

# 材料と配合の相違が電気化学的促進手法による モルタルの変質性状に及ぼす影響

斉藤裕司<sup>1</sup>・中根 淳<sup>2</sup>・辻 幸和<sup>3</sup>・藤原 愛<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修(株)大林組 技術研究所 建築第二研究室主任研究員 (〒204 東京都清瀬市下清戸4-640)

<sup>2</sup>正会員 工修(株)大林組 技術研究所 建築第二研究室室長 (〒204 東京都清瀬市下清戸4-640)

<sup>3</sup>正会員 工博 群馬大学教授 工学部建設工学科 (〒376 群馬県桐生市天神町1-5-1)

<sup>4</sup>工修(財)原子力環境整備センター 研究第二部 (〒105 東京都港区虎ノ門2-8-15)

水と接しているコンクリートから水和生成物が徐々に溶解していく変質挙動を促進するための室内促進試験方法として、試験体に電位勾配を与える方法の確立を意図し、水和組織の量の違いによる影響を検討するために細骨材量を変えた試験を、水和組織の質の違いによる影響を検討するために水セメント比を変えた試験とセメントの種類を変えた試験を、それぞれ行なった。そして、水和組織の量と質の面から試験結果を解析し、コンクリートの耐久性と密接な関係にある材料と配合の相違が、モルタルの変質性状の試験結果に反映されることを明らかにした。

**Key Words:** deterioration, hydrated cement structure, electrical potential gradient, dissolution, mix proportion

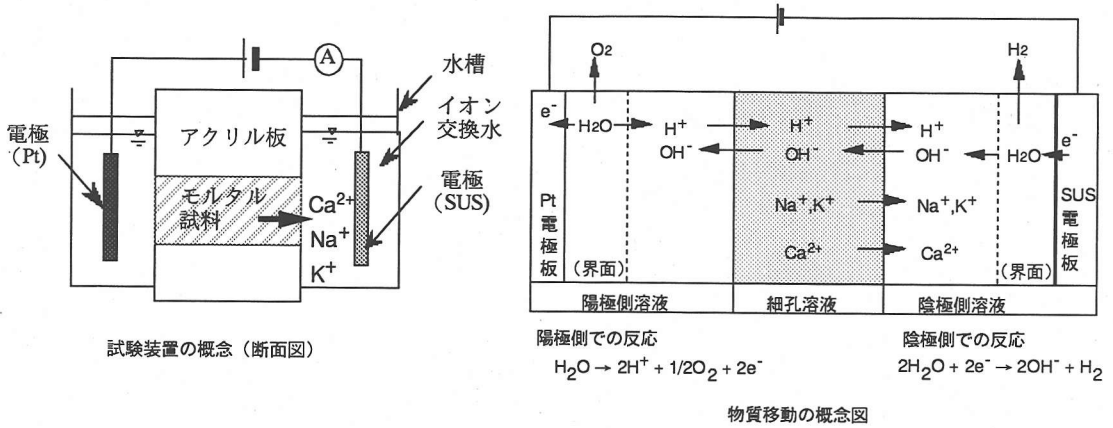
## 1. まえがき

地下水と長期間接することになるコンクリート構造物には、優れた耐久性が要求される場合がある。例えば、放射性廃棄物処分施設では、長期間に及ぶ変質挙動の予測が求められている。その際に対象となる現象は、処分施設が地中に構築される予定になっているため、地下水と接する環境条件下でセメントの水和生成物が徐々に水に溶解していく変質および地下水に含まれている侵食成分による変質(Chemical Attack)の二つが挙げられる。変質に及ぼす影響度合は、前者に比べて後者のほうがはるかに大きい。処分場の選定に当たっては、できる限り変質させる外力を小さくする観点から地下水中に含まれる侵食成分の少ない場所となる可能性が高く、水和生成物の溶解に伴う変質の検討が重要である。

筆者等は、セメントの水和生成物が水に溶解して変質していく機構を明らかにし、超長期に及ぶ変質をシミュレーションによって予測する際のモデル化に資するため、その挙動を促進する室内促進試験方法として電気化学的手法に着目し、侵食成分を含まないイオン交換水を用いた単純な系における一連の

実験検討を行ってきた。この変質促進試験方法は、水に接している試験体の両側から直流の電位勾配を与えて、陰極側に溶出してくるCa量を測定するとともに、変質した範囲や水和生成物の構成と細孔構造の変化などの水和組織の変質状態を調査するものである。これまでの試験検討によって、Caの溶出を促進でき、溶出するCa量は2~10V/cmの範囲で電位勾配に比例すること<sup>1)</sup>、実際の構造体で生ずると推察される変質状態、すなわち内部に比べ表面ほど変質が進んだ状態を再現できること<sup>2)</sup> および変質した範囲は溶出したCa量と1次式の関係にあること<sup>3)</sup>など、この手法は水和生成物の溶解に伴う変質挙動を促進する有効な方法であることを明らかにした。しかしながら、水と接したコンクリートの変質促進試験方法として確立するためには、以下の課題<sup>1)</sup>が残っている。すなわち、①材料と配合の影響、②コンクリートに有害な成分を微量含む水の系に対する適用性の検討、③自然界における変質速度との定量的な関係の検討である。

ここで、材料と配合は耐久性に関連する最も重要な因子の一つであり、処分施設の設計に際しても十分な耐久性が確保できる材料と配合を選定する必要がある。そのための参考資料にこの試験方法による結果を



図一 試験装置の概念図と本試験における物質移動の概念図

利用するためには、試験結果に材料と配合の相違が反映されていなければならない。溶出してくるCa量や変質した範囲は、試験体中の水和組織の量と質によって影響されると考えられる。水和組織の量は配合によって、水和組織の質は配合と材料（主としてセメントの種類）によってそれぞれ決まる。そのため、材料と配合の異なる試験結果を水和組織の量と質の面から解析し、それらの違いが試験結果に正しく反映されていることを明らかにできれば、本試験方法の適用性がより一層明確になる。

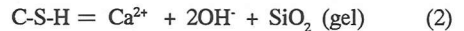
また、処分施設用のコンクリートには、構造材料としてだけでなく、核種の漏洩を抑制するための人工バリア材としての機能も期待されており、それら機能が変質に伴ってどのように変化するかのも解明も求められている。これら機能の変化は水和組織の変化と密接に関連していることが予想され、その関連を明らかにすることも重要である。

以上の観点から、本文は、材料と配合の相違が試験結果に与える影響について水和組織の量と質の面から検討した結果を述べるとともに、変質に伴う水和組織の変化とそれに関連する人工バリア材としての機能の一部であるイオンの透過性、透気・透水性や圧縮強度の変化について考察したものである。

## 2. 水和生成物の溶解機構と電気化学的手法による促進原理

細孔溶液中において、セメントの主な水和生成物であるCa(OH)<sub>2</sub>とC-S-Hは、それぞれを構成するイオン種との間に、式(1)と式(2)の化学反応式で示される化学平衡が維持されている。水和生成物の溶解は、化学平衡が右に移行することを意味し、細孔溶液中のCa<sup>2+</sup>イオン量、またはOH<sup>-</sup>イオン量が減少すると化学

平衡が右に移行し、水和生成物の溶解が進行していく。



両者が共存する場合の平衡関係は、Brown<sup>4)</sup>らによって熱力学的に考察されており、エーライトやピーライトから生成したCa(OH)<sub>2</sub>とC-S-Hは相平衡点を維持しているが、溶液中のCa<sup>2+</sup>イオン量が減少すると、相平衡を維持するためにCa(OH)<sub>2</sub>が溶解してCa<sup>2+</sup>イオンが供給される。Ca(OH)<sub>2</sub>が完全に消失すると、C-S-HからCa<sup>2+</sup>イオンの供給が開始され、C-S-Hの変質が進行していき、最終的にはSiO<sub>2</sub>ゲルになるまで変質が進む。上記のように、2種類の溶解反応は同時に進行するのではなく、まず最初にCa(OH)<sub>2</sub>が溶解し、Ca(OH)<sub>2</sub>が消失した部分では、次にC-S-Hが溶解していく。

