

## 論文 剥離・空洞を誘発した鉄筋腐食の定量的評価に関する研究

金本 恒之介<sup>\*1</sup>・大下 英吉<sup>\*2</sup>・林 詳悟<sup>\*3</sup>・福岡 養祐<sup>\*4</sup>

**要旨:** 著者らは電磁誘導法を用いて鉄筋を強制加熱し、コンクリート表面へと伝わった熱を赤外線サーモグラフィで測定することにより鉄筋腐食率を評価可能とする非破壊検査手法を開発した。既往の研究では、空洞領域と腐食生成物の双方が断熱材の効果を有し温度上昇量の低下の要因となるため、それらの影響を個別に評価することは困難であった。そこで本研究では剥離空洞および鉄筋腐食の両方が存在する状態においても電磁誘導法のみで鉄筋の腐食率を予測可能とする手法を提案する。

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

## 1.はじめに

鉄筋腐食は RC 構造物において構造性能および耐久性を低下させる重大な要因である。そのため、鉄筋の腐食性状を正確に把握することは極めて重要である。

現段階で鉄筋の腐食性状評価に広く用いられる手法には、自然電位法と分極抵抗法が挙げられる。しかしながら、前者は鉄筋腐食性状の定量的な評価が困難であり、後者については定量評価を目的とした研究段階にあるが、現段階では腐食による鉄筋の質量減少率である腐食率の十分な評価精度を有しているとは言い難い。また、いずれの手法においても測定にあたってかぶりコンクリートを局部的に破壊する必要があるため、新たな鉄筋腐食診断手法の開発が急務である。

このような背景から、著者ら<sup>1)-3)</sup>は RC 構造物のかぶり領域に剥離空洞が存在したり、鉄筋が腐食した状態に対して、それらを定性的かつ定量的に評価可能とする非破壊検査手法を開発した。これら欠陥部は空気の比熱が大きく熱伝導率が小さいという断熱材的特性を有しており、本手法ではその効果を利用したものである。鉄筋腐食診断に関する著者らの研究<sup>1)-3)</sup>において、RC 構造物内部の鉄筋周囲に腐食生成物が存在すると、腐食生成物が電磁誘導により鉄筋に蓄積された熱がコンクリート表面に向かう熱拡散を抑制し、コンクリート表面温度は健全な状態に比べて低下する。そして、その温度低下量が腐食量に対応することに着目し、鉄筋からの熱流出とコンクリート表面温度から鉄筋腐食量を定量的に評価可能とした<sup>1)</sup>。

一方、剥離空洞診断に関する研究では、鉄筋からコンクリート表面に向かう拡散経路内にそれが存在すると、その上部におけるコンクリート表面温度は剥離空洞が存在しない領域に比べると低くなる。そして、その温度差

とそれらが生じている領域から、空洞の大きさ等の評価を可能としている。

一般に、鉄筋腐食が生じると、その腐食率にもよるがコンクリートには腐食ひび割れが誘発され、剥離空洞を生じることがよく知られている。<sup>4)</sup>このような状態に本システムを適用すると、腐食生成物および空洞領域の双方がコンクリート表面に向かう熱拡散を抑制し、それらが単独で存在する場合と比べてコンクリート表面の温度上昇量が非常に低くなる。このことはすなわち、安全側の評価ではあるが、鉄筋腐食量を過度に評価することとなり、精度の面で大きな問題である。

これらの問題点を踏まえて既往の研究では、ハロゲンヒーターを用いたコンクリート表面の強制加熱により生じた温度性状の違いから、剥離空洞の厚さを定量的に評価する手法を構築した<sup>5)</sup>。その結果、本システムは空洞存在下においても、定量的な鉄筋腐食性状評価を可能とし、鉄筋腐食を起因とする剥離空洞を生じた複合劣化を伴う構造物に対しても適用可能とした。しかしながらこの空洞検知システムを本システムに加えることは定量的な評価を可能としたが測定回数が増える分、時間がかかり、効率的ではない。

