水位標高や貯水位に対する地下水位の増減挙動は、ほとんど変化しておらず安定した挙動を示している。

以上より、リムグラウチングの遮水効果、浸透経路の拡大や水理機構の変化は生じていないものと判断され、特に問題ない挙動であると判断される。

5. 表面変位計の挙動評価

図5-1に天端測線の表面変位計計測結果の経時変化図を示す。

(1) 水平変位

H16年湛水の水平変位方向への変位量は、試験湛水の変位量とほとんど変わらず、±1.0cm～3.0cm内外で推移している。

(2) 鉛直変位

H16年湛水の沈下傾向は、試験湛水に比べると、沈下量は1～2cm増加しているものの、全体

的には終息する傾向が認められる。

以上より、表面変位計計測結果においては、変位が卓越する、または、特異な挙動を示す傾向も認められず、局所的に変位が変化する箇所も認められないことから、特に問題のない挙動であると判断される。

あとがき

今回のH16年湛水のダム安全性については、試験湛水時の挙動と比べて異常な変化は認められず、浸透水量の修正管理基準値も実測値を比較的良く再現しているとともに、各種計器の観測挙動の総合的評価として、水理的にも力学的にも特に問題のないものと評価される。

したがって、今回の一連の湛水挙動解析により、本ダムの修正管理基準値の妥当性とダム管理における第三期（安定期）へ向けての安全検証がなされたが、今後の管理委託へ向けて継続的なデータ蓄積を出来る限り行い、試験湛水およびH16年湛水と異なった挙動を示した場合には、管理基準値の検証や見直しを行うなど、ダムの安全管理に努めていくことが重要と考える。

(株)三祐コンサルタンツ札幌支店

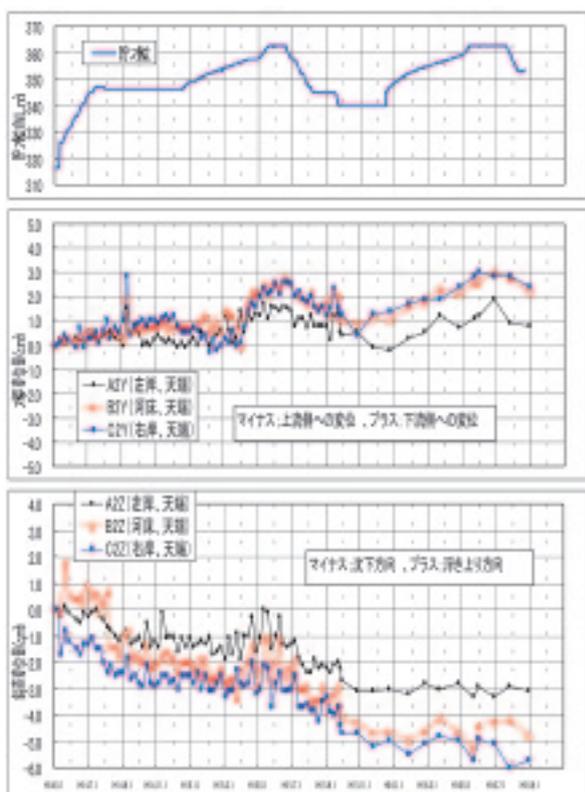


図5-1 天端測線の表面変位計計測結果の経時変化図

コンクリート構造用水施設の劣化損傷について

中嶋 明美

1. はじめに

農業土木の視点から用水施設の特異性を考慮し、コンクリート構造用水施設の劣化損傷形態とその要因について体系的に考えたものは少ない。農業用水施設はコンクリート構造本体のみならず、その構造性能を補完する二次材料（ウィープホール）や周辺構造（裏込材）も重要な役割を担っており、建造物や一般土木施設のように非構造材料と構成される施設とは異なるため、診断等では施設の構造全体を考慮することが重要である。

特に北海道の用水施設では、厳しい気象や特殊土壌に加え施工的にも拘束される等、地域特化性の影響を強く受けるため、一般土木施設や内地の用水施設に比べその使用環境等に留意する必要がある。

これより本報文は、北海道におけるコンクリート構造用水施設を対象にその施設の特徴や地域の特化性を考慮して、施設の劣化損傷の形態とその要因を体系的に整理し、施設診断の検討材料としてまとめたものである。

2. 用水施設の施設的特徴

コンクリート構造用水施設の適切な補修にあたっては、用水施設の特異性（施設特化性）を踏まえて、その劣化作用や損傷の形態を考慮することが重要である。（表2. 1、表2. 2）。

施設特化的な要求性能を使用性の面で見ると、交通系施設は剥落防止などの安全性能や振動性能が、建造物では居住性や美観性の性能が、産業廃棄物施設では漏水を許さない水密性能が重要視されるが、農業用水施設では送通水性が重要視される。

これら建造物への外的因子の作用性を見ると、RC造り建築物は大気の影響、橋梁工は大気や交通の、発電水力施設は流水によるすりへり摩耗の、下水道は化学的侵食の影響を強く受ける。

これに対して農業用水施設は、立地環境や使用条件が多様なほか、土壌や河川原水、大気など、多くの劣化因子が複合的に影響を与えている（図2. 1）。

表2. 1 コンクリート構造施設の種別による各種条件の違い

項目	建築物・一般土木施設	農業用水施設（ex 用水路）
工種	単一（ex：1棟または数棟、1橋）	多種多様（Ex 開水路＋水路橋＋暗渠＋調整施設・・・）
範囲	限定 or 特定（場所範囲がそこで限定）	広範（町村界を越える数km～数十km）
立地環境	特定（その場所で環境も特定される）	変化（長距離性から環境が相違する）
使用環境	大気・土中	大気・土中・接水・流水
施工年次	単年度 or 2～3年（大規模を除いて短期間）	数年～数十年（事業計画の長期性）
整備技術	同一技術（単年度のため技術的に特定）	複数の技術（数十年のため同一断面でも相違）
管理者	単一（特定）	複数（行政界、改良区・管理界で相違する）
適用範囲	構造本体＋非構造部分	構造本体＋補完構造（二次材料＋周辺）

表2. 2コンクリート構造物の施設の特性

項 目		農業用水施設（用水路）	一般土木施設（橋梁等）	RC 造建築物
基本点	財産的な相違	公共財・共有財	公共財	公共財・共有材・私有財
	施設利用上の重点機能	水利機能性	安全性・使用性	安全性・使用性・美観性
	管理上の重点面	水管理	施設管理	施設管理
構造特性	部 材	重厚性または軽薄性	重厚性	比較的 軽薄性
	構 成	本体構造＋補完構造	本体構造（基礎を含む）	本体構造（基礎を含む）
	形 式	RC, 二次製品、混成構造	RC 構造	RC 構造
	部材厚・（鉄筋かぶり）	小・（中）・・用水路	大・（大）	小・（小）
使用環境の影響性	火山活動	○	○	○
	降水量（多雨）	○	○	○
	大きな気温変化（夏・冬）	◎（積雪寒冷地）	○	○
	酸性環境（雨水・融雪）	○	○	○*
	土壌や地下水	○	△（他施設）	－
	接水・流水	◎（用水路など）	△（他施設）	－
	凍結融解の繰返し作用	○（積雪寒冷地）	○（積雪寒冷地）	○（積雪寒冷地）
	冬期変状性	◎（積雪寒冷地）	－	－
通年の使用環境の較差	大	中	小	

3. 北海道におけるコンクリート用水施設の劣化損傷

3. 1 用水施設の環境条件と整備技術

（1）環境条件

北海道は地理的に高緯度帯に位置し、亜寒帯気候のため積雪や寒冷気象の影響を受け、冬期の日射量が多く相対湿度が高い。また、冬期気温の日較差が大きく、同緯度帯にある西欧諸国の積雪寒冷地に比べコンクリート構造により厳しい環境に

ある。

北海道のように冬期間厳しい積雪と寒冷に曝される地域のコンクリート構造用水施設は、殆どの施設が秋から春までの8ヶ月（9月～4月）間に渡って断水し裸地状態で過酷な冬期を経過するため、温暖な地域で利用される用水施設に比べ、湿潤性が高く、凍上作用や凍結融解の繰返し作用を受けやすい（表3. 1）。

表3. 1 農作業期間と工事時期等、月別平均気温の関係

作業期間	農作業期間						非農作業期間（準備期間）						年平均
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	
水利	かんがい期（水路内有水）						非かんがい期（無水：空虚）						
工事期間	待機（準備）期間						待機（準備）期間						
	現場工事可能期間												
降雪積雪	非積雪期						降雪		積雪期			残雪	
地点	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	年平均
旭川	11.6	16.4	20.4	20.9	15.3	8.5	1.8	-4.2	-8.4	-7.7	-2.5	5.0	6.4
札幌	12.0	16.1	20.2	21.7	17.2	10.8	4.3	-1.4	-4.6	-4.0	-0.1	6.4	8.2
帯広	11.1	14.6	18.3	19.9	15.6	9.2	2.5	-4.0	-8.2	-7.2	-1.9	5.2	6.3
函館	11.5	15.3	19.3	21.6	17.5	11.3	5.1	-0.4	-3.4	-3.0	0.6	6.6	8.5

特に、土壌の面では冷涼な気象条件下で生成された寒冷地特有の泥炭性軟弱地盤が平野部や谷地などの場所に広く分布し、用水施設の不同沈下を起こす要因となっており、劣化損傷への影響が大きい要素の一つである（図3. 1）。

また、北海道には暗青灰色で火山性の硫化物を含む pH= 3 前後の酸性硫酸塩土壌が各地に分布しており、中にはコンクリートが激しい侵食を発生する火山性酸性硫酸塩土壌もあるため注意を要する。

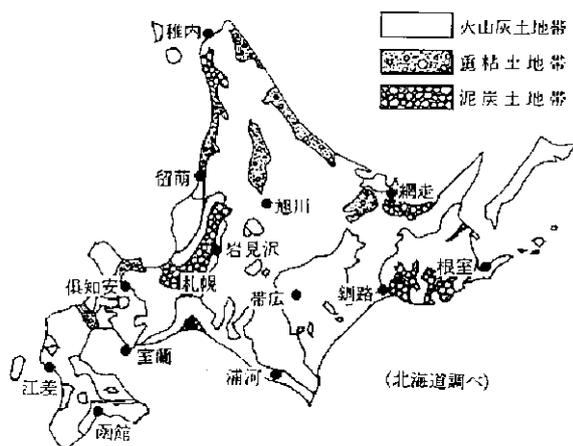


図3. 1 北海道の特殊土壌

(2) 整備技術の変遷

コンクリート構造用水施設の凍害（凍結融解）に関する研究は、国内の一部研究機関で二次製品等を中心に、その劣化機構の研究が行われた。現場打ちコンクリート水路の凍上力と積雪の作用についても構造的な損傷過程の研究が行われ、その設計施工技術を確立した。

昭和45年（1970）に道内の国営及び道営施工した用排水路の損傷実態調査が行われた結果を見ると、北海道の用水路ではコンクリート構造の場合、切土水路に劣化損傷が多く見られ、内地の盛土水路と異なった様相を示す。この損傷箇所も多くは、泥炭性軟弱地盤や火山灰土などの特殊土が分布する地域に集中していた。

これを受けて、コンクリート構造用水路の損傷に対する抜本的な対策を図るために昭和47年から組織的な調査検討を開始され、昭和50年（1975）～55年（1980）に（社）農業土木学会水路凍害対策調査委員会が中心となって、各地での現地試験や室内試験を通して凍上力と積雪荷重の側壁への作用力に関する検討が行われ、置換工法（断熱工法を含む）を基本とする技術基準が作成された。

さらに平成4年（1992）には、施工条件の改善等から用水路の部材厚を、内地に比べ増厚（+5 cm 程度）するほか、水密性施設へ RC-a ($\sigma_{ca}=210\text{kg/cm}^2$ 、粗骨材最大寸法20~25mm)を導入、また、浮上への影響がない断熱材による凍上力抑制対策等により整備を進めてきた。

3. 2 劣化損傷の体系的整理

(1) 構造面からの体系化

用水施設の変状形態を考える場合、構造形式や使用材料の相違を考慮した要因を考えることが必要である。用水施設の構造形式は、現場打ちコンクリートによる RC 構造のほか、用水路では積みブロック水路、張りブロック水路、L型ブロック水路等の二次製品水路があり、外力作用に対して特徴的な変状を示す（表3. 2）。

用水施設の変状形態は、コンクリート構造本体のほかこれを構造的に補完する二次材料及び周辺構造にも関係し、本体の耐久性、耐荷性に影響を与えることが多い。

すなわち、用水施設によっては構造本体を補完するウイープホール等が正常に作動することを前提に使用されるが、これら二次材料はその使用条件や製品仕様等により厳しい環境作用で早期に耐久性が低下し、構造本体の安定性や対荷性に影響を与えることがある（図3. 2）。

