吊橋下部工マスコンクリートの クーリングによる温度制御

加 島 聰^{*1}・藤 田 時 男^{*2}

概 要 南北備讃瀬戸大橋は国際的な航路に架かる全長 3.4km の 2 連の道路鉄道併用吊橋であり、各吊橋の中央径間長は 1100m, 990m である。そのため、その下部構造の規模が非常に大きく、アンカレイジ基礎の中にはコンクリート量が 40 万 m³ になるものもある。本報告は、そのマスコンクリート打設時のクーリングによる温度制御等についてとりまとめたものである。

キーワード：本州四国連絡橋、アンカレイジ基礎、マスコンクリート、ブレイクーリング、パイプクーリング

1. ま え が き

本州四国連絡橋児島一坂出ルートは、昭和 63 年春完成予定の道路・鉄道併用ルートである。本州・四国間の海峡部には 5 つの島があり、それらを結ぶために、吊橋、斜張橋、トラス橋等の大規模橋りょうが建設されている。

その中でも南北備讃瀬戸大橋は、図一1 に示すように国際的な航路（けた下高 65m）に架かる長大吊橋である。本橋のアンカレイジ基礎および主塔基礎の諸元を表一1 に示す。吊橋基礎 7 基のうち、1 基（BB1A）は陸上部に、他の 6 基は海中に位置している。海中基礎の水面以下の部分はプレパックドコンクリート工法によって構築し、水面から上は気中コンクリートにより 0.5～1.5m のリフト厚で打ち継いで施工した。本工事記録は気中コンクリート施工時の温度制御についてまとめたものである。

気中コンクリートは富配合のマスコンクリートであるため、施工時の温度応力によるひびわれ発生が最も懸念された。そこで、コンクリート内部最高温度を抑制する

ために次のような諸対策を行った。

- 1) 低発熱の中庸熱型の高炉セメント（B 種）を使用する。
- 2) 練りまぜ水に冷却水（約 5℃）を用いたり、氷を混入したブレイクーリングを実施する。
- 3) コンクリート打設後に海水を使用したパイプクーリングを実施する。

このように大容量の積層マスコンクリートの施工において、施工時のコンクリートの温度変化はもちろんのこ

表一1 南北備讃瀬戸大橋下部工の諸元

	海中コンクリート		気中コンクリート		
	寸 法 (m)	数 量 (m ³)	寸 法 (m)	数 量 (m ³)	単位鉄筋量 (kg/m ³)
1A ^{*1}	—	—	71×54×56	137 000	16.8
2P ^{*2}	23×57×10	13 500	23×57×10	12 800	76.3
3P	23×57×10	13 500	23×57×10	12 800	75.9
4A	57×62×10	37 200	57×96×86	253 500	21.6
5P	27×59×32	48 900	27×59×10	15 500	80.8
6P	38×59×52.3	115 200	38×59× 7.7	16 900	109.4
7A	75×59×52.3	230 000	75×55×72.7	186 000	14.8

•1 A：アンカレイジ基礎

•2 P：主塔基礎

図一1 南北備讃瀬戸大橋一般図

*1 本州四国連絡橋公団第二建設局坂出工事事務所副所長（正会員）

*2 鹿島建設（株）横浜支店根岸出張所工事課長代理（前南北備讃瀬戸大橋下部工工事南工区企業体）

と、各リフトごとに温度計測等を実施し、豊富なデータが得られたので、今後の同種構造物の参考になるよう報告する。

2. アンカレイジ基礎の概要

アンカレイジ基礎は、約8万tのケーブル張力を重さで抵抗するように設計されている。設計法は本州四国連絡橋公団の「重力式直接基礎アンカレイジ設計要領(案)・同解説」¹⁾によっている。図-1 に示したように南北備讃瀬戸大橋には3基のアンカレイジ基礎があり、そのうち、1A(施工:佐藤・三井・佐伯共同企業体)および7A(施工:鹿島・間・五洋共同企業体)のアンカレイジ基礎は図-2 および図-3 に示す形状である。1A気中コンクリートは陸上の堅固な花崗岩盤上に、7A気中

コンクリートはプレパックドコンクリート上に施工される巨大構造物である(写真-1 参照)。

アンカレイジ基礎のコンクリートの施工は、その構造特性、1回当りの打設量(1000~1300m³)およびマスコンクリートの温度規制の観点から、図-2 に示すように6分割して行った。