そこで本研究では、鉄筋腐食と剥離空洞が生じた複合欠陥を対象としてし、それらを簡便かつ同時に評価可能とする手法への拡張を目的とする。具体的には、鉄筋周囲に腐食生成物とかぶりコンクリートに空洞が生じた複合欠陥の試験体に本システムを適用することにより空洞領域存在下の腐食生成物がコンクリート表面温度に及ぼす影響を把握する。併せて、鉄筋腐食・剥離空洞の同時評価について検討する。

\*1 中央大学 理工学部都市環境科 (学生会員)

\*2 中央大学 理工学部都市環境科教授 工博 (正会員)

\*3 西日本高速道路エンジニアリング四国(株) 技術部 (正会員)

\*4 第一高周波工業(株) 技術部

## 2. 鉄筋腐食の定量評価に及ぼす剥離空洞の影響

本章ではまず、試験体のパラメータをかぶり、鉄筋腐食率および空洞厚の3パラメータとして鉄筋腐食および剥離空洞が同時に存在する状態の試験体に対して、本システムを適用した結果を示す。併せて、それらの実験結果の考察を行い、複合欠陥がコンクリート表面温度性状に及ぼす影響について論じる。

### 2.1 実験概要

試験体概要を図-1に示す。試験体の形状寸法は600×200×150mmであり、かぶり30mm、50mmの位置にD16異形鉄筋(SD295A)を配筋した。なお、コンクリートの配合は表-1に示すとおりである。試験体は、健全鉄筋を用いた非腐食試験体および鉄筋全長を目標腐食率1.00%で腐食させた腐食鉄筋を用いた腐食試験体とした。なお、鉄筋の腐食方法には比較的目標腐食率になるように制御し易い電食試験法を採用し、あらかじめ腐食させてから試験体に埋設した。

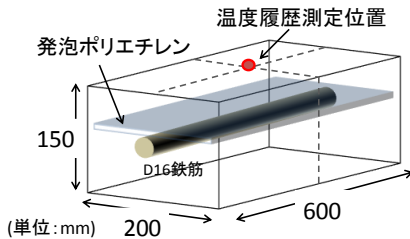


図-1 試験体の形状寸法

表-1 コンクリートの配合

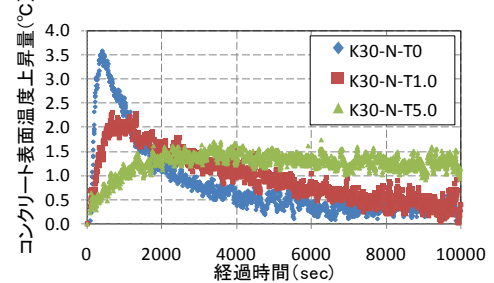
単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
W	C	S	G	A
171	290	798	1003	1.2

表-2 各物質の熱的物性値

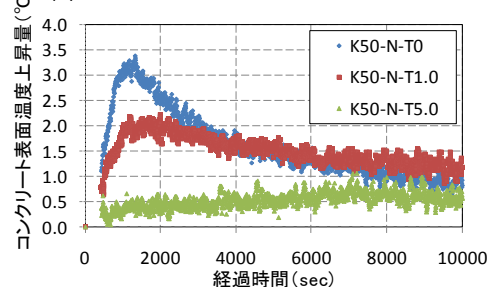
対象	物性	密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	比熱 [kJ/kg°C]	熱伝導率 [W/m°C]
非腐食鉄筋		7850	0.47	51.3
腐食生成物		5300	1.2	0.07
空洞 (空気)		1.2	1.01	0.03
コンクリート		2300	1.2	1.6
発泡ポリエチレン		52	1.01	0.22

また、空洞領域は表-2に示すように空気と同じく、比熱が大きく熱伝導率が小さい断熱材的効果を有する発泡ポリエチレンを用いることで剥離空洞を模倣した。<sup>5)</sup> 空洞領域の大きさに関しては、薄い空洞として厚さ1mmと厚い空洞として厚さ5mmに定め、同表に示すように空洞なし、1mm、5mmの3水準をパラメータとした。空洞領域の大きさは、鉄筋軸方向の全長を覆う150×600mmとした。空洞の設置位置は、実現象における剥離空洞は腐食ひび割れの発生に伴い鉄筋に接する直上部分で発生するため、鉄筋のかぶり側に接する位置とした。

