コンクリート中に埋め込んだ各種 IC タグの通信性に関する研究

COMMUNICATION PERFORMANCE OF IC-TAGS INSTALLED INSIDE CONCRETE

杉山 央 — * 1 大久保孝昭 — * 2
中島史郎 — * 3

Hisashi SUGIYAMA — * 1 Takaaki OHKUBO — * 2
Shiro NAKAJIMA — * 3

キーワード：
RFID 技術, IC タグ, 建物情報, コンクリート, 鉄筋, UHF 帯

Keywords：
RFID, IC-tag, Building information, Concrete, Reinforcing bar, UHF

RFID technology is useful for developing a rational building information traceability system. IC-tag is an important vehicle of RFID technology. Several methods of installing IC-tags on building materials and components exist. One method is to install an IC-tag inside concrete material without a screw and an adhesive. This paper describes a study on the communication performance of several types of IC-tags installed inside concrete. Communication frequency of IC-tags and readers used in the experiment were 13.56MHz, 2.45GHz and UHF band. In addition, the influence of a reinforcing bar in the concrete on communication performance of IC-tag was studied.

1. はじめに

近年、製品の生産管理・在庫管理の合理化、流通過程におけるトレーサビリティ（履歴追跡）の向上、偽造防止、盗難防止などを目的として様々な分野でRFID技術が導入されている。RFIDとは無線通信を使った自動認識技術であり、具体的にはICタグ（書き込み可能なICチップと小型アンテナを内蔵した荷札）内の情報を、専用の無線通信機器（リーダ／ライタ）を用いて外部から読み書きする技術である。RFIDには次のような数多くのメリットがあり、これまで利用されていたバーコード等に代わる次世代の個体識別・管理技術として期待されている。

- ・非接触で読み取りが可能であり、表面が汚れていたり、梱包材等の中に隠れていても読み取りが可能である。
- ・バーコードよりも通信距離が長く、また格納できるデータ量が多い。
- ・新たなデータを追記したり、データの書き換えが可能である。
- ・複数のICタグのデータを同時に読み取ることができる。
- ・ICタグはラベル型、カード型、コイン型、スティック型など各種形状に加工できる。

建築分野においてもRFID技術の導入が検討されている。例えば、第二著者はプレキャストコンクリート部材の製造・施工段階においてRFID技術を活用するための検討を行っている¹⁾。また、第三著者は位置情報を記録したICタグを利用して改修工事の際に撮影した画像ファイルを自動で分類・整理するシステムを試作している²⁾。プレキャストコンクリートなどの建築部材に取り付けたICタグに記録されている情報は、製造・施工段階に加えて、図1に示すように数年後

の補修工事、さらには数十年後の解体・リサイクルにおいても活用できるメリットがあり、建物の履歴情報を管理・活用する上でRFID技術への期待はさらに大きなものとなる。

ところで、一般にICタグは接着剤、ビス等を用いて取り付ける

図1 IC タグの活用事例（プレキャストコンクリートの場合）

*1 国土交通省国土技術政策総合研究所住宅生産研究室 室長・工博
(〒305-0802 茨城県つくば市立原1)

*2 広島大学大学院工学研究科社会環境システム専攻 教授・工博
(独立行政法人建築研究所 客員研究員)

*3 独立行政法人建築研究所材料研究グループ 上席研究員・農博

*1 Director, Housing Production Division, National Institute for Land Infrastructure and Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Dr. Eng.

*2 Prof., Dept. of Social and Environmental Engineering, Hiroshima Univ., Dr. Eng.

*3 Chief Researcher, Building Research Institute, Dr. Agr.

