

GBRC 60周年記念セミナー

特定の環境下で起こるコンクリート劣化 －原因を確定させる分析手法－



2024年10月2日 材料部



材料部 講演目次



材料部の業務紹介・問合せ

材料試験室の業務紹介
工事用試験室の業務紹介

コンクリート構造物の劣化

コンクリート構造物の診断

劣化事例

原因を確定させる分析手法

注目されているコンクリート劣化

アルカリシリカ反応と遅延エトリンガイト生成



▶ 材料部の業務紹介・問合せ

材料試験室の業務紹介
工事中試験室の業務紹介

コンクリート構造物の劣化

コンクリート構造物の診断

劣化事例

原因を確定させる分析手法

注目されているコンクリート劣化

アルカリシリカ反応と遅延エトリンサイト生成



材料試験室

フレッシュコンクリートの試験：スランプ、空気量、凝結など

硬化コンクリートの試験：乾燥収縮、凍結融解、促進中性化など

アルカリシリカ反応性試験：骨材、コンクリート、コンクリートコア

分析試験：含有成分の定性・定量分析、組織像観察など

自主共同研究：

- アルカリシリカ反応とエトリンサイトの遅延生成によるコンクリートの複合劣化進行のメカニズム解明のための実験的検討
- 火災によるコンクリート中の含水状態の変化に着目した火害調査手法に関する研究
- ジオポリマーの物性および耐久性に関する検討

工事中試験室

硬化コンクリート、セメント系材料の強度試験：
圧縮強度試験、曲げ強度試験、引張強度試験

鋼材の引張・曲げ試験：
素材、圧接継手、フレアー溶接継手、機械式継手など

骨材の物性試験：
密度・吸水率試験、粒度試験、微粒分量、安定性試験、すり減り試験など

ご相談は、お気軽に 材料試験室 : ☎ 06-6834-0271 (直通)

工事中試験室 : ☎ 06-6834-0561 (直通)

