

コンクリートの充填感知方法に関する研究

——電圧印加方式によるコンクリートの識別——

平田 隆 祥 十河 茂 幸
相原 功

A Study on a Method of Detecting Concrete Filling

——Identifying Concrete and Bleeding Water by Excitation Voltage——

Takayoshi Hirata Shigeyuki Sogo
Isao Aihara

Abstract

Self-compacting concretes such as high-fluidity concrete and steel tube filling concrete have become widely used in recent years. The characteristics of these concretes make them especially useful in parts of structures in which it is difficult to place conventional concrete. In such parts it is usually difficult to visually confirm that the concrete is correctly placed. A simple and accurate method of confirming the placement state is therefore required for quality control.

This paper describes an experimental investigation of a method of identifying the fresh-concrete phase, focusing on the charging efficiency of materials. The method was found to be feasible and reliable for identifying concrete and bleeding water, which has been difficult to detect by conventional means.

概 要

近年、高流動コンクリートや鋼管内充填コンクリートなど締固めを必要としないコンクリートの普及に伴い、その特徴から、充填が困難な構造物への適用が増加している。この様な箇所では、直接目視でコンクリートの充填状況を確認することが困難な場合が多く、品質保証上、充填状態が正確かつ容易に確認できる方法が望まれている。

この研究では、材料の充電特性に着目したフレッシュコンクリートの識別方法の実用性を検証し、その識別精度の確認を行った。その結果、従来識別が難しかったブリーディング水とコンクリートの識別も可能であり、識別の信頼性の高いことが確認された。

1. はじめに

将来予想されるコンクリートの自動化施工を推進する上で、高流動コンクリートは、締固めを必要とせず、流し込むだけで型枠内の充填が可能のため、重要な手段の一つと考えられる。こうした施工では、品質管理上、型枠内にコンクリートが充填する状態を正確に識別することが必要である。ところが従来の充填確認方法では、コンクリートの識別に、コンクリートの温度や電気抵抗、映像などが用いられており、いずれも識別が確実でなかったり、計測が繁雑であったり、高価なものであった。そこで、容易にかつ正確にコンクリートの充填を確認できる方法について検討を行った。

コンクリートに一對の電極を挿入し、その電極間に直流の低電圧を印加（加えること）すると、コンクリート中に存在するイオンが各々の電極に引き寄せられ電極間

が充電される。この充電特性は、材料中のイオン濃度などの影響を受けると考えられ、同様の現象が水やブリーディング水などでも見られる。つまり、個々の材料には固有の充電特性があり、この充電特性の違いを測ることによってコンクリートを識別できる。本報告では、電圧を対象材料に印加してコンクリートを識別する方法（以下、電圧印加方式と呼称）について述べる。

2. 従来の充填感知方法

目視確認のできない箇所において、コンクリートの充填を確認する方法は、表-1に示すように種々の方法がある。大別すると、非接触方式と接触方式の2種類に分けられ、非接触方法では、CCDカメラやファイバースコープを用いて型枠内部を映像で観察する方法や、サーモグラフィーを用いてコンクリートの打込み前後の型枠の温度変化を熱映像としてとらえ、型枠外部から判定する

方法¹⁾、レーザー変位計や超音波変位計を用いてコンクリートの打上り高さを確認する方法がある。しかし、CCDカメラやファイバースコープを用いる方法は、コンクリートの充填を確実に判定できるが、機械が高価なため多数点で同時に観察することが困難であり、また、サーモグラフィを用いる方法では、型枠の近傍のコンクリートしか判定できず、レーザー変位計や超音波変位計では、コンクリートの天端しか判定できない。

一方、接触方式では、型枠の内部に電極を設置し、コンクリートが電極に接触して通電するとランプで知らせる方法や、静電容量タイプのセンサや光センサを用いてコンクリートの充電を確認する方法²⁾がある。また、高周波電源を用いて、コンクリート固有の電気抵抗値を測定して判定する方法がある。しかし、電極を用いる方法や、静電容量タイプのセンサでは、水とコンクリートのいずれもが通電するため、ブリーディング水とコンクリートの識別が明確にできない。また、高周波電源を用いる方法では、ブリーディング水とコンクリートの識別は可能だが、高周波電源を用いるため計測が繁雑であることなどの問題点があった。

