

論文

コンクリートの新たな凝結管理手法の有効性に関する検討

村上 拡^{*1}, 阿保 寿郎^{*2}, 伊代田 岳史^{*3}

Effectiveness of Setting Management Method by Specific Electric Conductivity

Hiromu MURAKAMI^{*1}, Toshirou ABO^{*2}, Takeshi IYODA^{*3}

要旨: コンクリートの剥落事故に見られるように, コールドジョイントはコンクリート構造物の耐久性を阻害する. 現在, コールドジョイントの発生を防止する施工管理方法には, 一律に定められる打重ね許容時間間隔がある. しかし, 外気温により凝結の進行は異なり, 凝結の進行を直接捉える方法はない. 著者らは過去に, コンクリートの電気伝導率と凝結特性に相関があることを示している. 本研究では, この電気伝導率が最大値以前に打重ねを行い, 打重ね面の中性化を防止する可能性があることを確認した. また, 凝結の影響因子である配合条件等を変化させ, 電気伝導率に与える影響を把握した.

キーワード: コールドジョイント, 電気伝導率, 凝結, ブリーディング, 打重ね, 中性化

1. はじめに

コンクリート塊の剥落事故の原因となった事例よりコンクリート構造物を長寿命化させるためには, コールドジョイントを防止する施工管理が重要である. 現在, コールドジョイントの防止には打重ね許容時間が定められており, コンクリート標準示方書において練混ぜから打込み終了までを外気温が 25℃以上の場合には 1.5 時間, 外気温が 25℃以下の場合 2.0 時間と 2 つの打重ね許容時間の規定だけである. しかし, 現場ごとの環境や配合等によりコンクリートの凝結性状は異なるため, これらを考慮した手法が必要である. 著者らは以前, 電気伝導率に着目し, 電気伝導率のピーク時間と凝結の進行程度との間には相関関係があると報告している¹⁾.

本研究では, 打重ね面の凝結管理手法を提案するべく, 電気伝導率を用いて実際に打重ねを行い, 打重ね面における中性化進行程度を確認した. また, 配合やセメント種類といったコン

クリートの配合条件が電気伝導率に及ぼす影響を実験により把握するとともに, 凝結試験における貫入抵抗値を測定し, 電気伝導率との相関を把握した.

2. 実験概要

2.1 使用材料

実験で使用した材料を表-1 に示す.

2.2 電気伝導率の測定

電気伝導率の測定は交流 2 電極法を用い, センサーを付帯した計測器(CD-4302)を使用した. 測定の様子を図-1 に示す. $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の型枠にコンクリートを打設後, センサーを上面から一定の高さ(7cm)で差し込み, 電気伝導率の測定を 5 分に 1 回行った. 測定は恒温恒湿室(20℃, 相対湿度 60%)にて行った. 電気伝導率の値は温度によって変化するため, 温度の計測も同時に行い, 以下に示す式(1)により温度の補正を行った.

*1 芝浦工業大学大学院工学研究科建設工学専攻 修士課程

*2 飛島建設株式会社

*3 芝浦工業大学工学部土木工学科 准教授

表-1 使用材料

セメント (C)	普通ポルトランドセメント(OPC) 密度：3.16(g/cm ³), 比表面積：3300(cm ² /g)
	低熱ポルトランドセメント(LPC) 密度：3.22(g/cm ³), 比表面積：3340(cm ² /g)
	早強ポルトランドセメント(HPC) 密度：3.14(g/cm ³), 比表面積：4500(cm ² /g)
細骨材 (S)	埼玉県秩父産砕砂 密度：2.66(g/cm ³), 吸水率：1.01(%)
粗骨材 (G)	埼玉県秩父産碎石 密度：2.72(g/cm ³), 吸水率：0.54(%)
混和剤	AE減水剤 リグニンスルホン酸化合物とポリオールの複合体
	空気量調整剤 アルキルアリルスルホン酸化合物系陰イオン界面活性剤