また、本日は相談ブースに各試験、研究の担当者が常駐していますので、
お気軽にご相談ください。

材料部 講演目次

材料部の業務紹介・問合せ

材料試験室の業務紹介

工事中試験室の業務紹介

➡ **コンクリート構造物の劣化**

コンクリート構造物の診断

劣化事例

原因を確定させる分析手法

注目されているコンクリート劣化

アルカリシリカ反応と遅延エトリンガイト生成

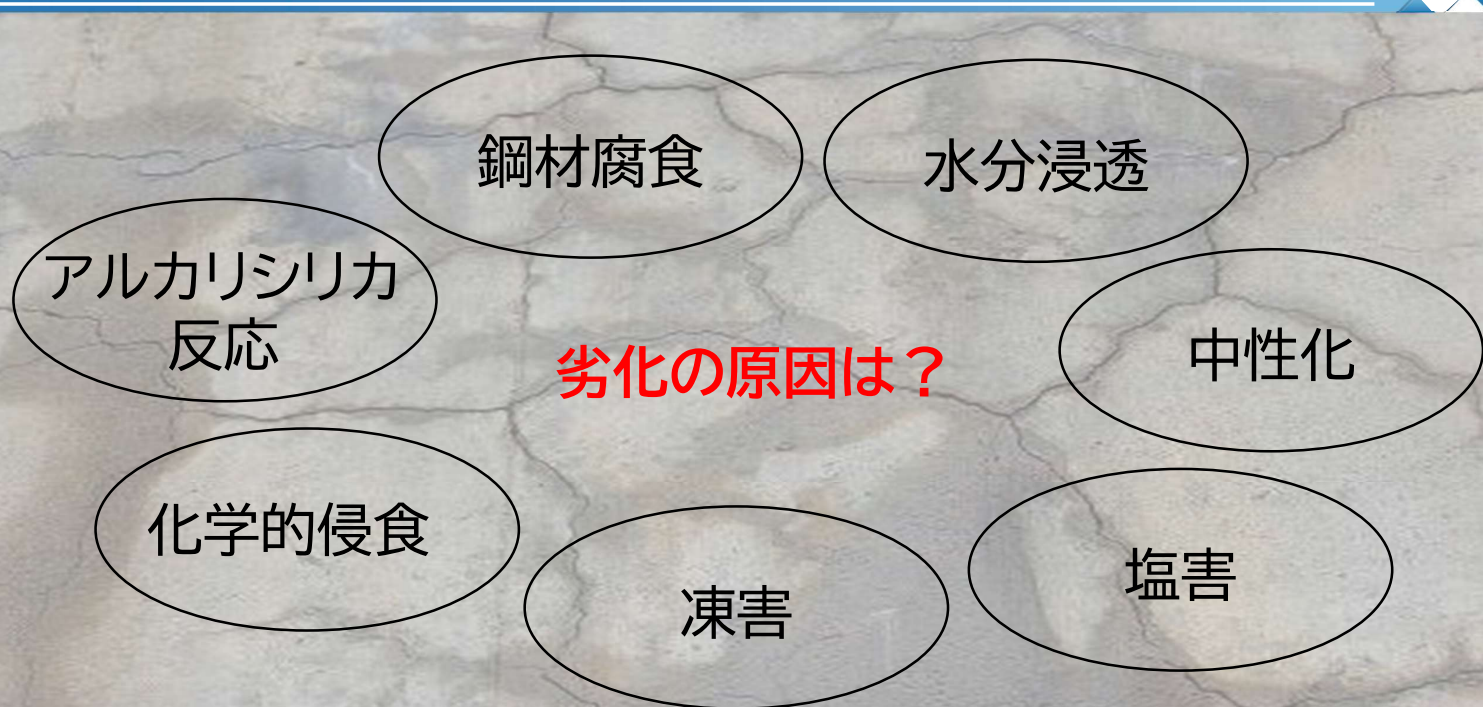
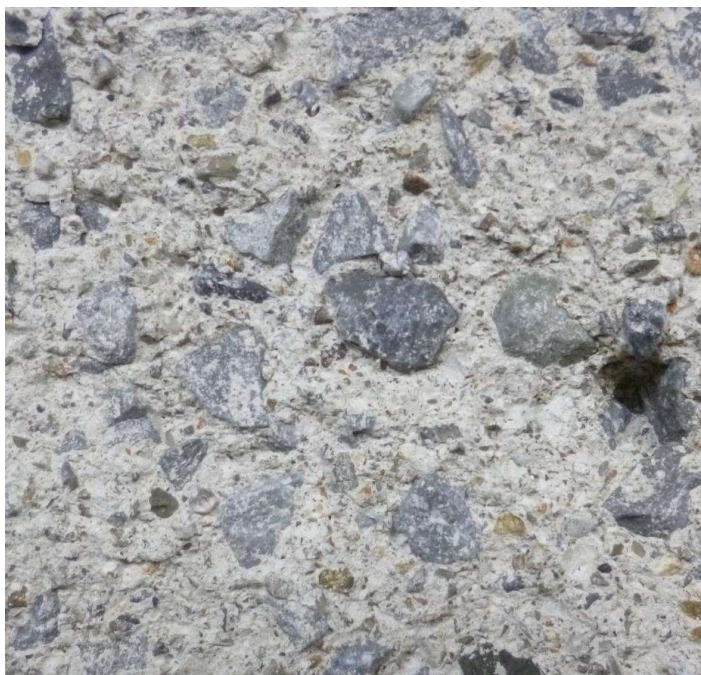


コンクリート構造物の劣化

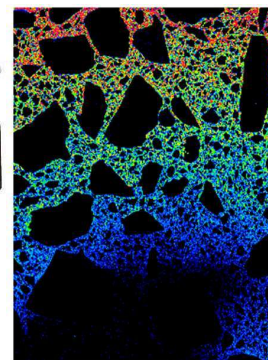
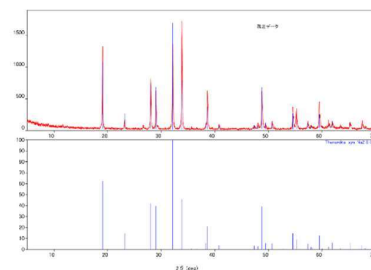
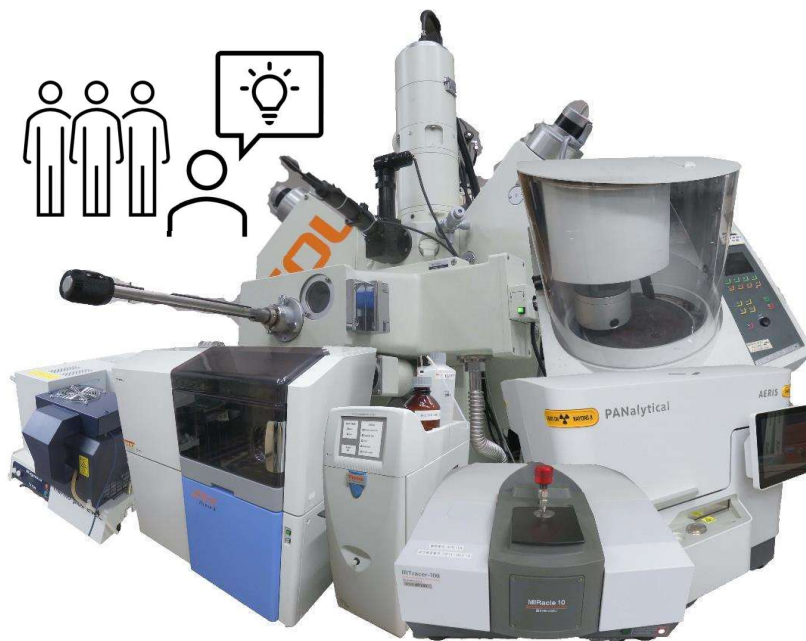
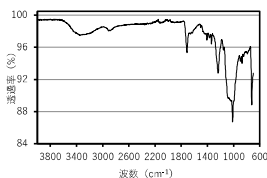
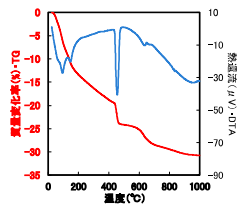
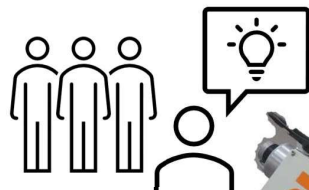


