

(仮称) 浜3Fブロック共同ビル建設工事でのマスコンクリート工事 —マスコンクリートの解析と管理—

土田 誠二* 井戸 勇二**
白石 憲治*

要 旨

本工事は、地上20階建の高層棟と地上4階建の低層棟と地下2階の建築工事であり、地下鉄筋コンクリート構造体において約3m厚の耐圧版、約1.5m厚の外壁がありマスコンクリートの対象となった。これらの施工に当たりコンクリートの温度応力によるひび割れを抑制するために以下の検討を実施し、コンクリートの調合を決定した。

- 1) マスコンクリートの温度応力解析
- 2) 単位セメント量を抑え、高炉B種セメントを用いた調合による試し練り
- 3) 冬期の温度補正值を確認するためのモデル試験体への打設実験

その結果、設計基準強度 24N/mm^2 に対し基本の調合強度を 21N/mm^2 とし、材齢56日で構造体強度管理をすることとした。さらに、実施工においてはコンクリート内部温度の計測を行い、解析結果との比較を行い、それにより管理・解析手法の妥当性を検証した。

これらにより施工においては有害なひび割れを低減することができた。

1. はじめに

マスコンクリートはJASS5により「部材断面の最小寸法が80cm以上で、かつ水和熱によるコンクリートの内部最高温度と外気温の差が 25°C 以上と予想されるコンクリート」と定義されている。このような断面寸法の大きいコンクリートはセメントの硬化過程の水和熱により内部温度が上昇し表面部と中心部の温度差が生じた場合や、上昇した温度が降下するときに拘束を受けた場合にコンクリートに引張応力が発生し、ひび割れが生じる可能性がある。このひび割れは美観上の問題、耐久性の低下、漏水問題などにつながるため、本工事では温度応力解析、試験体による内部温度の実測、試し練り等による調合検討と適正な打設管理を行い施工した。

本稿では、これらのコンクリート調合を決定するための過程およびマスコンクリート打設計画と結果について報告する。

2. マスコンクリート工事概要

本工事は、高層建物であるため、地下躯体部分は断面寸法の大きいRCまたはSRC部材で構成されている。このうち、マスコンクリートの適用範囲は耐圧版、基礎・地中梁、B2F側壁、B1F側壁であった。

マスコンクリートの適用範囲を図-1に示す。

3. 温度応力解析概要

3.1 マスコンクリートの適用範囲

マスコンクリートを施工するに当たり温度ひび割れの検討を行った。温度応力解析は、最もマッシュであると考えられる耐圧版の厚さ3mの部分と側壁(外壁:厚さ1.5m)部分を検討対象とし、側壁については途中階の梁部を先行打設しているため、B2F側壁のB1F梁下までとB1F側壁の1F梁下までに分けて検討した。また、基礎・地中梁については耐圧版と同様と考えた(図-1参照)。解析対象モデルを図-2に示す。

3.2 解析手法

温度解析、温度応力解析は日本コンクリート工学協会のマスコンクリート温度応力研究会による「マスコンクリートの温度応力計算用プログラム」を使用した。ひび割れの判定は、土木学会「コンクリート標準示方書(施工編)」の温度ひび割れの発生確率によった。発生確率が高い場合には、制御対策を検討し、それに基づいて条件を変更し、再検討を行った。本検討のフローを図-3に示す。

耐圧版のような広がりのあるスラブでは断面の上下面からの熱の逸散が卓越し、コンクリートの温度分布は、鉛直方向に1元的分布を示す。この場合、Schmidt法およびCompensation Line法による1次元温度応力解析を行った。

