

(2) コンクリート製品養生室の 自動制御システムについて

化学部有機化学科 佐藤 孝
不二コンクリート(株)大分事業所工場長 島田 俊昭

1. はじめに

プレキャスト製品とはあらかじめ管理された工場に於て、所定の形状、品質の均一の製品を加工して現場で組立てると定義されています。

コンクリート製品の品質におよぼす最も大きな要因であるのが養生であり、今回は蒸気養生の方法と製品の品質の関係を解析し、均一な製品を作ることを目的とした。

多品種小量生産では色々な手法を用いて管理を行っています。従来養生室の管理は人の勘と経験によって行なわれていることが多く製品の品質を一定の範囲内に収める事は非常に困難である。

その為に、養生室内の温度分布・製品の種類や量等に応じた最適な蒸気養生の方法を検討するためのモデル養生室を設置し、蒸気養生の条件（製品の種

類・量・外気温等）に応じた養生方法を検討し自動養生システムの実用化に向けての実験を行なったので報告する。

なお今回の実験は不二コンクリート(株)大分工場の既設の養生ラインにモデル養生室を設置し、蒸気養生の影響を最も受けやすく蒸気の消費量が多い冬季における結果である。

2. モデル養生室の設計と設置

(1) モデル養生室の概略

本モデル養生室は温度計・調節計等を組合せパソコンで測定や制御を行えるように独自で設計したシステムであり、ソフトの開発により、温度分布の測定及び蒸気の噴き出しの制御が可能な機能を備えたものである。(図-1を参照)

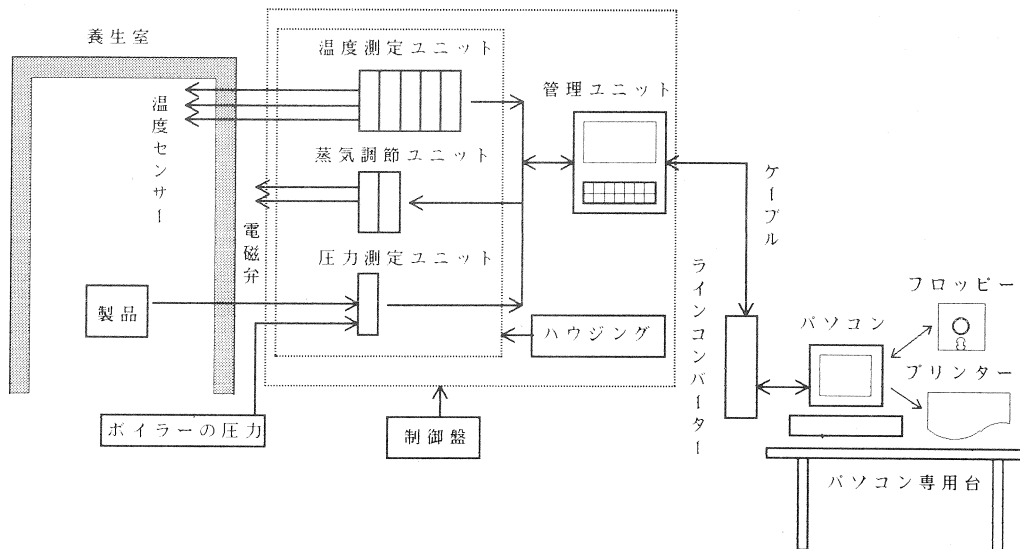


図1 モデル養生室の概略

(2) モデル養生室内の設置

養生室（幅4m・高さ3.5m・奥行き5.5m）の内側に断熱材（発泡PVC5mmシート）を貼り、温度分布用センサー27本（天井下50cmに9本 中段に9本 床上50cmに9本）と製品内部用センサー2本を設置した。配管については天井・上段・中段・下段の4方向から独立した蒸気噴き出しが可能なように各電磁弁を取り付けた。（図-2参照）

(3) 測定及び制御に関するシステムについて（図-3 システム概略図参照）

パソコン・プリンター・ディスプレイ及びラインコンバーターは事務所に、制御盤と配電盤は現場（養生室の裏）に設置した。ラインコンバーターと制御盤の間100mを専用ケーブルで接続した。

