暗視野下におけるコンクリートのひび割れ検出への応力発光センサの適用

(独)港湾空港技術研究所　正会員　○川端　雄一郎　(独)産業技術総合研究所　徐　超男*
(独)産業技術総合研究所　小野　大輔　(独)港湾空港技術研究所　正会員　岩波　光保
(独)産業技術総合研究所　正会員　李　シンシュ　(独)産業技術総合研究所　上野　直広
(独)港湾空港技術研究所　正会員　加藤　絵万

1. 目的

コンクリートに発生するひび割れの面的情報を得るため様々な手法が提案されている．しかしながら，これらの手法では一定の光源や機器の安定性の確保等が必要となり，暗視野かつボート等からの点検が主である桟橋上部工下面への適用が困難な場合が多い．暗視野下において高精度にひび割れの面的情報を捉えるためのヘルスモニタリング技術の開発が必要である．本研究は近年注目されている応力発光センサ（MLS）に着目し，MLS によるコンクリートのひび割れの発生・進展をモニタリングする技術の開発を目的として，その基礎実験を行った．

2. 実験概要

2.1 応力発光センサ（MLS）の概要

応力発光センサ（MLS）とは，高度に結晶制御した応力発光体(α-$SrAl_2O_4$: Eu^{2+})をシート状に作成したものであり，徐により開発されたものである [1)]．応力発光体は，計測対象物の変形に伴って発光する新たな機構のセンサである．

2.2 試験体概要

表-1 に使用材料の物性値を示す．コンクリートは W/C=30%とした．**図-1** に試験体の概要を示す．試験体は 100×100×400mm の角柱試験体の中央に深さ 50mm，幅 5mm の切欠きを導入した．また，試験体底面から 25mm の箇所に D6 鉄筋を 2 本配置した．切欠き上部の 100×50mm の面に対して MLS を貼付した．

表-1　材料の物性値

コンクリート	圧縮強度	73.5N/mm^2
	ヤング係数	36.8kN/mm^2
鉄筋	降伏強度	391N/mm^2
	ヤング係数	200kN/mm^2
	最大強度	524N/mm^2

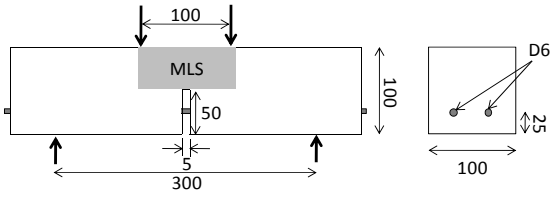

図-1　試験体の概要

2.2 試験方法

RC 部材に対し，四点曲げによる繰返し載荷試験を行った．所定の荷重まで載荷および除荷を行った．試験体下面に標点 50mm の変位計を貼付し，ひび割れ開口変位（CMOD）を計測した．各荷重サイクルは 5，11，15，20，30，50kN（最大荷重）とした．

暗視野を模擬するため，試験装置全体を暗幕で覆って遮光した．応力発光は徐らにより開発されたカメラシステム [2)]を用いて計測した．応力発光強度は，載荷時の発光強度を載荷前の残光成分を差し引くことで求めた．

3. 実験結果および考察

図-2 に荷重-CMOD 関係を示す．荷重 26kN，CMOD0.18mm にて鉄筋が降伏した．また，**図-3** に各荷重における MLS の発光画像の一例を示す．11kN では切欠き先端からひび割れに起因すると思われる発光が認められた．その後発光が徐々に進展する状況が捉えられた．鉄筋降伏後の 30kN では RC 部材の変形量が大きくなり，ひび割れに起因すると思われる発光が載荷点方向に急激に

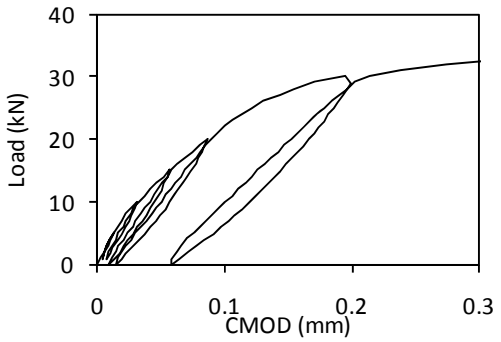

図-2　荷重-CMOD 関係

キーワード　応力発光体，ひび割れ，可視化，ひび割れ損傷度，発光強度
連絡先　〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 (独)港湾空港技術研究所 Tel:046-844-5059 E-mail: kawabata-y@pari.go.jp
*〒841-0052 佐賀県鳥栖市宿町 807-1　Tel:0941-81-3661 E-mail: cn-xu@aist.go.jp

