

平成 30 年 5 月 7 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26420543

研究課題名(和文) コンクリートのライフサイクル履歴情報管理システムに関する研究

研究課題名(英文) Lifecycle information management system of concrete

研究代表者

杉山 央 (SUGIYAMA, HISASHI)

宇都宮大学・地域デザイン科学部・教授

研究者番号：50344015

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：建築材料として用いるコンクリートの信頼性向上を目的として、その製造過程における各種情報を記録・保存するトレーサビリティ管理システムを構築した。さらに、その後の施工および維持管理段階における各種情報も記録・保存する仕組みを付与して、コンクリートの製造から解体に至るまでのライフサイクルを対象とした履歴情報管理システムへ拡張させた。トレーサビリティを管理するためには、コンクリートに識別番号を付与すること、およびそれに対応した履歴情報を記録・保存することが重要である。前者については、ICタグを識別媒体としてコンクリート中に投入する技術を導入した。

研究成果の概要(英文)：Concrete is delivered from ready-mixed concrete plants to construction sites in the form of unhardened half-finished materials. Proper strength and durability can be verified only after its hardening. Therefore, it can be said that concrete is a construction material that requires a traceability assurance system that is more meticulous than those for other industrial products. The lifecycle information management system of concrete was developed in this study by making use of the IC tag technology. Various information regarding concrete production/works were recorded and maintained in the system.

研究分野：工学・建築学・建築材料

キーワード：コンクリート 履歴情報 トレーサビリティ 品質管理 信頼性

### 1. 研究開始当初の背景

建築分野の主幹材料であるコンクリートは、硬化前の状態で生コンクリート工場から出荷され、施工現場に納入される。適正な強度を有しているかが判明するのは硬化後すなわち施工後である。施工後に不具合が判明した場合、その修復には多大な費用・労力がかかる。このような点で、コンクリートは綿密なトレーサビリティ確保体制が必要な製品といえる。そこで、研究代表者らはコンクリートの製造・施工過程における各種情報を記録・保存する技術について検討してきた<sup>1)</sup>。

トレーサビリティを確保するためには、製品を識別できること、およびそれに対応した履歴情報を記録・保存することが重要である。前者について、研究代表者らは IC タグを硬化前のコンクリートに投入し、硬化後もそのままコンクリート中で識別番号として活用することを考えた。無線通信機器であるリーダー/ライタ (以降、R/W と略記) から IC タグに電波を送ることで、IC タグへの情報の記録、IC タグからの情報の入手が行える。

これまでの研究では、コンクリート中の IC タグとコンクリート外部の R/W が通信可能であること<sup>2), 3)</sup>、また IC タグが内部にあってもコンクリートの物性に悪影響がないことが明らかとなり<sup>4)</sup>、コンクリート舗装路の試験施工におけるフィールド実験<sup>5)</sup>も実施した。続いて、無筋コンクリート中での IC タグの通信可能確率を明らかにした上で、無筋コンクリート部材中に必ず通信可能な IC タグを存在させるためには 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必要投入数量を計算する方法を提案する<sup>6)</sup>等、研究を重ねてきた。

次ステップとして、実務に適用するには鉄筋の影響も加味すべきであり、鉄筋コンクリート中の IC タグと鉄筋コンクリート外部の R/W の通信可能確率について解明する必要がある。さらに、コンクリートの製造、施工、維持管理段階において記録・保管すべき情報の抽出・整理およびトレーサビリティ管理システムの構築に関する検討が必要である。

### 2. 研究の目的

建築材料として用いるコンクリートの信頼性向上を目的として、その製造過程における各種情報を記録・保存するトレーサビリティ管理システムを構築する。さらに、その後の施工および維持管理段階における各種情報も記録・保存する仕組みを付与して、コンクリートの製造から解体に至るまでのライフサイクルを対象とした履歴情報管理システムへと拡張させる。

トレーサビリティを管理するためには、コンクリートに識別番号を付与すること、およびそれに対応した履歴情報を記録・保存することの 2 つが重要である。前者については IC タグを識別媒体として利用できることが明らかになっている。本研究課題では、主に後

