

# ミリ波イメージング技術による コンクリート構造物診断

経年による老朽化や耐震偽装等によってコンクリート構造物の保守管理に対する関心が高まり、その劣化を診断する技術が世の中で必要とされています。本稿では、NTT独自のミリ波イメージング技術によって開発した、コンクリート表層クラック検知装置を紹介します。

おか そういち もちづき しょうじ  
岡 宗一 / 望月 章志

とごう ひろよし くくつ なおや  
都甲 浩芳 / 久々津 直哉

NTTマイクロシステムインテグレーション研究所

## ミリ波イメージング技術とは

ミリ波とは、波長がミリメートル台（周波数で30 G~300 GHz）の電波であり、衣類・プラスチック・霧などを透過しやすい性質があります。この性質を生かして、ミリ波を透視イメージング技術として利用する研究開発が近年活発になりました。しかしながら、ミリ波イメージングは波長による空間分解能が数ミリメートル程度であるため、その実応用は、空港セキュリティゲートや航空監視システムにおける数センチメートル以上の物体検知を対象としていました<sup>(1)</sup>。これに対し、NTT研究所では、既存のミリ波イメージングに近接撮像の利点を加え、サブミリメートル以下の物体を検知する技術を提案してきました<sup>(2)</sup>。本稿では、装置実用上の課題であった高分解能化および高速撮像化をクリアした最新の成果を紹介します。

## 構造物診断の重要性

NTTの通信サービスを支えるため、局舎やとう道等のコンクリート構造物が全国を網羅するように配備されています。高度成長期に建設された設備の中には、経年による老朽化が進行した

ものがあるため、それらの耐久性を検査・診断する技術開発を行って、設備の積極的な保守管理に取り組んでいます。

また、ここで生み出された検査・診断技術は、一般のマンションや道路等のコンクリート構造物にも広く適用できるものとして期待されています。

## クラック検査によるコンクリート構造物の耐久性診断

コンクリート構造物の耐久性を評価する際の最重要ポイントの1つとして、

コンクリート表面のクラック（ひび割れ）検査が挙げられます。図1に示すように、建物やとう道等のコンクリート表面にクラックが発生すると、そこから水分等が入り込んで内部の鉄筋が腐食し、構造物の耐久性が著しく低下します。このような構造物の耐久性低下を未然に防ぐには、表面クラックの早期発見と補修が重要になります。

一般に、幅0.4 mm以上のクラックが生じると、コンクリート構造物の耐久性低下を引き起こすといわれており、幅0.2 mm以上のクラックについては

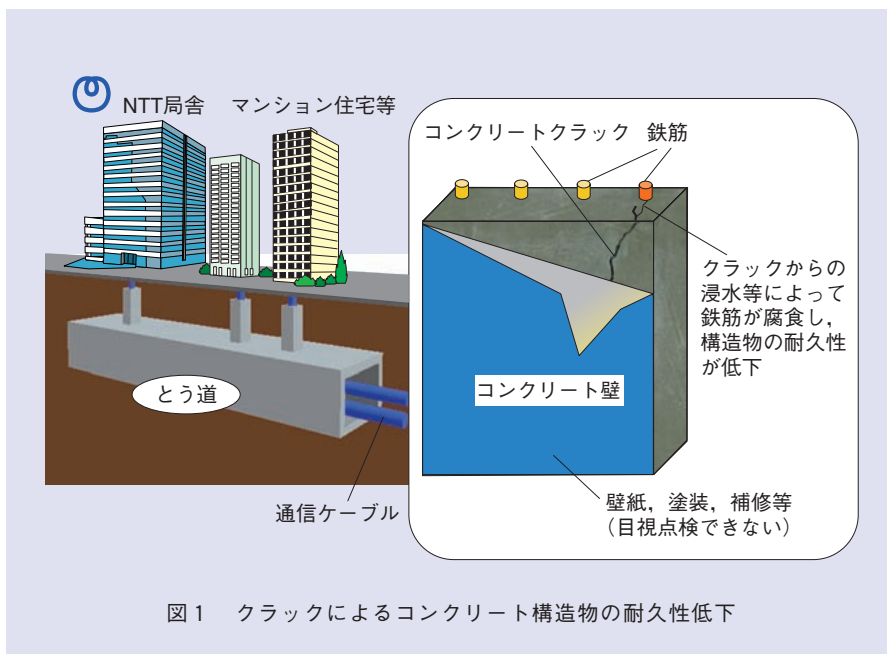


図1 クラックによるコンクリート構造物の耐久性低下

事前補修対象となります<sup>(3)</sup>。

さて、コンクリート躯体が剥き出しになっている場合にはクラックを目視点検することができますが、建物等の壁には塗装や壁紙装飾が施されていたり、とう道等の壁には補修等が施されていたりするため、目視検査でクラックを発見することが困難な場合も多々あります。

