

新形式継手を用いた新しい深層水取水工法 (TUI 取水工法) の開発

Development of New Method for Laying Water Intake Pipes
Linked by Universal Joints

西川 正夫¹・栗原 明夫²・五明美智男²・加藤 謙³・佐見 誠⁴

Masao NISHIKAWA, Akio KURIHARA, Michio GOMYO, Ken KATO and Makoto SAMI

Abstract

A new method for laying a deep-sea water intake pipe was developed. In this method, a water intake pipe is composed of steel pipe units linked by universal joints, and the pipe is laid by controlling buoyancy and tension of that.

Key Words: Deep ocean water, Method for laying water intake pipes, Universal joint, Steel pipe

要 旨

深層水取水施設の建設コスト削減を目的として新しい取水工法 (TUI 取水工法) を開発した。本工法では、取水管として新しく開発した自在継手 (TUI: Toa Universal Joint) で接続された鋼管 (内面はポリエチレンコーティングを施す) を用い、管内空気排出量と取水管に作用させる張力の調整により敷設を行う。この敷設工法に関して取水管の基本的な挙動を把握するために室内実験を行い、管内圧力、管の沈降速度等に影響を与える要因を明らかにした。また、実海域での敷設実験を行い、室内実験で得られた知見の確認を行った。

キーワード: 海洋深層水, 取水管敷設工法, 自在継手, 鋼管

1. はじめに

海洋深層水の持つ清浄性, 富栄養性, 低温性といった特長が脚光を浴び, 日本各地で海洋深層水の有効利用に関する研究が精力的に進められてきており, 現在では, 利用研究の段階から実用の段階へ移行しつつある。海洋深層水の取水施設の建設費は, 取水管費および敷設費が大部分を占め, コスト削減のためには, より安価な取水管とその敷設工法が求められる。一方, 低温性に着目した場合, 発電所の冷却

水として有利になることもあり, 大量取水に対応できる大口径の取水管および敷設工法の確立も求められている。

著者らは, こうした課題に対応すべく, 取水管として新形式継手 (TUI: Toa Universal Joint) で接続された鋼管を用いた新しい深層水取水管敷設工法 (TUI 取水工法) を提案するものである。本報では, 今回開発した取水管, 敷設工法の概要, および取水管敷設時の挙動を把握するために行った室内実験の概要, また実海域での敷設実験の結果について

東亜建設工業(株) ¹技術開発部, ²技術研究所, ³機電部, ⁴設計部

¹〒102-8451 東京都千代田区四番町 5

¹Technology Development Department, Civil Engineering Headquarters, TOA Corporation.

²Hydraulic Environment Laboratory, Technical Research Institute, TOA Corporation.

³Mechanical Department, Civil Engineering Headquarters, TOA Corporation.

⁴Design Department, Civil Engineering Headquarters, TOA Corporation.

て述べる。

2. 取水管敷設工法の概要

2.1. 工法の概要

従来の深層水取水管には、可撓性と強度に優れた材料として、硬質ポリエチレンと金属の複合パイプが多く用いられ、その施工には平台船を艀装した敷設船（リールバージ船等）が用いられている。著者らは、取水施設の建設コスト削減のため、取水管に比較的安価な鋼管を用い、平台船を艀装した敷設船を必要としない工法を提案している。取水管に鋼管を用いる場合、可撓性が問題となるが、本工法では鋼管を今回開発した TUJ と称する新形式継手（以下自在継手と表記）で接続することにより、海底地盤の起伏に追従した敷設を可能としている。自在継手の設置間隔は使用する鋼管の曲げ耐力（ブリッジ状態を想定）から決定するのを標準とするが、事前調査で海底起伏が判明している場合にはそれに合わせた配置を計画することもできる。また、鋼管を用いるため、管径を比較的自由に選定できるので、大量取水にも対応できるものと考えている。取水管の敷設は基本的に浮遊曳航方式で行うが、フロートを用いずに、管内空気の排出による浮力の制御と取水管列に作用させる張力の制御により敷設を行う。この方法により専用の敷設船を必要とせず、敷設費を低減することが可能となる。

2.2. 取水管および自在継手の耐久性

本工法では取水管として鋼管を使用するが、鋼管材質の経年変化（腐食等）が水質に影響を及ぼさないように、内面には自在継手部も含めてポリエチレンライニング加工を施す（Photo. 1）。また、外面については、耐用年数に応じた防食（例えばタールエポキシ塗装と施工時の塗装の傷を加味した電気防食の併用等）を施す。