表-2 打重ね時間の違いによる中性化を把握する配合

セメント 種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				AE減水剤 (C×%)
			W	C	S	G	
OPC	50	48	170	340	865	958	0.25

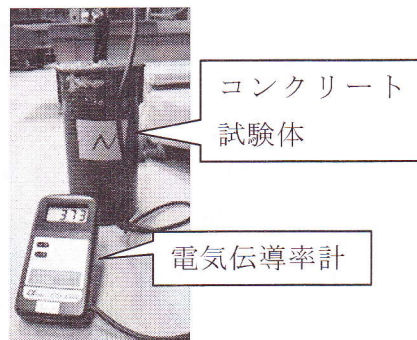
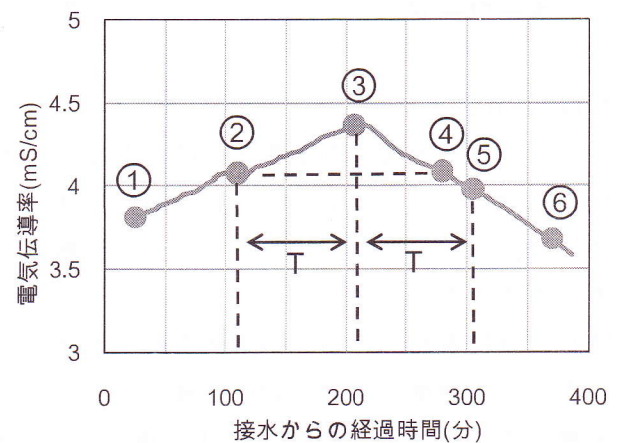


図-1 測定の様子



- ①打重ねなし ④ピーク後②と等しい電気伝導率の値
②電気伝導率のピーク前 ⑤ピークからT分後
③電気伝導率のピーク ⑥380分後

図-2 打重ね時間と電気伝導率の関係

$$k_{25} = \frac{k_t}{1 + 0.02 \times (t - 25)} \quad (1)$$

ただし,

t: コンクリート温度(°C)

k₂₅: 25°C時の電気伝導率(ms/cm)

k_t: t°C時の電気伝導率(ms/cm)

3. 打重ね時間の違いが打重ね面の中性化に与える影響

3.1 試験要因と配合

コンクリートの一体化を確認するために電気伝導率を用い、打重ね時間を変化させた試験体を作製し(突き棒を用いた JIS A 1132 に準拠)中性化促進試験を行った。使用した配合を表-2に示す。電気伝導率の測定結果ならびに打重ね

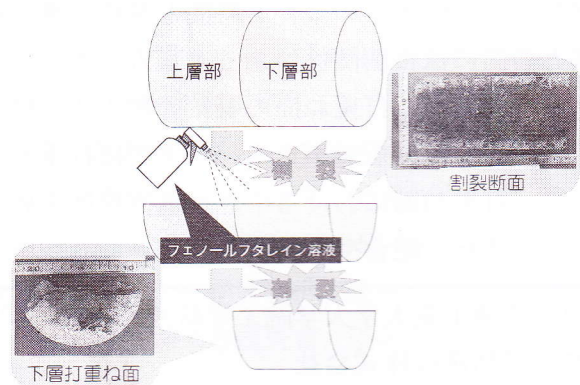


図-3 割裂方法

を行った時間を図-2 に示す。打重ね時間は、①：打重ねなし（打設直後）、②：電気伝導率がピークを迎える前、③：電気伝導率がピークを迎える時間、④：ピーク後に②の電気伝導率の値と等しくなる時間、⑤：②から③までに経過した時間（図中 T）と等しくなるように電気伝導率がピークを迎えてから T 分後の時間、⑥：380 分後とした。