養生室の裏に設置した。ラインコンバーターと制御盤の間100mを専用ケーブルで接続した。

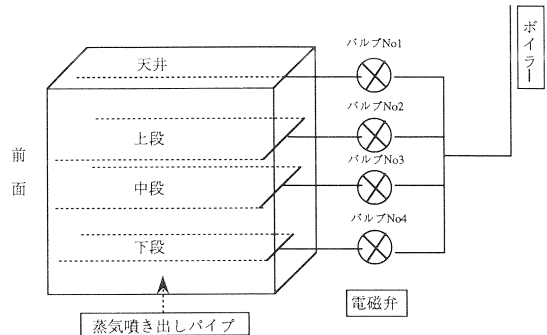


図-2 養生室配管概略図

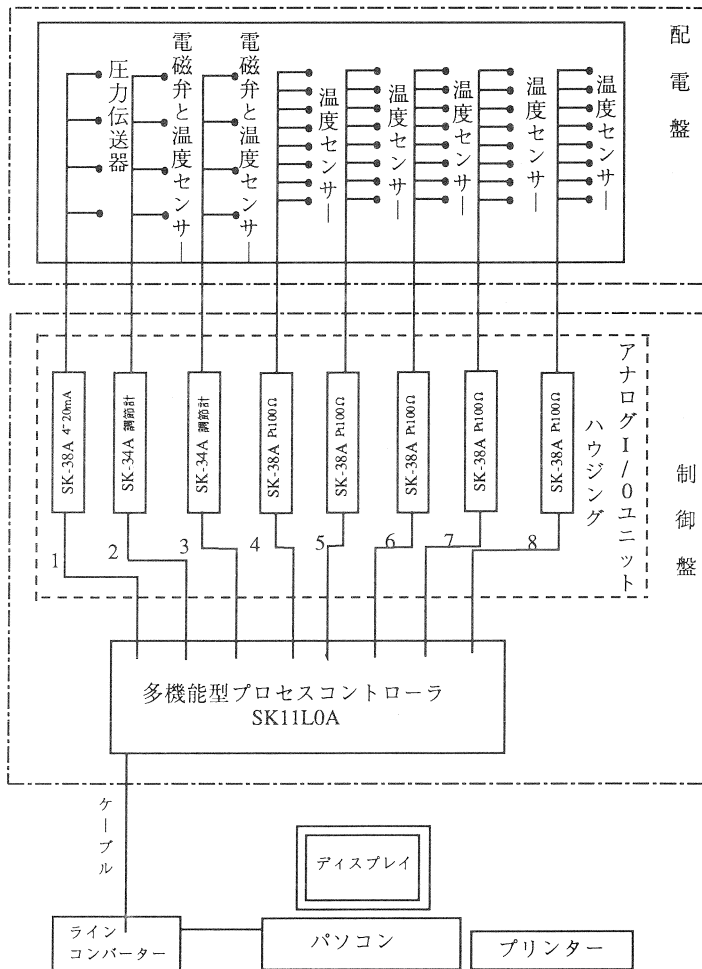


図-3 システム概略図

制御盤には多機能型プロセスコントローラーとアナログ I/O ユニット 8 個で構成した。各計器類の機能は次のとおりである。

プロセスコントローラー (SK11LOA) は各 I/O ユニットの制御し、データの読み込み・設定及び外部への出力を行うもので、ラインコンバーターと接続されている。

I/O ユニット (SK-38A4~20mA) はセンサーからのデータ (電流値) を読みとるものでボイラーの圧力センサーと接続している。

I/O ユニット (SK-34A 調節計) は温度センサーで検知した温度と設定値を比較し、ON・OFF の信号を出力するもので、電磁弁の開閉と電灯の点灯に使用している。

I/O ユニット (SK-38APt100Ω) は温度センサーから温度を読みとるもので、1 ユニットで 8 個のセンサーを接続できる。

以上 8 個の I/O ユニットは 1 個のケース (ハウジング) に納めている。

配電盤は温度・電磁弁・圧力等のセンサーと I/O ユニットの接続をしている。

ラインコンバーターは、プロセスコントローラーの信号 (RS422) をパソコン用信号 (RS232C) に変換するものである。

温度センサーの設置場所は、1~27 番は養生室内、28~29 番は製品の内部、30~31 番は外気の各温度測定に使用している。

圧力伝送器はボイラーに直接取付た。

3. 実験方法

(1) プログラムの開発

プログラムの作成は BASIC (MS-DOS) で行なった。パソコンと多機能プロセスコントローラーとのデータの通信プログラムを作成し、温度測定を行い、常時養生室内の温度分布や養生経過が判るようなプログラムの作成をした。バルブ等の制御については実験結果にもとずき開発改善を行なった。