コンクリート構造物の劣化





多種多様な 職員&設備



材料部 講演目次

材料部の業務紹介・問合せ
材料試験室の業務紹介
工事用試験室の業務紹介

コンクリート構造物の劣化

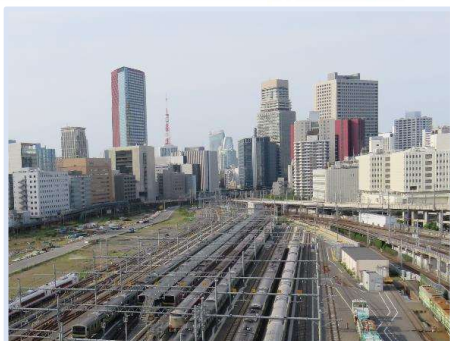
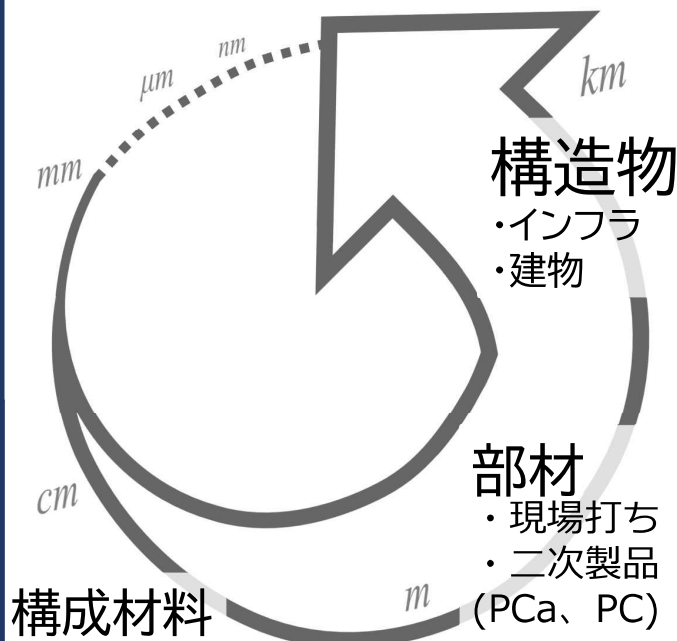
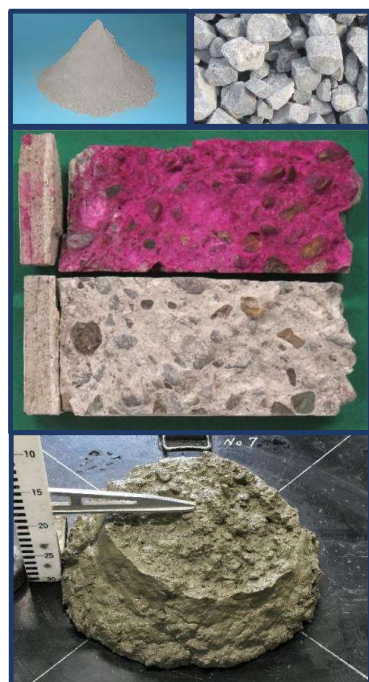
➡ **コンクリート構造物の診断**

