

# コンクリートへの IC チップの埋設による構造物の維持管理の可能性についての研究

○河野 秀和\*1 岡崎 哲二\*2 中田 隆\*3 栗田 英明\*4 河合 研至\*5

**要旨：**コンクリートにデータを記録した IC チップを埋設することによって、構造物の供用期間中においてデータを基にした適切な維持管理を行い、構造物の延命化を図るとともに、解体時において発生するコンクリートの再利用の最適化を目的として、コンクリートへの IC チップの埋設による構造物の維持管理の可能性に関する基礎的実験を行った。その結果、コンクリートに埋設したままの状態 IC チップの情報を読み取ることは不可能であったが、コンクリートから取り出した IC チップは健全な状態を保ち情報を保持しており、コンクリートに多量投入した IC チップがコンクリートの力学的特性に対して影響は及ぼさないことが確認された。

**キーワード：**IC チップ

## 1. はじめに

近年、コンクリート構造物の耐震補強や老朽化による劣化の補修が多く施工されている。特に古い構造物においては、施工年度、用いたコンクリート材料、配合等が不明確で補修工法を検討する上で支障になるケースが見受けられる。将来的に安心できるコンクリート構造物を保持するために、その諸元の履歴をその場で判断できれば、維持管理の方法がより容易にかつ早くなり、コンクリート構造物に対する製造業者や施工業者の自己責任の意識も高まると考える。また、これによってコンクリート構造物をより長期間使用できれば、廃棄物の量も軽減することが可能となる。さらには、コンクリートの諸元を知ることにより、将来必ず必要とされている再生骨材や再生骨材を使用したコンクリートの普及に寄与できるものと考えられる。

本研究では、以上のことを背景として、コンクリートの種類、使用材料、配合及び施工に関するデータを記録した IC チップをコンクリートに埋設し、この IC チップを活用することによるコンクリート構造物の維持管理の可能性について、基礎的な実験的検討を行った。

## 2. 実験の概要

### 2. 1 使用材料および配合

実験には表-1 に示す材料を使用し、建築構造物と土木構造物の標準的な配合を各 1 種類選定して、コンクリートの配合は表-2 のようにした。使用した IC チップ (RFID タグ) は、日立製作所製のミューチップ (長さ 53.0mm, 幅 2.375mm) で、情報を記録するチップそのものの大きさは 0.4mm 角で 128bit のメモリを有し、唯一・独自の ID により高セキュリティを実現する。緒元の記録には「IC タグ情報管理システム」を用いる (写真-1 参照)。

---

\*1 広島県東部生コンクリート協同組合

\*2 三谷建設株式会社

\*3 日工株式会社

\*4 広島県東部生コンクリート協同組合

\*5 広島大学大学院工学研究科

## 2. 2 実験シリーズ

実験は、以下の2シリーズで行った。

### (1) 実験1

実験1では、コンクリートに埋設したICチップのデータの読み取りの可否、ICチップ埋設がコンクリート圧縮強度に及ぼす影響、ICチップのアルカリ環境下での耐久性について確認した。

実機練りミキサーで1.0 m<sup>3</sup>のコンクリートを練り混ぜ、フレッシュコンクリートの品質を確認した後、圧縮試験用供試体を作製した。このとき、ICチップを1供試体に所定の個数を埋め込み、各材齢における圧縮強度と、ICチップからのデータの読み取り試験を行った。供試体へのICチップの埋設数と埋設位置を図-1に示す。また、圧縮強度試験終了後の供試体からICチップを取り出し、データの読み取りを行った。さらに、コンクリート中におけるICチップの耐久性を確認する観点から、ICチップを0.1N NaOH溶液、0.1N KOH溶液、飽和Ca(OH)<sub>2</sub>溶液、3% NaCl溶液にそれぞれ所定期間浸せきした後、ICチップからのデータの読み取り試験を行った。

### (2) 実験2

実験2では、コンクリートに埋設する適切なICチップの個数、硬化後のコンクリートの各種強度に及ぼす影響、コンクリートから取り出し可能なICチップの個数について確認した。

