

海洋深層水の新しい取水方式と今後の展望

歌津 洋一¹・古後 正博²・藤尾 良也³・橋本真幸⁴

¹前田建設工業株式会社 土木技術部（〒102-8151 東京都千代田区富士見2-10-26）

²正会員 前田建設工業株式会社 土木技術部（〒102-8151 東京都千代田区富士見2-10-26）

³東洋建設株式会社 技術本部（〒101-8463 東京都千代田区神田錦町3-7-1）

⁴積水化学工業株式会社 環境ライフラインカンパニー（〒105-8450 東京都港区虎ノ門2-3-17）

海は地球の全面積の4分の3を占め、生命の起源とも言われる。また、海は大気との相互作用により気候に影響を及ぼすなど、地球上の全ての生命を維持する上で不可欠な資源になっている。近年、海洋資源の中でも特に注目を浴びているのが海洋深層水である。海洋深層水は、富栄養性や清浄性などの特性があり、多方面での利用が展開され、海洋深層水を利用した新しい産業が形成されつつある。本論文は、海洋深層水の新しい取水方式と今後の展望について述べるものである。

キーワード 海洋深層水、ポリエチレン管、バット融着

1. はじめに

近年、我が国周辺海域では、海に眠る資源として金、銀、コバルト、マンガンに加えメタンハイドレートが注目され、その膨大な量に対して、今後新しい海洋資源の研究、開発、ビジネスが展開されようとしている。海洋深層水もその資源のひとつで、取水の始まった15年前より本格的に研究され、水産分野はもとより、食品やエネルギー、医療分野等で利用されてきている。また海洋深層水は表層水と区別され、特に富栄養性や清浄性などの特性により魅惑の資源としてのイメージが強い。そこで本論文では、海洋深層水の現状を整理するとともに新しい取水方式を紹介し、今後の展望として、将来の大口徑化による大量取水に向けた取り組みについて述べる。

年にわたりほとんど変化しない。

b) 富栄養性

表層の海水に比べて植物に必要な窒素、リン、ケイ酸などの無機栄養塩を多く含んでいる。

c) 熟成性

水圧 30 気圧下で長い年月を経て熟成されているため、安定した性質を有している。

d) ミネラル性

Ca, Fe, Zn, Na, Mg などの微量元素やミネラルがバランスよく含有されている。

e) 清浄性

陸水由来の大腸菌、一般細菌の汚染が無く、また、大気に接触していないため、化学物質による汚染が少ない。

2. 海洋深層水の現状

(1) 海洋深層水とは

地球に存在する水分の約 98% は海水で、その内、95% が海洋深層水と言われている。この海洋深層水とは光合成による有機物生産が行われず、分解が卓越し、かつ、冬季の鉛直混合の到達深度以深の海洋水で、一般的に太陽光の届かない概ね 200m 以深の海水をいう¹⁾。この海洋深層水には以下の 5 つの特性²⁾があり、これらの特性と用途を整理したものを表-1 に示す。

a) 低温安定性

水温は表層よりかなり低く（約 10℃ 以下）、周

表-1 海洋深層水の利用用途

用途分野	対象特性					摘要
	低温安定性	富栄養性	熟成性	ミネラル性	清浄性	
エネルギー・資源分野	○				○	施設内冷房、工業冷却水、海洋温度差発電
医療・健康・美容分野			○	○	○	アトピー治療、タラソテラピー、健康食品生産、化粧品
水産分野	○	○	○		○	魚介類・海藻類の養殖、魚介類の蓄養、展示魚類の蓄養
農業分野	○	○				施設栽培（温度制御）、水耕栽培肥料生産、土壌冷却
食品分野			○	○	○	各種飲料水の生産、各種食品生産