劣化事例
原因を確定させる分析手法

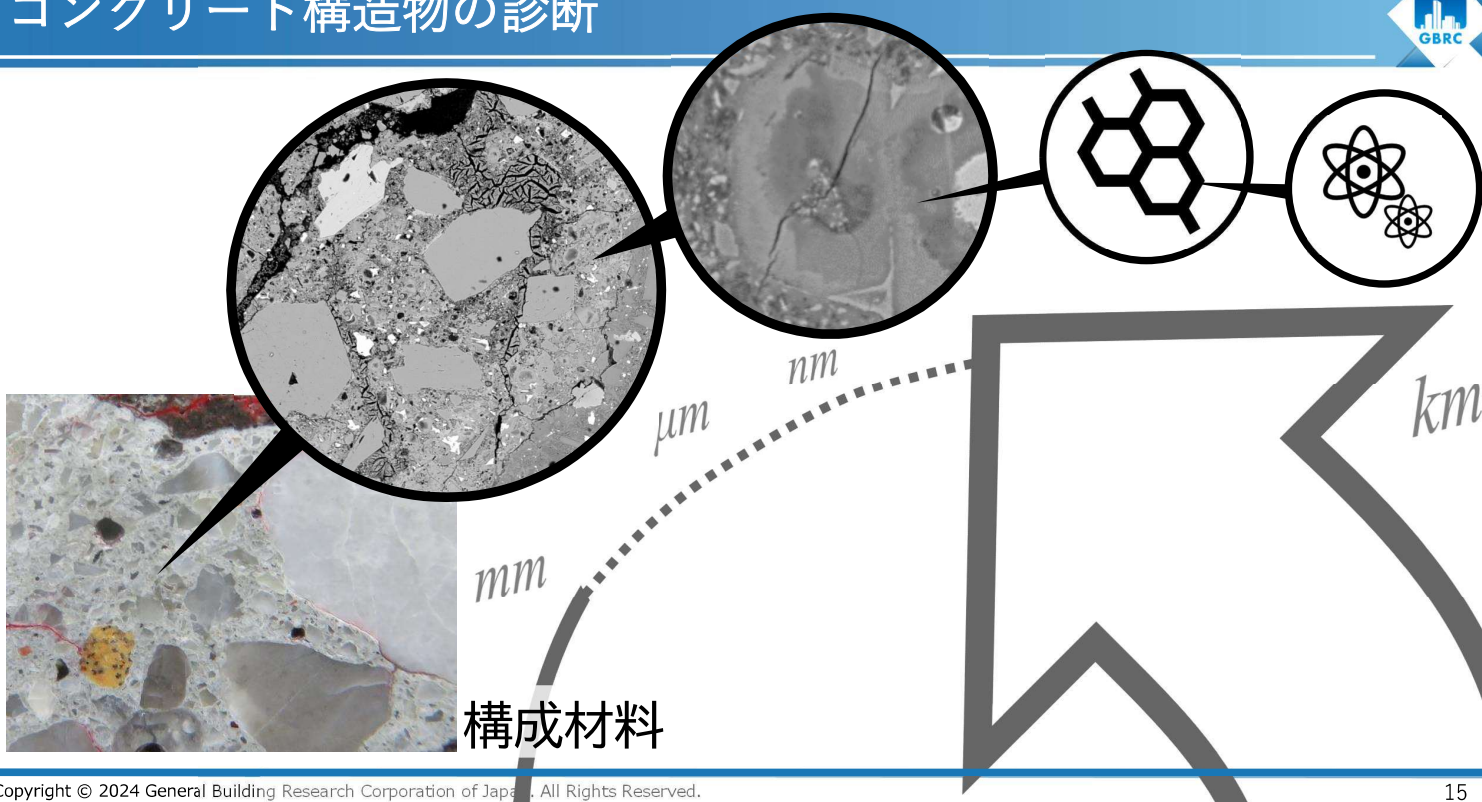
注目されているコンクリート劣化
アルカリシリカ反応と遅延エトリンガイト生成



コンクリート構造物の診断



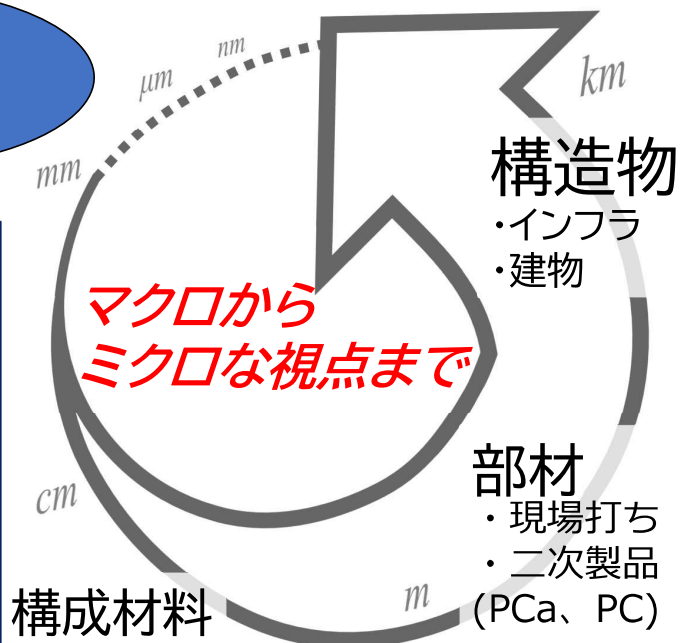
コンクリート構造物の診断



GBRCに
お任せを

試験方法は？

- ・物理試験
強度、中性化深さ
透気性 など
- ・劣化因子の測定
(定性、定量)
-湿式分析
-機器分析



環境条件は？

- ・雨掛りの有無
- ・平均気温
- ・想定される劣化因子
沿岸部、土中など

調査範囲は？

- ・劣化部と健全部の
比較

配合・使用材料は？ 製造方法は？

部材

- ・現場打ち
- ・二次製品
(PCa、PC)

構成材料

材料部の業務紹介・問合せ

- 材料試験室の業務紹介
- 工事用試験室の業務紹介

コンクリート構造物の劣化

コンクリート構造物の診断

➡ 劣化事例

原因を確定させる分析手法

注目されているコンクリート劣化

アルカリシリカ反応と遅延エトリンガイト生成



劣化事例1 橋脚のひび割れ

橋脚にはひび割れ、橋脚上部の連結部には著しい段差が生じている。一定の間隔でひび割れが生じ、滲出物も確認される。また沿岸部に立地。