実験パラメータおよび実験条件、実験結果を表-3に示す。電磁誘導加熱による鉄筋温度の制御は、設定した電力を所定の時間までコイルに負荷することにより実施した。コンクリート表面の温度測定は、赤外線サーモグラフィにより実施し、電磁誘導コイルを設置する前に初期温度を測定し、電磁誘導加熱終了後5秒間隔で測定した。なお、試験体名称はかぶり-腐食率(Nは非腐食)-空洞厚順に記載されており、例えばかぶり30mm、腐食率5%、空洞厚1mmの試験体はK30-C5.0-T1.0と表記する。



(a) かぶり30mm-非腐食試験体



(b) かぶり50mm-非腐食試験体

図-2 コンクリート表面温度履歴

表-3 試験体パラメータ、実験条件および実験結果

試験体名称	鉄筋径	かぶり (mm)	目標腐食率 (%)	空洞		コイル負荷電力 (kw)	加熱時間 (sec)	初期温度 (°C)	温度上昇量 (°C)	
				縦×横(mm)	厚さ(mm)					
K30-N-T0	D16	30	—	150×600	0	1.8	90	25.2	3.6	
K30-N-T1.0					1.0			14.7	2.3	
K30-N-T5.0					5.0			14.8	1.7	
K30-C1.0-T0					0			16.8	3.0	
K30-C1.0-T1.0					1.0			14.8	1.2	
K30-C1.0-T5.0					5.0			14.8	1.2	
K50-N-T0		50	—		—		0	420	13.2	3.4
K50-N-T1.0							1.0		14.8	2.2
K50-N-T5.0							5.0		15.2	1.1
K50-C1.0-T0							0		14.3	2.5
K50-C1.0-T1.0	1.0			14.7		1.3				
K50-C1.0-T5.0	5.0			14.7		1.3				

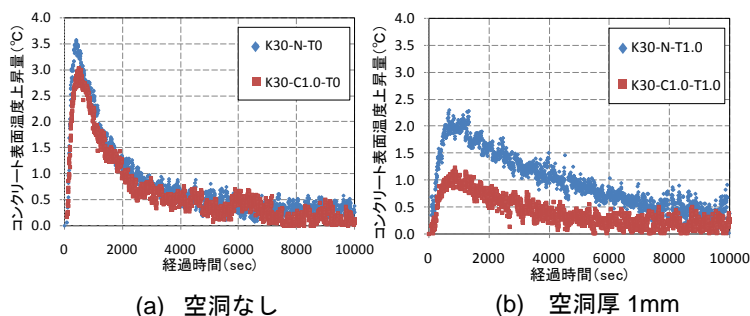


図-3 かぶり 30mmにおける同じ空洞厚ごとの温度履歴

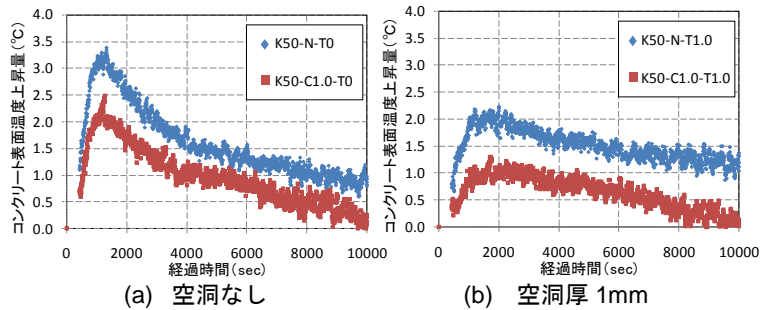


図-4 かぶり 50mmにおける同じ空洞厚ごとの温度履歴

## 2.2 コンクリート表面の温度性状

### (1) 空洞厚さによる影響

非腐食試験体のコンクリート表面の中央断面における温度履歴を図-2に示す。

まず、同図(a)に示す非腐食試験体に着目すると、最高温度に達するまでの温度上昇量は、空洞厚の増加に伴って低くなり、その差異は K30-N-T0 と K30-N-T1.0 の試験体において 1.3°C、K30-N-T0 と K30-N-T5.0 で 1.9°C の温度差が確認できる。ここで、長田ら<sup>9)</sup> は赤外線サーモグラフィを用いた空洞診断を行う際の限界閾値に関する研究を実施し、その値が 0.5°C 以上であれば判別性に十分な信頼があるとしており、本研究においても限界閾値を 0.5°C と設定する。したがって、これらの試験体間に生じた温度差は空洞領域を評価する上で有意な差であると言える。また、経時的な温度変化に着目すると、空洞が存在する試験体は空洞のない試験体に比べ、最高温度に到達するまでの時間（以下、最高温度到達時間と称す）が長くなることが確認された。このような傾向は空洞が厚くなるほど顕著にあらわれることが同図から確認できる。

