

高強度プレキャストコンクリートの新たな強度管理方法に関する研究

New Curing Method of Concrete Specimens for Testing of High-strength Precast Concrete Members

宇都宮大学 教授 杉山 央

(研究計画ないし研究手法の概略)

現在、プレキャストコンクリート部材（以下、PCa部材と略記）の強度管理（必要な強度に達したかどうかの確認試験）は、PCa部材と同じコンクリートで作製し、PCa部材と同じ場所で養生したコンクリート円柱供試体（以下、部材同一養生供試体と略記）の強度を試験することで実施している。コンクリートの強度発現は養生時の温度と密接な関係があり、同じ温度を履歴すれば同じ強度になるという性状に基づいて、このような強度管理が行われている。旧来からの部材厚が小さい壁や床等のPCa部材では、部材同一養生供試体と比較的同様の温度履歴を示すので、このような強度管理が可能であった。

しかし、近年増加している部材厚が大きな柱や梁等のPCa部材では、図1に示すようにセメントの水和熱が内部に蓄積されるため、部材同一養生供試体とは大きく異なる温度履歴を示す。また、同一のPCa部材においても表面部と中央部で温度履歴が異なり、これにより強度発現も異なる。このため、部材厚の大きなPCa部材では、部材同一養生供試体を用いた強度管理方法をそのまま適用できないという問題が生じている。さらに、部材厚の大きなPCa部材を高強度化した場合、単位セメント量が増えるため、部材同一養生供試体との温度履歴および強度発現の差異が一層顕著になる。

