

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 30 日現在

機関番号：12201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656320

研究課題名(和文)コンクリートのトレーサビリティ管理システム開発に向けての基礎研究

研究課題名(英文)Feasibility study on the traceability system of concrete production

研究代表者

杉山 央(Sugiyama, Hisashi)

宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：50344015

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：コンクリートのトレーサビリティを確保するための方策の1つとして、各種履歴情報または識別番号を記録したICタグをコンクリート自身に投入する管理システムの開発を目指している。その前段階として、本研究ではコンクリート中に投入されたICタグの通信距離と指向性を明らかにし、コンクリートへのICタグ必要投入個数を計算する方法を提案した。また、コンクリート中に投入されたICタグがコンクリートの耐久性に悪影響を及ぼさないかどうかについて実験的調査を行った。

研究成果の概要(英文)：It is important to develop an information traceability system on the process of concrete production. One method is to record an identification number or the information about the concrete production with wireless IC tag, and to put it into the concrete that has not yet hardened. This method has a characteristic to keep the information inside the concrete itself. On the other hand, this method requires communication performance between IC tag inside the concrete and the IC reader/writer (R/W) outside the concrete. The communication performance of IC tag embedded into the concrete was examined in this study.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学 建築構造・材料

キーワード：コンクリート 製造情報 ICタグ 信頼性 透明性

1. 研究開始当初の背景

建築分野で用いるコンクリートの製造過程でのトレーサビリティ確保への要望が高まっている。コンクリートは硬化前の半製品の状態で生コンクリート工場から建築現場に納入されるため、電化製品のように識別のためのシールやプレートを取り付けることができない。そこで、図1に示すような無線通信で識別が可能な IC タグを硬化前のコンクリートに投入する方法に着目した。しかし、一般に IC タグは空气中で無線通信するものであり、コンクリート中に投入された状態で通信できるのか、また IC タグがコンクリートの耐久性に悪影響を及ぼさないかどうか等について十分に調査する必要がある。

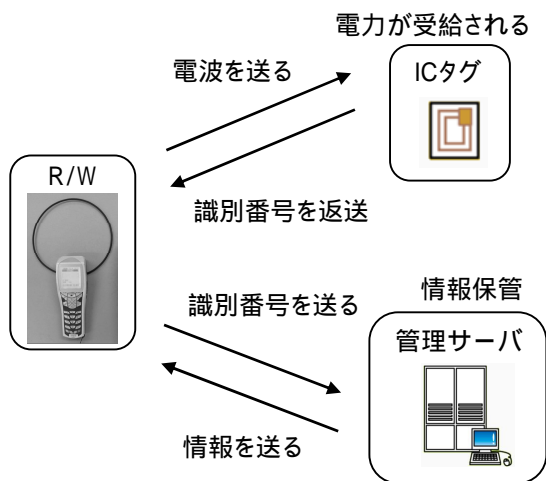


図1 IC タグの無線による情報通信

2. 研究の目的

本研究は、コンクリートのトレーサビリティ管理システムの実現に向けた基礎研究として、以下の検討を行うことを目的とする。

- (1) コンクリート中に投入した IC タグは、コンクリート外部の情報読み取り機器 (リーダー/ライター、以下 R/W と略記) と無線通信できるかどうかの調査。

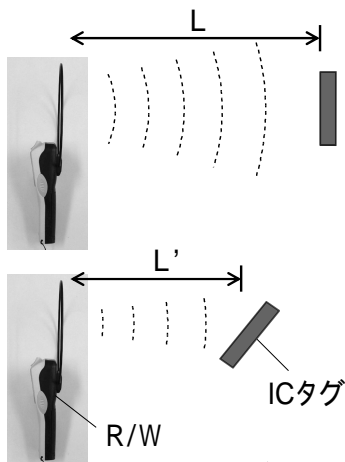


図2 IC タグと R/W の通信の指向性

- (2) 空气中での IC タグと R/W の無線通信には図2に示すような指向性 (IC タグの向きによって通信距離が変化する性質) が存在する。コンクリート中の IC タグにも指向性が存在するかどうかの調査。
- (3) コンクリート中に投入した IC タグの通信性および指向性をふまえ、何個の IC タグを投入すれば必ず通信できる IC タグをコンクリート中に存在させることができるのか、その必要投入個数の検討。
- (4) コンクリート中に投入した IC タグがコンクリートの耐久性に及ぼす影響についての調査。

