

海洋深層水利用学会第二回学会賞受賞に当たって

清水建設(株)・日本サルヴェージ(株)・古河電気工業(株)

1. はじめに

平成26年11月に開催されました海洋深層水利用学会第18回全国大会におきまして、名誉ある「学会賞(第二回)」を3社で授与できましたことに、まずはお礼を申し上げる次第です。

授与頂きました理由が長年にわたる取水・分水施設の整備とその施設整備に関する論文発表等が海洋深層水の普及拡大に貢献したことによるものとお聞きしております。海洋深層水による海洋温度差発電施設や地域空調施設への開発が本格化しつつある現在、これまでの日量数千トン規模の少量取水に対して、日量数十万トン規模の大量取水が求められ、今回の受賞により今後の大量取水に向けての技術開発の取組みへの活力につながるものと考えております。ご推薦いただきました学会関係者各位に感謝申し上げます。

2. 取水・分水施設整備技術の変遷

3社が国内外を通じて海洋深層水取水・分水施設

の建設に携わってきた実績については表2-1(文末参考資料参照)に示すように1981年から2008年の27年間で12施設があり、1998年に制度化された水産庁の補助事業により日本各地に本格的な施設整備が図られたことは周知のとおりである。

(1) 取水管路の設計

海洋深層水取水施設に関する“計画、調査・設計から施工まで”の設計マニュアル的なものが整備されたのが2005年であることを知っている方は少ないと思う。

従ってそれまでの設計は種々の基準類や経験則等を寄せ集めて検討されていたのが実情であった。例えば、①起伏の多い自然の海底地形に対して所定の取水口深度を確保するための所要管長の設定はどうするのか、②懸念される魚介類の流入に対して取水口の先端は網等をつける必要があるか、③鉛直蛇行が多い管路の水理設計において損失水頭をいかに評価するか、また、④管内の取水海水と外海水の密度差による損失水頭の考慮、⑤溶存ガスを多く含有する海洋深層水を負圧下で取水することに伴うポンプ

表2-1 我が国企業が関与した海洋深層水取水・分水施設実績一覧

No.	完成年度	施設名(仮称)	取水深度	取水量 ^{*1}	事業主体(補助事業)
1	1981	ナウル共和国100 kWOTEC実証施設	580	33,000	東京電力(株)(経産省)
2	1986	高知県海洋深層水研究所	320	460	JAMSTEC(文科省)
3	1991	高知県海洋深層水研究所(増設)	344	460	JAMSTEC(文科省)
4	1992	富山県水産試験場	321	3,000	富山県/MF21(水産省)
5	1999	沖縄県海洋深層水研究所	612	13,000	沖縄県(経産省)
6	1999	室戸海洋深層水アクアファーム	374	4,000	高知県/室戸市(水産省)
7	2000	静岡県海洋深層水研究施設	687/397	2,000*2	静岡県(水産省)
8	2001	入善町海洋深層水利用施設	384	2,400	富山県入善町(水産省)
9	2001	JOIA実証施設(滑川市)	333	2,000	JOIA/滑川市(経産省)
10	2002	熊石町海洋深層水施設	343	3,500	北海道熊石町(水産省)
11	2006	みえ尾鷲海洋深層水取水施設	400	2,885	三重県尾鷲市(水産省)
12	2008	韓国・江原海洋深層水取水施設	500	3,000	(株)江原深層水

※1) 取水量の単位：(m³/日)

太字：民間施設整備(5件)