*東京支店 **技術研究所

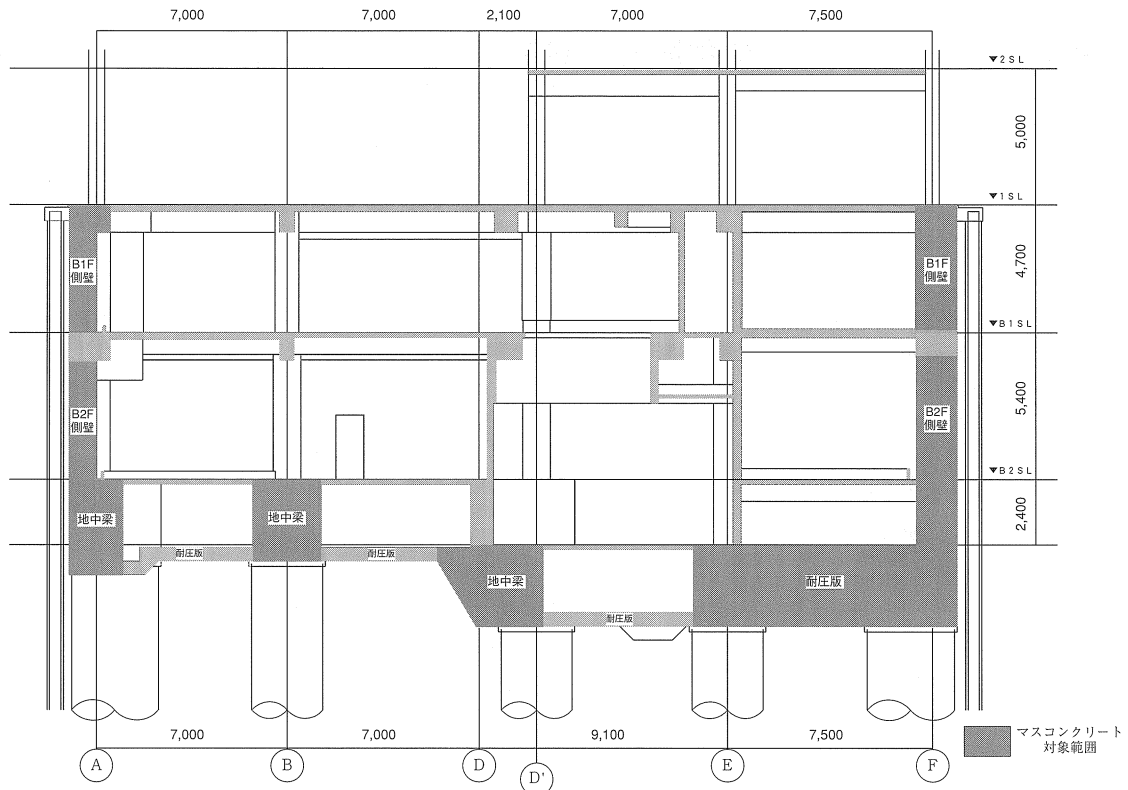


図-1 マスコンクリート対象の地下躯体断面

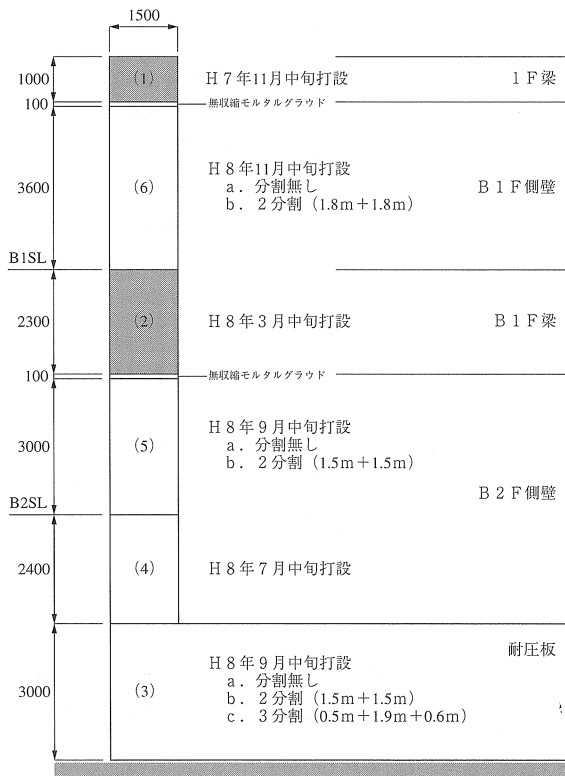


図-2 地下躯体解析モデル

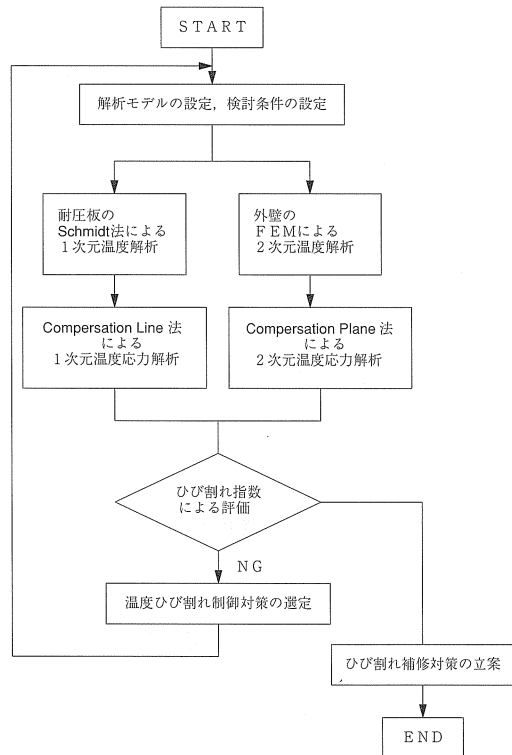


図-3 検討解析フロー

側壁では、断面の上下面からの熱の逸散に加え側面からの熱の逸散も生じるため温度分布は2次元となる。この場合、2次元 FEM および Compensation Plane 法による温度応力解析を行った。それぞれの解析より温度ひび割れ指数を求めた。温度ひび割れ指数は、部材の引張強度を温度応力解析で求められた応力で除した値で、大きいほどひび割れが発生しにくく、小さいほど発生しやすいという図-4 の関係がある。ひび割れの評価はこれによった。

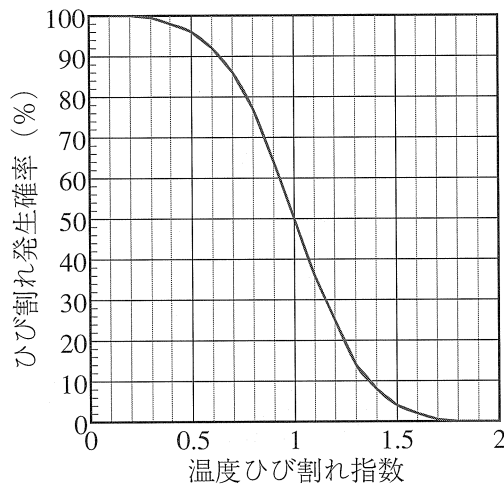


図-4 温度ひび割れ発生確率

3. 3 解析条件

耐圧版の版厚 3 m の部位について以下の場合の検討を行った。(図-2 参照)

- a. 分割無し
- b. 0.5m + 2.5m
- c. 0.5m + 1.9m + 0.6m

上記3種類のリフト割は、山留支保工の設置位置や足場設置高さ、耐圧版とラップする地中梁配筋の組立易さを考慮して選択した。

また、使用セメントをそれぞれ原設計仕様の普通ポルトランドセメント(セメント量=300kg/m³)と高炉セメントB種(セメント量=290kg/m³)とし、解析モデルは地盤下5mまで取り入れたモデルとした。

耐圧版の上部に何層かに分けて打設する側壁は2次元モデルとして解析し、耐圧版からB1F梁下までの温度解析では、耐圧版への熱の逸散を精度よく解析するため、耐圧版も取り入れたモデルとし、温度応力解析では、耐圧版を拘束体と考えた側壁だけのモデルとした。また、B1Fから1F梁下までの温度解析では、B1F梁まで取り入れたモデルとし、温度応力解析では、B1F梁を拘束体と考えたB1F側壁だけのモデルとした。検討条件を表-1に示す。

3. 4 耐圧版の温度応力解析結果

耐圧版について、使用セメントが高炉セメントB種(セメント量=290kg/m³)とし、図-5のリフト割りとした場合の温度履歴およびひび割れ指数の解析結果を図-6に示す。温度履歴を見ると最高温度は、第2リフト節点番号6で第1リフト打設後10日で64.36℃となった。ひび割れ指数を見ると内部拘束に大きく影響される初期の材齢では、9日目の節点番号1で1.34となり、外部拘束に大きく影響される長期の材齢では、70日目