が、プレキャストコンクリートをはじめとするコンクリート系材料・部材についてはICタグを硬化前のコンクリート内部に埋め込むという方法も考えられる。この方法では、接着剤、ビス等が不要であり、ICタグが剥がれて紛失することもない。さらに、コンクリートによってICタグが衝撃や劣化から保護されるというメリットも期待できる。しかし、コンクリート中に埋め込んだICタグの通信性が確保されるかどうかに関しては不明な部分が多い。本研究では、コンクリート中に埋め込んだICタグの通信性を明らかにすることを目的としている。

既往の研究として、小川らはPCグラウト充填検知を目的としてセンサ機能を備えた13.56MHz帯のICタグを開発し、コンクリート中に埋め込んで通信距離を調べている^{3),4)}。しかし、最近では13.56MHz帯以外の周波数帯を使用した新たなICタグやリーダ／ライタが登場してきており、今後の利活用が注目されている。このような背景のもと、本研究では各種のICタグをコンクリート試験体中に埋め込み、各種のリーダ／ライタを用いて通信距離を調査した。

2. 実験概要

2.1 ICタグおよびリーダの種類

ICタグには写真1および表1に示す6種類を用いた。ICタグの通信に使用する周波数については、現在最も普及している13.56MHz帯に加え、2.45GHz帯およびUHF帯も取り上げた。2.45GHz帯は電子レンジでも使われている周波数帯であり、13.56MHz帯に比べて通信距離が長いという特徴がある。UHF帯は日本では主に携帯電話の周波数帯として用いられているが、2006年1月改正の国内電波法によりRFIDでも利用可能となった。日本ではUHF帯（860～960MHz）の中でも952～954MHzの帯域がRFIDに利用されている（最大出力10mW以下の低出力型リーダを使用する場合は952～955MHzの帯域）。

なお、ICタグは電波の送受信方式によってパッシブタグ（受動タ

グ）とアクティブタグ（能動タグ）に分けられる。パッシブタグはリーダ／ライタからの電波をエネルギー源として動作するため、電池を内蔵する必要がない。すなわち、リーダ／ライタから比較的強めの電波を送信し、ICタグからの非常に微弱な反射波を受信する原理となっており、ICタグ内の情報はこの反射波に乗せて返される。パッシブタグはアクティブタグに比べて通信距離は短い、ほぼ恒久的に利用することができる。他方、アクティブタグは電池を内蔵したICタグである。自ら電波を発するので、通信距離が長い。ただし、電池の寿命とともに機能が停止するため、継続使用するためには電池を交換する必要がある。本研究では電池交換の必要がないパッシブタグを対象とした。

ICタグに記録された情報を読み取る機器には写真2および表2に示す5種類を用いた。通常、ICタグに記録された情報を読み取る機器は新たな情報を書き込む機能も備えており、リーダ／ライタと呼ばれている。しかし、2.3に示すように本研究では情報を読み取ることのできる距離を測定対象としており、リーダとしての機能のみを使用している。このため、以降では本機器を単にリーダと表記する。なお、UHF帯専用機(E)のようにUHF帯を使用して出力が10mWを超える場合には、無線局免許の取得が必要となる。

2.2 コンクリート試験体

表3に示すように、普通ポルトランドセメントを使用した水セメント比50%、スランプ15cm、空気量5.6%のコンクリートを用いた。コンクリート試験体は100×100×400mmの直方体である。コンクリートが硬化する前に1つの試験体につき周波数帯の異なる2つのICタグを埋め込んだ。2つのICタグの距離は約200mmとした。1つの試験体に埋め込むICタグを2つに限定し、それぞれ周波数帯の異なるICタグを組み合わせたのは、電波干渉等の通信距離への影響を回避する理由による。試験体中へのICタグの埋込み方法は、図2に示すようなⅠ～Ⅴのシリーズを設定した。

写真1 ICタグの種類

[左から、(a)13.56MHzタグ、(b)13.56MHzタグ、(c)2.45GHzタグ、(d)2.45GHzタグ、(e)UHF帯タグ、(f)UHF帯タグ]

写真2 リーダの種類

[左から、(A)13.56MHz専用機、(B)PDA + 13.56MHzアンテナ、(C)2.45GHz専用機、(D)PDA + UHF帯アンテナ、(E)UHF帯専用機]

