



共同研究報告書

整理番号 第38号

粘土鉱物含有骨材を使用したコンクリート の劣化に関する共同研究報告書(その2)

平成2年3月

建設省土木研究所
地質化学部 地質研究室
株式会社 間 組
株式会社 熊 谷 組
大成建設株式会社

Copyright © 1990 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

粘土鉱物含有骨材を使用したコンクリートの劣化に関する共同研究報告書(その2)

地質化学部	部長	市川	慧
地質研究室	室長	中村	夫
	研究員	脇坂	安彦
		長沢	政和
(株)間組* 技術研究所第四部	係長	前田	照信
	研究員	佐々木	肇
	研究員	根岸	敦規
(株)熊谷組* 技術研究所 材料研究部	部長	田中	健治郎
地質基礎研究部	主任研究員	三谷	哲
	研究員	永沢	毅
材料研究部	研究員	林	順三
大成建設(株)* 技術研究所 土木材料研究室	室長	松岡	康訓
	係長	宇治	公隆
	主任	藤原	靖

要 旨

粘土鉱物の1つであるモンモリロナイトを含有した骨材を使用したコンクリートの劣化現象を把握すること、モンモリロナイト含有骨材のコンクリート用骨材としての良否の判定法の開発、骨材として使用する場合の対策法の開発などを目的に種々の試験を行った。

その結果、モンモリロナイト含有骨材をモルタルおよびコンクリートに使用すると、凝結が早くなるのは、モンモリロナイトとモルタル細孔溶液との間でイオン交換が行われているためであることが示唆された。

キーワード：粘土鉱物・モンモリロナイト・モルタル・コンクリート・骨材

ま え が き

近年、モンモリロナイト（粘土鉱物の一種）を含んだ岩石を骨材として使用したコンクリートに、凝結現象、ひびわれなどが生じる例が知られてきている。これらの現象はコンクリート打設時の施工性を低下させるとともに、耐久性や強度を低下させるなど、コンクリート構造物にとって問題がある。そこで本共同研究では、モンモリロナイト含有骨材がモルタルやコンクリートに引き起こす現象の把握および劣化機構の解明、含有骨材の使用の適否の判定法の開発、含有骨材の無害化利用法の開発、さらに原石山の調査・評価法の開発を目的に種々の試験および検討を行うこととした。まず、60年度にはコンクリートの劣化事例の調査をし、試験用骨材選定のための原石の各種試験および粘土分の鉱物化学試験を実施した。61年度には、さらに試験用骨材の選定を行い、選定された骨材を用いて原石・モルタル・コンクリートの各種試験を実施した。61年度の試験結果については、共同研究報告書第4号（市川ほか、1987）としてとりまとめた。62年度には61年度の結果から推定されたモンモリロナイトとモルタル細孔溶液とのイオン交換反応を確認するために、骨材の試験、モルタルの試験および混和剤の効果を知るためにモルタルの試験を行った。さらに63年度には62年度の試験結果の追試および骨材中のモンモリロナイト量の変動の確認を行った。また、62、63の両年度に渡ってX線回析による骨材中のモンモリロナイト含有量の測定についても検討を行った。

ここに62、63年度の試験結果を報告するものである。

目 次

まえがき

第1編 62年度の試験結果

第1章 骨材の試験	3
1. 使用骨材	3
2. 骨材への混和剤の吸着	3
3. 骨材を浸漬したセメントミルクの組成変化	5
4. 硬化コンクリート中での骨材の変化	12
第2章 モルタルの試験	15
1. 使用材料	15
2. 配 合	15
3. 混和剤(材)の影響	16
4. 骨材の含水比の影響	23
5. 骨材のイオン交換の影響	35
6. 若材令期の細孔溶液の組成	38

第2編 63年度の試験結果

第1章 骨材の試験	45
1. 使用骨材	45
2. 骨材中のモンモリロナイト含有量の変動	46
3. フレッシュコンクリート中での骨材の変化	51
第2章 モルタルの試験	54
1. 使用材料および配合	54
2. フレッシュモルタルの性質	55
3. 硬化モルタルの性質	58
4. 水和発熱過程	61
5. 骨材のイオン交換の影響	67
6. 若材令期の細孔溶液の組成	69

第3編 モンモリロナイトの定量法の検討

1. はじめに	75
2. 検量線の作成	75

3. 検量線の傾きと半価幅の関係	79
4. 試料の粉碎時間の影響	82
参考文献	85

あとがき

第1編 62年度の試験結果

第 1 章 骨材の試験

1. 使用骨材

モンモリロナイト含有骨材として A, B, C, I 骨材, 非含有骨材として K, L 骨材を用いた。L 骨材以外は 61 年度に使用したものと同一である。L 骨材は九州産の玄武岩で、完晶質な岩石であり、斜長石、単斜輝石およびイライトから構成されている。L 骨材の鉱物化学的性質およびアルカリ反応性試験（化学法）の結果は、表－1.1 の通りである。

表－1.1 L 骨材の鉱物化学的性質およびアルカリ反応性

C.E.C	交換性陽イオン					アルカリ反応性	
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	合計	Sc	Rc
4.6	0.7	0.4	2.9	2.1	6.1	28	124

1) C.E.C および交換性陽イオンの単位は meq / 100 g。

2) Sc, Rc の単位は mmol / l である。

2. 骨材への混和剤の吸着

1) 試験方法

0.3 ～ 0.15mm に粉碎した骨材 10 g を混和剤溶液 100 g 中に浸漬し、24 時間真空脱泡した後、イオン交換水を用いて約 10 回水洗いし乾燥したものについて CHN 分析を行った。使用した混和剤は表－1.2 に示す通りである。

なお、これらの混和剤の元素分析の結果は表－1.3 に示す通りである。

表－1.2 試験に使用した混和剤

性 質	成 分	製 品 名	使用濃度
A E 減水剤	リグニンスルホン酸塩	ポゾリス Na 8	250 g / l
高性能減水剤	メラミンスルホン酸塩	メルメント F 10	250 g / l
減水剤	ナフタリンスルホン酸塩	マイティ M 100	250 g / l
A E 剤	アビエチン酸塩	ビルゾル	原 液

表- 1.3 混和剤の化学組成

	A E 減水剤	高性能減水剤	減 水 剤	A E 剤
Na	1,200	91,000	78,000	72,000
K	1,600	39	48	62
Ca	49,000	20	10,000	84
C	43.11	22.40	48.10	61.32
	43.05	22.14	48.46	61.18
H	5.28	4.09	3.96	7.18
	5.22	3.98	4.01	7.29
N	0.10	25.06	0.04	0.00
	0.09	24.94	0.00	0.00
S	6.89	9.68	8.23	0.53
	6.53	9.36	8.38	0.57

1) Na, K, Ca の単位は $\mu\text{g}/\text{g}$ 。

2) C, H, N, S の単位は%。

2) 試験結果と考察

分析結果の一覧を表- 1.4 に示す。また、各混和剤溶液に浸漬した骨材と蒸留水に浸漬した骨材との CHN 含有量の差を表- 1.5 に示す。B および K 骨材では炭素量が蒸留水に浸漬したものの方が小さくなっている。これは、混和剤が方解石 (CaCO_3) 等の炭酸塩を溶脱するためと推定される。

また、表- 1.5 の炭素量から判断すると骨材による混和剤の吸着はほとんどないものと考えられる。

表- 1.4 CHN の分析結果

骨材	*	C	H	N	骨材	*	C	H	N
A	1	0.44	0.18	0.01	L	1	0.01	0.04	0.00
	2	0.16	0.11	0.01		2	0.00	0.04	0.00
	3	0.27	0.08	0.01		3	0.00	0.05	0.00
	4	0.38	0.10	0.00		4	0.01	0.05	0.00
	5	0.26	0.15	0.00		5	0.00	0.04	0.00
B	1	0.21	0.42	0.01	K	1	0.49	0.14	0.03
	2	0.27	0.44	0.03		2	0.61	0.13	0.03
	3	0.29	0.44	0.02		3	0.54	0.13	0.02
	4	0.27	0.48	0.02		4	0.62	0.13	0.01
	5	0.31	0.54	0.02		5	0.64	0.14	0.02
I	1	0.14	0.26	0.02	* 1 : A E 減水剤 2 : 減水剤 3 : 高性能減水剤 4 : A E 剤 5 : 蒸留水				
	2	0.02	0.21	0.02					
	3	0.00	0.20	0.03					
	4	0.18	0.25	0.01					
	5	0.01	0.28	0.02					

単位 : Wt%

表- 1.5 混和剤溶液に浸漬した骨材と蒸留水に浸漬した骨材との CHN 含有量の差

骨材	*	C	H	N	骨材	*	C	H	N
A	1	0.18	0.03	0.01	L	1	0.01	0.00	0.00
	2	-0.10	-0.04	0.01		2	0.00	0.00	0.00
	3	0.01	-0.07	0.01		3	0.00	0.01	0.00
	4	0.12	-0.05	0.00		4	0.01	0.01	0.00
B	1	-0.10	-0.12	-0.01	K	1	-0.15	0.00	0.01
	2	-0.04	-0.10	0.01		2	-0.03	-0.01	0.01
	3	-0.02	-0.10	0.00		3	-0.01	-0.01	0.00
	4	-0.04	-0.06	0.00		4	-0.02	-0.01	-0.01
I	1	0.13	-0.02	0.00	* 1 : A E 減水剤 2 : 減水剤 3 : 高性能減水剤 4 : A E 剤				
	2	0.01	-0.07	0.00					
	3	-0.01	-0.08	0.01					
	4	0.17	-0.03	-0.01					

単位 : W t %

3. 骨材を浸漬したセメントミルクの組成変化

1) 試験方法

骨材とセメントとのイオン交換の経時変化をより単純化するため、フレッシュコンクリート中の溶液の模擬溶液としてセメントミルクを使用し、これに骨材 (A, B, C, I, L, K) を浸漬して溶液のイオン濃度の変化を調べた。実験方法は次の通りである。まず、2 l ポリタンクに普通ポルトランドセメント 100 g と脱イオン水 1 l を入れ攪拌したら、直ちにナイロンストッキングに入れた細骨材 (量は 100 g, 骨材は A, B, C, I, L) を浸漬し、攪拌を続けた。ブランクとして骨材を浸さないものも行った。骨材を浸してから 10 分後 (これを 0 時間とする), 1, 3, 6, 11, 24 時間経過後に外溶液を採取した。また、追加試験として、0, 1, 3, 5, 6, 8, 10, 12 時間経過後の外溶液の採取も行った。採取した外溶液は、直ちにろ過して pH, M アルカリ度, P アルカリ度, 硫酸イオン, Ca, K, Na イオンについて分析した。

2) 試験結果および考察

試験結果を表- 1.6 (1) に、またモンモリロナイト含有骨材 A, B, C, I の 4 種類についての経時変化を図- 1.1 (1) に示す。なお、図にはセメントミルク中に骨材を漬けないもの (記号; Blank) も合わせて記載した。以下この Blank と含有骨材の組成変化を比較する。Blank の K^+ は 3 時間位までは増加をし、その後はほぼ一定となっている。このため、2 時間程度までは骨材の濃度の方が高く、以降は逆転している。このことはセメントの水和の進行とともに溶液中へ放出される K^+ が含有骨材へとりこまれていることを示している。

Na^+ は Blank, 含有骨材の双方で常に増加傾向にある。増加率は 3 時間までが高い。また、濃度は I,

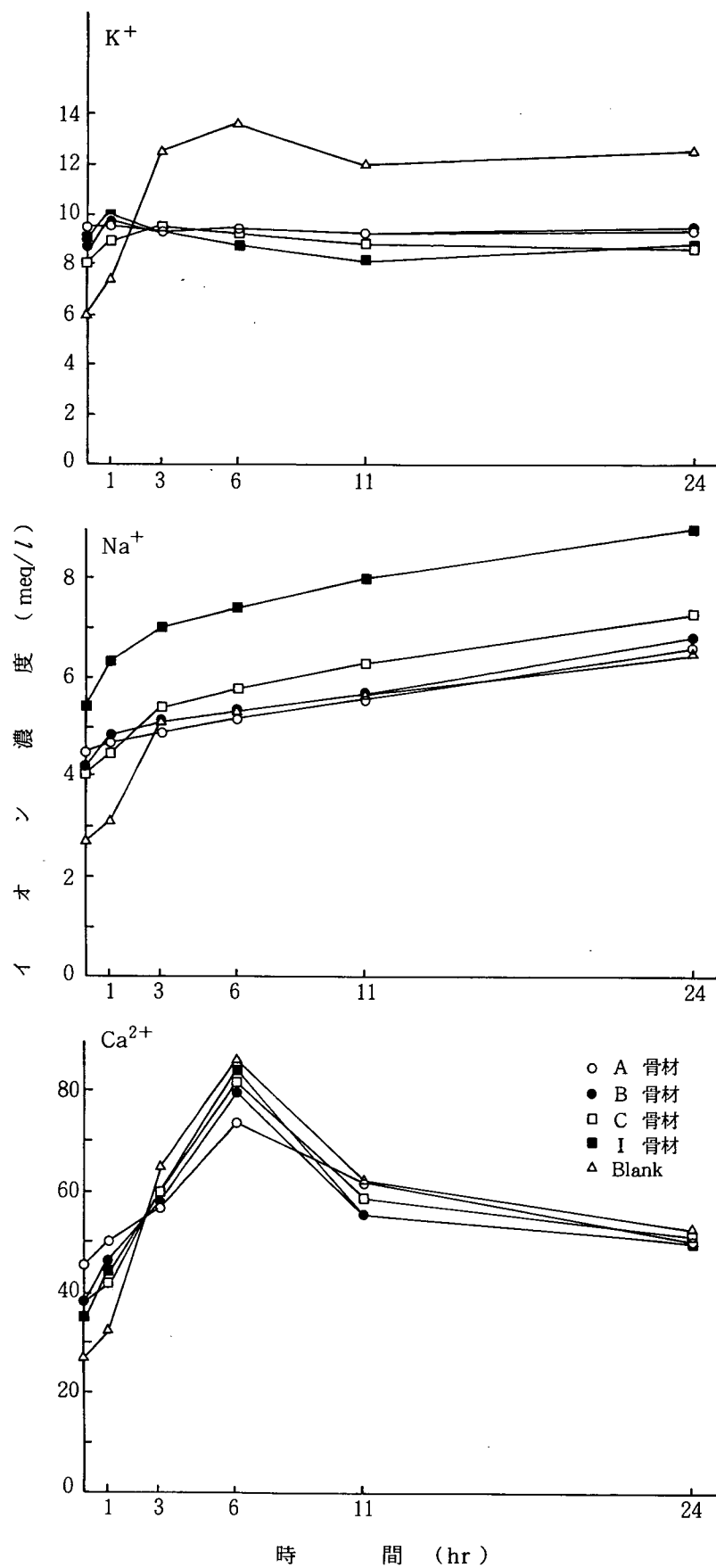


図-1.1(1) セメントミルクのイオン濃度の経時変化

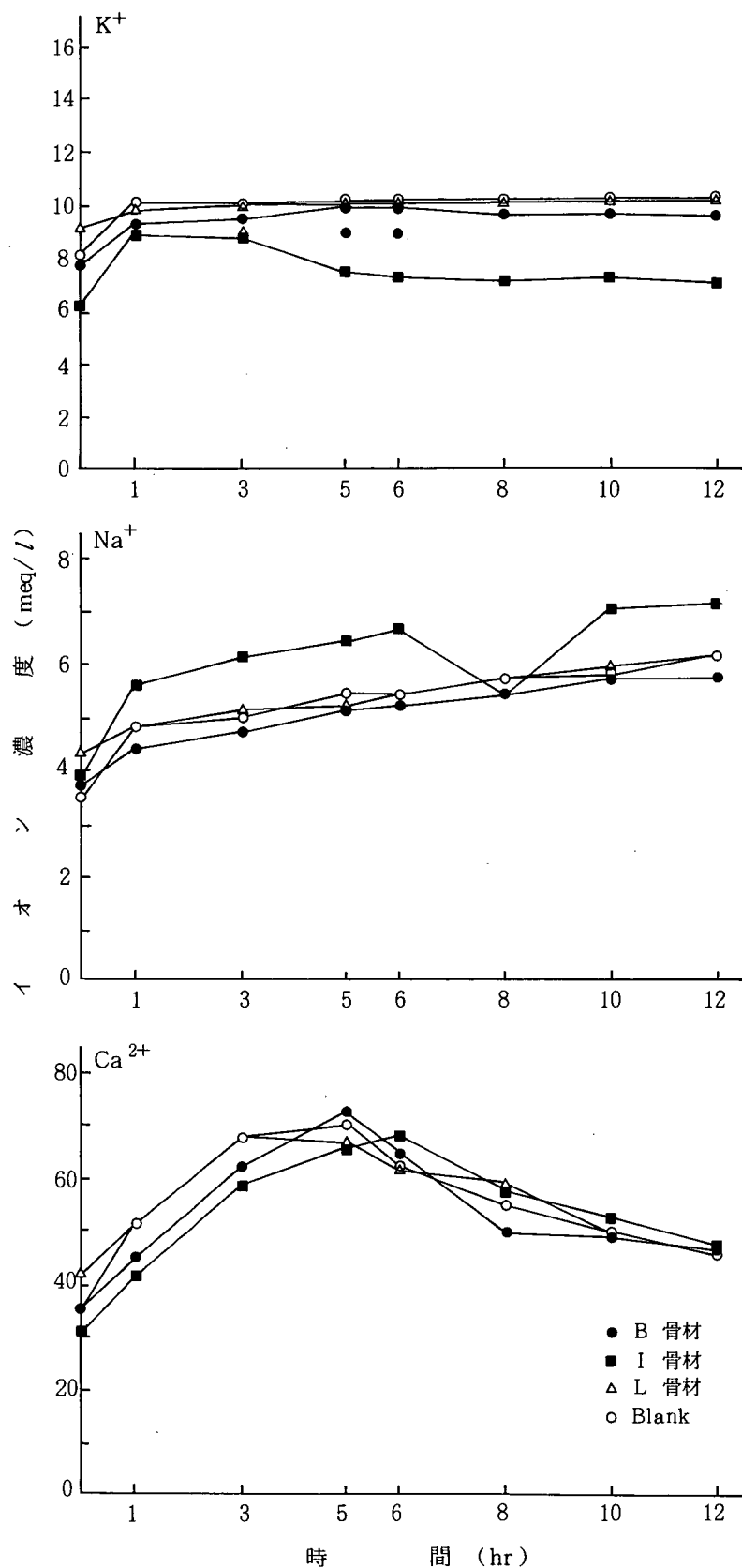


図- 1.1 (2) セメントミルクのイオン濃度の経時変化

表-1.6(1) セメントミルクのイオン濃度の変化

骨 材	Blank					
時 間	0 h	1 h	3 h	6 h	11 h	24 h
P H	12.3	12.3	12.6	12.7	12.7	12.7
P-酸度	(mg/ℓ)	810	1,035	2,292	3,230	2,884
	(meq/ℓ)	16.2	20.7	45.8	64.6	57.6
M-酸度	(mg/ℓ)	835	1,081	2,327	3,265	2,914
	(meq/ℓ)	16.7	21.6	46.5	65.3	58.2
K	(mg/ℓ)	229	286	487	530	468
	(meq/ℓ)	5.9	7.3	12.5	13.6	12.0
Na	(mg/ℓ)	61	71	116	122	130
	(meq/ℓ)	2.7	3.1	5.1	5.3	5.7
Ca	(mg/ℓ)	532	644	1,307	1,723	1,252
	(meq/ℓ)	26.6	32.2	65.2	86.0	62.5
硫酸	(mg/ℓ)	670	755	1,040	830	390
	(meq/ℓ)	13.7	15.4	21.2	16.9	8.00

骨 材	B					
時 間	0 h	1 h	3 h	6 h	11 h	24 h
P H	12.4	12.4	12.5	12.7	12.7	12.7
P-酸度	(mg/ℓ)	1,128	1,424	1,999	3,178	2,862
	(meq/ℓ)	22.6	28.5	40.0	63.5	57.2
M-酸度	(mg/ℓ)	1,148	1,451	2,053	3,198	2,896
	(meq/ℓ)	22.9	29.0	41.0	63.9	57.9
K	(mg/ℓ)	341	383	369	368	358
	(meq/ℓ)	8.7	9.8	9.4	9.4	9.2
Na	(mg/ℓ)	97	109	117	122	130
	(meq/ℓ)	4.2	4.8	5.1	5.3	5.7
Ca	(mg/ℓ)	765	926	1,157	1,602	1,120
	(meq/ℓ)	38.2	46.2	57.7	80.0	55.9
硫酸	(mg/ℓ)	970	1,110	1,000	780	290
	(meq/ℓ)	19.8	22.6	20.4	15.9	5.9

骨 材	A					
時 間	0 h	1 h	3 h	6 h	11 h	24 h
P H	12.5	12.4	12.5	12.7	12.7	12.7
P-酸度	(mg/ℓ)	1,311	1,459	2,027	3,001	2,769
	(meq/ℓ)	26.2	29.2	40.5	60.0	55.3
M-酸度	(mg/ℓ)	1,351	1,497	2,066	3,021	2,794
	(meq/ℓ)	27.0	29.9	41.3	60.4	55.8
K	(mg/ℓ)	373	375	365	362	358
	(meq/ℓ)	9.5	9.6	9.3	9.3	9.2
Na	(mg/ℓ)	103	107	112	120	129
	(meq/ℓ)	4.5	4.7	4.9	5.2	5.6
Ca	(mg/ℓ)	911	1,001	1,139	1,478	1,244
	(meq/ℓ)	45.5	50.0	56.9	73.8	62.1
硫酸	(mg/ℓ)	1,190	1,190	1,020	873	451
	(meq/ℓ)	24.3	24.3	20.8	17.8	9.2

骨 材	C					
時 間	0 h	1 h	3 h	6 h	11 h	24 h
P H	12.3	12.4	12.5	12.7	12.6	12.7
P-酸度	(mg/ℓ)	1,028	1,233	2,076	2,061	2,828
	(meq/ℓ)	20.6	24.7	41.5	41.2	56.5
M-酸度	(mg/ℓ)	1,062	1,258	2,126	3,123	2,858
	(meq/ℓ)	21.2	25.2	42.5	62.3	57.1
K	(mg/ℓ)	313	348	373	358	344
	(meq/ℓ)	8.0	8.9	9.5	9.2	8.8
Na	(mg/ℓ)	93.2	103	123	132	144
	(meq/ℓ)	4.1	4.5	5.4	5.8	6.3
Ca	(mg/ℓ)	764	838	1,199	1,636	1,179
	(meq/ℓ)	38.2	41.8	59.9	81.7	58.8
硫酸	(mg/ℓ)	1,160	1,170	735	980	397
	(meq/ℓ)	23.7	23.9	15.0	20.0	8.1

表- 1.6(1) つづき

骨 材	I					
時 間	0 h	1 h	3 h	6 h	11 h	24 h
P H	12.4	12.4	12.6	12.7	12.7	12.7
P -酸度 (mg / ℓ)	1,038	1,366	2,178	3,068	2,749	2,786
(meq / ℓ)	20.8	27.3	43.5	61.3	54.9	55.7
M -酸度 (mg / ℓ)	1,061	1,384	2,257	3,098	2,793	2,817
(meq / ℓ)	21.2	27.7	45.1	61.9	55.8	56.3
K (mg / ℓ)	359	386	365	344	318	339
(meq / ℓ)	9.2	9.9	9.3	8.8	8.1	8.7
N a (mg / ℓ)	124	145	161	170	183	206
(meq / ℓ)	5.4	6.3	7.0	7.4	8.0	9.0
C a (mg / ℓ)	701	886	1,201	1,674	1,127	1,013
(meq / ℓ)	35.0	44.2	59.9	83.6	56.2	50.5
硫酸 (mg / ℓ)	1,060	1,190	1,150	850	294	N . D
(meq / ℓ)	21.6	24.3	23.5	17.3	6.0	N . D

骨 材	L					
時 間	0 h	1 h	3 h	6 h	11 h	24 h
P H	12.3	12.4	12.6	12.7	12.7	12.7
P -酸度 (mg / ℓ)	1,020	1,337	2,215	3,190	2,845	2,956
(meq / ℓ)	20.4	26.7	44.3	63.8	56.9	59.1
M -酸度 (mg / ℓ)	1,037	1,370	2,250	3,225	2,869	2,990
(meq / ℓ)	20.7	27.4	45.0	64.5	57.3	59.8
K (mg / ℓ)	289	379	442	428	428	442
(meq / ℓ)	7.4	9.7	11.3	11.0	11.0	11.3
N a (mg / ℓ)	96	122	150	153	164	193
(meq / ℓ)	4.2	5.3	6.5	6.7	7.1	8.4
C a (mg / ℓ)	691	883	1,245	1,651	1,131	994
(meq / ℓ)	34.5	44.1	65.2	82.4	56.5	49.6
硫酸 (mg / ℓ)	873	1,050	1,180	941	304	N . D
(meq / ℓ)	17.8	21.4	24.1	19.2	6.2	N . D

骨 材	K					
時 間	0 h	1 h	3 h	6 h	11 h	24 h
P H	12.4	12.4	12.6	12.7	12.7	12.7
P -酸度 (mg / ℓ)	1,126	1,243	2,219	2,799	2,840	2,896
(meq / ℓ)	22.5	24.9	44.4	55.9	56.8	57.9
M -酸度 (mg / ℓ)	1,157	1,294	2,264	2,829	2,864	2,936
(meq / ℓ)	23.1	25.9	45.3	56.5	57.2	58.7
K (mg / ℓ)	339	365	448	453	455	468
(meq / ℓ)	8.7	9.3	11.5	11.6	11.6	12.0
N a (mg / ℓ)	103	109	136	144	156	184
(meq / ℓ)	4.5	4.8	5.9	6.3	6.8	8.0
C a (mg / ℓ)	966	841	1,311	1,723	2,915	1,005
(meq / ℓ)	48.2	42.0	65.5	86.0	145.5	50.2
硫酸 (mg / ℓ)	1,140	1,040	1,160	828	348	N . D
(meq / ℓ)	23.3	21.2	23.7	16.9	7.1	N . D

表-1.6(2) セメントミルクのイオン濃度の変化

(1) Blank

時 間	0	1	3	5	6	8	10	12	
M - 酸 度	(mg / ℓ)	1,160	1,819	2,814	3,272	3,155	3,066	3,025	2,973
	(meq / ℓ)	23.2	36.4	56.2	65.4	63.0	61.3	60.5	59.4
カ リ ウ ム	(mg / ℓ)	316	415	424	441	437	435	438	441
	(K) (meq / ℓ)	8.1	10.6	10.8	11.3	11.2	11.1	11.2	11.3
ナトリウム	(mg / ℓ)	81	111	116	125	124	132	134	140
	(Na) (meq / ℓ)	3.5	4.8	5.0	5.4	5.4	5.7	5.8	6.1
カルシウム	(mg / ℓ)	685	1,011	1,350	1,407	1,243	1,093	999	909
	(Ca) (meq / ℓ)	34.3	50.9	67.5	70.4	62.2	54.7	50.5	45.5
P H		12.2	12.4	12.5	12.6	12.5	12.5	12.5	12.5

