

研究成果報告書

研究開発課題名	RC 造農業水利施設のひび割れ劣化診断・補修システムの開発
研究総括者	西松建設株式会社 技術研究所 原田 耕司
研究開発組合	①西松建設株式会社 ②株式会社計測リサーチコンサルタント
試験研究機関	①佐賀大学 ②長崎大学 ③東海大学

1. 事業の実施内容

1. 1 事業の背景及び目的

我が国の農業用水を供給する農業水利施設のうち、基幹的な農業用水用排水路の総延長は、約 47,000km にも達し、また、ダム、頭首工、用排水機場等は約 7,000 箇所を超える。これらの施設は、現在、老朽化のピークを迎えており、膨大な農業水利ストックの機能を効率的・効果的に維持するための技術開発が課題となっている。

この膨大な農業水利ストックの機能を適切かつ効率的に発揮させるためには、深刻な機能低下が発生する前に、施設の劣化状況を把握するための点検・調査・機能診断に基づく適切な予防保全を行うストックマネジメントが重要である。

ストックマネジメントとは、農林水産省のホームページによれば、「管理者による日常管理、定期的な機能診断調査と評価、調査結果に基づく施設分類と劣化予測、効率的な対策工法の比較検討、計画に基づく対策工事の実施、調査・検討の結果や対策工事に係る情報の蓄積等を、段階的・継続的に実施するものである」と定義されている。今回開発する技術は、上記ストックマネジメント遂行で基幹となる技術である、機能診断調査、対策工事に関するものである。

コンクリートはぜい性材料であり、鉄筋コンクリート構造物のひび割れ発生は宿命的なものであると言える。鉄筋コンクリート構造物では、ひび割れの進展状況をモニタリングすることや、その補修は、構造物の長寿命化にとって、極めて重要なポイントとなる。

そこで本研究開発では、鉄筋コンクリート構造物の長寿命化に大きく影響を与える「コンクリートのひび割れ」に着目し、コンクリートの表面ひび割れの進展状況およびひび割れ発生のモニタリング装置の開発、および内部ひび割れ状況やひび割れ補修材の充填状況を直接管理できるシステムを開発することを目的とする。

コンクリートの表面ひび割れの進展状況およびひび割れ発生のモニタリング装置に関しては、現在、補修・補強工事がピークを迎えている RC 造農業水利施設に必要な技術であると考えている。すなわち、補修工事の完了後、鉄筋腐食等によるひび割れが発生する前に再劣化（ひび割れ発生）を事前に予測することにより、構造物の計画的な補修計画が可能になる。

また、ひび割れ補修材の充填状況確認に関しては、西松建設㈱が施工した北陸農政局様発注の阿賀野川頭首工改修（その 2）工事の特記に、ひび割れ注入材の注入状態の確認を行うよう記載されており、RC 造農業水利施設の現場からのニーズもあり、同じく RC 農業水利施設には、必要性が高い技術であると考えている。

1. 2 事業の内容及び実施方法

(1) コンクリート表面ひび割れのモニタリング装置の研究開発

コンクリート表面のひび割れの進展状況もしくはひび割れ発生モニタリングを行うための高精度な画像撮影装置を開発した。

1) 高精度な表面画像撮影装置の開発

ひび割れの幅や長さの進展状況をデジタル画像により簡易に精度良く行う、高精度な表面画像撮影装置を開発した。さらに、この装置をデジタル画像相関法解析により表面ひずみ分布が測定できるように発展させ、鉄筋腐食によるひび割れの発生位置を予測できる装置とした。

2) 室内試験

表面画像撮影装置により、鉄筋腐食によるひび割れの発生を予測する方法を、室内試験で詳細な検討を行った。

3) 実証試験

開発した装置を用いて実証試験を行った。

(2) ひび割れ注入の施工管理の研究開発

内部ひび割れ状況やひび割れ注入材の充填状況を削孔した小径孔より観察できる装置及びシステムを開発した。

1) 紫外線ライト型内部ひび割れ計測・診断装置の開発

ひび割れ注入は、微細なひび割れに注入されるため、目視で注入状態を確認することが困難である。そこで、蛍光材入りの注入材を観察するための紫外線ライトを装着したコンクリート内部ひび割れ計測・診断装置を開発した。

2) 蛍光材を添加した注入材料の諸特性の把握

市販の注入材に蛍光材を添加した場合の諸物性の変化を各種試験によって把握した。注入材はポリマーセメントモルタル系とエポキシ樹脂系の2種類について行った。

3) 実証試験

開発した装置を用いて実証試験を行った。

1. 3 事業着手時に想定した技術的問題点への対応

事業着手時に想定した技術的問題点への対応を表－1.3.1 に示す。

表－1.3.1 技術的問題点と対応

技術的問題点	対応
コンクリート表面ひび割れを高精度に撮影する装置における画像解像度と外乱光による誤差の問題	・画像を広範囲に撮影する装置にはカメラがあるが、レンズ収差の問題や外乱光による画質の劣化の問題があった。そこで、撮影対象に密着して画像を取得できるラインセンサスキャナを走査させ撮影する装置を開発した。この方法では画像解像度も高く、1 ピクセル 20 μ m 程度の分解能が得られた。
ひび割れ注入は、微細なひび割れに注入されるため、解像度の高い撮影方法が要求される	・蛍光材を添加した注入材を紫外線 LED ライトで発光させ、微細なひび割れに注入された注入材の充填状況の観察を容易にした。 ・紫外線ライト型内部ひび割れ計測・診断装置を開発した。

1. 4 事業の実施体制

表－1.4.1 に研究開発の役割分担を示す。

表－1.4.1 役割分担

開発テーマ	実施項目	新技術研究開発組合		試験研究機関		
		西松建設	計測リサーチコンサルタント	佐賀大学	長崎大学	東海大学
コンクリート表面ひび割れのモニタリング装置の開発	①高精度な表面画像撮影装置の開発	◎	○	○	○	○
	②室内試験（ひび割れ発生予測方法の検討）	◎	○	○	○	○
	③実証試験	○	◎	○	○	○
ひび割れ注入管理システムの開発	①紫外線ライト型内部ひび割れ計測・診断装置の開発	◎	○	○	—	—
	②蛍光材を添加した注入材料の諸特性の把握	◎	—	—	—	—
	③実証試験	◎	○	○	—	—

1. 5 事業の年度計画と実績

(1) コンクリート表面ひび割れのモニタリング装置の開発

表－1.5.1 に年度計画と実績を示す。

表－1.5.1 年度計画と実績（モニタリング装置）

項 目	平成 2 3 年度		平成 2 4 年度		平成 2 5 年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
高精度な表面画像撮影装置の開発						
室内試験（基礎データの収集）						
実証試験						

注)  は計画、 は実績。

(2) ひび割れ注入管理システムの開発

表－1.5.2 に年度計画と実績を示す。

表－1.5.2 年度計画と実績（注入管理）

項 目	平成 2 3 年度		平成 2 4 年度		平成 2 5 年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
紫外線ライト型内部ひび割れ計測・診断装置の開発						
蛍光材を添加した注入材料の諸特性の把握						
実証試験						

注)  は計画、 は実績。

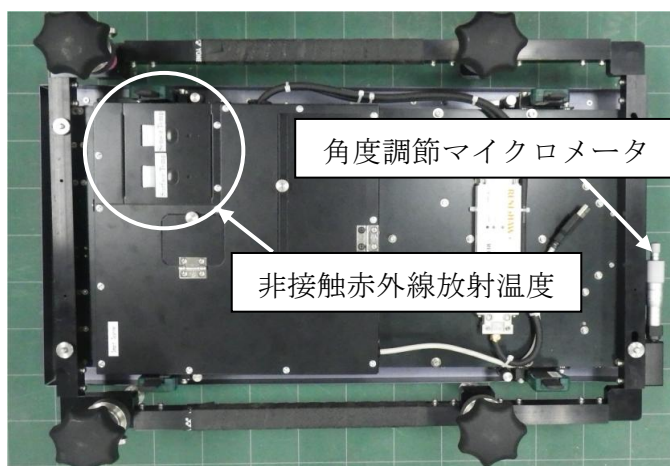
1. 6 研究開発の概要、結果、課題等

(1) コンクリート表面ひび割れのモニタリング装置の開発

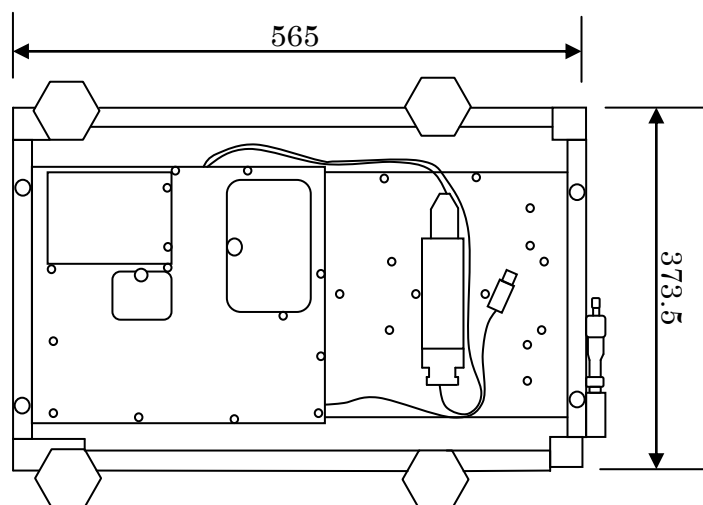
1) モニタリング装置の概要

①モニタリング外観および形状

モニタリング装置の外観を写真－1.6.1～1.6.3 に、その図面を図－1.6.1～1.6.3 に示す。開発したモニタリング装置は、ラインセンサを走査しコンクリート表面の高精細な画像データを入手できるシステムとなっている。その外形寸法は373.5mm×565mmで、質量は12.2kgであり、一人で取付けが可能な大きさとなっている。本装置の設置方法は、試験体に受け具を貼り付け、そこに写真－1.6.3 に示すような本装置の四隅にある取り付け部を入れ込み、押しバネの反力により本装置を計測面に押し付け固定するといった、簡易な方法で設置できる。スキャニング範囲（入手できる画像の範囲）は、最大 350mm×210mm である。また、ラインセンサの送り機構として写真－1.6.2 に示すボールネジを 2 本配置し、ラインセンサのスキャニング時（移動時）のヨーイング（上下を軸とした回転）およびピッチング（左右を軸とした回転）を低減し副走査方向ひずみ計測精度を確保している。



