

生物生産のための深層水取水施設の設計と施工

萩原 運弘* ・ 清水 勝公** ・ 奥津 宣孝**
豊田 孝義*** ・ 中島 敏光*** ・ 石井 進一****

1. ま え が き

水深数百m以深の深層水は富栄養・低温・清浄などの特性を有することから水産や温度差発電等への活用が期待されている。温度差発電に比べて少量の水量で済む水産への利用は既にハワイ（豊田，1984）やノルウェー（中島，1988）で実施されているが、これらの取水施設が穏やかな海域に建設されているのに対して、1989年3月に高知県室戸岬東岸海域に完成した我が国で最初の生物生産のための深層水取水施設は、海象条件の厳しい海域に建設された世界で初めての例である。

本研究は室戸岬東岸域に建設された生物生産のための深層水取水施設に係わる海域調査，設計および施工について報告するものである。

2. 施設の概要

取水施設は図-1の施設概念図に示すごとく深層水を陸上の実験施設に導き深層水の特性を有効に活用して餌料プランクトン，海藻，魚介類などの生物生産を図るためのものである。深層水取水施設の主な仕様を表-1に示す。

表-1 深層水取水施設の仕様

項 目	仕 様
深層水取水量	460m ³ /日
深層水取水深度	320m
深層水取水管	管路延長；2650m，管径；125mm 管種；鉄線鍍装硬質ポリエチレン管
取水ポンプ	型式；塩化ビニル樹脂製，7.5kw 設置高さ；DL-2.7m(地下ピット内)
施設耐用年数	10年

註) DL：基本水準面，DL±0=LWL(さく望平均干潮面)

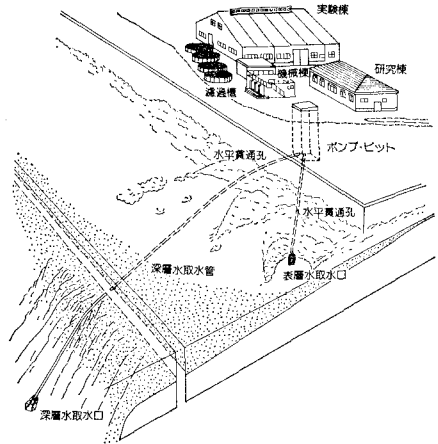


図-1 深層水有効利用実験施設概念図

3. 海域調査

設計，施工に先立ち，1986年12月に地形および地質調査を音響測深機と地層探査機を用いて，また流況調査を長期巻自記流速計により実施した。その結果，岸から約200mは転石のある起伏の大きい岩地形でこれより沖側約1800mは海底勾配が1°～10°の砂質地盤が続き，その先から岩地盤になり急激に落ち込む地形（最大傾斜37°）であることがわかった。また水深50m，100m，260mの海底面上10mのところに設置した流速計の48時間連続記録より，最大流速はそれぞれ0.42m/s，0.23m/s，0.25m/sが得られた。一方，栄養塩濃度と水温の鉛直分布に関する調査は1986年8月，11月，1987年6月，8月の計4回実施し，安定した植物プランクトンの連続生産が達成できる栄養塩（硝酸態窒素）濃度15μM（海洋科学技術センター，1985）以上を確保するためには水深250m以上の深度が必要なこと，また水深250m地点の水温は夏期9～14℃であることが確認された。

図-2に位置，図-3に海水温度および硝酸態窒素の鉛直分布，図-4に海底地形・地質縦断を示す。

* 正会員 清水建設(株) 技術研究所 主任研究員
** 正会員 清水建設(株) 技術本部
*** 海洋科学技術センター 海洋開発研究部 副主任幹
**** 海洋科学技術センター 海洋開発研究部 部長

4. 深層水取水施設の設計

本施設は水産への利用面から表-2 に示すごとく、取

水量、取水深度の確保の他、低水温、水質の保持に係る条件が課せられた。また、前述の海域調査の結果などを踏まえた設計条件を表-3 に示す。深層水取水管路は台風襲来頻度が高く、設計最大波高約 17m という非常に厳しい自然条件下に設置されるため、設計においては上記の基本要求条件を満足し、かつ大波浪に耐えと共に低コストの深層水取水施設とすることに留意した。以下に設計の概要を記す。

