

# 高温加熱下における 高強度コンクリートの可視化

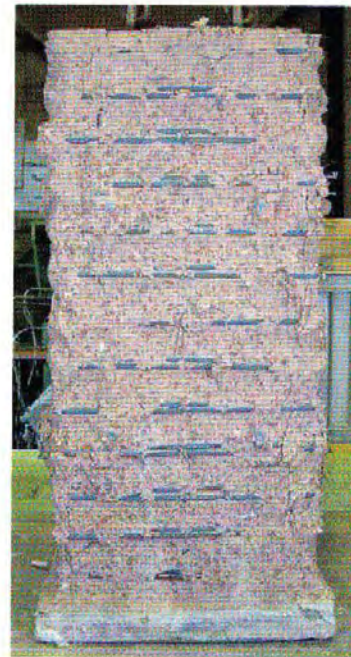
東京理科大学 兼松 学

# 高強度コンクリートの爆裂

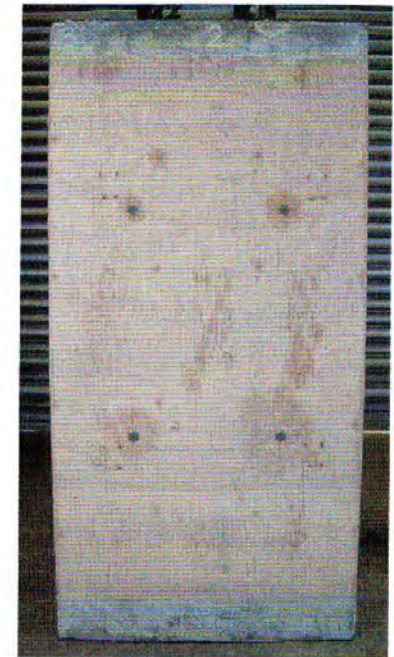
- 高強度コンクリート
  - 一般的なコンクリートと比較して**緻密**。
  - 建物の高層化に伴い、超高強度化が進み、**需要が増加**している。
  - 一方で火災時に発生する**爆裂**が懸念される。

- 爆裂とは？
  - 火災などの高温加熱に表層のコンクリートが飛散・剥離する現象
  - 内部の鉄筋の耐火機能を担保するコンクリートの脱落により、火災時の構造耐力低下につながる可能性もある
  - メカニズム的には不明な点が多い

爆裂後



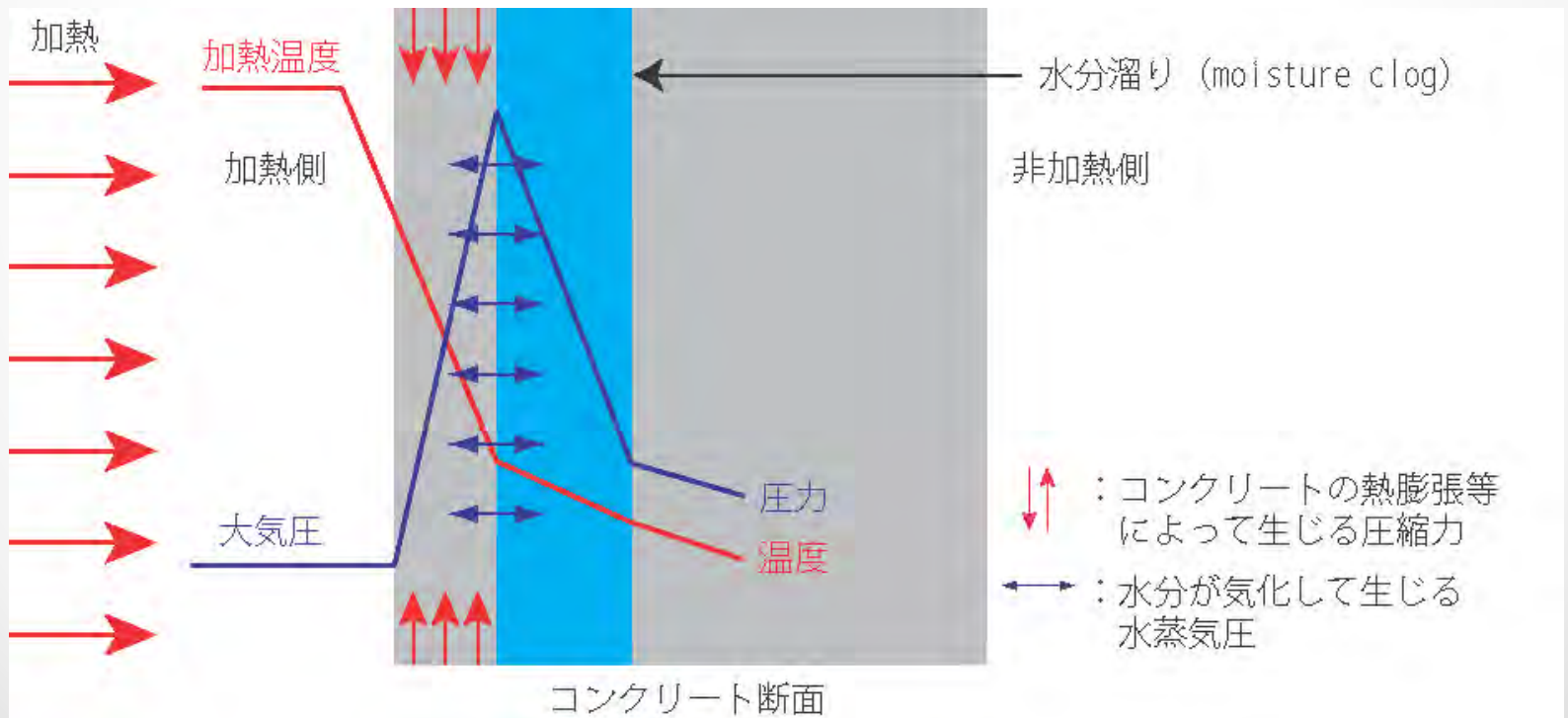
爆裂前



(ref:森田武：コンクリートの爆裂とその防止対策)

# 高強度コンクリートの爆裂

- 爆裂のメカニズム
  - 熱応力
  - 水蒸気圧
  - 熱応力と水蒸気圧の複合応力



# 中性子ラジオグラフィを使った実験の メリット・デメリット

## ● 利点

- 非破壊で水分挙動を捉えることが可能である
- 温度依存性が少ない
- 空間分解能が高い

従来手法：センサの埋設が一般的(数cm程度)  
欠点：破壊領域での測定が困難  
温度依存性の補正が困難(～300℃程度)  
空間分解能が低い

## ● 欠点

- 試験体サイズに制約  
(数cmオーダー)がある  
メカニズム解明を指向
- 安全面の制約

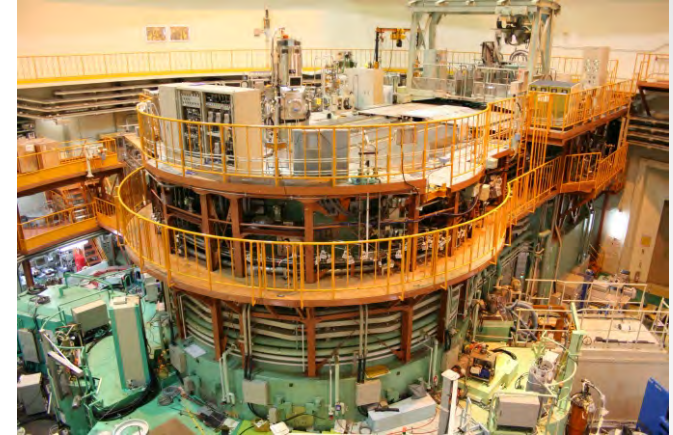
従来手法：バーナーを用いた大規模火災実験  
(mオーダー)

## ● 技術課題

- 数cmオーダーでの爆裂を再現
- 断熱(熱)・拘束(応力)・気密(圧力)の再現
- 安全面の確保

# これまでのチャレンジ

- ① **高温加熱下での水分挙動**(2009-2010)
- ヒートエレメントを用いた、加熱実験
  - 日本原子力研究開発機構**JRR-3**にて測定
  - **爆裂の発生なし**
  - 高強度コンクリート(W/C 50%, 25%)