写真－1.6.1 モニタリング装置（上面）



図－1.6.1 モニタリング装置（上面）＊単位：mm

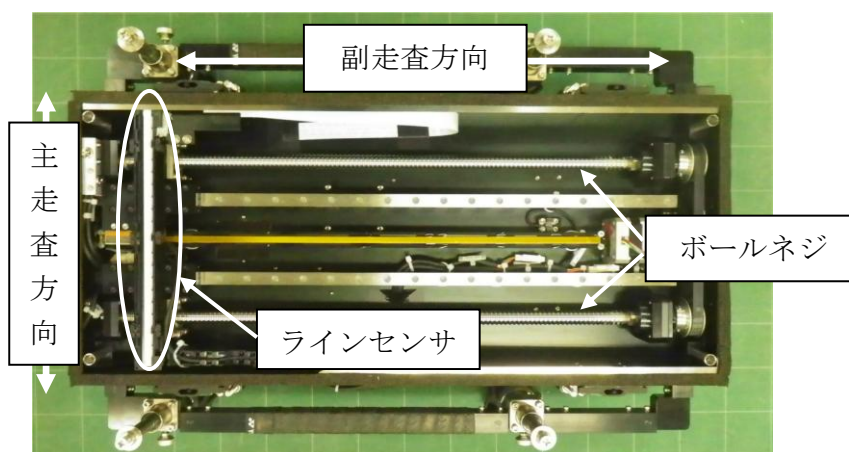


写真-1.6.2 モニタリング装置（裏面）

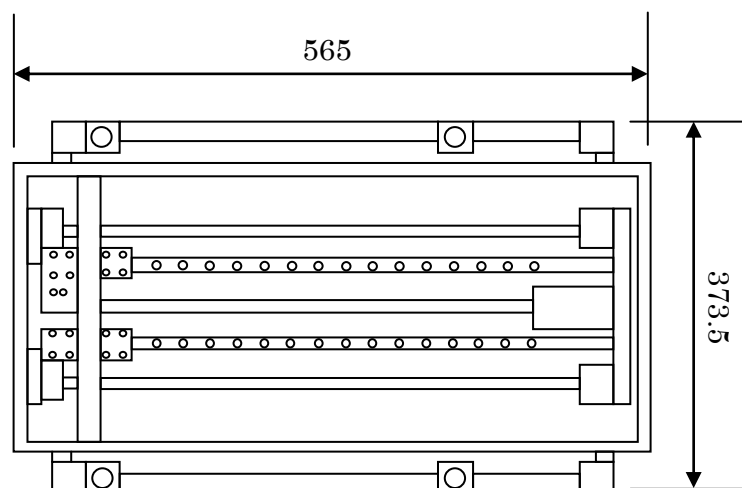


図-1.6.2 モニタリング装置（裏面）＊単位：mm

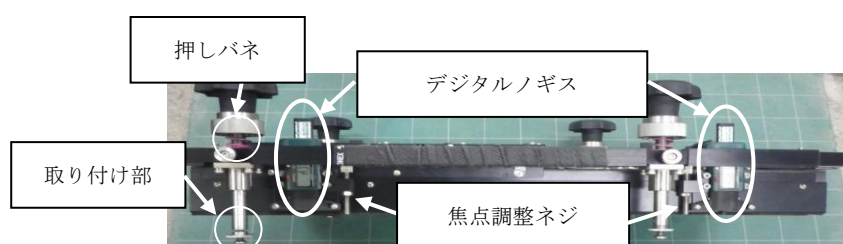


写真-1.6.3 モニタリング装置（側面）

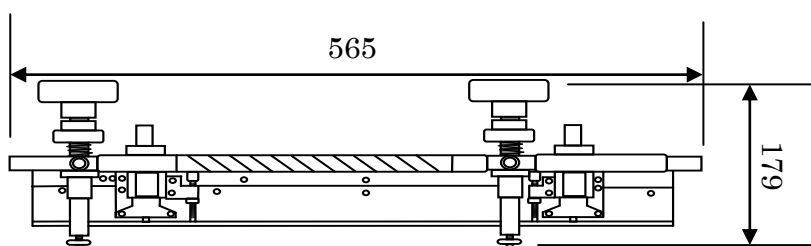


図-1.6.3 モニタリング装置（側面）＊単位：mm

②各部の概要

イ. ラインセンサ

モニタリング装置に使用したラインセンサは CIS タイプのものであり、その仕様を表－1.6.1 に示す。

表－1.6.1 ラインセンサの仕様

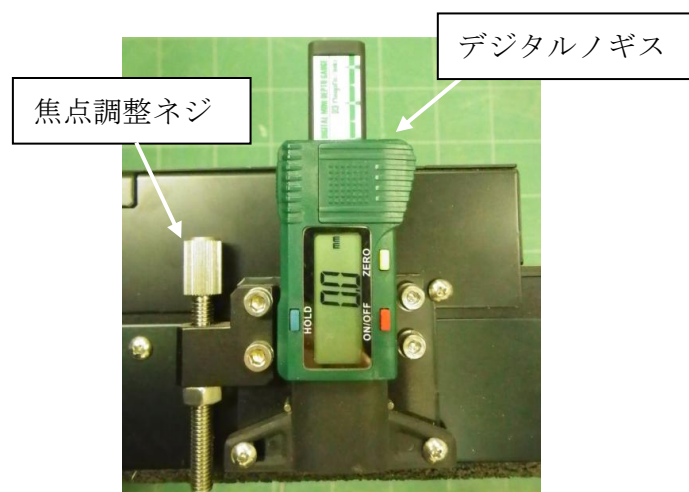
センサタイプ	CIS(Contact Image Sensor)
最大読み取りサイズ	375mm×210mm
光学解像度（主走査×副走査）	1,200×1,200dpi
読み取り解像度	1,200dpi×1,200dpi
光源	RGB3 色 LED
電源	DC15V
消費電力	15W

ロ. 非接触赤外線放射温度計

モニタリング装置には、赤外線放射温度計が 2 個取り付けられている。1 つは計測対象物表面温度を測定することができ、温度変化に伴うひずみ補正を行うためのものである。もう 1 つの赤外線放射温度計は、ラインセンサの温度を測定し、その温度変化に伴う誤差を補正するためのものである。

ハ. デジタルノギス・焦点調整ネジ

計測では、モニタリング装置を正確に対象構造物へ取付ける必要がある。モニタリング装置のデジタルノギスと焦点調整ねじを用いることにより、モニタリング装置の取付け後の焦点調整が素早く正確に行うことができる。写真－1.6.4 にデジタルノギスおよび焦点調整ネジを示す。



写真－1.6.4 デジタルノギスと焦点調整ネジ

ニ. 角度調節マイクロメーター

角度調節マイクロメーターは、取付け後のモニタリング装置の傾きの微調整を行うものである。角度調整マイクロメーターを一周回すと約 0.1 度主走査方向（写真－1.6.2 参照）の傾きが変わる。

2) モニタリング装置のひずみ計測精度の検証実験

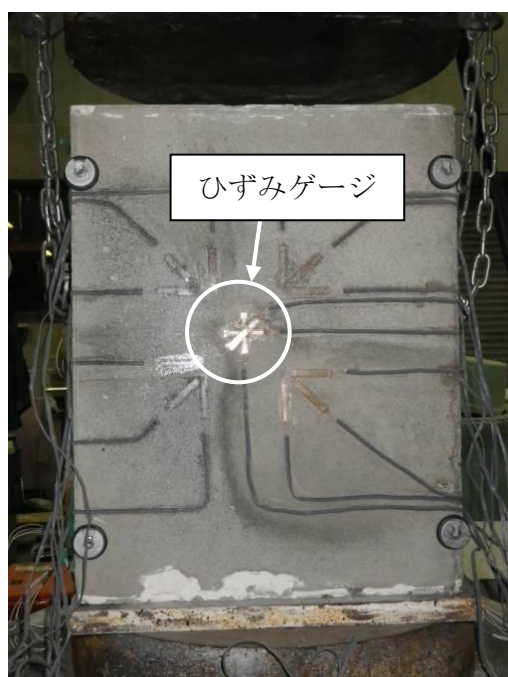
①実験概要

開発したモニタリング装置によるひずみ計測精度を検証するために、無筋コンクリート試験体を圧縮载荷しひずみを発生させ、画像を解析によって得られたひずみ値とひずみゲージにより測定した値を比較することにより、計測精度の評価を行った。

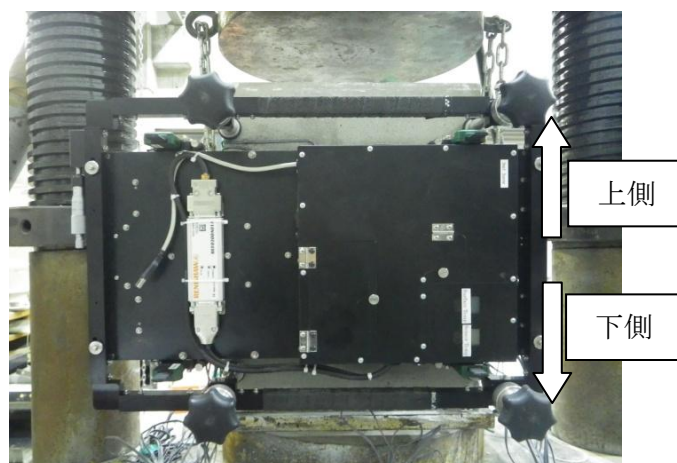
イ. 試験体およびひずみの測定

本実験に使用した試験体は写真－1.6.5 に示す無筋コンクリート試験体である。载荷面の断面は 370mm×240mm であり、その高さ 460mm である。試験体の端面（上下面）の研磨仕上げの精度や圧縮試験機ヘッドの微妙な偏心により、表面に貼付した複数のひずみゲージに偏差を生じるため、端面には石膏を塗りその上から金属板を接着することで試験体にかかる荷重がほぼ均等となるよう調整した。

モニタリング装置でのひずみの計測状況を写真－1.6.6 に示す。また、比較用のひずみゲージは、無筋コンクリート試験体の中心部に、写真－1.6.5 のように 30mm のストレインゲージを 3 方向（ ϵ_x 、 ϵ_y 、 ϵ_{xy} ）に添付して測定した。



写真－1.6.5 試験体（計測面）



写真－1.6.6 計測状況

* 垂直面を計測

ロ. 载荷方法

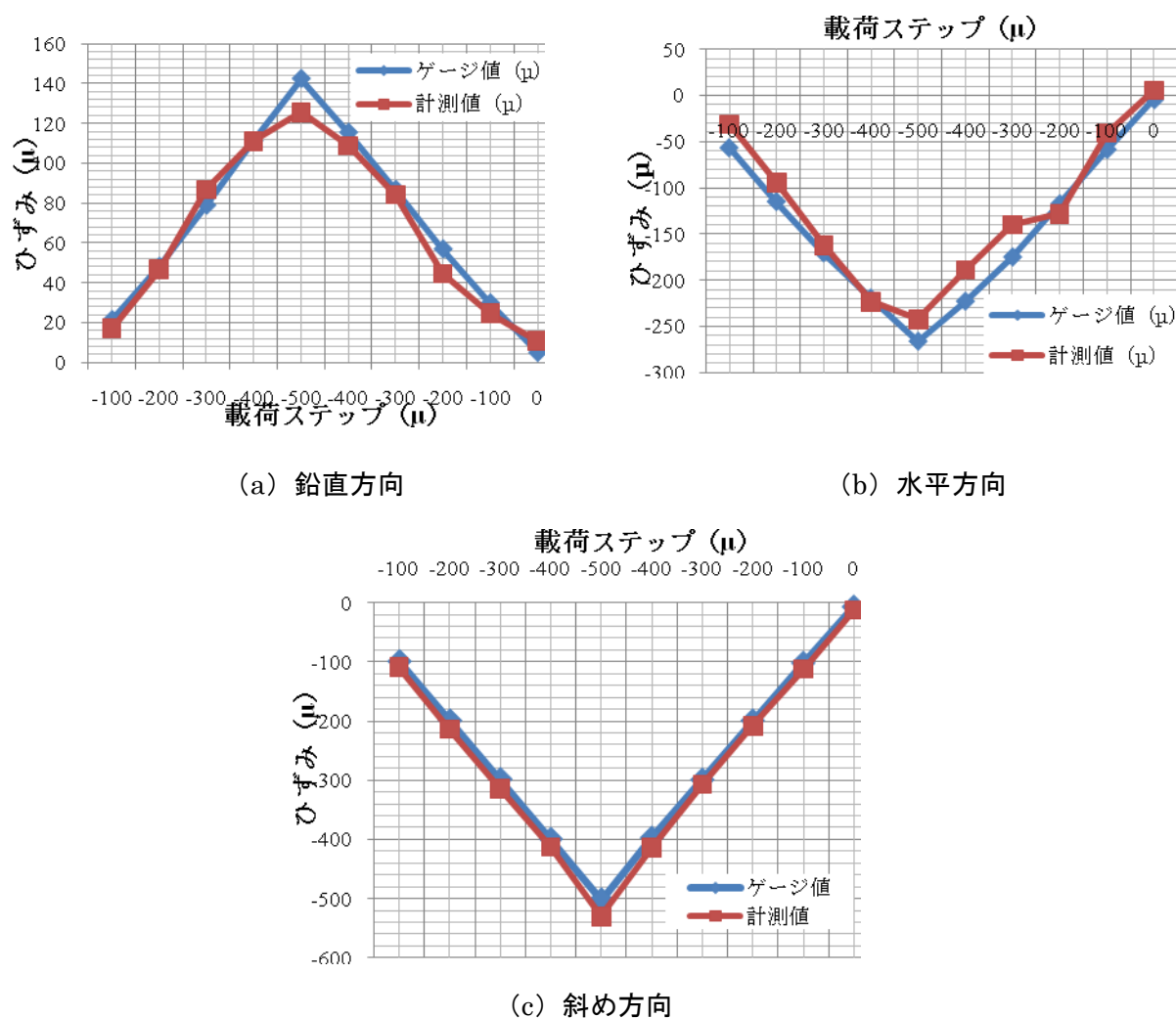
载荷方法は、圧縮試験機により一軸载荷し、鉛直方向に貼付したひずみゲージ値（ ϵ_y ）が 0 μ 、100 μ 、200 μ 、300 μ 、400 μ および 500 μ に達した時点で载荷を止め、モニタリング装置を用いてスキャンニングを行った。また、除荷時においても、同様に 100 μ 毎にスキャンニングを行った。

②実験結果

鉛直方向、水平方向および斜め方向のひずみの計測結果を図－1.6.4に示す。また、各方向の平均誤差および最大誤差を表－1.6.2に示す。ひずみゲージとモニタリング装置での計測の平均誤差は、鉛直方向、水平方向および斜め方向で、それぞれ12.2 μ 、6.2 μ 、10.7 μ となっている。また、最大誤差も65.5 μ となっており、モニタリング装置から求めたひずみ値は、ゲージから求めた値とほぼ同じ値を示しているのが分かる。

なお、本装置の画像分解能は0.0212mm/pixelであり、画像内で1pixel (0.0212mm)以上の幅を持つひび割れに関しては確認および計測が可能である。

以上により、開発したモニタリング装置は、ひずみレベルでも精度の高い値が求められ、ひび割れ幅・長さの計測に関しても、その精度は問題のないと言える。



図－1.6.4 荷重ステップとひずみの関係

表－1.6.2 平均誤差と最大誤差

	平均誤差 (μ)	最大誤差 (μ)
鉛直方向	12.2	25
水平方向	6.2	26.7
斜め 45°方向	10.7	65.5

3) 汚れによる影響の検討

現場ではひずみを連続して取るだけでなく、計測間隔が数ヶ月に及ぶ場合がある。天候が優れない日は、測定対象物が風雨に見舞われることもある。その場合、計測面に施した塗装が汚れ、計測結果に影響を及ぼす可能性がある。そこで本実験では計測対象物を意図的に汚し、汚れによって生じる誤差を検討した。

①実験概要

本実験では比較的強めの汚れを入れることで、長期間の風雨による汚れに相当する汚れを短期間で再現できるよう、水を加えて混ぜた有明粘土(写真 - 1.6.7)を用いて計測面に意図的に汚れを入れた。