試験室ミキサーで、1バッチ400のコンクリートに対して、ICチップの投入量を5パターンに変化させて練り混ぜ、スランプ、空気量、温度、塩化物量、単位水量の試験を行った後、φ15×30cmの圧縮強度用供試体6本にコンクリートを詰めた。その後、型枠に詰めたコンクリートを洗い出し、存在するICチップの個数を確認した。洗い出しの寸法は5mm目と1.2mm目の木枠フルイを使用し(図-2)、水洗いによってICチップを取り出した。

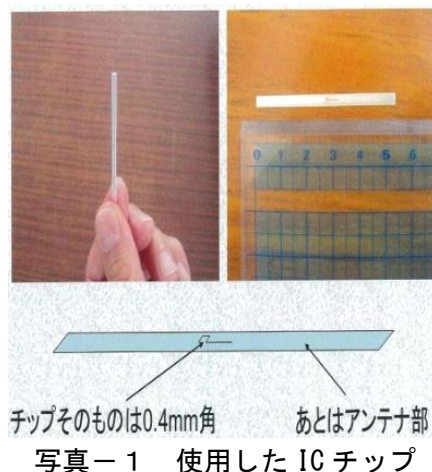


表-1 使用材料（骨材は表乾密度）

材料名	種類及び産地	記号	使用比率	品質密度
セメント	普通ポルトランドセメント	N	—	3.16
	高炉セメントB種	BB	—	3.04
水	地下水	W	10%	—
	上澄水	W	90%	—
細骨材	砕砂（大分県津久見市）	S1	50%	2.65
	高炉スラグ BSF5（広島県福山市）	S2	25%	2.76
	海砂（佐賀県東松浦郡）		25%	2.56
粗骨材	砕石 1505（広島県福山市）	G1	40 20	2.72
	砕石 2010（広島県福山市）	G2	60 40	2.72
	砕石 4020（広島県福山市）	G3	40	2.72
混和剤	AE減水剤標準型	AD		1.06

表-2 使用したコンクリートの配合

配合	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							
		C	W	S1	S2	G1	G2	G3	AD
21-15-20 N W/C=54%	45.6	341	184	400	402	393	589	—	0.853
21-8-40 BB W/C=59%	42.3	269	159	396	398	222	445	445	0.673

型枠寸法  
φ10 (単位cm) φ12.5 (単位cm)

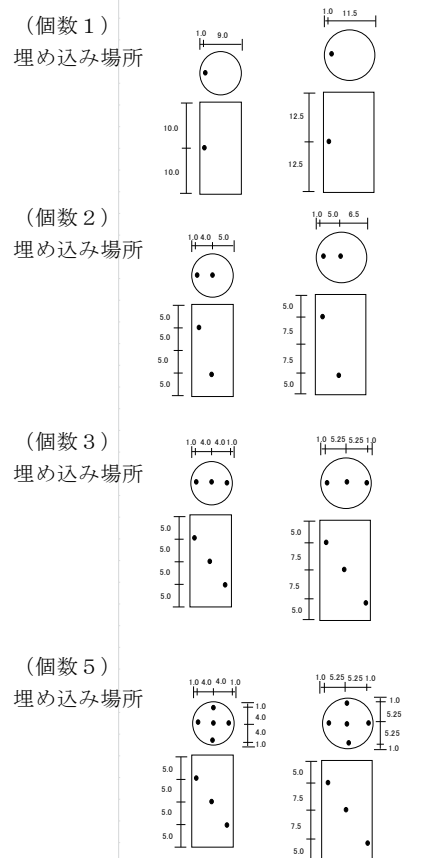


表-3 本実験で行った試験項目と試験方法

試験項目	試験方法	試験項目	試験方法
スランブ試験	JIS A 1101 による	圧縮強度試験	JIS A 1108 による
空気量試験	JIS A 1128 による	割裂引張強度試験	JIS A 1113 による
塩化物量試験	JIS A 1144 による	曲げ強度試験	JIS A 1106 による
単位水量試験	ZKT-210 による		

