

コンクリート中詰鋼管杭の海中切断工法の検討と施工実績

Steel Pile Cut Method In Water Work

山本 伸一*
Shinichi Yamamoto

要 約

本報文は、大鳴門橋建設工事の仮設構造物である作業足場の撤去工事のうち、コンクリート充填管杭の海中部切断撤去についての工事報告である。海中部の鋼管杭切断には実績のある酸素アーク切断工法を採用し、ダイバーにより撤去を行った。

本工事は、鳴門海峡という世界でも有数の急潮流下での作業のため、気象・海象の把握、作業時間の制限という課題を克服しての施工であった。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 大鳴門橋仮設備撤去工事の概要
- §3. 鳴門海峡の潮流と作業時間帯について
- §4. 鋼管杭撤去工法の決定経緯
- §5. 施工概要
- §6. 施工実績
- §7. おわりに

作業足場は仮設構造物ながら、使用鋼重が約4,700tと、大規模な構造物であり、架設工事も本工事同様の管理がなされていて、過去の撤去工事においても規模としては例の無いものである。

作業足場の構造は連続トラスであり、柱杭は、内鋼管と外鋼管およびケーシング管の二重構造である。内鋼管内部には中詰めコンクリート、内鋼管と外鋼管およびケーシング管の間には間詰めモルタルを打設している (Fig.2)。また、作業足場は、大鳴門橋主塔の多柱基礎を施工するための大口径掘削機を上載荷重とする多柱支持枠と作業用重機等を上載荷重とする一般部作業足場にわかれている (Fig.3)。

本報文は、この作業足場撤去工法について報告するものである。

§1. はじめに

大鳴門橋仮設備撤去工事は、大鳴門建設工事に使用した作業用足場等の仮設工作物を環境保全のために撤去し、主塔基礎に船舶緩衝用の緩衝設備を架設する工事である (Fig.1)。

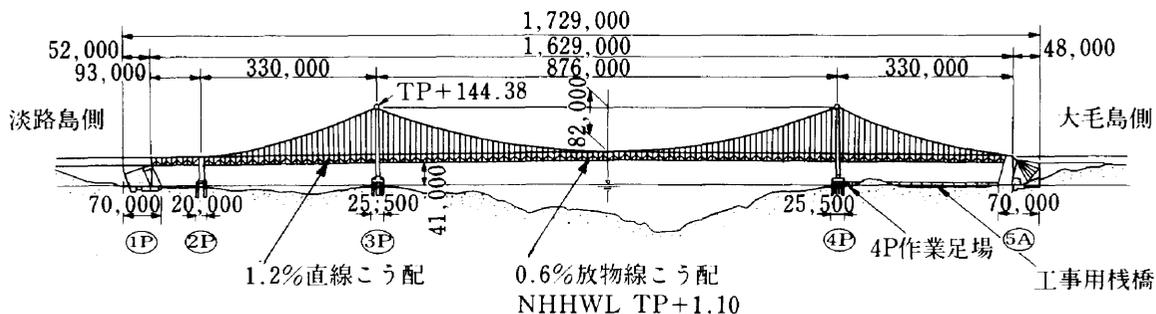


Fig.1 大鳴門橋一般図

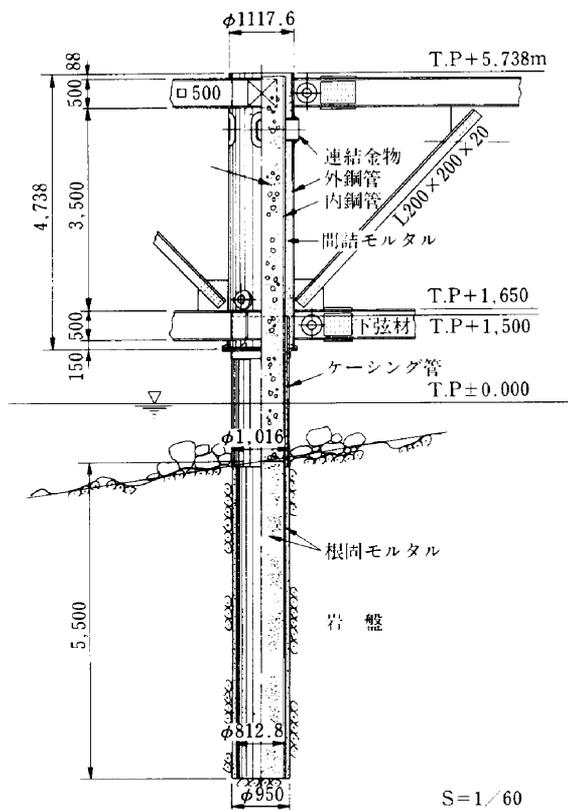


Fig.2 作業足場杭標準図(多柱支持棒)

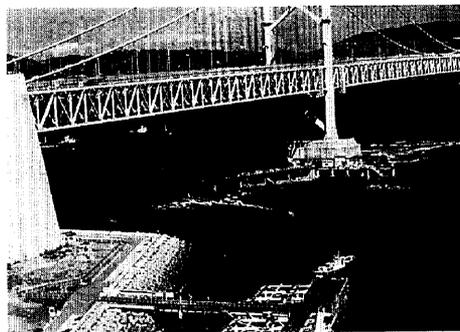


Photo 1 4P作業足場および工事用栈橋撤去前状況 (手前は5A作業足場)

