

私のプロジェクト X

秀 島 好 昭

農業土木技術研究者の歩み

1. はじめに

著者は民間の建設系の技術研究所を皮切りに、国の研究機関(後に独立行政法人)を退職後、民間の建設分野(農業土木)のコンサルタント会社に勤め、技術の自己研鑽を伴いながら社業実務に当たっています。多くの時間を技術開発研究や調査に費やし、また、その成果を実装するために技術普及にも努力してきましたので、ここでは「ビッグ X」ではなく、「小さな x が集合」して、自他ともに将来に期待する内容を込めて報告したい。

2. 領域の広い技術分野と技術学習

(1) 四方を海に囲まれた水産資源が豊かな大地

1970 年代では 200 海里経済水域の設定等により「獲る漁業から育てる漁業へ」の技術開発が盛んとなり、沿岸域での施設整備や沿岸環境保全等の事業が伸びています。沿岸での魚類の産卵・育成を図る、代表的な「魚礁」が浮かんできます。北海道の日本海側羽幌沖の近海には、「武蔵礁」と呼ばれる水深 200m 程度の好漁場があります。この好漁場の形成に関わる水理と応用を述べます。

山口県油谷沖に対馬海流が礁軸に直交する 3 つコブ駱駝の形状をした礁があります(図-1 参照)。

この礁は平均海底深度 80m のところに長さ 4km で横たわるもので、流れが礁を乗り越えた背後では、湧昇流が発生し、海中の豊かな栄養塩やプランクトンが海面付近に湧き上がり、これを求めて魚類が集まり、さらに漁船が操業していることがわかりました。流況計測や生物調査による裏付けはもちろんですが、湧昇流が生じている海面は「油をひいたような滑面」を呈し(波が侵入できない)、海底の藻類が漂っていて見た目でもわかります。このとき師であった中村充氏、上北征男氏(ともに技術士)から一次で現われる現場での事象把握の重要性を学

びました。

水理は陸上でも海洋でも一緒です。流れではベルヌーイの定理を使います。同じ流線上のエネルギーは、運動エネルギーの項+圧力の項+位置の項を総和したものです。すなわち、礁を乗り越えるとき運動エネルギーの項(流速の項)が大きくなり、その分、圧力の項が小さくなり(浮力が生じ)、湧昇流が生じると考えます。

人工的な礁の造成技術は確立されており、このような水塊の環境形成がさらに好漁場の条件を創るものと確信しています。

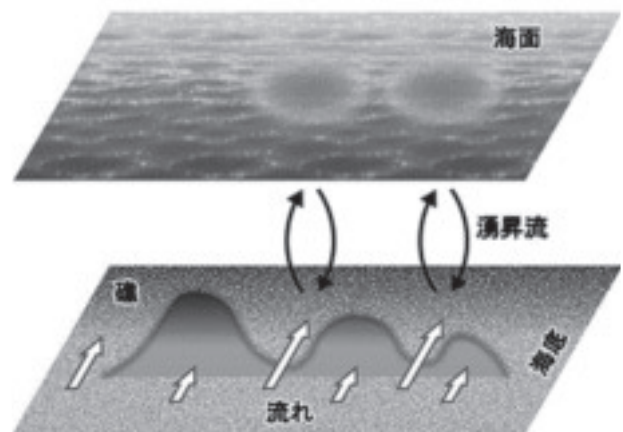


図-1 海底礁の流況

(2) 設計 VE の浸透

バリューエンジニアリング(VE)手法は 1990 年代後半から導入されてきています。公共事業では設計段階、工事入札段階および施工段階で適用され、適用のタイミングも各事業分野でのプロジェクトの醸成時期の特徴に応じているようです。農業分野の基盤整備では、重力式ダムの代替トンネル設計・骨材供給や打設工法での VE の適用さらに農業用水を供給する施設設計等で VE を適用しました。

設計 VE として原設計者と発注者との間に独立し

た視点から設計内容を多面的にレビューし、機能とコストを満足する品質を確保することに努めた例にふれます。農業用水路が川や道路と交差する場合、水路橋等により横断します。事例の水路橋は道南の河川において、かんがい用水を対岸に回した水路橋設計です(図-2)。

