

5. 技術研究所新築工事における マスコンクリートの温度制御および 高強度コンクリートの品質管理について

加 藤 完 二
立 松 和 彦

要 旨

このたび竣工した技術研究所の構造実験棟の載荷床板・反力壁には、 $F_c = 360 \text{ kgf/cm}^2$ の高強度コンクリートを採用した。部材断面寸法が大きく、また高強度でもあることから温度応力によるひび割れの発生が懸念されたので、マスコンクリートとしての検討を行うと共に、高強度コンクリートとしての品質管理にも厳しい態度で臨んだ。

本報告書は、マスコンクリートを打設するにあたっての事前の解析結果とパイプクーリングの温度制御効果について「1.マスコンクリートの温度制御」で、高強度コンクリートの施工にあたっての強度試験を中心とした品質管理について「2.高強度コンクリートの品質管理」で、それぞれ述べたものである。

キーワード

マスコンクリート／温度応力／パイプクーリング／高性能AE減水剤／温度ひびわれ指数
高強度コンクリート／品質管理

5. TEMPERATURE CONTROL OF MASS CONCRETE, AND QUALITY CONTROL OF HIGH-STRENGTH CONCRETE AT THE CONSTRUCTION SITE OF ASANUMA CORPORATION TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE.

Kanji Kato
Kazuhiko Tatematsu

Abstract

High-strength concrete of $F_c = 360 \text{ kgf/cm}^2$ was placed for the test floor and the test wall of Structural Testing Building. Since the members used in this construction have large sections and high strength, cracking due to temperature stress was suspected, it was required to check the members as mass concrete and impose rigid quality control on them as high-strength concrete.

Section 1 "Temperature Control of Mass Concrete" describes the results of an analysis made before casting mass concrete and the effects of temperature control through cooling pipes. Section 2 "Quality Control of High-Strength Concrete" describes quality control focusing on the strength test executed before constructing the high-strength concrete.

1. マスコンクリートの温度制御

－パイプクーリングの実施－

1.1 はじめに

一般に、マスコンクリートを施工する場合、打設後の部材内部で発生する温度上昇および温度降下に起因する温度応力と外部拘束応力によってひび割れが発生するが、そのひび割れの発生を極力押えるためには、温度解析、温度応力計算、調合の決定、施工方法・養生方法の選定等について様々な対策が必要とされている。しかしこれらについて十分な対策がなされていた時でも、ひび割れが発生することもあり、マスコンクリートの施工については十分すぎるほどの検討が必要だと言われている。

今回、技術研究所の建物のうち、一階構造実験室の載荷床板・反力壁に高強度コンクリート（ $F_c = 360 \text{ kgf/cm}^2$ ）を採用したが、厚みが1 mもあるためマスコンクリートとしての検討が必要であり、またその打設時期が7～9月頃の予定であったため、暑中コンクリートの面からも、温度上昇についてより慎重な検討を行う必要があった。

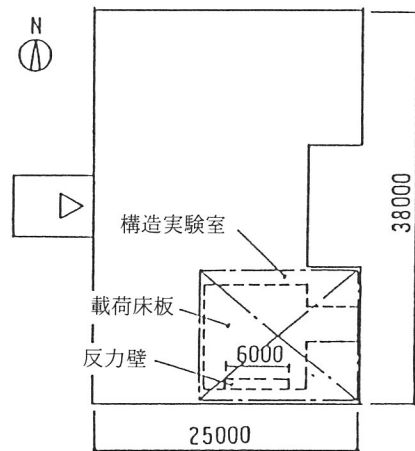
この高強度コンクリートの品質管理については、第2.節で述べるが、ここではマスコンクリートの温度制御について述べる。

1.2 工事概要

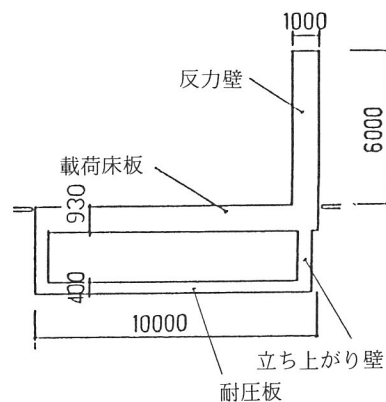
本建物の概要は次の通りである（図－1.1 参照）。

構造 : PRC構造
建築面積 : 951.34 m^2
延べ床面積 : 1680.52 m^2
階数 : 地下1階、地上3階

この建物の中で、構造実験室の耐圧板・立ち上がり壁・載荷床板・反力壁には $F_c = 360 \text{ kgf/cm}^2$ の高強度コンクリートを採用しているが、マスコンクリートの対象となったのは、このうちの載荷床板・反力壁である（図－1.2 参照。）この載荷床板・反力壁には、構造実験の際、試験体等を締めつけるPC鋼棒を通すための鋼製スリーブ管が床板で296本、壁で121本、それぞれタテヨコ500mmピッチで配置されており、また、建物の大梁の一部と載荷床板・反力壁にはプレストレス（ポストテンション）が導入されている。



図－1.1 建物平面概略図



図－1.2 載荷床板・反力壁断面図

1.3 使用材料

今回使用したコンクリートの材料およびその品質は次のとおりである。

セメント : 高炉B種セメント（比重3.03）
（新日鉄化学㈱製）
混和剤 : スランプロス低減型高性能AE減水剤
（SP-9HS：日曹マスタービルダーズ㈱製）
水 : 井戸水
細骨材 : 山砂（京都府城陽産）
粗骨材 : 碎石（大阪府高槻産）

表-1.1 細骨材の試験成績

産 地	寸 法 (mm)	粗粒率	比 重 (絶 乾)	吸水率 (%)	実積率 (%)	単位容積 重量 (kg/m³)	粘土塊量 (%)	洗い試験 (%)	有機不純物	塩化物量 (%)	反応性
(規 定)	---	---	2.5以上	3.0以下	---	---	1.0以下	2.0以下	標準色液 以下	0.04以下	無害で あること
城 陽	5	2.77	2.52	1.75	---	1540	0.14	2.19	合 格	0.001	無 害

表-1.2 粗骨材の試験成績

産 地	寸 法 (mm)	粗粒率	比 重 (絶 乾)	吸水率 (%)	実積率 (%)	単位容積 重量 (kg/m³)	粘土塊量 (%)	洗い試験 (%)	有機不純物	塩化物量 (%)	反応性
(規 定)	---	---	2.5以上	2.0以下	50以上	---	0.25以下	1.0以下	---	---	無害で あること
高 槻	20	6.69	2.67	0.54	58.0	1560	0.07	0.63	---	---	無 害