3. 研究の方法

- (1) コンクリート中の IC タグの通信距離通信に使用する周波数帯 (HF 帯、UHF 帯) や形状・寸法の異なる 5 種類の IC タグ (表1参照) をコンクリート試験体の表面から深さ 50 ~ 300mm の位置にそれぞれ計画的に埋め込み、コンクリート外部からの通信可能深さを測定した。写真1に測定状況を示す。

表1 実験に使用した各種 IC タグの概要

通信の周波数 記号	HF帯 (13.56MHz)			UHF帯 (953MHz)	
	H1	H2	H3	U1	U2
写真					
形状	コイン型	コイン型	パレット型	コイン型	キーリング型
ケースの材質	PBT樹脂	ABS樹脂	ABS樹脂	ABS樹脂	PPS樹脂
外形寸法(mm)	25 × 3	21.5 × 3	8 × 22	30 × 3	39 × 35 × 6.5 (L × W × H)
質量(g)	1.9	1.3	1.7	2.5	6.9
密度(g/cm ³)	1.3	1.2	1.5	1.2	1.6
空气中での最大通信距離(mm)	170	120	135	1040	1010



写真1 IC タグの通信可能深さの測定

- (2) コンクリート中の IC タグの通信指向性 IC タグの通信の指向性を調べるために、表1に示した IC タグをそれぞれ1個ずつ中心部に埋め込んだ球状のモルタル試験体 (直径 150mm) を作製した。図3に示すように、XYZ 空間の XY 面および XZ 面において、球状モルタル試験体中の IC タグに対して 30° 刻みの角度から通信可能距離を測定した。な

お、本実験で取り上げた IC タグにはケースの形状に応じた円形または円柱形のアンテナが組み込まれているため、XY 面における通信可能距離はどの通信角度でも同程度であり、指向性は認められなかった。そこで、XZ 面におけるそれぞれの通信角度（以降、 θ と表記）と通信可能距離の関係を中心に調査することとした。写真 2 に測定状況を示す。また、比較のため、各種 IC タグの空気中における通信指向性も調査した。

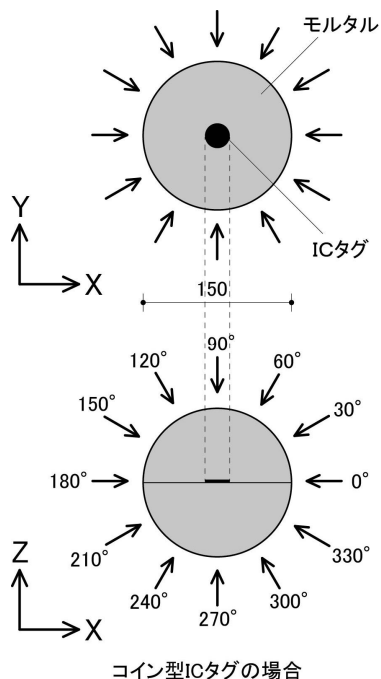


図 3 IC タグの通信指向性の調査方法

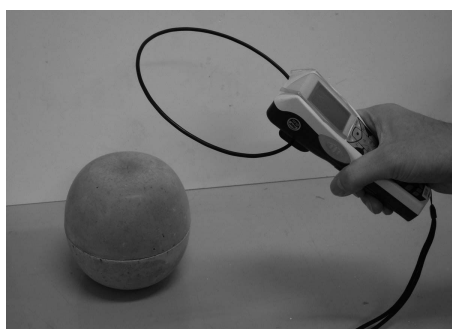


写真 2 IC タグの通信指向性の測定

(3) IC タグの必要投入個数

コンクリート中に投入した IC タグの通信可能深さおよび指向性の調査結果より、何個の IC タグを投入すれば必ず通信できる IC タグをコンクリート中に存在させることができるのか、その必要投入個数の計算方法を検討する。