者について検討し、図 1 に示すようなコンクリートの製造から解体に至るまでのライフサイクルを対象とした履歴情報管理システムを構築するため、以下の検討を行う。

- (1) 鉄筋コンクリート中の IC タグと鉄筋コンクリート外部の R/W の通信性に関する調査
- (2) コンクリートのライフサイクル履歴情報管理システムのプロトタイプ構築
- (3) 実際の建築工事におけるライフサイクル履歴情報管理システムの実証実験

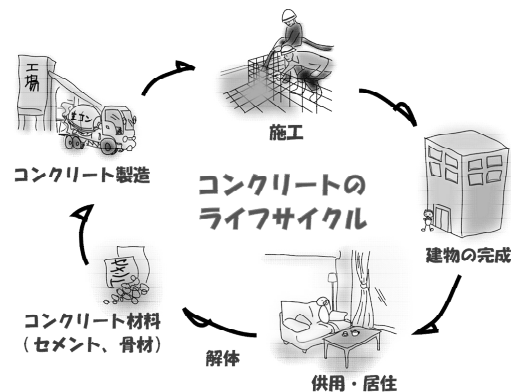


図 1 コンクリートのライフサイクル

### 3. 研究の方法

- (1) 鉄筋コンクリート中の IC タグの通信性  
鉄筋コンクリート中に投入された IC タグの向き (通信角度) および鉄筋との位置関係については、図 2 に示すように種々のケースがあり、これにともなって R/W と IC タグの通信性も異なる。例えば、図 3 に示すように、R/W と IC タグが正対していれば通信可能距離 (図 3 中の L) が長い。IC タグが斜めに電波を受ける場合は通信可能距離が短くなり、さらに R/W と IC タグの間に鉄筋が存在すると通信可能距離は一層短くなると推測される。

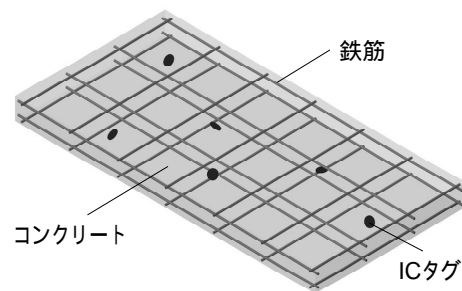


図 2 鉄筋コンクリート中の IC タグ

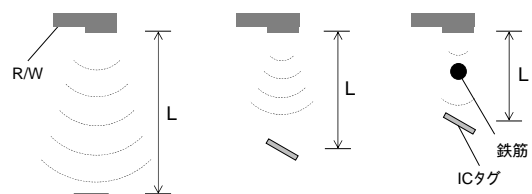


図 3 IC タグの通信の指向性と鉄筋の影響

そこで、鉄筋を内部に配置したコンクリート試験体(写真1)を作製し、ICタグとR/Wの通信可能確率について調査した。

鉄筋コンクリート試験体には、鉄筋が存在しない部分、鉄筋が1本通っている部分、鉄筋が2本交差している部分において、それぞれ50、100、150および200mmのコンクリート厚さが残るように穴が設けられている。この穴の内部にICタグを埋め込んだモルタルを挿入して、外部のR/Wとの通信性を調査した(写真2)。

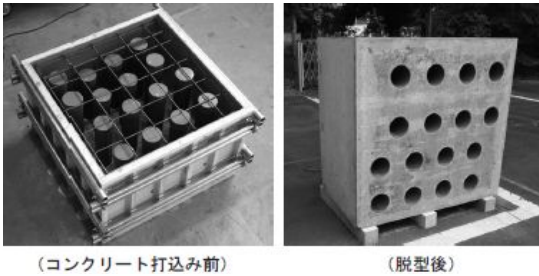


写真1 鉄筋コンクリート試験体



写真2 通信性の調査の様子

#### (2) ライフサイクル履歴情報管理システム

まずは、ライフサイクル情報管理システムにおけるICタグの活用方法について検討した。一般的なICタグの活用方法としては、メモリ方式およびID方式が挙げられるが、それらのメリットとデメリットを整理するとともに、本システムに最適なICタグの活用方法を提案した。