3.2 試験方法

打設後 1 日で脱型し、乾燥炉(40℃)で 1 日静置した後、打設面と下面をアルミテープでシールし、21 日間中性化促進環境で曝露を行った。中性化試験の設定条件は、温度 20℃、湿度 60%、CO₂ 濃度 5.0%とした。曝露後図-3 のように割裂し、フェノールフタレイン溶液を噴霧し中性化深さを JIS A 1152 に基づき、10mm 毎に割裂断面(15 箇所)と下層打重ね面(20 箇所)で測定した。

3.3 実験結果

打重ね時間の違いによる中性化試験の結果を図-4 に示す。割裂断面における中性化深さは打重ね時間の違いに関わらず、10mm 程度となり一定であった。また、下層打重ね面における中性化深さにおいて、電気伝導率がピークを示す前（①、②）に打重ねを行った試験体は、断面の中性化深さと同程度であった。ところが、電気伝導率がピークを示す以後（③以降）に打重ねた試験体については、中性化深さが大きくなっていく結果であった。このことから、電気伝導率のピーク（③）より前に打重ねを行うことにより、打重ね部における中性化の抵抗性が向上すると考えられる。

以上より、打重ね面の中性化抵抗性を向上させるためには打重ね時間を適切に管理することが非常に重要であり、コンクリートの凝結特性を把握できる可能性がある電気伝導率のピーク時間を捉えることが有効であると考えられる。

4. 電気伝導率のピークに影響を与える要因の抽出とその相関性

4.1 実験概要

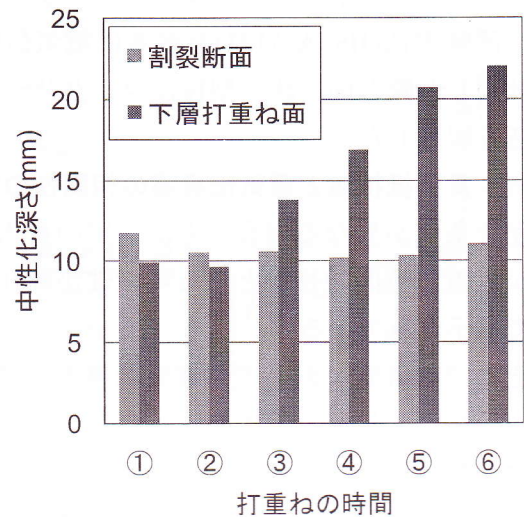


図-4 打重ね時間の違いが中性化に与える影響

電気伝導率の値に影響を与える材料的要因を抽出することを目的に、単位水量と水セメント比（以下 W/C）を変化させた配合とセメント種類を変化させた配合において実験を行った。

(1) 単位水量と W/C に関する検討

W/C の違いが電気伝導率への影響を把握するため、W/C=40, 50, 60%とし、それぞれ単位水量を変化させた。基準の単位水量の配合を M とし、M より低い単位水量の配合を L、M より高い単位水量の配合を H と変化させたコンクリートを作製し、電気伝導率の測定を行った。使用した配合を表-3 に示す。

(2) セメント種類に関する検討

コンクリートの硬化に伴い、電気伝導率の値が変化すると考えられるため、早強ポルトランドセメント(HPC)、普通ポルトランドセメント(OPC)、低熱ポルトランドセメント(LPC) を使用し、実験を行った。配合を表-4 に示す。

(3) ブリーディングと電気伝導率の相関性の把握

単位水量と W/C を変化させることによりブリーディング量が異なると考えられるので、電気伝導率の測定とブリーディング水の採取を同時に行い、相関を確認した。試験には単位水量と W/C に関する検討とセメント種類に関する検討で使った配合のコンクリートを使用した。

ブリーディング水はコンクリートのブリーディング試験方法(JIS A 1123)を参考に電気伝導率を計測した際と同形状の型枠にコンクリートを打込み採取した。

(4) 貫入抵抗値と電気伝導率の相関性の把握

配合条件が異なる場合でも、一定の貫入抵抗値が打重ね時間の目安となる可能性が既往の研究でも示されている²⁾。

そこで本研究においても電気伝導率と貫入抵抗値の相関を把握する検討を行った。使用した配合を表-5に示す。W/Cが異なる配合とセメン

ト種類が異なる配合において試験を行った。貫入抵抗値は電気伝導率と同時に測定し、貫入試験はセメントの物理試験方法(JIS R 5201-1997)に準拠して行った。

