

# 二次製品研究会実験結果報告

全国コンクリート製品協会 東北支部

## プレキャストコンクリート製品の早期劣化に影響を及ぼす製造的要因の研究

### 1. 概要

東北地方における歩車道境界ブロック等のプレキャストコンクリート製品の一部には、凍結融解による早期劣化が見られる場合がある。凍害劣化に及ぼす影響要因には、コンクリートの品質に関するものとして、使用材料、配合、並びに養生などの製造方法があり、これに荷重、気象、化学物質の作用などの環境条件等が加わることから、凍害劣化の挙動は複雑なものとなる。

今回の実験では、東北地方整備局東北技術事務所における既往の実験結果から、製造的要因として空気量及び蒸気養生温度を取り上げ、凍結融解抵抗性に与える影響を検討した。また、凍結防止剤の散布が行われている場合の早期劣化の特徴としてスケーリング劣化があることから、塩分環境下におけるスケーリング抵抗性に与える影響についても検討した。

#### (1) 空気量の影響

空気量が凍結融解抵抗性に影響を及ぼす要因であることは明らかである。一般に凍害を受けるおそれのある製品には、A E コンクリートを用いるが、製造工場では、振動締め固めによって成形することが殆どで、締め固め後の空気量の減少は避けられない。これにより、振動時間と空気量ロスとの関係を明確にして、締め固め後の空気量を変動させた3水準の供試体を作製した。

#### (2) 蒸気養生温度の影響

一般のプレキャスト製品は、常圧蒸気養生(以下、蒸気養生)を行い製造されることになるが、蒸気養生の工程において、養生槽内温度は、温調器及びセンサー等により制御されているが、蒸気排出口付近等については、同一養生槽内であっても、高温となってしまうことが考えられる。これにより、同一養生槽内に、“標準部”及び蒸気排出時に供試体に直接蒸気が当たる“高温部”を設置して養生を行ない、コンクリートへの影響を検討した。

### 2. 使用材料及び配合

使用材料の主な品質を表1に、コンクリートの配合を表2に示す。

表1 使用材料の主な品質

材料	種類	密度(g/cm <sup>3</sup> )	備考
セメント	普通ポルトランドセメント	3.16	比表面積：3260cm <sup>2</sup> /g
細骨材	石巻市桃生町檜崎産砕砂	2.64	吸水率：1.56% 粗粒率：2.81%
粗骨材	石巻市桃生町檜崎産砕石 2005	2.70	吸水率：0.86% 粗粒率：6.75%
混和剤	高性能減水剤 レボルト 2440	1.18	高縮合トリアジン系化合物
	A E 剤 マクシア-202	1.05	変性ロジン酸化合物

表2 コンクリートの配合

設計基準強度:30 N/mm<sup>2</sup>

スランブ cm	空気量 %	W/C %	s/a %	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
8.0±2.5	5.5±1.5	45	42	153	340	759	1071	3.40

### 3. 練混ぜおよび養生方法

コンクリートの練混ぜには、実機 0.5m<sup>3</sup>の一軸強制練りミキサを使用し、練上がったコンクリートは、スランプ、空気量、温度を測定して所要の条件を満たしていることを確認した。養生方法は、常圧蒸気養生とし、標準部において、前置き時間を 2 時間、昇温速度 20 /hr、最高温度 60 で 2 時間保持できるように温調器を設定した。供試体の脱型は、養生開始から 24 時間経過してから行った。“標準部”と“高温部”におけるコンクリート温度の履歴を図 1 に示す。