続いて、コンクリートの製造、施工、維持管理および解体のライフサイクルにおいて記録・保管すべき情報を抽出・整理した。すなわち、JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)および日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事を参考に、生コンの製造段階、施工段階および維持管理段階において情報となり得る項目(全223項目)を抽出した。また、生コンクリート製造者、建築施工者、維持管理者へのヒアリング調査を行い、情報の優先順位を検討した。

ここで、ICタグの記録容量が重要になるが、一般的に用いられているISO/IEC 15693に適合したHF帯(周波数13.56MHz)のICタグでは固定ID以外のユーザーエリア(ユーザー自由に書き込める領域)が110bytes

(1byte=半角英数字1字)のものが多いため、この記録容量を基本情報の目安にすることとした。

最後に、ICタグに情報を記録する流れを検討し、ライフサイクル履歴情報管理システムを構築した。

#### (3) 実際の建築工事における実証実験

実際の建築工事において、ライフサイクル履歴情報管理システムの実証実験を行う。本システムは、コンクリートの製造から解体に至るまでの履歴情報管理システムを目指しているが、このライフサイクルは数十年の期間に及ぶため、実証実験ではコンクリートの製造から建物の完成までを対象とする。

#### 4. 研究成果

##### (1) 鉄筋コンクリート中のICタグの通信性

表1のように、鉄筋コンクリート中の鉄筋とICタグの水平位置の関係を、ICタグの中心の座標(x, y)によってケースA~Fの6つに分類した。ケースAは、ICタグの最外部と鉄筋の水平距離が5mmを超える範囲である。ケースBは、ICタグの最外部が鉄筋交差部の背面にある範囲である。ケースCは、ICタグの最外部が鉄筋交差部と重なっていないが、鉄筋交差部の近傍(x, yともに5mm以内)にある範囲である。ケースDは、ICタグの中心が鉄筋(1本)の背面に隠れる範囲である。ケースEは、ICタグの中心は鉄筋と重なっていないが、ICタグの最外部が鉄筋(1本)と重なる範囲である。ケースFは、ICタグの最外部が鉄筋と重なっていないが、鉄筋の近傍(x, yの一方が5mm以内)にある範囲である。

表1 鉄筋とICタグの水平位置の関係

ケースA	ケースB	ケースC
ケースD	ケースE	ケースF

鉄筋コンクリート中に投入されたICタグは任意の方向を向いているので、R/Wとの通信においても様々な角度を持つことになり、表1中のそれぞれの位置においてICタグの通信角度を考える必要がある。そこで、4つの回転軸を設定してICタグの通信角度を検討することとした。一例として、表1のケースDにおける4つの回転軸a, b, cおよびdを図4に示す。aは鉄筋と平行な回転軸であり、b, cおよびdは鉄筋に対してそれぞれ

45、90 および 135° の角度を有する回転軸である。鉄筋が存在しないコンクリート中であれば回転軸による差異は生じないが、図4のように R/W と IC タグの間に鉄筋が存在すると回転軸による差異が現れる。

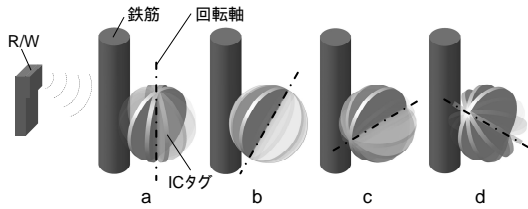


図4 鉄筋と IC タグの角度の関係

それぞれの回転軸を中心に IC タグはある角度を有しているが、その角度に応じて通信可能深さも異なる。そこで、R/W と IC タグの通信角度（回転角度）を 15° 刻みで、0、15、30、...、330 および 345° の 24 通りに設定した。一例として、表1のケース D で回転軸 a における通信角度 を図5に示す。

