

コンクリートの 診断方法と調査事例

(株)太平洋コンサルタント
西日本技術部

2017年11月17日
岡山県コンクリート診断士会
第3回情報提供会



弊社マスコット「分析ちゃん」[®]

事業所所在地と概要

2016.4.11現在

従業員：241名
(社員：157名、派遣等：84名)

西日本技術部 40名
(山口県山陽小野田市)
●分析グループ
●生産プロセスグループ
●コンクリートグループ

西日本営業部 12名(含兼務)
九州営業所(博多)2016.4月
南九州営業所(鹿児島)2016.1月

西日本コンクリート試験センター 22名
(福岡県田川郡香春町)
●コンクリート試験グループ
●試験推進グループ

太平洋セメント㈱
中央研究所内

本社 158名
(千葉県佐倉市)
●コンクリート技術部
●解析技術部
●電力原子力技術部
●分析技術部
●品質試験部

東京営業所 21名
(東京都中央区)
●セメントコンクリート営業部
●電力原子力営業部
●営業推進部

コンクリートの劣化と分析手法の関係-1

	強度	中性化	ポップアウト	火災
電子線マイクロアナライザー (EPMA)	水和組織観察	S,Cl濃度分布		
走査型電子顕微鏡 (SEM)	組織観察・遷移帯	組織観察・水和物形態	核(原因物質)	
偏光顕微鏡		炭酸カルシウム(カルサイト)		
光学顕微鏡			核(原因物質)	
粉末X線回折(XRD)	水和率	定性	原因鉱物同定	
示差熱天秤(TG-DTA)	Ca(OH) ₂ 量	Ca(OH) ₂ ・CaCO ₃ 量		水和物の有無 受熱温度の推定
細孔径分布	空隙率	空隙構造の変化		
化学分析	配合推定	CO ₂ 量・CSHのCa/Si比		

コンクリートの劣化と分析手法の関係-2

	凍害	ASR	塩害	硫酸塩侵食 (化学的劣化)
電子線マイクロアナライザー (EPMA)	(水和組織観察)	ゲル組成分析	Cl濃度分布(拡散計数)	S濃度分布
走査型電子顕微鏡 (SEM)	組織観察	ゲル・組織観察 組成分析	組織観察	形態・組織観察
偏光顕微鏡		反応性骨材		骨材周囲
光学顕微鏡	気泡間隔計数	反応性骨材・ゲル		
粉末X線回折(XRD)		反応性骨材	フリーデル氏塩	エトリガイト・セッコウ硫酸塩
示差熱天秤(TG-DTA)				
細孔径分布	空隙構造変化			空隙構造変化
化学分析		化学法	Cl濃度	SO ₃ 量

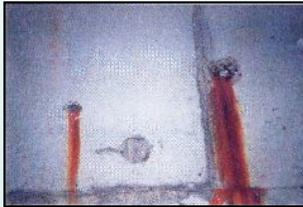
ポップアウトとは？



ポップアウトの特徴
 コンクリートが円錐状に剥離。
 円錐の頂点に「核」となった物質が存在（白色、黄褐色等）。

発生時期
 コンクリートの状態（表面処理、発生場所、原因）により施工後1ヶ月以内～十数年と大きな違いがある。発生直後に発見できるとは限らない。

原因調査
 「核」に含まれる物質をXRDを用いて定性分析



黄鉄鉱を含む泥岩による
 (JCI コンクリート構造物の劣化事例写真集より)

エフロレッセンスとは？

コンクリート中やその周辺の可溶成分が水分の移動によってコンクリートの表面に移動し、表面での水分の蒸散や二酸化炭素の吸収によって溶解していた成分が析出すること、およびその析出物



エフロレッセンスの特徴
 白色や明褐色をしていることが多い
 →色むらの原因となる

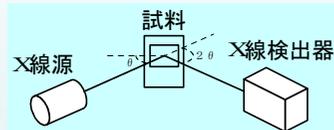
エフロレッセンスの組成
 多くの場合
 炭酸カルシウム (CaCO₃)
 地下水や土壌の影響を受ける場合
 硫酸塩鉱物
 Na₂SO₄・10H₂O、CaSO₄・2H₂O等