Fig. 1 に自在継手の構造を示す。自在継手は水密構造の回転フランジを管の長手方向に対して斜めに角度を変えて 2 組結合した構造となっており、これにより取水管を任意の方向に曲げることが可能と

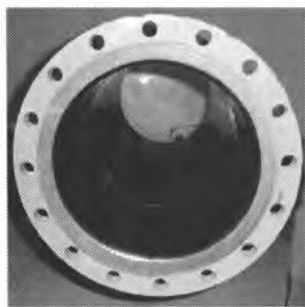


Photo. 1 Steel pipe unit (polyethylene lining)

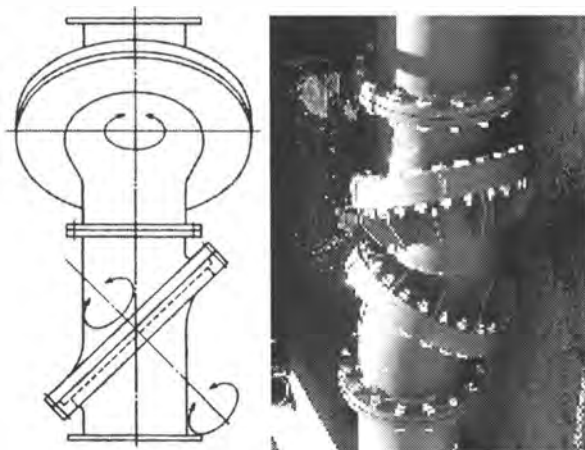


Fig. 1 Structure of Universal Joint

なっている。Photo. 2 に、自在継手の角度の変化状況を示す。

2.3. 施工時の自在継手部摺動性

自在継手のフランジ部は 360° 回転できる特長を有するが、回転部は O リングにより止水する構造となっているため、O リング、ポリエチレンライニングの耐久性を確認するために摺動実験を実施した。実験では、自在継手回転部を 90° 回転させその後 90° 戻すことを 1 サイクルとして約 10,000 回繰り返し摺動させた。継手内には赤色に染色した水を封入して内圧 0.1 MPa を負荷し、実験中の漏水を目視で確認できるようにした。また、圧力計を設置し、実験中の継手内圧力の変動をモニターした。なお、実験に使用した自在継手は外径 350 mm のものである。実験状況を Photo. 3 に示す。実験の結果、摺動面、O リングともに損傷は見られず、また、実験中にも漏水、圧力低下はなく、十分な耐久性を有することが確認された。また、自在継手の耐圧性を確認するために内圧を負荷する実験を実施し、3

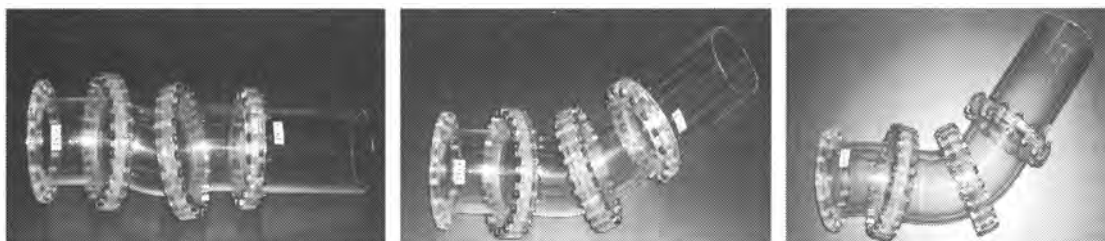


Photo. 2 Shape of Universal Joint



Photo. 3 Durability test of Universal joint

MPa に十分耐えることが確認されている。

3. 浮遊曳航方式による管列敷設工の検討

3.1. 室内実験

3.1.1. 実験概要

室内実験は、自在継手で接続された取水管列を管内空気排出量と張力の制御により海底に敷設する際の定性的な挙動を把握することを目的として実施した。実際の自在継手は 3 次元的な挙動をするが、

