

鉄筋腐食推定手法の剥離空洞存在領域への拡張

	中央大学	学生会員	○根本	早季
	中央大学	学生会員	今井	嵩弓
	中央大学	正会員	大下	英吉
西日本高速道路エンジニアリング(株) 技術部		正会員	林	詳悟
第一高周波工業株式会社 技術開発部		正会員	福岡	養祐

1. 諸言

コンクリート表面温度性状から RC 構造物における鉄筋腐食率の予測を行う非破壊検査手法は、腐食生成物の存在が温度性状に変状を誘発することによっている。既往の研究¹⁾²⁾では、コンクリート表面温度の絶対値と温度分布の比較によりコンクリート内部の鉄筋腐食率の推定が可能であった。しかしながら、実構造物では鉄筋腐食に起因する剥離等の現象が生じる場合もあり、そのような状態に対しては本手法の適用が困難であった。本研究では、剥離等に起因する空洞が存在する領域においても、コンクリートの表面温度性状から鉄筋の腐食率を予測可能な手法へと拡張し、その有用性を検討する。

2. 空洞存在領域での鉄筋腐食推定手法の問題点

本システムの概要は、電磁誘導コイルで RC 構造物中の鉄筋を強制加熱し、コンクリート表面温度性状を赤外線サーモグラフィにより測定する。既往の研究により、腐食鉄筋と非腐食鉄筋上のコンクリート表面温度上昇量の差異は、鉄筋の腐食の度合いに依存していることが知られている。これは、腐食生成物の断熱効果に起因している。したがって、その差異を分析することによって、鉄筋の腐食率が同定されることとなる。既往の研究では、腐食生成物が鉄筋内部に抑制する熱量率とコンクリート表面温度上昇量の割合が等しくなることに着目し、鉄筋の腐食率 n を次式のように算出した。

$$n = \alpha \cdot \frac{\Delta T_{st} - \Delta T}{\Delta T_{st}} \cdot \frac{C_{st} \cdot \rho_{st} \cdot S_{st}}{C_{con} \cdot \rho_{con} \cdot S_{con}} \cdot \frac{C_{co}}{C_{co} - C_{st}} \quad (2)$$

($\alpha = 0.0164c - 0.1$)

ここで、 W , C , ρ はそれぞれ熱量, 比熱, 密度を示し, $\Delta T_{st}, \Delta T$ はそれぞれ非腐食鉄筋コンクリート, 実測の温度上昇量, S は単位奥行きあたりの熱拡散影響面積である。添え字 st , co , con はそれぞれ, 非腐食鉄

筋腐食生成物およびコンクリートを示す。

しかし、(2)式による腐食率算定モデルは、鉄筋腐食に起因する剥離空洞等の劣化現象を伴わないことを前提としている。前述の通り、本手法は腐食生成物の持つ断熱効果が温度性状に変状をもたらすことを利用したもののだが、剥離空洞内の空気層もその熱特性から同様に断熱効果を示すことが知られている。そのため、剥離空洞の存在が腐食率を過剰に評価してしまう問題があり、本システムにおける鉄筋腐食評価モデルの適用に際しては、剥離空洞が温度性状に及ぼす影響を除去することが求められる。

3. 空洞離散化による等価熱物性評価モデル

本手法では、図-1 に示すように空洞の熱物性をコンクリート中に離散化し、通常のコンクリートとは異なる等価熱物性として置き換えることで、空洞の存在位置を把握した。また定量的に空洞を評価するため、本手法ではハロゲンヒーターによりコンクリート表面を強制加熱するアクティブ法を用いた。

3. 1. 熱容量

空洞の有無によって異なる、コンクリート中に残存する熱量の差を求め、空洞を有するコンクリートの物性値を離散化した $\bar{\rho c}$ を用いて整理すると、以下のよう

$$\bar{\rho c} = \frac{\rho_{con} c_{con} \cdot \{(T_{max} - T_{ini}) \rho_{po} c_{po} - (T_{st} - T_{ini})\}}{(T_{max} - T_{ini}) \rho_{po} c_{po} - (T_{st} - T_{ini}) - \Delta T (\rho_{po} c_{po} - \rho_{con} c_{con})} \quad (4)$$

ここで添え字 po は空洞を示し, T_{max} , T_{ini} , ΔT はそれぞれコンクリート表面の最高温度, 初期温度, 実測値を示し, T_{st} は空洞のないコンクリート表面温度を示す。また、空洞が離散化された見掛け上空洞の無いコンクリートにおける表面温度 $\Delta \bar{T}$ は、各熱容量の比から以下のように算出される。

$$\Delta \bar{T} = \frac{\bar{\rho c}}{\rho_{con} c_{con}} \times \Delta T_{実測} \quad (5)$$

キーワード 非破壊検査, 電磁誘導, 鉄筋腐食, 赤外線サーモグラフィ, 剥離空洞

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 新2号館 4階 2422号室 TEL 03-3817-1892