実験では、まず初期画像をスキャンニングする。その後、表面に有明粘土を塗ることにより汚れを入れた。有明粘土が完全に乾いたところで洗剤とスポンジを使用し洗い流した。洗い流した面が完全に乾かした後、再度スキャンニングした。この工程を計 10 回繰り返して行った。各回において 3 枚ずつスキャンニングし、ひずみを求めて、汚れによる誤差を算出し検討した。



写真 - 1.6.7 有明粘土

②実験結果

現場を想定したスキャンニング対象物表面の汚れによって生じる誤差についての検討を行った。計測対象面に汚れを入れ、洗い流した後スキャンニングして得られた結果を表 - 1.6.3 に示す。1 回目と 4 回目においては誤差が少々大きく出ているが、その原因として汚しを入れた部分の洗浄がしっかりできていなかったことが考えられる。7 回目以降では、徐々に誤差が生じる結果となっているがその値小さく、また、今回の汚れが比較的強めの汚れを想定したものであることを考慮すると、計測では計測面の洗浄を十分に行えば、問題のないデータが取得できることを確認した。

表 - 1.6.3 汚れの影響による結果

比較画像	組み合わせ	ひずみ μ	(絶対値)平均 ひずみ μ				
初期画像	①-②	1.1	0	比較画像	組み合わせ	ひずみ μ	(絶対値)平均 ひずみ μ
	①-③	-0.5					
	②-③	-1.5					
初期画像 -1回目	①-①	-21.2	-19	初期画像 -6回目	①-①	-2.2	-2
	①-②	-20.1			①-②	-1.5	
	①-③	-17.8			①-③	-1.1	
	②-②	-20.9			②-②	-2.6	
	②-③	-18.6			②-③	-2.3	
	③-③	-15.5			③-③	-0.1	
初期画像 -2回目	①-①	-8.7	-4	初期画像 -7回目	①-①	-8.5	-14
	①-②	-4.6			①-②	-16.2	
	①-③	-1.1			①-③	-14.8	
	②-②	-5.5			②-②	-16	
	②-③	-2.1			②-③	-16.2	
	③-③	-0.1			③-③	-14.6	
初期画像 -3回目	①-①	-1.4	-2	初期画像 -8回目	①-①	10.6	17
	①-②	-1.1			①-②	13.6	
	①-③	-1.5			①-③	16.1	
	②-②	-2.1			②-②	14.4	
	②-③	-2.5			②-③	15.3	
	③-③	-0.7			③-③	29.2	
初期画像 -4回目	①-①	-18.3	-17	初期画像 -9回目	①-①	10.6	21
	①-②	-20.1			①-②	-22.9	
	①-③	-17.8			①-③	-53.8	
	②-②	-16.5			②-②	-6.5	
	②-③	-14.2			②-③	120.7	
	③-③	-12.1			③-③	79.7	
初期画像 -5回目	①-①	0.2	1	初期画像 -10回目	①-①	82.8	37
	①-②	1			①-②	-13.2	
	①-③	1.7			①-③	-2.5	
	②-②	-0.2			②-②	-15.6	
	②-③	0.5			②-③	-18.7	
	③-③	2.1			③-③	186.8	

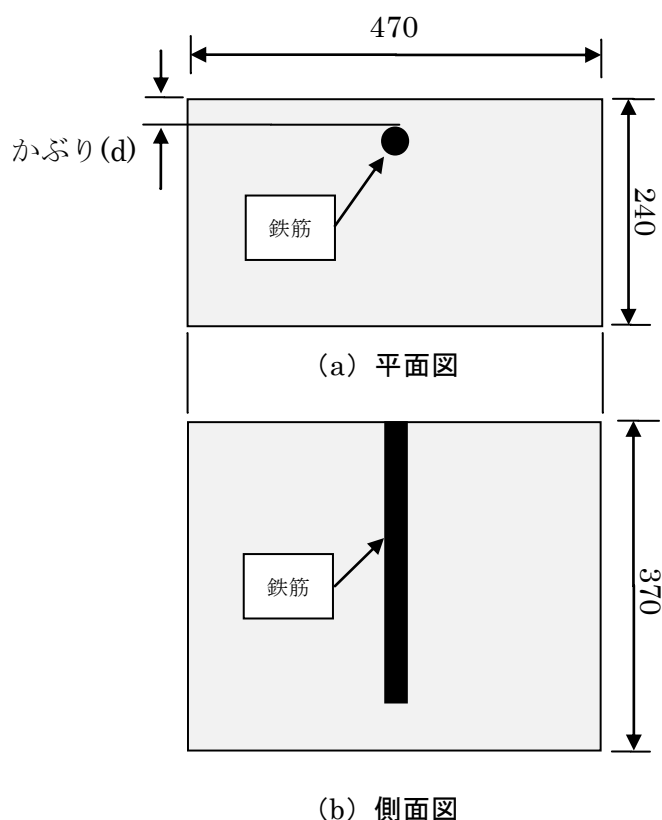
4) 鉄筋の腐食位置予測の室内実験

開発したモニタリング装置を用いて、鉄筋腐食によるひび割れ発生位置を予測できるかの検討を行った。具体的には、電食により鉄筋を腐食させ、コンクリート表面に発生するひび割れをモニタリング装置で計測し検証した。

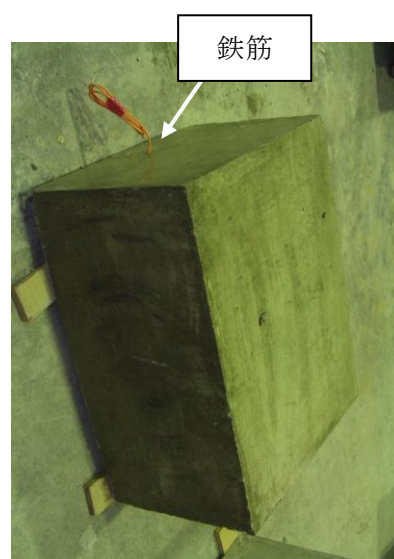
①実験概要

イ. 試験体

試験体の形状は、図－1.6.5 および写真－1.6.8 に示すように 370×470×240mm である。コンクリートは、土木構造物でよく用いられる呼び強度 24N/mm² のものを採用した。試験体の内部には、土木構造物で使用実績が多い D25 の異形鉄筋を配置した。なお、異形鉄筋は、10%クエン酸二アンモニウム溶液で黒錆を除去した後に埋設した。



図－1.6.5 試験体 * 単位 : mm



写真－1.6.8 試験体

ロ. 実験ケース

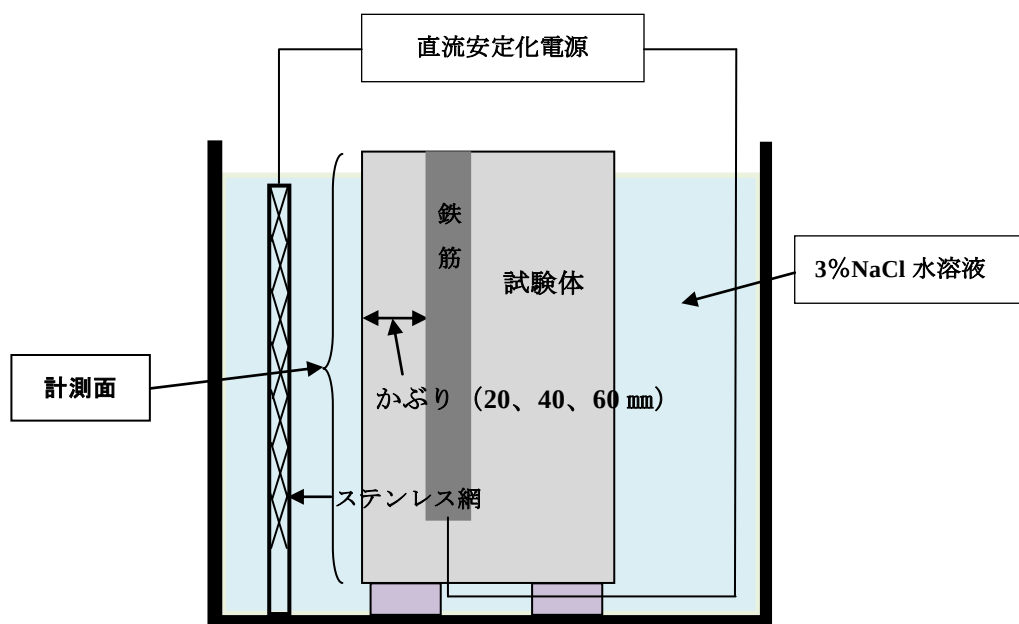
実験では表－1.6.4 に示すように、かぶりを変化させて検討を行った。

表－1.6.4 実験ケース

No.	鉄筋径	かぶり
1	D25	20mm
2		40mm
3		60mm

ハ. 電食方法

電食は、図－1.6.6 に示すように 3%NaCl 水溶液に試験体を浸漬し、鉄筋とステンレス網に直流電源を接続し鉄筋を腐食させた。



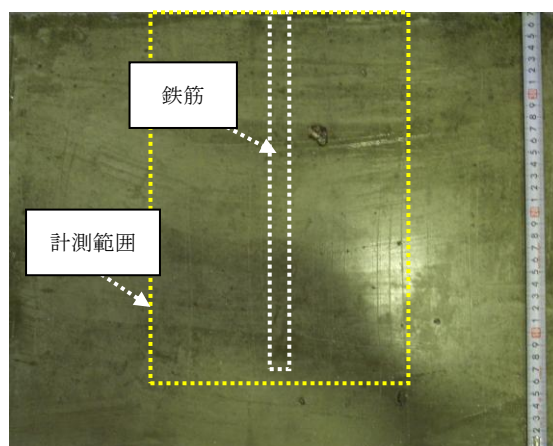
図－1.6.6 電食概要図

ニ. 計測方法

計測では、図－1.6.6 の試験体の計測面を上にして、計測面を覆う水分をスポンジ等で除去し乾燥していない状態で、写真－1.6.9(a)のようにモニタリング装置を試験体に設置してスキヤニングを行った。計測では、写真－1.6.9 (b) のように鉄筋が中央になるようにモニタリング装置をセットした。



(a) 計測状況



(b) 計測範囲

写真－1.6.9 計測

②実験結果

電食実験において、電食開始から経過時間毎の計測面の主ひずみのコンター図を図－1.6.7～1.6.9に示す。凡例においてプラスは引張ひずみであり、マイナスは圧縮ひずみを示す。引張ひずみの上限は $1,800\mu$ 、圧縮ひずみの上限値は 200μ に設定した。なお、凡例の左側に表示されている折れ線は各ひずみの階級の度数分布を表している。図中の黒色実線は、画像から目視で観察したひび割れ発生位置を示している。また、図の(a)～(f)は電食開始からの時間を示している。なお、写真－1.6.10に、一例としてかぶり 20mm の撮影画像の一部を示す。

図－1.6.7のかぶり 20mm の場合、(b)の 69 時間後の時点で、図中央上の部分に引張ひずみが集中した黄色の部分が表示されている。(c)の 138 時間後でその黄色の部分が赤色になり、引張ひずみが大きくなっているのがわかるが、この時点ではまだひび割れは発生していない。その後(d)の 186 時間後、赤色になった引張ひずみが集中した位置の一部にひび割れが発生している。続いて、(e)の 210 時間後および(f)233 時間後では、赤色の引張ひずみが集中している線状の位置で、ひび割れが成長しているのが分かる。この傾向は、図－1.6.8のかぶり 40mm および図－1.6.9のかぶり 60mm にも観察できる。

以上より、鉄筋腐食によるコンクリートのひび割れは、黄色⇒赤色⇒ひび割れの順番で発生している傾向があった。すなわち、今回の実験の範囲では、開発したモニタリング装置を用いれば、鉄筋の腐食によるひび割れが発生する前に、その位置が予測できることが分かった。

ひび割れが発生する前の黄色、赤色は、これまでは観察できなかった、表－1.6.5に示す進展期に分類される。モニタリング装置を用いれば加速期の入る前に対策を実施することが可能になり、構造物の長寿化に大きく貢献できるものと考えられる。参考までに、進展期における補修工法を表－1.6.6に示す。

表－1.6.5 塩害を受ける鉄筋コンクリート構造物の外観上のグレードと劣化の状態¹⁾

構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレード I	潜伏期	外観上の変状が見られない、腐食発生限界塩化物イオン濃度以下
グレード II	進展期	外観上の変状が見られない、腐食発生限界塩化物イオン濃度以上、腐食が開始
グレード III-1	加速期前期	腐食ひび割れや浮きが発生、さび汁が見られる
グレード III-2	加速期後期	腐食ひび割れの幅や長さが大きく多数発生、腐食ひび割れの進展に伴うかぶりコンクリートの部分的な剝離・剥落が見られる、鋼材の著しい断面減少は見られない
グレード IV	劣化期	腐食ひび割れの進展に伴う大規模な剝離・剥落が見られる、鋼材の著しい断面減少が見られる、変位・たわみが大きい

