

大鳴門橋主塔基礎の施工

Construction of Ohnaruto Bridge's Main Tower Foundation

丸山 智義* 伊藤 典生**
Tomoyoshi Maruyama Norio Ito

要 約

本文は、大鳴門橋下部工を最も特色づけている多柱式の主塔基礎の施工報告である。
多柱式の主塔基礎はφ4m×16本とφ7m×2本の杭および項版からなる構造であったが、特に杭（多柱）の掘削工法の選定、確立が大きな問題であった。
φ4.4m多柱掘削はロータリ式大口径掘削機による全断面掘削工法により、φ8.0m多柱掘削はオーバーラップ掘削を中核とする複合機械掘削工法により施工した。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 下部工大毛工区工事の概要
- § 3. 主塔基礎の構造と施工
- § 4. φ4.0m多柱工
- § 5. φ7.0m多柱工
- § 6. おわりに

§ 1 はじめに

本州四国連絡橋・神戸～鳴門ルートの一部をなす大鳴門橋は、幅1.3kmの鳴門海峡を渡り、本州側淡路島と四国側大毛島を結ぶ、中央径間876m、全長1629mの、道路鉄道併用の吊橋である（Fig-1）。

大鳴門橋下部工工事は昭和51年7月から、鳴門側（大毛工区）、淡路側（門崎工区）に2分して着工し、4年9ヶ月の工期を費して昭和56年3月に完工した。

現在、引きつづいてケーブル架設など上部工工事が施工中で、昭和59年度開通予定であるが、その時点で日本

第1位、世界第10位の規模である。

ここでは、大毛工区工事のうち、前回の「アンカレイジコンクリートの施工」に続いて多柱掘削を中心とする主塔基礎の施工法とその実績を報告する。

§ 2 下部工大毛工区工事の概要

当社（西松・青木・東洋共同企業体）が、担当した鳴門側の大毛工区工事は、主として4P主塔基礎と5Aアンカレイジの本体工事であるが、その本体工事に先行して、Fig-2の大毛工区一般平面図にみられるような海上の作業足場、工所用棧橋、締切堤、陸上の工所用トンネルなどの準備工事および県道付替トンネルなどの付帯工事の施工を行った。

Photo-1は大毛工区現場全景である。

施工現場の特殊条件は次のとおりである。

- 1) 潮流、波、風などの自然条件が激しい。
- 2) 国立公園特別地域内である。
- 3) 海峡周辺は好漁場である。

4) 海峡は船舶の往来が多い主要航路である。

また、作業基地は現場から海上距離で約5km離れているがその広さは36,000㎡あり、事務所、宿舎、倉庫、資機材置場、受変電所、泥水処理プラントなどを設けた。

Photo-2は作業基地全景である。

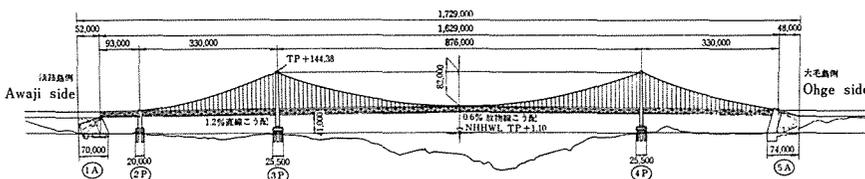


Fig-1 大鳴門橋一般図
General view of Ohnaruto bridge

*四国(支)鳴門(出)所長
**四国(支)鳴門(出)係長

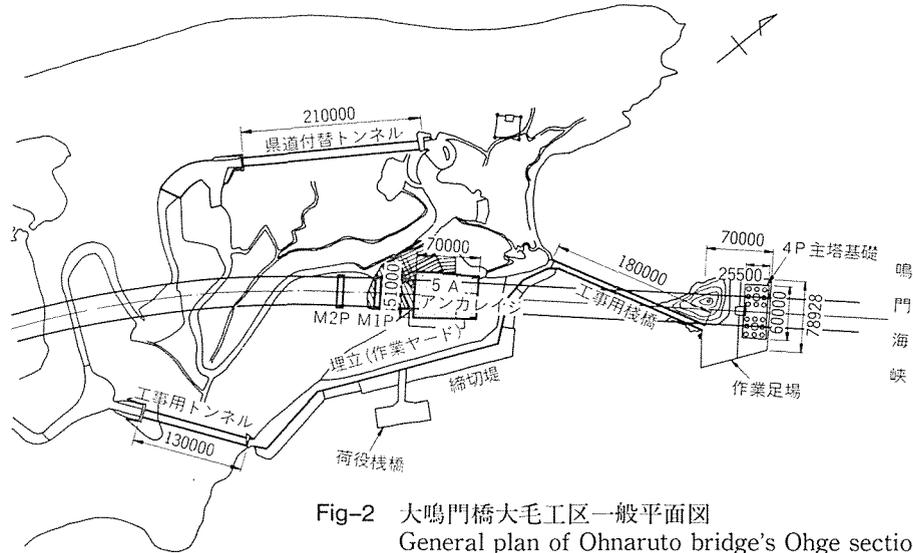


Fig-2 大鳴門橋大毛工区一般平面図
General plan of Ohnaruto bridge's Ohge section

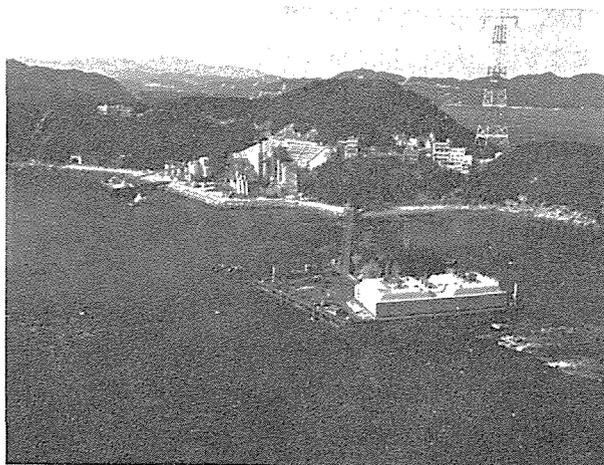


Photo-1 大毛工区現場全景
Overall view of Ohge section under construction



Photo-2 作業基地全景
Overall view of site facilities

前面岸壁は、水深5～7m、延長360mあり、最大5000t級の船舶が接岸できる。

この基地から現場までの交通方法としては、作業船で直接鳴門海峡を通過して海上に行く方法と、トラックなどで既設県道、工事用トンネル、工事用棧橋を経由して陸上から行く方法の2通りがある。前者は重量物、大型資機材、泥水などの運搬に、後者は生コンクリート、小資機材などの運搬および作業員の交通に用いた。

§ 3 主塔基礎の構造と施工

大鳴門橋の主塔基礎は、主塔直下にφ7mの杭1本、その周囲にφ4mの杭8本、計9本を1つの杭群とし、その2つの杭群で最大厚9mの鉄筋コンクリート頂版を海面上で支える多柱式構造である。

Fig-3は4P主塔基礎一般図である。

上部工からの最大荷重(暴風時、橋軸直角方向)は、1杭群当り、鉛直力33,000tf、水平力4,400tf、モーメント30,600tf・mである。

また、多柱底面での岩盤の許容鉛直支持力度は、根入れ効果を考慮せず、常時350tf/m²、暴風時525tf/m²で設計された。

主塔基礎の施工は、Fig-4の4P作業足場平面図にみられるような作業足場、工事用棧橋、ジブクレーン基礎などの準備工事から始められ、その後多柱掘削、多柱コンクリート、頂版コンクリートなどの本体工事を施工した。