(1) 取水方式と管径

取水方式には自然流下方式とポンプ揚水方式がある。自然流下方式は海面と陸上の貯水ピット部での水面との水位差により動力なしで通水させるため、所定量の取水

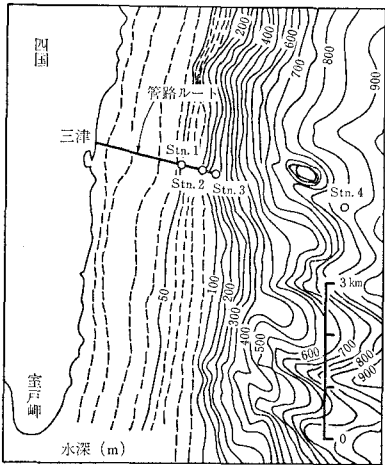
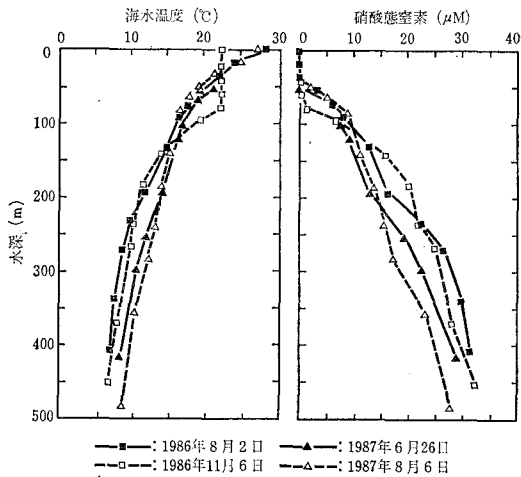


図-2 位置図



(測定位置: Stn. 4)

図-3 海水温度および硝酸態窒素の鉛直分布図

表-2 基本 requirements

項目	条件
深層水取水量	460m ³ /日以上
深層水取水深度	250m 以深
陸上施設へ供給時の深層水温度	通年 20℃ 以下
水 質	施設から金属成分が溶出しないこと
深層水供給揚程	18m
耐用年数	10年以上

表-3 設計条件

項目	条件
潮 位	HWL=DL+1.8m, LWL=DL±0m
波 浪	(完成後) $H_{max}=17.1m$, $T=15 sec$ 波向 SSE±15° (施工時) $H_{max}=2.0m$, $T=10 sec$ 波向 SSE±15°
潮 流	(完成後) $V_{max}=0.5m/sec$ (海底面) (施工時) $V_{max}=1.0m/sec$
海底地形	図-4 参照
海底地質	図-4 参照
海 水	(水 温) 図-3 参照 (密 度) 1.03 t/m ³

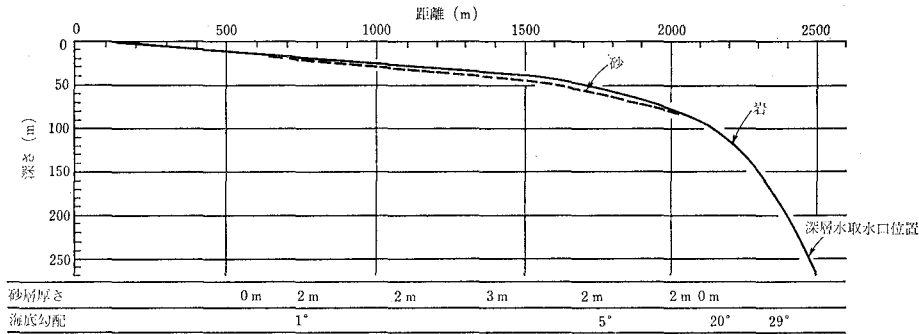


図-4 海底地形・地質縦断面図

に必要な水位差の確保に深く大きな地下ビットが必要となる。一方、ポンプ揚水方式は比較的浅く小さな地下ビットで済み低コストで建設できること、またメンテナンスが容易なことなどからポンプ揚水方式を採用した。

管径は小さくするほどポンプ取水時の管内摩擦抵抗が増大し所定の取水量を得るためポンプ設置レベルを下げなければならない。また逆に管径を大きくすると管材費が大きくなる。このようなことからポンプビットが現実的な深さとなり、土砂等の管内堆積が起きない流速(0.3 m/s 以上)を満足する管径 100 mm, 125 mm, 150 mm の3ケースのコスト比較を行なった結果を表-4 に示す。施設建設コストと10年間のランニングコストより、管径はそれらの和が最小となる 125 mm を採用した。なお、管内への生物付着による取水量の低下に対してはビグ走行による定期的な管内清掃を考慮した。

