

大鳴門橋アンカレイジコンクリートの施工

丸山 智義*

伊藤 典生**

要 約

本文は大鳴門橋アンカレイジコンクリートの施工報告である。本工事の特徴は、

- ① 10万m³を超えるマスコンクリートでありながら、富配合の鉄骨鉄筋コンクリート構造物である。
- ② 高炉セメントを使用した。
- ③ 熱応力の検討を行って温度上昇の抑制を考慮した。
- ④ 主筋の大径鉄筋の継手にガス圧接工法を採用した。

ことなどである。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事の概要
- § 3. コンクリートの材料及び配合
- § 4. 仮設備
- § 5. リフトスケジュール
- § 6. コンクリートの施工及び品質管理試験
- § 7. 鉄筋工
- § 8. クーリング及びグラウト工
- § 9. ケーブルアンカフレーム架設
- § 10. むすび

§ 1. はじめに

大鳴門橋は本州と四国を結ぶ連絡橋ルートのうち、最も東寄りのルートにあたり、兵庫県淡路島と徳島県鳴門市の間の鳴門海峡に架る全長1,629 m、中央径間876 mの吊橋である(図-1, 2)。海峡は中央部に向って急峻な海底地形をなし、最深部は150 mにも及ぶ。潮汐による海流は大潮時に10kt(約5 m/s)の速さに達する上、太平洋からの風が直接吹送し、最大波高は8.0 mが予測されるという海象条件の厳しい位置にある。

本橋では主塔の下部工に多柱式基礎を採用し、ケーブルの定着部(アンカレイジ)には重力式基礎が採用された。多柱式基礎については別途報告することとし、ここではアンカレイジコンクリートの施工法とその実績を紹介する。