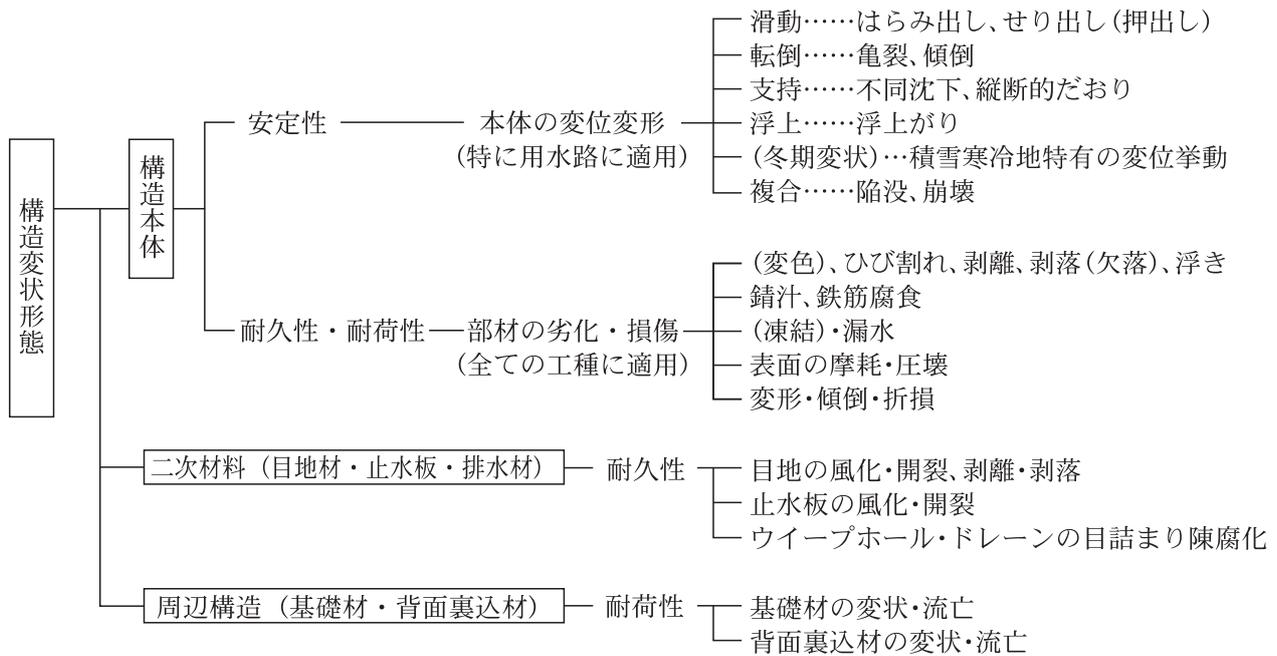


図3. 2 用水施設の主な構造性能と劣化損傷形態との関係

表3. 2 用水施設（開水路）の構造と構造的特徴と劣化損傷

工 種	開 水 路			
構造 (用途) 形式	積ブロック (空/練)	張ブロック (平)	L型ブロック	RCフルーム
部材構成	側壁・底板一分離構造			一体構造 (U型)
壁面安定機構	もたれ式	支圧式	自立式	
変形特性	壁面 たわみ性/剛性	たわみ性	低剛性	剛性
特性	底面 剛性	低剛性	(たわみ性)	剛性 (弾性床)
組立構成	噛合わせ複合	突合わせ/噛合せ (連結鉄線)	突合わせ	施設全体; 柔構造
目地配置	網目性		多節性	—
構造材料	側壁 二次製コン/現場打コン	二次製コン		現場打ち RC
	底板 現場打ち無筋コン (ベタコン)	ベタコン/現場打ち鉄筋コン		現場打ち RC
側壁部の単体規格	大きさ (30~45) * (28~30) cm	(50~70) * (35~70) cm	(70~250) * (50~120) cm	(1.5~2.0) * 9.0m
	厚さ 34~36cm	28~18cm	6~13cm	20~35cm
	長辺短辺比 1~1.5	1~1.6	0.9~2.8, L=1.8m	6~3
	重さ 34~50kg	20~50kg	100~2200kg	10~20t (側壁)
	基準強度 25~30N/mm ²		21N/mm ²	21N/mm ²
側面法勾配 (1:Z)	1:0.2~0.4	1:0.5~1.0	1:0.3~0.7	1:0.0
背面裏込め材料	玉砂利, (切込砂利)			切込砂利
単体目地材料	—	モルタル充填	モルタル/ウレタンゴム	油性ペイント, 目地材
伸縮収縮目地間隔	10.0m	10.0m	10.0m	9.0m (標準)
外水排水方法	切土水路: (側面) ウィープホール: 1~2段, (底板) アンダードレーン			
①問題の部位	側壁	側壁・底板	側壁・底板	側壁
②関係する劣化損傷形態	構造形状変形 (亀裂, はらみ, せり出し, 傾倒・崩落)	構造形状変形 (亀裂, はらみ, 剥離, 欠落, ふくれ, 陥没, 崩落)	構造部材の折損 倒立, 傾倒, 折損縦断的 だおり	材質劣化, ひび割れ, 鉄筋露出, 浮上, 不同沈下
③波及的構造損傷への影響性	背面土砂吸出し 目地部損傷・切裂	背面土の吸出流出 目地部劣化損傷	背面土砂吸出し 目地部劣化損傷	中性化や (凍害, 塩害), 鉄筋かぶり不適正, 凍上対策の不良, 基礎地盤の支持力不足
④主な劣化損傷の要因	不良二次製品の使用, 周辺土の凍結融解, 低剛性部材と凍上対策の不良性, 積雪や地下水位上昇 (排水不良), 過剰偏土圧などの作用, 水性植物の生長による目地材の劣化破損, 基礎の支持力不足 繰返し荷重作用 (疲労) と厳しい環境作用			

(2) 作用因子からの体系化

劣化損傷の要因を考える場合、施工（継目部施工不良や配筋不良 etc）や材料（中性化やアルカリ骨材反応、内在塩類による塩害 etc）、設計（形状寸法不適性、過小荷重 etc）、構造環境（スレン

ダークな構造、流水侵食性環境 etc）等の面では、温暖な内地のそれと共通するものが多いが、積雪寒冷性や特殊土性等の地域特化的な作用因子が、二次材料を含めて構造材料全般に影響を与えている（図3. 3）。

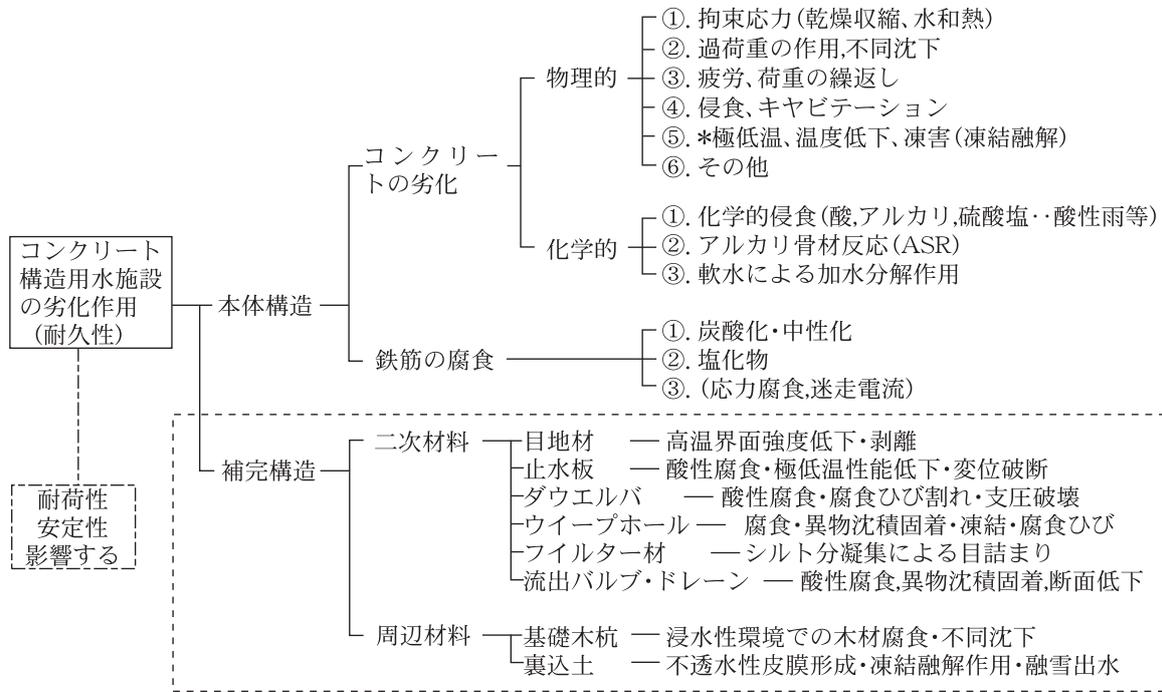


図3. 3 コンクリート構造用水施設の外的作用による劣化作用因子

北海道の用水施設の内、特にコンクリート水路の診断にあたっては、露出壁面が大きいいため、直接、積雪寒冷性の影響を受けやすく、また、背面土は凍上凍結作用により巨大な力が生じやすい

等、環境と外力の両面で地域特化的な作用を受けるため、夏場のみならず厳冬期～融雪期の積雪状況や露出状態、流水の状況等にも配慮する（図3. 4）。

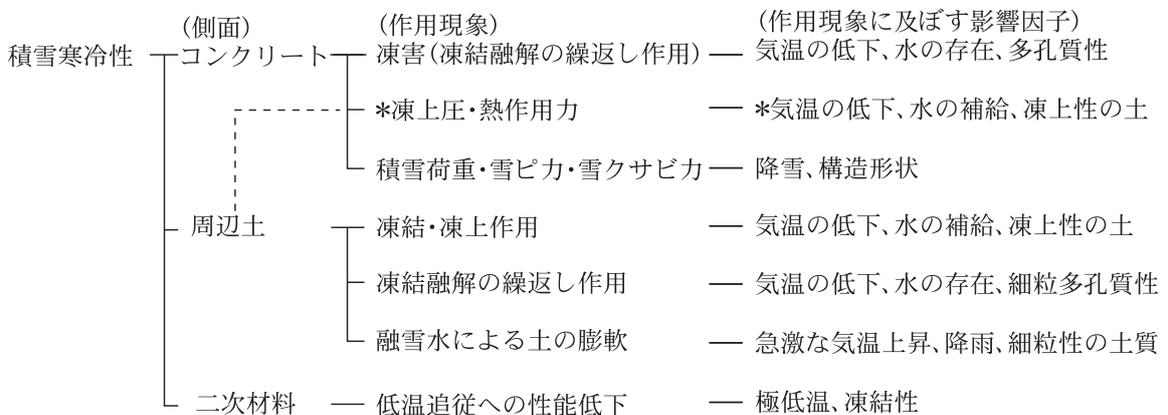


図3. 4 コンクリート構造用水施設の積雪寒冷性要因の関係

引用文献・参考文献

1. 北海道開発土木試験所；特殊土壌開発研究室
報文集、昭和54年6月
2. 農水省農村振興局；土地改良事業計画設計基
準 設計 水路工、平成13年2月
3. (独)北海道開発土木研究所；平成13年度 コ
ンクリート構造用水施設補修技術検討業務報告
書 平成14年3月

市街地を通過する用水路の改修設計

～既設水路の最大活用と新技術工法による改築設計～

鈴木 和志

I. はじめに

北海道の大規模水田地帯の農業用水路は、大正末期から昭和の初期にかけて建設された。これらの路線位置は、配水位の保持を目的としたコンターチャンネル方式、あるいは分配水の容易さ、土地利用の有効さを指向した殖民地区画沿いとしたものが多い。しかし、昭和40年代のかんがい用水の増強計画により建設された導水路などでは、新たな水源と既存水路とを最短ルートで結ぶものが多く、かつ市街地を通過するものがある。これらの用水路では、建設当時に比べて飛躍的に周辺の市街化と混住化が進んだため、一般的な用水路工事を施行できる環境にはない。改修にあたっては、多くの社会的な制約条件への対策が必須である。

本報告の用水路は、国営かんがい排水事業により改修が計画されている全長約7kmの基幹水路である。主要対象施設は、サイホン工(写真-1)と暗渠工(写真-2)である。この水路は、建設後40年余りを経過し、周辺は市街化が進み住宅が隣接している。また、街路整備が完了しており、道路下には上下水道が埋設されている。

事業計画における改修計画の原案は、地域の水利計画の見直しに伴い、通水量を $Q=6.6\text{m}^3/\text{s}$ から $7.9\text{m}^3/\text{s}$ に増量するため、通水断面の増強を目的とした全面改築であった。しかし、この計画では施設の立地する周辺環境や施工条件から、大掛かりな仮設工事が必要である。このことは、建設コストの増嵩を招くだけでなく、交通規制や振動・騒音の発生により地域住民の協力を得難い。

このような諸条件から、①既設サイホンの構造的機能の診断による継続使用の可能性の評価、②流下能力の増強対策、③水路全体の水頭配分の見直しなどを総合評価したほか、近接施工における最新の施工技術について検討を行った。

この結果、サイホン工は配分水頭の改善およびFRP板を使用した内面粗度の改良により、流下能力を増加させ既設利用を可能とした。また、暗渠工については、掘削、布設、埋戻しの各作業を連続して行うことが可能な開削型自走式メッセルシールド工法を採用して、開削開口部の最小化および施工期間の短縮を可能とし、周辺住民の理解と協力を得て無事に施工を完了することができた。



写真-1 サイホン工の周辺状況



写真-2 暗渠工の周辺状況

II. 施設の現状と改修計画の原案

1. 現況施設と周辺の土地利用

対象の用水路は、水源から既設の幹線用水路に注水する全長約 7km の導水路であり、国営かんがい排水事業により改修が計画されている。

路線位置は、水源と既設水路を最短ルートで結ぶため、**図-1**のように市街地中心部を通過する。水路の周辺は宅地化され住宅が隣接している。また、街路や上下水道網の整備が完了している状況である。用水路敷地は確保されているが、隣接住民による菜園や駐車場としての利用が見られる。

