

大鳴門橋の海中橋脚の施工について

本州四国連絡橋公団 第一建設局 鳴門工事事務所 松本弘輝

1. 大鳴門橋の概要

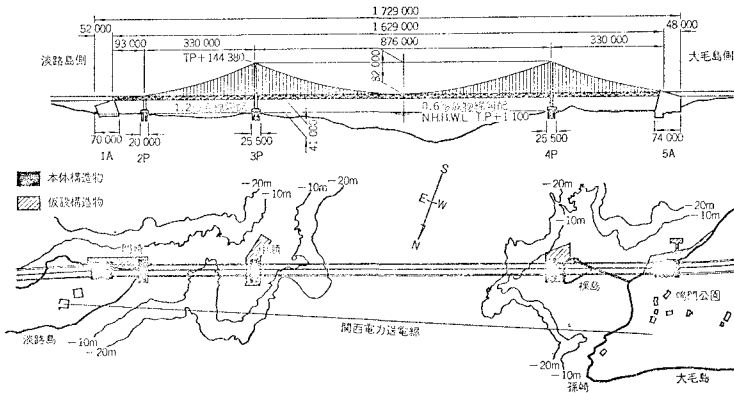


図-1 大鳴門橋一般図

大鳴門橋は、本州四国連絡橋のうち、神戸～鳴門ルート第一般国道8号および本四支路線の一部となすもので四国側大毛島と本州側淡路島門崎との間の鳴門海峡をまたぐ全長1.6kmの3径間2ヒンジ補剛吊橋である。強潮流と渦潮と知られる鳴門海峡は幅が1.3km、水深は架橋位置中央部付近で約90mに達する。橋は、淡路島先端門崎に橋台(1A)を設け、岬の延長として付近の海域より浅くなっている中瀬(平均水深30m)を淡路島側の主塔(3P)とし、以下、この海峡をまたいで禰島前面に大毛島主塔(4P)を、また四国側橋台(5A)を鳴門公園下の孫崎に設けることにした。(図1)

この大鳴門橋建設工事は、昭和45年7月に開始され、それから満2年が経過した。この間、準備工事はすべて完了し、現在下部工本體工事を進めているところである。以下、海中橋脚(3P、4P)の計画と施工について説明を行なう。

2. 架橋地点の自然

海峡の潮流は早い。春秋の大潮時には海峡中央部で10^{kt}(5m/s)にも達する。このような急流と複雑な海底地形が相まって、大渦が発生するといわれている。

波についても当地が太平洋に面しているため非常に激しく、1961年のオン・レー台風の際に、約10m(推定)の波が記録されている。工事施工期間の長さによる波の再現期間を考慮して

表-1のように設計に用いる波を決めた。このような強潮流、高波が海中作業を一層困難なものにしている。

海峡一帯の地質は、約7000万年前の地質時代に生成した和泉層群であり、砂岩と頁岩が層をなしている。先行は、NE～SW方向、傾斜は40°から60°の多角配をなして海中に没している。

海峡を吹き抜ける風も速い。吊橋上部構造設計に用いる基本風速(海面上10mでの10分間平均風速)は、既往の観測結果、構造物の重要度、耐用年数等、考慮して50%とした。なお、既往の最大瞬間風速として65m/s台風時に門崎先端で80%が記録されている。

表-1 設計波

期 間	波 高	波 長	波 速	設計水深
1 年度	8.0m	6.0m		
1 ケ月間	4.5	7.0		
2 ケ月間	5.0	7.5		
6 ケ月間	6.0	7.5		
2 年 間	8.0	8.5	支持岸	
5 年 間	10.0	11.0	設置地点	

3. 海上作業足場

主塔基礎としての多柱式基礎については後述するが、ここでは、この基礎作りのための海上作業足場について述べる。

3-1 概要

海上作業足場の概要と標準構造および4P海上作業足場は、

表-2 図-2 図-3 のとおりである。

平均水深3mの位置

に設けられる足場は、
施工性、所用手数、
強度等を考慮して
鋼製とした。

必要面積は、基礎

不仕部分の足場となる支持枠については、多柱基礎の平面寸法
で決ってくるが、その他の部分については多柱基礎施工時の機
械のレイアウト(φ4.4mロータリー掘削機、同φ1m級、

モルタルプラント、泥水タンク、クレーン等)および上部工架設時の部材のハンドリング(ブロック重量を
100t以下とし、吊り構造は面材架設を予定している)を考え、その最小必要面積とした。なお、表2の
3P、4Pの面積差1,000㎡は、3Pの場合、4Pのように工事用桟橋が陸につながないと、さ

