

東京電力福島第一原子力発電所 1号機PCV内部調査により確認された コンクリートに関する事象の検討

大阪大学 大学院工学研究科
東京電力福島第一原子力発電所事故調査チーム
「1F-2050」



大阪大学工学部/大学院工学研究科
School/Graduate School of Engineering,
Osaka University

大阪大学 大学院工学研究科
附属フューチャーイノベーションセンター
インキュベーション部門 社会課題解決型グループ
<http://www.cfi.eng.osaka-u.ac.jp/arena/incubation/1F-2050/>

背景

注目している事象

- 1号機ペデスタル開口部及び内部で確認されたコンクリート部の破損
- ペデスタル外側のPCV底部に確認されたテーブル状堆積物

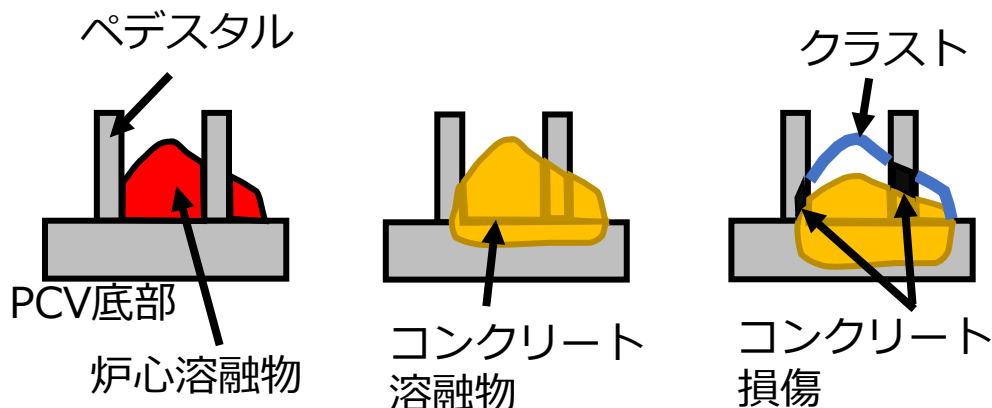


出典：東京電力福島第一原子力発電所の事故の分析に係る検討会（第30回会合）資料1-1/補足説明資料1

大阪大学グループは2つのシナリオを提案、検証試験を実施

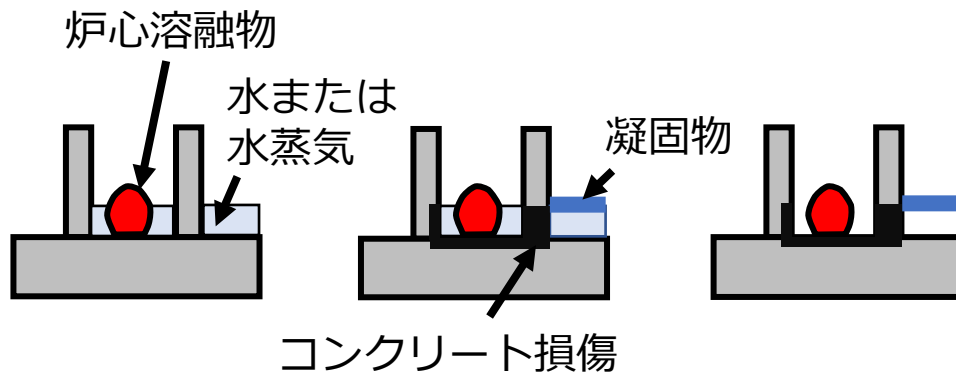
(1) コンクリートの高温での溶融シナリオ

- 炉心溶融物がコンクリートを昇温
- コンクリートが溶融
- クラストの形成



(2) コンクリートの水への溶解シナリオ

- 炉心溶融物が高温の水、又は水蒸気を発生
- コンクリートが水へ溶解、高粘度の液相が生成
- 水の脱離により多孔質な物質が生成

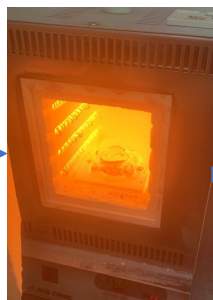


今回の試験の狙い

新田川産骨材を用いて作製したコンクリートの加熱溶融試験 (第32回会合において報告)