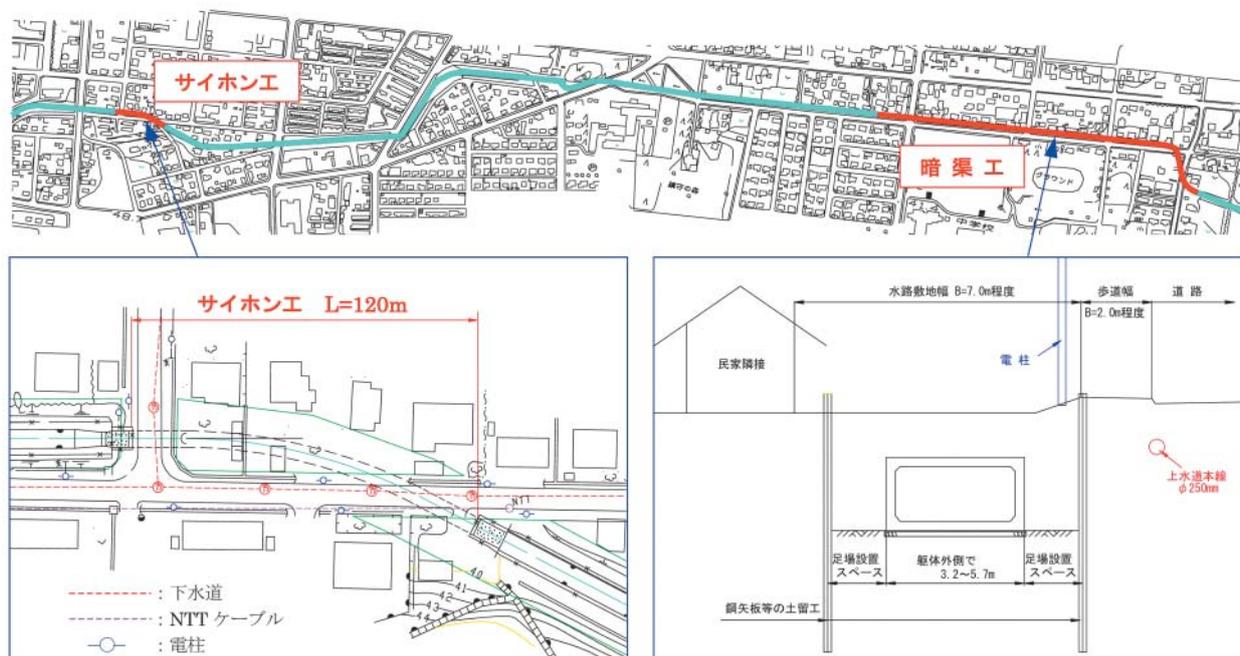


図-1 水路位置と周辺の土地利用

2. 改修計画の原案

通水量の増量に伴う断面増強計画である。地域の水利計画の見直しに伴い、通水量を $6.6\text{m}^3/\text{s}$ から $7.9\text{m}^3/\text{s}$ に増量するため、通水断面の増強を目的としたものであった。

(1) サイホン工の改築

増量による堰上げ背水を回避するため、現況の配分水頭内での開削による全面改築（現場打ち鉄筋コンクリート構造のボックスカルバート）、または増量分に相当するバイパス工（推進工事による管路工）を設置する方針であった。

主要対象施設は、サイホン工と暗渠工である。これらの上下流は、既に改修計画が策定済み、かつ一般的な用水路工事の施行が可能である。

サイホン工は、民家に隣接しながら道路（市道）を斜めに横断する。道路下には、上下水道、NTTケーブルが埋設されている。また、地上部にも電柱や建築物など多くの支障物件を抱えている。

暗渠工は、左岸に民家が隣接、右岸には道路が並行し、道路（市道）には上水道、電柱がある。施工スペースはわずか 7m程度しかないため、掘削には土留工の併用が必須である。

しかし、どちらの方法も施設の立地する周辺環境や施工条件から、単純な改築工事は不可能であり、大規模な仮設工事が必要であった。

(2) 暗渠工の改築

親杭横矢板を使用した土留掘削を行って、全面改築（現場打ち鉄筋コンクリート構造のボックスカルバート）する方針であった。しかし、地質調査で根入れ部に岩盤が確認されたため、親杭打設には補助工法が必要となった。また、掘削に伴う地盤の変状対策、工事に伴う振動・騒音対策および交通規制の早期解除が重要な課題であった。

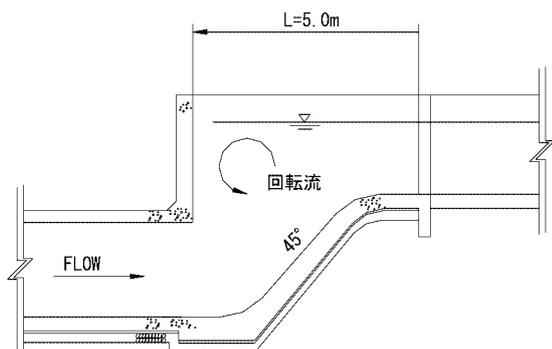
Ⅲ. 改修方針の検討

1. 構造的機能の評価

(1) サイホン工の評価

現況施設の劣化度と施設機能について診断調査を実施した。この結果、数箇所の目地部の欠損が見られたが、漏水等の症状は見られず良好な状況であった。しかし、施設機能としては、出口部の形状が原因で管体部に土砂・ゴミが溜まり易いことを確認した。出口部の形状は、**図-2** に示すとおり縦断角が 45° であった。このため、管内流速がスムーズに開水路に移行されずに回転流が発生し、流下土砂が排出され難いと判断した。

堆積土砂による通水障害率は、実測の損失水頭と実測通水量による水理計算の結果を対比し、概ね通水断面積比で 24% と推測された。



したがって、欠損した目地部の補修と管内の土砂堆積の発生原因である出口部の形状を改良することにより、管体の既設利用が可能と判断した。

図-2 サイホン出口の縦断形状

(2) 暗渠工の評価

診断調査の結果、全線に渡って外水の浸入が多く錆汁の流出箇所が見られた。鉄筋腐蝕先行型のコンクリートのひび割れや浮きが多数見られ、数箇所の鉄筋爆裂による剥落カ所があった。さらに市道に散布される凍結防止剤が外水とともに流入し鉄筋腐蝕の進行を助長していると推測された。

既に劣化期を迎えている上に劣化の進行要因が内在しているので、補修・補強をしても恒久的な補修効果が期待できないと判断し全面改築とした。

2. 水理的機能の評価

(1) 水頭配分の見直し

現況の所有水頭内において計画流量が流下した場合、既設利用としたサイホン工では損失水頭が増加する。また、全面改築する暗渠工では、水路幅が拡幅され所定の施工幅が確保できなくなる。

したがって、**図-3** に示すとおり、既に改修計画が策定済みではあるが、サイホン工および暗渠工に挟まれた開水路区間に着目して、この区間の所有水頭の一部を両者に配分し直し、サイホン工の既設利用および暗渠工の規模を原案より縮小することが可能となった。

この場合、開水路の水路幅を原案よりも拡幅することになるが、水頭の再配分を行った方が建設コストの縮減効果が大きい。

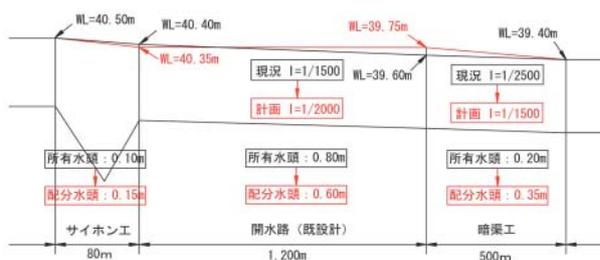


図-3 水頭の再配分

(2) 内面粗度の改良

サイホン工は、配分水頭を改善してもなお数 cm の堰上げ背水を起こす。このため、既設管体の内面に滑面材料をライニングし、粗度係数を良好にして通水能力を増加させる方法をとった。

粗度係数の改良目標値は、 $n=0.012$ とした。

3. 改修方針の策定

構造的機能および水理的機能の評価した結果、各施設の改修方針を次のとおりとした。

- 1) サイホン工は、配分水頭の改善および粗度係数の改良により流下能力を増加させ、既設利用を可能とした。
- 2) 暗渠工は、縮小した断面規模により最新の近接施工技術を使用した全面改築とした。

IV. 改修工法の具体的検討

1. サイホン工の内面粗度改良工法の検討

(1) 各種工法の比較検討

『新技術導入推進農業農村整備事業 (ARIC)』並びに『新技術情報提供システム (NETIS)』, 更には『官民連携新技術研究開発事業』の取り組みのほか、各種協会から情報を得て様々な工法の適用判定を行い、サイホン工の水利構造条件に適合する5工法をリストアップした。(表-1)

更に、これらの品質や長期的な安定性、仮設方法や経済性を考慮した比較検討の結果、『FRP トラフィンサート工法』を採用した。(図-4)

表-1 工法の適用判定

粗度改良工法の適用判定表

区分	工法名称	矩形	OT	最大内径 ≧2500	材質	粗度係数 ≦0.012
反転工法	ホースライニング工法	○	×	1,500	不飽和ポリエステル樹脂	0.012
	ICPブリース工法	○	×	2,500	不飽和ポリエステル樹脂	0.012
	インシチュフォーム工法	○	×	3,000	ビニルエステル樹脂等	0.012
	パイプフォーメーション工法	○	○	1,000	エポキシ樹脂	0.012
形成工法	オールライナー工法	○	○	1,200	不飽和ポリエステル樹脂	0.012
	パルテムSZ工法	○	○	800	不飽和ポリエステル樹脂	0.012
	EX工法	○	○	600	硬質塩化ビニル樹脂	0.012
	オメガライナー	○	○	400	硬質塩化ビニル樹脂	0.012
製管	自由断面SPRT工法	○	○	5,000	硬質塩化ビニル	0.012
	ダンビー工法	○	○	3,000	硬質塩化ビニル	0.012
鞘管	PIP工法(鋼管)	×	×	5,000	普通鋼管・巻込鋼管	0.013
	ステンレスライニング工法	○	○	1,000	ステンレス管	0.013
	ステンレスセグメント工法	○	○	3,000	ステンレス管	0.013
ライニング	ASフォーム工法	○	○	制限なし	レジンコンクリート	0.011
	レジンパネル工法	×	×	制限なし	レジンコンクリート	0.011
	FRPM板ライニング工法	○	○	制限なし	FPRM	0.012
	FRPトラフィンサート工法	○	○	制限なし	FPR	0.012
	3Sセグメント工法	○	×	2,200	硬質塩化ビニル	0.012

サイホン工内面粗度改良工法 工事費の構成対比

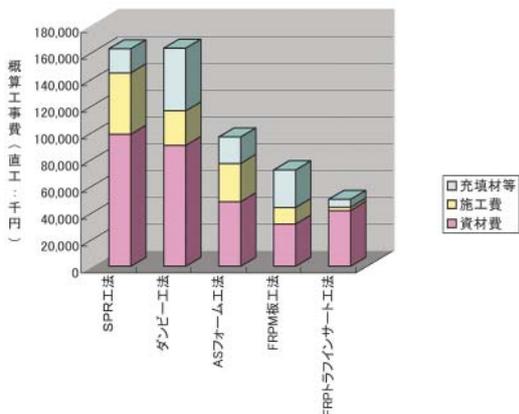


図-4 工事費の構成対比

(2) FRP トラフィンサート工法の概要

この工法は、既設水路の内面に工場製作されたFRP製のトラフをアンカー等で固定して、既設との空隙部にモルタル等を打設し、既設水路とFRPトラフを一体化させる工法である。(図-5 参照)

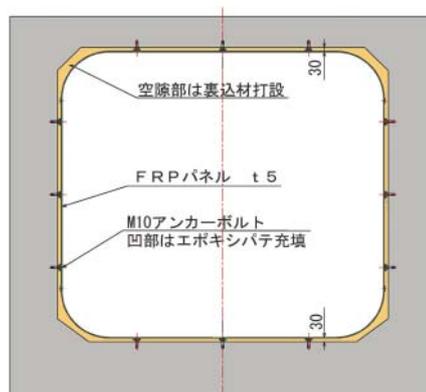


図-5 FRP トラフィンサート工法断面図

FRP (Fiber Reinforced Plastic) とは、ガラス繊維強化プラスチックの略称で、成形性の良い樹脂(熱硬化性樹脂)に補強材としてガラス繊維を加えたもので、軽くて強いという特性により様々なものに利用されている。FRPの強度は、成形方法によって、またガラスと樹脂の割合やガラスの構成などによって物性にバラツキがあるが、本工法では、標準成形法よりも高い強度が得られるハンドレイアップ成形法を採用している。

この工法の最大の特長は、図-6に示すように表面層にゲルコートという特殊塗装を施しており非常に滑らかであるため、粗度係数が小さい材料となっている。



図-6 断面図

また、材料が軽量なため水路の重量増加を最小限に抑えるほか、全て人力による運搬施工が可能であり、他の工法に比べて大幅に施工費を削減できる。機械的強度、耐久性、耐摩耗性、耐食性、耐候性などに優れているため、水路のライニング材料としては適していると判断できる。

2. 暗渠工の改築工法の検討

(1) 土留工法の比較検討

地質調査により水路基礎下 2m で固結度の非常に高い泥岩を確認した。鋼矢板や親杭などの土留工とした場合、従来の施工機械では、市街地における騒音・振動の発生、岩盤への根入れ長の確保困難、あるいは土留施工に要する日数に応じて掘

削溝の開放期間が相当長くなり、周辺住民の協力が得難いと予測された。このため、新技術工法の『硬質地盤クリア工法』および『開削型自走式メッセルシールド工法』を検討に加え、土留型式を含めた施工的要件による経済性の評価を行った。

この結果、二次製品を用いた開削型自走式メッセルシールド工法を採用した。(表-2 参照)

表-2 土留工法の比較検討

工法	土留材	工法の概要	施工費(千円)	日進長(m)
ケーシング回転掘削置換工法	鋼矢板	ケーシング回転掘削機械で必要根入れ深度まで掘削を行ない、掘削孔に砂を充填後、鋼矢板を圧入する工法	295,300	0.5
〃	親杭 横矢板	上記の施工方法において土留め材を変更した工法	283,068	0.5
地盤改良+圧入工法	鋼矢板	土留め材の岩盤への貫入を避けるために前面土を改良して受働土圧抵抗を大きくし、根入れ長を浅くする工法	348,683	1.0
硬質地盤クリア工法	鋼矢板	油圧圧入機にケーシングオーガーを装着し一連の作業を1工程で行う工法	271,116	1.5
開削型自走式メッセルシールド工法	メッセル	自走機能を持つメッセルシールド機の開削型を用いて、掘削・基礎・函渠布設・埋戻しの各作業を連続して行う工法	73,158	4.0