JRR-3: JAEA

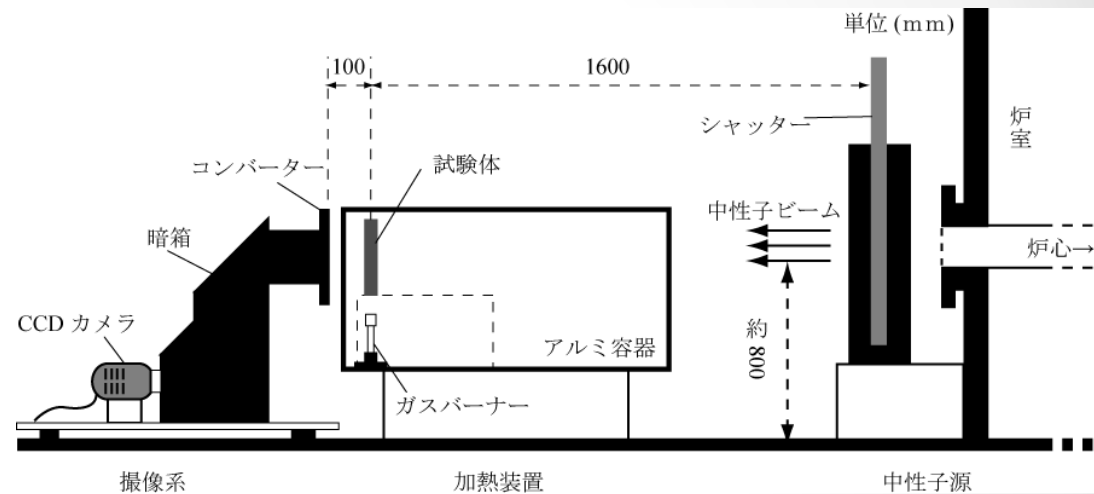
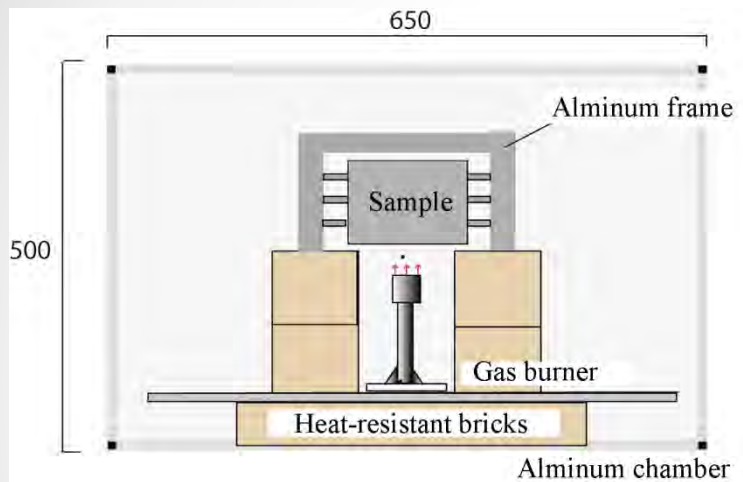
- ② **爆裂発生時の水分挙動**(2011-2013)
- ガスバーナーを用いた、加熱実験
  - 京都大学原子炉実験所**KUR**にて測定
  - **爆裂の発生あり**
  - 超高強度コンクリート(W/B 25%, 18%)
  - 混和材, ポリプロピレンの利用



KUR: KURRI

→ より多くの実験データの蓄積  
試験方法の検討段階

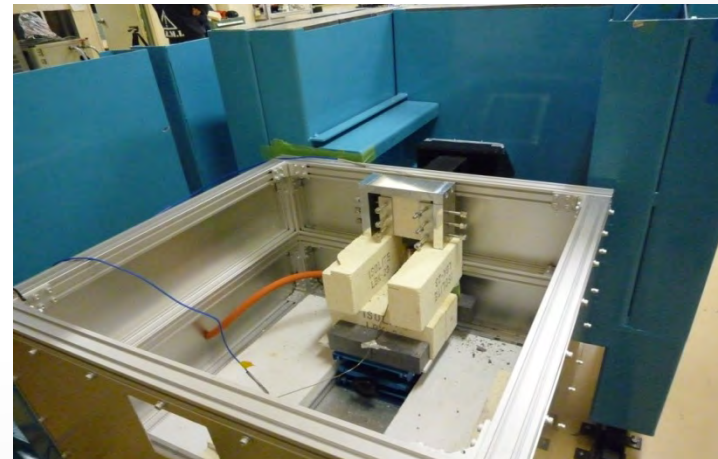
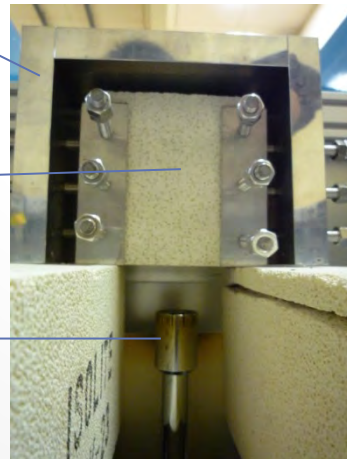
# ラジオグラフィ測定方法概要



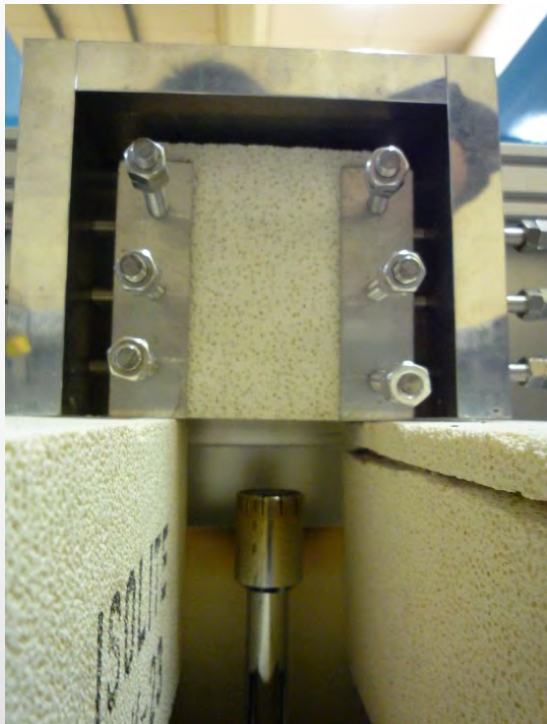
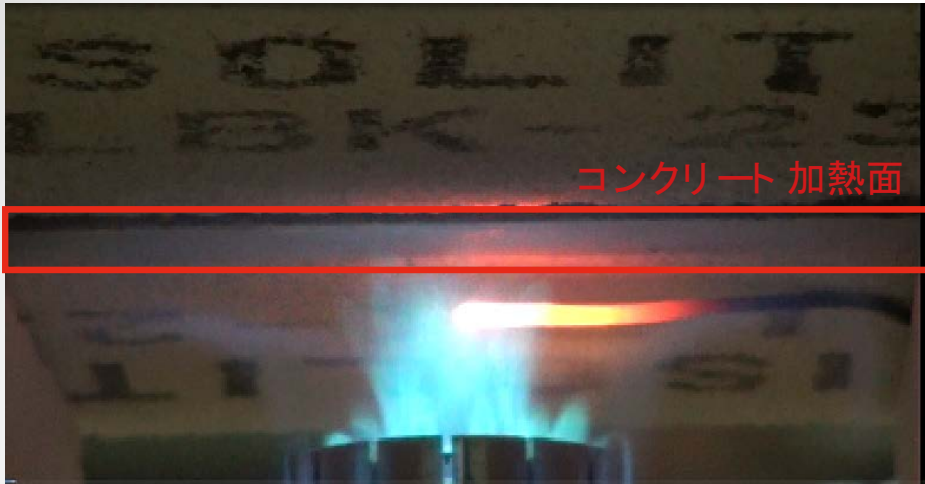
試験体拘束治具