表1 ICタグの種類

記号	周波数	形状	外形寸法(mm)	材質	防水性
(a)	13.56MHz	平板状	45×20×3	樹脂	有
(b)	13.56MHz	カード状	86×54×0.8	樹脂	有
(c)	2.45GHz	平板状	87×16×7	樹脂	有
(d)	2.45GHz	平板状	57×8×4	樹脂	有
(e)	UHF帯	棒状	径8×108	樹脂	有
(f)	UHF帯	棒状	径8×68	樹脂	有

表2 リーダの種類

記号	周波数	形式	出力	測定日
(A)	13.56MHz	専用機	100mW	コンクリート脱型直後、7日後、28日後
(B)	13.56MHz	PDA+アンテナ	45mW	コンクリート脱型より28日後
(C)	2.45GHz	専用機	10mW	コンクリート脱型直後、7日後、28日後
(D)	UHF帯	PDA+アンテナ	10mW	コンクリート脱型直後、7日後、28日後
(E)	UHF帯	専用機	500mW	コンクリート脱型より154日後

※PDAとは携帯情報端末である。

シリーズⅠ：ICタグをコンクリート試験体中に埋め込まず、空気中で通信距離を測定した。ICタグには(a)、(b)、(c)、(d)、(e)および(f)の6種類を用いた。

シリーズⅡ：写真3に示すようにICタグをコンクリート試験体中に埋め込んだ。埋込み深さ（コンクリート表面からの距離）は0、10、30および50mmとした。なお、埋込み深さ0mmとはICタグを試験体表面に埋め込んだ状態であり、ICタグの片面が露出している。ICタグには(a)、(b)、(c)、(d)、(e)および(f)の6種類を用いた。

シリーズⅢ：ICタグに緩衝材（押し出し発泡ポリスチレン、厚さ4mm）を取り付け、試験体中に埋め込んだ。埋込み深さは30mmとした。緩衝材をICタグの裏面に取り付けたケース（図2のⅢ-1）および表面に取り付けたケース（図2のⅢ-2）を計画した。なお、本研究で使用したICタグ自体に表面・裏面の区別はないが、ここではリーダーと正対する面を表面と定義した。ICタグには(a)、(c)および(e)の3種類を用いた。

シリーズⅣ：ICタグを鉄筋（異形棒鋼D13）に取付け、その後コンクリートを打ち込んだ。ICタグを鉄筋の前部に取り付けたケース（図2のⅣ-1）、背部に取り付けたケース（図2のⅣ-2）および側部に取り付けたケース（図2のⅣ-3）を計画した。なお、ここではリーダーと正対する面を鉄筋の前部と定義した。かぶり厚さを想定し、コンクリートへの鉄筋の埋込み深さを30mmとした。ICタグには(a)、(c)および(e)の3種類を用いた。

シリーズⅤ：写真4に示すように緩衝材を介在させてICタグを鉄筋に取り付け、コンクリートを打ち込んだ。シリーズⅣと同様に、ICタグの取付け位置を鉄筋の前部、背部および側部（それぞれ図2のⅤ-1、Ⅴ-2およびⅤ-3）とした。鉄筋の埋込み深さは30mmとした。ICタグには(a)、(c)および(e)の

表3 コンクリートの調合およびフレッシュ性状の試験結果

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					フレッシュ性状の試験結果		
	水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤※	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
50	182	364	777	962	3.86	15.0	5.6	29.4

※ AE減水剤標準形 (I 種)

表4 コンクリートの圧縮強度および含水率

	材齢4d (脱型直後)	材齢11d (脱型後7d)	材齢32d (脱型後28d)	材齢158d (脱型後154d)
圧縮強度 (N/mm ²)	17.7	23.8	29.6	30.2
含水率 (%)	6.6	4.6	3.7	3.2

図2 コンクリート試験体中へのICタグの埋込みおよび読取り可能距離の測定

写真3 ICタグのコンクリート中への埋込み (シリーズⅡ)

