

名称	t-WAVE(ウェーブレット変換を用いたひび割れ画像処理技術)					
区分	調査	診断・評価	その他			
土木施設区分	水力発電			その他	RC構造全般	
	火力/原子力			その他	RC構造全般	
	送電設備			その他	RC構造全般	
劣化損傷原因				その他		
適用対象	調査診断評価	ひび割れ				
					その他 劣化予測	
	補修			その他		
	補強			その他		
	更新					
技術の概要	<p>コンクリート表面に発生したひび割れをデジタルカメラで撮影し、ウェーブレット変換を用いた画像処理を行うことで、ひび割れを効率的、高精度に検出・定量化できる。その特徴は以下のようである。</p> <p>1)800万画素のデジタルカメラを用いて、1枚あたり2.3×1.5mと0.9×0.6mの範囲を撮影</p> <p>2)撮影画像の画質を調整することにより、広範囲における一定幅以上のひび割れ分布を把握したい場合や、局所的なひび割れの幅の経時変化を把握したい場合など、用途に応じた効率的な画像処理が可能</p> <p>3)画素の明るさ(輝度)を用いたひび割れ画像解析では、撮影画像の画像分解能とほぼ同じ幅のひび割れを検出することが限界であるが、ウェーブレット変換を用いた画像処理技術では、1画素が0.3mm角に相当する画質であれば、幅0.1mmの微細なひび割れが検出できる。</p> <p>&lt;効果&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・デジタル撮影により、現場点検作業の効率化や高所など立ち寄れない場所での非接触な点検が可能。</li> <li>・ウェーブレット変換を用いた画像処理技術により、高精度なひび割れ検出が可能。</li> <li>・自動処理でひび割れ検出するために、個人差によるひび割れ評価にばらつきが生じない。</li> <li>・ひび割れ情報を電子ファイルで保管できるために、ひび割れの履歴などを容易に高精度で管理できる。</li> </ul>					
比較対象技術						
技術の特徴・優位性	施工環境					
	損傷程度					
	要求品質	広範囲における一定幅以上のひび割れ分布を把握したい場合や、局所的なひび割れの幅の経時変化を把握したい場合など、用途に応じた効率的な画像処理が可能				
	施工性					
	経済性	特殊デジタルカメラを搭載した撮影車の使用により連続的な観測・処理が可能であり、効率的調査が容易である				
予想される効果	デジタル撮影により、現場点検作業の効率化や高所など立ち寄れない場所での非接触な点検が可能。ウェーブレット変換を用いた画像処理技術により、高精度なひび割れ検出が可能。					
電力施設以外での適用実績	あり					
工事名称	国道246中津川橋床版					
企業者名	国交省横浜国道事務所	適用場所	神奈川県	適用時期	年 月～ 年 月	
工事名称	山北バイパス 瀬戸トンネル～谷我トンネル					
企業者名	国交省横浜国道事務所	適用場所	神奈川県	適用時期	年 月～ 年 月	
公表有無	公表済み	公表の場合公表先	小山 哲・丸屋 剛・澤 健 男:ひび割れ画像解析(t. WAVE)によるコンクリート構造物の調査・診断, 電力土木, 2010年11月			
発注者の承諾の要否	不要					
記入者	会社名	大成建設	所属	土木本部プロジェクト部	氏名	大友 健
	電話	03-5381-5281	FAX	03-5381-5294	e-mail	takeshi.ootomo@sakura.taisei.co.jp
参考WEBアドレス	<a href="http://www.taisei.co.jp/MungoBlobs/655/487/K00X97.pdf">http://www.taisei.co.jp/MungoBlobs/655/487/K00X97.pdf</a>					