表-4 管径によるコスト比較

管径 (mm)		100	125	150
項 目				
主 な 諸 元	摩擦損失水頭; H_e (m)	21.6	7.3	3.0
	海水密度差水頭; H_d (m)	0.4	0.4	0.4
	ポンプ設置レベル; DL (m) ($P=H_p-H_e-H_d$)	-17.0	-2.7	+1.6
	ポンプ全揚程; H_t (m) ($H_t=H_p+H_L-P$)	40.0	25.7	21.4
	ポンプ規格 (kw)	15	7.5	5.5
コ ス ト (比 率)	施設建設コスト	94	88	105
	ランニングコスト (10年)	19	12	13
	合 計	113	100	118

註) H_p : ポンプ吸込み揚程 (5m)
 H_L : 吐出し揚程 (18m)

(2) 管 材 料

深層水取水管の管材料は生物生産への利用上から生物の成育に有害あるいは影響のある成分を溶出せず、深層水の低水温を保持する断熱性が、また、管敷設上、完成後の安全上からは可とう性、耐衝撃性、強度特性、耐久性などに優れていることが必要となる。管材料に要求されるこれらの特性等の比較を適用可能性のある5種類の管材料について行った。(表-5 参照) その結果、これらの条件を満足する鉄線で補強した硬質ポリエチレン管を採用することとした。鉄線鍍装硬質ポリエチレン管の断面を図-5 に示す。管長1m 当りの重さは空中で32.5 kg、水中で 20 kg である。

(3) 管路設置構造

管路設置標準を図-6 に示す。水深 8.5m 以浅の浅海域の管路は完成後に大きな波力を受け、転石の衝突が考えられるため十分な管防護と管内にエアが溜まることに

表-5 管材料の特性比較

管種	鋼 管	FRP管	塩ビ管	硬質 ポリエチレン管	鉄線鍍装硬質 ポリエチレン管
項目					
金属成分の溶出	△	○	○	○	○
可とう性	×	△	△	○	○
耐衝撃性	○	△	×	△	○
強 度	○	△	×	×	○
耐 久 性	×	○	△	○	○
断 熱 性	×	○	○	○	○
管敷設実績	○	△	△	○	○
総合評価	×	△	×	△	○

○ : 優れる, 多い, △ : 中間, × : 劣る, 少ない

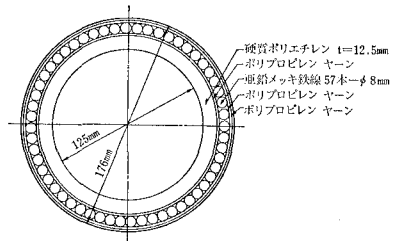


図-5 深層水取水管断面

よる取水量の低下に対して、極力凸部のない片勾配の縦断線形を確保することが必要であった。しかし、転石が多く、起伏が大きく常に波の影響が大きい悪条件下での管設置作業を余儀なくされるため、管路設置形式の選定では特に念入りな施工検討の結果、铸铁防護管(100 kg/m)を取り付けたりえ基岩にバンド固定する形式を採用した。これより沖側(水深 8.5~60m)は、表層が沖積砂層の緩傾斜のなだらかな地形のため土中に深さ 1.5 m で埋設することで波、流れ、投錨、漁業等への影響を防止した。水深 60m 以深は管自重で管移動に対する安定が保たれるので、海底面上に直接置く自然着底方式とした。なお、管外面は黒色として魚に対し目立たないように配慮した。また先端の取水口は海底に堆積する土砂の吸い込みを防止するため図-7 に示すような取水枠を取り付けた。取水枠は正六角形、ラップ形の形状で骨組構造とすることで、いかなる状況においても海底からのクリアランスを一定に保つよう配慮した。

5. 深層水取水管の施工

施設の主要工事としてはポンプビット工、海岸部水平ボーリング工、海中部管路敷設工、等が挙げられる。ここでは特に、厳しい海象条件下において長尺管を水深 320m の大深度に渡り、高精度・急速施工した海底配管の敷設と機械埋設について述べる。