4.2 実験結果

(1) 単位水量とW/Cに関する検討

各W/Cにおける単位水量の異なる試験体の電気伝導率の経時変化を図-5に示す。いずれのW/Cにおいても単位水量が大きくなるにつれて電気伝導率の値は大きくなった。また、各W/C

表-3 単位水量とW/Cに関する検討で使用した配合

セメント 種類	W/C (%)	s/a (%)	凡例	単位量(kg/m ³)				AE減水剤 (C×%)
				W	C	S	G	
OPC	40	46	L	135	338	873	1048	0.25
			M	155	388	829	995	
			H	185	463	763	916	
	50	48	L	150	300	907	1004	
			M	170	340	865	958	
			H	200	400	802	889	
	60	50	L	162	270	941	962	
			M	182	303	900	921	
			H	212	353	839	858	

表-4 セメント種類に関する検討で使用した配合

セメント 種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				AE減水剤 (C×%)
			W	C	S	G	
HPC	50	48	170	340	864	957	0.25
OPC					865	958	
LPC					867	961	

表-5 貫入抵抗値と電気伝導率の相関性を把握するために使用した配合

セメント 種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				AE減水剤 (C×%)
			W	C	S	G	
OPC	40	46	155	388	829	995	0.25
	50	48	170	340	865	958	
	60	50	182	303	900	921	
HPC	50	48	170	340	864	957	
OPC					865	958	
LPC					867	961	