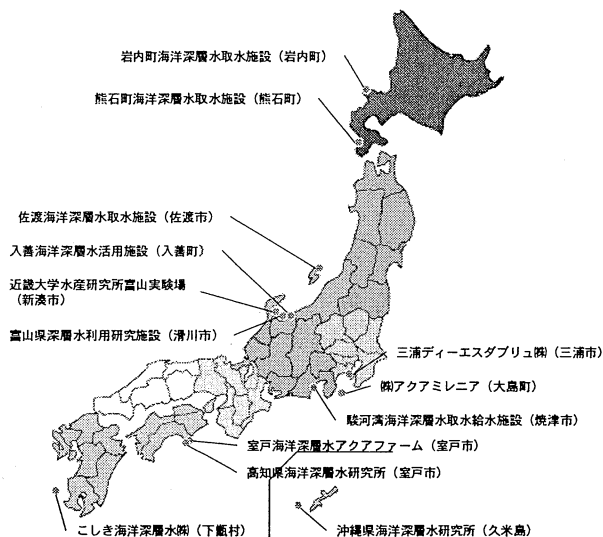


図-1 海洋深層水の取水適地³⁾

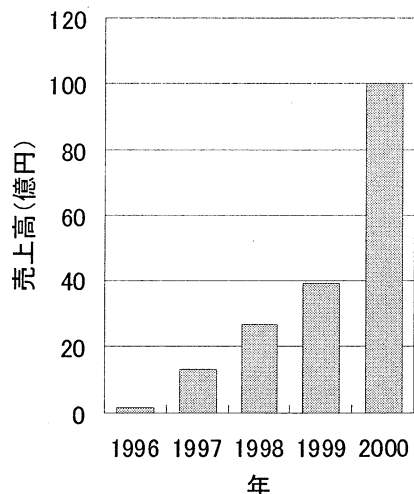


図-2 高知県の海洋深層水商品の売上高推移地²⁾

(2) 海洋深層水の適地

図-1に海洋深層水の取水地を示す。日本は四方が海に囲まれている島国であるため、海洋深層水の取水に適している。現在、国内で13箇所海洋深層水の取水を行っているが、地域振興および地域の活性化を求めて海洋深層水の需要は拡大している。今後

表-2 海洋深層水の取水の現状³⁾

施設名称	高知県海洋深層水研究所	富山県水産試験場 深層水利用研究施設 滑川	沖縄県海洋深層水研究所 久米島	ハワイ NELHA (ハワイ州立自然エネルギー研究所)	
取水量 (t/日)	920 (取水管2本)	3,000	13,000 (取水管2本)	72,000	150,000
取水深度 (m)	320, 344	321	612	675	950
取水管長 (m)	2,650	2,630	2,527		
取水管内径 (cm)	12.5	25	28, (38)	100	140
取水管材	鉄線鍍装硬質ポリリン管	鉄線鍍装硬質ポリリン管	鉄線(鋼帯)鍍装硬質ポリリン管	硬質ポリリン管	硬質ポリリン管

も、海洋深層水の取水設備は増加していくものと考えられる。

表-2に国内外における主な海洋深層水取水施設の現状を示す。高知では89年から取水が始まり、現在では国内での海洋深層水の先進地域となり、その後、富山や沖縄、静岡に展開されている。その中で注目すべき点は、ハワイと違って取水管に鍍装硬質ポリエチレン管が採用され、小口径小容量の取水が行われているところである。取水量はハワイの1/10以下と非常に少ない量であり、今後の市場や利用拡大に向けた大容量化が大きな課題となっている。

(3) 海洋深層水の市場

平成13年12月、公正取引委員会から通達された要望書の参考資料によると、飲用海洋深層水の市場規模は13年度予想で135億円となっている。この要望書は、海洋深層水の成分表示が曖昧であることと、海外からの参入を含めた今後の市場拡大と健全な市場の確立を目的として通達された。これからも分かるように、最近の環境・健康ブームに乗って市場が拡大した海洋深層水に一石を投じたわけであるが、注目すべき市場であることは間違いない。

また、高知県海洋深層水の関連商品（塩、豆腐、ひもの、醤油、味噌、日本酒、パン、菓子、化粧品、ウェットティッシュなど）の売上高は平成12年度で100億円以上を計上し、急速な伸び（図-2参照）を示している。今後は高知県の新たな産業として期待されている。