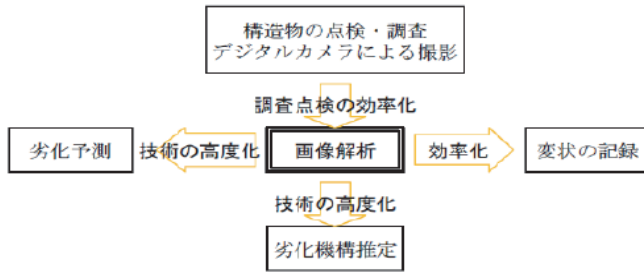


図-1 画像解析の位置付け

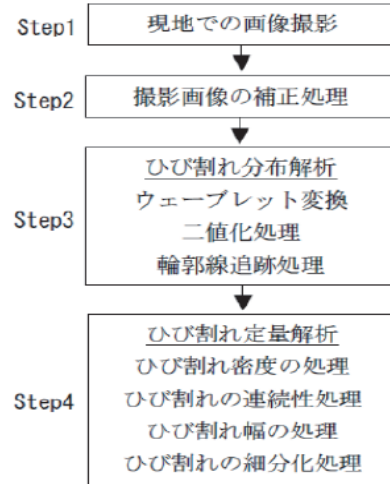




図-2 画像解析の手順

効率化

安全性

## デジタルカメラ撮影による現地調査

- 現地における調査点検作業の効率化
- 非接触・遠隔調査による作業環境および安全性の改善
- ひび割れのデジタル管理が可能

デジタルカメラによる現地画像撮影状況

---

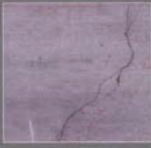
効率化

自動化

高精度化


## ガボールウェーブレット変換を用いた画像解析

- 簡単な入力でひび割れの自動検出
- 技術者の判断が介入しないため評価のばらつきが大幅に減少
- 高精度なひび割れ検出が可能
- 解析作業の効率化が実現



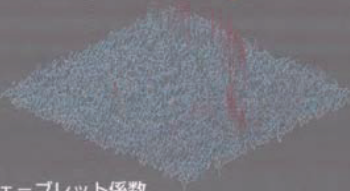
入力画像

拡大縮小 (周波数)  
回転 (方向性)  
シフト (空間座標)




● ガボール関数

ガボール関数は、脳の初期視覚系での特徴抽出モデルで、画像の局所的な濃淡情報 (ひび割れ) を取り出す。



● ウェーブレット係数

ウェーブレット変換は、周波数と方向成分に分解して空間情報の特徴抽出を行う。



ひび割れ画像

名称							孔内局部載荷試験								
区分		調査		診断・評価		その他									
土木 施設 区分	水力発電		ダム本体		取・放水施設		水路トンネル		その他						
	火力/原子力		取・放水施設		煙突・サイロ・タンク		栈橋		その他						
	送電設備		送電鉄塔基礎		変電所基礎		地中送電洞道		その他						
劣化損傷 原因		凍害		化学的コンクリート腐食		塩害		疲労		その他					
適用 対象	調査診断評価		強度		はく離		内部欠陥								
									その他						
	補修								その他						
	補強								その他						
	更新								その他						
技術 の 概要		<p>【工法の概要】 孔内局部載荷試験は、コンクリート表面から任意の深度における圧縮強度や弾性係数等を定量的かつ迅速に評価することを目的として開発した新しい試験です。電力施設等のコンクリート構造物の劣化範囲(深さ)を定量的かつ迅速に評価・判定することによって圧縮強度等の推定が可能になり、補修コストを最小限に抑えた適切な維持管理を実現します。</p> <p>【工法の特徴】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>電力既設構造物の任意の深度における圧縮強度や弾性係数等の計測が可能です。</li> <li>装置を小型化したことで持ち運びが容易で、操作も簡単です。</li> <li>劣化範囲を定量化し、適切な補修範囲の判定が可能です。</li> <li>構造物の補修範囲(深さ)を細かく定められますので補修コストの低減が図れます。</li> </ul> <p>【計測方法】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>調査対象構造物表面に直径42mmの孔をあけ、試験装置を挿入します。</li> <li>装置に取付たファイバースコープで、コア壁面を観察し、載荷深さを決定します。(載荷箇所は原則的にモルタル部とします。)</li> <li>試験を行う深さにおいて、装置の載荷先端より孔壁に荷重をかけ、荷重と貫入量のデータを計測用のコンピュータに取込みます。</li> <li>試験によって求めた荷重と貫入量の関係から、貫入抵抗値=荷重(kN)/貫入量(mm)を算出し、予めデータベース化している抵抗値と物性値(圧縮強度や弾性係数等)との関係から、試験箇所の物性値を算出します。</li> </ul>													
比較対象 技術		JIS A 1107 コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法 他													
技術 の 特 徴 ・ 優 位 性	施工環境		施工環境に左右されない。												
	損傷程度		凍害等の劣化深さ(強度劣化)の調査、診断												
	要求品質		コンクリート構造物の深度別(10mm毎)の強度推定が可能												
	施工性		φ42mmのコア採取後、試験器を挿入し計測する。その場で強度の推定が可能												
	経済性		φ100mm×200mmのコア採取による強度試験と比較して、25%程度低減可能												
予想 される 効果		<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート構造物への影響が小さい。</li> <li>強度推定がその場で可能。</li> </ul>													
電力施設以外での適用実績															
工事名称															
企業者名		適用場所		都道府県		市		適用時期		年 月～		年 月			
工事名称															
企業者名		適用場所		都道府県		市		適用時期		年 月～		年 月			
公表有無		公表の場合公表先													
発注者の承諾の要否															
記入者	会社名		戸田建設株式会社		所属		開発センター		氏名		田中 徹				
	電話		03-3535-6299		FAX		03-3535-2669		e-mail		tooru.tanaka@toda.co.jp				
参考WEBアドレス		<a href="http://www.toda.co.jp/tech/regenerate/regenerate_10.html">http://www.toda.co.jp/tech/regenerate/regenerate_10.html</a>													