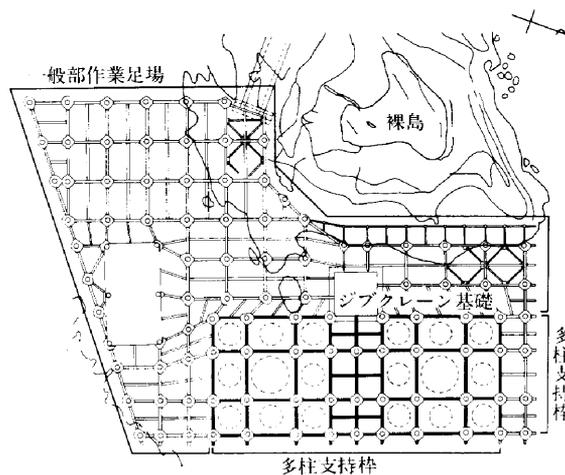


Fig.3-1 4P作業足場平面図

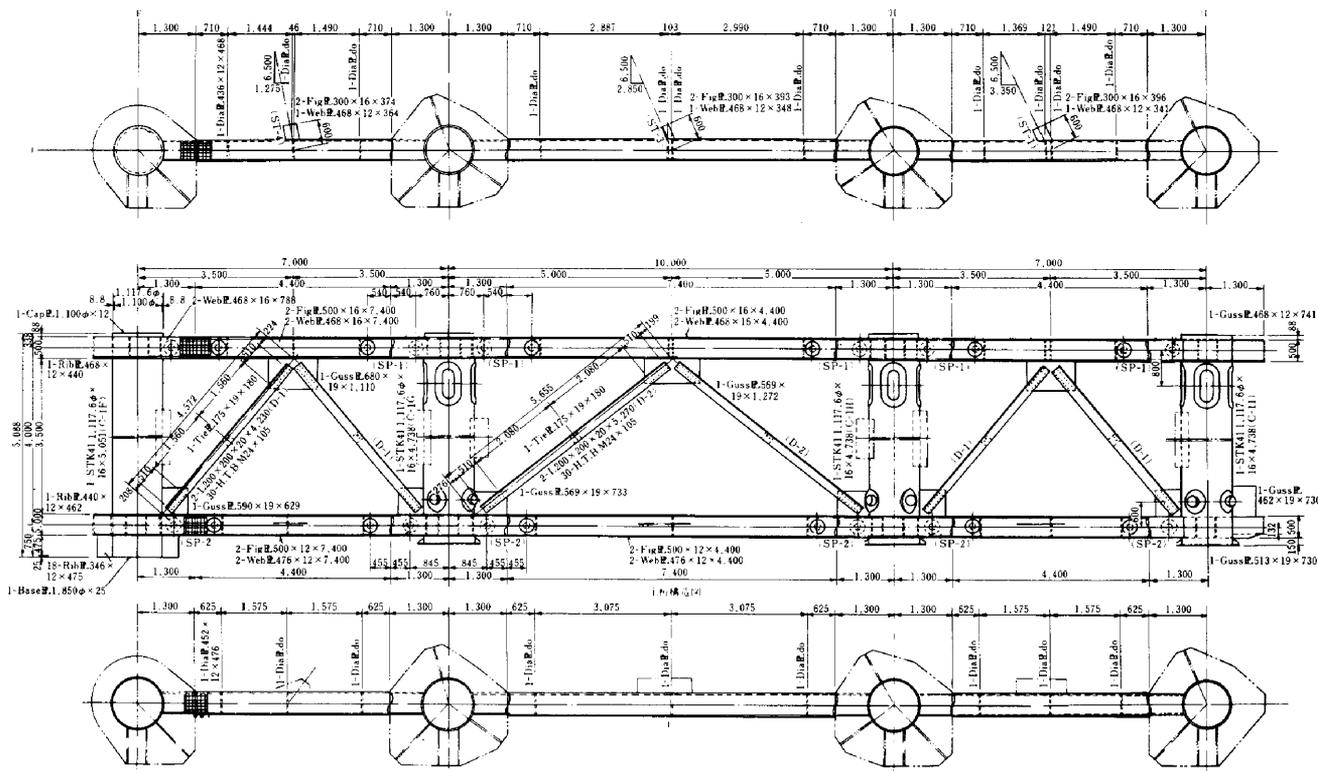


Fig.3-3 一般部作業足場主桁構造図

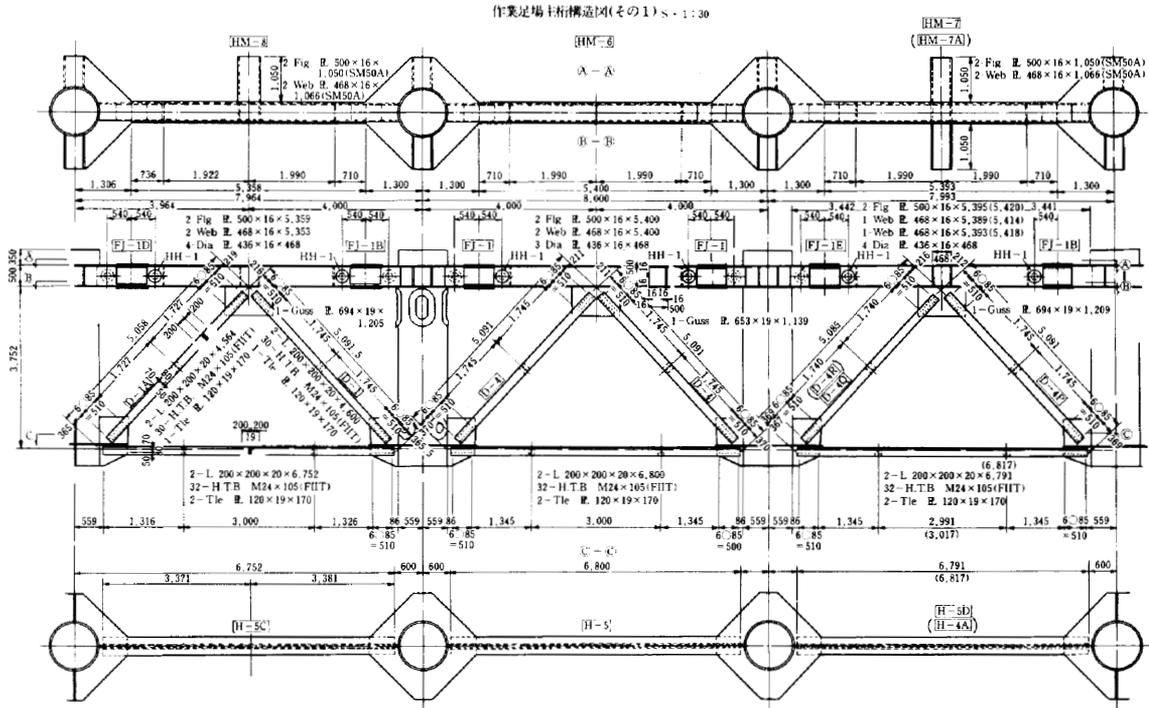


Fig.3-2 多柱支持柱主桁構造図

§ 2. 大鳴門橋仮設備撤去工事の概要

本工事は、大鳴門橋建設工事に使用した仮設工作物のうち、4 P主塔基礎作業足場、陸上部から4 P作業足場への工事用栈橋および5 A荷役用の作業足場の撤去を行い、4 P主塔基礎に船舶緩衝工を架設することが主な工事内容である (Fig.4)。以下に工事概要を示す。

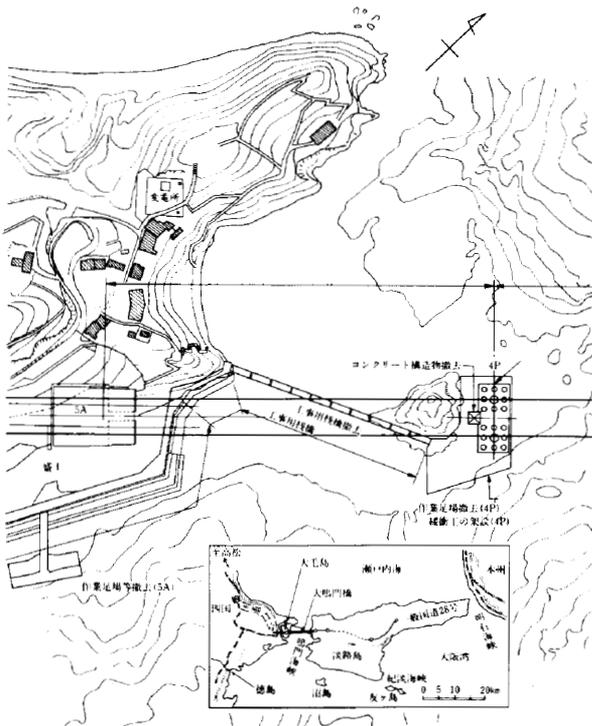


Fig.4 工事内容

1. 工事名
大鳴門橋仮設備撤去工事 (その2)
2. 路線名
一般国道28号および本四淡路線
3. 企業先
本州四国連絡橋公団 第一建設局
4. 工事場所
徳島県鳴門市鳴門町土佐泊浦
5. 工期
自 昭和60年3月26日
至 昭和62年12月25日

6. 工事数量

Table 1 工事数量

場所	項目	細目	単位	数量	摘要
4 P	撤去工	作業足場等	t	3,371	
		工事用栈橋	t	327	全長180m
		消波ブロック	個	160	10 t型 40個 10 t型 120個
5 A	架設工	緩衝工	t	217	
		荷役栈橋	t	1,006	
		着栈栈橋	式	1	
亀浦	撤去工	盛土工	式	1	約8,000m ³
		作業地栈橋	式	1	
総撤去重量			t	4,704	

