

比抵抗によるコンクリートの緻密性に関する 実験的一考察

関 博*・宮田克二**・北峯博司***・
金子雄一****

コンクリートの緻密性は、コンクリート構造物の耐久性に係わる重要な要因の一つである。本研究では、配合および混和材を要因とした実験により、コンクリートの電気抵抗（比抵抗）による緻密性の評価について検討した。水の拡散係数、塩分浸透深さおよび細孔径分布の試験結果と比抵抗の測定結果を比較したところ、塩分浸透深さと比抵抗には比較的良好な相関性が認められ、比抵抗に基づく緻密性の評価が可能であることが示された。

Keywords : electrical resistivity, water permeability, chloride penetration

1. 序 論

近年、コンクリートの耐久性が大きな問題として取り上げられ、劣化の機構や耐久性向上対策、耐久性設計などが鋭意研究されている。耐久性の大きな課題の一つは鉄筋の腐食であり、酸素、水、塩化物などの気体や液体がコンクリート中の微細な空隙を移動、拡散することにより侵入することが原因と考えられている。これらの物質の移動・拡散や空隙性状に関しては、透気性^{1),2)}など、透水性³⁾など、イオンの拡散性^{4),5)}などなどの立場から数多くの研究成果が報告されており、また、水銀圧入法による細孔構造についての研究⁶⁾なども多く見られる。

本研究では、主に鉄筋の腐食因子（特にCl⁻）などを想定し、コンクリート中での液体の移動に着目し、新たな測定法を導入することを試みた。すなわち、コンクリート中への物質の侵入の難易を、既存の透水試験、塩化物浸透試験に加えて、コンクリートの比抵抗を測定することにより評価することの可能性を実験的に検討した。さらに、本方法でのモルタルやコンクリートでの比較、コンクリートの使用材料や配合の相違による比較を行った。なお、コンクリートに関しては水銀圧入法による細孔構造の測定もあわせて実施した。

2. コンクリートの比抵抗の測定法に関する検討

100×760×75 mm（以下、X供試体とする）、100×540×75 mm（以下、Y供試体とする）の形状を有する供試体を各々4体製作し、その後ほぼ100×100×75 mmの形状に分割し、コンクリートの比抵抗を3種類の

方法により測定し、測定法の比較検討を行った。

(1) 供試体の製作

コンクリートの使用材料および配合をTable 1, Table 2にそれぞれ示す。練り混ぜ時には15 kg/m³の割合で、塩化ナトリウムを練り混ぜ水に溶解させた。供試体製作後、約1ヶ月間気乾養生（温度19±1°C、湿度60% R.H.）した後、供試体を水槽内（水温15°C）で2週間吸水させた。X供試体、Y供試体各2体は、さらに1週間水槽内に放置し、残りの各2体は室内に1週間放置した後、比抵抗の測定を行った。ここで、供試体を静置した環境とは、2週間の吸水の後に1週間放置した環境、すなわち水槽および室内とする。なお、X供試体には、4点電極法による比抵抗の測定を行うために5 cmに切断した銅棒（φ4 mm）を両端1 cmを残してエポキシ樹脂塗装し、Fig.1に示すように、コンクリート打設直後に差し込んだ。

(2) 比抵抗の測定法

a) 4点電極法（Wenner法）⁷⁾

X供試体に埋設した両端の電極（銅棒）に直流定電流（10~20 mA）を印加して中央の電極間の電位差を測定し、次式により比抵抗を算出した。

$$\rho = 2\pi a \frac{V}{I} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 ρ ：比抵抗（ $\Omega \cdot \text{cm}$ ）

a ：電極の間隔（cm）

V ：中央の電極間の電位差（mV）

I ：印加した電流（mA）

b) 直流による測定

X供試体を分割した試験体を用いて、カルボキシルメチルセルロースを塩水（濃度3.3%）で練ったゲル状の物質を供試体両面に塗布し、電極として銅板を貼付け、両極間に直流定電流（10 mA）を印加した。両極板間の電位差を測定し、次式により比抵抗を算出した。

* 正会員 工博 早稲田大学教授 理工学部土木工学科 (〒169 新宿区大久保3-4-1)
** 正会員 工修 清水建設(株) 土木本部技術第三部
*** 正会員 工修 奈良県 土木部砂防利水課
**** 正会員 工修 東電設計(株) 第二土木本部地中線土木部主任

Table 1 Materials.

セメント	普通ポルトランドセメント (比重: 3.16、比表面積: 3190cm ² /g)
細骨材	相模川産川砂 (比重: 2.61、吸水率: 2.73%、粗粒率: 3.17)
粗骨材	八王子産砕石 最大寸法: 13mm (比重: 2.66、吸水率: 0.91%、粗粒率: 5.91)

Table 2 Mix proportion of concrete.

スラブ (cm)	空気量 (%)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)							
					W	C	S	G	混 和 剤		添 加 剤	
									減水剤	AE剤	塩 化 ナトリウム	化 学 ナトリウム
8.5	7.7	13	60.0	50.0	176	293	862	879	2.93	0.045	15	

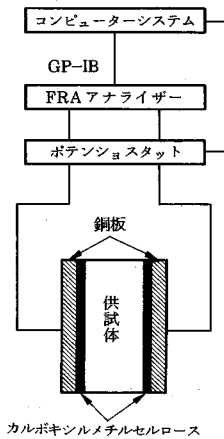


Fig.2 Apparatus for measuring AC impedance.