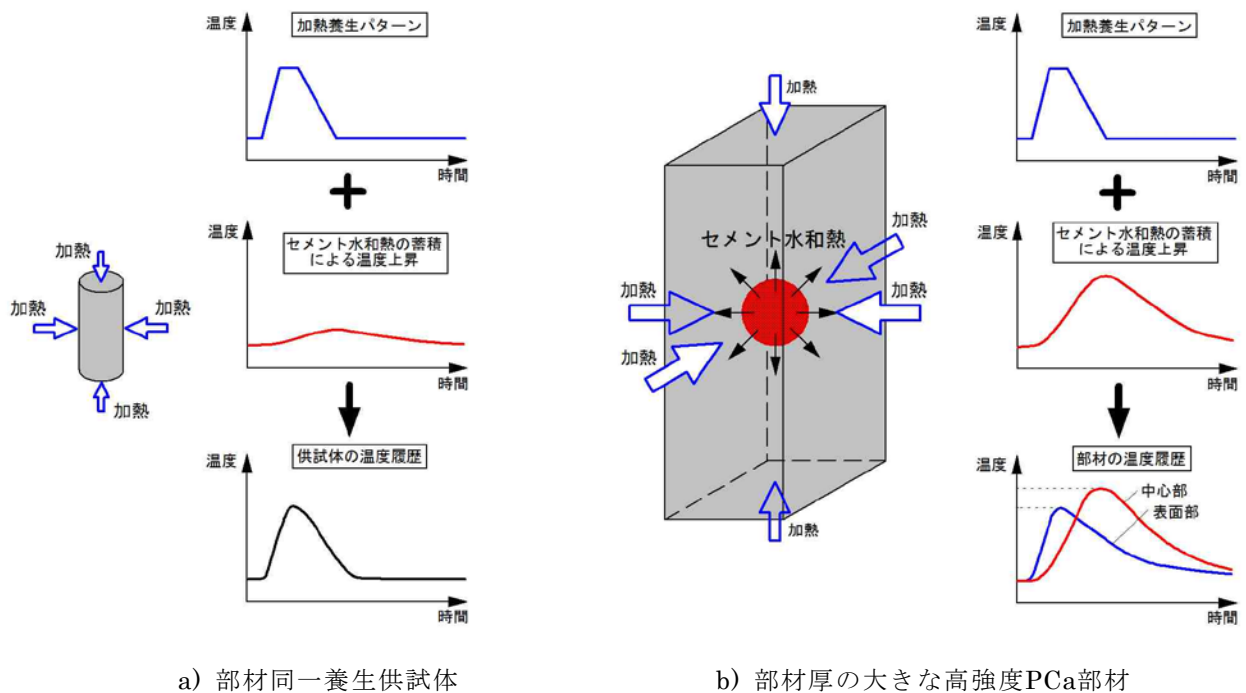


図1 高強度PCa部材の温度履歴

そこで、本研究では図2に示すようにコンクリート円柱供試体の周囲を断熱材や各種型枠で覆うことにより、PCa部材の形状、寸法、部位に応じた温度を履歴させることを意図したPCa部材モデル養生供試体による強度管理方法を提案する。この新たな強度管理方法が確立すれば、部材厚の大きな高強度PCa部材についても適切な強度管理が可能になる。

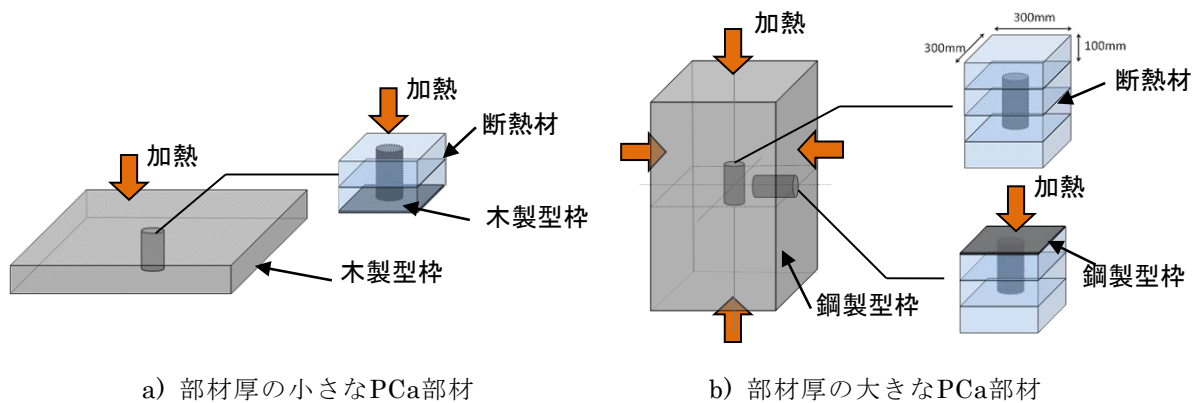


図2 PCa部材の形状・寸法・部位に応じたPCa部材モデル養生供試体のイメージ

(実験調査によって得られた新しい知見)

1. PCa部材モデル養生供試体Sの提案

1個の円柱供試体の側面を断熱材で覆い、上下面に断熱材や各種型枠を配置することで、PCa部材と同じ温度を円柱供試体に履歴させることを意図したPCa部材モデル養生供試体S（以降、モデル供試体Sと略記）を考案した。PCa部材の形状や部位に応じて、図3および写真1に示す種類のモデル供試体Sを設定した。表1に各モデル供試体Sの概要を示す。例えば、S-A-NおよびS-A-Hは部材厚の大きなPCa部材の中央部を想定しており、円柱供試体の周囲を断熱材で覆うことでセメント水和熱を蓄積させることを考えた。なお、断熱材には押出法ポリスチレンフォーム（熱伝導率 $0.028\text{W/m}\cdot\text{K}$ 、耐熱温度 120°C ）を使用した。