以上のように、海洋深層水は地域活性化の新しい資源として注目され、取水と利活用において新しい展開が望まれるところである。以下、新しい取り組み事例として鹿児島県下甕村こしき海洋深層水プロジェクトについて述べる。

3. 事例研究

(1) こしき海洋深層水プロジェクト

こしき海洋深層水の取水設備は、鹿児島県薩摩半島の西方約50kmの東シナ海上に浮かぶ甕島列島の最南端、下甕村手打湾に位置する。下甕村は、三方を海に囲まれた面積約58km²、人口約3000人の漁業と観光を中心とした小さな村で、その位置を図-3、設



図-3 こしき海洋深層水取水位置図

表-3 取水設備概要

項目	仕様等
取水施設形式	陸上設置式
取水深度	375m
取水管距離	4,000m
取水量	400t/日
取水管材料	硬質ポリエチレン管 (PE管)
取水管内径	φ133mm
取水管防護	2,000m

表-4 取水管比較表

管種	波付きポリエチレン管	ライニング鋼管	鎧装ポリエチレン管	硬質ポリエチレン管 (PE管)
設計面	・管厚み極小(排水用) ・内外圧耐久性に難 ・接続部はパテ・ゴム埋	・可とう性能小 ・腐食対策要	・強度大 ・可とう性能やや小 ・材質劣化小	・強度小 ・可とう性能大 ・材質劣化無し
施工面	・地元業者による接合 ・重量小 ・海底管使用実績無し	・フランジ・ボルト接合 ・重量大 ・海底管使用実績多数	・専門業者による接合 ・重量大 ・海底管使用実績多数	・地元業者による接合 ・重量小 ・海底管使用実績多数
製造面	・φ75～2000mm ・メーカー多数 ・既製品	・φ15～2500mm ・メーカー多数 ・既製品	・φ50～350mm ・メーカー1,2社 ・特注品	・φ20～2000mm ・メーカー多数 ・既製品
経済性	安価	比較的安価	極めて高価	比較的安価
総合評価	・経済的だが強度劣る ・接続部の水密性・水質影響も要注意	・取水管として不可欠な可とう性能に乏しく、腐食懸念も大きい	・強度面で優れ深層水実績が多いが設備投資が巨額	・海外実績や浅海実績多数 ・経済性含めあらゆる面で優位性高い

備の概要を表-3に示す。

本施設は、民間の出資によって建設されたもので、従来の国の補助事業とは大きく異なる。このため、施設建設に際しては、採算面での厳しい調査と工事方法の検討が行われた。

(2)取水設備

これまでの深層水取水管には、鎧装硬質ポリエチレン管が使用されている。この管は硬質ポリエチレン管の外側に鉄線で延長方向に補強したもので、比重が大きく頑強である。しかし、ポリエチレン管に鉄線を覆うという工程により、材料そのもののコストが高い上に、調達に時間を要し、さらに敷設するための専用船が必要となるため、取水管設備費が高価になり、海洋深層水の高コスト要因となっている。

この高コスト構造を解決するために、こしき海洋深層水の取水設備では、配水用高密度ポリエチレン管(硬質ポリエチレン管 以下、PE管と略す)を深層水用に利用した。PE管は、海水腐食がなく可塑剤等の危険もなく衛生的である。表-4に示すように、軽量で可撓性があり、材料・施工の両面で経済的である。さらに、図-4に示すように、新素材の高密度ポリエチレン樹脂や最新の製造技術により、耐久性が飛躍的に向上し、敷設時の張力や設置後の波

