
鋼管の新しい水中切断法について

New Methods for Underwater Cutting of Steel Pipe Structure

斉藤 恂(Makoto Saito) 白石 環(Tamaki Shiraishi) 野中 節男(Setsuo Nonaka)

要旨：

従来鋼管の水中切断は、機材を水中に持ち込んで潜水夫の勘と経験に頼って行われていたが、深い場所での水中作業は危険を伴うばかりでなく、潜水時間の制約による切断精度不良などの不都合を生ずる場合が多かった。そこで、当社で安全かつ合理的な鋼管の水中切断技術の開発に努めた結果、潜水夫に頼ることなく、水上から鋼管の管内に切断器材を吊り下げ、任意の切断位置で切断可能な2種類の新しい水中切断法の実用化に成功した。それは、爆薬のエネルギーを効果的に利用した発破切断法と、回転カッターによる機械式切断法である。これらについて、原理、装置、施工法、施工例などを紹介した。

Synopsis：

According to the conventional cutting methods of an underwater pipe, a diver operated his tool by his empirical intuition. His work in deep water tended to be risky and inaccurate owing to his limited time in water. At Kawasaki Steel Corp., our efforts to get a better cutting technique have resulted in the development and utilization of the following new methods to cut a steel pipe from within by a suspended device which replace the aid of divers. They are the blast cutting with explosive and the mechanical cutting with rotary cutters. The principle, apparatus, operation and utilization of each method are explained briefly.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

鋼管の新しい水中切断法について

New Methods for Underwater Cutting of Steel Pipe Structure

斉 藤 恂*

Makoto Saito

白 石 環**

Tamaki Shiraishi

野 中 節 男***

Setsuo Nonaka

Synopsis :

According to the conventional cutting methods of an underwater pipe, a diver operated his tool by his empirical intuition. His work in deep water tended to be risky and inaccurate owing to his limited time in water.

At Kawasaki Steel Corp., our efforts to get a better cutting technique have resulted in the development and utilization of the following new methods to cut a steel pipe from within by a suspended device which replace the aid of divers. They are the blast cutting with explosive and the mechanical cutting with rotary cutters.

The principle, apparatus, operation and utilization of each method are explained briefly.

1. まえがき

最近、本州四国連絡橋を始めとする水中大型土木工事が数多く計画され、逐次実現されつつある。

これらの水中基礎構造物は、立地条件として深い水中や軟弱地盤に建設されることが多いため、基礎工事が大型化するだけでなく、施工場所が陸上から水中へ変わることにより、従来の一般的な基礎工法とは異なる新しい構造形式と、それに伴う新しい施工技術が要求されることとなる。

水(海)中基礎構造物は、地震、波浪、潮流等の

大きな荷重に耐えるため、十分な剛性を有し、断面に方向性がなく、流水抵抗上有利な鋼管を主要部材として設計されることが多い。

たとえば、鋼管をトラス状に組み立てた鉄構を海上曳航し施工場所に沈設固定する方法や、あらかじめ海底下に打ち込まれた鋼管杭に鋼製橋脚を納めコンクリートを介して一体化を図る方法などである。

これらの鋼管構造物を厳しい施工条件下で建設する場合、現場における鋼管の溶接および切断作業の要求が必然的に発生する。鋼管の溶接は施工中に発生するため水上で陸上同様行うことができるが、切断は施工完了後に本体構造物の一部ある

* 本社内営業本部札幌営業所担当

*** エンジニアリングセンター設備技術部

** エンジニアリングセンター建設開発部土木開発室

いは仮設構造物の撤去作業として発生するため、水中作業となることが多い。

しかし、従来の鋼管の水中切断は、器材を水中に持ち込んで潜水夫の勘と経験に頼って行われていたため、深い場所での水中作業は危険を伴うばかりでなく、潜水時間の制約から切断精度不良などの不都合を生ずる場合が多かった。また、水中切断位置が水底下の土中にある場合には、多くの困難を伴っていた。

そこで当社ではこれらの問題点に注目し、安全かつ合理的な鋼管の水中切断法の開発に努め実用化に成功した。それは発破切断法と機械式切断法であり、以下にその概要を記す。

2. 従来の水中切断法

従来の水中切断法は、サルベージ作業に伴う鋼板などの切断を対象として発達したため、その歴史は古く、最近では優秀な切断機器、軽便な潜水具が開発され、水中切断は簡便なものになりつつある。