なお、セメントについては、温度上昇の程度、パイプクリーニングの効果等について、あらかじめ普通ポルトランドセメントと高炉B種セメントとの比較実験を行ったうえで、高炉B種セメントとした。骨材の試験成績を表-1.1、1.2に示す。

1.4 調合計画

(1) 調合の検討

調合計画に際して目標とした点は次のとおりである。

- ① 乾燥収縮によるひび割れの防止、コンクリートの各性状の改善等のため、できるだけ単位水量を小さくする。
- ② 工程を考慮して、可能ならば強度管理材令を28日より延ばして56日または91日とすることにより、単位セメント量を小さくする。
- ③ 粘性の高い高強度コンクリートをポンプ圧送して打設するため、良好な施工性が得られるようその確保に努める。

①および③については、高性能AE減水剤（スランプロス低減型）を使用することにより十分対処可能であった。しかし、②についてはプレストレス（ポストテンション）を導入するため工程上制約され、強度の管理材令を28日より延長することは無理であった。

使用するレーデミクストコンクリート工場は、協組と協議して1工場に限定したが、その工場は高性能AE減水剤を使用した高強度コンクリートの製造経験が無かったため、試験練りを実施することとし、混和剤計量タンクの大型化等、設備的な面からの見直しも行うことにした。

調合強度の算出には、JASS 5.18の式を用い、温度補正0 kgf/cm²、標準偏差はFcの10%の値（36 kgf/cm²）とした。したがって、調合強度は432 kgf/cm²となった。

(2) 水セメント比および調合の決定

生コン工場および当社の材料試験室において試験練りを実施し、また、実プラントを使用しての実験も実施して、水セメント比と強度の関係を求めた。その結果を図-1.3に示す。求められた推定式 $F = -371 + 326 c/w$ より水セメント比は41%となり、その結果、調合を表-1.3のように定めた。なお、練りまぜ時間については、練りまぜ力の比較的強い二軸強制練りミキサを使用しているため、通常のコンクリートと同じ30秒としたが、反力壁については打設が当初の工程より遅れて10月にずれ込んだため、温度補正の意味も兼ねて45秒に延長した。

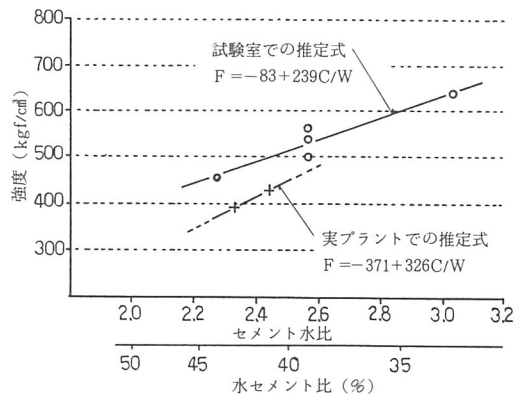


図-1.3 セメント水比-強度 相関図

表-1.3 コンクリートの調合

設計強度 (kgf/cm ²)	呼び強度 (kgf/cm ²)	セメント	目標 スランブ (cm)	目標 空気量 (%)	W/C (%)	S/A (%)	調 合 (kg/m ³)				
							セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
360	360	高炉B種	20	4	41.0	47.0	427	175	776	914	C×1.2%

1.5 温度解析および温度応力解析

(1) 部材最高温度の推定

表-1.3 の調合計画に基づき、Schmidt法により、部材最高温度の推定を行った。

検討条件：使用セメント 高炉B種セメント
 単位セメント量 427 kg/m³
 コンクリート温度 30℃
 (外気温も30℃と仮定)
 部材厚 0.93m (載荷床版)
 1.0 m (反力壁)

コンクリートの断熱温度上昇式

$$T = K(1 - e^{-\alpha t})$$

T：断熱温度上昇量 (℃)

K、 α ：実験定数

t：材令 (日)

e：自然対数の底

計算結果を図-1.4、図-1.5に示す。

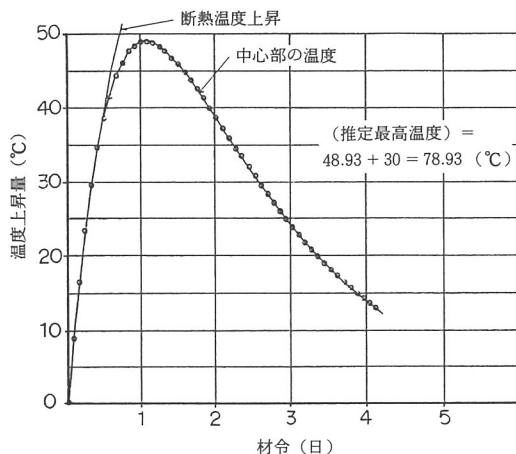


図-1.4 載荷床版断面中心部の推定最高温度

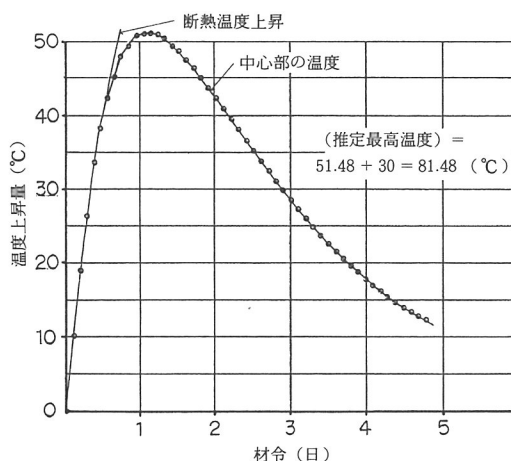


図-1.5 反力壁断面中心部の推定最高温度

(2) 温度応力解析およびひび割れ発生判定

(1)で行った温度解析をもとに、温度応力の解析を行った。温度応力の計算は、下式によって行った。

$$\sigma = \frac{2}{3} \times \frac{\alpha_c \times E_e}{1 - \nu} \times \Delta T_{g, \max}$$

σ ：温度応力 (kgf/cm²)

α_c ：熱膨張係数 ($1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$)

E_e ：材令tにおけるクリープを考慮した有効弾性係数 (kgf/cm²)

ν ：コンクリートのポアソン比 $\nu = 0.167$

$\Delta T_{g, \max}$ ：材令tにおける中心部最高温度と表面部温度との差 (℃)

ひび割れ発生判定は Ft (材令tにおけるコンクリートの引張強度) と σ との大小を比較して判定した。すなわち、温度ひび割れ指数 (Ft/σ) > 1.0 を「ひび割れ発生せず」と判断した。表-1.4、表-1.5にその計算結果を示す。

(これらの計算に用いたコンクリートの圧縮強度、引張強度、弾性係数等の計算式については、付-1に示す)