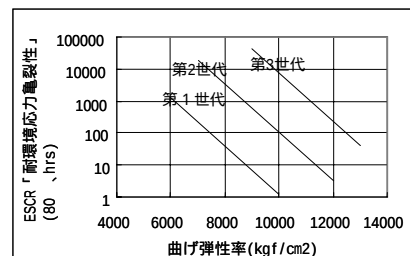


図-4 PE管の曲げ弾性率⁴⁾

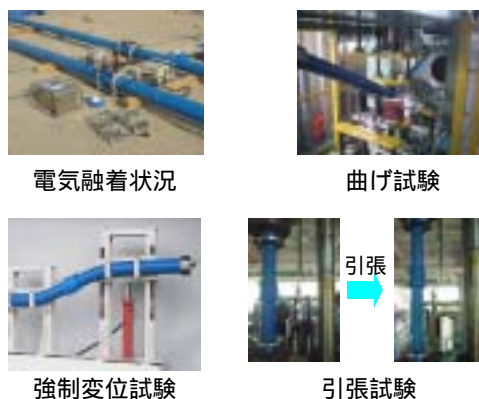


図-5 取水管接合部の安全性確認試験

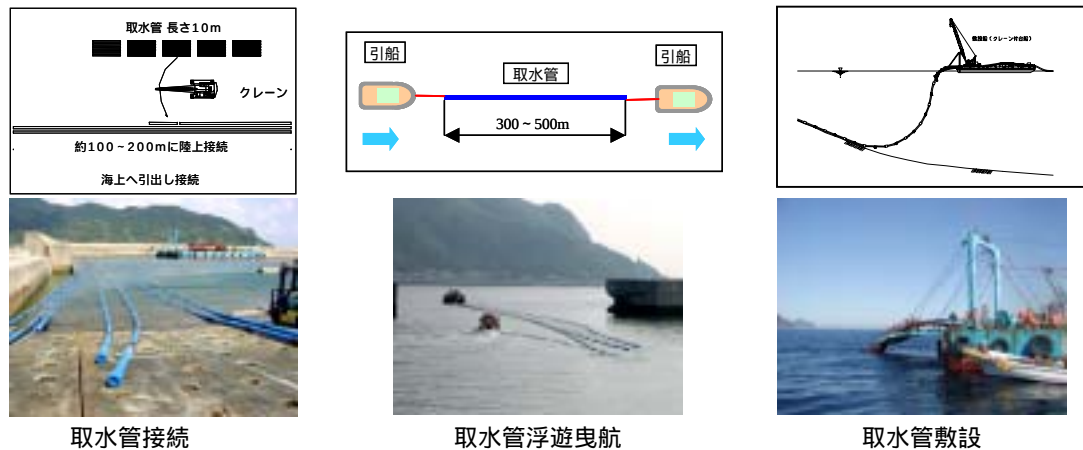


図-6 P E 管の浮遊曳航状況

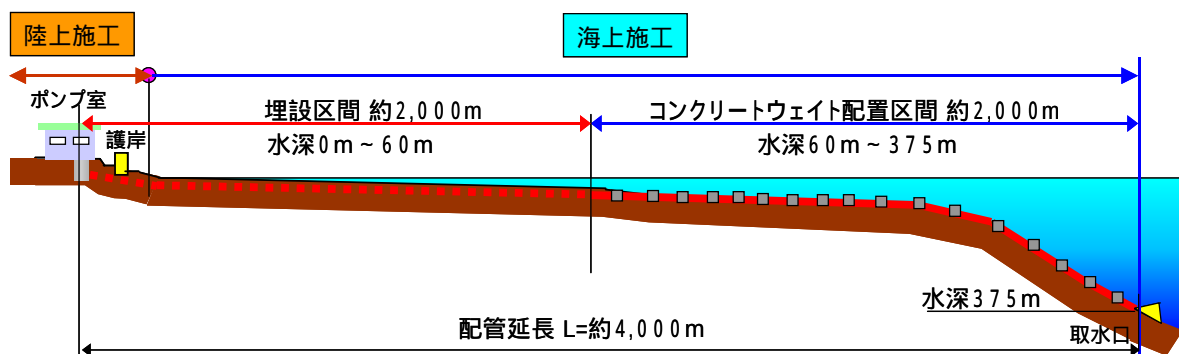


図-7 取水管敷設概要図

浪の影響に十分耐えうる強度を実現している。

定尺10mのP E 管の接続は電気融着工法で完全一体管路を実現している。その接合部に関する安全性の確認試験の状況は図-5の通りである。これにより、接合部が本管以上の強度を有していることが理解できる。