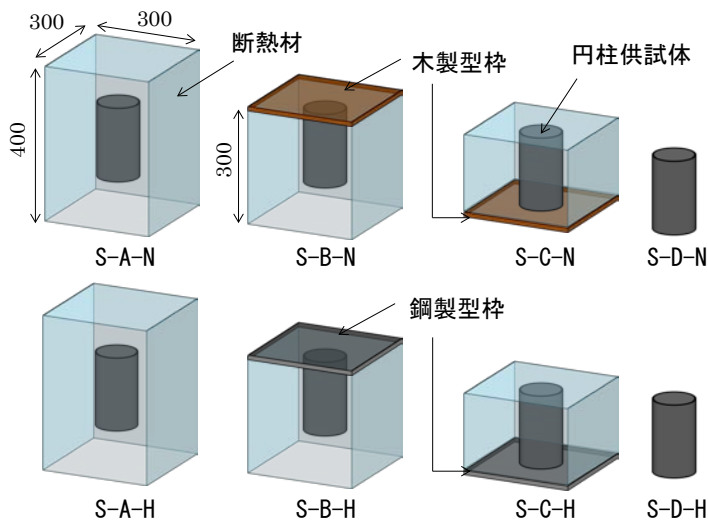


図3 モデル供試体Sの種類

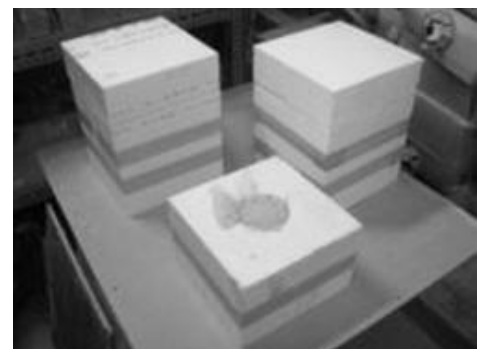


写真1 モデル供試体Sの一例

表1 各種モデル供試体Sの概要

| 記号 | 想定しているPCa部材 | | 養生時の境界条件 | | | 加熱養生の有無 |
|-------|-------------|-----|----------|------|------|---------|
| | 形状 | 部位 | 上面 | 下面 | 側面 | |
| S-A-N | 部材厚の大きな柱状 | 中央部 | 断熱材 | 断熱材 | 断熱材 | 無 |
| S-B-N | 部材厚の大きな柱状 | 表面部 | 木製型枠 | 断熱材 | 断熱材 | 無 |
| S-C-N | 部材厚の小さな板状 | 中央部 | 外気 | 木製型枠 | 断熱材 | 無 |
| S-D-N | 部材同一養生供試体 | — | 外気 | 鋼製型枠 | 鋼製型枠 | 無 |
| S-A-H | 部材厚の大きな柱状 | 中央部 | 断熱材 | 断熱材 | 断熱材 | 有 |
| S-B-H | 部材厚の大きな柱状 | 表面部 | 鋼製型枠 | 断熱材 | 断熱材 | 有 |
| S-C-H | 部材厚の小さな板状 | 中央部 | 外気 | 鋼製型枠 | 断熱材 | 有 |
| S-D-H | 部材同一養生供試体 | — | 外気 | 鋼製型枠 | 鋼製型枠 | 有 |

普通ポルトランドセメントを使用した水セメント比33%のコンクリート（以降、N33と略記）を用いて各種モデル供試体Sを作製し、供試体中心部の温度を測定した。

加熱養生を行わないPCa部材の中央部および表面部を対象としたモデル供試体Sの温度上昇を、それぞれ図4および図5に示す。なお、図中には著者が過去に行った実大PCa試験体（N33を用いた断面寸法600×600mmの柱部材）の温度測定結果¹⁾も示す。部材同一養生供試体（S-D-N）はわずかな温度上昇しか示さないものの、PCa部材の中央部をモデル化したS-A-Nは実大PCa試験体と同じように約29℃の温度上昇を示した。また、PCa部材の表面部をモデル化したS-B-Nも実大PCa試験体と同じような温度上昇特性を示した。

