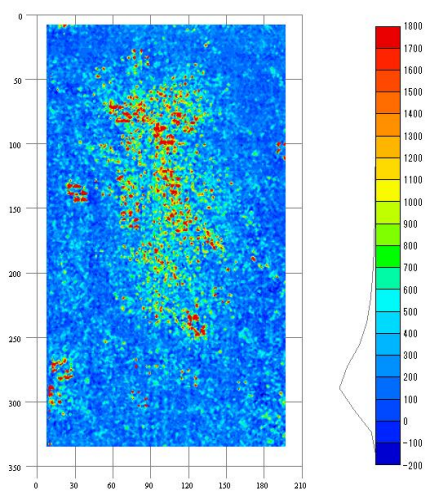
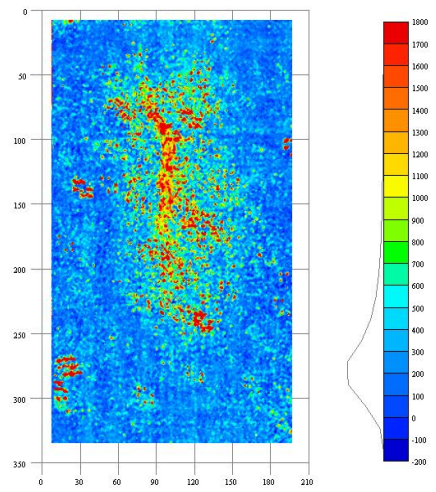
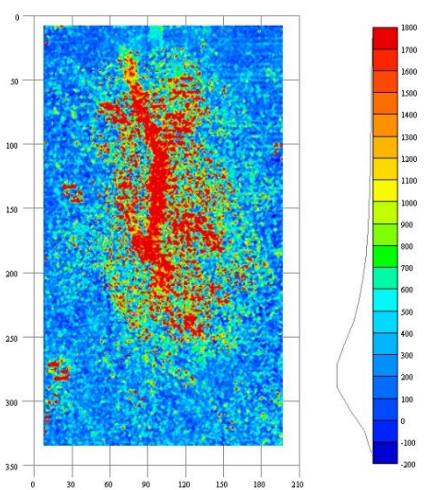