表－1.6.6 構造物の外観上のグレードとそれに対応する補修工法の選定方針の例¹⁾

構造物の外観上の グレード	劣化過程	構造物の要求性能ごとの対策方針【 】は標準的な工法例を示す			
		安全性	使用性（たわみや振動等）	第三者影響度	美観
グレードⅠ	潜伏期	塩化物イオンの浸透量の低減【表面処理】			
グレードⅡ	進展期	塩化物イオンの浸透量の低減・除去、鋼材の防食 【表面処理】、【脱塩】、【電気防食】、【断面修復】 ※断面修復や脱塩に際し、表面処理を併用することもある。			
グレードⅢ-Ⅰ	加速期 前期	塩化物イオンの除去、鋼材の防食 【断面修復】、【脱塩】、【電気防食】 ※断面修復や脱塩に際し、表面処理を併用する こともある。		剝落防止 【たたき落し】 【断面修復】 【剝落防止ネットの 設置】 ※断面修復に際し、表 面処理を併用する こともある。	美観の回復 【断面修復】 ※断面修復に際し、表 面処理を併用する こともある。
グレードⅢ-Ⅱ	加速期 後期	耐力、剛性の回復等 【断面修復】 ※断面修復に際し、表面処理を併用する場合 や、鋼材の増設・交換を行う場合もある。 ※プレストレストコンクリート構造物（部材） の場合は、断面修復に加えて、電気防食を併 用する場合もある。			
グレードⅣ	劣化期	耐力、剛性の回復等 【断面修復＋鋼材の増設や交換】 ※断面修復に際し、表面処理を併用すること もある。 ※上記以外に、連続繊維接着、外ケーブル、巻 立て、増厚等による場合もある。			

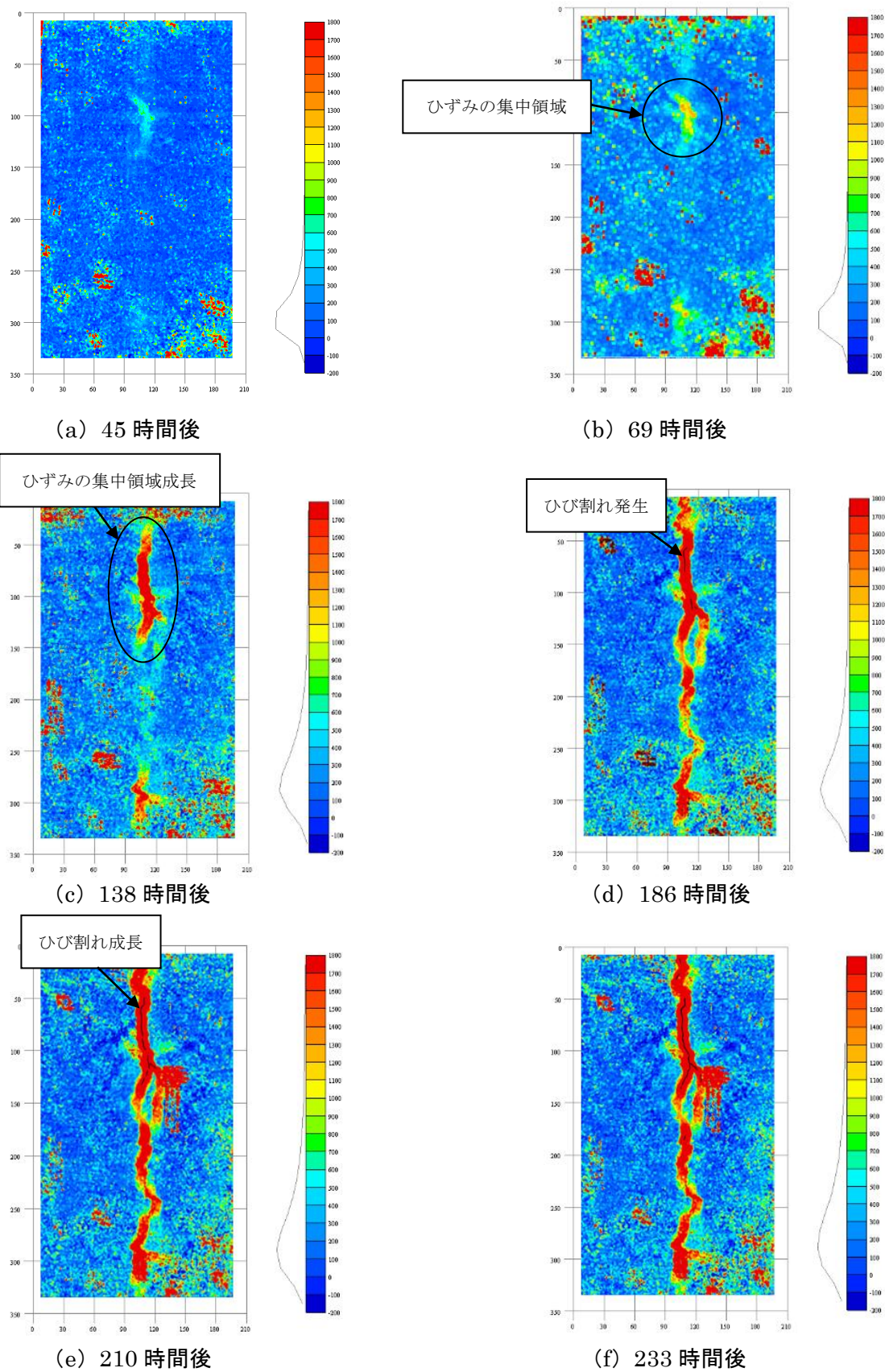
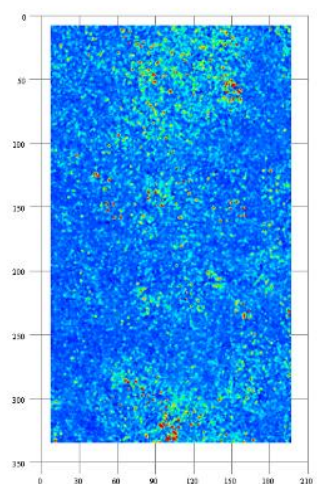
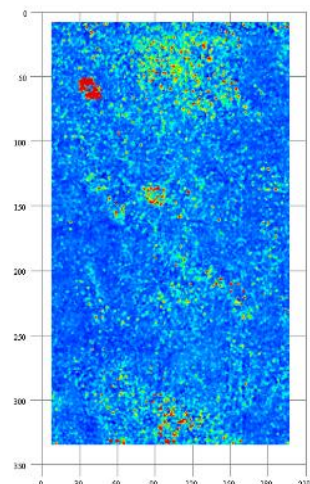