(2) 骨 材

時 間	0	1	3	5	6	8	10	12	
M - 酸 度	(mg / ℓ)	1,206	1,621	2,657	3,371	3,153	2,986	2,947	2,923
	(meq / ℓ)	24.1	32.4	53.1	67.4	63.0	60.0	58.9	58.4
カ リ ウ ム	(mg / ℓ)	304	363	373	388	387	376	377	370
	(K) (meq / ℓ)	7.8	9.3	9.5	9.9	9.9	9.6	9.6	9.5
ナトリウム	(mg / ℓ)	85	101	109	118	120	125	131	132
	(Na) (meq / ℓ)	3.7	4.4	4.7	5.1	5.2	5.4	5.7	5.7
カルシウム	(mg / ℓ)	697	891	1,236	1,443	1,284	992	977	918
	(Ca) (meq / ℓ)	34.9	44.6	61.8	72.2	64.2	49.6	48.9	45.9
P H		12.2	12.3	12.5	12.6	12.5	12.5	12.5	12.5

(3) I 骨材

時 間	0	1	3	5	6	8	10	12	
M - 酸 度	(mg / ℓ)	968	1,524	2,558	3,034	3,234	2,994	2,921	2,884
	(meq / ℓ)	19.4	30.5	51.2	60.6	64.6	59.8	58.4	57.6
カ リ ウ ム	(mg / ℓ)	241	349	344	293	286	279	281	275
	(K) (meq / ℓ)	6.2	8.9	8.8	7.5	7.3	7.1	7.2	7.0
ナトリウム	(mg / ℓ)	89	129	141	148	152	125	160	164
	(Na) (meq / ℓ)	3.9	5.6	6.1	6.4	6.6	5.4	7.0	7.1
カルシウム	(mg / ℓ)	609	821	1,172	1,313	1,357	1,159	1,048	944
	(Ca) (meq / ℓ)	30.5	41.1	58.6	65.7	67.9	58.0	52.4	47.2
P H		12.1	12.3	12.5	12.5	12.6	12.5	12.5	

表-1.6(2) つづき

(4) L骨材

時 間	0	1	3	5	6	8	10	12
M - 酸 度 (mg/ℓ)	1,346	1,728	2,834	3,178	3,103	3,042	2,991	2,994
(meq/ℓ)	26.9	34.5	56.6	63.5	62.0	60.8	59.8	59.8
カリウム (mg/ℓ)	361	384	395	402	394	394	404	405
(K) (meq/ℓ)	9.2	9.8	10.1	10.3	10.1	10.1	10.3	10.4
ナトリウム (mg/ℓ)	99	110	118	120	124	130	136	140
(Na) (meq/ℓ)	4.3	4.8	5.1	5.2	5.4	5.7	5.9	6.1
カルシウム (mg/ℓ)	827	1,016	1,346	1,335	1,230	1,177	994	911
(Ca) (meq/ℓ)	41.4	50.8	67.3	66.8	61.5	58.9	49.7	45.6
PH	12.3	12.3	12.5	12.6	12.6	12.6	12.5	12.5

Cでは常に Blank よりも高く、A、Bではごく初期に Na^+ の放出が生じ、I、Cは全体に渡って、放出が生じていることを示している。

Ca^{2+} の濃度変化には、いずれの場合にも最大点があるという特徴がある。この最大点は6時間のところであり、水和発熱曲線の第2ピークの位置とほぼ一致していることが注目される。含有骨材の濃度は、3時間程度までは Blank よりも高く、その後は低くなっている。極く初期は含有骨材から放出され、その後はとりこまれているようであるが全体的に量的な差は小さい。

このようにセメントミルク中のイオン濃度は、含有骨材と Blank との間で違いがみられる。2、3時間までは K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} の放出がみられ、その後は K^+ の顕著なとりこみがみられる。したがってセメントの水和反応で生じる K^+ の含有骨材によるとりこみが、凝結特性に影響している可能性が考えられる。

ここで、細孔溶液のイオン濃度の変化と比較すると以下の共通点と相違点がある。

(i) 共 通 点

- 水和初期 (< 24 hr) では K^+ は含有骨材にとりこまれている。
- 水和初期では Ca^{2+} 濃度が高くなっている。

(ii) 相 違 点

- 水和の極く初期 (0~1 hr) の K^+ 、 Ca^{2+} の Blank に対する傾向がセメントミルクの場合と細孔溶液の場合とでは逆転している。

相違点の生じた原因として採取方法の違い (細孔溶液抽出には圧力が加わっている) などが考えられるが、いずれも K^+ の挙動が水和初期に注目される。

Ca^{2+} の濃度は図-1.1(1)ではいずれの骨材も6時間にピークを示していた。このピークの位置は水和発熱曲線の第2ピークの位置と時間的にはほぼ一致しているが、水和発熱のピークの位置は骨材によって異なっていた。そこで、6時間前後の測定点を増加させた実験を追加して行った。結果を表-1.6(2)および図-1.1(2)に示す。図のようにピークの位置は骨材によって異なっている。最もピークに達する

時間が早いのはL骨材で、I骨材で最も遅くなっている。

4. 硬化コンクリート中での骨材の変化

1) 試験方法

湿潤養生および乾湿繰り返し養生を行った（61年度に実施） $10 \times 10 \times 40$ cmコンクリート供試体から、粗骨材を取り出し、骨材の表面からセメントペースト成分を完全に取り除いた後、岩石カッターで外部と内部に切断して、供試試料とし、陽イオン交換容量ならびに交換性陽イオンについて測定した。イオンの抽出は通常の方法と 80°C の熱水に骨材を30分間浸漬する方法とで行った。

2) 試験結果および考察

試験結果を表-1.7に示す。表のように Ca^{2+} 濃度は通常の方法で抽出したものと 80°C 熱水で抽出したものとで差はみられない。図-1.2は表-1.7(1)に示したCEC、交換性陽イオン濃度を骨材の中心部と周縁部で比較したものである。標準骨材のK骨材では、周縁部と中心部のCEC、交換性陽イオン濃度はほぼ等しい。他方、粘土鉱物含有骨材では、CEC、 Ca^{2+} 、総交換性陽イオン濃度が中心部よりも周縁部で高くなっている。図-1.2には横軸上にコンクリートに混合する以前の値も示してあるが、これと周縁部の値を比較すると、粘土鉱物含有骨材のA、B、C骨材ではCEC、 Ca^{2+} 、総交換性陽イオン濃度とともに混合前の値の方が周縁部よりも高い。すなわちA、B、C骨材ではこれらの濃度は高い順に、混合前>硬化後周縁部>硬化後中心部の順になっている。

表-1.7 硬化コンクリート中の骨材の鉱物化学的性質

(1) 通常の方法で抽出した値

a) 乾湿繰返し試料

試料記号			A		B		C		I		K	
			周縁	中心	周縁	中心	周縁	中心	周縁	中心	周縁	中心
陽イオン交換容量(C.E.C.)		meq / 100 g	24.3	17.9	19.6	12.6	25.8	23.1	28.5	27.3	13.8	12.6
交換性陽イオン量 (Ex.C.)	Na ⁺	meq / 100 g	10.2	10.5	1.82	1.80	1.62	1.62	7.48	8.48	1.24	0.99
	K ⁺	meq / 100 g	1.65	1.20	0.91	0.82	0.85	0.85	0.93	0.85	6.47	2.49
	Ca ⁺⁺	meq / 100 g	19.2	7.83	18.0	7.30	25.5	22.6	24.2	18.8	69.5	72.2
	Mg ⁺⁺	meq / 100 g	6.85	7.23	9.16	8.62	7.82	5.29	10.6	10.9	3.63	9.32
	Total	meq / 100 g	37.9	26.7	29.9	18.5	35.8	30.3	43.2	39.1	80.8	85.0

b) 湿潤試料

試料記号			A		B		C		I		K	
			周縁	中心	周縁	中心	周縁	中心	周縁	中心	周縁	中心
陽イオン交換容量(C.E.C.)		meq / 100 g	20.6	15.7	22.1	15.5	24.2	22.6	25.1	23.2	11.7	12.4
交換性陽イオン量 (Ex.C.)	Na ⁺	meq / 100 g	8.04	9.01	3.30	2.48	2.86	3.58	3.42	5.30	1.14	1.17
	K ⁺	meq / 100 g	1.66	1.59	1.85	1.44	1.63	1.58	1.37	1.16	1.98	3.24
	Ca ⁺⁺	meq / 100 g	20.6	6.59	26.7	10.3	36.5	18.6	24.4	20.8	57.8	61.7
	Mg ⁺⁺	meq / 100 g	5.84	5.86	8.60	9.05	5.37	7.82	8.16	5.84	2.37	3.15
	Total	meq / 100 g	36.2	23.1	40.5	23.2	46.4	31.5	37.3	33.1	63.3	59.3

(2) 熱水抽出をしたCaを差し引いた値

a) 乾湿繰返し試料

試料記号			A		B		C		I		K	
			周縁	中心	周縁	中心	周縁	中心	周縁	中心	周縁	中心
陽イオン交換容量(C.E.C.)		meq / 100 g	24.3	17.9	19.6	12.6	25.8	23.1	28.5	27.3	13.8	12.6
交換性陽イオン量 (Ex.C.)	Na ⁺	meq / 100 g	10.2	10.5	1.82	1.80	1.62	1.62	7.48	8.48	1.24	0.99
	K ⁺	meq / 100 g	1.65	1.20	0.91	0.82	0.85	0.85	0.93	0.85	6.47	2.49
	Ca ⁺⁺	meq / 100 g	18.78	7.78	16.95	7.26	23.86	22.05	23.12	18.74	67.96	70.52
	Mg ⁺⁺	meq / 100 g	6.85	7.23	9.16	8.62	7.82	5.29	10.6	10.9	3.63	9.32
	Total	meq / 100 g	37.48	26.71	28.84	18.50	34.15	29.81	42.13	38.97	79.30	83.32

b) 湿潤試料

試料記号			A		B		C		I		K	
			周縁	中心	周縁	中心	周縁	中心	周縁	中心	周縁	中心
陽イオン交換容量(C.E.C.)		meq / 100 g	20.6	15.7	22.1	15.5	24.2	22.6	25.1	23.2	11.7	12.4
交換性陽イオン量 (Ex.C.)	Na ⁺	meq / 100 g	8.04	9.01	3.30	2.48	2.06	3.53	3.42	5.30	1.14	1.17
	K ⁺	meq / 100 g	1.66	1.59	1.85	1.44	1.63	1.58	1.37	1.16	1.98	3.24
	Ca ⁺⁺	meq / 100 g	20.28	6.56	26.00	10.12	35.62	18.42	23.48	20.78	55.27	60.05
	Mg ⁺⁺	meq / 100 g	5.84	5.80	8.60	9.05	5.37	7.82	8.16	5.84	2.37	3.15
	Total	meq / 100 g	35.82	23.02	39.75	23.09	45.48	31.35	36.43	33.08	60.76	67.61

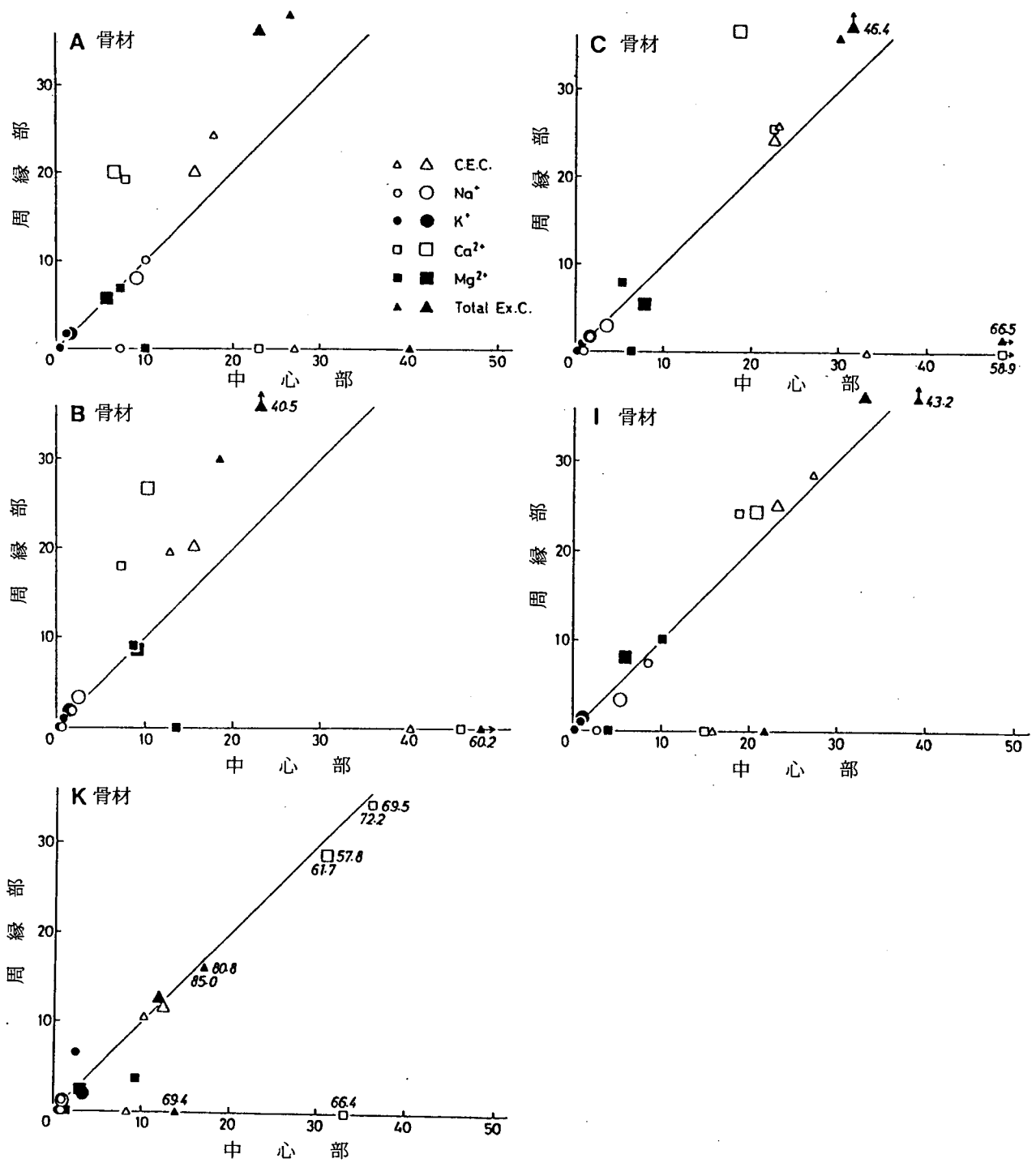


図- 1.2 硬化コンクリート中の骨材の鉱物化学的性質の変化

第 2 章 モルタルの試験

1. 使用材料

1) 骨 材

モンモリロナイト含有骨材としてA, B, I骨材, 非含有骨材としてK, L骨材を使用した。これらは骨材の試験に使用したものと同一である。

2) セメント

N社製普通ポルトランドセメントを使用した。表-1.8にセメントの物理的性質および化学組成を示す。

表-1.8 使用セメントの物理的性質および化学組成（ミルシートより）

(1) 物理的性質

比 重	比表面積 (cm^2/g)	凝 結			安 定 性	圧 縮 強 さ (kgf/cm^2)			
		水 量	始 発	終 結		1 d	3 d	7 d	28 d
		(%)	h-min	h-min					
3.15	3,130	28.2	2-23	4-42	良	—	156	265	412

(2) 化学組成

強 熱 減 量	不 溶 残 分	二酸化 けい素	酸 化 アルミ ニウム	酸 化 第二鉄	酸 化 カルシ ウム	酸 化 マグネ シウム	三酸化 硫 黄	合 計	アルカリ量			塩 素
									Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O	
0.7	0.2	21.3	5.4	2.9	63.6	2.1	2.0	98.2	0.34	0.50	0.67	0.009

単位はすべてwt%。

3) 混 和 剤 (材)

表-1.2に示したものと同一混和剤およびフライアッシュを用いた（混和剤の化学組成は表-1.3参照）。

2. 配 合

骨材の粒度は表-1.9に示す通りとした。モルタルの配合は $W/C = 0.5$, $S/C = 2.0$ （重量比）とした。

表-1.9 細骨材の粒度分布

粒 度	質量百分率(%)
4.75 ~ 2.36 mm	9.5
2.36 ~ 1.18 mm	23.0
1.18 ~ 0.60 mm	23.0
0.60 ~ 0.30 mm	23.0
0.30 ~ 0.15 mm	14.0
0.15 mm 以下	7.5

3. 混和剤（材）の影響

1) 試験方法

モルタルに表－1.10に示す組合せで混和剤（材）を加えた。

配合はそれぞれセメントに対して、A E 剤減水剤は 0.3 %，高性能減水剤は 0.6 %，減水剤は 0.6 %，A E 剤は 0.03 %である。フライアッシュはセメントの20%を置換して配合した。

これらの混和剤（材）を添加したモルタルについて、フロー試験（JIS R 5201），凝結硬化速度試験（ASTM C 403），強度試験（JIS R 5201）および水和発熱の測定を行った。

表－1.10 モルタル試験の混和剤（材）の組合せ

	A E 剤・アビエチン酸塩・ヴィンソル		フライアッシュ添加
	無 添 加	添 加	
無添加	a	e	i
減水剤 ナフタリンスルホン酸塩 マイティM 100	b	f	j
A E 減水剤 リグニンスルホン酸塩 ポゾリスNo.8	c	g	k
高性能減水剤 メラミンスルホン酸塩 メルメント F10	d	h	l

2) フロー試験の結果

フロー試験の結果を表－1.11に示す。

表－1.11 フロー試験の結果

骨材	＊	A E 剤無添加	A E 剤添加	フライアッシュ	骨材	＊	A E 剤無添加	A E 剤添加	フライアッシュ
A	1	233×232	224×221	208×205	L	1	230×229	239×237	226×229
	2	266×262	265×261	252×245		2	224×221	283×273	265×259
	3	233×232	239×236	224×222		3	247×243	248×244	235×232
	4	199×196	200×196	190×190		4	215×212	218×213	207×205
B	1	244×241	251×246	250×244	K	1	242×238	242×238	233×230
	2	283×270	285×275	289×280		2	281×276	283×276	285×278
	3	278×273	276×270	270×260		3	280×274	275×269	262×257
	4	224×221	223×222	218×214		4	216×214	222×217	211×206
I	1	242×237	244×243	238×236	＊ 1：A E 減水剤 2：減水剤 3：高性能減水剤 4：蒸留水				
	2	282×271	285×277	287×279					
	3	268×258	275×270	265×258					
	4	217×215	217×216	215×213					

単位：mm

3) 凝結硬化速度試験の結果

凝結硬化速度試験の結果を表－ 1.12 および図－ 1.3に示す。始発時間は、A 骨材ではフライアッシュを添加したものが無添加のものより若干早くなっているほかは、どの骨材でも混和剤（材）を添加した場合の方が遅くなっている。混和剤（材）別では、A E 減水剤 + A E 剤の組合せやそれにフライアッシュを加えた組合せの遅延効果が大きい。また、骨材別では、モンモリロナイトを含まない骨材の方が混和剤の効果は顕著である。

表－ 1.12 凝結硬化速度試験の結果

混和剤	骨材	A E 剤 無 添 加		A E 剤 添 加		フライアッシュ添加	
		始 発	終 結	始 発	終 結	始 発	終 結
A E 減水剤	A	6 : 20	8 : 35	6 : 40	9 : 30	5 : 30	9 : 10
	B	8 : 10	10 : 30	8 : 30	11 : 50	8 : 40	11 : 40
	I	6 : 35	9 : 05	7 : 00	10 : 45	6 : 55	10 : 25
	L	7 : 20	9 : 55	7 : 35	10 : 20	8 : 00	10 : 35
	K	8 : 50	11 : 05	9 : 55	12 : 40	9 : 40	12 : 45
減水剤	A	5 : 25	8 : 00	4 : 35	7 : 35	4 : 40	7 : 20
	B	6 : 50	9 : 20	7 : 10	9 : 30	6 : 30	9 : 20
	I	5 : 45	8 : 05	5 : 25	7 : 55	5 : 15	7 : 45
	L	6 : 35	9 : 05	6 : 20	8 : 30	6 : 30	9 : 05
	K	8 : 05	10 : 15	8 : 20	10 : 30	8 : 30	11 : 00
高性能減水剤	A	5 : 05	6 : 55	5 : 30	7 : 35	4 : 55	7 : 10
	B	6 : 10	8 : 15	6 : 35	9 : 00	6 : 05	8 : 25
	I	4 : 55	6 : 55	5 : 30	7 : 35	4 : 45	7 : 20
	L	5 : 35	7 : 30	6 : 10	8 : 20	6 : 20	8 : 20
	K	5 : 55	7 : 35	6 : 20	8 : 35	6 : 50	9 : 05
無添加	A	4 : 30	7 : 15	5 : 10	7 : 45	4 : 10	7 : 25
	B	5 : 40	8 : 00	6 : 45	8 : 55	5 : 50	9 : 10
	I	4 : 45	7 : 15	5 : 35	8 : 05	4 : 55	7 : 25
	L	4 : 45	7 : 30	5 : 25	7 : 55	5 : 45	8 : 30
	K	5 : 10	7 : 30	5 : 50	8 : 20	5 : 40	8 : 35

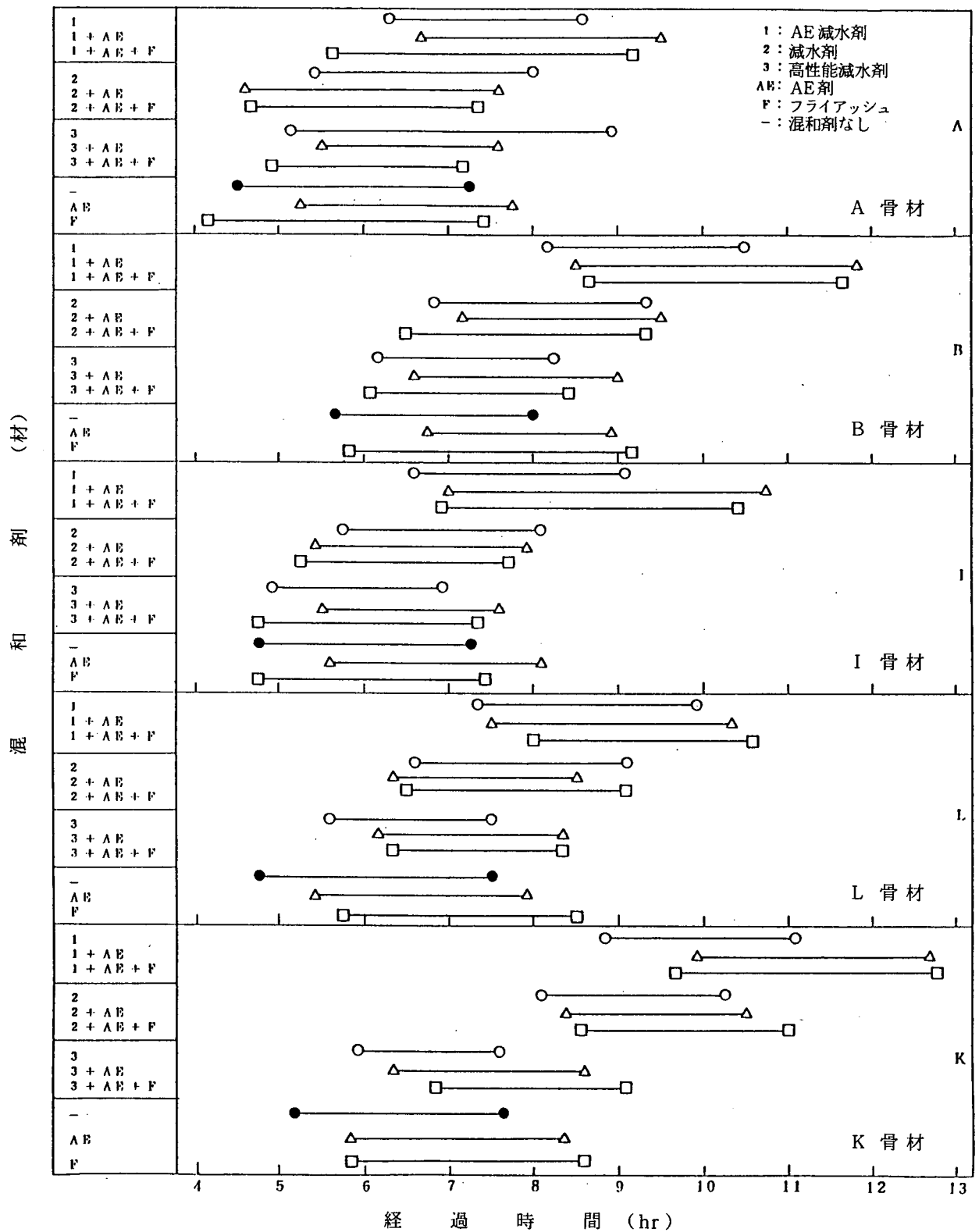


図-1.3 混和剤(材)を添加したモルタルの始発・終結時間。
黒丸は無添加モルタルを表わす。

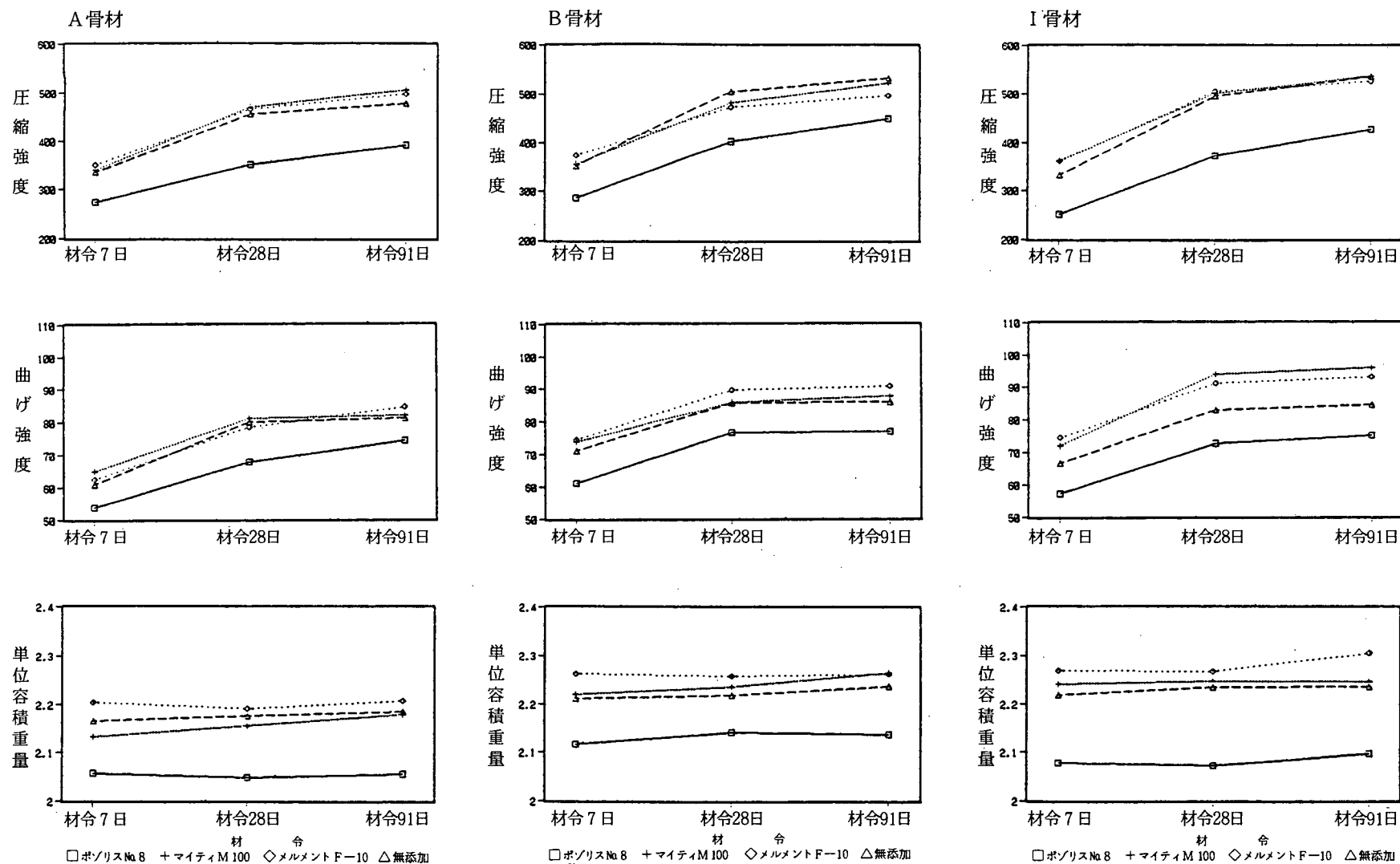


図-1.4 混和剤（材）によるモルタルの圧縮強度の変化

4) 強度試験の結果

強度試験の結果の一覧を表-1.13に示す。図-1.4は強度試験の結果を骨材別に示したものである。どの骨材でもAE減水剤を添加したものの強度が小さくなってきている。これは、モルタルにAE減水剤の空気連行作用により過剰の空気が混入されたためと思われる。