Table-1は4P主塔基礎の実施工程表である。また、Table-2は4P主塔基礎の主要工事数量である。

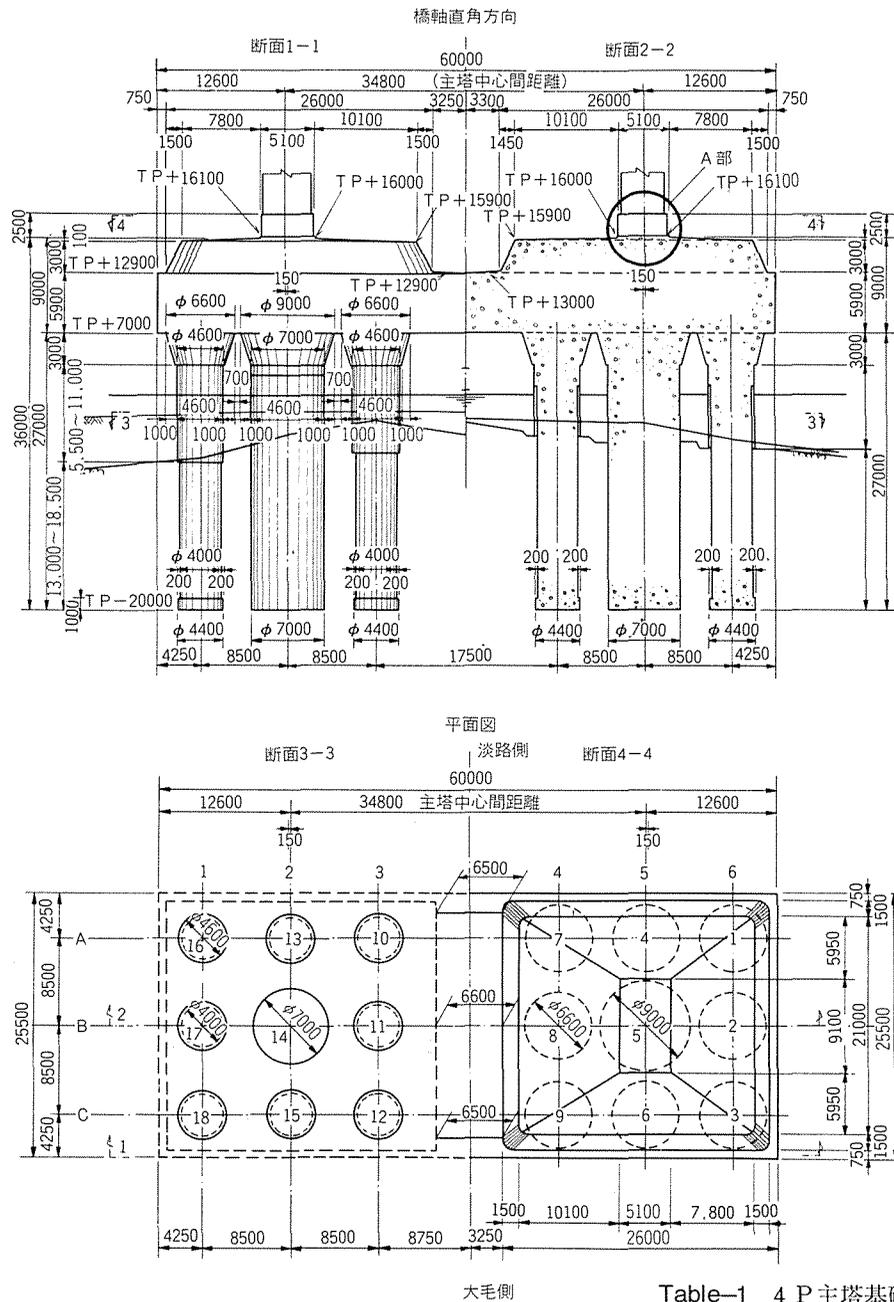


Fig-3 4P主塔基礎一般図
Structure of main tower foundation (4P)

Table-1 4P主塔基礎実施工程表
Actual construction schedule of main tower foundation (4P)

工 程	51年度			52年度			53年度			54年度		
	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3
作業足場(大ブロック)架 設												
"(小ブロック)製作架設												
"(支持)架 設												
工事用棧橋製作架設												
ジブクレーン基礎												
"組立												
多柱ケーシング製作												
多柱掘削												
多柱コンクリート												
外被鋼板製作架設												
珪版コンクリート												
アンカーフレーム製作架設												

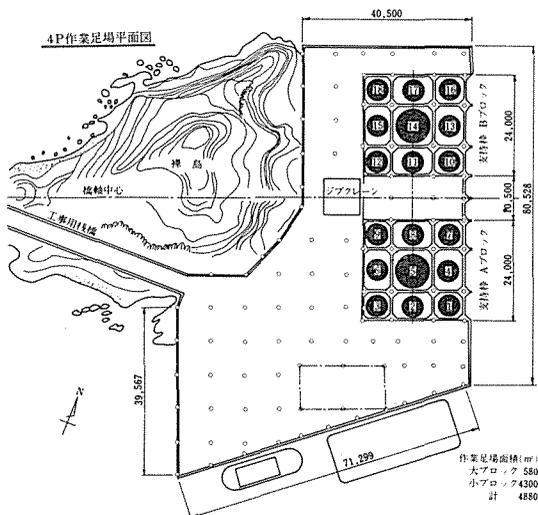


Fig-4 4P作業足場平面図
Plan of 4P working platform in the sea

Table-2 4P主塔基礎・主要工事数量
Quantities of major items for main tower foundation (4P)

工 種	単位	数 量	備 考
φ4.0m 多柱掘削	m	270	16本
φ7.0m "	m ³	1,660	2本, 34m
φ4.0m 内鋼管	t	610	16本
φ7.0m "	t	200	2本
根 固 め モ ル タ ル	m ³	1,260	18本
φ4.8m ケーシング	t	410	16本
多柱コンクリート	m ³	8,000	普通ポルト
外 被 鋼 板	t	220	SS41, Al溶射
頂版コンクリート	m ³	12,700	中庸熱ポルト
多柱, 頂版, 鉄筋	t	2,600	SD30, D41~51
塔アンカーフレーム	t	120	2基

ット, マキナテリ-10B-3, ポータブルコンプレッサー-17m³/min×2台, ダンプトラック

- (2) 多柱ケーシング設置, シールコンクリート打設, ケーシング保持装置架設

施工法: 制水枠内でシールコンクリート用中型枠を組み, 多柱ケーシングを設置する。シールコンクリートは, トレミー管で打設する。ケーシング保持装置の架設後, 制水枠を撤去する。架設は全て1,500t・mジブクレーンで行なう。

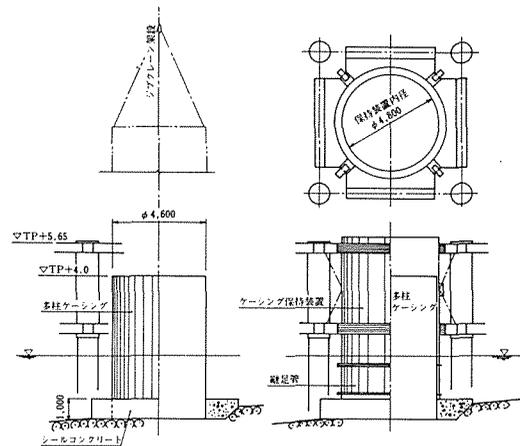


Fig-6 多柱ケーシング設置, シールコンクリート打設, ケーシング保持装置架設
Setting casing, casting concrete, setting casing-holder

§ 4 φ 4.0 m 多柱工

4-1 φ 4.4 m 多柱掘削工法

径3.5m以上の大口徑岩掘削の過去の実績から, φ 4.0 m内鋼管を建込むためのφ 4.4m多柱掘削は, ロータリ式大口徑掘削機による全断面掘削工法が適当であると判断した。

4-2 φ 4.0 m 多柱工の施工法の概要

- (1) 制水枠架設・堆積層掘削・岩盤不陸均し

施工法: 潮流・波浪の遮断及び濁水防止用の制水枠を, 各ブロック毎に架設し, その中でクラムシェル, オレンジピール, 水中砕岩機を使用して, 堆積層掘削及び岩盤不陸均し(事前掘削)を行なう。

主な機械設備: 40 t吊クローラークレーン, 1 m²クラムシェル, オレンジピールバケ

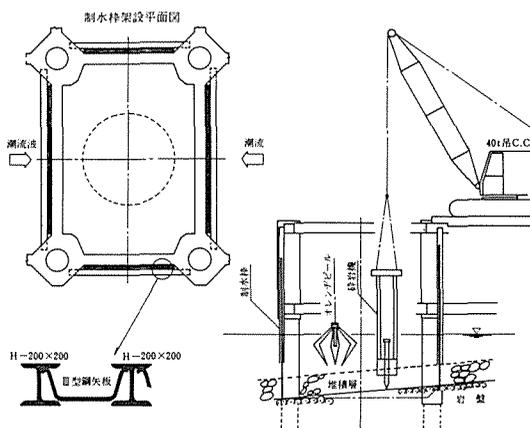


Fig-5 制水枠架設, 堆積層掘削, 岩盤不陸均し
Setting sheet pile screen, excavating deposit, leveling rock