(2) 開削型自走式メッセルシールド工法の概要

自走機能を持つメッセルシールド機の開削型を用いて、掘削・基礎・函渠布設・埋戻しの各作業無騒音で音源があるのは油圧ショベルのエンジン音だけである。また、シールド推進に伴って、開削部が移動するため、必要最小限のスペースで施工でき周辺住民への影響が少ない。(図-7 参照)

本工法の最大の特徴は、推進時にメッセルを1枚ずつ地山に貫入させるため、地山を傷めずに地山とメッセルの摩擦抵抗を得て、油圧ジャッキの推力で自走するため、布設後の函渠に一切影響を与えない。図-8 に施工順序を示した。

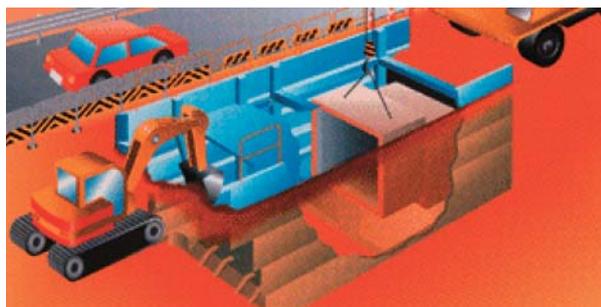
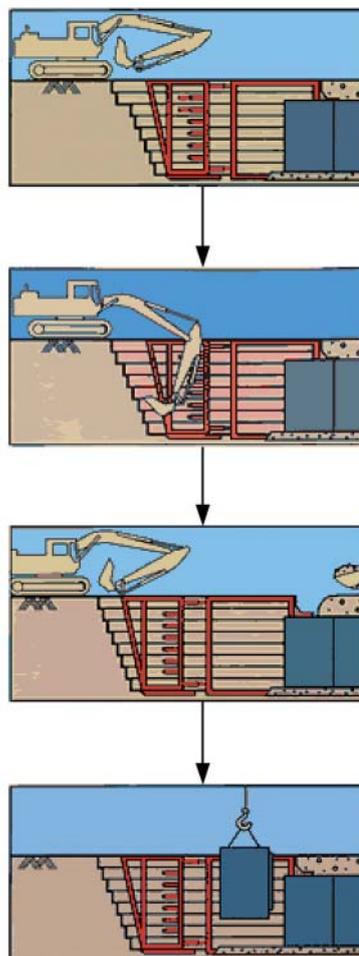


図-7 工法概念図



- ①メッセルの貫入
メッセルジャッキの伸びで両側メッセルを上方より順次地山に貫入する
- ②掘進
油圧ショベルで掘削した後、ボトムメッセルを推進し、次に全メッセルを縮み入れフレームを引付ける
- ③埋戻し
シールドの掘進と並行して後方で埋戻しを行う
- ④函渠の布設
函渠分(L=1.5m)だけ進んだところで、シールドテール部にて函渠を据え付ける

図-8 施工順序

V. 総合評価

1. 周辺環境への影響緩和

内面粗度改良工法は、まだ施工に至っていないが、現在の所有敷地内に資材の仮置きスペースを設置するのみで、一般交通の規制や電話、電気施設の調整などが不要であるため、周辺住民への影響を与えずに施工可能と考えている。

暗渠工の改築工法は、周辺住民の協力が得られ無事に施工を完了することができた。施工中においても振動・騒音等の苦情はなく、付近住民も興味を持った様子であった。(写真-3, 写真-4)

シールドの日進長は3.0m～4.5mと順調であり住宅前の掘削開放期間は、2日間程度で済ませることができた。



写真-3 暗渠工の施工状況



写真-4 周辺住民の様子

2. コスト評価

本件の取り組みにおける概略の試算によれば、表-3 のとおり、改築計画の原案に対して、約2.5億円のコスト縮減と見積もられた。

表-3 原案に対するコスト評価 (単位：千円)

	原案	検討案
サイホン工	160,000	60,000
開水路工	480,000	540,000
暗渠工	283,000	73,000
合計	923,000	673,000
縮減額 (率)	250,000 (27%)	

VI. おわりに

本件では、既設水路の改修計画においても単なる施設改修設計にとどまらず、水路系全体の水頭の再配分を実施したことによる大幅なコスト縮減と同時に、新技術工法の採用による周辺環境への影響緩和、更には環境負荷の軽減が実現したと評価している。

現在、ストックマネジメントの導入による既存施設の評価と有効利用、環境負荷の軽減といった視点での設計がより一層求められている。このような中で、公示された区間のみの着目では極めて制約された部分での検討に終始し、結果として自己満足の部分最適となることがある。したがって、常に点の構造物を線として、または面として総合的に評価していくことが益々重要な視点と考えている。

(株)フロンティア技研

参考文献

- 1) 中国四国農政局土地改良技術事務所：更新工法マニュアル(案)－土地改良施設の補修・更正技術資料一、平成15年11月
- 2) 土地改良測量設計技術協会：農業農村整備事業品質確保・向上対策事業 新技術等普及マニュアル(案)、平成15年3月

欧州におけるバイオエタノール事情

菊池 貞雄 井上 嘉明

はじめに

今までは当たり前のように使用していた灯油やガソリンなどの化石燃料が環境汚染の元凶であると言われはじめて久しい。フロンや二酸化炭素などといった地球温暖化ガスの排出量規制などの環境問題や、化石燃料の枯渇などの資源エネルギー問題など、我々の前途には多くの困難が待ち受けている。

しかし一方では、それらの困難をビジネスチャンスと捉え、「新しい社会システム」、「政策提案」、「新規技術」などによって雇用を創出しながら克服し、エネルギー的な危機を回避しようとする動きもみられる。特にヨーロッパでは「新しい社会システム」の構築に関して果敢な挑戦が進められている。

エネルギー問題は、石油や石炭などの「資源枯渇に関する問題」、大気汚染・水質汚濁などの「環境問題」や産業構造や雇用に関わる「経済問題」などに深く関わる「複合的」課題であり、政策の「横断的」取り組みが必要である。同時に、単一の地域や国家だけでは解決できない「広域的」課題でもある。

私が住む北海道・十勝地域でもバイオガスプラントの建設などエネルギー問題への取り組みが盛んになりつつあるが、当社ではタイミング良く2004年11月から12月にかけて、ヨーロッパのバイオエタノール利用の先進地を視察する機会を得た。

本稿では視察時に入手できた知見を元に、各国の特徴的な部分を紹介した。現在めまぐるしく変化し続けているバイオエタノール事情を理解していただく一助になれば幸いである。

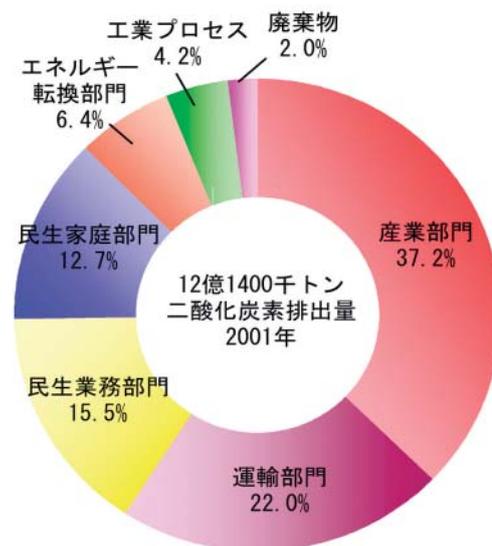
I エタノール化検討の背景

1. 温室効果ガスの削減

地球温暖化防止に関して、わが国は京都議定書で第1約束期間（2008年から2012年）において温室効果ガス（6種類：二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、代替フロン等3ガス）を基準年（1990年）比で6%削減することを約束し、これを達成するため各種の対策、施策が求められている。

しかし、2001年度におけるわが国の温室効果ガスの排出量は、基準年と比べ5.2%増加しており、その中であって北海道では1990年度から2000年度までに13.1%増加した。特に運輸部門と民生（家庭）部門の増加率が高くなっている。

増加の主要な要因としては、家庭やオフィスなどにおける電化製品や自動車の利用増加が挙げられ、1970年比では産業部門が20%程度の増加にとどまっていることに比べ、民生部門は3.1倍、運輸部門は2.7倍と大きく異なっている。



2. 運輸部門における二酸化炭素排出量の増大

わが国における最終エネルギー消費量は、図-2に示すように2001年度において、1990年度に比し、特に「業務その他部門」の伸び（30.9%増加）に次いで「運輸部門」の伸び（22.8%増加）が大きくなっている。

二酸化炭素排出量の増加が著しい運輸部門の内訳をみると、自動車約9割とそのほとんどを占めていることがわかる。自動車の使用燃料にはガソリン、軽油などがあるが、ガソリンの使用量は1990年に比して32%増加しており（図-4）、軽油（16%増）、LPG（6%減）に比べて増加が顕著である。

慢性的な交通渋滞や乗用車の排気量増加の傾向を反映して、実走行燃費も1990年と比較して低下を続けており、2001年では8.65km/Lと走行環境の悪化も問題である。

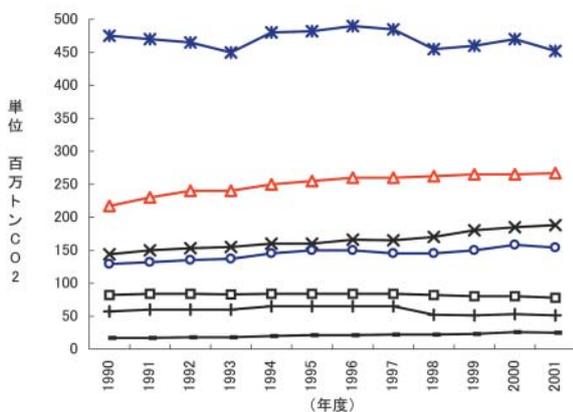


図-2 二酸化炭素の部門別排出量の推移

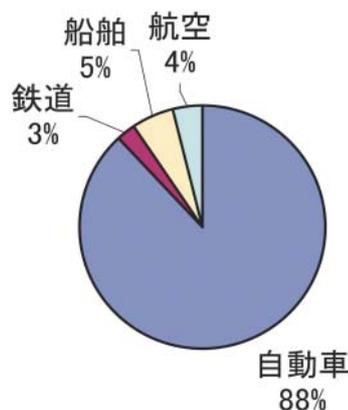


図-3 運輸部門における輸送機関別の二酸化炭素排出量割合（2001年度）

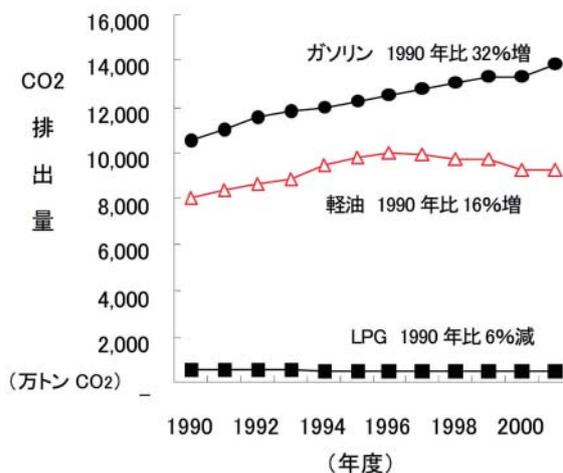


図4-1 自動車からの燃料別CO2排出量の推移

3. バイオエタノール利用による二酸化炭素排出削減の可能性

バイオ燃料は化石燃料と異なり生物資源であることから国内で再生産が可能であり、カーボンニュートラル*な燃料として二酸化炭素排出削減に大きな効果があると期待されている。バイオエタノールは後述するように既に各国でオクタン価向上剤としてガソリンに混ぜて使用されている。

わが国で現在消費されているガソリンがすべてE3ガソリン（エタノール3%混合ガソリン）に変更された場合、前述した運輸部門の二酸化炭素排出量約2億5,600万トンの1%にあたる約250万トンが削減される計算になり、そのために必要となるエタノールは180万kLといわれている。（環境省ホームページ

<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/renewable>

国が掲げる目標のとおり、今後 2010 年度に向けて 1990 年度と同程度まで CO₂ 排出量を削減するためには、バイオガスや風力発電など新エネルギーへの取り組みと同時に、運輸部門における取り組みが効果的と考えられる。

バイオエタノールやバイオディーゼル燃料（BDF）などのバイオ燃料利用に向けた取り組みは、乗用車やトラックなど既存の車両を今までと同様に使用しながら効果を上げられる対策として各国で取り組みが始まっている。

※カーボンニュートラル

石油などの化石燃料は長い時間をかけて大気中の炭素を地球に蓄積・固定してきた。そのため化石燃料を大量に消費すると、蓄積された炭素が炭酸ガスとして急激に大気中に放出され、大気中の二酸化炭素量が大きく増加する。

生物由来の有機質を原料とするバイオ燃料は、元来植物が大気中の二酸化炭素を基に光合成によって生産した有機物が原料であるため、それらを燃焼して二酸化炭素として放出しても、大気中の二酸化炭素収支はプラスマイナスゼロになるという考え方。

II 海外の取り組み

1. エタノール利用の歴史と現在の潮流

自動車燃料としてのエタノール利用の歴史は古く、アメリカではヘンリー・フォードが1908年、T型フォードを設計する段階で既にその実用化を考えていた。また、1920年からガソリンにエタノールを25%混ぜた燃料が売れ出され、1930年代にはエタノール混合ガソリンを扱うスタンドが全米で2,000カ所程度できたが、原料となるコーンの価格が高く、1940年代に石油価格が下落すると姿を消した。

しかし、1979年の石油危機以降、代替エネルギーとして再登場し、昨今の地球温暖化問題や化石燃料の資源枯渇問題などを背景にして脚光を浴びつつある。エネルギー資源の調達に苦心してきた国々の中には、早くからエネルギー自給手段としてバイオエタノール生産に力を入れてきた例も多く、既にブラジルでは年間1,000万kLを超える生産力を有するに至っている。