目視にて発見が困難な場合には、超音波やX線のような遮蔽物を透過する媒体を使う検査方法が考えられます。しかしながら、超音波はミリメートル幅以上のクラック深度を測定するには使われていますが、サブミリメートル幅の微細な表面クラックを見つける用途には適しません。また、X線の場合には送受信センサを対向に配置するため、測定物の裏側に回りこめない状況では使用困難であることや、使用の際に専門資格が必要であること、さらには安全面にかかわる問題もあります。

以上のように、既存の技術によってコンクリート表面のクラックを検査することは困難でした。

### ミリ波によるアプローチ

NTT研究所では、コンクリート表面のクラックを検査する技術を開発するために、ミリ波を媒体としたイメージングに着目しました。ミリ波は冒頭で述べたように、壁紙や塗装等の被覆を透過しやすく、かつ、コンクリート内部には入り難いため、コンクリート表面のみを検査するのに適しています。

コンクリート表面に斜めからミリ波を当てると、クラックがない平坦な部分では、反射波が一方向へ集中し、クラックがある部分では、クラックのエッジにおいて反射波が四方八方へ散乱します。ゆえに、送受信器を図2のように対向配置すると、表面における

反射強度の違いによってクラック部分を検知できると考えています。

### なぜ波長以下の幅のクラックが映るのか

ミリ波イメージングによってクラックが検知可能である理由を、点波源を使って説明します。一般に、電波によるイメージングの空間分解能は波長オーダーとされています。空間分解能とは、同じ明るさの2つの点があったとき、それが2個に分離して見える限界距離のことです。図3のように、ある点波源から出た電波は無限小の1点として観測されず、波長程度の広がりを持った分布として観測されるため、点波源の位置が互いに接近していると、その2点を分離して観測することは困難になります。ゆえに、「波長より小さ

い物は見えない」と考えられます。

しかしながら、ミリ波イメージングで使われる電波の波長は約3～4mmであるのに対し、ターゲットとなるクラックの幅は0.2mm程度しかありません。なぜ波長の10分の1以下の幅しかないクラックが見えるのでしょうか。

その理由は、2次元空間における点波源の位置と観測像の関係にあります。図4(a)では、中央に1個の点波源を置いています。図4(b)では点波源が格子状に並んでいますが、波源どうしの位置が近いと、観測像では互いに重なってしまい、波源が格子状に分布していることを認識できません。これが前述の「波長より小さな物は見えない」と考えられる現象です。ところが、点波源を線状に沿って並べた図4(c)では、観測像において点波源の1つ