耐熱レンガ  
試験体

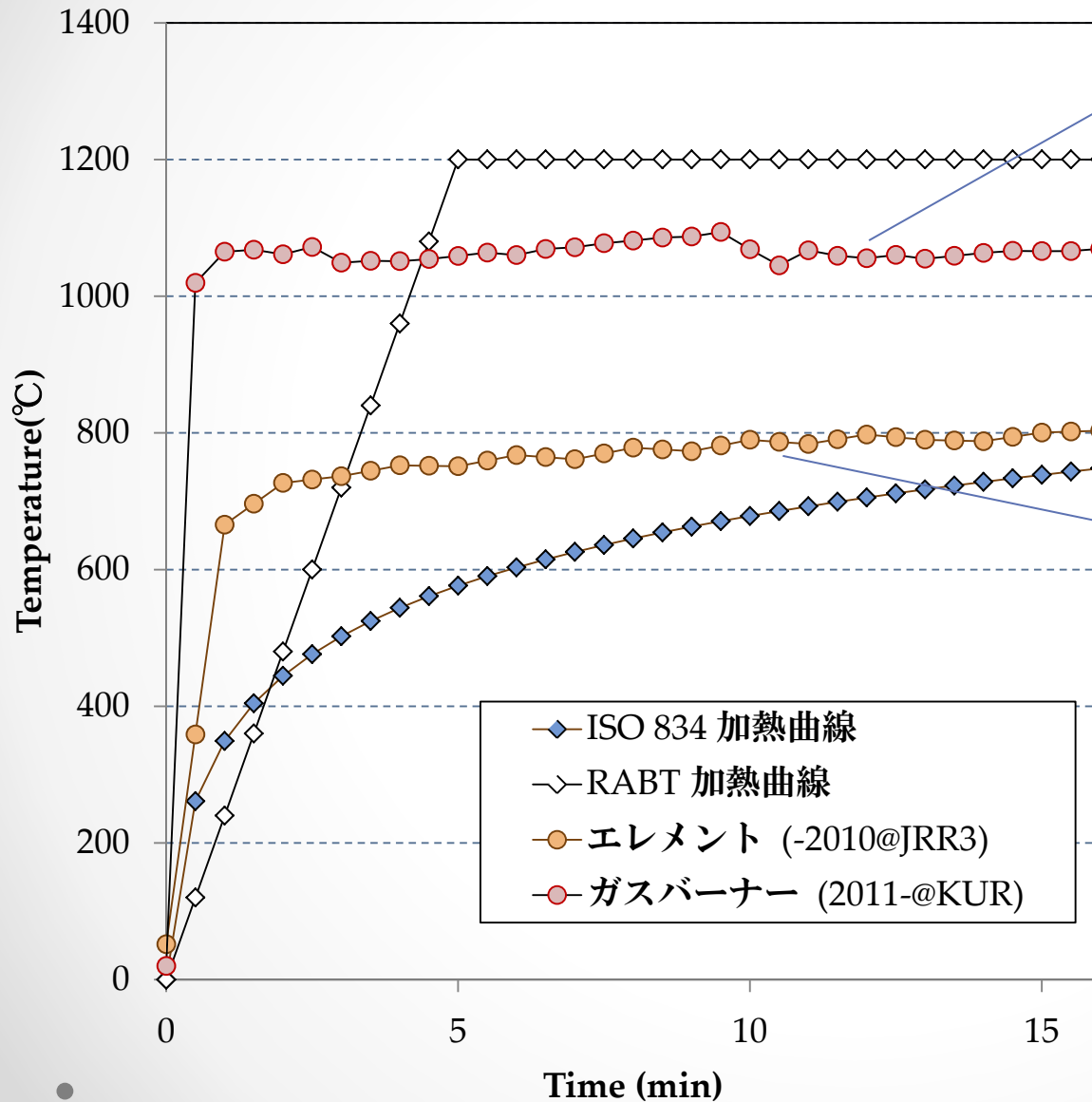
ガスバーナ



# 高強度コンクリートの爆裂



# 加熱曲線の改善



ガスバーナー  
KUR (2011-)



ヒートエレメント  
(タングステン)  
JRR-3 (-2010)





# コンクリートの調合の変更

## 2010年度(@JRR-3/JCI 2011年データ)調合データ

| W/C | W/B | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |    |    |     |     | 繊維<br>PP | 空気量<br>(%) |
|-----|-----|-------------------------|-----|----|----|-----|-----|----------|------------|
|     |     | W                       | C   | SF | FA | S   | G   |          |            |
| 25% | -   | 165                     | 660 | -  | -  | 818 | 821 | -        | 1          |
| 50% | -   | 165                     | 330 | -  | -  | 903 | 935 | -        | 4          |

細骨材(大井川水系陸砂)・粗骨材:硬質砂岩  
w/c 50の試験体はモデル骨材を使用

## 2011年度(@KUR/JCI2012年/KURRI Progress Report)調合データ

| W/C | W/B | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |       |    |       |        | 繊維<br>PP | 空気量<br>(%) |
|-----|-----|-------------------------|-----|-------|----|-------|--------|----------|------------|
|     |     | W                       | C   | SF    | FA | S     | G      |          |            |
| 20% | 18% | 160                     | 800 | 88.89 | -  | 425   | 1060.2 |          | 2          |
|     |     | 160                     | 800 | 88.89 | -  | 566.7 | 916.4  | 0.1%vol  | 2          |

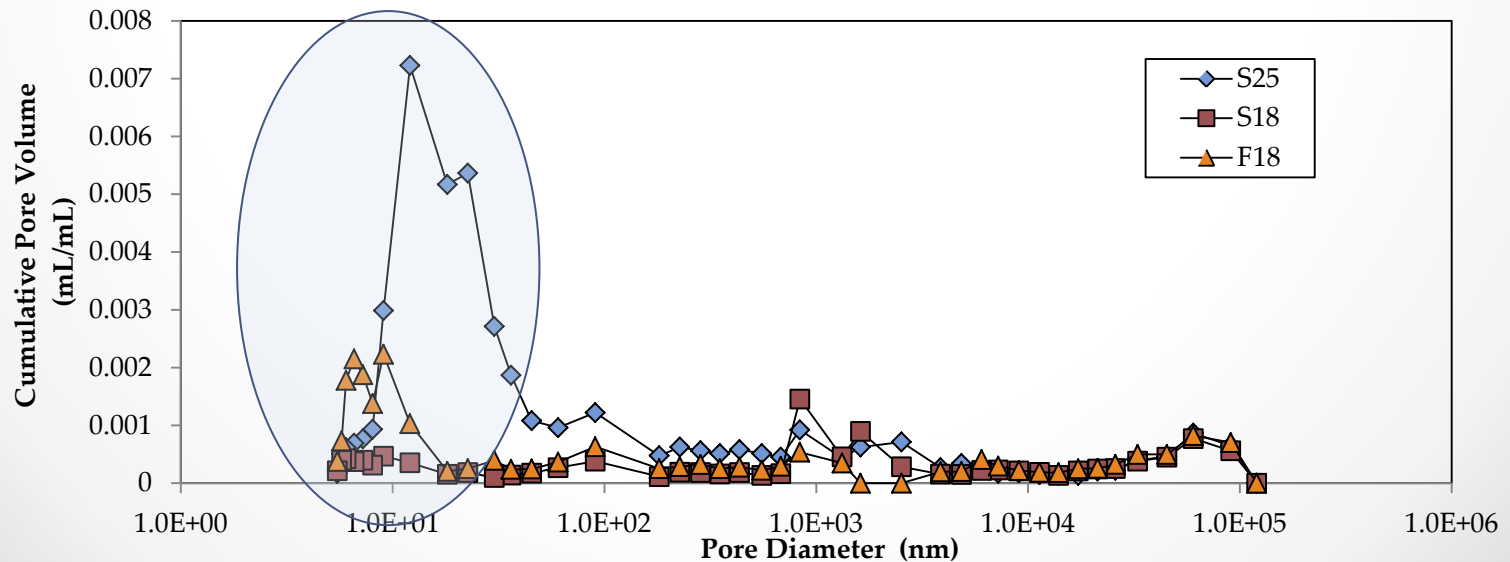
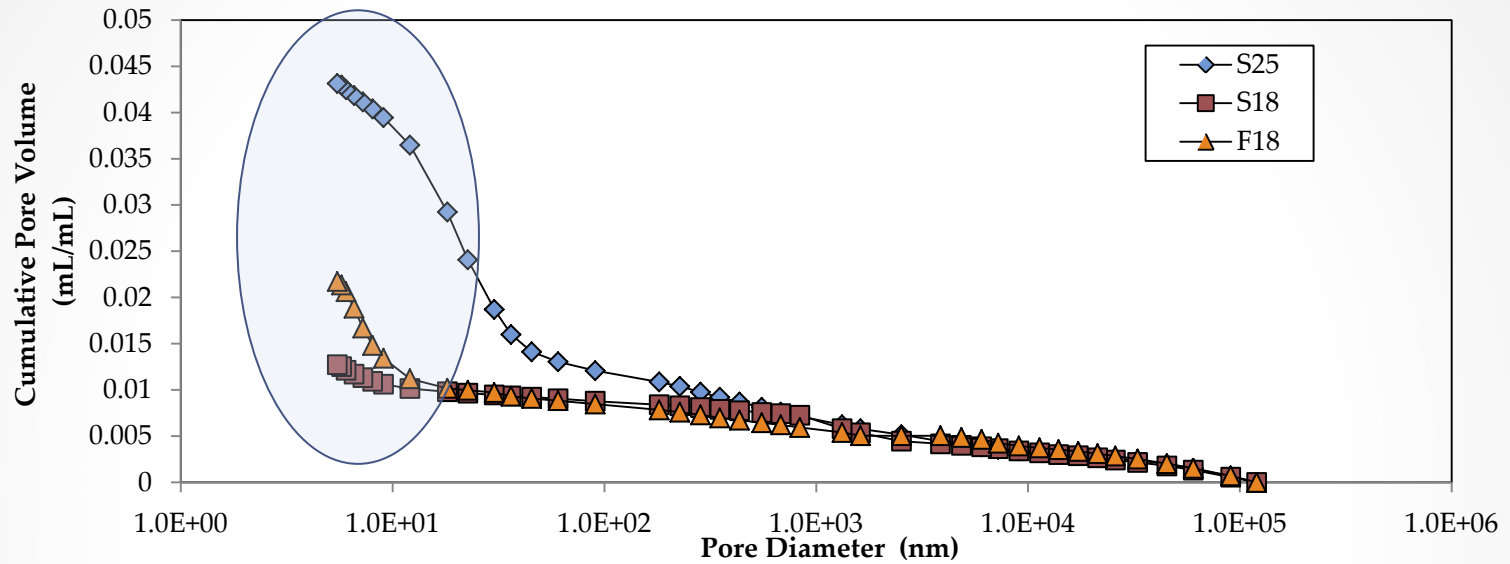
細骨材(硬質砂岩砕砂)・粗骨材:硬質砂岩