で発生するガスの揚水への影響評価をいかに考えるか、⑥取水管路内で溶存ガスが気化した場合にエアロックは発生するのか、また、いかに対処するのか、⑦吸込み側揚程が十数mと大きくなる取水管路に対して取水ポンプを水面下に位置させるポンプ設計は成立するのか、⑧深層水取水管路でも水撃圧は発生するのか、また、その大きさは如何算定するのか、⑨海底深くまで露出配管される管路の安定重量の算定において抗力係数、質量係数、揚力係数を如何評価するとともに、数kmにわたる露出配管部が本当に移動安定するか、⑩海底起伏に対してブリッジ状(管路が不陸地形に馴染まず、数十m程度間ごとに点接触状態で設置される現象)に支持される管路断面は“潰れ”たり、“破断”しないか、またその耐力検討はどのように評価するのか、さらに⑪ブリッジ部管路は内外の流れにより振動して疲労破断を起こさないか、⑫取水時の水温上昇が懸念されるがどのように評価・算定したら良いか、等々の真に設計に係る事項に加え、⑬これらの設計事項が管材料や敷設方法により大きく変化するとともに、敷設時管路に発生する断面力に大きく影響するためにいかに考慮すれば良いか、ほとんど暗中模索状態で行われていたのが実情であった。

そのために当初の取水施設建設では管路が破断したり、キャビテーションの発生により取水量の低下を起したり、流入してきた魚等により管路が詰り取水停止や取水ポンプの故障等を発生していたのも事

実であった。

結果として、図2-1に示す現在のような取水施設システムが確立したのは2000年代に入ってからであった。

(2) 取水管材料

使用される取水管材料に関しては米国等を中心に鉄管での計画が主流であったが、我が国では米国での破断事例を踏まえ、当初より硬質ポリエチレン管を用いた管路計画で開始された。しかし、1980年当時、硬質ポリエチレン管は現在のように普及しておらず、その材料特性も明確な仕様もない状況であった。そのため材料メーカーと一体となり、物理的特性や機械的特性等について一から検討を始め、実験を通じて明らかにしていった。“鋼帯がい装”や“アラミド繊維補強鋼帯がい装”、“鉄線鎧装”等の種々の補強が施された硬質ポリエチレン管が開発され用いられるようになったのは1990年代に入ってからのもので、加えて①“短尺管を用いた各種耐圧試験”や“熱間内圧クリープ試験”、また、先に述べた②ブリッジ現象に対する“一点集中荷重による管断面耐力試験”、③敷設時に作用する荷重に対する“曲げ引張耐力試験”、④管素材に関する環境ホルモンの含有可能性への対応、⑤サイホンの原理で取水する管路に対して“管内に注水して出荷すること”等々の各種管材料の性能試験等の実施が標準化されたのは近年になってからのことであり、取水管に対