表1は従来の主な水中切断法の種類とその特徴を示したものである。表1のなかでは最も一般化され簡便かつ能率の良い鋼材の水中切断法として、アーク酸素切断法があげられる。アーク酸素切断法は、外側を防水被覆した中空切断棒でアークを発生させ鋼材を溶融状態にし、そこに切断棒

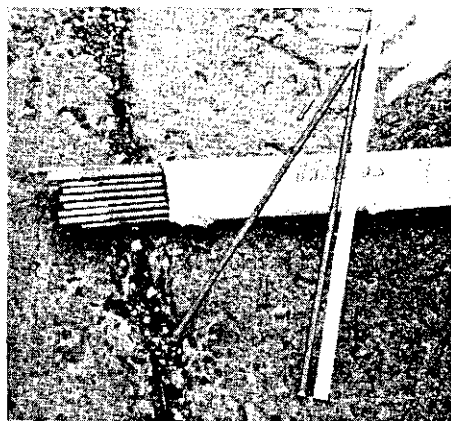


写真1 アーク酸素切断棒

中空部から酸素を吹きつける水中切断法である(写真1参照)。

一方、鋼材のみならずコンクリートや岩盤なども水中で溶融する場合には、アークを必要としない火焰ジェット溶断法やテルミット溶断法が用いられる。火焰ジェット溶断法はケロシンと酸素との混合燃料を用いて強力な火焰を発生させるもので、通常海底岩盤穿孔用として用いられている。

またテルミット溶断法は、写真2,3に示すように特殊合金でできた溶断棒に酸素を供給して燃焼させ、この時発生する酸化発熱現象(テルミット反応)を利用するもので、陸上、水中を問わず耐火レンガ、岩盤、コンクリート、鋼材などの穿孔

表1 水中切断法の種類

切 断 法	切 断 要 素	特 徴
アーク切断法	アーク	穴あけ等の簡単な雑作業
アーク酸素切断法	酸素、アーク	一般的切断法で作業も能率的
プロパン酸素切断法	LPG、酸素	水深に比例して切断能率低下
テルミット溶断法	テルミット反応熱 (3500°C)	コンクリート、岩盤でも穿孔可能、連続穿孔で溶断
火焰ジェット溶断法	火焰ジェット	強力な火焰ジェットで岩、コンクリート等の穿孔可能
発 破 法	爆 薬	爆薬を水中ではりつけ瞬時に切断

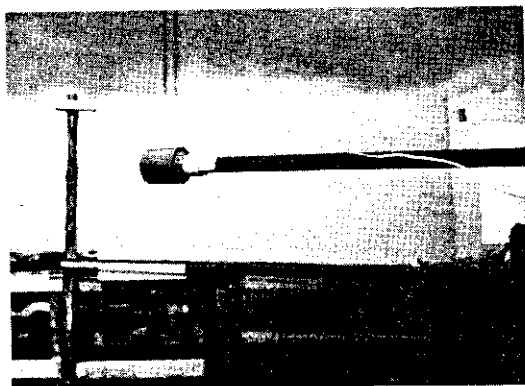


写真2 テルミット溶断棒

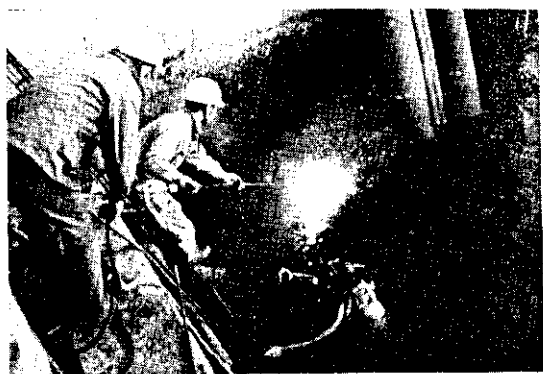


写真3 テルミット溶断作業

や解体に用いられている。しかしそれらはいずれも潜水夫が切断器材を持ち込む水中作業であるため、水深、潮流等切断環境の影響を受けやすく、安全性、信頼性の点から水中に立脚した鋼管構造物の水中切断法としては不満足なものである。また鋼管構造物の切断位置は水底下の土中にある場合が多く、これを土砂浚渫後潜水作業に頼る従来技術によったのでは、工期、工費の面から不利であり作業面からも困難な場合がある。