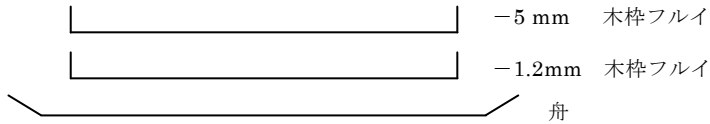


図-2 ICチップ洗い出しの方法

さらに、実機練りミキサーで IC チップを 1000 ケ/m<sup>3</sup> 投入したコンクリートと投入しないコンクリートを練り

混ぜ、それぞれについてフレッシュコンクリートの品質を測定後、圧縮強度試験、割裂引張強度試験、曲げ強度試験、IC チップ偏在試験を行った。IC チップ偏在試験とは、コンクリート内における IC チップの偏在性を確認するための試験で、図-3 に示すような模擬構造体を作製して、材齢 28 日に高さの異なる 3 カ所、位置の異なる 3 カ所よりコアを採取し、コアに含まれる IC チップの数を確認した。

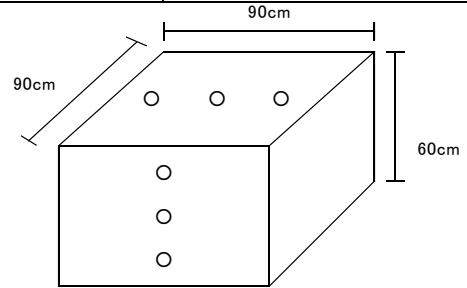


図-3 コア採取位置

### 2.3 試験内容

フレッシュコンクリート、硬化コンクリートに関する各種試験方法は表-3 の通りで、それぞれに準拠して行った。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 実験1

練り混ぜたフレッシュコンクリートの性状に関する測定結果を表-4 に、硬化後の圧縮強度試験結果を表-5、図-4 に示す。なお、表-5 には、IC チップの読み取り試験結果をあわせて示す。

表-5、図-4 から、IC チップを埋設しても圧縮強度の発現に影響はないことが確認された。しかし、いずれの材齢においても、硬化体中の IC チップから情報を読み取ることはできなかった。そのため、埋設された IC チップの状況を確認するために、材齢 7 日の圧縮強度試験を行った供試体を砕いて IC チップを取り出し、読み取りの確認を行った。この試験結果を表-6 に示す。ある程度の個数について IC チップの読み取りが可能であったことから、硬化体内で IC チップは健全である可能性が高い。すなわち、コンクリートが IC チップ読み取りの障害となっていると考えられる。

一方、IC チップを 0.1N NaOH 溶液、0.1N KOH 溶液、飽和 Ca(OH)<sub>2</sub> 溶液、3% NaCl 溶液にそれぞれ浸せきした後に IC チップからのデータの読み取りを行った試験結果を表-7 に示す。ここで、0.1N NaOH 溶液、0.1N KOH 溶液、飽和 Ca(OH)<sub>2</sub> 溶液は、コンクリート細孔溶液中のアルカリを模擬したものであり、3% NaCl 溶液は、コンクリート中に海水が浸入した場合を模擬したものである。材齢 7 日まではすべての IC チップで読み取りが可能であったが、材齢 28 日では 0.1N NaOH 溶液、0.1N KOH 溶液に浸せきした IC チップの一部で読み

表-4 フレッシュコンクリートの測定結果

試験項目	単位	コンクリートの種類	
		24-15-20 N	21-8-40 BB
スランブ	cm	14.5	8.0
空気量	%	4.8	5.0
温度	°C	23.0	23.0
単位水量	kg/m <sup>3</sup>	177.8	160.2
塩化物量	kg/m <sup>3</sup>	0.048	0.042

表-5 圧縮強度試験結果および IC チップのデータ読み取り試験結果

材齢	24-15-20 N			21-8-40 BB		
	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		読み取り 個数	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		読み取り 個数
	チップ 5 個入	チップなし		チップ 5 個入	チップなし	
7 日	27.5	28.5	0	24.9	25.3	0
28 日	38.2	37.0	0	36.4	36.5	0
56 日	41.4	39.1	0	36.1	37.5	0
91 日	39.2	39.6	0	37.9	39.0	0