らに作業船が北流時には足場
に離着機できないため、その
分資材のストックヤードが必要
になるためである。

足場の平面形状は、各ピアジ
との地形、潮流等の条件を考
慮して決定した。3Pでは、
北側に187KVの送電線が低い
位置で通っているので、これ
と避け、離着機可能な水深
6mが得られる南側の位置へ
足場をのべた。4Pも同様

に南側に接舷設備を置くことにし、国立公園又一種特別地域である裸島の地形と変えない範囲で、裸島前面海
峽寄りへ作業足場と配置した。

3-2 設計条件

作業足場等の設計条件は、表-3のとおりである。支持枠部分は
上載荷重が大きいかわりに、使用期間が短い(約2年間)
設計風速、設計波が5年間使用する作業足場よりも小さくなっ
ている。

設計風速は、過去3年間の記録から統計的に非超過確率60%
で算出した。設計波については、設計風速よりSMB法で沖渡

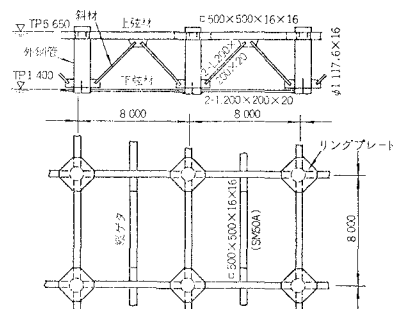


図-2 作業足場の標準構造

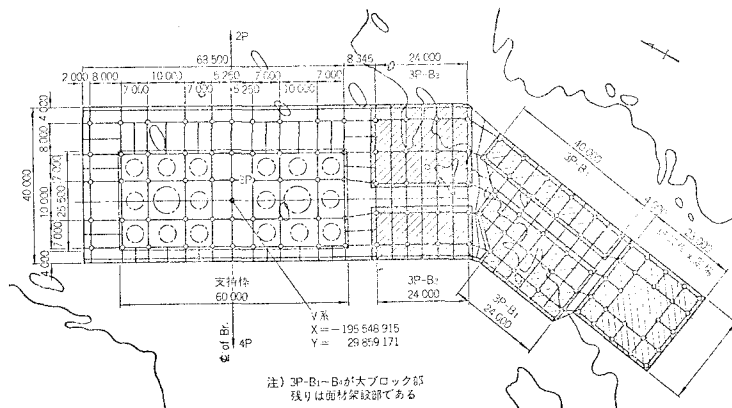


図-3 3P 海上作業足場

表-3 足場等の設計条件

区 分	作 業 足 場	支 持 枠
上 載 荷 重	40t吊りクローラクレーン 設置材 21/m ² T=20	40t吊りクローラクレーン 頂面コンクリート 4t/m ² φ4.4m掘削機 (重量370t、トルク35t-m)
潮 流	3P { 北流 4m/sec 南流 3m/sec	4P { 北流 3m/sec 南流 4m/sec
設計風速	1週間 15m/sec 6ヵ月 33m/sec	1週間 15m/sec 6ヵ月 33m/sec
設計波	1週間 Hmax=3.5m T=6.0sec 6ヵ月 Hmax=6.0m T=7.5sec	1週間 Hmax=3.5m T=6.0sec 6ヵ月 Hmax=6.0m T=7.5sec
地盤条件	Hmax=10.0m T=11.0sec γ=1.8t/m ³ φ=30° C=0 E _s =300kg/cm ² γ=2.5t/m ³ φ=30° C=10t/m ² E _s =6,000kg/cm ²	Hmax=8.0m T=8.5sec γ=1.8t/m ³ φ=30° C=0 E _s =300kg/cm ² γ=2.5t/m ³ φ=30° C=10t/m ² E _s =6,000kg/cm ²
設計波 完成時のみ考慮	K ₁ =0	K ₁ =0
船 撞 撃 破 荷 重	2,000t 10m t=0.3m/sec	—
許容応力度の超過	常時 35%	異常時 65%

有義波諸元を求め、海底勾配のきつい鳴門海峡の浅瀬に足場等を設けることから $H_{max} = \min \{ 1.8H/10, H_b \}$ とした。ここで $H/10$ は現地有義波(浅水係数1.0)、 H_b は、前方10H/10の地点での碎波限界波高である。また、設計波については過去1ヶ月間の実測値を参照した。地盤条件のうち、堆積層(砂・シルト・粘土)には極低抗を期待しがいしとした。許容耐力は仮設構造物であることから、常時、異常時ともに割増するしとした。

