

コンクリート表面ひび割れの環境振動による可視化における検知基準

京都大学 正会員 ○服部 篤史
 (株)大林組 正会員 宗岡 拓弥
 (株)島津製作所 正会員 島堀 貴秀
 京都大学 正会員 河野 広隆

1. はじめに

コンクリート・鋼の表面のひび割れ・き裂を、幅が微細な状態あるいは表面被覆や塗装された状態でも検知可能な非破壊検査手法に、表面弾性波を可視化する方法がある。表面弾性波の励起のために振動子による定常振動を用いる方法に加え、環境振動を用いる方法について、供試体や供用中の鋼箱桁の計測に基づいて適用性を検討してきた。

本研究では後者について、RC 供試体を対象とした測定から表面弾性波の変位挙動と光学的挙動（干渉度）の関係を調べ、測定メカニズムに基づき検知基準を示すことを目的とした。

2. 表面弾性波の可視化

(1) シェアログラフィ

シェアログラフィ（微分干渉スペックルイメージング）の光学系の基本構成を図1に示す。コンクリート表面などの粗面をレーザー光で照明しカメラで撮影すると、スペックルと呼ばれるランダムな明暗パターンが通常の画像に重畳したスペックル像が得られる。レーザー光をビームスプリッターで2分割しミラーでわずかに横ずらし（シア:shear）し両スペックル像を重ね合わせると、スペックル微分干渉像（図2）が撮影され、各点の輝度 I_b が測定できる。 I_b は物体光1, 2（図1）の位相差 $\Delta\phi_b$ （対象面までの距離に依存）を用いて式(1)で表される。

$$I_b = A + B \cos(\Delta\phi_b) \quad (1)$$

$A = I_1 + I_2$: 背景光強度 $B = 2\sqrt{I_1 I_2}$: 干渉光振幅
 I_1, I_2 : 物体光1, 2の光強度

(2) 定常振動を用いたシア変位 ΔZ の可視化

粗面に単一周波数の定常振動を与え、振動に同期して位相シフタで $\Delta\phi_b$ にシフト量を加えて I_b を数回

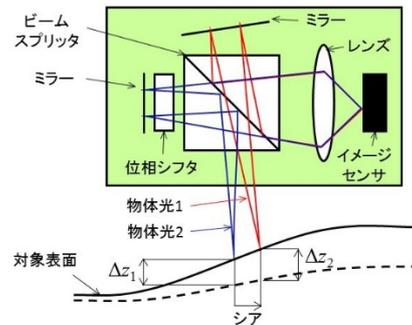


図1 シェアログラフィの光学系の基本構成

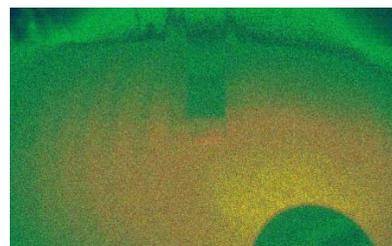


図2 スペックル微分干渉像の一例

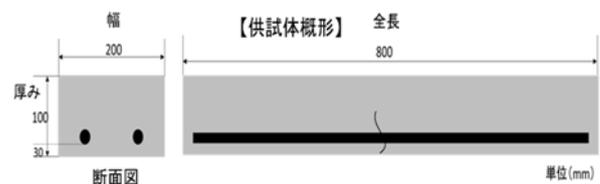


図3 RC 供試体の概要（単位：mm）

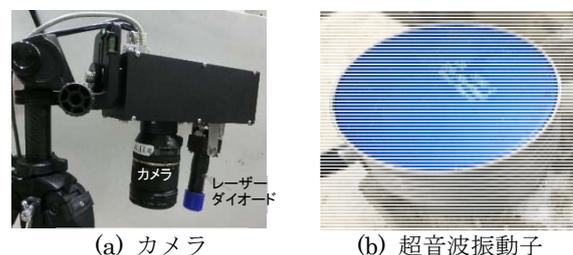


図4 計測機器

測定することで、 $\Delta\phi_b$ を得る。粗面に変形が生じると、変形前後の位相差の差 $\Delta\phi_b - \Delta\phi_a$ から2点間のシア変位 ΔZ （図1）が以下の式で算出される。

$$\Delta Z = \Delta Z_1 - \Delta Z_2 = \lambda(\Delta\phi_b - \Delta\phi_a)/4\pi \quad (2)$$

キーワード 表面弾性波可視化技術、環境振動、ひび割れ、シア変位、干渉度

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1 工学研究科都市社会工学専攻 TEL 075-383-3323

λ : レーザー光の波長

(3) 環境振動を用いた干渉度 C の可視化

環境振動は単一周波数の定常振動ではないため、撮影 $=I_b$ の測定が有意なタイミングで行えない。そこで、撮影時に物体が振動しておりカメラの露光時間がその振動周期よりも十分長い場合、干渉度 $C (= B/A)$ (コヒーレンス: coherence) が第1種0次のベッセル関数の2乗 $J_0^2(4\pi a/\lambda)$ (a : 振動振幅) に比例するという時間平均法を用いる。