上述のように、セメントの水和生成物の溶解は関係するイオンの移動によって生じている。イオンの移動速度が溶解速度を律則していると考え、イオンの移動速度を増加することによって、溶解速度の増加が可能と推察できる。本手法では、イオンの移動速度を増加させるために電位勾配を与える手法に着目した。すなわち、電気化学の見解によれば、水溶液中のイオン種は、直流の電位勾配が与えられると、陽イオンは陰極側に、陰イオンは陽極側に向かってそれぞれ移動する。その際、無限希釈溶液における1V/cm当たりの移動速度は移動度と呼ばれ、イオン種によってそれぞれ特有の値が得られている。

本手法による促進原理を説明するため、本手法を利用した促進試験装置の概念図と、促進試験時の物質移動の概念図を図一示す。水と接するコンクリートを模擬するため、アクリル板のホルダーに埋め込んだモルタル試験体の両側に水槽を設置し、水槽内の電極を

表一 1 試験の種類

(1) 水和組織の量；1) 細骨材量を変えた試験
(2) 水和組織の質；1) 水セメント比を変えた試験 2) セメントの種類を変えた試験

表一 3 クリンカー鉱物の構成 (%)

	C <sub>3</sub> A	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>4</sub> AF	CaSO <sub>4</sub>
OP	8	57	16	9	5
SO	4	44	34	13	3
MH	1	56	22	15	3
LH	4	27	52	11	3

表一 2 セメントの化学分析値

	lg.loss	Insol	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
OP	1.82	<0.1	64.0	20.8	4.87	2.90	1.97	2.9	0.30	0.38
MH	0.86	<0.1	64.0	23.3	4.20	4.16	1.11	2.0	0.12	0.24
SO	0.85	<0.1	64.8	22.4	3.70	4.97	0.97	1.9	0.14	0.23
LH	1.46	<0.1	62.5	25.1	3.80	3.72	0.99	2.0	0.14	0.26
B	1.02	<0.1	54.5	25.5	8.91	1.60	4.51	3.1	0.36	0.46

OP；普通ポルトランドセメント，MH；中庸熱セメント，  
SO；耐硫酸塩セメント，LH；低熱ポルトランドセメント，  
B；高炉セメントB種

介して試験体に直流の電位勾配を与えてイオンの移動を速める。その際、両極側ともイオン交換水を使用すると、試験体の細孔溶液中に存在するCa<sup>2+</sup>イオンが外部の水を模擬した陰極側溶液中に移動して行くので、水和生成物の溶解現象を促進することになる。なお、細孔溶液中には、Ca<sup>2+</sup>イオンの他にNa<sup>+</sup>イオン、K<sup>+</sup>イオンおよびOH<sup>-</sup>イオン等が存在するが、それらも移動することになる。

本試験装置では、陽イオンは陰極側に向かって移動し、陰イオンは陽極側に向かって移動するので、陽イオンと陰イオンでは、その移動する方向が互いに逆方向となる。実際のコンクリートで生じる水和生成物の溶解現象では、溶解によって生じた細孔溶液中のCa<sup>2+</sup>イオンとOH<sup>-</sup>イオンの両方が同じ外部の方向に移動していくと考えられるので、本試験装置でのOH<sup>-</sup>イオンの移動方向は実際とは逆になる。しかし、移動方向の相違によって水和生成物の溶解反応が変化するわけではないので、この相違が変質機構を変えることにはならないと考えられる。

また、図一1に示したように、本装置による促進試験では、両極側の電極界面において水の電気分解が生じ、陰極側ではOH<sup>-</sup>イオンが、陽極側ではH<sup>+</sup>イオンがそれぞれ生成し、それらが互いに反対側の電極に向かって移動する。この事象も、実際の水和生成物の溶解では生じないが、この事象が水和生成物の溶解現象を全く違ったものにしてしまうとは考えにくく、試験時のイオンの移動効率や、pH雰囲気

の相違による溶解度などに少し影響するものと考えられる。

### 3. 試験方法

#### (1) 試験の種類

本文では、配合に関して2種類、材料に関して1種類の合計3種類の試験を行った。それらを、水和組織の量と質の面から分類し、表一1に示す。水和組織の量の違いが試験結果に及ぼす影響を検討するために細骨材量を変えた試験を、水和組織の質の違いが試験結果に及ぼす影響を検討するために水セメント比を変えた試験とセメントの種類を変えた試験を、それぞれ行った。

細骨材量を変えた試験では、水セメント比は一定とした。また、細骨材量が異なると骨材の周囲に形成される遷移帯の生成状態も異なるといわれており<sup>2)</sup>、遷移帯の組織はペースト部に比べてやや粗いため、遷移帯の量や分布状態が耐久性能に影響することが予想される。そのため、この試験では遷移帯の量や分布状態の違いを検討することも意図している。

水セメント比を変えた試験は、水和組織の緻密さと変質との関係を調べることを目的とし、細骨材の占める割合は一定とした。セメントの種類を変えた試験は、水和組織の質を水和生成物の構成面から検討した。セメントの種類によってクリンカー鉱物の構成割合が異なるので、水和生成物の構成割合も異

表一 4 供試モルタルの配合

試験の種類		W/C	S/C
配合を変えた試験 (1) 細骨材量	No.1	0.41	1.62
	No.2		1.00
	No.3		0.57
	No.4		0.25
配合を変えた試験 (2) 水セメント比	No.5	0.32	0.67
	No.6	0.41	0.77
	No.7	0.50	0.87
	No.8	0.60	0.97
セメントの種類を変えた試験(No.9~13)		0.65	2.0

なる。水和生成物の種類によって溶解のし易さが異なるので、セメントの種類は対象としている変質現象に影響する重要な因子の一つである。

## (2) 供試モルタル

### a) 使用材料

セメントの種類を変える試験に使用したセメントは、処分施設への適用が考えられているもので、4種類のポルトランド系のセメント：普通ポルトランドセメント(OP)、中庸熱ポルトランドセメント(MH)、耐硫酸塩ポルトランドセメント(SO)および高ピーライト系の低熱ポルトランドセメント(LH)に加えて、高炉セメントB種(B)の合計5種類とした。使用したセメントの化学組成を表一2に示す。また、ポルトランドセメント系のセメントについては、Bogueの計算式を用いて算出したクリンカー鉱物組成を表一3に示す。配合を変えた試験では、普通ポルトランドセメントを用いた。細骨材は、いずれの試験においても、豊浦産の標準砂(実積率57.2%)を用いた。

### b) 配合

供試モルタルの配合を表一4に示す。セメントの種類を変えた試験では、水セメント比は65%、砂セメント比は2.0とした。配合を変えた試験の内、細骨材量を変えた試験では、水セメント比は41%と一定とし、細骨材量の配合割合を実積率に対する細骨材の容積比(S/Slim)として80, 60, 40, 20%の4水準としたため、砂セメント比は1.62, 1.00, 0.57, 0.25となった。

水セメント比を変えた試験では、水セメント比は32, 41, 50, 60%の4水準とし、細骨材量をS/Slimとして50%の一定としたため、砂セメント比は0.67~0.97となった。なお、モルタル作製時には、フロー値

表一 5 試験条件

電位勾配	10 V/cm
水質	イオン交換水
温度	室温(約25℃)
試験期間	セメントの種類：3, 6カ月 配合：4カ月

が約200mmとなるように、高性能AE減水剤(ポリカルボン酸塩系)またはAE減水剤を、必要に応じて添加した。

### c) 試験体の形状寸法と作製方法

試験体の形状寸法は、直径が2.5cm、長さが10cmの円柱状とした。モルタルの練混ぜは、JIS R 5201「セメントの物理試験法」に準じて行った。各モルタルは、フロー値を測定した後、直径が2.5cm、長さが11cmのアクリル製のモールドに詰め、20℃の標準水中養生を4週間行った後、両端を切断して10cmの長さ成形した。なお、モールドに詰める際、試験結果に影響すると考えられる空気量を出来るだけ少なくするため、試験体からの脱気が認められなくなるまで、小型のテーブルバイブレータを使用して十分に締め固めた。

## (3) 試験項目と方法

### a) 試験開始時の水和組織

20℃の標準水中養生を4週間行った各配合の試験体について、鈴木ほかが提案した方法<sup>9)</sup>を適用し、水和生成物の構成をX線回折法で、Ca(OH)<sub>2</sub>とCaCO<sub>3</sub>含有量をTG-DTA法で、C-S-HのCa/Siモル比を化学分析法でそれぞれ測定した。また、各モルタル試料については、直径3nm~60μmまでの範囲の総細孔量と細孔径分布を、水銀圧入法で測定した。