写真4 緩衝材を介してのICタグの鉄筋への取付け (シリーズⅤ)

写真5 コンクリート試験体中に埋め込んだICタグの読取り可能距離の測定状況

3種類を用いた。

コンクリート試験体は材齢4日に脱型した。硬化したコンクリートの圧縮強度および含水率を表4に示す。

2.3 ICタグとリーダの通信距離の測定

図2および写真5に示すように、ICタグのID番号（個々のICタグに記録された固有の番号であり、最も基本的な情報）が読み取れることを確認しながらリーダをコンクリート試験体から5mm単位で順次離していき、読取り可能な限界位置におけるコンクリート表面からリーダまでの距離を測定した。この測定作業を3回実施し、測定値の平均を読取り可能距離と定義した。ただし、シリーズⅠではICタグからリーダまでの測定距離からシリーズⅡ～Ⅴの標準的なコンクリート埋込み深さである30mmを差し引くことで仮想的な読取り可能距離を定義し、シリーズⅡ～Ⅴと同じ尺度で比較できるようにした。

シリーズⅡ～Ⅴにおける読取り可能距離の測定は、表2に示すようにコンクリート試験体の脱型直後、脱型から7日後および28日後にそれぞれ実施した。ただし、UHF帯専用機(E)のリーダを用いた測定は、機器準備の都合上、脱型から154日後に実施した。

3. 実験結果および考察

3.1 ICタグ・リーダの種類と読取り可能距離の関係（シリーズⅠおよびシリーズⅡ）

図3にICタグ・リーダの種類と読取り可能距離の関係を示す。図3において空気中と表記したものはシリーズⅠの結果である。13.56MHz帯に比べて2.45GHzおよびUHF帯は通信距離の点で有利であることが知られているが、本実験でも同様の結果が得られた。空気中における13.56MHz帯の読取り可能距離は40～100mmと短かったが、2.45GHz帯の読取り可能距離は500mm以上であり、特にリーダ(C)+ICタグ(c)の組み合わせでは読取り可能距離が905mmであった。一般にICタグに内蔵されたアンテナの寸法が大きいほど通信距離が長いことが知られている。ICタグ(c)の方がICタグ(d)よりも読取り可能距離が長いのはアンテナの大きさに起因するものと考えられる。空気中におけるUHF帯の読取り可能距離は出力10mWのリーダ(D)を用いた場合は210～280mmであるが、出力500mWのリーダ(E)+ICタグ(e)の組み合わせでは2650mmと最長であった。ICタグ(e)の方がICタグ(f)よりも読取り可能距離が長いのはアンテナの大きさに起因するものと考えられる。

図3においてコンクリート中と表記したものは、シリーズⅡのうちICタグの埋込み深さが30mmの場合での測定結果である。空気中（シリーズⅠ）と比較して全体的に読取り可能距離は短くなるが、リーダ(B)+ICタグ(b)の組み合わせを除き、コンクリート中の深さ30mmの位置にICタグを埋め込んでも情報を読み取ることが可能であった。空気中での結果と同様に13.56MHz帯に比べて2.45GHz帯およびUHF帯では読取り可能距離が長く、リーダ(C)+ICタグ(c)の組み合わせでは270mm、リーダ(E)+ICタグ(e)の組み合わせでは1650mmの読取り可能距離であった。UHF帯については、リーダ(D)を用いた測定はコンクリート試験体の脱型から28日後に実施してお

り、リーダ(E)を用いた測定は脱型から154日後に実施している。測定時期は異なるが、表4からわかるように脱型28日後と脱型154日後では圧縮強度および含水率に大きな差異はないことから、両者の読取り可能距離の違いはリーダの出力の違いに大きく起因するものと考えられる。