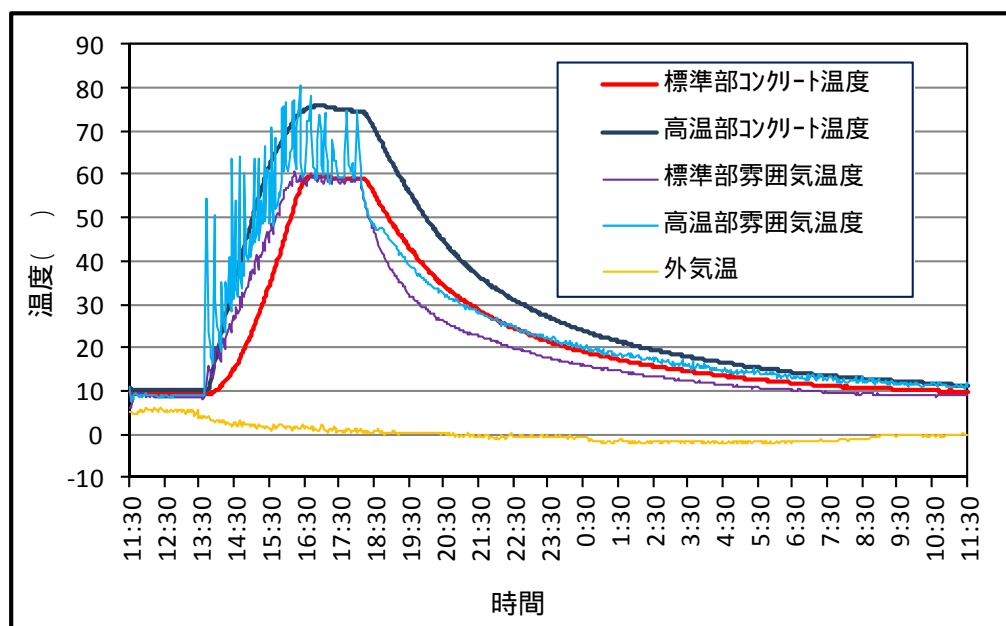


図 1 蒸気養生温度履歴

### 4. 供試体の作製

供試体は、圧縮強度が 100×200 円柱、凍結融解・硬化収縮・気泡間隔係数は 100×100×400 角柱、塩害試験は 300×300×50 平板とした。コンクリートの締固めはテーブル振動機 (700mm×1200mm-200V 400W 3000rpm) を使用した。振動後の空気量(目標値)を 4.5%,3.0%,2.0% の 3 水準とするために、それぞれ 60 s,210 s,300 s、締固めを行った。

### 5. 試験結果

#### (1)フレッシュコンクリートの試験結果

練上がり後の空気量は 5.7% ,スランプ 8cm ,コンクリート温度 10 であった。バイブレーターの振動時間と空気量の関係を表 3 に示す。振動締固め時間が増えるにつれて、空気量が小さくなる事が分かる。

表 3 振動時間と空気量の関係

練り上がり時	振動 60 s	振動 210 s	振動 300 s
5.7%	4.7%	3.3%	2.0%

#### (2)圧縮強度試験結果

圧縮強度試験は、蒸気養生終了後、屋外機中養生をして材齢 14 日で実施した。圧縮強度試験結果を表 4 に示す。圧縮強度は、空気量が少ないほど高くなる傾向にある。一般に、空気量が 1% 増

えるに連れて、強度は 5～7%小さくなると言われている。この傾向は標準部、高温部のいずれにおいても同様に見られた。また、高温部は標準部に比べて、約 10%程度強度が小さくなる事が分かる。

表 4 圧縮強度試験結果

単位：N/mm<sup>2</sup>

養生条件	空気量 4.7%	空気量 3.3%	空気量 2.0%
標準部	35.6	40.0	39.4
高温部	33.2	36.8	36.7

(3) 気泡間隔係数

硬化コンクリートの気泡間隔係数測定のため供試体 100×100×400 を作製し実施した。結果を、表 5 気泡間隔係数測定結果および図 2 空気量と気泡間隔係数の関係に示す。空気量が少ないほど気泡間隔係数は大きいことが分かる。また高温で養生したものが標準に比べて気泡間隔係数が大きいと言える。高温養生により含有された空気が膨張し、体積が増えたと考え、気泡間隔係数は小さくなると考えられたが、逆の結果となった。詳細は不明である。