3. 新しい水中切断法

3-1 概要

実用化された新しい切断法は、爆薬の爆発エネルギーを効果的に利用した発破切断法と回転カッターを内蔵したコンパクトな切断装置による機械式切断法の2種類である。これらはいずれも水上

から鋼管の内側の所定の位置に切断器材を吊り下げ、遠隔操作で切断するもので、まったく潜水夫が不要であるばかりでなく、従来困難であった水深が深く、潮流がある場所や深い土中でも施工できる。

3-2 発破切断法

3-2-1 切断原理と切断装置

本切断法は中国化工(株)と共同開発されたもので、切断原理は、図1に示すように断面V字形状を有する銅製ライナー(Vコード)に爆薬を装填し、切断対象物との間に間隙(スタンドオフ)を設けることにより、爆発時の高温、高速、高圧エネルギーを1点に集中させる効果(ノイマン効果)を利用したものである。したがって、単に発破をかける場合に比べて所要爆薬量が著しく減少し、またエネルギーの集中効果により切断対象物に与えられる変形がきわめて少なく、切断精度もすぐれている。発破切断に用いるVコードは、写真4に示すように銅製ライナーをリング状に加工成形したもので、鋼管内にセットするときには半円形に折り曲げて吊り下げられるようになっている。

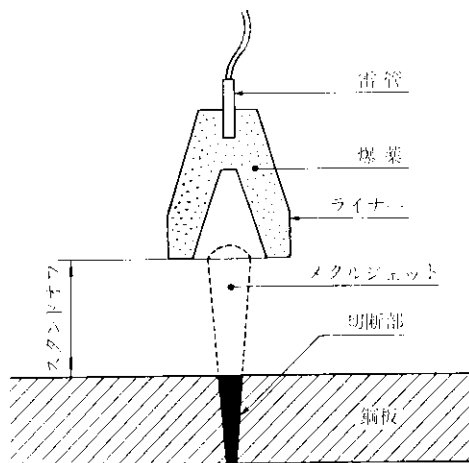


図1 発破切断の原理

3-2-2 爆薬と切断薬量

発破切断に用いる爆薬とその性能を表2に示す。また、切断対象鋼管とその切断に要する全薬量との関係を図2に示す。

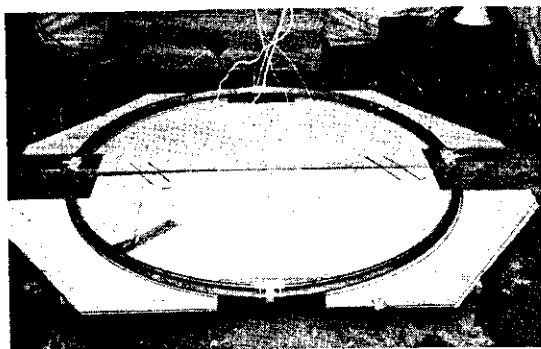


写真4 発破切断用Vコード

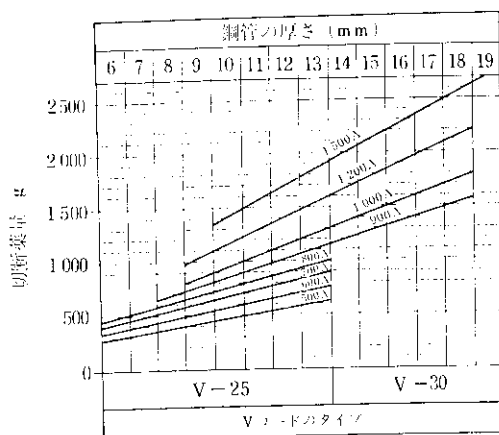


図2 鋼管寸法と切断所要爆薬量の関係

3・2・3 切断性能

発破切断による切断鋼管の形状変化は、切断する鋼管の直径、板厚にあまり影響されず、切断面で拡大し、下方で縮小したラップ状となるが、その拡大量は直径で約10mm、縮小量は約8mm程度である。また、発破切断面近傍における材質、組織は、切断面から約20mm離れれば変化がないことが確かめられている。