3.2 コンクリート脱型後の経過日数と読取り可能距離の関係（シリーズⅡ）

図4にコンクリート脱型後の経過日数と読取り可能距離の関係（埋込み深さ30mmおよび50mmの場合）を示す。一般に13.56MHz帯で

図3 ICタグ・リーダの種類と読取り可能距離（シリーズⅠ，Ⅱ）

図4 コンクリート脱型後の経過日数と読取り可能距離（シリーズⅡ）

図5 コンクリート中の埋込み深さと読取り可能距離（シリーズⅡ）

は通信性に対する水の影響が比較的少なく、反対に2.45GHz帯では水の影響を大きく受けることが知られているが、本実験でも同様の結果が得られた。13.56MHz帯ではコンクリート脱型後の経過日数に関わらず同程度の読取り可能距離を示したが、2.45GHz帯ではコンクリート脱型後の経過日数によって読取り可能距離が異なった。すなわち、表4からもわかるように脱型後の日数が経過してコンクリートの含水率が減少するのにともない2.45GHz帯での読取り可能距離は長くなった。同様に、UHF帯でも脱型後の日数が経過するのにともない読取り可能距離が長くなる傾向が同えた。しかし、埋込み深さ30mmと50mmを比較すると、2.45GHz帯についてはICタグとリーダの間により多くの水が存在する埋込み深さ50mmの方が読取り可能距離が長くなった。この原因については不明であった。

3.3 コンクリート中の埋込み深さと読取り可能距離の関係 (シリーズⅡ)

図5にコンクリート中の埋込み深さと読取り可能距離の関係を示す。ICタグのコンクリート中への埋込み深さが深いほど通信の障害が大きいと考えられる。13.56MHz帯および2.45GHz帯では埋込み深さが深いほど読取り可能距離が短くなる結果が得られた。しかし、UHF帯についてはリーダ(D)+ICタグ(e)の組み合わせでは埋込み深さに関わらず読取り可能距離は70mm、リーダ(E)+ICタグ(e)の組み合わせでは埋込み深さ10、30および50mmにおいて読取り可能距離は1630～1650mmとなり、いずれも埋込み深さに関わらず同程度の読取り可能距離を示した。

なお、13.56MHz帯の埋込み深さ0mmのICタグ(a)は読取り不可能であったが、これについてはICタグの防水性が不完全であったこと、コンクリート打込み時あるいは脱型時にICタグが破損したこと等の原因が考えられる。また、2.45GHz帯の埋込み深さ30mmのICタグ(c)やUHF帯の埋込み深さ0mmのICタグ(e)についても読取り可能距離が極端に短くなり、必ずしも安定した通信性が確保できないケースがあった。

3.4 ICタグへの緩衝材取付けの効果 (シリーズⅢ)

著者らによる既往の研究⁵⁾では、ICタグとリーダの間にコンクリート板を介在させて通信性(電波の透過性)を調べている。その結果、ICタグをコンクリート板に密着させた場合は読み取りが不可能であったが、ICタグとコンクリート板の間にわずかな空気層を設けた場合は読み取りが可能であった。すなわち、コンクリート中のICタグ周囲に空気層を設けることにより、通信性の改善が期待できる。そこで、本研究では空気を含んだ緩衝材を用いて意図的にコンクリート中のICタグ周囲に空気層を設けて、その効果を調べた。

図6に、ICタグ裏面あるいは表面に緩衝材を取り付けてコンクリート試験体中に埋め込んだ場合の読取り可能距離を示す。2.45GHz帯ではICタグの裏面に緩衝材を取り付けた場合に明らかな効果が認められ、緩衝材なしの場合に比べて1.6倍の読取り可能距離となった。反対に、UHF帯ではICタグの表面に緩衝材を取り付けた場合に明らかな効果が認められ、緩衝材なしの場合に比べてリーダ(D)+ICタグ(e)の組み合わせでは1.6倍、リーダ(E)+ICタグ(e)の組み合わせでは1.4倍の読取り可能距離となった。その一方で、13.56MHz帯では緩衝材に

よる明らかな効果は認められなかった。

3.5 読取り可能距離に及ぼす鉄筋の影響 (シリーズⅣ)