写真1 孔内局部載荷試験装置

孔内局部載荷試験



写真2 調査対象のイメージ(構造物表面の凍害)

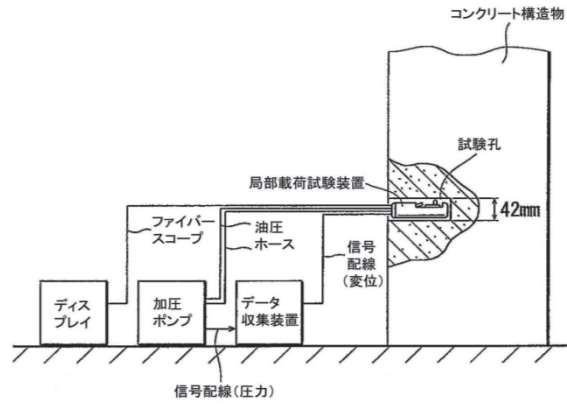


写真3 調査システムの構成

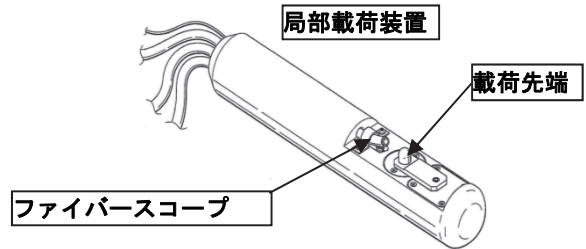
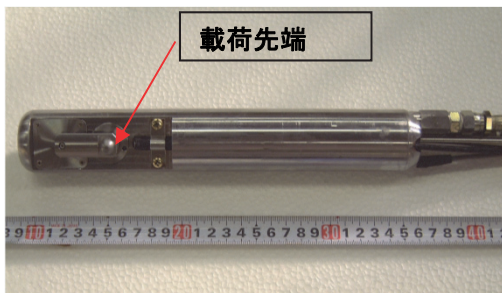


写真4 試験装置(φ40mm)