ここでは水深方向の 2 次元のみの動きに限定した（管の外径 2 cm，長さ 12.5 cm）。Fig. 2 に取水口を海底面に沈めた状態での実験装置の概略図を示す。取水管列の海上側端部はフロート上に取り付けた空気ボックスに接続し、このボックスには排気管，圧力計を取り付け，排気弁の断面積を変えることで排気量の調整を行った。また，空気ボックス後部から引き出したワイヤーに滑車を介して重錘を吊り下げることで取水管列に水平方向の張力を与え，荷重計により張力の測定を行った。また，取水口端部には着色水の入った袋を取り付け，取水管内に流入する水の可視化を行った。取水管の敷設は次のような手順で行った。①取水管列を水面に浮かべた状態から排気弁を閉じたまま取水口を水底に沈める。②水圧により管内に一定量の水が流入し取水管列は初期形状を形成する（初期状態）。③排気弁を解放し取水管内に水を流入させることで取水管は順次沈降していく（定常状態），敷設が完了する。

Table. 1 に実験パラメータを示す。実験では管重

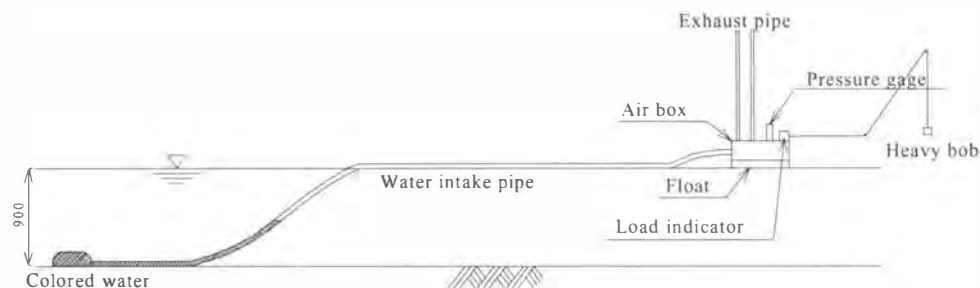


Fig. 2 General View of Experimental Equipment

Table 1 Parameters

Weight of pipe (1 unit)		Tension		exhaust	
Type	Underwater weight (N)	Type	Weight of heavy bob (N)	Type	Cross section of valve (mm ²)
1	0.14	1	0.147	1	0.283
2	0.18	2	0.637	2	0.565
3	0.20	3	1.127	3	0.848

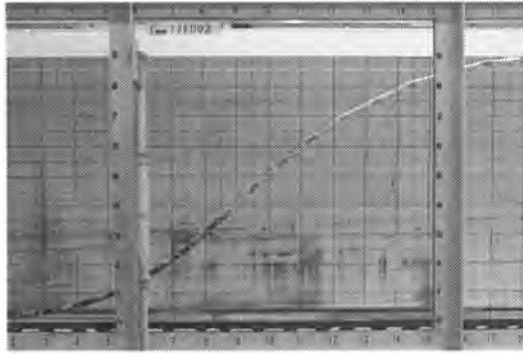


Photo. 4 Initial Shape

量、張力、排気量をそれぞれ3種類変化させ、管内圧力、張力を計測し、ビデオ画像を用いて取水管列の形状および挙動の解析を行った。

3.1.2 実験結果

(1) 取水管列の基本的な挙動

排気弁を閉じた状態で取水管先端を沈降させると、水圧の増加により管内空気が圧縮され、ある一定の水位まで水が流入し取水管列は Photo. 4 のような形状で安定する。この後、排気弁を解放すると取水

管内に水が流入して取水管が順次沈降していく。この定常状態における取水管列の形状はほぼ初期状態の形状を保ち、管内水位は排気弁の解放により若干上昇した後ほぼ一定の値となる。Fig. 3 に管内圧力と張力の時系列変動の一例を示す。取水管先端の沈降に伴って管内圧力が増加していき、先端が着底した時点で管内圧力が最大となる。その後、排気弁を解放すると管内圧力が若干低下しほぼ一定の値となる。また張力は、初期～定常状態を通して一定の値となる。

(2) 初期形状について

1本の取水管に作用する外力（管の自重、浮力、張力）の釣り合い式を順次解くことにより取水管列の初期形状を推定する計算モデルを作成した。このモデルでは、継手部を接点とし1本の管に作用する外力の釣り合い式を各要素について順次解いていき、管内に流入する水量を変化させて管列全体が釣合う時の管内水量を算定することにより全体の形状を求めている。Fig. 4 は管の水中重量が0.18(N)における