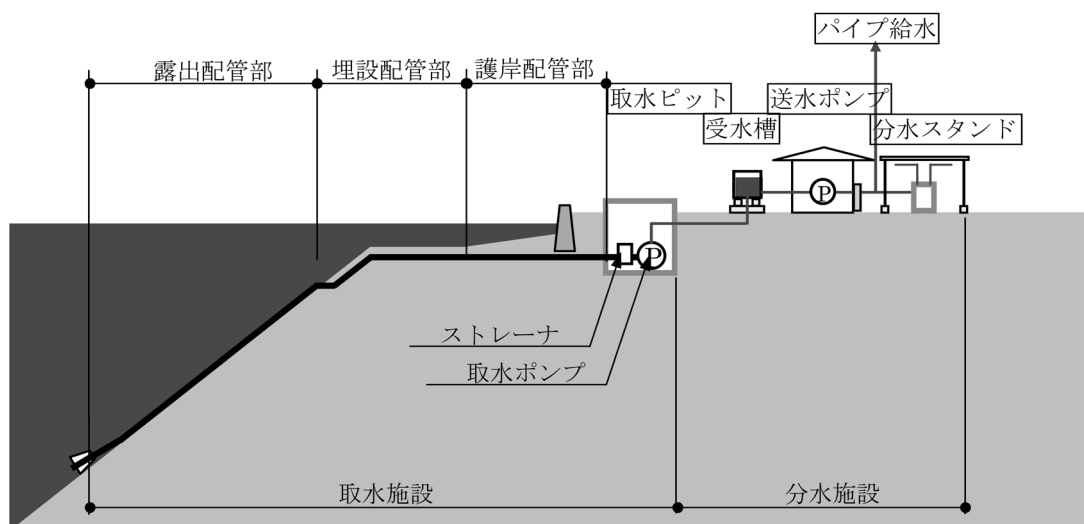


図2-1 陸上型取水施設概念図

する設計面からの基本要件が施工者や管メーカー側に理解されてからと言える。そのことに関するエピソードの1つに、図2-2に示す鉄線鎧装硬質ポリエチレン管の鎧装鉄線を間引きしてポリエチレンロッドを挿入した管の新規製造がある。設計側から①深海部は不必要な自重は不要、②ブリッジ現象に対応するため断面耐力は維持する必要がある、施工側からは③軸耐力を落とさず、④コストアップは許さない、⑤期間内で開発・製造してほしい、等々の難題を突き付けられたメーカーは頭を抱えた。と言うのは①単純に鉄線を間引きすれば鎧装を整形できず、また均一な断面耐力が確保できない、②鉄線を間引いてポリエチレン製の棒を挿入すればそのポリエチレン製の棒が跳ね・膨らんでしまい現状の鎧装機では対応できない。そこでポリエチレン製の棒内に小径の棒鋼を挿入した“ポリエチレンロッド”を間引き挿入することを考案した。このポリエチレンロッドは小径の棒鋼と外装部のポリエチレン部との重量を同等にし、かつ棒鋼部の曲げ剛性で巻付け整形を可能とすることに加え、通常の鉄線とも接続できるものとしたと言う。結果としてポリエチレンロッドの製作費用が材料価格に跳ね返ったが、管販売価格を守りつつ、既存の製造機器を用いて製管することが出来たとのことである。

(3) 取水管の敷設

一方、取水管の使用管材料の最終決定は施工者側

に任されていた。その大きな理由は大深度にわたる管路の敷設方法により使用される管材料が制限されるという特殊な一面があるために、設計側では1種類の材料に特定できなかった事情もあったからであると想定される(ほとんどの発注仕様書中で「取水管材料：鋼管又は硬質ポリエチレン管」と記され、敷設方法についての特記は無かった)。ところで、取水管路の敷設方法に関して、鋼管は“レイバージ法”，がい装硬質ポリエチレン管は“リールバージ法”，無がい装の硬質ポリエチレン管は“浮遊曳航法あるいは海底曳航法”で施工されてきたが、どの管材料と敷設方法の組合せが最も良いかは一概に言えない所である。このことは施工者ごとに保有技術や施工ノウハウが異なることに起因しているからであるとお考え頂きたいところである。なお、今回受賞した3社は“特殊ながい装を施した硬質ポリエチレン管を図2-3に示すリールバージ法(横巻ドラム方式)で施工”してきた。

リールバージ法での敷設方法における最も重要な開発・改良は「DPS装備敷設船での敷設」であると言える。1986年当初、取水管の敷設は図2-4に示すように敷設船の沖合側への移動を事前に所定位置に配置しておいた係留アンカーを利用して行う“アンカー方式リールバージ法”で施工されていた。しかし、取水深度の大深度化や取水管の長尺化に伴い敷設工程が長期化したこともあり、敷設途中に牽引用係留アンカーが破断したり、天候の急変により敷設



図2-2 鉄線鎧装硬質ポリエチレン管(古河電工(株)製)