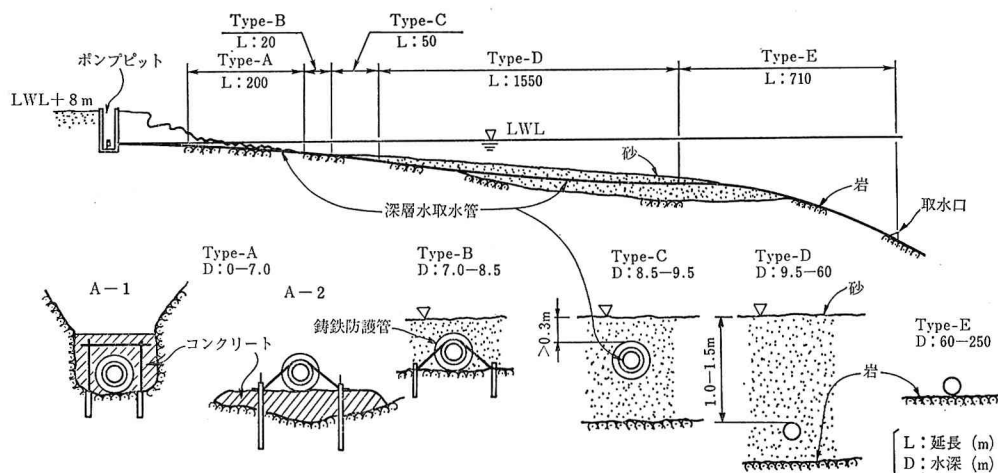


図-6 深層水取水管設置標準図

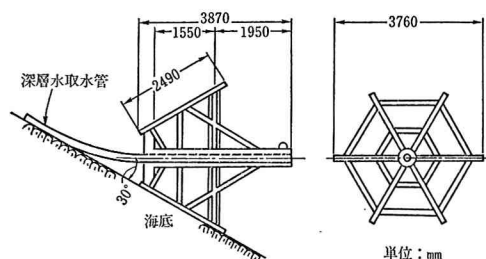


図-7 深層水取水口構造

った。管陸上げは敷設船が入船できない海岸部岩礁域の敷設であり、写真-1 に示すように対岸 300m 位置に敷設船を係留し、浮体がセットされた管を陸上のウインチで所定長、浮かせて引出し、陸の管と仮接続後、敷設位置調整をしつつ順次陸側より沈設させた。沖合側敷設は図-8 に示すようにルート上の海底に予め敷設した操船ワイヤーを敷設船の船首ウインチで巻取り前進させ、テンショナーを介した管を船尾のシューターから順次送り出す方式で行った。取水口吊り降しは敷設船を仮係留し

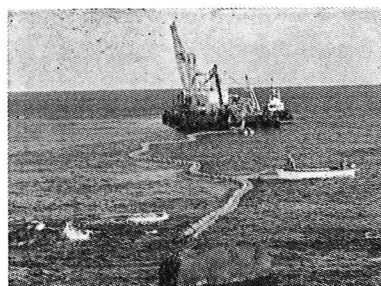


写真-1 管陸上げ状況

(1) 取水管の敷設

敷設工法は海岸部岩礁域の延長270mを浮遊曳航法で、沖合側の延長2,380mをアンカー方式リールバジ法で行った。敷設工法の決定は浮遊曳航法、海底曳航法、敷設船法、リールバジ法の4工法の中から管路仕様と現地環境条件に対して敷設位置精度確保と管破損防止が図れ、かつ敷設費が安価となる工法とした。浮遊曳航法とリールバジ法の主要選定要因を以下に示す。

<浮遊曳航法>

- ・海岸部岩礁域の曲線配管が可能。
- ・リールバジ法と同段取で敷設できる。

<リールバジ法>

- ・現場での管接続がないので品質管理が容易。また、急速施工が図れるので好天日の敷設実施が容易。
- ・施工限界は波高 $\leq 1.5\text{m}$ 、潮流 $\leq 1.5\text{m/s}$ 、風速 $\leq 15\text{m/s}$ であり操船性・天候急変への対応度が比較的大。
- ・小口径管やケーブルでの実績が多く、最も安価。

敷設は全長2,650mの1本物で工場製作した管を敷設船に搭載(2日)して現地搬入(3日)し、現場敷設準備(敷設ルート設標、操船ワイヤー敷設等3.5日)が完了した後、管陸上げ(0.5日)、沖合側敷設(1日)を行

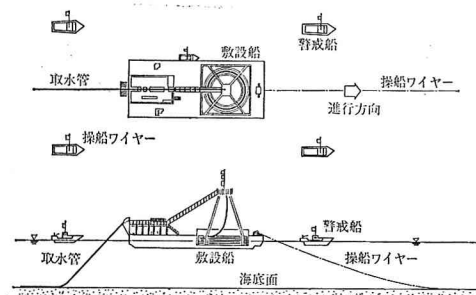


図-8 アンカー方式リールバジ法敷設概念図

で管端に取水口を取付けた後、吊り降しワイヤーを連結し、敷設船を沖合側に移動しつつワイヤーの張力を調整して管の沈下線形を制御し沈設した。吊り降しワイヤーは取水口着底と同時に切離しできる自動切離し治具を用いて回収した。