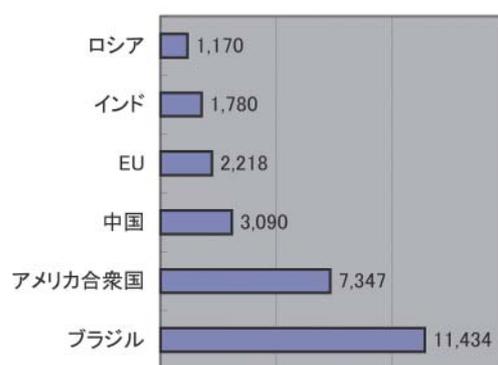


図-5 2001エタノール生産量[1000KL]

現在、法令などでガソリンにエタノールを混合することを認めている国は下表のとおりで、既に多くの国がエタノール混入を推進している。中でも、ブラジル、アメリカ、カナダ、スウェーデンでは高濃度エタノールの使用が認められており、自動車メーカー各社もエタノール濃度85%までの燃料に対応可能なFFV（Flexible Fuel Vehicle）の開発を進め、ブラジルやアメリカでは販売が行われている。

法令等で認められているエタノールの混合割合	国、地域
～5%	EU、インド、日本、ポーランド
～10%	アメリカ、カナダ、中国、タイ、南アフリカ、ペルー、コロンビア、パラグアイ、オーストリア、メキシコ
10%～	ブラジル、アメリカ、カナダ、スウェーデン

・（出典）自動車へのエタノール混合ガソリン導入の概要

※アメリカ、カナダでは、通常の車両では10%までで、高濃度エタノール対応車両（FFV）では85%まで認めている。

2. EUにおける取り組みの概要

EUでは1997年に「再生可能エネルギー白書（Energy for the future:Renewable Sources of Energy）」が発行され、一次エネルギー総供給量に対する再生可能エネルギー供給比率を2010年の段階で12%に引き上げることを目標とし、地域内資源を有効に活用して再生エネルギーを利用し、

雇用を拡大することが計画された。

2000年には「エネルギー供給の安全保障戦略 (Green Paper Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply)」が策定され、2020年までに輸送用燃料の20%を石油代替燃料で供給する目標を掲げた。

2003年5月には「自動車用バイオ燃料導入促進にかかる指令」が成立し、輸送系燃料のうち05年末に2%、10年末には5.75%をバイオ燃料に置き換えることが示され、EU加盟各国へ法制化を求めた。

再生可能エネルギーに関しては先進地であるヨーロッパが「バイオマス」による発電・熱販売などを積極的に進めている。その背景には高い食料自給率、EU内部の経済構造の違い、余剰農産物の発生など、日本との農業事情と大きく異なっていることを踏まえておかななくてはならない。しかし、そこにおいて展開されている思想・施策はバイオマスに恵まれた北海道の将来にむけて大いに示唆に富んでいるといえよう。

以下では、ドイツ、スウェーデン、フランスの順に主要機関に対して行ったヒアリング内容を基にして、各国のバイオエタノールに関する展開状況を述べる。

3. 視察報告

①ドイツ

訪問先：Juergen Ohlhoff氏、消費者保護局（ベルリン）

Birger Kerckow氏（FNR バイオエネルギー ヨーロッパ協業）

Norbert Schmitz氏（MEO コンサルタント会社）

（1）バイオエネルギー政策の目標

京都議定書ではEUの削減目標は7%であるが、ドイツではそれ以上でしかも長期にわたる目標値を設定している。目標は以下のとおりである。

・二酸化炭素を1990年と比較して2005年までに25%削減する。

- ・温室効果ガスを対1990年比、2008年12月までに21%まで削減する
- ・2010年までに一次エネルギー*消費の4.2%、電力の12.5%を再生可能なエネルギーによって提供する。
- ・2020年までに、一次エネルギー消費の10%、電力の20%を再生可能なエネルギーによって提供する。
- ・生物由来燃料の目標として2005年までに2%、2010年までに5.75%のシェアを持つ。
- ・農村地域での雇用の創出・維持を図る。

生物由来のバイオエネルギーは、2030年には全ドイツのエネルギー需要量の17.4%をバイオエネルギーで供給することを目標としており、その際に必要とされる土地の面積は440万ヘクタールである。その内訳は、木質から34%、エネルギー作物、麦稈から59%、バイオガスから7%となっている（図-6）。

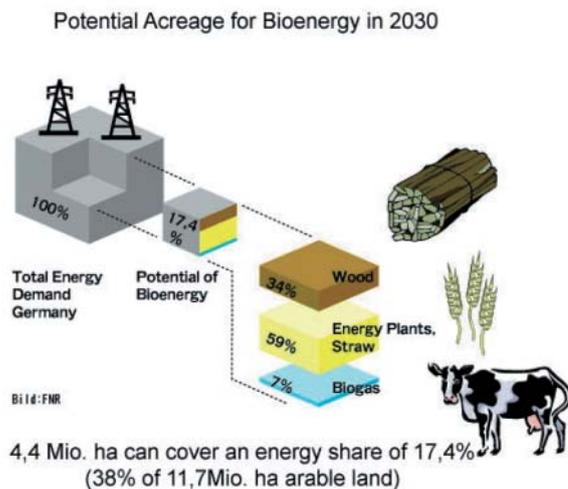


図-6 2030年におけるバイオエネルギー割合

（消費者保護局提供資料を基に北王コンサルタントが作成）

※一次エネルギー

石油、石炭、天然ガスなど天然資源そのものを改変・改質しないで利用できる形態のエネルギー。これに対し、電力やガソリンなど一次エネルギー資源を汎用性の高い形態に加工作業や変換をしたものを二次エネルギーという。



■KWS T社(ハノーバー)のエタノール輸送用車両

(2) バイオマスエネルギーの現状

……3.1%が再生可能エネルギー

2003年では、既に全ドイツにおけるエネルギー需要の内 3.1%が再生可能エネルギーによるものである。この内 62%がバイオマスエネルギーで占められており、ドイツ全体のエネルギー消費の 1.9%を占めている。エネルギー部門別では電力の 1.2%、熱源の 3.8%に相当する。

温暖化ガスの排出量が増大している輸送用燃料エネルギーの内 0.9%がバイオマスエネルギーである。そのほとんどが、ナタネ油などから生成するバイオディーゼルであると思われる。

(3) バイオ燃料事情

……バイオディーゼルが先行

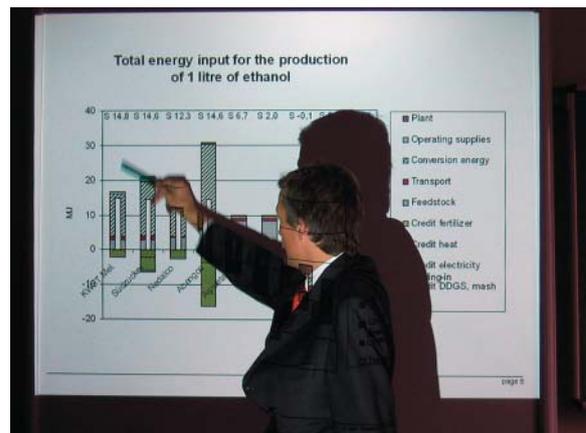
近年におけるバイオエタノール研究開発は 1980年から 1990年まで行われ、1990年に出された結論は、「バイオエタノールは、経済的、環境的に実行不可能である」というものであった。この時点では石炭や石油の価格が今より安価であったことも影響している。

そのためドイツではナタネ油などによるバイオディーゼルが先行して普及することになった。

2003年までは混合されない純粋なバイオディーゼルのみを対象として鉱物油税を免税していたため、市場にはピュアなバイオディーゼルしか存在していなかったが、2004年からバイオ燃料は混合されても免税されるようになり、需要が拡大して

いる。現在建設中の 50 万トン級プラントを含めてバイオディーゼルの生産能力は年産 110 万トン以上になる。

一方、バイオエタノールは今まで LCA^{*}的視点から、化石燃料に対する二酸化炭素排出量の優位性が疑問視されていたが、プラントの新規技術の導入などにより LCA 解析が再評価され、エタノールプロジェクトが動き出し、2005 年から 50 万トンの生産が始まるところである。



■エタノールの LCA を説明するシュミット氏

※ LCA (ライフサイクルアセスメント)

製品やサービス等が及ぼす各種の環境負荷を、その製品等のライフサイクル (原料採取-製造-加工-流通-販売-使用-リサイクル・廃棄) の全段階 (いわゆる、ゆりかごから墓場まで) で分析、評価する手法。

(4) バイオ燃料マーケット

……バイオディーゼルとバイオエタノール

ドイツではガソリン車よりディーゼル車に人気があり、乗用車だけを見ても 2003 年のディーゼル車の新車登録比率は半分程度である。貨物自動車はほとんどディーゼルであるため、ガソリンの消費量は年間 260 万トンであるが、ディーゼル軽油の消費量は 3,300 万トンとなり、軽油市場の方が圧倒的に大きい。ドイツでは過去 20 年程の間に技術開発がなされ、パワーと経済性においてディーゼルエンジンがガソリンエンジンを凌駕している。この傾向は今後とも大きく変化することはないと思われる。

規制面においては、全乗用車に対して走行距離

1 km 当たりの CO₂ 排出量制限が決められている。2008 年までは 1km あたり 140g であるが、2012 年には 120g にまで削減する方向で検討中である。ディーゼル車はガソリン車に比べて CO₂ 排出量と燃費では優れているが、NO_x, SO_x に関してはガソリンよりも劣っていることは今後の課題である。

※ドイツ国内のディーゼル乗用車の国内販売比率は 48% (2004 年 10 月) である。ディーゼルエンジンはガソリンエンジンと比較して、二酸化炭素排出量が 3~5 割少なく、燃費が 4 割程度向上するため、二酸化炭素削減に効果が大きいとされている。

(5) 液化バイオ燃料の将来と政策

2004 年~2009 年まで全てのバイオ燃料は鉱物油税が免除される。バイオ燃料の拡大は国家的なエネルギー持続可能戦略として重要な役割を持っているので、この免税措置の延長も考えられる。バイオ燃料周辺の今後の戦略としては以下のことが検討されている。

- ・第 1 段階はバイオエタノール、バイオディーゼル等バイオ燃料の導入
- ・第 2 段階は、バイオマスの液状化 (Biomass-to-Liquid (BTL))
- ・第 3 段階は、バイオ燃料の水素利用

(6) 必要となるエタノール量

現在の CEN (欧州標準化委員会) が基準 (EN 228 ; EN は欧州規格) では、バイオエタノール 5% 混合までを許可している。これはエタノール量にして 160 万 m³ になる。EU のガイドラインに従えば 2010 年の輸送エネルギーに占めるバイオ燃料の目標値を 5.75% としているので、エタノール量だけで換算すると 280 万 m³ に相当する。280 万 m³ のエタノールを生産するためには、小麦で 100 万 ha、ビートで 42 万 3 千 ha の農地を必要とする。

(7) エタノールの経済性

現在のドイツ国内におけるガソリンの小売価格は約 1 ユーロ/L 程度である。ドイツのエタノール製造コストは、0.5 ユーロ/L 程度と考えている。

そのための原料として想定されている小麦、ライ麦などの穀物およびビートは国内では最も価格競争力のある原料であるが、ブラジルから輸入されるのエタノール価格は 0.27 ユーロ/L であるので、現在、輸入関税として、0.192 ユーロ/L を課税しており、ブラジル産の低価格エタノールと国内産エタノールとのギャップを埋めている。

(8) エタノール生産用小麦の特性

現在のところ、バイオエタノール原料としての専用種はないが、エタノールを生産した後の副産物として飼料として販売できる DDGS*の需要があることから、スターチの含有量が多くてタンパク質の量が少ないもの、マイコトキシンなどの毒物を含まない品種は適性がある。エタノール発酵工程から発生する残渣物 (DDGS) はタンパク質の割合が高いので家畜飼料として有望である。

(参考資料) 小麦と DDGS の成分比較 (水分を除いた成分の比較)

	粗タンパク質	脂質	炭水化物	灰分
小麦	11.4%	2.6%	84.7%	1.3%
DDGS	31.3%	9.6%	53.8%	5.3%

※DDGS (ジステラース・ドライド・グレイン・ソリュブル) :

エタノール発酵蒸留残渣

穀物を原料としてエタノール発酵を行った際の残渣を乾燥処理したもの。タンパク質含量が高く栄養価に富むため、諸外国では家畜飼料としての需要が高い。(数値はカナダ産のもの)

(9) 農業政策として

政府の農業保護施策は、かつては補助金が多かったが、現在は農家を維持するための作付け面積に対する保護があるものの、作物毎の補助は、特に穀物に関してはない状況である。

エタノール原料となる穀物では小麦に比べるとライ麦が安く取引されている。砂糖については現在保護政策があるが、今後は砂糖の生産量が低下し低価格化する可能性があるため、砂糖のエタノール化はビート農家の選択肢を拡大し、需要と価

格が向上する可能性がある。

再利用資源として栽培するための使用されるエリア
2004年 ドイツにおける食用以外の作物栽培状況 (単位: ha)

	Base area (作付面積)	Set aside area (生産調整地面積)
でんぶん	125,000	—
砂糖	7,000	—
菜種油	650,000	209,907
ひまわり油	10,000	747
亜麻仁油	3,000	96
繊維作物	1,500	—
薬用作物	4,000	465
その他	27,000	3,902
小計	827,500	215,117
合計	1,042,617	

※Set aside area: 食品となる穀物を作らない生産調整地。バイオエタノール原料は作ってもよい。生産調整面積は毎年変化する。生産調整地に対して300ユーロ/haの支援金が出ている。