各ブロックのリフト厚について、コンクリート量の多い4A、7Aではフレクアイスによるプレクーリングを実施して、すべてのリフトを1.5m厚で打設できるようにした。1Aでは、プレクーリングは練りまぜ水の冷却(約5℃)のみとし、夏場においては最高温度を抑

図-2 南北備讃瀬戸大橋1A概念図

図-3 7Aアンカレイジ概要図

Temperature Control by Cooling for Mass Concrete of the Suspension Bridge Substructure

By S. Kashima and T. Fujita

Concrete Journal, Vol. 24, No. 6, pp. 21~31, June 1986

Synopsis The South and North Bisan-Seto Bridge, representative of the Kojima-Sakaide Route, are two consecutive bridges with a total length of 3.4 km. The center span of the North Bisan-Seto Bridge is 990 m and that of the South Bisan-Seto Bridge is 1 100 m. In this paper, the cooling system of mass concrete in those huge substructure construction is described.

Keywords: Honshu-Shikoku Bridge, anchorage foundation, mass concrete, pre-cooling, pipe-cooling

写真-1 アンカレイジ基礎 (BB7A) の施工状況

制するために 0.5~0.75m のリフト厚で打設し、それ以外は 1.0~1.5m 厚とした。なお、長期放置面に打設するコンクリートのリフト厚は、外部拘束を考慮して 0.5~0.75m とした。

各ブロックのコンクリート打設は 5~8 日サイクルで打ち継いだ。

3. マスコンクリートの施工

3.1 工事の基本計画

アンカレイジ基礎の気中コンクリート部はケーブルアンカーフレーム等の埋込金物が多く、また急速施工を要するために、コンクリートポンプ打設とした。コンクリートはポンプ圧送を考慮して富配合としたため、暑中コンクリート対策が不可欠であった。

このような条件のもとで、以下に示すような基本計画に基づいて施工することとした。

(1) バッチャープラント等のコンクリート製造設備は作業ヤード内に設け (写真-2 参照), 4A および 7A では、付帯設備としてフレークアイスを製造する製氷プラントを設置する。

(2) 製造したコンクリートは、1A および 4A ではプラント直下のコンクリートポンプによって圧送し、7A ではミキサー車で運搬した後コンクリートポンプ車によって圧送する。

(3) 打設個所では、急速施工のため、ディストリビュータ (旋回式コンクリート分配機) を使用して打設し (写真-3 参照), ケーブルアンカーフレーム内では配管打設により施工する。

(4) 型わくはスライド型わくを使用し、幅が 3m, 高さが 1.5m もしくは 3.0m の大きさに組み立てて使用する。なお型わくの形状は、レーダ偽像防止のため、5度の勾配を有する特殊型わくになっている。

(5) 打設後のポストクーリングは海水を利用して実施し、クーリングパイプは打設個所の最下部に布設した。1パイプの延長は、パイプクーリングの効果があ

写真-2 アンカレイジ基礎コンクリートの打設設備 (BB1A)

写真-3 ポンプ圧送によるコンクリート打設

るように 250m 以下とした。

(6) 打設リフト厚は 0.5~1.5m, 最大打設量は 1000~1300m³ とする。なお、各ブロックのコンクリート打設サイクルは 5~8 日とする。

3.2 コンクリートの製造

南北備讃瀬戸大橋の気中コンクリートの品質基準を表-2 に、示方配合を表-3 に示す。

構造物を代表して BB7A のコンクリート製造について以下に述べる。

(1) 使用材料

1) セメント

表-2 南北備讃瀬戸大橋気中コンクリートの品質基準

場 所	コンクリートの種類	材令91日における圧縮強度 (kg/cm ²)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スラブの範囲 (打込み箇所) (cm)	空気量の範囲 (打込み箇所) (%)	セメントの種類
BB 1A	F	240	40	11±1.5	4±1	高炉セメントB種 (中熱型)
BB 2P	Q	240	40	8±2.5	4±1	〃
BB 3P	Q	240	40	8±2.5	4±1	〃
BB 4A	F-1	240	40	11±1.5	4±1	〃
	F-2	240	40	11±1.5	4±1	〃
BB 5P	Q	240	40	8±2.5	4±1	〃
BB 6P	Q	240	40	8±2.5	4±1	〃
BB 7A	F	240	40	11±1.5	4±1	〃