3. 電圧印加方式による充填感知の原理

フレッシュコンクリート中には、カルシウムイオンや水酸イオンなど多数の陽イオン・陰イオンが存在するため、このフレッシュコンクリート中に低電圧の電極を挿入すると電極間は充電される。続いて、充電を停止すると電極間に蓄積された電荷が放電される。この放電の過程は、フレッシュコンクリート中のイオン濃度や、材料の粘度など電気伝導度の影響が大きいと考えられ、それぞれの材料で固有の変化を示す。

電圧印加方式の識別原理は、図-1に示す物質固有の電圧変化を利用したものである。つまり図-1のように、コンクリートや水に挿入された電極を一定の低電圧 V_3 で時間 T_1 まで充電すると、電極間は電圧 V_3 に充電される。続いて、充電を停止して放電を開始し、時間 T_2 に電極間に残留していた電圧を計測すると、コンクリートの電圧は V_2 、水は V_1 となり、定量的に材料の種類を識別して充填の確認を行うことができる。

4. 実験概要

4.1 使用材料

実験に用いた材料を表-2に、セメントの物性を表-3に示す。

表-3 セメントの物性

種類	比重	ブレン比表面積 (cm ² /g)	凝結時間 (h-min)		化学組成 (%)								
			始発	終結	ig.loss	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl ⁻	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
NP	3.16	3,390	2-10	3-45	1.0	1.6	0.30	0.47	0.006	48	28	8	8
MP	3.21	3,200	4-15	6-27	1.0	1.1	0.30	0.32	0.007	43	35	4	12
BB	3.04	4,300	2-55	4-25	1.0	3.7	0.25	0.47	0.006	41	-	19	6
LP	3.24	3,060	4-10	6-20	1.0	1.0	0.25	0.34	0.006	21	58	3.2	11.0

表-1 フレッシュコンクリートの充填確認方法

大分類	分類	判定基準	内容	測定範囲	レベル確認	内部空隙確認	ブリーディング水との区別
非接触方式	光学的方法	映像	CCDカメラ、ファイバースコープ等による観察	面	○	×	△
	赤外線法	熱映像	コンクリートの打込み前後の型枠の温度変化測定	面	○	×	×
	変位計測法	変位置	レーザー変位計、超音波変位計等による天端測定	線	○	×	×
接触方式	電気的方法	通電	設置した電極の通電確認	点	△	△	×
		電気抵抗	高周波電源による電極間の抵抗測定	点	△	○	○
		静電容量	電極間に蓄積された静電容量の測定	線	○	△	×
		電圧	電圧印加による電極間の残留電圧測定	点	△	○	○
	変位計測法	変位置	フロート、エンコーダ等による天端測定	線	○	×	×
光学的方法	光	光センサによる確認	点	△	○	×	
その他	目視	光透過型枠による目視観察	面	○	×	○	

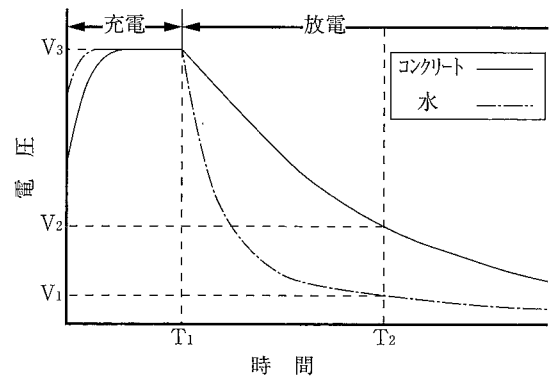


図-1 充・放電に伴う物質の電圧変化

表-2 使用材料

材料	記号	種類	比重	性質・成分
セメント	NP	普通ポルトランドセメント	3.16	表-3 参照
	MP	中熱ポルトランドセメント	3.21	
	BB	高炉セメントB種	3.04	
	LP	低熱ポルトランドセメント	3.24	
細骨材	S	木更津産山砂	2.60	吸水率 1.98% 粗粒率 3.03
粗骨材	G	青梅産碎石	2.66	最大寸法 20 mm 吸水率 1.98% 粗粒率 6.76
混和剤	A1	AE減水剤	1.25	リグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体
	A2	高性能AE減水剤	1.05	ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体
水	W1	地下水	1.00	—
	W2	水道水	1.00	—