(3) P E 管の敷設

P E 管の敷設は、比重が小さいという特徴を活かした浮遊曳航台船方式で行った。図-6に示すように、陸上で長尺管を電気融着により製作し、それを海上へ曳航し、敷設作業を行うもので、特殊な機械を必要とせず、従来の台船で施工が可能である。

なお、図-7に示すように管の波浪保全のため浅海部は埋設し、管のアンカーとして埋設部は鋼製リング状ウエイトを、露出部ではコンクリートウエイトを用いた。埋設部の陸上付近は、護岸擁壁の関係で推進工法により施工し、その他の部分は機械掘削により埋設した。

現在は、取水量400 t のうち、ミネラル水の製造

販売に約100 t 使用し、残りはアワビの養殖や温浴施設などに利用している。

4 . 今後の展望

こしき海洋深層水プロジェクトでは工事費の中で割合の高い取水管について、コストを低減する工法としてP E 管を敷設する工法を提案し、採用された。P E 管は、前述のようにハワイの取水管で採用され、日量10万 t 以上の大量取水が行われている。したがって、国内においてもP E 管は将来の大量取水に向けたプロジェクトに対して、重要な配管材になるものと考えられる。

P E 管は国内において 1972 年より調査研究が開始され、1979 年に「ガス用ポリエチレン管に関する JIS」(K6774、6775)が制定された後、1982 年にガス事業法技術基準で使用が認められ、継手の規格化とともに徐々にその使用が拡大されてきた。また、水道分野においても、阪神淡路大震災を契機に

表-5 バット融着工法とE F 工法の比較

項目	分類	バット融着工法	E F 工法
施工性	作業性 (難易度)	熟練度を要する(現時点で一般施工業者による施工を認めていない。)	特に熟練度は必要としない(今までに融着部の漏水事故はない。)
	現場環境への対応	風やほこりが融着品質に影響を与えやすい(テント等の防護策が必要)	風やほこりの影響を受けにくい
	作業場所	平らな場所、陸(おか)に限定される(傾斜があると性能に影響が出る)	傾斜があっても可能
	取扱性	芯出しのための管支持台が多く必要	バタ角が数個あれば問題ない
	工具	融着機が重く、次の融着箇所に移動する時間が長い	軽量で一人で容易に持ち運びできる
			○

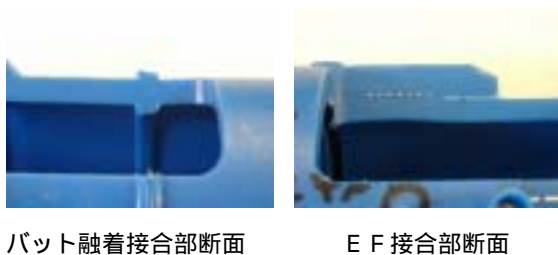


図-8 バット融着, E F 接合部断面図

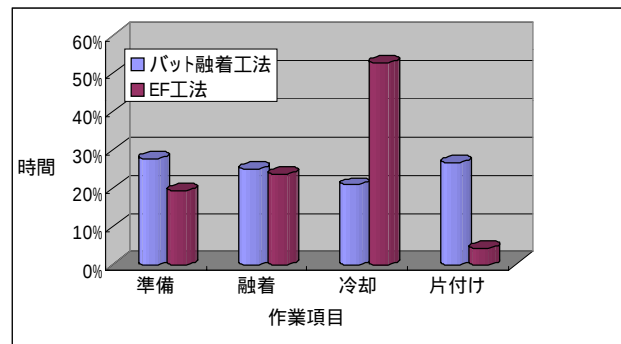


図-9 バット融着工法とE F 工法の施工時間比較
(呼び径 100 の場合)