(10) 環境税制の概要

ドイツでは地球温暖化防止の実効を上げるため、複合的な視点から税制改革を行っている。税収の規模は、2003年の実績で143億ユーロ(約1兆8,900億円)、2003年以降は約190億ユーロ(約2兆5,000億円)であるが、この制度の下で環境への取り組みを積極的に行うことが、同時に雇用の確保等につながる仕組みとなっている点などは、わが国も大いに参考にすべきであろう。すなわち、環境税を課税すると共に、その税収の大半を社会保険料の引き下げに充当し、雇いを拡大することを目的としている。このような枠組みを設けた上で、社会の変革を促すため、再生可能エネルギーに対する非課税や、公共輸送である鉄道や夜間蓄熱式暖房に対する税率軽減などの様々な減免措置が講じられている。この税制改革の実施前には、CO₂排出量への影響はもちろん、経済成長や雇用への影響も検討された。そして、2002年までに連邦環境・自然保護・原子力安全省がまとめた資料によると、改革の効果は、CO₂削減量で700万トン、

自動車相乗りサービス会社の売上25%増加、太陽熱温水器の製造メーカーが2桁の成長などと試算されている。

②スウェーデン

訪問先: アグロエタノールAB社 流通・営業担当 ヤン・エリック アンダーソン氏

(1) バイオマスエネルギー施策と生産の概要
スウェーデンは既にEU指令に対して国が掲げた目標(2005年までに輸送用燃料の2%分を再生可能な燃料に置き換え)は既に達成済みである。おそらく2010年までの5.25%の目標値も達成できるだろう。



■アグロエタノール社プラント全景

アグロエタノール社のプラントは、国内の農民連合が所有しており2000年から稼働を始めた。原材料は周辺農家から確保する小麦と大麦で、年間13万5,000トンに上り、純度99.8%のエタノール5万トンを製造・貯蔵できる。

(2) バイオエタノールの利用実態

……レギュラーガソリンはすべてE5
スウェーデンでは自動車のレギュラーガソリンといえばすべてバイオエタノールを5%混合した「E5ガソリン」になっている。85%エタノール(E85)対応の車も実用化され、1,500台ほどが走行している。

同国内のガソリン消費量は年間540万トン（1990年）で、エタノールは年間27万トンが使われている。

（3）税制措置

スウェーデンは「環境税」を発案した国であり、ガソリンには多くの税が課せられている。ガソリン1L当たりの課税は以下のようになっている。

- i) エネルギー税 2.84クローネ（約45円；1クローネ=16円として計算）
- ii) 二酸化炭素税 2.14クローネ（約34円）
- iii) 付加価値税（日本の消費税に相当）25%を加算

ガソリン原価は3クローネ（49円）であり、このとき合計6.2クローネ（約99円）が税金総額となり、末端価格はE5が10クローネ（160円）、E85は7.5クローネ（120円）となっており、E85のほうが安い。また、エタノール車の普及のために、E85車には市街地での駐車料金を無料にするなどの優遇措置がある。

（4）エタノールの輸入

スウェーデン国内で消費されるエタノールの約8割はブラジル産などの輸入品が占めており、オランダのロッテルダムで輸入エタノールにガソリンを1%添加し（飲用防止のため）、国内各地へ搬入される。スウェーデンへ入ってくる価格は3.5クローネ（44円）/L程度である。

視察したアグロエタノール社は、港から2km程度の位置にあり、入出荷に配慮した立地となっていた。

政府は、低価格の海外エタノールと国産品を併用し、輸入関税で得た“差益”をエタノール事業に仕向けている。工場と燃料系企業が5年間の契約を結んで共同プロジェクトを推進しており、国産品と輸入品の抱き合わせ販売によってバランスを保っている。

（5）流通事情……ガソリンスタンド

年間2百万L以上を取り扱うガソリンスタンドでは、任意でE85*を取り扱っており、その数は現在約200カ所に上っている。今後はE85取り扱いの義務化とそのため整備が法制化される可能性がある。現在のところE85自動車あまり多くないため、E85はスタンド1店舗当たりの平均で115L/日程度しか販売されていない。



■スウェーデンのガソリンスタンド

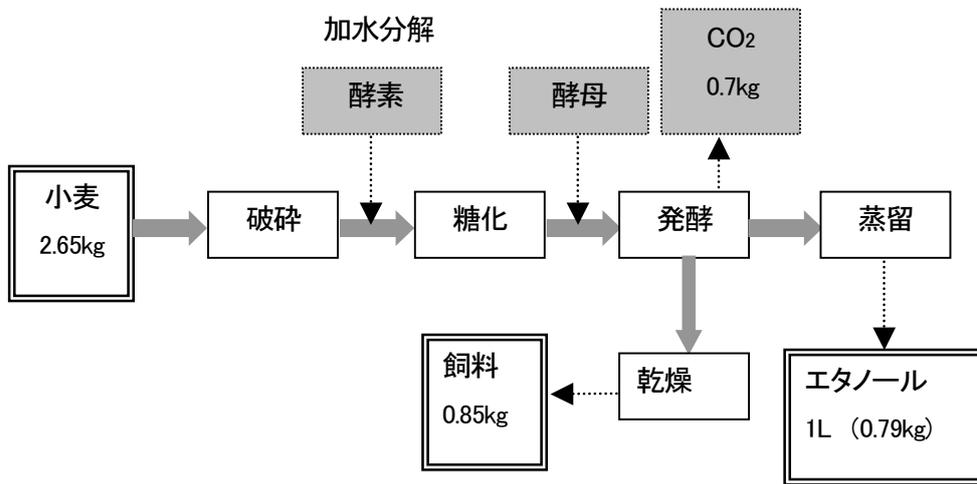
※「E85」はエタノール85%である。また「95 oktan」は通常のガソリンで、エタノールが5%混入されている。上から順に95okutan(151円)、E85(125円)、ディーゼル(140円)。

（6）製造技術

……酵素法によるエタノール化のフロー

アグロエタノール社資料によると、純度99.6%のエタノール1Lを得るためには、2.65kgの原料小麦が必要となり、その生成過程で0.7kgの二酸化炭素と0.85kgのDDGSができる。エタノールの製造プロセスは、原理的には酒造りと共通である。原料となる小麦を粉碎し、酵素を注入して液状化・糖化させ、これにイースト菌を添加してアルコール発酵させる。このとき副生する発酵残渣がDDGSであり、家畜飼料として利用価値が高い。発酵液は蒸留を繰り返し、純度を高めて最終的に1Lのエタノールを得る。

DDGSは、保存性を高めるため乾燥処理をしており、そのために多量のエネルギーが投入される。



アグロエタノール社プラントにおけるエタノール製造フロー(訳・作成 北王コンサルタント)

③フランス

訪問先：Tereos（テレオス）社
 広報部長 Philippe Pelzer 氏

(1) テレオス社の事業と沿革



■テレオス社のプラント

テレオス社は砂糖生産グループで、ヨーロッパのリーダーを目指している農業者共同組織である。農家は株主であると同時に原材料の提供者である。主にビート糖をはじめ、穀類からブドウ糖やバイオエタノールを生産している。

この地域で最初の農協は1932年に発足しているが、現在のテレオスグループは2004年に2つの企業グループが合併して創られ、パリの北部に大きな生産地域を所有している。

株主の農業者は9,000戸、社員数9,000名、世界中に25カ所の工場を持っている。雇用形態は通年雇用が半分で、残りは季節雇用である。通年雇

用の内50%は海外、残りは国内で働いている。

アルコールの使用目的は、輸送用バイオエタノールとして20%を消費しているほか、飲料用に32%、香水用で15%、その他、薬用などに使用されている。

(2) 製造技術

ビートを素にしたエタノールの生産工程は砂糖製造副産物の低質シロップを使用し、それを水に溶かして薄める。糖分のあるものを発酵させ、いわばワインのようなものを作り、それを蒸留する。96%まで蒸留してからゼオライト膜処理により水分を取り除き、99%のバイオエタノールを造る。

小麦の場合は、澱粉質を得るために粉碎し、それを酵母で発酵させ、もろみを得て蒸留後、水分を除いてバイオエタノールを得る。

テレオス社の農作物由来のエタノール生産量スペックは以下のとおりである。

1トンの小麦からは350Lのエタノールと350kgの副産物（タンパク質を多く含む飼料用）が生産され、1haの小麦畑からは3,200Lのエタノールが生産できると計算している。

ビートから取れるエタノールの量は、1トンの原料から約100Lであり、栽培面積1ha当たりになると7,500L程度である。

(3) テレオスグループのプロジェクト

テレオスグループは、ブラジルでエタノールを35万kL生産している。フランス国内では、小麦由来で4万kL、ビートから3万kLを生産している。

他の地域では小麦を使った大型プロジェクトがあり、生産能力30万kL、1,000万トンの小麦を使用する大プロジェクトである。チェコでも小麦から4万kLの生産を目指している。

(4) EU指令とフランスの対応

EUでは、既にバイオエタノール生産工場が稼働しているスウェーデン、ドイツ、スペイン、フランス、デンマークなどでもプロジェクトが動き出している。

フランス首相も声明を出し、2007年までにフランスのバイオエタノール生産量を3倍にし、さらに2007年から2010年までに2倍にするとしている。EUでは加盟国に対してバイオ燃料を含んだ燃料の税金引き下げを強化することになっている。

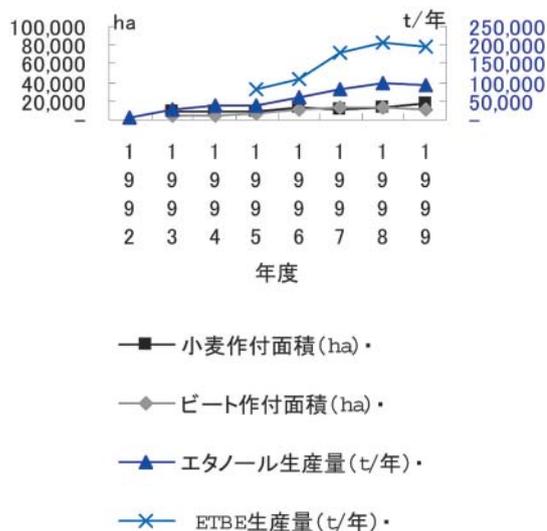
これらの方針により、EU全体で2010年には1,400万kL、フランスでは2010年125万kLを目指している。

そのときの原材料比率は、ビートから45万kL、小麦から80万kLで、必要となる耕地はそれぞれ6万ha、24万haとされる。

(5) ビートの価格カテゴリー

ビートの価格については、いくつかのカテゴリーがあり、契約によって異なる。

まず、EUの割り当て分については買い取り価格が補償されており高額である。割り当て分をのみ出した量については国際価格に即した金額で買い取られる。価格帯はEU割り当て分で5,600円(40ユーロ)/トン、最も安くて2,800円(20ユーロ)/トンである。エタノール用でも砂糖用でもこの値



フランスにおけるエタノール原料作物の作付面積とエタノール・ETBEの生産量

段の範囲で取り引きされる。

(6) バイオ燃料の二つの流れ

現在のところフランスではエタノールをそのままガソリンに混入せずにETBE[※]に改質して使用している。

バイオ燃料には二つの大きな流れがあり、一つはガソリン用としてサトウキビ、ビート、穀類(小麦、トウモロコシ)から生産されるエタノールをETBEとして使用する方法、そして大豆、なたね、ひまわりなどから植物油を造り、バイオディーゼル燃料を造る流れがある。

テレオス社ではガソリン用の流れだけを行っている。現在フランスでは7千~8百万リットルのエタノールを造っており、その大部分はビートから製造されている。

※ETBE (エチル・ターシャリ・ブチル・エーテル)

エタノールを原料として改変したもの。ガソリンのオクタン価向上剤として添加される。既存の石油供給インフラの一部を有効に活用でき、タンク内で相分離を起こさないなどのメリットがある。ただし、米国では地下水汚染の原因が疑われその使用が禁止されている。

(7) 農業政策……エタノール用小麦価格

小麦の買い取り価格は1トン当たり14,000~15,400円(100~110ユーロ)位を予定している。ヨーロッパの食品市場は長期展望でみると飽和状

態にあり、農家も新しい市場に期待している。農業者は環境対策のおかげで新しい市場ができていたのでエタノール化に対して希望を抱いている。

しかし、主要な生産国の一つブラジルとの価格差は1:3くらいであり、今後も政策支援は必要となろう。

まとめとして

ヨーロッパではダイナミックなエネルギー政策の転換が進んでいる。その手段として、バイオディーゼル、バイオエタノールあるいはバイオガスなどのエネルギー政策がEUの決めた目標に向かって進められている。ここで重要なことは、これらの施策の推進が、技術論だけではなく農業政策、エネルギー政策など多様な観点から進められていることである。特に各国とも農業政策との連携を強く意識していた。

わが国においても、世界貿易機構（WTO）や自由貿易協定（FTA）による農産物や農業製品の輸入拡大が進むと、従来の素材提供型の農産物生産のあり方が変化し、さらに低価格化に向かい地域農業経営に逆風が吹くことが予測される。

大規模畑作地帯の農業が将来にわたって安定的に発展するためには、優良農地の維持、営農技術の継承と的確な輪作体系の維持などが必要であり、そのためにも農産物の付加価値化や新たな販路を生み出す産業創出への取り組みによる収入確保が必要である。

十勝では国内産ビート糖の約45%を生産しているが、現在では国内において生産過剰の傾向が見られる。2004年度はビートが4年連続の高収量であったため、「過剰分」は国の価格支持制度の対象から除外され、生産者が1kg当たり1,000円を抛出するという事態が発生した。

また、小麦は全国の約3割が十勝で生産され、十勝の主要畑作物4品目の中では最大の作付面積になっている。これらビートや小麦などの販売量・価格の低下は地域経済に大きな打撃を与える。さまざまな角度から「量」と「価格」を維持でき