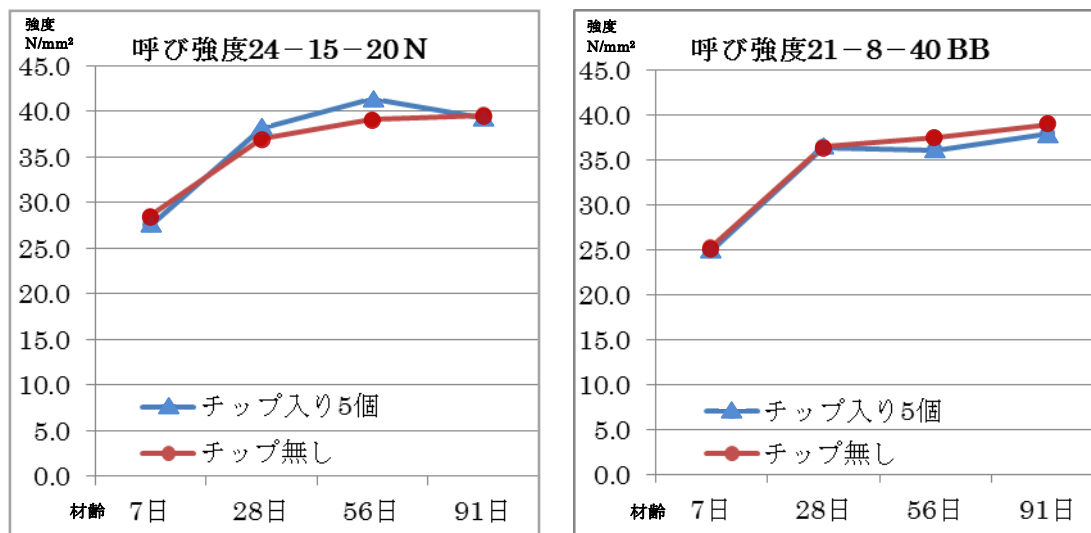


図-4 圧縮強度試験結果

表-6 供試体から取り出した IC チップの読み取り試験結果

供試体の直径 (cm)	番号	確認ができた IC チップの個数
10	a-1	3 個/5 個の中
12.5	c-1	4 個/5 個の中

取りができなくなっている。このことは、IC チップが長期にコンクリート中に埋設された場合、侵食される可能性があることを示唆しており、埋設して使用する場合には IC チップに対して何らかの被覆を行う必要があるものと考えられる。

### 3. 2 実験 2

実験 1 において、コンクリートに埋設した IC チップからはデータの読み取りができないことが明らかとなったことから、IC チップをコンクリート供用中の管理に用いるのではなく、解体時に IC チップを取り出し、その情報を得ることによって、

再生骨材の最適な利用を図る目的として IC チップを利用する観点から実験 2 を実施した。

IC チップを投入した硬化コンクリートの圧縮強度、割裂引張強度、曲げ強度に関する試験結果を、それぞれ図-5、図-6、図-7 に示す。いずれの強度においても、IC チップの投入による影響は見られていない。

表-7 IC チップの安定性試験結果

No.	0.1N NaOH 溶液 1 日	0.1N NaOH 溶液 7 日	0.1N NaOH 溶液 28 日
1	読み取り可	読み取り可	読み取り可
2	読み取り可	読み取り可	読み取り可
3	読み取り可	読み取り可	読み取り不可
	0.1N KOH 溶液 1 日	0.1N KOH 溶液 7 日	0.1N KOH 溶液 28 日
6	読み取り可	読み取り可	読み取り可
7	読み取り可	読み取り可	読み取り不可
8	読み取り可	読み取り可	読み取り不可
	飽和 Ca(OH) <sub>2</sub> 溶液 1 日	飽和 Ca(OH) <sub>2</sub> 溶液 7 日	飽和 Ca(OH) <sub>2</sub> 溶液 28 日
11	読み取り可	読み取り可	読み取り可
12	読み取り可	読み取り可	読み取り可
13	読み取り可	読み取り可	読み取り可
	3% NaCl 溶液 1 日	3% NaCl 溶液 7 日	3% NaCl 溶液 28 日
16	読み取り可	読み取り可	読み取り可
17	読み取り可	読み取り可	読み取り可
18	読み取り可	読み取り可	読み取り可