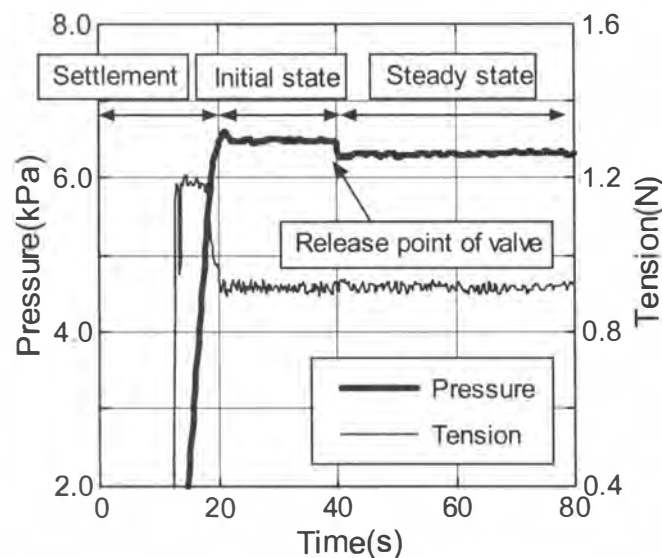


Fig. 3 Time Series of Pressure and Tension

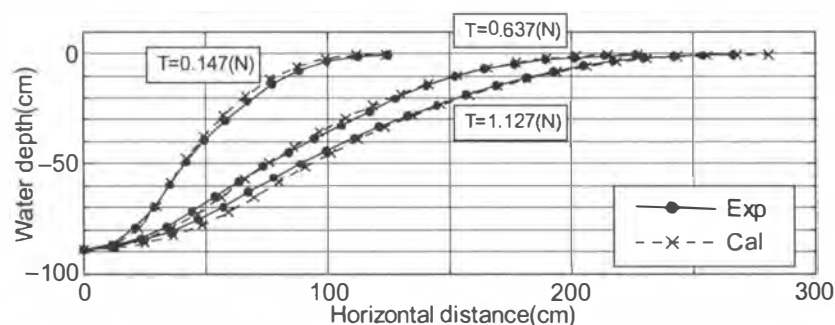


Fig. 4 Experimental Result and Calculation Result of Initial Shape

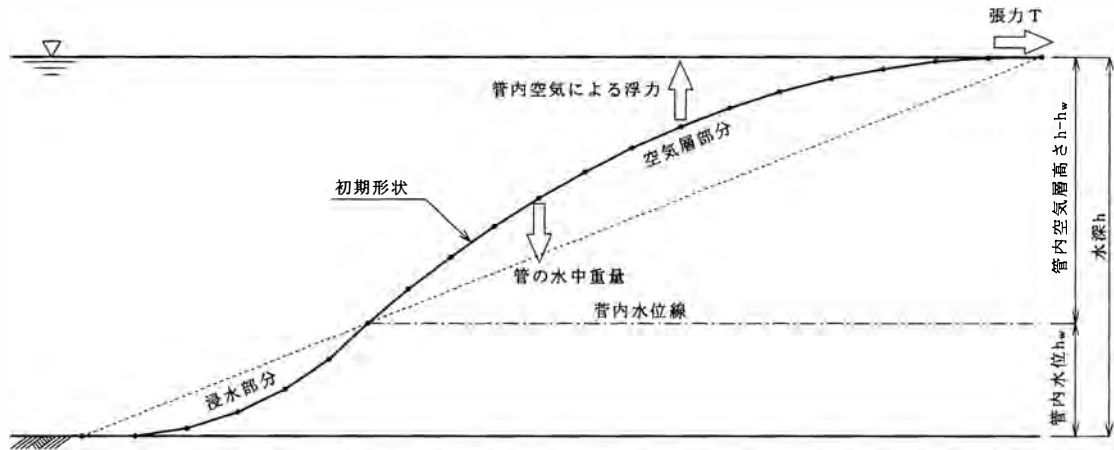


Fig. 5 Water Level and Pressure in Pipe

る初期形状の実験値と計算値の比較であり、張力別に 3 種類の結果を示した。実験値と計算値は概ね一致しており、初期形状は張力が高いほど水平方向に長くなることがわかる。

