

# コンクリート打重ね管理システムの開発

## Development of Management System for Consolidated Fresh Concrete

松 元 和 伸<sup>\*1</sup>

Kazunobu Matsumoto

松 田 浩 朗<sup>\*1</sup>

Hiroaki Matsuda

桃 木 昌 平<sup>\*1</sup>

Shohei Momoki

阿 保 寿 郎<sup>\*2</sup>

Toshiro Abo

平 間 昭 信<sup>\*3</sup>

Akinobu Hiramata

### 【要旨】

コンクリート構造物の耐久性を阻害する大きな要因の一つにコールドジョイントがある。現在、コールドジョイントの発生を抑制するための施工管理方法の一つとして、コンクリートの種類や配合、現場条件（温度）などの施工条件の違いによらず一律に定められる許容打重ね時間が用いられている。施工条件によってコンクリートの凝結は異なることから、現場のコンクリート凝結の進行度合いに応じた、許容打重ね時間を設定することが必要である。

本論文では、施工条件の違いに影響されずに評価可能な打重ねコンクリートの品質管理システムの確立を目的に各種実験を実施し、コンクリートの電気伝導率がピークを示す時間と、現在の打重ね管理の指標となるプロクター貫入抵抗値との間に高い相関性を見いだした。さらに、通常の現場打ちコンクリートは、プラントで練混ぜ後、ミキサー車にてアジテート（攪拌）しながら運搬後、打設されるため、アジテート時間がコンクリートの凝結性状に及ぼす影響について検討した。これらの検討結果を基に、コンクリートの電気伝導率のピーク時間を、打重ね管理の指標（許容打重ね時間）として用いることができることを示した。さらに、練混ぜ開始時間を基準とした経過時間を用いて、現位置で測定する電気伝導率の時間あたりの変化量（傾き）と電気伝導率の増分値を用いることによって、コンクリートの電気伝導率のピーク時間を推定できることを示した。

【キーワード】 コールドジョイント 凝結 電気伝導率 打重ね管理 品質管理

### 1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性を阻害する大きな要因の一つにコールドジョイントがある。現在、コールドジョイントの発生を抑制するための施工管理方法には、コンクリートの種類や配合、現場条件（温度）などの施工条件の違いによらず一律に定められる許容打重ね時間<sup>1)</sup>が用いられている。このように、現場のコンクリート凝結の進行度合いに応じた、許容打重ね時間を管理する方法はないのが現状である。また、実際の現場においては、プロクター貫入試験やN式貫入試験によって簡易的に凝結を評価する方法も試みられているが、連続的なデータ取得はできず、凝結時間を予測しリアルタイムに管理することはできない。

著者らはこれまで、現場での施工条件の違いに影響されずに評価可能な打重ねコンクリートの品質管理システムの確立を目的に、室内試験を基にした電気伝導率による凝結管理方法を提案<sup>2,3)</sup>している。本論文では、電気伝導率とプロクター貫入抵抗値（以下、貫入抵抗値と呼ぶ）

との関係を実験的に検証し、電気伝導率の打重ね管理への適用性を示す。また、通常の現場打ちコンクリートは、生コン工場で練混ぜ後、ミキサー車にてアジテート（攪拌）しながら運搬されるが、アジテート時間がコンクリートの凝結性状に及ぼす影響は打重ね管理に考慮されていない。そこで、アジテート時間がコンクリートの凝結性状に及ぼす影響を把握することを目的に、試験環境温度を一定にできる室内で、傾胴ミキサーを用いた実験を実施した。これらの検討結果を基に、コンクリートの電気伝導率のピーク時間を、打重ね管理の指標（許容打重ね時間）として用いることができることを示した。さらに、練混ぜ開始時間を基準とした経過時間を用いて、現位置で測定する電気伝導率の時間あたりの変化量（傾き）と電気伝導率の増分値を用いることによって、コンクリートの電気伝導率のピーク時間を推定できることを示した。

1.建設事業本部 技術研究所 第一研究室 2.東北支店

3. 建設事業本部 エンジニアリング事業推進部 インフラ・防災G

表-1 コンクリートの配合

セメントの種類	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
N	18±2.5	4.5	45	42	165	367	746	1046
			55	44	165	300	806	1042
			60	45	165	275	834	1035