福島県新田川産骨材
コンクリート



1280℃8時間



冷却後

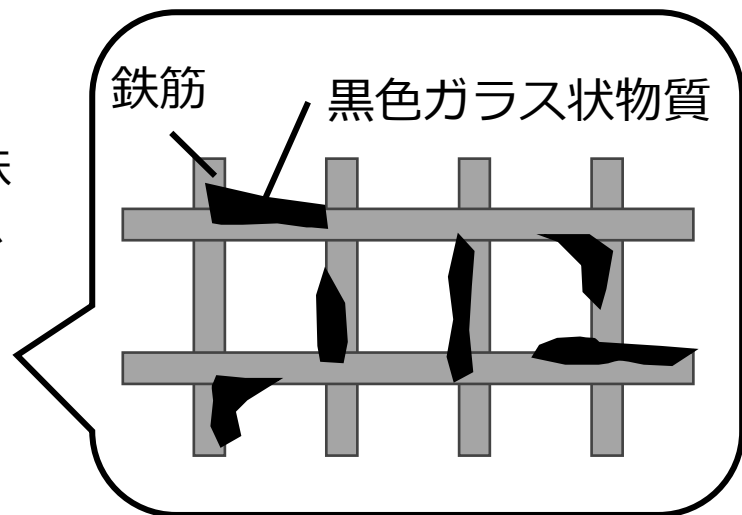
溶融したコンクリート
が黒色ガラス状物質と
なり、耐熱セラミック
ス板に固着



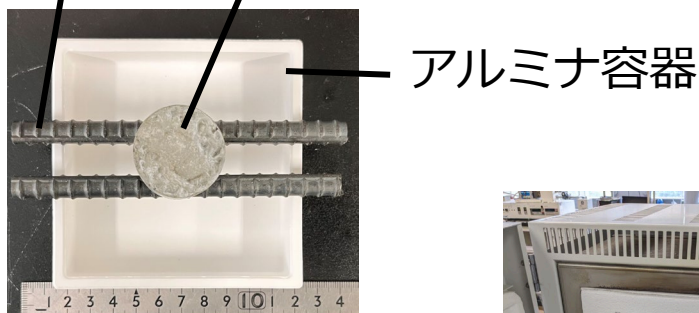
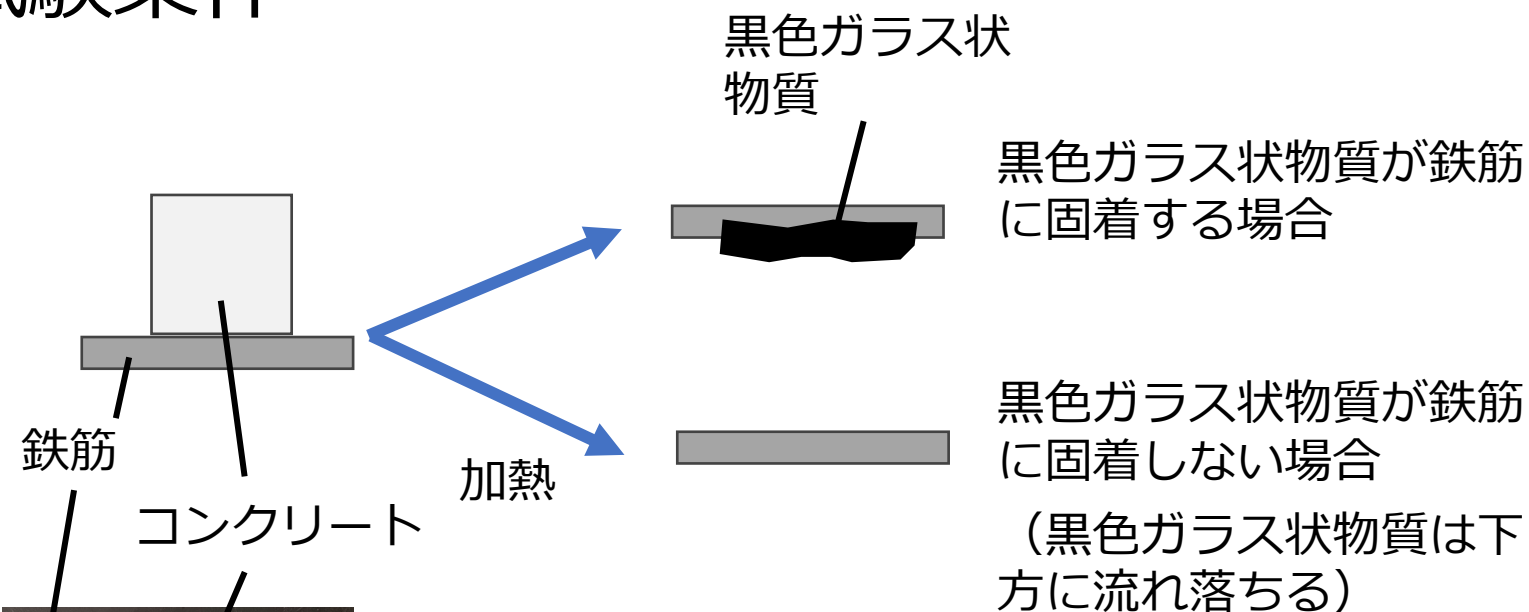
- コンクリートが高温（1280℃程度、鉄筋は溶融しない温度）で溶融した場合、黒いガラス状の物質が鉄筋に固着？
- 鉄筋表面の付着物によりコンクリートが高温で溶融した可能性を排除可能？