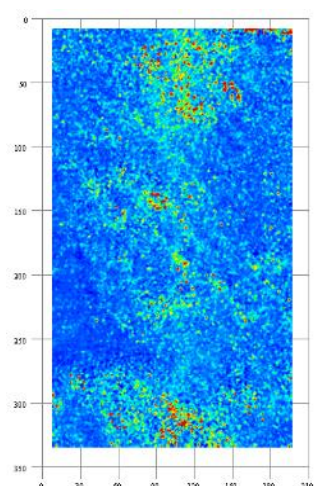
図-1.6.7 かぶり 20mm のコンター図



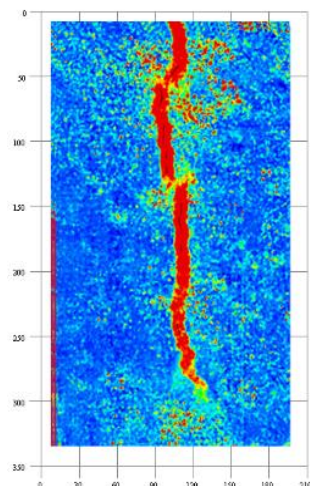
(a) 263 時間後



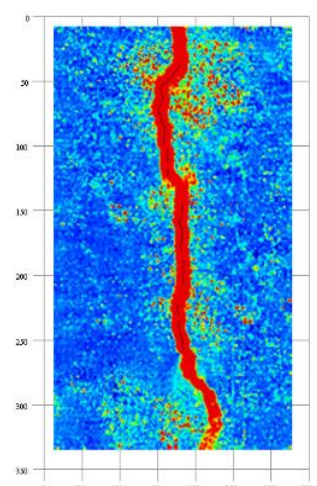
(b) 287 時間後



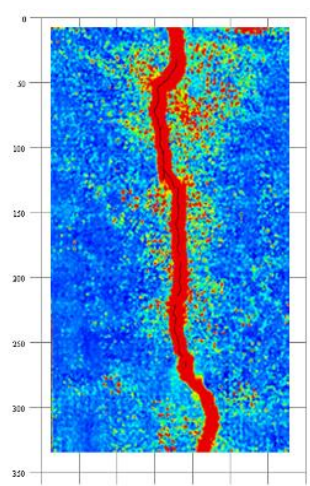
(c) 310 時間後



(d) 359 時間後

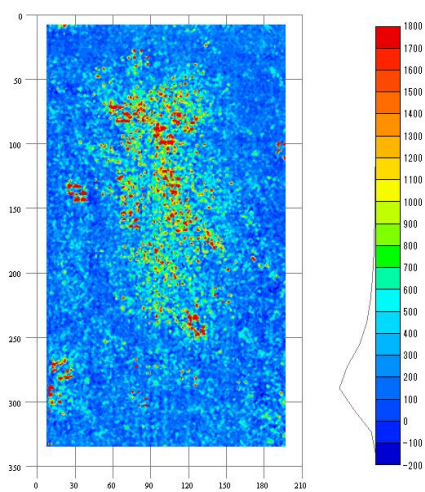


(e) 384 時間後

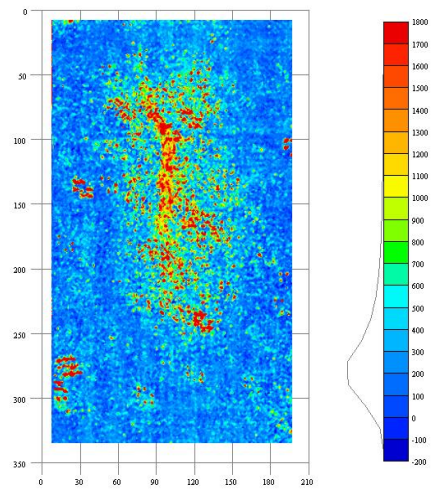


(f) 407 時間後

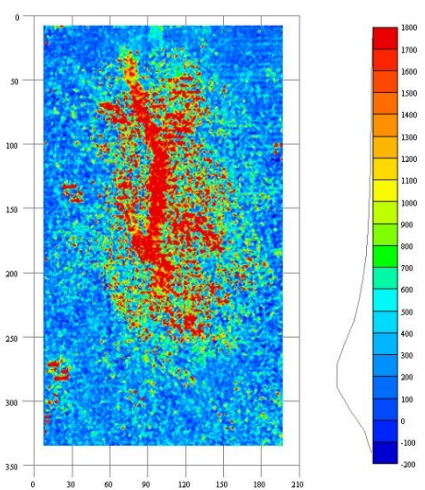
図-1.6.8 かぶり 40mm のコンター図



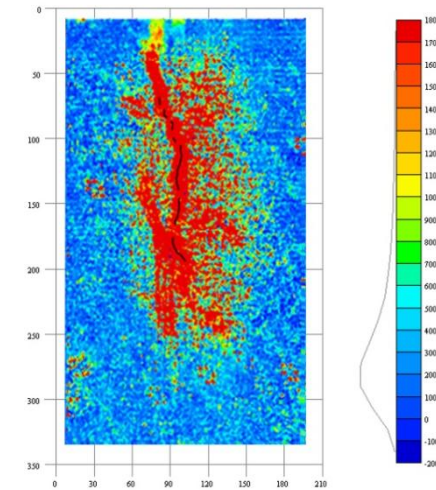
(a) 381 時間後



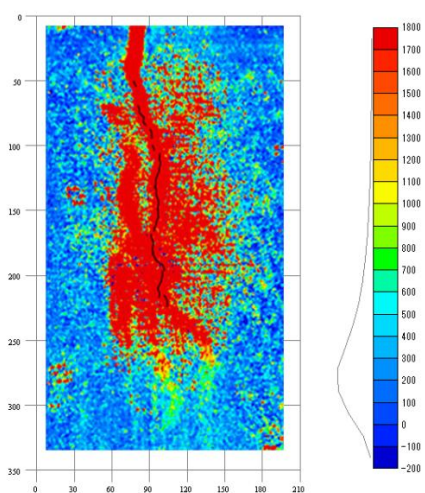
(b) 402 時間後



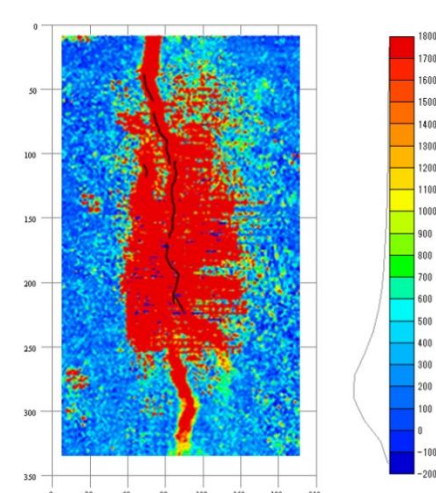
(c) 426 時間後



(d) 474 時間後

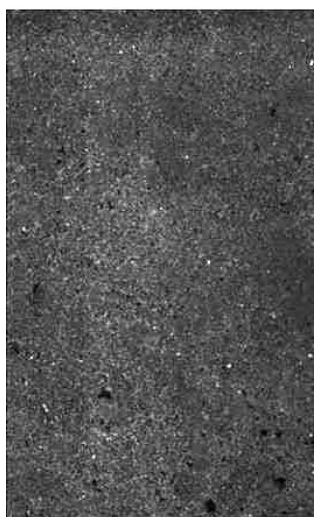


(e) 497 時間後

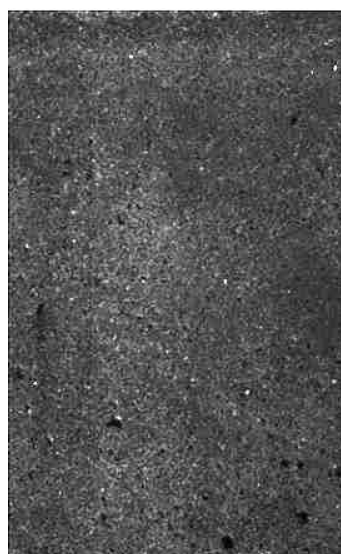


(f) 526 時間後

図-1.6.9 かぶり 60mm のコンター図

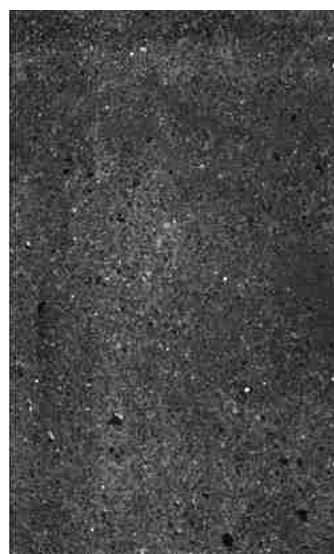


(a)初期画像



(b)69 時間後

－69 時間後－
図－1.6.7(b)のコン
ター図では、ひずみ
の集中領域（黄色）
が発生しているが、
コンクリート表面に
はひび割れは観察さ
れなかった。



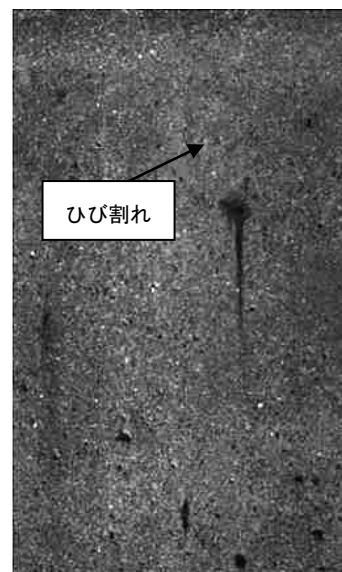
(c)138 時間後

－138 時間後－
図－1.6.7(c)のコン
ター図では、ひずみ
の集中領域が成長し
て赤色になっている
が、コンクリート表
面にはひび割れは観
察されなかった。



(d)210 時間後

－210 時間後－
図－1.6.7(d)のコン
ター図では、ひずみ
の集中領域がさらに
成長し、コンクリー
ト表面にひび割れが
観察された（微細な
ため本写真では識別
不可能）。



(e)233 時間後

－233 時間後－
図－1.6.7(e)のコン
ター図の赤線に沿っ
て、ひび割れがさら
に成長しているのが
観察された。

写真－1.6.10 かぶり 20mm の撮影画像

（２）ひび割れ注入管理システムの開発

１）紫外線ライト型内部ひび割れ計測・診断装置の概要

開発したひび割れ注入管理システムは、まず注入材へ蛍光材を少量添加し注入して、注入材が硬化後、小径の孔を削孔する。その後、その孔の内部を紫外線 LED ライトで照射し蛍光材の発光を紫外線ライト型内部ひび割れ計測・診断装置（以下、紫外線ライト型計測装置と呼ぶ）の先端に付けた CMOS カメラ部で確認した後、スケールでその深さを読み取り、発光した部分を紫外線ライト型計測装置のラインセンサでスキャンニングし、注入材の充填状況を詳細に調べる方法である。

開発した紫外線ライト型計測装置は、ラインセンサによる読み取り装置と紫外線 LED 光源を内蔵した CMOS カメラによる撮影装置を結合させたものであり、その外観を写真－1.6.11 に示す。また、先端部の CMOS カメラ部を写真－1.6.12 に示す。外形寸法は W:81×H:94×L:744(mm)であり、質量は 1.6kg である。

紫外線ライト型計測装置は、表－1.6.7 に示す通り深さ 350mm まで注入状況を確認できる仕様となっている。これは、かぶりの注入状況を確認することが、注入補修では重要であるため、ほとんどの構造物のかぶりをカバーできる、深さ 350mm まで計測が可能な仕様とした。



写真－1.6.11 紫外線ライト型計測装置



写真－1.6.12 先端部（CMOS カメラ）

表－1.6.7 紫外線ライト型計測装置の仕様

項目	仕様	
外形寸法	W:81×H:94×L:744(mm)	
重量	1.6kg	
電源供給	充電池による電源供給（単 3 型充電池 4 本）	
動作環境	動作温度	+20～+30℃
	動作湿度	30～70%RH
	保存温度	0～+50℃(結露無き事)
	保存湿度	10～90%RH(結露無き事)
読取方式	CIS センサユニットによるスキャン方式 削孔穴に CIS センサを挿入し、CIS センサを回転させる ことにより孔壁面を読み取る。	
光学解像度	600dpi	
センサ	CIS センサ	
出力解像度	600dpi	
読取り削孔穴サイズ	直径 φ25.0mm 穴の内面(周長約 78.5mm)	
読取り有効サイズ	210mm(穴奥行き方向)×192mm(回転方向に 2.5 回転) 段取り替えにより、深さ 350mm まで可能	
光源	CIS センサ内蔵の LED 光源 光源波長 RED:630nm GREEN:520nm BLUE:465nm	
対応 OS	WindowsXP(Professional)/WindowsVista /Windows7/Windows8	
インターフェース	USB2.0	
出力データ	カラー:R・G・B 各 8bit(24bit フルカラー)	
出力ファイル形式	TIFF	
画像処理機能	シェーディング補正(ホワイトキャリブレーション) ガンマ補正	

2) 紫外線ライト型計測装置の計測精度検証実験

①実験概要

紫外線ライト型計測装置の計測精度の検証実験は、内径 25mm の硬質塩化ビニルパイプの側面を幅 15mm 程度で削り縦溝を開け、その内側に厚さ 1mm 方眼紙を貼り付け試験体を製作した（写真－1.6.13 参照）。その後、試験体の内面を開発した紫外線ライト型計測装置のラインセンサ部でスキャンし画像を取得する。取得した画像から孔軸方向および孔軸直角方向の長さをアドビ社製の Photoshop CS5 の画像解析ツールによって求め、スケールループを用いて測定した実測値と比較することにより紫外線ライト型計測装置の計測精度を検討した。



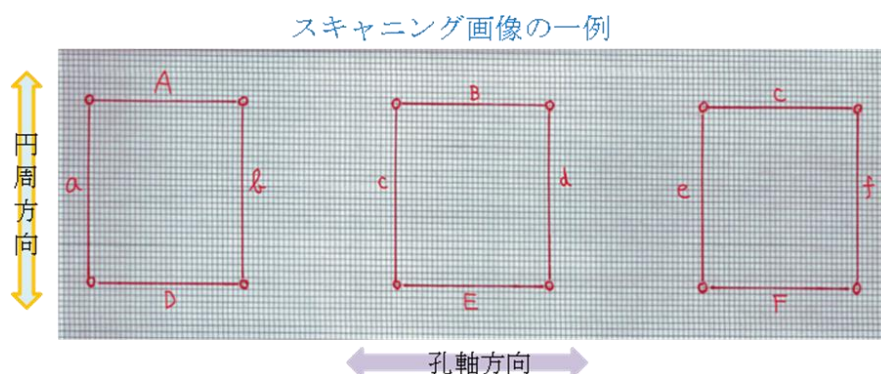
写真－1.6.13 方眼紙を添付した硬質塩化ビニルパイプ



図－1.6.10 実験のフロー

②実験結果

紫外線ライト型計測装置で読み取った画像の一例を写真－1.6.14 に示す。スキャニング画像から計測した結果として、円周方向（a～f）および孔軸方向（A～F）の各 6 箇所の区間の平均値を表－1.6.8 に示す。表中で実測値とは読み取り精度 0.02mm のデジタルノギスを用いて各区間の長さを測定した値である。なお、写真中に示した a～f および A～F の区間の赤線は、計測位置を分かりやすくするために追記したものであり、スキャニングする方眼紙には書かれていない。円周方向および孔軸方向の誤差はそれぞれ 0.07mm (0.23%)、－0.83mm (－2.85%) と高い精度で計測していることがわかる。なお孔軸方向では注入管理装置を回す作業が断続的になることより、円周方向の誤差と比較して大きくなったと考えられる。



写真－1.6.14 紫外線ライト型計測装置によるスキャニング画像の一例

表－1.6.8 実験結果

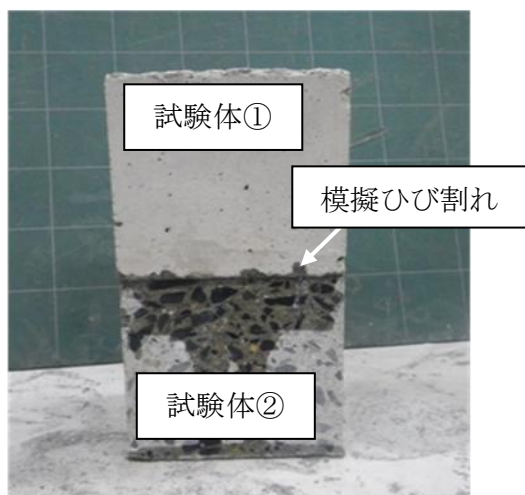
	平均値(mm)	実測値(mm)	誤差(mm)	誤差(%)
孔軸方向	29.17	30.00	-0.83	-2.85
円周方向	30.07	30.00	0.07	0.23

3) 紫外線ライト型計測装置による注入材充填状況確認実験

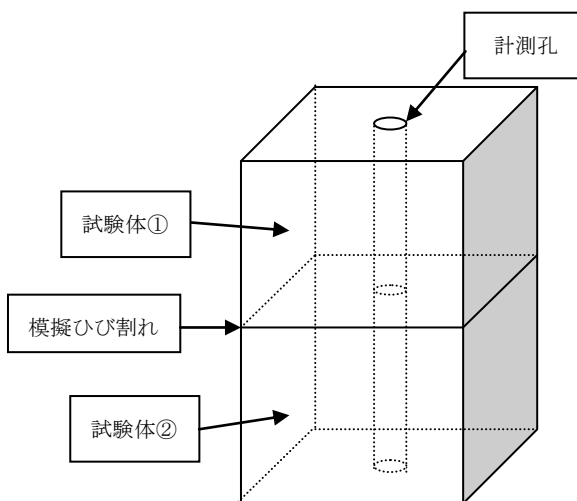
①実験概要

注入材の充填状況確認実験としては、写真－1.6.15 および図－1.6.11 のように 2 つの試験体間に蛍光材を添加したポリマーセメント系注入材を充填し硬化させ、削孔後、紫外線ライト型計測装置の先端部の紫外線 LED 光源を内蔵した CMOS カメラによって画像を取り込み、注入材の充填位置の特定を行った。充填位置の特定後、紫外線ライト型計測装置のラインセンサにより注入材位置周辺をスキャンし、充填状況および幅の検討を行った。