表-1 解析条件

解析手法	耐圧版 Schmidt法+Compensation Line法 側壁 FEM法+Compensation Plane法
外気温	5月 18.6℃、6月 21.7℃、7月 25.2℃、8月 27.1℃、9月 23.2℃ 10月 17.6℃、11月 12.6℃、12月 7.9℃、1月 5.2℃
打設温度 (外気温+3℃)	6月打設 24.7℃ 7月打設 25.2℃、9月打設 26.2℃、 11月打設 15.6℃
コンクリートの熱伝導率	2.3 kcal/mhr℃
コンクリートの比熱	0.275 kcal/kg℃
断熱温度上昇式 普通ポルトランドセメント 高炉セメントB種	$Q(t) = Q \times (1 - e^{-\gamma t})$ 定数Q、 γ はコンクリート標準示方書施工編による。 (セメントの種類、セメント量により決まる)
コンクリートの熱伝導率	耐圧版 7 kcal/mhr℃ (上面、散水養生) 側壁 10 kcal/mhr℃ (内側面) 5 kcal/mhr℃ (上面、下面、外側面)
圧縮強度	91日強度 288 kg/cm ² (240(28日強度)×1.2)
引張強度	$1.4 \times \sqrt{f_c} (t)$
熱膨張係数	$10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
密度	2.3 t/m ³
外部拘束係数	耐圧版 Rn=0.2、Rm1=0.2、Rm2=0.2 側壁 Rn=0.6、Rm1=1.0、Rm2=1.0
その他条件	打設順序は基本工による

(1kgf/cm² = 98kN/m², 1kcal/mhr℃ = 1.16279W/m℃, 1kcal/kg℃ = 4.18605kJ/kg℃)

の節点番号6で1.11となる。最小ひび割れ指数1.11に對する、ひびわれ発生確率を図-4により求めると27%である。リフト割りを変えた場合(図-2の(3) a.b.c.)、使用セメントを変えた場合(普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種)の最高温度と最小ひび割れ指数を表-2に示す。どの場合も最小ひび割れ指数は1.1前後となった。本工事では、経済性、施工性を考えて、使用セメントは高炉B種セメントとし、リフト割りは山留支保工の撤去作業の容易さや配筋の組立易さから0.5m+2.5mを採用することとした。

3. 5 側壁の温度応力解析結果

耐圧版から立ち上がるB1F梁下までの側壁について、2層に分けて(2.4m+3m)打設し、普通ポルトランドセメントを使用した場合の、解析ポイントと温度履歴およびひび割れ指数の解析結果をを図-7、図-8に示す。最高温度は、第1リフトでは65.58℃となり、第2リフトでは64.77℃となった。ひび割れ指数を見ると外部拘束に大きく影響をうけ、第1リフト打設時では14日目以降0.6程度となる。また第2リフト打設後は材齢126日では節点番号38で0.39となり、ひび割れ発生

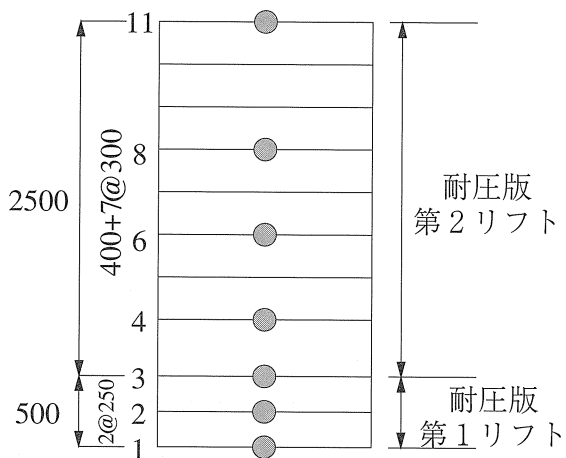


図-5 耐圧版の温度応力解析ポイント

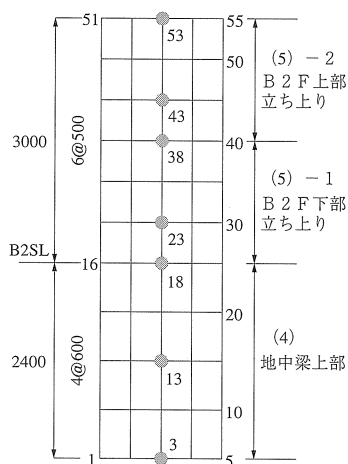


図-7 B2F側壁温度応力解析ポイント

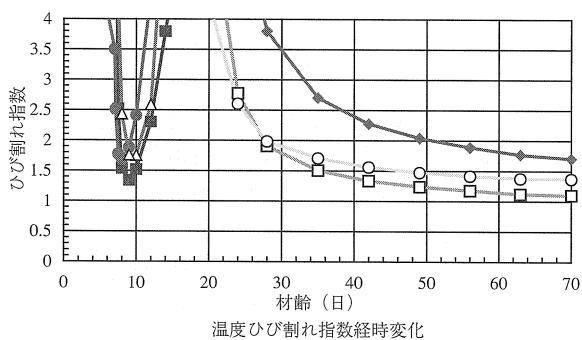
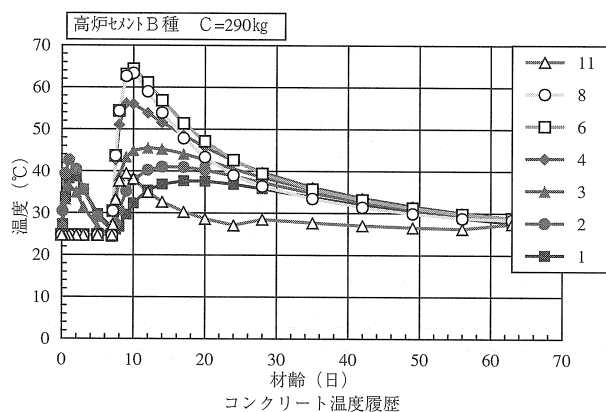


図-6 耐圧版の温度応力解析 (高炉セメント)

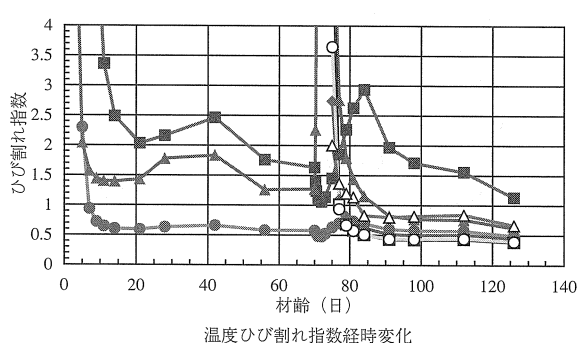
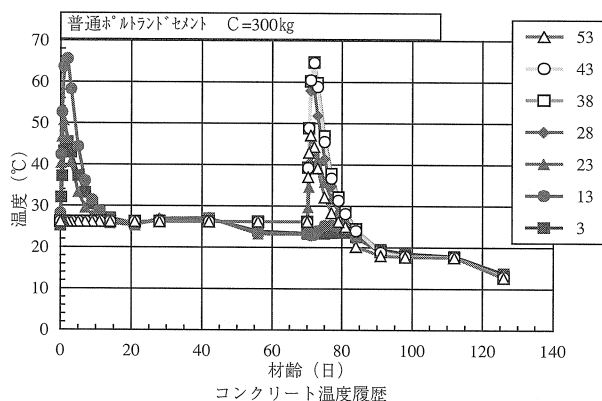