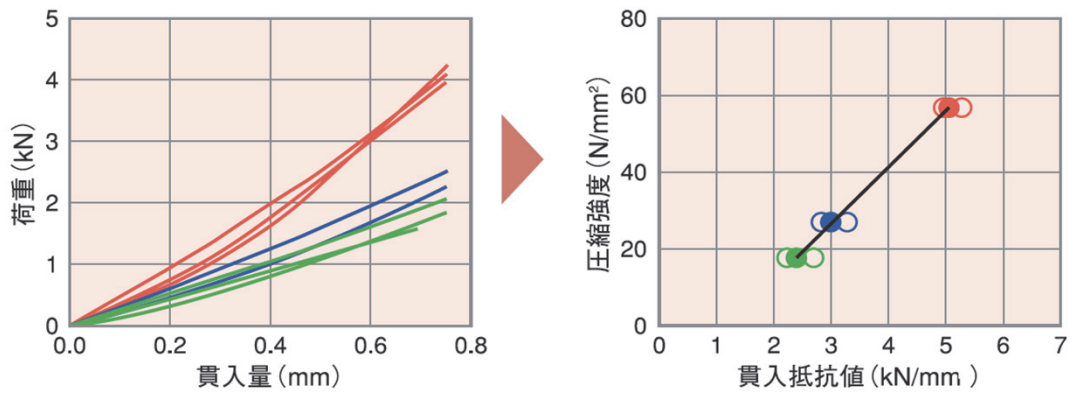
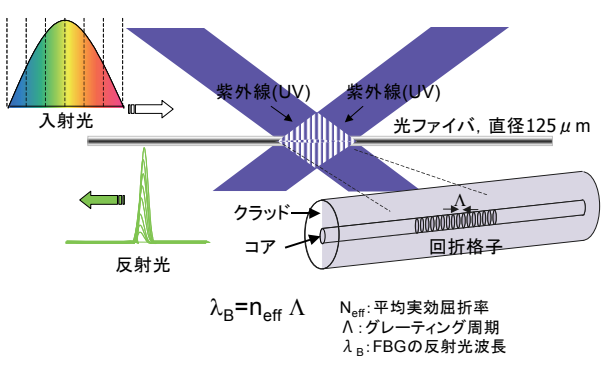


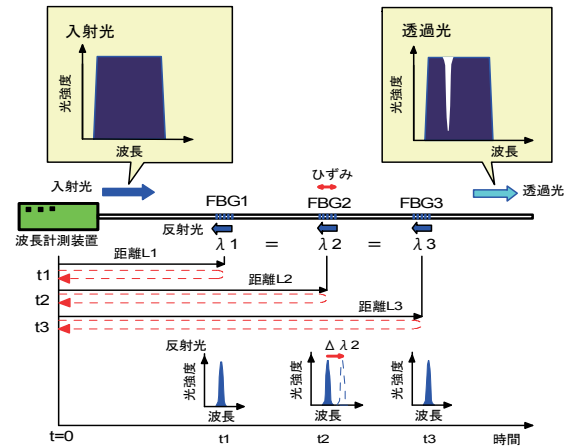
図1 貫入抵抗値と圧縮強度の関係  
(計測した荷重-貫入量の関係から圧縮強度を推定する)



名称	FBG光ファイバセンシング技術による構造物健全性監視					
区分	調査	診断・評価	その他			
土木 施設 区分	水力発電				その他	
	火力/原子力				その他	
	送電設備				その他	
劣化損傷 原因					その他	
適用対象	調査診断評価	ひび割れ	変位・変形・疲労			
						その他
	補修				その他	
	補強				その他	
	更新				その他	
技術 の概要	<p>FBGセンシングでは、光ファイバ上に形成された長さ約1cmの、回折格子の集合体(FBG)がセンサの機能を持つ。FBGに生じるひずみによって反射波長が変化する特性を利用し、波長変化量を計測することによりひずみを求めることができる。FBGセンシングは、従来から使用されている電気式計測技術に対し、非通電・無誘導性により、防爆性が要求される環境でも計測が可能であり、また雷や工事用の高圧電流等によるノイズが生じず、データの信頼性低下を防ぐことができるという特長を有する。また、信号伝送時の低損失性により伝送ケーブルを数km延長することが可能なため、計測室を任意の遠隔地に配置することができる。さらに光ファイバはガラス製であることから、従来の電気式計測器に比べ、長期間の使用にも十分耐える性能を持っている。</p> <p>FBGを、同一光ファイバ上に複数配置(多重化)することにより、1本の光ファイバで複数のFBGの同時計測が可能となる。多重化技術のうち、波長分割多重化(WDM)方式は、各FBG固有の反射波長の相違でFBGを識別するため、多重化可能なFBGの個数が制限される。これに対し時間分割多重化(TDM)方式は、同一ファイバ上のFBGの識別を、各FBGからの反射光の到達時間差で識別するため、多数のFBGを多重化することができ、光損失がない場合、最大100個のFBGを多重化することができる。TDM方式による多重化により、WDMに比べ、1つの計測システムで多数のFBGを用いた大規模な計測が可能となる。</p> <p>FBGセンシングは、1μmの分解能で読み取り、5μm以下の計測誤差でひずみを検出することが可能であり、またひずみゲージのようにセンサ素子として機能する。この特性を利用し、ひずみだけでなく変位や傾斜、あるいは水圧等をFBG上のひずみに変換する機構をもつTDM方式によるFBG光ファイバ計測器を開発し、建設分野に適用している。</p>					
比較対象 技術	電気式計測機器、OTDRやBOTDRによる光ファイバ計測機器					
技術 の特 徴・ 優 位 性	施工環境					
	損傷程度					
	要求品質					
	施工性					
	経済性					
予想 される 効果	非通電性、長期耐久性、長距離計測に加えて、多点・高精度の特徴を活かした構造物の健全性監視が可能					
電力施設以外での適用実績	あり					
工事名称						
企業者名	適用場所				適用時期	
工事名称						
企業者名	適用場所				適用時期	
公表有無	公表済み	公表の場合公表先	とびしま技報、No.58、pp.33-38、2009			
発注者の承諾の要否						
記入者	会社名	飛鳥建設(株)	所属	土木事業本部 土木技術 部 環境・リニューアブルG	氏名	名倉 政雄
	電話	03-5214-7087	FAX	03-5276-2526	e-mail	<a href="mailto:masao_nagura@tobishima.co.jp">masao_nagura@tobishima.co.jp</a>
参考WEBアドレス		<a href="http://www.tobishima.co.jp/">http://www.tobishima.co.jp/</a>				