5) 水和発熱の測定の結果

(1) 試験方法および解析方法

骨材は88~105 μm の粒度に調整した。セメント2gと骨材2gを5分間混合し、この混合試料1.3gをはかりとし、6~8kgの荷重をかけ、直径13mmの錠剤を3個成型した。試料容器に3個の錠剤を並べ、その上方にあるゴム膜でシールされた試料筒にW/C=0.65となる蒸留水を入れる。次に熱量計の恒温体の温度(30℃に設定)と試料容器の温度が同一になるよう24時間待った後、4時間以上ベースラインの安定性を調べた。ベースラインの安定性を確認した後、蒸留水のはいったゴム膜シールを針で破り錠剤に水を落として水和を開始させた。水和発熱の測定はコンダクションカロリメーター

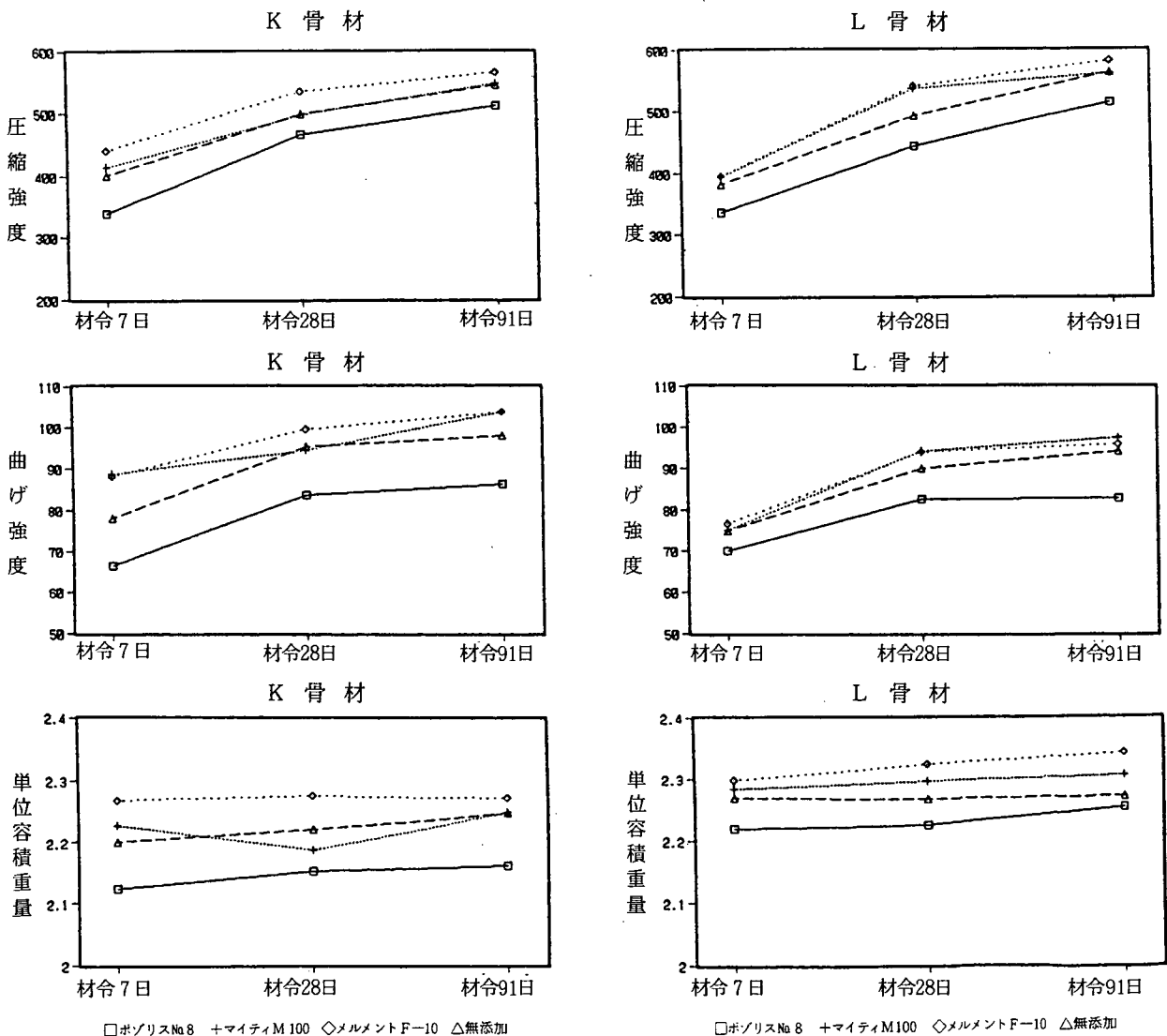


図-1.4 つづき

表-1.13 強度試験の結果

混和剤	骨材	材 令 7 日						材 令 28 日						材 令 91 日								
		曲げ強度*1		圧 縮 強度 *2		単位容積重量*3		曲げ強度*1		圧 縮 強度 *2		単位容積重量*3		曲げ強度*1		圧 縮 強度 *2		単位容積重量*3				
A E 減水剤	A	53.3		272	275		2,051	65.1		356	359		2,035	76.7		350	353		2,063			
		53.8	53.7	267	273	274	2,059	2,058	69.1	67.8	331	360	352	2,078	2,048	72.7	74.2	416	419	392	2,055	2,056
		53.9		279	275		2,063		69.3		341	366		2,031		73.2		400	416		2,051	
	B	56.4		288	279		2,109	78.4		394	389		2,141		75.1		469	444		2,137		
		63.5	61.1	291	283	286	2,117	2,116	72.4	76.6	409	409	402	2,145	2,142	77.6	76.8	425	466	450	2,133	2,137
		63.4		281	295		2,121		78.9		409	404		2,141		77.6		441	456		2,141	
	I	58.9		254	256		2,078	73.7		371	364		2,078		73.5		425	428		2,098		
		57.3	57.2	250	251	252	2,074	2,078	71.0	72.5	386	368	373	2,070	2,073	77.0	75.1	437	434	427	2,102	2,097
		55.5		248	253		2,082		72.7		375	375		2,070		74.8		425	416		2,090	
	L	71.4		336	331		2,223	81.9		455	444		2,223		82.9		509	503		2,254		
		69.2	69.9	329	345	336	2,215	2,219	85.5	82.5	450	428	443	2,234	2,225	80.3	82.8	528	513	515	2,258	2,254
		69.0		333	339		2,219		80.0		443	438		2,219		85.1		506	534		2,250	
	K	64.7		333	344		2,121	87.3		466	469		2,152		91.2		488	544		2,160		
		69.7	66.3	326	338	339	2,129	2,122	77.5	83.7	461	468	465	2,145	2,150	84.1	86.3	488	500	511	2,160	2,160
		64.4		342	349		2,117		86.2		459	468		2,152		83.6		519	528		2,160	
減水剤	A	68.3		334	339		2,129	82.5		444	471		2,145		83.7		537	509		2,180		
		61.8	64.8	336	331	340	2,137	2,133	78.1	80.9	491	484	470	2,156	2,155	81.8	81.9	506	506	505	2,184	2,179
		64.4		345	350		2,133		82.2		453	476		2,164		80.2		475	500		2,172	
	B	76.7		349	350		2,223	88.8		473	475		2,242		87.9		500	525		2,273		
		71.2	73.7	355	350	355	2,227	2,220	85.2	85.8	456	480	482	2,250	2,236	87.2	87.7	516	559	523	2,250	2,265
		73.3		364	364		2,211		83.4		505	505		2,215		88.0		587	450		2,273	
	I	71.4		350	366		2,250	91.3		473	491		2,238		99.9		544	528		2,234		
		74.3	71.9	364	366	362	2,254	2,241	95.2	94.1	521	525	501	2,227	2,247	89.4	96.0	516	528	538	2,258	2,247
		70.1		359	365		2,219		95.9		504	491		2,277		98.7		556	556		2,250	
	L	77.4		394	373		2,281	95.7		535	500		2,301		94.3		547	547		2,301		
		75.1	75.0	388	399	393	2,281	2,284	95.8	94.3	554	548	536	2,289	2,297	99.5	97.6	550	563	561	2,297	2,305
		72.5		405	401		2,289		91.5		526	550		2,301		99.1		581	581		2,316	
	K	83.9		409	410		2,215	97.5		486	495		2,191		106.1		553	544		2,246		
		90.6	88.8	413	418	414	2,234	2,225	91.6	94.6	516	503	496	2,184	2,184	101.0	103.9	541	559	548	2,258	2,247
		91.9		411	424		2,227		94.8		473	500		2,176		104.6		537	553		2,238	
高性能減水剤	A	62.5		352	345		2,215	77.2		456	450		2,176		82.4		484	491		2,199		
		61.2	62.5	344	348	350	2,203	2,203	79.1	78.3	465	481	466	2,195	2,191	84.1	84.6	516	500	497	2,215	2,206
		63.7		355	358		2,191		78.7		475	469		2,203		87.3		484	506		2,203	
	B	78.3		380	367		2,270	90.5		481	488		2,262		91.5		469	484		2,254		
		73.3	74.4	356	379	373	2,254	2,262	91.8	89.6	456	447	473	2,262	2,258	90.1	90.7	528	506	496	2,266	2,263
		71.5		379	374		2,264		86.5		478	488		2,250		90.6		497	491		2,270	
	I	73.5		369	347		2,254	95.8		494	484		2,270		95.2		528	544		2,305		
		73.2	74.3	369	361	361	2,281	2,268	90.1	91.1	516	528	505	2,265	2,267	92.6	93.1	553	559	526	2,313	2,305
		76.3		356	364		2,270		87.5		513	497		2,265		91.4		475	494		2,297	
	L	76.9		392	398		2,297	94.7		550	544		2,324		95.7		572	619		2,348		
		74.1	76.5	403	390	395	2,297	2,298	87.6	94.1	538	528	541	2,316	2,325	100.0	96.1	559	553	583	2,336	2,343
		78.4		394	390		2,301		100		547	538		2,336		92.6		581	616		2,344	
	K	84.7		441	451		2,258	96.2		553	538		2,270		100.8		581	613		2,266		
		87.6	88.1	444	463	440	2,277	2,266	98.3	99.6	513	550	535	2,270	2,275	104.9	103.9	581	516	566	2,270	2,270
		92.0		429	409		2,262		104		531	525		2,285		106.1		528	575		2,273	
無添加	A	59.1		349	339		2,172	79.1		459	456		2,176		82.3		437	469		2,191		
		59.8	60.8	324	319	336	2,156	2,165	78.5	79.9	453	459	456	2,176	2,175	83.1	81.1	497	491	478	2,188	2,185
		63.6		339	346		2,168		82.1		459	450		2,172		77.8		459	516		2,176	
	B	68.3		349	339		2,203	92.3		506	497		2,211		89.0		531	491		2,250		
		73.6	71.0	363	352	352	2,223	2,211	80.4	85.6	506	481	505	2,215	2,218	84.6	85.8	541	534	533	2,234	2,237
		71.2		355	356		2,207		94.0		519	519		2,227		83.9		531	569		2,227	
	I	65.5		334	339		2,219	81.0		489	500		2,234		82.9		541	547		2,238		
		64.6	66.6	338	329	333	2,207	2,219	90.4	83.0	487	509	495	2,234	2,235	88.5	84.5	556	522	537	2,234	2,236
		69.6		333	326		2,230		77.7		509	478		2,238		82.0		531	522		2,230	
	L	78.2		386	375		2,270	89.5		494	478		2,270		99.5		547	559		2,270		
		70.7	74.8	388	389	382	2,277	2,268	89.4	90.1	484	484	492	2,265	2,267	89.2	94.2	556	591	563	2,285	2,272
		75.5		384	369		2,258		91.3		494	516		2,265		93.8		553	572		2,262	
	K	78.1		407	416		2,191	91.3		509	513		2,219		94.4		556	522		2,250		
		77.3	77.9	394	413	401	2,211	2,198	96.2	95.4	488	478	498	2,219	2,218	99.3	98.1	547	541	546	2,238	2,245
		78.4		388	390		2,191		98.7		509	488		2,215		100.5		556	556		2,246	

* 1, 2 単位は kgf/cm²。

* 3 単位は kg/l。

を用いて、水和開始から48時間後まで行った。

今回測定を行った試料の水和発熱曲線は図-1.5に示すように第3および第4ピークの有無によって2通りに区分される。測定結果の分析に当たっては、図中に示したようなピークや区間にそれぞれを区分した。各ピーク、区間の定義は次の通りである。

第1ピーク：水和開始後10分以内に現われるピーク

第2ピーク：区間Ⅳにおける対称形のピーク

第3ピーク：区間Ⅱに存在するピーク

第4ピーク：区間Ⅳにおいて第2ピークの他に存在するピーク。第4ピークがある時、第2ピークとの重なりのために両者のピークがブロードになる場合がある。

区 間 Ⅰ：水和開始から発熱速度がほぼ一定となるまでの区間

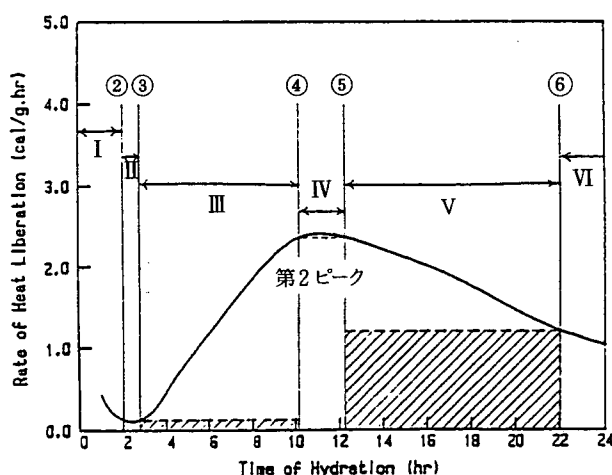
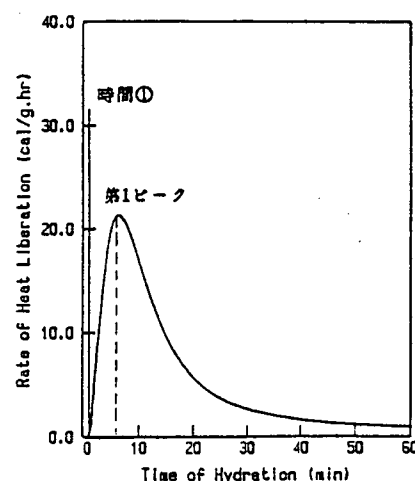
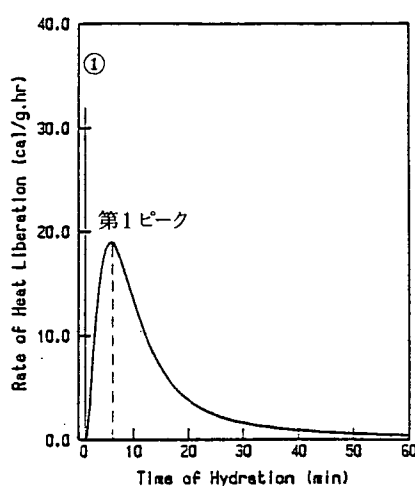
区 間 Ⅱ：発熱速度が小さくほぼ一定である区間（誘導期）

区 間 Ⅲ：水和反応が加速する期間

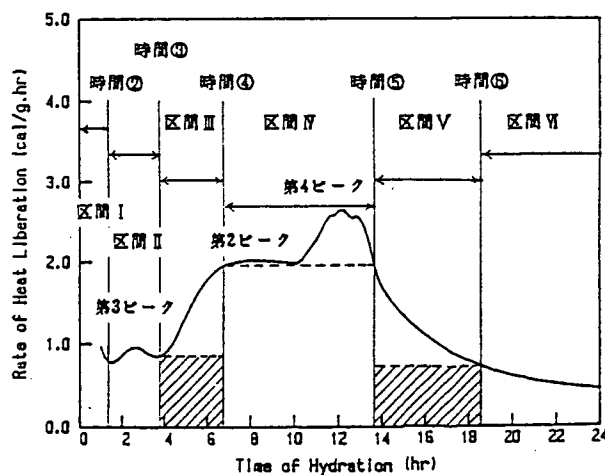
区 間 Ⅳ：水和反応が加速した後、発熱速度がほぼ一定となる区間（最大発熱速度を示す区間）

区 間 Ⅴ：水和反応が減速する期間

区 間 Ⅵ：発熱速度が非常に小さくなる区間（時間⑥から水和時間の区間）



(1) 第3及び第4ピークが存在しない



(2) 第3及び第4ピークが存在する

図-1.5 水和発熱曲線のタイプ

(2) 試験結果および考察

測定の解析結果の一覧を表- 1. 14 に示す。図- 1. 6(1)はAE剤無添加のシリーズ(図- 1. 10 のa～d)の水和発熱曲線を骨材別に示したものである。水和発熱過程からは水和作用の状態を知ることができるが、混和剤によって水和作用が抑制されると第1ピーク、第2ピークともにピークに達する時間が長くなり、発熱速度が小さくなるはずである。表- 1. 15は骨材別にこのシリーズの混和剤の作用をまとめたものである。表中の記号は表- 1. 10の記号と対応している。

表- 1. 15 混和剤を混入したモルタルの水和発熱過程の比較

骨材	第 1 ピーク		第 2 ピーク	
	時 間	発 熱 速 度	時 間	発 熱 速 度
A	$b=d<c$	$c=b>d$	$b<d<c$	$b>d>c$
B	$a<c<b<d$	$a>c>b>d$	$a<b<d<c$	$a>c>d>b$
I	$a<b=c\leq d$	$a>b=c>d$	$a<d<c\leq b$	$a>d>b>c$
L	$a<d=c$	$d\geq c>a$	$a<d<c$	$a>d>c$
K	$a<b\leq c\leq d$	$a>c=b>d$	$a<b<d<c$	$a>d>b>c$

まず、非含有骨材のK, Lについてみると両者では第1ピークの順序に違いがあることがわかる。混和剤の効果からみるとLの実験の方が良くそれぞれの効果を表わしている。すなわち、最も水和を抑制しているのはdで、次いでc, bの順である。第2ピークはK, Lで傾向は変わらず(Kにはb使用データはないが)、抑制力があるのは、 $c>b>d$ の順である。このような第1ピーク第2ピークにみられる水和反応抑制の順位は含有骨材についてもほぼ同様なことがいえる。異なっているのはAの第1ピークの時間、Bの第2ピークの時間、発熱速度である。また、全体的に含有骨材では第2ピークの形が不規則になるという違いがある。これらの相違はモンモリロナイトのイオン交換性とイオン種の違いに起因していると考えられるが、詳細な検討は今後の課題である。しかし、いずれにしろ混和剤の種類を選択すれば、含有骨材の48時間までの水和反応はプレーン状態の非含有骨材のモルタルと同程度に抑えることができることができるといえる。

4. 骨材の含水比の影響

1) 試験方法

細骨材の含水比を変えて、モルタル試験を実施した。砂の含水率の種類は以下のとおりである。

- ①表乾状態の砂重量の5%増加分の含水率の砂(以下、含水率+5%の砂とする)
- ②表乾状態の含水率の砂(以下、表乾状態の含水率の砂とする)
- ③表乾状態の砂重量の2%減少分の含水率の砂(以下、含水率-2%の砂とする)

砂の含水率の調整は各砂の水洗いを施した後、絶乾状態で表- 1. 9に示す粒度に調整し、その後、砂が十分浸るように水を加え、恒温恒湿室内で徐々に乾燥させて所定の含水比とした。モルタルの配合は $W/C=0.5$, $S/C=2.0$ (重量比)としたが、単位水量はモルタル全体として同一となるように含

表-1.14 水和発熱過程の解析結果

(1) A E剤無添加のシリーズ

結合材	混和剤	AE剤	骨材名	*1	*2	第一ピークの時間 (分:秒)	各位置の時間(時:分)					各区間の時間(時:分)				備考
							2	3	4	5	6	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	
セメント 100%	無添加	無	A	有	無	3:22	1:00	2:54	5:42	6:09	18:30	1:54	2:48	0:27	12:21	第3ピーク不明瞭
			B	無	無	3:15	1:57	2:21	7:45	9:27	21:30	0:24	5:24	1:42	12:03	
			I	無	無	3:00	1:06	2:36	5:30	6:06	18:54	1:30	2:54	0:36	12:48	
			K	無	無	3:00	1:33	2:12	9:12	9:51	21:36	0:39	7:00	0:39	11:45	
			L	無	無	3:45	1:51	2:27	8:57	10:03	21:48	0:36	6:30	1:06	11:45	
	減水剤		A	有	無	4:45	1:15	3:24	7:18	8:57	18:42	2:09	3:54	1:39	9:45	
			B	無	無	5:30	1:54	2:36	8:06	11:06	20:54	0:42	5:30	3:00	9:48	
			I	有	有	5:08	1:18	3:06	6:03	13:36	19:30	1:48	2:57	7:33	5:54	
			K	無	無	5:45	1:51	2:57	10:27	12:36	22:54	1:06	7:30	2:09	10:18	
			L	無	無	4:45	1:57	2:48	10:09	12:12	22:00	0:51	7:21	2:03	9:48	
	AE 減水剤		A	有	無	5:15	1:30	3:57	7:36	10:12	19:12	2:27	3:39	2:36	9:00	区間Ⅱベースラインを切る
			B	無	有	5:15	1:54	3:27	9:09	14:30	19:18	1:33	5:42	5:21	4:48	
			I	有	有	5:15	1:24	3:48	6:48	13:36	18:30	2:24	3:00	6:48	4:54	
			K	無	有	5:52	2:21	4:15	11:27	17:00	21:12	1:54	7:12	5:33	4:12	
			L	無	有	5:30	2:18	3:30	10:00	15:42	20:06	1:12	6:30	5:42	4:24	
	高性能 減水剤		A	有	有	5:15	1:12	3:24	6:57	11:18	18:24	2:12	3:33	4:21	7:06	
			B	無	無	6:30	2:00	2:42	9:12	12:18	21:06	0:42	6:30	3:06	8:48	
			I	有	有	6:00	1:21	2:57	7:54	11:27	20:24	1:36	4:57	3:33	8:57	
			K	無	無	5:15	1:54	3:03	11:33	13:12	23:18	1:09	8:30	1:39	10:06	
			L	無	無	6:15	1:51	2:39	10:48	12:36	21:54	0:48	8:09	1:48	9:18	

結合材	混和剤	AE剤	骨材名	*1	*2	各 区 間 の 発 熱 量 (cal/g)							平均発熱速度 (cal/g・hr)		発熱速度の傾き (cal/g・hr・hr)	
						区間Ⅰ	区間Ⅱ	区間Ⅲ	区間Ⅳ	区間Ⅴ	区間Ⅵ	48時間	区間Ⅱ	区間Ⅳ	区間Ⅲ	区間Ⅴ
セメント 100%	無添加	無	A	有	無	5.20	3.04	8.15	1.83	27.82	13.20	59.24	1.601	4.060	1.016	0.197
			B	無	無	5.68	0.28	11.24	5.08	23.27	11.82	57.37	0.700	2.986	0.508	0.163
			I	無	無	5.89	2.42	8.21	2.38	28.19	12.84	59.93	1.611	3.960	1.051	0.191
			K	無	無	3.61	0.18	14.65	2.44	26.14	17.37	64.39	0.278	3.760	0.516	0.198
			L	無	無	4.46	0.16	12.29	3.80	24.31	13.48	58.50	0.262	3.450	0.498	0.194
	減水剤		A	有	無	5.30	2.60	9.42	5.32	20.08	16.52	59.24	1.210	3.226	0.556	0.195
			B	無	無	5.22	0.35	8.21	6.65	16.66	17.70	54.79	0.504	2.218	0.355	0.111
			I	有	有	5.29	1.87	4.90	18.08	8.96	15.43	54.53	1.040	2.395	0.489	0.146
			K	無	無	3.91	0.02	9.73	5.43	18.43	13.77	51.29	0.023	2.526	0.335	0.142
			L	無	無	4.35	0.10	9.63	4.89	17.82	17.90	54.69	0.118	2.383	0.320	0.127
	A E 減水剤		A	有	無	5.81	2.18	6.06	5.94	14.61	14.42	49.02	0.889	2.283	0.351	0.147
			B	無	有	5.91	0.45	6.66	11.47	6.42	14.07	44.98	0.290	2.144	0.297	0.144
			I	有	有	5.79	2.11	4.38	14.92	5.66	10.91	43.77	0.880	2.195	0.399	0.171
			K	無	有	5.82	0.01	5.89	9.51	5.58	16.65	43.44	—	1.714	0.218	0.134
			L	無	有	5.30	0.10	6.62	11.37	5.33	11.70	40.42	0.084	1.995	0.281	0.168
	高性能 減水剤		A	有	有	4.97	2.47	7.47	12.33	12.98	16.38	56.60	1.122	2.835	0.479	0.160
			B	無	無	5.31	0.39	10.88	7.76	16.00	16.44	56.78	0.551	1.785	0.342	0.151
			I	有	有	5.00	1.57	9.66	10.06	15.72	13.53	55.54	0.982	2.835	0.403	0.169
			K	無	無	4.35	0.12	12.86	4.92	19.65	14.32	56.22	0.104	2.979	0.326	0.175
			L	無	無	4.65	0.20	12.84	5.01	18.08	17.13	57.91	0.244	2.784	0.323	0.163