原因調査
 XRDを用いて定性分析

XRD = 粉末X線回折 Powder X-ray Diffraction Method

原理

X線を結晶に照射すると
 ・結晶の面間隔に応じた角度にX線の散乱が生じる
 ・散乱の見られる角度は物質により一定であり、散乱が見られた角度の組合せから物質を同定する



何ができるか？

・物質の種類を調べる＝定性分析
 →未知試料の正体を同定できる
 ・含まれている物質の量を測定する（結晶性物質のみ）



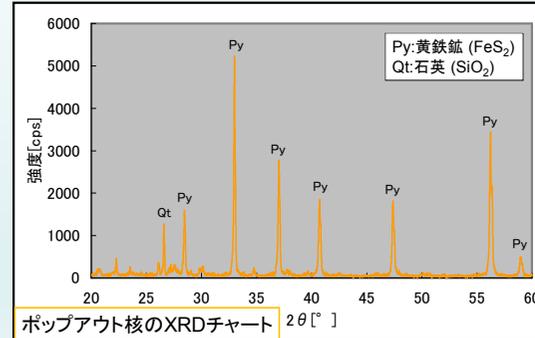
専用のサンプルホルダーに充填



粉末X線回折装置

ポップアウト核のXRD分析例

黄鉄鉱はセメント水和物の水酸化カルシウムと反応して石膏を生じ、さらにはエトリンガイトを生成する。
 エトリンガイトの生成に伴う体積膨張が、ポップアウトの原因となる。



走査型電子顕微鏡 (FE-SEM)

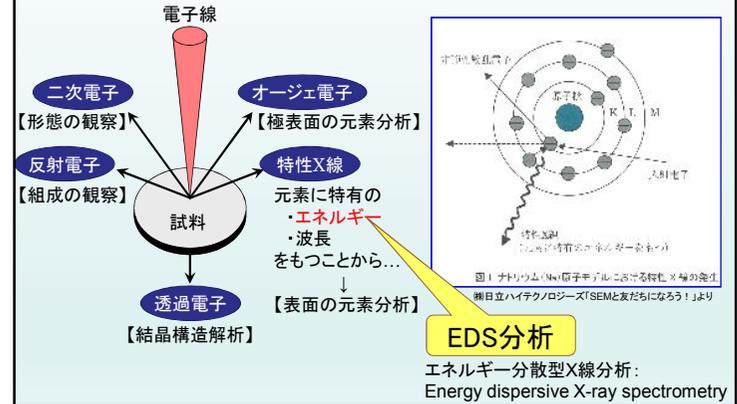
試料表面に電子線を照射し、それを動かしながら(走査)表示することにより、試料表面を拡大して表示する。試料から放出される特性X線から元素の種類を分析する。



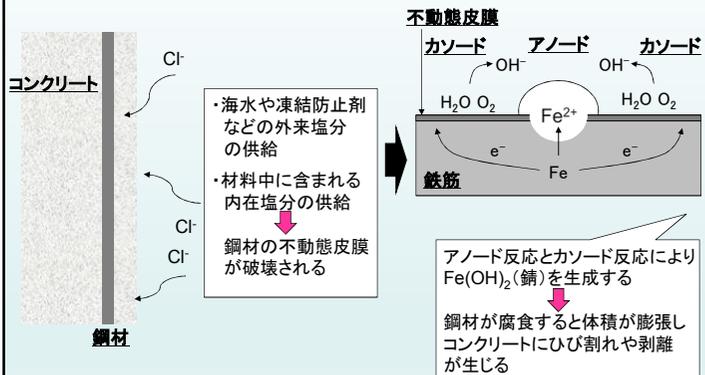
用途:
 ・試料表面の形態観察 (40~10万倍)
 ・構成元素の分析

試料:
 ・乾燥した固体
 ・導電性をもたせるための前処理が必要

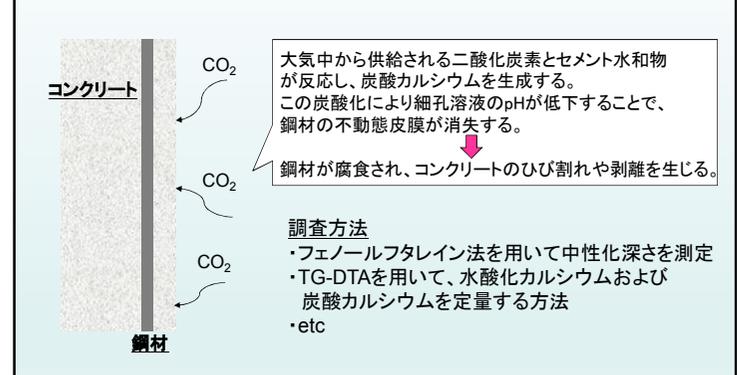
試料から得られる情報



塩害



中性化(炭酸化)