FBGによるひずみ計測



時間分割多重化方式(TDM)の原理

FBGポイントセンサ



添付箇所のひずみを計測

寸法	250×25×0.5mm
測定範囲	±3000μ
精度	5μ

FBG温度センサブロック



ひび割れ幅の変化を計測

寸法	1000×65×10mm
測定範囲	-10～+50℃
非直線性	±0.5℃以内

FBGケーブルセンサ



固定金具間の変位を計測

寸法	φ1.5mm
測定範囲	-5～+15mm
非直線性	±0.5%以内

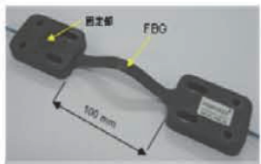
FBG埋設型ひずみ計



コンクリート内部のひずみを計測

寸法	3×3×240mm
測定範囲	±1000μ
非直線性	1%以下

FBGπ型センサ



ひび割れ幅の変化を計測

寸法	190×50×25mm
測定範囲	水平方向±1.0mm 鉛直方向±5.0mm
非直線性	水平方向 2%(0.02mm) 鉛直方向 0.5%(0.025mm)

FBG埋設型温度計



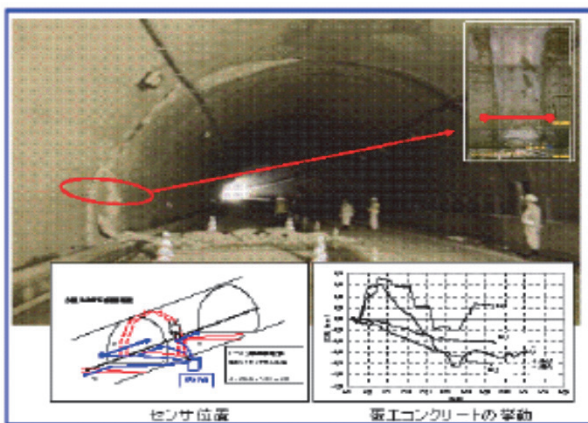
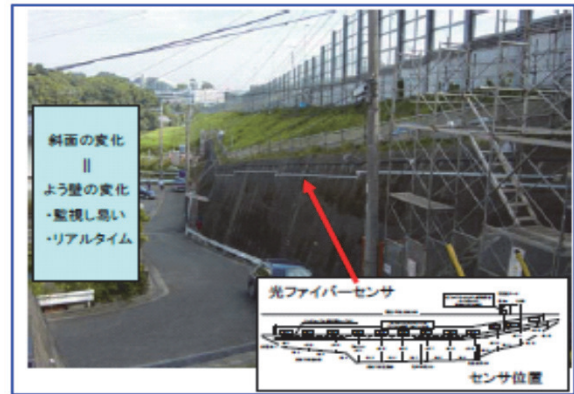
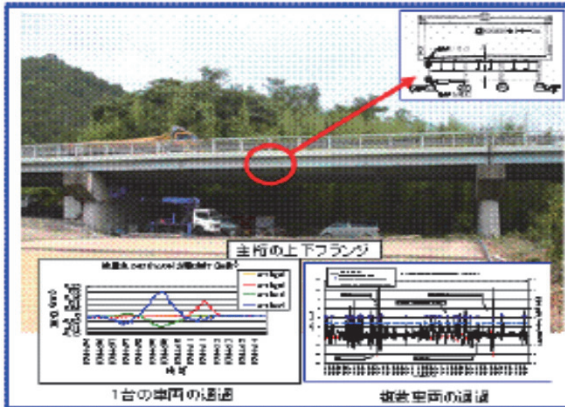
コンクリート内部の温度を計測