※混和剤は、AE 減水剤を用いた。

## 2. 電気伝導率と凝結性状

### 2.1 電気伝導率と貫入抵抗値の関係

コンクリートの凝結の進行度合いを評価する試験は、プロクター貫入試験が一般的であり、貫入抵抗値で凝結開始が判断される。本章では、コンクリートの電気伝導率と貫入抵抗値との関係を各種実験を通して把握する。

### 2.2 実験概要

コンクリートの電気伝導率と貫入抵抗値との関係を把握するため、表-1に示す配合のコンクリートを用いて実験を行った。セメントは普通ポルトランドセメント(N)を使用し、水セメント比(W/C)は45, 55, および60%の3水準とした。練上がり温度は15, 20, および30℃の3水準を設定し、以降同一温度で養生した。電気伝導率の計測は、型枠(φ10×20cm)の中に電極を供試体表層より一定の深さになるように差し込み、コンクリート打設直後から1分間隔で実施した。また、電気伝導率の計測と並行して、貫入抵抗値を計測するために、同一のコンクリートをウェットスクリーニングによってモルタルで作製した供試体(φ15×15cm)を用いて、プロクター貫入試験(JISA1147に準拠)を実施した。

### 2.3 実験結果

電気伝導率とプロクター貫入抵抗試験の結果の一例として W/C=55%, 練上がり温度 15℃の実験結果を図-1に示す。電気伝導率はほぼ一定勾配で増加し、ピークを迎えた後、減少する。また、同時に実施した貫入抵抗値は、電気伝導率がピークを迎えた後に 0.1N/mm<sup>2</sup>の値(コールドジョイントの発生下限値とされる値)を示している。図-2には、3水準の配合および温度条件における練混ぜ開始時間を基準とした電気伝導率のピーク値発生時間(以下、ピーク時間と呼ぶ)と貫入抵抗値(0.1, 0.5, および 1.0 N/mm<sup>2</sup>) 発現時間の関係を示す。水セメント比、養生温度の違いはあっても、貫入抵抗値 0.1N/mm<sup>2</sup>の値を示す時間とピーク時間には高い相関があることが認められた。

## 3. 電気伝導率とアジテート時間

### 3.1 電気伝導率とアジテート時間の関係

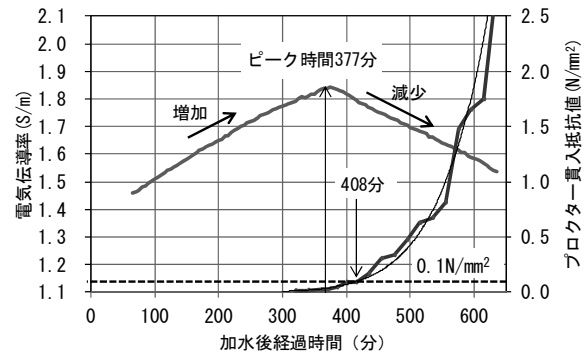


図-1 電気伝導率と貫入抵抗値の結果の一例 (W/C=55%, 練上がり温度 15℃)