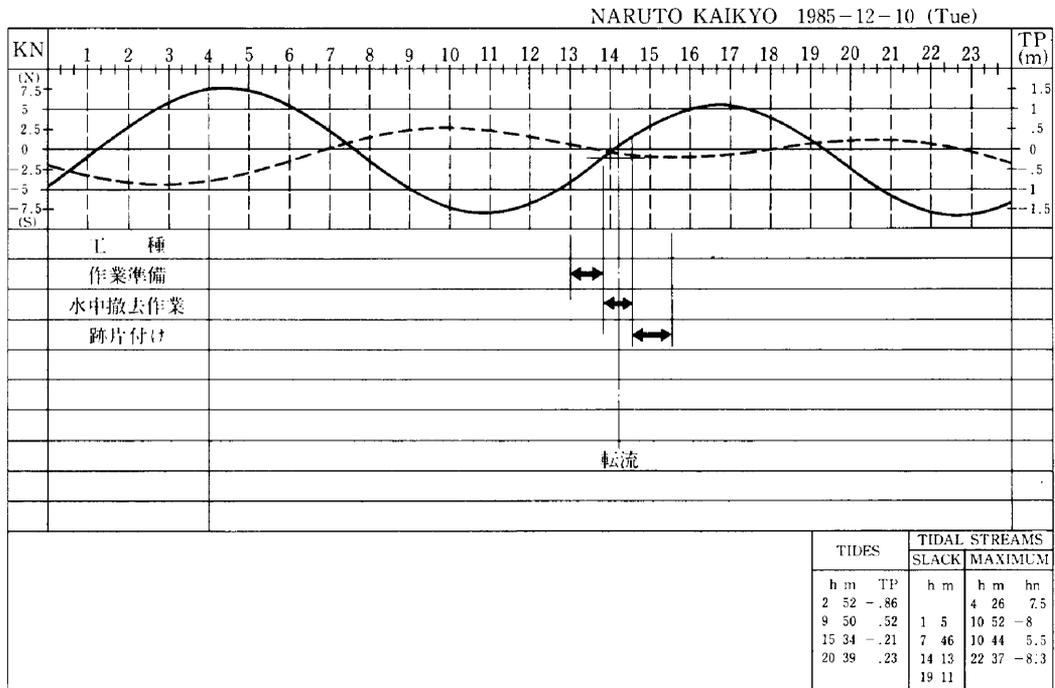


Fig.5 潜水作業 Time Table

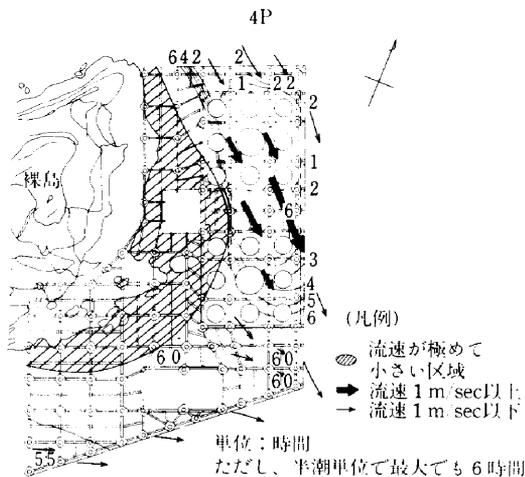


Fig.6 大潮南流時潜水作業時間帯

§ 3. 鳴門海峡の潮流と作業時間帯について

(1) 潮流および作業時間帯

作業現場は、急潮流であり、ダイバーによる作業に制約を受ける。海上作業足場周辺の潮流を観測・調査することにより、流況を把握し、作業時間帯を設定した(Fig. 5)。

潜水調査により、ダイバーの作業可能な流速は1ノット(0.514m/sec)程度が限界であり、4P作業足場周辺の流況図に、大潮・中潮・小潮時の流速曲線から1ノット以下の潜水作業時間をまとめた(Fig.6大潮南流時潜水作業時間帯)。図の時間は、半潮単位で最大でも6時間

となる。

(2) 制水工の施工

潮流を緩和し、潜水作業時間を確保して作業性および安全性を向上させるため、制水工を施工した。

4P作業足場北側にロックマットを設置し、鳴門海峡側と4P作業足場南側には、既設の作業足場を利用して、腹起し材にH形鋼を落とし込む方式の鋼製制水枠を架設して潮流を部分的に緩和させた。

§ 4. 鋼管杭撤去工法の決定経緯について

(1) 工法選定の条件

鋼管杭の切断撤去については、杭の吊り上げ重量と撤去作業用重機との関係からすべての杭を一本吊りできないため、数段に分割して撤去を行わなければならない。気中部で一段から数段に分割して切断撤去する計画とした。気中部杭の切断は、従来からのガス溶断工法を採用した。水中部切断では、爆破による切断、レーザー切断等を含めた各種の工法が考えられたが、諸々の条件で火薬の使用が禁止されていること、技術的に確立された工法であること、無振動・無公害でなければならないことから、工法を絞って検討した。

以下に施工条件を述べる。

- ① 水中作業での実績があり、安全に作業を進められること。

- ② 作業空間との関係で、設備が過大とならないこと。
- ③ 油漏れ等による環境の汚染が無いこと。
- ④ 騒音・振動による周囲への影響が無いこと。
- ⑤ 水中部分での作業が容易であること。
- ⑥ 消耗材料の入荷・管理が容易であること。
- ⑦ 切断コストが安価であること。

(2) 水中部二重管切断工法

種々の条件から5工法の検討を行った。

① 酸素アーク切断工法

中空切断棒と被切断材との間にアークを発生させて加熱し、加断棒の内孔より高圧酸素を噴出させ、鋼材の酸化反応熱を利用して溶断する工法。

② 火炎ジェット工法

カッター本体の切断バーナー部に、高圧酸素と圧送させたケロシンを供給して燃焼させ、ノズル先端より超音速火炎ジェットを噴出させて鋼材・コンクリートを一緒に切断する工法。

③ ウォータージェット切断工法

増圧器によって得た超高圧水をノズル先端から研磨材と共に噴出し、コンクリート、鋼材を切断する工法。

④ 砥石カッター切断工法

カッター本体の先端に砥石カッターを取り付け、超高速で回転させながら被切断材に押し当て、鋼管・コンクリートともに切削する工法。

⑤ コンクリート掘削・内鋼管切断工法

鋼管内のコンクリートをボーリングマシンで掘削し、中空になった鋼管内にカッターを入れ、カッターを回転させて鋼管内部より切断する工法。

以上の工法を比較検討し、まとめた結果を Table 2 に示す。

総合的な判断の結果、本工事で二重鋼管杭の水中切断は、酸素アーク切断工法で施工することにした。

§ 5 . 施工概要

(1) 酸素アーク切断工法

電極棒の中心より酸素を噴出させて、アークを発生させながら溶断作業を行う。溶断時の温度は6000℃以上の高温となる (Fig.7)。

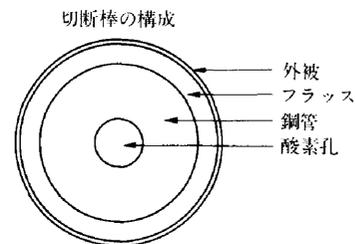
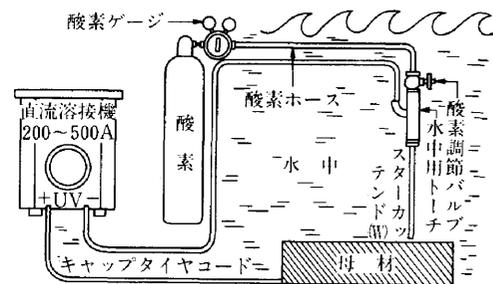