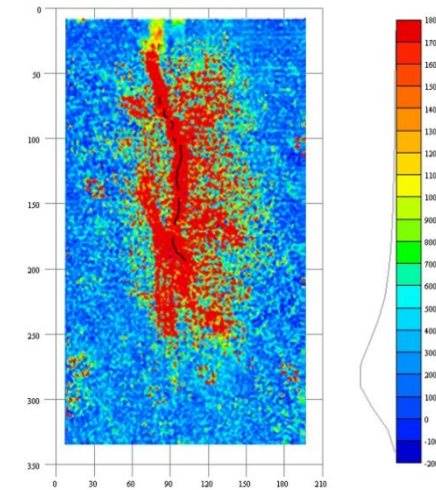
(a) 381 時間後



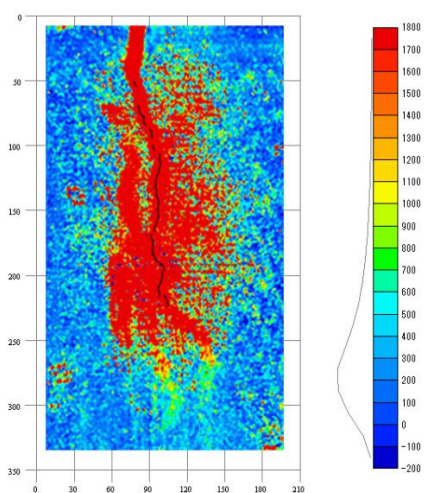
(b) 402 時間後



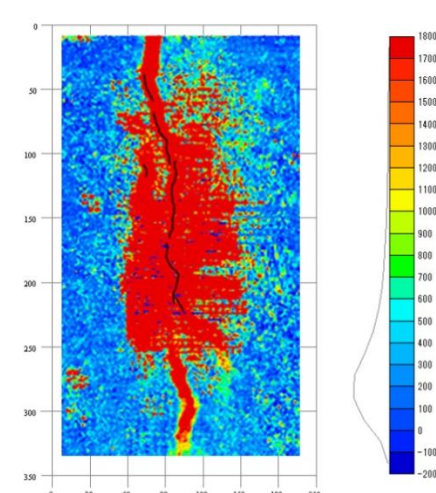
(c) 426 時間後



(d) 474 時間後

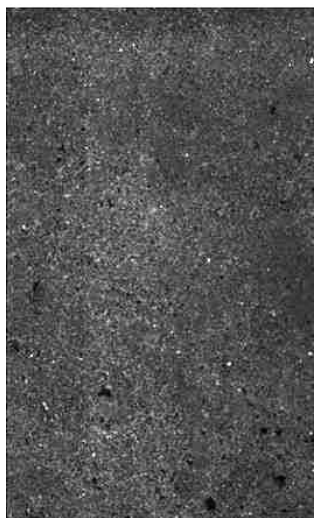


(e) 497 時間後

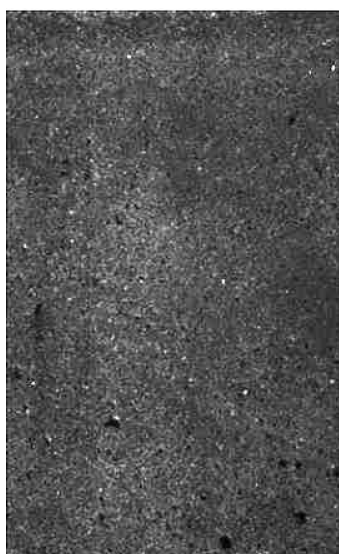


(f) 526 時間後

図-1.6.9 かぶり 60mm のコンター図

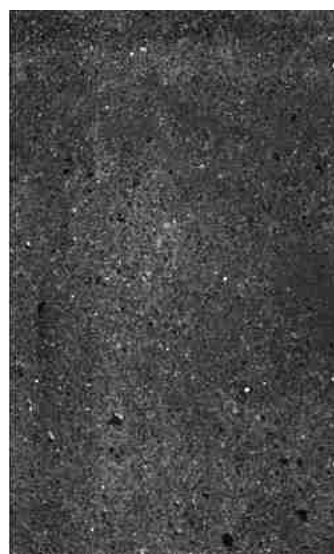


(a)初期画像



(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。



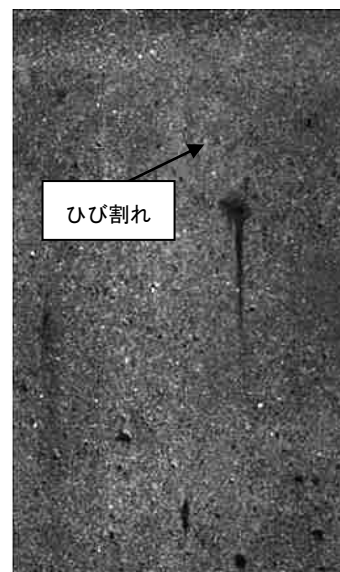
(c)138 時間後

－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<br>削孔穴に CIS センサを挿入し、CIS センサを回転させる<br>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)<br>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<br>光源波長 RED:630nm GREEN:520nm BLUE:465nm               |                 |
| 対応 OS     | WindowsXP(Professional)/WindowsVista<br>/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)<br>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。