表 5 気泡間隔係数測定結果

単位：μm

養生条件	60 s -4.7%	210 s -3.3%	300 s -2.0%
標準部	285	440	632
高温部	447	554	612

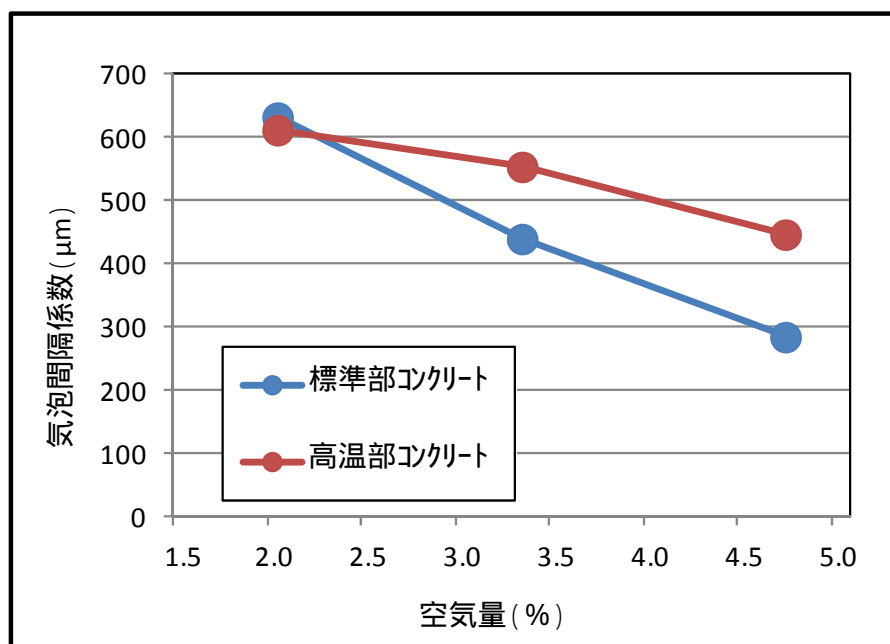


図 2 空気量と気泡間隔係数の関係

(4) 蒸気養生中のコンクリートのひずみ挙動の測定

埋設型ひずみ計をコンクリート中に埋め込み、“標準部”と“高温部”に配置したコンクリート

のひずみ挙動を測定する。埋め込み型ひずみ計は東京測器研究社製K M-100B を使用して、 $100 \times 100 \times 400$  の供試体に埋め込み実施した。振動時間は、ひずみ計に負荷がかからないよう 30 秒程度の振動で締固めた。図 3 に実ひずみ及び実ひずみから温度ひずみを除去した収縮ひずみの測定結果を示す。また、標準部と高温部における養生温度と実ひずみの関係を、それぞれ、図 4、図 5 に養生温度と収縮ひずみの関係を図 6、図 7 に示す。実ひずみは高温により線膨張分が加算されているため大きくなっている。線膨張係数を差し引いた収縮ひずみは高温の方が約  $200 \times 10^{-6}$  高く、さらに残留している。この残留量が、コンクリートの内部を弛緩させるとの見方もあるが、詳細は不明である。しかし、このひずみの差は、長期では解消されるとの報告もある。