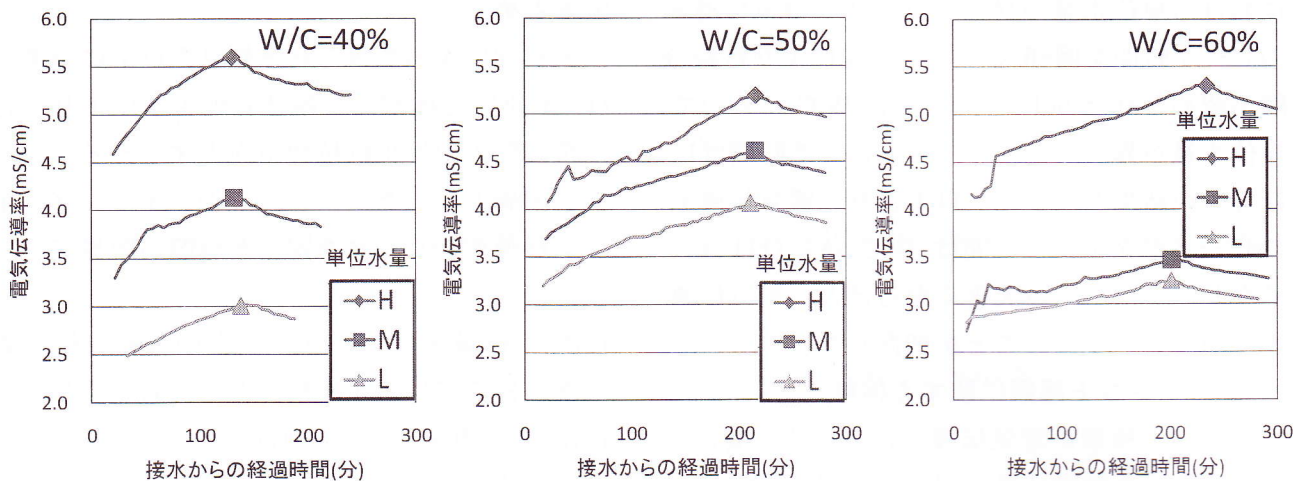


図-5 各 W/C における電気伝導率の計時変化

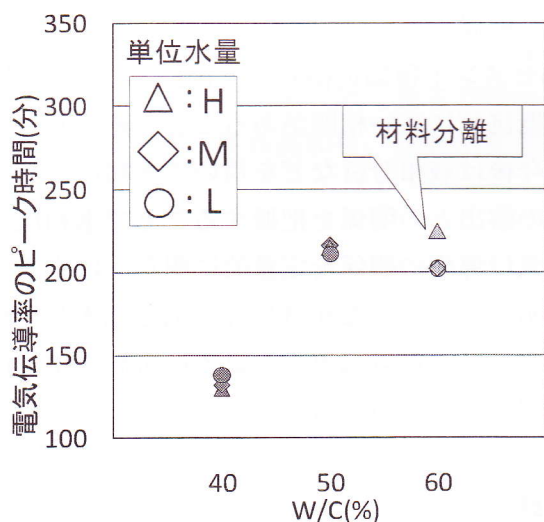


図-6 各単位水量の W/C とピーク時間の関係

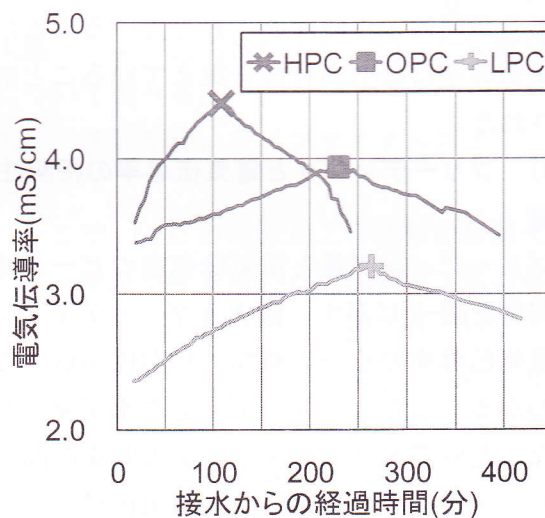


図-7 電気伝導率がセメント種類に及ぼす影響

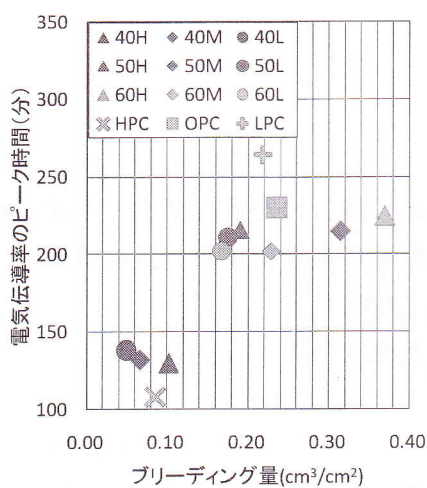


図-8 ブリーディング量と電気伝導率のピーク時間の関係

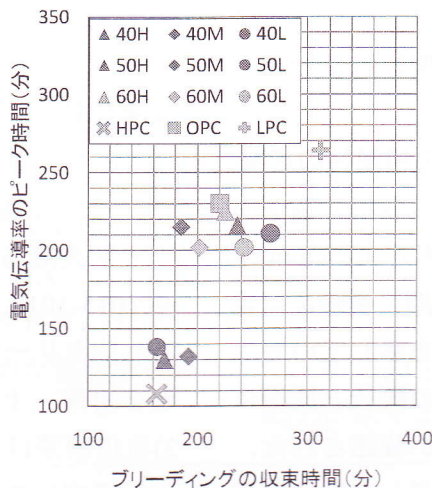


図-9 ブリーディング収束時間と電気伝導率のピーク時間の関係

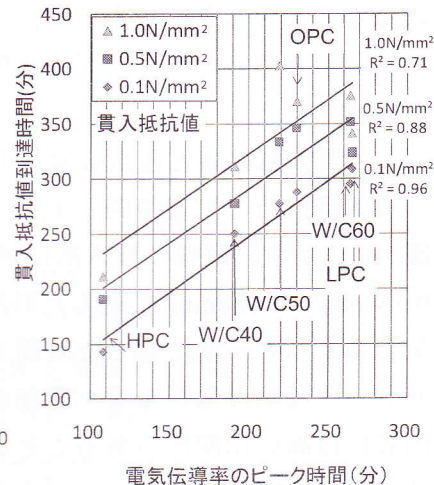


図-10 各貫入抵抗値に達するまでの時間とピーク時間の関係

における単位水量の異なる試験体の電気伝導率のピーク時間を図-6に示す。目視により材料分離が認められた60Hを除き、各W/Cにおいて単位水量が異なってもピークを迎える時間はほぼ等しい結果となった。以上より、電気伝導率のピークが発生する時間はW/C毎にほぼ等しくなり、単位水量が大きくなるほど、電気伝導率の値は大きくなることを把握した。

(2) セメント種類に関する検討

セメント種類が電気伝導率に及ぼす影響について実施した試験結果を図-7に示す。電気伝導率のピーク時間は、HPC、OPC、LPCの順で現れた。これは一般に知られているセメント種類の凝結が開始する時間と一致していることから、電気伝導率は凝結の特性を捉えていることが確認された。

(3) ブリーディングと電気伝導率の相関性の把握

ブリーディング量と電気伝導率のピーク時間の関係を図-8に示す。図よりブリーディング量と電気伝導率のピーク時間の相関性が低いことがわかる。また、ブリーディング水が発生しなくなった時間をブリーディングの収束時間とし、ブリーディングの収束時間と電気伝導率のピーク時間の関係を図-9に示す。ブリーディングの収束後、電気伝導率がピーク時間を迎える結果にはならなかった。以上より、ブリーディングと電気伝導率のピーク時間と相関性は低いことが確認された。

(4) 貫入抵抗値と電気伝導率の相関性の把握