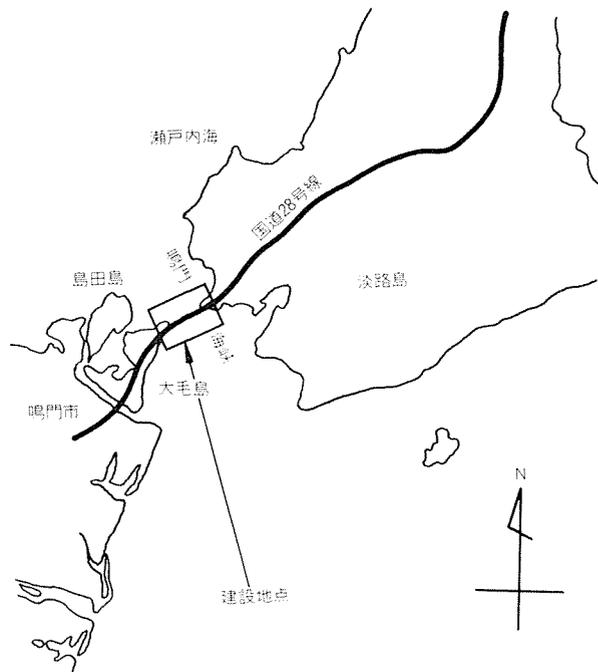


図-1 位置図



写真-1 大鳴門橋下部工施工中の鳴門海峡全景

*四国(支)鳴門(出)所長
 **四国(支)鳴門(出)係長

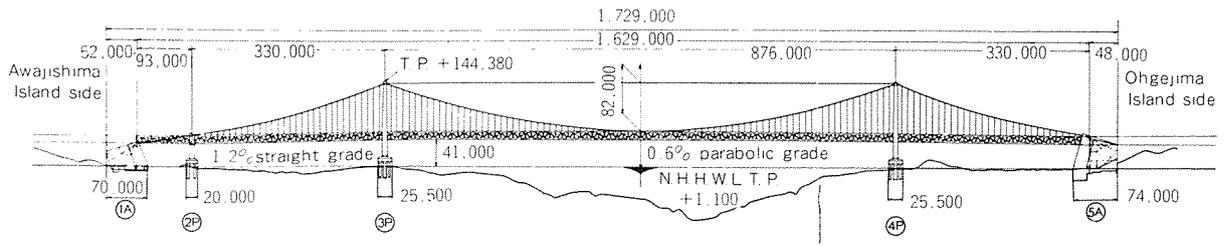


図-2 大鳴門橋一般図

§ 2. 工事の概要

当社（西松・青木・東洋三社共同企業体）が施工した大鳴門橋のアンカレジは鳴門側 5Aで、その施工位置は海峡に突出した岬の内側、山裾の汀線部である。5Aの構造は図-3に示すように前面に2基のニューマチックケーソン基礎を置き、後部は岩盤を直接基礎としてコンクリート躯体が立上っている。5Aには直径860mmの高張力鋼を使用したケーブルから片側28,000tfの水平力が作用する。5A躯体工事の工期は昭和53年11月1日より同56年3月16日までで、このうち躯体コンクリートの施工には昭和54年3月より同56年2月まで2年を要した。5Aの主要工事数量を表-1に示す。

表-1 主要工事数量

工種	単位	数量	摘要
コンクリート	m ³	104,680	セメント支給
型枠	m ²	14,470	外周表面のみ
鉄筋	t	2,960	鉄筋支給
ケーブルアンカフレーム	t	1,770	支給製品
クーリングコイル	m	97,180	
グラウト配管	m	4,360	
ケーソン	基	2	} 前期工事
ケーソンコンクリート	m ³	13,440	
法面掘削	m ³	54,900	
床掘	m ³	7,750	



写真-2 アンカレジ全景(5A)

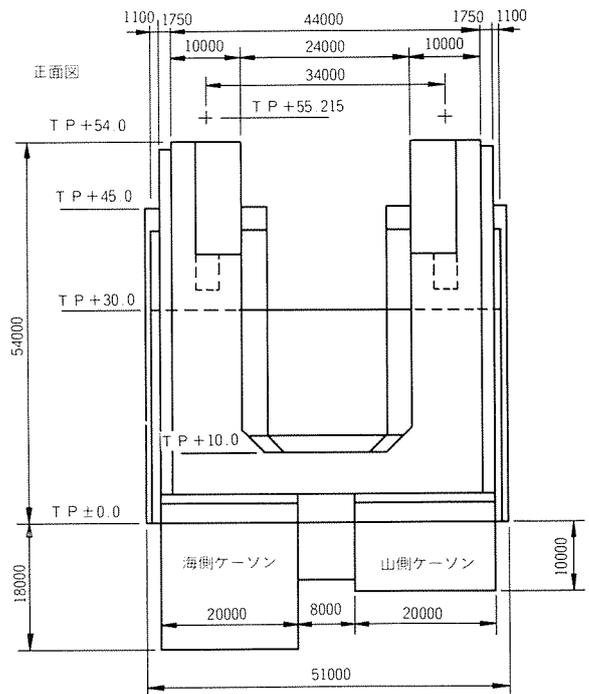
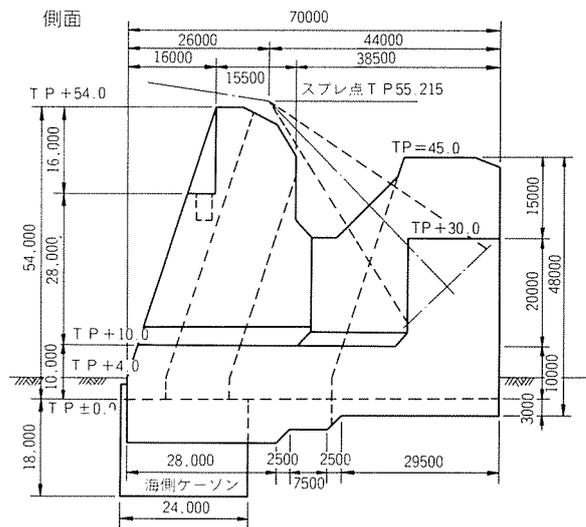