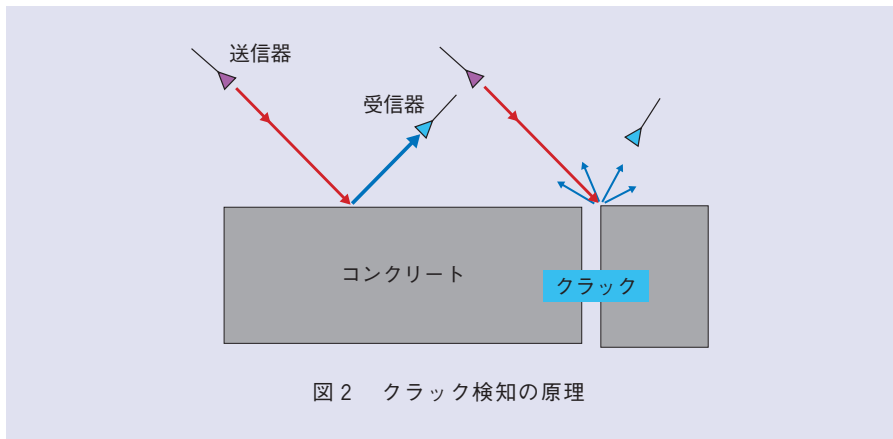


図2 クラック検知の原理

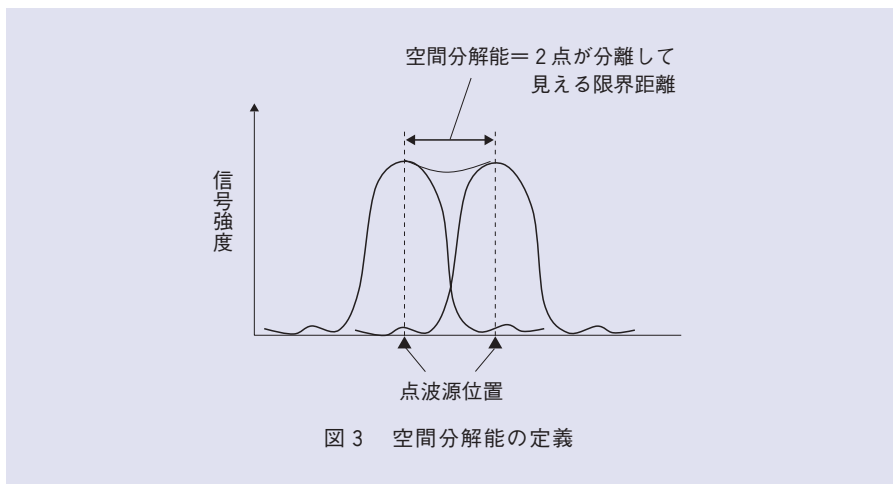


図3 空間分解能の定義

ひとつは分離して認識できないものの、線状に沿って並んでいるということは分かります。

ミリ波を使ったクラック検知には、この視認特性を利用しています。すなわち、人間がクラックを画像から探そうとするとき、画像が多少ボケていたとしても、クラックとおぼしき輪郭さえ分かればクラックであると予想できるからです。多少ピンボケした写真であっても、その中から文字や顔を認識したりできるのと同じです。

1つの実験結果を図5に示します。コンクリートに誘電率が近いアルミナの板を突き合わせて幅0.06 mmのスリットをつくり、ミリ波送受信器を使って反射強度分布を測定しました。ミリ波の波長は約4 mm、アルミナ板と送受信器の距離は10 mmです。結果のグラフと画像を見れば、幅0.06 mmのスリットは幅約7 mmの太さにボケた反射波の谷となって見えることが分かります。

### クラックスキャンの開発

私たちはミリ波の透過能力とクラック形状の特徴を生かして、「クラックスキャン」を開発しました。装置設計のポイントは受信器のアレイ化です。1個の受信器をXY走査して画像を撮像すると長い時間がかかるため、複数の画素を1次元状にアレイ化して撮像を高速化しています(図6)。

送信器は中心周波数76.5 GHzのガン発振器とホーン型アンテナを使い、コンクリート壁面へ向けてミリ波を照射します。受信器は平面型アンテナを一次元状に32個並べて、コンクリート面からの反射波を受信します。