### b) 変質促進試験

電気化学的手法を用いた変質促進試験装置に各試験体をセットし、表一5に示す条件下でCaの溶出を促進させる試験を行った。

水和生成物の溶解のような化学反応は、温度の影響を強く受ける。そこで、本試験は、25±2℃に設定した室内で行った。また、試験に伴う温度上昇も懸念されたので、陰極側溶液中に熱電対を設置し、室温とともに溶液の温度変化を3時間毎に監視した。その結果によれば、試験期間中の陰極側溶液の温度変動は、室温の変動とほとんど同じで、一時的に2℃ほどの温度変化が認められたが、ほとんどは25±1.5℃であった。

上記の温度条件下で10V/cmの電位勾配を与えて、セメントの種類を変えた試験では3カ月および6カ月

表一 6 試験体中の Ca (OH)<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub> 含有量と C-S-H の Ca/Si モル比

		Ca(OH) <sub>2</sub> [%]	CaCO <sub>3</sub> [%]	C-S-Hの Ca/Si比	備考
細骨材量	No.1	19.4	7.7	2.0	S/C ; 1.62
	No.2	18.7	7.7	2.1	S/C ; 1.0
	No.3	19.5	7.8	1.9	S/C ; 0.57
	No.4	19.9	8.0	2.0	S/C ; 0.25
水セメント比	No.5	17.0	9.1	1.9	W/C ; 0.32
	No.6	18.7	8.2	2.0	W/C ; 0.41
	No.7	21.3	8.4	1.9	W/C ; 0.5
	No.8	21.4	9.8	1.9	W/C ; 0.6
セメントの種類	No.9	21.2	7.7	2.0	OP
	No.10	19.6	6.8	2.0	MH
	No.11	21.9	7.2	1.9	SO
	No.12	12.3	6.7	2.1	LH
	No.13	7.8	5.0	2.0	B

表一 7 細孔量の測定結果 (試験開始時)

		PV [cc/cc]	PV/Vp [cc/cc]	備考
細骨材量	No.1	0.164	0.303	S/C ; 1.62
	No.2	0.169	0.257	S/C ; 1.0
	No.3	0.184	0.238	S/C ; 0.57
	No.4	0.226	0.254	S/C ; 0.25
水セメント比	No.5	0.145	0.203	W/C ; 0.32
	No.6	0.171	0.240	W/C ; 0.41
	No.7	0.240	0.336	W/C ; 0.5
	No.8	0.253	0.354	W/C ; 0.6
セメントの種類	No.9	0.206	0.368	OP
	No.10	0.223	0.397	MH
	No.11	0.208	0.371	SO
	No.12	0.204	0.362	LH
	No.13	0.193	0.342	B

PV ; 単位容積当たりの細孔量 (以下の表も同じ)  
 PV/Vp ; セメントペースト容積当たりの細孔量  
 (以下の表も同じ)

間, 配合を変えた試験では4カ月間, Caの溶出を促進させた. 試験期間が異なる理由は, 変質に伴う水和組織の変化とコンクリートとしての諸物性の変化を調べるために必要な変質範囲を得るためであり, セメントの種類を変えた試験では変質後の強度の測定に必要な2.5 cmを, 配合を変えた試験では透気試験に必要な約2 cmの変質範囲を, それぞれ得るためである.

試験中は, 1週間に1回の割合で両極側の溶液を全量交換し, 陰極側から回収した溶液中のCa<sup>2+</sup>イオン濃度を原子吸光光度計を用いて測定した. また, 変質促進試験後は, 各試験体を装置から取り出し, 目視によって変質した陰極側表面からの距離を, 変質範囲として測定した. 水和生成物の一部が溶解した変質範囲は, 水和組織がポーラスになっているため, 目視によって明確かつ容易に識別できた.

c) 変質促進試験後の水和組織の変化

変質促進試験後の水和組織の変化を調べるため, ダイヤモンドカッターを用いて試験体を変質境界で二分割し, 変質部および未変質部の試料をそれぞれ採取し, 水和生成物の構成および総細孔量と細孔径分布を, a) で述べた方法で測定した.

d) 変質促進試験後の諸物性

変質に伴うコンクリートとしての諸物性の変化を推定するため, セメントの種類を変えた試験では圧縮強度を, 配合を変えた試験では透気係数を測定した. それぞれの測定に用いた試験体は, 変質境界で変質部と未変質部とに二分割したもので, 圧縮強度測定用の長さは約2.5 cm, 透気係数測定用の長さは約2 cmとなった.

透気係数の測定としては, 各試料を1週間真空乾燥を行った後, 長滝と氏家の方法<sup>7)</sup>に準じて透気量を測定し, 下式から透気係数を算出した.

$$K = 2l \times P_2 \gamma / (P_1^2 - P_2^2) \times Q / A \quad (3)$$

ここに,

K : 透気係数 (cm/s)

l : 供試体の厚さ (cm)

Q : 流量 (cm<sup>3</sup>)

A : 透気面積 (cm<sup>2</sup>)

γ : 空気の単位容積質量 (1.205 × 10<sup>-6</sup> kg/cm<sup>3</sup>)

P<sub>1</sub> : 載荷圧力 (Pa)

P<sub>2</sub> : 大気圧 (Pa)

4. 試験開始時の水和組織

(1) 水和生成物の構成

試験に供したすべての試験体に共通して含まれる水和生成物の種類には, Ca (OH)<sub>2</sub>, C-S-Hおよびモノサルフェートの3種類が, X線回折法によって識別できた. C-S-Hの識別には, 2θが29.4°, 32.2° および50.1°の回折線を用いた. 次に, TG-DTA法によって求めた試験体中のCa (OH)<sub>2</sub>とCaCO<sub>3</sub>の含有割合および化学分析法によるC-S-HのCa/Siモル比の測定結果を, 表一6に示す.

細骨材量を変えた試験に用いた試験体中のCa (OH)<sub>2</sub>含有量は18.7~19.9%, CaCO<sub>3</sub>含有量は7.7~8.0%といずれも類似し, 細骨材量による違いは認められない. 水セメント比を変えた試験に用いた試験体中のCa (OH)<sub>2</sub>含有量は17.0~21.4%で, 水セメント比が50%と60%のものは類似していたが, 水セメント比が小さくなるほどCa (OH)<sub>2</sub>はやや減少する傾向が認められた. 一方, CaCO<sub>3</sub>含有量は8.2~9.8%で, 水セメント比との関連は認められない.

セメントの種類を変えた試験では, Ca (OH)<sub>2</sub>量はセメントの種類によって異なり, 普通ポルトランドセメントと耐硫酸塩ポルトランドセメントはそれぞれ

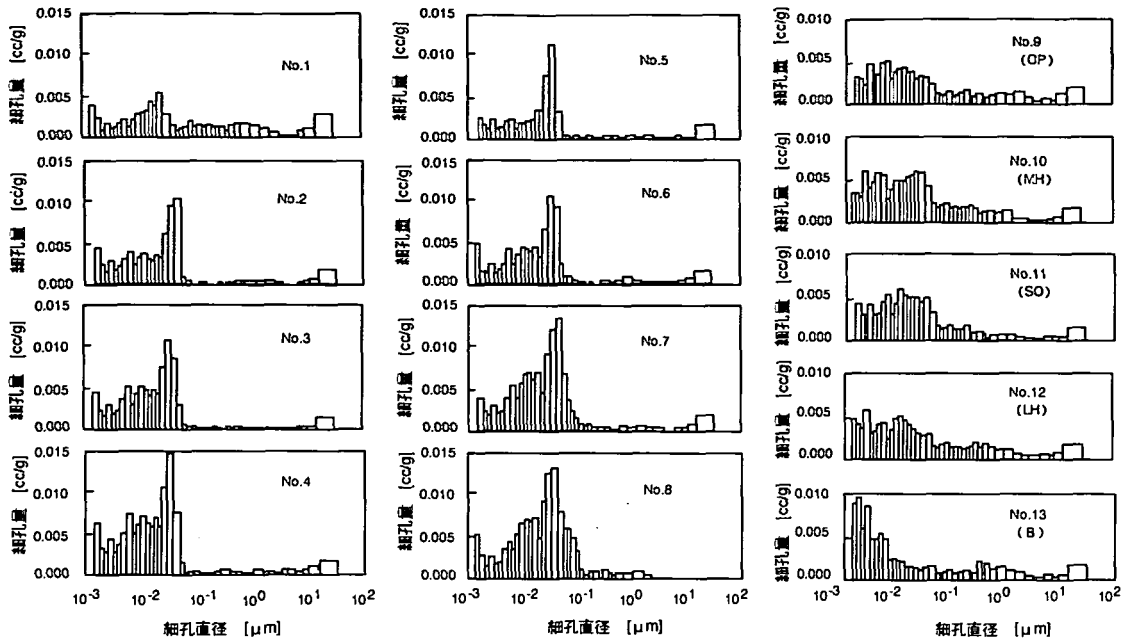


図-2 細孔径分布 (細骨材量) 図-3 細孔径分布 (水セメント比) 図-4 細孔径分布 (セメントの種類)