図-8 B2F立ち上り側壁温度応力解析

表-2 耐圧版の温度応力解析結果

対象項目 リフト割り、使用セメント	最高温度 (°C)	最小ひび割れ指数	
		内部拘束主因(初期)	外部拘束主因(長期)
a.分割無し (普ポセメント)	67.51 (No.6、3日目)	1.58 (No.11、2日目)	1.21 (No.6、70日目)
a.分割無し (高Bセメント)	66.64 (No.6、3日目)	1.63 (No.11、2日目)	1.21 (No.6、70日目)
b.0.5m+2.5m (普ポセメント)	65.09 (No.6、10日目)	1.28 (No.1、9日目)	1.08 (No.6、70日目)
b.0.5m+2.5m (高Bセメント)	64.36 (No.6、10日目)	1.34 (No.1、9日目)	1.11 (No.6、70日目)
c.0.5m+1.9m+6m (普ポ)	63.43 (No.6、15日目)	1.69 (No.1、9日目)	1.06 (No.6、70日目)
c.0.5m+1.9m+6m (普B)	61.81 (No.6、15日目)	1.77 (No.1、9日目)	1.08 (No.6、70日目)

確率は100%近くになることが予想された。また、B1Fの1F梁下までの側壁について使用セメントが普通ポルトランドセメントの場合の温度解析ポイントと各節点番号における温度履歴およびひび割れ指数の解析結果を図-9、図-10に示す。温度履歴から最高温度は、48.50℃となった。ひび割れ指数を見ると外部拘束に大きく影響をうけ49日目で0.54となり、ひび割れ発生確率は94%になることが予想された。最高温度と最小ひび割れ指数を表-3に示す。

これらの結果より、側壁については温度ひび割れの発生確率が高いことから、いくつかのひび割れ制御対策をとる必要があると判断した。

4. 温度ひび割れ対策

4.1 ひび割れ対策の選定

マスコンクリートの温度ひび割れの対策方法としては表-4にあげる項目が考えられる。これらの中から当工事に適用性があると考えられる以下の対策を抽出し、側壁について再度応力解析を行った。

- a. 管理材齢を56日として単位セメント量を低減する。
 B2F側壁：300kg/m³ → 270kg/m³
 B1F側壁：330kg/m³ → 300kg/m³
- b. 高炉セメントB種を使用する。
- c. 打設時コンクリート温度を5℃低減する。
- d. 躯体温度の降下を抑制する。
 冬期養生中の周辺温度を最低8℃に保つ

4.2 B2F立上り側壁の温度ひび割れ解析

耐圧版からB1F梁下までの側壁についての各節点番号における温度履歴、温度応力およびひび割れ指数の対策後の解析結果を図-11に示す。また、各対策による比較を表-5に示す。

a～cまでの対策により、最高温度は、節点番号13で2日目で53.87℃となり、ひび割れ指数は、外部拘束に大きく影響をうけ材齢140日では節点番号33で0.73となり、ひび割れ発生の可能性を低減できた。

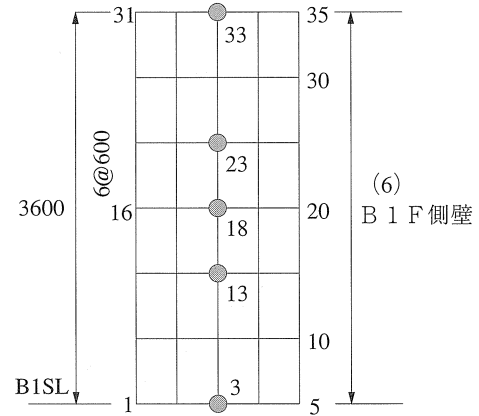


図-9 B1F側壁温度応力解析ポイント

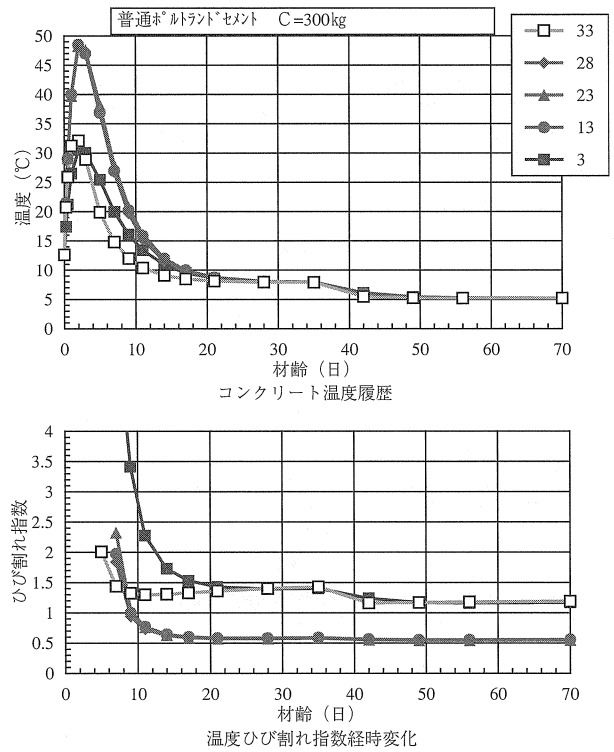


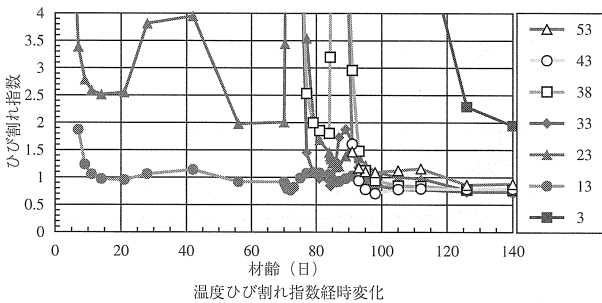
図-10 B1F立上り側壁温度応力解析

表-3 側壁の温度応力解析結果

対象項目 リフト割り、使用セメント	最高温度 (°C)	最小ひび割れ指数
		外部拘束主因 (長期)
B2F 3.0 m (普ポセメント)	65.58 (No.13、2日目)	0.49 (No.13、126日目)
B2F 2.4 m (普ポセメント)	64.77 (No.38、10日目)	0.39 (No.38、126日目)
B1F 3.6m (普ポセメント)	48.50 (No.13、2日目)	0.54 (No.18、49日目)