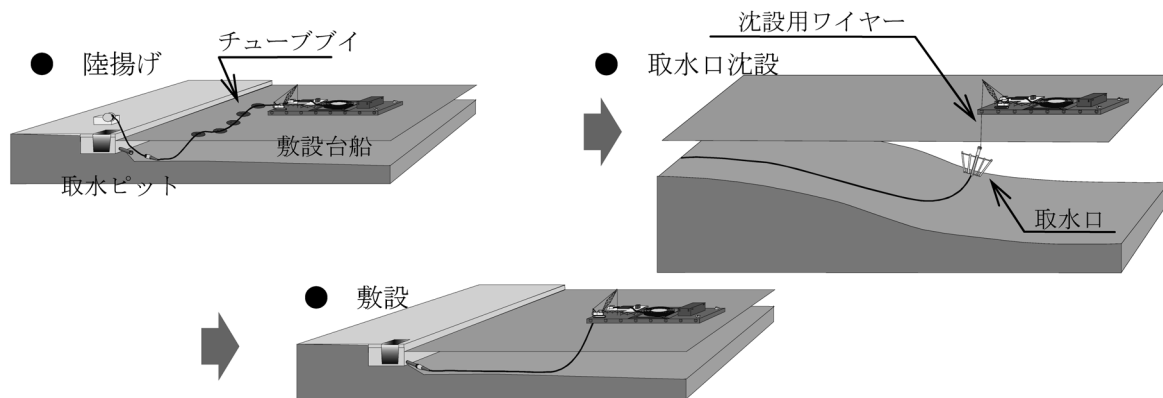


図2-3 アンカー方式リールバージ法による敷設概念図

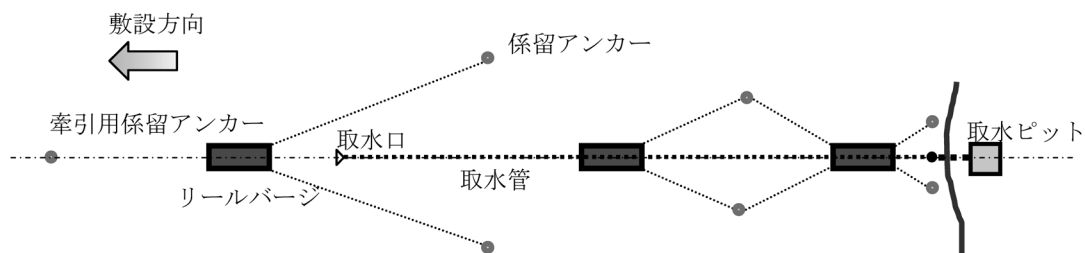


図2-4 アンカー方式リールバージ法

した管路を巻戻す事態が発生するようになり、係留アンカーを配置せず急速敷設が可能な施工法が要望されていた。そこで現在の敷設に見るようなDPS (Dynamic Positioning System 衛星電波から船位を出し、敷設船に作用する外力に対して船側に装備されたスラスタで自動的に船位を保持するシステム) を装備したリールバージの使用が考えられたが、当時のDPSには“ブラック・アウト (船がDPS機能を失い迷走する現象)”することがあり、即実施工に反映することに危険性を有していたことから、数件の現場での試し運用を実施した後に本採用されることになったものである。

現在では当たり前で使用されているDPS船であるが、実に多くの試験運用と長期間にわたる開発・改良を経て使用された我が国で初めての技術であり、管路長13 kmの敷設施工において旧敷設法では二十数日間以上 (係留アンカー設置含む) を要する工程が、DPS装備リールバージ (図2-5参照) では1昼夜 (夜間も施工) で完了できるようになり、工事の費用面、安全面および品質面において画期的な工法となったものである (日本サルヴェージ(株) 保有の「開洋」による実績)。

また、海洋深層水取水管路の敷設において重要な事項の1つに「管路の品質保証を如何図るか」がある。地上の構造物は施工後に不具合があれば発見・補修が容易であるが、海洋深層水取水管はそのようにはいかない。そのため敷設に当っては「厳格な敷設管理を行うことで品質保証」を図っている。その管理事項は①配管勾配 (エアー溜りが生じないよう片勾配を確保): 敷設直前および敷設時に海底地形を実測して管路の勾配を管理し、所定の片勾配が確保できない場合はルート変更で対応、②取水口の到達深度 (設計深度の確保): 敷設直前および敷設時に海底地形と各深度までの管長を実測し取水口到達深度を予測管理、③配管の発生断面力 (敷設時許容応力度確保): 敷設時管線形が許容応力度内に治まるよう入水角・導入張力を管理、④配管位置 (設計ルート確保): 敷設位置を実測し障害物等を回避するよう管理、の主要4項目であり、敷設管理の確立が敷設完成後の敷設に起因する不具合の発生を回避していると言える。なお、敷設完了後は管路全長にわたり設置状況をROV (Remotely operated vehicle) 撮影し、管路に有害な“ブリッジ現象の状況”や“取水口の周辺状況”等を最終チェックしている。