*1 第3ピークの有無

*2 第4ピークの有無

(2) A E 剤添加のシリーズ

結合材	混和剤	AE剤	骨 材 名	*1	*2	第一ピー クの時間 (分:秒)	各位置の時間 (時:分)					各区間の時間 (時:分)				備 考
							2	3	4	5	6	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	V	
セメント 100%	無添加	有	A	有	無	4:15	1:03	3:00	5:51	6:15	19:42	1:57	2:51	0:24	13:27	第3ピーク不明瞭
			B	無	無	2:52	1:51	2:09	7:21	8:42	20:12	0:18	5:12	1:21	11:30	
			I	無	無	3:00	2:30	2:39	5:39	6:18	19:36	0:09	3:00	0:39	13:18	
			K	無	無	3:15	1:39	2:21	9:09	10:00	22:12	0:42	6:48	0:51	12:12	
			L	無	無	4:00	1:42	2:18	9:00	9:42	21:30	0:36	6:42	0:42	11:48	
	減水剤		A	有	無	5:00	1:09	3:24	6:45	8:21	19:06	2:15	3:21	1:36	10:45	第4ピーク不明瞭
			B	無	無	5:07	1:57	2:39	8:24	10:48	21:18	0:42	5:45	2:24	10:30	
			I	有	有	4:30	1:09	3:09	6:12	8:33	18:30	2:00	3:03	2:21	9:57	
			K	無	無	4:45	1:57	2:54	11:21	12:54	25:00	0:57	8:27	1:33	12:06	
			L	無	無	5:00	1:45	2:48	10:15	12:00	21:36	1:03	7:27	1:45	9:36	
	A E 減水剤		A	有	無	4:45	1:27	3:54	7:24	9:18	19:18	2:27	3:30	1:54	10:00	
			B	無	有	4:52	2:09	3:21	9:33	16:36	21:18	1:12	6:12	7:03	4:42	
			I	有	有	4:52	1:21	3:42	7:09	15:00	19:12	2:21	3:27	7:51	4:12	
			K	無	有	5:00	2:06	3:42	11:12	15:12	21:36	1:36	7:30	4:00	6:24	
			L	無	有	5:15	2:12	3:30	11:06	16:36	21:06	1:18	7:36	5:30	4:30	
	高性能 減水剤		A	有	無	5:30	1:09	3:27	6:51	8:06	19:30	2:18	3:24	1:15	11:24	
			B	無	無	5:07	1:54	2:42	9:12	11:39	20:06	0:48	6:30	2:27	8:27	
			I	有	有	4:15	1:15	3:00	7:03	11:36	19:42	1:45	4:03	4:33	8:06	
			K	無	無	5:52	1:51	2:57	11:33	12:54	23:06	1:06	8:36	1:21	10:12	
			L	無	無	5:00	1:57	2:57	11:03	12:36	21:54	1:00	8:06	1:33	9:18	

結合材	混和剤	AE剤	骨 材 名	*1	*2	各 区 間 の 発 熱 量 (cal/g)							平均発熱速度 (cal/g・hr)		発熱速度の傾き (cal/g・hr・hr)	
						区間Ⅰ	区間Ⅱ	区間Ⅲ	区間Ⅳ	区間Ⅴ	区間Ⅵ	48時間	区間Ⅱ	区間Ⅳ	区間Ⅲ	区間Ⅴ
セメント 100%	無添加	有	A	有	無	5.32	3.30	7.86	1.50	28.46	12.19	58.63	1.690	3.748	0.832	0.169
			B	無	無	5.31	0.20	11.74	4.54	23.82	13.24	58.85	0.673	3.361	0.607	0.189
			I	無	無	8.15	0.19	8.02	2.40	27.63	11.86	58.25	1.280	3.697	0.930	0.170
			K	無	無	3.80	0.13	12.94	3.04	25.81	13.84	59.56	0.187	3.582	0.499	0.195
			L	無	無	3.77	0.08	12.50	2.47	24.30	13.39	56.51	0.140	3.531	0.513	0.191
	減水剤		A	有	無	5.27	2.90	8.13	5.21	21.70	14.55	57.76	1.288	3.257	0.627	0.192
			B	無	無	5.12	0.29	8.62	5.41	18.15	15.63	53.22	0.409	2.253	0.376	0.120
			I	有	有	5.30	2.58	6.66	6.96	18.66	15.00	55.16	1.289	2.960	0.642	0.178
			K	無	無	3.94	0.03	12.98	4.77	22.82	13.32	57.86	0.032	3.077	0.351	0.164
			L	無	無	4.46	0.17	11.00	4.69	18.13	16.99	55.44	0.165	2.682	0.345	0.161
	A E 減水剤		A	有	無	5.95	2.32	5.87	4.21	16.04	12.96	47.35	0.948	2.216	0.351	0.132
			B	無	有	5.29	0.45	7.55	14.10	6.20	16.18	49.77	0.372	1.999	0.267	0.149
			I	有	有	5.82	2.40	5.55	16.67	5.48	15.01	50.93	1.023	2.123	0.371	0.200
			K	無	有	4.61	0.13	7.76	8.13	9.72	16.69	47.04	0.079	2.033	0.253	0.145
			L	無	有	5.12	0.21	8.22	10.51	6.39	18.65	49.10	0.160	1.911	0.233	0.171
	高性能 減水剤		A	有	無	5.21	3.22	8.94	4.42	24.04	16.06	61.89	1.400	3.532	0.655	0.176
			B	無	無	5.09	0.41	11.43	6.62	16.65	19.54	59.74	0.516	2.702	0.378	0.166
			I	有	有	4.92	1.94	8.18	13.56	14.00	15.81	58.41	1.109	2.980	0.470	0.144
			K	無	無	4.06	0.11	13.96	4.26	21.07	15.81	59.27	0.096	3.159	0.349	0.184
			L	無	無	4.27	0.17	13.12	4.53	18.85	18.80	59.74	0.170	2.922	0.354	0.168

*1 第3ピークの有無

*2 第4ピークの有無

(3) フライアッシュ添加のシリーズ

結合材	混和剤	AE剤	骨材名	*1	*2	第一ピークの時間 (分:秒)	各位置の時間 (時:分)					各区間の時間 (時:分)				備 考
							2	3	4	5	6	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	V	
セメント 80% フライアッシュ 20%	無添加	無	A	有	無	3:30	0:56	3:24	6:36	7:21	17:12	2:28	3:12	0:45	9:51	
			B	無	無	3:30	2:09	2:30	6:33	8:27	19:36	0:21	4:03	1:54	11:09	
			I	有	無	3:18	0:50	2:52	5:59	6:49	17:34	2:02	3:07	0:50	10:45	
			K	無	無	3:45	1:45	2:36	9:30	10:45	21:06	0:51	6:54	1:15	10:21	
			L	無	無	4:00	1:51	2:45	9:03	10:42	20:24	0:54	6:18	1:39	9:42	
	減水剤		A	有	有	5:15	1:15	3:48	7:12	9:54	17:06	2:33	3:24	2:42	7:12	
			B	無	有	5:30	1:48	3:03	7:24	14:18	19:36	1:15	4:21	6:54	5:18	
			I	有	有	4:53	1:15	3:39	7:03	10:39	17:12	2:24	3:24	3:36	6:33	
			K	無	無	5:53	2:00	3:27	10:21	14:12	23:54	1:27	6:54	3:51	9:42	区間Ⅱ ベースラインを切る
			L	無	無	5:15	2:00	3:18	10:57	15:12	21:18	1:18	7:39	4:15	6:06	
	A E 減水剤		A	有	有	5:53	1:30	5:00	8:27	14:24	17:48	3:30	3:27	5:57	3:24	
			B	無	有	5:30	1:48	4:00	8:33	15:36	19:36	2:12	4:33	7:03	4:00	
			I	有	有	5:45	1:21	4:12	7:00	15:00	18:54	2:51	2:48	8:00	3:54	
			K	無	有	6:22	2:33	4:42	12:54	20:00	22:30	2:09	8:12	7:06	2:30	区間Ⅱ ベースラインを切る
			L	無	有	5:37	2:27	4:27	11:27	17:00	19:54	2:00	7:00	5:33	2:54	区間Ⅱ ベースラインを切る
	高性能 減水剤		A	有	—	4:49	1:06	3:57	6:54	9:18	17:51	2:51	2:57	2:24	8:33	
			B	無	有	5:52	1:44	3:12	8:22	14:33	19:51	1:28	5:10	6:11	5:18	
			I	有	有	5:22	1:06	3:42	6:15	10:00	18:06	2:36	2:33	3:45	8:06	
			K	無	無	6:53	2:00	3:45	11:30	14:54	22:24	1:45	7:45	3:24	7:30	
			L	無	無	7:30	2:00	3:15	11:03	14:30	21:00	1:15	7:48	3:27	6:30	

結合材	混和剤	AE剤	骨材名	*1	*2	各 区 間 の 発 熱 量 (cal/g)							平均発熱速度 (cal/g・hr)		発熱速度の傾き (cal/g・hr・hr)	
						区間Ⅰ	区間Ⅱ	区間Ⅲ	区間Ⅳ	区間Ⅴ	区間Ⅵ	48時間	区間Ⅱ	区間Ⅳ	区間Ⅲ	区間Ⅴ
セメント 80% フライアッシュ 20%	無添加 添 加	無	A	有	無	4.51	4.17	9.19	2.80	19.66	11.12	51.45	1.691	3.733	0.821	0.211
			B	無	無	5.02	0.18	6.83	4.91	19.00	9.58	45.52	0.520	2.584	0.573	0.154
			I	有	無	4.62	3.22	7.33	2.62	19.84	11.46	49.09	1.582	3.150	0.761	0.171
			K	無	無	3.33	0.08	9.78	3.41	18.76	11.65	47.01	0.088	2.727	0.379	0.174
			L	無	無	3.61	0.08	8.54	4.16	16.43	11.13	43.95	0.090	2.523	0.365	0.172
	減水剤		A	有	有	4.66	3.02	7.51	7.90	12.18	13.64	48.91	1.182	2.925	0.502	0.184
			B	無	有	4.76	0.58	5.78	13.37	7.06	13.44	44.97	0.445	1.938	0.403	0.152
			I	有	有	4.51	2.48	6.02	9.29	9.84	11.89	44.03	1.033	2.582	0.430	0.169
			K	無	無	3.38	-0.04	5.69	6.09	11.31	12.54	38.97	—	1.581	0.240	0.076
			L	無	無	3.84	0.05	8.12	8.65	8.98	14.16	43.80	0.038	2.035	0.261	0.152
	A E 減水剤		A	有	有	4.94	2.97	5.10	11.70	3.86	13.01	41.58	0.849	1.967	0.269	0.212
			B	無	有	5.08	0.62	4.12	11.64	4.17	11.03	36.66	0.281	1.651	0.257	0.140
			I	有	有	4.64	2.42	3.48	14.26	3.80	8.11	36.71	0.848	1.782	0.294	0.187
			K	無	有	4.38	-0.29	4.46	9.64	2.68	13.84	34.71	—	1.358	0.155	0.120
			L	無	有	4.99	-0.06	4.35	7.96	2.73	12.41	32.38	—	1.434	0.174	0.143
	高性能 減水剤		A	有	—	4.49	4.17	6.76	7.43	15.32	13.15	51.32	1.464	3.097	0.516	0.184
			B	無	有	4.63	0.77	6.86	12.51	7.65	14.01	46.43	0.524	2.023	0.316	0.163
			I	有	有	4.61	3.81	5.34	12.57	13.43	12.73	52.49	1.466	3.351	0.576	0.161
			K	無	無	4.32	0.35	9.11	7.41	12.43	14.44	48.06	0.198	2.179	0.243	0.139
			L	無	無	4.41	0.22	9.06	7.30	10.29	14.70	45.98	0.179	2.117	0.247	0.156

* 1 : 第3ピークの有無

* 2 : 第4ピークの有無

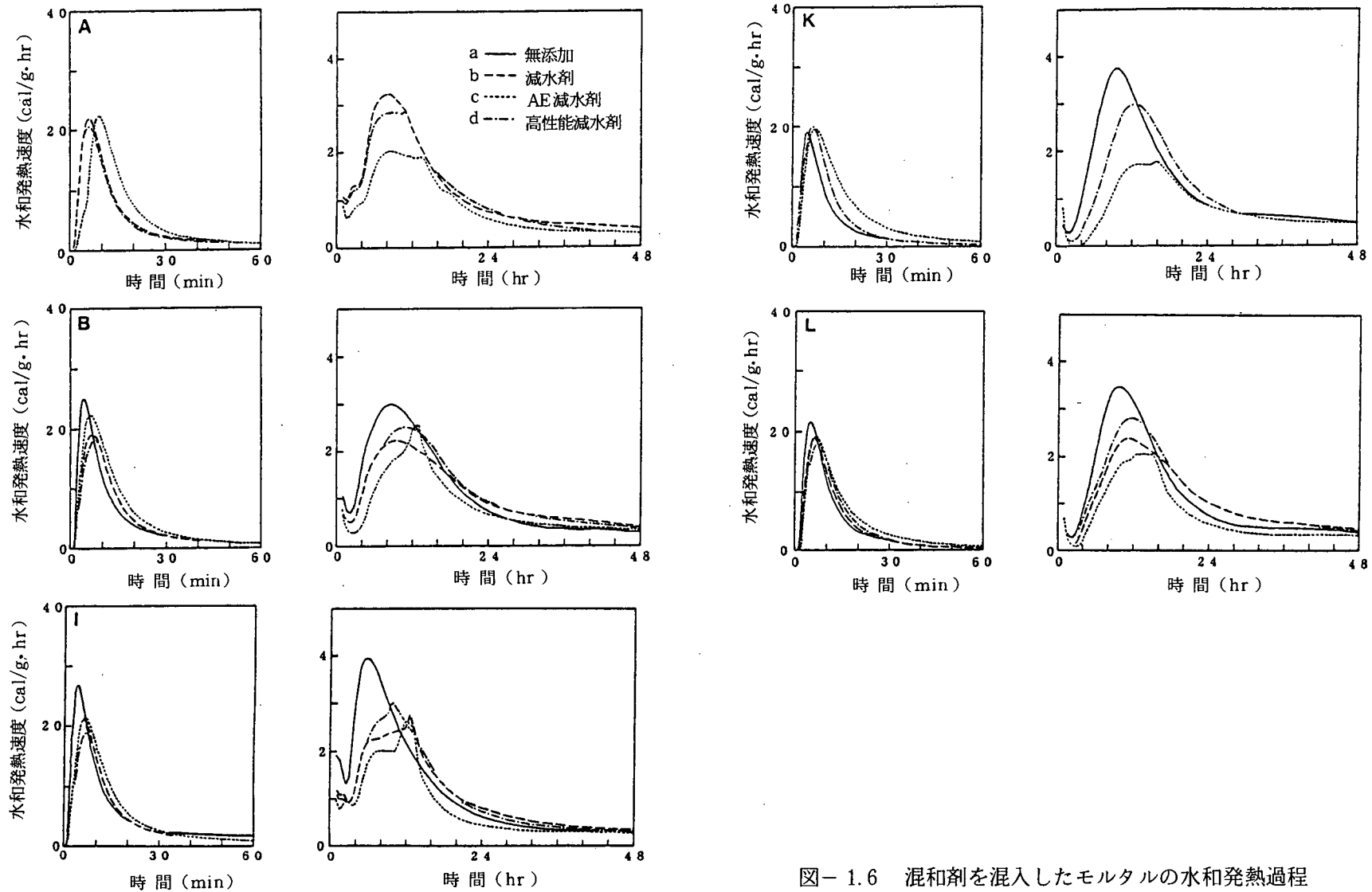


図- 1.6 混和剤を混入したモルタルの水和発熱過程

(1) AE 剤無添加のシリーズ

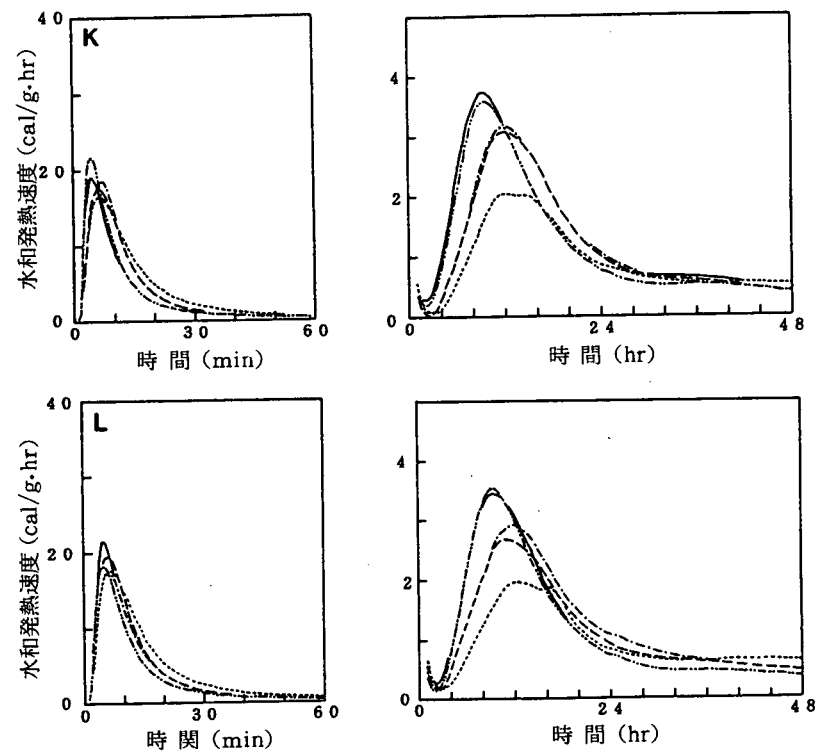
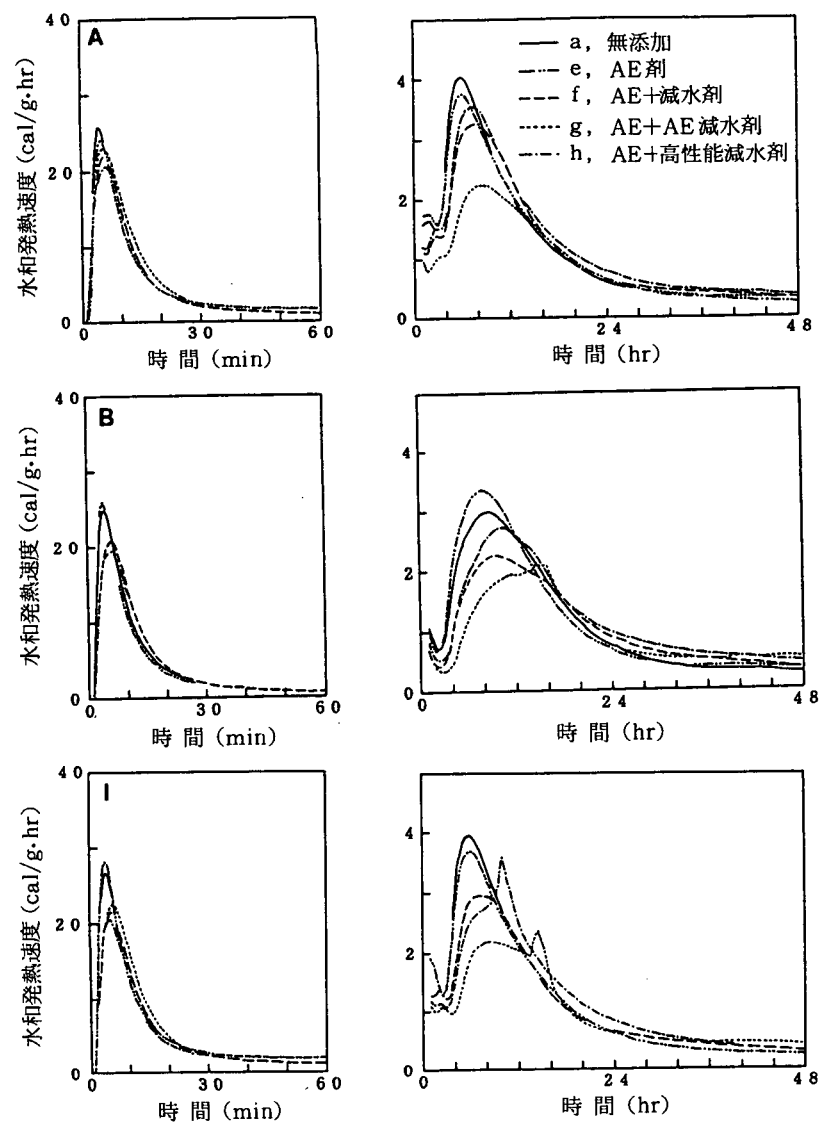


図-1.6(2) AE剤添加のシリーズ

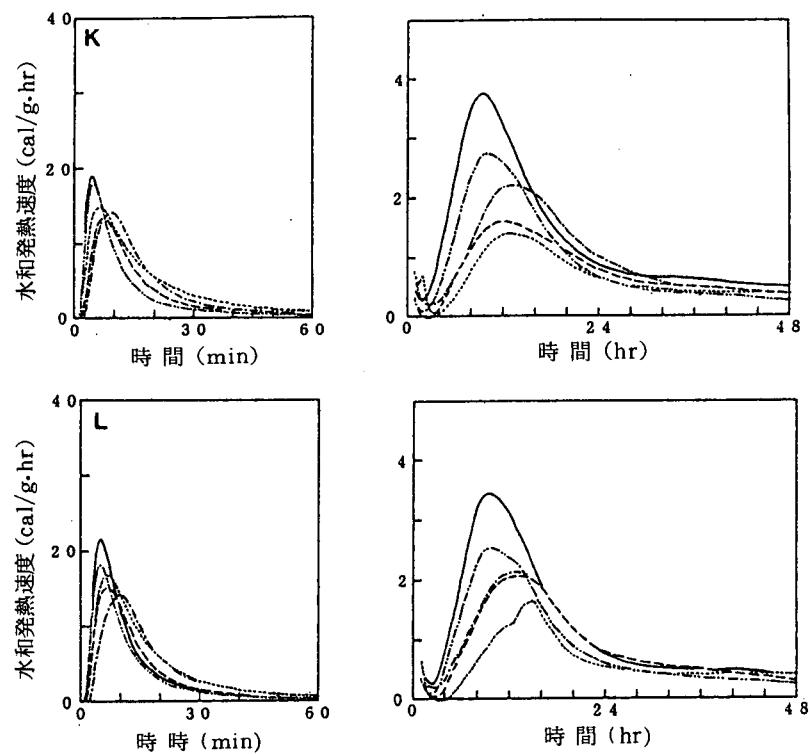
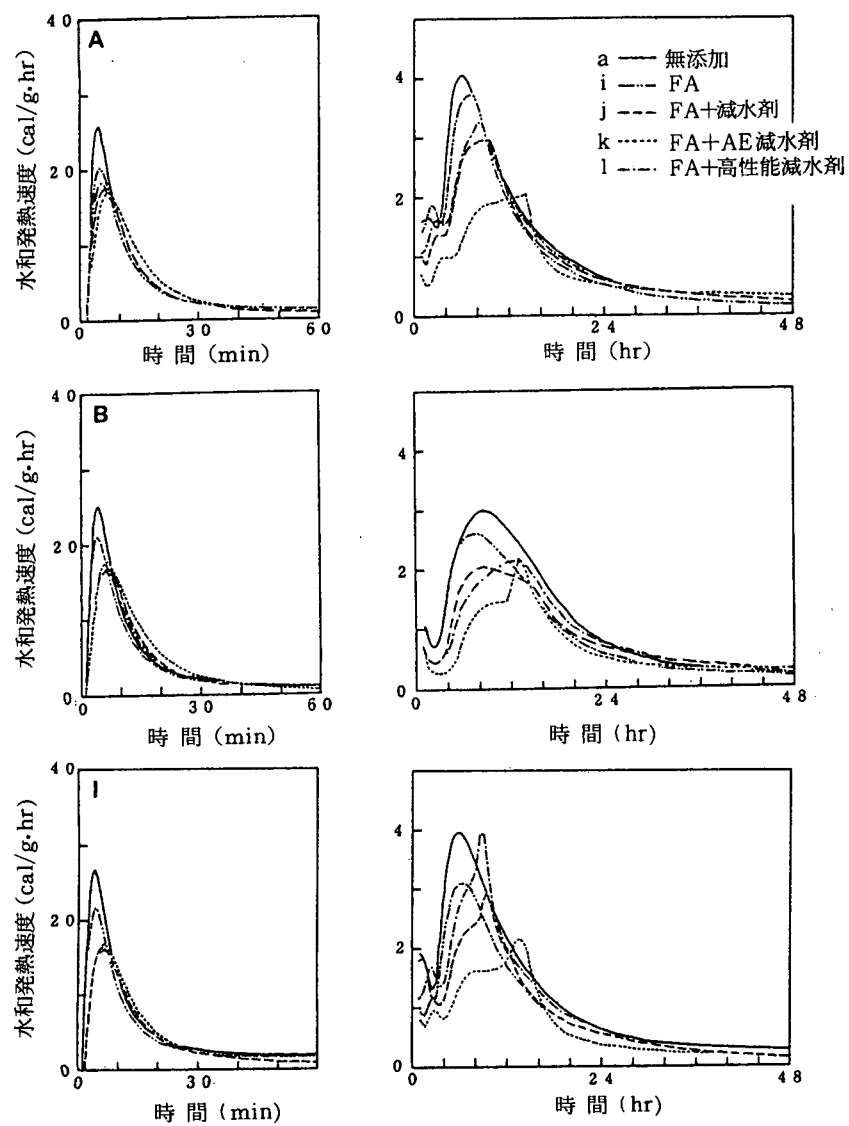
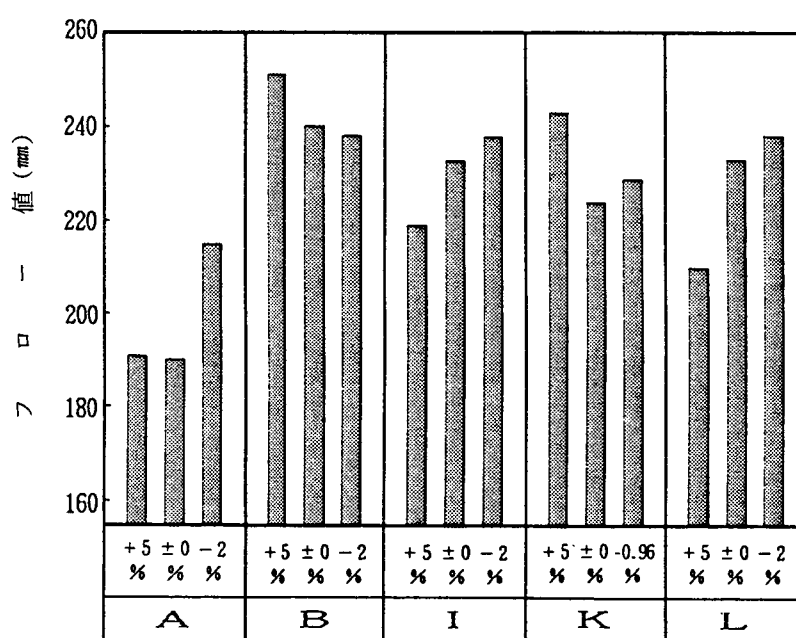