表-4 コンクリートの配合

種類	W/C (%)	s/a (%)	単位置 (kg/m ³)				混和剤 (%)
			W	C	S	G	
高流動	30.2	46.8	160	530	770	878	Cx1.7
普通	55.4	42.0	155	280	777	1,098	Cx0.25

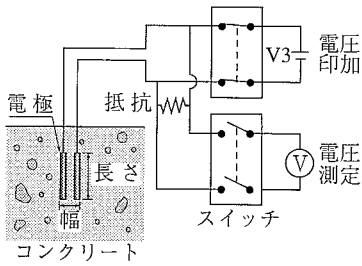


図-2 測定方法

表-5 測定条件

項目	条件
電極の材質	ステンレス製
電極の形状	直径2mmの丸棒状
データロガー	TDS-601A
印加電圧 (V)	6.0
電圧の印加時間 (msec)	20.0
電圧の計測タイミング	電圧印加から60 msec 後
計測ピッチ (sec)	5.0
計測回数	48回 (1計測)

表-6 実験の組合せ

実験	検討項目	測定対象	実験項目	
A	電極の条件 形状の影響	高流動コンクリート (NP 使用)	電極の条件	抵抗 (kΩ) 0.5, 1.0, 2.0, 5.0
			長さ (mm) 5.0, 10.0, 15.0, 20.0	幅 (mm) 5.0, 10.0, 15.0, 20.0
B	各種材料の 識別	高流動コンクリート	抵抗2(kΩ)	セメントの種類 NP, MP, BB, LP
		普通コンクリート		
		フリーディング水 (普通コンクリート)	長さ10(mm)	温度(°C) 10, 20, 30
地下水	幅10(mm)			
		水道水		