る仕組みが必要であり、そのためにもエタノール化はひとつの可能性として検討されるべき課題である。

化石燃料から提供される「熱」や「電力」は生活や産業の隅々にまで行き渡っており、社会の根幹を支えている。そのためエネルギー政策が「複合的」で「広域的」であることは論をまたない。従来、多くの人が意識しなかったエネルギーの利用が制限される時代には、温暖化ガスの削減、自然エネルギーの利用、化石燃料の削減などの課題に対応し、実効の上がる新しい社会システムが要求されるはずである。バイオエタノールなどの新しいエネルギーは、当然既存の流通システムとの不整合が問題となろうが、その理由だけで葬る事の出来ない課題であろう。

しかし、小麦で1/8程度、ビートで1/3程度の農産物国際価格水準を背景にしたヨーロッパのエタノール製造システムがそのまま日本に採用出来るとも思えない。課題が複合的であることを利用する知恵の出し方を考えていく必要があるだろう。

（北王コンサルタント株）

航空レーザ技術を利用した防鹿柵設計

小林 伸行 川邊 馨 滝澤 昭博 實松 千尋

1. はじめに

エゾシカはヒグマとともに北海道を代表する大型哺乳動物である。

近年、エゾシカの個体数増加に伴い人間社会と生活圏の距離が狭くなるにつれ、農作物・森林への被害が問題となっている(図1)。このような野生動物の問題に対し、それらの個体数管理は様々な社会要因が関係しており、その対応は難しく、現状でのエゾシカ被害対策は、防鹿柵(ネットフェンス)を用いて圃場を囲みエゾシカの侵入を防ぐことが有効な手段の一つとなっている。将来的には、地域の自然条件や社会条件を考慮しながら、農・林業被害を軽減させ、エゾシカの広域的な生息を保全しうる持続的な棲み分けの対策が必要であり、自然環境とバランスのとれた人間社会生活が営まれることが望まれる。

本業務は、エゾシカによる農業被害を軽減させ



図1 エゾシカによるビート苗の被害状況

るための防鹿柵設置実施調査設計であるが、設計精度の向上並びにルート選定への早期移行を考慮し、航空デジタルカメラ及びレーザ計測装置を用いた空中写真測量を実施し、防鹿柵設計を行った事例である。

2. 航空デジタルカメラ及びレーザ計測装置

従来、撮影時のカメラの傾き、位置は直接測定できなかった為、現地に設置した対空標識や水準測量の成果を基に空中三角測量を行い、傾き、位置等の外部標定要素を求める間接定位を行ってきた。今回、使用した航空デジタルカメラ(図2、表1)及びレーザ計測装置(図3、表2)には全



図2 デジタルカメラ(DSS)

表1 DSS仕様緒元

画素数	4092×4079ピクセル
ピクセルサイズ	0.009mm
バンド	カラー/赤外カラー
焦点距離	55mm / 35mm
視野角	37° / 55.4°
地上分解能	0.15m ~ 1 m



図3 レーザ計測装置 (ALS50)

表2 ALS50仕様緒元

計測高度	500m～4,000m
スキャン角度	75° (max)
スキャンレート	70Hz (max)
パルスレート	83kHz (max)
反射パルス数	4パルス
精度	高さ±13～30cm
	水平位置±11～46cm

地球測位システム (Global Positioning System)/慣性計測装置 (Inertial Measurement Unit) が搭載されており、これらの機器 (以下 GPS/IMU) により、直接的にカメラの傾き、位置の情報を取得できる (図4)。これにより、空中三角測量の工程が省略可能であることに加え、詳細な地形データが取得できる。

3. 地形図作成業務

3.1. 業務概要

地形図の作成にあたっては、適切な防鹿柵ルートを選定を目的とし、路線から左・右それぞれ90m以上の中で地形図を作成した。また用地線・地番・所有者名を合成することにより、用地的制約の有無・所有者毎の防鹿柵設置による占用面積及び借地面積の把握を容易にする為「地形地番合成図」としてS = 1 : 2,500の図化を行った (表3)。

表3 業務内容

空中写真測量	航空デジタル撮影及びレーザ計測	321.09km
	直接定位計算	41コース 2,948枚
	三次元座標データ算出	29.26km
デジタルマッピング	数値図化 (レベル2,500)	29.26km
	地物フィルタリング	29.26km
地番図作成	データ入力・編集	29.26km

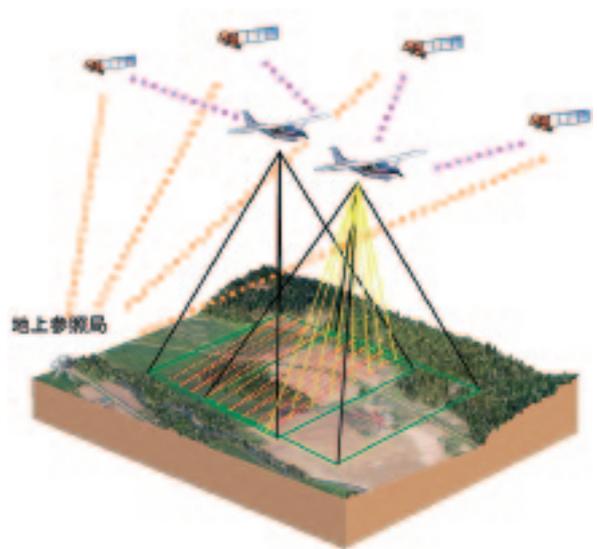


図4 計測状況図

3.2. 実施方法

地形図の作成は防鹿柵実施ルートを選定に先立ち行うが、広い範囲の地形、植生状況が確認できる航空写真は有効な資料として活用した。また、航空レーザ計測のデータは汎用コンピュータ上で処理・加工が容易であり、CADソフトへのデータ変換も簡便であることから、当初の目的であるルート選定への早期移行が可能となった。

3.3. 航空デジタルカメラ / 航空レーザ計測利用の優位性

以下に航空デジタルカメラ / 航空レーザ計測の工程フローチャート (図5) 及び優位性を示す。

- 1) 成果品が紙地図のみではなく、デジタルデータとして以下のデータの作成が可能である。
 - ・DM データファイル
 - ・標高メッシュデータ (2mメッシュ)
 - ・デジタル写真画像データ (地上解像度約20cm)
- 2) 航空レーザ計測により以下の点において、精度向上を計る事が可能
 - ・高密度な点データにより等高線を作成するため、より現状地形に即した等高線の作成が可能となる。

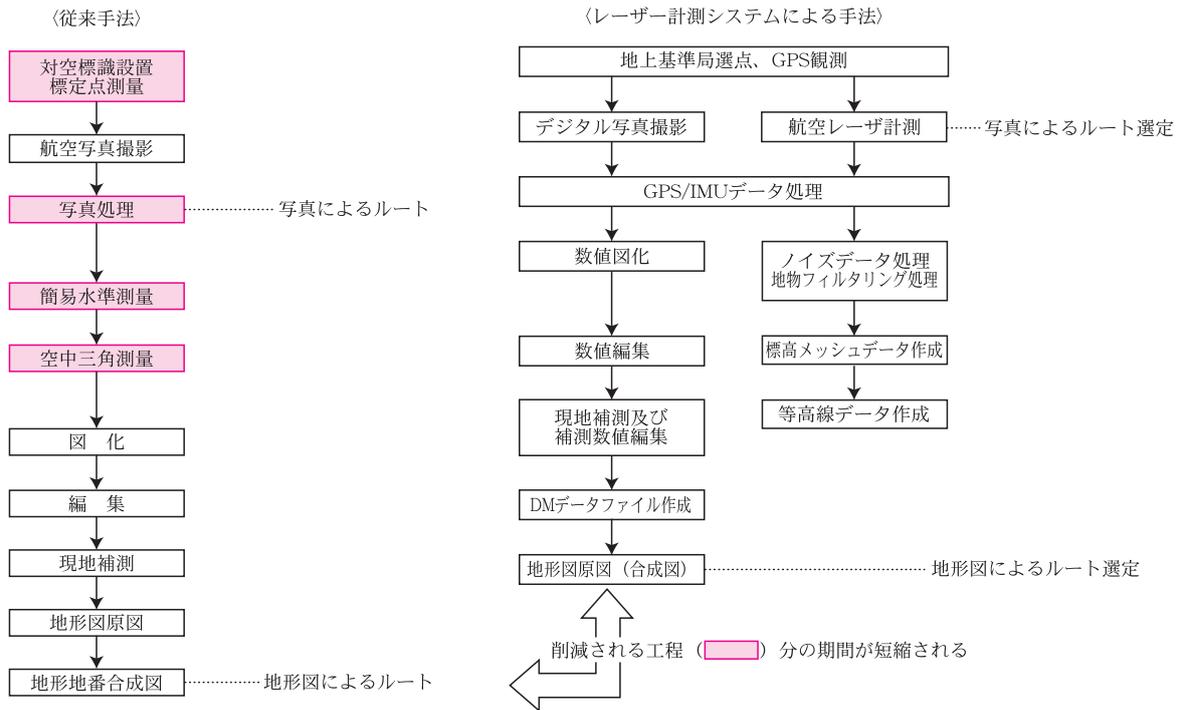


図5 航空デジタルカメラ / 航空レーザ計測工程フローチャート

- デジタルカメラはレーザ計測装置と連動し、同時撮影が可能となることから、撮影の簡易性にも優れる。

3) 実施設計開始までの工期短縮が可能

- 撮影までの期間短縮
- 対空標識設置、標定点測量が不要であり、計画後すぐに撮影体制をとることができる。
- 撮影後の写真処理、簡易水準測量、空中三角測量が不要であり、航空レーザ測量では、撮影後 GPS/IMU データ処理工程のみで図化着手が可能となる。
- 等高線データはレーザ計測によって得られる高密度な標高点データから作成するのに加え、数値図化が同時進行するため図化の期間短縮が可能となる。

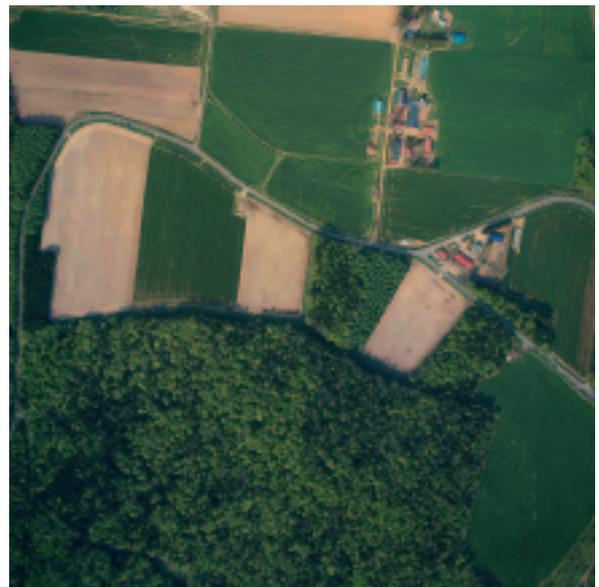


図6 本業務地区空中写真

り、以下のような成果が上げられた。

4. 防鹿柵設計における成果

防鹿柵のルート選定にあたっては、既存の地形図や航空写真を用いて設計する手法もあるが、本設計ではこれらの既存資料が整備されていないことから、新規撮影による空中写真測量を実施してお

- 最新の空中写真を用いているため、現地との整合が図られた。
- カラー写真により植生状況が判別しやすくなるため、植生界を考慮した的確なルート選定が可能となる他、立木障害による機械施工・

人力施工の判定が容易となった。

- 3) 広範囲な空中写真によってルート変更等に柔軟に対応できる他、写真による周辺地形状況の把握も可能となった (図 6)。
- 4) GPS/IMU を搭載したレーザ計測装置取得データの活用により、図化工程の短縮が図られるため設計業務への移行時期を早める事が可能となった。
- 5) レーザ計測による高密度な点データから発生した等高線を用いるため施工区分(傾斜地における機械施工の可否)の精度向上が図られた。
- 6) 本業務の撮影範囲 (321.09km²) は全て航空デジタルカメラ / レーザ計測装置を用いて計測を行っているため、周辺事業への地形データの提供が可能である。

5. 精度検証

本業務では精度検証として、簡易水準測量と対空標識設置により、GPS/IMU 空中写真測量システムにより行った計測の精度検証を実施した。

5.1. 標高の検証

本業務では、レーザ計測で得られた標高と公共

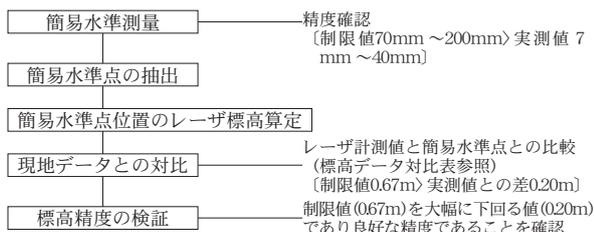


図 7 標高精度検証フローチャート

水準点を結ぶ総延長64.7km (4路線) の簡易水準測量結果とを比較し標高の検証を行った。

検証では、簡易水準測量における測定点174点においてレーザ計測値と対比を行い、公共測量作業規定の許容誤差0.67mに対し、平均標準較差が7.4cm、標準偏差が18.6cm、RMSが20cmという結果を得た。よって、本業務での航空レーザ測量により取得されたデータは制限値内に収まっており、十分な精度を確保していると言える。

以下に標高の検証工程フローチャート (図 7) と簡易水準網図 (図 8)・精度管理規定表 (表 4)・簡易水準測量精度管理表 (表 5)・標高データ対比表 (表 6) を示す。