載荷床板、反力壁いずれの場合も温度ひび割れの発生する可能性が非常に高く、何らかの対策を立てる必要があった。

1.6 施工管理および実測結果

(1) 温度管理目標値の設定

温度ひび割れの発生を抑えるため、載荷床板に打ち込まれた鋼製スリーブ管、反力壁のPCシース管を利用してこれに通水し、打設後のコンクリートの温度上昇を抑制することにした。パイプクーリングの目標温度の設定は、次のように行った。

載荷床板・反力壁とも、温度ひび割れ指数(Ft/σ)が最小となった材令において(Ft/σ)=1.0となるように ΔT を計算したところ、床板・壁とも ΔT は約17℃となった。この値を満足させるためには、最高温度・表面温度双方の温度推移を勘案すると最高温度を60℃程度以下(温度上昇幅で30℃程度)に抑える必要があることがわかった。この時、解析値に対して必要となる温度上昇の抑制幅は22℃程度となることがわかった。

実際の施工に先立ち、

- ①温度解析値の妥当性
- ②粘性の高いコンクリートのポンプ圧送性および作業性
- ③パイプクーリングの効果(温度上昇の抑制幅、コンクリート強度への影響等)

について検討するため、載荷床板の一部を模した実大試験体(通水によるクーリングを実施したもの1体、しなかったもの1体)を用いて①～③の各項目についての実験を行った(写真-1.1 参照)。

その結果、次のことが分かった。

- ①最高温度は解析値より5～6℃低くなり、その時の材令も約10時間移動する(遅くなる)。
- ②スラブ18cmでは、圧送は可能であるが、ポンプ車の機種選定に際し慎重な検討が必要であり、また、配筋が密な場合には充填性・作業性とも若干問題の生じる可能性がある。これらの点を考慮すると、スランプは20cmが適当である。

表-1.4 載荷床板の温度応力解析
(標準養生 $\sigma_7 = 237 \text{ kgf/cm}^2$)

材 令 t (day)	コンクリートの強度				温度差による温度応力						温度 ひび割れ 指数 Ft/σ	判 定
	積算温度	強度比	圧縮強度	引張強度	弾性係数	有効弾性 係数	コンクリート 最高温度	コンクリート 表面温度	温度差	温度応力		
	M ($^{\circ}\text{D} \cdot \text{D}$)	$\frac{\log M}{\log 210}$	σ_c (kgf/cm^2)	σ_t (kgf/cm^2)	E_c ($\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$)	E_e (kgf/cm^2)	maxT ($^{\circ}\text{C}$)	minT ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	σ (kgf/cm^2)		
0.2533	15.1	0.508	120	15.3	1.68	1.12	53.5	40.6	12.9	11.6	1.32	
0.5067	32.8	0.653	155	17.4	1.90	1.27	68.6	45.1	23.5	23.9	0.76	*
0.7601	51.6	0.738	175	18.5	2.02	1.35	76.1	46.6	29.5	31.9	0.58	*
1.0135	70.8	0.797	189	19.2	2.10	1.40	78.9	46.8	32.1	36.0	0.53	*
1.2669	89.8	0.841	199	19.7	2.16	1.08	78.2	46.0	32.2	27.8	0.71	*
1.5203	108.3	0.876	208	20.2	2.21	1.10	76.0	45.0	31.0	27.3	0.74	*
1.7737	126.1	0.905	214	20.5	2.24	1.12	72.4	43.7	28.7	25.7	0.80	*
2.0271	143.2	0.928	220	20.8	2.27	1.13	68.7	42.3	26.4	23.9	0.87	*
2.2805	159.5	0.949	225	21.0	2.30	1.15	64.6	41.0	23.6	21.7	0.97	*
2.5338	175.1	0.966	229	21.2	2.32	1.16	60.8	39.7	21.1	19.6	1.08	
2.7872	190.1	0.981	232	21.3	2.33	1.17	57.1	38.5	18.6	17.4	1.22	
3.0406	204.5	0.995	236	21.5	2.35	1.18	53.9	37.5	16.4	15.5	1.39	
3.2940	218.3	1.007	239	21.6	2.37	1.18	50.8	36.5	14.3	13.5	1.60	
3.5474	231.7	1.018	241	21.7	2.38	1.19	48.2	35.7	12.5	11.9	1.82	
3.8008	244.6	1.028	244	21.9	2.39	1.19	45.7	34.9	10.8	10.3	2.13	
4.0542	257.2	1.038	246	22.0	2.40	1.20	43.7	34.2	9.5	9.1	2.32	
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	

* は、ひび割れ発生の可能性大

表-1.5 反力壁の温度応力解析
(標準養生 $\sigma_7 = 237 \text{ kgf/cm}^2$)

材 令 t (day)	コンクリートの強度				温度差による温度応力						温度 ひび割れ 指数 Ft/σ	判 定
	積算温度 M (°D・D)	強度比 logM log210	圧縮強度 σ _c (kgf/cm ²)	引張強度 σ _t (kgf/cm ²)	弾性係数 E _c (×10 ⁴ kgf/cm ²)	有効弾性 係数 E _e	コンクリート 最高温度 maxT (°C)	表面温度 minT (°C)	温度差 ΔT (°C)	温度応力 σ (kgf/cm ²)		
0.2929	18.1	0.542	128	15.8	1.73	1.15	56.4	41.9	14.5	13.3	1.19	
0.5859	39.3	0.687	163	17.9	1.95	1.30	72.4	46.5	25.9	26.9	0.67	*
0.8789	61.8	0.771	183	18.9	2.07	1.38	79.5	47.7	31.8	35.1	0.54	*
1.1718	84.5	0.830	197	19.6	2.15	1.43	81.5	47.5	34.0	38.9	0.50	*
1.4648	106.7	0.873	207	20.1	2.20	1.10	79.8	46.4	33.4	29.4	0.68	*
1.7578	128.2	0.908	215	20.5	2.24	1.12	76.7	45.1	31.6	28.3	0.72	*
2.0507	148.8	0.936	222	20.9	2.28	1.14	72.5	43.6	28.9	26.4	0.79	*
2.3437	168.4	0.959	227	21.1	2.31	1.15	68.2	42.1	26.1	24.0	0.88	*
2.6367	187.1	0.978	232	21.3	2.33	1.17	63.8	40.6	23.2	21.7	0.98	*
2.9296	205.0	0.995	236	21.5	2.35	1.18	59.8	39.3	20.5	19.4	1.11	
3.2226	222.1	1.010	239	21.6	2.37	1.18	56.0	38.1	17.9	16.9	1.28	
3.5156	238.5	1.024	243	21.8	2.39	1.19	52.7	37.1	15.6	14.9	1.46	
3.8086	254.3	1.036	246	22.0	2.40	1.20	49.7	36.1	13.6	13.1	1.68	
4.1015	269.5	1.047	248	22.0	2.41	1.20	47.1	35.3	11.8	11.3	1.95	
4.3945	284.3	1.057	251	22.2	2.42	1.21	44.7	34.6	10.1	9.8	2.27	
4.6875	298.6	1.066	253	22.3	2.43	1.22	42.8	34.0	8.8	8.6	2.59	
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	

* は、ひび割れ発生の可能性大

③温度上昇の抑制幅は、解析値に対して約28 $^{\circ}\text{C}$ となった。通水量との兼ねあいもあるが、前述の検討での、22 $^{\circ}\text{C}$ のクーリング（温度上昇の抑制）は可能と推察された。コンクリート強度は、材令28日のコア強度と比較した場合、クーリングを実施したものの方が、しないものより約7%高い値になり、この点でもクーリングの効果が認められた。なお、どちらの試験体もクラックの発生は見られなかった。

以上の結果を踏まえて、コンクリート温度の管理目標値を次のように設定した。

- ・コンクリート温度の管理目標値
 - ー最高温度の上昇量を25 $^{\circ}\text{C}$ 以下に抑える。
- ・断面内での温度差
 - ー17 $^{\circ}\text{C}$ 以下を目標とする（ただし、温度管理は最高温度で行う）。
- ・打ち込み時のコンクリート温度
 - ー35 $^{\circ}\text{C}$ 以下とする。

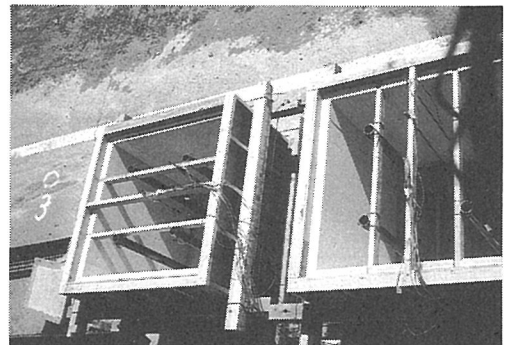


写真-1.1 実大試験体

なお、打ち込み時のコンクリート温度を下げる（プレクーリング）ために、液体窒素や氷を用いる方法についても検討したが、今回の工事では実施しなかった。ただし、生コンプラントに対しては、少しでも練り上がり時のコンクリート温度が下がるように、骨材受け入れ時に冷水（井戸水）を十分に散水するよう協力を依頼した。

(2) 載荷床板のパイプクーリングおよびコンクリート打設

載荷床板のパイプクーリングは、スリーブ管（構造実験の際、P C鋼棒を通して試験体等を締めつけるために用いる）を利用して行った。その概略を図-1.6に、コンクリート打設および打設後のパイプクーリングの状況を写真-1.2、1.3に示す。

コンクリート打設は、8月9日であったが、打ち込み時のコンクリート温度を少しでも抑えるために午前7時半から開始し、120 m^3 を3層に分けて打設した。打設終了は午後2時であった。クーリングのための通水は、打設後のコンクリート表面の状態から判断して、午後3時半に開始した。その後、コンクリートの温度上昇の様子を、同時に打ち込んだ熱電対によってチェックし、また、スリーブ管底部からの水の抜け具合、排水の状況等も点検しながら、コンクリート温度が最高値から5 $^{\circ}\text{C}$ 程度下がった頃を目安にして通水を終了した。通水の終了は8月11日午前8時半で、その間に放水した水の総量は273 m^3 であった。通水終了後はコンクリート面にシートをかけて養生した。

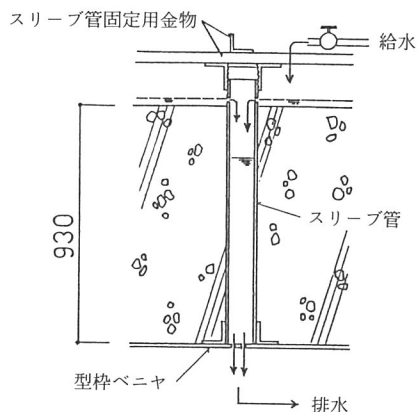


図-1.6 載荷床板のパイプクーリング概略

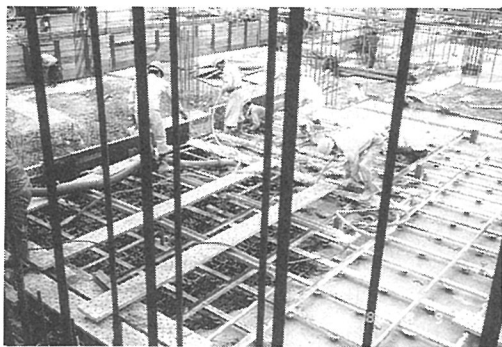


写真-1.2 コンクリート打設

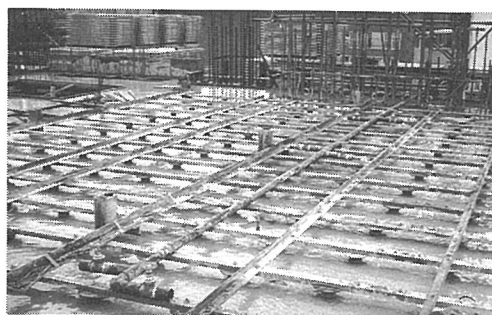


写真-1.3 パイプクーリング用給水管および給水の状況

(3) 反力壁のパイプクーリングおよびコンクリート打設

反力壁のパイプクーリングは、プレストレスを導入するためのP C鋼棒を挿入するP Cシース管を利用した。その概略を図-1.7および写真-1.4、1.5に示す。

コンクリート打設は、10月4日午前9時から開始した。1層の打ち上がり高さを約50 cm として36 m^3 を打設し、打設終了は午後0時半であった。クーリングのための通水は、コンクリートへの水圧の影響を考慮して、午後5時から開始し、翌々日の10月6日午前9時まで行った。水の総量は226 m^3 であった。通水終了後は天端にシートをかけ、材令7日で型枠を解体した後は全面をシートで覆って養生した。

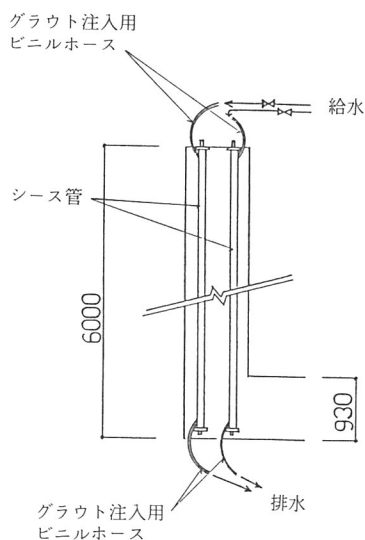


図-1.7 反力壁のパイプクーリング概略

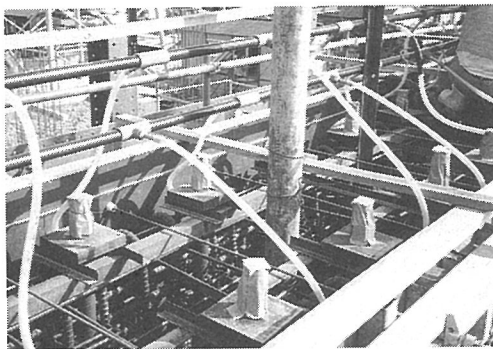


写真-1.4 反力壁上部の配管

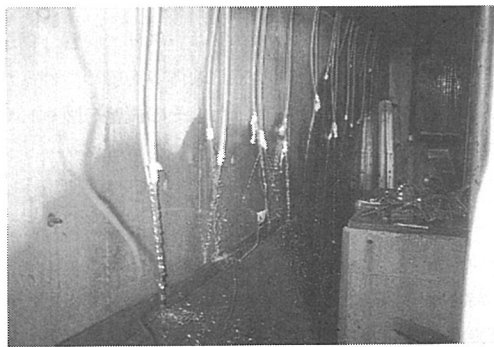


写真-1.5 反力壁下部の水抜き状況

(4) 載荷床板のコンクリート温度実測結果

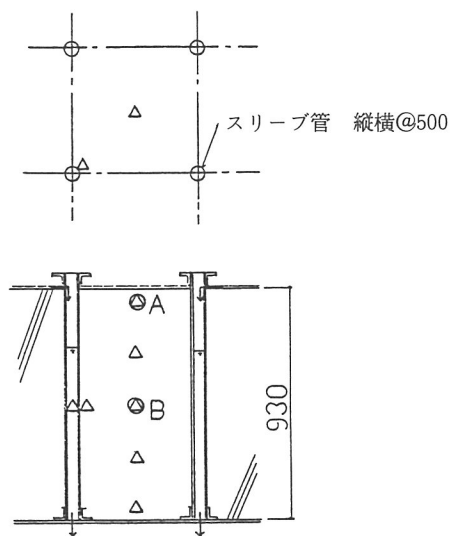
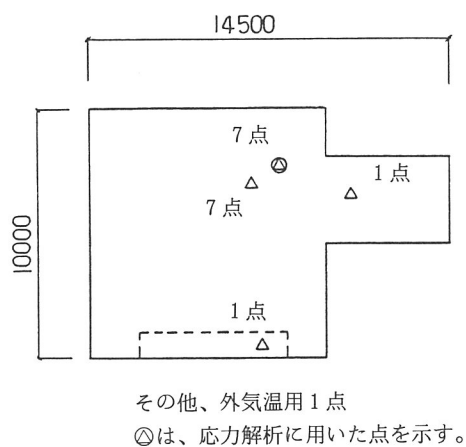


図-1.8 熱電対位置

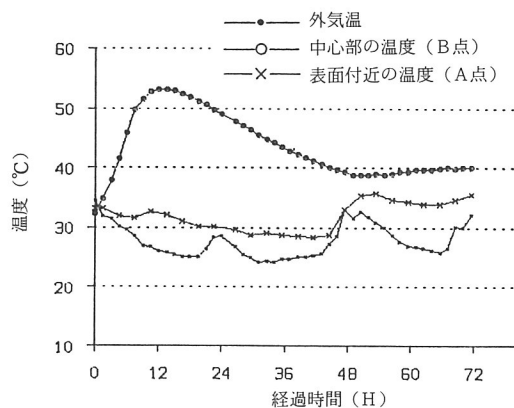


図-1.9 載荷床板温度推移グラフ

載荷床板打設後のコンクリート温度を計測するため、図-1.8の位置にコンクリート打設時に熱電対を打ち込んで温度を計測した。

温度計測の結果は図-1.9に示すとおりである。最高温度の上昇量は約21°Cとなり、1.6 (1)で管理目標とした25°C以下に納まった。この実測結果をもとに、1.5 (2)で行った応力解析を再度行った結果が表-1.6である。表-1.4に比べ、温度ひび割れ指数がかなり改善されており、パイプクーリングの効果がよく現れている。

表-1.6 載荷床板の温度応力解析（実測結果より）
標準養生 $\sigma_7 = 192 \text{ kgf/cm}^2$

材 令 t (day)	コンクリートの強度				温度差による温度応力						温度 ひび割れ 指数 Ft/ σ	判 定
	積算温度 M ($^{\circ}\text{D} \cdot \text{D}$)	強度比 logM log210	圧縮強度 σ_c (kgf/cm 2)	引張強度 σ_t (kgf/cm 2)	弾性係数 Ec ($\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$)	有効弾性 係数 Ee (kgf/cm 2)	コンクリート 最高温度 maxT ($^{\circ}\text{C}$)	コンクリート 表面温度 minT ($^{\circ}\text{C}$)	温度差 ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	温度応力 σ (kgf/cm 2)		
0.1875	8.6	0.402	77	12.3	1.34	0.90	41.4	31.9	9.5	6.8	1.81	
0.4375	21.5	0.574	110	14.7	1.60	1.07	52.8	32.7	20.1	17.2	0.85	*
0.6875	34.6	0.663	127	15.8	1.72	0.86	52.5	31.0	21.5	14.8	1.07	
0.9375	47.1	0.720	138	16.4	1.80	0.90	49.8	30.1	19.7	14.2	1.15	
1.1875	59.1	0.763	146	16.9	1.85	0.92	46.3	28.7	17.6	13.0	1.30	
1.4375	70.8	0.797	153	17.3	1.89	0.95	43.5	28.8	14.7	11.2	1.54	
1.6875	82.1	0.824	158	17.6	1.92	0.96	41.1	28.4	12.7	9.8	1.80	
1.9375	93.5	0.849	163	17.9	1.95	0.98	39.3	33.0	6.3	4.9	3.65	
2.1875	105.3	0.871	167	18.1	1.98	0.99	38.9	35.7	3.2	2.5	7.24	
2.4375	117.1	0.891	171	18.3	2.00	1.00	39.4	34.3	5.1	4.1	4.46	
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	

* は、ひび割れ発生の可能性大

(5) 反力壁のコンクリート温度実測結果

反力壁打設後のコンクリート温度を計測するため、
図-1.10の位置に熱電対を打設時に打ち込んで温度を
計測した。その結果は図-1.11に示す通りである。最
高温度的上昇量は約23 $^{\circ}\text{C}$ となり、管理目標値の25 $^{\circ}\text{C}$ 以

下に納まった。載荷床板の場合と同様に、実測結果か
ら応力計算を行った結果が表-1.7である。何の対策
も実施しない場合（表-1.5）と比べると、パイプクー
リングの効果がよく現れている。

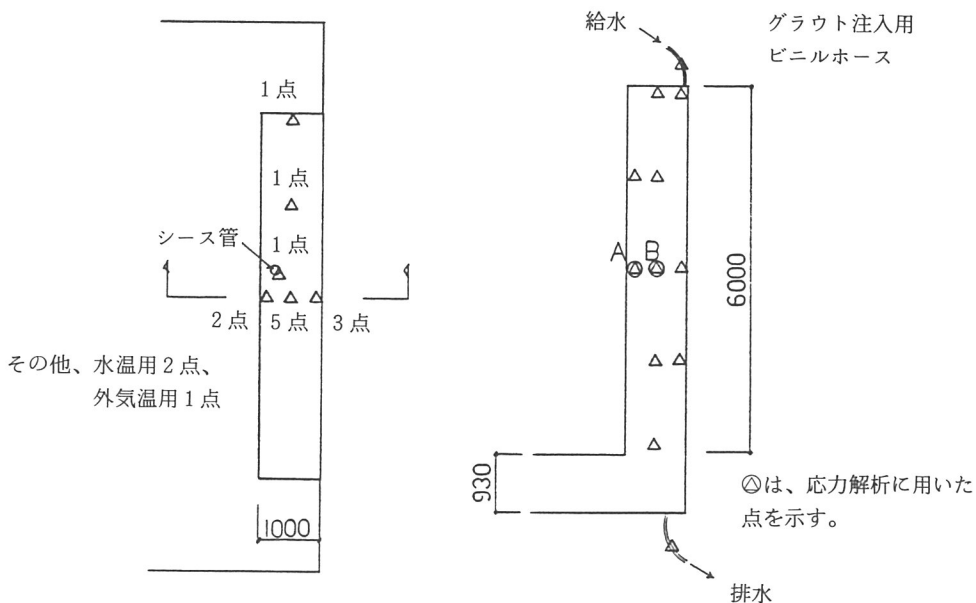


図-1.10 熱電対位置

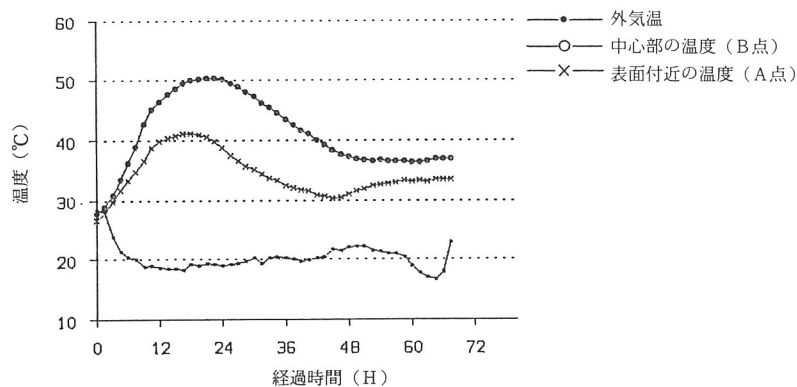


図-1.11 反力壁の温度推移グラフ

表-1.7 反力壁の温度応力解析（実測結果より）
標準養生 $\sigma_7 = 192 \text{ kgf/cm}^2$

材 令 t (day)	コンクリートの強度				温度差による温度応力						温度 ひび割れ 指数 Ft/σ	判 定
	積算温度	強度比	圧縮強度	引張強度	弾性係数	有効弾性 係数	コンクリート 最高温度	コンクリート 表面温度	温度差	温度応力		
	M (°D・D)	$\frac{\log M}{\log 210}$	σ_c (kgf/cm ²)	σ_t (kgf/cm ²)	E_c ($\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$)	E_e ($\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$)	maxT (°C)	minT (°C)	ΔT (°C)	σ (kgf/cm ²)		
0.25	10.7	0.443	109	14.6	1.60	1.07	36.3	33.3	3.0	2.6	5.62	
0.50	23.5	0.590	146	16.9	1.85	1.23	46.4	39.8	6.6	6.5	2.60	
0.75	37.2	0.676	167	18.1	1.98	1.32	49.9	41.2	8.7	9.2	1.97	
1.00	50.9	0.735	182	18.9	2.06	1.03	50.1	38.7	11.4	9.4	2.01	
1.25	63.9	0.777	192	19.4	2.12	1.06	47.2	35.1	12.1	10.3	1.86	
1.50	76.1	0.810	200	19.8	2.16	1.08	43.4	32.5	10.9	9.4	2.11	
1.75	87.6	0.836	207	20.1	2.20	1.10	40.1	30.9	9.2	8.1	2.48	
2.00	98.7	0.859	212	20.4	2.23	1.11	37.4	31.1	6.3	5.6	3.64	
2.25	109.9	0.879	217	20.6	2.25	1.13	36.8	32.7	4.1	3.7	5.57	
2.50	121.1	0.897	222	20.8	2.28	1.14	36.5	33.2	3.3	3.0	6.93	
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	

1.7 あとがき

今回の載荷床板・反力壁の工事では、温度応力によるひび割れの発生が当初から予測されたため、コンクリート中に打ち込まれるスリーブ管やシース管を利用してパイプクーリングを行う方法を考え、その事前検討から実施結果に至るまでの経過を述べてきた。

温度解析・応力解析については、略算法で行ったため、実際の結果とは若干の差異が生じたが、これは断熱温度上昇式の係数、境界条件、強度発現の仮定などいろいろな要素がからみ合っているからだと考えている。また、パイプクーリングの効果をあらかじめ適切に評価して通水量を決める方法も考えてみたが、水の

循環やその他様々な要因を考慮して検討することは現実的になり難いため、結局、コンクリートの部材最高温度のみをチェックするという方法をとらざるをえなかった。また、通水によるクーリングを行う場合は水の供給能力・処理能力にも大きく左右されることもわかり、この点からの検討も重要であったと思う。

施工した結果から振り返ってみると、載荷床板・反力壁ともに、パイプクーリングの実施により温度上昇をかなり抑制することができ、危惧された温度ひび割れの発生もほとんど見られなかったことで一応の成果が得られたものと考えている。