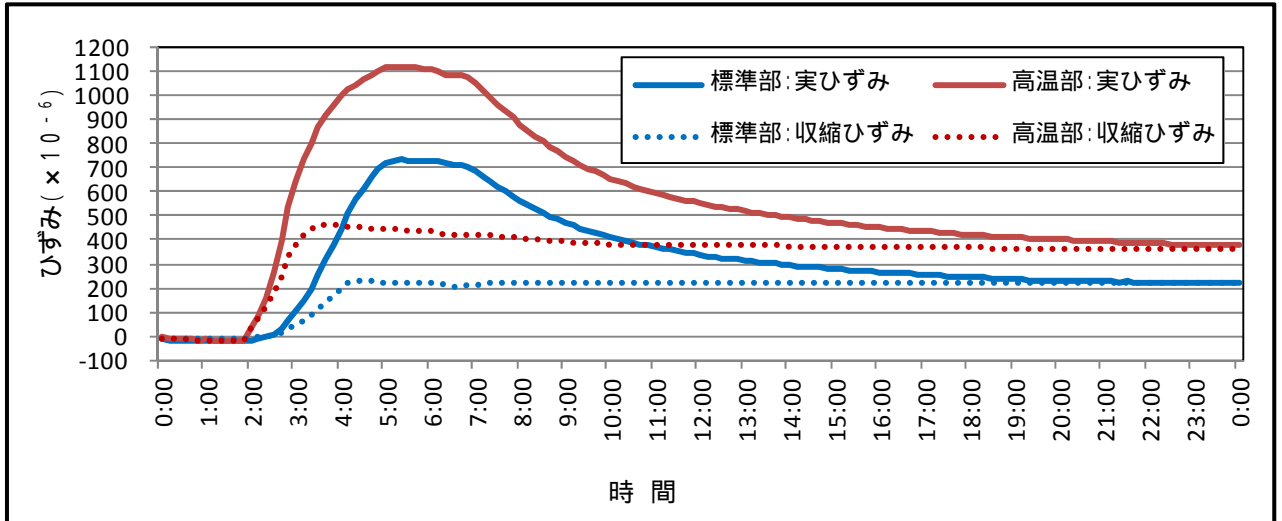


図 3 実ひずみ及び収縮ひずみ測定結果

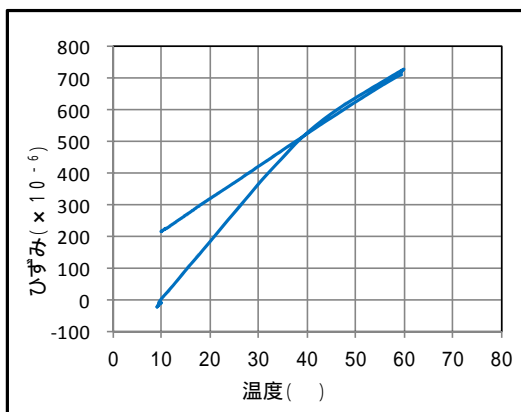


図 4 養生温度と実ひずみの関係：標準部

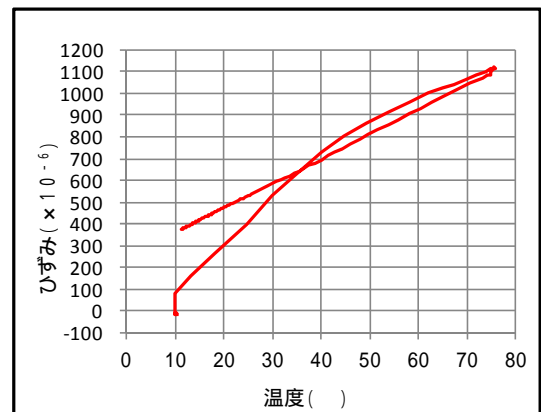


図 5 養生温度と実ひずみの関係：高温部

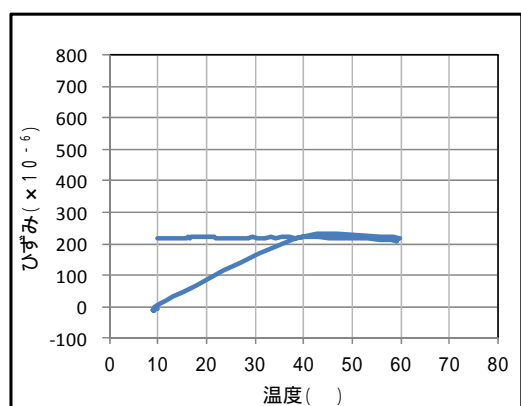


図 6 養生温度と収縮ひずみの関係：標準部

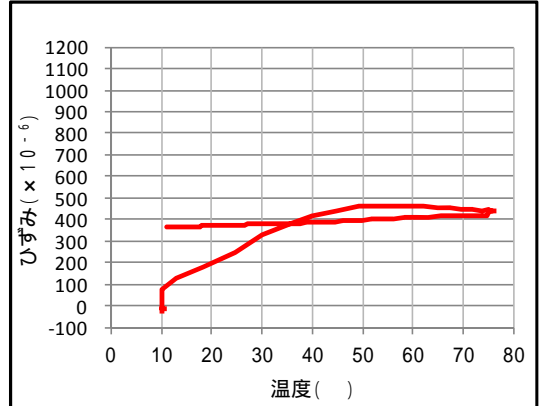


図 7 養生温度と収縮ひずみの関係：高温部

(5) 塩害試験結果

塩害の試験結果を図8、写真-1に示す。グラフは縦軸に質量減少量 (kg/m<sup>3</sup>) 横軸にサイクル数 (回) である。凡例の(1)~(3)は標準部、(4)~(6)は高温部で養生したものである。時間はそれぞれの締め固めの時間(秒数)を表す。高温養生でかつ締め固め時間が長い2種の耐久性が劣っている。