表一 4 温度ひび割れ制御対策

No	温度ひび割れ制御方法	具体的対策	適用	効果	評価
1	ひび割れ位置を制御する	1.誘発目地を設ける	誘発目地部にひび割れを集中させ、補修する。	○	○
2	コンクリートの引張抵抗力を増加させる	1.鉄筋補強を行う	ひび割れ幅が許容値を越える場合、補強筋を加えひび割れ幅を押えることができる。	○	○
		2.繊維補強を行う	1.と同様の効果だが、経済性に難。	○	△
		3.ガラス繊維の導入	設計の見直しが必要。	○	△
		4.膨張性混和剤の使用	膨張によるひび割れ防止の導入。施工に難、効果不確定。	△	△
3	高炉セメントの使用	1.中筋熱高炉セメント	コンクリート最高温度を低減する。	○	○
		2.低発熱高炉セメント	対策法として有効。	○	◎
		3.超低発熱セメント	使用セメントの種類を要検討。	△	△
4	単位セメント量を小さくする	1.流動化剤の使用	単位セメント量10kg/m ³ につきコンクリート温度1℃の低減があり、かなりの量の低減がなければ効果は少ない。	△	○
		2.減水剤の使用	現在20mmと設定。鉄筋間隔で決まっている。	△	△
		3.粗骨材の最大寸法を大きくする	現在20mmと設定。鉄筋間隔で決まっている。	△	△
		4.スラッグを小さくする	15cmが限界。	△	△
		5.管理材齢を長期にとる	91日まで可能であるが、56日までとする。	△	◎
5	コンクリートの打設温度を下げる	1.「ブレーキング」の実施	冷水、氷、液化窒素を用いる方法がある。経済性に難。	○	○
		2.冬期、春期の打設	工程上、不可能。	○	○
		3.夜間・早朝打設	夜間は不可能。早朝なら可能。	△	△
6	打ち込まれたコンクリートの最高温度を下げる	1.「ブレーキング」の実施	設備に手間。断面欠損。コストの割に効果少ない。	○	△
		2.リフト高を小さくする	有効。経済的。工程・施工法に影響あり。	○	○
7	新旧コンクリート間の温度差を小さくする	1.打設間隔を短くする	工程に制約あり。	△	△
		2.旧コンクリートを温める	内部拘束が大の場合に限る。		
8	部材内の温度差を小さくする	1.保溫性の良い型枠を使用する	内部拘束が大の場合に限る。		
		2.養生温度を下げない	長期間の養生が必要であり、施工管理が煩雑。上部施工時、困難	△	◎
		3.表面を断熱材で覆う		△	△



図一 1 1 B2F 立上り側壁温度ひび割れ解析 (対策後)

表一 5 B2F 立上り側壁温度ひび割れ解析結果

対象項目	最高温度 (°C)	最小ひび割れ指数
		外部拘束主因 (長期)
未対策時	65.58 (No.13、2日目)	0.39 (No38、126日目)
a + b 対策	61.75 (No.13、2日目)	0.45 (No38、126日目)
a + b + c 対策	53.87 (No.13、2日目)	0.73 (No38、140日目)

4. 3 B 1 F 立上り側壁の温度ひび割れ解析

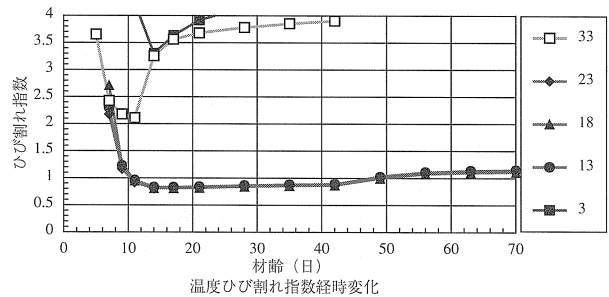
1 F 梁下までの側壁については、打接時期が冬期となり、周囲温度が低く予想平均養生温度も低くなり、調合強度は温度補正値を加えなければならない。したがって、呼び強度は1ランク上位になるため、セメント量も300kg/m³として解析した(5章参照)。4.1に示した対策のa.のセメント量は300kg/m³、d.については最低8℃の養生温度を保つこととする。a~dまでの対策後の解析結果を図一12に示す。また、対策による比較を表一6に示す。

a~dの対策後の最高温度は、節点番号23で10日目で52.0℃となり、最小ひび割れ指数は、材齢14日では節点番号23では0.81となり、解析上低減できた。

4. 4 ひび割れ対策結果

4.1での対策を適用して温度応力解析したところ、ひび割れ指数 I = 0.7 以上となり、ひび割れ発生確率を低減できると思われる。上記の対策を考慮した調査設計を行い、試験練りを行った結果、所要の品質を満足した。ただし、4.1の対策をとった場合でもひび割れ発生確率は低くないので、誘発目地を設け、ひび割れ後の補修方法を検討した。

また、B 1 F 側壁については、設計基準強度に補正値を加えるための予想平均養生温度の確認をする必要があった。



図一 1 2 B1F 立上り側壁温度ひび割れ解析 (対策後)

表一 6 B1F 立上り側壁温度ひび割れ解析結果

対象項目	最高温度 (°C)	最小ひび割れ指数
		外部拘束主因 (長期)
未対策時	48.50 (No.13、2日目)	0.54 (No28、49日目)
温度補正後+a + b	61.75 (No.23、10日目)	0.64 (No23、49日目)
+ a ~ d	52.00 (No.23、10日目)	0.80 (No23、14日目)

5. 調合計画と試験練り

5. 1 調合計画

使用するコンクリートの条件として設計図書および J A S S 5 より、
 設計基準強度 24N/mm²
 スランプ 18 + 2.5cm または 15 + 2.5cm
 単位セメント量 270kg/m³ 以上
 水セメント比 65%以下
 とした。