図-3 5Aアンカレジ構造図

本工事の特徴は10万m³に及ぶマスコンクリートでありながら、鉄骨、鉄筋が密に埋込まれるコンクリート構造体であることである。したがってコンクリートは、最大骨材寸法40mm、単位セメント量280kg/m³、打設方法はコンクリートポンプによると仕様されている。また、施工場所が国立公園内であり、付近海域は漁場、ワカメの養殖場であることから、工事を進める上で種々の制約を受けた。このような工事の特徴から施工にあたって特に配慮を要する事項は次のようであった。

- 1) コンクリートの温度制御と熱応力を考慮し、かつ円滑な施工を行うために適切なブロック割とリフトスケジュールを組立てる。
- 2) コンクリートの温度制御にはクーリングを行う。コンクリートの打設直後の温度上昇を抑制するための1次クーリング及び、躯体完成後年平均気温16°Cまで躯体を一様に冷却する2次クーリングの方法と実施期間を定める。
- 3) 上部工との接点となるケーブルアンカフレームの架設精度の管理。引張材の先端で±15mmの精度が要求されている。
- 4) 太径鉄筋の継手はガス圧接継手と仕様されているが、特にD51鉄筋のガス圧接には熟練した圧接工の確保、品質管理及び工程管理等十分な配慮を必要とする。
- 5) 特殊な地域であるため排水の水質基準が厳しく、規準に対応できる排水処理施設を設けなければならない。

§ 3. コンクリートの材料及び配合

3-1 材料

(1) セメント

セメントは公団からの支給材料で、住友セメント社製B種高炉セメント（スラグの分量50%）を用いた。特にマスコンクリート構造物であるため本工事に用いる高炉セメントには、中庸熱ポルトランドセメントと同等の水和熱規制が仕様されている。その品質は表-2のとおりである。セメントの搬入は、住友セメント赤穂工場より専用運搬船(800tf積)で行った。

(2) 細骨材

細骨材は工事期間を通じて安定した品質と供給が得られるものとして、表-3に示す細砂(S₁)及び粗砂(S₂)を選定した。これらは粒度調整のため表-3に示す割合で混合して用いた。なお細砂(海砂)は塩分含有量を規制されており、採取後水洗いを行

って規格に適合する濃度に低減した。

表-2 高炉セメントB種試験成績表

物理試験				化学成分(%)		
項目	規格	成績	項目	規格	成績	
比重	—	3.03	強熱減量	3.0以下	0.4	
粉末度	比表面積(cm ² /g)	3000以上	3570	不溶残分	—	0.1
	88μm残分(%)	—	1.4	シリカ	—	27.5
凝結(時-分)	始発	60分以上	3'04"	アルミナ	—	9.5
	終結	10時間以内	4'42"	酸化第二鉄	—	1.9
水量(%)	—	29.1				
安定性	良	良				
			酸化カルシウム		53.4	
フロー(mm)	—	252	マグネシア	6.0以下	3.7	
曲げ強さ(kgf/cm ²)	※1日	—	—	無水硫酸	4.0以下	2.1
	3日	—	27			
	7日	—	36	合計(%)		98.6
	28日	—	68	ケイ酸三石灰		
圧縮強さ(kgf/cm ²)	※1日	—	—			
	3日	60以上	88	アルミン酸三石灰		
	7日	120 "	170			
	28日	290 "	382			
水熱熱(Cal/g)	7日	70以下	62.5			
	28日	83 "	74.4			

表-3 細骨材

(a) 産地

記号	産地	混合率
S ₁	香川県坂出沖 海砂	40%
S ₂	徳島県那賀川 川砂	60%

(b) 試験成績

試験項目	試験方法	規格値	試験成績	
			細砂 S ₁	粗砂 S ₂
比重	JIS A 1109	2.50以上	2.55	2.63
吸水量	"	3.0%以下	2.60	2.68
単位容積重量	" 1104		1500kg/m ³	1670kg/m ³
洗い試験	" 1103	5.0%以下	0.3	0.3
有機不純物	" 1105	標準色以下	合格	合格
安定性	" 1122	10.0%以下	0.9	4.0
塩分含有量	土木学会規準	(海砂) 0.1%以下	0.018	0.005
粘土塊	"	1.0%以下	0	0
粗粒率(F.M)	JIS A 1102	規格分布図	2.07	3.36