(2) 蒸気の噴き出し方法与室内温度の関係

蒸気噴き出し配管の位置を 4 箇所を設定し (図-2 参照) その噴き出し方法による室内の温度分布の

影響や製品の詰め込み量・外気温度・による昇温等を調べた。

(3) 蒸気養生時間と製品の品質

度時 (蒸気養生時間と温度の積分值) と製品の品質について調べた。品質検査の測定項目は圧縮破壊強度をで判断し、最適な蒸気養生の方法を求めた。

4. 実験結果と考察

(1) プログラム作成

このプログラムは実験結果にもとずき改善を繰り返し作成したものである。(図-4 フローチャート参照)

準備：プロセスコントローラーとの通信準備・ルーチンの初期化・画面表示の準備・データの FDD への書き込み準備等をする。

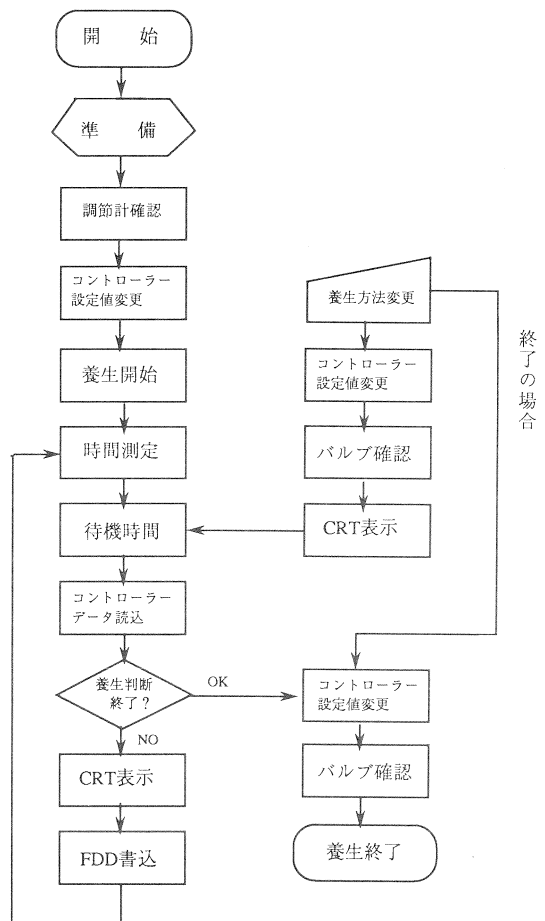


図-4 フローチャート

調節計確認：各電滋弁対応する温度設定値が現在の温度より高い温度であれば「開（ON）」であり、低ければ「閉（OFF）」となる。即ち、温度設定値が“-50”℃であれば「閉”100”℃であれば「開」である。全てが“-50”℃であることを確認する。

コントローラー設定値変更：各電滋弁の温度設定値を送信する、電滋弁No.1（現場の赤色灯）”100”℃・電滋弁No.2（上段バルブ）”-50”℃・電滋弁No.3（中段バルブ）”-50”℃・電滋弁No.4（下段バルブ）”65”℃とする。即ち、現場の赤色灯は「ON」・上段・中段バルブ「閉」で、下段バルブは65℃になるように設定を行う。