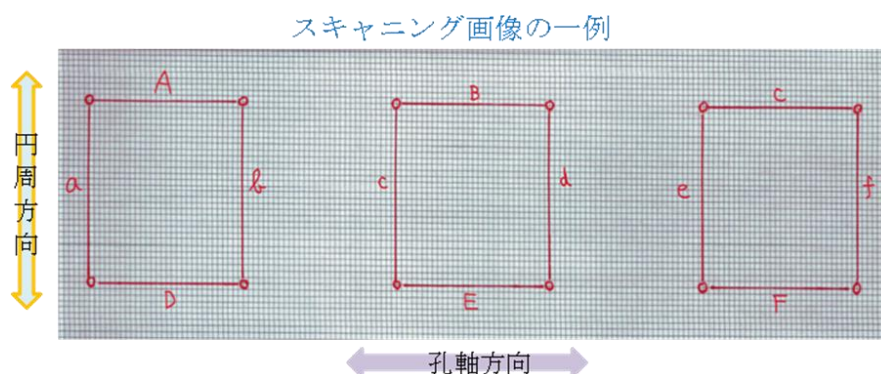
写真－1.6.13 方眼紙を添付した硬質塩化ビニルパイプ



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

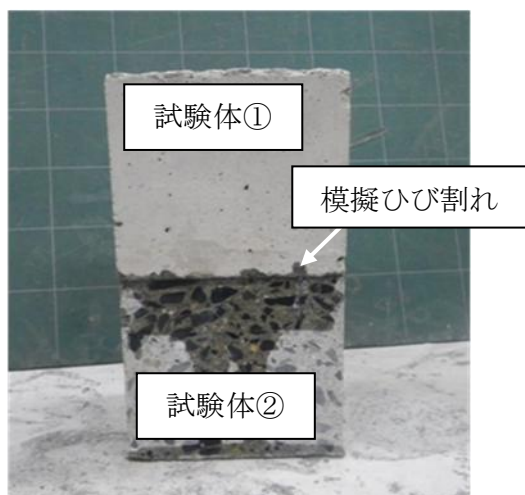
|      | 平均値(mm) | 実測値(mm) | 誤差(mm) | 誤差(%) |
|------|---------|---------|--------|-------|
| 孔軸方向 | 29.17   | 30.00   | -0.83  | -2.85 |
| 円周方向 | 30.07   | 30.00   | 0.07   | 0.23  |