Fig.7 装置の構成

Table 2 各切断工法の比較

切断方法	設備構成	条件および問題点	備 考	安全性	設 備	作業性	経済性	総 合
(1) 酸素アーク切断工法	直流電源 切断用ホルダー 酸素ポンプ	・ 直流電源を使用 ・ すべてダイバーによる作業	・ 手動法では一般に普及している。 ・ すべて人力による作業なので潮流の影響を受ける。 ・ 二重管では切断作業と所り作業が必要。	○	◎	◎	◎	◎
(2) 火炎ジェット切断工法	燃料ポンプ 冷却水ポンプ 制御装置 酸素集合装置 ノズル	・ 装置の取付け・取りはずしはダイバーによる作業 ・ ケロシンを使用 ・ 圧力調整	・ 材料消費が多である。 ・ 水中での点火は不可能なので気中で点火し水中にノズルを送り込む。	○	△	△	×	○
(3) ウォータージェット切断工法	増圧器 研磨材タンク 給水タンク 油圧ユニット ノズル	・ 装置の取付け・取りはずしはダイバーによる作業 ・ 研磨材・ノズルの選定 ・ 自動走行装置の開発 ・ 圧力調整	・ 特殊研磨材の添加が必要。 ・ 自動走行装置の製作が必要。 ・ 切断速度は遅い。	○	△	△	×	○
(4) 砥石カッター切断工法	油圧ユニット 制御装置 油圧モーター カッター	・ 装置の取付け・取りはずしはダイバーによる作業 ・ 砥石カッターの送り速度 ・ 回転数の調整 ・ 自動送り装置の開発	・ 砥石材料の選定が必要 ・ 自動送り装置の製作が必要 ・ カッターの刃の交換が必要。	○	△	×	△	△
(5) コンクリート掘削内鋼管切断工法	ボーリングマシン ローラービット カッター 油圧ユニット	・ ボーリングマシンの移動 ・ 高圧電力の使用 ・ コンクリート切削ブリの処理	・ 水中作業は無い。 ・ 多柱支持枠撤去時の作業空間の狭い場所では使用不可である。 ・ 騒音・振動が発生する。	○	×	△	×	△