(4) コンクリートの耐久性に及ぼす影響

コンクリート中に投入した IC タグがコンクリートの耐久性に及ぼす影響について調べるため、表 1 に示した IC タグをそれぞれ

1 個ずつ埋め込んだコンクリート試験体の温冷繰り返し実験および乾湿繰り返し実験を行った。

温冷繰り返し実験では、20℃ - 80℃ - 20℃ を 1 サイクルとした温冷繰り返しを 40 サイクル行った。2 サイクルごとにコンクリート試験体におけるクラック等の目視確認および IC タグの通信の可否を調べた。

乾湿繰り返し実験では、コンクリート試験体を水中（20℃）に 3 日間浸漬させ、その後 3 日間乾燥（105℃）させるサイクルを 10 回繰り返した。水中浸漬、乾燥が終了するごとにコンクリート試験体におけるクラック等の目視確認および IC タグの通信の可否・距離を調べた。

4. 研究成果

(1) コンクリート中の IC タグの通信距離

各種 IC タグのコンクリートへの埋込み深さと通信の可否の調査結果を表 2 に示す。なお、いずれの IC タグも埋込み深さ 200mm 以上の条件においては通信不可であった。通信可能な IC タグの最大埋め込み深さを通信可能深さと定義する。HF 帯 IC タグでは材齢の経過にともなう通信可能深さの変化は認められず、H1 では 150mm、H2 および H3 では 100mm の通信可能深さであった。

一方、UHF 帯 IC タグの U1 および U2 の通信可能深さは、両者に共通して材齢 3 か月で 50mm、17 か月および 21 か月で 100mm であった。UHF 帯 IC タグの通信性は敏感かつ不安定な傾向があり、特に本実験のように屋外での測定結果には大きな変動が発生することがある。また、コンクリート中の UHF 帯 IC タグの通信性は、コンクリートの含水率に影響を受けることが確認されている。これら 2 つの原因より、U1 および U2 の通信可能深さが材齢ごとに差異を示したものと考えられる。

表 2 IC タグの埋込み深さと通信の可否

○:通信可, ×:通信不可

測定 材齢	埋込み 深さ(mm)	HF帯			UHF帯	
		H1	H2	H3	U1	U2
3か月	50					
	100				×	×
	150		×	×	×	×
	200	×	×	×	×	×
17か月	50					
	100					
	150		×	×	×	×
	200	×	×	×	×	×
21か月	50					
	100					
	150		×	×	×	×
	200	×	×	×	×	×

ICタグとR/Wの通信角度 =90°

(2) コンクリート中の IC タグの通信指向性
 空気中における各種 IC タグの通信指向性の調査結果を図 4 に示す。HF 帯の各種 IC タグに共通して、 $=90^\circ$ および 270° において通信可能距離が最大となった。一方、 $=0^\circ$ および 180° において通信可能距離が大幅に低下し、強い指向性が認められた。IC タグごとの比較では、H2 および H3 に比べて H1 の方が大きな通信可能距離を示した。この理由として、H1 の方が大きなサイズのアンテナを内蔵しており、通信に有利であったことが考えられる。

UHF 帯 IC タグでは、HF 帯 IC タグと同様に $=90^\circ$ および 270° において通信可能距離が最大となった。しかし、 $=0^\circ$ および 180° では、他の通信角度より若干通信可能距離が小さくなるものの、HF 帯 IC タグのような著しい低下ではなかった。すなわち、HF 帯 IC タグに比べると、UHF 帯 IC タグはそれほど強い指向性を有していない。UHF 帯の電波は回り込みが大きい特徴を有しているが、IC タグの周囲に電波が回り込むことによって通信の指向性が緩やかになったと考えられる。