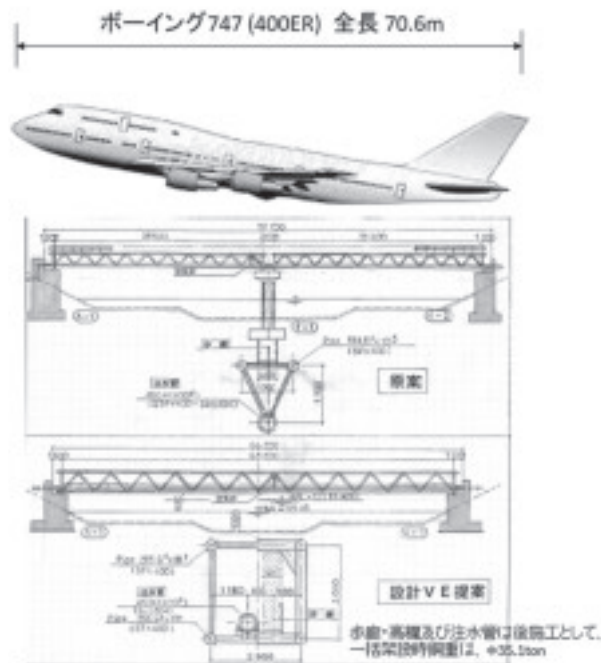


図-2 4弦パイプトラス橋注水工添加型式

計画高水量 $Q = 610\text{m}^3/\text{s}$ と河幅 65m により、原設計案では 2 径間、3 弦パイプトラス橋でしたが、支間長に対する構造的な不安定感、口径が小さいことから現場溶接後の内面塗装の難しさ、ステンレス鋼管を一部代用した場合の電位化腐食の恐れ、下弦材への溶接と防寒工の現場施工が課題となりました。このため、橋長を河幅相当の 66m の 1 径間とし、4 弦パイプトラス橋、注水管はステンレス鋼で主構とは別構造の添架管構造(鋼とステンレスを非接触)、架設は河川内にベントを設置しない 500t 吊りトラッククレーンにより一括架設として経済的にも有利な方法で設計・建造しました。当時、このような大型クレーンは小樽市内にしかなく、現場まで 3 日ほどかけて陸送した記憶があります。さらに、これには「落ち」があり、クレーン車の設置、支持力確保に河川敷基盤の改良に経費がかかった点も思い出されます。

3. 北海道の軟弱地盤での用水路建設

北海道では泥炭、重粘土および火山灰土のような特殊な土質からなる地帯があります。とくに土木施設の建造では、軟弱な泥炭や沖積粘土が堆積する場所では工学的な問題に悩まされます。

農業ではこのような軟弱地盤においても、鉄筋コンクリート製の開水路や埋設パイプラインによるかんがい用水の供給を行っています。ここでは開水路では杭支持、管路では基盤の安定処理改良、土木シートによる沈下抑制工法等が採用されています。今では見つけることが稀有ですが、地上に半分断面を出したコルゲートパイプ製の水路(軽量化による沈下抑制、地下水位より上位にあり浮上防止)が過去にあり、また、埋設のパイプラインでは支持杭・ペDESTAL を 30m 程度の間隔で設け、これに溶接した鋼管を設置するという溶接工を多く必要とする工法が採用されました。省力的な施工方法による基盤整備は今日の建設では最重要の命題です。共同技術開発として、開水路の上部工を軽量化し、また長尺化することで支持杭の数を減らし、施工速度を速め、さらに、経済性の向上を目標とした(図-3)。従来の開水路の建設では、長さ 6m 程度の鉄筋コンクリート製セグメントを支持杭とペDESTAL 位置で線状に目地結合させて水路を構築しますが、具体には、その水路のセグメント素材に FRP を使い、曲げを受ける梁にはカーボンファイバーにより剛性を高めた長尺の新型ハイブリッド水路を検証・開発したものです。

地上に出た軽量水路ですので、新たに風の抗力への安全性確認などを設計に加えています。結果は、水路の水重に対して予測どおりの変位や部材のひずみ(応力へ換算)が確認でき、何よりもトラックからクレーンで直接ペDESTAL に載せることができ、省力施工に向けた将来型の水路形式の一つとして照査できました。