実際の建築工事ではICタグをコンクリート打込み前の鉄筋に固定することも想定される。しかし、ICタグを金属に密着させると、金属表面から発生する磁界や反射波の影響によってICタグとリーダの通信性が急激に低下することが知られている。そこで、鉄筋の前面、背部および側部(それぞれ図2のⅣ-1、Ⅳ-2およびⅣ-3)にICタグを取り付けた後コンクリートを打ち込み、通信性に及ぼす鉄筋の影響を調べた。

図7に、ICタグを鉄筋に取り付けてコンクリート試験体中に埋め込んだ

図6 ICタグへの緩衝材取付けの効果 (シリーズⅢ)

図7 読取り可能距離に及ぼす鉄筋の影響 (シリーズⅣ)

図8 読取り可能距離に及ぼす鉄筋の影響 (シリーズⅤ-緩衝材あり)

だ場合の読取り可能距離を示す。13.56MHz帯では鉄筋の影響により読取り可能距離は低下するが、読み取りが可能であった。13.56MHz帯ではICタグと金属の距離をある程度確保すれば通信が可能であることが報告されている^{3),4)}。本研究のケースでは鉄筋（異形棒鋼）表面のリブによりICタグと鉄筋に部分的な隙間が形成され、鉄筋の影響が低減できたものと考えられる。2.45GHz帯ではICタグを鉄筋の背部に取り付けた場合（ICタグとリーダの間に鉄筋が存在）を除いて通信が可能であり、ICタグを鉄筋の前部に取り付けた場合では鉄筋なしの場合と同程度の読取り可能距離となった。さらに、2.45GHz帯でICタグを鉄筋の側部に取り付けた場合には、鉄筋なしの場合の1.8倍の読取り可能距離が得られた。これはICタグの平面部（アンテナ部）がリーダと正対せずに90°の角度となる向きに取り付けられたことにより、鉄筋表面の磁界や電波反射が効果的に働いたことが推測される。UHF帯では鉄筋の影響により読取り可能距離が大幅に低下するが、ICタグを鉄筋の背部に取り付けた場合を除き、通信が可能であった。出力が大きなりーダ(E)を用いた場合にはICタグを鉄筋の背部に取り付けても通信が可能であった。

3.6 緩衝材取付けによる鉄筋の影響の低減効果（シリーズV）

3.5では、ICタグをコンクリート中の鉄筋に固定した場合、特に13.56MHz帯およびUHF帯のICタグでは鉄筋から発生する磁界や反射波の影響により読取り可能距離が低下することが明らかになった。そこで、ICタグと鉄筋の間に一定の距離を確保することによって、意図的に鉄筋の影響を低減させることを試みた。すなわち、ICタグを緩衝材を介在させて鉄筋の前部、背部および側部（それぞれ図2のV-1、V-2およびV-3）に取り付け、通信性に及ぼす鉄筋の影響を緩衝材により低減する効果を調べた。

図8に、緩衝材を介在させてICタグを鉄筋に取り付けてコンクリート試験体中に埋め込んだ場合の読取り可能距離を示す。図7と図8を比較すると、UHF帯では緩衝材を介在させたことにより、鉄筋の影響を低減させる効果が明確に認められた。また、ICタグを鉄筋の背部に取り付けた場合でも緩衝材を介在させれば通信が可能であった。その一方で、13.56MHz帯では緩衝材を介在させたことによる鉄筋の影響の低減効果は認められなかった。2.45GHz帯でも緩衝材を介在させたことにより読取り可能距離が長くなった。ICタグを鉄筋の前部または側部に取り付けた場合は鉄筋なしの場合よりも読取り可能距離が長くなり、ICタグと鉄筋の距離を4mm程度確保すれば、ICタグの通信性に及ぼす鉄筋の影響はほとんど現れない。ただし、ICタグを鉄筋の背部に取り付けた場合は通信が不可能であった。