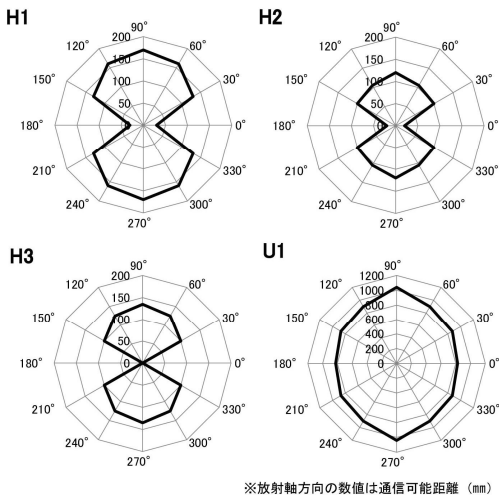


図 4 IC タグの通信指向性（空気中）

球状モルタル試験体中における各種 IC タグの通信指向性の調査結果を図 5 に示す。HF 帯 IC タグについては、空気中の通信で認められた $=0^\circ$ および 180° における通信可能距離の大幅な低下は認められず、通信角度による通信可能距離の差異は小さかった。すなわち、空気中に比べて指向性が緩やかであった。これは、通信の電波がモルタル中で屈折、反射等を起こし、IC タグの周囲に電波が回り込むことによって通信の指向性が緩やかになったことが原因と推測される。HF 帯 IC タグでは、 $=0^\circ$ および 180° を除く通信角度における通信可能距離は空気中の場合と大差なく、モルタルによって通信可能距離が低下するような影響は認められなかった。また、モルタル含水率 6% と 10% の場

合で通信可能距離の差異は小さく、HF 帯 IC タグについてはモルタル含水率の通信可能距離への影響は小さいことが確認された。

一方、UHF 帯 IC タグでは、空気中に比べて、すべての通信角度において通信可能距離が大幅に低下した。HF 帯 IC タグとは異なり、UHF 帯 IC タグではモルタルが通信の障害となっていることがわかる。指向性については、空気中と同様に通信可能距離が大きく低下する通信角度は認められなかった。また、モルタル含水率 6% と 10% の場合で通信可能距離に明確な差異が認められ、含水率の大きいほど通信可能距離が小さくなった。UHF 帯 IC タグについてはモルタル含水率の通信可能距離への影響が大きいことがわかる。

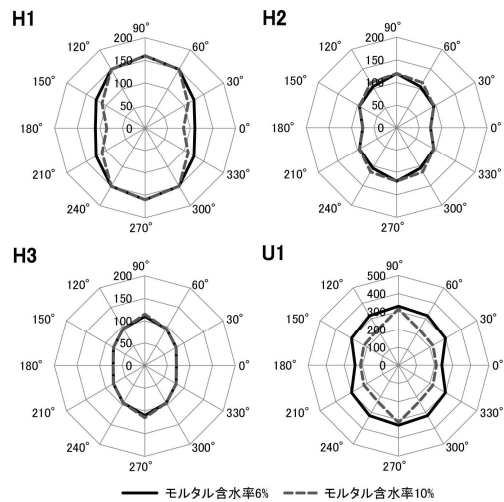


図 5 IC タグの通信指向性（モルタル中）

(3) IC タグの必要投入個数

平板状コンクリート部材を対象とし、部材中に位置する IC タグのイメージを図 6 に示す。IC タグを投入したコンクリートを型枠に打ち込んで部材を形成した場合、IC タグは部材中の任意の深さ位置で、任意の向きとなって存在する。まずは、平板状コンクリート部材内に IC タグを 1 個入れた場合に通信可能となる確率（以降、通信可能確率と略記）を検討する。H1 および U1 の IC タグを取り上げ、平板状コンクリート部材中の IC タグの通信角度と通信可能深さの関係を図化したものをそれぞれ図 7 および図 8 に示す。