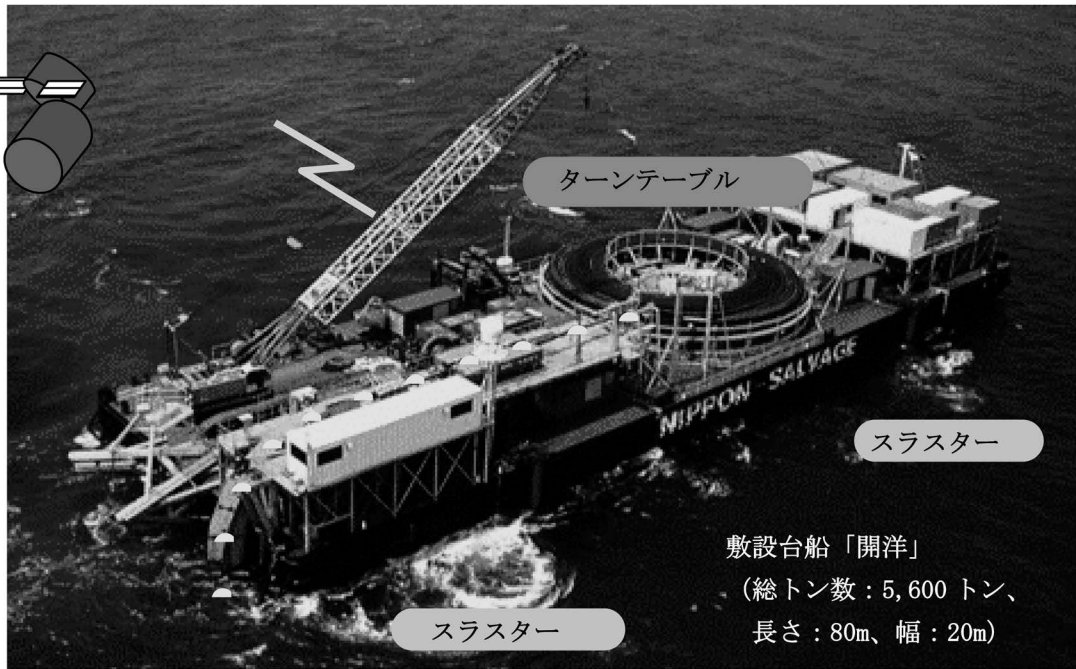


図2-5 DPS装備リールバージ法

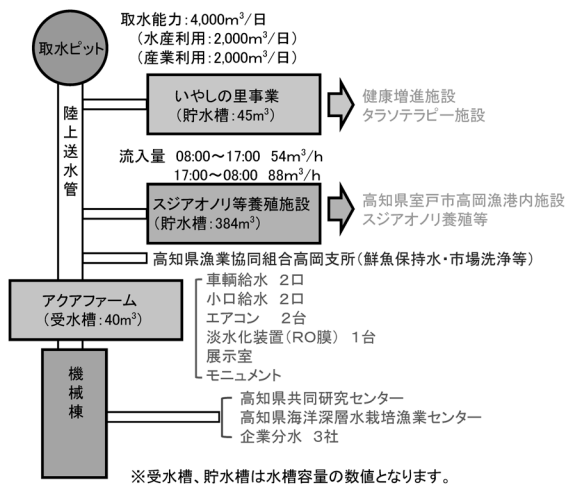


図2-6 室戸海洋深層水アクア・ファームの給水フロー図 (室戸市提供)

(4) 深層水分水施設

海洋深層水は当初、有効利用研究用として取水施設内のみで利用されていた。しかし、1999年室戸市に整備された室戸海洋深層水アクア・ファームが水産利用の他に企業分水を目的に設置され、これを機に飲料水製品や食料品、農業、医療等々、海洋深層水は多目的に活用されるようになった。その新産業の事業性(年商150億円程度)が良かったこともあり、それまでに整備された施設も含めて新規施設が外部への給水が可能な分水施設を併設するようになった。