一方、同図(b)に示したかぶり 50mm の空洞なし、1mm、5mm の試験体においても最高温度上昇量は K50-N-T0、K50-N-T1.0、K50-N-T5.0 の順に大きく、最高温度到達時間は空洞厚の増加に伴っていることから、かぶり 30mm と同様の傾向が確認された。

これらの傾向は、熱源である鉄筋と測定面であるコンクリート表面との間に熱拡散を抑制する断熱材の効果をもった空洞が存在するためである。特に、最高温度到達時間が空洞厚さの増加に伴って遅延する傾向については、空洞およびそれを模擬する発泡ポリエチレンの熱伝導率

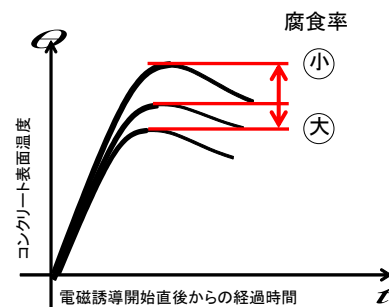


図-5 腐食率による最高温度の違い

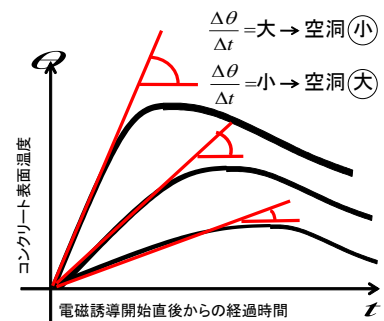


図-6 空洞厚による温度上昇率の違い

時間が空洞厚さの増加に伴って遅延する傾向については、空洞およびそれを模擬する発泡ポリエチレンの熱伝導率がコンクリートに比べて非常に低いためである。熱伝導率は単位時間に伝導する熱量を示しており、鉄筋から拡散する熱がコンクリートの約 10 分の 1 程度の熱伝導率であるポリエチレンを単位時間に伝導できる熱量は非常に小さく、空洞厚の増加に伴って最高温度到達時間が遅延することは自明である。

### (2) 鉄筋腐食による影響

かぶり 30、50mm の空洞なし試験体、空洞厚 1mm の試験体における温度履歴を図-3 および図-4 に示す。

まず、かぶり 30mm 試験体に着目する。図-3 に示す通り、空洞厚 1mm の試験体においても腐食試験体と非腐食鉄筋試験体の最高温度到達時間はほぼ同じであることを示した。このことは、最高温度到達時間の差異は空洞厚の影響が支配的であり、腐食率による影響はほとんどないことがわかる。また、最高温度での温度差は 0.5~1.0°C の温度差が確認でき、前述の限界閾値 0.5°C に鑑みても判別には十分な信頼性があることを示した。すなわち、最高温度到達時間での温度差を比較することで空洞および腐食の影響を検討することができる。

また、図-4 に示す通りかぶり 50mm 試験体に着目すると空洞なし試験体および空洞厚 1mm の試験体においては、最高温度差が 0.5°C 以上であり、かぶり 30mm の試験体と同様、鉄筋腐食の影響が確認でき最高温度到達点についても同様の傾向が確認できる。

### (3) コンクリート表面温度に及ぼす空洞厚および鉄筋腐食率の影響

2.2 (1)、(2)の空洞厚さ、鉄筋腐食の影響の結果を図-5

および図-6にまとめる。

図-5において、最高温度に到達するまでの単位時間当たりの温度上昇量(以下、温度上昇率と称す)は鉄筋腐食の有無によらずほぼ同じ値である。また、最高温度到達時間の差異は空洞厚の影響が支配的であり、腐食率による影響はほとんどない。