養生開始：各設定値をプロセスコントローラーに伝送することによって、働き蒸気を噴き出し、蒸気養生が開始し、現場の赤色灯を点灯する。

時間測定：開始時刻及び養生時間を計算する。

待機時間：1分間隔で各種データを読むため待機する。

プロセスコントローラーからのデータ読み込み：各I/Oユニットのデータを読み込み（温度・バルブの状態・ボイラー圧力等）数値データに編集をする。

養生判断：度時の計算を行いあらかじめ設定された養生（度時200）を行い、養生の終了を判断する。終了の時は右方の終了操作を行いそれ以外は下のCRT表示へ行く。

CRT表示：養生室内温度の分布・最高最低温度・バルブの状態・蒸気養生の進行状態等を表示する。

FDD書き込み：各種のデータをフロッピーに書き込み「時間測定」に行く。

養生判断で養生が終了（OK）の場合

プロセスコントローラー設定値変更：電滋弁No.2～4の温度設定値に“-50”℃を送信する。即ち全てのバルブ「閉」とする。

バルブ確認：全てのバルブが閉じていることを確認し、プロセスコントローラー設定値電滋弁No.1の温度設定値に“-50”℃を送信し現場の赤色灯を消す。

養生終了：プログラムを終了する。

途中で養生方法を変更または強制終了する場合

養生方法変更：バルブ（電滋弁）の番号を入力し、

強制的に「開」・「閉」又は「自動」を選択する。終了の場合は終了操作に行く。

コントローラー設定値変更：入力されたバルブの設定値を「開”100”℃・「閉”-50”℃・「自動”65”℃に変更する。

バルブ確認：変更後のバルブの状態を確認する。

CRT表示：画面のバルブの状態を表示する。

(2) 蒸気の噴き出し方法と室内温度の関係

図-2の配管で蒸気の噴き出し方法と養生室内27点の温度上昇を調べた結果は図-5～10のとおりであった。尚、天井の配管は養生開始時に水を噴き出し、製品が駄目になることがわかったので、以後天井配管は使用しないこととした。