発破切断法の切断実績によれば、切断可能最大

板厚は30mmであり、スパイラル鋼管、UOE鋼管などが容易に切断でき、実用上何らの支障もない。

3・2・4 施工法

発破切断の施工法は、図3に示すようにVコードを折りたたんだ状態でワイヤーにより吊り下げ、切断位置で正規のリング状態とした後起爆すれば、瞬時に切断が完了する。したがって、Vコードの吊り下げに要する時間が切断時間となるため、きわめて施工性に優れたものである。

ただし起爆時の騒音、衝撃が隣接構造物、魚類などに悪影響を与えることが予想される場合には、別途その対策を検討する必要がある。

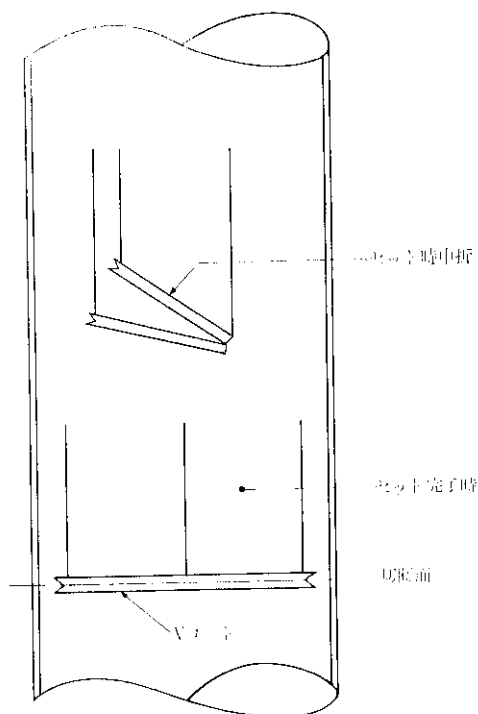


図3 Vコード設置方法

表2 爆薬の性能

名 称	組 成 比	重	爆 薬 熱 量	爆 速	填 装 法
コンポジションB	RDX-60 TNT-40	1.65	1240cal/g	7840m/sec	溶 填

施工実績としては、図4に示すような大型海中基礎の大口徑鋼管杭 ($\phi 1500 \times 19 \sim 22t$) 約50本の水中切断法として採用され、良好な成果を収めている。この大型海中基礎は海中に多数打ち込んだ大口徑鋼管杭を海底で切断し、鋼製橋脚を大型フローティングクレーンで沈設後、鋼製橋脚内部にプレバックドコンクリートを注入し、鋼管杭との一体化を図る新しい基礎工法である(写真5参照)。

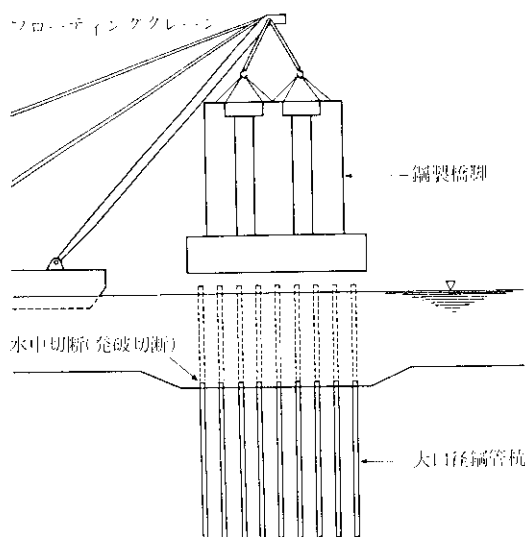


図4 発破切断施工例

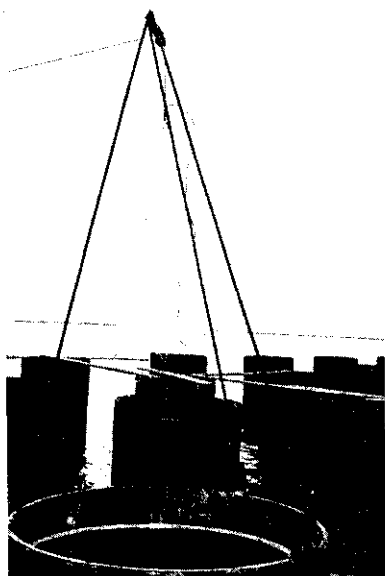


写真5 大口徑杭とVコード設置状況

3.3 機械式切断法

3.3.1 水中切断装置

機械式切断法とは、図5に示す水中切断機を鋼管内に吊り下げ、油圧ユニットを陸上から操作することによりカッターを自転、公転させ、所定の位置を切断する機械切断法であり、当社と清水建設(株)によって共同開発されたものである。