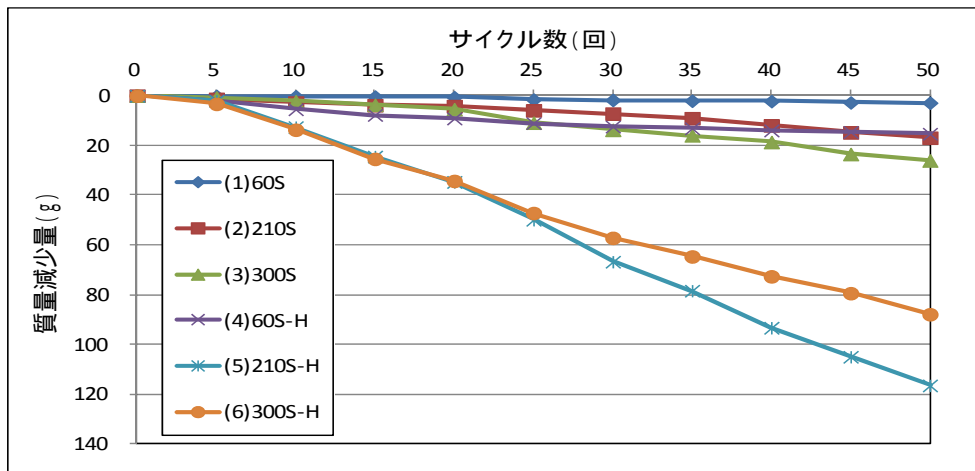
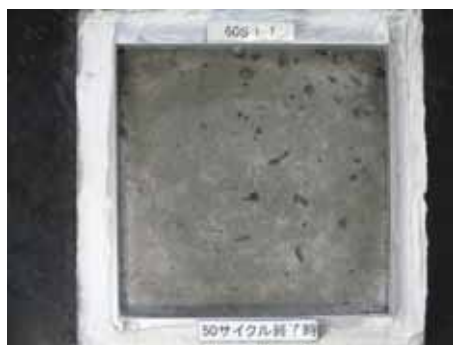
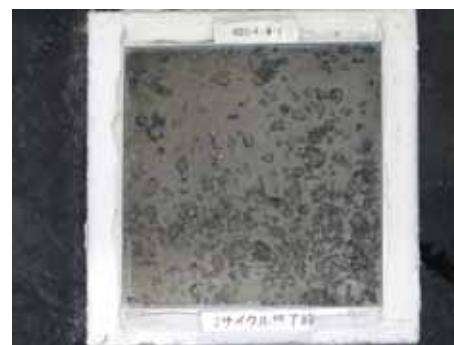


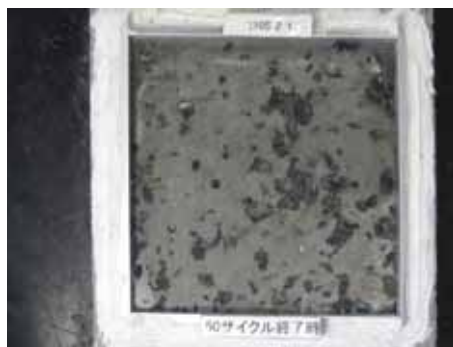
図8 塩害試験結果 (質量減少量 g)