## 2012年度(@KUR)調合データ

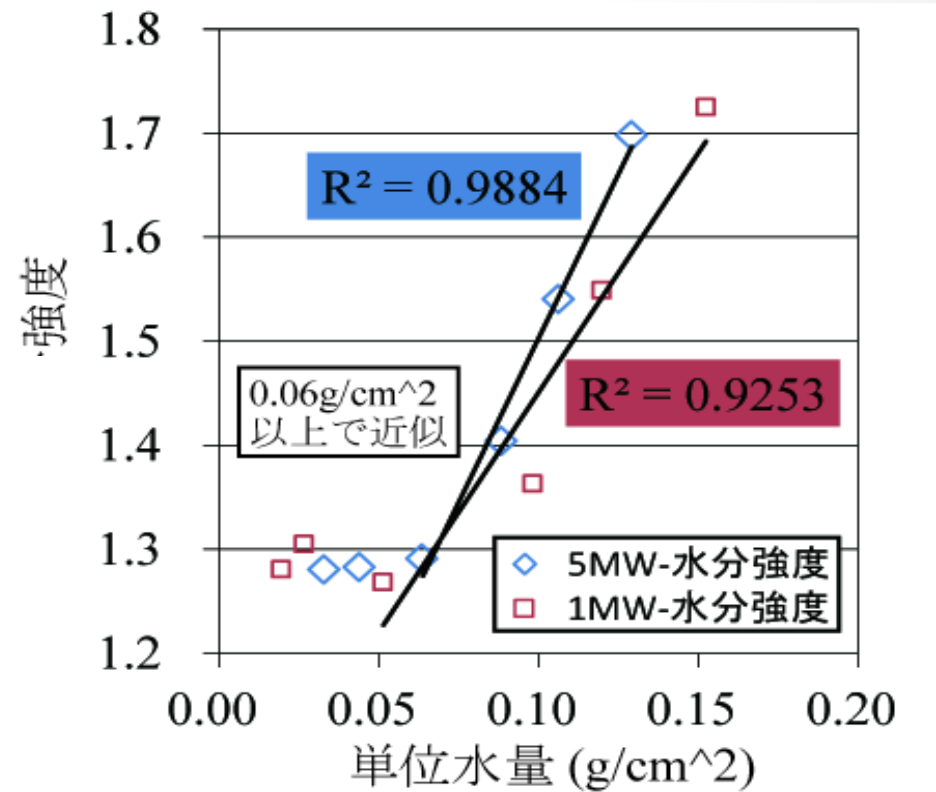
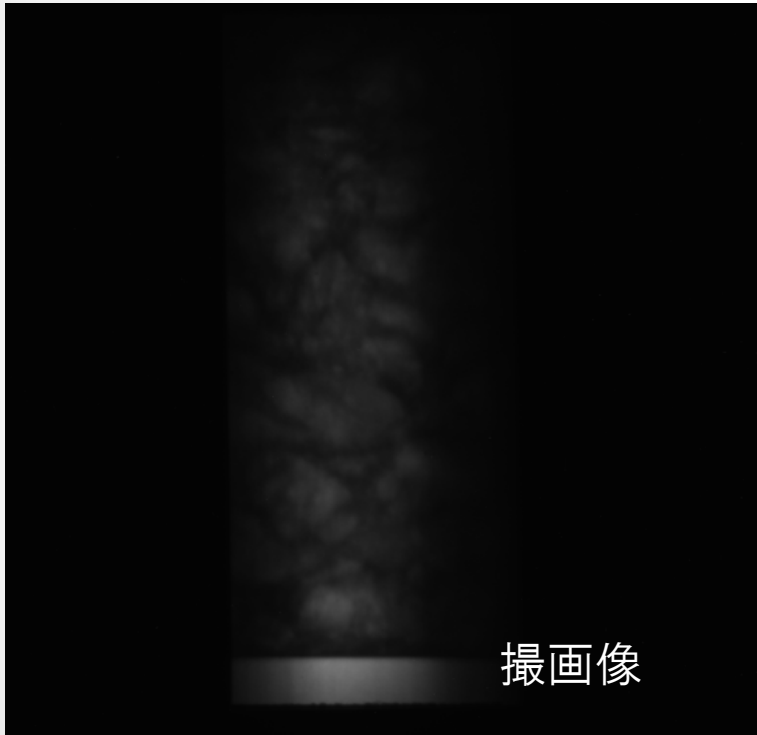
| W/C | W/B | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |       |       |       |        | 繊維<br>PP | 空気量<br>(%) |
|-----|-----|-------------------------|-----|-------|-------|-------|--------|----------|------------|
|     |     | W                       | C   | SF    | FA    | S     | G      |          |            |
| 20% | 18% | 160                     | 800 | 88.89 | -     | 425   | 1060.2 | -        | 2          |
|     |     | 160                     | 800 | -     | 88.89 | 425   | 1060.2 | -        | 2          |
|     |     | 160                     | 800 | 88.89 | -     | 566.7 | 916.4  | 0.1%vol  | 2          |
| 28% | 25% | 160                     | 576 | 64    | -     | 567   | 916    | -        | 1          |
|     |     | 165                     | 576 | -     | 64    | 567   | 916    | -        | 1          |