水中切断装置は、本体ベース、旋回シャフト、カッターヘッド、コンプレッサーおよび油圧ユニット等からなり、カッターヘッドおよびカッターは、切断対象鋼管径に応じて、表3に示す3種の中から選択する。油圧ユニット、シャフトなどは切断鋼管径に左右されず共通して利用できる。装置の仕様を以下に示す。

(1) 重量

油圧ユニット 1500~2000kg

切断機 2000~3000kg

(2) 電力設備

電源 3相AC 220V 60Hz

3相AC 200V 50Hz

電力 45kW

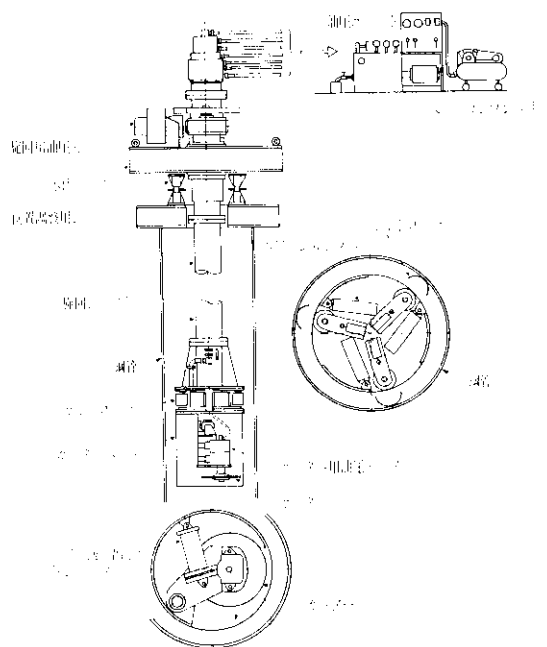


図5 水中切断機の構造

表 3 カッターヘッドの種類

仕 様	Sタイプ	Mタイプ	Lタイプ
カッターヘッド径	570	720	950
適用鋼管	700~800	850~1 050	1 100~1 500
使用カッター径	355	355~405	405~510
カッター回転数	0~1 300rpm		
旋回速度	0~0.1rpm		

3.3.2 切断方法

水中切断機による切断は、図 6 に示すように次の手順によって行われる。

- (1) 切断機を所要のクレーンにより鋼管内に吊り下げる。

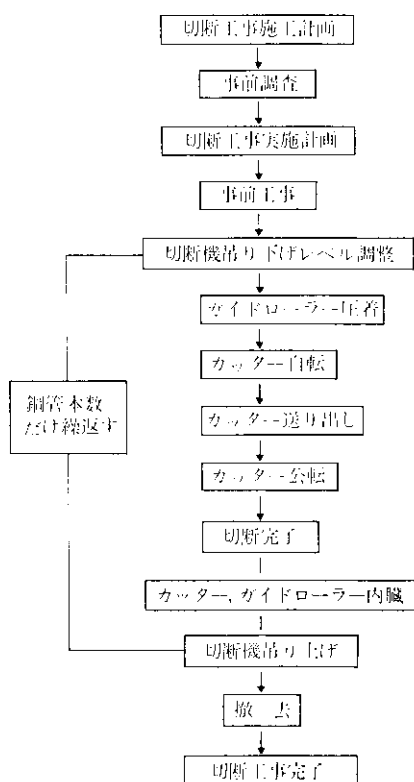


図 6 機械式切断法のフローチャート

- (2) エアーシリンダーによりガイドローラーを張り出し鋼管内面に圧着させ、カッターヘッドを固定する。
- (3) 油圧モーターにより所定の回転数をカッターに与える。
- (4) 油圧シリンダーにより回転中のカッターを適当な速度で送り出し、切断を開始する。カッターが鋼管の外側に突き出し後送り出しを停止する。
- (5) カッターの送り出し終了後、切断装置本体ベース上に設けた旋回モーターによりシャフトをへてカッターを旋回させる。カッターが1周して切断開始位置までもどると切断が終了する。
- (6) 切断終了後カッターの回転シャフトを停止し、さらにガイドローラーをカッターヘッドに内蔵させた後クレーンにより吊り上げる。