セメントは低発熱型の中庸熱高炉B種セメント（スラグ含有量 50～56％）で、水和熱基準は 7 日で 59 cal/g 以下、28 日で 72 cal/g 以下である。

2) 混 和 剤

混和剤は遅延型減水剤を使用し、冬期（11～3 月）のみ標準型減水剤を使用した。

3) 骨 材

細骨材：細骨材は海砂を除塩して使用し、FM 1.42～1.78 の細砂と、FM 3.04～3.40 の粗砂の 2 種類を混合計量して使用した。塩分の規定は、細砂で 0.04％ 以下、混合で 0.03％ 以下を目標とし、日常管理ではソルトメータを使用して検査を迅速に行った。なお、月例管理ではモール法（JIS）を併用して塩分量をチェックし、正確を期した。比重の規格値としては 2.5 以上のものを使用した。

粗骨材：粗骨材は花崗岩質の碎石を使用し、その粒径は $G_1(40\sim25)$, $G_2(25\sim13)$, $G_3(13\sim0.5)$ の 3 種類とし、骨材比重は、アンカレイジが重量でケーブル張力（8 万 t）を支える構造となることから 2.6 以上とした。

4) 水

練りまぜ水には水道水（1A, 4A では工業用水）を使用し、夏場はプレクーリングを実施するため、使用水は約 5℃ の冷水とフレクアイスを使用した。計量は、水と氷とを別々に行った。

（2）コンクリート製造設備

コンクリート製造設備はすべて現場プラントを使用した。これらの仕様をまとめて表—4 に示す。このうち、BB 7 A の練りまぜ設備について以下に述べる。

1) 練りまぜ設備

本設備は日最大打設量 1 200 m³ を考慮して、2.5 m³

表—3 南北備讃瀬戸大橋気中コンクリートの示方配合

場 所	コンクリートの種別	水セメント比 W/C(%)	細骨材率 s/a(%)	単位水量 W(kg)	単位セメント 量 C(kg)	単位細骨材量 S(kg)	単位粗骨材量 G(kg)	単位混和剤量 (kg)	混 和 剤
BB 1 A	F	56.4	40	158	280	718	1 179	0.7	減 水 剤*
BB 2 P	Q	55.0	39.0	154	280	718	1 155	0.7	〃
BB 3 P	Q	55.4	39.0	155	280	725	1 155	0.7	〃
BB 4 A	F-1	57.1	39.2	160	280	723	1 143	0.7	〃
	F-2	60.0	40.7	168	280	743	1 100	0.7	〃
BB 5 P	Q	54.3	38.0	152	280	696	1 165	0.7	〃
BB 6 P	Q	54.3	38.0	152	280	696	1 161	0.7	〃
BB 7 A	F	55.3	38.2	165	280	701	1 182	0.7	〃
	F	57.1	38.2	160	280	696	1 174	0.7	〃

* ポゾリス No. 8（遅延型）。冬期のみ同 No. 70（標準型）を使用

表—4 南北備讃瀬戸大橋下部工コンクリート設備能力一覧表

種 別	場 所	BB 1 A	BB 2 P	BB 3 P	BB 4 A	BB 5 P	BB 6 P	BB 7 A
パッチャープラント (公称能力)		2 m ³ 二軸強制 130 m ³ /h	2.25 m ³ 強制	120 m ³ /h	2.5 m ³ 二軸強制 150 m ³ /h	3 P と同じ	3 P と同じ	2.5 m ³ 二軸強制 150 m ³ /h
コンクリートポンプ		90 m ³ /h×2 台	90 m ³ /h×2 台	90 m ³ /h×2 台	90 m ³ /h×3 台	〃	〃	90 m ³ /h×3 台 (コンクリートポンプ車)
プレクーリング設備		冷水プラント 5℃	冷水プラント 5℃		製氷プラント 30 t/日	〃	冷水プラント 5℃	製氷プラント 50 t/日
濁 水 処 理		15 m ³ /h	1A と共用	30 m ³ /h	30 m ³ /h	〃	3 P と同じ	50 m ³ /h
仮 設 備		現場プラント	CP船	CP船	PCバージ	CP船	CP船	仮桟橋、現場プラント