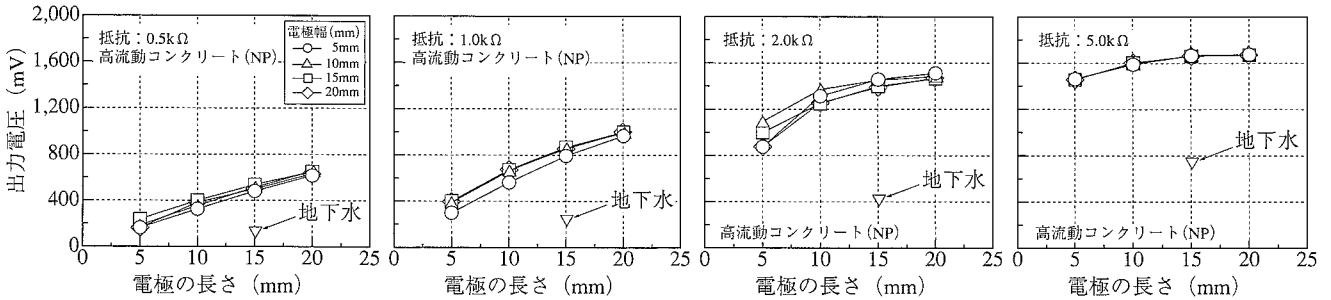


図-3 電極の抵抗・形状と出力電圧

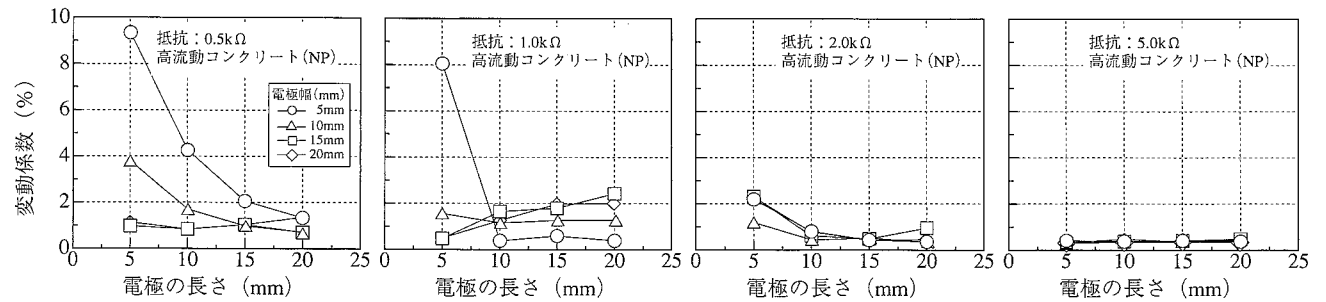


図-4 電極の抵抗・形状と変動係数

4.2 コンクリートの配合

配合は、高流動コンクリートとスランプ12cm程度の普通コンクリートの2種類とし、表-4に示す。また各配合においてセメントの種類を変化させた実験では、セメントの比重の違いによる容積変化を、細骨材の単位容積で調整した。混和剤は、高流動コンクリートには高性能AE減水剤を、普通コンクリートにはAE減水剤を用い、混和剤の添加率は一定とした。

4.3 測定方法

測定方法の概念を図-2に、測定条件を表-5に示す。計測器は汎用のデータロガーを用いた。測定には2回路を使用し、最初に電圧印加回路を用いて、材料間に挿入した直径2mmのステンレス製電極を6Vで20msec間充電し、40msec後、電圧測定回路を用いて電極間に残留した電圧を計測した。計測ピッチは5secとし、1ケースにつき48回(4分間)計測した。

4.4 実験の組合せ

実験の組合せを表-6に示す。実験Aは、普通ポルトランドセメントを使用した高流動コンクリートを用いて、電極の抵抗・長さ・幅の違いが、出力電力と測定精度に

及ぼす影響について検討を行った。実験Bは、セメントの種類を変化させた場合の高流動コンクリートと、普通コンクリートおよびそのフリーディング水、水について測定を行い、各種材料の識別の可能性について検討を行った。

5. 実験結果および考察

5.1 電極の条件・形状の違いが出力電圧に及ぼす影響

電極の条件・形状の違いが出力電圧に及ぼす影響を、図-3に示す。出力電圧は、放電制御を目的とした抵抗値の増加、および電極の長さの増加に伴って増加したが、抵抗値が5kΩ程度となると、電極の長さによる出力電圧値の増加は頭打ちとなった。これは、抵抗値が増加すると、計測で消費される電荷が少なくなり、また、電極の長さが増加すると充電される電荷量が増加するためと考えられる。次に、高流動コンクリートと地下水との識別の程度は、抵抗値2kΩの時最も大きな差を示し、識別が良好であると考えられる。一方、電極幅の違いによる出力電圧の差は、ほとんど見られなかった。

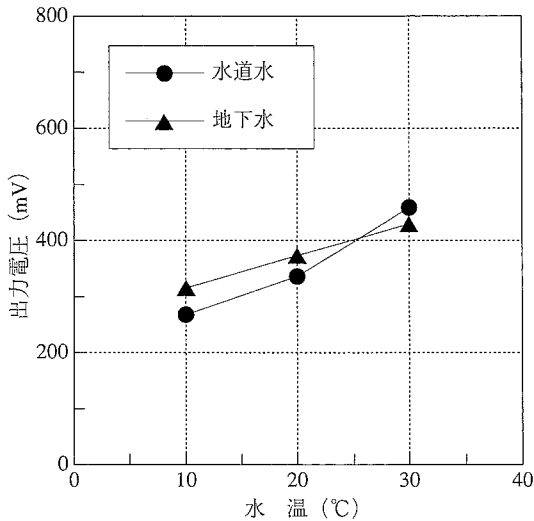


図-5 水温と出力電圧

5.2 電極の条件・形状の違いが測定精度に及ぼす影響

電極の条件・形状の違いが、測定値の変動係数に及ぼす影響を図-4に示す。測定値の変動係数は、抵抗値の増加に伴って小さくなった。このことは、抵抗値の増加により出力電圧値が増加することと考え併せると、抵抗値の増加で、測定に使用する電荷量が少なくなり、電圧値が安定しているためと考えられる。また、電極の幅が小さく、抵抗値が小さいほど変動係数は大きくなった。これは電極幅が小さく、測定に伴う電荷の消費量が大きいと、電極間に存在する細骨材量が測定値に与える影響が大きくなるためと考えられ、骨材に影響されにくい最適値があると考えられる。