3.7 今後の課題

本報では、コンクリート中に埋め込んだICタグの耐久性については検討していない。しかし、RFID技術を建築物の長期的な維持管理に役立てるには検討すべき課題である。今後、本実験で作製したICタグを埋め込んだコンクリート試験体を用いて、長期間にわたるICタグの読取り可能距離の測定を継続し、その変化等を適宜報告する予定である。

4. まとめ

コンクリート系材料・部材にICタグを取り付ける場合の1つの方法として、ICタグを硬化前のコンクリート内部に埋め込む方法が考えられる。本研究では、各種のICタグをコンクリート試験体に埋め

込み、リーダによる読取り可能距離を調査した。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) ICタグをコンクリート中に埋め込んでいない状態に比べて読取り可能距離は短くなるが、2.45GHz帯およびUHF帯ではコンクリート中の深さ30mmの位置にICタグを埋め込んでも情報を読み取ることが可能であった。13.56MHz帯についても一部のICタグとリーダの組み合わせを除き、情報を読み取ることができた。
- 2) 材齢4日の脱型直後からICタグの情報を読み取ることが可能であった。13.56MHz帯ではコンクリート脱型後の経過日数に関わらず同程度の読取り可能距離を示した。2.45GHz帯およびUHF帯ではコンクリート脱型後の日数が経過してコンクリートの含水率が減少するのにともなって読取り可能距離が長くなった。
- 3) コンクリート中の埋込み深さが深いほど13.56MHz帯および2.45GHz帯では読取り可能距離が短くなった。しかし、UHF帯では埋込み深さに関わらず同程度の読取り可能距離を示した。
- 4) コンクリート中に埋め込んだICタグの周囲にわずかな空気層を設けることにより、読取り可能距離が長くなった。空気層なしの場合に比べて、2.45GHz帯ではICタグの裏面に空気層を設けた場合に、またUHF帯ではICタグの表面に空気層を設けた場合にそれぞれ読取り可能距離が長くなった。
- 5) ICタグを鉄筋（異形棒鋼）に取り付けてコンクリート中に埋め込んだ場合は鉄筋の影響により読取り可能距離は低下するが、ICタグを鉄筋の背部に取り付けた場合（ICタグとリーダの間に鉄筋が存在）を除き、通信が可能であった。
- 6) ICタグと鉄筋の距離を4mm程度確保してコンクリート中に埋め込んだ場合、2.45GHz帯およびUHF帯では読取り可能距離に及ぼす鉄筋の影響を低減させることができた。

備考

本研究は、第一著者が平成20年3月まで在籍していた独立行政法人建築研究所の研究課題「無線ICタグの建築における活用技術の開発ー既存ストック流通促進のための建物履歴情報の管理・活用技術の開発ー」の一部として実施したものであることを付記する。

参考文献

- 1) 松本慎也，大久保孝昭ほか：PCa コンクリート部材の施工におけるRFID技術の活用に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.2，日本コンクリート工学協会，pp.253-258，2007
- 2) 中島史郎，中川貴文ほか：RFIDを活用した建物履歴情報管理手法の開発ーシステムの概要と改修工事における適用事例ー，日本建築学会技術報告集，第27号，pp.17-20，2008.6
- 3) 小川彰一，金田由久ほか：RFIDタグのPCグラウト充填検査への適用に関する検討，コンクリート構造物の補修・補強・アップグレード論文報告集，第6巻，日本材料学会，pp.61-66，2006.10
- 4) 小川彰一，佐藤達三：センサ機能付ICタグの構造物維持管理への適用，セメント・コンクリート，No.725，セメント協会，pp.28-32，2007.7
- 5) 山田人司，大久保孝昭ほか：無線ICタグ技術活用による建築生産および維持管理の高度化のための基礎実験 その2 リーダー／ライター専用機を用いたPCa部材の情報管理，日本建築学会学術講演梗概集A-1，pp.821-822，2006.9

[2008年6月19日原稿受理 2008年8月18日採用決定]