### 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

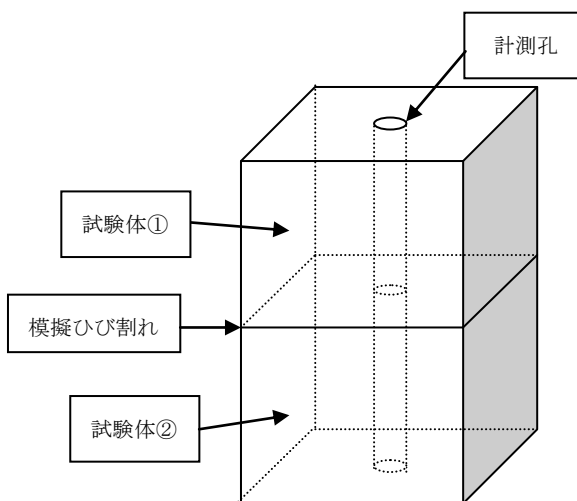
#### ①実験概要

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。

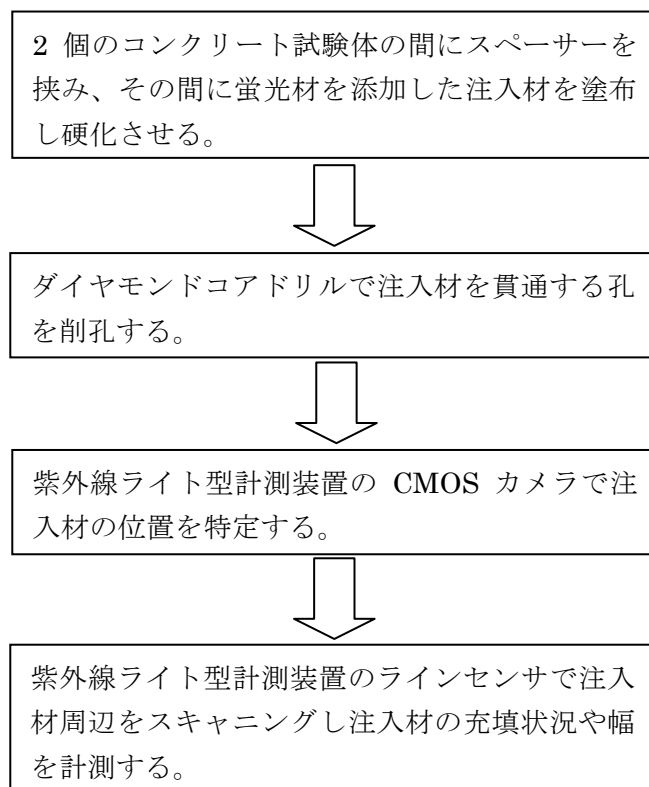
なお、実験フローを図－1.6.12 に示す。



写真－1.6.15 試験体



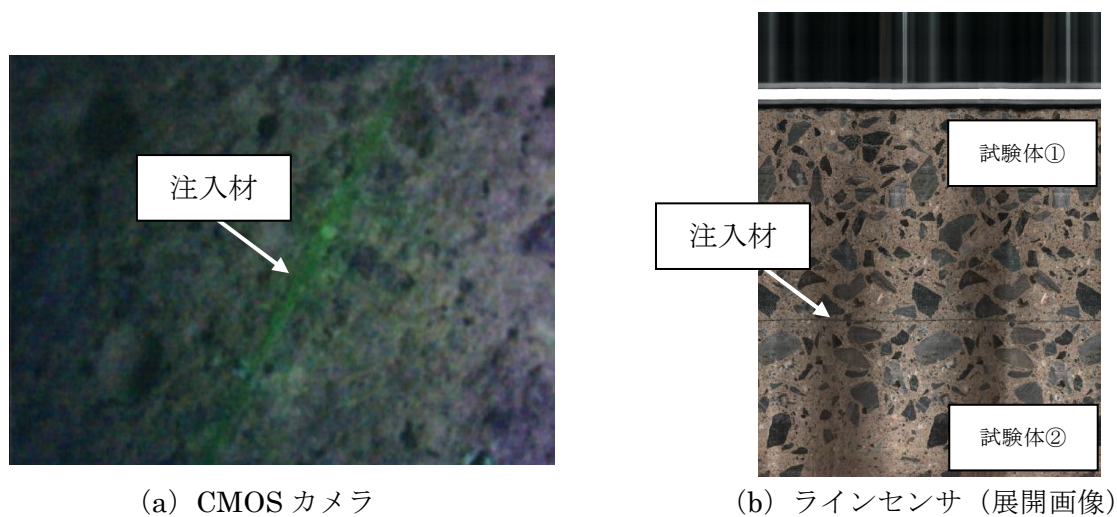
図－1.6.11 試験体



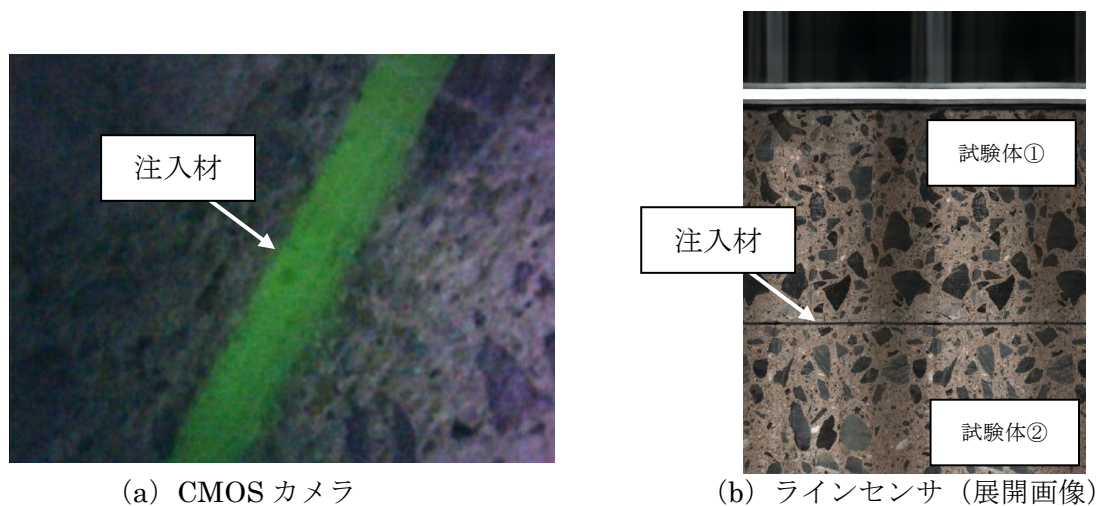
図－1.6.12 実験フロー

## ②実験結果

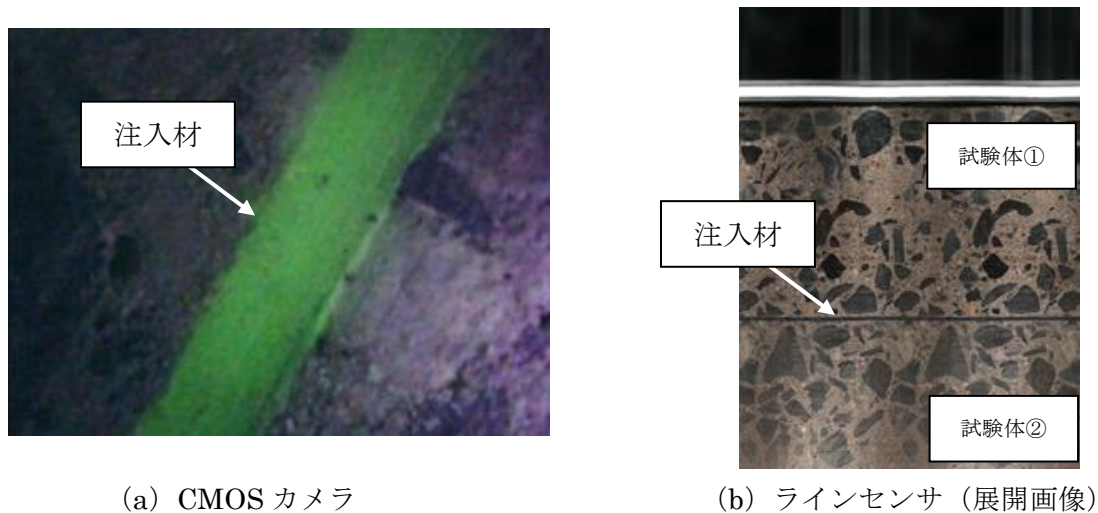
写真－1.6.16～写真－1.6.18 は、それぞれ左側の写真が紫外線 LED 光源を内蔵した CMOS カメラによる撮影写真および右側の写真がラインセンサでスキャンした展開画像である。紫外線 LED 内蔵した CMOS カメラにより、左側の写真のように蛍光材が発光して、注入材の位置が容易に特定できた。続いて、CMOS カメラで特定された注入材の位置を、ラインセンサによりスキャンして右側の写真のような展開画像を用いることにより、より詳細な充填状況の確認が可能であることが分かった。



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 | <b>669</b>   |
|        | 可使時間                    | 分                 | 30 以上    | <b>73</b>    |
|        | 収縮率                     | %                 | 3.0 以下   | <b>1.8</b>   |
|        | モルタル付着強さ<br>(乾燥面)       | N/mm <sup>2</sup> | 6.0 以上   | <b>12.49</b> |
|        | モルタル付着強さ<br>(湿潤面)       | N/mm <sup>2</sup> | 3.0 以上   | <b>6.22</b>  |
|        | 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 | <b>656</b>   |
|        | 可使時間                    | 分                 | 30 以上    | <b>81</b>    |