3-3 架 設

架設計画にあたっては、比較的設置精度を要求しない足場部分のうち、水深が深くてFC(起重機械)の使用が可能が箇所は大グロッフ工法をとり、その他、基礎本体部分で設置精度の要求される支持杆部分に面架架設を行った。具体的には、3Pで4基、4Pで1基の大グロッフ架設を行った。表-4、写真-1に大鳴門橋で最初の本格的海上作業であった4P作業足場の設置要領を示す。他のグロッフについて必ず大和丸によったが、設置精度は、5cm~40cmであった。大グロッフ工法の際の主要機械は昇降装置とスパットがある。写真-1の大グロッフ四隅に搭載されているもので、潮流が強く、複雑な海底地形を示す所で所定の範囲内に大グロッフが落ちるときにすばやく位置決めができるように、スパットを急速落下させる性能をもつ。位置決め後は、FCの吊り荷重を減じていき、大グロッフ昇降装置等によって自正し、さらに所定の高さへせり上げる。その後4本の鋼管掘削と根固めが完了するまでの約1ヶ月間、昇降装置等で大グロッフを変えておくものである。支持杆部分については、先に述べたように架設精度が基礎本体に及ぼすので10cm以下の精度を出すため面架架設とした、これには、40t吊クローラークレーン、リーチの関係で75t吊トラップフレンも使用した。

写真-1

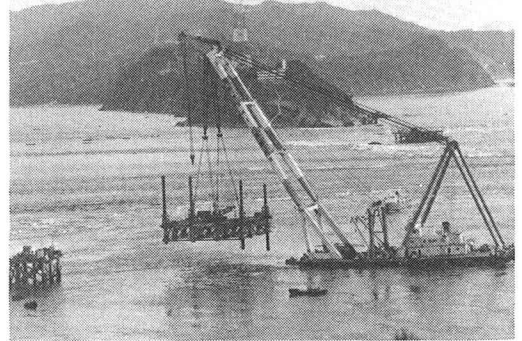


表-4 大グロッフ作業足場の設置要領(4P)

足場の大きさ	24m×24m×5m(骨組寸法)		
設け時の材料費	鋼板、骨組材、スパット、金具、鋼材、安全具等、40t吊クローラークレーン等		
合計設置重量	468t		
主要使用部材	種 別	数 値	備 考
	揚 船	1	80t吊り(くろしお)
	揚船板	1	600t吊り(大和)
	引 船	3	2,400ps×2 700ps×1
	合 船	1	2,000t吊り
	骨組材等	3	1,500ps×1 870ps×1 750ps×1

(注) 潮流速は海図中央の値である。
1976年9月20日~21日

流れおよび上げ(実 値)

備考

電基基地より直後のFC(フーニングクレーン)の吊り取り足場は遠程のために不可能なので、DB(デッキバー)で両端両端に連結してあり、翌日FCで吊り取って4Pに運入、設置した。

3-4 鋼管掘削および根固め

根固めの方法は、図4のようにまず外鋼管内にケーシング管と海底地盤に固定した。至石礫砂等の中にケーシングを押し込む作業が困難な作業であったが、先端にメタルカップ

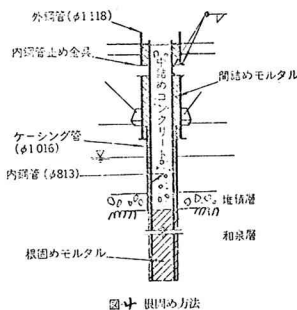


図4 根固め方法

を押し込み、上端部を岩掘削機(TSR-1600)で回転させながら押し込むことにし、うまく設置する事ができた。ケーシングは岩掘削時の泥水漏洩を防ぐものである。ケーシングの設置が終了とロータリー式掘削機(TSR-1600)を用いて直径950mmの孔を岩盤に55mmの深さまで掘削した。掘削により生ずる泥はエアリフト工法により揚げたが、水深が残る十分浸水比がとれない箇所では、中間受皿を用いて掘削した。こうして孔内より揚げられた泥水は一次タンク(17m×2m基)に導き、ここで沈殿した泥の大き

な泥水や礫は泥水運搬船で基地まで運び泥水処理プラントにかけ、30ppm以下に処理して海に放流した。こうして掘削した孔内に直径800mmの内鋼管を挿入し鋼管内部から普通セメントと水洋粉末を1:5の割合で混合し海水練りして流動性に富む水洋モルタルを注入し、管内と孔壁間を完全にモルタルで充填して鋼管を岩に固定した。内鋼管と外鋼管とは、外鋼管にあらかじめ開けられている固定用ホールに金具を入れてこを溶接して連結固定した。