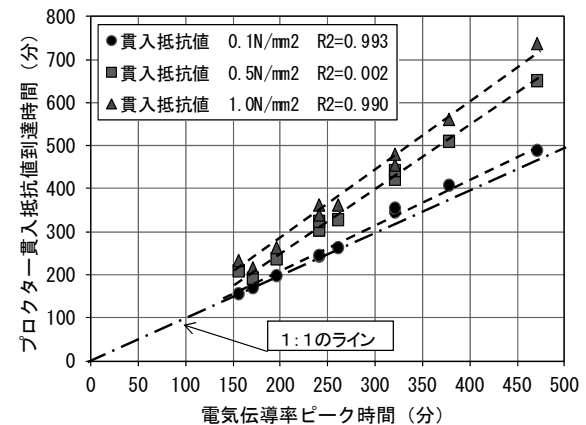


図-2 電気伝導率ピーク発生時間と貫入抵抗値 (0.1, 0.5, 1.0N/mm<sup>2</sup>) 発現時間の関係

著者らはこれまで、施工条件の違いに影響されずに評価可能な打重ねコンクリートの品質管理方法として、室内試験を基にした電気伝導率による凝結管理方法を提案<sup>2,3)</sup>している。この方法では、コンクリート練混ぜ直後から電気伝導率の計測が可能であるが、通常の現場打ちコンクリートは、生コン工場で練混ぜ後、ミキサー車にてアジテート(攪拌)しながら運搬し、打設されることが多いため、長い時には1時間程度経過した状態のコンクリートに対して電気伝導率を計測することになる。これまで、アジテート運搬による電気伝導率への影響の有無が検証されていないので、アジテート時間がコンクリートの凝結性状に及ぼす影響を把握することを目的に、試験環境温度を一定にできる恒温恒湿室内で、JIS A 5308に準拠して傾胴ミキサーを用いた実験を行った<sup>5)</sup>。

### 3.2 実験概要

実験には、表-1に示した配合のうち W/C=55%のコンクリートを使用した。アジテート時間の差異がコンクリートの凝結性状に与える影響を把握することを目的として、練混ぜ直後(アジテート0分: ケース1)、傾胴ミキサーによるアジテート30分後(ケース2)、および60分後(ケース3)に採取した供試体(φ10×20cm)によ

って、電気伝導率を1分間隔で計測した。試験環境温度は25℃と35℃とし、調整した恒温恒湿室で各供試体を気中養生した。

電気伝導率の計測と並行して、貫入抵抗値を計測するために、同一のコンクリートをウェットスクリーニングによってモルタルで作製した供試体(φ15×15cm)を用いて、プロクター貫入試験を実施した。

### 3.3 実験結果

図-3～図-5に、試験環境温度35℃の時のアジテート時間の差異による電気伝導率と貫入抵抗値の関係を示す。横軸は練混ぜ開始時間を基準(0分)とした経過時間である。全ケース共に電気伝導率がピークを示した後に、貫入抵抗値が0.1N/mm<sup>2</sup>を超えている(ケース1は121分に対して125分、ケース2は114分に対して120分、ケース3は113分に対して143分)。また、ピーク時間は121分、114分、および113分で、ほぼ同程度の値を示している。

以上のことから、ピーク時間後に貫入抵抗値0.1N/mm<sup>2</sup>を示すこと、また、ピーク時間に対して、アジテート時間が影響を及ぼさないことが確認された。

図-6に、アジテート時間と電気伝導率ピーク値との関係を示す。併せて、25℃の環境温度で実施した同様の試験結果も示す。35℃の場合、アジテート時間毎の電気伝導率ピーク値(絶対値)(●)は、1.44~1.89S/mの範囲の値を示し、最大値と最小値の差は0.45S/mである。また、25℃の場合、アジテート時間毎の電気伝導率ピーク値(絶対値)(■)は、1.53~1.86S/mの範囲の値を示し、最大値と最小値の差は0.33S/mである。このばらつきは、柴山ら<sup>4)</sup>が、骨材量が増すにつれて電気伝導率は減少すると指摘するように、センサ周辺に存在するコンクリートの骨材量の影響が要因の一つと考えられる。

次に、各ケースのピーク値(絶対値)にばらつきが見られるのに対し、各ケースの電気伝導率の傾きが同等(0.004~0.005S/m/分)であることに着目した。図-3～図-5の電気伝導率がピークを示すまでの線形部分の傾きから練混ぜ開始後経過時間0分の縦軸との切片を計算し、ピーク値との差分を電気伝導率の増分値とした。増分値を図-6に併せて示す。35℃の場合、全ての計測において電気伝導率の増分値(○)は0.5S/m程度であり、最大値と最小値の差も0.13S/mである。また、25℃の場合も、全ての計測において電気伝導率の増分値(□)は0.5S/m程度であり、最大値と最小値の差も0.12S/mである。このことから、増分値はアジテート時間や温度によらず、ほぼ同じであることがわかる。この電気伝導率の増分値は、コンクリートの配合の違いにより、固有の値をとることが考えられる。

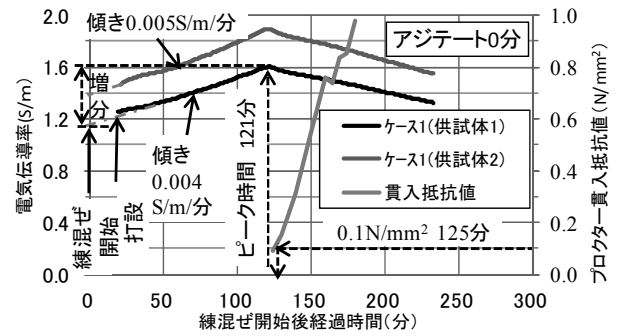


図-3 練混ぜ開始後経過時間と電気伝導率および貫入抵抗値の関係  
【アジテート0分の結果(35℃)】

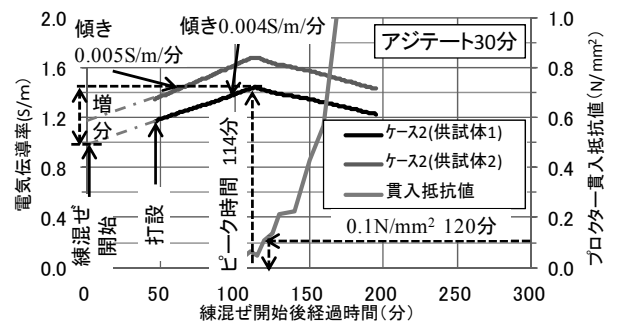


図-4 練混ぜ開始後経過時間と電気伝導率および貫入抵抗値の関係  
【アジテート30分の結果(35℃)】

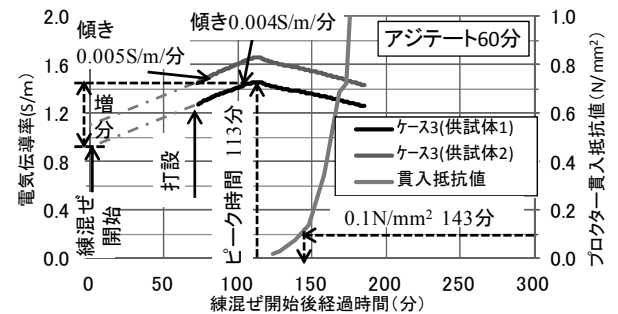


図-5 練混ぜ開始後経過時間と電気伝導率および貫入抵抗値の関係  
【アジテート60分の結果(35℃)】

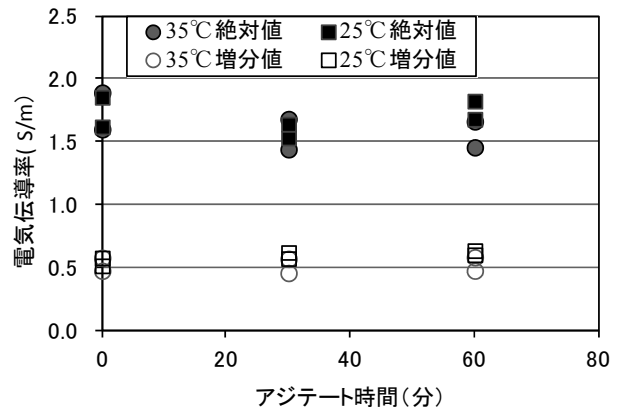


図-6 アジテート時間と電気伝導率ピーク値(絶対値と増分値)の関係



表-2 現場打設コンクリートの配合

セメントの種類	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
BB	8.0	4.5	54.2	44	163	301	790	1034
N	12.0	5.5	53.0	43	153	289	781	1056

※混和剤は、AE 減水剤を用いた。

#### 4. 現場検証実験

##### 4.1 実験概要

室内で検証した電気伝導率と貫入抵抗値の関係について、生コン工場で練混ぜ後、ミキサー車にてアジテート（攪拌）しながら運搬し、打設した現場コンクリートで検証を行った。検証は、冬期 10℃環境の BB（高炉セメント）コンクリートと、夏期 30℃環境の N（普通ポルトランドセメント）コンクリートを打設した 2 つの現場で実施した。コンクリートの配合は、表-2 に示すとおりである。写真-1 には、現場打設したコンクリートでデータを取得している状況を、写真-2 には、現場でのプロクター貫入試験実施状況を示す。

##### 4.2 実験結果

図-7 に、現場打設したコンクリートで計測した電気伝導率と貫入抵抗値の関係を示す。2 つの現場とも室内実験と同様、電気伝導率がピークを示した後に、貫入抵抗値が 0.1N/mm<sup>2</sup> を超えている。10℃、BB コンクリートのケースはピーク時間 260 分に対して貫入抵抗値が 0.1N/mm<sup>2</sup> を示す時間は 315 分である。同様に、30℃、N コンクリートのケースは 119 分に対して 135 分であることから、電気伝導率の計測は、打重ね管理に実用可能と考えられる。コンクリート標準示方書<sup>1)</sup>によると、25℃を超える場合のコンクリートの打重ね管理時間は、3 時間 30 分（210 分）以内となるが、3 章の室内試験結果や本章の現場実験結果からも 2 時間程度でコールドジョイントの発生下限値とされる貫入抵抗値 0.1N/mm<sup>2</sup> の値を示すことが確認された。このように、特にコールドジョイントが発生しやすい夏期打設のコンクリートに対しては、従来の管理方法ではコールドジョイントを発生させてしまう可能性がある。

#### 5. 凝結管理手法の提案

##### 5.1 ピーク時間推定方法

3 章で示したとおり、アジテート時間がピーク時間に影響を及ぼさないこと、および電気伝導率のピーク値の増分がほぼ一定値を示すことから、コンクリート打設後の任意の時間より計測を開始してもピーク時間を推定できることがわかった。この結果を基に、練混ぜ開始時間を基準とした経過時間と電気伝導率を計測することで



写真-1 現場でのデータ取得状況



写真-2 現場でのプロクター貫入試験実施状況

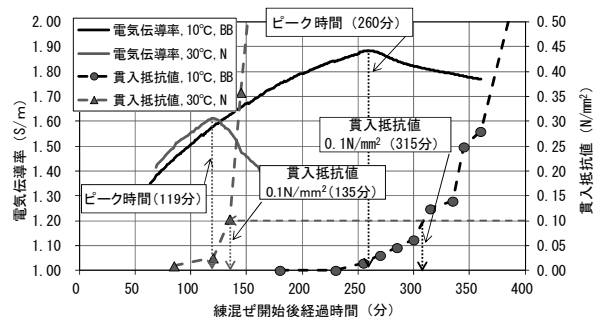


図-7 現場打設コンクリートの電気伝導率と貫入抵抗値の関係

プロクター貫入試験を用いることなく、打重ね時間管理を行うことができる。また、計測開始後の電気伝導率の経時データより傾きを計算し、その傾きから練混ぜ開始後経過時間 0 分の縦軸との切片を求めることで、現時点での増分値を把握できることから、ピーク予測時間（凝結開始時間）を推定することも可能となる。

## 5.2 検証結果

図-8に、電気伝導率計測開始後からピーク時間を逐次推定し、その結果を用いてピーク時間の推定誤差を算定することで本凝結管理手法を検証した結果について示す。4章でも示したように、ピーク時間は260分であったが、ピーク時間発生時刻のおよそ60分前より10分以内の安全側の管理でピーク時間を予測できていることが確認できた。

以上のことから、プロクター貫入試験に代わる打重ね管理の指標として、電気伝導率が利用できることを示した。

図-9に、現場で計測したデータ（4章で示した冬期10℃環境のBBコンクリート）を打重ね管理システムとして作成したプログラムでパソコン上に表示している例を示す。画面上には、リアルタイムに電気伝導率とコンクリート温度が表示され、ピーク時間の推定結果を表示できる。

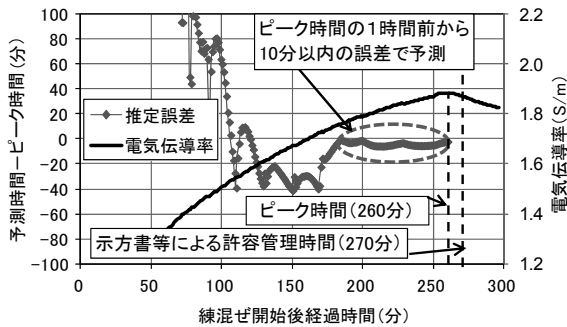


図-8 ピーク時間推定法の検証結果

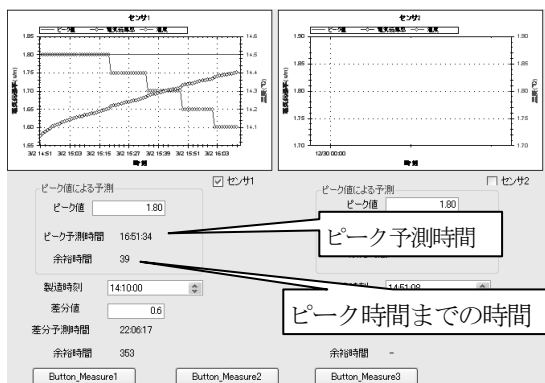


図-9 モニタ表示の一例

## 6. まとめ

本研究では、現場条件の違いを考慮できる打重ねコンクリートの品質管理システムの確立を目的に各種実験を実施し、コンクリートの電気伝導率がピークを示す時間と貫入抵抗値との間に高い相関性を見いだした。アジテート時間がコンクリートの凝結正常に及ぼす影響について検討した結果を基に、コンクリートの電気伝導率のピ

ーク時間を、打重ね管理の指標（許容打重ね時間）として用いることができることを示した。さらに、練混ぜ開始時間を基準とした経過時間を用いて、現位置で測定する電気伝導率の時間あたりの変化量（傾き）と電気伝導率の増分値を用いることによって、コンクリートの電気伝導率のピーク時間を推定できることを示した。主な結論は以下に示すとおりである。

- ①水セメント比、養生温度の違いにかかわらず、貫入抵抗値  $0.1N/mm^2$  の値を示す時間は、電気伝導率ピーク値発生時間以降である。
- ②アジテート時間が長くなると、貫入抵抗値  $0.1N/mm^2$  を示す時間も遅くなるが、その時間は常にピーク時間後であり、ピーク時間に対して、アジテート時間が影響を及ぼさない。このことから、実務的にもピーク時間を凝結管理に活用できる。
- ③養生温度は、電気伝導率の増分値に影響を及ぼさない。
- ④練混ぜ開始時間を基準とした経過時間と電気伝導率の増分値を用いることによって、事前に電気伝導率のピーク時間を推定することができ、プロクター貫入試験に代わる打重ね管理の指標とすることができる。

## 【参考文献】

- 1) 土木学会：2007年制定 コンクリート標準示方様【施工編】，pp.118-119，2007。
- 2) 阿保寿郎，松田浩朗，松元和伸，平間昭信，寺澤正人：電気的な特性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，VI-508，pp.1015-1016，2010。
- 3) 村上拓，阿保寿郎，伊代田岳史：電気伝導率を用いた新たな凝結管理手法の提案，土木学会第66回年次学術講演会，VI-354，pp.707-708，2011。
- 4) 柴山舞，五十嵐心一，内藤大輔：骨材の空間構造の変化がモルタルの電気伝導率に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，pp.91-96，2009。
- 5) 松元和伸，松田浩朗，桃木昌平，寺澤正人，平間昭信：傾胴ミキサーによるアジテート時間がコンクリートの凝結性状に与える影響，土木学会第67回年次学術講演会，VI-474，pp.945-947，2012。

**Summary** As a means of construction management to prevent cold joints from occurring, an allowable casting time is used that can be uniformly fixed regardless of construction conditions such as the type and mix proportion of concrete and field conditions including temperature. Concrete condenses differently under varying construction conditions. It is therefore important to determine the allowable casting time corresponding to the progress of concrete setting in the field.

The authors conducted various tests to establish a system for managing the quality of cast concrete that could enable evaluation regardless of construction conditions, and found a high correlation between the time when electric conductivity of concrete peaked and the proctor penetration resistance, an index for current casting management. We also examined the effect of agitation time on property of condensation of concretes because ordinary cast-in-place concrete was mixed at a plant, agitated in a truck mixer during transport and placed. This paper showed, based on the results of the examinations, that the time when electric conductivity of concrete peaked (allowable casting time) could be used as an index for managing casting. We also showed that the time when electric conductivity of concrete peaked could be estimated using the variation of electric conductivity measured in-situ (inclination) and incremental electric conductivity, based on the time passed since the start of mixing.

**Key Words :** *Cold Joint, Condensation of Concrete, Electrical Conductivity, Management for Consolidated Fresh Concrete, Quality Management*