加熱養生を行うPCa部材の中央部および表面部を対象としたモデル供試体Sの温度上昇を、それぞれ図6および図7に示す。部材同一養生供試体（S-D-H）は加熱養生時の雰囲気温度と大差ない温度履歴であり、実大PCa試験体の中央部および表面部とは異なる温度上昇特性を示した。PCa部材の中央部をモデル化したS-A-Hは、部材同一養生供試体よりも実大PCa試験体に類似した温度上昇を示したが、全面が断熱材で覆われているために加熱養生による熱が十分に伝わらず、実大PCa試験体と比べて温度上昇量が小さくなった。PCa部材の表面部をモデル化したS-B-Hでは、温度上昇量は同程度であったが、実大PCa試験体に比べて温度下降が急激であった。実大PCa試験体の表面部は、外気温の影響が大きいものの、内部のセメント水和熱の蓄積により高温の状態がしばらく継続する傾向が見られるが、モデル供試体Sではこの傾向を再現することはできなかった。

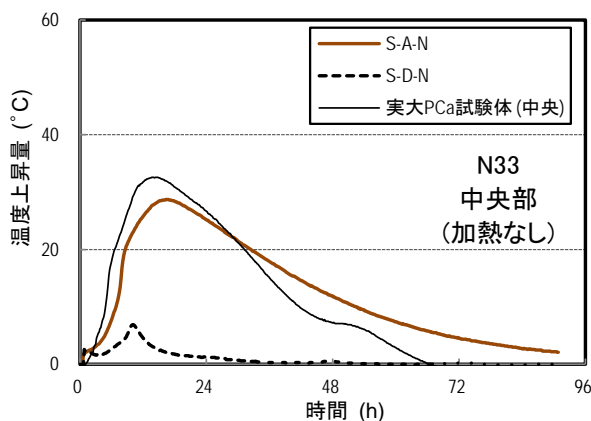


図4 モデル供試体Sの温度上昇
(加熱なし-中央部)

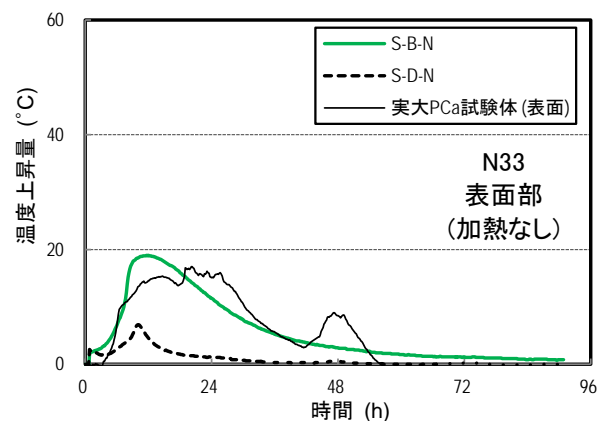


図5 モデル供試体Sの温度上昇
(加熱なし-表面部)

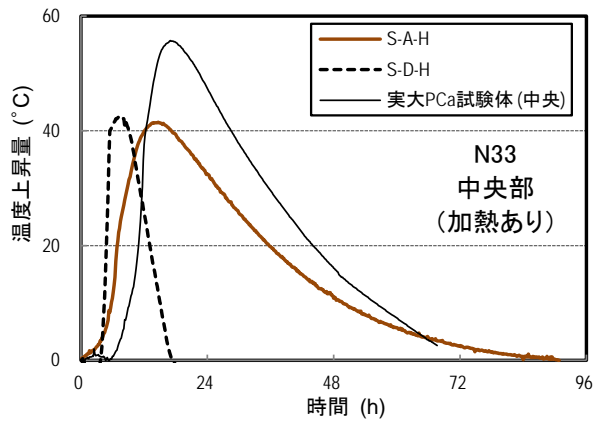


図6 モデル供試体Sの温度上昇
(加熱あり-中央部)