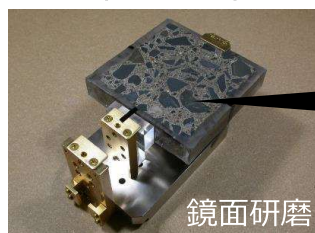
現況確認	劣化の推定	原因の確認方法
<ul style="list-style-type: none"> 一定間隔のひび割れ 膨張している？ ひび割れから滲出物 沿岸部に立地 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼材腐食 アルカリシリカ反応 (ASR) 塩害 	<ul style="list-style-type: none"> 電子顕微鏡観察、元素分析 電位差滴定法(JIS) EPMA面分析(JSCE) かぶりコンクリートの塩化物イオン濃度分布

アルカリシリカ反応 電子顕微鏡による組織観察

電子顕微鏡観察

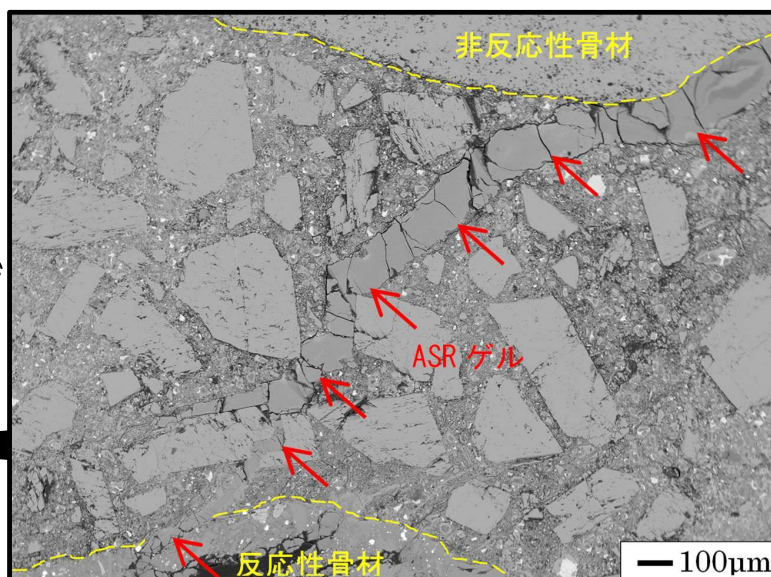


電子線マイクロアナライザ (EPMA)



鏡面研磨

ひび割れの状況、アルカリシリカゲルの確認



アルカリシリカゲルの構成元素(例)

Na ₂ O	13.6%
SiO ₂	57.6%
K ₂ O	4.0%
CaO	24.8%

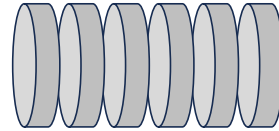
塩化物イオン濃度測定(JIS法)