調合計画にあたっては、温度応力解析の結果をもとに以下の方針に基づくものとした。

- a. 使用セメントを高炉セメントB種とする。
- b. 強度管理材齢を長くすることで(56日)単位セメント量を低減する。

J A S S 5 により、高炉セメントB種を用いたコンクリートの強度発現性状が図-13のように示されている。同図より標準養生(水中20℃)条件下での56日

強度は28日強度の1.18倍となっている。したがって管理材齢を56日とする場合には、28日の呼び強度の1.18倍が設計基準強度を上回り、かつ J A S S 5 (2.6.b) に規定されている最小の単位セメント量270kg/m³を上回る調合を採用することとした。工場の調合一覧表(表-7)の28日の調合強度21N/mm²は56日管理では24.8N/mm²となり設計基準強度24N/mm²以上となるので、このときの調合を採用し、単位セメント量が270kg/m³未満の場合は、1ランク上位(+1.5N/mm²)の強度の調合を採用した。強度の管理材齢を56日とした場合の調合は、表-8に示す。

5. 2 試験練り

試験練りの結果を表-9に示す。A社、B社とも材料分離のない所要のフレッシュ性状を満たすコンクリートが製造できた。また、圧縮強度は管理材齢で56日で所要の強度以上であることが確認できた。

表-7 調合一覧

《A社》(高炉セメントB種使用、最大粗骨材寸法20mm)

調合強度	スランプ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	σ (N/mm ²)	調合強度×1.18
18	15	69.4	46.0	163	235	2.5	21.2
21	15	63.4	44.9	163	257	2.5	24.8
22.5	15	60.4	44.3	163	270	2.5	26.6
24	15	57.0	43.6	163	286	2.8	28.3
18	18	96.5	47.6	171	246	2.5	21.2
21	18	63.3	46.5	171	270	2.5	24.8
22.5	18	60.4	45.9	171	283	2.5	26.6
24	18	57.0	45.2	171	300	2.8	28.3

《B社》(高炉セメントB種使用、最大粗骨材寸法20mm)

調合強度	スランプ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	σ (N/mm ²)	調合強度×1.18
18	15	63.4	47.3	160	253	2.45	21.2
21	15	59.1	46.4	160	271	2.45	24.8
22.5	15	57.2	46.0	160	280	2.45	26.6
24	15	55.4	45.8	160	289	2.45	28.3
18	18	63.4	47.9	168	265	2.45	21.2
21	18	59.1	47.0	168	285	2.45	24.8
22.5	18	57.2	46.6	168	294	2.45	26.6
24	18	55.4	46.2	168	304	2.45	28.3

表-8 管理材齢56日の場合の調合

調合

No	1	2	3	4	
生コン工場	A社	A社	B社	B社	
設計基準強度(MN/m ²)	24	24	24	24	
管理材齢(day)	56	56	56	56	
スランプ (cm)	15	18	15	18	
Gmax (mm)	20	20	20	20	
セメントの種類	BB	BB	BB	BB	
W/C (%)	60.4	63.3	59.11	59.1	
s/a (%)	44.3	46.5	46.4	47.0	
調合(kg/m ³)	C	270	270	285	
	W	163	171	160	168
	S1	808	838	516	513
	S2			344	342
	G1	1050	997	714	693
	G2			306	297
混和剤	0.878	0.878	0.678	0.713	

表-9 試験練り結果

試験練り

No	1	2	3	4
生コン工場	A社	A社	B社	B社
スランプ (cm)		19		20
スランプフロー		30.5×32.0		32.0×33.0
空気量 (%)		5.2		4.9
コンクリート温度		22		24
塩化物量		0.01		0.02
圧縮強度 (MN/m ²)				
標準水中養生	8日	16.9		18.3
	28日		27.2	30.7
	56日		31.6	32.7
	91日			
現場封緘養生	8日			
	28日		28	29.4
	56日		31.8	31.8
	91日		34.9	34.9

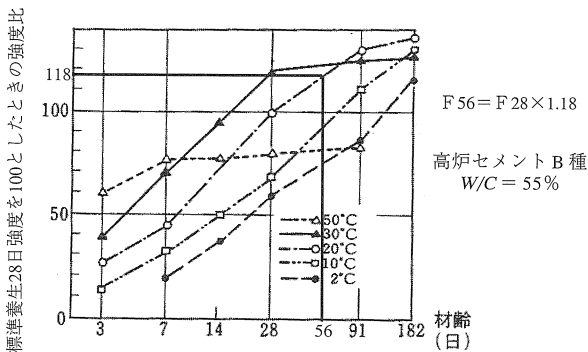


図-1 3 材齢による強度発現

6. 温度予備試験

6. 1 試験概要

本工事でのマスコンクリート打設時期は図-2に示すとおりであるが、冬期に打設する場合、調合強度は予想平均養生温度による補正値を設計基準強度に加えなければならない。この平均養生温度を確認するために、実際の打設時期・部位などの条件に近似した環境設定によるコンクリート部材の温度測定を行った。

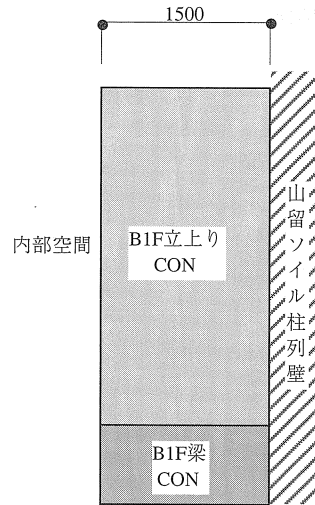
温度補正が必要なマスコンクリートを打設する時期および部位は、11月およびB1F立上り外壁であるので、その条件に近似するモデル試験体を作製し、実工事とほぼ同時期（1年前の同月）に打設を行い、コンクリート部材内の温度測定を行った。

6. 2 モデル試験体

B1F立上り外壁をモデル化した試験体の壁外側は地面に接し、壁内側は外気に接する。また、上下方向と面内横方向は断熱境界と仮定し、断熱養生とした。モデル化した試験体を図-14に示す。図-15に示す部材の7カ所のコンクリート温度と気中温度、断熱材内側・外側の温度を打設後56日間+α間測定した。使用したコンクリートは調合強度を21N/mm²、スランプを18cmとし、セメントには高炉セメントB種を使用した。