(2) 施工手順

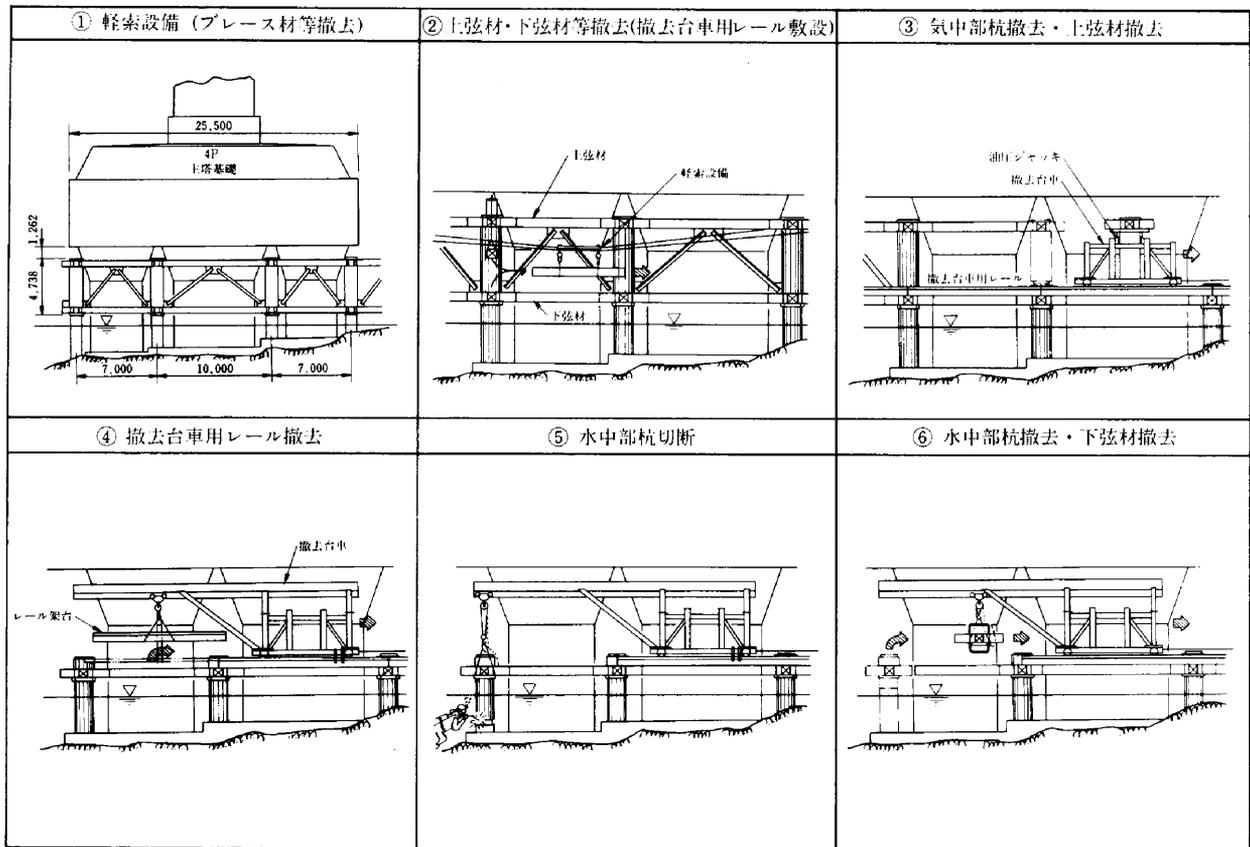


Fig.8 多柱支持枠撤去手順図

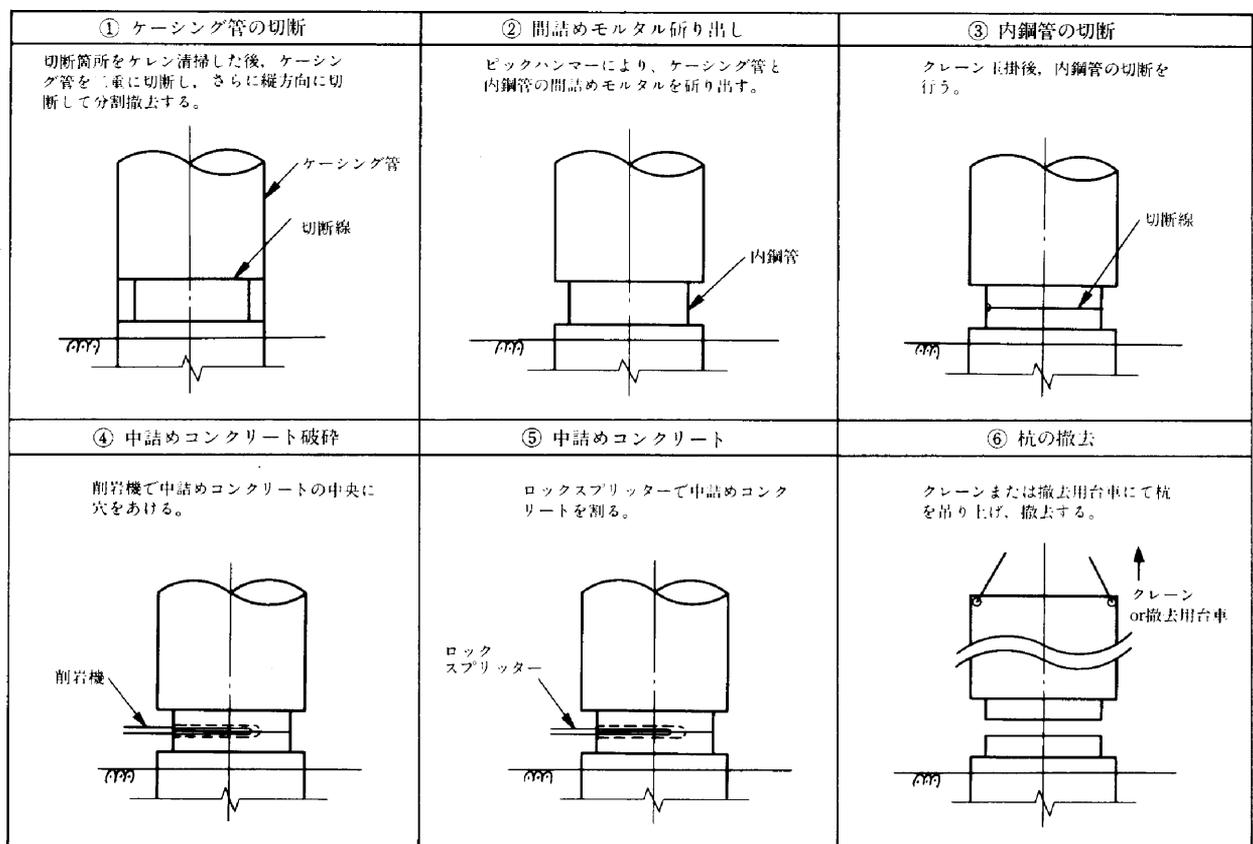


Fig.9 二重鋼管杭切断手順図

水中切断棒の種類および製造業者

型式	外径(m/m)	内径(m/m)	長さ(m/m)	使用電流(A)	酸素圧(kg/cm ²)
W-7	7	2	500	250以上	5~7
W-8	8	3	500	300以上	5~7
製造業者	酸素アーク工業株式会社				

本工事の使用実績

型式	使用電流(A)	酸素圧(kg/cm ²)
W-7	300	7



Photo 2 水中切断用ホルダーおよび水中切断棒

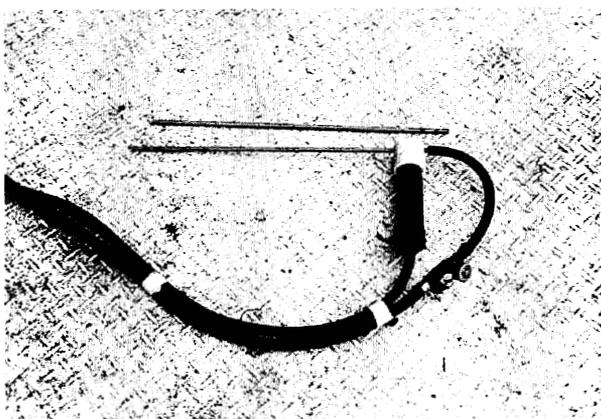


Photo 3 内鋼管切断状況



Photo 4 撤去用台車による水中部鋼管杭撤去

(3) 水中切断の使用機械・設備・材料

Table 3 水中切断の使用機械・設備・材料

名称	規格	単位	数量	摘要
エンジン直流発電機	350A	台	2	鋼材溶断
切断用ホルダー		台	2	〃
切断棒		式	1	〃
酸素		式	1	〃
ダイバー設備		式	1	
クローラクレーン	150t吊	台	1	鋼管杭吊り上げ
コンプレッサー	10.5m ³	台	1	間詰めモルタル研り
ピックハンマー		台	1	〃
ロックスプリッター		台	1	中詰めコンクリート破碎