表-4 粗骨材

(a) 産地

記号	粒径	岩質	産地	混合率
G ₁	1305	安山岩	香川県 豊島	20%
G ₂	2513	玄武岩	" 小豆島	40%
G ₃	4025	安山岩	" 豊島	40%

(b) 試験成績

試験項目	試験方法	規格値	試験成績		
			G ₁	G ₂	G ₃
比重	JIS A 1110	2.50以上	2.54	2.86	2.53
吸水量	"	3.0%以下	1.76	1.21	1.56
単位容積重量	" 1104	kg/m ³	1450	1600	1450
実績率		(碎石)55%以上	57.3	56.6	58.2
洗い試験	JIS A 1103	1.0%以下	0.1	0.1	0.2
安定性	" 1122	12.0%以下	2.4	2.2	1.4
すりへり減量	" 1121	(碎石)40%以下	13.6	12.3	17.5
粘土塊	土木学会規準	0.25%以下	0	0	0
柔らかい石片	JIS A 1126	5.0%以下	2.5	2.0	0
粗粒率(F.M)	" 1102		6.20	7.26	7.99

(3) 粗骨材

粗骨材は最大寸法40mmで、表-4に示す3種の粒径の碎石を表に示す割合で混合使用した。アンカレージは設計上重さを必要とするため、2,270kg/m³以上の単位体積重量を仕様されており、そのため中径粗骨材 (G₂) は特に比重の大きい玄武岩碎石とした。

(4) 混和剤

混和剤は凝結遅延型 A E減水剤サンフロー Rを用いた。その品質は表-5のとおりである。

表-5 混和剤試験成績(サンフロー R)

項目	規格値	試験値
単位水量比(%)	90以下	85
ブリージング量比(%)	70以下	54
圧縮強度比 (%)	材令 7日	100以上 131
	" 28日	100以上 117
	" 6ヶ月	90以上 111
	" 1年	90以上 -
曲げ強度比 (%)	材令 7日	95以上 114
	" 28日	95以上 111
付着強度比(%)	95以上	123
乾燥収縮の差	乾燥期間28日	0.010以下 0.000
	" 6ヶ月	0.010以下 0.002
	" 1年	0.010以下 -
相対耐久性指数(%)	80以上	98

(5) 水

混練水は鳴門市水道水を用いた。

3-2 配合

仕様書に示された設計基準強度、単位体積重量、スランプ、空気量等の配合基準にもとづき、示方配合は表-6のとおりとした。

§ 4. 仮設備

本工事の主要な仮設備は次のものである。

(1) バッチャープラント

バッチャープラントには2軸強制練ミキサ (容量2m³、公称能力120m³/h) を設置した。その仕様を表-7に示す。

表-7 バッチャープラント仕様

型式	130KBTS-7D
ミキサ型式	DAM-2000 (2軸強制)
ミキサ容量	2.0m ³
公称能力	120m ³ /h
寸法	8900×9500×21800
システム	全自動パンチカード
出力	ミキサ30kW×2台
ホッパ	2.6m ³ ×2台

(2) 貯蔵設備

貯蔵設備として、骨材ビン (φ9.0×9.7m、コルゲートパイプ製) 6基、及びセメントサイロ (φ6.5×16.0m、容量400t、鋼板製) 2基を設けた。

(3) 排水処理設備

汚水発生源はグリーンカット泥水、バッチャープラント洗浄水、ポンプ車及び輸送管洗浄水、養生水等である。これらセメント系排水は濁度及びpHの調整と6価クロムの管理が必要で、海面への放流規準はSS30ppm以下、pH5以上9以下である。

排水処理設備としては、集水枿、1次沈殿池、1次中和槽、2次沈殿池、2次中和槽、凝集攪拌槽、凝集沈殿槽、検査ピット及び再利用水タンクを設けた。濁度は1次及び2次沈殿池での沈降と凝集攪拌槽及び凝集沈殿槽での凝集剤 (PAC) の添加により調整し、pHは1次中和槽で希硫酸の添加により、原水の12を10まで中和し、2次中和槽で炭酸ガスにより7まで下げる。処理した水の大部分はグリーンカット用水、養生水として再利用した。なお、処理能力は15m³/hである。