鉄筋腐食と空洞が同時に生じている状態では、図-6に示した温度上昇率に着目して空洞の大きさと領域を推定し、それを加味して図-5に示す最高温度までの温度上昇量の補正を行う必要がある。その手順は、温度上昇率から空洞厚を算出し、その空洞厚を用いることでかぶりコンクリートと空洞領域を合わせたかぶり領域全体の見かけ上の熱的物性値を明らかにする。この物性値とかぶりコンクリートのみの熱的物性値の割合から空洞が無いと仮定した温度上昇量に修正する。そして、腐食率算定式にこの空洞が無いと仮定した温度上昇量と健全時の温度上昇量を用いることで空洞存在下においても腐食率の評価が可能だと考えられる。

本節で得られた知見に基づいて、鉄筋腐食性状評価に必要な手順を図-7に示したフローチャートにまとめる。  
A: 本システムによって得られた温度履歴における最高温度到達時間に着目し、空洞領域の有無を判断する。

B: 空洞がないと判定した場合、温度履歴における温度上昇量に着目し、腐食の有無を判断する。それには矢野らの研究<sup>2)</sup>で示した健全時の温度上昇量推定式および4章で示す腐食率算定式によって腐食率を算出する。

C: 空洞があると診断された場合、温度履歴における温度上昇率に着目し空洞厚を算出する。

D: Cで算出した空洞厚からかぶり領域全体の見かけ上の熱的物性値を求め、空洞が無い状態のかぶりコンクリートのみの熱的物性値の割合を用いて、空洞が無いと仮定した際の温度上昇量を算出する。

E: 空洞の影響が除去された状態で腐食率算定式を用いることで剥離空洞存在下においても腐食率の算定が可能となる。

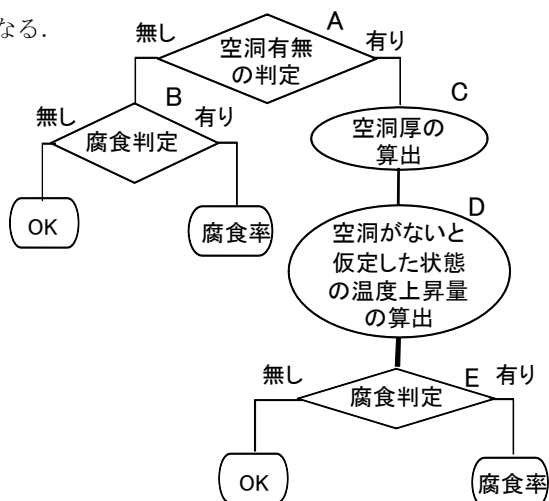


図-7 鉄筋腐食診断手順のフローチャート

### 3. 空洞が存在しない場合の鉄筋腐食の定量的評価手法

本章においては、2.2 (3)の剥離空洞存在しない場合の鉄筋腐食評価に際して本システムを適用するための手順について検討するとともに、その評価方法のメカニズムについて考察する。

#### 3.1 鉄筋腐食率推定手法

既往の研究<sup>2)</sup>における腐食率算定モデルはエネルギー保存則に基づいて導出していた。しかしながら、同式は熱拡散を考える上で重要な時間項が含まれておらず、物性値は密度と比熱を考慮するのみの式であった。そのため鉄筋腐食率の測定精度向上を目的として時間項と熱伝導率を含む腐食率算定モデルを新たに構築した。

#### 3.2 鉄筋腐食率算定モデル

腐食率を求める際、基準となる健全時のコンクリート表面の最高温度  $\theta_n$  は、既往の研究における熱伝導解析によって以下の通りデータベース化されている。<sup>2)</sup>

$$\theta_n = a_0 + c\{-0.0023(a_0 - b) - 0.0395\} + 3.075 \quad (1)$$

ここで、 $a_0$ 、 $b$  および  $c$  はそれぞれコンクリート表面の初期温度、外気温およびかぶり厚を示している。

本手法では健全時のコンクリートと鉄筋が腐食したコンクリートにそれぞれ蓄積される熱量をエネルギー保存則に基づいて導出し、鉄筋腐食率の算定を行う。健全時のコンクリートに蓄積される熱量は次式となる。

$$\rho C \varphi \Delta \theta A = \Delta Q A d \Delta t - h(\theta_n - \theta_0) \Delta t A \quad (2)$$