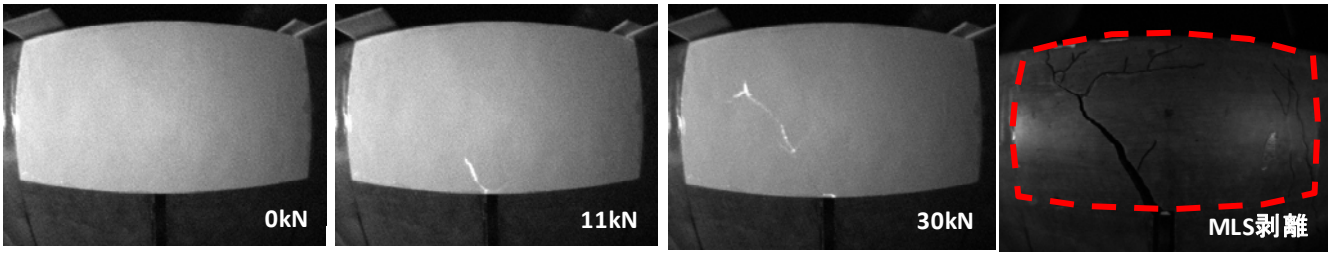

図-3　各荷重サイクルにおける応力発光センサの発光画像の一例

進展した．その後も載荷を継続したところ，斜めひび割れの発生，MLS の破断が生じ，コンクリートの圧壊により最大荷重を迎えた．

載荷試験後に MLS を剥離し，コンクリートのひび割れを観察したところ，目視で観察されるひび割れと発光位置は一致した．このことから，MLS により暗視野下における面的なコンクリートのひび割れ発生挙動を簡易に常時モニタリングできると思われる．また，荷重 11kN 時における試験体底面の CMOD は 0.03mm であり，切欠き先端ではさらに小さなひび割れ幅を示したと思われる．よって，MLS により，暗視野下では目視観察が困難なコンクリートの微細なひび割れの発生・進展を高精度に検出することができるといえる．

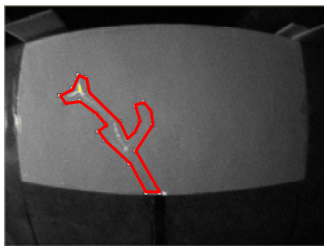

図-4　発光強度の計測位置

コンクリートのひび割れ発生挙動と MLS の発光挙動の関係を明確にするために，**図-4** に示す赤線で囲んだ領域の発光強度を解析した．**図-5** に各荷重サイクルにおける解析領域の発光強度の時間変化を示す．図より，荷重レベルが大きいほど発光強度が大きくなっていることが分かる．また，5kN ではブロードな発光パターンを示したのに対し，明確にひび割れが発生・進展した 11kN，20kN ではシャープな発光ピークを示した．ブロードな発光はひび割れ発生直前のひずみ集中を，シャープな発光はひび割れの発生・進展を示しているものと考えられる．**図-6** に各荷重サイクルの荷重-CMOD 関係において生じたヒステリシスの面積 S_{CMOD} と**図-4** の領域における発光強度の時間積分値 S_{ML} の関係を示す．なお，図中の直線は回帰直線を示し，0-5kN では明確なひび割れ像が得られていないため回帰データから除外した．S_{CMOD} と S_{ML} には良好な相関が認められる．MLS はコンクリート表面の局所的なひび割れ解放エネルギーに対応して発光すると理解できる．よって，MLS の発光強度の時間積分値はコンクリートのひび割れ発生・進展に要するエネルギーを評価できるものといえる．

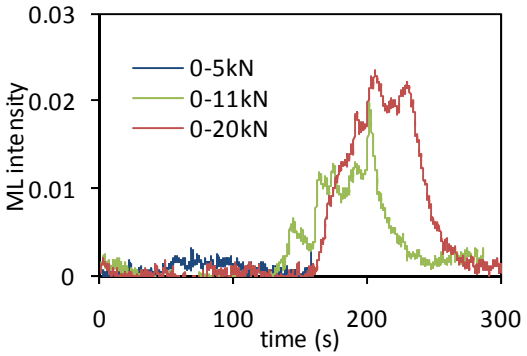

図-5　発光強度の時間変化の一例

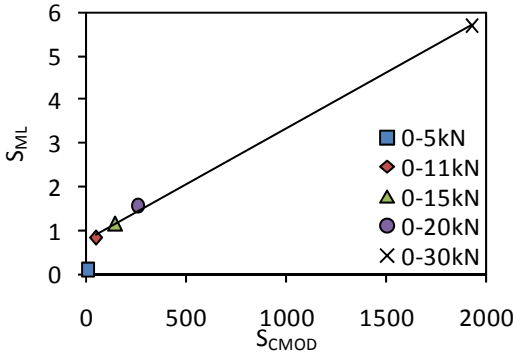

図-6　S_{ML} と S_{CMOD} の関係

以上の結果より，MLS をコンクリート表面に貼付することにより，暗視野下では目視観察が困難なコンクリートのひび割れ発生・進展を検出できることが明らかとなった．また，任意の画像解析領域における発光強度の時間積分値を用いることで，その領域のコンクリートの面的なひび割れ損傷状態を評価できるといえる．

4. 結論

1) MLS をコンクリートに貼付することで，暗視野におけるコンクリートのひび割れを検出することができる．

2) 任意の領域における MLS の発光強度の時間積分値により，コンクリートのひび割れ損傷状態を評価できる．

【参考文献】[1]徐超男：応力発光体を用いたセンシング，セラミックス，Vol.44，No.3，pp.154-160，2009

[2]http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2009/pr20091109/pr20091109.html，2009.11.9

謝辞：本研究の一部は，科学技術振興機構（JST）戦略的創造推進事業（CREST）の一環として行ったものである．