(4) タワークレーン

型枠、鉄筋、足場、配管等の作業及びケーブルアンカフレーム架設のために、アンカレージ前面に100tf・m、背面に180tf・mのタワークレーンをそれぞれ1基設置した。

表-6 示方配合

設計基準強度 (91日) (kgf/cm ²)	単位体積重量 (kg/m ³)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水・セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
							水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AD
240	2,270以上	40	12±2.5	4±1	56.4	43	158	280	802	1077	0.7

§ 5. リフトスケジュール

平面寸法は底部で最大70m×51mあり、平面ブロック割は図-4に示す6分割とした。また標準リフト高さは1mとし、岩着部及びコンクリートの打継間隔が30日以上となるブロックは75cmリフトを2ブロック打継ぐ。リフト計画の詳細は省略するが、ブロック総数271、ブロック平均コンクリート量386m³、最大ブロックコンクリート量689m³であった。

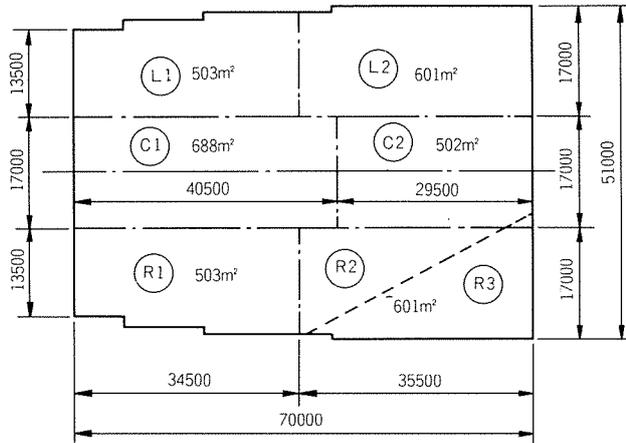


図-4 コンクリートブロック割平面図

工程管理の基本となるリフトスケジュールは次の点を考慮して計画した。

- 1) ブロックの打継間隔は3日以上とする。
- 2) 型枠の脱型は高炉セメントを使用することを考慮して、夏期は2.5日以上、冬期は3日以上とする。
- 3) 標準型枠としてスライドフォームを使用するので、その構造上、隣接ブロックのリフト差は2リフト以上とする。
- 4) コンクリート打設工期の中間にケーブルアンカフレーム架設工事が入るが、その工期は9.8t/dの能力で算定する。
- 5) 1ブロック当りの作業日数の算定は、型枠のスライドを要するブロックを6日、スライドを必要としないブロックを4日とし、表面筋のたて継ぎ、異形バラ型枠の組立等を要するブロックは更に2日を加える。また鉄筋はブロックにより集中的に入るため、組立重量に合わせて鉄筋工の作業日数を求める。

以上の工程計画にもとづき工事を実施したが、実績は図-5のとおりであった。

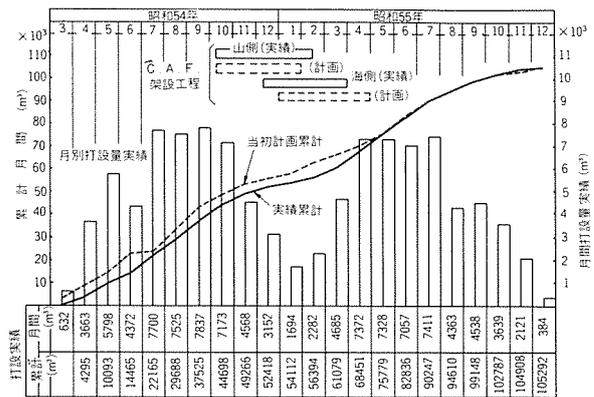


図-5 5A アンカレイジコンクリート打設実績

§ 6. コンクリートの施工及び品質管理試験

6-1 型枠

型枠は主としてスライド型枠を用いた。これは2リフト打設毎に1回スライドする構造とした。スライド型枠の製作基数は121基、663m²であった。従って平均転用回数は18回であった。その他、異形の部分や複雑な構造の部分にはバラ型枠を用いた。型枠工の詳細は省略するが、本工事に使用した型枠の内訳を表-8に示す。