図- 1.6(3) フライアッシュ添加のシリーズ

水比の種類による調整した。このようにして作ったモルタルについて、フロー試験（JIS R 5201）、凝結硬化速度試験（ASTM C 403）および強度試験（JIS R 5201）を実施した。

表－ 1.16 含水比を変えた骨材で作ったフレッシュモルタルの性質

骨材	砂の含水率の種類	砂の物理的性質		フ ロ ー 試 験		練上がり温度 (°C)	凝結硬化速度試験	
		比 重	吸水率 (%)	試 験 値	平 均		始 発 (h-min)	終 結 (h-min)
A	+ 5 %	2.60	3.49	189×192	191	23.0	3-45	6-30
	± 0 %			189×190	190	24.5	4-10	7-00
	- 2 %			215×216	215	22.0	4-00	7-00
B	+ 5 %	2.72	2.07	250×251	251	22.0	5-10	8-25
	± 0 %			225×235	240	22.5	5-15	8-50
	- 2 %			238×237	238	24.0	5-20	8-15
I	+ 5 %	2.72	3.29	218×219	219	23.0	4-10	7-25
	± 0 %			232×234	233	22.0	4-50	8-15
	- 2 %			239×236	238	23.0	4-35	7-55
K	+ 5 %	2.65	0.96	240×245	243	22.0	4-35	7-20
	± 0 %			221×226	224	22.0	5-00	7-40
	- 2 %			225×232	229	27.0	5-00	7-35
L	+ 5 %	2.77	2.86	228×231	230	26.0	4-55	7-25
	± 0 %			232×234	233	25.0	5-20	8-30
	- 2 %			236×239	238	23.0	5-15	8-25



図－ 1.7 含水比を変えた骨材で作ったモルタルのフロー値

2) 試験結果

(1) フロー試験

表-1.16および図-1.7に試験結果を示すが、いずれの骨材においても含水率の違いによるフロー値の変化の傾向は特に認められなかった。

(2) 凝結硬化速度試験

表-1.16および図-1.8, 1.9に試験結果を示す。図-1.9のように、いずれのモルタルにおいても、含水率+5%の砂を使用した場合に比べ、表乾状態の含水率の砂あるいは含水率-2%の砂を使用した場合の方がモルタルの始発時間および終結時間は遅くなるという結果となった。

(3) 強度試験

表-1.17および図-1.10, 1.11に各モルタルの強度試験結果を示す。いずれのモルタルにおいても曲げ強度および圧縮強度は、砂の含水率の違いによる変化は特に認められなかった。

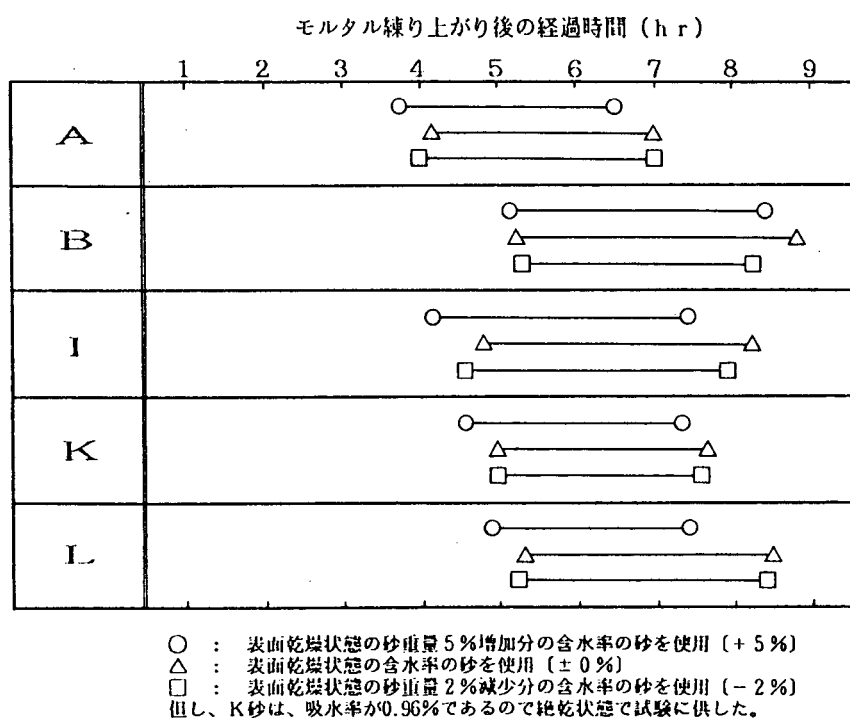


図-1.8 含水比を変えた骨材で作ったモルタルの始発と終結

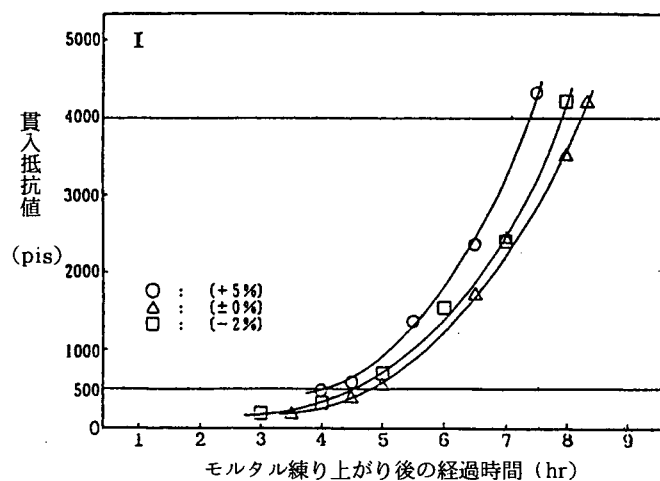
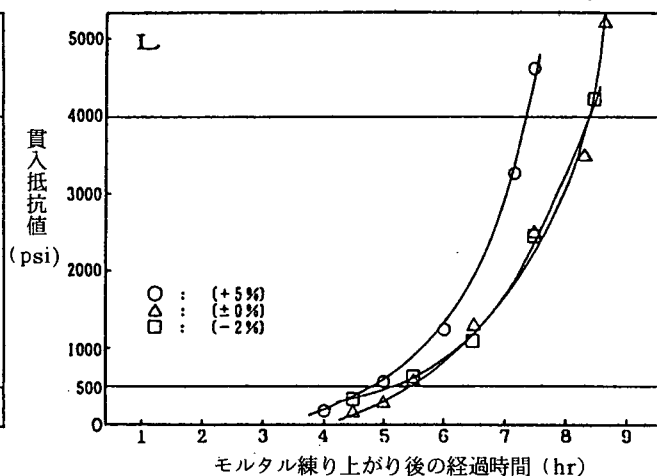
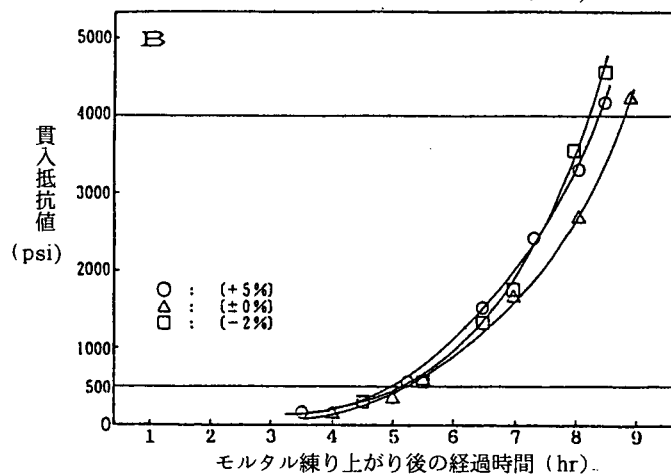
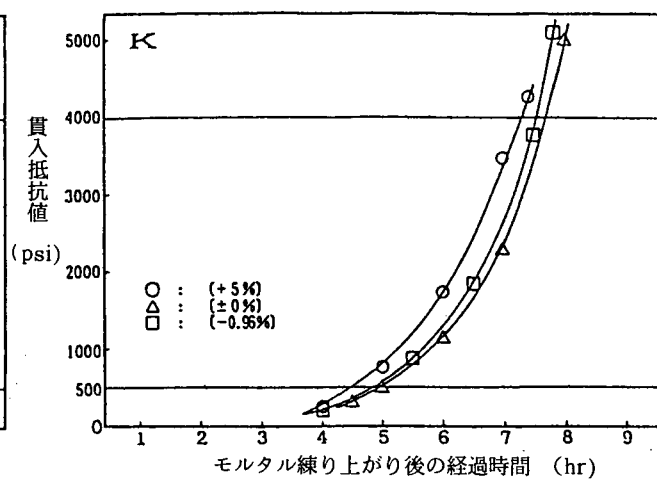
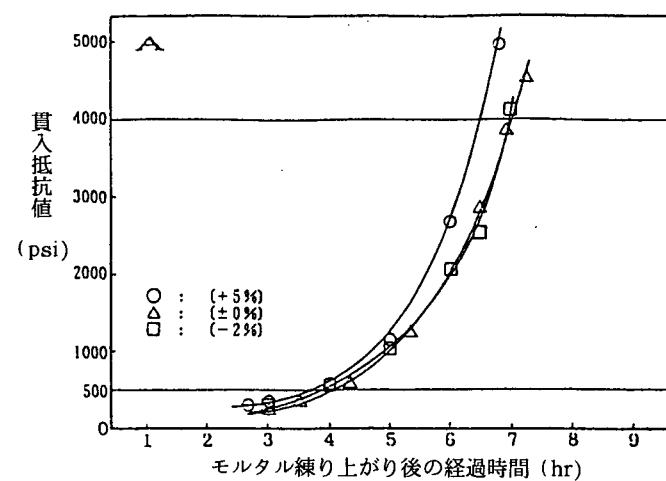


図-1.9 含水比を変えた骨材で作ったモルタルの貫入抵抗値の経時変化

表- 1.17 含水比を変えた骨材で作ったモルタルの強度試験の結果

		材 令 7 日				材 令 28 日				材 令 91 日			
		曲げ強度		圧縮強度		曲げ強度		圧縮強度		曲げ強度		圧縮強度	
		強度 kgf/cm ²	平均 kgf/cm ²	強度 kgf/cm ²	平均 kgf/cm ²	強度 kgf/cm ²	平均 kgf/cm ²	強度 kgf/cm ²	平均 kgf/cm ²	強度 kgf/cm ²	平均 kgf/cm ²	強度 kgf/cm ²	平均 kgf/cm ²
A	+ 5 %	76.3	69.2	202	274	76.5	77.1	429	434	90.3	80.5	495	434
		64.6		269		77.9		448		76.3		471	
		66.7		310		77.0		441		74.9		491	
	± 0 %	57.1	59.9	299	278	87.3	79.6	461	372	81.0	80.7	501	514
		62.7		246		72.8		451		76.3		503	
		59.9		302		78.6		426		84.9		475	
	- 2 %	68.3	61.4	295	279	84.7	81.6	405	400	70.2	82.1	496	479
		58.0		289		79.6		384		88.2		473	
		58.0		273		80.7		421		88.0		486	
B	+ 5 %	58.0	57.7	304	301	80.7	85.9	472	450	81.4	84.4	570	563
		60.4		320		83.5		490		93.1		590	
		54.8		321		93.6		483		78.6		566	
	± 0 %	52.9	56.4	309	284	73.9	89.7	468	498	86.6	87.4	569	518
		55.5		276		77.2		428		84.7		519	
		60.8		311		91.0		496		90.8		498	
	- 2 %	59.2	61.0	301	308	82.4	82.9	430	449	92.7	90.4	521	534
		60.1		310		83.1		471		90.8		548	
		63.6		314		83.3		371		87.8		581	
I	+ 5 %	65.5	64.3	290	298	80.0	81.6	386	419	90.8	96.6	506	524
		63.4		314		82.8		478		97.8		551	
		63.9		321		81.9		436		101.1		578	
	± 0 %	51.9	54.8	275	296	91.3	88.0	396	486	80.5	85.8	501	489
		56.9		274		88.5		450		93.6		516	
		55.5		272		84.2		436		83.3		528	
	- 2 %	66.9	62.6	285	298	88.5	81.3	430	419	91.3	93.4	563	614
		62.7		278		77.7		380		91.7		563	
		58.3		286		77.7		431		97.3		544	
K	+ 5 %	79.1	79.7	379	367	96.4	90.8	529	456	103.7	98.7	595	636
		83.1		385		88.7		513		101.3		598	
		77.0		375		87.3		488		91.0		494	
	± 0 %	72.4	72.4	349	294	86.3	86.3	503	451	86.8	93.8	446	446
		80.7		370		89.4		508		103.0		555	
		73.0		359		83.3		506		91.7		581	
	-0.96%	79.1	78.7	391	386	91.3	96.3	509	535	95.9	100.4	582	626
		78.4		427		95.0		530		99.5		505	
		78.6		394		99.5		607		105.8		705	
L	+ 5 %	66.9	63.6	358	339	88.5	88.6	493	496	105.3	97.8	584	633
		62.5		289		84.2		514		88.9		584	
		61.5		277		93.1		500		99.2		594	
	± 0 %	63.4	65.6	253	231	83.5	84.7	483	486	99.0	92.2	576	601
		66.9		289		87.5		499		93.4		570	
		66.5		204		83.1		499		84.2		603	
	- 2 %	66.5	63.8	330	338	78.2	78.5	470	420	82.6	81.1	536	553
		57.6		302		79.6		446		79.6		554	
		67.4		330		77.7		430		81.0		564	

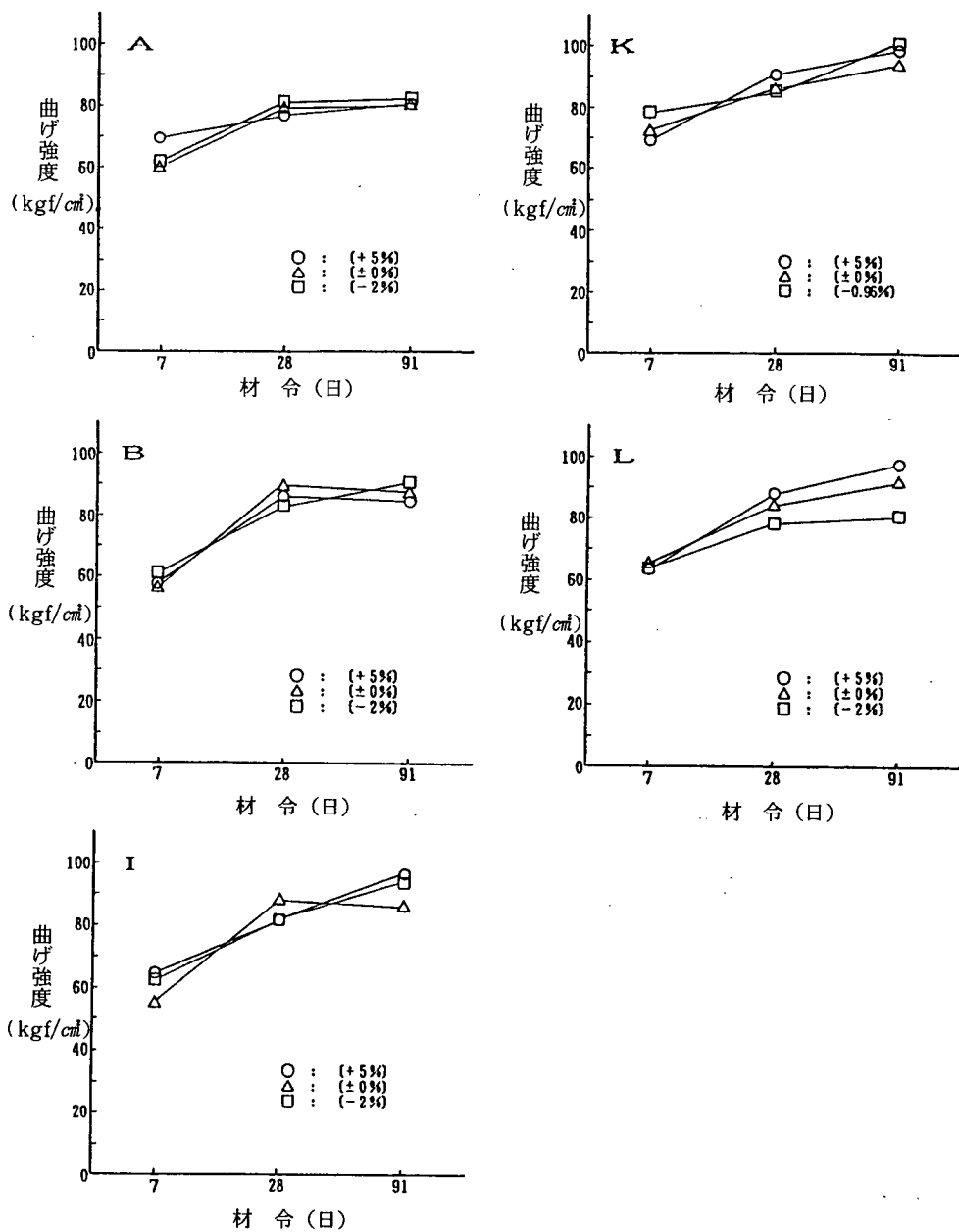


図- 1.10 含水比を変えた骨材で作ったモルタルの曲げ強度

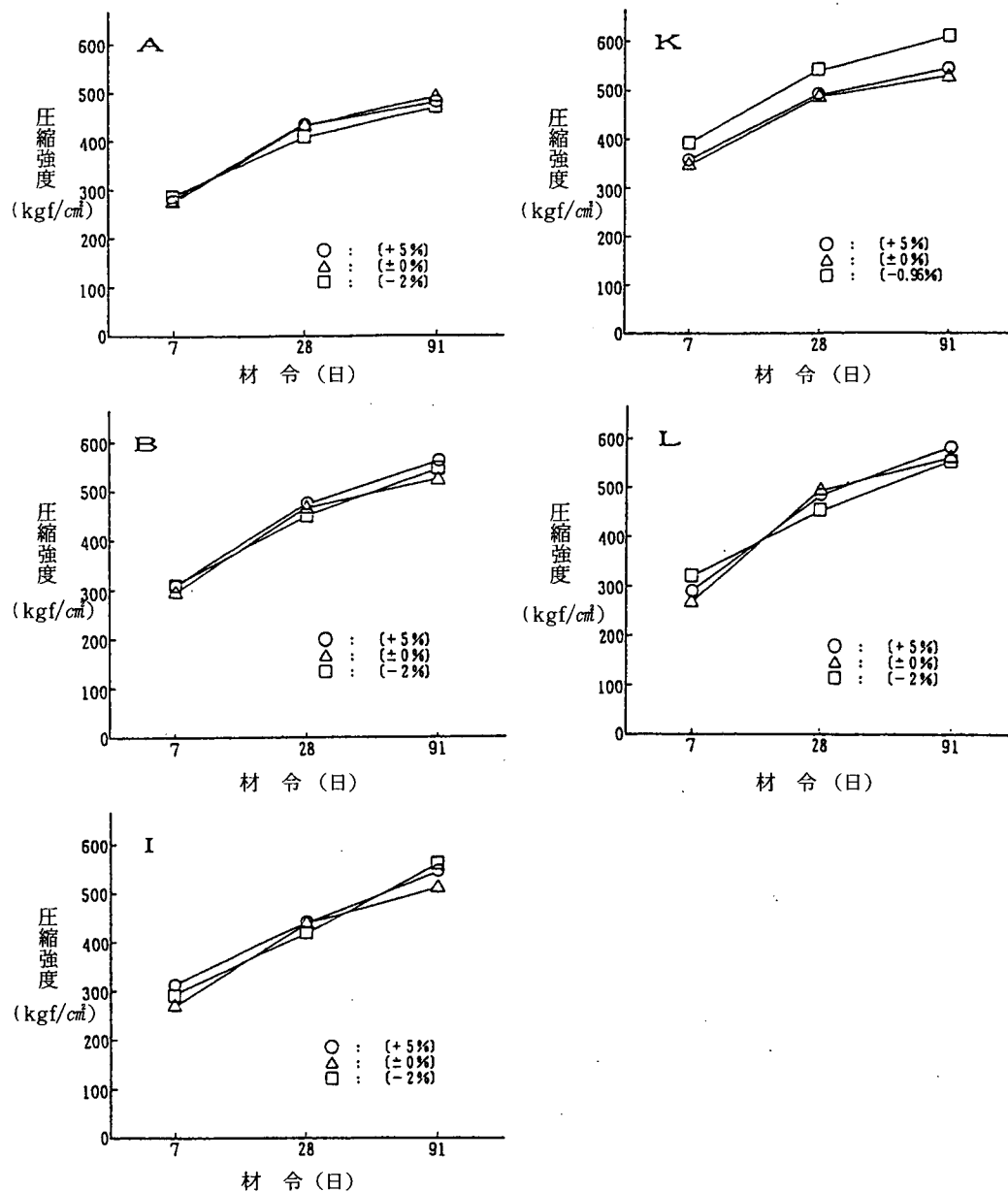


図-1.11 含水比を変えた骨材で作ったモルタルの圧縮強度

5. 骨材のイオン交換の影響

1) 骨材のイオン交換処理についての予備実験

骨材のイオン交換処理を行うに当たって、処理方法の予備実験を行った。実験方法は次の通りである。

- (i) 500 ml ビーカーに供試試料(細骨材)を100 g 入れ、Ca の交換用に1 N塩化カルシウム溶液、Na の交換用に1 N塩化ナトリウム溶液、K の交換用に1 N塩化カリウム溶液を500 ml 加えた。
- (ii) これを真空容器に入れ、24時間真空にして放置した。
- (iii) デカンテーションし、脱イオン水で試料を水洗した。
- (iv) さらに脱イオン水を500 ml 加え、もう一度真空容器に入れて24時間真空にして放置した。
- (v) 脱イオン水を捨て、乾燥した後、交換性陽イオンを測定した。

以上の処理後の交換性陽イオンを測定した結果を表-1.18に示す。表に示された通り、モンモリロナ

表－ 1.18 イオン交換の予備試験を行った骨材の交換性陽イオンの濃度

骨 材	イ オ ン	処 理 前	KCl	CaCl ₂	NaCl
A	Na	0.24	0.10	0.06	10.50
	K	0.08	10.30	0.05	0.07
	Ca	12.10	3.72	14.40	4.73
	Mg	3.09	0.64	0.58	0.86
	Total	15.51	14.76	15.09	16.16
B	Na	0.13	0.05	0.05	8.67
	K	0.09	8.82	0.07	0.11
	Ca	12.30	5.79	13.80	7.56
	Mg	2.37	0.43	0.46	0.66
	Total	14.89	15.09	14.38	17.00
I	Na	3.12	0.54	0.20	12.4
	K	0.13	13.0	0.10	0.11
	Ca	15.50	3.24	18.40	7.21
	Mg	0.88	0.56	0.55	0.69
	Total	19.63	17.34	19.25	20.41

イトを含有するA, B, I骨材は処理前は交換性カルシウムが主要交換性陽イオンであったものが、KCl, NaCl でイオン交換することによって主要交換性陽イオンがそれぞれカリウム, ナトリウムに変化し、CaCl₂での処理ではさらに交換性カルシウムの量が増加していることが明らかである。

したがって骨材のイオン交換処理は上記の方法で簡単に実施できることが明らかとなった。

2) 骨材のイオン交換

所定の粒度分布に調整した各骨材を10kg計量し、1 NのNaCl, KCl, CaCl₂ 溶液約15 l中に浸漬し、24時間真空にして放置した後、デカンテーションし、0.1 Nの硝酸銀溶液を滴下しても白濁しなくなるまでイオン交換水にて洗浄した。

3) 試験結果および考察

上記2)の方法でイオン交換を行った骨材で作ったモルタルについてフロー試験（JIS R 5201）および凝結硬化速度試験（ASTM C 403）を行った。表－ 1.19に結果を示す。

図－ 1.12は各骨材別に始発時間と終結時間を示したものである。標準骨材のKとLとでは、どのイオンで交換しても凝結時間は無処理のものとほとんど変わらない。他方、粘土鉱物含有骨材（A, B, I）ではNa⁺, Ca²⁺ でイオン交換を行った試料の凝結時間は無処理のものより早くなっている。K⁺で交換を行ったものの凝結時間は無処理のものと変わりがなく、交換をするイオンの種類によって凝結時間に影響を与えるものと与えないものがあることが分かる。

表- 1.19 イオン交換を行った骨材で作ったフレッシュモルタルの性質

処理溶液	骨材	フ ロ ー		単 重 (kg/l)	温 度 (°C)	凝 結	
		実 測	平均			始 発	終 結
KCl	A	201×199	200	2.076	22.0	4°45'	6°50'
	B	224×224	224	2,156	21.5	5°25'	7°35'
	I	222×219	221	2,190	22.0	4°50'	7°20'
	L	224×224	224	2,244	21.0	4°55'	7°05'
	K	224×223	224	2,161	21.5	5°10'	7°20'
CaCl ₂	A	196×193	195	2,108	21.5	3°35'	5°55'
	B	222×220	221	2,185	22.0	4°35'	6°45'
	I	214×214	214	2,184	22.0	3°50'	5°45'
	L	220×220	220	2,247	21.5	4°50'	6°35'
	K	218×217	218	2,167	21.5	4°50'	6°50'
NaCl	A	195×194	195	2,091	22.0	3°55'	5°25'
	B	222×220	221	2,171	22.0	4°20'	6°20'
	I	220×217	219	2,184	21.5	3°35'	5°50'
	L	224×223	224	2,229	21.5	4°35'	6°25'
	K	224×220	222	2,182	21.5	4°45'	6°50'