鉄筋とコンクリートとの高温での
反応試験を実施



試験条件



試験炉

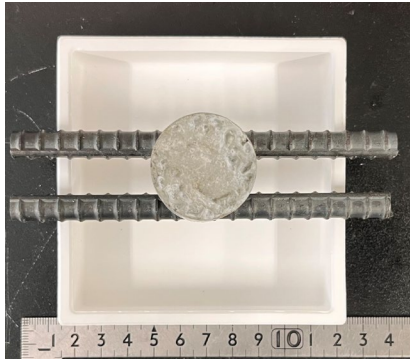
試験炉：マッフル炉

雰囲気：大気下

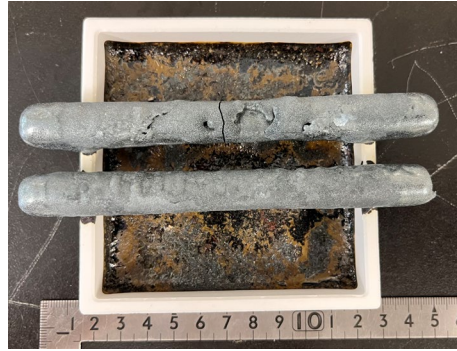
温度： 7.5時間で1280℃に昇温、
2時間保持

試験片：コンクリート片は高さ3cm、
直径3cmの円柱状
鉄筋は長さ12cm、
サイズD10、鋼種SD295

加熱試験後の鉄筋とコンクリートの外観