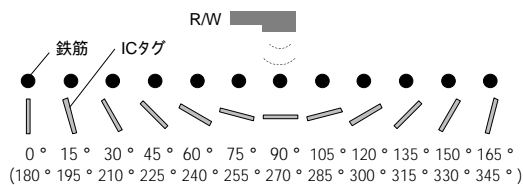


図5 R/W と IC タグの通信角度

以上のような組み合わせにおいて、鉄筋コンクリート中の IC タグの通信可能深さを測定した。測定結果の一例として、ケース D における通信可能深さを表2に示す。

表2 通信可能深さ（ケース D）

表中の数値の単位:mm

通信角度	回転軸			
	a	b	c	d
0°	80	80	90	80
15°	90	90	90	90
30°	100	100	100	100
45°	110	110	110	110
60°	130	130	130	130
75°	130	130	130	130
90°	130	130	130	130
105°	130	130	130	130
120°	130	130	130	130
135°	110	110	110	110
150°	100	100	100	100
165°	90	90	90	90
180°	80	80	90	80
195°	90	90	90	90
210°	100	100	100	100
225°	110	110	110	110
240°	130	130	130	130
255°	130	130	130	130
270°	130	130	130	130
285°	130	130	130	130
300°	130	130	130	130
315°	110	110	110	110
330°	100	100	100	100
345°	90	90	90	90

(2) ライフサイクル履歴情報管理システム

IC タグの活用方法としては、図6に示す IC タグ内にすべての情報を記録するメモリ方式、図7に示す IC タグには製品と紐付けられた ID のみを記録し、情報管理サーバーに ID を問い合わせることで情報を得る ID 方式の 2 つが代表的である。メモリ方式では、インターネット環境が整備されていなくても情報を入手できる反面、記録容量が大きい特殊な IC タグが必要となる。ID 方式では、記録容量の小さな IC タグで十分であるが、インターネット環境が必須となる。

そこで、本研究課題ではメモリ方式と ID 方式を組み合わせた図8のハイブリッド方式を提案した。ハイブリッド方式では、基本情報を IC タグに記録し、容量の大きな詳細情報をサーバーに記録する仕組みとなっている。現地では基本情報がすぐに入手でき、かつサーバーと通信すれば詳細情報が入手できる。各種方式のメリットおよびデメリットは、表3に示すように整理できる。

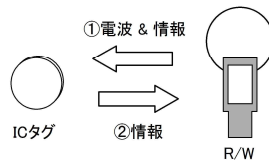


図6 メモリ方式

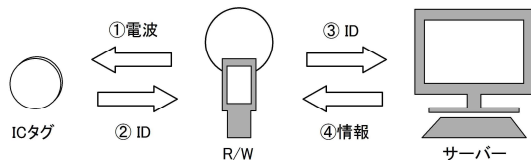


図7 ID方式

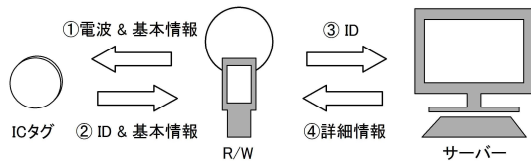


図8 ハイブリッド方式

表3 IC タグの各種活用方式の比較

	メリット	デメリット
メモリ方式	・現地で、すぐに情報が入手できる。	・記録容量の大きなICタグが必要となり、コスト増につながる。 ・ICタグへの情報記録には時間がかかる。
ID方式	・記録容量の小さなICタグで十分なので、コストが抑えられる。 ・サーバーへの情報記録には時間がかからない	・インターネット環境が整っていないと(サーバーと通信できない)、情報が入手できない。
ハイブリッド方式	・現地では基本情報がすぐに入手でき、サーバーと通信すれば詳細情報が入手できる。 ・標準的な記録容量のICタグでよい。	・システムが複雑になる。



情報の優先順位を検討するための参考として、生コンクリート製造者（2社）、建築施工者（2社）および維持管理者（1社）へのヒアリング調査を実施した。

生コン製造段階の情報として、生コンクリート製造者、施工者に共通して、配合計画書を残すことが重要との回答が得られた。生コンクリート受入れ時の検査結果および材齢4週の強度試験結果については、生コン製造者、施工者、維持管理者に共通して、重要な情報であるとの回答であった。