ここで、 $\Delta Q$  はコンクリートに蓄えられる単位時間・単位体積当たりの熱量なので以下のように表す。

$$\Delta Q = \theta_{st} \kappa_{st} \quad (3)$$

また、 $\rho$  はコンクリートの密度、 $C$  はコンクリートの比熱、 $\varphi$  はかぶり厚さ、 $\Delta \theta$  は健全時のコンクリート表面温度上昇量、 $A$  はコンクリート断面積、 $\Delta t$  は健全時の最高温度到達時間、 $h$  は熱伝達係数、 $\theta_0$  はコンクリート表面初期温度、 $\theta_n$  は健全時のコンクリート表面最高温度、 $\theta_{st}$  は鉄筋の温度上昇量、 $\kappa_{st}$  は鉄筋の熱伝導率を示している。

同様に鉄筋が腐食したコンクリートに蓄積される熱量は次式となる。

$$\rho' C' \varphi \Delta \theta' A = \Delta Q (1-n) A d \Delta t - (\theta'_n - \theta'_0) \Delta t A \quad (4)$$

ここで  $\rho'$ 、 $C'$  は鉄筋が腐食したコンクリートなので腐食生成物が中にあることから以下のように表すことができる。

$$\rho' = n \rho_{cor} + (1-n) \rho_{con} \quad (5)$$

$$C' = n C_{cor} + (1-n) C_{con} \quad (6)$$

ここで  $\rho'_{cor}$  は腐食生成物の密度,  $\rho'_{con}$  はコンクリートの密度,  $C'_{cor}$  は腐食生成物の比熱,  $C'_{con}$  はコンクリートの比熱,  $\Delta\theta$  は鉄筋が腐食したコンクリート表面の温度上昇量,  $\Delta t$  は鉄筋が腐食したコンクリート表面の最高温度到達時間,  $\theta_n$  は鉄筋が腐食したコンクリート表面の最高温度,  $n$  は腐食率を示している.

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \alpha \quad (7)$$

$$\frac{\Delta\theta'}{\Delta t'} = \alpha' \quad (8)$$

$$\theta_n - \theta'_n = \Delta\theta_{surf} \quad (9)$$

また,  $\alpha$  は健全時の単位時間当たりのコンクリート表面温度上昇量,  $\alpha'$  は腐食の単位時間当たりのコンクリート表面温度上昇量,  $\Delta\theta_{surf}$  は腐食と健全時のコンクリート表面温度上昇量の差を示している.

(1)~(9)式を用いて, 最終的に腐食率  $n$  は次式となる.

$$n = \frac{\rho C(\alpha - \alpha')\varphi + h\Delta\theta_{surf}}{\Delta Qd + (\rho_{cor}C + \rho C_{cor} - 2\rho C)\alpha'\varphi} \quad (10)$$

(10)式を用いて腐食率を算定した結果を図-8に示す. 鉄筋腐食は大気中に暴露させることで鉄筋軸方向の全面を腐食させ, かぶり 30mm, 50mm, 70mm の腐食試験体にそれぞれ腐食率 0.66%, 0.82%, 0.70% の鉄筋を配筋した. また, 腐食率測定は, 質量減少率により求めた. 実測値に対し, 同定値に近い値をとっていることから(10)式を用いた腐食率推定モデルの適用性が示される.

なお, 上述の式による評価対象は鉄筋腐食のみが生じた RC 構造物であり, 剥離空洞等の他の劣化現象を伴わないコンクリートであることを前提としたものである.

しかしながら, 前述の通り空洞中の空気はその熱物性から断熱材的効果を有しているため, 鉄筋の周囲に腐食生成物とかぶりコンクリートに剥離空洞が存在する場合は双方が鉄筋からの熱拡散の抑制することとなる. 前掲の図-3の温度履歴においても, 空洞が無い場合の鉄筋が腐食した RC 部材に比べて, 空洞があり, かつ鉄筋が腐食した RC 部材の本システム適用時における温度上昇量は非常に低いことが明らかである.