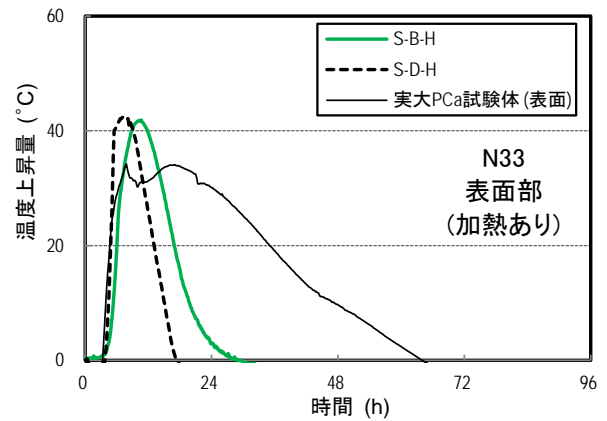


図7 モデル供試体Sの温度上昇
(加熱あり-表面部)

2. PCa部材モデル養生供試体Wの提案

モデル供試体Sにおける問題点をふまえ、新たなPCa部材モデル養生供試体W（以降、モデル供試体Wと略記）を考案した。図8に示すように、1段積みから2段積みにし、かつ1段あたり供試体数を9個とした計18個の円柱供試体を配置することで、セメント水和熱による温度上昇特性を実際のPCa部材に近づけることを意図した。図9に実際のPCa部材におけるモデル供試体Wの位置付けを、また写真2にモデル供試体Wの外観を示す。表2に各モデル供試体Wの概要を示す。W-AはPCa部材の中央部を、W-Bは上部に鋼製型枠を配置することでPCa部材の表面部をモデル化している。

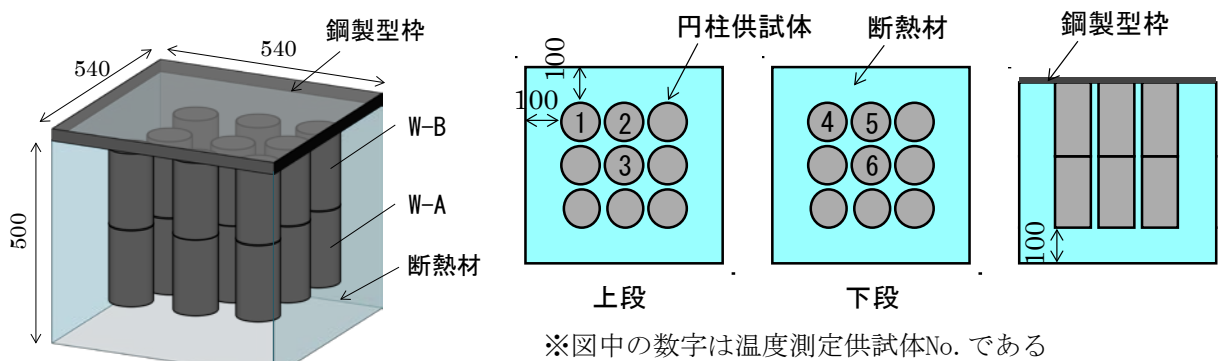


図8 モデル供試体Wの形状

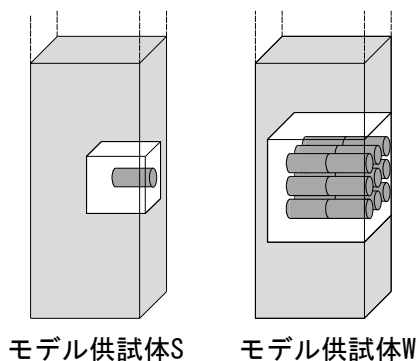


図9 モデル供試体Wの位置付け



写真2 モデル供試体Wの外観

表2 各種モデル供試体Wの概要

| 記号 | 想定しているPCa部材 | | 養生時の境界条件 | | | 加熱養生の有無 |
|-------|-------------|-----|----------|--------|-----|---------|
| | 形状 | 部位 | 上面 | 下面 | 側面 | |
| W-A-N | 部材厚の大きな柱状 | 中央部 | コンクリート | 断熱材 | 断熱材 | 無 |
| W-B-N | 部材厚の大きな柱状 | 表面部 | 鋼製型枠 | コンクリート | 断熱材 | 無 |
| W-A-H | 部材厚の大きな柱状 | 中央部 | コンクリート | 断熱材 | 断熱材 | 有 |
| W-B-H | 部材厚の大きな柱状 | 表面部 | 鋼製型枠 | コンクリート | 断熱材 | 有 |