貫入抵抗値の到達時間と電気伝導率の関係を図-10に示す。縦軸に貫入抵抗値が 0.1N/mm^2 、 0.5N/mm^2 、 1.0N/mm^2 に達した時間、横軸には電気伝導率がピークに達した時間を示している。セメント種類に関わらず、既往の研究と同様に両者には高い相関性があることが確認された。特に、貫入抵抗値が 0.1N/mm^2 を示した時間と電気伝導率のピーク時間の相関性が高く、新たな凝結管理手法として有効であると考えられる。

5. まとめ

本研究によって得られた知見を以下に示す。

- (1) 本研究で提案した凝結管理手法により、打重ね面の中性化抵抗性が向上するタイミングが明確となった。また、そのタイミングは電気伝導率のピークを迎えた時間が限界であった。
- (2) 電気伝導率はコンクリートの凝結特性を顕著に捉えている可能性があると考えられる。
- (3) 電気伝導率のピーク時間はブリーディングの収束時間と相関性が低かった。
- (4) 電気伝導率のピーク時間は単位水量の影響は小さく水セメント比の影響が大きいことが把握できた。
- (5) セメント種類に関わらず、電気伝導率と貫入抵抗値に高い相関があることを確認した。

今後は液相分析などを用いて水和に伴うイオンの溶出との関係を把握することで水和反応と電気伝導率の関係を定量的に明らかにする必要がある。また、混和材や混和剤を混入した配合においても電気伝導率と貫入抵抗値の相関性を確認する必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、実験に協力いただいた元芝浦工業大学の白川順菜さんに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 阿保寿郎ほか：電気的な特性値を用いたコンクリートの凝結の進行の把握に関する基礎実験，土木学会第65回年次学術講演会講演概要集，pp.1015-1016，2009。
- 2) コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策，土木学会，2000。
- 3) 白川順菜ほか：コンクリートの凝結に伴う電気伝導率の特性と影響因子の検討，第38回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集，V-3，2010。