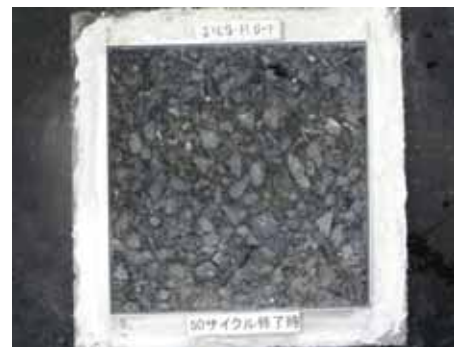
60s-標準



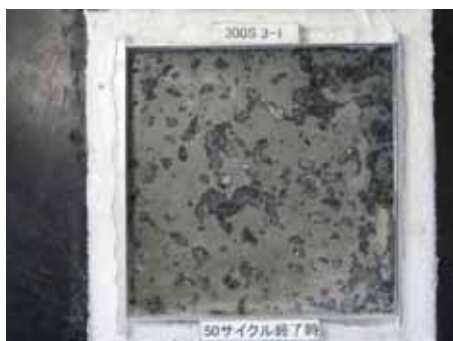
60s-高温



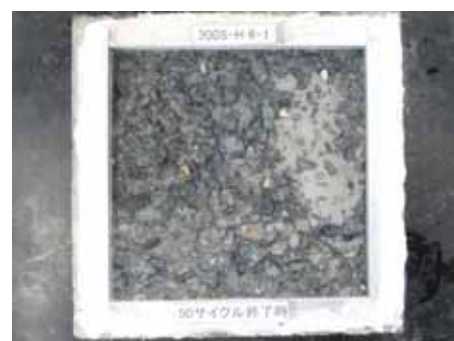
210s-標準



210s-高温



300s-標準



300s-高温

写真-1 50 サイクル終了時

(6)凍結融解試験結果

凍結融解試験における、質量減少率と試験サイクル数の関係を図9に、相対動弾性係数と試験サイクル数の関係を図10に示す。凡例の(1)～(3)は標準部、(4)～(6)は高温部で養生したものである。時間はそれぞれの締め固めの時間(秒数)を表す。質量減少率ではやや低下があるもののいずれのコンクリートも同等に耐凍害性は高いと判断できる。本試験では、通常300サイクルであるものを600サイクルまで続けたが供試体の違いによる有意差は認められなかった。今回の実験では、供試体を作製後7か月間空气中に置いていたために、内部水分が蒸発してしまったことによると考えられる。凍結融解は、コンクリート内部の水分が凍結し、体積が1.1倍膨張するために起こるものである。このため、内部の飽水度が約90%以上なければ、凍結融解は起こらないことになる。試験期間中の飽水も期待したが、一旦乾燥したものは、再び水に漬けても飽水度は90%以上にならなかったと考えられる。写真からも劣化程度が小さいことが分かる。