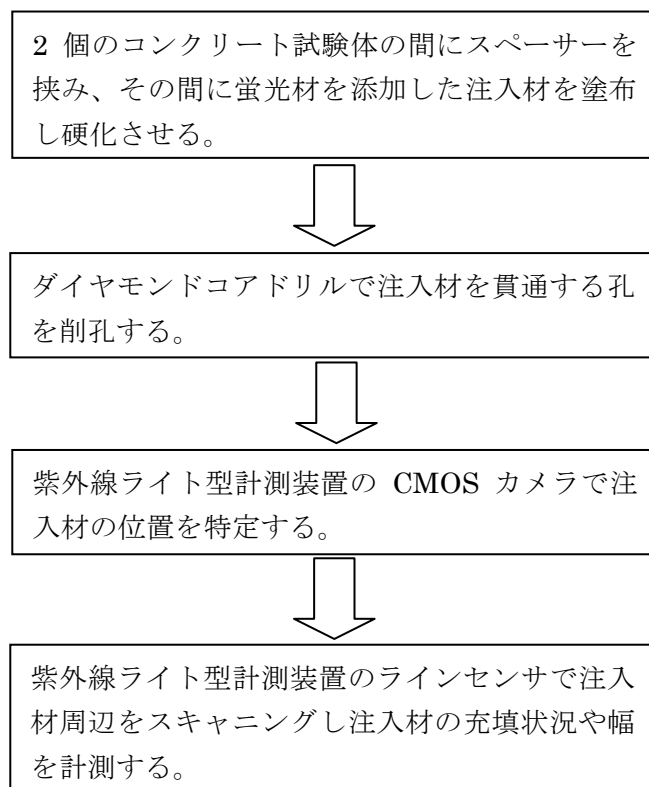
なお、実験フローを図－1.6.12 に示す。



写真－1.6.15 試験体



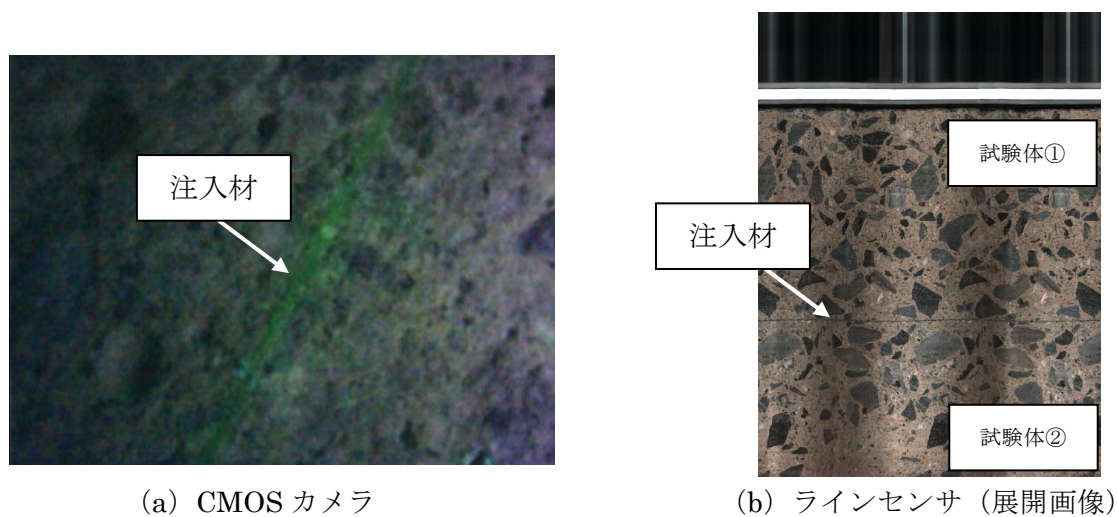
図－1.6.11 試験体



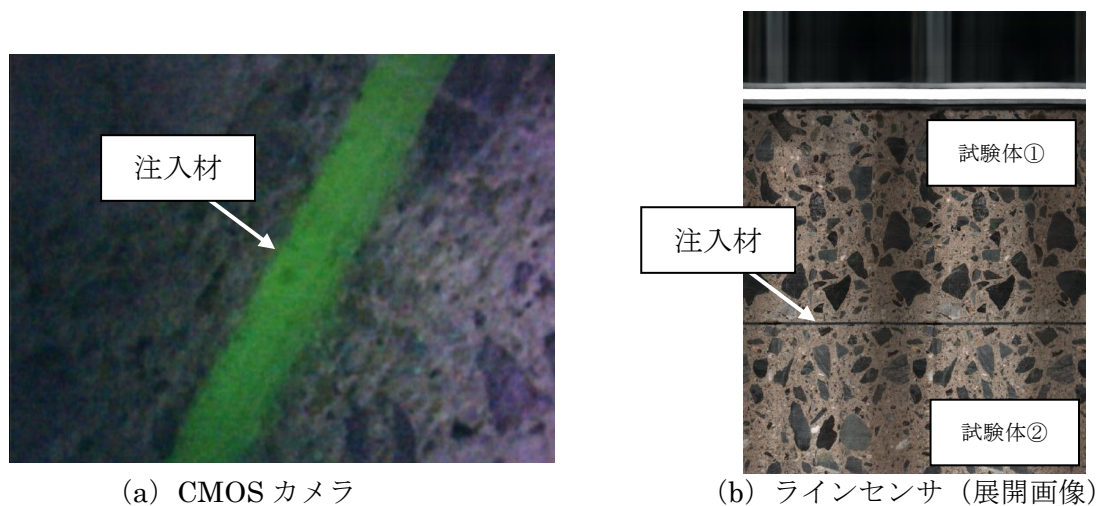
図－1.6.12 実験フロー

②実験結果

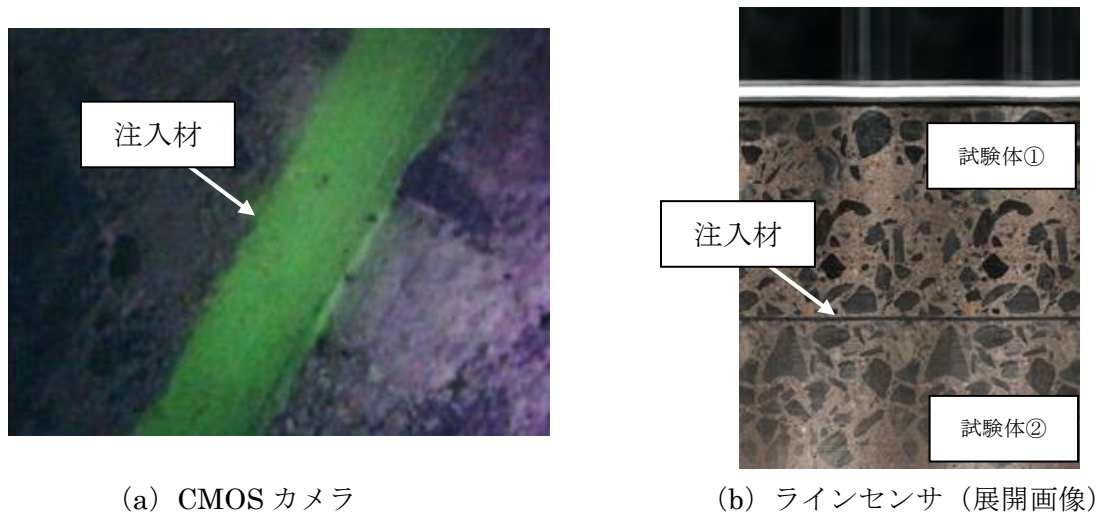
写真－1.6.16～写真－1.6.18 は、それぞれ左側の写真が紫外線 LED 光源を内蔵した CMOS カメラによる撮影写真および右側の写真がラインセンサでスキャンした展開画像である。紫外線 LED 内蔵した CMOS カメラにより、左側の写真のように蛍光材が発光して、注入材の位置が容易に特定できた。続いて、CMOS カメラで特定された注入材の位置を、ラインセンサによりスキャンして右側の写真のような展開画像を用いることにより、より詳細な充填状況の確認が可能であることが分かった。



写真－1.6.16 ひび割れ幅 0.3mm の結果



写真－1.6.17 ひび割れ幅 0.95mm の結果



(a) CMOS カメラ

(b) ラインセンサ（展開画像）

写真－1.6.18 ひび割れ幅 1.75mm の結果

4) 蛍光材を添加した注入材の諸特性の把握

①使用材料

使用材料を以下に示す。

イ．ひび割れ注入材

ひび割れ注入材は、一般に使用されている樹脂系注入材とポリマーセメント系注入材の 2 種類について、それぞれ 2 製品を無作為に選び検討した。

- ・樹脂系注入材：A 社製、B 社製
- ・ポリマーセメント系注入材：C 社製、D 社製

ロ．蛍光材

蛍光材は、樹脂系注入材とポリマーセメント系注入材で異なるものを使用した。

- ・樹脂系用蛍光材：液体タイプ
- ・ポリマーセメント系用蛍光材：紛体タイプ

ハ．蛍光材の添加率

蛍光材の添加率は、以下の通りである。

- ・樹脂系用蛍光材
蛍光材の添加率は主剤に対して質量比で 0%、1.5% の 2 ケースとした。
- ・ポリマーセメント系蛍光材の添加率は、紛体質量に対して 0%、1.0% の 2 ケースとした。

②実験結果

イ．樹脂系注入材

樹脂系注入材の試験結果の一覧を表－1.6.9 および表－1.6.10 に示す。全ての試験について規格値を満足する結果となった。なお、規格値は構造物施工管理要領（日本高速道路㈱）の値を使用した。

表－1.6.9 試験結果一覧（A 社製）

蛍光材添加率	試験項目	単位	規格値	試験値
0%	粘度 ($\times 10^{-3}$)	Pa・s	1,000 以下	669
	可使時間	分	30 以上	73
	収縮率	%	3.0 以下	1.8
	モルタル付着強さ (乾燥面)	N/mm ²	6.0 以上	12.49
	モルタル付着強さ (湿潤面)	N/mm ²	3.0 以上	6.22
	付着力耐久性保持率	%	60 以上	—
1.5%	粘度 ($\times 10^{-3}$)	Pa・s	1,000 以下	656
	可使時間	分	30 以上	81
	収縮率	%	3.0 以下	1.8
	モルタル付着強さ (乾燥面)	N/mm ²	6.0 以上	10.33
	モルタル付着強さ (湿潤面)	N/mm ²	3.0 以上	7.35
	付着力耐久性保持率	%	60 以上	—

表－1.6.10 試験結果一覧（B 社製）

蛍光材添加率	試験項目	単位	規格値	試験値
0%	粘度 ($\times 10^{-3}$)	Pa・s	1,000 以下	739
	可使時間	分	30 以上	80
	収縮率	%	3.0 以下	1.6
	モルタル付着強さ (乾燥面)	N/mm ²	6.0 以上	8.3
	モルタル付着強さ (湿潤面)	N/mm ²	3.0 以上	7.2
	付着力耐久性保持率	%	60 以上	97.6
1.5%	粘度 ($\times 10^{-3}$)	Pa・s	1,000 以下	695
	可使時間	分	30 以上	79
	収縮率	%	3.0 以下	1.8
	モルタル付着強さ (乾燥面)	N/mm ²	6.0 以上	8.2
	モルタル付着強さ (湿潤面)	N/mm ²	3.0 以上	7.5
	付着力耐久性保持率	%	60 以上	106.1

ロ. ポリマーセメント系注入材

ポリマーセメント系注入材の試験結果の一覧を表－1.6.11 および表－1.6.12 に示す。全ての試験について規格値を満足する結果となった。

表－1.6.11 試験結果一覧（C 社製）

蛍光剤添加率	試験項目		単位	規格値	試験値
0%	流下時間	直後	秒	—	13.9
		60 分後		45 以内	15.8
	保水係数		%	0.30～0.65	48.5
	膨張収縮率		%	3.0 以下	1.78
	曲げ強度		N/mm ²	4.0 以上	5.22
	圧縮強度		N/mm ²	—	26.3
	接着強度		N/mm ²	4.0 以上	4.34
	吸水率		%	15 以下	5.4
1.0%	流下時間	直後	秒	—	14.0
		60 分後		45 以内	15.9
	保水係数		%	0.30～0.65	57.4
	膨張収縮率		%	3.0 以下	2.27
	曲げ強度		N/mm ²	4.0 以上	6.65
	圧縮強度		N/mm ²	—	25.6
	接着強度		N/mm ²	4.0 以上	4.89
	吸水率		%	15 以下	7.0

表－1.6.12 試験結果一覧表（D 社製）

蛍光剤添加率	試験項目		単位	規格値	試験値
0%	流下時間	直後	秒	—	11.8
		60 分後		45 以内	12.5
	保水係数		%	0.30～0.65	0.46
	膨張収縮率		%	3.0 以下	0.43
	曲げ強度		N/mm ²	4.0 以上	5.3
	圧縮強度		N/mm ²	—	25.7
	接着強度		N/mm ²	4.0 以上	4.7
	吸水率		%	15 以下	8.8
1.0%	流下時間	直後	秒	—	11.9
		60 分後		45 以内	13.3
	保水係数		%	0.30～0.65	0.43
	膨張収縮率		%	3.0 以下	0.58
	曲げ強度		N/mm ²	4.0 以上	6.4
	圧縮強度		N/mm ²	—	28.3
	接着強度		N/mm ²	4.0 以上	4.4
	吸水率		%	15 以下	9.0

1. 7 実証試験（現場適用）の概要、結果、課題等

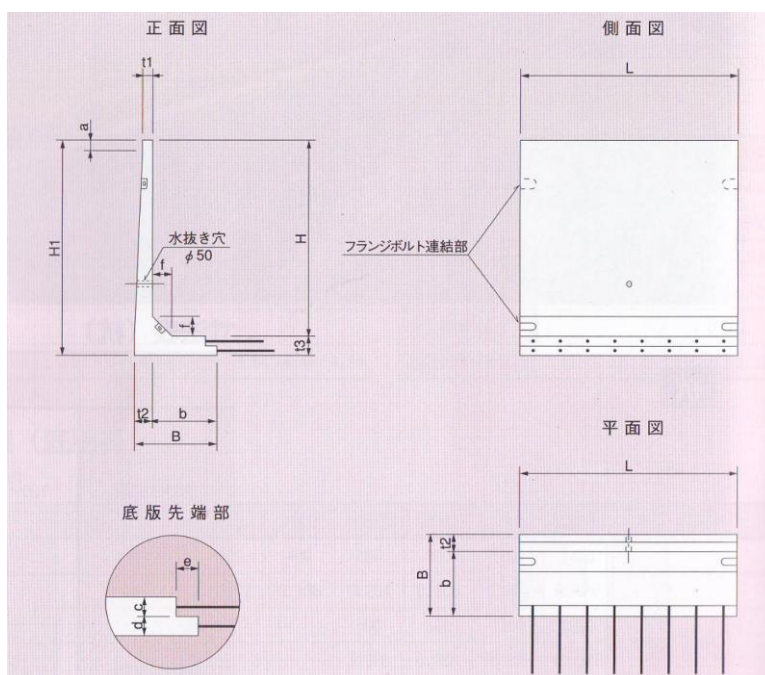
1) コンクリート表面ひび割れのモニタリング装置の開発

農業水路で採用される写真－1.7.1および図－1.7.1に示す二次製品を用いて電食により鉄筋を腐食させ、開発したモニタリング装置によりひび割れの発生状況を確認することにより、実構造物においても鉄筋の腐食によるひび割れ位置が予測できるかを検証した。