コンクリートコアを採取



20mm毎に切断

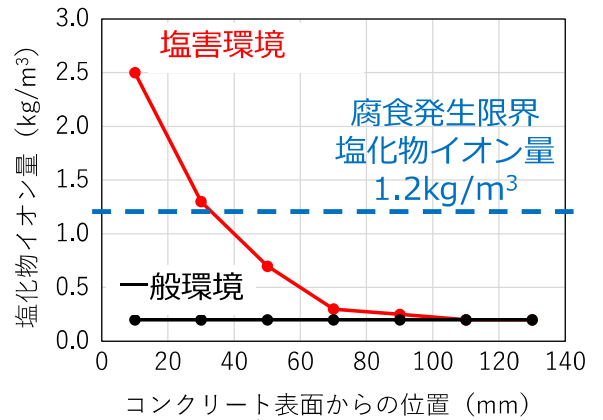
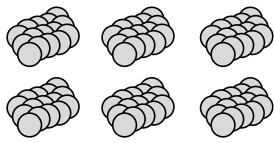
切断



微粉碎（分析試料）

分析（電位差滴定法）

粉碎

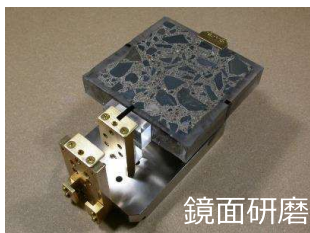


鉄筋深さの塩化物イオン濃度(量)の確認

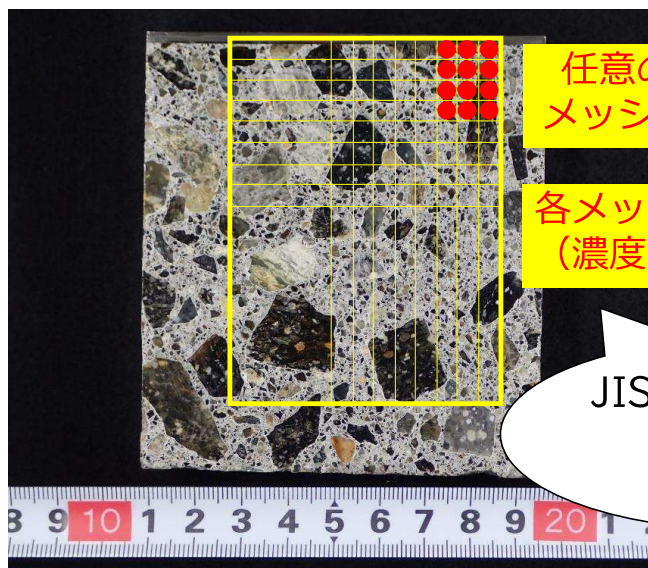
塩化物イオン濃度測定(JSCE法)



電子線マイクロアナライザ (EPMA)



鏡面研磨



任意の範囲をメッシュで分割

各メッシュ内を分析（濃度測定）

JIS法よりも細かい濃度分布を確認できる

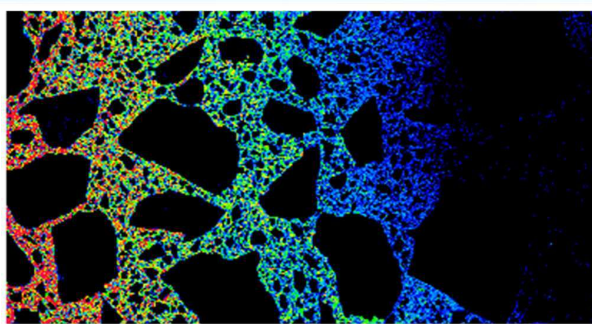
塩化物イオン濃度測定(JSCE)



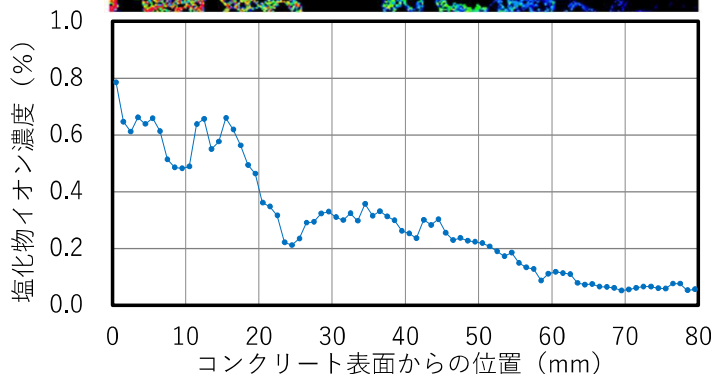
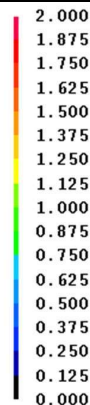
電子線マイクロアナライザ (EPMA)



鏡面研磨



Cl (塩素)