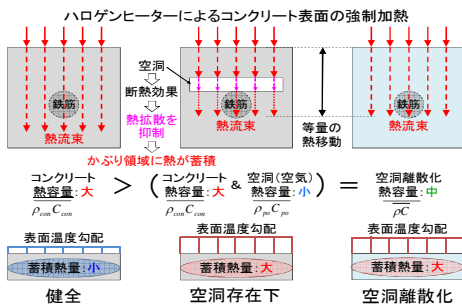


図-1 等価熱物性モデル

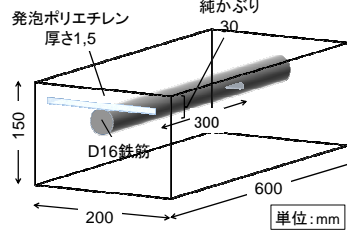


図-2 試験体形状寸法

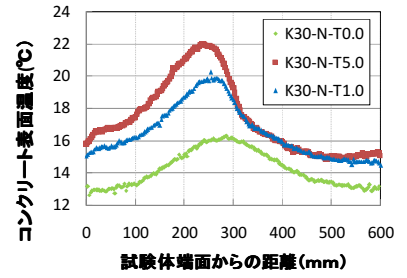


図-3 コンクリート表面温度分布

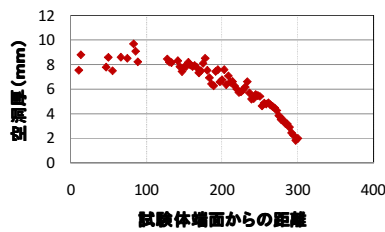


図-4 空洞厚5mm 試験体適用結果

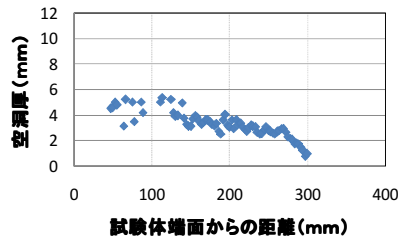


図-5 空洞厚1mm 試験体適用結果

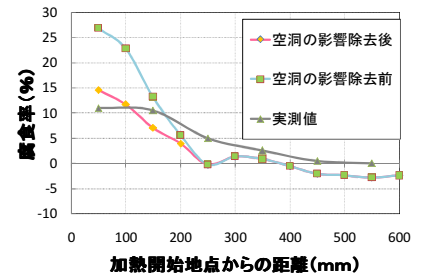


図-6 腐食率分布の比較

3. 2. 熱伝導率

物質の断熱性状を表す指標の一つに、熱伝導率が挙げられる。コンクリート表面温度の上昇量によって劣化性状を評価するにあたり、熱伝導率の考慮は必要不可欠である。本研究では、既存の分散系熱伝導率の推定式として(6)式を用い、熱伝導率の離散化を検討する。

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_{con} \cdot \lambda_{po}}{\phi \lambda_{con} + (1 - \phi) \lambda_{po}} \quad (6)$$

ここで ϕ はかぶりコンクリートに対する空洞の体積割合、 λ 、 $\bar{\lambda}$ は各物質における熱伝導率、空洞が離散化されたコンクリートの熱伝導率を示す。

3. 3. 空洞厚算定モデル

空洞が存在する領域と存在しない領域でのコンクリート表面温度上昇量の比を用いて離散化された熱伝導率を求め、空洞の体積割合 ϕ について整理すると(7)式が得られ、剥離空洞厚 x は(7)式にかぶり厚 c を乗じることにより求まる。

$$\phi = \frac{\lambda_{po} (\Delta T - \Delta T_{st})}{\Delta T_{st} (\lambda_{con} - \lambda_{po})} \quad (7)$$

4. 等価熱物性評価モデルの適用性評価

空洞を有した試験体概要を図-2に示す。試験体にアクティブ法を実施し、600秒経過後のコンクリート表面温度分布を図-3に示す。試験体名におけるK、Tはそれぞれかぶり、空洞厚さを示す。空洞のない試験体の結果に着目すると、ハロゲンヒーターには加熱のむらがあることが分かる。また、空洞の存在領域では前

述したような断熱効果から、表面温度が高くなる結果が得られた。この実験結果に対して、(7)式の適用し、空洞厚を算出した結果を図-4、5に示す。ともに算出結果に多少の誤差はみられるが、定量的な評価が可能となったことが分かる。

さらにアクティブ法から空洞厚を同定し、等価熱物性モデルにそれを加味することで鉄筋腐食率を算定する。図-6が空洞の影響除去前と除去後、実測腐食率を比較したグラフである。この結果からも、空洞の影響を除去したことで過剰に評価されていた腐食率がより良好に評価されていることが分かる。

5. 結言

- (1)アクティブ法により、コンクリート表面温度性状から空洞位置および厚さの評価が可能となった。
- (2)等価熱物性評価モデルを用いることで、剥離空洞を有する腐食鉄筋コンクリートにおいても、空洞の影響を評価し、腐食率も定量的に評価することが可能となった。

参考文献

- 1) 大下英吉, 堀江宏明, 長坂慎吾, 谷口修, 吉川信二郎: 電磁誘導加熱によるコンクリート表面温度性状に基づいたRC構造物の鉄筋腐食性状に関する非破壊検査手法, 土木学会論文集E, Vol. 65, No. 1, pp. 76-92, 2009
- 2) 矢寄早織, 今井嵩弓, 大下英吉: コンクリートの表面温度性状に基づく鉄筋腐食の簡易診断手法に関する研究, コンクリート構造物の非破壊検査論文集, Vol. 4, pp. 411-416, 2012