寸法	φ16×98mm
測定範囲	-30～+70℃
非直線性	1℃以内

健全性監視のためのFBGセンサの仕様

名称	光ファイバーによる構造物モニタリングシステム(OSMOS:オスモス)					
区分	調査	診断・評価	その他	ヘルスマニタリング		
土木施設区分	水力発電	発電所	ダム本体	水路トンネル	その他	
	火力/原子力	機械等基礎	煙突・サイロ・タンク	栈橋	その他	建屋
	送電設備	変電所基礎	送電鉄塔基礎	地中送電洞道	その他	
劣化損傷原因	疲労	アルカリ骨材反応	熱・温度作用			
	凍害	化学的コンクリート腐食	すりへり		その他	外力・振動(地震)
適用対象	調査診断評価	変位・変形・疲労				
					その他	応力変化、履歴
	補修				その他	時期の判断
	補強				その他	時期の判断、設計データ
更新	更新時期の判断、設計データ取得、更新時の構造物監視					
技術の概要	<p>「OSMOS:オスモス」は光ファイバーを利用した変位測定方法の1つで、光ファイバーの中を赤外線が透過するとき、経路の曲線部で赤外線の一部が外部に漏洩し、ファイバー内を透過する赤外線の強度が変化するという性質(マイクロベンディングの原理)を用いて、センサー両端間の相対変位を高精度に安定して測定するものである。耐久性が高く、地震時の構造物の応答も測定できるため、構造物のヘルスマニタリング手法としても利用できる。</p>					
比較対象技術	コンクリートひずみゲージ					
技術の特徴・優位性	施工環境	特に制限なし				
	損傷程度	該当なし				
	要求品質	該当なし				
	施工性	設置が簡単で、短時間に測定開始できる				
	経済性	機材費等の初期コストは必要であるが、長期耐久性が高いため、メンテナンスフリーが可能				
予想される効果	構造物の管理、監視に有効であり、地震時の応答も監視でき、補修・補強時の設計データとして利用できる					
電力施設以外での適用実績	あり					
工事名称	横江頭首工建設工事					
企業者名	農水省北陸農政局	適用場所	富山県 立山町	適用時期	2008年 5月～ 2008年 9月	
工事名称	国道1号法面計測設備設置工事					
企業者名	国交省関東地方整備局	適用場所	神奈川県 戸塚市	適用時期	2003年 10月～ 年 月	
公表有無	公表済み	公表の場合公表先	土木学会年次講演会、ヘルスマニタリングシンポジウムなど			
発注者の承諾の要否	不要					
記入者	会社名	安藤ハザマ	所属	技術研究所	氏名	西村 毅
	電話	029-858-8813	FAX	029-858-8819	e-mail	nishimura.tsuyoshi@ad-hzm.co.jp
参考WEBアドレス	<a href="http://www.osmos.jp/">http://www.osmos.jp/</a>					