図-5は下段バルブのみからの噴き出しである。図-6は下段と中段バルブからの噴き出しである。図-7は下段と中段と上段3箇所のバルブからの噴き出しである。

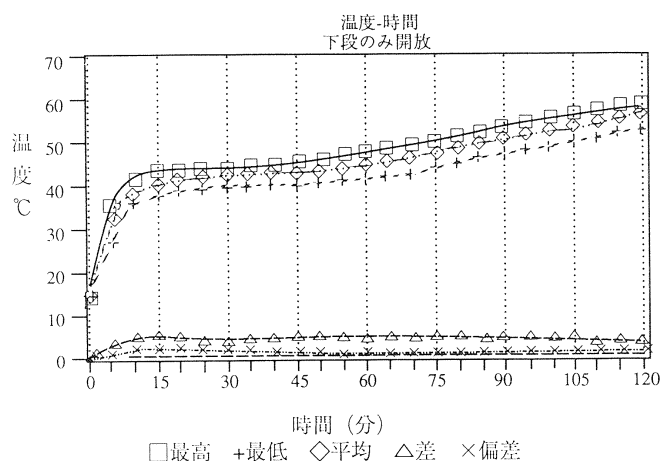


図-5

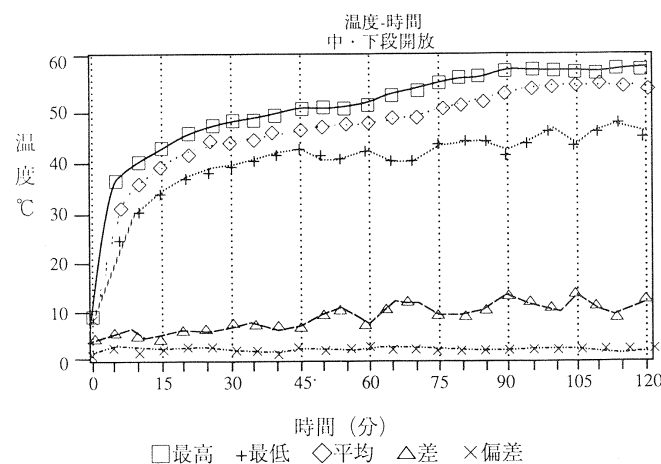


図-6

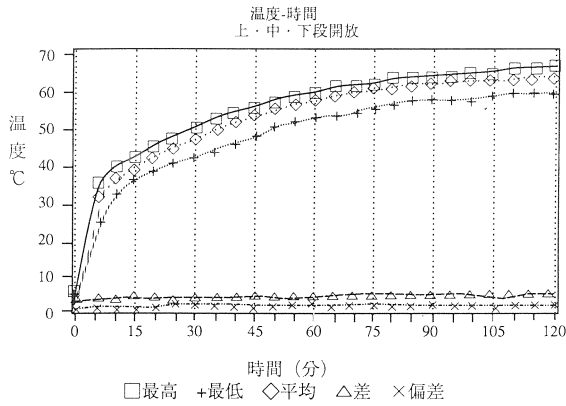


図-7

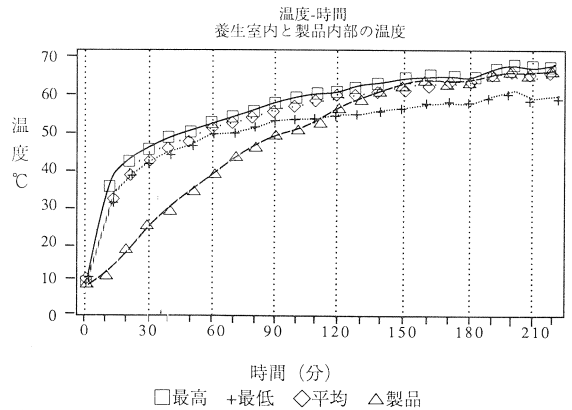


図-10

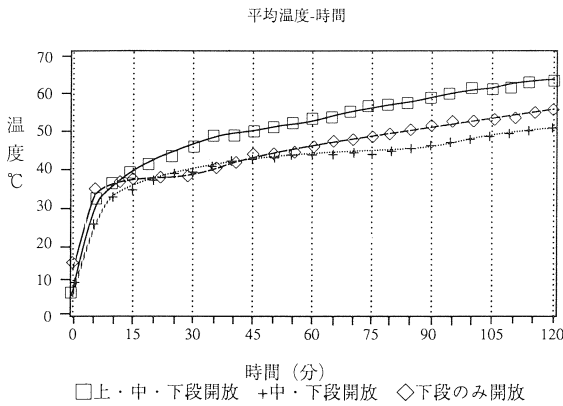


図-8

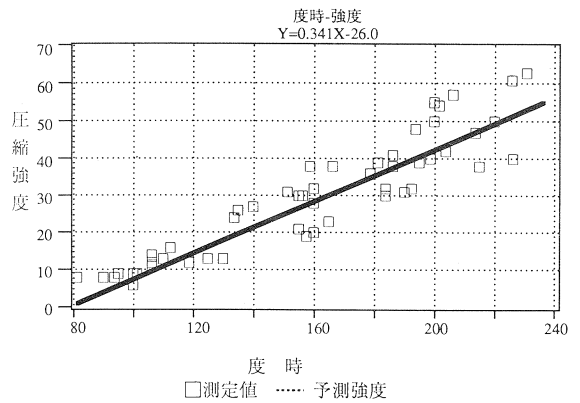


図-11

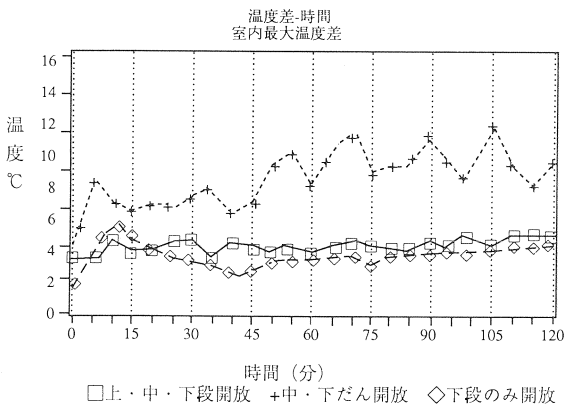


図-9

図-8は図-5～7の平均温度を示すもので、上・中・下段の3ヵ所からの噴き出しは中段と下段及び下段のみでの噴き出しに較べ昇温速度は早かったが中段・下段及び下段のみの噴き出しでは室内平均温度の上昇速度は変わらないことがわかった。

図-9は室内の最高と最低温度の差をグラフで表示したものである。上段・中段・下段及び下段のみのバルブからの噴き出し方法では温度差が5°C以下であり温度分布は非常に良いことがわかった。温度上昇速度は遅いが蒸気の節約を考慮して今後の実験は下段バルブのみの噴き出しで実験を行なうこととした。