|        | 収縮率                     | %                 | 3.0 以下   | <b>1.8</b>   |
|        | モルタル付着強さ<br>(乾燥面)       | N/mm <sup>2</sup> | 6.0 以上   | <b>10.33</b> |
|        | モルタル付着強さ<br>(湿潤面)       | N/mm <sup>2</sup> | 3.0 以上   | <b>7.35</b>  |
|        | 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 | <b>739</b>   |
|        | 可使時間                    | 分                 | 30 以上    | <b>80</b>    |
|        | 収縮率                     | %                 | 3.0 以下   | <b>1.6</b>   |
|        | モルタル付着強さ<br>(乾燥面)       | N/mm <sup>2</sup> | 6.0 以上   | <b>8.3</b>   |
|        | モルタル付着強さ<br>(湿潤面)       | N/mm <sup>2</sup> | 3.0 以上   | <b>7.2</b>   |
|        | 付着力耐久性保持率               | %                 | 60 以上    | <b>97.6</b>  |
| 1.5%   | 粘度 ( $\times 10^{-3}$ ) | Pa・s              | 1,000 以下 | <b>695</b>   |
|        | 可使時間                    | 分                 | 30 以上    | <b>79</b>    |
|        | 収縮率                     | %                 | 3.0 以下   | <b>1.8</b>   |
|        | モルタル付着強さ<br>(乾燥面)       | N/mm <sup>2</sup> | 6.0 以上   | <b>8.2</b>   |
|        | モルタル付着強さ<br>(湿潤面)       | N/mm <sup>2</sup> | 3.0 以上   | <b>7.5</b>   |
|        | 付着力耐久性保持率               | %                 | 60 以上    | <b>106.1</b> |