細骨材(硬質砂岩砕砂)・粗骨材:硬質砂岩

# コンクリートの調合(2012年度)



# 定量性の確認



# 加熱試験の結果 2011年度

- 水結合材比18%、セメントをシリカヒュームで置換
  - 有機繊維混入の爆裂防止効果を検証するため、**ポリプロピレン繊維を混入した試験体**も準備した。

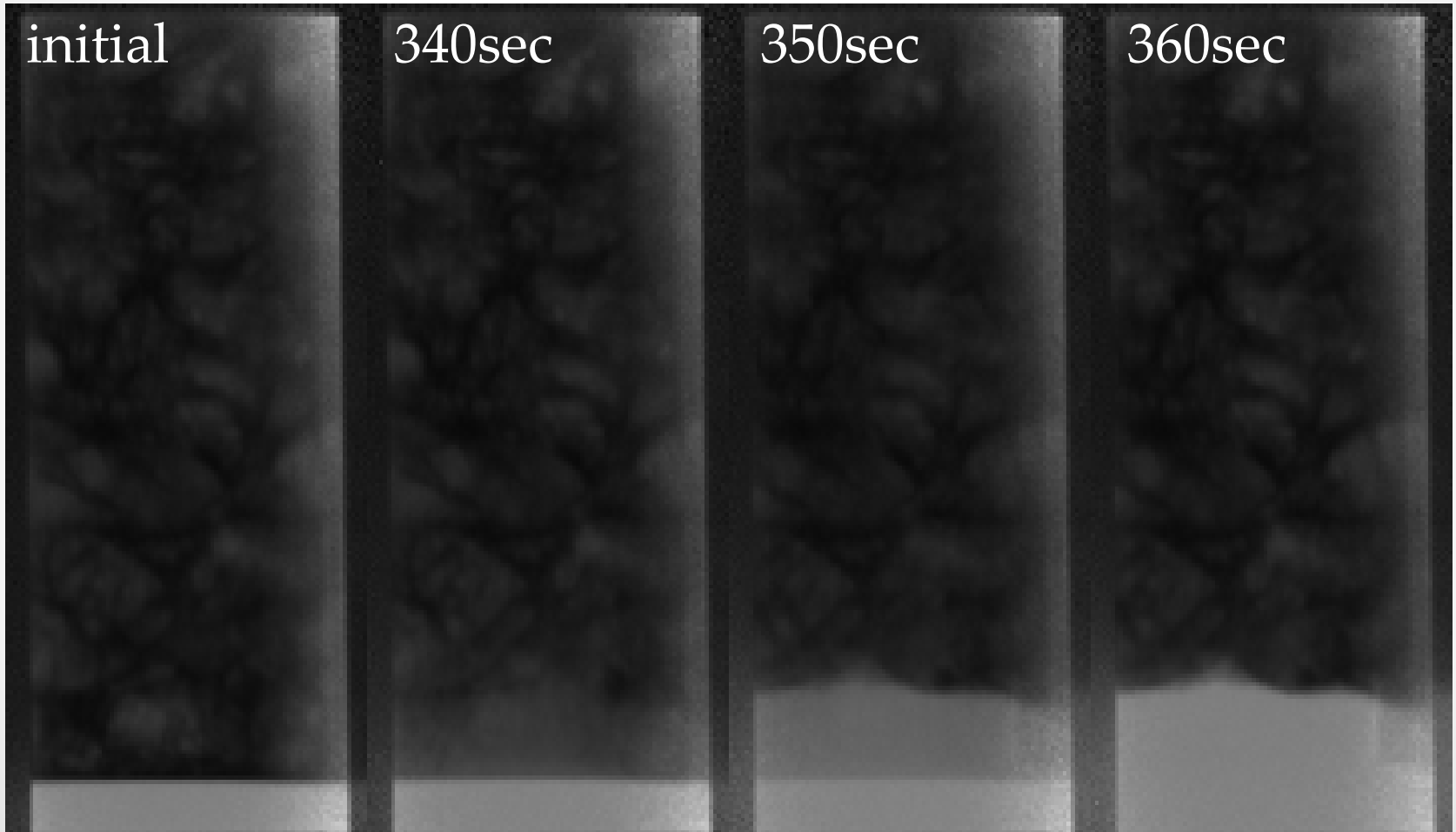
| W/C | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |       |       |        | 繊維      | 混和剤   | 減泡剤   | 空気量 |
|-----|-------------------------|-----|-------|-------|--------|---------|-------|-------|-----|
|     | W                       | C   | SF    | S     | G      | PP      | C×(%) | C×(%) | (%) |
| 18% | 160                     | 800 | 88.89 | 425   | 1060.2 |         | 2.7   | 0.70  | 2   |
|     | 160                     | 800 | 88.89 | 566.7 | 916.4  | 0.1%vol | 3     | 0.70  | 2   |

- 三つの初期含水状態で加熱を行った。
  - 気中-3週間気中に放置し、相対含水率90%程度のもの
  - 飽水-試験直前まで水に浸しておいたもの
  - 絶乾-1週間105℃によって乾燥をさせたもの

| 水準     | 試験体数 | 爆裂発生 |
|--------|------|------|
| 気中     | 10   | 9    |
| 絶乾     | 2    | 0    |
| 飽水     | 2    | 0    |
| PP繊維混入 | 1    | 0    |

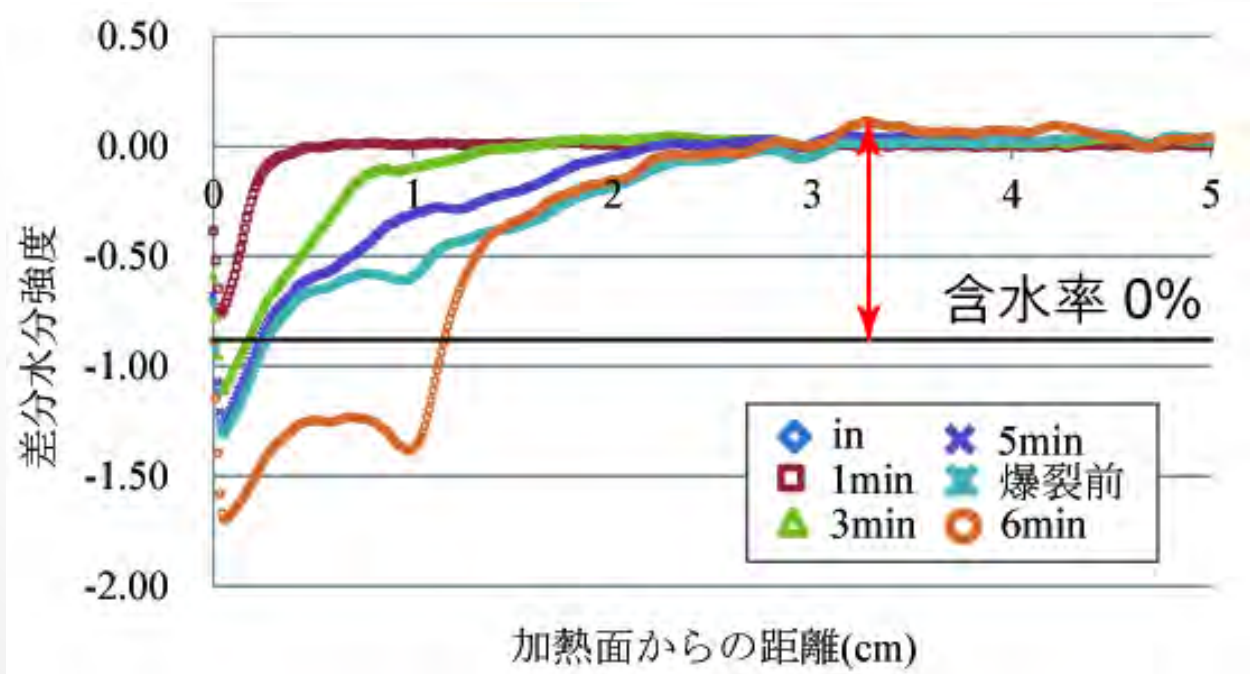
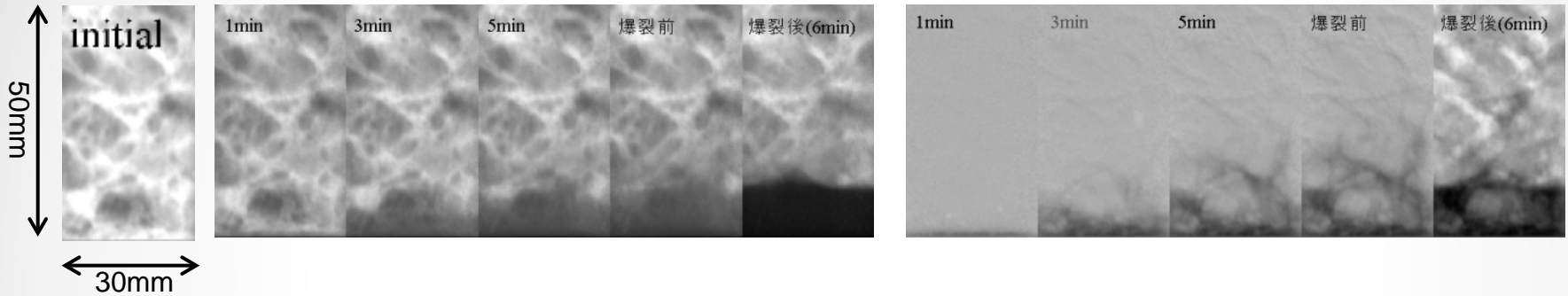
# 高強度コンクリートの爆裂