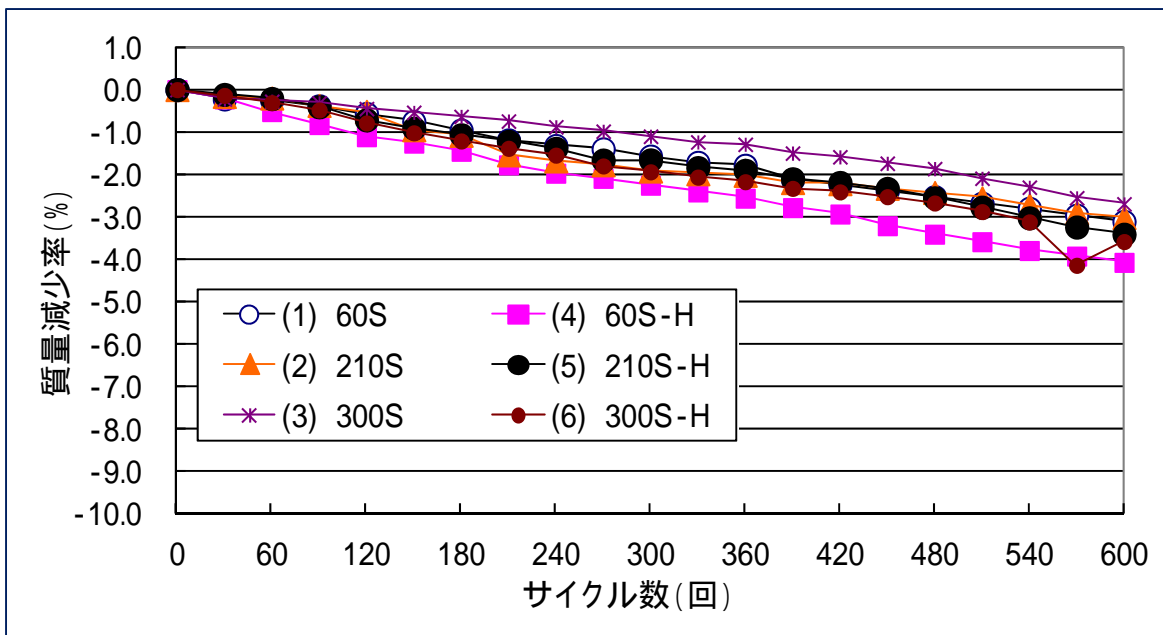


図9 質量減少率 - サイクル

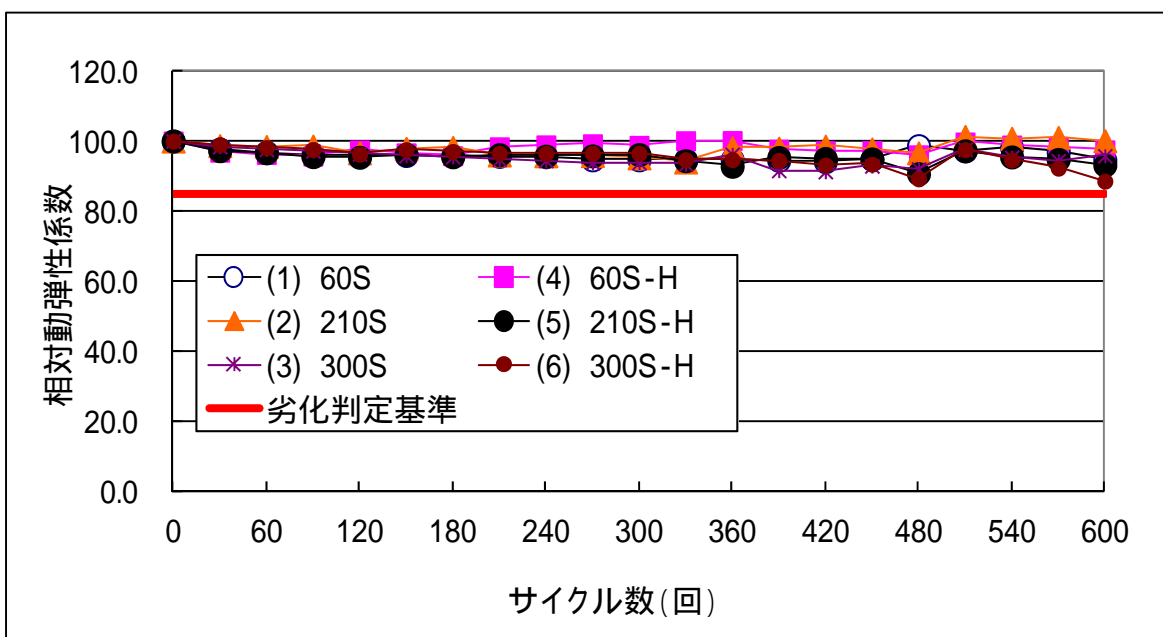


図10 相対動弾性係数 - サイクル数



300 サイクル：標準部-60 s



600 サイクル：標準部-60 s



300 サイクル：高温部-60 s



600 サイクル：高温部-60 s



300 サイクル：標準部-210 s



600 サイクル：標準部-210 s



300 サイクル：高温部-210 s



600 サイクル：高温部-210 s



300 サイクル：標準部-300 s



600 サイクル：標準部-300 s



300 サイクル：高温部-300 s



600 サイクル：高温部-300 s

写真-2 凍結結融解試験終了後（600 サイクル）の供試体の外観

## 6. まとめ

東北地方整備局東北技術事務所における既往の実験結果を踏まえて、製造的要因として考えられる、締め固め時間による空気量の変動と蒸気養生の温度が、凍結融解抵抗性に与える影響およびスケーリング抵抗性に与える影響について検討を行った。

その結果は、以下のようにまとめられる。

### (1) 圧縮強度

コンクリートの圧縮強度については、振動時間が長い程、空気量が減少して、強度は大きくなる傾向を示した。また、養生温度が高い程、強度は小さくなる傾向を示した。今回設定した条件において、標準部および高温部とも、空気量が 4.7% ~ 3.3% の変化で、強度は 12% 程度、増大となったが、3.3% ~ 2.0% では、強度の変動は、殆ど認められなかった。コンクリートの最高温度は、標準部で約 60、高温部で約 75 であり、それによる強度の低下は 7% 程度であった。ただし、全てのサンプルにおいて、設計基準強度 ( $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$ ) を満足していた。