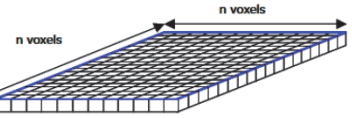
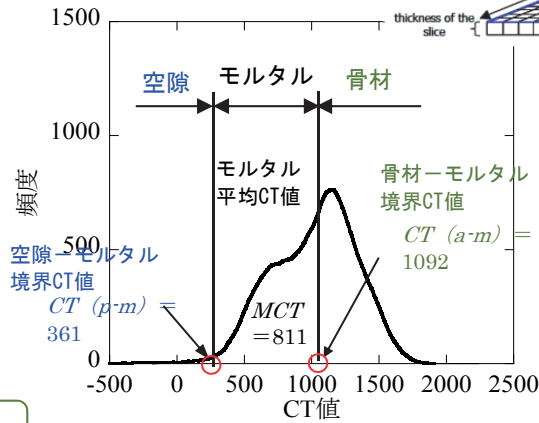
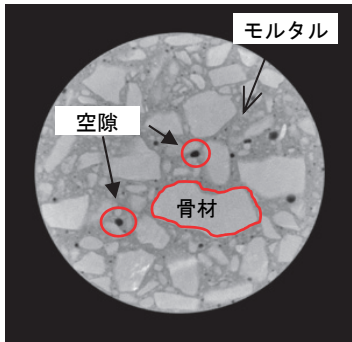
実施事例





名称	X線CT法による硬化コンクリートの物性評価					
区分	調査	診断・評価	その他			
土木施設区分	水力発電	ダム本体	取・放水施設	水路トンネル	その他	
	火力/原子力	港湾	棧橋	取・放水施設	その他	
	送電設備	送電鉄塔基礎	変電所基礎	地中送電洞道	その他	
劣化損傷原因	塩害	中性化	凍害	アルカリ骨材反応		
	化学的コンクリート腐食	疲労	熱・温度作用	すりへり	その他	
適用対象	調査診断評価	コンクリート配合	ひび割れ	変位・変形・疲労	内部欠陥	
		強度	透水性	はく離		
		中性化深さ	凍害	変位・変形・疲労	その他	
	補修				その他	
	補強				その他	
	更新					
技術の概要	<p>X線CT法によるコンクリート診断とは、医療診断の分野で広く使用されているX線CTスキャナを用いて、短時間で高精度にコンクリート内部の鮮明な画像を得ることができる技術である。実際には医療用X線CTスキャナよりも管電圧の大きい産業用X線CTスキャナを使用する。</p> <p>X線CT画像は定量的な分析が可能で、コンクリートの断面画像から骨材や空隙を抽出することにより骨材率や空隙率などの情報が得られる。また、いくつかの断面画像を重ね合わせるにより、可視化による3次元的な空間分布状況の把握が可能となる。</p> <p>このほか、物体のX線の吸収係数が密度と高い相関にあることを利用して、骨材やモルタル部の密度を評価することにより、コンクリートの水セメント比や単位セメント量などの配合や強度を推定することが可能である。また、劣化した部分の密度が変化することにより、劣化深度の評価ができるほか、ひび割れなどを可視化することができる。</p> <p>診断にあたっては、対象となるコンクリート構造物からボーリングによりコア供試体を採取し、これを用いてX線CT撮影を行う必要がある。</p>					
比較対象技術	X線平面透過法によるコンクリートの物性評価					
技術の特徴・優位性	施工環境	原位置での試験は制約が多いため、コアを採取して実施				
	損傷程度	該当なし				
	要求品質	該当なし				
	施工性	該当なし				
	経済性	1断面5千円～1万円程度				
予想される効果	可視化により定性的な診断が可能であるとともに、X線吸収率を表すCT値を用いて定量的な評価を行うことができる可視化によってわかりやすい説明資料が作成できる					
電力施設以外での適用実績	なし					
工事名称						
企業者名	適用場所				適用時期	
工事名称						
企業者名	適用場所				適用時期	
公表有無	公表の場合公表先					
発注者の承諾の要否						
記入者	会社名	安藤ハザマ	所属	土木事業本部技術第三部	氏名	天明敏行
	電話	03-6234-3670	FAX	03-6234-3704	e-mail	temmyo.toshiyuki@ad-hzm.co.jp
参考WEBアドレス		<a href="http://www.civil.kumamoto-u.ac.jp/geox/">http://www.civil.kumamoto-u.ac.jp/geox/</a>				