施工段階の情報については、生コンクリート製造者から打込み時（受入れ時）の天候・気温、養生期間（脱型日）などの情報も残してほしいとの意見があった。これは、硬化コンクリートの品質が、製造だけでなく、施工の良否にも左右されるためとの理由による。

維持管理段階の情報については、維持管理者より定期点検を行った年月日、大規模点検を行った年月日およびコア採取による試験結果を残しておきたいとの意見があった。

以上より、生コンクリートの製造段階、施工段階および維持管理段階における情報の重要度を表4に示すとおりに整理した。

表4 情報の重要度および分類

大分類	小分類	項目	重要度 <sup>1</sup>	情報の分類 <sup>2</sup>	
				基本情報	詳細情報
生コン製造段階	製造工場	工場の名称			
		工場の場所			
		工場の連絡先			
	製造・出荷・納入の履歴	製造年月日			
		出荷伝票			
		出荷時刻			
		納入時刻			
	調合	計画調合			
		計量印字記録			
		材料供給会社名			
		材料の種類			
使用材料	材料の種類				
	材料の試験結果				
施工段階	施工業者	業者の名称			
		業者の場所			
		業者の連絡先			
	生コン受入れ	生コン納入書			
		受入れ検査結果			
		受入れ時の天候			
		受入れ時の外気温			
	施工	打込み場所			
		施工中の写真			
		脱型日			
		強度試験結果			
維持管理段階	維持管理業者	業者の名称			
		業者の場所			
		業者の連絡先			
	定期点検	点検の年月日			
		点検の内容			
		点検の結果			
		補修年月日			
	大規模点検	点検の年月日			
		点検の内容			
		点検の結果			
		補修年月日			
		補修内容			

1 : 特に重要、: 重要、: あまり重要ではない

2 : すべての情報を保管、: 選択・簡略化した情報を保管、: 状況に応じて情報を保管

既述のとおり、図8に示したハイブリッド方式では基本情報をICタグに、詳細情報をサーバーに記録する仕組みとしているが、表4で重要度が「特に重要」と評価した情報はなるべく基本情報に取り入れる方針で分類

した結果も表4に示した。

ICタグに記録する基本情報の容量制限を110bytesに設定したため、半角英数字110字以内で情報を記録しなければならない。そこで、効率的に基本情報を記録・保管するため、選択形式等も導入しながら文字数を節約した。表5にICタグに記録する基本情報の詳細を示す。

表5 ICタグに記録する基本情報

大分類	項目	No.	基本情報	サイズ (bytes)	
生コン製造段階	製造工場	1	工場コード	6	
		2	製造年月日(運用日付)	8	
	製造・出荷・納入の履歴	3	出荷連番	3	
		4	出荷伝票No.	4	
		5	出荷時刻	4	
		6	納入時刻	4	
	調合	7	計画調合コード	1	
		使用材料	8	セメント種類	2
			9	細骨材種類	3
			10	粗骨材種類	3
			11	混和材料種類	1
施工段階	生コン受入れ	12	スランプ試験結果	3	
		13	空気量試験結果	2	
		14	コンクリート温度	3	
		15	受入れ時の天候	1	
		16	受入れ時の外気温	4	
		17	脱型した月日	4	
	施工	18	4週強度試験結果	4	
	維持管理段階	定期点検	19	点検の年月日	8
20			点検に伴う補修年月日	8	
大規模点検		21	点検の年月日	8	
		22	点検に伴う補修年月日	8	
		23	コア採取日	8	
		24	コア強度試験結果	4	
		25	コア中性化速度係数	3	
			合計	107	

ICタグをコンクリートに投入する時期については、コンクリート荷卸し時に圧送ポンプのホッパーに投入する時期が最適であるとの検討結果が得られた。そこで、ICタグを圧送ポンプのホッパーに投入する場合の情報記録の流れを図9のように提案した。