(3) 管内圧力

初期状態における取水管内の圧力は、Fig. 5 に示すように管内水位 h_w から水面までの静水圧に等しくなると考えられる。水深を h 、管内水位を h_w 、水の密度を ρ とすると、管内圧力 P_a は次式で表される。

$$P_a = \rho g(h - h_w) \quad (1)$$

管内水位が管内の空気による浮力と管の水中重量が釣り合う点であると考え、浸水部分と空気層部分の形状が相似であると仮定すると、次式が成り立つ。

$$\rho g A(h - h_w) - w_w h = 0 \quad (2)$$

ここで、 A ：取水管内断面積、 w_w ：取水管の単位長さ当たりの水中重量

(1)、(2)式より、管内圧力 P_a は次式で表される。

$$P_a = \frac{w_w h}{A} \quad (3)$$

Fig. 6 に、管内圧力の実験値と管内水位の実験値から(1)式により算定した圧力の比較を示す。これによると、管内圧力の測定値と(1)式による計算値はよく合っており、管内水位と管内圧力の関係は(1)式で表されることがわかる。また、管内圧力は管重量の増加に伴って大きくなることをわかる。

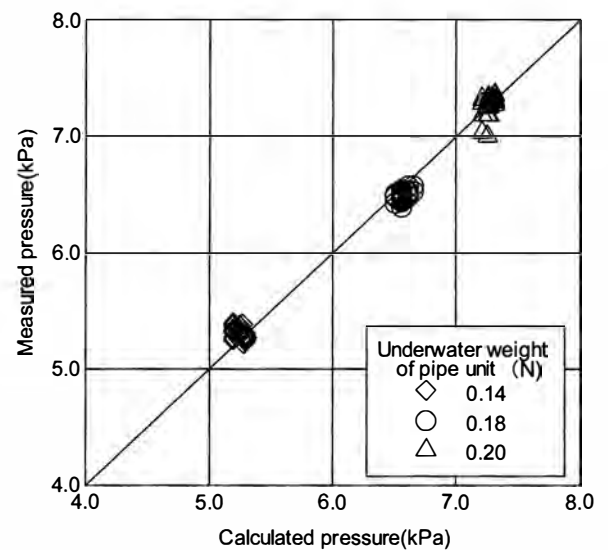


Fig. 6 Measured Value and Calculated Value of Pressure in Pipe

(4) 取水管の沈降速度

取水管列が初期形状を形成した後排気弁を解放して管内空気を排出すると、管内に水が流入して取水管が順次沈降していく。排気量の調整は内径 0.6 mm の排気管を 1～3 本解放することにより行った。このときの取水管の沈降速度と張力、排気量の関係を Fig. 7 に示す。縦軸の平均沈降速度は取水管が水面にある状態から海底面に着底するまでの平均速度で、横軸は張力である。この図より、取水管列に作用させる張力が高いほど平均沈降速度は遅くなることがわかる。また、張力が等しい場合、排気弁の解放本数が多いほど平均沈降速度が早くなる傾向がある。

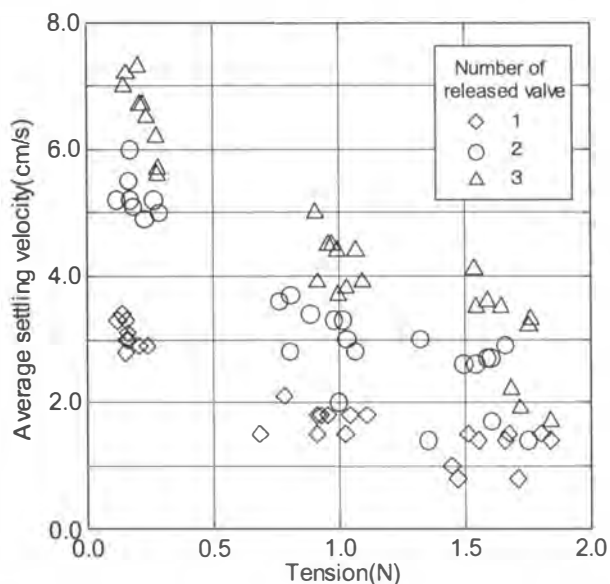


Fig. 7 Averaged Settling Velocity

3.2. 実海域における取水管敷設実験

3.2.1. 実験概要

この取水管敷設工法について、実施工に向けて必要となる各種データの取得を目的として、実海域（水深約 50 m）における取水管敷設実験を東京湾の千葉県沖にて行った（Photo. 5）。Table. 2 に実験の概要を示す。取水管（ $\phi 356$ mm）は 12 m 毎に自在継手で接続し、全長約 310 m とした。実験



Photo. 5 Field Experiment

Table 2 Composition of Water Intake Pipe

Water depth	About 50 m
Water intake Pipe	Steel pipe $\times 24$ ($\phi 356$ mm, $L = 12$ m) Universal joint $\times 23$ ($\phi 356$ mm, $L = 0.992$ m) (About 310 m overall length)
Workboat, machine	Crane barge, Compressor, Anchor ship, Tugboat, etc.