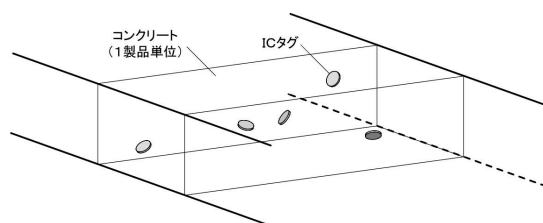


図 6 平板状コンクリート部材中に位置する IC タグのイメージ

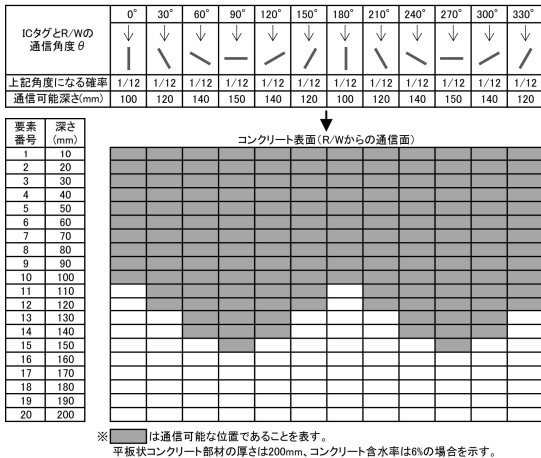


図7 平板状コンクリート部材中のICタグの通信角度と通信可能深さの関係(H1)

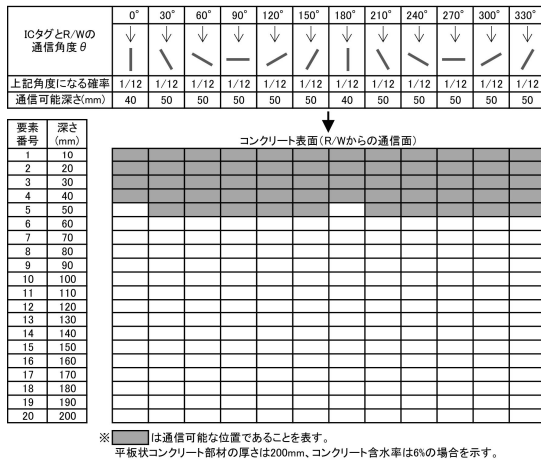


図8 平板状コンクリート部材中のICタグの通信角度と通信可能深さの関係(U1)

図7および図8を参考とし、平板状コンクリート部材内に存在するICタグの通信可能確率を考える。厚さT(mm)の平板状コンクリート部材を10mm厚の要素に分割し、それぞれの要素内にICタグが存在する確率にそのICタグの通信可能確率を乗じ、すべての要素分を合計すると、厚さT(mm)の平板状コンクリート部材内に存在するICタグの通信可能確率が算出できる。計算例として、厚さが150および200mm、コンクリートの含水率が6%および10%である4種類の平板状コンクリート部材を取り上げ、それぞれの部材内での各種ICタグの通信可能確率を表3に示す。

次に、平板状コンクリート部材中に通信可能なICタグを存在させることを目的とし、1製品単位あたりのコンクリートへのICタグの必要投入数量を検討する。すなわち、平板状コンクリート部材中に通信可能なICタグを少なくとも1つは存在させるために1製品単位のコンクリート中に何個のICタグを投入すればよいのかというICタグの必要投入数量を対象としている。通常は、生コンク

リート運搬車1台分のコンクリートが同一場所に打ち込まれることを仮定して、これを1製品単位と考えることが多い。

表3 平板状コンクリート部材中での各種ICタグの通信可能確率

表中の数値の単位: %

ICタグの種類	計算値			
	厚さ150mm		厚さ200mm	
	含水率6%	含水率10%	含水率6%	含水率10%
H1	86	78	64	58
H2	56	60	42	45
H3	53	51	40	38
U1	32	21	24	16
U2	23	20	18	15