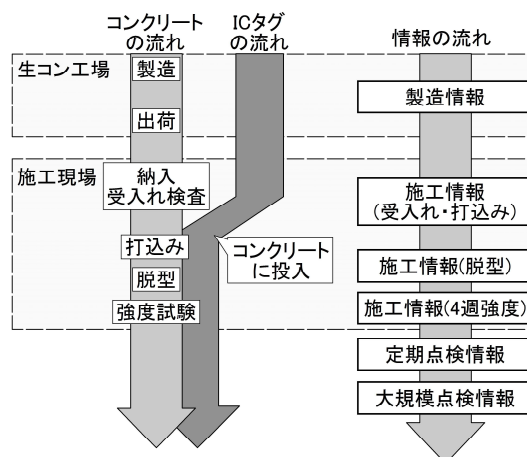


図9 情報記録の流れ

### (3) 実際の建築工事における実証実験

実際の鉄筋コンクリート床部材（建築物の2階部分、平面寸法：15000×10000mm）の施工において、ライフサイクル履歴情報管理システムの実証実験を行った（写真3）。



（コンクリートへのICタグ投入）

（投入されたICタグ）

写真3 実証実験の様子

本研究課題で提案したライフサイクル履歴情報管理システムが問題なく運用できることを確認した。ただし、ライフサイクルは数十年の期間に及ぶため、実証実験ではコンクリートの製造から建物の完成までを対象とした。

また、実証実験ではICタグを50個投入し、そのうち通信可能であったものは29個であり、通信可能確率は58%であった。一方、本研究課題で提案した鉄筋コンクリート中のICタグの通信可能確率の予測計算法では70%と算出され、少なからず課題も残った。

#### <参考文献>

- 1) 杉山 央：建築生産におけるICタグの活用 - コンクリートのトレーサビリティ確保技術の高度化に向けて - ，建築コスト研究，建築コスト管理システム研究所，No.68，pp.21-25，2010
- 2) 杉山 央ほか：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，日本建築学会技術報告集，第15巻，第29号，pp.9-14，2009
- 3) 杉山 央ほか：大型コンクリート試験体に埋め込んだ各種ICタグの通信性に関する研究，日本建築学会技術報告集，第17巻，第35号，pp.5-10，2011
- 4) 大久保 孝昭ほか：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 - 製造時に投入するICタグの評価 - ，日本建築学会技術報告集，第18巻，第38号，pp.31-36，2012
- 5) 江里口 玲ほか：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，第18巻，第40号，pp.829-834，2012
- 6) 杉山 央ほか：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，第78巻，第688号，pp.1045-1053，2013

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計18件)

飯島 玲，杉山 央：コンクリートのトレーサビリティ確保における記録情報に関する研究，日本建築学会技術報告集，査読あり，第24巻，第57号，pp.491-496，2018  
DOI <http://doi.org/10.3130/aijt.24.491>

杉山 央，藤本 郷史，飯島 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 - 鉄筋コンクリート床部材中に投入したICタグの通信可能確率 - ，日本建築学会構造系論文集，日本建築学会構造系論文集，査読あり，第82巻，第731号，2017，pp.11-21  
DOI <http://doi.org/10.3130/aijs.82.11>

杉山 央：コンクリートの信頼性向上を目指したICタグ技術の利用，コンクリート工学，査読なし，Vol.52，No.9，pp.839-844，2014

杉山 央ほか9名(1番目)：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委員会報告，コンクリート工学年次論文集，査読なし，Vol.36，No.1，pp.28-37，2014

他14件

〔学会発表〕(計23件)

飯島 玲，杉山 央：コンクリートのトレーサビリティ確保における記録情報に関する研究，日本建築学会大会，2015

宮澤 友基，杉山 央：コンクリートのトレーサビリティ確保技術 - 鉄筋コンクリート床部材中の通信指向性 - ，日本コンクリート工学会関東支部栃木地区研究発表会，2015

宮澤 友基，杉山 央，藤本 郷史：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 - 鉄筋コンクリート床部材中に投入するICタグについての検討 - ，日本建築学会大会，2014

他20件

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

杉山 央 (SUGIYAMA HISASHI)

宇都宮大学・地域デザイン科学部・教授  
研究者番号：50344015

#### (2) 研究分担者

なし

#### (3) 連携研究者

なし

#### (4) 研究協力者

なし