鉄筋腐食が進行していると判断されれば（図－1.6.7～図－1.6.9の黄色、赤色の場合）、腐食原因を特定する調査を行い、その後腐食の進行を止める対策、例えば表面被覆工法、脱塩工法、電気防食工法などの補修を行うことができる。すなわち、劣化の程度が低い段階から進行を止める予防保全的な対応が可能となり、維持管理コストの縮減、構造物の延命化に繋がるものと考えられる。



写真－1.7.1 実証実験に用いた農業水路用製品

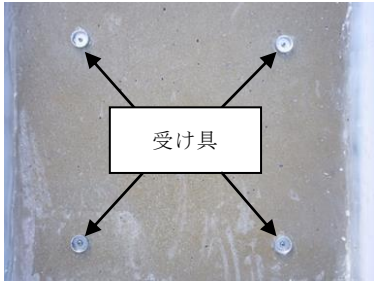


図－1.7.1 実証実験に用いた農業水路用製品

①モニタリング装置での計測手順

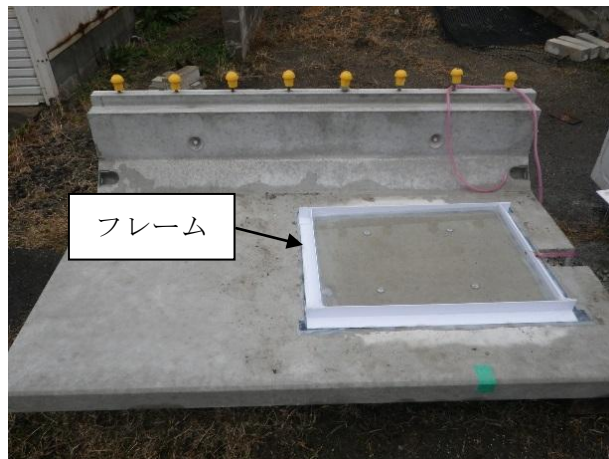
表－1.7.1 にモニタリング装置での計測手順を示す。

表－1.7.1 モニタリング装置での計測手順

項目	内容	写真	作業時間
受け具のセット	・モニタリング装置をセットするための受け具を取付ける。 ・基本的に一回目の計測のみ実施		約 10 分
表面処理	・コンクリート表面の状況によって必要。 ・基本的に一回目の計測のみ実施		約 30 分
モニタリング装置の設置	モニタリング装置を設置し、角度等の微調整を行う。		約 10 分
撮影	スキャニングをする。		約 5 分
モニタリング装置の取外し	モニタリング装置を固定用治具から取り外す。		約 2 分
合計			約 57 分

②実験概要

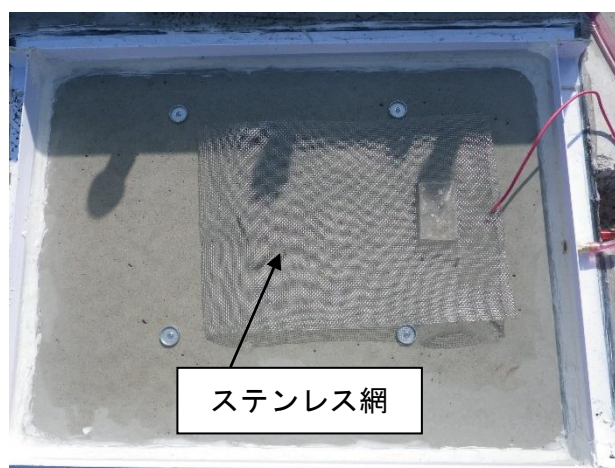
写真－1.7.2のようにNaCl溶液を試験体に浸透させるために、L型水路側壁部にフレームを取り付け、NaCl溶液を湛水できるようにした。フレームの寸法は600×800×50(W×L×H)である。フレームの設置方法は、プラスチック製のL型アングルを両面テープによって貼付け、試験体に固定した。容器の底面に粘着テープを貼付け、試験体に固定した。また漏れないようにするために、シリコンシーリング材をL型の内側および外側に塗布した。



写真－1.7.2 フレームの設置状況

電食実験方法としては、フレーム内に湛水した3%塩化ナトリウム水溶液を側壁面から浸透させ鉄筋と試験体表面に設置したステンレス網を直流安定化電源に接続し、通電を行った(写真－1.7.3)。今回の実験では、鉄筋の本数等を考慮して、設定電流は直流安定電源の最大電流である1.5Aに設定した。

実験方法としては、通電前に初期画像を取得し、実験開始から一日一回に計測を行い、腐食モニタリングを行った。



写真－1.7.3 電食状況

③実験結果

電食実験において、実験開始から経過時間毎の計測面の主ひずみのコンター図を図-1.7.2に示す。コンター図は、コンクリート表面の主ひずみ分布を示しており、鉄筋かぶりの浅い鉄筋（水平方向鉄筋）を基準とし、縦軸を鉄筋長手方向としている。凡例においてプラスは引張ひずみであり、マイナスは圧縮ひずみを示す。また、引張ひずみの上限値を $1,800\mu$ 、圧縮ひずみの上限値を 200μ と設定した。また図中の黒色の実線はひび割れ位置を示す。

図より、118 時間後からノイズが発生している。これは、アルミ製の装置固定金具を取り付けたままで通電を行ったため、時間とともにアルミが溶け出し金具の設置が不十分になってしまい、そのためモニタリング装置の固定が十分にできないためにノイズが発生したためと考えられる。

ひずみ集中領域の進展では設定電流が高いため、71 時間後から黄色の引張ひずみが発生するとともに、その後下方にひずみ領域が進展していき、ひび割れがひずみの集中領域に発生している。

以上により、実構造物においても室内での試験体実験の結果と同様な傾向を確認できた。

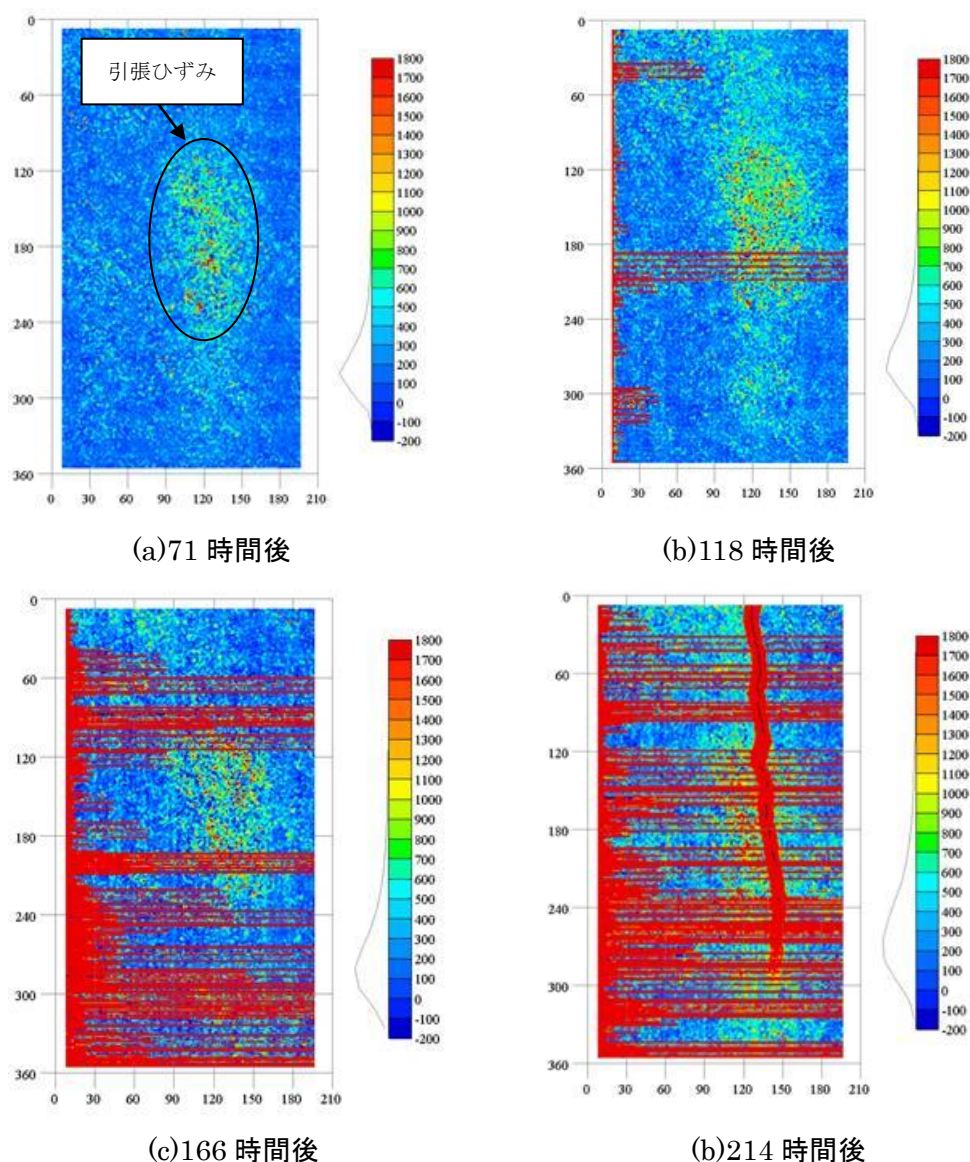


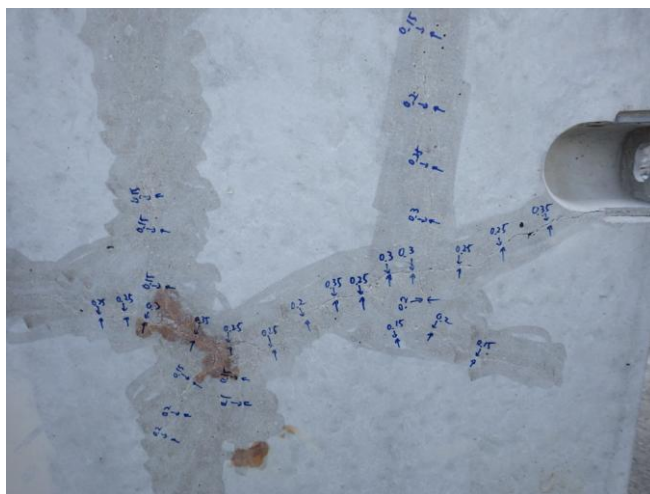
図-1.7.2 コンター図

2) ひび割れ注入管理システムの開発

実構造物に発生したひび割れに、開発したひび割れ注入管理システムを適用し検証を行った。試験体は、写真－1.7.4 に示す農業水路用製品で、鉄筋の腐食により写真－1.7.5 に示すように幅 0.15mm～0.35mm のひび割れが発生していた。



写真－1.7.4 農業水路二次製品



写真－1.7.5 ひび割れ発生状況

①実験概要

まず写真－1.7.6 のようにエポキシ系に注入材でひび割れ注入を実施した。注入材が硬化したのを確認後、写真－1.7.7 のように検査用の孔を削孔した。削孔後、写真－1.7.8 のように開発した紫外線ライト型計測装置で注入状況の確認を行った。



写真－1.7.6 ひび割れ注入工



写真－1.7.7 削孔風景



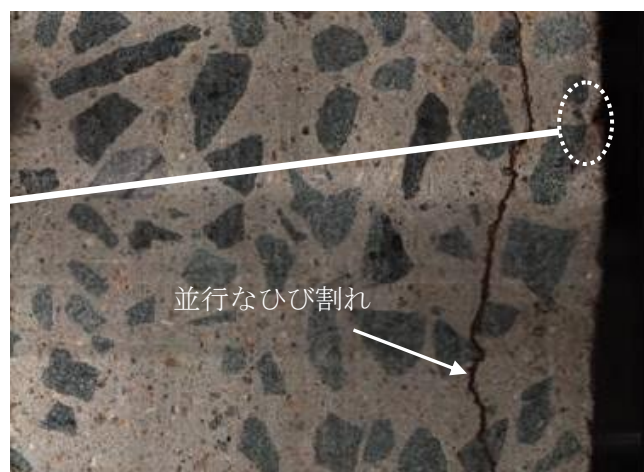
写真－1.7.8 注入状況の確認風景

②実験結果

写真－1.7.9 および写真－1.7.10 に充填状況の確認結果を示す。紫外線ライト型計測装置によってエポキシ樹脂の注入状況を確認した結果、注入材は表面から数 mm の深さまで充填されていることが確認された（写真－1.7.10 の白丸の箇所）。しかし、二次製品表面と垂直に発生したひび割れは、表面と平行に発生しているひび割れと繋がっておらず、注入材が平行なひび割れまで充填されていないこともスキャニング画像から確認できた。今回の実験により、実構造物で本システムが十分適用できることが明らかとなった。



写真－1.7.9 紫外線ライトによる注入状況の確認

写真－1.7.10 スキャニング画像による注入状況の確認
(白丸内が充填箇所)