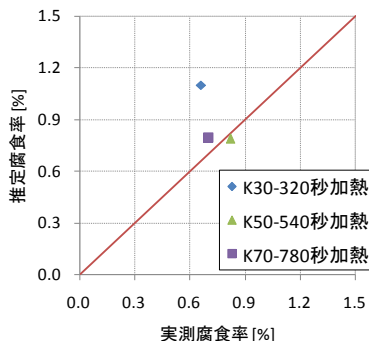


図-8 腐食率算定結果

したがって, 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, 剥離空洞がコンクリート表面性状に及ぼす影響を除去することが必要不可欠である.

#### 4. 空洞存在下における鉄筋腐食評価に関する一考察

本章においては 2.2 (3) の剥離空洞存在下における鉄筋腐食評価に際して, 剥離空洞がコンクリート表面性状に及ぼす影響を除去する手順について検討する.

##### 4.1 空洞厚推定手法

空洞厚の推定は鉄筋腐食ならびに剥離空洞が存在する RC 構造物物質の境界ごとの熱の伝わりづらさを表す熱貫流率を用いて温度上昇率に着目し導出した.

空洞が存在しないコンクリートと空洞が存在するコンクリートの熱抵抗値は次式となる.

$$\frac{1}{K} = \frac{\varphi}{\kappa_{con}} + \frac{1}{h} \quad (11)$$

$$\frac{1}{K'} = \frac{(1-c)\varphi}{\kappa_{con}} + \frac{c\varphi}{\kappa_{cav}} + \frac{1}{h} \quad (12)$$

ここで,  $K$  は空洞が存在しない場合の熱貫流率,  $K'$  は空洞が存在する場合の熱貫流率,  $\varphi$  はかぶり厚さ,  $\kappa_{con}$  はコンクリートの熱伝導率,  $\kappa_{cav}$  は空洞 (空気) の熱伝導率,  $c$  は空洞割合,  $h$  は熱伝達係数を示している.

また, 前掲の図-6のように空洞が存在する場合の温度上昇率に比べて空洞が存在しない場合の温度上昇率は大きくなる. この温度上昇率の割合を用いて空洞が存在する場合の熱貫流率を導く. そこに図-9のように空洞による熱の遮断の影響を考慮すると次式となる.

$$K' = K \frac{\Delta\theta_{cav}}{\Delta\theta} \alpha \quad (13)$$

ここで,  $\Delta\theta_{cav}$  は空洞が存在するコンクリート表面の温度上昇量,  $\Delta t_{cav}$  は空洞が存在するコンクリート表面の最高温度到達時間,  $\Delta\theta$  は健全時のコンクリート表面の温度上昇量,  $\Delta t$  は健全時のコンクリート表面の最高温度到達時間,  $\alpha$  は空洞の熱の遮断による影響度合い (2~3 倍) である.

(11)~(13)式を用いて, 最終的に空洞厚  $c\varphi$  は次式となる.

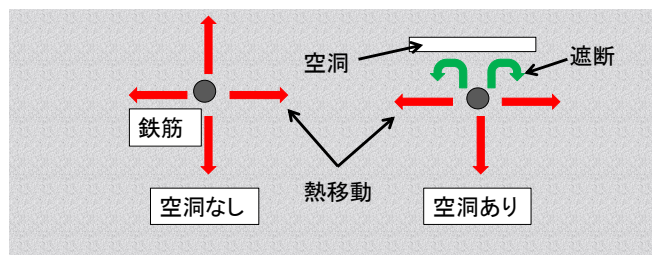


図-9 空洞の有無による熱移動

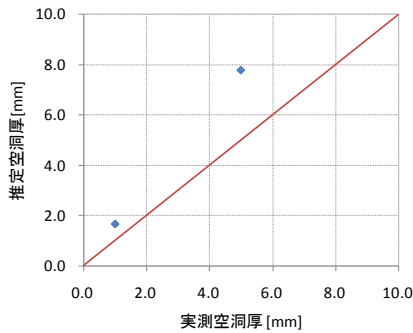


図-10 空洞厚算定結果

$$c\varphi = \frac{\frac{1}{K'} - \frac{1}{K}}{\frac{1}{K_{cav}} - \frac{1}{K_{con}}} \quad (14)$$