- (3) φ4.4 m 多柱掘削

施工法: 直径4.4mの全断面機械掘削工法により, φ

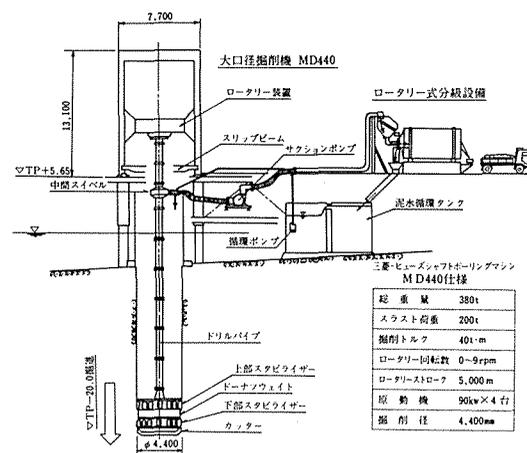


Fig-7 φ4.4m 多柱掘削
φ4.4m Drilling

4.4m多柱掘削を行なう。ズリの排出方法は、先ずサクションプンプを使用し、浸水比が取れるようになると、エアリフト工法も採用する。掘削ズリは、足場上のロータリー分級機で分離し、トラックで搬出する。泥水は、循環使用の後、亀浦基地泥水処理プラントへ輸送し、処理する。

(4) 内鋼管建込、漏洩防止用砂投入、根固めモルタル注入、間詰モルタル

施工法：多柱内鋼管を亀浦基地より海上輸送。足場上で上・下管の継足後、ジブクレーンで建込む。内鋼管内部に砂を投入後、根固めモルタル、間詰のモルタルを注入し止水する。モルタル養生後、ドライアップとする。

主な機械設備：モルタルプラント(50tセメントサイロ付・ミキサー500l2槽式2台) 注入装置

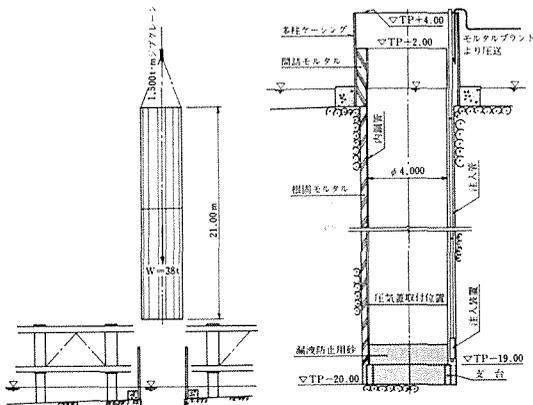


Fig-8 内鋼管建込、漏洩防止用砂投入、根固めモルタルおよび間詰モルタル注入
Setting inner steel pipe, throwing sands into the pipe, grouting around the pipe

(5) 多柱鉄筋コンクリート

施工法：ドライアップ後、底詰砂の掘削除去、孔底清掃、岩盤調査および湧水処理(止水)を行なう。その後多柱鉄筋、多柱コンクリートの施工を行なう。鉄筋は1本ずつ建込み管内で組立てる。主筋はD51およびD41で、重ね継手とする。コンクリートは4リフトに分けてシュートまたはポンプ打設する。コンクリートは生コンとする。

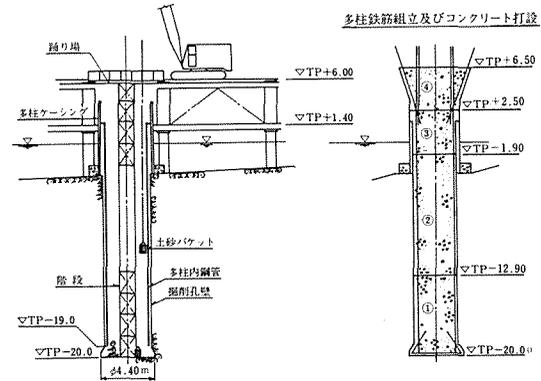


Fig-9 多柱鉄筋コンクリート
Reinforced concrete in the pipe

4-3 φ4.4m多柱掘削

(1) 掘削条件の調査

多柱掘削に先立って、各多柱中心においてφ66mmボーリングを行ない、堆積層の厚さ、支持岩盤の種類および強度などを確認する地質調査を実施した。

施工地点の水深は最大6m、平均3~4mで、潮流速度は最大6ノットである。

海底地質は砂岩と頁岩が約45°傾斜して互層をなしている和泉層と呼ばれる岩盤であるが、表面には厚さ1~4mの礫混り玉石の堆積層が分布している。

岩盤は概してヒビワレが発達していて、その一軸圧縮強度は最大1,600kgf/cm²、平均800kgf/cm²の中硬岩優勢である。

(2) 大口径掘削機の選定

径3.5m以上のロータリー式大口径掘削機の実績は、諸外国の例を除けば、その数は非常に少なく、本四公団の実験工事、日本道路公団の大島大橋橋脚工事、さらに東京都水道局の小河内ダム取水設備工事にみられるのみである。わが国で、これらの工事のために製作されたφ3.6m級の大口径掘削機には新日鉄BM-1、三菱MD-360、川重KSD-4、IHIのL-10Sなどの機種がある

Table-3 三菱・ヒューズシャフトボーリングマシンMD440諸元
Technical data of drilling machine MD-440

掘削径	4,400mm	主要寸法	13,170×12,000
ロータリ出力トルク	40t-m	高さ×長さ×幅	×8,000mm
ロータリスピード	0~9rpm	総重量	407t
ロータリストローク	5,000mm	掘削機本体	155t
つり上げ能力	350t	パワーユニット	13t
ビットボディ重量	200t	コントロールユニット	2.8t
ドリルパイプ外径	457mm	ビットボディアッセンブリ	195.2t
原動機	90kW×4台	ドリルパイプ	15.5t
主ポンプ圧力	210kg/cm ²	排土装置	13.7t
主ポンプ吐出量	0~400l/min×4台	移動装置	11.8t

る。本工事のφ4.4m掘削直径に対しては、いずれの機種も実績を有していないが、マスト一体形であること、スラスト荷重の微調整が容易な油圧ジャッキによるドリルストリングスの支持であることなどの理由で、三菱MD-440の機種を選定し、その仕様を検討し、新規発注した。最終的なMD-440の主要諸元はTable-3に示すとおりである。

(3) ズリの排出工法の検討

水流のエネルギーを利用するズリの排出工法には、サクシヨンポンプ、エアリフト、ジェットポンプのいわゆる逆循環方式がある。

本工事では、常用でサクシヨンポンプを用い、浸水比が確保できるときにはエアリフトも用いることにした。直径10cm以上のズリを管内から排出するのに要する流速は、一般に2.5~3.8m/secといわれているが、ここではズリの最大径10cmを条件として、サクシヨンポンプは古河のSPD-200形スラリーポンプ(13m³/min)を採用した。

(4) カッターの選定

カッターは歯形により、ツース形(軟岩, 中硬岩用)、ディスク形(硬岩用)、インサートチップ形(超硬岩用)があるが、本工事では耐久性より切削性を重視して、ツース形のカッターを選定した。カッター編成は、Photo-3にみられるように、φ12"×13ヶとφ15"×15ヶ、計28ヶ1組である。

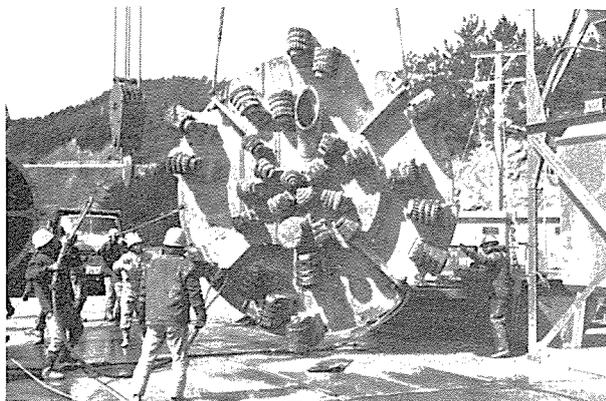


Photo-3 φ4.4m 多柱掘削のカッター編成
Cutter arrangement for φ4.4m drilling

(5) 大口径掘削機の運搬, 移動

大口径掘削機は兵庫県明石市で製作, 組立, 試運転を行った。その後鳴門まで海上を600t吊クレーン船により吊込運搬し, 4P作業足場上に据付けた。

また, 大口径掘削機は, 作業足場の梁上に鋼製箱桁のレールを敷いて, その上を117t×2基の移動用油圧

ジャッキの押引操作により, 滑動させ移動した。

(6) ズリ処理および泥水処理

多柱掘削のズリ処理および泥水処理のフローチャートは, Fig-10に示すとおりである。

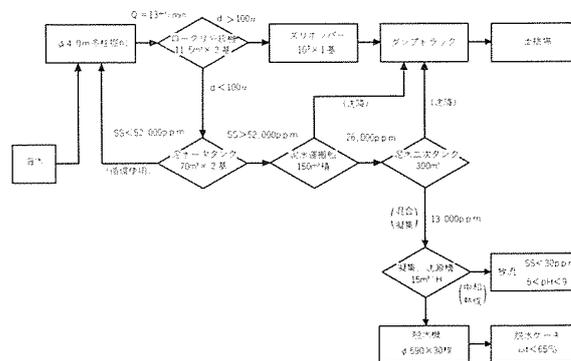


Fig-10 φ4.0m 多柱掘削のズリ処理, 泥水処理のフローチャート
Flow chart of the treatment of rock waste and mud water

(7) 掘削工期の検討

1) 検討条件

掘削数量: φ4.4m×16.7m×18本

掘削岩質: 砂岩および頁岩の互層

圧縮強度平均800kgf/cm²

掘削精度: 1/100 (鉛直)

カッタ : ツース形タイプ, 直径38cm

2) 掘削機運転条件の設定

運転条件は, 掘削速度および掘削精度の確保, 掘削機運転による振動防止などをバランスよく考慮して設定する必要がある。

a) 二段階運転

運転は初期掘削と常用掘削の二段階とする。

掘削開始から掘削径程度の深さまでの初期掘削では掘削精度の確保, 掘削機の極端な振動防止など掘削状況の安定に重点をおいて, ビットの荷重および回転数を抑制する。

その深さ以上の常用掘削では, 掘削速度の確保に重点をおいて, できるだけビットの荷重および回転数の増大をはかる。しかし, 所定の掘削精度の確保は考慮しなければならない。

b) ビット荷重

岩盤掘削のローラービットの掘削径当りの適正荷重は, 過去の実績から一般的に, $w=0.2\sim0.3\text{tf/cm}$ と考えられている。この考え方によれば, 掘削径4.4mのビット荷重は, $W=w\cdot d=(0.2\sim0.3)\times 440=88\sim132\text{tf}$ となる。この工事では, 常用掘削180tf (水中荷

重)×60%≒100tf, 初期掘削180tf(水中荷重)×30%≒50tfとする。

c) ビット回転数

経済的なビット回転数は、 $N=120/d$ (フイート)で一般的に提案されている。この式に、 $d=4.4m \equiv 15ft$ を代入すれば、 $N=120/15=8r.p.m$ が得られる。

しかし、過去の実績から岩質の変化に対応するために、この工事では、常用掘削6r.p.m, 初期掘削5r.p.mとした。

3) 純掘削速度

ツース形カッター使用時のロータリ掘削の純掘削速度の算定には、一般的に次の土研公式が用いられている。

$$R = K \times \frac{N^{1.1} \times W^{1.5} \times r^{0.8}}{d^{1.2} \times S^{1.5}}$$

ここに、 R ：掘削速度 (m/hr)

K ：ドリラビリティ定数0.4~0.7

N ：ビット回転数 (r.p.m)

W ：ビット荷重 (tf)

r ：カッターの半径 (cm)

d ：掘削径 (m)

S ：岩盤の圧縮強度 (kgf/cm²)

この公式において、 $K=0.7$, $r=19cm$, $d=4.4m$, $S=800kgf/cm^2$ とし、常用掘削 $N=6r.p.m$, $W=100tf$, 初期掘削 $N=5r.p.m$, $W=50tf$ を代入すれば、純掘削速度は、常用掘削では40cm/h, 初期掘削では11cm/hになる。

4) 掘削工期

φ4.4m 多柱掘削(平均掘削長16.7m)1本当りの純掘削時間は、Table-4 から70.75hである。

Table-4 φ4.4m 多柱掘削の純掘削時間
Net drilling hours of φ4.4m drilling

項目	掘削長	純掘削速度	純掘削時間
初期掘削	4.4m	0.11m/h	40 h
常用掘削	12.3	0.40	30.75
計	16.7	0.24	70.75

純掘削時間率を0.32とすると、掘削時間は、70.75/0.32=221hである。次に、1日当りの実働作業時間を11hとすると、純掘削日数は、221/11=20日である。

つづいて、稼働日数率を0.80とすると、掘削工期(暦日数)は、20/0.80=25日/本となる。

(8) φ4.4m 多柱掘削

φ4.6m 多柱ケーシングの上部をつつみこむように、φ4.8m ケーシング保持枠を作業足場に固定した後、φ4.4m 多柱掘削を開始する。

掘削の方法は、掘削機本体のパワースイベルによって、ロッドを通してビットを回転させ、ビット先端のカッターで砕岩し、発生した砕岩ズリは流水と共にドリルパイプを通じてサクシヨンポンプまたはエアリフトで排出し、連続的に掘削する方法である。

掘削中、常に掘削速度、掘削ズリの岩質、掘削機の振動などを把握し、その変化に対応してビット荷重、回転数などの運転条件を調整した。

Photo-4はφ4.4m 多柱掘削状況で、Fig.-11はその掘削記録の一例である。

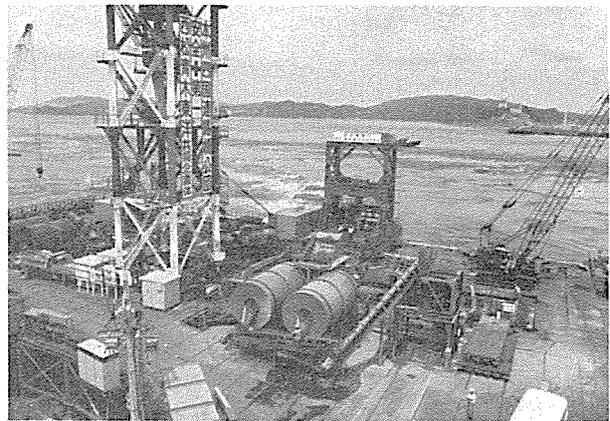


Photo-4 φ4.4m 多柱掘削状況
View of φ4.4m drilling site

(9) 施工実績

1) 工期

φ4.4m 多柱掘削の工期実績は、Fig.-12に示すとおりである。

2) 作業時間

φ4.4m 多柱掘削の作業時間実績をTable-5に、作業時間構成をFig.-13に示す。

3) 掘削精度

本工事のように内鋼管建込のための掘削の場合、特に掘削中および掘削後における鉛直精度、孔壁状況の測定管理は重要である。

この工事では、掘削中においては村田式孔曲り測定機を主に用いて検測し、掘削後は超音波側壁測定機KE-20を用いて測定した。

Fig.-14は超音波による測定結果の一例である。図中に、孔壁に一部崩落があるのがよく示されている。

掘削精度の測定結果は、Table-6に示すように良好であった。

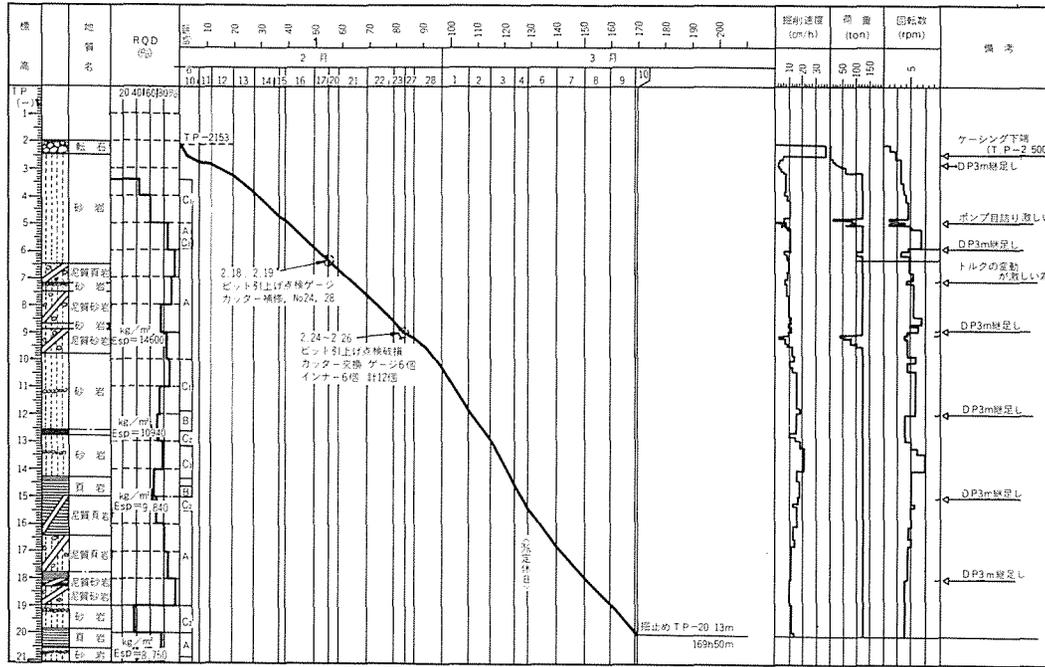


Fig-11 MD440掘削記録(4P-6孔)
Drilling record by MD-440 (4P-No.6)

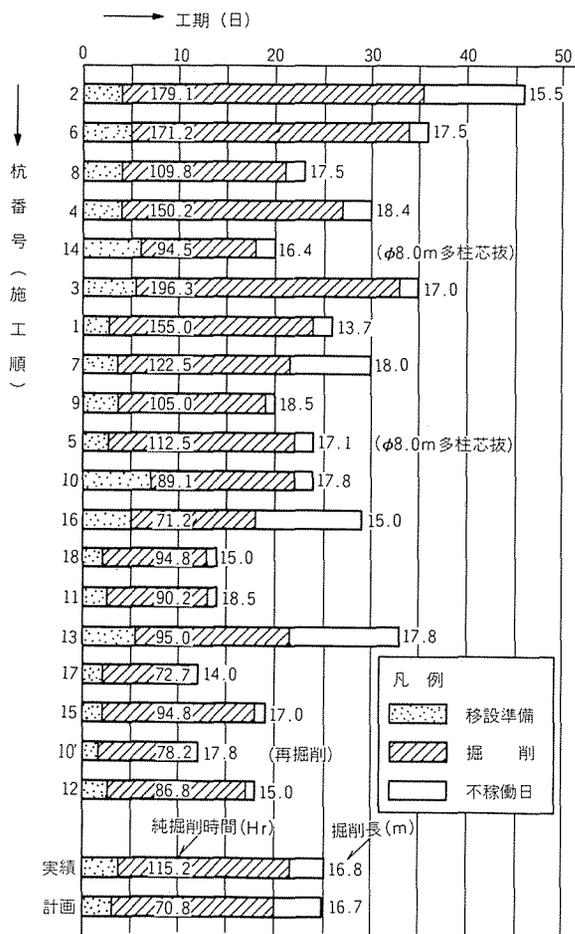


Fig-12 φ4.4m 多柱掘削の工期実績
Actual days or hours for φ4.4m drilling

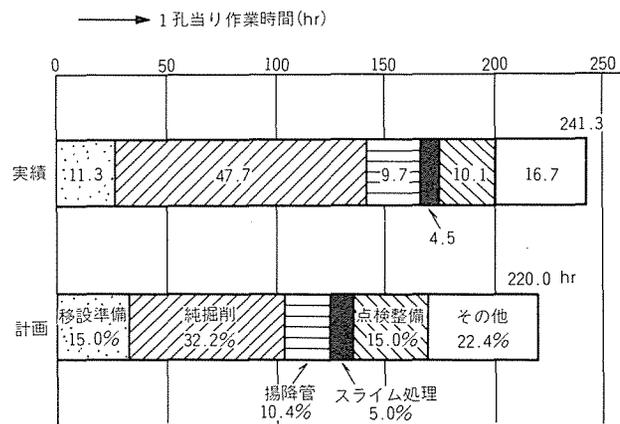


Fig-13 φ4.4m 多柱掘削の作業時間構成
Composition of working hours for 4.4m drilling

4) カッター

カッターの寿命とは、カッターの刃かベアリングの何れかが掘削速度を著しく低下させる程度摩耗した時か、欠損した時のことである。本工事では、1本掘削完了する毎に、カッターを点検して大きく摩耗したり、欠損したりしているカッターは、現場で取りはずし、新しいカッターと交換した。取りはずしたカッターのうち、補修して再使用できるものはできるだけ工場で補修し再使用する方法を使った。

カッターの使用実績を、Table-7 に示す。

Table-5 φ4.4m多柱掘削の作業時間実績
Actual working days or hours for φ4.4m drilling

項目	掘削長	暦日数	作業日数	掘削準備	掘削(運転時間)				点検整備	その他	作業時間計	稼働日数率	純掘削速度	純掘削時間率	1日当り作業時間
					純掘削	揚降管	スライム処理	小計							
18本実績	303.2m	453日	390日	490-15	2072-45	421-15	193-40	2687-40	437-35	727-20	4342-50	0.86	0.15m/h	0.48	11.1h
1本当り実績	16.8	25.2	21.7	27-14	115-09	23-24	10-46	149-19	24-19	40-24	241-16				
1本当り計画	16.7	25.0	20.0	33-00	70-45	22-50	11-00	104-35	33-00	49-25	220-00	0.80	0.24	0.32	11.0

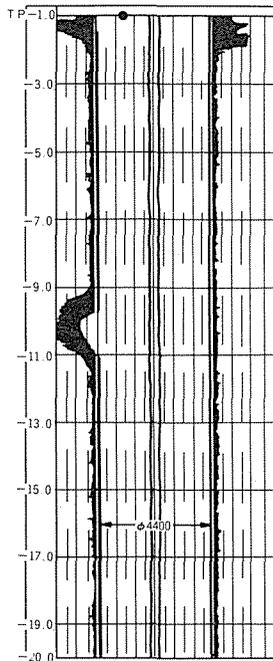


Fig-14 φ4.4m多柱掘削孔壁測定結果の1例
Measurement of φ4.4m drilling hole

Table-6 φ4.4m多柱掘削の掘削精度
Precision of φ4.4m drilling

項目	計画	実績 practical
孔底高	~T.P-20.020	T.P-20.022~-20.058(-20.034)
孔径	φ4,380~4,420	φ4,390~4,409(4,399)
孔曲り量	170mm	40~126(70)
鉛通精度	1/100	1/150~1/420(1/236)

ただし、()内の数字は平均値である。

Table-7 φ4.4m多柱掘削のカッター使用実績
Durability of cutter and cutter sets/expectation vs actual

項目	カッターの寿命	使用数量
計画 expected	400hr/組, 100m/組	3組
実績 practical	500hr/組, 80m/組	4組

実績では、1回のカッターの点検整備に日数は2日を要し、カッターは平均18ヶ(65%)交換した。

5) 掘削ズリおよび泥水

多柱掘削のズリ処理および泥水処理の計画に対して、掘削ズリの粒径分布の推定が必要であった。計画では、粒径100μ以上のズリは全体の80%で、ロータリー分級機でズリ処理し残りの20%を泥水処理することを考えていたが、実際には全体的に粒径は小さく、約25%を泥水処理する必要があった。

Fig-15は掘削ズリの粒径分布である。

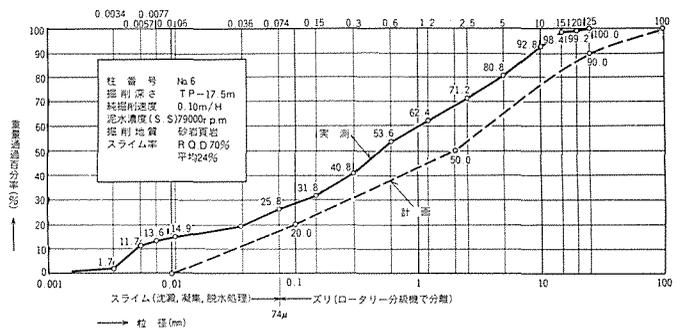


Fig-15 φ4400mm多柱掘削・掘削ズリの粒径分布
Grain size distribution of rock waste for φ4.4m drilling