WiMO RFID構造物診断システム ウィーモシリーズ

Wireless Monitoring System

<特長>

- ワイヤレス**
センサ、通信部を構造物内部に埋設して無線で計測可能
- 無線計測**
- 様々な変状を計測**
ひずみ、温度、腐食環境など構造物の劣化に影響を及ぼす様々な変状を計測
- センサ電源不要**
- 計測履歴の記録**
- パッシブ型RFID**
センサはリーダーライタからの電波で駆動。電源が不要なため長期の維持管理が可能。
- メモリ機能**
RFIDにはメモリ機能があり、点検結果を記録することが可能



RFID腐食環境検知システム



RFIDひずみ計測システム

Taiheyo Consultant

WiMO RFID構造物診断システム ウィーモシリーズ

Wireless Monitoring System

ORFID腐食環境検知システム(KT-110059)

<技術内容>



腐食環境センサ、RFIDタグ、内部鉄筋、コンクリート構造物、リーダーライタ

センサ内の繊維鉄筋が塩分等の腐食因子により発熱し、電気特性が変化。この変化値を無線通信で計測し、腐食環境を3段階の色で評価。

<計測システム>

ORFID腐食環境検知センサ




<活用例>

センサ設置状況、計測状況、かぶり内にRFIDタグ





従来の自然電位法に必要な鉄筋へのケーブル接続が不要。また、樹脂系塗装を施した状態でも計測可能。

高出力型リーダーライタ、中出力型ハンディリーダーライタ

Taiheyo Consultant

WiMO RFID構造物診断システム ウィーモシリーズ

Wireless Monitoring System

ORFIDひずみ計測システム(KT-100044)

<技術内容>



コンクリート構造物、RFIDコンクリートひずみ計、RFIDひずみセンサ、RFIDタグ、アンテナ、リーダーライタ

構造物からは配線の露出がないため、ケーブルやコンクリートの劣化を心配する必要がなく、長期間の計測が可能

<計測システム>

ORFIDひずみセンサ

- 標準型RFIDひずみセンサ
- RFIDタグ
- 高耐久型RFIDひずみセンサ
- RFIDタグ
- RFIDコンクリートひずみ計
- RFIDタグ

リーダーライタ、アンテナ

<活用例>

センサ設置状況、計測状況、かぶり内にRFIDタグ



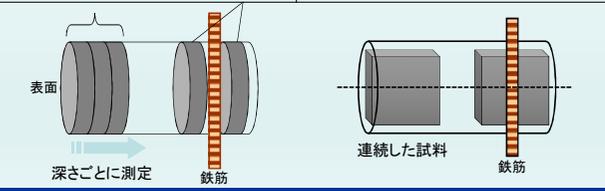


ケーブル類の結線作業が不要で、パソコンと専用のリーダーライタで簡便な計測が可能

Taiheyo Consultant

塩化物イオンの分析方法

化学分析【JIS A 1154】	土木学会基準【EPMA法によるコンクリート中の元素の面分析方法(案)】(JSCE-G574-2005)
セメントペースト・骨材すべてを微粉砕して測定	構造物表面から内部へ連続して測定可
骨材含有割合によりデータにばらつきが生じる	セメントペースト部分のデータのみで濃度分布表示
迅速に結果を得られる	結果が出るまで時間がかかる特殊技術を要する