6. 3 測定結果

山留側と中央部と表層部の平均を部材の温度と考た平均温度を表-10に示す。表-10の「週平均」は週毎の平均温度を表し、「全平均」は0日からその週までの平均温度を示す。3点の平均温度の全平均（部材の平均養生温度）は4週目までは20℃を上回るが、6週目より温度補正が必要な18℃未満となり、8週目で約14℃となる。これよりこのコンクリートは56日を管理材齢としているので、平均養生温度は14.03℃となり、コンクリートの温度補正は表-11よりT_n = 6 N/mm²となった。ただし、本施工では逆打ち工法を採用したため上部階を先行して打設しており、この打設部位は山留



モデル化

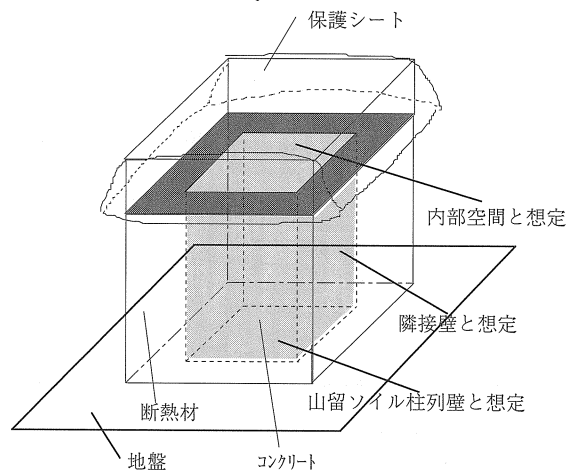


図-1 4 モデル化した試験体

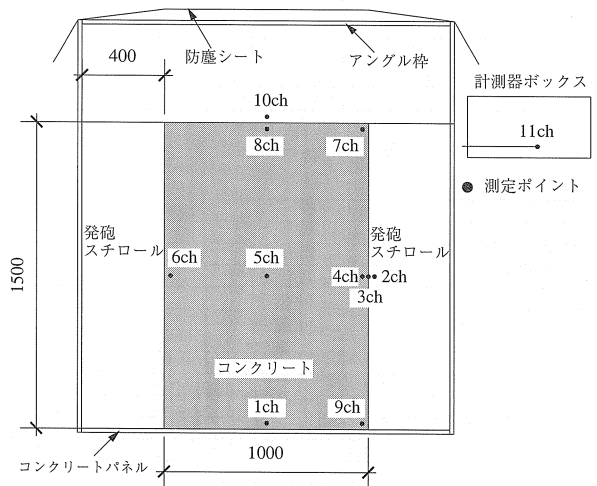


図-1 5 試験体温度測定ポイント

表一 1 0 試験体の温度履歴および平均温度

週	1ch		5ch		8ch		3点平均	
	週平均	全平均	週平均	全平均	週平均	全平均	週平均	全平均
1 週目	35.38	35.38	40.30	40.30	27.07	27.07	34.25	34.25
2 週目	25.10	30.24	27.03	33.66	18.38	22.72	23.50	28.87
3 週目	15.12	25.20	15.33	27.55	11.43	18.96	13.96	23.90
4 週目	10.75	21.59	10.54	23.30	8.45	16.33	9.92	20.41
5 週目	8.62	18.99	8.23	20.29	7.73	14.61	8.19	17.96
6 週目	8.38	17.22	8.09	18.25	7.34	13.40	7.94	16.29
7 週目	8.77	16.02	8.56	16.87	8.66	12.72	8.66	15.20
8 週目	7.62	14.84	7.24	15.52	5.74	11.74	6.87	14.03

(単位 °C)

表一 1 1 予想平均養生温度と温度補正 (高炉セメントB種) J A A S 5 20.3.e より

予想平均養生温度 t (°C)	18 < t	15 ≤ t < 18	9 ≤ t < 15	5 ≤ t < 9
補正值 (MN/m ²)	0	30	60	(90)

壁と上部階により閉ざされた空間となり、環境温度を調整しやすいので、環境温度および部材内部の温度を管理し、環境温度を制御すれば、部材の平均養生温度を15°C以上にし補正値を3 N/mm²とすること(15°C ≤ 平均養生温度 < 18°Cの場合は補正値3 N/mm²)は可能であると判断した。

外壁のコンクリートの調合は調合強度を21N/mm²、スランブは18cmとし、使用セメントは高炉セメントB種とした。

7. B 1 F 側壁温度測定

7. 1 測定概要

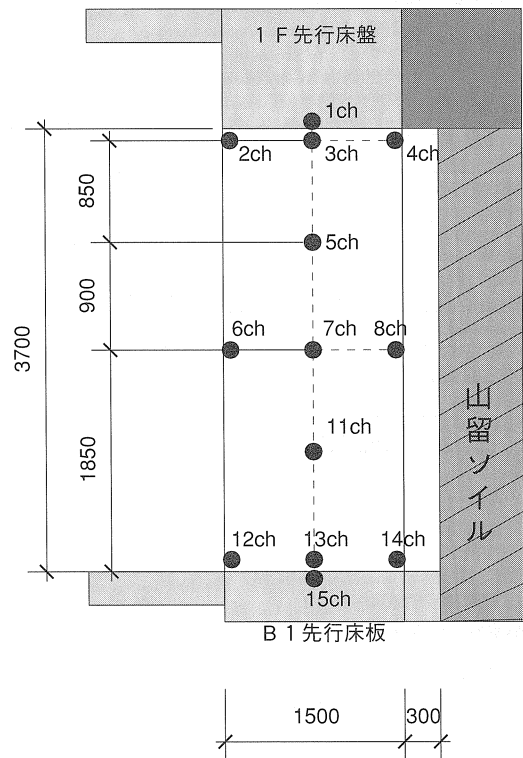
本工事の先行工区のB 1 F側壁1工区の温度解析結果と実際の温度測定結果を比較し、解析条件が妥当であったかの確認を行った。また、表面部と中心部の温度差、温度降下履歴を見ることにより、ひび割れの危険性を読み取り、養生方法、養生期間の決定の参考にした。

さらに、管理材齢中の部材平均養生温度を見ることにより、温度補正の有無が妥当であったかを確認した。

7. 2 測定箇所

B 1 F側壁のマスコンクリートの対象となる部位について温度測定を行った。測定箇所は、F通り、13~14間の中央部(H=3700、W=1500)とF通り、12~13間の打継ぎ部近く(H=3700、W=1500)を測定箇所とした。

測定ポイントは図一 1 6 に示す部材の2断面の内部温度と外気温(B1F内周囲温度)を測定し、測定期間は56日間としたが、外気温と内部温度が同じになる時点で測定を打ち切った。