コンクリートに埋設する IC チップの適切な個数を把握する目的で行った実験結果を表-8に示す。表-8から、200 ケ/m<sup>3</sup>程度ではφ15×30cm 供試体サイズに1ケも IC チップが含まれない可能性があり、500 ケ/m<sup>3</sup>を超えるとほぼ期待値通りの IC チップが確認され、φ15×30cm 供試体サイズで1ケ以上は含まれることが明らかとなった。このことから、IC チップを投入したコンクリートを解体後に IC チップを見つけ出し活用することを容易とするためには、500 ケ/m<sup>3</sup>程度以上の投入が必要であると考えられる。これらのことは、硬化後に取り出しを行った表-9、コア採取から取り出しを行った表-10の結果からもうかがえる。

#### 4. まとめ

以上の実験結果より、以下のことが明らかとなった。

- (1) 本研究で使用した IC チップの場合、コンクリートへの長期間の埋設では侵食を受ける可能性があり、IC チップを長期にわたりコンクリート中へ埋設するためには、被覆等の何らかの処理が必要である。
- (2) コンクリートに埋設された IC チップは、そのままではデータの読み取りはできない。しかし、コンクリートから取り出した IC チップ

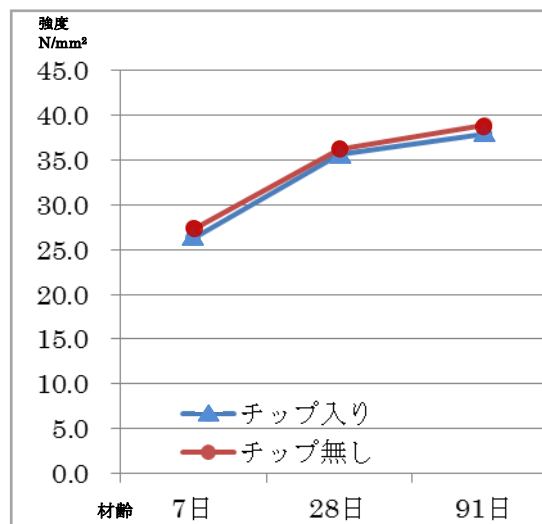


図-5 硬化コンクリートの圧縮強度試験結果

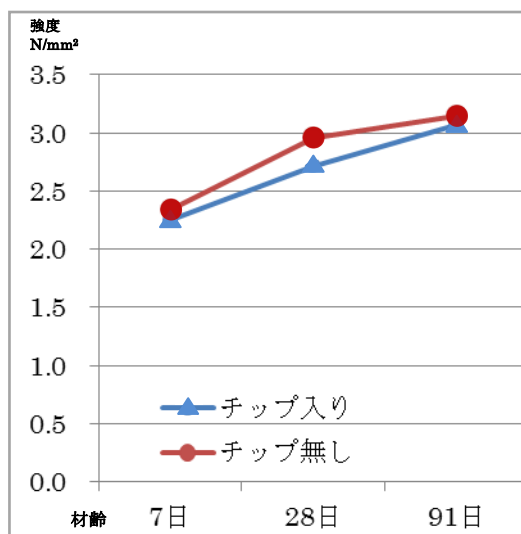


図-6 硬化コンクリートの引張強度試験結果

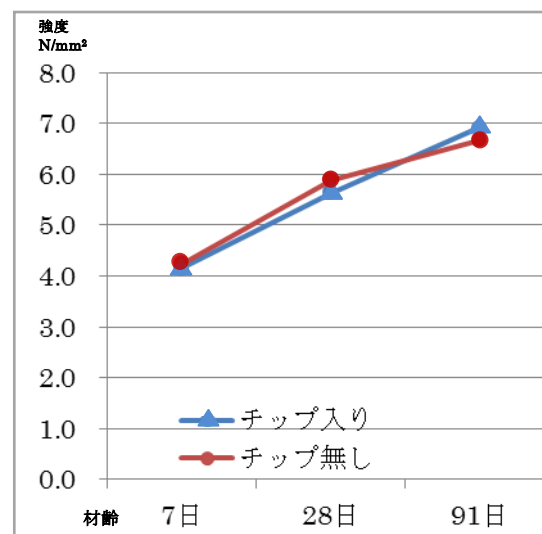


図-7 硬化コンクリートの曲げ強度試験結果

表-8 コンクリートに埋設する IC チップの適切な個数を求める実験結果

試験 No.	IC チップ埋設個数		フレッシュコンクリートの品質				IC チップ取り出し数(個)						平均	期待値	回収率 (%)	
	1.0 m <sup>3</sup>	40ℓ	スランブ(cm)	空気量(%)	温度(℃)	塩化物量(kg/m <sup>3</sup> )	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6				合計
i	200	8	16.0	3.8	15	0.063	1	2	0	0	1	1	5	0.83	1.06	78.3
ii	500	20	15.5	3.8	16	—	3	1	1	5	1	5	16	2.67	2.65	99.3
iii	1000	40	16.5	4.0	16	—	5	6	4	6	5	4	30	5.00	5.30	94.3
iv	5000	200	15.0	3.8	17	—	17	33	31	26	21	23	151	25.2	26.5	95.1
v	10000	400	14.5	3.7	17	—	53	61	36	55	52	52	309	51.5	53.0	97.2