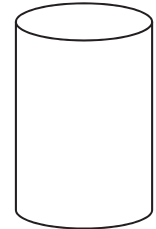
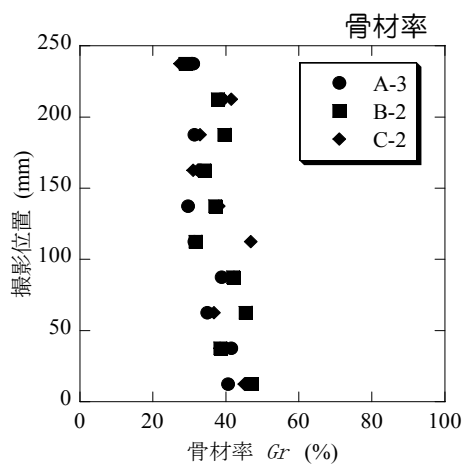
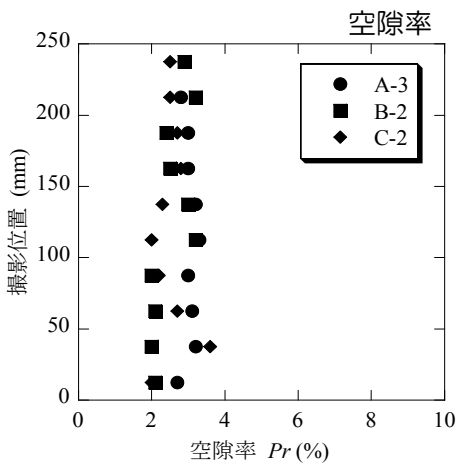
材料構成定量化法によるコンクリート構成材料の定量化



$$CT \text{ value} = \frac{\mu_t - \mu_w}{\mu_w} K$$

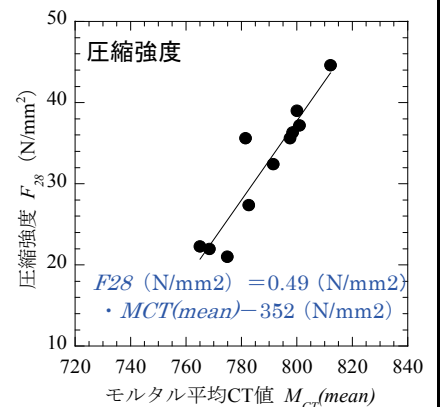
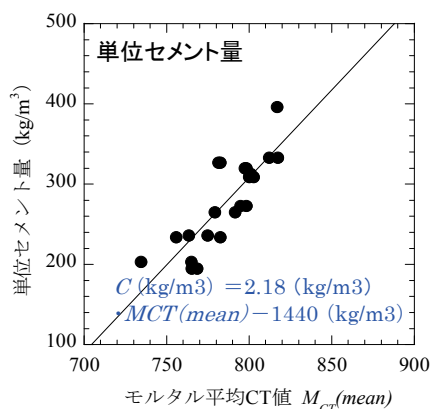
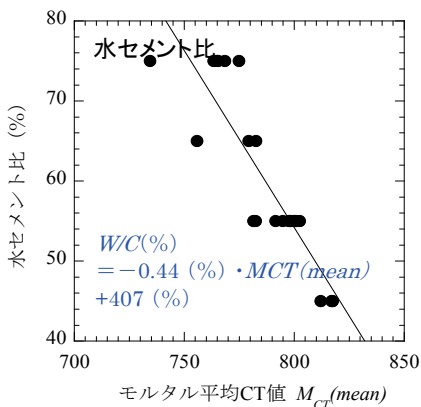
各ボクセルに与えられたCT値(X線吸収率を表す)を分析し、空隙、モルタル、骨材のしきい値を適切に求める。

空隙率と骨材率の鉛直分布

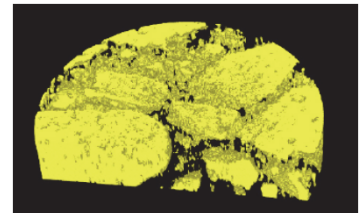


φ 100mm、高さ200mmの円柱供試体の空隙率と骨材率の分布状況

モルタル部のCT値と水セメント比、単位セメント量、圧縮強度の相関



モルタル部分のCT値(X線吸収率を表す)を用いて水セメント比や単位セメント量、圧縮強度の推定が可能となる。



産業用X線CT装置 熊本大学 (X-Earth Center) との共同研究