N33のコンクリートを用いてモデル供試体Wを作製し、供試体中心部の温度を測定した。

加熱養生を行わないPCa部材の中央部および表面部を対象としたモデル供試体Wの温度上昇を、それぞれ図10および図11に示す。W-A-NおよびW-B-Nは実大PCa試験体よりも高い温度上昇を示した。すなわち、断面寸法600×600mmのPCa試験体よりもセメント水和熱を蓄積する傾向がやや強く、今後はPCa部材の部材厚に応じて断熱材の厚さを調整する等の配慮が必要であることが課題として残された。

加熱養生を行うPCa部材の中央部および表面部を対象としたモデル供試体Wの温度上昇を、それぞれ図12および図13に示す。W-A-H、W-B-Hともに実大PCa試験体と同じような緩やかな温度下降勾配を示した。すなわち、モデル供試体Sで見られた問題点が解決できたといえる。

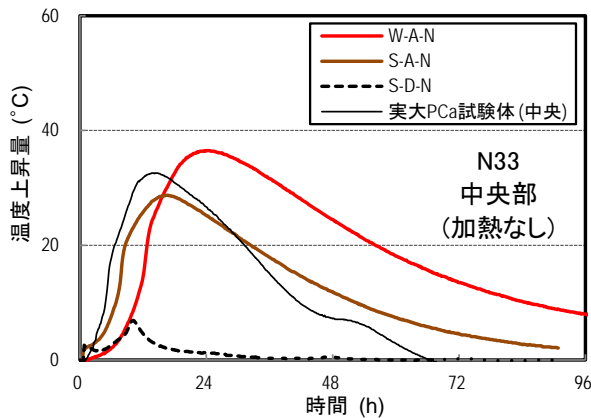


図10 モデル供試体Wの温度上昇
(加熱なし-中央部)

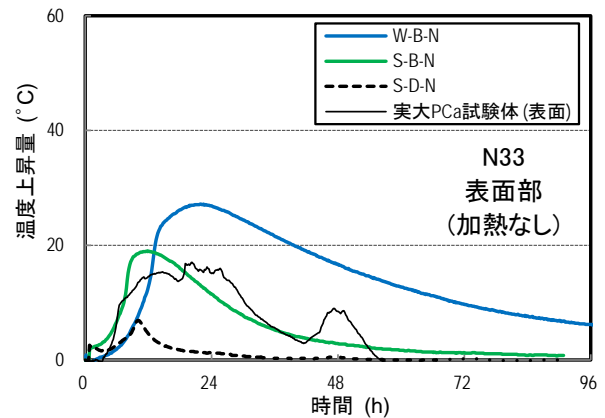


図11 モデル供試体Wの温度上昇
(加熱なし-表面部)

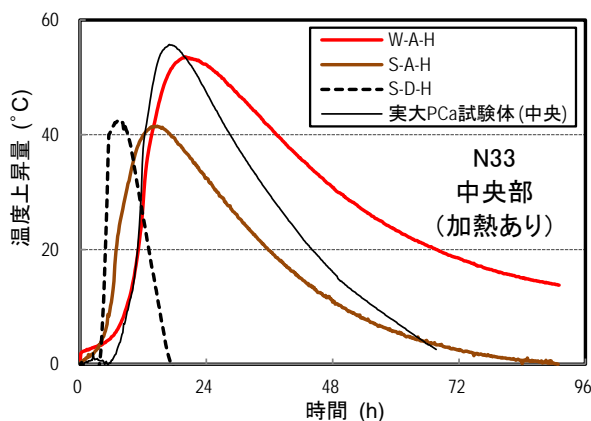


図12 モデル供試体Wの温度上昇
(加熱あり-中央部)