表-8 型枠内訳

スライド型枠	m ²	12,000
鋼製バラ型枠	m ²	3,200
木製バラ型枠	m ²	3,400
合計	m ²	18,600

6-2 混練設備及びコンクリートポンプ

バッチャープラントは全自動パンチカードシステムで、あらかじめ決定した配合のカードをセットし、砂の表面水補正を適宜加える操作のみで連続的に混練できる。

コンクリートの打設には表-9に示す仕様のコンクリートポンプ車を使用した。本機の採用に当り圧送能力について次式により検討した。

表-9 コンクリートポンプ車仕様

型 式	PA25-51 極東開発工業			
形 状 寸 法	全長10.1m 全幅2.45m 全高3.25m			
重 量	18140kg			
	高 速	中 速	低 速	
吐 出 量	92m ³ /h	55 "	32 "	
圧 送 距 離	水 平	250 m	490 "	650 "
	垂 直	50 m	115 "	140 "
ホッパ容量	0.4m ³			

$$P_L = \Delta \{ L_H + (V/H)L_V + A \cdot N \}$$

P_L : 配管抵抗による圧力損失

L_H : 水平配管距離 (m)

V/H : 垂直部と水平部の配管抵抗比

L_V : 垂直配管距離 (m)

A : 曲り管の水平換算係数

N : 曲り管の個数

Δ 、 P_L 、 V/H 、 A はスランプ、打設速度のパラメータである。

本工事では L_1 ブロックの最頂部で垂直、水平配管距離とも最大となり、最少打設速度を $30\text{m}^3/\text{h}$ 、スランプ 10cm とすると、

$$L_H = 150, \quad L_V = 50,$$

曲り管 30° (水平) : $A_1 = 1/3$, 1個

45° (水平) : $A_2 = 1/2$, 1個

90° (水平) : $A_3 = 1$, 2個

90° (垂直) : $A_4 = 5$, 4個

$$\Delta = 0.093, \quad V/H = 3.50$$

となり、 $P_L = 45.1\text{kgf}/\text{cm}^2$ を得る。本機の最大吐出圧力は $46.5\text{kgf}/\text{cm}^2$ であるので使用可能と判断した。結果は大したトラブルもなく施工することができた。

6-3 打設作業

標準的な打設作業サイクルは次のようである。まず打設面清掃を行って水を打ち、湿潤状態にしてモルタルを 1.5cm 厚に敷き均す。その上にコンクリートを 50cm 厚さで2層打ちとなるよう打設、バイブレータで締固めた。コンクリート打設後、夏期は6時間、冬期は12時間経過してからグリーンカットを行う。グリーンカットはレイタンスを除去し、新旧コンクリートの付着強度を確保するために行う工種で、作業は高圧噴射水、ワイヤブラシ等で骨材の粒径の半分程度が露出するまで洗い出す。

6-4 品質管理試験

品質管理試験は、材料の品質、コンクリートの強度およびプラントの機能等について工事開始前に行う基準管

理試験、以後、材料の品質及びプラントの機能について定期的に行う定期管理試験、そして骨材の粒度、表面水量およびコンクリートの品質について日常実施する日常管理試験があり、いずれも仕様書に定められたとおり実施した。

このうち日常管理試験の規定に従って行ったコンクリートの品質管理試験の結果は表-10のとおりで、管理の程度は優秀であったと評価できよう。

§ 7. 鉄筋工

本工事に用いた鉄筋はSD30、太さと数量は表-11に示すとおりである。主筋の配置図を図-6に示す。継手は主としてガス圧接継手が採用された。ガス圧接は日本圧接協会「鉄筋のガス圧接工事標準仕様書」に準拠して工事を行ったが、太径鉄筋のガス圧接については従来施工例が少ないため、特に慎重な配慮を行った。ここではD51鉄筋のガス圧接継手について述べる。