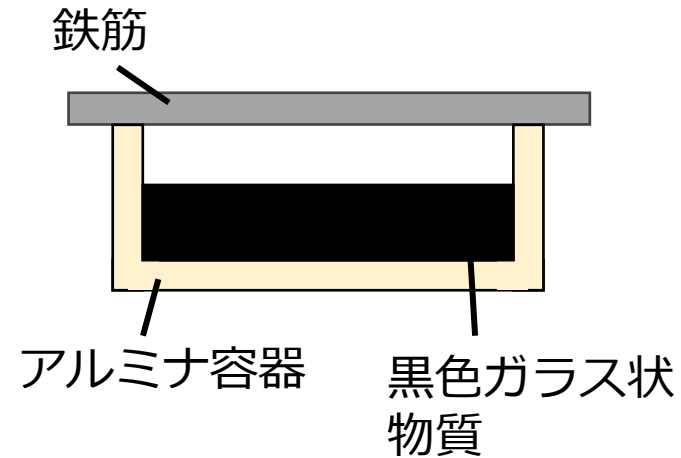
1280℃
2時間



試験前



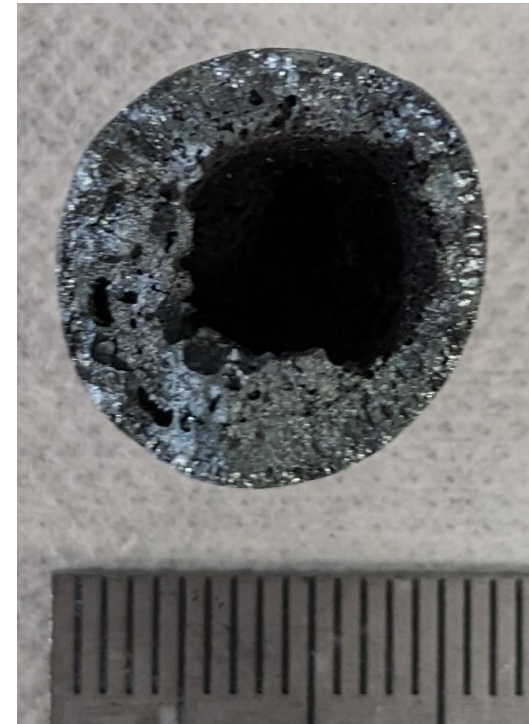
試験後



試験後概略図

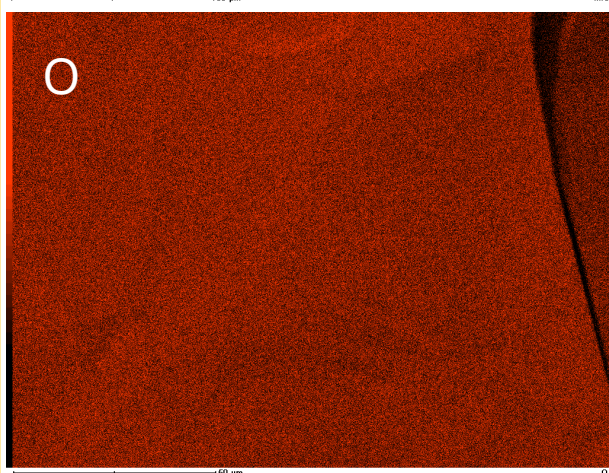
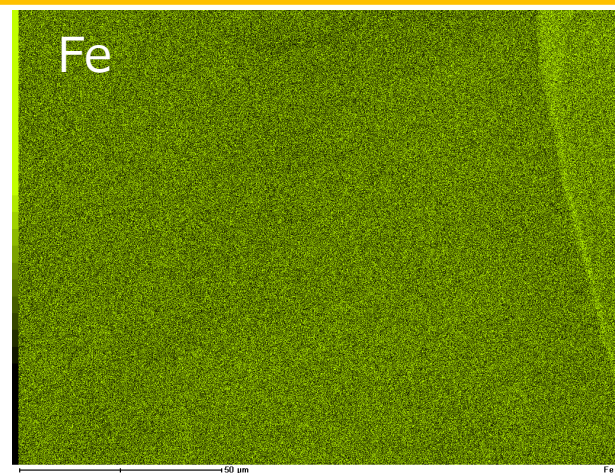
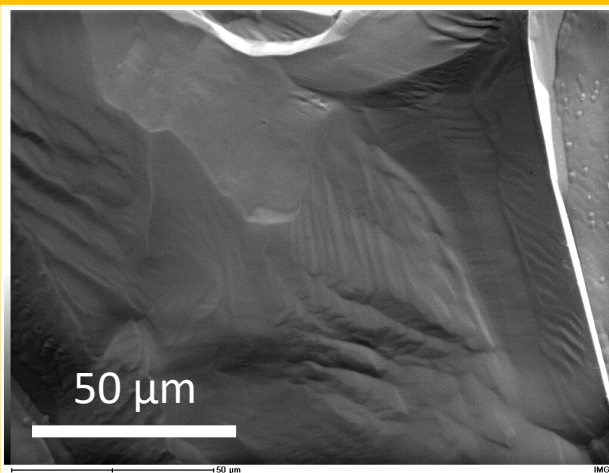
- 黑色ガラス状物質は下方に流れ落ち、鉄筋に固着していなかった
- 鉄筋が膨張していた