21.2%と21.9%と類似し、中庸熟ポルトランドセメントは19.6%とやや少なく、低熟ポルトランドセメントは12.3%、高炉セメントB種は7.8%と少ない。これらは、表-3に示したように、セメントの種類に起因したクリンカー鉱物構成の違いを反映したものである。なお、C-S-HのCa/Siモル比は、各セメント、各配合とも1.9~2.1と類似の値を示した。

## (2) 細孔構造

総細孔量 (PV) の測定結果を表-7に示す。配合によって水和生成物の含有割合が異なるので、水和生成物の細孔構造を相互に比較するため、総細孔量をセメントペーストの体積 (Vp) で割った値 (PV/Vp) を、同表に併記した。

細骨材量を変えた試験では、砂セメント比が1以下の場合にはPV/Vpはいずれもほぼ類似した値を示すが、砂セメント比が1.62の場合には約20%ほど大きな値を示す。この違いは、細骨材量が増えることによって遷移帯の形成が顕著になったためと、後述の細孔径分布の測定結果から判断される。水セメント比を変えた試験では、水セメント比の増加に伴ってPV/Vpは0.2から0.35に増加し、当然ながら水和組織が粗くなっていることを示している。セメントの種類を変えた試験では、いずれのセメントにおいてもPV/Vpは0.34~0.4と、特に顕著な差は認められない。

次に、細孔径分布を図-2~図-4に示す。細骨材量を変えた試験では、砂セメント比が1以下の場合にはいずれも類似した分布を示し、大部分が50nm以下

の細孔径であるのに対し、砂セメント比が1.62の場合には50nm~2μmの範囲の細孔量も多く、総細孔量の約40%を占めている。特に、50nm~2μmの範囲の細孔は、骨材周囲に形成される遷移帯によるものと言われている<sup>8)</sup>。水セメント比を変えた試験では砂セメント比がいずれも1以下であるため、大部分が50nm以下となる分布を示した。また、20~50nmの範囲の細孔が特に目立つことが、砂セメント比が1以下の場合に共通している。

セメントの種類を変えた試験では、ポルトランド系セメントでは類似していたが、高炉セメントB種では細孔径が5nm以下の細孔の占める割合がポルトランド系セメントに比べて多く、従来からの知見<sup>9)</sup>と一致している。この結果は、セメントの種類の違いを反映した水和組織の相違を示しているといえる。また、砂セメント比が2.0であることから、遷移帯によると判断される50nm~2μmの範囲の細孔も認められる。

上記のように、細孔量および細孔径分布の測定結果には、配合およびセメントの種類の違いによる水和組織の特徴がよく現れている。

## 5. Ca 溶出量とモルタルの変質範囲

### (1) Ca 溶出量

細骨材量を変えた試験で溶出したCa量の経時変化を図-5に示す。溶出したCa量は試験体の単位容積当たりの溶出量として示している。砂セメント比の

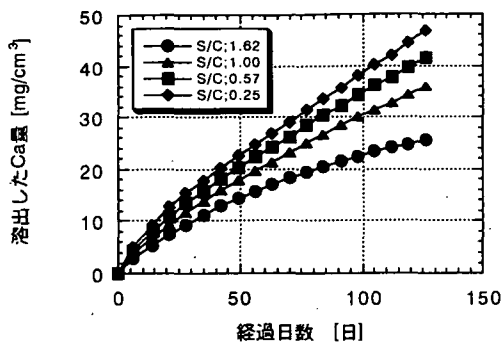


図-5 Ca 溶出量の経時変化 (1)

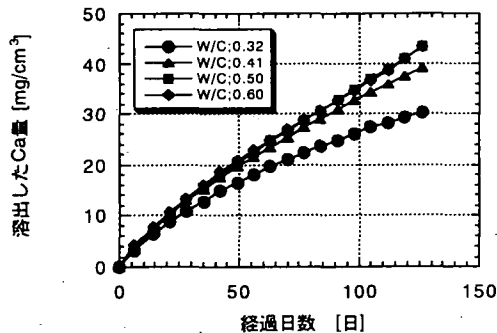


図-8 Ca 溶出量の経時変化 (2)

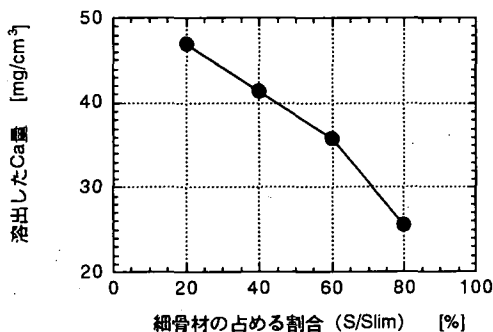


図-6 細骨材の占める割合と溶出した Ca 量の関係

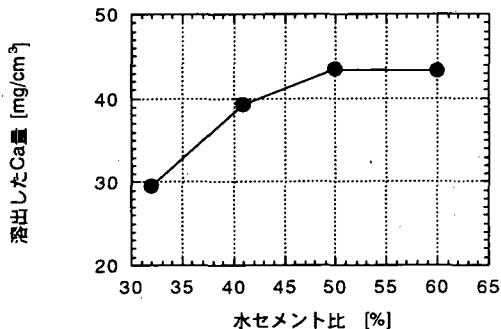


図-9 水セメント比と溶出した Ca 量の関係

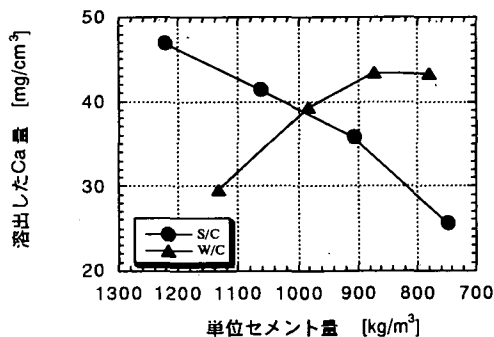


図-7 単位セメント量と溶出した Ca 量の関係

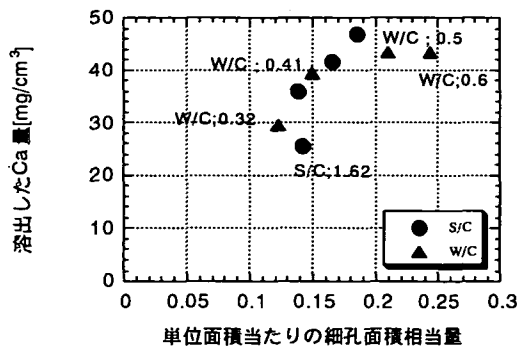
相違によって Ca の溶出曲線が異なっているが、これは、試験体の単位セメント量の相違を反映したものと考えられ、この考察は後ほど行なう。また、砂セメント比が 1.62 の場合、Ca 溶出量の経時変化は 2 次曲線的で、既報告<sup>2)</sup>の結果と類似していたが、砂セメント比が 1 以下の場合、50 日以降はほぼ直線的に増加する傾向が認められた。砂セメント比が 1 を境にして水和組織の面で大きく異なる点は、先述のように細孔径分布であり、この違いが関係しているものと推察されるが、この説明は今後の課題である。

細骨材の占める割合と溶出した Ca 量との関係を図-6 に示す。細骨材の占める割合の増加に伴って、

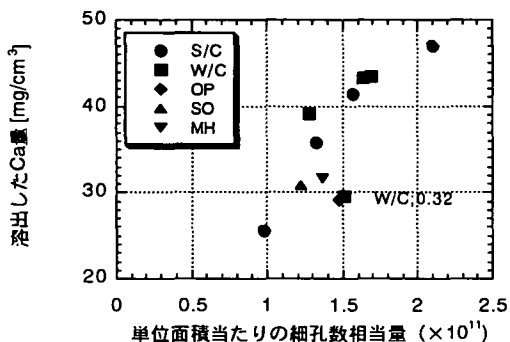
Ca 溶出量は逆比例的に減少している。その際、細骨材の占める割合が S/Slim として 80% と多く、遷移帯が形成されていたと判断される試験体の Ca 溶出量の減少割合が、他の試験体に比べて大きい。この結果は、遷移帯の有無によって Ca 溶出割合がやや異なることを示唆しており、この説明も今後の課題である。