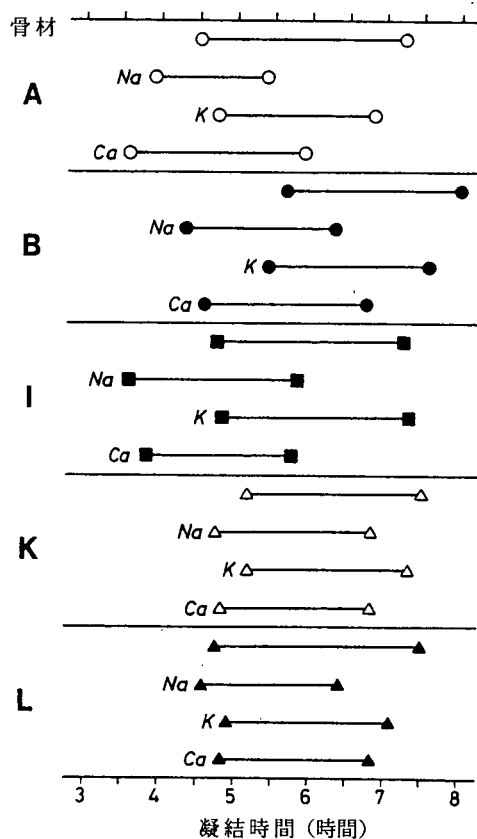


図- 1.12 イオン交換を行った骨材で作ったモルタルの凝結時間

6. 若材令期の細孔溶液の組成

1) 試験方法

モルタルの練混ぜ後、水和発熱曲線のピークより決定した時間毎に細孔溶液を絞り出した。絞り出しには、練り混ぜ後1時間までは窒素ガスによる加圧ろ過法により、それ以上の時間の場合には、ステンレス製細孔溶液抽出器により採取した。なお、使用した骨材は、I、K、Lおよび豊浦標準砂である。

2) 試験結果と考察

分析結果の一覧を表-1.20に、また、これをプロットしたものを図-1.13に示す。K、L骨材および標準砂はほとんど同じ傾向を示すが、I骨材では200分付近で Na^+ および Ca^{2+} の放出がみられる。

表-1.20 若材令期のモルタルの細孔溶液の組成

(1) I 骨材

分	0		3		20		120	180	360	498
	早	遅	早	遅	早	遅				
pH	12.5	12.5	12.5	12.5	12.4	12.4	12.4	12.4	12.6	12.6
Na ⁺	80.0	80.5	78.3	78.7	75.7	75.7	56.1	75.7	51.8	56.1
K ⁺	26.3	23.9	20.2	20.1	14.7	13.2	15.6	23.0	4.4	6.9
Ca ²⁺	40.4	41.5	39.7	40.4	42.6	42.3	102.3	183.1	71.9	61.9
Mg ²⁺	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO ₄ ²⁻	88.1	88.1	80.6	79.5	75.4	71.0	35.4	38.3	44.6	46.6
OH ⁻	31.6	31.6	31.6	31.6	25.1	25.1	25.1	25.1	39.8	39.8

(2) K 骨材

分	0	3	20	96	132	360	633
pH	12.7	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	13.0
Na ⁺	74.8	79.2	79.2	87.4	87.9	94.4	99.6
K ⁺	173.4	182.9	178.0	172.9	174.4	183.1	179.8
Ca ²⁺	29.8	36.2	44.7	49.2	52.9	39.6	23.3
Mg ²⁺	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO ₄ ²⁻	175.9	173.9	163.4	147.4	142.2	157.0	124.1
OH ⁻	50.1	63.1	63.1	63.1	63.1	63.1	100.0

(3) L 骨材

分	0		3	20		90		172	360	570
	早	遅	遅	早	遅	早	遅			
pH	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.6	12.8	12.5	12.8	12.9
Na ⁺	83.9	83.5	86.1	83.1	83.5	83.5	81.8	84.8	85.7	90.9
K ⁺	138.6	133.8	135.8	124.0	121.5	119.2	111.8	117.1	108.2	105.1
Ca ²⁺	38.2	37.5	41.0	43.6	42.0	70.4	51.9	75.7	43.2	29.0
Mg ²⁺	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO ₄ ²⁻	157.8	144.7	142.6	132.8	132.8	92.4	105.6	92.7	108.9	82.7
OH ⁻	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	39.8	63.1	31.6	63.1	79.4

(4) 標準砂

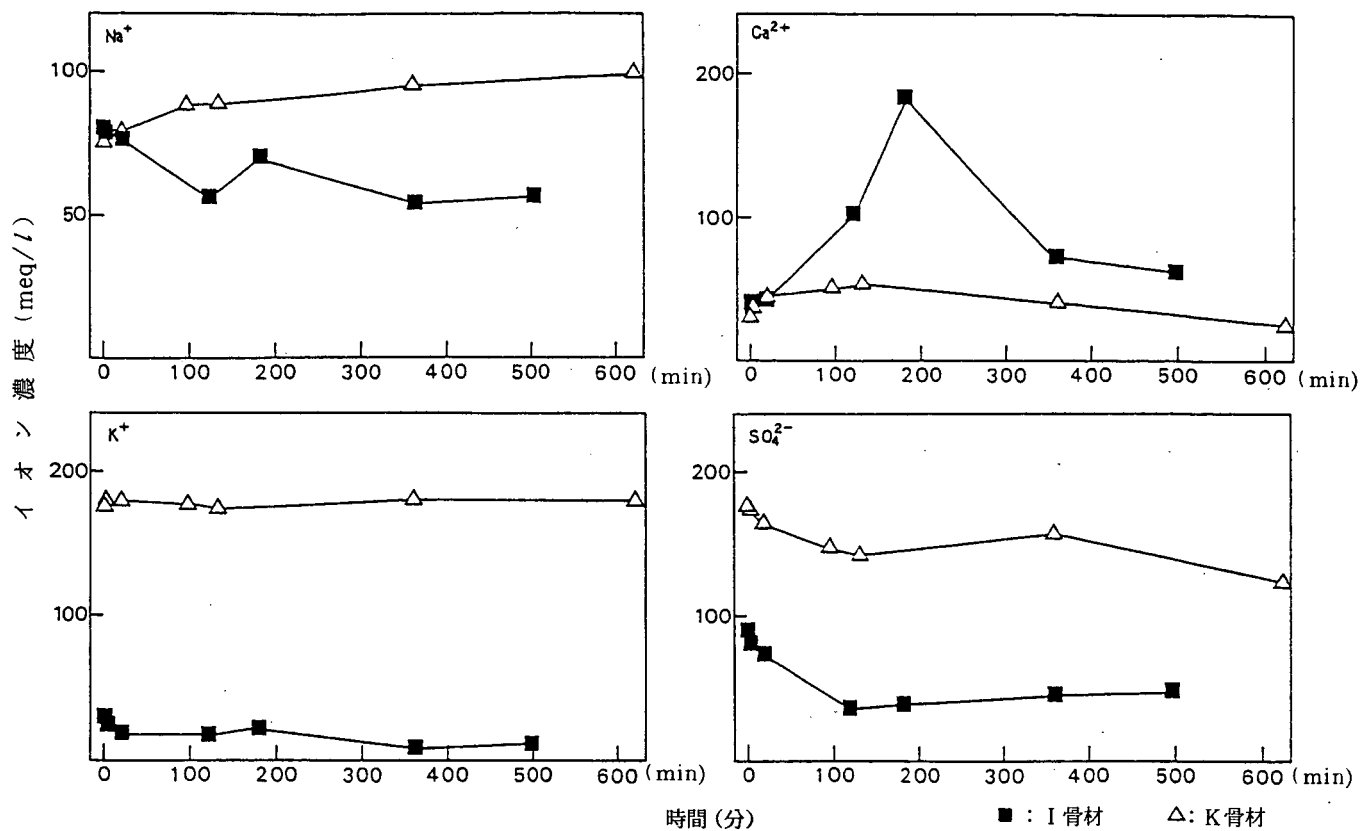
分	0	3	20	93	147	360	636
pH	12.7	12.8	12.8	12.8	12.7	12.9	13.1
Na ⁺	90.5	86.1	92.6	91.8	90.9	96.6	105.7
K ⁺	183.6	172.6	179.0	182.6	178.5	181.1	187.2
Ca ²⁺	41.9	40.0	43.0	52.4	64.4	38.2	15.2
Mg ²⁺	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO ₄ ²⁻	178.2	169.7	167.6	145.3	128.5	164.5	88.1
OH ⁻	50.1	63.1	63.1	63.1	50.1	79.4	125.9

1) 時間の単位は分。

2) イオン濃度の単位は meq/l。

3) L 骨材の「早」は絞り出し開始直後の採取を、「遅」は絞り出し終了直前の採取を表わす。

1) I 骨材・K 骨材



2) L 骨材・K 骨材

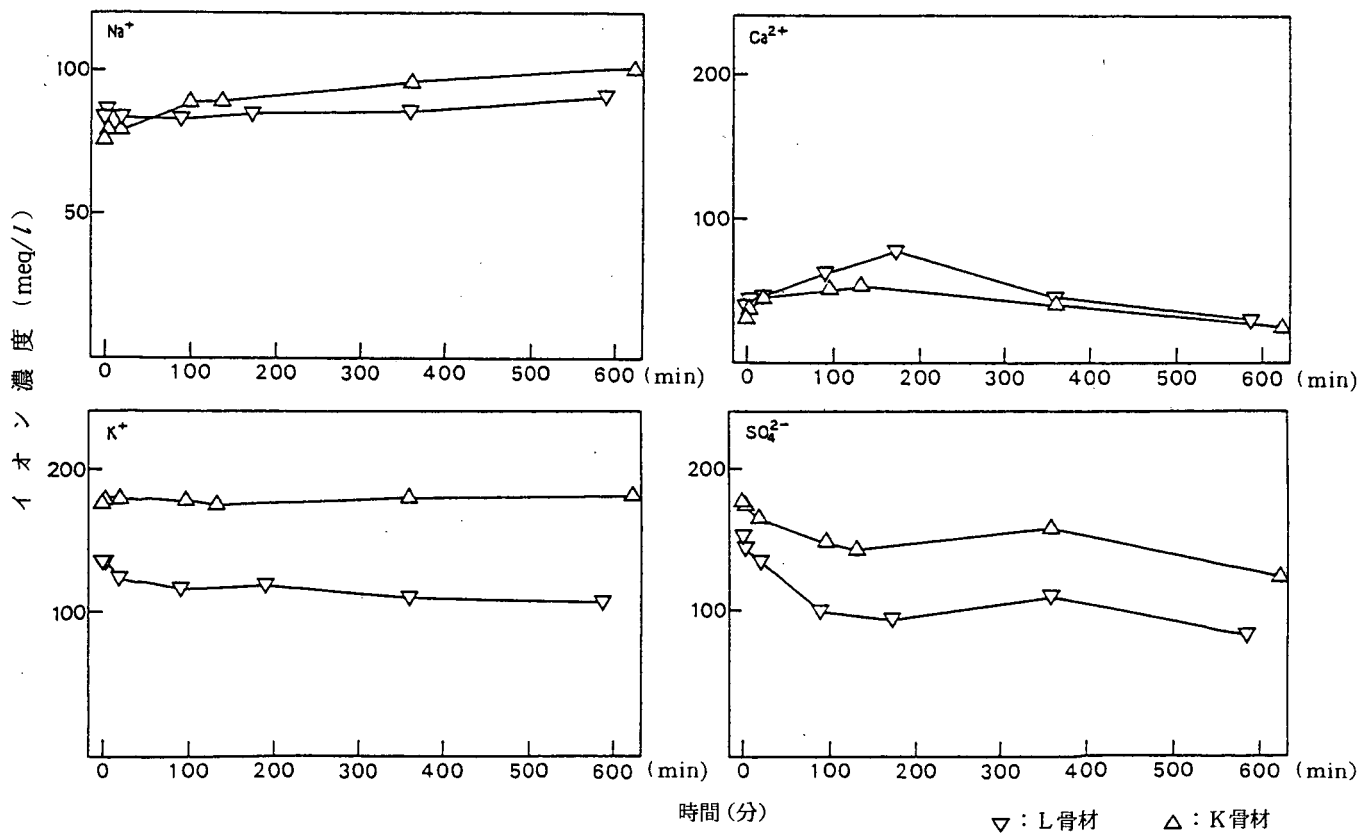


図- 1.13 若材令期のモルタルの 細孔溶液の組成の経時変化

3) K骨材・標準砂

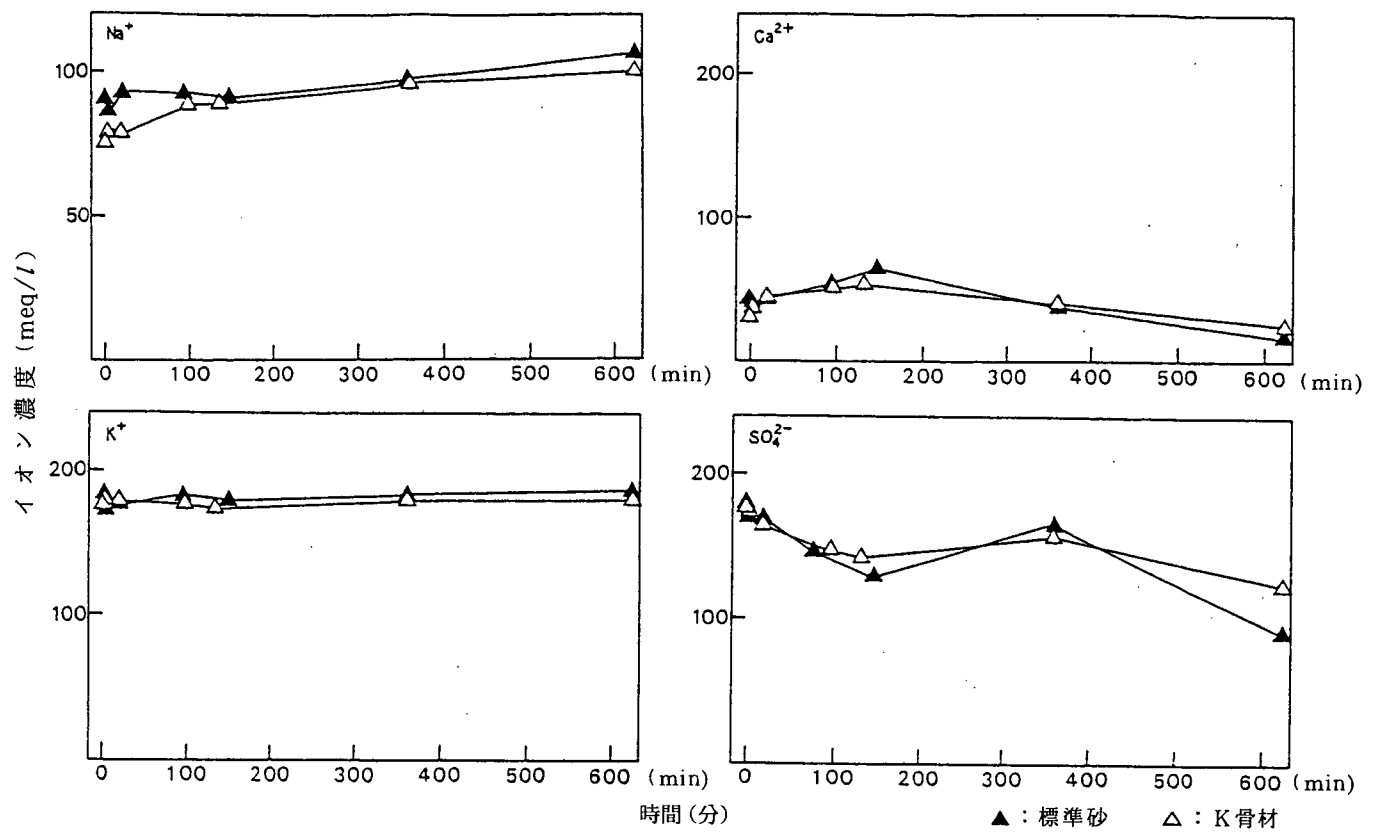


図- 1.13 つづき

第2編 63年度の試験結果



第 1 章 骨材の試験

1. 使用骨材

表－1.2，図－1.3のように62年度に使用したモンモリロナイト含有骨材の始発および終結の時間は，非含有のK骨材とほとんど差がなかった。これは，骨材の不均質さのために，モンモリロナイト含有量に変動があり，62年度に使用した骨材のモンモリロナイト含有量が低かったためであると考えられる。

そこで，63年度には所持している骨材の鉱物化学的性質の見直しを行い，実験用骨材を再選定すること

表－2.1 C. E. C. および交換性陽イオンの測定結果一覧

試料記号	C. E. C. (meq/100 g)	交換性陽イオン (meq/100 g)				
		Na	K	Ca	Mg	Total
A-1	32.7	9.2	0.3	20.4	8.2	38.1
A-2	28.8	7.3	0.4	23.1	11.1	41.9
A-3	27.1	7.2	0.4	23.0	9.9	40.5
A-4	16.6	3.5	0.3	25.2	8.4	37.4
A-5	19.5	3.4	0.3	24.6	6.8	35.1
A-6	16.5	3.2	0.3	17.4	5.1	26.0
A-7	12.7	1.4	0.5	13.2	8.8	23.9
A-8	15.1	0.8	0.3	14.1	7.1	22.3
A-9	17.5	1.4	0.3	19.9	6.3	27.9
A-10	12.3	1.0	0.3	9.0	7.5	17.8
A-11	18.6	1.4	0.4	21.6	12.6	36.0
A-2 (63)	18.9	8.7	0.30	14.0	6.5	29.5
A-3 (63)	19.9	8.5	0.25	13.8	4.2	26.7
A-3 (63)	19.1	6.7	0.28	15.1	7.1	29.2
B	40.3	0.6	0.2	45.9	13.5	60.2
B-1	15.6	0.5	0.2	54.5	6.2	61.4
B-2	19.9	0.3	0.2	18.4	8.0	26.9
B-3	23.7	0.3	0.2	19.3	8.2	28.0
C	33.2	1.0	0.2	58.9	6.4	66.5
I-1	15.9	2.7	0.2	15.0	4.0	21.8
I-2	18.5	3.2	0.3	17.3	5.6	26.3
K-1	8.4	0.5	0.9	66.4	1.5	69.4
K-2	8.7	0.6	1.1	64.0	1.6	67.3
L	4.6	0.7	0.4	2.9	2.1	6.1

にした。表-2.1に骨材の C. E. C. および交換性陽イオンの測定結果の一覧を示す。表に示した鉱物化学的性質および骨材の残存量から実験用の骨材として、A-8, A-10, A-2 (63), B-1, B-2, B-3, C, Lを選定した。

2. 骨材中のモンモリロナイト含有量の変動

1) 試験方法

既述のように61, 62年度の試験結果を比較すると、骨材中のモンモリロナイト含有量に変動があることが推定される。そこで、前項で選定した8骨材をモルタル試験用に粒度調整した後に、各粒度から2試料ずつサンプリングをし、各粒度内での含有量および粒度別の含有量の変動をみた。含有量の確認は C. E. C. 試験およびX線回折試験で行った。試験に供した試料の粒度は表-2.2の通りである。なお、各粒度を混合した試料については、交換性陽イオン濃度の測定も行った。

表-2.2 試料の粒度

粒 度	質量百分率 (%)
1) 4.75 ~ 2.36 mm	9.5
2) 2.36 ~ 1.18 mm	23.0
3) 1.18 ~ 0.60 mm	23.0
4) 0.60 ~ 0.30 mm	23.0
5) 0.30 ~ 0.15 mm	14.0
6) 0.15mm以下	7.5
7) 0.105 ~ 0.088 mm	—
8) 混 合*	—

*「混合」は1)~6)の粒度のものを表に示した質量百分率で混合したものである。

2) 試験結果および考察

C. E. C およびX線回折による含有量の測定結果を表-2.3に示す。各粒度の C. E. C を比較すると、ばらつきは大きいものの、粒径が小さくなるに従い C. E. C が増加する傾向にある。特に0.15mm以下の微粒分の含有量が高いことがわかる。X線回折による含有量の粒度依存は C. E. C のように一環性がなくばらついている。いずれにしても、同一粒度から採取した2試料を比べると、C. E. C, X線回折による含有量ともにあまり差異はなく、比較的均質な骨材が調整されているものと考えられる。図-2.1は C. E. C とX線回折による含有量の関係を示したものである。ばらつきはあるが両者は比較的良い相関を示している。

表-2.4は混合試料の交換性陽イオン濃度を示したものである。交換性陽イオンについては、同じA骨材でも若干の相違が認められた。例えば61年度採取のA-2 (63)は Na^+ の量が多い(7 meq/100 g)のに対し、63年度採取のA-8, A-10では1 meq/100 g以下と小さくなっている。これは同じ

表-2.3 C. E. C. およびモンモリロナイト含有量の粒径による変動

試料	粒径 (mm)	C. E. C. (meq/100g)	モンモリロナイト 含有量 (%)	試料	粒径 (mm)	C. E. C. (meq/100g)	モンモリロナイト 含有量 (%)
A-2(63)-①	4.75-2.36	20.4	9.49	A-2(63)-②	4.75-2.36	20.4	9.05
A-2(63)-①	2.36-1.18	19.9	8.99	A-2(63)-②	2.36-1.18	20.4	9.70
A-2(63)-①	1.18-0.60	22.7	9.35	A-2(63)-②	1.18-0.60	21.3	9.35
A-2(63)-①	0.60-0.30	25.5	10.57	A-2(63)-②	0.60-0.30	26.6	11.51
A-2(63)-①	0.30-0.15	25.1	10.56	A-2(63)-②	0.30-0.15	26.6	11.79
A-2(63)-①	<0.15	31.6	12.40	A-2(63)-②	<0.15	33.1	13.64
A-2(63)-①	0.105-0.088	14.7	11.68	A-2(63)-②	0.105-0.088	37.7	13.59
A-2(63)-①	混合	22.8	10.87	A-2(63)-②	混合	23.8	10.72
A-8-①	4.75-2.36	21.7	8.40	A-8-②	4.75-2.36	16.1	8.03
A-8-①	2.36-1.18	15.8	8.15	A-8-②	2.36-1.18	16.2	8.28
A-8-①	1.18-0.60	15.4	7.42	A-8-②	1.18-0.60	15.1	8.23
A-8-①	0.60-0.30	17.5	8.06	A-8-②	0.60-0.30	17.8	9.13
A-8-①	0.30-0.15	17.9	8.58	A-8-②	0.30-0.15	18.2	9.79
A-8-①	<0.15	19.9	10.10	A-8-②	<0.15	22.2	10.06
A-8-①	0.105-0.088	23.7	7.93	A-8-②	0.105-0.088	21.5	9.95
A-8-①	混合	13.9	6.72	A-8-②	混合	16.5	6.95
A-10-①	4.75-2.36	18.6	8.57	A-10-②	4.75-2.36	19.3	8.44
A-10-①	2.36-1.18	18.6	8.19	A-10-②	2.36-1.18	18.2	7.05
A-10-①	1.18-0.60	19.6	8.05	A-10-②	1.18-0.60	19.7	7.62
A-10-①	0.60-0.30	24.0	9.08	A-10-②	0.60-0.30	13.9	5.21
A-10-①	0.30-0.15	24.9	9.59	A-10-②	0.30-0.15	24.7	9.38
A-10-①	<0.15	34.4	12.74	A-10-②	<0.15	34.4	11.95
A-10-①	0.105-0.088	37.7	10.82	A-10-②	0.105-0.088	35.0	11.31
A-10-①	混合	21.8	9.20	A-10-②	混合	19.6	8.42
B-1-①	4.75-2.36	21.8	10.13	B-1-②	4.75-2.36	24.4	10.35
B-1-①	2.36-1.18	22.8	10.59	B-1-②	2.36-1.18	23.4	9.39
B-1-①	1.18-0.60	24.9	9.63	B-1-②	1.18-0.60	23.5	9.50
B-1-①	0.60-0.30	25.1	9.69	B-1-②	0.60-0.30	24.6	9.85
B-1-①	0.30-0.15	23.0	9.88	B-1-②	0.30-0.15	24.1	10.00
B-1-①	<0.15	27.6	10.38	B-1-②	<0.15	28.4	10.21
B-1-①	0.105-0.088	40.2	10.77	B-1-②	0.105-0.088	34.7	11.12
B-1-①	混合	25.0	10.47	B-1-②	混合	23.7	9.02

* ①, ②はそれぞれの骨材で同一粒度から採取した2つの試料を表す。

表-2.3 (続き)

試料	粒 径 (mm)	C. E. C. (meq/100g)	モンモリロナイト 含 有 量 (%)	試料	粒 径 (mm)	C. E. C. (meq/100g)	モンモリロナイト 含 有 量 (%)
B-2-①	4.75-2.36	31.5	13.53	B-2-②	4.75-2.36	32.4	13.02
B-2-①	2.36-1.18	28.8	13.11	B-2-②	2.36-1.18	30.8	12.88
B-2-①	1.18-0.60	30.8	12.78	B-2-②	1.18-0.60	30.4	12.79
B-2-①	0.60-0.30	30.1	12.83	B-2-②	0.60-0.30	29.9	11.87
B-2-①	0.30-0.15	32.3	14.38	B-2-②	0.30-0.15	29.8	13.07
B-2-①	<0.15	39.1	14.77	B-2-②	<0.15	36.7	15.32
B-2-①	0.105-0.088	44.7	14.38	B-2-②	0.105-0.088	41.0	14.90
B-2-①	混 合	31.8	13.72	B-2-②	混 合	30.2	13.19
B-3-①	4.75-2.36	21.1	11.60	B-3-②	4.75-2.36	22.7	11.72
B-3-①	2.36-1.18	21.5	11.96	B-3-②	2.36-1.18	22.7	12.77
B-3-①	1.18-0.60	21.2	11.51	B-3-②	1.18-0.60	22.3	11.49
B-3-①	0.60-0.30	21.3	10.66	B-3-②	0.60-0.30	21.9	11.59
B-3-①	0.30-0.15	21.4	10.72	B-3-②	0.30-0.15	21.8	10.86
B-3-①	<0.15	28.8	12.75	B-3-②	<0.15	28.1	13.12
B-3-①	0.105-0.088	30.7	11.51	B-3-②	0.105-0.088	28.4	12.57
B-3-①	混 合	21.9	11.85	B-3-②	混 合	22.0	11.91
C-①	4.75-2.36	21.3	15.15	C-②	4.75-2.36	24.8	14.85
C-①	2.36-1.18	22.0	13.26	C-②	2.36-1.18	24.9	14.66
C-①	1.18-0.60	22.5	14.23	C-②	1.18-0.60	24.9	13.73
C-①	0.60-0.30	21.1	13.70	C-②	0.60-0.30	23.7	13.10
C-①	0.30-0.15	19.4	12.33	C-②	0.30-0.15	22.4	11.68
C-①	<0.15	26.1	12.43	C-②	<0.15	28.0	14.52
C-①	0.105-0.088	27.0	12.79	C-②	0.105-0.088	30.7	13.15
C-①	混 合	23.9	13.50	C-②	混 合	25.2	12.43
L-①	4.75-2.36	4.06	0	L-②	4.75-2.36	3.84	0
L-①	2.36-1.18	4.45	0	L-②	2.36-1.18	3.91	0
L-①	1.18-0.60	4.61	0	L-②	1.18-0.60	4.22	0
L-①	0.60-0.30	4.44	0	L-②	0.60-0.30	4.22	0
L-①	0.30-0.15	4.01	0	L-②	0.30-0.15	3.96	0
L-①	<0.15	5.49	0	L-②	<0.15	5.58	0
L-①	0.105-0.088	6.73	0	L-②	0.105-0.088	5.99	0
L-①	混 合	3.75	0	L-②	混 合	4.10	0