クラックスキャンの仕様および使い方を図7に示します。現場の作業員が本体を手を持ってターゲット面を走査

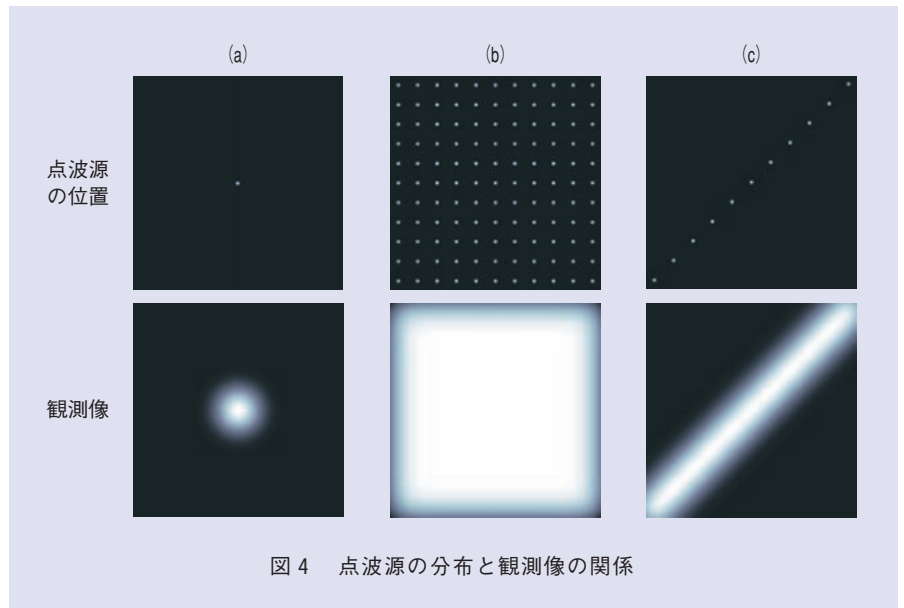


図4 点波源の分布と観測像の関係

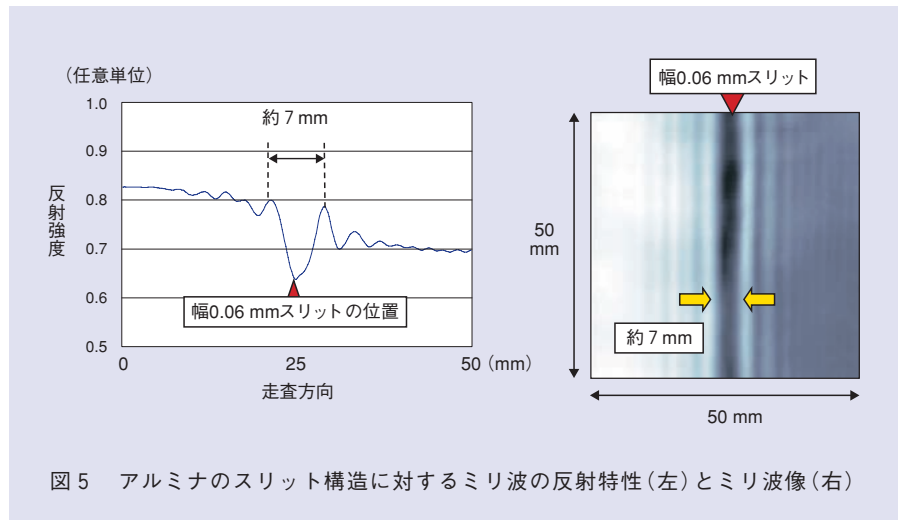


図5 アルミナのスリット構造に対するミリ波の反射特性(左)とミリ波像(右)

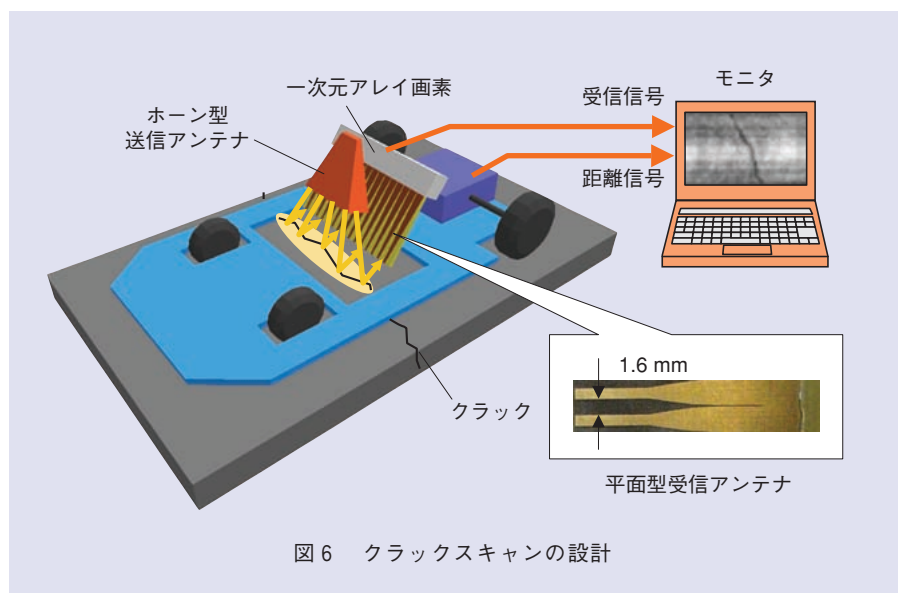
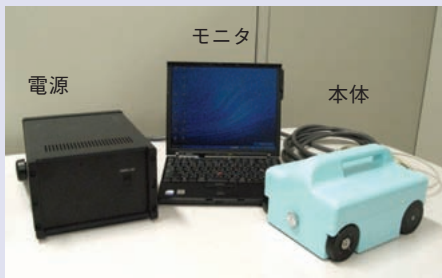