細骨材の占める割合が大きな配合ほど単位セメント量は減少するので、単位セメント量と溶出した Ca 量との関係を図-7 に示す。横軸は、図-6 と対応させるため、単位セメント量の小さいものを右側に表示している。単位セメント量の減少に伴って、Ca 溶出量はほぼ直線的に減少し、その傾向は細骨材の占める割合と Ca 溶出量の関係と非常に類似している。したがって、細骨材の占める割合が増加するのに伴って、Ca 溶出量は逆比例的に減少する理由は、単位セメント量の減少、言い換えれば水和組織の量が減少するためと判断される。

水セメント比を変えた試験で溶出した Ca 量の経時変化を図-8 に示す。この試験では、砂セメント比が 0.67~0.97 と 1 以下となっているため、Ca 溶出量の経時変化はやはり 50 日以降直線的に増加していく傾向が認められる。水セメント比と Ca 溶出量との関係を図-9 に示す。Ca 溶出量は水セメント比の増加に伴って増加するが、50% 以上では頭打ちとなる傾向



図一 10 単位面積当たりの細孔面積相当量と Ca 溶出量



図一 11 単位面積当たりの細孔数相当量と Ca 溶出量

が認められる。水セメント比が減少するほど単位セメント量は増加するので、単位セメント量と溶出した Ca 量との関係を図一 7 に併記した。この試験では、Ca 溶出量は、細骨材量を変えた試験の結果とは逆に、単位セメント量の増加に伴って減少している。この結果は、Ca 溶出量は単に水和組織の量が関係するのではなく、水和組織の質にも関係し、緻密なものほど溶出しにくいことを示している。

上記のように、両試験において得られた Ca 溶出量は、単位セメント量または水セメント比のそれぞれで説明づけることができない。このことは、水和組織の量と質の両方を考慮した指標で解析する必要性を示している。

ここでは、解析法の一つとして、Ca<sup>2+</sup>イオンは水和組織中の連続した細孔を通して溶出してくるものと考えてみた。細孔径分布の測定結果から得られるモルタルの単位容積当たりの細孔量は単位面積当たりの細孔面積と相似し、これは水和組織の量と質の両方がある程度考慮した指標の一つと考えられる。そこで、変質試験後の各試験体の未変質部について測定した結果を表一 8 に、Ca 溶出量とモルタルの単位容積当たりの細孔面積相当量との関係を図一 10 にそれぞれ

表一 8 細孔量の測定結果 (試験後、未変質部)

		PV [cc/cc]	平均半径 [10 <sup>3</sup> μm]	N* [10 <sup>11</sup> ヶ]	備考
細骨材量	No.1	0.142	6.8	0.98	S/C; 1.62
	No.2	0.139	5.8	1.32	S/C; 1.0
	No.3	0.166	5.8	1.57	S/C; 0.57
	No.4	0.185	5.8	2.10	S/C; 0.25
水セメント比	No.5	0.123	5.1	1.51	W/C; 0.32
	No.6	0.150	6.1	1.28	W/C; 0.41
	No.7	0.210	6.3	1.69	W/C; 0.5
	No.8	0.244	6.9	1.63	W/C; 0.6
セメントの種類	No.9	0.196	6.5	1.47	OP
	No.10	0.210	7.0	1.36	MH
	No.11	0.204	7.3	1.22	SO
	No.12	0.202	6.5	1.52	LH
	No.13	0.181	4.2	3.27	B

\* ; 単位面積当たりの細孔数を比較するための指標  
(=PV/平均半径の円の面積)

示す。単位面積当たりの細孔面積相当量の増加に伴って、Ca 溶出量は増加する傾向が認められ、この考え方で Ca 溶出量が整理できる可能性を示唆している。その際、両者の関係は水セメント比ごとに異なるように解釈されるとともに、遷移帯の形成が認められた砂セメント比が 1.62 の結果はこの関係からずれている。このことは、細孔径分布をも取り込んだ指標で整理する必要があることを示している。そこで、単位面積当たりの細孔面積相当量を細孔径分布の平均半径から求めた円の面積で割った値の細孔数相当量を新たな指標とし、表一 8 に併記した。この値と Ca 溶出量の関係を図一 11 に示す。水セメント比が 32% の結果を除いて両者は比較的良好な対応を示し、細孔数が増えるに従って Ca 溶出量は増え、水和組織の量と質の両方を考慮したこの指標によって、Ca 溶出量の違いが比較的良好に説明できる。また、この指標は配合の違いによる水和組織の量と質の違いも表現しているため、この結果から、Ca 溶出量に配合の違いが反映されていることがわかる。

次に、セメントの種類を変えた場合、溶出した Ca 量の経時変化を図一 12 に示す。ここで、単位体積当りに含有される Ca 量がセメントの種類によってやや異なるため、Ca 溶出量が相互に比較できるように普通ポルトランドセメントと同じ Ca 含有量になるように、表一 2 に示した化学組成に基づいて補正した。補正は、各セメントの CaO の含有割合の普通ポルトランドセメントの CaO の含有割合に対する比の逆数を、Ca 溶出量に乗じて行った。なお、この試験の砂セメント比は 2.0 であるため、Ca 溶出量の経時変化は 2 次曲線的になっている。

ポルトランド系セメントの Ca の溶出状況はほぼ類



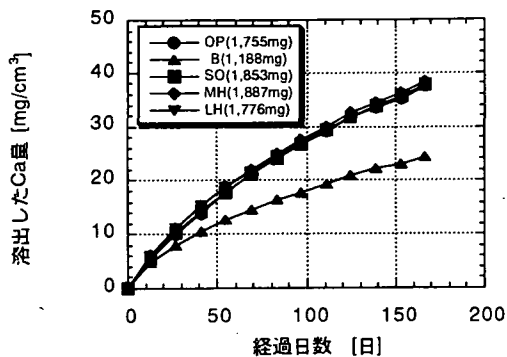


図-12 Ca 溶出量の経時変化 (3)

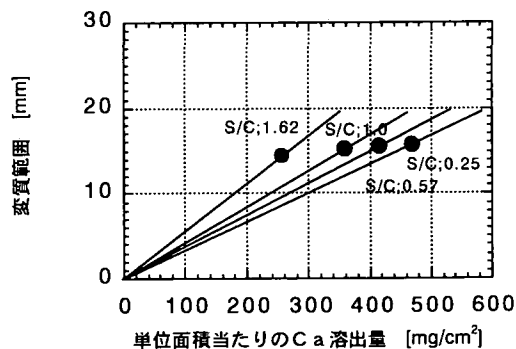


図-13 単位面積当たりのCa溶出量と変質範囲の関係 (細骨材量を変化)

似し、6カ月後のCa溶出量は、普通ポルトランドセメントを基準に比較すると、低熱ポルトランドセメントはほぼ同じで、耐硫酸塩ポルトランドセメントと中庸熱ポルトランドセメントは約8%多い結果となった。一方、高炉セメントB種については、30日以降のCaの溶出量はポルトランド系セメントに比べて減少し、その結果、約30%少ない結果となった。Ca溶出量の相違は水和生成物の構成や水和組織の緻密さによると考えられるので、4カ月後のCa溶出量を推定し、配合の場合と同様に結果を整理して、図-11に併記した。その結果、Ca(OH)<sub>2</sub>の含有割合が類似していたポルトランド系のセメントの結果は、同じ指標で説明できる。しかし、Ca(OH)<sub>2</sub>の含有割合が約8%とかなり少ない高炉セメントB種の結果が説明できず、水和生成物の構成をも考慮する必要性を示唆している。これは今後の課題である。

## (2) モルタルの変質範囲

モルタルの変質範囲の測定結果の一覧を表-9に示す。同表には、Ca溶出量も併記している。細骨材量を変えた試験では、変質範囲は細骨材量の増加に

表-9 変質範囲の測定結果

		変質範囲 [mm]	Ca溶出量 [mg]	備考
細骨材量	No.1	14.4	1,258	S/C ; 1.62
	No.2	15.2	1,757	S/C ; 1.0
	No.3	15.5	2,034	S/C ; 0.57
	No.4	15.8	2,303	S/C ; 0.25
水セメント比	No.5	11.2	1,449	W/C ; 0.32
	No.6	15.5	1,925	W/C ; 0.41
	No.7	21.3	2,130	W/C ; 0.5
	No.8	22.1	2,128	W/C ; 0.6
セメントの種類	No.9	26.3(17.3)	1,755(1,165)	OP
	No.10	29.8(21.3)	1,887(1,282)	MH
	No.11	27.3(16.0)	1,853(1,156)	SO
	No.12	31.0(19.3)	1,776(1,197)	LH
	No.13	26.0(19.0)	1,188( 843)	B

( ) ; 3カ月後の結果

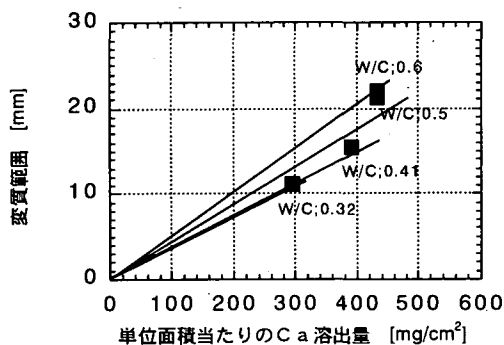


図-14 単位面積当たりのCa溶出量と変質範囲の関係 (水セメント比を変化)

伴って徐々に減少している。水セメント比を変えた試験では、変質範囲は水セメント比の増加に伴って急増するが、50%以上では頭打ちとなる傾向が認められる。セメントの種類を変えた試験では、セメントの種類によって違いが認められ、高炉セメントB種と耐硫酸塩ポルトランドセメントの変質範囲は、普通ポルトランドセメントと類似しているが、中庸熱ポルトランドセメントと低熱ポルトランドセメントは普通ポルトランドセメントに比べて約15~20%ほど大きい。

既に報告したように<sup>3)</sup>、単位面積当たりのCa溶出量(TCa/S)とモルタルの変質範囲(DL)の関係は、下記の1次式で表現できる。

$$DL = k1 \times k2 \times TCa/S \quad (4)$$

ここに、k1: 配合によって決まる定数

k2: 水和生成物の構成によって決まる定数

細骨材量を変えた試験および水セメント比を変えた試験における両者の関係を、図-13、図-14にそれぞれ示す。同図中には、式(4)で求まる直線も併記した。各直線の傾きを決めた定数を表-10に示す。いずれの試験においても、各測定値は直線上にほぼ

表-10 Ca 溶出量と変質範囲の関係直線の傾きを  
示す定数

試験No.	W/C	S/C	Vc*1	k1*2	k1×k2*3
No.1	0.41	1.62	0.236	1.337	0.0562
No.2	0.41	1.00	0.286	1.103	0.0463
No.3	0.41	0.57	0.335	0.942	0.0396
No.4	0.41	0.25	0.385	0.819	0.0344
No.5	0.32	0.67	0.357	0.884	0.0371
No.6	0.41	0.77	0.310	1.018	0.0428
No.7	0.50	0.87	0.275	1.147	0.0482
No.8	0.60	0.97	0.246	1.282	0.0538

\*1; 試験体中のセメントの容積比

\*2; 配合によって決まる定数 $=1/(Vc \times \rho c)$

\*3; k2を0.042<sup>3)</sup>として計算

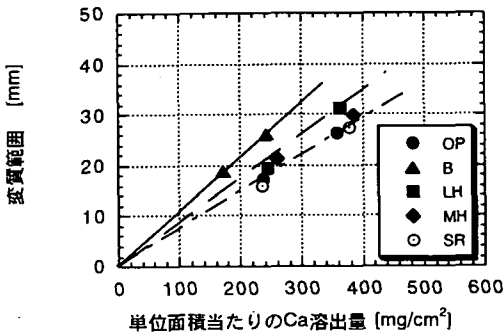


図-15 単位面積当たりのCa 溶出量と変質範囲の関係  
(セメントの種類を変化)

位置し、今回得られたCa 溶出量とモルタルの変質範囲の関係も、式(4)で整理できることが確かめられた。

次に、セメントの種類を変えた試験における両者の関係を図-15に示す。なお、両者の関係をより一層明確にするため3ヵ月後の測定結果も併記した。両者は、セメントの種類ごとにより対応を示している。

以上の結果から、各試験で得られたモルタルの変質範囲の違いは、配合、水和生成物の構成およびCa 溶出量の違いによるためと解釈できる。そして、本試験におけるモルタルの変質範囲の結果にも、配合の違いやセメントの種類が反映されている。

式(4)中のk2は水和生成物の構成によって決まる定数で、それとCa(OH)<sub>2</sub>含有割合との関係を、今回の試験結果から検討してみた。Ca(OH)<sub>2</sub>含有割合との関係を検討した理由は、後述するように、この試験で得られるモルタルの変質範囲は水和組織の中のCa(OH)<sub>2</sub>が溶出してしまった範囲を測定していることになるので、両者は密接に関連していると考えられるためである。図-13と図-14に示した単位面積当たりのCa 溶出量と変質範囲との関係の中から、表-6に示したCa(OH)<sub>2</sub>の含有割合が異なる試験体

表-11 Ca(OH)<sub>2</sub>含有割合と試験結果から求めた  
k2の関係

試験No.	Ca(OH) <sub>2</sub> [%]	k1×k2*1	k1	k2
No.2	18.7	0.0425	1.103	0.0385
No.3	19.5	0.0374	0.942	0.0397
No.4	19.9	0.0337	0.819	0.0411
No.5	17.0	0.0380	0.884	0.0429
No.8	21.4	0.0509	1.282	0.0397
No.12	12.3	0.0867	1.72	0.0504
No.13	7.8	0.1085	1.72	0.0631

\*1; 図-13~図-15中のプロットと原点とを結ぶ直線の傾き

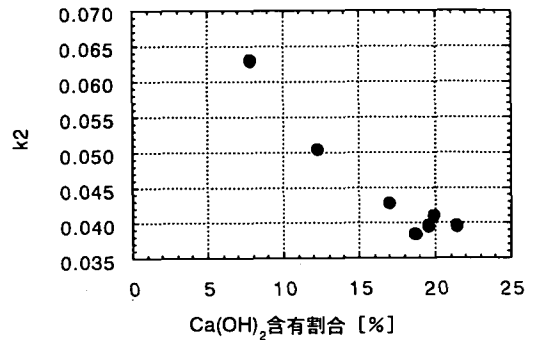


図-16 Ca(OH)<sub>2</sub>含有割合とk2の関係

を抽出し、各プロットと原点とを結んだ直線の傾きから求めたk2の計算結果とCa(OH)<sub>2</sub>含有割合を表-11に、両者の関係を図-16にそれぞれ示す。Ca(OH)<sub>2</sub>含有割合が20%を超えるとややばらつきが認められるものの、両者は良い対応を示し、Ca(OH)<sub>2</sub>の増加に伴いk2が直線的に減少しており、k2はCa(OH)<sub>2</sub>の含有割合が決まれば一義的に決まるものと考えられる。

## 6. 試験体の変質状態

### (1) 目視調査

図示しないが、いずれの試験体においても変質した部分は明確に識別でき<sup>1)2)</sup>、変質境界から陰極側では組織は粗くなっていた。また、変質した状態には、配合の違いやセメントの種類による差異は認められなかった。

### (2) 水和生成物構成の変化

各試験における水和生成物構成の変化をX線回折法とTG-DTA法によって調査した結果、未変質部の主な

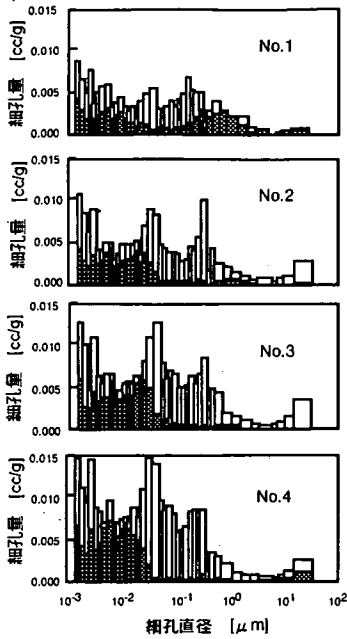


図-17 細孔径分布 (細骨材量)  
(黒抜き; 未変質部, 白抜き; 変質部)