4. 海中橋脚の施工

大鳴門橋下部工最大の特徴は、主塔基礎に、従来の剛体基礎に代り多柱式基礎を採用した点とである。これは、以下のような施工上、環境保全上の理由による。

- (1) 壁状断面より潮流、波などによる作用外力が小さい。
- (2) 強潮流のため、大規模な事前なラセ岩盤掘削ができない。
- (3) 洞潮現況に影響の少ない基礎形成がのぞましい。
- (4) 水深が浅いため、フレーン船による大規模ケーソンの吊込設置が困難である。
- (5) 多柱掘削はケーシング内の泥水循環方式で行なうため、海水汚濁が少ない。

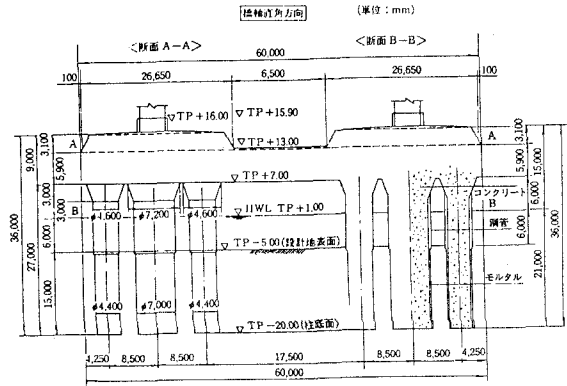


図-5 多柱基礎一般図

4-1 主塔基礎の構造

主塔基礎は、図-5のように34.5mの間隔をおいて立ち上る主塔直下に径7mの柱1本を配し、その周囲に径4mの柱8本、計9本を1つの柱群とし、その2つの柱群を最大厚9mの鉄筋コンクリート頂版で支える構造である。多柱の支持地盤は、TP-20mである。また頂版下面はTP+7mとなっている。

4-2 多柱工の施工

4-2-1 φ40m多柱工

φ40m多柱工のフローチャートは、図-6に示すとおりである。また、φ40m多柱工の施工法および主な機械設備を、図-7の施工順序図に示す。

4-2-2 φ44m多柱掘削

φ44m多柱掘削は、ロータリー式大口径掘削機MD-440による全断面掘削機を採用した。掘削方法は掘削機本体のパワースイベルにより、ビットを回転させて、ビット先端のカッターで砕岩し、発生した砕岩礫は流れと共に、逆循環方式でドリルパイプを通じて、サクショ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。昭和52年11月半に掘削機を現場に搬入し、12月末から掘削を始めたが、昭和53年8月中旬現在で、16本のうち7本が掘削完了している。