この水路形式は未だ大々的な採用はありません。この理由はエンドユーザーである農家さんや農家組織にコンクリート製水路に対する安心感や実績によるものと判断しています。技術開発のマーケティングの把握も大切と考えています。

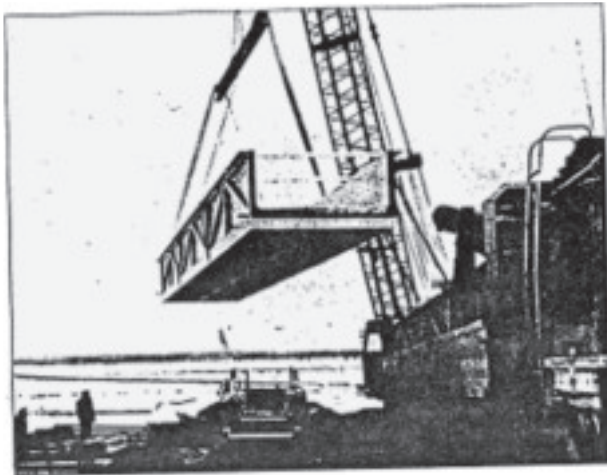
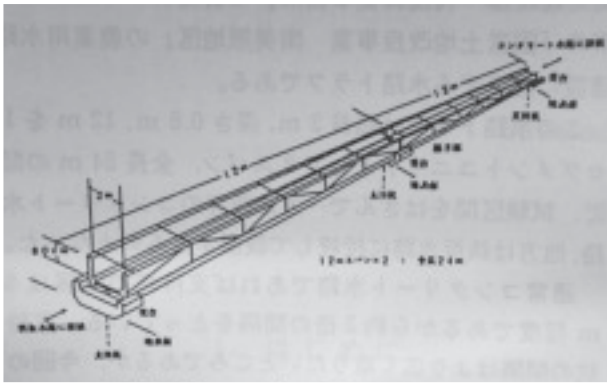


図-3 ピッチ系炭素繊維を使った水路と現場布設

近年では新素材を使って水門スライスゲート・スクリーン・フェンスの軽量化や経済性向上が図られています。

4. 農業生産基盤力の維持と施設保全

(1) 農業用ダム

北海道の農業用ダムは、第一次世界大戦～食糧増産期(1918～1941年)～第二次世界大戦～戦災復興期～食糧増産期(1950～1961年)～資源開発期(～1982年)～資源の開発・管理期(～現在)の全ての期間中に100近い数のダムが建設され、夏場に足りない農業用水を確保しています。建設にあたっては、地盤の力学性や水理性に弱点がありつつも、それをリカバリーする現場技術や解析技術が開発されてきました。今日では未曾有の地震に対しても安全性を確保する強靱化に向けた対策と、それを実現するための技術開発が進められています。このためにはダム施設の機能・性能の特徴を把握し、改善策の実施が必要です。

ダムのタイプは、重力式ダム・フィルダム(ロック(図-4参照)、アース)・複合型ダム等があります。そのうち、現場で手に入る土質材料を使ったフィルダムでは、堤体内の力学環境の場の特性に応じて材料を利用することができます。土構造物の地表面に近い位置の材料は、凍結・融解など雪寒地の厳しい環境の影響を受けますが、内部の拘束を受けた位置では環境劣化の影響は小さく、例えば、軟岩のような材料でも状態変化を起こさず長期的に安定した盛土材料として使用できます。盛土(堤体)内部の環境を模試した岩石材料の試験方法を開発したことから、新第三紀に起源を置くような軟岩も捨てずに堤体材料としての利用の可否を判断できることとなりました。