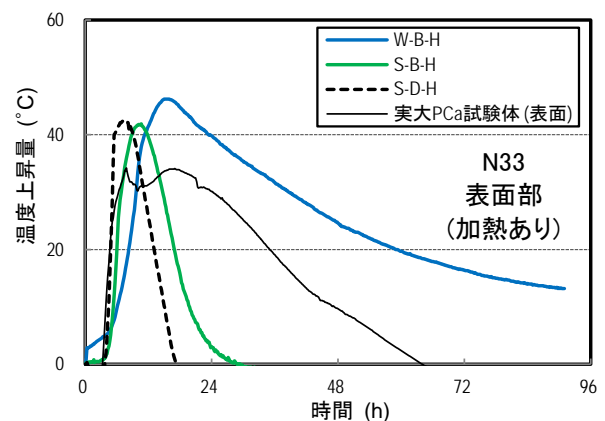


図13 モデル供試体Wの温度上昇
(加熱あり-表面部)

3. PCa製造工場におけるPCa部材モデル養生供試体Wの検証実験

実際のPCa製造工場において、モデル供試体Wと実大PCa模擬部材（断面寸法1000×1000mmの柱部材）の温度履歴および強度の比較実験を行った。シリカフェームプレミックセメントを使用した水結合材比18%のコンクリートを用いた。加熱養生は行っていない。写真3に実験の状況を示す。

モデル供試体Wと実大PCa模擬部材の中央部および表面部における温度上昇の比較を、それぞれ図14および図15に示す。W-A-NおよびW-B-Nは実大PCa模擬部材よりも低い温度上昇量となったが、部材同一養生供試体と比べて実大PCa模擬部材に近い温度上昇特性を再現しているといえる。

図16にモデル供試体Wと実大PCa模擬部材の強度の比較を示す。材齢28および91日では、モデル供試体Wと実大PCa模擬部材のコア供試体の強度がほぼ同程度であった。ただし、部材同一養生供試体の強度も同程度となった。材齢1および7日では、実大PCa模擬部材からコア供試体を採取することができなかったが、類似の温度上昇特性を示したことから、強度も同程度であることが推測される。