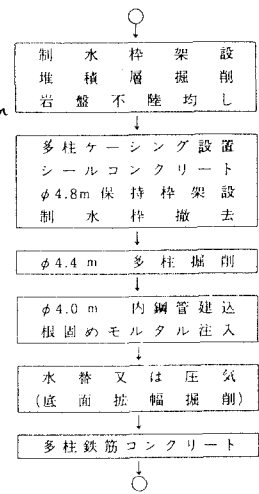
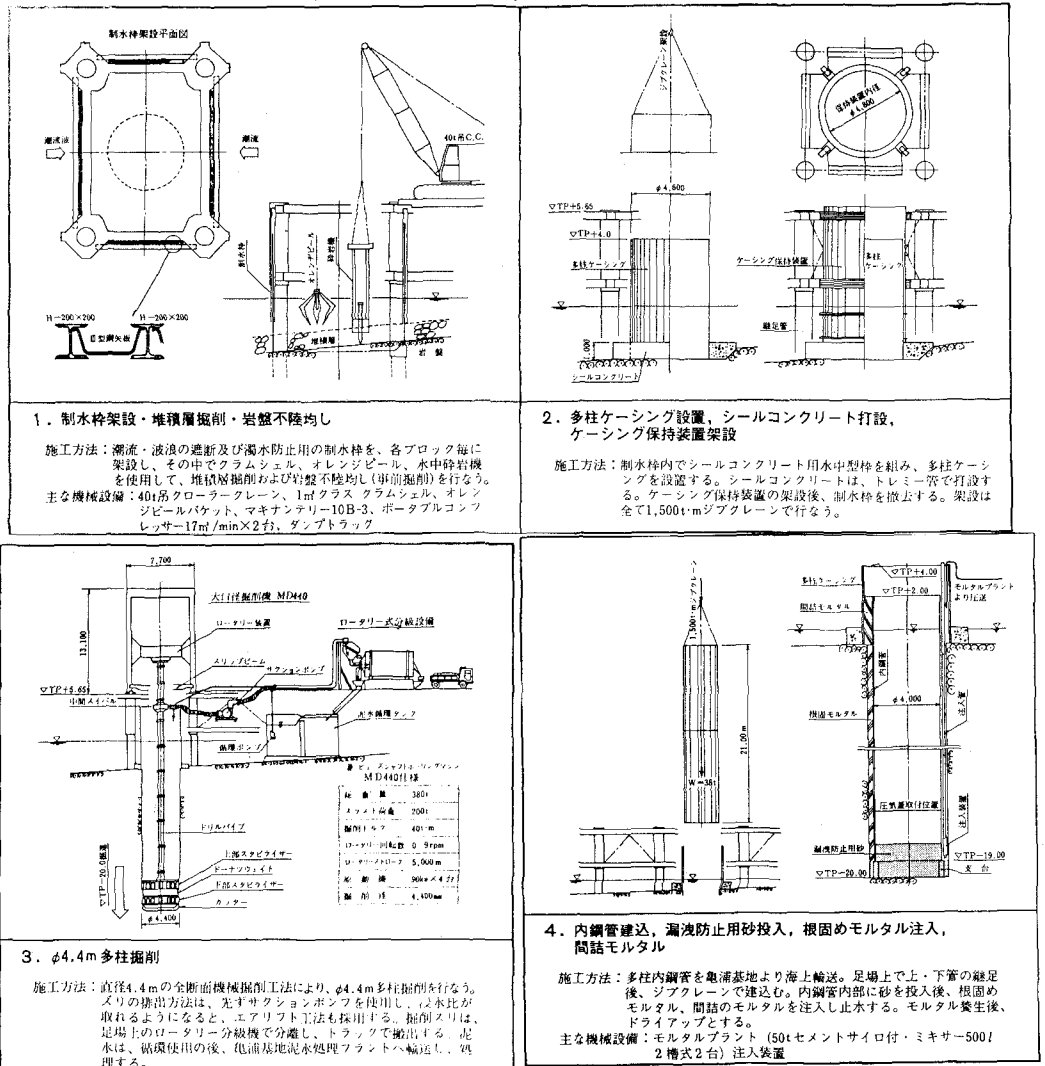


図-6 φ4.0m多柱工フローチャート

図-7 大鳴門橋主塔基礎 $\phi 4.0\text{m}$ 多柱工 施工順序図



4-2-3 $\phi 1.0\text{m}$ 多柱工
 $\phi 1.0\text{m}$ 多柱工のフローチャートは、図-8に示すとおりである。また、 $\phi 7.0\text{m}$ 多柱工の施工法および主な機械設備を図-9の施工順序図に示す。

4-2-4 $\phi 8.0\text{m}$ 多柱掘削
 $\phi 7.0\text{m}$ の多柱内鋼管を鉛直に建込むための $\phi 8.0\text{m}$ 多柱掘削は、ロータリー式大口径掘削機MD-440、MD-150および水中砕岩機などの組合せによる掘削工法を採用した。初めに、 $\phi 4.4\text{m}$ の芯部掘削を、P-20^{mm}まで行ない、次にリング部掘削を行なう。リング部掘削はロータリー式大口径掘削機MD-150により、まず環状に $\phi 1.5\text{m} \times 8$ 本の全断面掘削をし、つづいて $\phi 1.5\text{m} \times 8$ 本のオーバーラップ掘削をする。 $\phi 8.0\text{m}$ 多柱掘削の1本目は、昭和53年5月初旬より始めたが、8月中旬現在で、 $\phi 4.4\text{m}$ 芯部掘削1本と、リング部の $\phi 1.5\text{m}$ 全断面掘削を8本完了し、オーバーラップ