§ 5 φ 7.0 m 多柱工

5-1 φ 8.0 m 多柱掘削工法

φ 7.0m内鋼管をT. P-20mまで鉛直に建込むためのφ 8.0m多柱掘削工法については系統的に次の三案があり、種々検討が加えられた。

- i) 全断面機械掘削工法
- ii) 複合機械掘削工法
- iii) ニューマチックケーソン工法

i) については、掘削機の開発が必要で、掘削数量が少ない(16m×2本)ので不経済などの理由で、iii)については、経済的であるが火薬使用による隣接多柱および周囲環境などへの悪影響が懸念されるなどの理由で、それぞれ不採用になった。

結局、ii)の複合機械掘削工法の採用ということにな

つたが、さらにパーカッション方式、ロータリ方式のいろいろの組み合わせのパターンが考えられる。

発注時、Fig-16に示すような、ロータリ方式によるφ4.4m 芯抜掘削、φ1.3m 環状部掘削およびφ116mm ラインホール掘削とパーカッション方式による残壁掘削による工法が計画されていた。

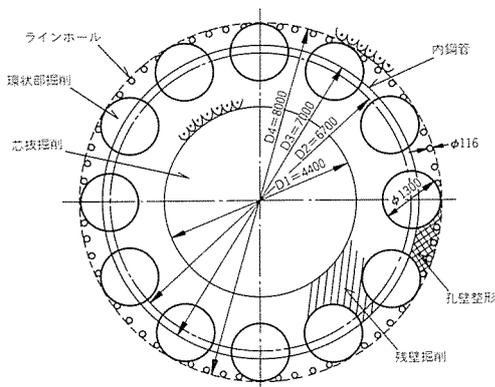


Fig-16 φ8.0m 多柱掘削発注時の掘削定規
Proposed plan of φ8.0m drilling

工事実施にあたり、発注時の掘削工法に対する次のような問題点を指摘して、代案をいろいろ検討した。

- i) 泥水中の砕岩機による掘削は施工実績が少ない。
- ii) 掘削量の60%を砕岩機の衝撃エネルギーによって掘削するため、孔壁の安定に悪影響を及ぼす。
- iii) 孔壁整形の施工が困難である。

最終的に、芯部掘削にはφ4.4m 多柱掘削と同じくMD-440を用い、リング部にはφ1.5m 級のロータリ掘削機でオーバーラップ掘削をするFig-17に示すようなロータリ掘削優勢のパターンを提案し、採用された。

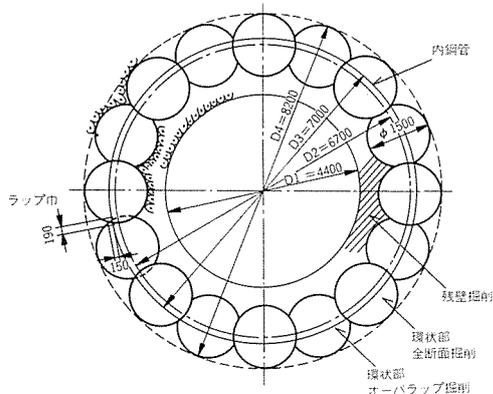


Fig-17 φ8.0m 多柱掘削最終決定掘削定規
Actual plan of φ8.0m drilling

この工法の中核となるオーバーラップ掘削の施工上のポイントは、鉛直精度の確保と円滑なズリ上げである。

5-2 φ7.0m 多柱工の施工法の概要

(1) 制水枠架設・事前掘削・

φ9.0m ケーシング設置・シールコンクリート打設
 施工法：制水枠架設、事前掘削、シールコンクリート打設は、φ4.0m 多柱工と同じ。φ7.0m 多柱掘削断面をカバーするケーシングを設置する。

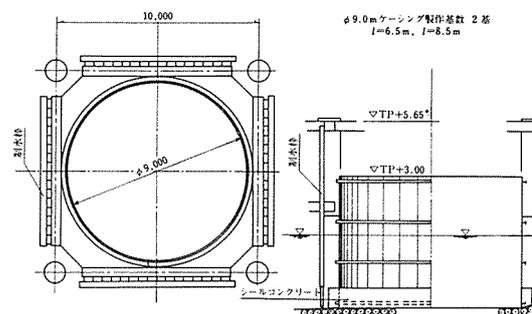


Fig-18 制水枠架設、事前掘削、φ9.0m ケーシング設置、シールコンクリート打設
 Setting sheet pile screen, excavating, setting φ9.0m casing, casting concrete

(2) 芯部掘削

施工法：MD440掘削機により、直径4.4mの芯部掘削を所定の深度迄掘下げる。機械の移動は、レール面上を移動ジャッキ(117t/本)による。掘削方法は、φ4.0m 多柱工と同じ。

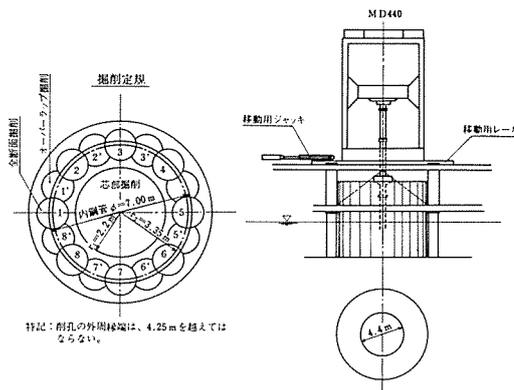


Fig-19 芯抜掘削
 Core-drilling by MD440

(3) 環状掘削、残壁掘削

施工法：掘削定規に合せた掘削架台を設置し、MD150機(口径1,500mm) 2台により、環状掘削をする。先ず、フルフェイス用ビットにより、8孔の全断面掘削をした上で、オーバーラップビットに換えて8孔のラップ掘削をする。残壁部

については、オレンジピール、水中砕岩機、クラムシェルバケットの組合せ工法により掘削する。ズリの排出、泥水処理等は、φ4.0m多柱工と同じ。

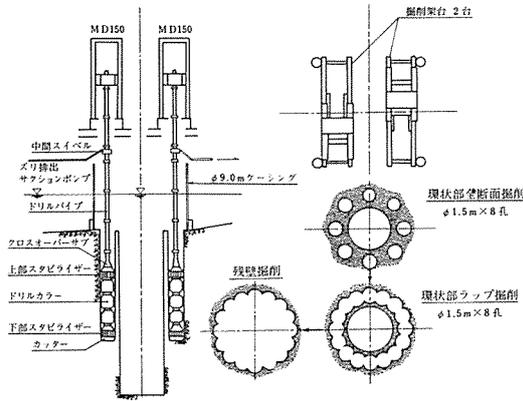


Fig-20 環状掘削、残壁掘削
Ring-drilling by MD150,
breaking and excavating the remainder

(4) 内鋼管建込

施工法：支給製品φ7.0m（長さ12.0m+10.0m）内鋼管を亀浦基地より海上輸送し、先ず、下杭を仮受用架台にセット後上杭をHTB接合する。上下管合計重量100tの沈設は、ジブクレーンと150t吊トラッククレーンの相吊りで行なう。

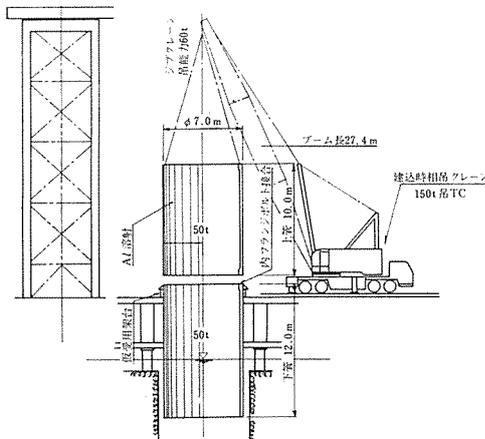


Fig-21 内鋼管建込
Setting inner steel pipe (φ7.0m)