表－9 硬化コンクリートからの IC チップ取り出し個数（小割後取出し）

	供試体寸法	材齢						
		7日	チップ片	28日	チップ片	91日	チップ片	
コン ク リ ー ト 供 試 体	φ100×200 圧縮試験 期待値=1.6	1	1	—	1	—	1	—
		2	0	—	0	—	1	—
		3	2	—	1	—	0	—
		平均	1.0		0.7		0.7	
		混入率(%)	62.5		43.8		43.8	
	φ150×300 圧縮試験 期待値=5.3	1	2	—	2	—	2	—
		2	2	—	3	1	2	—
		3	1	—	3	—	1	—
		平均	1.7		2.7		1.7	
		混入率(%)	32.1		50.9		32.1	
	φ150×300 割裂試験 期待値=5.3	1	2	—	3	—	3	—
		2	2	—	4	1	3	—
		3	3	—	2	—	4	2
		平均	2.3		3.0		3.3	
		混入率(%)	43.4		56.6		62.3	
曲げ試験 期待値=11.9	1	7	1	6	1	8	—	
	2	2	—	6	2	10	—	
	3	9	4	5	2	9	3	
	平均	6.0		5.7		9.0		
	混入率(%)	50.4		47.9		75.6		

表－10 模擬供試体から採取したコアからの IC チップ取り出し個数

ブは、健全なものについては直接読み取りが可能である。また、IC チップのアンテナ部分が破損していても、アンテナ部を補足

コア供試体	供試体寸法		位置	チップ	チップ片	混入率(%)	備考
	φ150×600 期待値=10.6	1	西	9	1	84.9	小割後取出し
2		中央	1	1	9.4	塩酸処理後取り出し	
3		東	3	2	28.3	塩酸処理後取り出し	
φ150×900 期待値=15.9	1	上	9	1	56.6	小割後取り出し	
	2	中央	7	1	44.0	小割後取り出し	
	3	下	11	2	69.2	小割後取り出し	

すればデータの読み取りは可能である。

(3) IC チップを大量投入したコンクリートは、そのコンクリートの力学的特性に影響は与えない。

以上の検討結果を踏まえ、IC チップを様々な環境条件から保護し、長期的かつ安定的に情報の読み取りができるよう IC タグ化し、保護カバーを製作した（写真－2 参照）。IC チップ保護カバーには、作業環境及び自然環境に耐えかつ取扱いの容易な材質であるエラストマーを使用している。また、利便性を高めるために IC チップへの入力プログラムを作成した。開発した保護カバーと入力プログラムを用いて実証実験を実施してきており、現在のところ、2例の実績があり、IC チップの読み取りは良好である。今後、コンクリートの適切な維持管理において、また、解体時のコンクリート再利用に本研究が有用であることを望む。今後の課題として、IC チップのデータ管理を一元化させ、保管する第三者機関の設置が望まれる。



写真－2 保護カバーを取り付けた IC チップ