写真—4 フレクアイスの製造（日産 50 t）

写真—5 フレクアイス

表—5 製氷装置仕様一覧表

機 器 名	型 式	能 力	摘 要
圧 縮 機	SMC 112 L×870 rpm	133 000 kcal/h	25 t/日×2 基
電 動 機	全閉外扇カゴ型	75 kW×8 P	AC 440 V×60 Hz
製 氷 機	VD 746 X	25 t/日	24 h 稼働, 25 t/日×2 基
電 動 機		0.75 kW×2 +0.75 kW	220 V×60 Hz

付属品：油分離器（立型円筒式，自動返油方式）
コンデンサ（横型シェルエンドチューブ式（海水用））
レシーバ（横型円筒式）
熱交換器およびドライヤー（横型円筒二重管式）

強制2軸ミキサを使用した。

2) 製氷および貯氷設備（写真—4 参照）

このプラントの特徴として，製氷設備と貯氷設備がある。製氷は冷媒（R-22）により強制冷却した製氷ドラム上にノズルから冷水を噴出させて，厚さ 1.5～2.0 mm 程度の氷をドラム上に付着させ，ドラムの回転の際に，ドラム側面に取り付けてあるナイフエッジで写真—5 のように削りとり，製氷機の下に設けた貯氷庫（50 t）に貯えるようになっている。製氷機は，1 日 50 t の製造能力を有する我が国最大級のものである。この製氷機の仕様を表—5 に示す。

3.3 コンクリートの打継ぎおよび冬期養生

コンクリートの打設上面（打継面）は，次リフトとの結合をよくするため，骨材の 1/3 程度がでるまで高圧ジェットでグリーンカットし，数日間湛水養生した後，図—4 に示す打設サイクルによってコンクリート打設を行った。

型わく側面の冬期の養生としては，型わく足場の外側に養生マットもしくはシートを張り，型わくに直接風が当たるのを防いで，凍結を防止した。

3.4 コンクリートのパイプクーリング

ポストクーリングとして海水を使用したパイプクーリングを実施したが，パイプクーリングのポンプ周辺には

図—4 各ブロックのマスコンクリート打設サイクル

水流切替装置を取り付け，水流の方向を容易に変更できるシステムとした。クーリングパイプの敷設は各リフトごとに行い，パイプ間隔は 1.4 m，平均パイプ長は 240 m である。なお，クーリングパイプの入口部と出口部には，温度計と流量計を取り付けたほか，クーリング効果を測定するための温度センサー（熱電対）もコンクリート中に埋設した。

4. 施工実績および温度管理結果

4.1 コンクリートの打設実績

BB 7 A コンクリートの月別打設実績を図—5 に示す。図に示すように，月間の最大打設量は 16 400 m³ であり，打設回数は 16 回で，1 回当たりの最大打設量は約 1 180 m³ であった。各リフトの最高温度を管理するため，各リフトごとに温度センサー（熱電対）を埋設して測定した。

また，コンクリート温度が上昇する段階（打設後約 3 日間）では，海水を使用したパイプクーリングを実施した。

4.2 フレッシュコンクリートの品質

氷を使用することによってコンクリート中の空気量はエントラップドエアが 0.5% 程度増加することが確認され，AE 剤を減らすことによってこれを調整した。このように，氷を混入することにより練りまぜ効果が上がることがわかった。

表—6 氷の量とブリージング量の関係（昭和 59 年）

No.	打設月日	天 候	気温	ブリージング量 (ml/cm ²)	ブリージング率 (%)	氷使用量 (%)	1 バッチ 練りまぜ サイクル (秒)
1	6月1日	晴	21.0	0.13	4.1	15	75
3	13日	晴	22.0	0.09	2.7	25	75
5	14日	晴のち雨	22.5	0.13	5.1	40	75
7	20日	雨のち晴	19.6	0.09	2.7	25	75
9	28日	晴	22.1	0.12	3.4	30	85
11	7月3日	晴	24.5	0.11	3.2	35	85
13	6日	晴	26.1	0.09	2.6	40	90
15	10日	晴	26.0	0.09	2.7	45	100
17	17日	晴	27.0	0.12	3.4	50	105
19	18日	晴	25.5	0.10	2.8	50	100
21	22日	晴	26.0	0.13	3.7	60	85
23	8月1日	晴	30	0.17	5.4	60	85
25	6日	晴	33	0.13	3.8	60	85
27	9日	晴	32	0.18	5.5	55	85
29	21日	曇のち晴	33	0.12	3.7	60	85
31	27日	晴	33	0.12	4.8	60	85
33	9月1日	晴	32	0.15	4.8	60	85
35	4日	晴一時雨	32.5	0.17	5.0	60	85
37	11日	曇	26	0.11	3.2	55	85
39	26日	晴	24	0.11	3.2	55	85
41	5日	晴	23	0.14	5.3	40/45	95
43	24日	晴	19	0.12	3.8	20	95
45	11月6日	曇/晴	18	0.15	4.5	0	95
47	22日	晴	9	0.13	5.6	0	95
49	12月6日	曇	11	0.20	7.8	0	95
51	27日	晴	6	0.13	5.3	0	95