図-10は最低温度を示す前面下部の製品の内部温度を測定したもので、120分～150分後には室内温度より高くなることがわかった。

表-1 度時と強度（テストピース）の関係
（2個の平均値）

実験回数	圧縮強度 Kgf/cm ²	度時	実験回数	圧縮強度 Kgf/cm ²	度時
1	10.2	105	26	14.0	109
2	8.9	99	27	21.6	133
3	21.6	165	28	22.9	135
4	20.4	155	29	31.8	160
5	29.3	188	30	29.1	155
6	30.5	190	31	47.1	194
7	39.4	225	32	49.6	200
8	38.2	214	33	8.9	100
9	7.6	90	34	8.9	95
10	7.6	94	35	38.1	165
11	29.2	156	36	38.1	160
12	30.6	150	37	52.2	201
13	38.2	181	38	53.4	205
14	39.4	185	39	61.1	230
15	47.1	213	40	59.8	225
16	48.3	220	41	11.4	118
17	6.3	99	42	11.4	108
18	6.3	80	43	18.5	157
19	12.7	131	44	19.3	160
20	12.7	125	45	30.0	183
21	28.0	159	46	28.0	183
22	25.4	140	47	52.6	200
23	35.6	180	48	40.1	198
24	36.9	185	49	41.0	202
25	11.5	105	50	39.8	195

(3) 蒸気養生時間と製品の品質

蒸気養生終了後では、脱型及び運搬に耐えるだけの強度が必要である。脱型時の強度に及ぼす要因について、度時・外気温・配合・スランプ・養生する製品の量等の要因が考えられる。配合・スランプは常に一定であり、外気温・製品の量については蒸気養生時の温度上昇速度が変化するだけである。それで度時による影響が最も大きいことがわかったので、度時を測定し蒸気養生終了の時期を判断することとした。今回は度時と強度の関係をテストピース（圧縮強度）について行なった

実験は養生室内で常に最低温度を示す前面の下部の温度で度時の計算を行い、試験用試料（テストピース）も前面の下部で養生を行なった。その結果は表-1のとおりであった。

蒸気養生の終了時期は従来現場の担当者の経験と勘とによっていたので、テストピースの強度と担当者の意見などを検討した結果、テストピースの強度が40Kgf/cm²以上あれば蒸気養生は充分であり製品の脱型が可能であることがわかった。図-10は度時とテストピースによる強度の関係を示したもので、強度40Kgf/以上になるには度時200で良いことがわかった。

表-2 養生終了時の
テストピース
の強度
（2個の平均値）

実験回数	圧縮強度 Kgf/cm ²
1	38.1
2	39.9
3	45.2
4	42.3
5	63.5
6	61.1
7	52.8
8	49.6

表-3 製品の曲げ破壊強度
(4個の平均値)

実験回数	養生終了時 Kgf	材令14日 Kgf
1	960	2,280
2	1,020	2,320
3	1,000	2,530
4	950	2,460
5	1,060	2,410
6	960	2,320
7	980	2,400
8	1,000	2,450
9	1,080	2,310
10	980	2,540

尚、強度 (Y) と度時 (X) の実験による関係式は

$$Y = 0.341X - 26.0$$

となり相関計数は0.84であった。

温度の制御方法については温度は、条件の一番悪い前面の下部を使用することとし温度65°Cで制御することとした。度時については実験の結果にもとずき200とし、度時200で養生を終了する事とした。

5. おわりに

以上の実験の結果を参考にして、プログラムの作成を行い、実際の養生実験を行なった。表-2は養生終了時のテストピースの圧縮試験の結果であり40 Kgf/cm²までの養生が行なわれている。

表-3は製品 (U字溝300B) について養生終了時と14日後の曲げ破壊強度を測定したものである。養生時間は冬季の実験で外気温度が低かったことと、他の養生室の養生と重なり蒸気の噴き出し量等が変化したため3時間30分～4時間30分とばらつきは大きかった、しかし製品の強度に於ては非常に安定しており、品質の均一化に大きく寄与できた。

最後に今回の実験に指導していただいた丸山巖氏・兼田護氏 (大分高専)・三浦昭正氏 (日本文理大学) 各先生及び不二コンクリート(株)大分工場の担当者に、厚くお礼を申し上げます。