(14)式を用いて空洞厚を算定した結果を図-10に示す。空洞領域は前掲の表-2に示すように空気と同じく、比熱が大きく熱伝導率が小さい断熱材の効果を有する発泡ポリエチレンを用いることで剥離空洞を模擬した。空洞領域の大きさに関しては、厚さ 1mm, 5mm に定めた。実測値に対し、同定値に近い値をとっていることから、(14)式を用いた空洞厚推定モデルの適用性が示される。

#### 4.2 腐食率評価

まず、(14)式で算出した空洞厚を用いてかぶりコンクリートと空洞領域を合わせたかぶり領域全体の熱的物性値を明らかにする。

$$K' = \frac{1}{\frac{c\varphi}{K_{cav}} + \frac{\varphi - c\varphi}{K_{con}}} \quad (15)$$

次式のように空洞が存在しないコンクリートの熱貫流率と空洞が存在するコンクリートの熱貫流率の割合に空洞が存在するコンクリートの温度上昇量を乗ずることで空洞が無いと仮定した温度上昇量に修正することができる。

$$\Delta\theta' = \Delta\theta_{cav} \times \frac{K}{K'} \quad (16)$$

前掲の(10)腐食率算定式にこの空洞が無いと仮定した温度上昇量と健全時の温度上昇量を用いて腐食率を算定した結果を図-11に示す。かぶり 30mm の腐食試験体に腐食率 1.0%鉄筋を配筋し厚さ 1mm の空洞を模擬した。

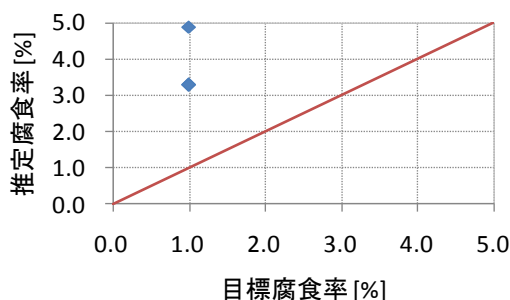


図-11 空洞ありの腐食率算定結果

空洞存在下においても実測値に近い腐食率を予測することが可能ではあるが、高精度であるとは言い難い。腐食率が安全側に評価されているため空洞が無いと仮定した温度上昇量の補正において過大に補正されたことが原因であると考えられる。

#### 5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 鉄筋腐食の有無によらず、空洞が厚いほど最高温度までの到達時間は長くなる傾向を示した。
- (2) 空洞領域の存在によりかぶり領域の熱物性が変化したとしても、非腐食時と腐食時の最高温度に達する時間差はかぶり領域が同一の条件下であれば大きく変動しないことを示した。
- (3) 電磁誘導法のみで、コンクリート表面温度性状から腐食、空洞の有無が判断できることを示した。
- (4) 本システムにおける腐食率算定式、空洞厚算定式を用いることで腐食率、空洞厚を定量的に評価することが可能となった。しかし、剥離空洞を有する腐食鉄筋コンクリートの腐食率算定においては今後、より精度の向上に向けた改良が必要である。

#### 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
- 3) 谷口修, 重松文治, 堀江宏明, 大下英吉: 電磁誘導加熱を利用したコンクリート表面の温度性状に基づく RC 構造物の空洞検出システムの開発に関する研究, 土木学会論文集 E, Vol.64, No.1, pp.173-185,
- 4) 堤知明, 松島学, 村上祐政, 関博: 腐食ひび割れの発生機構に関する研究, 土木学会論文集, NO. 532/V-30, pp. 159-166, 1996
- 5) 根本早季, 今井嵩弓, 大下英吉, 林詳悟, 福岡養祐: 鉄筋腐食推定手法の剥離空洞存在領域への拡張, コンクリート工学年次論文報告集, 第 35 巻, No.1, pp.1825-1830, 2013
- 6) 長田文博, 山田裕一, 虫明成生, 赤松幸生: 熱画像による鉄道高架橋コンクリートの剥離診断手法の開発, 土木学会論文集, No.760/V-63, pp.121-133, 2004