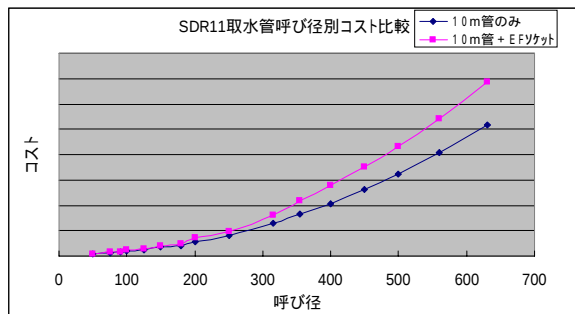


図-10 硬質ポリエチレン管とE Fソケットのコスト

1996 年頃より採用されるようになってきている。

海洋深層水の取水管として、P E 管と従来管との大きな違いは継手があることである。ここでは、この継手の接続法について整理し大量取水に向けた試みを紹介する。

(1) P E 管の接続方法

P E 管は樹脂の化学結合が強く接着剤のような溶剤によっても溶融しないため、熱によって樹脂どうしを溶かして融着する方法、あるいは金属継手などにより接合する方法があるが、ポリエチレンの柔軟性、伸び性の長所を生かすため、熱融着による方法が一般的である。この方法によれば、管と接合部が完全に溶融一体化されるので管路全体で弱点を持た

ない一体管路として捉えることができ、管路全体で地盤変位等を吸収することができる。

熱融着には主に、以下の方法がある。その接合部断面を図-8に示す。

a) ヒートフュージョン(H F)工法

ソケットフュージョン接合：管の外周面と継手の内周面を熱板で溶かして差込接合する方法。

バット融着接合：管の端面どうしを熱板により溶かして突き合わせて融着する方法。

b) 電気融着(E F)工法

継手の内面に埋め込まれた電熱線に通電することにより継手と管を溶かして融着する方法。

1989 年の JIS 改訂で電熱線入り継手(E F 継手)が規格化され、1990 年頃から本格的に E F 継手が採用されるようになってきている。ソケットフュージョンは口径φ75 までしかなく、施工もかなり難しいため現在は採用が減ってきている。

バット融着工法とE F 工法について、主に施工性で比較すると表-5のようになる。一般的にはE F 工法が施工性において優れており、前述のようにこしき海洋深層水プロジェクトではE F 工法を採用した。また、施工時間を比較したものが図-9である。E F

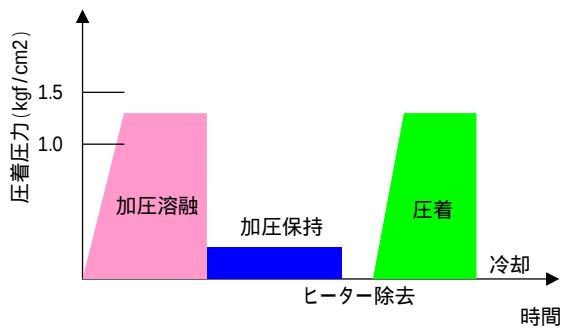


図-11 バット融着工程のパターン⁵⁾



図-12 バット融着に必要な機器類

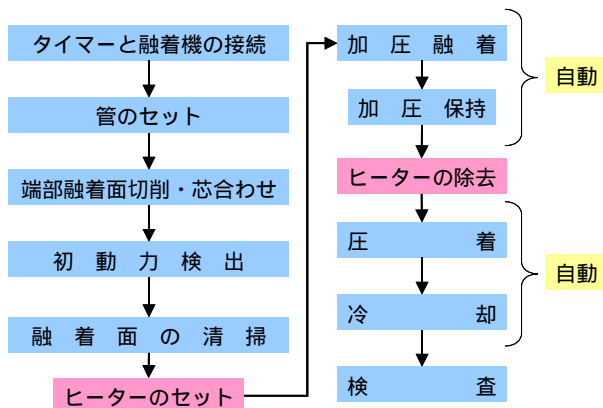


図-13 融着作業フロー

工法の場合、冷却時間が長くなり作業効率が悪くなる。実際に同プロジェクトにおいても、海上作業の冷却時間が大きな作業ロスを生じさせ、海水等による強制冷却を試みている。