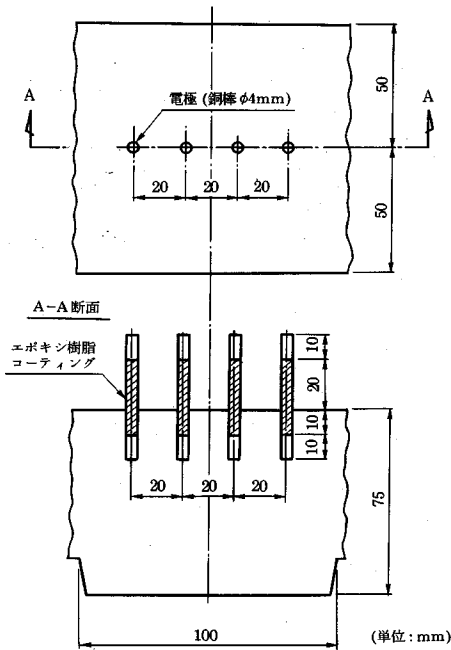


Fig.1 X specimen.

$$\rho = \frac{S}{L} \cdot \frac{V}{I} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、S: 極板面積 (cm²)

L: 極板間隔 (cm)

c) 交流による測定 (交流インピーダンス法)^{8),9)}

Y供試体を分割した試験体を用いて、供試体両面にカルボキシメチルセルロースを塩水で練ったゲル状の物質を塗り銅板を取り付け、Fig.2に示すインピーダンス測定装置により、交流負荷電圧 10 mV、周波数 10 mHz ~ 100 kHz でインピーダンスの測定を行った。比抵抗 ρ は、1 kHz におけるインピーダンスの実数成分を次式に

よって換算した値とした。

$$\rho = \frac{S}{L} \cdot Z \dots \dots \dots (3)$$

ここに、Z: 1 kHz におけるインピーダンスの実数成分 (Ω)

なお、水槽に静置したものについてのインピーダンス測定結果の一例 (Cole-Cole plot¹⁰⁾) を Fig.3 に示す。一般に、コンクリートは抵抗と容量 (コンデンサ) の並列回路として扱われることが多い¹¹⁾。また、交流インピーダンスは周波数 ω をパラメータとする複素量であり、電流、電圧との位相のずれがない抵抗成分を実数成分とし、位相のずれを伴う容量成分を虚数成分として表される。Fig.3 は、各周波数毎に測定されたインピーダンスを周波数応答解析 (FRA) により実数成分と虚数成分に分けて表示したものである。

(3) 測定法の相違

得られた測定結果を Table 3 に示す。比抵抗は静置した環境によらず、交流による測定、4点電極法、直流による測定の順に、前者ほど小さい値が得られた。

室内に静置した場合、4点電極法と交流による測定の二つの測定による値は、前者は後者より若干大きい値を示し、水槽に静置した場合、両者の間にかかなりの差が生じた。4点電極法および直流による測定においては、電流の向きが常に一定であり、電極における分極の影響が測定値に含まれると考えられる。一方、交流による測定では、電極における分極は生じにくく、また、水槽に静置した場合のデータのばらつきが小さいことから、コンクリートの比抵抗をより正確に測定することが可能であると考える。

本研究においては、これらの理由より、交流インピーダンス法を用いてモルタルおよびコンクリートの比抵抗の測定を実施することとした。

Table 5 Mix proportions of mortar.

供試体記号	セメントの種類	混和材の種類	水結合材比 (%)	換率 (%)	単 位 量						フ	空	
					水 W (kg/m³)	セメント C (kg/m³)	シリカフューム SF (kg/m³)	高炉スラグ SL (kg/m³)	細骨材 S (kg/m³)	消泡剤 A (kg/m³)			高性能減水剤 (C+SF+SL) × %
MN 1	普通ポルトランドセメント		39.8		250	628			1439		1.1	185	4.2
MN 2			46.0		259	563			1469		0.5	179	2.3
MN 3			46.0		259	563			1469	1.0	0.5	170	2.1
MN 4			58.7		287	489			1456			188	2.7
MS 1	シリカ		36.7	20	336	733	183		916		1.3	193	1.0
MS 2			50.1	20	392	626	157		888		0.7	167	2.3
MS 3		フューム	59.9	20	426	569	142		863			175	1.4
ML 1	高炉スラグ微粉末		39.9	50	240	301		301	1465		0.6	174	3.6
ML 2			48.7	50	259	266		266	1474		0.3	179	3.0
ML 3			57.3	50	280	244		244	1459			183	2.2
MC 1	コロイド		40.1		273	681			1306		1.4	185	3.4
MC 2	セメント		47.2		288	610			1328		0.9	185	3.0
MC 3			57.3		311	543			1326			188	2.1

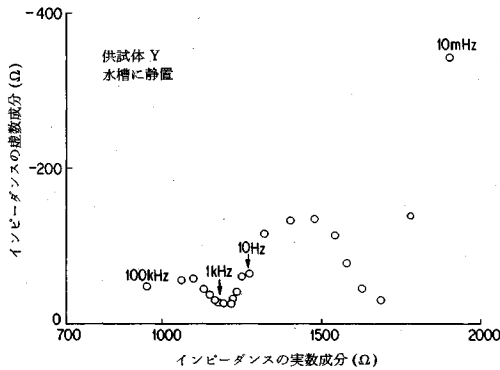


Fig.3 A result of measuring AC impedance.

Table 3 Results of electrical resistivity.

測定方法	比 抵 抗 (Ω・cm)			
	室 内		水 槽	
	データの範囲	平均値	データの範囲	平均値
4点電極法	11100~14500	12400	6240~8110	7090
直流による測定	13200~38000	27300	7550~10300	8480
交流による測定	9680~14800	11700	3860~4640	4270

3. 実験方法

(1) 実験概要

2. に記述した方法でコンクリートの比抵抗の測定法を検証した後に、緻密性を評価するためにさらに透水性、塩化物浸透性を実験項目として取り上げた。前者に関してはインプット法による透水試験、後者に関しては塩化物浸透試験（浸透深さ方法）を用い、それぞれ水の拡散係数および塩化物の平均浸透深さを求めた。さらに、コンクリートのポロシチーを測定した。モルタルおよびコンクリートの製作に関しては、本実験においては、配合

Table 4 Materials.

セメント	普通ポルトランドセメント (比重: 3.16、比表面積: 3190cm²/g)
	コロイドセメント (比重: 3.00、比表面積: 9200cm²/g)
細骨材	相模川産川砂 (比重: 2.61、吸水率: 2.73%、粗粒率: 3.17)
粗骨材	八王子産砕石 最大寸法: 20mm (比重: 2.67、吸水率: 0.63%、粗粒率: 6.67)
混和材	シリカフューム (比重: 2.27、比表面積: 232000cm²/g)
	高炉スラグ微粉末 (比重: 2.89、比表面積: 4280cm²/g)
混和剤	消泡剤 A (シリコーン系) 消泡剤 B (リン酸エステル系)

(主に水結合材比)、混和材料（シリカフューム、高炉スラグ微粉末、コロイドセメント、消泡剤）を実験要因として取り上げた。

(2) 使用材料および配合

実験で用いた主な使用材料を Table 4 に示す。

モルタルの配合は、Table 5 に示すとおりであり、フローを 180 mm と設定し、水結合材比を約 40%、約 50%、約 60% の 3 種類に変化させた。これらのモルタルでは、水結合材比による影響を検討するためにそれぞれの結合材を用いた配合に対してセメントペースト量（混和材を含む）をできるだけ同一とするように努め、混和剤として高性能減水剤を使用した。

また、コンクリートの配合は、Table 6 に示すとおりであり、単位水量を 190 kg/m³ とし、同時に単位モルタル量を一定とし、高性能減水剤を用いてスランプを 8 ± 1 cm とすることを目標とした。

(3) 供試体および試料の製作

a) モルタル

比抵抗測定、透水試験および塩化物浸透試験の供試体は、φ15×30 cm の円柱型枠を用いて高さ 15 cm まで打

Table 6 Mix proportions of concrete.

供試体記号	混和材の種類	水結合材比 (%)	置換率 (%)	単 位 量							スランプ (cm)	空気量 (%)	
				水 W (kg/m ³)	セメント C (kg/m ³)	シリカフェーム SF (kg/m ³)	高炉スラグ SL (kg/m ³)	細骨材 S (kg/m ³)	粗骨材 G (kg/m ³)	消泡剤 B (cc/m ³)			高性能減水剤 (C-31+SL) × %
N1		30		190	634			655	956		0.65	9.0	1.5
N2		40		190	476			786	956		0.50	8.0	0.5
N3		50		190	381			865	956		0.20	8.0	0.5
N4		60		190	318			917	956			7.0	0.7
N5		70		190	270			955	955			6.5	0.7
S1	シリファム	40	20	190	381	95		755	956		1.65	9.0	0.6
S2		50	10	190	343	38		852	956		0.85	9.0	0.7
S3		50	20	190	304	76		840	955		1.50	6.5	0.5
S4		50	30	190	266	114		828	955		2.00	7.5	0.6
S5		60	20	190	254	63		896	956		1.40	6.5	0.5
L1	高炉スラグ微粉末	40	50	190	238		238	768	955		0.30	9.5	0.5
L2		50	30	190	266		114	856	955			8.0	0.5
L3		50	50	190	190		190	850	955			8.5	0.8
L4		50	70	190	114		266	844	956			9.0	0.7
L5		60	50	190	158		158	906	956			8.0	0.8
A1		40		190	476			786	956	300	0.50	9.0	0.5
A2		50		190	381			865	956	150	0.20	8.0	0.6
A3		50		190	381			865	956	300	0.20	7.0	0.6
A4		50		190	381			865	956	450	0.20	9.0	0.7
A5		60		190	318			917	955	300		9.0	0.5

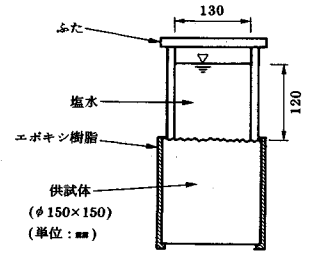


Fig.4 Chloride penetration testing device.

設し、各供試体は打設後、湿潤養生を2日間行い、脱型後材令7日まで水中養生(20°C)を行った。

比抵抗の測定には、供試体の下面約5cmを用いた。水中養生後、気中養生させ、その後試験時の供試体を飽水状態にするために測定前3週間は水中養生させた。

透水試験用の供試体は、水中養生後、上下面をコンクリートカッターを用いて切断し高さ5cmに整形した。その後、透水試験開始2週間前まで水中養生した後、透水試験用容器に入れ、供試体と容器のすきまをコーティング材で充填し、2週間自然乾燥させた後に透水試験に供した。

塩化物浸透試験用の供試体は、水中養生後、円柱体の側面および上下面縁辺にエポキシ樹脂コーティングを施し、上面に塩化ビニール円筒(内径13cm)を取り付けた後、気中に静置した。

b) コンクリート

透水試験、塩化物浸透試験用の供試体はφ15×30cmの円柱型枠を用い、圧縮強度、比抵抗測定、細孔径分布測定用の供試体は、φ10×20cmの円柱型枠を用いた。各供試体は打設後、湿潤養生を2日間行い、脱型後材令7日まで水中養生を行った。

比抵抗の測定には、水中養生した円柱体の上下面を切断して得られた中央部約6cmの円柱体を用いた。切断後材令28日まで気中養生し、供試体を飽水状態にするために約8週間水中養生させた。

透水試験用の供試体は、水中養生した円柱体を切断して得られた下部15cmの円柱体を用いた。塩化物浸透試験用の供試体は、透水試験と同様の成形をした円柱体を用いた。両試験用供試体ともコーティング等に関してはモルタルの試験と同じとした。

細孔径分布測定には、材令7日まで水中養生、以後気中養生した円柱体(φ10×20cm)の一部を用いた。

(4) 透水試験方法

透水試験は、透水試験装置(丸東製作所製、9連式)を用い、インプット法により実施した。供試体には打ち込み方向から、試験圧力20kgf/cm²(1.96MPa)の水圧を96時間作用させた後、直径方向に割裂し、ただちに水の浸透部の境界を記録した。水の浸透部の面積をプランメータを用いて測定し、平均浸透深さを求め、次式を用いて拡散係数を計算した³⁾。

$$\beta_i^2 = \alpha \cdot \frac{D_m^2}{4t\xi^2} \dots \dots \dots (4)$$

ここに、β_i²: 拡散係数 (cm²/sec)

D_m: 平均浸透深さ (cm)

t: 水圧を加えた時間 (sec)

α: 水圧を加えた時間に関する係数 (t^{3/2})

ξ: 水圧の大きさに関する係数 (=1.386)

(5) 塩化物浸透試験方法^{4),12)}

塩化物浸透試験は、浸透深さ方法を用いた。Fig.4に示すように、供試体上面に濃度3%のNaCl溶液を常に一定の水位12cmに保つように補充しながら、91日間および1年間滞留させた。所定期間終了後、供試体を直径方向に割裂し、ただちに供試体の断面にフルオロセインナトリウム(C₂₀H₁₀O₅Na₂)0.1%溶液を、次に硝酸銀0.1%溶液を噴霧し、白色を呈した部分を塩化物の浸透部としてその面積をプランメータを用いて測定し、平均浸透深さを求めた。

(6) 細孔径分布測定方法

細孔径分布測定は、水銀圧入式ポロシメータ(島津製作所製、ポアサイザー9310)を用いて実施した。測定

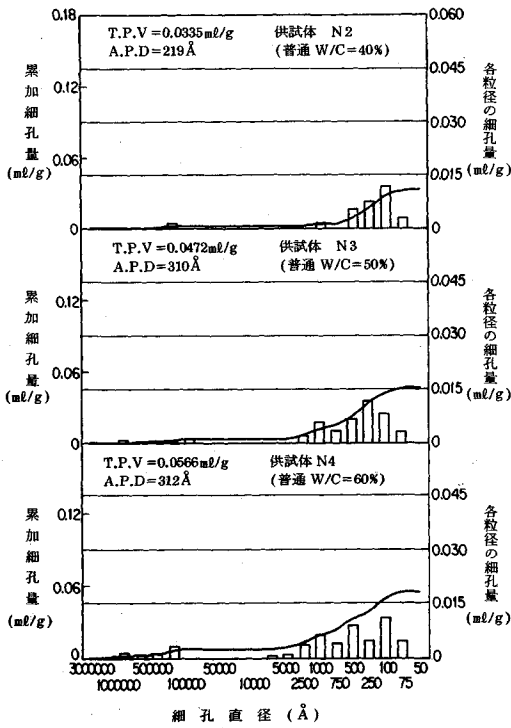


Fig.5 Pore size distributions.

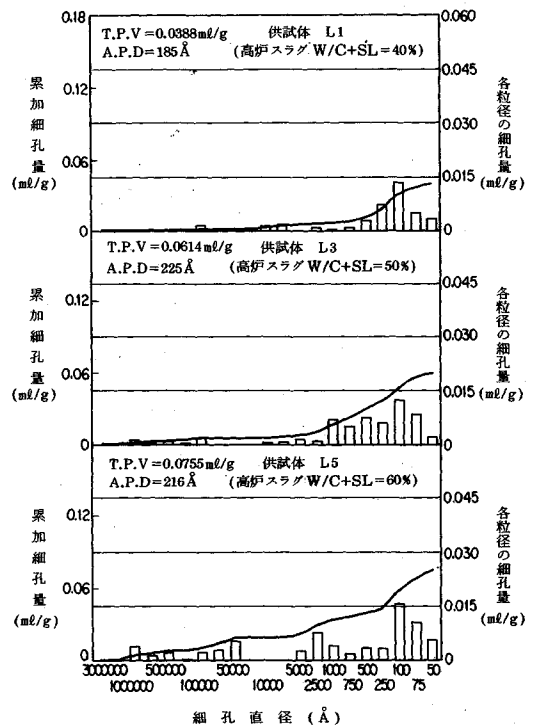


Fig.7 Pore size distributions.

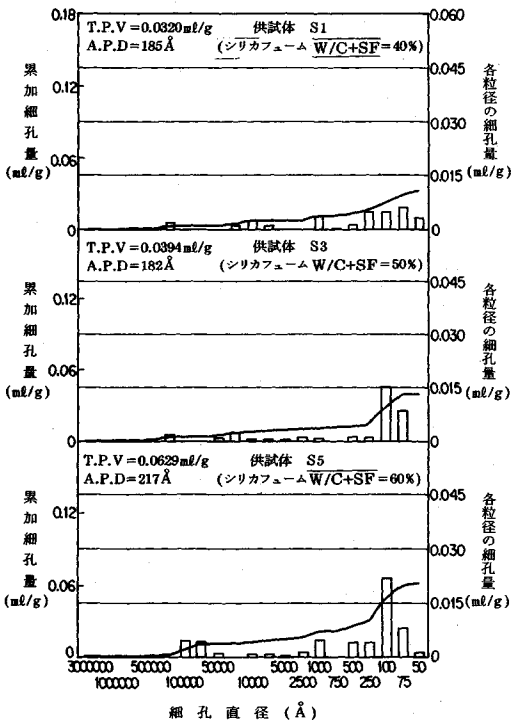


Fig.6 Pore size distributions.

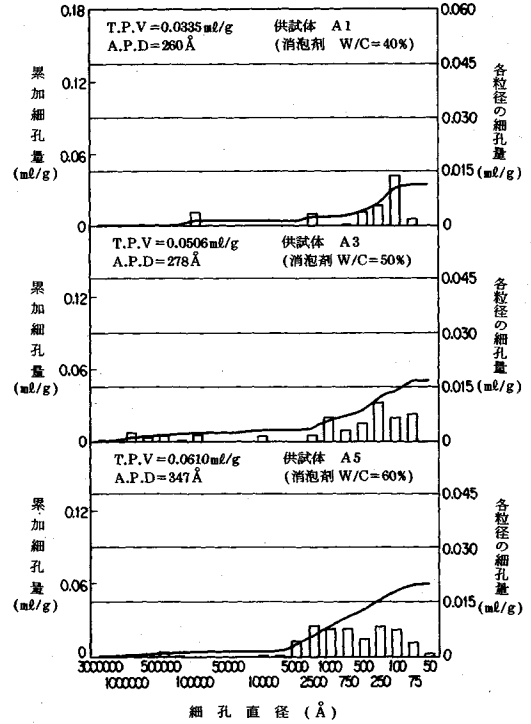


Fig.8 Pore size distributions.

Table 7 Results of compressive strength.

水結合材比(%)		普通					シリカフェーム				高炉スラグ微粉末				コロイドセメント			消泡剤								
供試体記号		30	40	50	60	70	40	50			60	40	50	60	40	50	60	40	50	60						
モルタル	圧縮強度 (kgf/cm ²)		MN1	MN2	MN3		MS1	MS2			MS3	ML1		ML2		ML3	MC1	MC2	MC3			MN3				
			644	534	422		757	544			463	549		454		384	741	582	541			504				
コンクリート	供試体記号	N1	N2	N3	N4	N5	S1	S2	S3	S4	S5	L1	L2	L3	L4	L5						A1	A2	A3	A4	A5
	圧縮強度 (kgf/cm ²)	604	499	438	387	283	590	504	489	509	424	388	377	325	256	255						511	465	451	456	408

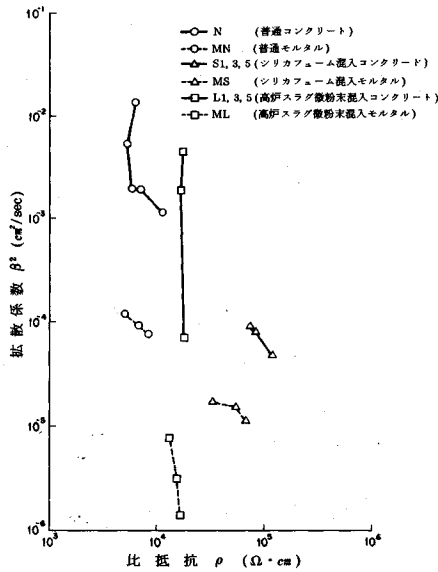


Fig.9 Relationship between electrical resistivity and water permeability.

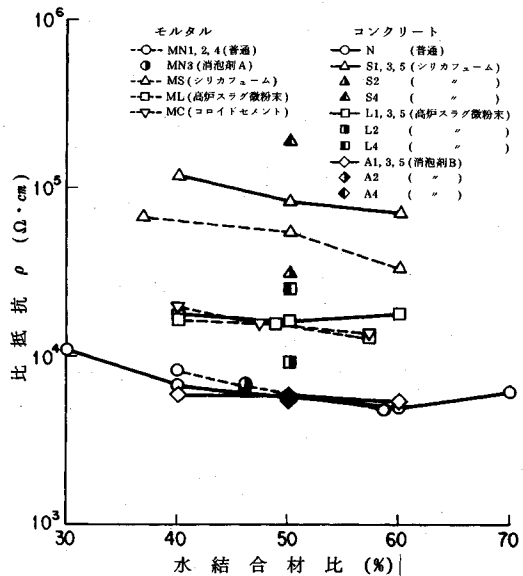


Fig.11 Electrical resistivity against water-cement ratio.

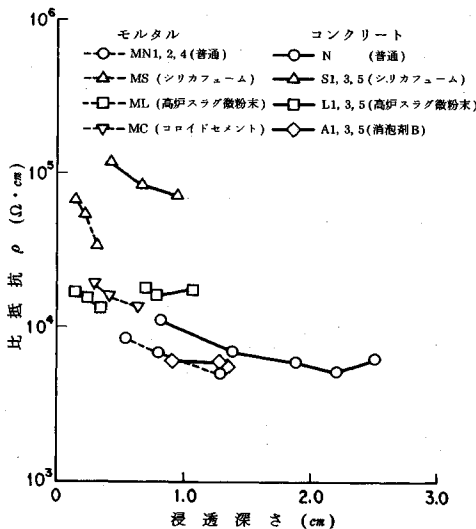


Fig.10 Relationship between chloride penetration and electrical resistivity.

方法は以下のとおりである。供試体中心部を破砕し、2.5~5 mm 程度のモルタルを採取して試料とする。ついで、アセトンに2~3時間浸漬することにより水和を

停止させた後、真空ポンプを用いて真空脱気を行う。真空処理された試料約 0.7 g をセルに入れる。セルを低圧部にセットして真空ポンプでもう一度脱気し、ついで 0~15 psia (0~0.10 MPa) まで、続いて高圧部にセルをセットして 15~30,000 psia (0.10~210 MPa) までの圧力と水銀圧入量との関係を測定し、その結果より細孔径分布、全細孔容積、平均細孔直径を求めた。なお、コンクリート-水銀の接触角は 130° とした。結果を、Figs.5~8 に示す。

(7) 圧縮強度試験方法

管理供試体の圧縮強度試験は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」にしたがって行った。材令 28 日における圧縮強度試験結果を Table 7 に示す。

4. 比抵抗と各種測定方法の比較および評価

(1) 各種測定方法の比較

Fig.9 および Fig.10 は、比抵抗と他の 2 種の試験法の相互比較を示したものである。

Fig.9 は、拡散係数と比抵抗の関係を示したものであるが、明確な相関性を見出すことは困難であった。

Fig.10 より、比抵抗は、モルタル、コンクリートともシリカフェームの添加により増大するものの、塩化物

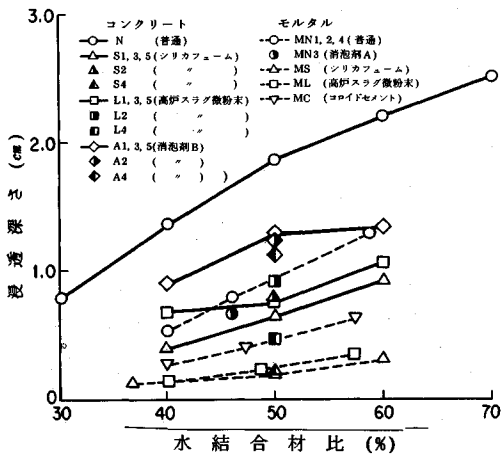


Fig.12 Chloride penetration against water-cement ratio.

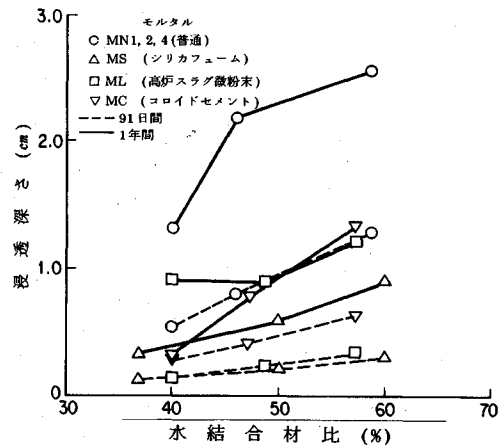


Fig.13 Chloride penetration against water-cement ratio of mortar.

の浸透深さと比較的良好な関係にあるように思われ、塩化物の浸透深さの小さな供試体では大きな比抵抗を示している。浸透深さが小さく緻密なモルタルないしコンクリートほどこの傾向は明瞭であり、電気抵抗性と塩化物浸透性には相関性があると考えられる。

(2) モルタルとコンクリートの相違

Fig.11およびFig.12は、水結合材比をパラメータとした比抵抗および浸透深さの測定結果を示している。

Fig.11は、水結合材比と比抵抗の関係を図示したものである。一般に、比抵抗はセメントペースト量の減少とともに増加と言われており¹³⁾、モルタルよりもペースト量が少ないコンクリートでは、その比抵抗はモルタルよりも大きくなる。本実験においても、多少のばらつきはあるものの、同一条件で比較すると、モルタルよりコンクリートの方が比抵抗が大きくなる傾向がある。

水結合材比と平均浸透深さの関係を図示したFig.12より、モルタルはコンクリートよりも塩化物の浸透は小さい。同一水結合材比で比較すると、モルタルはコンクリートより浸透深さで約1/2前後に減少する結果となっている。また、Fig.13およびFig.14は、試験期間91日間と1年間の浸透深さと水結合材比の関係を、モルタルおよびコンクリートについてそれぞれ示している。シリカフェュームを用いたコンクリートを除き、試験期間が長くなると浸透深さが大きくなっている。浸透深さの大きい普通モルタルと普通コンクリートを比較すると、試験期間が長い方が、また、水セメント比が大きいほどモルタルとコンクリートの差がより顕著になることが判る。

(3) 配合および混和材料における相違

a) 水結合材比

Fig.11に示されるように、水結合材比の減少に伴っ

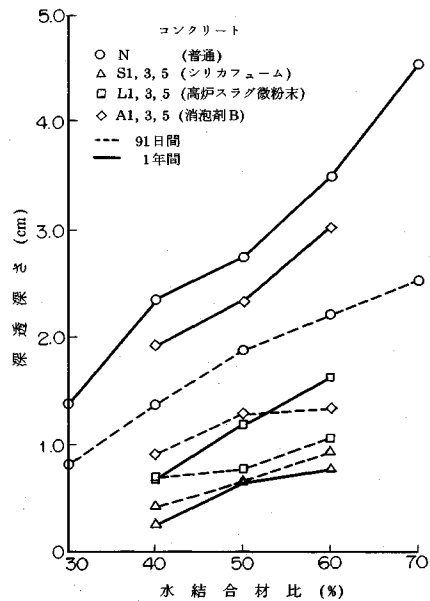


Fig.14 Chloride penetration against water-cement ratio of concrete

て比抵抗はほぼ増加する結果となった。モルタルの配合において単位セメントペースト量はほぼ一定であり、電気抵抗は水セメント比の減少により増加するとする既存の考え方¹³⁾と一致する。一方、コンクリートにおいては水結合材比の増加とともにセメントペースト量が減少する配合となっている。そのため、電気抵抗は水結合材比とセメントペースト量の双方の影響を受けるが、結果から判断すると、全体的には水結合材比の増加による影響がセメントペースト量の減少による影響を上まわったものと思われる。

Fig.12に見られるように、水結合材比の減少に伴って、平均浸透深さは減少する結果が得られた。この原因

としては、セメントペースト中の毛細管空隙が減少して、連続の空隙から非連続の空隙となること、材料分離の傾向が小さくなりブリージングによる水みちおよび骨材下面の空隙が生じにくくなることによるものと思われる。

また、Figs.5~8より、水結合材比の減少に伴って全細孔容積が減少するとともに、より小さい径へ細孔の分布が移行することが判る。

以上の結果から、混和材の種類およびその置換率が同じ場合には、コンクリートの緻密性と比抵抗および塩化物浸透深さには、相関性があると考えられる。

b) 混和材料

Fig.11に見られるように、コロイドセメント、混和材料(シリカフェーム、高炉スラグ微粉末)の使用によって比抵抗が増加する結果が得られた。特に、シリカフェームを混入した場合、モルタル、コンクリートともに著しく比抵抗が増加しており、コンクリートについては、その置換率が大きいほど比抵抗が大きくなっている。これはシリカフェームを用いたコンクリートの電気抵抗は大きいという報告¹⁴⁾と一致するものであり、シリカフェーム自身の電気抵抗が大きいため、それを含むセメントペースト自体の電気抵抗が大きくなることも原因のひとつと考えられる。

Fig.12に示されるように、混和材の使用、消泡剤の添加によって、モルタルおよびコンクリートにおいて塩化物の平均浸透深さはともに減少し、シリカフェームで1/2以下、高炉スラグ微粉末で約1/2の値を示すようになった。

混和材を使用した場合は、細孔径分布測定結果(Figs.5~8)において平均細孔直径が小さくなることからわかるように、粒子による空隙の充填やボゾラン反応による組織の緻密化¹⁵⁾が原因と考えられる。

上述のようにセメント硬化体はその電気的特性に及ぼす影響は、例えば含水率の影響^{16),17)}のように複雑であるが、今回、塩化物浸透試験とほぼ同じ傾向が結果として得られたことを考えると、モルタルおよびコンクリートの電気抵抗と緻密性には関連性があり、より緻密になると比抵抗が大きくなる傾向にあるといえる。

5. 結 論

モルタルおよびコンクリートの緻密性について、比抵抗による測定を実施し、測定法を検討するとともに、透水試験、塩化物浸透試験、細孔径分布測定の結果と比較した。さらに、配合、材料といった要因が緻密性に及ぼす影響について検討を行った。本研究の範囲では、以下の事項が明らかになったと思われる。

- (1) 比抵抗の測定結果は、塩化物浸透試験結果と比較的良好な相関性が認められた。
- (2) 比抵抗による測定法は、より緻密なコンクリ

ートにおいて鋭敏に緻密性を評価できるようである。

- (3) 配合(主に水結合材比)や材料(シリカフェーム、高炉スラグ微粉末、消泡剤、コロイドセメント)といった要因によるモルタルおよびコンクリートの緻密性への影響は大きいものと思われる。

本研究において、比抵抗の測定に関しては望月紀保氏(中川防蝕工業株式会社)、混和材に関しては和泉 隆氏(三井石油化学工業株式会社)より種々御教示を頂いた。また、実験に際しては東川直樹氏(中部電力株式会社)、滝口伸明氏(NKK)、永尾拓洋氏(早稲田大学大学院)をはじめ研究室の方々の御助力を頂いた。ここに、本研究に御協力頂いた各位に深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 長滝重義・氏家勲：コンクリートの透気性，セメント・コンクリート，No.455，pp.24~31，1985年1月。
- 2) 小林一輔・出頭圭三：各種セメント系材料の酸素の拡散性状に関する研究，コンクリート工学，Vol.24，No.12，pp.91~107，1986年12月。
- 3) 村田二郎：コンクリートの水密性の研究，土木学会論文集，第77号，pp.69~99，1961年11月。
- 4) 大濱嘉彦・出村克宜・三宅雅之：ポリマーセメントモルタル及びコンクリートにおける塩化物イオン拡散性状，セメント技術年報40，pp.87~90，1986年。
- 5) Buenfeld, N.R. and Newman, J.B. : Examination of three methods for studying ion diffusion in sement pastes, mortars and concrete, Materials and Structures, pp.3~10, Vol.20, No.115, 1987.1.
- 6) 内川浩：組成と構造の観点から見た硬化セメントペースト，モルタルおよびコンクリートの類似性と相違点，セメント・コンクリート，No.507，pp.33~45，1989年5月。
- 7) Ewing, S.P. and Hutchison, J.S. : Cathodic protection applied to tank bottoms, Corrosion, Vol.9, pp.221~231, 1953.7.
- 8) 望月紀保 他：コンクリートの抵抗率推定方法，第34回腐食防食討論会予稿集，A-308，pp.97~102，1987年。
- 9) 逢坂哲彌・小山昇・大坂武男：電気化学法(基礎計測マニュアル)，講談社，pp.157~182，1989年。
- 10) 水流徹：交流インピーダンスの表示法，防食技術，No.34，pp.582~583，1985年。
- 11) 後藤信弘 他：交流インピーダンス法による鉄筋腐食評価に関する一考察，コンクリートの非破壊試験法に関するシンポジウム論文集，日本コンクリート工学協会，pp.109~114，1991年4月。
- 12) 宮田克二・関 博・藤井健太郎：コンクリートの水密性に関する基礎的研究，土木学会第45回年次学術講演会概要集，pp.460~461，1990年9月。
- 13) McCarter, W.J., Forde, M.C. and Whittington, H.W. : Resistivity characteristics of concrete, Proc. Instn. Civ. Engrs. Part 2, 71, pp.107~117, 1983.3.

-
- 14) GjØrv, O.E. : Durability of concrete containing condensed silica fume, ACI SP-79, vol.2, pp.695~708.
- 15) 長滝重義・米倉亜州夫：シリカフェームとコンクリート，コンクリート工学，vol.23, No.5, pp.5~15, 1985年5月.
- 16) Hope, B.B. et al. : Corrosion and electrical impedance in concrete, Cement and Concrete Research, vol.15, No.3, pp.525~534, 1985.
- 17) 北峯博司・関博・金子雄一：コンクリートの含水比と抵抗率に関する実験的研究，土木学会第45回年次学術講演会概要集，pp.774~775, 1990年9月.
(1991.3.27 受付)
-

EXPERIMENTAL STUDY ON PERMEABILITY OF CONCRETE BASED ON ELECTRICAL RESISTIVITY

Hiroshi SEKI, Katsuji MIYATA, Hiroshi KITAMINE and Yuichi KANEKO

Concrete is normally considered to have high watertightness, but it is microscopically porous material. The migration and diffusion of oxygen, water, chloride ion and so on causes corrosion of steel embedded in concrete. Accordingly the improvement of durability of concrete is considered to make concrete itself voidless.

In this paper, electrical resistivity was measured so as to estimate the permeability of mortar and concrete. Besides, three methods of electrical resistivity measurement were compared. Complementally experimental methods adopted were water permeability test, chloride penetration test and porosity measurement. Test results indicated that electrical resistivity had correlated with chloride penetration and provided reliable indicator of the permeability of mortar and concrete. Furthermore, mix proportion and addition of admixture had an influence on the permeability of mortar and concrete.