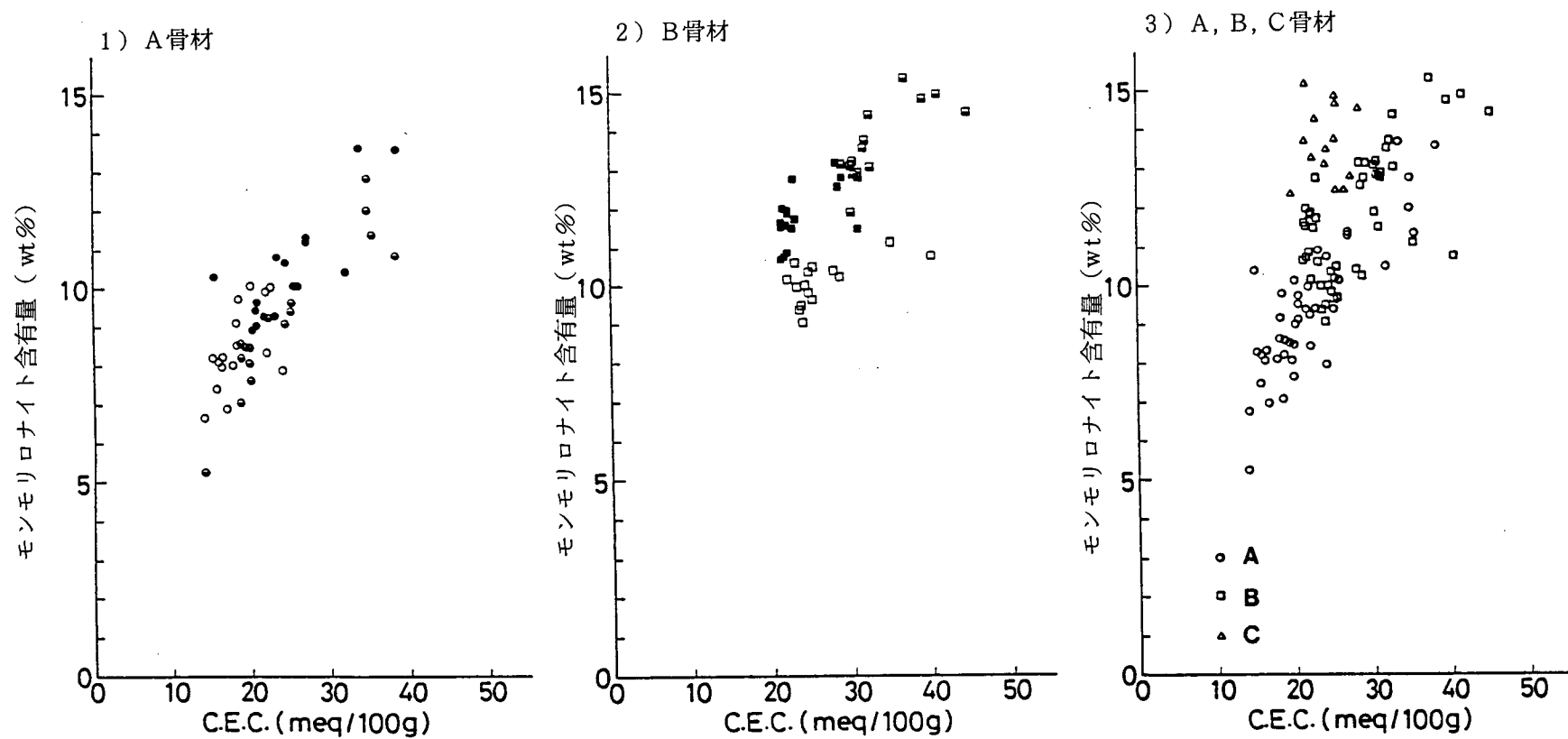


図- 2.1 C. E. C. と X 線回折によるモンモリロナイト含有量との関係

表-2.4 混合試料の交換性陽イオン (Ex.C.) 濃度

試料記号			A-2(63)-①	A-2(63)-②	A-10-①	A-10-②
Ex. C.	Na	(meq/100g)	6.88	7.12	0.86	0.87
	K	(meq/100g)	0.32	0.36	0.34	0.33
	Ca	(meq/100g)	15.6	16.4	18.6	14.8
	Mg	(meq/100g)	2.70	2.77	4.16	3.80
	Total	(meq/100g)	25.5	26.7	23.9	19.8

試料記号			A-8-①	A-8-②	B-1-①	B-1-②
Ex. C.	Na	(meq/100g)	0.84	0.87	0.56	0.60
	K	(meq/100g)	0.34	0.36	0.25	0.25
	Ca	(meq/100g)	16.3	15.8	76.5	69.2
	Mg	(meq/100g)	4.62	4.87	3.39	3.40
	Total	(meq/100g)	22.1	21.9	80.7	73.5

試料記号			B-2-①	B-2-②	B-3-①	B-3-②
Ex. C.	Na	(meq/100g)	0.41	0.39	0.40	0.42
	K	(meq/100g)	0.20	0.20	0.25	0.26
	Ca	(meq/100g)	24.7	23.2	20.3	21.5
	Mg	(meq/100g)	4.24	4.15	4.04	3.97
	Total	(meq/100g)	29.5	28.0	25.0	26.2

試料記号			C-①	C-②	L-①	L-②
Ex. C.	Na	(meq/100g)	0.56	0.53	0.51	0.58
	K	(meq/100g)	0.18	0.17	0.20	0.21
	Ca	(meq/100g)	28.7	28.7	3.14	3.32
	Mg	(meq/100g)	1.14	1.05	1.45	1.62
	Total	(meq/100g)	30.6	30.4	5.30	5.73

* ①, ②はそれぞれの骨材で同一粒度の試料を2つずつサンプリングし, それを混合したものである。

原石山でも採取箇所（または時期）により違いが生じることを示しており、一義的に対象とする原石山の鉱物組成を決定できないといえる。

3. フレッシュコンクリート中での骨材の変化

1) 試験方法

コンクリート中で生じているセメント水・骨材のイオンの出入についてセメントミルクを用いて模擬細孔溶液中でのイオンの挙動や硬化コンクリート中の骨材分析などから検討してきた。ここではより実際の化学的環境に近い条件として、フレッシュモルタルに粗骨材を混ぜ、経時的に採取し分析して検討した。試験方法は以下のとおりである。

水セメント比50%の1:2モルタルを作成し、直径10cm、高さ20cmの円筒系モールドに打設する。これに80mmの粗骨材を一個入れ、0、20分、1、3、6、10時間、1、7日経過毎に粗骨材をモールドより取り出して、水洗いして、岩石カッターで外部（2mm程度）と内部とに切断して、交換性陽イオンと C. E. C について測定した。骨材としてはA骨材の径60~80mmのものを使用した。

2) 試験結果および考察

表-2.5に粗骨材の内部と外部の交換性陽イオン組成と陽イオン交換容量の経時変化について示した。また、表-2.6には全交換性陽イオンに対するそれぞれのイオンの割合について示した。図-2.2にはそれぞれのイオンの割合の内部と外部の差（外部-内部）の経時変化について示した。図から明らかに、交換性ナトリウム、カリウムおよびカルシウムはプラス側に推移している。つまり、骨材外面に取り込まれていることがわかる。一方交換性マグネシウムはマイナス側に推移している。つまり骨材外面から放出されていることがわかる。またこの現象はモルタルと骨材が接触し、ただちに生じている。したがって練り混ぜの初期から含有骨材中の交換性マグネシウムとセメントから放出されるナトリウム、カリウムおよびカルシウムとの交換が生じ、このイオン濃度の変化が凝結に影響を及ぼしていることが予想出来る。

20分経過後から交換性陽イオンのトータルが C. E. C よりも大きくなっているが、これは交換性陽イオン測定時に骨材にしみ込んだ細孔溶液を一緒に分析したものとも考えられる。今後、検討しなければならない問題である。

表-2.5 フレッシュモルタルに浸漬した粗骨材の
交換性陽イオンと CEC の経時変化

試 料 記 号			0 分内	0 分外	20分内	20分外	1 H 内	1 H 外
Ex. C.	Na	(meq/100g)	0.8 5	1.0 4	0.4 7	0.7 4	0.4 5	0.6 2
	K	(meq/100g)	0.3 0	0.3 5	0.2 7	0.4 7	0.2 5	0.4 3
	Ca	(meq/100g)	1 3.0	1 4.5	1 0.5	1 4.1	6.7 0	7.7 3
	Mg	(meq/100g)	7.7 4	8.3 4	7.5 1	7.7 0	6.4 6	6.2 7
	Total	(meq/100g)	2 1.8	2 4.2	1 8.7	2 3.0	1 3.9	1 5.0
C. E. C.			(meq/100g)	2 2.0	2 4.0	1 6.0	1 7.4	1 3.1

試 料 記 号			3 H 内	3 H 外	6 H 内	6 H 外	10H 内	10H 外
Ex. C.	Na	(meq/100g)	1.3 5	1.9 8	0.6 2	2.0 6	0.7 7	1.3 8
	K	(meq/100g)	0.2 5	0.7 1	0.2 7	0.8 2	0.2 2	0.8 2
	Ca	(meq/100g)	7.7 2	1 1.2	1 0.1	1 4.4	1 4.1	1 9.7
	Mg	(meq/100g)	8.3 5	9.2 0	1 2.5	1 1.5	5.4 3	5.8 5
	Total	(meq/100g)	1 7.7	2 3. 1	2 3.5	2 8.8	2 0.5	2 7.7
C. E. C.			(meq/100g)	1 8.2	1 9.5	2 3.0	2 5.5	1 8.9

試 料 記 号			24H 内	24H 外	7 日 内	7 日 外
Ex. C.	Na	(meq/100g)	0.9 8	2.0 3	0.9 1	2.4 1
	K	(meq/100g)	0.2 6	1.1 0	0.3 5	1.6 8
	Ca	(meq/100g)	1 0.9	1 4.5	9.7 5	1 6.4
	Mg	(meq/100g)	8.1 5	6.8 7	7.7 2	6.7 0
	Total	(meq/100g)	2 0.3	2 4.5	1 8.7	2 7.2
C. E. C.			(meq/100g)	2 0.2	2 0.6	1 5.8

表-2.6 交換性陽イオンの全量に対する割合

(%)	0 分 内 部	0 分 外 部	20 分 内 部	20 分 外 部	1 時間 内 部	1 時間 外 部	3 時間 内 部	3 時間 外 部
Na	4	4	3	3	3	4	8	9
K	1	1	1	2	2	3	1	3
Ca	60	60	56	61	48	51	44	48
Mg	35	35	40	33	46	42	47	40

(%)	6 時間 内 部	6 時間 外 部	10 時間 内 部	10 時間 外 部	24 時間 内 部	24 時間 外 部	7 日 内 部	7 日 外 部
Na	3	7	4	5	5	8	5	9
K	1	3	1	3	1	4	2	6
Ca	43	50	69	71	54	59	52	60
Mg	53	40	26	21	40	28	41	25

* 単位は%

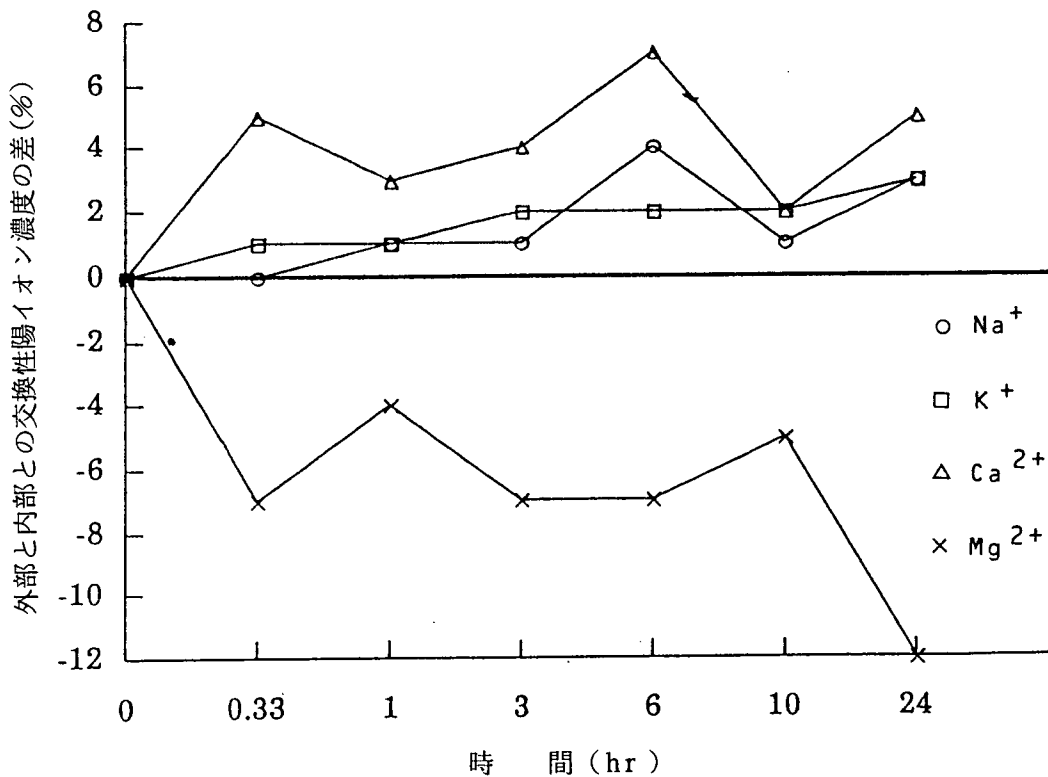


図-2.2 フレッシュモルタルに浸漬した骨材の外部と内部との交換性陽イオン濃度の差の経時変化

第 2 章 モルタルの試験

1. 使用材料および配合

1) 使用材料

モンモリロナイト含有骨材として第 1 章で選定した A-8, A-10, A-2 (63), B-1, B-2, B-3, C を使用し, 非含有骨材として L を使用した。

セメントは N 社製普通ポルトランドセメントを使用した。表-2.7 にセメントの物理的性質および化学組成を示す。

表-2.7 使用セメントの物理的性質および化学組成 (ミルシートより)

(1) 物理的性質

比 重	比表面積 (cm^2/g)	凝 結			安定性	圧 縮 強 さ (kgf/cm^2)				水 和 熱 (cal/g)	
		水 量 (%)	始 発 (h-min)	終 結 (h-min)		1 d	3 d	7 d	28 d	7 d	28 d
3.15	3150	28.2	3-01	4-23	良		167	270	429		

(2) 化学組成

化 学 成 分 (%)									アルカリ量 (%)		
強 熱 減 量	不 溶 分	二酸化 けい素	酸 化 アルミニウム	酸 化 第二鉄	酸 化 カルシウム	酸 化 マグネシウム	三酸化 硫 黄	合 計	Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O
0.8	0.2	21.7	5.3	2.7	63.3	2.1	2.0	98.1	0.34	0.49	0.66

2) 配 合

モルタルの配合は 62 年度と同一にした。骨材の粒度は表-2.8 に示す通りで, $W/C = 0.5$, $S/C = 2.0$ (重量比) とした。モルタルの練り混ぜに際し, 各細骨材は表乾状態で使用した。モルタルの練り混ぜは JIS R 5201 に準じた。

表-2.8 細骨材の粒度分布

粒 度	質量百分率* (%)
4.75 ~ 2.36 mm	9.5
2.36 ~ 1.18 mm	23.0
1.18 ~ 0.60 mm	23.0
0.60 ~ 0.30 mm	23.0
0.30 ~ 0.15 mm	14.0
0.15 mm 以下	7.5

* 水洗後、絶乾状態でこの百分率に調整した。

2. フレッシュモルタルの性質

1) 試験方法

フレッシュモルタルの性質を知るためフロー試験（JIS R 5201）および凝結硬化速度試験（ASTM C 403）を実施した。

2) 試験結果および考察

(1) フロー値

表-2.9および図-2.3に各モルタルのフロー試験結果を示す。標準骨材Lを使用したモルタル（以下、標準モルタルとする）のフロー値が1回目が242、2回目が258であったのに対して、粘土鉱物含有骨材を使用したモルタルのフロー値は小さくなった。特に、A骨材は3種類ともフロー値が小さく、142（A-2（63）：2回目）～166（A-10：2回目）という結果となった。

各モルタルの2回のフロー試験結果の平均値を小さい順に並べると次のようになる。A-2（63）< A-10 < A-8 < B-2 < C < B-3 < B-1 < L。

表-2.9 フレッシュモルタルの性質

		練上がり 温 (℃)	フ ロ ー 試 験					凝 結 硬 化 速 度 試 験	
			計 測 値			平均	始 発 (h-min)	終 結 (h-min)	
A - 8	(1)	18	①	165 × 167	②	167 × 167	167	2 - 25	6 - 25
	(2)	19.5	①	155 × 159	②	158 × 159	158	2 - 05	6 - 25
A - 10	(1)	18	①	157 × 156	②	161 × 159	158	2 - 00	5 - 30
	(2)	18.5	①	166 × 166	②	160 × 170	166	2 - 10	6 - 10
A - 2 (63)	(1)	20.0	①	143 × 143	②	144 × 144	144	1 - 40	5 - 00
	(2)	20.0	①	144 × 145	②	138 × 139	142	1 - 30	4 - 30
B - 1	(1)	18	①	207 × 209	②	207 × 205	207	5 - 00	8 - 10
	(2)	19	①	211 × 210	②	210 × 215	212	5 - 05	8 - 05
B - 2	(1)	18	①	191 × 187	②	191 × 189	190	2 - 45	6 - 30
	(2)	19.5	①	199 × 201	②	194 × 201	199	2 - 25	6 - 40
B - 3	(1)	18	①	207 × 202	②	202 × 201	203	3 - 40	7 - 05
	(2)	19	①	210 × 207	②	208 × 206	208	3 - 30	7 - 00
C	(1)	18	①	195 × 197	②	196 × 194	196	4 - 15	7 - 50
	(2)	19	①	209 × 209	②	214 × 202	207	4 - 25	7 - 40
L	(1)	16	①	244 × 245	②	238 × 242	242	5 - 35	9 - 00
	(2)	19	①	257 × 255	②	260 × 261	258	6 - 00	8 - 45

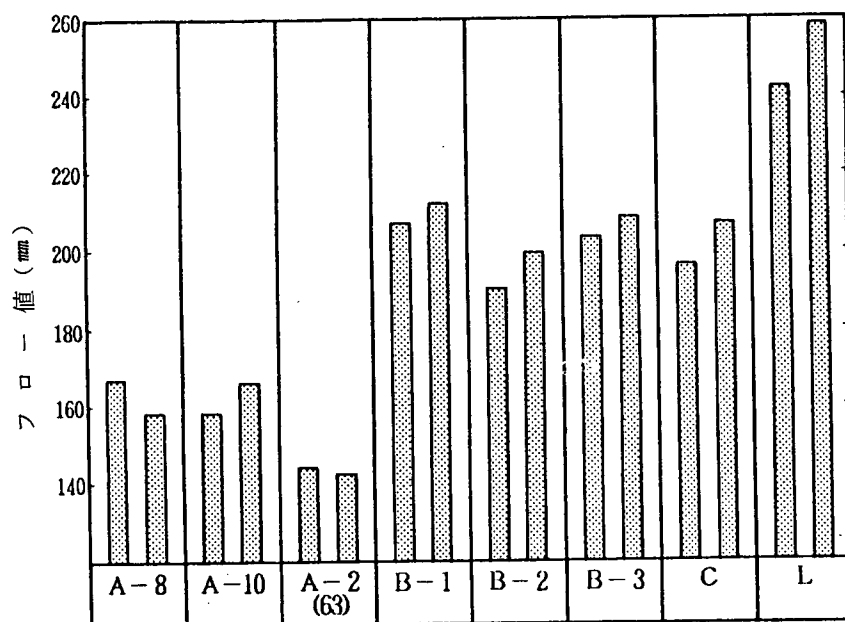


図-2.3 フロー試験結果

(2) 凝結硬化速度

表-2.9 および図-2.4, 2.5 にモルタルの凝結硬化速度試験結果を示す。標準モルタルに比べ、粘土鉱物含有骨材を使用したモルタルはいずれも、始発および終結時間は早くなっており、特にA骨材を使用したモルタルはいずれも凝結硬化速度が早いという結果となった。

各モルタルの凝結硬化速度試験結果を始発時間および終結時間に分けて、2回の凝結硬化速度試験の平均時間の短い順に並べると以下ようになる。

始発時間：A-2 (63) < A-10 < A-8 < B-2 < B-3 < C < B-1 < L

終結時間：A-2 (63) < A-10 < A-8 < B-2 < B-3 < C < B-1 < L。

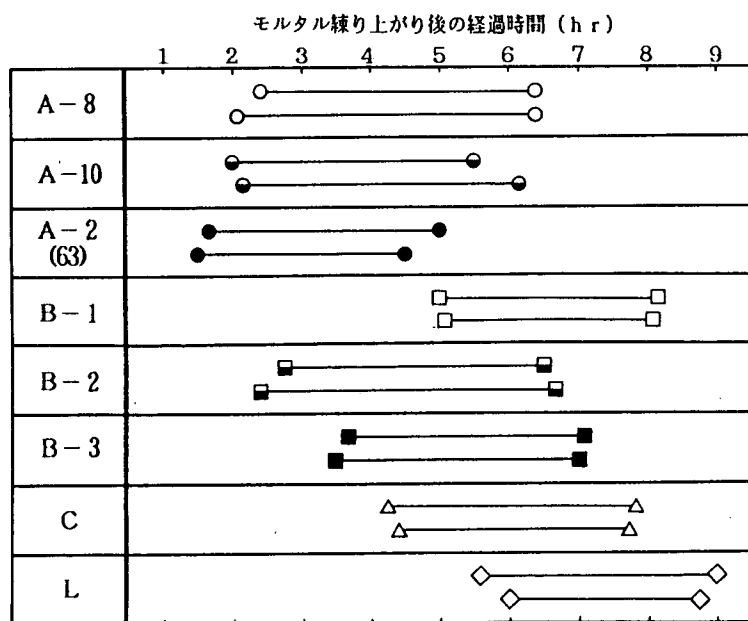


図-2.4 始発と終結の時間

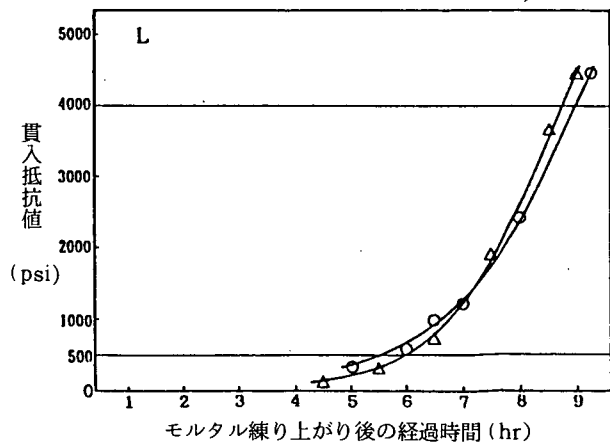
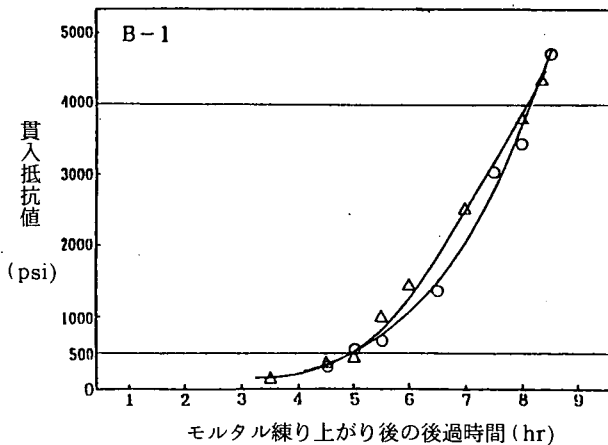
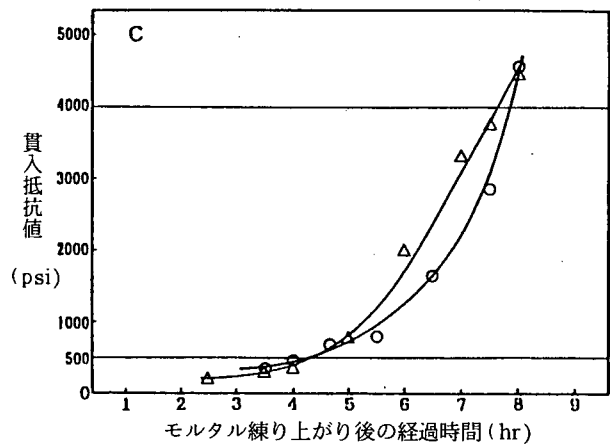
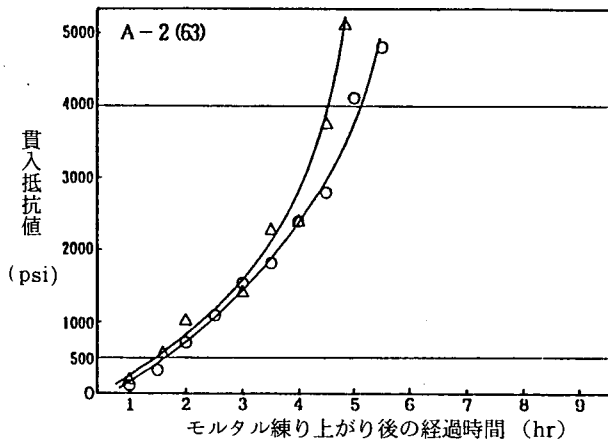
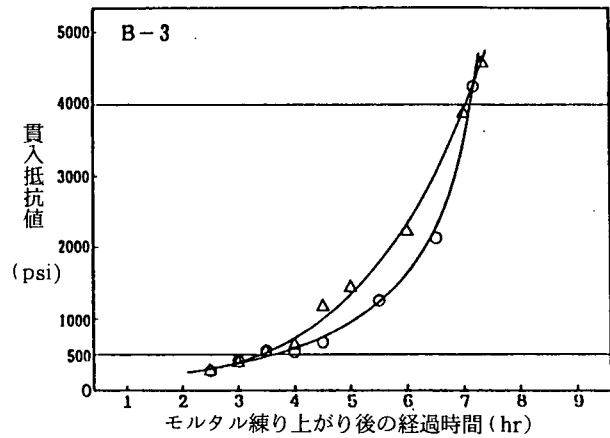
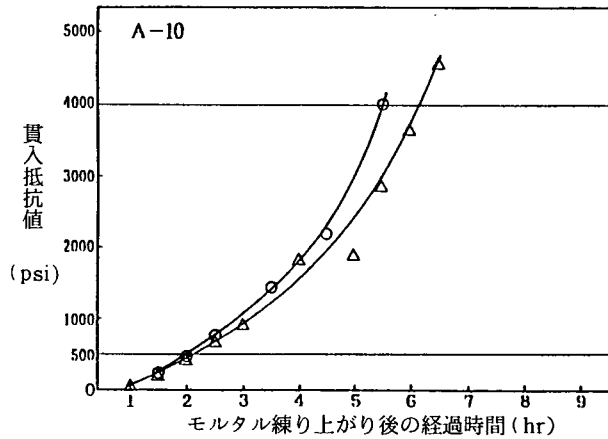
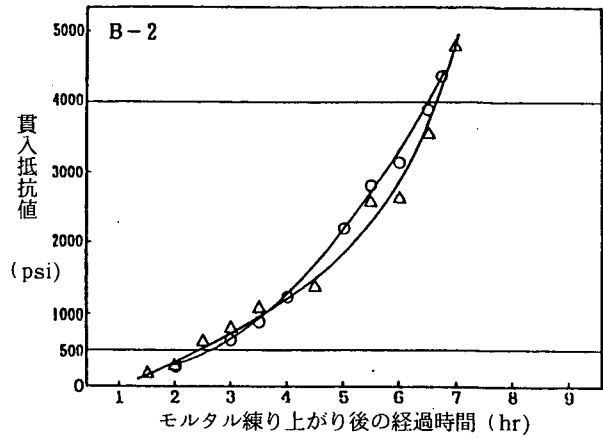
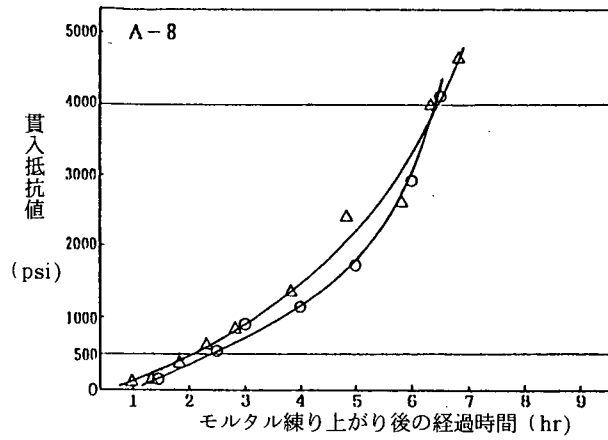