劣化事例2 脆弱化したコンクリート壁

ビルの地下部分のコンクリート壁が著しく脆弱化しておりセメントペースト部分が特に脆い。一部、漏水している箇所も確認される。

現況確認	劣化の推定	原因の確認方法
<ul style="list-style-type: none"> 地下部分 (土中に接している) 脆弱化したセメントペースト 	化学的侵食(塩類風化) 二水せっこう、エトリンガイトが卓越 硫酸塩の浸透	<ul style="list-style-type: none"> 粉末X線回折(XRD) 蛍光X線分析(XRF) 電子顕微鏡観察 EPMA面分析

コア、はつり片を採取



粗粉碎

可能な限りセメント
ペーストと骨材を分離



微粉碎

微粉末（分析試料）



粉末X線回折(XRD)



蛍光X線分析(XRF)

粉末X線回折(XRD)



どんな**化合物**が
含まれているか？

※検出された化合物によっては
定量(リートベルト解析)も可能

例)

- ・二水セッコウ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
 - ・エトリンガイト($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)
 - ・炭酸カルシウム(CaCO_3)
- が含まれている

蛍光X線分析(XRF)



どんな**元素**が
含まれているか？

※フッ素(F)～ウラン(U)の範囲

例)

成分名	含有量%
Na_2O	2.85
Al_2O_3	7.61
SiO_2	57.90
SO_3	5.00
K_2O	0.23
CaO	25.14
TiO_2	0.12
Fe_2O_3	0.94

※
検出した元素
が合計100%
となるように
理論換算した
含有量を算出

粉末X線回折(XRD)



どんな**化合物**が含まれているか？

※検出された化合物によっては定量(リートベルト解析)も可能

- ~~二水セッコウ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)~~
- ~~エトリンガイト($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)~~

が含まれている

実際に測定してみると...

粉末X線回折

二水セッコウやエトリンガイト
検出されず

蛍光X線分析(XRF)



どんな**元素**が含まれているか？

※フッ素(F)~ウラン(U)の範囲

蛍光X線分析

硫黄(S)ではなく塩素(Cl)の濃度が高い

→塩素が過剰に存在し脆弱に

材料部 講演目次

材料部の業務紹介・問合せ

材料試験室の業務紹介

工事用試験室の業務紹介

コンクリート構造物の劣化

コンクリート構造物の診断

劣化事例

原因を確定させる分析手法

▶ 注目されているコンクリート劣化

アルカリシリカ反応と遅延エトリンガイト生成



遅延エトリンタイト生成(DEF)