鉄筋の外観と断面



- 鉄筋は表面に反応相が生じた結果、膨張したように見えた
- 中心に鉄筋らしきものが残っていた
- 反応相は黒色で金属光沢があり、硬くて脆い

鉄筋の反応相の分析結果



| 元素 | 原子数比 (%) |
|----|----------|
| Fe | 99.99 |
| Si | 0.001 |
| Al | — |
| Ca | — |

- 反応相表面をSEM/EDX分析 ⇒ 反応相には鉄(Fe)と酸素(O)のみが含まれる (コンクリート成分は含まれない)
- 反応相を粉末にしてXRD測定 ⇒ 反応相は Fe_3O_4 である

Fe₃O₄相の外観



- アルミナ容器との接触箇所において、Fe₃O₄相はアルミナにめり込んでいる

➡ Fe₃O₄相が鉄筋表面に成長する際に、アルミナを覆うように成長

- 鉄筋の上側を観察すると、片方の鉄筋がやや窪んでいるように見えるが、もう片方の鉄筋には窪みはない

➡ Fe₃O₄相が鉄筋表面に成長する際に、コンクリートを覆うように成長？（Fe₃O₄相が生成してからコンクリートが溶融？）

Fe₃O₄相が成長する前にコンクリートが溶融？

まとめ

概要 大阪大学の研究グループ「1F-2050」では、1号機のコンクリートの破損と堆積物生成に関して高温での熔融シナリオと水への溶解シナリオの2つのシナリオを提案し、検証試験を実施している。今回は高温での熔融シナリオに関する検証試験の進捗を報告した。

試験内容

- コンクリートを鉄筋の上に載せ、大気中1280℃で2時間保持した。
- 試験後は鉄筋が膨張し、コンクリートが熔融して生じた黒色ガラス状物質は鉄筋に付着せず下方に落下していた。
- 鉄筋断面観察により、鉄筋の表面に反応相が生じることで鉄筋が膨張したことが分かった。
- 鉄筋の反応相は黒色で金属光沢があり、脆い。SEM/EDXによる元素分析の結果、主成分はFeとOであり、XRD分析によって Fe_3O_4 であることが分かった。

結論

- コンクリートが高温になると熔融して黒色ガラス状物質が生じるが、この黒色ガラス状物質が鉄筋に付着しない条件が存在する。
- 1号機ペDESTALの鉄筋表面に黒色ガラス状物質が観察されていないことがコンクリートが高温で熔融しなかったことを示唆する、という推定には慎重になるべき。
- 黒色ガラス状物質が鉄筋に付着しなかったメカニズム解明(特に Fe_3O_4 の役割の解明)のため、追加の試験を実施する予定。
(鉄筋入りコンクリートの加熱試験、鉄筋とコンクリートの温度差の影響評価、熔融挙動の直接観察、雰囲気の影響評価、等)