

## 論文 フレッシュコンクリートの材料分離と比抵抗特性

小野 博宣<sup>1\*</sup> 櫻井 正章<sup>2\*</sup> 伊藤 和幸<sup>2\*</sup>

要旨：コンクリート打設直後よりフレッシュコンクリートの型枠内各々の位置に於ける品質の違いを型枠内に付置した電極の電気抵抗を測定しその比抵抗換算値により間接的に推量しようとするものである。本研究では打設時の振動条件の異なる場合について打設時から硬化過程にいたる抵抗値の変化を調べた。これらの結果より比抵抗測定がフレッシュコンクリートの品質と硬化性状を知る上で有用な方法であることを確認した。

キーワード：フレッシュコンクリート、材料分離、電気抵抗値、比抵抗値

### 1. はじめに

コンクリート構造躯体における材料の構成に不均一さを生じる原因の一つとして、フレッシュ時の材料分離がある。材料分離は、粗骨材の沈降による骨材移動分離現象と混練水のブリージング現象とに大別される。骨材移動については更にコンクリート構成材料への配合比率によるものと打設施工条件によるものに分けることができる。材料分離を起こしたコンクリートは構成材の不均一性や連続性を失うため硬化後構造体の強度や耐久性、劣化などその品質や物性に悪影響を及ぼす。材料分離に関する研究は既に数多く行われている。その研究は打設したコンクリートの分離抵抗性をコンシステンシー試験結果より判断するものが多く、その抵抗性を数値にあらわすことはブリージングのような特殊な場合以外は困難である。しかし近年、振動打ちをしたコンクリートの各構成材料の量的変化を電気抵抗により推測する研究 [1, 2, 3] がみられるなど電気抵抗（比抵抗）を使用することにより打設されたコンクリートの品質判定への適用が試みられるようになった。このように材料分離はRC構造物の品質に大きな影響を与えるものの、その要因の分析と究明に対して電気抵抗法の適用は未解決な点も多い。本研究は、材料分離現象を電気抵抗測定により定性的、定量的に把握し、その特性を明らかにしようとするもので柱TYPE（正方形断面）および側壁TYPE（長方形断面）の型枠において1)型枠の電気抵抗特性、2)コンクリートの振動締固めによる打ち込み部位別構成材料の量的変化の計測、3)型枠内硬化コンクリートの強度等、について検討を行った。

### 2. 実験概要

#### 2.1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント(比重3.14)、細骨材は川砂(比重2.56, 最大寸法2.5mm)、粗骨材は川砂利(比重2.6, 最大寸法25mm)、混練水は水道水、AE減水剤はT社製の有機酸系(標準添加量：セメント重量の0.02%)また高性能AE減水剤として同社製のポリカルボン酸系(標準添加量：セメント重量の1.0%)を使用した。電気抵抗測定はLCRメーターを使用した。

<sup>1\*</sup>中部大学 工学部建築学科教授 工博(正会員)

<sup>2\*</sup>中部大学大学院 工学研究科建設工学専攻

## 2.2 配合

本実験で対象としたコンクリートの配合を表1に示す。

表1 使用コンクリートの配合表

No.	Sl (cm)	Air (%)	W/C (%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )				Unit Volume(l/m <sup>3</sup> )				混和剤
				W	C	S	G	W	C	S	G	
1	21	4	60	187	311	739	1001	187	99	290	385	AE
2	11	4	60	153	255	703	1172	153	81	276	451	AE
3	21	4	40	203	507	538	1001	203	161	211	385	AE
4	11	4	40	164	410	548	1172	164	131	215	451	AE
5	21	2	35	163	468	800	947	163	149	314	364	高AE
6	21	2	25	164	654	639	850	164	208	251	327	高AE

\* AE:AE 減水剤 (セメント重量 ×0.02%), 高AE:高性能 AE 減水剤 (セメント重量 ×1.0%)

## 2.3 試験項目

### 2.3.1 振動締固めコンクリートの材料分離変化の測定

試験には木製の正方形と長方形断面を有する2種類の型枠 A:柱状, B:壁状(以下柱TYPE, 側壁TYPEと呼ぶ) それぞれ図1と図2に示す。柱TYPE、側壁TYPEの両型枠の対向する2面にステンレス製電極(SUS-304)  $\phi$  16, t=0.3mm, 150x60mm又は50x60mm)を型枠の内面に図の通り縦方向5段で取り付けた。本研究ではあらかじめ型枠内の各部位における打設コンクリートの品質を判定するために、型枠の形状や寸法、骨材の寸法等を考慮した電極形状・寸法の選定と電極設置位置に対して予備的調査を行い上記の条件とした。コンクリートは5層に分け突き棒で充填した後、テーブルバイ

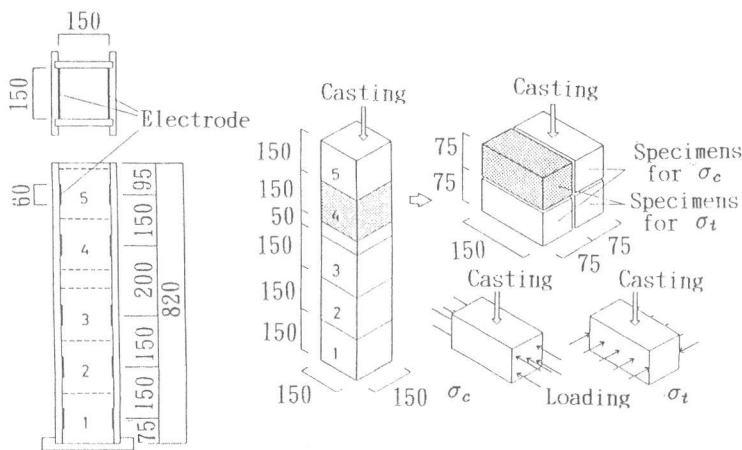


図1 柱TYPE型枠と強度用供試体作成と荷荷方法

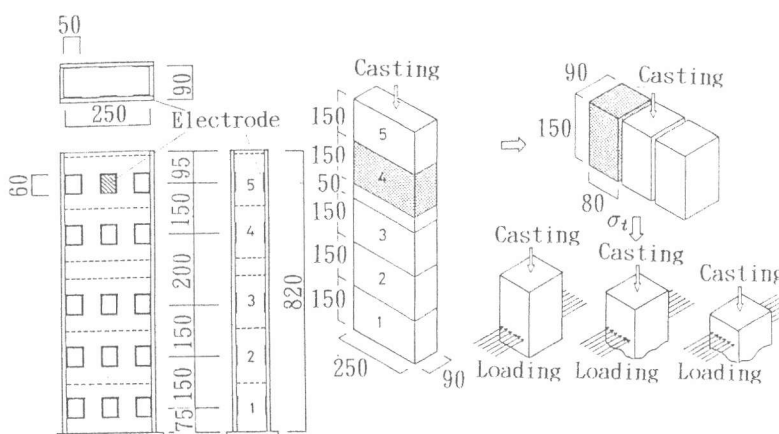


図2 側壁TYPE型枠と強度用供試体作成と荷荷方法

ブレーター(3450Hz, V.P.M. 水平振幅0.5mm)で所定時間(30, 60, 120秒)の振動を与えた。まず、振動詰め120秒間コンクリートは各部位の電気抵抗を測定した後、各層のコンクリートの洗い試験を行った。なお、洗い試験には配合量測定装置[4]を使用した。また、同時に同等寸法の型枠に

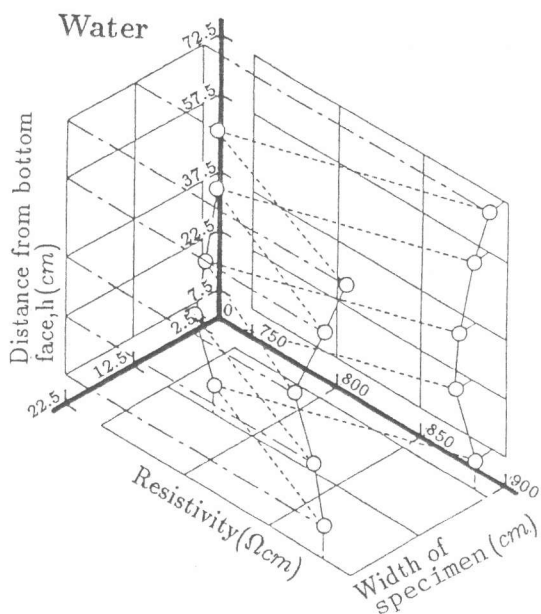


図3 側壁TYPE型枠の電気抵抗特性

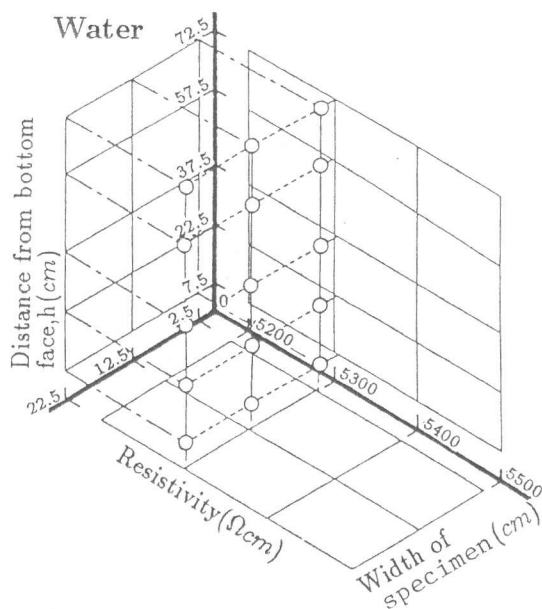


図4 側壁TYPE型枠の比抵抗特性

打ち込んだコンクリート供試体を作成し型枠上面にビニールシートをかけ水分の飛散を防止し、型枠のまま恒湿恒温室(20℃, RH80%)で養生をしながら、材齢28日まで断続して電気抵抗測定を行った。

### 2. 3. 2 材料分離を生じたコンクリートの強度

柱TYPEと側壁TYPEの両コンクリート供試体を図1, 2に示す通りカッターで5層に切断し、柱TYPEでは1ブロックを更に4等分し圧縮及び引張強度試験を側壁TYPEでは3等分し引張試験を行った。

## 3. 実験の結果と考察

### 3. 1 型枠の電気抵抗特性

側壁TYPEの型枠を水で満たしたときの型枠の部位別の電気抵抗値と比抵抗値をそれぞれ図3と図4に示す。前者は電気抵抗値で型枠両端列の電気抵抗が高い値を示している。このことは両端の電極では中央部の電極に比べ迂回電流量が減少するために電気抵抗値が高くなったと思われる。比抵抗換算により両端と中央部の比抵抗値の差が少ないことが図4よりわかる。なお、本実験において以後実験結果を比抵抗値で示すことが妥当であると考え。なお比抵抗換算は以下の式により行った。

$$\rho = R/K \quad \rho : \text{比抵抗値}, R : \text{測定電気抵抗値}, K : \text{容器定数}$$

容器定数Kは同じ型枠内においても電極の取り付け位置により数値が異なり、図2の側壁TYPE型枠においては15通りの容器定数が必要となる。

### 3. 2 振動締固めによる材料分離

#### 3. 2. 1 柱TYPE

W/C=60%, SL=21cmのコンクリートを柱TYPEの型枠に棒つき充填後120秒間振動を与えた。その後型枠の上層部(5)~下層部(1)へと各層のコンクリートを順次洗い試験により分析し各々の材料構

成を図5に示す。比抵抗値は下層部が最も高く上層部になるにつれて低い値となった。その理由として型枠内の上層部～下層部への骨材移動、粗骨材の占有率は下層部(1)～中層部(3)では50～55%と変化するもののセメントペースト量が体積比で10%程度と他の部位に比べ少なかったことが特に影響していると考えられる。

細骨材は下層部(1)～中層

部(3)まではほぼ同一量であり比抵抗値に最も影響を及ぼすのは容積中に占める粗骨材量でありその次の因子はセメントペースト量であると推測される。次に打設コンクリートの硬化過程における最上層部(5)と最下層部(1)の比抵抗変化を図6に示す。この図はW/C=35%, SL=21cmの高強度コンクリート(配合No.5)について、打設後の振動時間を0, 30, 120秒と変えた場合のものである。最下層部(1)では振動時間0～120秒と変化しても比抵抗値は約1割程度上がり振動時間の増大に対しやや増加する傾向である。しかし、最上層部(5)においては振動時間が長くなるにつれ比抵抗値は低くなる逆の傾向を示している。打設コンクリートの高さ部位別品質の変化は材料分離の傾向を推量する上での1つの指標になるものと考えられその評価が電気抵抗測定により可能であることが知られた。図7は、スランプとW/Cの異なる6種類のコンクリート(配合No.1～6)について120秒間振動を与えた後の打ち込み高さ別の(電極位置)と比抵抗値(初期)を示す。これらの6種類の配合はおよそ次の3通りの異なる傾向を示した。まずSL=11cmのW/C=40, 60%(配合No.2, 4)は下層部(1)～中層部(3)まで比抵抗値の低下はほぼ見られず上層部に向かうほど大きくなる。次にSL

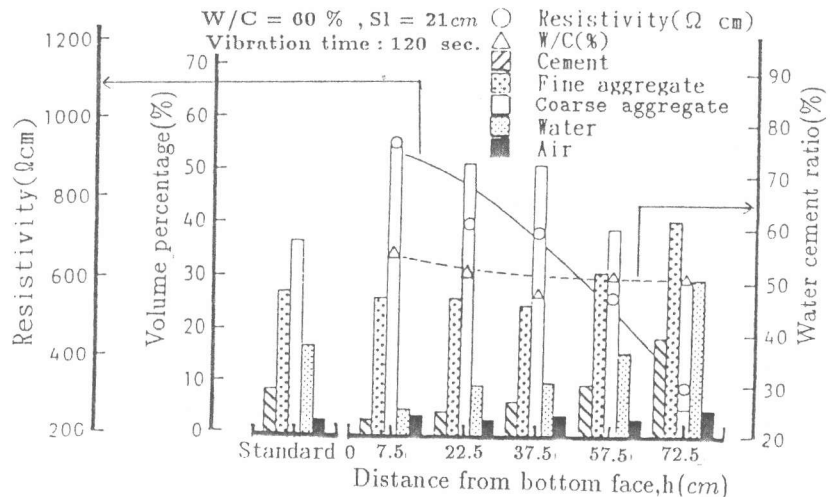


図5 各構成材と電極位置と比抵抗の関係

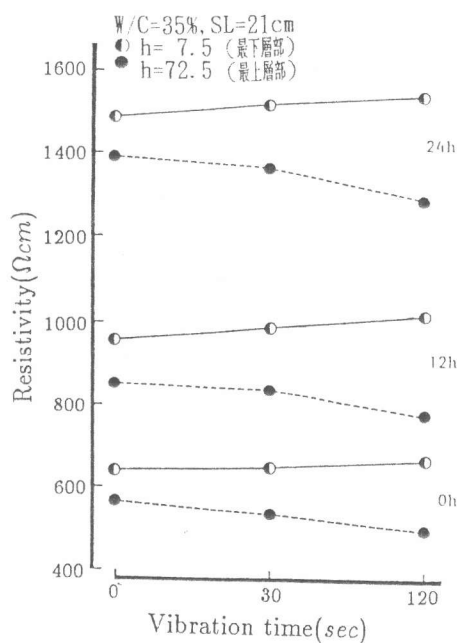


図6 振動時間の変化と比抵抗値

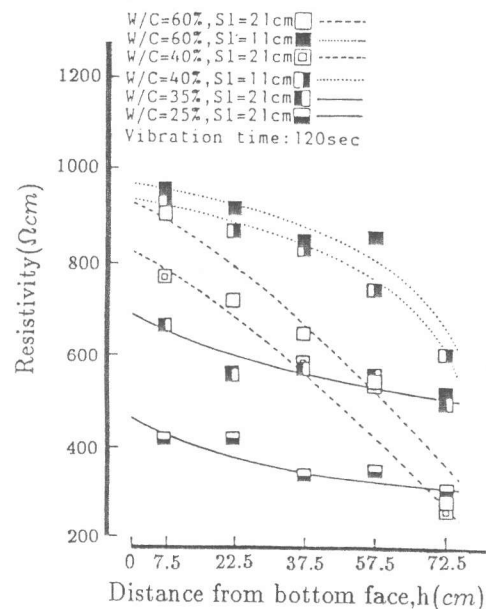


図7 配合別比抵抗値

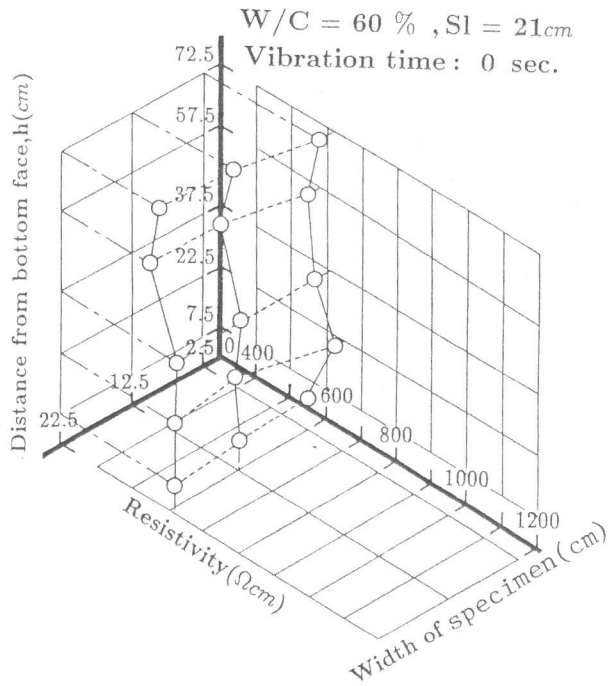


図8 電極位置と比抵抗の関係

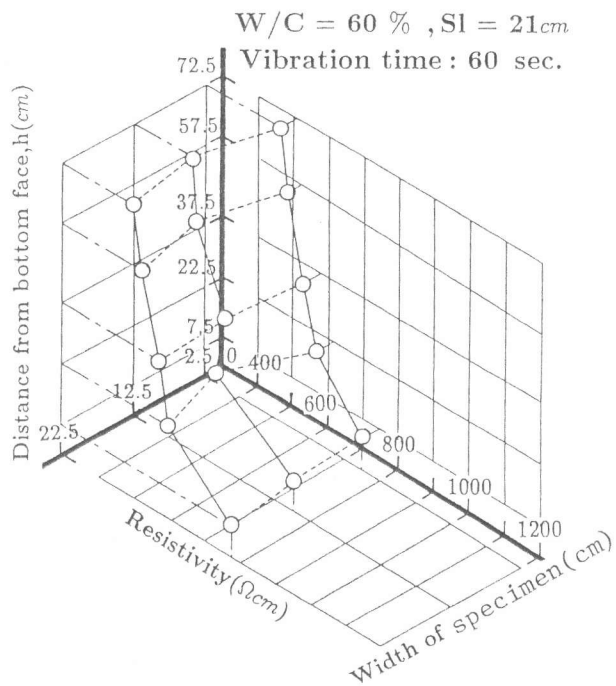


図9 電極位置と比抵抗の関係

=21cmのW/C=40,60%(配合No.1,3)は、下層部(1)~上層部(5)に向かって比抵抗値は徐々に低下していく。最後に高強度コンクリートW/C=35,25%(配合No.5,6)は普通コンクリートに比べ打ち込み高さにより比抵抗値の変化は見られない。富配合コンクリートでは全体に比抵抗値は低く、上、下層部での粗骨材量の分布が均一であり材料分離が起きにくい品質のものであると思われる。これらより同スランプではW/Cが低い程、比抵抗値は低い値を示した。同W/Cだとスランプが大きい程、比抵抗値は低い値を示した。

### 3.2.2 側壁TYPE

図8,9,10はそれぞれW/C=60%,SL=21cmの振動時間0,30,120秒の電極位置と比抵抗値を示す。振動時間の増加(0,30,120秒)にと

ともない最下層部の比抵抗値は高くなっていることがわかる。このことは供試体下層部への粗骨材が沈降し下部コンクリート中の粗骨材容積が増加したためと思われる。また、電極取り付け位置(同高さによる左右中央)による比抵抗値の差は見られるものの側壁TYPE型枠による粗骨材の移動はほぼ垂直方向のみと考えられる。左右の側壁に近い両側面の比抵抗値に見られるばらつきはコンクリートの打設時における差異である。この様に電極枚数を増やすことにより、打設時のコンクリートのより細かな各部位における性状が把握できるものと思われる。

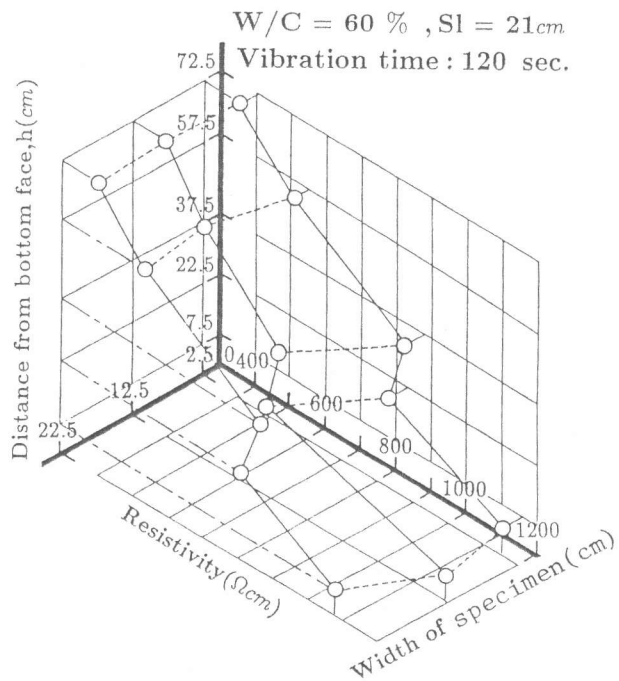


図10 電極位置と比抵抗の関係

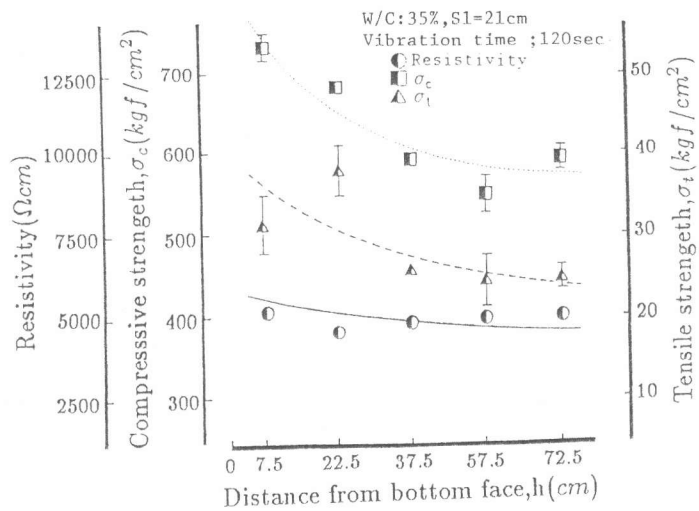
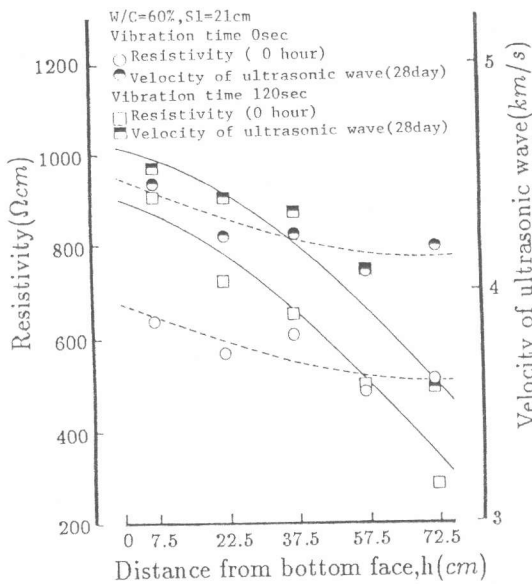


図1 1 層別の超音波伝播速度と比抵抗値 図1 2 層別の圧縮強度と引張強度と比抵抗値

### 3. 3 硬化後コンクリートの強度

図1 1は柱TYPEの型枠に配合No.1のコンクリートを打設しその打ち込み高部位における比抵抗値と超音波伝播速度の関係を示したものである。振動時間120秒の場合上、下層コンクリートの品質に差が生じ下層が密実で強度も高いことが推定される。両値は打設高さに極めて類似した傾向を示したため、あらかじめ所定配合条件のコンクリートについて電気抵抗と強度の関係式を求めた場合、電気抵抗から強度推定がおおむね可能であると思われる。次に柱TYPEの型枠にW/C=35%, SL=21cmの高強度コンクリート(配合No.5)について打設後、恒湿恒温室内で型枠のまま養生を行った。それらの部位別(電極位置)の比抵抗値を測定後脱型をし図2に示す寸法に切断し割裂引張強度と圧縮強度試験を行った。図1 2は打ち込み高さを型枠底面からの高さとして示し、比抵抗値と圧縮強度と引張強度の関係を示した。この図より材齢28日後においても比抵抗値と部位別強度は類似した傾向を示しており、また圧縮強度に比べ引張強度の方が打ち込み高さに対して強度差が顕著に現れた。また、上層部に比べ下層部(低位)の方が大きい強度値を示したが理由は下層部の方が振動により構成材が圧密充填されるためであろう。

### 4. まとめ

本実験から得られた結果を次のようにまとめることが出来る。(1)振動締固めコンクリートにおいて同一型枠内の粗骨材の移動量を電気抵抗に於いておおむね推定できると考えられる。また硬化コンクリートの強度は比抵抗値、超音波伝播速度と密接な相互関係を有すると考えられる。(2)電気抵抗法を使用してフレッシュコンクリートの材料分離を測定する上で使用型枠の形状と寸法に対して、電極形状及び寸法の選択と設置位置はあらかじめ検討する必要がある。

【謝辞】本研究の一部は、セメント協会奨励金(平成4年度)と中部大学総合工学研究所研究費によったものである。

- <参考文献> 1)小野博宣, 大岸佐吉 他:フレッシュコンクリートの電気抵抗特性その1, その2 日本建築学会東海支部研究報告集 第32号 pp. 93~100, 1994  
 2)水口裕之, 木虎久人:導電性を利用した振動締固めによる粗骨材の分離量の測定法 セメント技術年報42, pp. 184~187, 1988  
 3)花岡健哉, M. Khanzadi, 他:電気抵抗値による高流動コンクリートの分離性状の特性 第48回セメント技術大会講演集, pp. 224~229, 1994  
 4)大岸佐吉, 棚橋勇, 他:また固まらないコンクリートの調査量測定装置 コンクリート工学年次論文集. Vol. 5, pp. 65~68, 1983