図一 1 6 B1F側壁温度測定ポイント

8. 実施工

温度応力解析の対策と調合計画をもとにコンクリート構造体を施工するに当たって、次の管理を行った。

- 1) フレッシュコンクリートの品質管理
- 2) コンクリートの強度管理
- 3) 打設方法

コンクリートの品質管理フローを図-18に示す。また、フレッシュコンクリートの検査項目を表-14に示す。

本工事での表-14によるフレッシュコンクリートの検査結果で不合格になったものはなかった。コンクリートの強度管理では使用コンクリートの品質管理と構造体コンクリートの強度確認、型枠支保工脱型時の強度確認を行った。これらの試験方法および管理方法を表-15に示す。構造体コンクリートの圧縮強度検査が不合格となった場合は、管理材齢91日以内に設計基準強度が得られれば合格とすることとした。その結果すべての工区で設計基準強度を満足した。

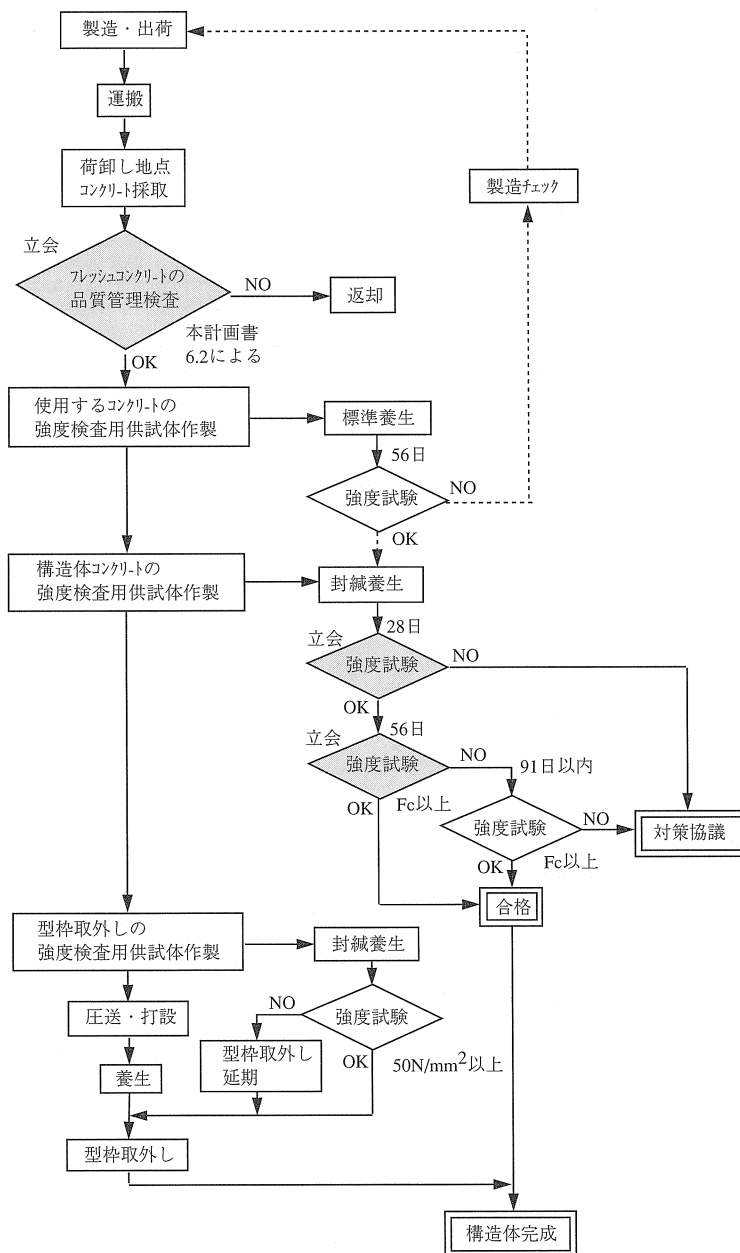


図-18 強度管理フロー

表-14 コンクリートの品質管理試験

試験項目	試験方法	時期・回数	判定基準
スランプ	JIS A 1101による	打設工区、打設日ごとかつ	15もしくは18±2.5cm
空気量	JIS A 1116、JIS A 1118、 JIS A 1128による	150m ³ に1回	4.5±1.5%
単位水量	調査表および製造管理記録による確認	打込み当初 打込み中随時	規定した値
塩化物量	JASS5T-501または JASS5T-502による	1日につき1回以上	0.30kg/m ³ 以下
コンクリート温度	温度計測定による	荷卸し時	35℃以下
時間	練混ぜながら打設終了までの時間を測定	アジテータ車1台に1回	25℃未満-90分以内 25℃以上-60分以内

表-15 コンクリートの強度管理試験

強度試験の目的	供試体の採取				供試体の養生			強度試験試験場所
	採取方法	検査回数	本数	形状	材齢	養生方法	養生場所	
使用コンクリートの品質管理	JIS A 5308	打設工区、打設日ごとかつ	1回につき3本	10φ×20cm	28日 56日	標準養生	生コン工場	生コン工場試験室
構造体コンクリートの強度確認	JASS5T-603	150m ³ に1回	1回につき3本		28日 56日	封緘養生	現場	公的機関
型枠支保工脱型時の強度確認	JASS5T-603	打設工区、打設日ごと	1回につき3本		脱型時	封緘養生	現場	公的機関

打設方法に関しては打設前準備としてコンクリートを打ち込む前に、先行するコンクリートのレイタンスを取り除き表面を粗にし、その上を湿潤状態にしてから打ち込みを行った。また、打設開始時間は温度応力解析の結果から打設温度を下げるために可能な限り早朝打設を行った。計画的に打ち込みを一時中断する際は、あらかじめ場所を定めておき、コールドジョイントを考慮して中断時間を1時間以内とし、打設後の養生温度は外気温が8℃以下となった日は暖風機による養生を行った。

9. まとめ

本工事では地下部のマスコンクリートの打設に当たり、温度ひび割れ対策を解析により検討し、試験練りおよび打設実験により調合を決定し、打設計画を作成した。その結果、有害なひび割れの発生を抑制することができ、実打設時に温度測定を行い、解析結果を検証することができた。

JASS5の改訂によりコンクリートの圧縮強度管理手法が以前より厳しくなっている。今回はコンクリートの発熱量を抑えるため調合強度を24N/mm²から21N/mm²に低減したが今後は、工期と経済性、施工性を考慮したコンクリートの調合管理や強度管理についてさらに検討が必要である。