平板状コンクリート部材中に複数個のICタグが存在する場合、すべてのICタグが通信不可能な深さ位置に存在するケースや、通信不可能な向きとなるケースもある。複数個のICタグのすべてが通信不可能となる確率を計算する。ある一定以上の確率で通信可能なICタグを存在させることを考えると、通信不可能確率が一定以下になるようにすればよい。計算例として、95%以上の確率で通信可能なICタグを存在させるために1製品単位あたりのコンクリート中に投入すべきICタグの必要数量を表4に示す。平板状コンクリート部材を施工する場合は、1製品単位すなわち生コンクリート運搬車1台分のコンクリートにつき、表4に示す数量のICタグを投入すれば95%以上の確率で通信可能なICタグを存在させることができる。

表4 平板状コンクリート部材中への各種ICタグの必要投入数量

表中の数値の単位: 個

ICタグの種類	計算値			
	厚さ150mm		厚さ200mm	
	含水率6%	含水率10%	含水率6%	含水率10%
H1	2	2	3	4
H2	4	4	6	6
H3	4	5	6	7
U1	8	13	11	18
U2	12	14	16	19

(4) コンクリートの耐久性に及ぼす影響
 温冷繰り返し実験および乾湿繰り返し実験においてクラック等は発生せず、コンクリートへの悪影響は認められなかった。一方、H3のタグは通信不可能となり、またH2およびU1のタグではケースに変形が見られた。ABS樹脂は耐熱性が低いため、このような不具合が発生したものと考えられる。耐熱性が高い樹脂でケースが作られているH1およびU2のタグでは変形は認められなかった。
 建築物の長い供用期間においては、温冷繰り返しや乾湿繰り返しが作用し、コンクリー

トに埋め込まれる IC タグにも、それらに対する抵抗性が求められるため、ケースに用いる樹脂の選択も重要となる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計9件)

H. Sugiyama: Communication performance of IC tag embedded into concrete for the purpose of information traceability, Proceedings of Second Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures (CD-ROM 配布, ISBN 978-033-04055-7), 査読あり, 8 ページ, Istanbul (Republic of Turkey), 2013

杉山 央, 角倉英明, 江里口玲: IC タグを活用したコンクリートのトレーサビリティ確保技術 - コンクリート中に投入する IC タグの必要数量算出手法 -, 日本建築学会構造系論文集, 査読あり, 第 78 巻, 第 688 号, 2013, pp.1045-1053

江里口玲, 杉山 央ほか 3 名(2 番目): コンクリートのトレーサビリティ確保のための IC タグの活用技術 - コンクリート舗装施工実験 -, 日本建築学会技術報告集, 査読あり, 第 18 巻, 第 40 号, 2012, pp.829-834

角倉英明, 杉山 央ほか 4 名(3 番目): トレーサビリティと IC タグ利用に対する生コンクリート製造者の意識に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, 査読あり, 第 18 巻, 第 40 号, 2012, pp.823-828

[学会発表](計18件)

高山純一, 杉山 央ほか 2 名(2 番目): IC タグを活用したコンクリートのトレーサビリティ確保技術に関する研究 その 1 IC タグを埋め込むことによるコンクリートへの影響, 日本建築学会大会, 北海道大学, 2013.8

宮澤友基, 杉山 央ほか 2 名(2 番目): IC タグを活用したコンクリートのトレーサビリティ確保技術に関する研究 その 2 鉄筋コンクリート試験体中に埋め込まれた IC タグの通信性, 日本建築学会大会, 北海道大学, 2013.8

6. 研究組織

(1)研究代表者

杉山 央 (SUGIYAMA HISASHI)
宇都宮大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 50344015

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし