

3. 簡易な方法で蒸気養生したP Ca 梁内の温度分布に関する調査

崎山和隆 立松和彦
吉野 弘^{*1} 宮崎 真^{*1}

要 旨

一般に、プレキャストコンクリート部材の製造は、サイクル工程を速めるため、コンクリートを加熱養生して初期強度を増進する方法を採用している。固定工場においては養生槽または特殊な断熱シートを用いて養生を行っているため、その雰囲気温度も一定、かつ均一なものとなっているが、サイト工場の場合は、簡易な養生方法で蒸気養生している例が多く、そのため所定のコンクリート品質が確保できない場合がある。

本報告は、簡易な養生方法でコンクリートの加熱養生を行った時、その温度分布の推移とコンクリート強度に与える影響等について調査した結果とその考察について述べたものである。

キーワード

プレキャスト／高強度コンクリート／蒸気養生／温度分布／ホットコンクリート

目 次

1. はじめに
2. 実験方法
3. 測定結果と考察
4. まとめ

3. SURVEY ON TEMPERATURE DISTRIBUTION INSIDE A PRECAST CONCRETE BEAM STEAM-CURED IN A SIMPLIFIED METHOD

Kazutaka Sakiyama Kazuhiko Tatematsu
Hiroshi Yoshino Makoto Miyazaki

Abstract

Precast concrete members are generally manufactured by heat-curing for enhanced initial strength to speed up cycle processes. Constant and uniform ambient temperatures are available in a stationary plant, since curing tanks or special heat-insulating sheets are used there. In a site plant, however, some prescribed concrete quality may not be secured, because simplified steam-curing is employed.

We conducted an experiment of heat-curing concrete with a simplified curing method, and hereby report on the results of our examinations of the transition of temperature distribution and the effect on concrete strength, and on our considerations of the findings.

^{*1} 東京本店プレハブ工場

1. はじめに

プレキャストコンクリートの製造では加熱養生による強度促進が、製造計画上の重要な事項であり、脱型時、所要の強度が発現できているか否かによって製造工程が決定される。養生温度とその温度分布は、以後の強度の増進に大きな影響を与えるもので、特に、高強度コンクリートにおいては、長期強度の確保、品質の安定という点で、十二分の注意が必要である。固定工場で、養生槽により加熱養生する場合は、雰囲気温度も一定であり、保温状態も良いが、サイト工場のように簡易な養生方法による場合は、温度の逸散および不均一が予想されるので、今回サイト工場を想定した生産方式・養生方法によって、実物大のP Ca 梁を製造し、その脱型に至るまでのコンクリート内部の温度分布とその経時変化について調査した。以下にその結果を述べる。

2. 実験方法

2.1 コンクリートの種類と調査

コンクリートの種類としては、プラント工場を持つ場合のホットコンクリートおよび常温コンクリートと、生コン工場から搬入されたレデーミクストコンクリートの3種類とした。コンクリート強度は高強度化の傾向に対応して $F_c = 420 \text{ kgf/cm}^2$ の高強度コンクリートとし、スランプは、ホットコンクリートでは8cm、レデーミクストコンクリートで18cm、12cmの2種類とした。その調査を表-1に示す。

表-1 コンクリートの種類と調査

種 類	調査強度 (kgf/cm^2)	設計強度 (kgf/cm^2)	スランプ (cm)	W/C (%)	S/A (%)	C (kg/m^3)	W (kg/m^3)	S (kg/m^3)	G (kg/m^3)	混和剤 種 類
ホット コンクリート	490	420	8	41.3	46.0	400	165	812	1081	ボリス SP-8N
常温 コンクリート	525	420	88	40.0	45.0	400	160	800	1110	
レデーミクスト コンクリート	558 557	420 420	18 12	35.0 35.0	42.9 41.4	465 432	165 151	726 726	980 1045	SP-9HS AE775S

2.2 試験体の製作

試験体は実物大のハーフP Ca 梁とし、その形状寸法を図-1に示す。試験体は、コンクリート種類毎に2体ずつ、計6体とした。製作時期は冬季(2月)であった。鉄筋は、主筋に高強度太径鉄筋(SD 40, D38)を、せん断補強筋に異形P C鋼棒(SBPD 130/145)を使用した。鉄筋量は主筋がコンクリート全断面に対して2.7%、せん断補強筋が0.6%である。コンクリ

ートの打込みは仕上面から行い、翌日脱型をし、脱型後は、屋外ストック場での現場気乾養生とした。

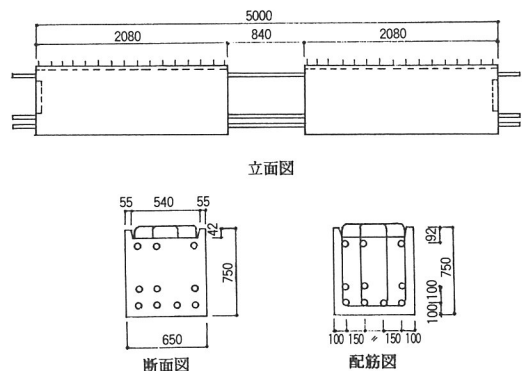


図-1 試験体の形状寸法

2.3 圧縮強度

コンクリートの圧縮強度試験用供試体は、JIS A 1132によって製作し、寸法は $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$ 、供試体の数は同一条件の試験に対して3個とした。供試体の養生はP Ca 部材と条件を同一にするため、加熱養生・ストック共に圧縮試験直前までP Ca 部材の側に置いておく。なお、標準養生の供試体は、P Ca 部材と共に加熱養生を行い、脱型後は恒温槽内で水中養生とした。圧縮強度試験はJIS A 1108により行った。

2.4 コンクリートの加熱装置と養生方法

加熱装置は図-2に示すような要領で配置した。また、加熱は生蒸気を放出して行い、その養生温度を以下のように設定した。

- ① 加熱開始はコンクリート打込み後2.5時間
 - ② 養生温度の上昇および下降勾配は 20°C/h 以下
 - ③ 最高養生温度は 60°C とし、その保持時間(加熱養生時間)は3時間
 - ④ 養生時間の合計はコンクリート打設後15時間
- 養生は、一般に行われているように定盤(ベッド)およびP Ca 部材をシートで被い保温を行った。保温シートはサイト工場を想定して、特殊な断熱シートを使わずに通常、作業所で使用する防災シートを、単層で使用した。

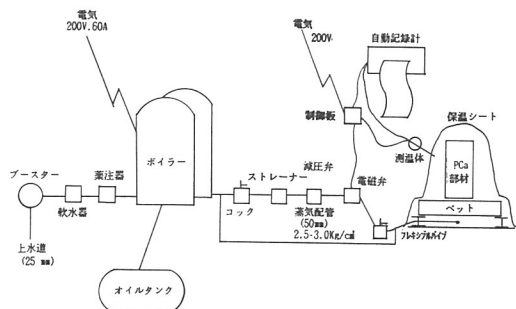


図-2 加熱装置

2.5 測定方法

温度測定はP Ca 部材内部に設置した熱電対（銅・コンスタンタン）により行い、測定点はP Ca 部材中央で上部、中央部および下部とした。また、雰囲気温度はP Ca 部材の上部とシート間に設置した熱電対で、外気温は加熱の影響を受けない距離に設置した熱電対で測定を行った。

測定は、コンクリートを打設した直後から30分間隔で脱型直前まで行った。その測定機器の配置と試験体の測定点およびその記号を図-3に示す。

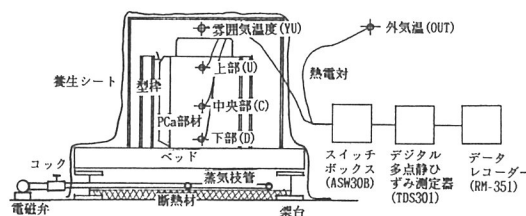


図-3 測定機器と測定点

3. 測定結果と考察

3.1 硬化コンクリートの圧縮強度

フレッシュコンクリートの荷卸し時試験の結果を表-2に、硬化コンクリートの圧縮試験結果を表-3に示す。

P Ca 材の脱型は、コンクリート打設の翌日で圧縮強度が 150 kgf/cm^2 以上あることを目標としたのであったが、脱型時に試験した表-3の結果によると何ら問題は無い。次に硬化したコンクリートの材令1週、4週における圧縮強度は表-3に示すように材令1週で設計基準強度、材令4週で調合強度に近い強度発現が得られ、強度の増進については良好な性状を示した。標準養生を行ったものとの比較では、加熱養生の方が、材令4週で約4～8%程度の強度低下を示した。

表-2 フレッシュコンクリートの荷卸し時試験

No.	種類	打設日	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	フロー値 (cm×cm)
1	ホット	H1.2.22	6.5	2.2	38.0	20×20
2	コンクリート	2.25	9.3	2.3	37.0	20×20
3	常温	H2.1.31	10.5	2.3	14.0	—
4	コンクリート	2.6	8.7	2.6	17.5	—
5	レデーミスト	2.22	18.2	2.8	20.0	32×32.5
6	コンクリート	3.1	12.2	4.7	19.5	23×23.5

表-3 硬化コンクリートの圧縮強度
()内は標準養生

No.	種類	脱型時 (kgf/cm²)	1週 (kgf/cm²)	4週 (kgf/cm²)
1	ホット	222	431	511
2	コンクリート	213 (413)	422 (413)	492 (511)
3	常温	215	422 (421)	528 (551)
4	コンクリート	220	446	550
5	レデーミスト	353	440 (474)	542 (574)
6	コンクリート	285	384 (457)	510 (553)

3.2 ホットコンクリートの場合の温度履歴

ホットコンクリートの温度履歴を図-4、図-5に示す。雰囲気温度（記号YU）は非常に不安定となっているが、それは熱の逸散、分布の不均一のためと推測される。一方、コンクリート内の経時による推移は緩慢であり、保温状態が良好なことを示す。温度分布については中央部（記号C）が高く、下部（記号D）、上部（記号U）の順に低くなっている。この傾向は、他の種類のコンクリートについても同様であり、上部からの熱の逸散が大きかったことを示している。

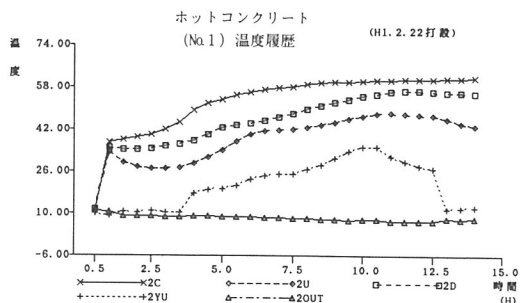


図-4 ホットコンクリート（No.1）の温度履歴

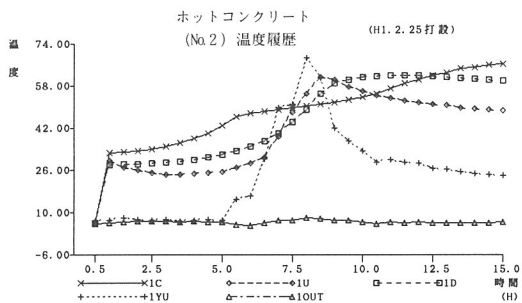


図-5 ホットコンクリート (No. 2) の温度履歴

3.3 常温コンクリートの場合の温度履歴

図-6、図-7は、加熱時期を変えてコンクリートの打込み後12時間経ってから脱型直前まで加熱を行った結果である。製造時の外気温が低いこともあって、コンクリート内部の温度は低くなっている。これは、加熱の時期が早い場合の方が熱の伝達効果が大きく、脱型直前の加熱は、有効でないことを示している。しかし、圧縮強度については良好な結果が得られているので、脱型時の強度さえ確保できれば、40℃程度のコンクリート温度で長期にわたって所要強度の確保が可能なが分かる。