- 実験結果

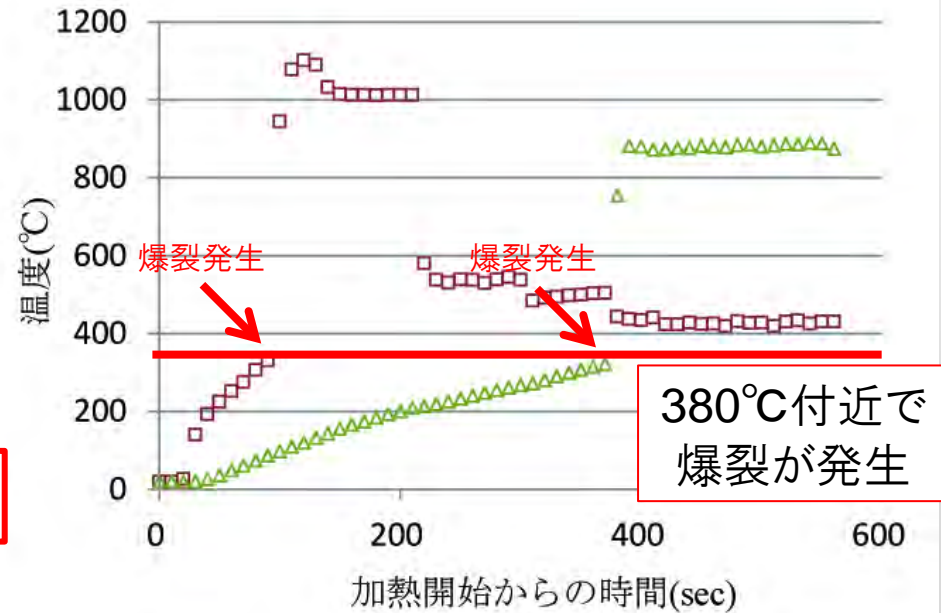
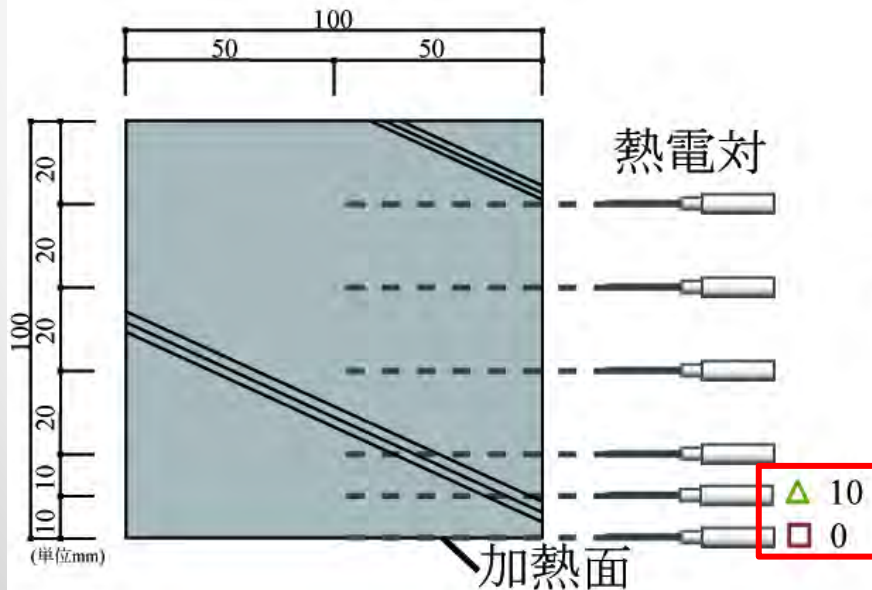
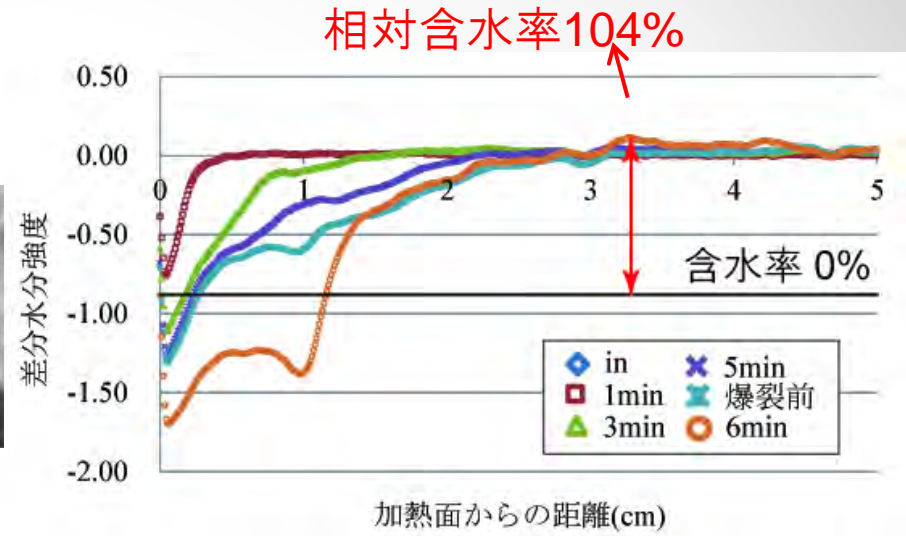
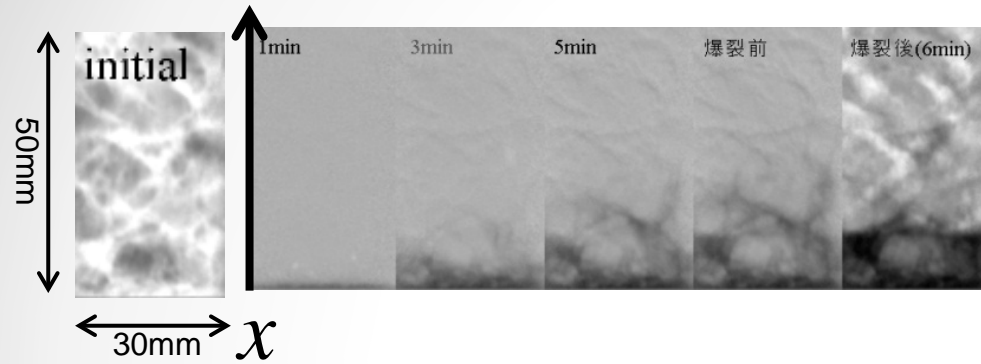