3.3.3 施工例

水中切断装置は、当社が開発した仮締切兼用鋼管矢板井筒基礎工法の水中切断法として最も合理的なものであることから、各所で採用され、現在までに11ヶ所合計約1 200本の切断実績を有している（表 4 参照）。仮締切兼用鋼管矢板井筒基礎工法は図 7 に示す順序で施工される。仮締切壁の水中切断法としては次の条件が要求される。

- (1) 潜水夫に頼らない。
- (2) 作業が安全、確実である。
- (3) 躯体を含む隣接構造物に悪影響を与えない。
- (4) 上中、水中を問わず切断できる。
- (5) モルタルなどの止水材が充実された鋼管矢板継手部（写真 6 参照）の切断が可能である。

これらの条件を満足する水中切断は、従来の技術では困難であったが、前記水中切断装置を使用すれば(1)~(4)については十分満足できる。

さらに、図 8 に示すようにあらかじめ切断予定位置の鋼管矢板継手部にスリットを設けておくブレカット法（当社実用新案）を採用すれば、(5)の要求をも満たすことができる。

以下に各種実施例の中から一例をとり、その工

表 4 機械式切断法の実施例 (昭和50年12月現在)

現 場 名	鋼管径・肉厚 (mm)	本 数	切断位置(m)	切断条件	備 考
有明埠頭橋(東京)	914.4×12	68	-6.5	土中	鋼管矢板
水島大橋(岡山)	762×9	282	-6~-11	"	"
南港連絡橋(大阪)	1219.2×13	192	-8	"	"
10号埋立地(東京)	1500×22	4	-14	"	鋼管杭
新江別橋(北海道)	800×12	124	-7~8.7	"	鋼管矢板
石狩大橋(")	800×14	46	-8.5~10.0	"	"
新水郷大橋(千葉)	1219.2×19	178	-9.6~15.0	"	"
衣浦大橋(愛知)	914.4×12	109	-5.6	"	"
城南橋(石川)	914.4×14	40	-9.7	"	"
天塩河口橋(北海道)	800×12	66	-6.9~7.5	"	"
川鉄千葉第6高炉(千葉)	1219.2×16	96	-11.0~20.0	"	鋼管杭