付－１）コンクリートの力学的性質

- ・圧縮強度――各材令での推定温度あるいは実測温度をもとに、積算温度（M）を計算する。基準となる強度（標準養生の7日強度を基準にする）に対し、 $(\log_{10} M / \log_{10} 210)$ の強度比により若材令での圧縮強度（ $\sigma_c(t)$ ）を推定する。すなわち、 $\sigma_c(t) = (\text{強度比}) \times (\text{標準養生 } \sigma_7)$ となる。
- ・引張強度（ $\sigma_t(t)$ ）―― $\sigma_t(t) = 1.4 \times \sqrt{\sigma_c(t)}$ により求める。
- ・弾性係数（ $E_c(t)$ ）―― $E_c(t) = 1.53 \times 10^4 \times \sqrt{\sigma_c(t)}$ により求める。
- ・有効弾性係数（ $E_e(t)$ ）、クリープ特性――クリープ係数（ ϕ ）を、温度上昇時：0.5、温度降下時：1.0として、有効弾性係数を
 $E_e(t) = (1 / (1 + \phi)) \times E_c(t)$ により求めた。
- ・ポアソン比（ ν ）―― $\nu = 1 / 6 = 0.167$ とする。

参考文献

- ・マスコンクリートのひび割れ制御指針：日本コンクリート工学協会
- ・藤本、田村、飛内、セメント技術年報 38、p254（1984）

2. 高強度コンクリートの品質管理

2.1 はじめに

近年の都市集合住宅の高層化に伴って、鉄筋・コンクリートの高強度化も次第に進み、現在ではRC造の30階建超高層集合住宅も実現している。そして、さらに高強度化、高層化へ向けての研究開発が展開されている。この中で、高品質な高強度コンクリートをいかに確実に施工するかが重要なテーマとしてあげられている。

今回、当研究所の建設工事において、構造実験室の載荷床板・反力壁等に、 $F_c = 360 \text{ kgf/cm}^2$ の高強度コンクリートを採用した。JASS 5の適用範囲内の高強度コンクリートではあるが、基礎資料を蓄積する良い機会でもあり、その製造から施工にいたるまでに行った品質管理について一応の成果が得られたので、ここにその内容を述べる。

2.2 工事概要

（省略：1.2に同じ）

2.3 コンクリート工事

- (1) 調査計画
- (2) 使用材料
- (3) 水セメント比の決定
- (4) 試験打設

以上、1.と内容が重複するので省略する。

(5) 試験の種類

フレッシュコンクリートの試験は、スランプ、空気量などについては、全車荷卸し時に行い、製造時、ポンプ筒先においても適宜行った。また、生コン車1台ごとの強度の変動を把握するため、それぞれ1本ずつテストピースを採取した。試験項目、頻度、管理値について、表－2.4に示す。

表－2.4 試験項目

項 目	頻 度	管 理 値
スランプ	全車、荷卸し地点で測定する。 出荷時およびポンプ筒先においても適宜測定する。	$20 \pm 1.5 \text{ cm}$
空気量		$4 \pm 1.0 \%$
フロー		―――
温度		―――
水セメント比推定	打設日毎、一回程度測定する。	計画調査＋3％以下
塩化物量		0.30 kg/m^3 以下

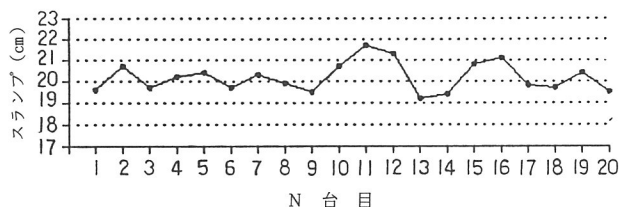


図-2.4 スランプ試験結果（8月9日）

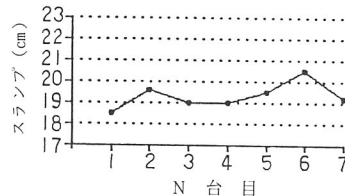


図-2.6 スランプ試験結果（10月4日）

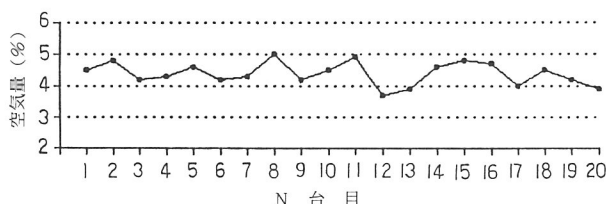


図-2.5 空気量試験結果（8月9日）

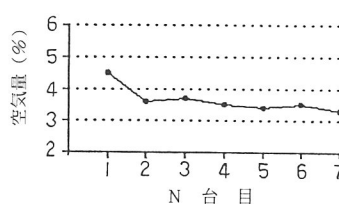


図-2.7 空気量試験結果（10月4日）

(6) 施工時の品質管理

生コン工場から現場までの走行時間は平均15分であり、到着後、打設終了までの時間は生コン車1台当たり、載荷床板で平均15分、反力壁で平均35分であった。表-2.5、2.6に、各試験項目についての結果を示す。また、スランプおよび空気量についての測定結果を図-2.4～図-2.7に示す。スランプ、空気量とも規格を大きく外れるものはなかった。載荷床板の打設（8月9日）では、ポンプ筒先でのスランプロスが若干懸念されたが、平均で1 cm程度であり、施工性に影響を及ぼす程ではなかった。打設時のコンクリート温度は、平均で、載荷床板：32℃（8月9日）、反力壁：26℃（10月4日）であった。

(7) 強度管理

強度の管理基準は、J I S A 5308およびJ A S S 5.18にならい次式によることとした。

レデーミクストコンクリート

（1回の試験結果） $\geq 0.85 \times$ （呼び強度）

（3回の平均） $\geq$ （呼び強度）

構造体コンクリート

（1回の試験結果） $\geq 1.10 \times$ （設計基準強度）

打設数量が少ないため、レデーミクストコンクリートについては、載荷床板（120㎡）で2回、反力壁（36㎡）で1回の試験を行い、合わせて1ロットと考えることにした。

構造体コンクリートについては、それぞれの打設区画ごとに判断することとした。これらの結果を表-2.7に示す。また、鋼製型枠によるダミー供試体（45×45×30 cm）を、打設区画ごとに作成し、コアを採取して強度の比較を行った。その結果を表-2.8に示す。

レデーミクストコンクリート、構造体コンクリートとも、強度の管理基準値を上回っている。反力壁打設時に作成した供試体によるダミーコアの強度が、かなり低い値となっているが、打設後の養生が不十分であったことや、外気温の低下等により強度発現が遅れたものと思われる。

また、荷卸し時に各生コン車から1本ずつ採取したテストピースについての強度、標準偏差は図-2.8のようになった。試料数が少ないことと、打設日毎の強度の変動があるため、統計的処理をするのはかなり強引ではあるが、正規分布をしていると仮定して母集団の不良率を計算すると約7.5%となった。この値は、高強度コンクリート（JASS 5.18）の調査計算の際に設定する不良率2.3%と比べると高い値になっている。この原因としては、調査計画時に水セメント比を若干大きめに設定したことや、8月9日分の供試体（19本）についてはこの19本だけを軽量モールドを使用して供試体を作成したことなども要因の1つとして考えられる。