### (2) ひずみ

蒸気養生温度が最高温度に達した時、コンクリートのひずみも最大になっている。温度硬化の過程に入った場合のひずみの挙動は、上昇温度の過程を通らず、標準部で約 200  $\mu$ 、高温部では約 400  $\mu$  付近に直線的に推移している。温度差による残存ひずみがコンクリートの品質に与える影響を検討したが、本実験の温度条件からは、大差が認められなかった。検討課題として、打設後 24 時間での結果は 200 ~ 400  $\mu$  であったが、長期でのひずみの変化を測定しておらず、長期間の測定が必要である。

### (3) 気泡間隔係数

蒸気養生時、高温部に配置したコンクリートに比べ、標準部に配置したものの方が養生条件による変化が大きい。しかしながらこれらの値は、いずれも一般に凍結融解抵抗性が著しく向上するとされる 200  $\mu\text{m}$  以下という値を大きく上回るものであった。

### (4) 凍結融解試験

質量減少率は標準養生、高温養生によらず、サイクル数を重ねるにごとに増加の傾向にある。いずれも高温養生より標準養生の方が質量減少率は低く、締め固め時間 300 秒の標準養生で減少率が最小となった。相対動弾性係数においては、いずれの養生条件とサイクル数でも劣化判定基準を満たしていた。

### (5) 塩害試験

標準養生、高温養生ともに締め固めの秒数が長くなると質量減少量も増えている。その中で、高温養生である(4)の質量減少量は標準養生とほとんど差がない程度であったが、(5)と(6)では大きな減少率となった。これは、締め固め過多による空気量の低下と、高温養生の二つの要因による急激な水和反応が原因と推察される。これによりコンクリートは、急激に水和生成物が緻密化し、水分・イオンの移動が抑制、水和反応の進行が制限され粗雑な構造となる。そのため、容易に塩水の侵入を許し、標準養生された平板と比較して、塩害の影響を大きく受けると考えられる。

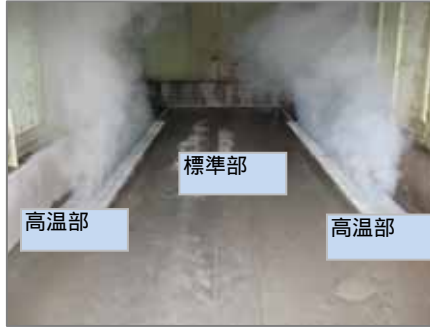
## 参考文献

1)伊藤一聡, 岸利治, 魚本健人: 種々の養生温度化で形成されたセメント硬化体の空隙構造, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No1, pp.489~499, 2002





養生槽



標準部  
高温部 高温部



供試体の配置状況



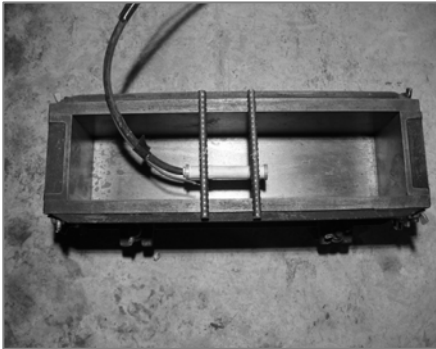
静ひずみ測定器  
東京測器研究所 TDS-530



養生槽の温度制御装置  
ハクスイ化成 TC-260A



データロガー/コンクリート等温度管理  
グラフテック GL220



埋め込み型ひずみ計  
東京測器研究所 KM-100B



テーブル振動機 700×1200  
200V/400W/3000rpm



供試体の作製



練上がり後



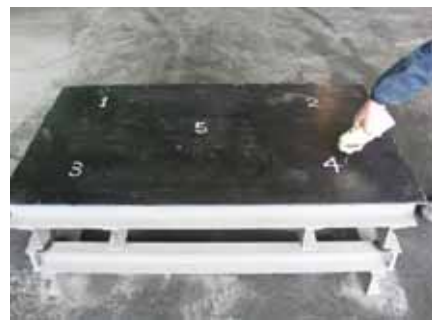
振動 60秒



振動 3分30秒



振動 5分



テーブル振動機の振幅測定 1-0.59/2-0.51/3-0.64/4-0.61/5-0.62mm