図6 クラックスキャンの設計



走査速度	約50 mm/s
描画時間	リアルタイム
最小検出幅	0.2~0.3 mm (被覆下)
サイズ、重量	W18×L24×H14 cm, 約3 kg

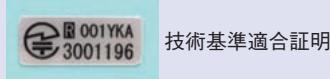


図7 クラックスキャンの装置仕様と使い方

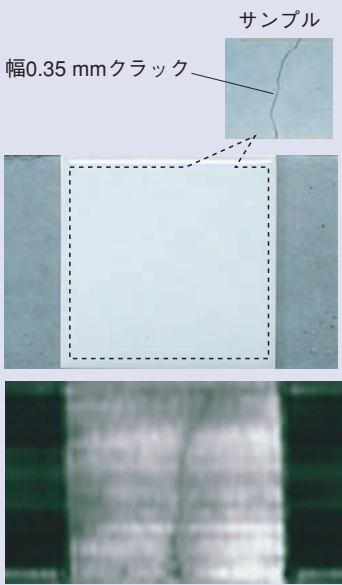


図8 クラックの可視像(上)とミリ波透視像(下)

すると、モニタの透視像を見ながらクラックを発見することができます。クラックスキャンを使って、幅0.35 mmのクラック上に厚さ7 mmのセラミックタイルを敷いて透視像を撮像した結果を図8に示します。画像中央縦方向にクラックが映し出されています。

### 今後の展開

このクラックスキャンは、特定小電力無線局として技術基準適合証明を取得し、2007年度にグループ会社であるアイレック技建へハード開示を行い、商用化へ向けた本格的なスタートを切りました。また、2008年7~8月には、今後のさらなるニーズ開拓と技術課題を明確にするため、全国5カ所(北海道・埼玉・大阪・兵庫・広島)で約400名の土木建築関係者を対象にした探査技術説明会に出展しました(写真)。

ユーザの方々にデモを見ていただいたところ、現在の検知精度を上げることができれば、適用範囲がさらに広がる可能性があるというコメントが集まりました。これを達成するには、画像処理等の技術による像の先鋭化が重要なポイントになります。

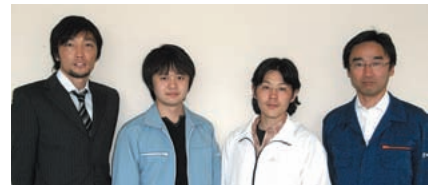
今後もさらなる装置の高性能化に取り組むとともに、「なぜクラックはミリ波で映ったのか」という知見を生かして新しいニーズを探り出し、構造物診断以外のイメージング分野にも広く応用展開したいと考えています。



写真 探査技術説明会におけるクラックスキャンの紹介

### 参考文献

- (1) R.Appleby, and R. N. Anderton: "Milli meter-Wave and Submillimeter-Wave Imaging for Security and Surveillance," Proc. of IEEE, Vol. 95, No. 8, pp.1683-1690, 2007.
- (2) 永妻・岡: "ミリ波イメージング技術と構造物診断への応用," NTT技術ジャーナル, Vol.18, No.6, pp.25-28, 2006.
- (3) 社団法人日本コンクリート工学協会: "コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針," 2003.



(左から) 都甲 浩芳/ 岡 宗一/  
望月 章志/ 久々津 直哉

電波の力は、通信分野以外にも利用できます。特にコンクリート構造物の診断技術は、多くの維持管理施設を抱えるNTTにとって役立つものです。着眼とアイデアで独創的な技術を育て、社内外のニーズに踏み込めるアプリケーションを産み出したいと思えます。

### ◆問い合わせ先

NTTマイクロシステムインテグレーション研究所  
光マイクロ波応用システム研究グループ  
TEL 046-240-2874  
FAX 046-240-4041  
E-mail oka@a ecl.ntt.co.jp