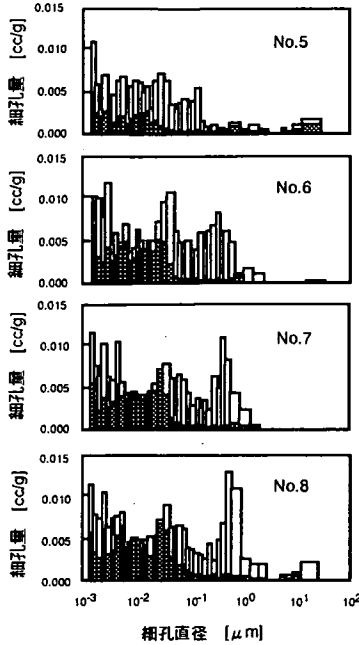


図-18 細孔径分布 (水セメント比)  
(黒抜き; 未変質部, 白抜き; 変質部)

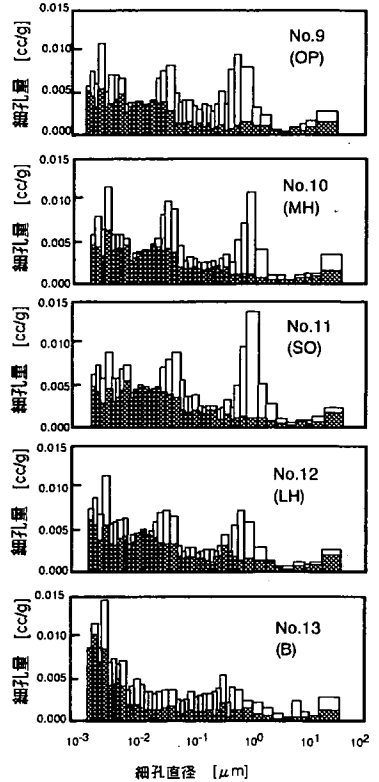


図-19 細孔径分布 (セメントの種類)  
(黒抜き; 未変質部, 白抜き; 変質部)

水和生成物は試験前と同様に、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、C-S-Hおよびモノサルフェートであり、変質部の水和生成物はC-S-Hのみで、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ とモノサルフェートは消失していた。これらの結果は、既に報告した結果<sup>1)2)</sup>と一致している。

### (3) 総細孔量と細孔径分布

変質促進試験終了後の各試験体について測定した総細孔量を表-12に、細孔径分布を図-17～図-19にそれぞれ示す。未変質部の総細孔量は試験開始時に比べて5～15%ほど減少し、4～6カ月の試験期間中に水和組織がさらに緻密になっている。その際、セメントの種類を変えた水セメント比が65%と大きな場合には、減少程度が約5%と小さい。

細孔径分布の変化として指摘できることは、砂セメント比が1以下の場合に特に存在が目立った20～50nmの範囲の細孔の減少である。一方、砂セメント比が1以上およびセメントの種類を変えた水セメント比が65%の場合には、その細孔径分布には特に変化が認められない。

モルタルの変質部と未変質部を比較すると、総細孔量は、細骨材量と水セメント比を変えた試験では変質によって約2倍に増加し、セメントの種類を変えた試験では約60%ほど増加し、いずれも水和生成物の溶脱に伴って水和組織がポーラスになっている。

表-12 細孔量の測定結果 (試験後)

		変質部		未変質部		備考
		PV [cc/cc]	PV/Vp [cc/cc]	PV [cc/cc]	PV/Vp [cc/cc]	
細骨材量	No.1	0.274	0.505	0.142	0.261	S/C; 1.62
	No.2	0.317	0.482	0.139	0.212	S/C; 1.0
	No.3	0.357	0.463	0.166	0.215	S/C; 0.57
	No.4	0.417	0.471	0.185	0.209	S/C; 0.25
水セメント比	No.5	0.311	0.435	0.123	0.173	W/C; 0.32
	No.6	0.338	0.474	0.150	0.210	W/C; 0.41
	No.7	0.384	0.537	0.210	0.295	W/C; 0.5
	No.8	0.444	0.622	0.244	0.341	W/C; 0.6
セメントの種類	No.9	0.330	0.589	0.196	0.349	OP
	No.10	0.314	0.559	0.210	0.373	MH
	No.11	0.323	0.576	0.204	0.364	SO
	No.12	0.303	0.538	0.202	0.358	LH
	No.13	0.284	0.504	0.181	0.321	B

また、細孔径分布は、大部分の試料で、既報告<sup>2)</sup>の結果と同様に、5nm以下及び500nm～1μmの範囲の増加が著しいばかりでなく、50～500nmの範囲の増加も認められた。しかし、高炉セメントB種と低水セメント比の32%のものは、全範囲にわたってほぼ一様に増加していく傾向が認められる。これらは、水和組織の違いを示唆しているものと推察されて興味深く、

表-13 透気係数の測定結果

	変質部			未変質部			備考
	K (10 <sup>-9</sup> ) [cm/sec]	Vp [cm <sup>3</sup> ]	K/Vp(10 <sup>-9</sup> ) [1/sec・cm <sup>2</sup> ]	K (10 <sup>-10</sup> ) [cm/sec]	Vp [cm <sup>3</sup> ]	K/Vp(10 <sup>-10</sup> ) [1/sec・cm <sup>2</sup> ]	
No.1	3.65	3.98	0.92	17.1	5.20	3.28	S/C; 1.62
No.2	3.63	4.44	0.82	3.19	6.73	0.47	S/C; 1.0
No.3	3.37	4.84	0.70	3.43	7.67	0.45	S/C; 0.57
No.4	3.92	5.64	0.69	4.88	9.15	0.53	S/C; 0.25
No.5	1.44	2.98	0.48	6.07	6.95	0.87	W/C; 0.32
No.6	3.22	4.27	0.75	4.40	7.45	0.59	W/C; 0.41
No.7	5.75	6.46	0.89	9.72	7.02	1.38	W/C; 0.5
No.8	8.62	6.17	1.40	13.0	7.12	1.83	W/C; 0.6

表-14 圧縮強度の測定結果

	変質部	未変質部	標準水中	備考
No.9	9.21	45.3	43.9	OP
No.10	11.8	44.5	47.4	MH
No.11	10.5	40.4	40.2	SO
No.12	14.9	47.6	44.7	LH
NO.13	20.1	48.3	48.0	B

単位; N/mm<sup>2</sup>

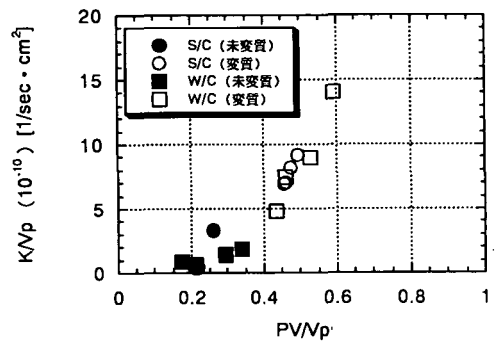


図-20 PV/VpとK/Vpの関係

この違いの解明は今後の課題である。

(4) 細孔構造と透気性

モルタルの変質に伴って、主に50nm以上の細孔が増加することが明らかとなったが、モルタルやコンクリート中のイオンの透過性は50nm以上の細孔量と高い相関関係にあると言われている<sup>9)</sup>、そのため、処分施設の人工バリア材として期待されている機能の一つである核種の移行抑制は、変質部ではかなり低下することが予想される。

配合を変えた試験で行った変質部と未変質部の透気係数の測定結果を、表-13に示す。水和生成物の溶解に伴う水和組織の変化を透気性から解析するため、透気性の指標として、透気係数をセメントペーストの体積で割った値(K/Vp)で整理した。K/Vpとセメントペーストの体積当たりの総細孔量(PV/Vp)の関係を図-20に示す。両者の間には密接な関係が認められ、未変質部ではPV/Vpは0.2~0.35を示し、PV/Vpの増加に伴ってK/Vpはわずかに増加する。その際、

砂セメント比が1.62の試験体の結果は上記の関係からずれ、砂セメント比が1以下に比べ約6倍大きい。この理由の一つに、この試料における細孔構造の特徴である遷移帯の形成によって、透気性が増加したと推察される。