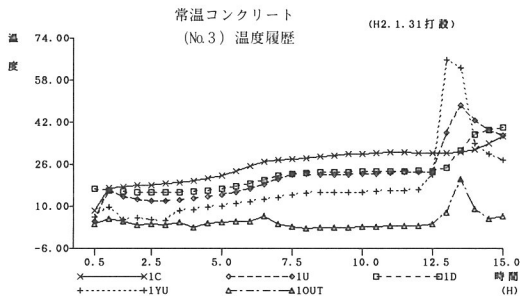


図-6 常温コンクリート (No. 3) の温度履歴

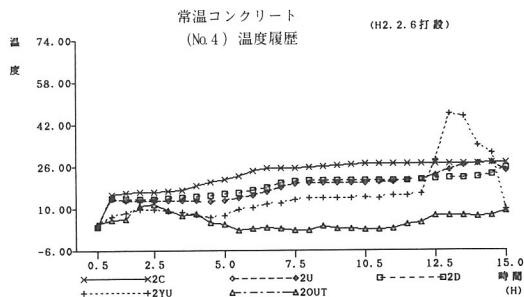


図-7 常温コンクリート (No. 4) の温度履歴

3.4 レデーミクストコンクリートの場合の温度履歴

図-8、図-9によるとホットコンクリート、常温コンクリートと同様、雰囲気温度が不安定であり、熱の逸散があったことが推測される。

コンクリート内温度の経時による推移、分布は良好であることが認められた。

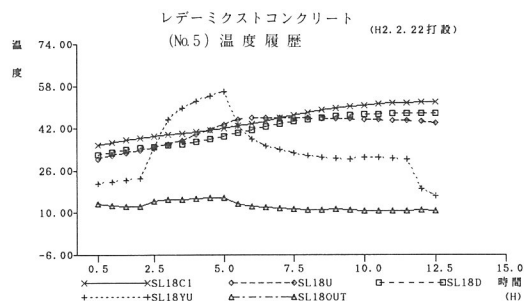


図-8 レデーミクストコンクリート (No. 5) の温度履歴

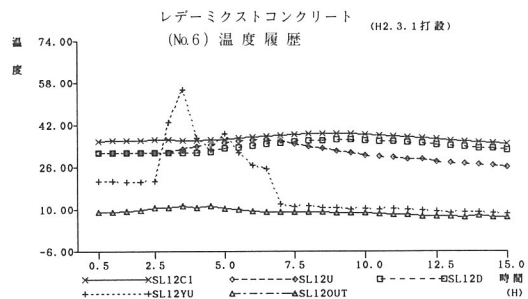
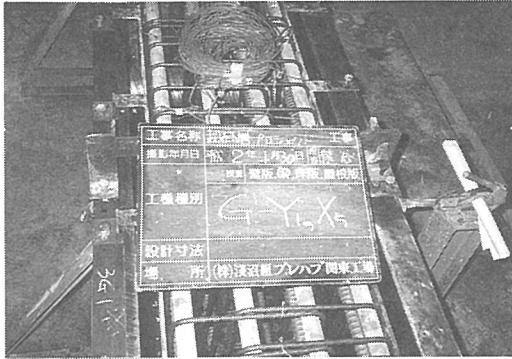


図-9 レデーミクストコンクリート (No. 6) の温度履歴

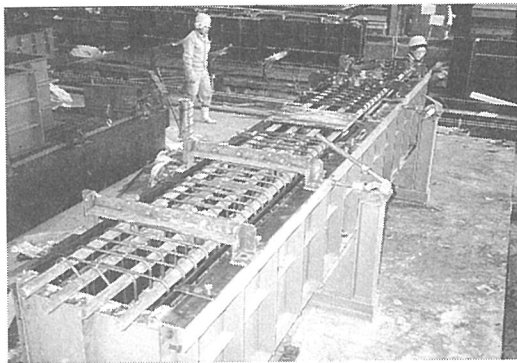


先組鉄筋



熱電対（銅－コンスタンタン）

度についてはその勾配の上昇、下降共急でかつ不安定であることから他の物性への影響も考えられ、保温シートは断熱性の高いものを多層にするなど、熱の逸散を防ぐ措置が必要と考える。



鉄筋・型枠の組立て

4. まとめ

本調査結果より概略次のことが分かった。

- ① コンクリートの脱型時強度および脱型以後の強度共、強度の増進は良好な推移を示しており、材令4週ではほぼ調査強度に達した。しかし、標準養生したものに比べて4週強度は若干小さく、長期強度の増進が小さい傾向にある。
- ② コンクリート内温度の時間的な温度推移は外気温、雰囲気温度に関係なく、高低の変化が緩やかで連続しており、コンクリート内部の保温状態は良好であったと考える。
- ③ 測定点間の温度差は、最大で15℃程度であり小さく、概して、中央部が高く、上部が低くなっている。これは保温シートから熱の逸散が大きいと、その影響がでたためと推測される。
- ④ ①項、②項で述べたように圧縮強度、コンクリート内温度共、その推移は良好であったが、雰囲気温度