# 爆裂時の水分挙動 -実験結果-

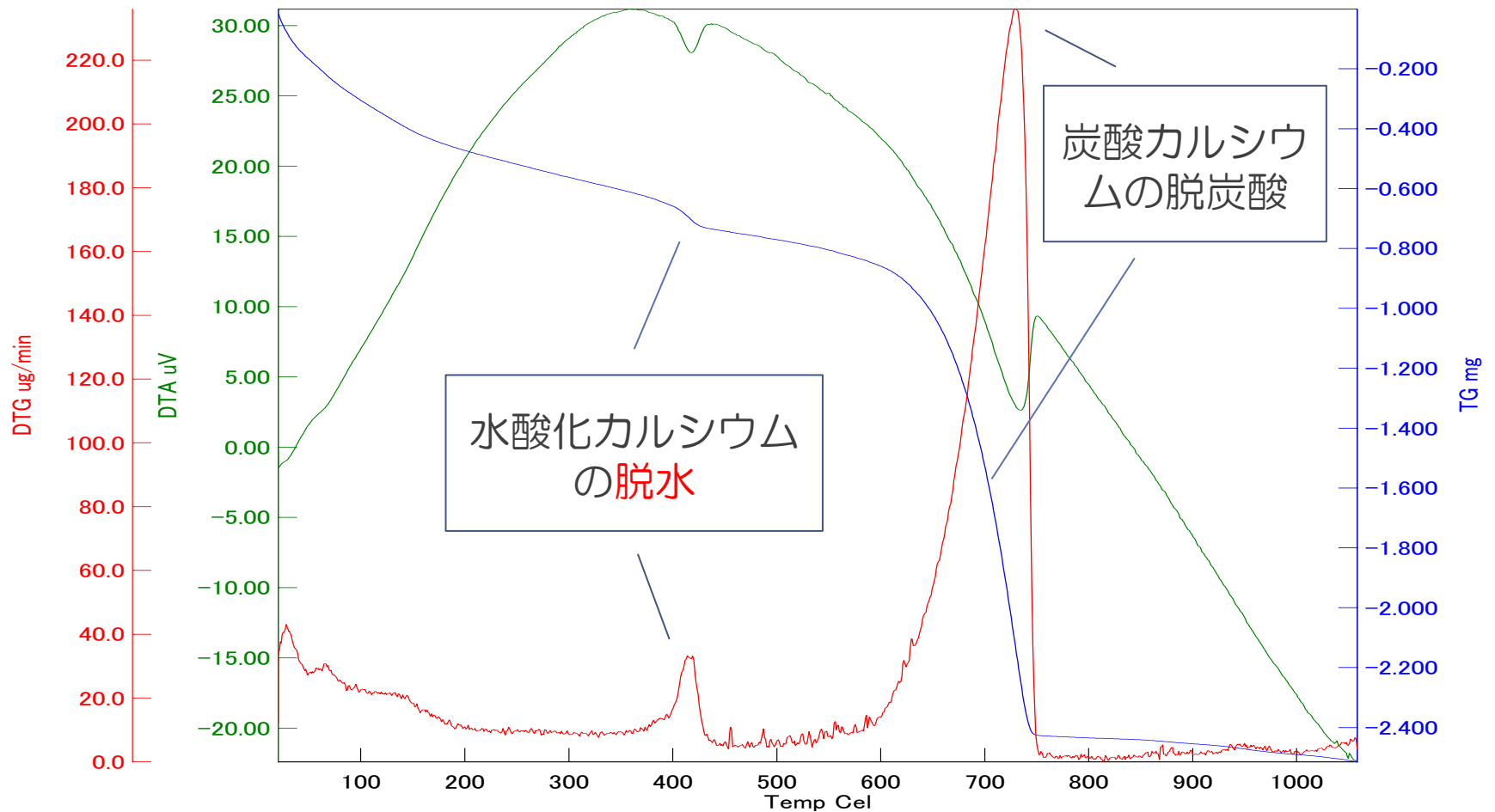
- 気中乾燥試験体 爆裂あり



- 気中試験体 爆裂あり



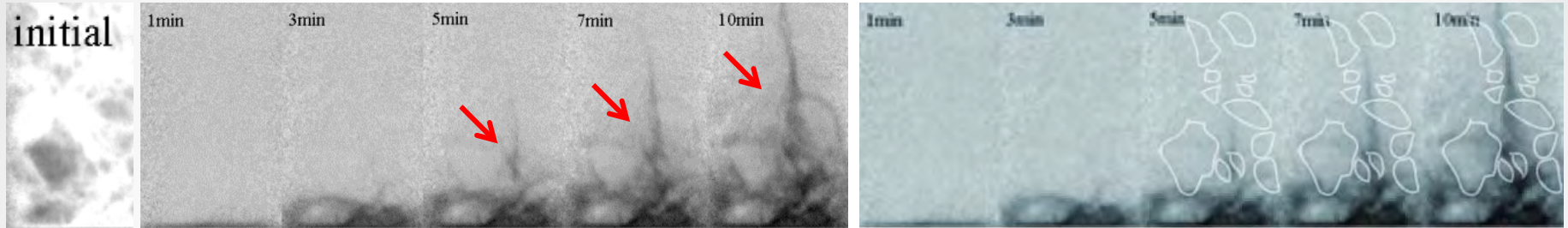
# コンクリートの熱測定(TG/DTA)