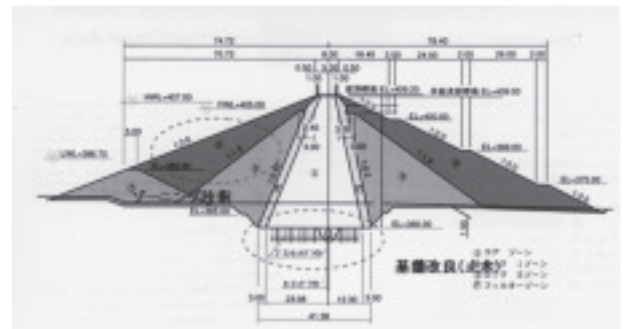


図-4 ロックフィルダムの断面例

(2) 春～秋のダムの野外調査

農業用ダムの建設が伸展した時期は年間をととして作業があった。まだ山での芽吹きが間もない春は稜線がハッキリし、ダムサイトの選定など野外調査には最適です。夏は施工現場での技術課題への対応が主であり、秋以降はその実績確認や挙動評価、また、試験湛水計画の検討等と挙動をずーと続けてきました。フィルダムの堤体材料の試験を沢山やることで、岩石材料を締固めた場合に、どの程度の間隙比の土構造物を築造できるか簡単なノモグラフを作ってみました(間隙比からせん断強度定数や透水係数が推量できる、図-5参照)。極端に言えば、調査した山道に落ちている石(眠っている地山)の採石具合(粒度分布)を想像し、石ころの吸水率さらに転圧機械の踏む回数を想定すると盛土した場合のおよその間隙比が推量できます。間隙比と力学パラメー

タの関係式から、フィルダムの形状やそのゾーニングが空想できるということである。野外調査時に、沢に落ちている転石から大きな土構造物の出来栄を想像したものです。

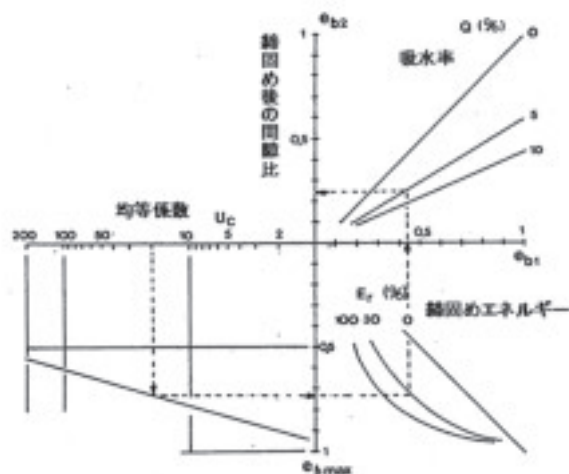


図-5 粒度分布から転圧後の間隙比を求める共軸図

5. 大規模な畑作農業への情報提供

(1) 畑のかんがい適期のインフォメーション

現在、北海道農業では「スマート農業」がうたわれ GPS による農業機械運用や衛星等情報を使った営農支援が行われています。

国の事業としての畑地かんがいは、1980 年代から急速に広まりました。施設整備とともに、農家とその地域ではかん水技術の確立も必要で、このとき情報化技術の一端を開発しました。それは、ほ場での調査結果を踏まえ、幾つかの気象要素により畑での蒸発散量を精度よく推算し、その情報を農家に提供するものです。気象要素は気象庁により予報されていますので、その予報データを組み入れ 1 週間先までの蒸発散量すなわち畑の土壌水分変化量を求め、これを農協の情報網上で農家に提供するものとした(図-6)。具体には、マメダス地点の計測情報・教師となるほ場の計測情報(いずれも PC 通信)～日本気象協会支部(NTT/FAX)～同本部(FAX)～各農協の FAX 私書箱～関連農家への伝達フローをもつ「農業気象情報システム」です。