写真3 PCa製造工場における実験の状況

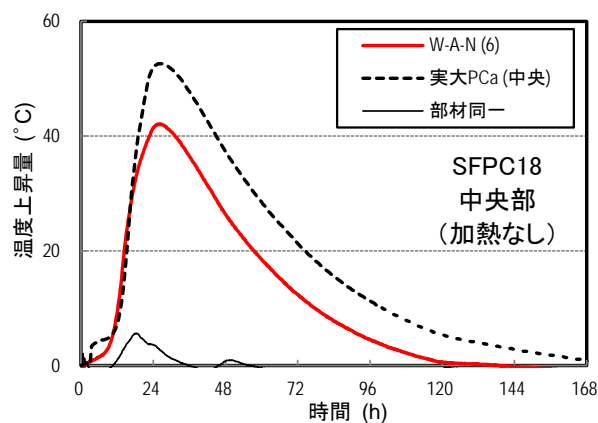


図14 モデル供試体Wと実大PCa模擬部材の温度上昇の比較（中央部）

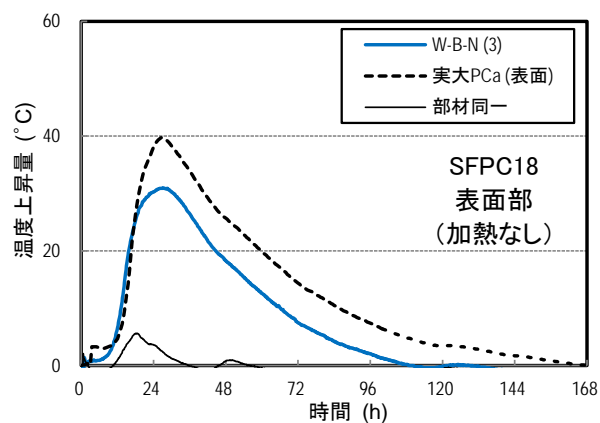


図15 モデル供試体Wと実大PCa模擬部材の温度上昇の比較（表面部）

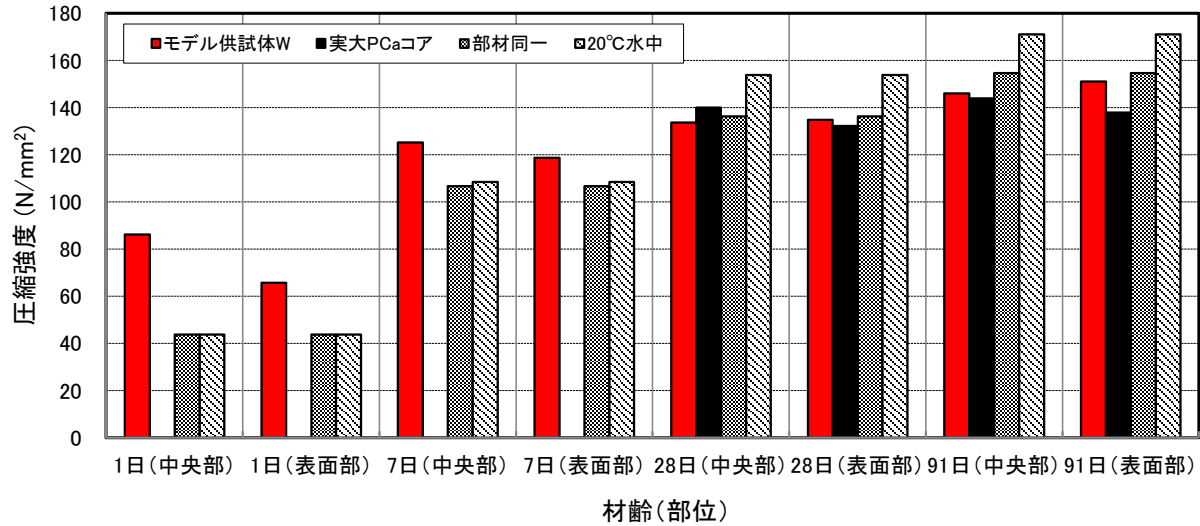


図16 モデル供試体Wと実大PCa模擬部材の強度の比較

4. まとめ

本研究では、高強度プレキャストコンクリートの新たな強度管理用供試体として、上下面および側面に断熱材や型枠を配置することでPCa部材の中央部や表面部の各部位をモデル化し、PCa部材と同様の温度を履歴させるPCa部材モデル養生供試体を提案した。実験の結果、課題も抽出されたが、今後有用となる可能性を得た。

参考文献

- 1) 杉山央ほか：大断面プレキャストコンクリート部材製造時の温度履歴特性，日本建築学会技術報告集，第14号，pp.13-18，2001.12

(発 表 論 文)

- 1) 水戸健介，杉山央ほか：プレキャストコンクリート部材の強度推定を目的とした部材モデル養生供試体の提案，日本建築学会大会学術講演梗概集（材料施工），pp.589～590，2013.8
- 2) 水戸健介，杉山央ほか：各種プレキャストコンクリート部材モデル養生供試体の温度上昇および強度特性，日本コンクリート工学会栃木地区研究発表会，2014.3
- 3) 水戸健介，杉山央ほか：プレキャストコンクリートの各種部材モデル養生供試体の比較実験，日本建築学会大会学術講演梗概集（材料施工），2014.9（発表予定）