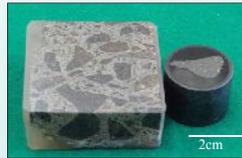
表面、深さごとに測定、鉄筋、連続した試料、鉄筋

Taiheyo Consultant

EPMA = 電子線マイクロアナライザー
Electron Probe Micro Analyzer



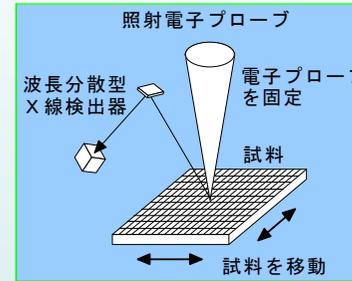
SEMの観察機能
+
微細領域の分析機能



研磨された試料

EPMAによる面分析とは

面分析(マッピング分析)の目的:
平面試料の元素の分布状況を可視化



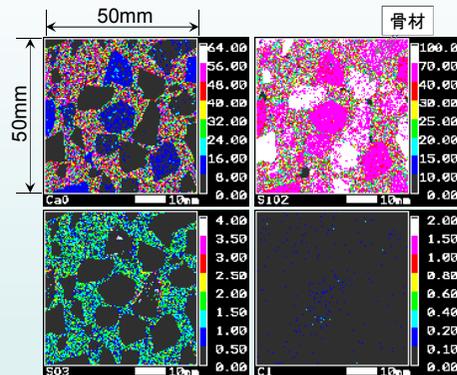
試料表面を一定の大きさの領域(画素)に分割

各画素のX線強度を測定
濃度に変換

疑似カラー画像を作成

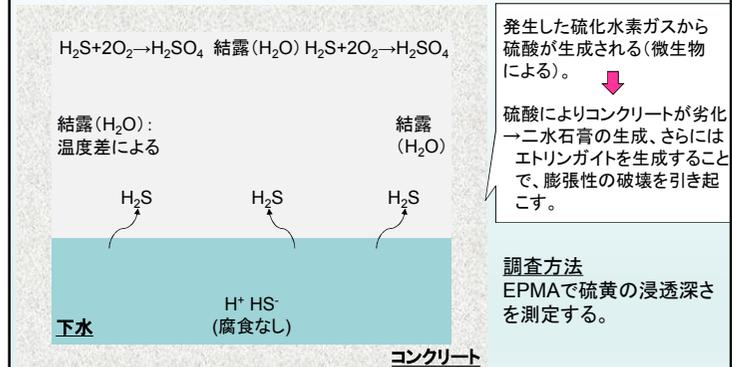
比例法 附属書(濃度への変換方法)による
検量線法 (市販ソフトを使用)

EPMAによるコンクリートの面分析測定例



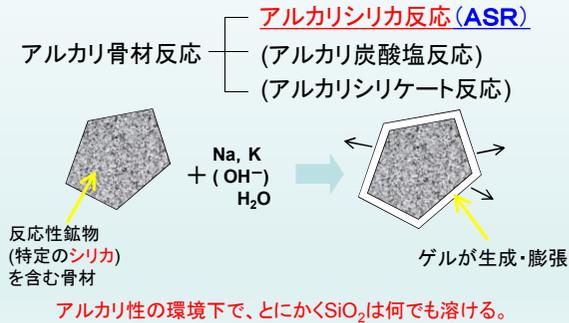
ペースト部: いずれの元素もほぼ均一な濃度分布

下水道施設におけるコンクリートの劣化



アルカリ骨材反応とは？

コンクリート中の**骨材**と**アルカリ**・**水**が反応して**ゲル**が生成・膨張する事による劣化



ASRによる劣化の疑いがある構造物の調査

①現地での構造物の観察 → 特徴的なひび割れ

- 網目状や亀甲(マップ)状のひび割れ
- 無筋コンクリートや鉄筋量の少ないコンクリート
- 鋼材に沿った方向性のあるひび割れ
- 膨張が拘束されている鉄筋コンクリート



コアによる確認試験-ASR発生有無①

💡 骨材が反応した形跡を見る

外観観察 - コア側面・破断面・切断面



ゲル?
反応リム?
ひび割れ?

搬入された分析コア(A)外観

コアによる確認試験-ASR発生有無②

💡 ゲルの形態・組成を見る = 電子顕微鏡(SEM)観察



ASRゲルには典型的な形態と、化学組成範囲がある！

ASR確認!!

コアによるASR確認試験-発生可能性

★今後起きるか?