## 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                 | —         | <b>13.9</b> |
|        |       | 60 分後 |                   | 45 以内     | <b>15.8</b> |
|        | 保水係数  |       | %                 | 0.30～0.65 | <b>48.5</b> |
|        | 膨張収縮率 |       | %                 | 3.0 以下    | <b>1.78</b> |
|        | 曲げ強度  |       | N/mm <sup>2</sup> | 4.0 以上    | <b>5.22</b> |
|        | 圧縮強度  |       | N/mm <sup>2</sup> | —         | <b>26.3</b> |
|        | 接着強度  |       | N/mm <sup>2</sup> | 4.0 以上    | <b>4.34</b> |
|        | 吸水率   |       | %                 | 15 以下     | <b>5.4</b>  |
| 1.0%   | 流下時間  | 直後    | 秒                 | —         | <b>14.0</b> |
|        |       | 60 分後 |                   | 45 以内     | <b>15.9</b> |
|        | 保水係数  |       | %                 | 0.30～0.65 | <b>57.4</b> |
|        | 膨張収縮率 |       | %                 | 3.0 以下    | <b>2.27</b> |
|        | 曲げ強度  |       | N/mm <sup>2</sup> | 4.0 以上    | <b>6.65</b> |
|        | 圧縮強度  |       | N/mm <sup>2</sup> | —         | <b>25.6</b> |
|        | 接着強度  |       | N/mm <sup>2</sup> | 4.0 以上    | <b>4.89</b> |
|        | 吸水率   |       | %                 | 15 以下     | <b>7.0</b>  |

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                 | —         | <b>11.8</b> |
|        |       | 60 分後 |                   | 45 以内     | <b>12.5</b> |
|        | 保水係数  |       | %                 | 0.30～0.65 | <b>0.46</b> |
|        | 膨張収縮率 |       | %                 | 3.0 以下    | <b>0.43</b> |
|        | 曲げ強度  |       | N/mm <sup>2</sup> | 4.0 以上    | <b>5.3</b>  |
|        | 圧縮強度  |       | N/mm <sup>2</sup> | —         | <b>25.7</b> |
|        | 接着強度  |       | N/mm <sup>2</sup> | 4.0 以上    | <b>4.7</b>  |
|        | 吸水率   |       | %                 | 15 以下     | <b>8.8</b>  |
| 1.0%   | 流下時間  | 直後    | 秒                 | —         | <b>11.9</b> |
|        |       | 60 分後 |                   | 45 以内     | <b>13.3</b> |
|        | 保水係数  |       | %                 | 0.30～0.65 | <b>0.43</b> |
|        | 膨張収縮率 |       | %                 | 3.0 以下    | <b>0.58</b> |
|        | 曲げ強度  |       | N/mm <sup>2</sup> | 4.0 以上    | <b>6.4</b>  |
|        | 圧縮強度  |       | N/mm <sup>2</sup> | —         | <b>28.3</b> |
|        | 接着強度  |       | N/mm <sup>2</sup> | 4.0 以上    | <b>4.4</b>  |
|        | 吸水率   |       | %                 | 15 以下     | <b>9.0</b>  |