図—5 コンクリート打設の実績図 (BB7A)

表—7 コンクリート練上り温度 (BB7A)

打設月日	打 ブロック・リフト	平均気温 (°C)	材料温度 (°C)		水 (%)	練上り温度 (°C)		ポンプ車温度 (°C)
			骨 材	セメント		計 算	実 測	
6月11日	R ₁ -35	22.8	22	27	15	18.8	15.0	17.0
6月22日	C ₁ -29	22.0	23	29	40	12.7	11.0	13.8
6月30日	C ₁ -30-1	24.5	23	30	50	10.0	9.0	12.1
7月10日	R ₁ -38	24.5	26	31	45	14.0	14.0	15.8
7月20日	R ₁ -39	26.8	26	31	50	12.6	13.0	14.7
7月31日	R ₁ -40	27.3	27	32	55	12.1	12.0	13.2
8月9日	R ₁ -37	29.5	29	34	60	12.5	12.0	13.0
8月21日	L ₁ -37	28.4	29	34	60	12.5	11.0	13.2
8月29日	L ₁ -42	29.6	28	32	60	11.5	11.0	13.0
9月11日	R ₁ -39	24.4	25	29	55	10.0	10.0	11.9
9月20日	L ₁ -44	24.3	25	28	50	11.3	10.0	11.3
10月1日	R ₁ -45	24.4	25	27	60	8.3	7.0	8.7
10月10日	L ₁ -41	22.0	18	26	35~40	8.1	10.5	11.0
10月24日	L ₁ -42	20.7	17	23	20	12.7	14.0	13.5

注) 冷水温度: 6°C

すなわち、氷をたくさん混入しても、水セメント比は一定であり、練りまぜ効果がよい分だけ、単位水量を減らすことができるなど配合上有利な点がみられたが、これらは今後の検討項目として残された。

氷の量とブリージング量の関係を表—6に示す。

表に示すように、氷の量の増加とともにブリージング量が増加する傾向はみられなかった。

測定期間中のブリージング率は、最大 7.8%、最小 1.7%、平均 3.9% (標準偏差: 1.13%) であった。

また、プロクター貫入抵抗試験結果では、凝結速度の変曲点は屋外の炎点下では約 3 時間であることがわかった。したがって、真夏時の層状打設の打設間隔 (1 リフト内の層状打継時間) は、2 時間以内にしないとコールドジョイント発生の恐がある。

4.3 気中コンクリート打設後のコンクリート温度

(1) 練りませ直後のコンクリート温度

氷を使用したコンクリート練りませ直後の温度は、ミキサ直下に設置した熱電対で測定した。この結果を表7に示す。表には計算値も併せて示しているが、計算値と実測値の対応は良好であった。

なお、計算値は次の簡易式により求めた。

$$T = [1160 \times 0.18 \times T_g + 740 \times 0.18 \times T_s + 280 \times 0.2 \times T_c + 44 \times 1.0 \times T_{W'} + \{155 \times (1-x) - 44\} \times 6 - 80 \times 155 \times x] \div 2300 \times 0.2$$

ここに、 T_g , T_s , T_c , $T_{W'}$: 粗骨材, 細骨材, セメント表面水の温度 [$T_W = 6.0^\circ\text{C}$ (一定), 80: 氷の潜熱], x : 氷/水, 0.2: 骨材およびコンクリートの比熱。

フレッシュコンクリート温度と骨材温度との計算結果を一例として図6に示す。

コンクリート温度を 1°C 下げするには、氷の量を3.4%増加させるか、骨材温度を 1.2°C 下げるか、セメント温度を 8.3°C 下げなければならない。

図6 材料温度とコンクリート練りませ温度の関係

図7 練りませ温度と筒先温度および打設時温度の関係 (BB7A)