★劣化予測・・・

ASRの反応要素を確認

- 骨材中の反応性鉱物
- コンクリート中の**アルカリ**
- 水

コアの膨張量

- 促進試験 (温度, 溶液, 期間)
- 判定基準値
- 実構造物の膨張挙動との対応は不明確
- 将来の膨張量の目安

材料を見る = 骨材の岩種判定
(岩石学的試験)

岩石学的試験 - 骨材の岩種判定手順

ASR反応性鉱物

反応性鉱物	含有する代表的な岩石
オパール (水を含んだ非晶質)	変質を受けた岩石 (火山岩類を含む)
クリストパライト トリディマイト	火山岩類(安山岩, 流紋岩など)
ガラス	火山岩類(安山岩, 流紋岩など)
微細な石英 隠微晶質石英 カルセドニー 微晶質石英	さまざまな岩石 (チャート, 珪質頁岩, 泥質片岩, ホルンフェルス, 断層岩類・・・)

急速膨張性

遅延膨張性

わが国では、さまざまな地域で、これらの反応性鉱物によるASRの発生事例が豊富にある。

ASRの進行状況の確認

Katayama et al.(2008)に基づく ASRの進行状態の分類

ASRの程度	分類	ASRの観察状況
軽微	1	骨材の反応リムの形成と骨材周辺のASRゾル/ゲルの滲出
	2	骨材粒子内にASRゲルに充填された膨張ひび割れが生成
顕著	3	ASRゲルに充填された膨張ひび割れが骨材から周囲のセメントペーストへ進展
	4	密集したひび割れ網の形成と骨材から離れたセメントペーストの気泡内へのASRゲルの頻繁な浸入

偏光顕微鏡下でASRの進行程度を確認する。

ASRの進行状況(とりまとめの例)

実体および偏光顕微鏡観察に基づくASRの進行状況
(Katayama et al. 2008, Katayama 2012を参考)

劣化度		1		2		3	劣化度 評価
		i	ii	iii	iv	v	
ASR進行段階	骨材	セメントペースト	骨材	セメントペースト	セメントペースト		
	反応リム	ゲルの滲み 取り巻き	ひび割れ ゲル充填	ひび割れ ゲル充填	気泡 ゲル充填		
粗骨材	安山岩	◎	◎	◎	◎	○	2~3
	チャート	◎	◎	◎	○		2
	砂岩	○	○	○	+		1
総合評価							2~3

ASRの程度：◎ 顕著；○ あり；+ 痕跡程度

劣化度の評価：1 軽微(潜伏期に相当)；2 中程度(進展期・加速期に相当)；
3 顕著(加速期・劣化期に相当)

コンクリートの性能照査／マスコン温度応力解析

マスコンクリート

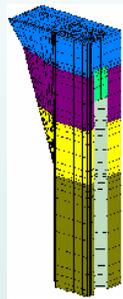
= 温度ひび割れと水和発熱に伴う物性への影響に配慮を要するコンクリート



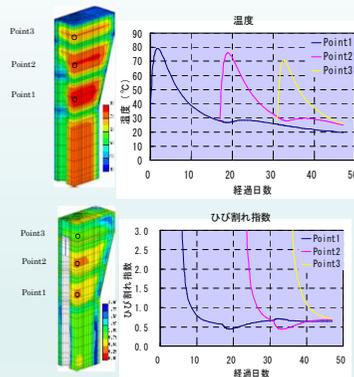
水和発熱に起因する有害な影響が
予測されるための対策を必要とするコンクリート

- 温度応力解析 ⇒ 2次元解析・3次元解析
- 主な解析例
⇒ 橋脚上部工・下部工, PC桁, トンネル,
ダム, ボックスカルバート, 建築構造物他

コンクリートの性能照査／マスコン温度応力解析



解析例: 橋脚



ご清聴ありがとうございました。

何でも、ご相談下さい。

㈱太平洋コンサルタント

- 西日本技術部・営業部
TEL:0836-83-3358 FAX:0836-83-7058
- 西日本コンクリート試験センター
TEL:0947-32-3320 FAX:0947-47-2038
- 九州営業所
TEL:092-432-4004
- 南九州営業所
TEL:099-206-8273

困ったときには・・・