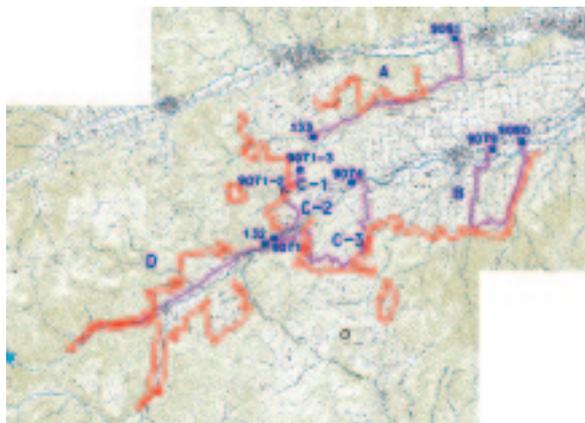


図 8 簡易水準網図

表 4 標高点精度管理規定表

図面縮尺	高さ精度 (標高点)	高さ精度 (等高線)	水平精度
1 /500	±0.25m	±0.50m	±0.25m
1 /1000	±0.33m	±0.50m	±0.70m
1 /2500	±0.67m	±1.00m	±1.75m
1 /5000	±1.67m	±2.50m	±3.50m
1 /10000	±3.33m	±5.00m	±7.00m

表 5 簡易水準測量精度管理表

地区名	作業量	作業機関	主任技術者	社内検査者
A 地区	64.7km	北海航測株式会社	滝澤昭博	石井裕
路線番号	距離 (km)	閉合差の制限 (mm)		閉合差 (mm)
A	13.9	186		27
B	14.7	191		12
C-1	2	70		7
C-2	4	100		2
C-3	16.1	200		40
D	14	149		27
使用機器	PENTAX AL-M2R 821404 アルミ製 5 m 標尺	備考	A ~ C 制限 50mm √ S D 制限 40mm √ S	

注 閉合差の制限は、50mm √ S (既知点から既知点までの閉合差)、40mm √ S (環境閉合差) により算出する。
S は観測距離 (片道、km 単位) とする。

表6 標高データ対比表

	A			B			C			D		
	現地データ	レーザー標高	較差									
1	142.450	142.726	-0.276	116.550	116.510	0.040	247.830	248.003	-0.173	222.650	222.493	0.157
2	144.480	144.909	-0.429	125.480	125.786	-0.306	265.750	266.041	-0.291	224.440	224.331	0.109
3	144.510	145.130	-0.620	129.040	129.658	-0.618	272.710	272.963	-0.253	229.410	229.454	-0.044
4	145.550	145.553	-0.003	133.330	133.375	-0.045	242.830	242.834	-0.004	233.230	233.175	0.055
5	146.600	146.722	-0.122	141.330	141.521	-0.191	240.420	240.633	-0.213	236.620	236.899	-0.279
6	147.600	147.627	-0.027	150.490	150.650	-0.160	251.990	251.923	0.067	240.860	240.756	0.104
7	148.210	148.482	-0.272	152.340	152.468	-0.128	259.670	259.736	-0.066	242.640	242.655	-0.015
8	150.000	150.043	-0.043	154.150	154.144	0.006	247.400	247.621	-0.221	249.910	249.853	0.057
9	151.880	152.044	-0.164	160.630	160.659	-0.029	233.190	233.544	-0.354	251.660	251.394	0.266
10	153.990	154.193	-0.203	161.420	161.265	0.155	221.900	221.835	0.065	253.050	253.008	0.042
11	156.700	157.193	-0.493	166.650	166.546	0.104	214.400	214.191	0.209	255.450	255.614	-0.164
12	157.810	157.978	-0.168	230.510	230.512	-0.002	220.230	220.174	0.056	257.920	257.897	0.023
13	159.230	159.295	-0.065	206.010	206.184	-0.174	237.290	237.223	0.067	258.470	258.214	0.256
14	160.210	160.344	-0.134	198.090	198.020	0.070	235.360	235.179	0.181	261.270	261.049	0.221
15	162.510	162.666	-0.156	202.700	202.283	0.417	216.990	216.792	0.198	263.600	263.569	0.031
16	163.620	163.809	-0.189	239.050	238.794	0.256	218.410	218.287	0.123	266.780	266.713	0.067
17	163.990	164.305	-0.315	229.990	229.981	0.009	220.770	220.747	0.023	268.280	268.243	0.037
18	165.360	165.568	-0.208	213.180	213.248	-0.068	238.350	238.369	-0.019	270.710	270.587	0.123
19	168.640	168.906	-0.266	187.210	187.418	-0.208	274.130	274.076	0.054	277.200	277.288	-0.088
20	173.030	173.508	-0.478	180.420	180.469	-0.049	332.560	332.450	0.110	278.450	278.386	0.064
21	173.940	174.228	-0.288	166.670	166.579	0.091	341.790	341.683	0.107	279.850	279.833	0.017
22	175.860	176.302	-0.442	161.150	161.213	-0.063	356.220	356.144	0.076	281.210	281.366	-0.156
23	184.560	184.320	0.240	153.390	153.458	-0.068	360.420	360.552	-0.132	283.080	283.102	-0.022
24	182.030	181.700	0.330	138.830	139.006	-0.176	358.760	358.703	0.057	285.190	285.421	-0.231
25	183.800	183.985	-0.185	133.360	133.469	-0.109	361.780	361.892	-0.112	288.650	288.791	-0.141
26	188.510	189.087	-0.577	130.700	130.858	-0.158	368.640	368.631	0.009	289.530	289.496	0.034
27	191.150	191.460	-0.310	127.910	128.126	-0.216	374.220	374.515	-0.295	291.370	291.365	0.005
28	193.810	193.397	0.413	128.090	128.273	-0.183	379.850	379.938	-0.088	294.860	294.770	0.090
29	198.820	198.957	-0.137	129.870	130.115	-0.245	404.410	404.170	0.240	299.490	299.427	0.063
30	202.240	202.359	-0.119	128.030	128.317	-0.287	408.400	408.474	-0.074	304.840	304.855	-0.015
31	202.670	202.923	-0.253	126.160	126.348	-0.188	416.300	416.297	0.003	308.480	308.644	-0.164
32	207.360	207.217	0.143				413.330	413.395	-0.065	311.310	311.289	0.021
33	211.910	212.244	-0.334				396.450	396.401	0.049	312.670	312.542	0.128
34	215.930	216.325	-0.395				386.430	386.450	-0.020	315.350	315.687	-0.337
35	218.160	217.889	0.271				395.550	395.619	-0.069	318.070	318.417	-0.347
36	217.840	217.996	-0.156				408.110	408.259	-0.149	326.730	326.450	0.280
37	157.220	157.410	-0.190				411.780	411.903	-0.123	328.700	328.808	-0.108
38							421.260	421.353	-0.093	330.590	330.977	-0.387
39							420.010	420.068	-0.058	334.390	334.519	-0.129
40							406.450	406.664	-0.214	340.410	340.492	-0.082
41							400.820	400.941	-0.121	342.820	343.225	-0.405
42							394.050	394.124	-0.074	346.320	346.442	-0.122
43							389.060	389.203	-0.143	350.760	350.836	-0.076
44							386.880	387.014	-0.134	353.980	354.224	-0.244
45							359.370	359.231	0.139	355.440	355.548	-0.108
46							343.900	343.827	0.073			
47							319.320	319.508	-0.188			
48							318.600	318.767	-0.167			
49							308.270	308.401	-0.131			
50							299.850	299.965	-0.115			
51							313.610	313.902	-0.292			
52							264.370	264.441	-0.071			
53							236.760	236.786	-0.026			
54							205.020	205.052	-0.032			
55							185.230	185.366	-0.136			
56							177.790	177.679	0.111			
57							175.270	175.174	0.096			
58							173.660	173.613	0.047			
59							174.090	174.126	-0.036			
60							175.010	174.954	0.056			
61							178.440	178.294	0.146			
平均較差		-0.179			-0.081			-0.039			-0.031	
標準偏差		0.236			0.188			0.137			0.168	
R M S		0.294			0.202			0.141			0.169	

比較値	標高差 (cm)	備考
平均標高較差	7.4	計測値と現地データとの差の平均値
標準偏差	18.6	平均値からの差
R M S	20.0	現地データとレーザー値との標高差

5.2. 平面位置の検証

本業務では、GPS/IMU 空中写真測量システムで得られた公共基準（三角点）の X・Y 座標（読み取り値）と、実際の基準点座標を比較し平面位置の検証を行った。

検証では三角点に設けた対空標識（5 点）をデジタル航空写真から読み取り実際の X・Y 座標と

対比し、所定の許容誤差 0.75m に対し 0.05m～0.32m（平均値 0.21m）の良好な結果が得られた。

以下に平面位置の検証フローチャート（図 9）と対空標識設置位置図（図 10）・水平位置精度管理規定表（表 7）及び座標データ比較表（表 8）を示す。

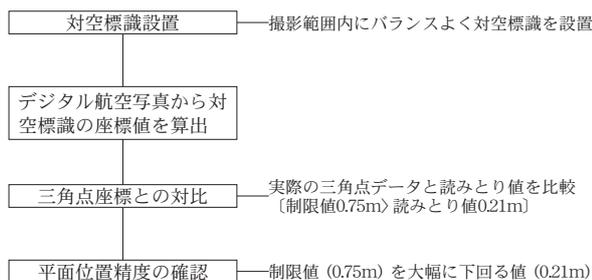


図 9 平面位置検証フローチャート

表 7 水平位置精度管理規定表

図面縮尺	水平許容誤差
1 /500	0.15m
1 /1000	0.30m
1 /2500	0.75m
1 /5000	1.50m
1 /10000	3.00m

図化機（アナログ、解析、デジタル）対地標定許容誤差。
水平位置は図上 0.3mm 以内

表 8 座標データ比較表

三角点名	写真名	対空標識標 X	対空標識標 Y	ステレオ観測 X	ステレオ観測 Y	残差 XY 距離
IV幸岡	C7_29,30	-50862.28	-27796.54	-50862.22	-27796.36	0.19
IV緑岡	C34_38,39	-38805.78	-33771.45	-38805.82	-33771.48	0.05
	C35_15,16	"	"	-38805.94	-33771.31	0.22
IV川向	C19b_42,43	-52432.69	-35597.38	-52432.4	-35597.5	0.31
	C20b_43,44	"	"	-52432.9	-35597.47	0.23
IV常呂川	C15_22,23	-62896.44	-40987.48	-62896.54	-40987.17	0.32
IV下春日	C27a_13,14	-60861.18	-45438.67	-60861.31	-45438.76	0.15
	C28a_13,14	"	"	-60861.37	-45438.68	0.19

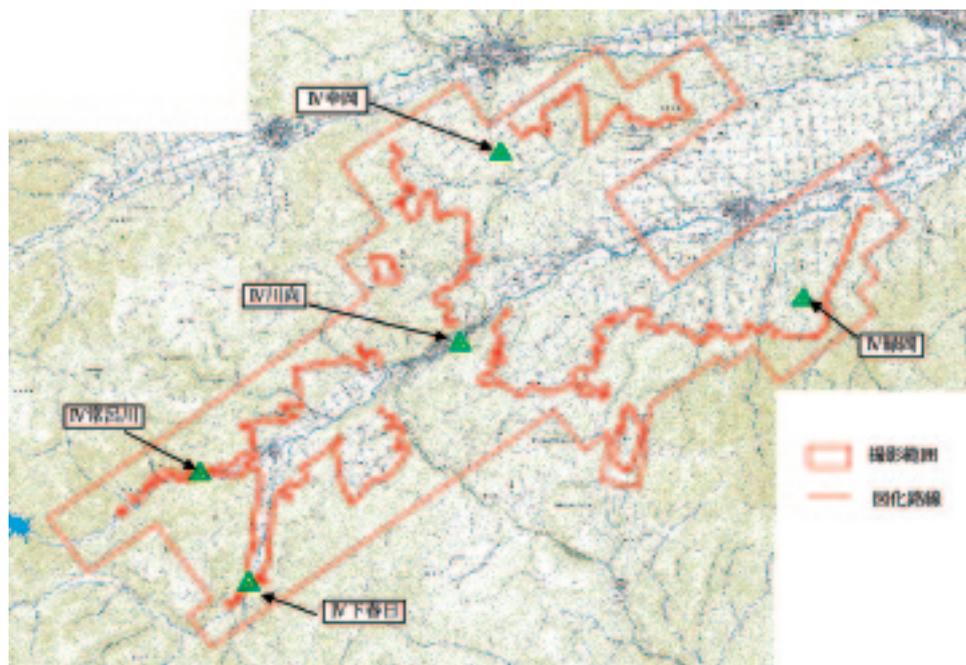


図 11 対空標識設置位置

6. まとめ

本業務では、航空デジタルカメラ及びレーザー計測装置を用いることによって、従来の航空写真測量による図化工程の短縮が図られた。また、最新の空中写真情報は円滑なルート選定協議に重要な役割を果たしたと考えている。

航空デジタルカメラ及びレーザー計測装置は従来の外業を省略できることが利点であり、危険地域踏査における人的災害を防止することにもつながる他、デジタルデータの提供によって、今後、様々な活用性が考えられる。

現在、国土地理院で取り扱っている国土数値情報で最も詳細な標高データは5 mメッシュであり、全国をカバーしているのは50mメッシュのみとなっている。このため、本装置で取得される1 mメッシュ標高データは、詳細な地形状態を把握できることから、さらなる活用性を見出すと共に、有効活用に向けた技術の向上にも努めていきたいと考えている。

(北海航測株)

参考文献

- 1) (財)日本測量調査技術協会：(図解) 航空レーザー測量ハンドブック p 5～26、p33～38
- 2) 北海道農政部：平成1年度 防鹿柵計画・設計指針(案)
- 3) 社団法人日本測量協会：国土交通省公共測量作業規定 p43～84

報 文 集 第17号

平成17年 9月20日

編 集 (社)北海道土地改良設計技術協会

広報部会 明田川洪志・立花 松夫・小野 紀昭
寺地 明夫・林 嘉章・高尾 英男
宮本 治英

発 行 (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 FAX (011)717-6111

印刷 (株)あいわプリント 電話 (0166)26-2388



●表紙写真●

第16回 北海道開発局農業水産部・(社)北海道土地改良設計技術協会共催
写真展 作品

「点 検」

—京極町—

斎藤 征石 氏 作品

A E C A HOKKAIDO
Agricultural Engineering Consultants Association