分水施設は海洋深層水原水と原水を加工(逆浸透膜法、電気透析法などによる)した水を給水する施設が一般的である。その分水方法については原水の給水先や給水量、加工水の種類と給水先・給水量によって給水方法が異なる。原水の給水は「パイプ給水(数10 m³/日以上):隣接立地の製品工場、養殖施設、療養施設、研究施設」、「車輛給水(1~10 m³/回):遠隔地の製品工場、栽培施設」、「小口給水(数10 L/回):個人」で行っており、加工水の分水はその量が少ないことから「小口給水」が一般的である。図2-6および図2-7に室戸海洋深層水アクア・ファームの給水フロー図、分水施設概要を示す。

3. 海洋深層水取水施設の将来展望

海洋深層水の陸上型取水施設技術において、現在の日量1万m³級の取水管路は地震発生に伴う地滑りへの対応を除き、略完成形の取水路構造物として確立できたと言って良いと考える。

したがって、海洋深層水取水施設における構造物に関する将来展望としては本文冒頭にも述べたように「日量数十万m³の取水」技術の実用化であろう。なお、現存する大量取水施設は米国ハワイ州・NELHAの取水施設であり、日量十数万m³の深層水



図2-7 室戸海洋深層水アクア・ファームの分水施設概要
(室戸市提供)

を揚げていると聞いている。

一方、大量取水管路技術における最大の課題については「清水勝公・堀 哲郎・白枝哲次(清水建設(株)) S5. 陸上設置型取水技術の検討(2014) 海洋深層水研究 第18回全国大会講演要旨集・海洋深層水利用学会P.83-P.88」に記されているように“大口径管の材料とその製造”と“大口径管の敷設方法”であり、実用化のためにはパイロット事業等を通じて $\phi 1$ m級、次いで $\phi 2$ m級管路へと段階的に実証試験・実績を重ねる必要があるとしている。また、これまでに行われた研究開発として平成11年から平成15年の5か年間で実施されたNEDO事業「エネル

ギー使用合理化海洋資源活用システム開発」の中で「深層水取水技術開発研究」が行われているが、本研究開発での取水管路の実証は $\phi 225$ mm径で終わっている。是非、国プロとして前述の取水管路に関する実用化開発を望むものである。

謝 辞

本紙の作成にあたり、取水・分水施設に関する資料等をご提供いただきました室戸市殿に深く感謝いたします。

施設名	取水量	取水深度	管内径	管延長	供用開始
最先端の大容量取水技術実証施設 ● JOIA取水モデル実証施設 ● 日本初の日本海固相水取水 ● 富山県水産試験場深層水利用研究施設	2,000(3,000)m ³ /日	333(321)m	250(250)mm	2,690(2,630)m	※2001年12月供用開始
日本初の養殖・蓄養事業用深層水取水施設 ● 入善町海洋深層水利用施設	2,400m ³ /日	384m	250mm	3,308m	※2001年12月供用開始
日本初の深層水・温泉水熱交換システム ● 熊石海洋深層水取水施設	3,500m ³ /日	343m	270mm	4,400m	※2003年11月供用開始
日本初の陸上型深層水利用施設 ● 高知県海洋深層水研究所	計920m ³ /日 (取水管2本)	320m 340m	125mm	2,650m	※1号目:1989年、2号目:1994年供用開始
日本最大深度687m 管延長7.3kmを1本で敷設 ● 駿河湾深層水取水供給施設	取水管 風潮系: 2,000m ³ /日 全長系: 2,000m ³ /日	397m	200mm	7,273m	※2001年9月供用開始
世界初深層水給水ターミナル ● 室戸海洋深層水アーク・ファーム	4,000m ³ /日	374m	270mm	3,125m	※2000年1月供用開始
世界最長12.5kmの取水管を1本で敷設 ● みえ尾鷲海洋深層水利用施設	2,885m ³ /日	415m	280mm	12,500m	※2006年5月供用開始
日本最大13,000m ³ /日の深層水取水 ● 沖縄県海洋深層水研究所(久米島)	計13,000m ³ /日 (取水管2本)	612m	浅海部: 380mm 深海部: 280mm	浅海部: 605m 深海部: 1,920m	※2000年6月供用開始

参考資料 3社が国内施工した海洋深層水取水・分水施設