棒状のコンクリート表面のひび割れ部では、環境振動によりひび割れが開閉するような面内変位により a が大きくなる。一方、 J_0^2 は a が大きいかほど0に漸近するため、ひび割れ部では C が小さくなる。そこで、(2)と同様に $\Delta\phi_b$ にシフト量を加えて I_b を数回測定することで、 A 、 B そして C の時間平均を得る。 C の分布を可視光線のカラースケール(赤~紫)で画像化し、 C が小さい $\Rightarrow a$ が大きい \Rightarrow ひび割れ部と見る。

ひび割れ検知可否は、 C の画像上でひび割れ部が健全部とどの程度色が異なるかによる。しかし、 C は本計測システムでのみ得られる値である。そこで、振動振幅の計測や構造解析でも評価可能な ΔZ を検知可否の指標にすることを考えた。

3. C — ΔZ 関係の導出と ΔZ によるひび割れ検知基準

(1) 定常振動下の C — ΔZ 関係の導出

曲げひび割れを導入した全長/厚さ比が異なる4種類のRC供試体(図3)を対象に、定常振動を用いて、測定系(図4: 振動子, カメラ等)は一定のまま、2. (2), (3)の手順でそれぞれ ΔZ と C を算出した。振動子の励振周波数30kHz, 振幅ゲインは4段階に変えた。

ひび割れを跨ぐ測線上で ΔZ と C の分布を描き、ひび割れ部での値(それぞれのピーク)を対応させたところ、図5のように線形の C — ΔZ 関係が得られた。よって、ひび割れ検知可否は ΔZ を指標にできることが明らかとなった。

(2) 環境振動下の ΔZ によるひび割れ検知基準

供試体に環境振動を与えカラースケールで可視化した C (図6)による健全部, 検知不可ひび割れ部, 検知可ひび割れ部に対し各 ΔZ を推定した結果を図7に示す。健全部との ΔZ の差が少なくとも25~30nm以上あればひび割れ部と検知できることが示された。

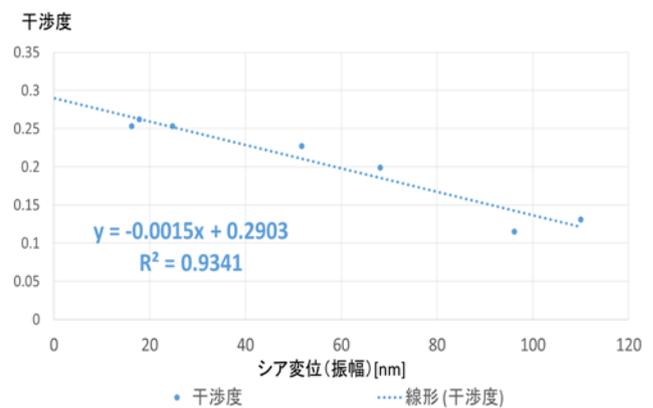


図5 干渉度 C —シア変位 ΔZ 関係

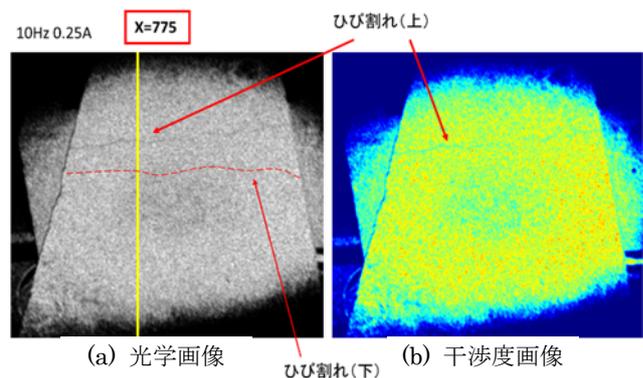


図6 環境振動下の干渉度 C の分布

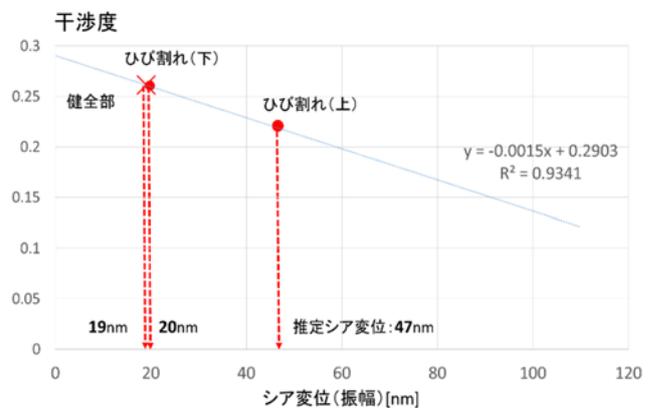


図7 シア変位 ΔZ の推定とひび割れ検知基準

4. まとめ

- 1) 干渉度とシア変位の間には線形関係がある。
- 2) ひび割れ検知可否はシア変位差を指標として定量的に評価でき、少なくとも25~30nm以上であれば現在のカラースケールで検知可能である。

参考文献

- 1) 畠堀, 長田, 田窪, 服部: 光学的表面弾性波可視化技術のコンクリート検査への適用, コンクリート工学年次論文集, Vol. 38, No. 1, pp. 2127-2132, 2016. 7