

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。

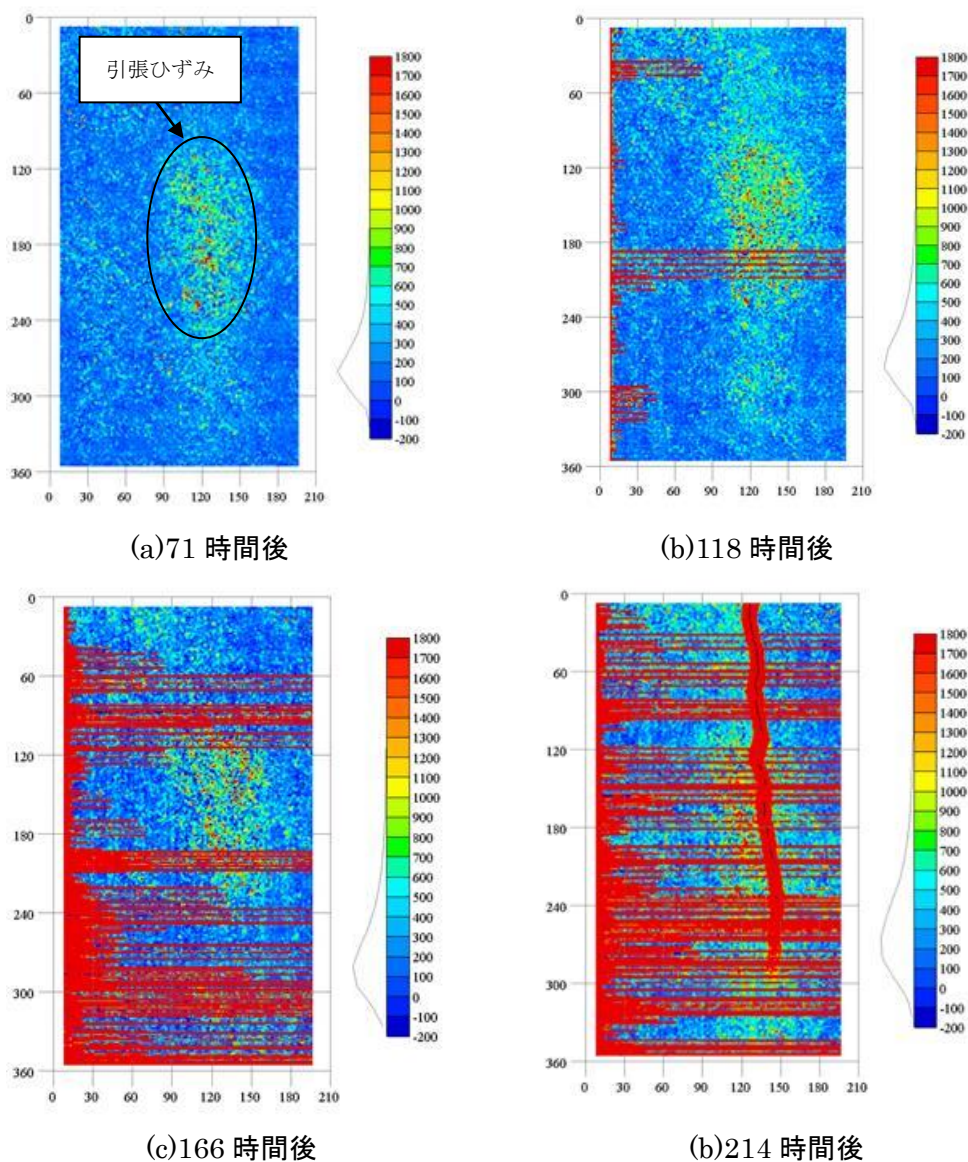


図-1.7.2 コンター図

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

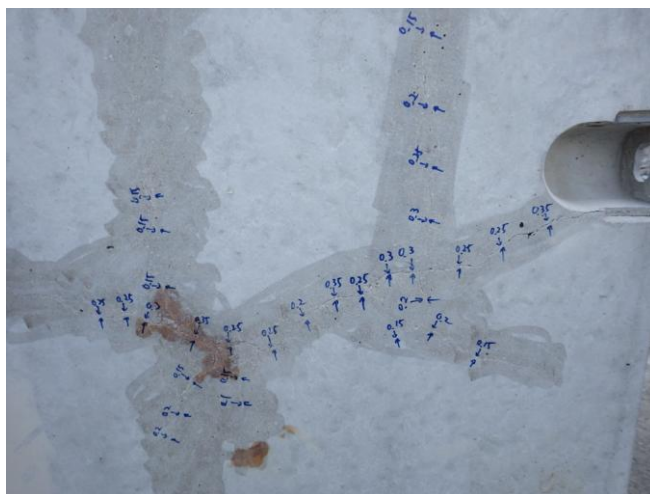


写真-1.7.5 ひび割れ発生状況

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。

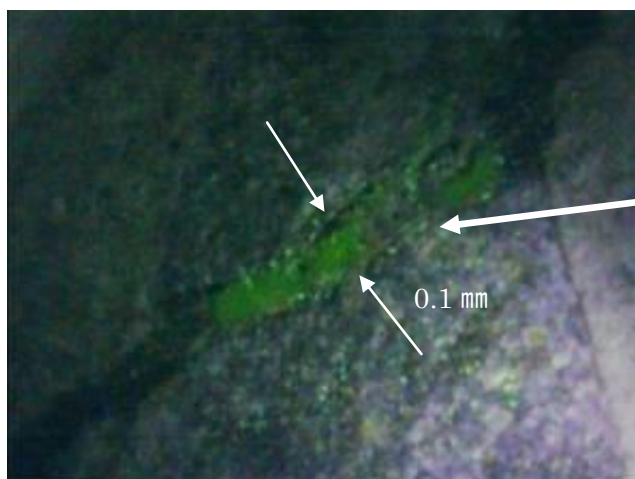
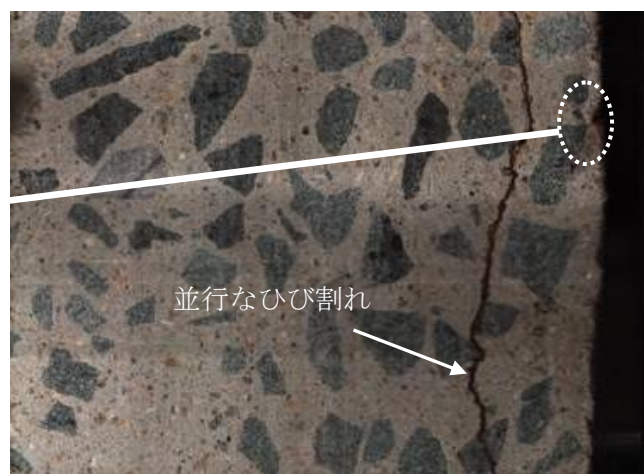


写真-1.7.9 紫外線ライトによる注入状況の確認

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。

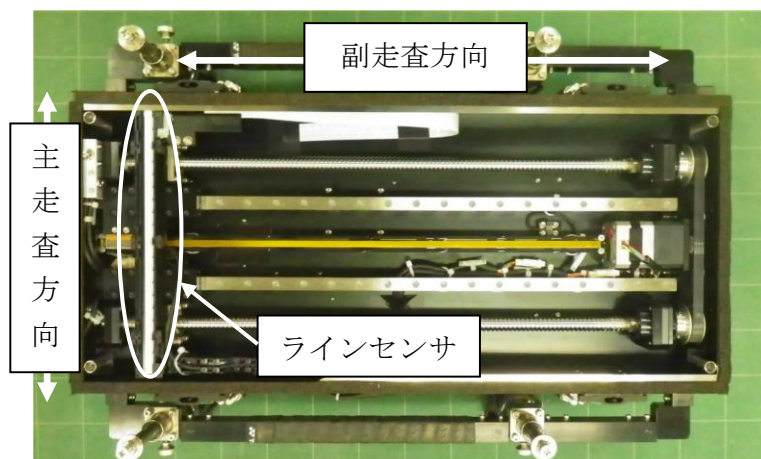


写真-2.1.1 開発したモニタリング装置

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ため、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)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施工会社 ・ 全国展開 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査会社 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 教育・研究 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 教育・研究 ・ インフラ長寿命化センター 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 教育・研究 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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