表-2.5 各項目の試験結果（8月9日）

N 台 目	スランプ (cm)	フロー植 (mm×mm)	空 気 量 (%)	温 度 (℃)	備 考 ^{注)}
1	21.8 19.6	350×340 354×353	4.8 4.5	30.5 31.5	プラント出荷時
2	20.7	364×308	4.8	31.5	塩化物量 0.007kg/m ³
3	19.7 19.2	325×330 335×325	4.2 4.2	31.5 32.0	水セメント比 40.0% ポンプ筒先
4	20.2	326×312	4.3	32.0	
5	20.4	358×347	4.6	32.0	
6	19.7 17.9	322×307 270×269	4.2 3.9	32.0 32.0	ポンプ筒先
7	20.3	330×318	4.3	32.0	
8	19.9	340×343	5.0	32.0	
9	19.5 21.0	358×350 340×380	4.2 4.7	32.0 33.0	ポンプ筒先
10	20.7	345×328	4.5	32.0	
11	21.7	397×394	4.9	32.0	
12	21.3 20.2	398×397 334×336	3.7 4.6	32.5 32.0	ポンプ筒先
13	19.2	320×310	3.9	32.0	
14	19.4	329×331	4.6	33.0	
15	20.8 20.3	355×345 320×340	4.8 4.7	32.0 33.0	ポンプ筒先
16	21.1	380×405	4.7	32.5	
17	19.8	326×323	4.0	32.5	
18	19.7	356×327	4.5	33.0	
19	20.4	372×391	4.2	32.5	
20	19.5	351×311	3.9	32.0	
	19.5	351×311	3.9	32.0	

注) 1.プラント出荷時、ポンプ筒先以外はすべて荷卸し地点

2.塩化物量は検知管による測定

3.水セメント比は比重計法による推定

表-2.6 各項目の試験結果（10月4日）

N 台 目	スランプ (cm)	フロー植 (mm×mm)	空 気 量 (%)	温 度 (℃)	備 考 ^{注)}
1	18.0 18.5	280×270 290×280	4.6 4.5	25.0 25.0	プラント出荷時 塩化物量 0.009kg/m ³
2	19.6 19.5	345×320 370×370	3.6 3.4	26.0 26.0	水セメント比 37.0% ポンプ筒先
3	19.0	330×300	3.7	26.0	
4	19.0 19.5	330×310 315×310	3.5 3.6	26.0 27.0	ポンプ筒先
5	19.5	330×325	3.4	26.0	
6	20.5 19.5	370×380 345×340	3.5 3.3	27.0 27.0	ポンプ筒先
7	19.2	350×330	3.3	27.0	

注) 1.プラント出荷時、ポンプ筒先以外はすべて荷卸し地点

2.塩化物量は検知管による測定

3.水セメント比は比重計法による推定

表-2.7 強度試験結果 (kgf/cm²)

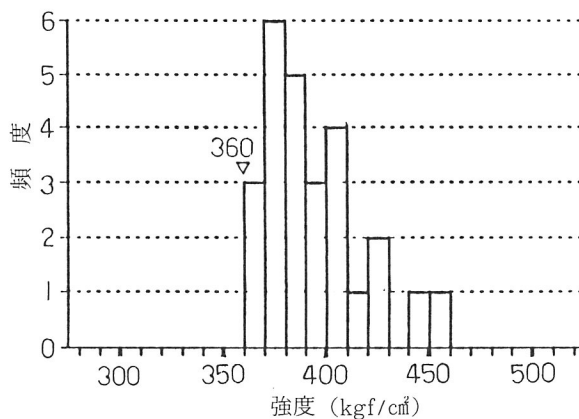
項 目	材 令	1 週		4 週		13 週	
レデーミクスト コンクリート	〔1〕 8月9日 (午前)	2 3 7	2 3 7	3 3 5(*)	3 7 8 400(**)	5 0 3	5 1 1
		2 3 3		3 9 5		5 1 7	
		2 4 1		4 0 4		5 1 4	
	〔2〕 8月9日 (午後)	2 3 4	2 3 6	4 2 0	4 2 6	— —	— —
		2 3 8		4 3 2		— —	
		2 3 7		4 2 5		— —	
	〔3〕 10月4日	2 5 5	2 4 7	4 5 3	4 5 4	5 2 2	(14週) 5 1 4
		2 3 9		4 5 2		5 0 9	
		2 4 6		4 5 6		5 1 1	
構 造 体 コンクリート	載荷床板:8月9日	2 3 6	2 3 6	4 0 1	4 2 2	4 4 9	4 5 8
		2 3 2		4 3 1		4 4 1	
		2 4 1		4 3 4		4 8 4	
	反力壁:10月4日	2 2 8	2 3 4	3 9 1	3 9 7	4 9 7	(15週) 5 1 4
		2 3 4		3 9 2		5 1 3	
		2 3 9		4 0 7		5 3 3	

(*) キャッピング不良による。

(**) キャッピング不良分を除いた値

表-2.8 ダミーコア強度 (kgf/cm²)

項 目	材 令	4 週		13 週	
ダミーコア コンクリート	載荷床板：8月9日	4 1 6	4 3 0	4 0 1	4 5 8
		4 2 8		4 5 2	
		4 4 7		5 2 2	
	反力壁：10月4日	3 0 7	3 0 1	4 0 5	3 8 9
		2 9 2		3 8 4	
		3 0 4		3 7 8	



データ数 26
 平均値 394kgf/cm²
 標準偏差 24kgf/cm²
 8月9日分(19本)の平均 382kgf/cm²
 10月4日分(7本)の平均 424kgf/cm²

図-2.8 強度試験ヒストグラム

2.4 あとがき

高強度コンクリートについては今まで実験室内での経験しかなく、実際の工事でまとまった量のコンクリートを打設するのは今回が初めてであった。しかも今回は高性能A E減水剤を使用した高強度コンクリートに加え、マスコンクリートであったこともあり、その品質管理にはやや不安もあったが、比較的満足できる結果を得ることができた。しかし、打設数量がそう多くなかったこともあり、この結果だけで結論を引き出すのは相当の無理があると思っている。また、施工性についても、考えていた以上にコンクリートの粘性が高かったので、この点を十分に考慮に入れた上で施工方法について慎重に検討しておくことが必要であると感じた。その他にも、基本的な物性や耐久性など検討しておくべき項目がいくつかあるが、これらの点についても、今後各方面で高強度コンクリートが使用され、データが蓄積されていくことにより次第に明らかになってくるものと考えている。

最後に、いろいろと御協力いただいた北摂生コン、当社作業所をはじめ関係各位の方々に深く御礼申し上げます。