※エンジン直流発電機は降圧ロスを考慮して350Aを使用。

§6. 施工実績

(1) 作業時間帯

工事開始前に実施した潮流調査および大鳴門橋海上作業足場周辺部潮流調査(その3)の資料をもとに潜水作業実施工程を組み、4P作業足場の撤去工事を施工した結果、Fig.10に示すように海峡に面した側では、かなり潮流の影響を受け、厳しい作業環境のもとでの工事となったが、その他の場所では常時作業可能であった。

1日の作業時間のうちで潮止まり時に、海峡側に面した箇所の作業を優先し、その他の時間で、作業可能な場所の鋼管切断や間詰めモルタルの研り等の先行作業を実施することで潮待ち時間を少なくし、工程の短縮ができた。

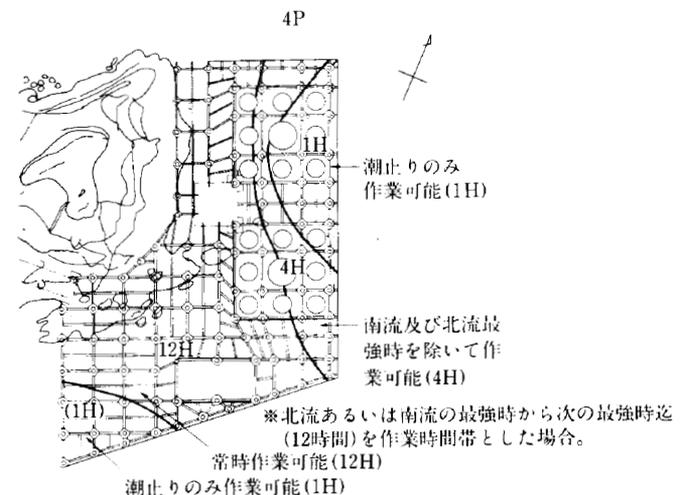


Fig.10 4P潜水作業の区域別実施時間帯

4P作業足場撤去に要したダイバー人員および稼働率を表に示す (Table 4).

(2) 水中切断の施行実績

水中部酸素アーク切断工法と気中部ガス溶断工法の使用材料の比較を Table 5,6 に示す。

Table 4 4 P作業足場撤去潜水作業実績

工種	水中切断箇所数	水中切断延長(m)	延ダイバー数(人)	延潜水時間(時間)	作業日数(日)	摘要
撤去準備			50	171	8	制水工等
多柱支持枠撤去	19(15本)	t=19.152 t=12.49	141	389	24	
4P一般部撤去	44(44本)	t=22.352 t=12.114	254	567	53	水中部材切断を含む
緩衝工架設			243	680	43	
その他の潜水作業			43	177	6	
荒天待機			26		6	
その他の待機			24		4	作業ローテーションの関係等
合計	63(59本)	667	781	1984	144	

$$\text{潜水時間率(\%)} = \frac{1984\text{h}}{781\text{人} \times \text{h}} \times 100 = 31.8$$

$$\text{稼働率(\%)} = \frac{144-10}{144} \times 100 = 93.1$$

Table 5 鋼材切断の使用材料実績

切断工法 使用材料	酸素・アセチレン切断(気中部)		酸素アーク切断(水中部)			
	(平均板厚 t = 17.6)		4P(平均板厚 t = 13.6)		5A(平均板厚 t = 15.6)	
	1m当り	1cm当り	1m当り	1cm当り	1m当り	1cm当り
酸素 (m³)	0.862	0.0058	1.277	0.0094	1.600	0.0103
アセチレン (kg)	0.293	0.0017	—	—	—	—
切断棒(W-7型)(本)	—	—	6.350	0.047	7.154	0.046

Table 6 鋼管杭切断の平均所要時間

切断箇所	切断工法	板厚(mm)	切断長(m)	切断時間(分)	切断速さ(m/分)
外鋼管	酸素・アセチレン(気中部)	16	8.6	140	0.06
ケーシング管	酸素アーク(水中部)	12	8.0	80	0.10
内鋼管	酸素アーク(水中部)	19.22	2.6	5.0	0.05
間詰めモルタル●り	ピックハンマー	—	—	50	—

作業環境による影響が大きいため、後に施工した5A作業足場撤去の実績もあわせて掲載した。

(3) 実験データとの比較

- ① 酸素流量と燃焼速度の関係では、酸素ガス溶断棒(シャープランス)で行った試験報告があるので次に示す。

測定装置

測定装置は下記装置を用い、実作業と同じ状態とした。

- イ 酸素圧力調整器 田中製作所 JET No.3
- ロ 酸素ホース 内径9m/m 長さ10m
- ハ ホルダー シャープランス工業株製
- ニ 流量計 10~110m³/h (10kgf/cm² 20℃) 浮遊式

この測定値は各圧力でシャープランスを燃焼させ一定長さ毎に時間及び流量を測定し1本当りの平均値としたものである。

グラフより SL 3-18で圧力 8 kgf/cm²で 600 l/mm SL 2-8では 7 kgf/cm²で 415 l/mm、8 kgf/cm²では 475 l/mmとなり穿孔所要時間を乗ずれば所要の酸素量を算出することができる (Fig.11)。

図により SL 3-18では流量 385 l/mm SL 2-8では 300 l/mmの時 即ち酸素圧力 5 kgf/cm²の最高の燃焼効率をしめし、それ以上圧力を増しても燃焼速度は一定で、酸素圧力を 7 kgf/cm²以上にした時は燃焼は持続しない。