表-11 鉄筋数量表SD30

継手工法	径	重量	圧接個数
重ね手	D51	117 t	
	D41	51	
	D32・D29	571	
	D25～D16	152	
	D13	92	
圧接手	D51	1065	5539ヶ
	D41	327	3185
	D32	572	9843
	D29	11	164
計		2958	

着工当初は太径鉄筋のガス圧接に従事できるNAK4種の資格を有する圧接工が少なく、かつ経験も浅いため、本工事ではNAK4種の有資格者に現場で技量試験を課し、合格者を作業に従事させた。工事に当っては圧接部

表-10 コンクリートの品質管理試験結果

管理項目	規 準 値	試料数 N	平均 値 \bar{x}	最大 値 x_{max}	最小 値 x_{min}	標準偏差 σ	変動係数 CV (%)
ス ラ ン プ	$12 \pm 2.5\text{cm}$	385	12.5cm	14.2cm	10.4cm	0.72cm	5.8
空 気 量	$4 \pm 1\%$	385	4.2%	4.9%	3.3%	0.33%	7.9
単位体積重量	$2.27\text{t}/\text{m}^3$ 以上	385	$2.313\text{t}/\text{m}^3$	$2.36\text{t}/\text{m}^3$	$2.28\text{t}/\text{m}^3$	$0.0125\text{t}/\text{m}^3$	0.5
圧縮強度	7日	—	$112\text{kgf}/\text{cm}^2$	$135\text{kgf}/\text{cm}^2$	$95\text{kgf}/\text{cm}^2$	$8.2\text{kgf}/\text{cm}^2$	7.3
	28日	—	$276\text{kgf}/\text{cm}^2$	$315\text{kgf}/\text{cm}^2$	$250\text{kgf}/\text{cm}^2$	$13.4\text{kgf}/\text{cm}^2$	4.9
	91日	$240\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上	352	$378\text{kgf}/\text{cm}^2$	$435\text{kgf}/\text{cm}^2$	$350\text{kgf}/\text{cm}^2$	$15.3\text{kgf}/\text{cm}^2$