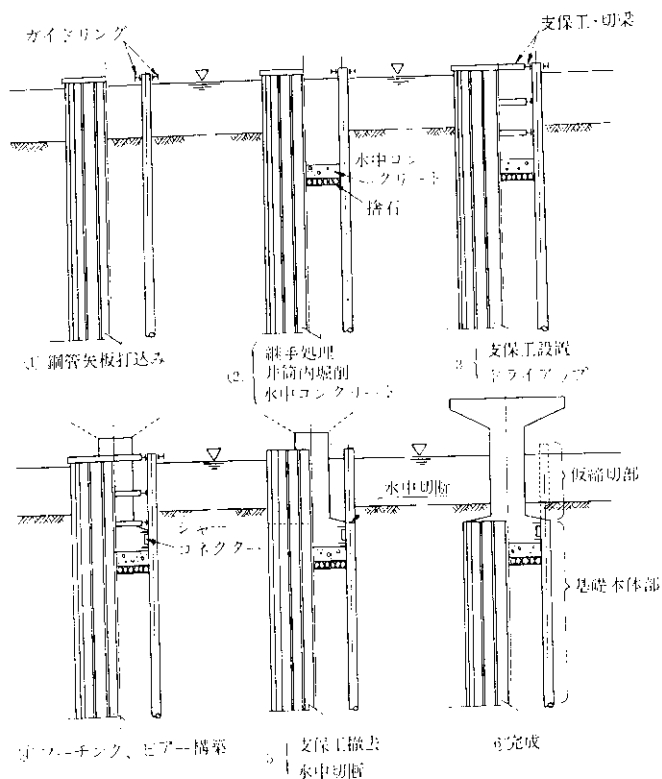


図 7 仮締切兼用鋼管矢板井筒施工順序

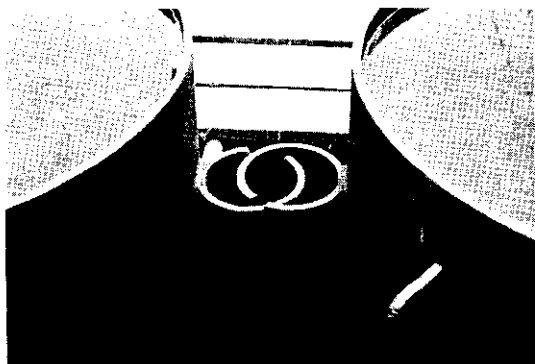


写真6 鋼管矢板継手部

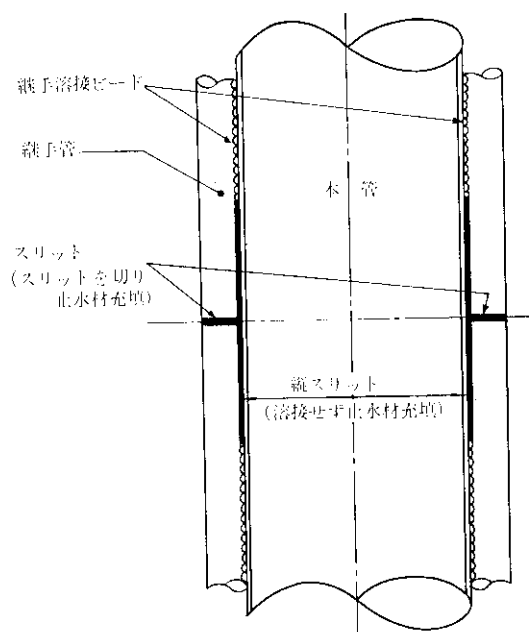


図8 鋼管矢板継手部のプレカット

事概要について説明する。

新水郷大橋は、老朽化した水郷大橋に代って利根川（千葉県佐原市）に建設される橋長534mの長大橋である。仮締切兼用鋼管矢板井筒基礎工法が採用され、水中切断工事は $P_2 \sim P_5$ ピアで実施された。新水郷大橋の一般図および基礎構造の一例を図9,10に示す。

新水郷大橋の工事概要は以下のとおりである。

事業主体：建設省関東地方建設局千葉国道工事事務所

施工会社：清水建設(株)、鹿島建設(株)

施工場所：千葉県佐原市

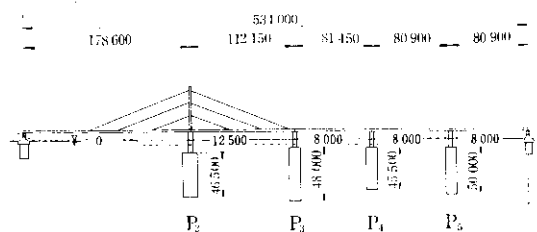
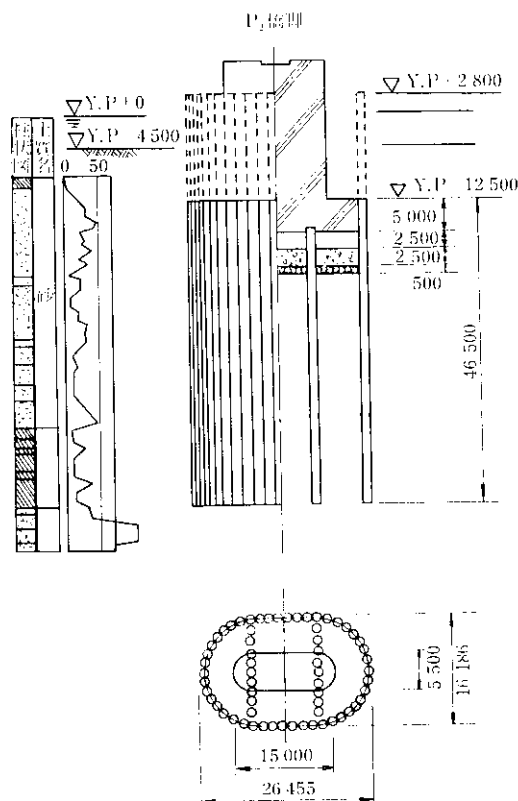


図9 新水郷大橋一般図

図10 P_2 ピア構造図

切断工事： P_2 、 P_3 、 P_4 、 P_5 （仮締切兼用鋼管矢板井筒）

切断工事会社：川鉄鋼管工事(株)