Delayed Ettringite Formation

膨張

水和初期に生成する無害なエトリンタイト

初期養生に70°C以上の熱を受けると分解

分解成分がC-S-Hに物理的・化学的に収着

コンクリートが硬化して数年後に放出

エトリンタイトが再生成、膨張

ASRとDEFの複合劣化

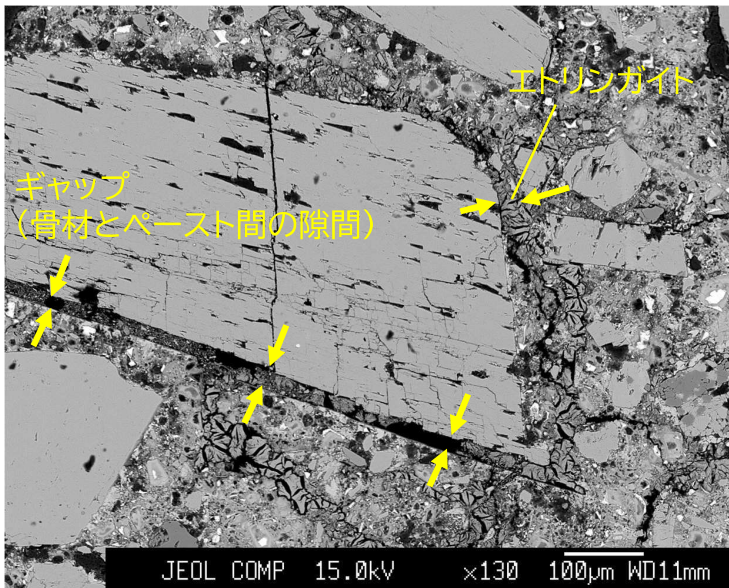
- ・DEFの試験方法
- ・ASRとDEFの見分け方

▶ 初期に高温履歴を受ける
マスコンクリート（水和熱）
2次製品（蒸気養生）



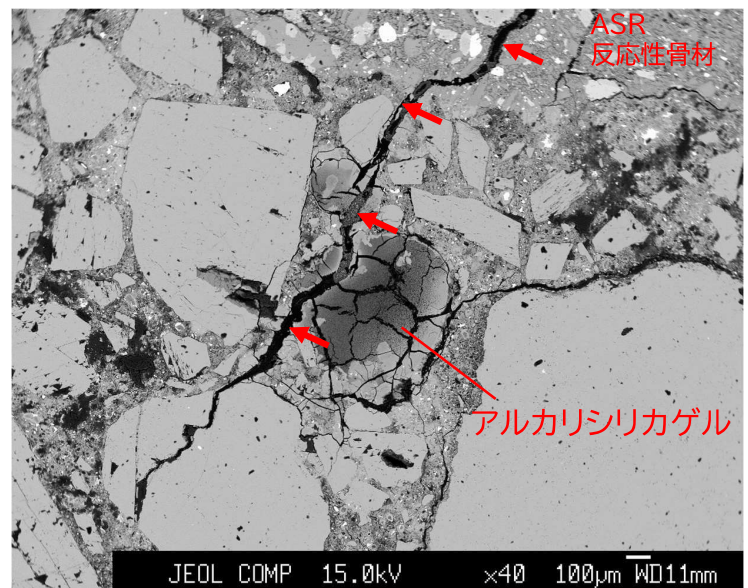
蒸気養生の再現

DEFの特徴



JEOL COMP 15.0kV ×130 100μm WD11mm

ASRの特徴

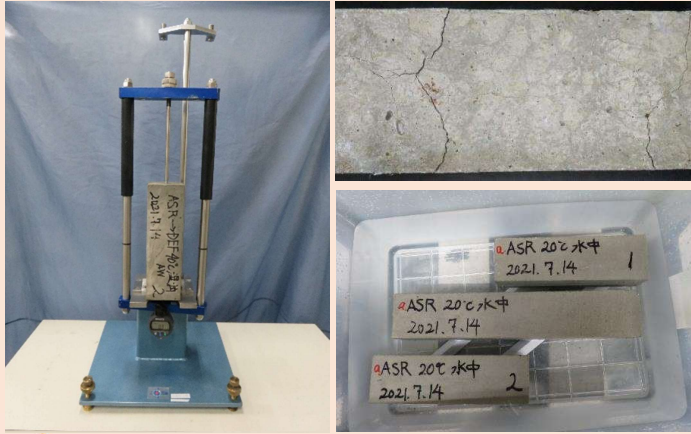


JEOL COMP 15.0kV ×40 100μm WD11mm

顕微鏡による組織観察が必須

新設構造物・製品の品質管理

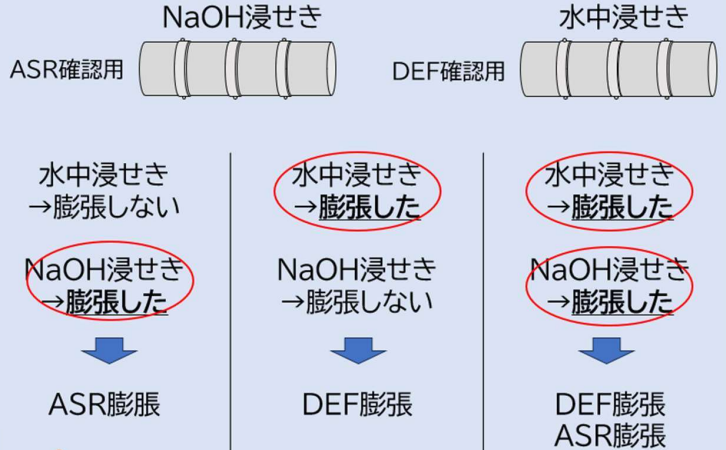
長さ変化(膨張率)測定試験
水中養生によるDEFの促進



使用する材料・配合計画

既設構造物の劣化調査・診断

コアの促進膨張試験
ASR、DEFで今後どれだけ膨張する？



計3本のコア(観察用1本、膨張試験用2本)

お問い合わせ

材料試験室

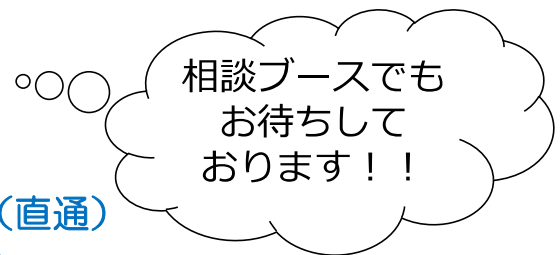
TEL : 06 - 6834 - 0271 (直通)

Mail : info.zairyo@gbrc.or.jp

工所用試験室

TEL : 06 - 6834 - 0561 (直通)

Mail : info.kojiyo@gbrc.or.jp



一般財団法人

日本建築総合試験所