この事は過剰酸素がかえって冷却作用としてはたらいっていることを示している。

しかし、試験片を使つての性能試験では、燃焼効率が最高の酸素圧力 5 kgf/cm²で穿孔すると、ランス消費量に比較して穿孔速度も低く、時間もかかり作業能率が非常に悪い。試験結果では SL 3-18が 8 kg f/cm²、SL 2-8では 7 kgf/cm²が作業能率の点で良好な結果が出てい

ガス専用棒仕様

型名	外径mm	全長mm	酸素圧力kgf/cm ²	用途
SC 1-5	10.5	1400	4~7	シートパイル溶断, 焼付砂, 羽口ノロ除去 ハツバ孔穿孔, ステンレス, ダクタイル 鉄湯口溶断 其他
SC 2-6 B	12.7	1800	~	
SL 8-6	13.8	2750	10~15	ノロ混り鉄鉄溶断, 高炉関係溶断穿孔, ハツバ孔穿孔, 水中溶断, 岩石及コンクリート 穿孔, 非鉄金属大物溶断, 穿孔 其他
SL 2-8	13.8	2750	"	
SL 3-11	17.3	3000		
SL 3-18	17.3	3000		

Table 7 酸素アーク切断データ比較表

条件	型式	使用電流(A)	酸素圧(kgf/cm ²)	酸素量(m ³ /min)	切断速度(cm/min)	備考
実験値	W-7	250	5	0.16	54	水深5m 板厚12mm
施工実績	W-7	300	7	0.13	10	水深0~7m 板厚12mm

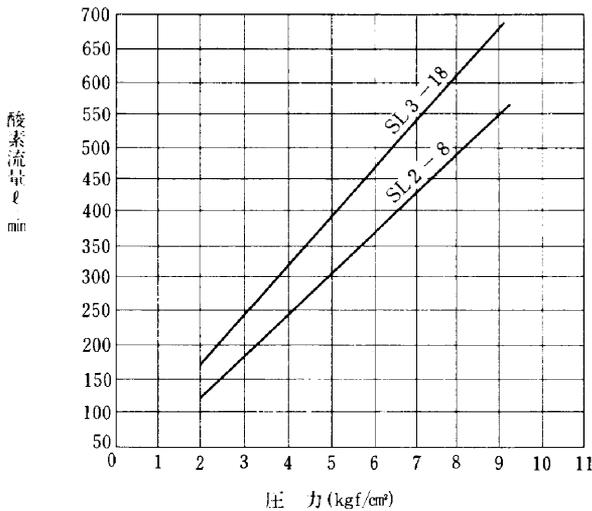


Fig.11 酸素流量と酸素ガス溶断棒燃焼速度の関係

る。したがって燃焼効率が最も良い酸素圧力が作業時でも一番良い結果とはならない。

このことは、水中部酸素アーク切断の施工実績と一致している。

試験結果より酸素圧力7kgf/cm²で60分間燃焼させた場合、SL 2-8で25.5m³の酸素消費量となる。水中部酸素アーク切断の実績では板厚12mmの場合で7.7m³の酸素消費になるが、切断棒の面積比3.9を乗じると30m³になり、ほぼ近似している。

② 酸素アーク切断データ

酸素アークの切断データを比較する (Table.7)。

1分間当りの酸素消費量は、実験値0.16m³に対し、施工実績は0.13m³と近似している。切断速度は実験値54cm/minに対して施工実績は10cm/minと約5倍の時間がかかっているが、これは実験が平鋼の切断であるのに対し、施工実績は、内部にコンクリートを充填した鋼管杭

を切断したものであり、切断条件の違いによるものと思われる。

(4) 水中部切断工法における留意点

酸素アーク切断工法による場合、その条件によって作業効率にばらつきがあるため、次のような点に留意する必要がある。

- ① 作業環境 (潮流・波浪・透明度・水深・水温等) の影響を受けやすい。
- ② 被切断材の状態 (腐蝕・板厚・中空度等) によって切断速度が変わる。
- ③ 切断するダイバーの熟練度によって切断速度が異なるため、各自の技量を把握する。
- ④ 作業姿勢 (上向き・下向き・横向き等) によって作業効率が変わる。
- ⑤ 密閉された被切断材の中では、水素ガスの滞留による破裂の危険性があるため、ガスの抜け穴をあらかじめあけておく。



Photo 5 4P作業足場および工事用栈橋撤去後全景

(5) 工程 Table 7 実施工程と予定工程

工種	単位	数量	S.60												S.61											摘要
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
準備工	式	1	○-----○																							
制水工	式	1													○-----○											
多柱支持枠撤去	t	599													○-----○											
4P一般部足場撤去	t	2772													○-----○											
緩衝工	t	230	○-----○												○-----○											
コンクリート構造物撤去	m ³	768													○-----○											
備考	<div style="text-align: right;"> </div>																									

§7. おわりに

水中部酸素アーク切断工法は、海岸工事や河川工事において一般に普及している工法であるが、本工事の場合は、急潮流下での作業であり、事前の調査および検討が施工性の向上および安全性の確保の上で重要な課題となった。昭和60年11月に本格的な撤去工事に着手し、昭和61年7月に大鳴門橋4P作業足場撤去工事は緩衝工の架設を含め無事完了した。台風・低気圧等の接近が少なく、気象には恵まれたが、海象の厳しい条件の中で関係各位の御協力により作業を進めることができた。

参考文献

- 1) 大鳴門橋海上作業足場周辺部潮流潮査(その3)
報告書 本四国公団第一建設局 鳴門工事事務所 S
60年3月
- 2) ウォータージェット法による二重管杭切断実験報告
新日本製鉄株式会社
- 3) 火炎ジェット切断工法
住友金属工業株式会社・住友建設株式会社