以上の結果より、計測に最適で極力小さい電極の条件は、放電制御用抵抗値が2kΩで、電極の長さ10mm、幅10mm程度と考えられ、以下の実験ではこの電極の条件を用いて、計測を行った。

5.3 各種材料の識別の検討

電圧印加方式によるコンクリートの感知方法を用いて、水、ブリーディング水、およびコンクリートが識別できるか検討を行った。図-5に水温と出力電圧の関係を、図-6にセメントの種類を変えた場合の出力電圧の関係を示す。

地下水と水道水の出力電圧値はほぼ同等の値を示し、水温が10°C高くなると出力電圧値は約80mV増加した。これは、温度が高くなることにより、水の電気伝導度が増加したことによると考えられる。次に、高流動コンクリートと普通コンクリートの出力電圧値は、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの出力電圧値が最も大きく、逆に低熱ポルトランドセメントの場合が最も小さい値を示した。これは、水和初期に生成されるカルシウムイオン量などの違いによる影響が考えられる。一方、普通コンクリートから生じたブリーディング水は、セメントの種類にかかわらずコンクリートより300mV程度大きな値を示した。この理由として、ブリーディング水は単位容積中のイオン量が多いことが考えられる。

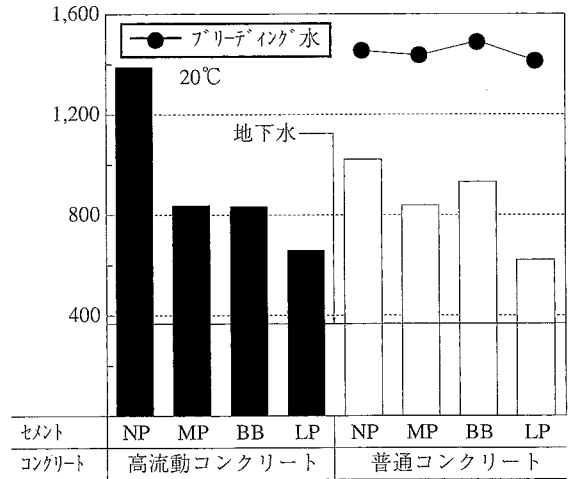


図-6 セメントの種類の違いによる各種材料の出力電圧

以上の結果より、電圧印加方式によるコンクリートの感知方法では、その測定精度と併せて考えると、水、ブリーディング水、およびコンクリートを容易に識別することができると考えられる。

6. まとめ

電圧印加方式のコンクリート感知方法について検討した結果、下記の知見が得られた。

- ① コンクリートの感知に使用する電極の条件・形状によって、出力される電圧値、測定精度は異なるが、適当な条件を選定することにより測定値の変動係数は1%程度となる。
- ② 電圧印加方式によるコンクリートの感知方法では、コンクリートに使用する材料の種類によって得られる出力電圧が異なるため、あらかじめ測定対象の材料を用いて校正しておけば、正確に判別できることが明らかとなった。
- ③ 電圧印加方式による計測には、汎用のデータロガーを用いることができるため、取扱いが比較的容易である。

参考文献

- 1) 渡部, 魚本: 型枠面の熱画像解析によるコンクリートの打設監視方法に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 15, No. 1, p. 583~588, (1993)
- 2) 坂井, 万木, 坂田, 岩城: 品質保証を考慮した高流動コンクリートの施工方法について, コンクリート工学論文報告集, Vol. 17, No. 1, p. 233~238, (1995)
- 3) 平田, 十河, 宮城: 印加電圧の残留値測定によるフレッシュコンクリートの感知方法について, 第50回土木学会年次学術講演会概要集, V, p. 418~419, (1995)
- 4) 大山, 平田, 十河: 印加電圧の残留値測定によるフレッシュコンクリートの充填状況モニタリング方法について, 第50回土木学会年次学術講演会概要集, V, p. 420~421, (1995)