(5) 根固めモルタル

施工法：漏洩防止用砂を投入後、水濁セメントと水を混練したモルタルを注入する。1本当りの注入量は正味182m³で、3リフトの注入計画であ

る。プラント容量は、19m³/hrである。

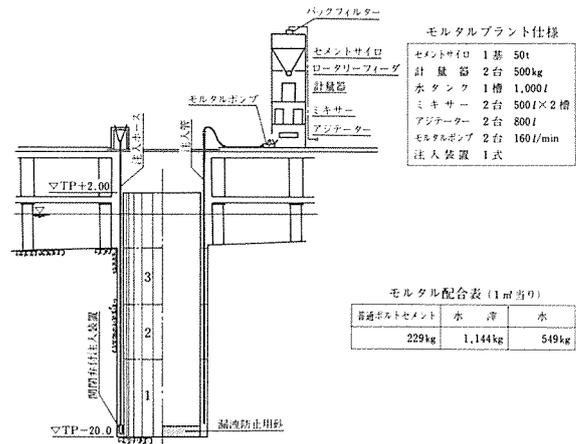


Fig-22 根固めモルタル
Grouting around the pipe

(6) 多柱鉄筋・多柱コンクリート

施工法：根固めモルタル注入後、水替をし、多柱鉄筋組立、多柱コンクリート(生コン)打設を行なう。打設設備はシュート打とする。セメント及び鉄筋は、支給材料である。

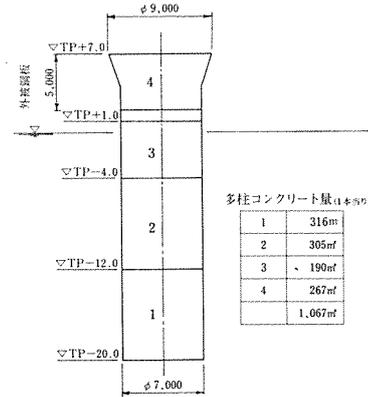


Fig-23 多柱鉄筋コンクリート
Reinforced concrete in the pipe

5-3 φ8.0m 多柱掘削

(1) φ4.4m 芯抜掘削

φ9.0m ケーシング設置後、φ4.4m 多柱掘削と同じく、MD-440によりT. P-20mまで全断面掘削をした。

(2) φ1.5m 環状掘削

掘削機は、鉛直精度の確保を重視してビット荷重の微調整ができるMD-150を選定した。

φ4.4m 芯抜掘削完了後、掘削定規に合わせた掘削架台を設置し、その上にMD-150掘削機2台を常に対称に積載し、まずφ1.5mの全断面掘削 (F. F.) を8本、

つづいてオーバーラップ掘削 (O.L.) を8本行つた。
掘削機の移動は、作業足場上の固定式ジブクレーンで吊込む方式とした。

Photo-5はφ1.5m環状掘削状況である。

また、カッターは耐久性を重視して、インサートチップ形を使用した。

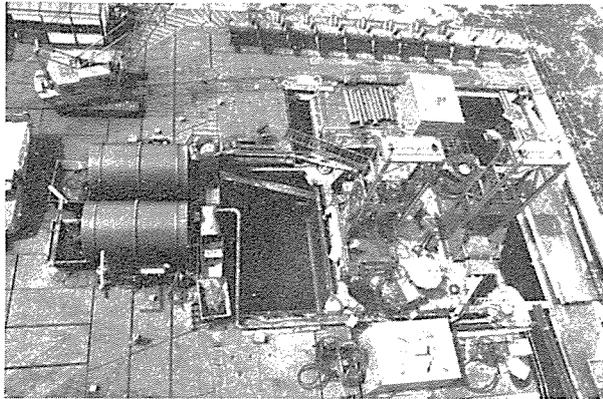


Photo-5 φ8.0m多柱掘削(環状)状況
View of φ8.0m drilling (ring-drilling)



Photo-6 φ8.0m多柱掘削の孔底
The traces of φ8.0m drilling

(3) 残壁掘削

残壁掘削は内鋼管建込前に、全て水中で砕岩し、バケット掘削する計画で始めたが、所定の工期で全て水中掘削することは不可能であることが判明した。そこで残壁掘削は、内鋼管建込前と、内鋼管建込後水替完了時との次のような二段階で行なうことにした。

まず、内鋼管が所定の位置、高さに建込していると孔壁測定などで確認できるまで、水中で砕岩掘削をした。その後、内鋼管建込み、グラウト、水替につづいて底詰砂、掘削ズリと共に残壁の岩盤をドライな状態で、機械または人力にて砕岩掘削をした。

残壁掘削の工期は、計画では1本当たり20日であったが、実際には水中で20日、ドライで8日、計28日要した。

Photo-6はφ8.0m多柱掘削の孔底を示す。

(4) 施工実績

1) 工期

φ1.5m環状掘削の1本当たりの工期実績はFig.-24に示すとおりである。

2) 作業時間

φ1.5m環状掘削の作業時間実績はTable-8に、作業時間構成はFig.-25に示す。

3) 掘削精度

§4-3-(9)-3)のφ4.4m多柱掘削と同様の方法で測定した。

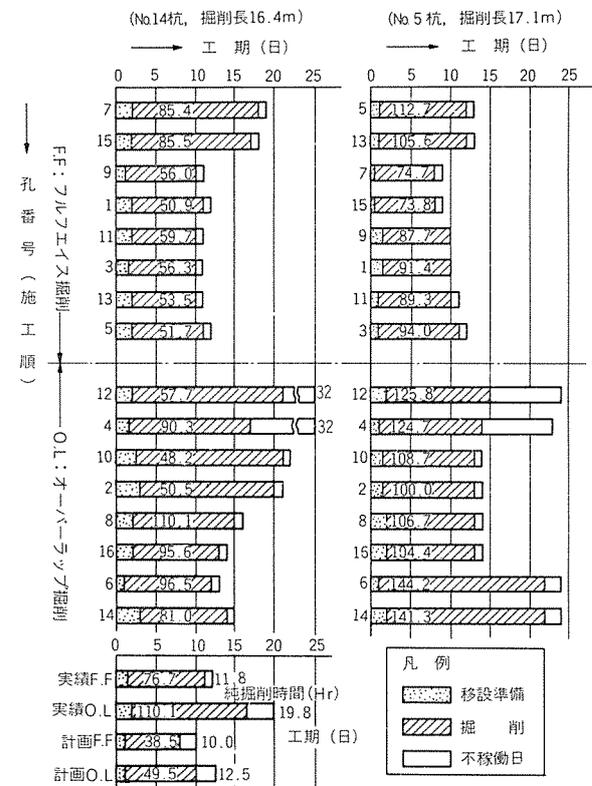


Fig-24 φ1.5m環状掘削工期実績
Actual days or hours for φ1.5m ring-drilling

φ1.5m環状掘削の孔曲り状況をFig.-26に示し、掘削精度の実績をTable-9に示す。
φ1.5mの環状掘削の掘削誤差は、計画では最大1/50、平均1/150と考えて、ラップ率、孔間隔などを決定した。

Table-8 φ1.5m環状掘削の作業時間実績
Actual working days or hours for φ1.5m ring drilling

項目	掘削長	総日数	作業日数	掘削率%	掘削 (運転時間)				点検整備	その他	作業時間計	稼働日数率	純掘削進捗	純掘削時間率	1日当り作業時間	
					純掘削	掘削管	スライム処理	小計								
実績	F.F	16.8	11.8	10.8	643H (5)	76'43 (60)	13'13 (10)	1'52 (2)	91'50 (72)	6'33 (5)	22'48 (18)	127'54 (100)	0.92	0.22	0.60 h	11.51
	O.L	16.8	19.8	16.9	1156 (6)	116'08 (54)	15'29 (8)	4'06 (2)	129'43 (64)	6'28 (3)	55'01 (100)	203'08 (100)	0.85	0.15	0.54	12.00
	平均	16.8	15.8	13.9	9'20 (6)	93'26 (56)	14'21 (9)	2'59 (2)	110'46 (67)	6'30 (4)	38'55 (100)	165'31 (100)	0.88	0.18	0.56	11.57
計画	F.F	15.8	10.0	8.0	11'00 (13)	38'30 (44)	11'00 (13)	0'00 (0)	49'30 (57)	11'00 (13)	16'30 (17)	88'00 (100)	0.80	0.41	0.44	11.00
	O.L	15.8	12.5	10.0	11'00 (10)	49'30 (45)	11'00 (10)	0'00 (0)	60'30 (55)	11'00 (10)	27'30 (25)	110'00 (100)	0.80	0.32	0.45	11.00
	平均	15.8	11.3	9.0	11'00 (11)	44'00 (45)	11'00 (11)	0'00 (0)	55'00 (56)	11'00 (11)	22'60 (22)	99'00 (100)	0.80	0.36	0.45	11.00