変質部ではPV/Vpが0.4以上を示し、その増加に伴って、配合とは無関係にK/Vpはほぼ比例的に増加していき、遷移帯の有無による違いは認められない。この理由は、(3)で説明したように、変質によって遷移帯の細孔径に相当する50nm~1μmの範囲の細孔が増加するためと判断される。PV/Vpの増加に伴ってK/Vpが比例的に増加することは、変質によって生じた細孔が連続していることを示し、変質部の透気・透水性が大きくなることを示している。

透気・透水性は、一定の径(数十~数百nm)の細孔量との関係が深いと言われている<sup>5)</sup>。変質による50nm~1μmの細孔量の増加と透気性の増加がよい相関を示した今回の結果は、この知見にもあてはまるものである。

## 7. モルタルの変質と圧縮強度の関係

セメントの種類を変えた試験で6か月間変質促進試験を行った後の変質部および未変質部のモルタルの圧縮強度の測定結果を、表-14に示す。同表には、同じ期間標準水中養生を行った試験体の圧縮強度も併記している。変質部では試験体の直径(2.5cm)に対する高さの比が1~1.3と2に満たなかったため、JIS A 1007で示されている補正係数を用いて圧縮強度を補正した。

未変質部の圧縮強度は標準水中養生時の圧縮強度とほぼ同程度の値を示しているのに対し、変質部の圧縮強度は標準養生に比べて20~40%の値しか示さず、水和生成物の溶脱に伴って圧縮強度は著しく低下することが明らかとなった。図-21には、圧縮強度と総細孔量との関係を示す。未変質部と変質部とに二分されるものの、総細孔量が増加するほど圧縮強度は低下する傾向が明瞭に認められ、上述した変質部の強度低下の主要原因は、水和生成物が溶脱して水和組織がポーラスになったためと判断される。

## 8. まとめ

水と接しているコンクリートからセメントの水和生成物が徐々に溶解していく変質挙動を促進するための室内促進試験方法として、試験体に電位勾配を与える電気化学的手法の確立を意図し、コンクリートの耐久性と密接な関係にある材料と配合の相違が試験結果に反映されることを明らかにするための実験的検討を行った。すなわち、水和組織の量の違いを検討するために細骨材量を変えた試験を、質の違いを検討するため水セメント比を変えた試験とセメントの種類を変えた試験を、それぞれ行ない、水和組織の量と質の面から試験結果を解析し、以下のことが明らかとなった。

- (1) 試験開始時の水和生成物の構成と細孔構造には、配合の違いとセメントの種類の違いによる水和組織の特徴がよく現れていた。
- (2) Ca溶出量は、配合の違いとセメントの種類によって異なった。細骨材量が多い配合ほどCa溶出量は減少し、水セメント比が小さい配合ほどCa溶出量は減少した。セメントの種類で見ると、ポルトランドセメント系のCa溶出量は類似していたが、高炉セメントB種のCa溶出量はポルトランドセメント系に比べて約30%少なかった。

上記の結果は、水和組織の量と質の相違を反映したものと考えられ、水和組織中の連続した細孔を通

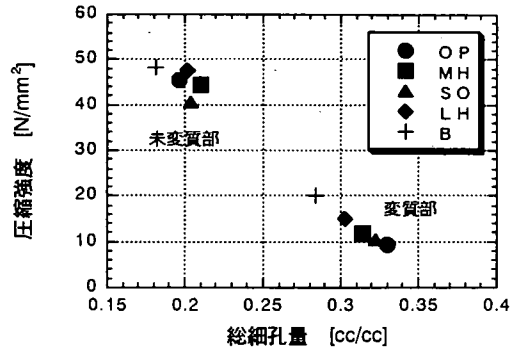


図-21 総細孔量と圧縮強度の関係

してCa<sup>2+</sup>イオンが溶出してくると考え、単位面積当たりの細孔数相当量を、新しい指標として提案した。すなわち、単位面積当たりの細孔面積相当量と相似であるモルタルの単位容積当たりの細孔量を細孔径分布の平均半径から求めた円の面積で割った値が、細孔数相当量である。水和組織の量と質の両方を考慮したこの指標によって、Ca溶出量の違いが比較的よく説明でき、配合の違いとセメントの種類の差がCa溶出量に反映されていると判断された。

- (3) モルタルの変質範囲は、細骨材量の増加に伴って徐々に減少し、水セメント比の増加に伴って急増した。また、セメントの種類によっても違いが認められた。

既に報告<sup>3)</sup>したように、モルタルの変質範囲(DL)は、単位面積当たりのCa溶出量(TCa/S)と下記の1次式で表現でき、今回の試験で得られた結果からこの関係を再確認した。そして、変質範囲の違いは、配合、水和生成物の構成およびCa溶出量の違いによるためと解釈でき、モルタルの変質範囲の算定式には、配合の違いやセメントの種類を反映させている。

$$DL = k1 \times k2 \times TCa/S$$

ここに、k1: 配合によって決まる定数

k2: 水和生成物の構成によって決まる定数

- (4) モルタルの変質部の細孔量は、未変質部に比べて1.6~2倍に増加する。その際、31%と低水セメント比の場合と高炉セメントB種を使用した場合を除いて、5nm以下と50nm~1μmの径を有する細孔の増加が著しい。

(5) 変質に伴う細孔量の増加とともに、モルタルの透気性は比例的に増加し、変質によって生じた細孔は連続していると判断される。また、(4)の特徴的な細孔径分布の変化から、モルタルの変質部での透気・透水性は大きくなると判断される。

- (6) モルタルの変質部の圧縮強度は、未変質部に比べ

て20~40%までに低下した。細孔量と圧縮強度の間には密接な関係が認められ、圧縮強度の低下は細孔量の増加のためと判断された。

謝辞：本研究の内、配合に関する試験を実施するに当たり、前川宏一教授（東京大学大学院，工学系研究科）のご指導を賜りました。ここに厚く謝意を表します。また、セメントの種類を変えた試験は、(財)原子力環境整備センターの委託研究をまとめたものであり、貴重なご助言を頂いた放射性廃棄物処分高度化システム確証委員会、並びにコンクリート構築物検討委員会の委員の方々に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 齊藤裕司, 中根淳, 藤原愛: 電気的手法による劣化促進試験法におけるセメント水和物の溶解と変質に及ぼす電位勾配の影響, コンクリート工学論文集, Vol.4, No.2 pp.69-78, 1993.
- 2) 齊藤裕司, 中根淳, 藤原愛: Caイオンの溶脱に伴うセメント水和物の変質促進試験法としての電気的手法の適用性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.901-906, 1994.
- 3) 齊藤裕司, 中根淳, 藤原愛: 電気的手法による劣化促進試験法における水和組織の変質範囲と溶出したCa量との関係, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.1003-1006, 1995.
- 4) P. W. Brown and J. R. Clifton: Mechanisms of Deterioration in Cement-Based Materials and in Lime Mortar, *Durability of Building Materials*, 5, pp. 409-420, 1988.
- 5) 羽原俊祐: コンクリートの構造とその物性, セメントコンクリート, No.550, pp.50-63, 1992.
- 6) 鈴木一孝, 西川直宏, 山出善章, 谷口幾哉: コンクリートの耐久性評価を目的とした水和組織の分析手法に関する研究, コンクリート工学論文集, Vol.1, No.2, pp.39-49, 1990.
- 7) 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.
- 8) 内川浩: 組成と構造の観点からみた効果セメントペースト, モルタルおよびコンクリートの類似点と相違点, セメント・コンクリート, No.507, pp.33-46, 1989.
- 9) 内川浩: 混合セメントの水和および構造形成に及ぼす混合材の効果, セメント・コンクリート, No.488, pp.33-48, 1987.

(1996. 4.22 受付)

## DETERIORATION OF DIFFERENT MORTARS USING ACCELERATED ELECTROCHEMICAL TEST

Hiroshi SAITO, Sunao NAKANE, Yukikazu TUJI and Ai FUJIWARA

Accelerated electrochemical tests have been performed on various mortar samples under the same electrical potential gradient to develop an accelerated test method for predicting deterioration due to dissolution of cement hydration products in contact with water. Three tests parameters were used; sand content, water/cement ratio and type of cement. The test results were considered on the basis of hydration product quantity and quality. They reflected the differences in materials and mix proportion of the test specimens.