切断対象鋼管矢板：本管 $\phi 1219.2 \times 16$, 19t
継手管 $2-\phi 165.2 \times 11t$
（プレカット処理）

切断本数：178本（ただし杭を含む）

新水郷大橋での切断工事状況を写真7～11に示す。

新水郷大橋で使用した切断装置は、切断する鋼

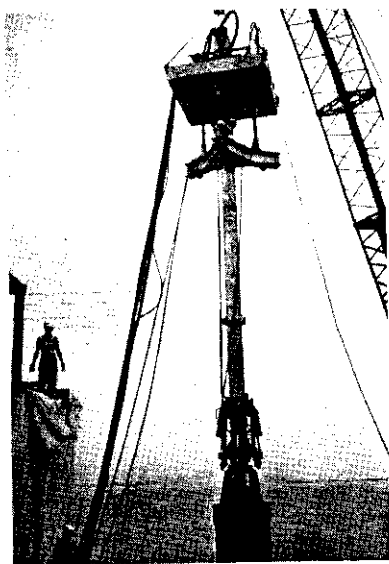


写真7 水中切断装置全景

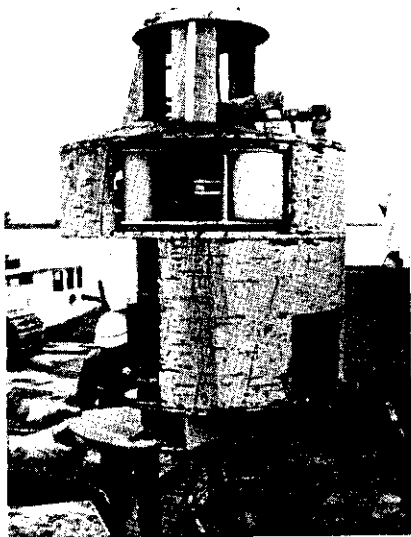


写真8 カッターヘッド

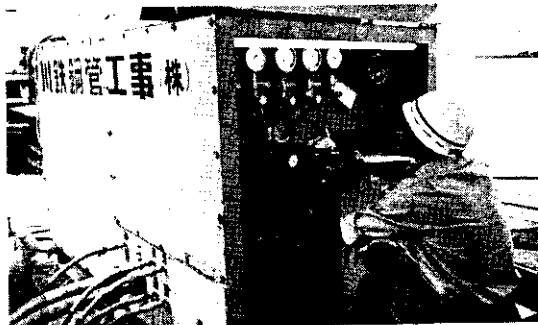


写真9 水中切断装置操作ユニット



写真10 水中切断後撤去作業

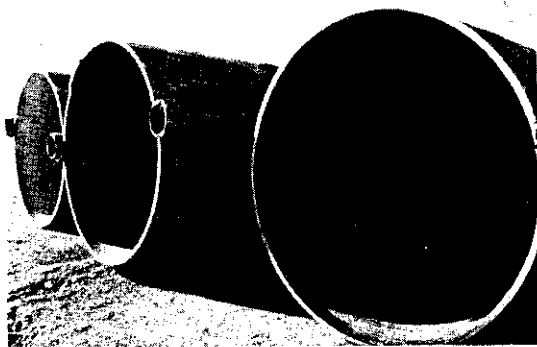


写真11 撤去した鋼管と切断面

管矢板(φ1219.2)から決定され、表3に示したLタイプである。水中切断工事にあたっては、事前工事として鋼管矢板井筒内外の上圧、水圧バランスを保つため、所要の上砂(水)を井筒内部に投入した。水中切断装置はその機能を十分発揮した。

4. あとがき

以上、鋼管の新しい水中切断法として開発、実用化した発破切断法と機械式切断法について述べた。発破切断法は騒音と衝撃の発生が難点となるものの、作業性、切断性能および経済性においてきわめて優れたものであり、今後の水中切断法と

して期待される。

また機械式切断法は、当社と清水建設(株)だけが現在実用機として所有しているもので、全国の仮締切兼用鋼管矢板井筒基礎の水中切断に活躍し、今後ますますその利用が増加するものと思われる。

これらの新しい水中切断法が有効に利用され、

今後の海洋開発に伴う構造物、あるいは湾岸地帯の鋼管構造物などに利用され、建設の一端をになうようになることが期待される。

終りに臨み、本切断装置の開発に終始御協力をいただいた清水建設(株)および中国化工(株)関係者各位に感謝の意を表する。