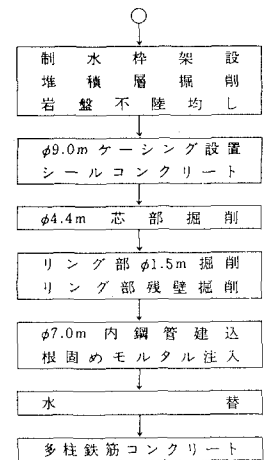
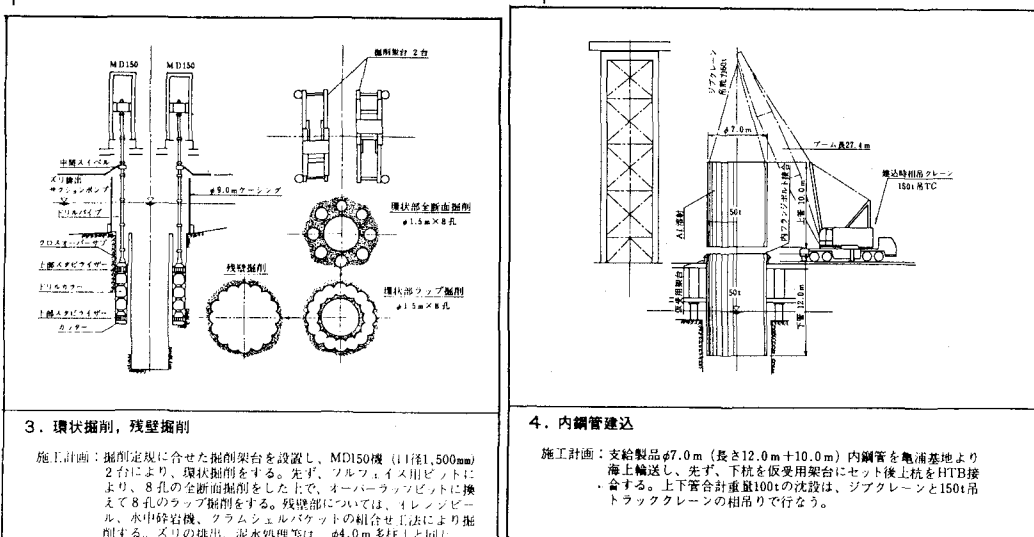
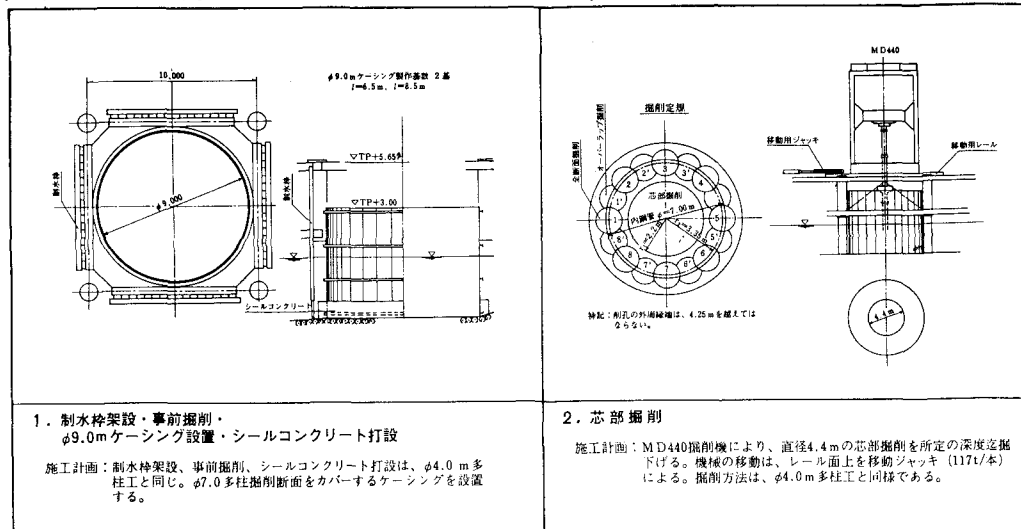


図-8 $\phi 7.0\text{m}$ 多柱工フローチャート

掘削工と施工中である。 図-9 大鳴門橋主塔基礎 $\phi 7.0\text{m}$ 多柱工 施工順序図



鋼 鉄製の制限上、中 4.0m 、 $\phi 7.0\text{m}$ いずれの多柱工についても、内鋼管建込、根固モルタル、ドライマック後の施工図が掲載できなかったが、いずれもドライマック後のいわゆる気中において鉄筋を挿入し、コンクリート打設を3段に分けて行なう通常の工法である。

5. おわりに

着工より断工、多少掘削工程に遅れはあるが、まず事故もなく、順調に工事を進めてくることができた。かえって地元をはじめ、関係各社の当工事に対する深い御理解と御支援の賜に深く感謝している。なお一層の御指導、御鞭撻をお願いしてこの報告を終る。