＊注入工法に関する品質管理については、発注機関により定められた基準に沿って行うことが基本であるが、注入工法に関しては、品質管理基準が設けられていないことが多い。削孔間隔などの設定は、工程等に支障が生じない範囲で、構造物毎に設定することが基本となる²⁾。

2. 事業の成果

2. 1 成果の内容

1) コンクリート表面ひび割れのモニタリング装置の開発

①新しいモニタリング装置を開発した。

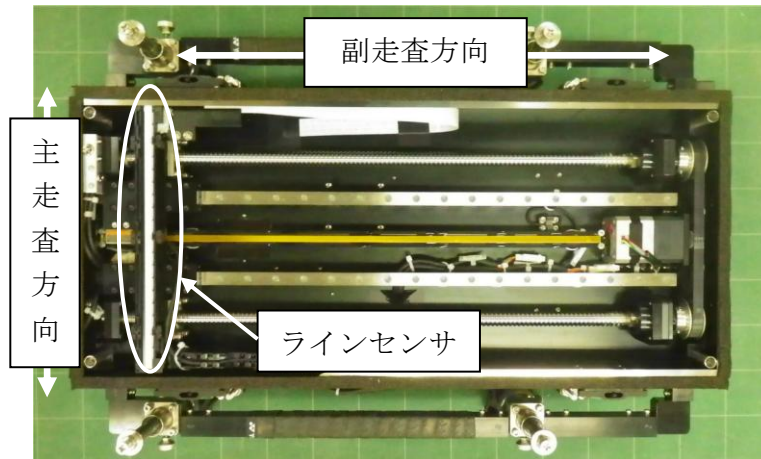


写真-2.1.1 開発したモニタリング装置

②開発したモニタリング装置は、コンクリート表面の高精細な画像情報を入手できることを確認した。

③さらに、これまでは不可能であった、鉄筋の腐食に伴うコンクリート表面のひずみ変化をとらえることが可能であり、今回の実験の範囲では、コンクリート表面にひび割れが発生する前に、ひび割れの発生位置を予測できることが分かった。ひび割れの発生時期やひび割れ発生の原因の推定に関しては、モニタリング装置で対応は可能であると考えられるが、さらに詳細な検討が必要である。

④実構造物の実証試験により、開発したモニタリング装置は、実構造物でもコンクリート表面の高精細な情報を入手できることを検証した。

2) ひび割れ注入管理システムの開発

①新しい注入管理システム（紫外線ライト型計測装置）を開発した。



写真-2.1.2 開発した注入管理装置

②紫外線ライト型計測装置は深さ 350mm までのひび割れの注入状況を観察でき、構造物のかぶりコンクリート部の注入状況を精度よく観察できる。

③蛍光材を添加した注入材の物性試験を行い、蛍光材を添加してもひび割れ注入材の品質に問題がないことを確認した。

④実構造物でも、開発した注入管理システムで注入材の注入状況が、直接目視で確認できることを検証した。

2. 2 目標の達成度

(1) 成果から得られる効果

1) コンクリート表面ひび割れのモニタリング装置の開発

①補修工事の完了後、鉄筋腐食等によるひび割れが発生する前に再劣化（ひび割れ発生）を事前に予測することにより、構造物の計画的な補修計画が可能になる。

②微細なひび割れの変化を確認できることから、より早い段階でひび割れの原因の推定などが可能になる。

2) ひび割れ注入管理システム

①これまで困難であった、ひび割れ注入材の充填状況が、容易に直接目視で観察できるため、効率的かつ現実的な品質管理が可能となり、構造物の延命化に役立つことが期待される。すなわち、注入状態を直接目視確認できることにより、構造物毎のひび割れに適した注入材の種類、注入圧等が検討でき、効率的かつ現実的な品質管理が可能になる。

(2) 従来技術との比較

1) 比較する従来技術

①コンクリート表面ひび割れのモニタリング装置の開発

クラックスケールによるひび割れ幅の測定

②ひび割れ注入管理システムの開発

コア抜きによる目視

2) 従来技術に対する優位性

①コンクリート表面ひび割れモニタリング装置の開発

- ・経済性：撮影された高精細な画像データをもとにひび割れ幅を求めるため、クラックスケールにより人力でひび割れ幅を計測するより、コストダウンが図れる。

- ・工程：同等

- ・品質：高精細な画像データをもとにひび割れ幅を求めるため、高品質が期待できる。

- ・安全性：同等

- ・施工性：現場での作業は、コンクリート表面をモニタリング装置で撮影するだけなので、クラックスケールを用いた人力による計測よりも施工性に優れる。

- ・周辺環境への影響：同等

②ひび割れ注入管理システムの開発

- ・経済性：同等

- ・工程：同等

- ・品質：蛍光材を添加した注入材と開発した紫外線ライト型計測装置を用いるため、従来技術に比べ、微細なひび割れへの注入材の充填状況まで直接目視で確認できる。

- ・安全性：同等

- ・施工性：従来工法より用いる装置類が小型なため、作業性に優れる。
- ・周辺環境への影響：同等

2. 3 成果の利用に当たっての適用範囲・留意点

1) コンクリート表面ひび割れのモニタリング装置の開発

- ・モニタリング装置は、装置がセット・撮影できる条件であれば、RC 造の全ての水利施設（新設および既設ともに）で計測が可能である。
- ・最大読み取りサイズは 375mm×210mm、読み取り解像度は 1,200dpi×1,200dpi であり、幅 0.0212mm 以上のひび割れが確認できる。
- ・ひずみの計測では、初期値が必要である（例えば、建設直後あるいは補修工事直後の画像データ）。
- ・撮影できる範囲が 375mm×210mm であるため、計測位置は構造物の環境条件等を考慮してポイントを絞って計測する。
- ・汚れ等により画像データにノイズがでる可能性があるので、撮影位置の選定では留意する必要がある。
- ・装置が防水仕様でないため、雨天時は調査ができない。
- ・モニタリング装置の計測位置・計測頻度等は構造物毎に検討する必要があるため、計測に当たっては、経験が豊富なコンクリート診断士等の資格者が実施することが望まれる。

2) ひび割れ注入管理システム

- ・計測のための削孔の直径は 25mm、計測可能深さは 350mm である。
- ・ひび割れ注入管理システムは、構造物のかぶりコンクリートの注入状況を確認することを対象とする。
- ・紫外線ライト型計測装置用の削孔の間隔および深さなどは構造物毎に異なるため、使用に当たっては、経験が豊富なコンクリート診断士等の資格者が実施することが望まれる。
- ・どこまでの深さの注入状況を確認するかは、現場毎の協議事項となる。
- ・装置が防水使用でないため、雨天時は使用できない。

3. 普及活動計画

3. 1 想定される利用者

1) コンクリート表面ひび割れのモニタリング装置の開発

- ・構造物の管理者
- ・コンサルタント 等

2) ひび割れ注入管理システム

- ・施工会社

3. 2 利用者への普及啓発等の方法

開発に関連した組織毎で表－3.2.1 に示す普及啓発を行う。

表－3.2.1 普及啓発方法

組織名	組織概要	普及啓発方法
西松建設(株)	・ 施工会社 ・ 全国展開	・ 全国の支社への普及啓発活動の実施 ・ 技術紹介ツールの作成 ・ インターネットでの普及活動 ・ 展示会での展示 ・ 見学会の実施 ・ プレス発表の実施
(株)計測リサーチ	・ 調査会社	・ 関連工事での提案 ・ 技術紹介ツールの作成 ・ インターネットでの普及活動 ・ 展示会での展示 ・ 見学会の実施
佐賀大学	・ 教育・研究	・ 各種講演会での技術紹介 ・ インターネットでの普及活動
長崎大学	・ 教育・研究 ・ インフラ長寿命化センター	・ インフラ長寿命化センターでの普及活動 ・ 各種講演会での技術紹介 ・ インターネットでの普及活動
東海大学	・ 教育・研究	・ 各種講演会での技術紹介 ・ インターネットでの普及活動

3. 3 利用者に対するサポート体制、参考資料等

サポート体制：

①腐食モニタリング装置：技術者の派遣（装置の貸し出しの予定はない）

②ひび割れ注入管理システム：技術者の派遣（装置の貸し出しの予定はない）

参考資料：作成予定

3. 4 特許・実用新案等の申請予定

①コンクリート表面ひび割れのモニタリング装置：特願 2010－136874

②ひび割れ注入管理システム：特願 2010－048638

4. 研究総括者による自己評価

項 目	自己評価	自己評価の理由
研究計画の効率性・妥当性	A	必要最小限のメンバーで、2つの新しい装置を開発できた。
目標の達成度	A	目標をほぼ達成できた。今後は、実構造物での実績を増やし、信頼性を高める必要がある。
研究成果の普及可能性	B	ひび割れ注入管理システムは、ニーズもあり、普及の可能性は高いものと言える。コンクリート表面のモニタリング装置に関しては、これまでにない最新の技術であるため、普及するためには、実績を重ねる必要があるものと考えられる。
総合コメント 必要最小限のメンバーで、2つの新技術を現場で適用できるまでのレベルまで完成させたことは、十分に評価できるものと考えている。今後も開発した技術の普及を図りながら、現場でのデータ蓄積を進めて行きたいと考えている。		

注) 評価結果欄は、A、B、Cのうち「A」を最高点、「C」を最低点として3段階で記入する。

5. 今後の課題及び改善方針

5. 1 コンクリート表面ひび割れのモニタリング装置の開発

1) 実構造物でのデータの蓄積：

試験レベルでデータがとれても、現場では環境条件が異なるため、想定通りのデータ入手できないことがある。例えば、構造物の供用期間が長くなると、水路構造物においては流水によるすり減りの問題や、また藻や苔などの発生により計測対象面の状態が初期状態から大幅に変化する可能性がある。現在、本研究期間内での提案としては、ひずみ計測を定期的に行い計測区間内のひずみ増加分を求め、過去のひずみと累加することによって計測開始からのひずみを求めることとしている。すなわち、画像解析に用いる初期画像を計測毎に更新する方法であるため、経年による表面状態の大幅な変化による影響を受けにくいものといえる。しかし、計測間隔が長くなる場合や短期間で大幅な変化の可能性がある場所については、予めモニタリングポイントとして計測対象面の養生を継続して行うなどの対策および経年変化の少ない表面の事前処理方法を検討することが必要となってくる。経年変化の少ない事前処理方法としては、安定性が高く汚れが付着しても水洗によって清掃しやすい粗骨材を研磨によって露出させる方法が考えられる。今後、RC 造水利施設の種類、設置位置、環境条件に応じてどのような表面状態の変化が起こり得るかの種々データの蓄積を行い、条件に応じた計測対象面の保全方法を整理していくことも重要である。

2) アセットマネジメントへの活用：

これまでに蓄積された膨大な農業水利施設の維持管理を合理的、経済的に行っていくためには、アセットマネジメント等の新たな維持管理手法の導入が必要となってくる。本モニタリング装置は、アセットマネジメントに応用できる可能性のある最新の技術である。ひび割れモニタリングを必要とする施設およびその優先順位を付与する作業は、施設の管理者が管理する施設数、予算規模、施設の重要度および鉄筋が腐食環境にあるかどうかといった環境条件等を鑑み決定することが効率的である。なお、本手法は長期間のモニタリングとなるため、トータルの計測コストも加味して考えなければならない。さらに、今後の構造物の維持管理では予防保全型の管理が推奨されており、劣化を早期発見し補修を行い構造物の延命化、LCC 縮減を図らなければならない。このような観点も踏まえた長期的な維持管理計画に基づき本装置によるモニタリング対象施設を選定していくことが望まれる。

一方、本装置をアセットマネジメントに活用するには、ひび割れ発生時期の予測手法の確立といった課題や装置の防水性や現場でパソコンと接続しながら操作しなければならないといった操作性の問題も現状では残されており更なる改良が必要である。

5. 2 ひび割れ注入管理システムの開発

1) 実構造物でのデータの蓄積：

試験レベルでデータがとれても、現場では環境条件が異なるため、想定通りのデータ入手できないことがある。今後は、現場での実績を積んで、改良・対応を行う必要があるものと考えられる。

2) CMOS カメラとラインセンサとの一体化：

開発した紫外線ライト型計測装置は、注入材の位置を確認するための CMOS カメラと、充填状況をより詳細に確認するためのラインセンサで構成されているが、ラインセンサに注入材の位置を確認できる機能を付加できれば、より作業性が向上する。

3) 調査・対策・管理を含めた注入管理システムの確立：

今回開発したひび割れ注入管理システムは、注入材の充填状況を確認するためのものである。しかし、調査・対策・管理を含めた注入管理システムにバージョンアップ出来れば、より適用性が向上するものと考えられる。すなわち、注入材を注入する前に事前調査として、紫外線ライト型計測装置によりコンクリート内部のひび割れ幅・深さの測定を行い、注入材の選定および注入量を概算し施工計画を立て、次に注入完了・硬化後には、所定の位置まで削孔し注入材が充填されているか検査し施工管理を行う。もし、注入材が充填されていない箇所があった場合、削孔した孔を利用して再注入するような調査から管理までの注入管理システムにバージョンアップすることが必要である。

【参考文献】

- 1) コンクリート標準示方書[維持管理編]：土木学会、pp.166－180、2013 年
- 2) 橋梁コンクリート部材の点検・補修設計・施工の手引き（案）：コンクリート構造物維持管理技術研究会、p.151、2012 年、

以上