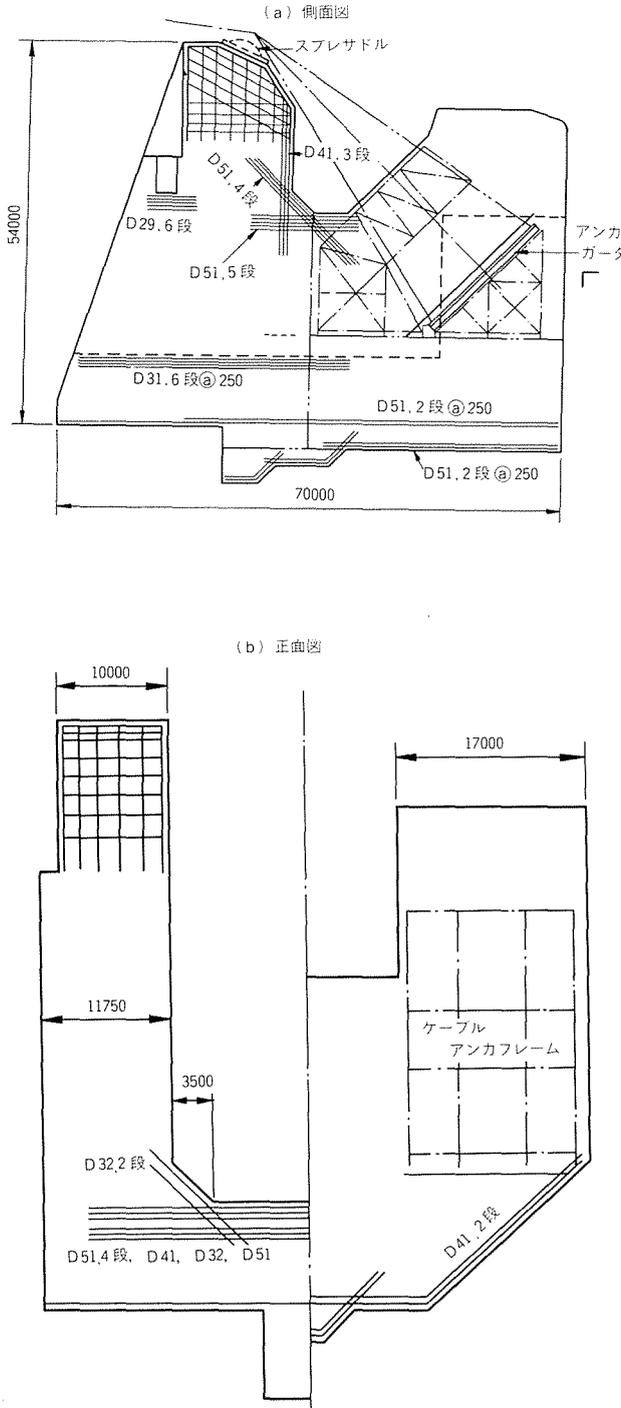


図-6 主筋配置図

の形状の確認と抜取検査による品質管理を行った。圧接部の形状については主として、ふくらみの径を計測し、標準仕様書に定める母材の径の1.4倍以上を満足しているかどうかを確認した。抜取検査はコブ付のままの引張試験とし、母材強度のJIS規格値49kgf/mm²以上を保障値とした。ただし破断位置は問わない。なお抜取個数は原則として1作業班が1日に施工するロットより1個(約40個所当り1個)とした。検査の結果は、ふくらみの径については最大89.8mm、最小75.1mm、平均82.1mm(規

準値71.4mm)、引張強度については最大62.8kgf/mm²、最小55.5kgf/mm²、平均58.5kgf/mm²(規準値49~63kgf/mm²)で良好であった。

§ 8. クーリング及びグラウト工

8-1 1次クーリング

マスコンクリートではセメントの水和熱による内部温度の上昇のため、表面との温度差による引張応力の発生、さらに最終安定温度に至る温度降下期の体積収縮に起因する拘束引張応力の発生を考慮しなければならない。アンカレジコンクリートにおいても耐久性及び構造物の一体化を要求されるので、過度の熱応力によるひびわれの発生は極力避けねばならない。本構造物の場合、熱応力によるクラックの発生を完全に防止するには、コンクリートの最高温度は44°Cと考えられるが、夏季においては44°C以下に抑制することは実際には非常に困難である。

本工事では海水を利用してパイプクーリングを行い、コンクリートの温度上昇を極力抑制することにした。パイプクーリングの仕様は管径25.4mm、配管ピッチ1m、

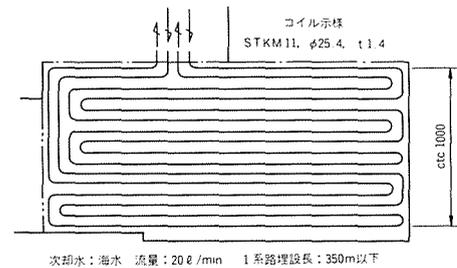


図-7 クーリングコイル標準配管図

単位埋設延長350m以下、流量20ℓ/min、圧力2.0kgf/cm²で、通水期間は打設後連続30日間とした。図-7に標準リフトのクーリングコイル配管図を示す。

この計画どおり工事を進め最初の夏季を迎えたところ、コンクリートの内部温度が予期した以上に上昇し、一部にひびわれの発生がみられるに至った。そこで種々検討の結果、混練水を5°Cに冷却して用いることにした。これによってコンクリートの練上り温度は5°C低減することができ、以後このプレクーリングは5月から10月の間実施した。表-12にコンクリートの練上り温度を示す。

図-8はC₂ブロックのNo.21リフトにおけるコンクリート打設後の中心部温度計測結果である。打設後2日程で最高温度を記録し、以後下降するが上部リフトの打設によりその熱影響を受ける。