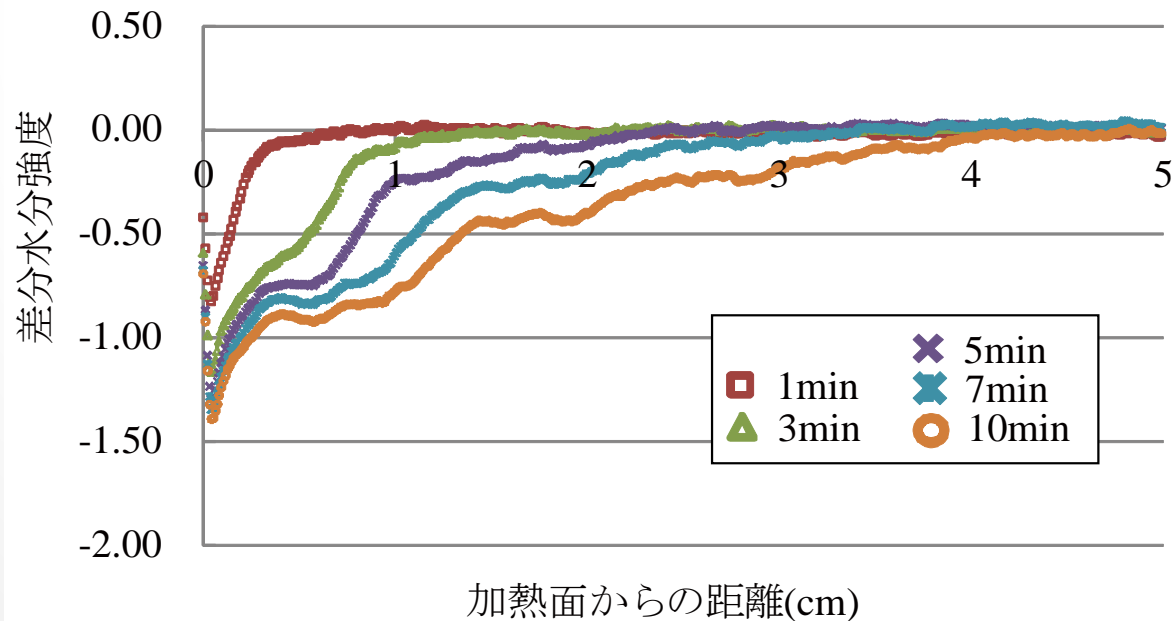


# 爆裂時の水分挙動 -実験結果-

- 飽水試験体

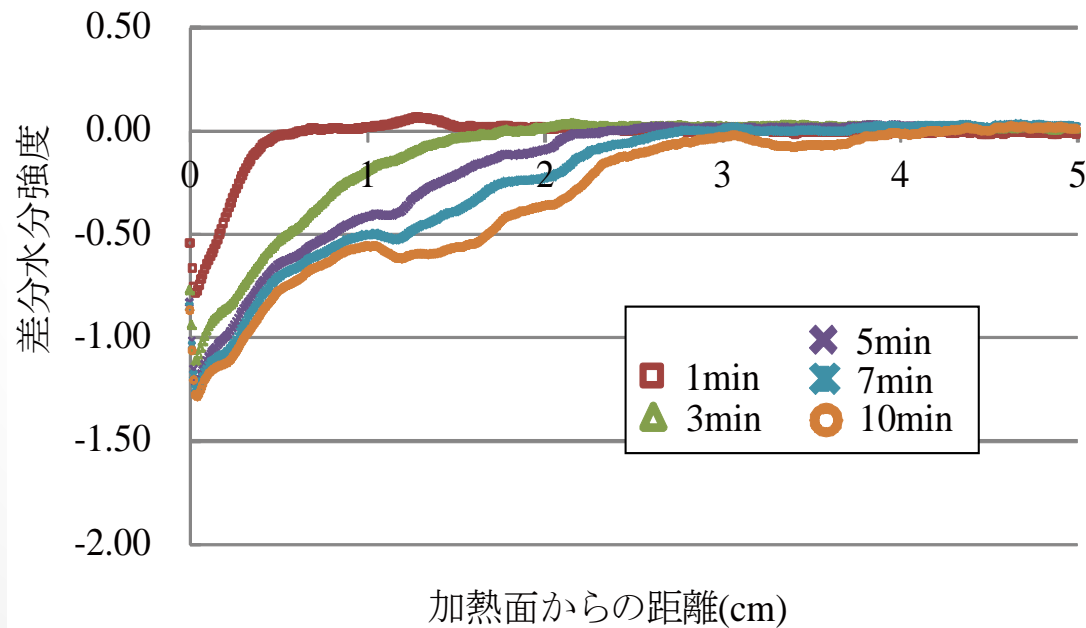
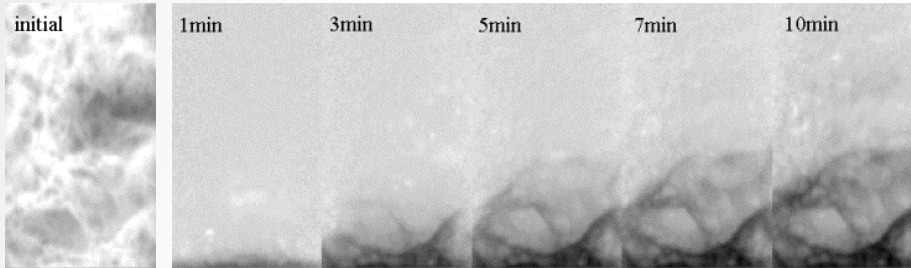


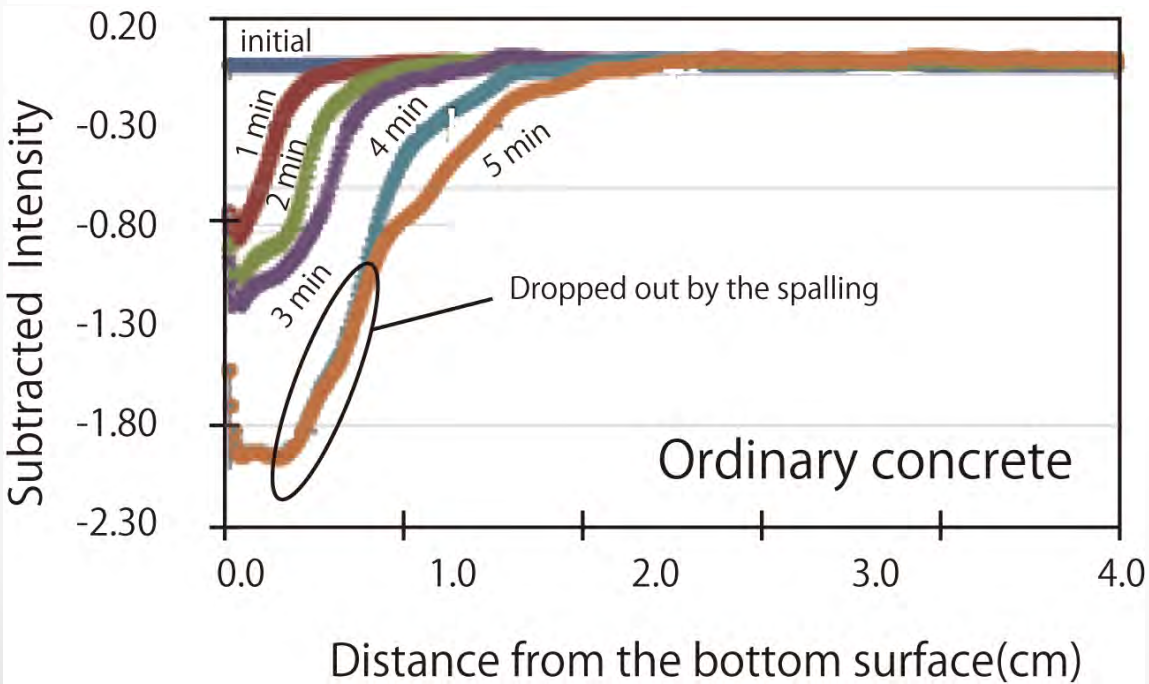
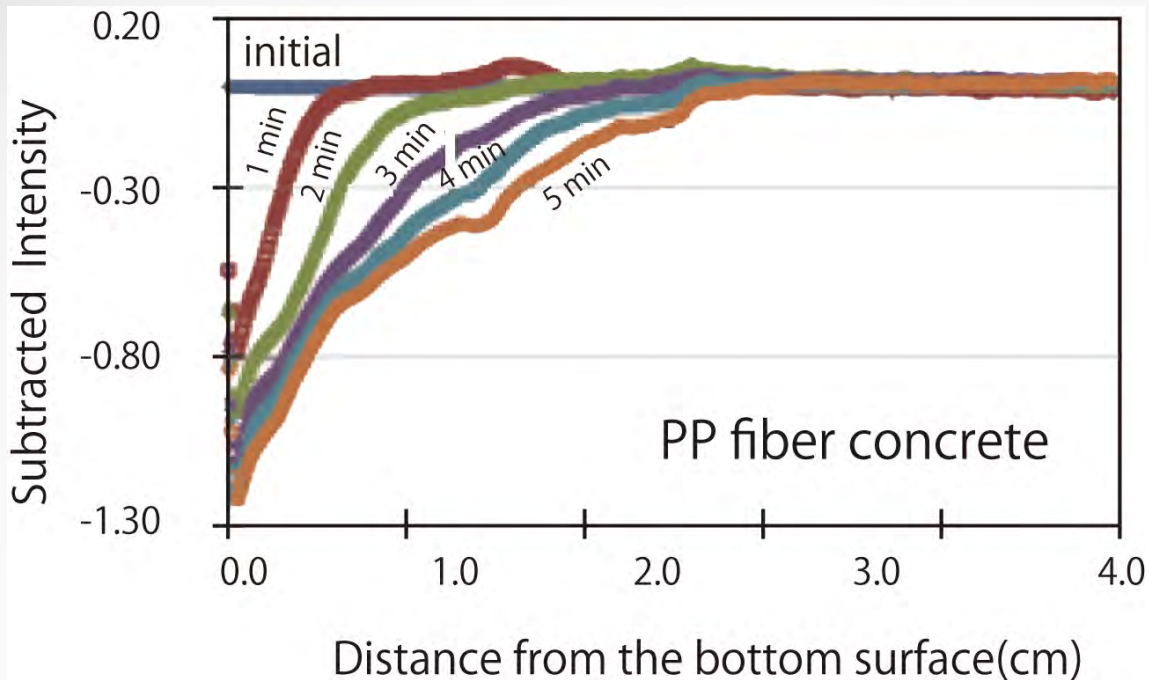
骨材周辺を介して、乾燥が先行する様子が確認できる



# 爆裂時の水分挙動 -実験結果-

- PP繊維混入試験体





# 爆裂研究の今後の展望

- これまで
  - ☑ ガスバーナーの利用による高温加熱の実現
  - ☑ 爆裂の捕捉
  - ☑ 水分だまりの確認
- 測定に関する課題
  - 圧力・**変形**・温度
  - **拘束度の検討**
  - **水分の移動方向の制御**
  - **爆裂時の脱落面の形状の測定**
- **安全性の追求**
  - 装置精度の改変によるさらなる安全性の確保  
(着火方法・フィルター・破片飛散)

ご清聴ありがとうございました