図-10がP E 管 (10m) とE F ソケット (1個) の材料コストを示したものである。大口径化に伴い、E F ソケットの占める割合が大きくなり、コスト面で不利になることが分かる。

これらを整理すると、バット融着はE F に較べて施工性に劣る、E F は冷却時間で不利である、E F は大口径化に伴いコストが高くなる、ということが理解される。

以上より、大口径化による大量取水に向けて、特にコスト面において、バット融着は重要な作業になるものと考えられる。そこで、バット融着の課題となる施工性とその品質について工場を確認し今後の取水管のあり方について検討した。ここで、バット融着はISO11414で規定されており、その規定に基づいて作業を進めた。

(2) バット融着

バット融着は一定温度に加熱されたヒーターを接合しようとする部分に密着させ加熱溶融した後、溶融した接合面どうしを加圧しながら圧着することに

よりポリエチレン樹脂が溶融一体化して完了する。バット融着の工程を以下に示す。

a) 加圧溶融

管どうしをヒーターに接触させ加圧しながら溶融する。

b) 加熱保持

管どうしをヒーターに軽く密着した状態で加熱を継続し管軸方向に熱を十分伝達させる。

c) ヒーター除去

管どうしをヒーター面から離し、速やかにヒーターを取り外す。

d) 圧着

管の溶融面どうしを加圧しながら圧着する。

e) 冷却

接合部を一定時間以上静置冷却する。

バット融着の工程を圧着圧力と時間の関係で示したものが、図-11である。

(3) バット融着の作業手順

バット融着に必要な機器類を図-12、融着作業のフローを図-13 に示す。このうちヒーター温度、加圧溶融、加熱保持、圧着、冷却条件はあらかじめ定められた条件を機器が自動的に制御する。

また機器が自動的に行なう工程を図-13 に併記する。人手が必要な箇所は、管のセット、端部融着面切削、芯合わせ、初動力の検出、融着面の清掃、ヒーターのセット、ヒーターの除去、検査となる。

(4) バット融着試験

以下の項目について、工場での確認試験を行った。

a) バット融着の確認試験

融着確認試験はφ300 のサンプルを使って、バット融着の一連の作業を工場を確認した。その状況を図-14 に示す。

融着機 (FUSION 社製 ABF400) は ISO11414 に準拠しており、管径を制御盤上で選択すると、気温を考慮した融着条件で、半自動的に作業を進めることができた。



管取り付け



管端部切削



ヒーター取付け



管端部溶融



バット接合



冷却

図-14 融着試験状況



試験機限界曲げ試験



接合部確認
バット部破断無し



偏平試験



偏平された溶着部

図-15 融着部曲げ試験状況

図-16 偏平試験状況



水圧負荷状況



4.4Mpaで膨張始まるが
融着部は膨張せず

図-17 破壊水圧試験状況

この試験により、作業の容易性が確認できたことと同時に、均一な品質の実現性を確認することができた。したがって、屋外において、バット融着の品質等を保持するために、表-5 に示す現場環境の対応や作業場所への対策等を施し、さらに作業手順を厳守することで十分に対応できるものと思われる。

b) 融着部曲げ破壊試験

曲げ破壊試験は試験機により、試験機の限界もしくは破壊するまで融着部を曲げることで、融着部が破壊する限界曲げの角度を観察した。その状況を図-15 に示す。結果は試験機の限界に達してもバット部の破損はなく、その曲げ角度は 79.8 度であった（サンプルφ100）。融着部が通常ではあり得ない直角に近い状態になっても破損しないことが確認できた。

c) 偏平試験

偏平試験はサンプル（φ150）から、200mm 以上の環状試験片を切り取り、これを 2 枚の平板間にはさみ、管軸に直角の方向に 1 内面が接触するまでに圧縮した（試験温度は 23 ± 2 ）。その状況を図-16 に示す。結果は偏平時の両端で白化したが、融着部の破損はなかった。