## 1. 7 実証試験（現場適用）の概要、結果、課題等

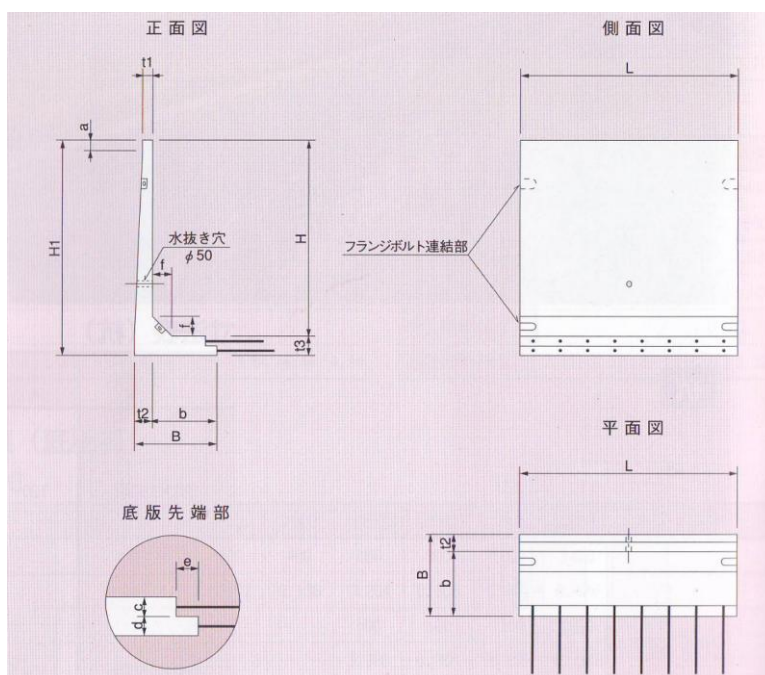
### 1) コンクリート表面ひび割れのモニタリング装置の開発

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

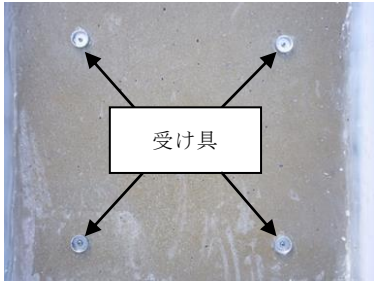


図－1.7.1 実証実験に用いた農業水路用製品

## ①モニタリング装置での計測手順

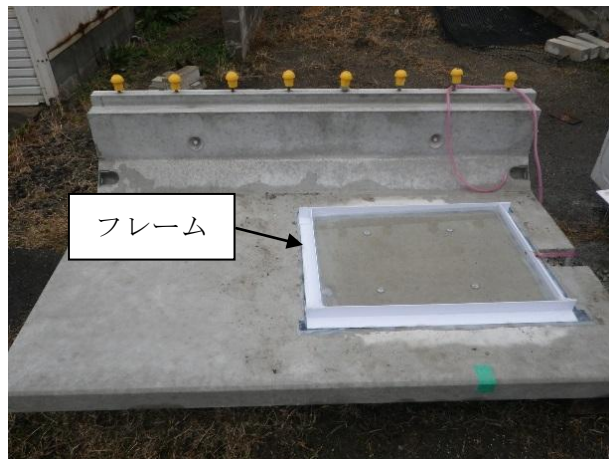
表－1.7.1 にモニタリング装置での計測手順を示す。

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      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・基本的に一回目の計測のみ実施</li> </ul> |    | 約 10 分 |
| 表面処理         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリート表面の状況によって必要。</li> <li>・基本的に一回目の計測のみ実施</li> </ul>         |   | 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

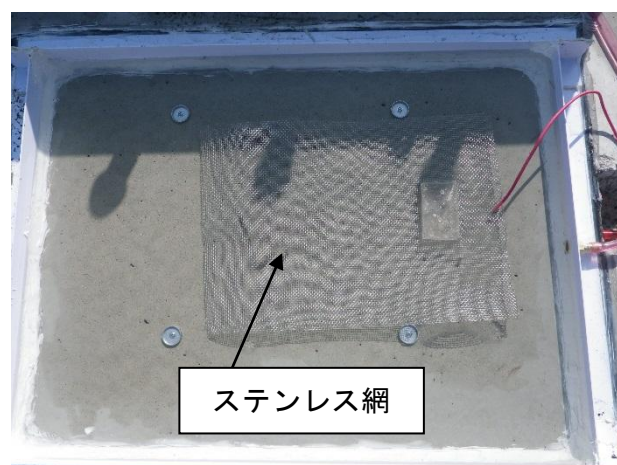
写真－1.7.2のようにNaCl溶液を試験体に浸透させるために、L型水路側壁部にフレームを取り付け、NaCl溶液を湛水できるようにした。フレームの寸法は600×800×50（W×L×H）である。フレームの設置方法は、プラスチック製のL型アングルを両面テープによって貼付け、試験体に固定した。容器の底面に粘着テープを貼付け、試験体に固定した。また漏れないようにするために、シリコンシーリング材をL型の内側および外側に塗布した。



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