この情報により、かん水時期を決定した・かん水量を決定したという農家さんが多数おられたほか、

89%(無回答 11%)が何らかの形で情報を利用されています。これにも「落ち」があり、最初はやたらと FAX の紙が減るとの苦言もありました。

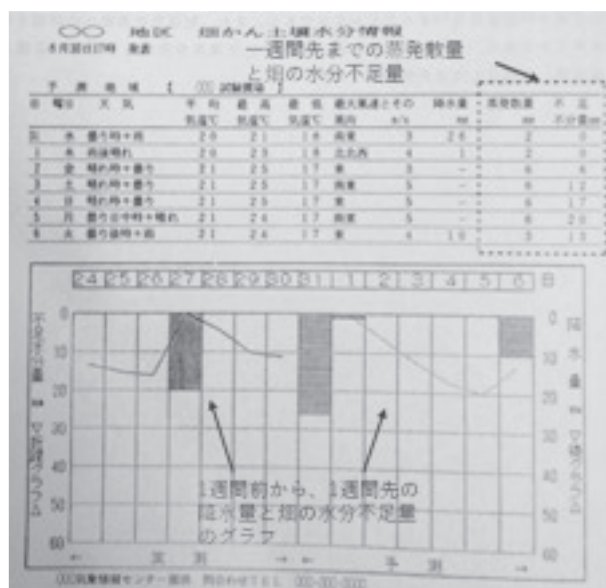


図-6 土壌水分情報のフォーマット

(*蒸発散量は熱収支ボーエン比法から求め、日中平均気温、日中平均湿度、日中平均土壌水分張力、日中平均風速の項から予報データと再帰的計算から作物ストレスの土壌の乾き状態を予測します)

技術開発の時期は今のように情報化の固有技術が発達していませんでした。ほ場では電源がないので、南極観測に使用されているプロパンガスの長期少量燃焼による電気の発生技術の採用、さらに、遠隔地でのデータの取得・送信には自動車用のショルダーホンの利用、また、電力消費を抑えるためのポケットベルでの ON/OFF 起動など周辺技術の開発など、今では懐かしい経験となっています。

営農や生産現場に近い領域での技術開発でしたので、農業土木の領域の広さを実感したものです。

6. 地域の課題解決へのチャレンジ

(1) 家畜糞尿のエネルギー利用

北海道では広い土地資源や特有の気候に適合して、水稻・畑・酪農・果樹の一次産業が盛んです。酪農業からは家畜ふん尿というバイオマスが産出されます。家畜ふん尿(有機的な生育資材も含む)は、古くよりたい肥として利用され、また、事業としての「肥培かんがい」も整備されてきました。バイオマ

スとして利用する場合、「好気発酵」か「嫌気発酵」かのプロセスを経ますが、後者では可燃性の「バイオガス」が産出できます。これを燃焼することで化石燃料に代わって「熱」が得られます。また、発電することで「電気」も供給できます。

2000 年から 2、3 戸の酪農家が集合して利用するバイオガスプラントを湧別に、また、10 戸程度の酪農家が集合して利用する規模の大きなバイオガスプラントを別海に建設し、設備のプロセス技術の確認やシステムの経済・社会的課題の抽出と改善を検討しました。バイオガスの電気利用については、当時は FIT (固定価格買取制度) のような国策がありませんでしたので、プラント内の自賄電力として使用しました。別海のような集中型のバイオガスプラントでは、個別型と違ったシステムの特徴がでます。①地域の種々のバイオマスを処理できる。近隣に乳製品等の工場があれば、同時に発酵菌の餌として処理でき、その処理費(ゲートフィー)としてプラント運営費に利用できます。②処理量が多く、分業も多くなることから、「雇用の場」が生まれます。運営収支が良好なことから、別海施設は「研究施設」→「有限会社」→「株式会社」と変遷しています。一方、③システムの的に家畜ふん尿を集めるため個別農家に専用のコンテナを置き、ふん尿を入れたコンテナでローテーションを組んだ専用のコンテナ車にてプラントに搬入します。④処理後に生まれる消化液(液体肥料)を農地に還元利用する体制の継続する仕組みが必要です。このような技術課題の解決法が実証できました。集合型のシステムの維持には、参加農家さんだけでなく「地域の行政組織」の支援・指導も重要な点です。この点、別海町には感謝申し上げます。

(2) バイオガスを水素利用へ

2005 年から 2010 年間では、家畜ふん尿を水素・燃料電池で利用するビッグな技術開発を行いました。バイオガスの水素改質手法は、幾つかありますが、大学の研究室で開発された「メタン直接改質法」を実用的規模にて、そのプロセス技術を実証することとしました(技術的評価は、市川勝博士、長谷

川淳博士、松田従三博士の 3 氏からいただいた)。また、得られた実績データをもとに、水素・燃料電池の地域未来計画のブループリントを描きました。

別海バイオガスプラントの横に実験施設を設け、①メタン直接改質法の実用的検証(脱水素芳香族化反応プロセスによる水素とベンゼンの併産)、②生産した水素の地域利用のための運搬・利用等のマイクログリッドシステムの検討です。

〈直接改質反応〉



メタン改質は、燃焼方式により環境温度を 750℃ とした触媒を通ることで起こります。また、水素純度を上げるために再帰的なプロセスやオフガスを使用した効率の良い水素製造フローです。