(2) コンクリート運搬時の温度変化

コンクリート運搬時のコンクリート温度の変化を調べるために、ミキサー車の荷卸し地点とポンプ車で圧送して筒先から出た地点の2箇所温度計測を行った。この時の配管長は水平換算長で約500mである。この結果は図7に示す関係となり、圧送・打設時に急激に温度が上昇することはなかった。

(3) コンクリート打設後の最高温度

1) 氷を使用したプレクーリングの効果

昭和58年, 59年のコンクリートの最高温度, 上昇温度, 気温等の経時変化をまとめて図8に示す。

これらの相互間の関係を調べるため、多変量解析を実施した。その解析結果を図9に示す。

なお、ここで打設温度とは、打設リフト断面中央部に設置した熱電対に接触する時のコンクリート温度であり運搬途上での上昇温度も含めた温度である。

この結果から以下のことがわかる。

- 氷の量が一定の時、気温が 10°C 上昇すると打設時温度は 5.3°C 上昇し、気温が一定の時、氷の量を10%増やすと打設時温度は 1.1°C 低下する。
- 最高温度は、気温が上昇するにつれ、打設温度が高くなるにつれて大きくなる。気温が一定の時、打設時温度が 10°C 高くなると最高温度はA社の場合 3.5°C 上昇し、B社の場合は 6.1°C 上昇する。このように、同種セメントであってもセメントメーカーにより上昇温度が異なることがわかる。
- 全般的な傾向として、氷の量を10%増やすと、打設時温度を 1.1°C 、最高温度を $0.4 \sim 0.7^\circ\text{C}$ 下げることができる。

2) リフト厚と最高温度の関係

BB1Aでは、氷を用いたプレクーリングを実施せず、練りませ水の冷却とリフト厚を低くすることによって最高温度を低減した。

気温と打設時温度および最高温度の関係を多変量解析し、図10に示している。この結果を用いて、リフト厚と最高温度の関係を、気温が一定の場合と打設時温度が一定の場合のそれぞれについて求め、図11, 図12に示す。これによって以下のことがわかった。

- リフト厚さが1.0mを超える時、気温が上昇すると最高温度の上昇量は急激に大きくなる。換言すると、夏場は1.0m以下のリフト厚が望ましい。
- 冬期の気温が低い時には最高温

図—8 コンクリート打設温度とリフト内最高温度 (BB 7 A)

図—9 打設時温度と気温および最高温度の関係 (氷を使用した BB 7 A)

度が低下するが、その低下量はリフト厚 1.0m 以下になると急激に大きくなる。

- c. 気温が 20°C 前後では、最高温度とリフト厚の関係はほぼ直線的に変化する。
- d. 打設温度が低いほど、最高温度はリフト厚の影響を強く受ける。
- e. リフト厚さ 1.0m 以下では、打設時温度を下げた量だけ最高温度を下げるができる。

4.4 パイプクーリングの効果

パイプクーリングには海水を使用した、海水温の年変化は 図—13 に示す。最高温度は約 28°C、最低温度は 6°C である。パイプクーリングを実施した時のコンクリート温度経時変化を 図—14 に示す。これらの図から、パイプクーリング実施前のコンクリート温度と海水温度の差と、コンクリート温度降下速度との関係を 図—15 に示す。両者の関係は非常に密接である。通水期間や降下速度は 図—15 から正確に求めることが可能となり、

図一10 最高温度とリフト厚(打設時温度、気温)の関係 (BB1 A)

図一11 最高温度とリフト厚の関係 (BB1 A)

図一12 最高温度とリフト厚の関係 (BB1 A)

この打設直後のパイプクーリングによって最高温度を何度下げることができるか推定が可能となった。

すなわち、温度上昇時のコンクリートの平均温度を 40°C 、海水温を 25°C とした時、通水期間2日では約 1°C 最高温度を下げる事が判明した。

5. 発生温度応力、ひずみの実測結果

BB7 A において、コンクリート内部の水和熱による温度上昇につれて発生する温度応力やひずみを実測した結果を図一16 に示す。一般的な傾向として次のことがわかった。