は次の手順により実施した。①取水管を実験海域に曳航する。②敷設予定位置の取水管先端部と後端部にクレーン台船を配置する。③取水管内をコンプレッサーで加圧しながら取水口をウインチにより沈降させる。④敷設作業中は管内圧力の測定を行う。⑤水深 50 m に着底した状態で ROV（水中カメラ）により取水管列の初期形状を調査する。⑥管内の空気を徐々に排出して管列の敷設を進め、敷設終了後 ROV にて敷設状況を調査する。

3.2.2. 実験結果

(1) 取水管列の初期形状

Fig. 8 に、ROV により計測した初期状態における取水管列形状を示す。また、図中には初期形状の推定モデルによる計算値も示す。現地実験での初期形状は室内実験での形状と類似しており、初期形状

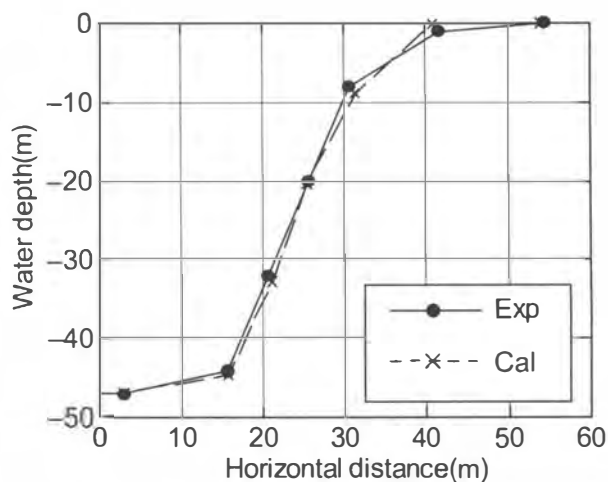


Fig. 8 Initial Shape

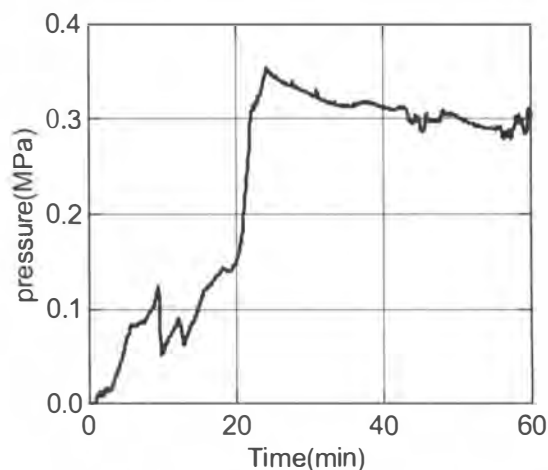


Fig. 9 Time Series of Pressure

の推定モデルによる計算結果とも良く一致していることがわかる。実験値とほぼ等しくなることが確認された。

(2) 管内圧力

Fig. 9 に管内圧力の時系列変動を示す。取水管が初期形状を形成した時に管内圧力が最大になっている。また、管内空気を排出して沈設を進めていくと管内圧力が低下し続けている。今回の実験では水深の深いほうから浅い方へ敷設を行ったために、水深に対応して管内圧力が低下しているものと考えられる。初期状態における管内圧力を $w_w = 0.608$ (kN/m), $A = 0.091$ (m²), $h = 50$ (m) の条件で (3)式により計算すると, $P_a = 0.33$ (MPa) となり,

4. おわりに

筆者らは、この新しい取水管敷設工法について、室内実験および実海域での敷設実験などを行い、施工の確実性を実証するための検討を重ねてきた。今後は、管列の接合方法、施工管理システムなどの周辺技術の改良に努め、より一層コストダウンを図るべく注力して行きたいと考えている。

(2003. 3. 12 受付, 2003. 8. 5 受理)