d) 破壊水圧試験

破壊水圧試験は、サンプル（φ300）が膨張変形するまで水圧を加え、破壊し始めるときの最高圧力を確認した。その状況を図-17 に示す。判定基準は

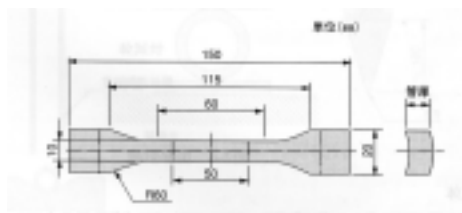


図-18 引張試験概要及び状況



図-20 取水管現地溶着状況（KWH）⁶⁾

破壊水圧が 3.4Mpa 以上であったが、基準を大きく超える 4.4Mpa で原管部が膨張を始めた。その時の融着部の膨張現象はなかった。

e) 引張試験

引張試験は、サンプルから図-18 に示す形状・寸法の試験片を管の内側から打ち抜いて作り、JIS K7161 に準じて行った。試験速度は $200 \pm 20 \text{ mm/min}$ 、試験温度は 23 ± 2 で 2 時間以上調節後実施した。判定基準の引張降伏強度 21.6Mpa 以上に対し、結果は平均 26.2Mpa で、融着部での破断はなかった。

f) 限界曲げ試験

限界曲げ試験はバット融着部を含む管路に外力を加え、徐々に曲げて、限界を確認した。その状況を図-19に示す。結果はサンプル $\phi 100$ の管路で半径 45cm を超えた段階で管が折れたが融着部の破損はなかった。この試験により限界の曲げ半径を確認できたことと、その状態においても融着部の強さが確認できた。

g) 総合評価

以上の 6 つの確認試験により、バット融着工法の強さや健全性について確認することができた。同時に、バット融着工法が EF 工法とあらゆる面において遜色ない品質を保持することが確認できた。また、施工性においては、半自動で融着が完了するなど機



図-19 限界曲げ試験状況

器が取り扱いやすいため、均一な品質の実現性が確認できた。今後は現場での施工性の再確認が必要である。

仮に融着部の目違いが生じても大口径になると、管の厚みも大きく、目違いによる断面欠損率も小さくなり、融着部の強度に対する影響度は小さくなる。よって、融着としては安全側に働くことを考慮すると、バット融着工法は、大口径に適した接続方法であることは間違いないと考えられる。

5. まとめ

本論文では、海洋深層水の現状と新しい試みとして PE 管による取水方式を紹介した。さらに、今後の展望として PE 管の特徴を活かした接続法の実験結果について報告した。前述した結果により、海洋深層水の取水において、PE 管が将来の大口径化による大量取水には不可欠な材料であることが認識できた。図-20に示すように、海外では PE 管を現地で製造し、そのまま敷設する方式が試みられている。このオンサイト方式はコストの低減と融着部をなくした究極の敷設方式と考えられる。国内でこの試みが実現すべく、今後も PE 管の施工確認試験を継続していきたい。ポリエチレン樹脂は新素材の開発や最新の製造技術により、耐久性や利便性等が飛躍的に向上しており、今後は管に限らず、生活のあらゆる面で活用されていくものと考えられる。

6. 参考文献

- 1) 漁港新技術開発研究 平成14年度報告書：海洋深層水取水施設に関する調査研究
- 2) 鈴木平光：身体がほしがる「海洋深層水」のミネラルパワー，勁文社
- 3) 社団法人海洋産業研究所 「平成14年度活動報告書：海洋深層水多角利用研究」一部加筆
- 4) 配水用ポリエチレン管協会：配水用ポリエチレン樹脂改良経過について
- 5) UK Water Industry: Specification for the fusion jointing of polyethylene pressure pipeline systems using PE80 and PE100 materials, Water Industry Specification 4-32-08 pp.1-26, 2002.
- 6) KWH PIPE：パンフレット