- 1) 自層のコンクリート温度が上昇する段階で、内部には圧縮応力が増加する。
- 2) 自層のコンクリート温度が低下する段階では、下層リフトの拘束の影響で引張応力が増加する。
- 3) 上層コンクリートを打設して、その温度が上昇する段階において、引張応力が引き続き増加する。
- 4) さらに上層コンクリートを打設するにつれ、累積引張応力は横ばい、もしくは増加する傾向をみせている。ひびわれ発生には、この累積引張応力が非常に大きい影響を与える。
- 5) コンクリート中の引張応力が最大となるのは、1層上のコンクリートが最高温度を示す時であり、この時にひびわれが最も発生しやすい。

以上のように、本計測を通じて、これまでのひびわれ

図一13 海水温経時変化図

図一14 パイプクーリング実施時のコンクリート温度経時変化図

図一15 パイプクーリング実施時のコンクリート降下速度

図一16 自層コンクリート温度応力変化図

6. ひびわれ防止対策

積層マスコンクリートのひびわれ防止対策として、上層リフトを考慮した解析モデルを用いて FEM 解析を実施し、発生する引張応力（実測値とはよい対応を示した）とコンクリートの引張強度とからひびわれ安全度を求めた。

ひびわれ安全度は、

$$F_s = \text{引張強度} / \text{累積引張応力}$$

ここで、引張強度は最大引張応力が発生する時と同材令の強度とし、実験および実測から定めた。

累積引張応力は、断面形状、拘束係数に關係するので、断面中央部と端部の応力の大きい方の値を採用する。

発生に考慮していなかった上層リフトの影響が予想外に大きいことがわかった。これらを考慮に入れて、ひびわれ防止基準を定めるようにした。

このひびわれ安全度の根拠を求めるため、実際のひびわれ発生状況を調べて検討した。すなわち、BB7Aにおけるひびわれ発生は昭和58年度の夏期に一部でみられ、10月以降では発生しなくなった点に注目し、この安全度を求めると、8月の安全度は1.4で、10月の安全度は1.8であった。安全度が2以上になるとひびわれが皆無となることから、これを用いたひびわれ対策が可能となった。その結果、真夏時の施工では、1.5mリフトを温度ひびわれの発生なく打設する時の基準として、最高温度を50°C以下、打設時温度20°C以下、練りまぜ温度11°C以下とすれば、ひびわれ発生をほぼ皆無にできることがわかった。これを採用して、ほぼ所定の成果を収めることができた。

7. あとがき

今回の温度計測結果から、ひびわれ防止対策をとる上で重要な積層マスコンクリート施工時の温度発生状況を明らかにすることができた。さらに岩盤拘束および断面急変部でのひびわれ以外の新しいタイプのひびわれ発生の原因も究明することができ、ひびわれ発生基準を明確にすることができた。

氷を使用したブレッキングを2年間にわたって実施し、これまで例がなかった氷を練りまぜ水に対し最高60%混入させることなどについて十分なデータを蓄積

することができ、また、コンクリートとして問題となるような現象もみられなかった。マスコンクリートのひびわれ防止対策としては内部最高温度を抑制するのが最も有効であり、今後の同種工事の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団：重力式直接基礎アンカレイジ設計要領(案)・同解説、1980.3

海外ニュース

鋼繊維補強コンクリートの現場均質練りまぜシステム

ベルギーで開発された鋼繊維の現場投入システムが、アメリカで使われ始めた。このシステムは、鋼繊維をコンクリートミキサー車に現場で直接投入し、均質な繊維補強コンクリートを作るものである。投入機は移動式で、どこでも使うことができる。

1. システムの概要

システムは、送風機を改造し、鋼繊維を秒速7~8m

送風機により鋼繊維を早く均等にコンクリート中へ投入

で吹き出すようにしたもので、チューブによりコンクリートミキサー車の中へ投入される。この時、流動化剤が加えられ、ドラムを毎分16回転させて、約9分で1台分の投入が終わる。このシステムでは、繊維を吹き出すため繊維のからまりがなく、均質な繊維補強コンクリートを作ることができる。

鋼繊維は5種類のサイズが可能で、最も大きく重いものは、床に多く使われる直径1mm、長さ60mmのものである。

2. 適用

鋼繊維は鉄筋に比べ、より表面に配置することができるため、表面コンクリートの収縮に対して非常に効果がある。用途は大規模な床への適用が多く、鋼繊維を20~40kg/m³使用して、床のコントロールジョイントを一般の4.5mから7.5mまで広げることができる。

(ENR/'86.2.20より)
山本俊彦