図-7 実証実験施設内の様子

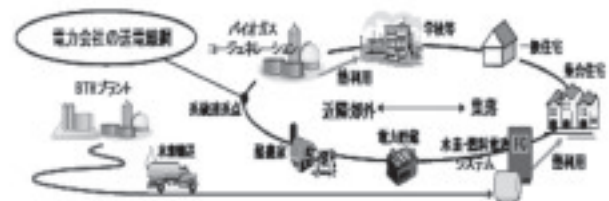


図-8 地域におけるバイオガス利用とマイクログリッドシステム(青図)

集合型のバイオガスプラント(ここでは Biogas to Hydrogen として BTH プラントと呼びました)で製造した水素は、バイオガスの個別燃料電池と異なり、貯槽したり、運搬したり、さらに、現地で水

素へ戻す技術が必要です。

これには有機ハイドライド方法を検証しました。かさばる水素を貯蔵・輸送するにはボンベ圧縮方法、液化工法(従来の技術)、有機ハイドライド方法および水素吸蔵合金方法があります。とりわけ、特定の芳香族に水素を添加し(体積膨張はなし)、必要な場所・時に水素を取り出し、さらに、元の芳香族へ帰すこととします。有機ハイドライド法では母液の数百倍の容積の水素を溶かすことができます。適当な貯蔵・運搬方法が採用できれば、電力網の整備が十分ではない地域でも、水素社会へのチャレンジも夢ではありません。

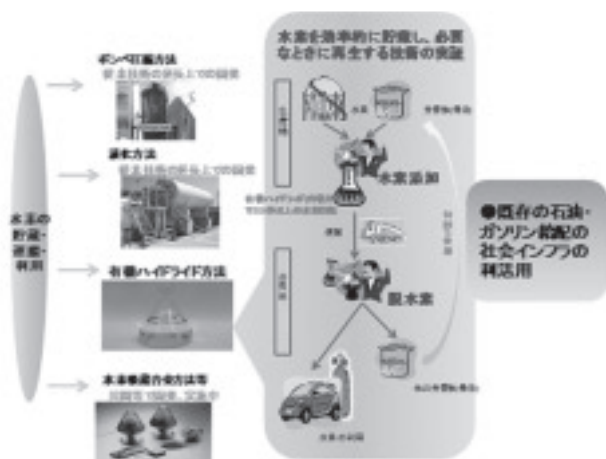


図-9 水素の貯蔵方法

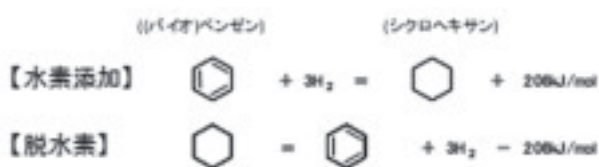


図-10 有機ハイドライドの可逆反応例

バイオマスの利用技術の適用は、社会環境も含め当時より進んでいますので、これからの地域産業や地域での生活面で期待されるものと思われます。

7. おわりに

農業土木技術研究を続け、いろいろな事案の学習や成果の公表や技術の実装を行いました。また、農業土木技術の発展性にも気づくことができました。

さらに、プロジェクトの成果に付随して技術開発

にあたった複数の同胞が、テーマごとに「博士号」等が取得できた点、これもまた喜ばしい成果と考えます。私自身、今回の執筆にあたり過去のプロジェクトを振り返ることができ、感謝申し上げます。

参考資料等

- (1) 寒地の農業土木技術特論 Vol.1、秀島好昭著、自作製本(2007)
- (2) 寒地の農業土木技術特論 Vol.2、秀島好昭著、自作製本(2007)

上記2資料のVol.1では、灌漑用ダム、調整池、開水路、管水路の建設、排水路および農地造成・圃場整備について報じ、Vol.2では農地開発と保全、水循環の特徴と灌漑用水、農地でのCO₂循環、農業とエネルギーおよび環境、バイオマスの利用と環境・エネルギー対策を報じています。

秀島 好昭(ひでしま よしあき)
技術士(農業部門/農業土木)、工学博士
元(独)土木研究所寒地土木研究所
現(株)農土コンサル