安全管理は灯標を配置し作業占有域を明示するとともに敷設船回りには警戒船を配備して行った。また、中・長期の海・気象予測を行い好天日に敷設ができるよう配慮した。敷設管理は取水口到達深度の確保と管発生応力度の制御に重点をおいた。取水口到達深度の管理は予め敷設位置と所要管長との関係を求めておき、敷設延長約30m毎に船位置測量を行い、所要管長と管送出し長を対比して管理した。なお、取水口深度は管先端にトランスポンダーを取付けておき3次元座標で確認した。管発生応力度(管の沈下線形)の管理は予め潮流力を考慮して応力度解析により求めた各深度毎の所要管導入張力に沿って、テンショナー作動張力を調整し、入水角で照査して管理した。敷設結果は敷設位置のズレが取水口部のみで12m発生した程度であり高精度敷設が確保された。また、取水口深度は余長147m(全長5.5%)のほとんどが深度増大に寄与したことで計画値250mに対し320mとなった。

(2) 取水管の機械埋設

大深度用埋設方式は高圧ジェット、鋤牽引、流動化があり、土質条件・埋設深さ・管径・施工深度等に合せ採用される。本件では最大施工深度60mに加え、取水管路としてエアードリフトを生じない縦断線形の確保と海域の漁業に対して音・濁りの少ない方式が要求されたので図-9に示すような流動化方式埋設機を採用した。本方式は水ジェットで地盤を流動化・緩め、機械重量で管を土中に押し込む機構である。埋設に当っては事前に突き棒調査を5~10mピッチに行い、障害物の有無と埋設の容易さを確認した。

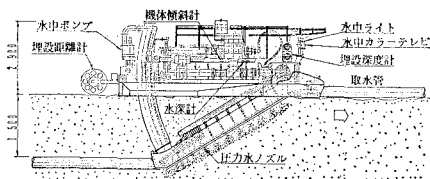


図-9 流動化方式埋設機概念図

機械埋設は敷設船を現地で艀装替えし、予め埋設台船移動用アンカーを所定位置に配置しておき図-10に示す要領で順次陸側から行い、延長1,540mを2日(8hr/日)で完了した。埋設管理は管路の縦断線形の保持に重点をおき、図-9に示した埋設機に内蔵された機体傾斜計と水深計で地盤の傾斜と起伏高を測定し、管埋設深さとの関係で照査・管理した。

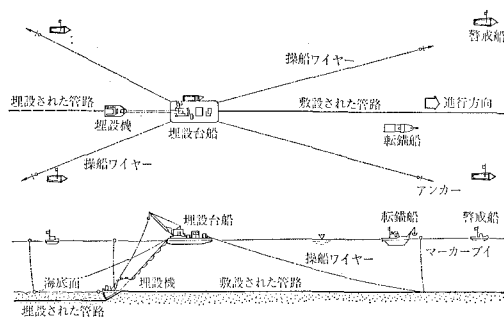


図-10 埋設作業概念図

6. あとがき

1989年3月に完成した我が国初の陸上設置型深層水有効利用施設のうち、水深320mから取水する深層水取水管やポンプピット等の取水施設の海域調査、設計および施工について報告した。生物生産のために利用される本取水施設は設計最大波高約17mという苛酷な海域に計画され、生産面から水量の安定供給、水質および取水温度の確保等の高い品質機能が要求されたが、①鉄線に補強した硬質ポリエチレン管の採用、②ポンプ室を地下12mに配置し、管路全延長にわたり洗掃できるビッグ洗浄方式の採用、③急速施工の可能なリールバージ方式の採用などにより予定通り完成した。

なお、本研究は科学技術庁科学振興調整費により実施した。

参考文献

- 海洋科学技術センター (1985): 深層水による *Chaetoceros ceratosporum* の連続培養について (内部資料)。
- 中島敏光 (1988): ノルウェーにおける深層水利用技術の研究開発動向, 海洋科学技術センターニュース, 94号, pp. 6~7。
- 豊田孝義 (1984): 米国における深層水利用技術の研究開発動向, 海洋科学技術センターニュース, 73号, pp. 8~9。