ただし、()内の数字は作業時間構成比率(%)である。

working hours for one hole

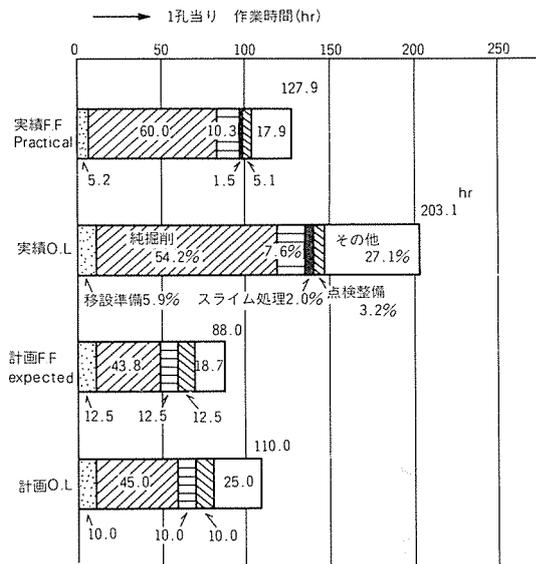


Fig-25 φ1.5m環状掘削作業時間の構成
Composition of working hours for φ1.5m ring-drilling

Table-9 φ1.5m環状掘削の掘削精度実績
Precision of φ1.5m ring-drilling

項目	孔曲り量(mm)	鉛通精度
フルフェイス (F.F)	35~250(100)	1/489~1/66(1/170)
オーバーラップ (O.L)	44~420(160)	1/373~1/39(1/107)
全体	35~420(130)	1/489~1/39(1/131)

ただし、()内の数字は平均値である。

障をきたすので修正再掘削を行なった。

また、隣接している孔番号⑬、⑭は円周方向に逆行して孔曲りしたため、その孔間が底部でオーバーラップせず、未掘削の部分が残ったので、φ7.0m内鋼管建込前にダイバーによる水中人力掘削を行なった。

4) カッター

φ1.5m環状掘削のカッターの使用実績をTable-10に示す。

Table-10 φ1.5m環状掘削のカッター使用実績
Cutter durability and cutter sets/expectation vs actual

項目	目	カッターの寿命	使用数量
計画 expected	F.F	600hr/組, 135m/組	2組
	O.L	800hr/組, 125m/組	2.5組
実績 Actual	F.F	600hr/組, 135m/組	2組
	O.L	700hr/組, 110m/組	2組

実績では、カッターの点検整備は、フルフェイス(F.F)では8孔で1回×1日、オーバーラップ(O.L)では1孔毎に1回×1日であった。

カッター編成はF.Fでは8"×10ヶ、O.Lでは8"×22ヶであったが、点検時O.Lのみは計10ヶ、カッター交換をした。

Photo-7は、φ1.5m環状掘削のカッター編成である。

5) φ8.0m多柱掘削工程表

φ8.0m多柱掘削工程表は、Table-11である。

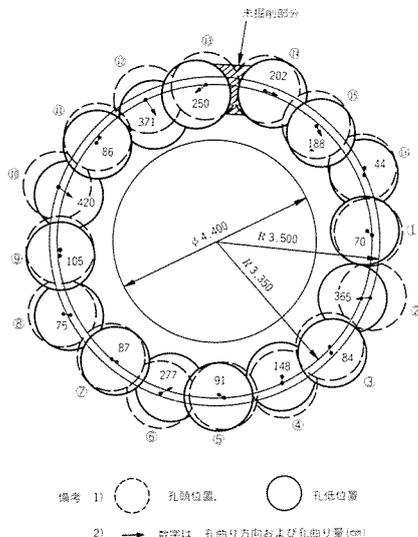


Fig-26 φ1.5m環状掘削・孔曲り状況
(4P No.14)
Measurement of φ1.5m drilled holes by ring-drilling (4P-No.14)

しかし、Fig-26にみられるように、孔番号②、⑩、⑫は鉛直精度1/50以下になり、φ7.0内鋼管建込に支

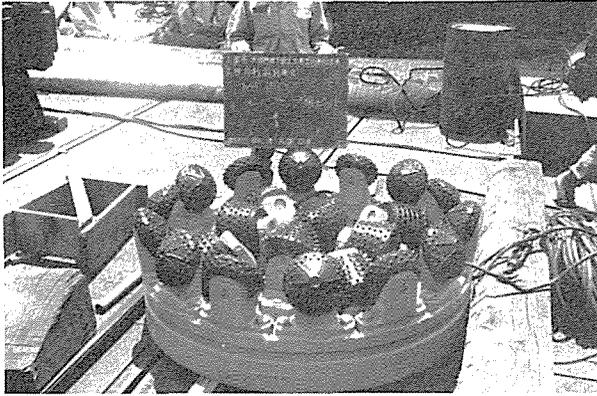


Photo-7 φ1.5m 環状掘削 (O.L) のカッター編成
Cutter arrangement of φ1.5m ring-drilling (O.L)

Table-11 φ8.0m 多柱掘削工程表
Construction schedule of φ8.0m drilling (actual)

項目		昭和53-54年度													
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	
計 画 expected	No.14	芯抜掘削 環状掘削		環状掘削 残壁掘削											
	No.5	芯抜掘削 環状掘削		環状掘削 残壁掘削											
実 績 actual	No.14	芯抜掘削 環状掘削		環状掘削 残壁掘削											
	No.5	芯抜掘削 環状掘削		環状掘削 残壁掘削											

§ 6 おわりに

当初、問題点が多く困難視された、新工法の多柱掘削も無事終り、大鳴門橋主塔基礎は完工した。

φ8.0m多柱掘削に採用したオーバーラップ掘削を中核とする複合機械掘削工法を応用すると、汎用でない大型掘削機を要しないでいかなる形状寸法の岩盤立坑掘削も可能になるので、その確立の意義は大きいと思われる。

本工事で工法は一応確立されたが、環状掘削部の鉛直精度の確保が掘削速度の低下を招き、工期が計画の50%増になるなど問題が残された。今後、鉛直精度と掘削速度の両立をめざして、さらにこの工法を検討する必要がある。

実績の少ない、新工法の施工は困難であるが、創意工夫が生かされる喜びがある。

このような創意工夫を必要とする施工を達成してゆくことが、新しい時代の建設業に求められている使命と考えられる。

大鳴門橋が無事竣工し、美しい鳴門海峡の景観に調和して、その雄姿を見せるとき、永遠に、人知れず、海中にて主塔を支えている多柱基礎を心に描いて、この報告

を終わる。

最後に、関係各位のご指導、ご支援に対し心から感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団第一建設局「大鳴門橋大口径杭掘削の解析報告書」
- 2) 建設機械化研究所「大鳴門橋多柱工検討報告書」, 昭和52年3月
- 3) 今中靖雄「大鳴門橋下部工の施工計画」, 建設の機械化, '78.1.
- 4) 遠藤武夫「海洋工事の諸問題」, 海洋架橋調査会, 昭和54年1月
- 5) 千田昌平「大口径掘削に関する研究」, 建設省土木研究所情報, 第28号
- 6) 西松青木東洋共同企業体「大鳴門橋下部工大毛工区工事 工事報告書」, 昭和56年3月
- 7) 丸山智義「大鳴門橋下部工における多柱基礎の施工」, 基礎工1979 Vol. 7, No. 1.
- 8) 丸山智義「大鳴門橋多柱基礎の施工」, 基礎の設計・施工⑧, 総合土木研究所
- 9) 丸山智義「大鳴門橋下部工におけるφ8.0m多柱掘削」, 土質工学会, 土木学会関西支部 昭和53年度施工技術報告会講演概要
- 10) 岩松一雄「ボーリングハンドブック」, 森北出版