図-2.5 凝結硬化速度試験の結果

各モルタルの凝結硬化速度の早さは、フロー試験結果の傾向とほぼ同様の結果となった。

3. 硬化モルタルの性質

1) 試験方法

硬化モルタルの性質を知るために、JIS R 5201により曲げ強度および圧縮強度の試験を行った。

2) 試験結果および考察

表-2.10および図-2.6に各モルタルの曲げ強度試験結果を示す。

B-1モルタルは材令7日および28日とも標準モルタル（L骨材のモルタル）と同程度の曲げ強度と

表-2.10 モルタルの強度試験結果

	材 令 7 日					材 令 28 日				
	曲 げ 強 度		圧 縮 強 度			曲 げ 強 度		圧 縮 強 度		
	強 度 kgf/cm ²	平 均 kgf/cm ²	強 度 kgf/cm ²		平 均 kgf/cm ²	強 度 kgf/cm ²	平 均 kgf/cm ²	強 度 kgf/cm ²		平 均 kgf/cm ²
A-8	59.9	55.4	325	326	329	80.3	80.3	463	481	461
	49.1		337	338		82.7		439	473	
	57.3		318	329		77.2		451	461	
A-10	59.4	59.7	324	344	334	85.2	82.5	423	474	466
	58.7		341	331		82.4		466	491	
	61.1		320	344		80.0		479	463	
A-2 (63)	65.5	63.9	347	343	333	76.5	77.4	468	405	452
	60.8		316	336		75.1		444	456	
	65.5		327	331		80.7		480	460	
B-1	72.1	68.9	361	357	346	86.6	85.7	455	500	499
	69.7		346	329		86.6		500	525	
	64.8		341	339		84.0		510	505	
B-2	55.2	56.9	290	294	294	66.5	71.9	459	439	433
	58.5		289	306		73.0		436	424	
	57.1		295	290		76.1		435	403	
B-3	64.3	62.7	311	314	308	73.0	77.4	398	440	451
	65.1		308	313		81.4		478	466	
	59.0		300	301		77.7		478	448	
C	64.6	65.0	341	348	344	75.8	75.7	514	516	536
	60.6		348	342		81.0		545	569	
	70.0		341	344		70.2		553	521	
L	69.3	69.1	339	347	342	86.6	84.4	465	538	492
	69.0		342	344		89.9		508	494	
	69.0		348	331		76.8		513	431	

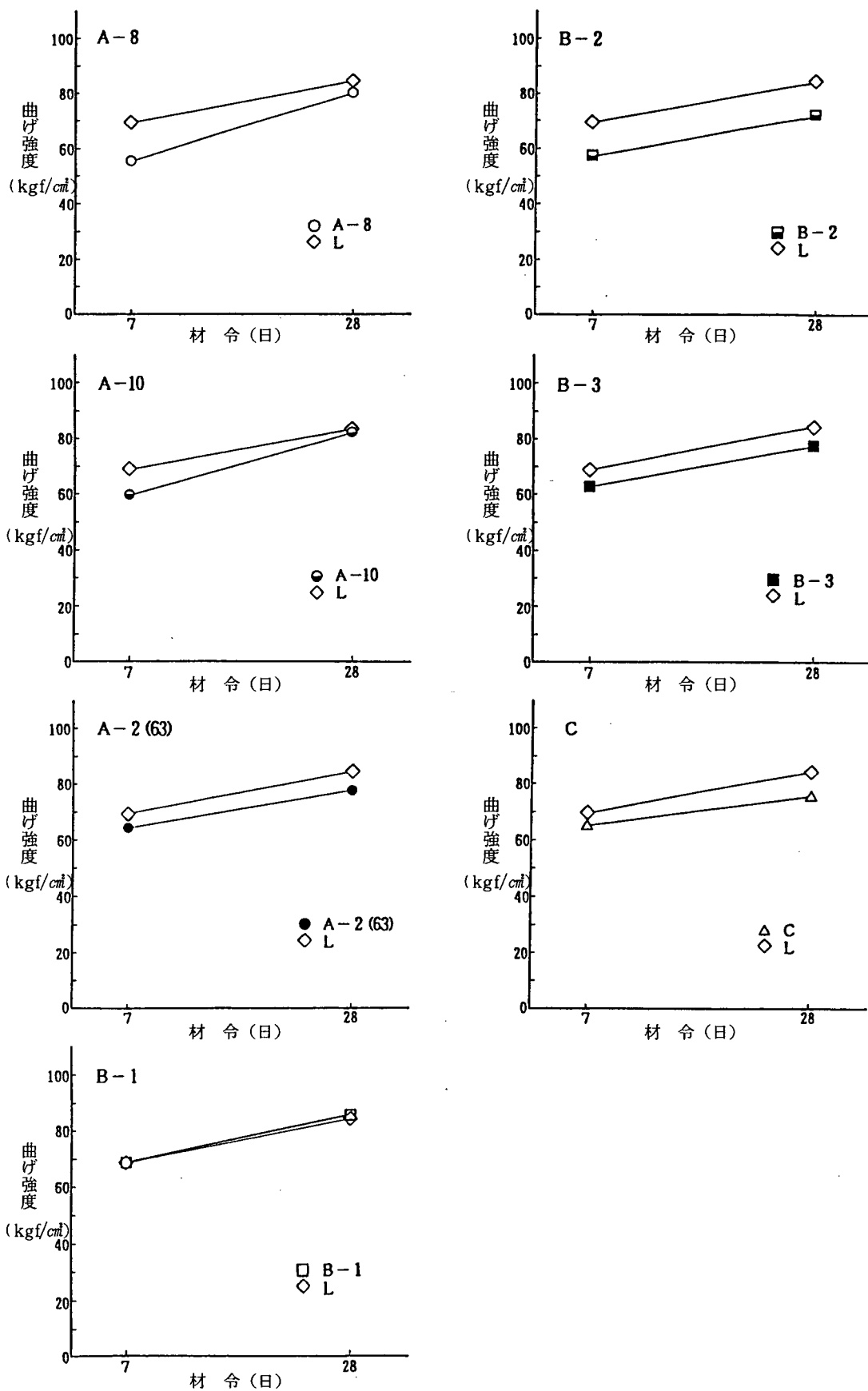


図-2.6 各モルタルの曲げ強度

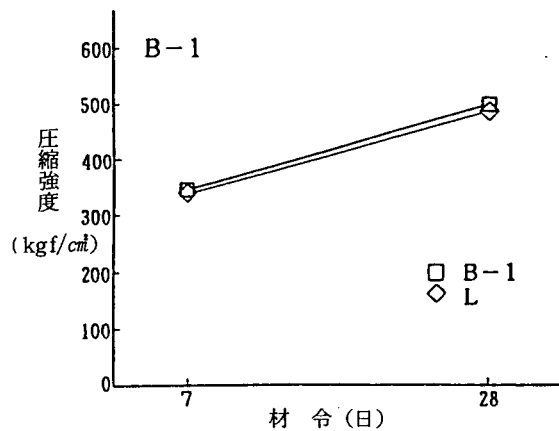
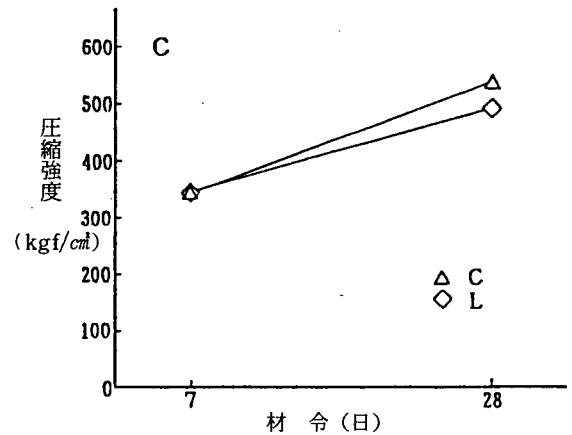
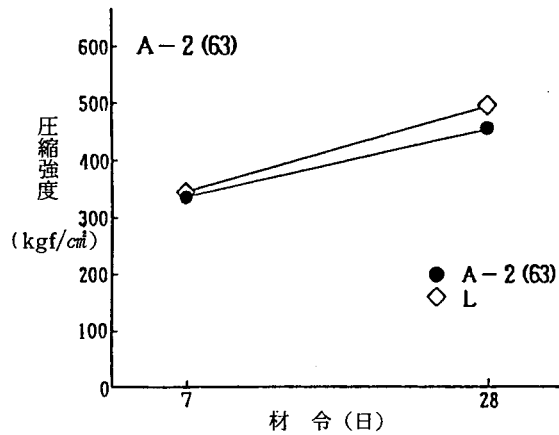
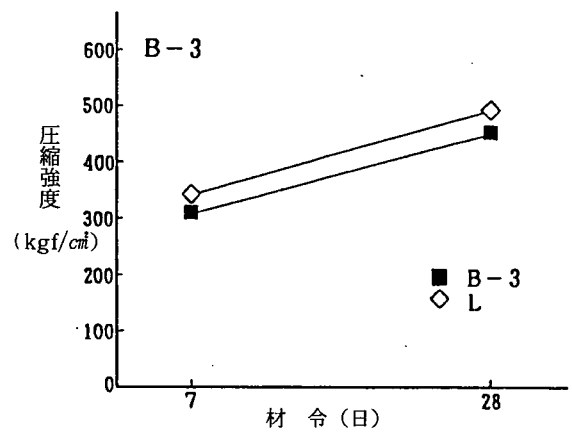
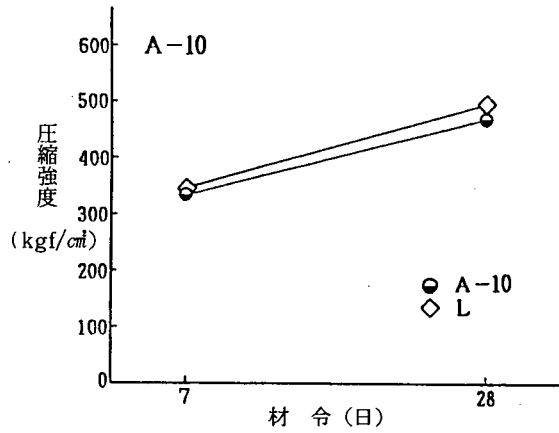
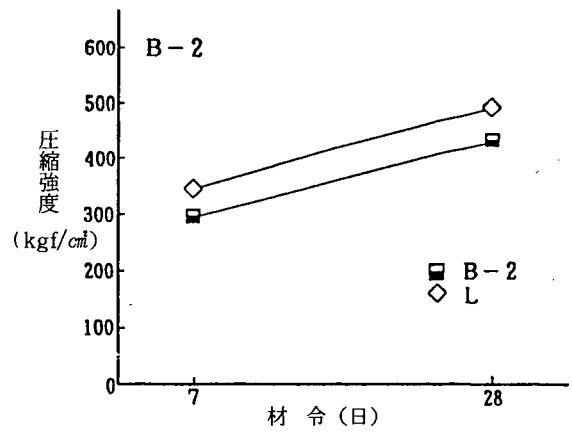
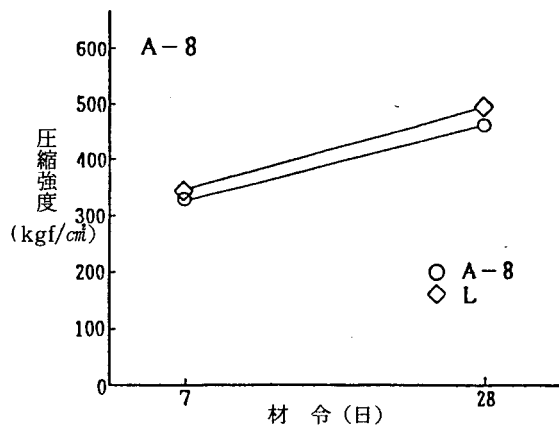


図-2.7 各モルタルの圧縮強度

なっているのに対して、その他の粘土鉱物含有骨材を使用したモルタルは、いずれも標準モルタルより低い曲げ強度となっている。

表－2.10および図－2.7に各モルタルの圧縮強度試験結果を示す。

B－1モルタルは、材令7日および28日とも標準モルタルと同程度の圧縮強度となっているのに対して、その他の粘土鉱物含有骨材を使用したモルタルは、いずれも標準モルタルより低い圧縮強度となっている。

4. 水和発熱過程

1) 使用骨材

第1章で選定した骨材を使用した。この試験ではモンモリロナイトの含有量が水和発熱過程に及ぼす影響をみるためにモンモリロナイト含有骨材と非含有骨材のLを表－2.11のように混合したものを試料とした。

2) 試験方法および解析方法

モルタルの配合および試験方法は62年度と同じである（第1編参照）。

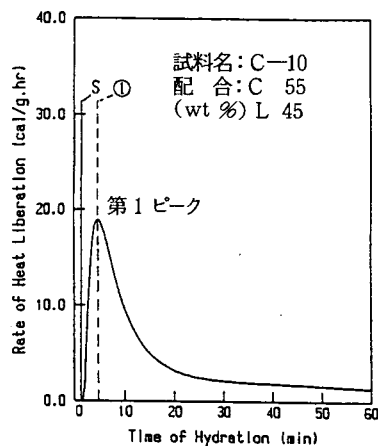
図－2.8は今回測定を行った水和発熱曲線の代表例である。図のようにピークが2つ存在する場合と

表－2.11 モンモリロナイト含有骨材と非含有骨材の混合率

1) A骨材			2) B骨材		
試料記号	混 合 率		試料記号	混 合 率	
	A－2(63)	L		B－1	L
Aa	100 %	0 %	Ba	100 %	0 %
Ab	95	5	Bb	80	20
Ac	85	15	Bc	60	40
Ad	75	25	Bd	40	60
	A－8	L		B－2	L
Ae	100	0	Be	100	0
Af	95	5	Bf	95	5
Ag	85	15	Bg	85	15
Ah	75	25	Bh	75	25
	A－10	L		B－3	L
Ai	100	0	Bi	100	0
Aj	80	20	Bj	95	5
Ak	60	40	Bk	85	15
Al	40	60	Bl	75	25

3) C骨材		
試料記号	混 合 率	
	C	L
Ca	100 %	0 %
Cb	95	5
Cc	90	10
Cd	85	15
Ce	80	20
Cf	75	25
Cg	70	30
Ch	65	35
Ci	60	40
Cj	55	45
Ck	50	50
Cl	45	55

(1) ピークが2つ存在する例



(2) ピークが3つ存在する例

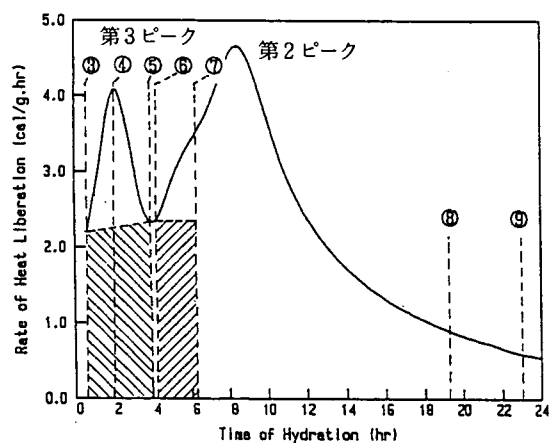
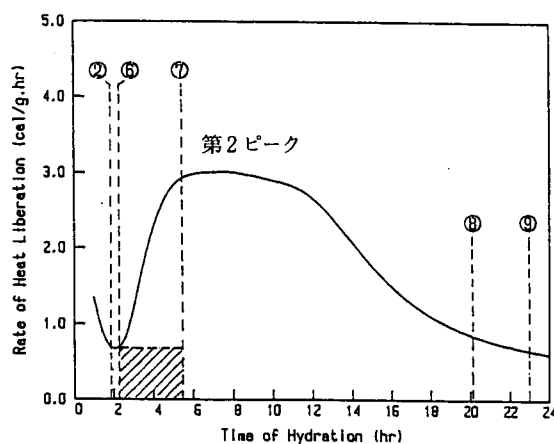
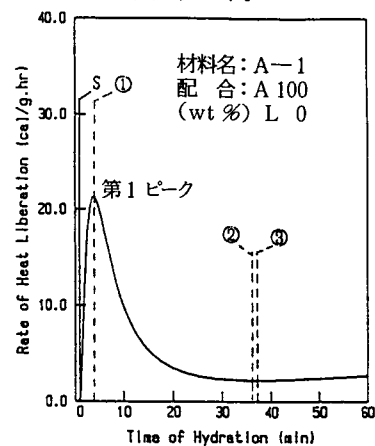


図-2.8 水和発熱曲線の代表例

3つ存在する場合がある。したがって、全試料の発熱曲線を表現するために、ピークを1～3まで定義し、時間を①～⑨まで定義した。

(1) 各時間の決定方法

発熱速度は水和時間48時間で568点測定しており、パソコンを用いて5点の単純移動平均で平滑化した後、以下の計算を行い各時間を決定した。

時間①：第1ピークの時間

時間④：第3ピークの時間

時間②, ③, ⑤～⑨：微分値の絶対値と判断値を比較して求めた。時間②の場合は、判断値を0.150 (cal/g・hr・hr) とし、判断基準を1から0として求めた。すなわち微分値の絶対値より大きい場合は1、小さい場合は0とし、その値が1から0または0から1に変わった時間を求めた。

各時間の判断値および判断基準を下記に示す。

	判断値	判断基準
時間②	0.150	1 → 0
時間③	0.150	0 → 1
時間⑤	0.150	1 → 0
時間⑥	0.150	0 → 1
時間⑦	0.150	1 → 0

	判断値	判断基準
時間⑧	0.100	1 → 0
時間⑨	0.050	1 → 0

但し、時間⑦については微分値の絶対値が判断値より小さくならない場合であり、その場合は絶対値が最小となった時間を求めた（表－2.12～2.14の各時間において小文字の数字1を付記した）。

(2) 発熱量の算出方法

発熱量は次式により算出した。

$$(\text{発熱量}) = \frac{(\text{各区間の面積}) \times (\text{基準熱量から求めた単位面積当りの熱量})}{(\text{セメントの重量})}$$

基準熱量から求めた単位面積当りの熱量

$$1 \text{ (V. sec)} = 2.6352 \text{ (cal)}$$

(3) 時間②～時間⑥の平均発熱速度の算出方法

平均発熱速度は次式により算出した。

(i) 第3ピークが存在しない場合：

$$\text{平均発熱速度 (cal/g} \cdot \text{hr)} = \frac{\text{時間②～時間⑥の発熱量 (cal/g)}}{\text{区間 (時間②～時間⑥) の時間 (hrs)}}$$

(ii) 第3ピークが存在する場合：

$$\text{ピーク3の発熱量} = (\text{時間③～時間⑤の発熱量}) - (\text{斜線部 (右下がり) の発熱量})$$

$$\text{平均発熱速度 (cal/g} \cdot \text{hr)} = \frac{(\text{時間②～時間⑥の発熱量}) - (\text{ピーク3の発熱量})}{\text{区間 (時間②～時間⑥) の時間 (hrs)}}$$

(4) 時間⑥～時間⑦の発熱速度の傾き算出法

発熱速度の傾きは次式により求めた。

$$\text{発熱速度の傾き (cal/g} \cdot \text{hr} \cdot \text{hr)} = \frac{\text{区間の発熱量 (cal/g)} - \text{斜線部の発熱量 (cal/g)}}{(\text{区間の時間 (hrs)})^2}$$

$$\text{斜線部の発熱量 (cal/g)} = (\text{時間⑥の発熱速度 (cal/g} \cdot \text{hr)}) \times (\text{区間の時間 (hrs)})$$

3) 試験結果および考察

表－2.12～2.14に解析結果を示す。既述のように水和発熱曲線のタイプは第3ピークの有無で2つに分けることができる。表のようにA骨材にはすべて第3ピークがあり、B骨材ではB－2、B－3のシリーズには第3ピークがあり、C骨材ではC骨材の混合率が85%以上のものに第3ピークがある。

図－2.9はC. E. Cと水和発熱の諸性質との関係を示したものである。図のようにC. E. Cと⑥～⑦

表-2.12 水和発熱曲線の各位置の時間

Sample No	配 合	*1	① (mm:ss)	② (hh:mm)	③ (hh:mm)	④ (hh:mm)	⑤ (hh:mm)	⑥ (hh:mm)	⑦ (hh:mm)	⑧ (hh:mm)	⑨ (hh:mm)
Aa	A-2 (63) 100 L 0	有	3 : 00	0 : 36	0 : 37	2 : 03	3 : 54	4 : 06	6 : 09	19 : 06	22 : 48
Ab	A-2 (63) 95 L 5	有	2 : 45	0 : 34	0 : 36	2 : 00	3 : 48	4 : 00	6 : 15	18 : 24	22 : 48
Ac	A-2 (63) 85 L 15	有	3 : 30	0 : 37	0 : 39	2 : 00	3 : 39	3 : 51	6 : 03	18 : 24	22 : 12
Ad	A-2 (63) 75 L 25	有	3 : 15	0 : 38	0 : 40	1 : 57	3 : 27	3 : 36	6 : 06	18 : 12	21 : 54
Ae	A-8 100 L 0	有	3 : 30	0 : 42	0 : 46	2 : 15	3 : 36	3 : 51	6 : 39	18 : 48	22 : 36
Af	A-8 95 L 5	有	3 : 00	0 : 42	0 : 46	2 : 12	3 : 30	3 : 42	6 : 33	18 : 06	22 : 54
Ag	A-8 85 L 15	有	3 : 00	0 : 41	0 : 45	2 : 03	3 : 18	3 : 30	6 : 09	17 : 42	21 : 54
Ah	A-8 75 L 25	有	3 : 15	0 : 43	0 : 47	2 : 00	3 : 09	3 : 24	6 : 06	18 : 12	21 : 42
Ai	A-10 100 L 0	有	3 : 15	0 : 41	0 : 43	2 : 24	4 : 15	4 : 27	6 : 21	18 : 42	23 : 06
Aj	A-10 80 L 20	有	3 : 00	0 : 41	0 : 43	2 : 18	3 : 48	3 : 57	6 : 33	18 : 12	21 : 30
Ak	A-10 60 L 40	有	3 : 15	0 : 43	0 : 46	2 : 09	3 : 21	3 : 33	6 : 06	18 : 12	23 : 06
Al	A-10 40 L 60	有	3 : 00	0 : 46	0 : 57	1 : 45	2 : 54	3 : 12	5 : 57	19 : 00	23 : 06
Ba	B-1 100 L 0	無	2 : 45	2 : 06				2 : 21	5 : 36	18 : 54	23 : 24
Bb	B-1 80 L 20	無	3 : 15	2 : 00				2 : 21	5 : 45	19 : 06	22 : 42
Bc	B-1 60 L 40	無	3 : 00	1 : 45				2 : 21	6 : 30	20 : 06	23 : 30
Bd	B-1 40 L 60	無	3 : 00	1 : 45				2 : 21	7 : 21	20 : 54	23 : 54
Be	B-2 100 L 0	有	3 : 00	0 : 30	0 : 31	1 : 21	3 : 03	3 : 15	6 : 36	17 : 42	22 : 06
Bf	B-2 95 L 5	有	4 : 45	0 : 33	0 : 34	1 : 21	2 : 57	3 : 09	5 : 27	17 : 30	21 : 06
Bg	B-2 85 L 15	有	3 : 00	0 : 32	0 : 33	1 : 18	2 : 45	2 : 54	5 : 45	17 : 42	22 : 54
Bh ^{*3}	B-2 75 L 25	有	3:00-15	0 : 33	0 : 34	1 : 12	2 : 39	2 : 48	5 : 39	17 : 36	22 : 42
Bi	B-3 100 L 0	有	3 : 15	0 : 34	0 : 36	1 : 12	2 : 33	2 : 42	5 : 27	16 : 54	22 : 12
Bj	B-3 95 L 5	有	3 : 00	0 : 34	0 : 37	1 : 09	2 : 30	2 : 39	5 : 27	17 : 06	22 : 12
Bk	B-3 85 L 15	有	3 : 15	0 : 37	0 : 38	1 : 06	2 : 27	2 : 36	5 : 24	17 : 36	22 : 12
Bl	B-3 75 L 25	有	3 : 00	0 : 38	0 : 40	0 : 59	2 : 21	2 : 30	5 : 15	18 : 42	22 : 12
Ca	C 100 L 0	有	3 : 00	0 : 31	0 : 32	0 : 53	2 : 09	2 : 18	5 : 06	17 : 48	22 : 36
Cb ^{*3}	C 95 L 5	有	3:00-15	0 : 32	0 : 34	0 : 51	2 : 09	2 : 18	5 : 06	18 : 06	21 : 42
Cc	C 90 L 10	有	3 : 15	0 : 34	0 : 35	0 : 48	2 : 06	2 : 18	5 : 06	18 : 06	21 : 54
Cd ^{*3}	C 85 L 15	有	3:00-15	0 : 34	0 : 36	0 : 47	2 : 06	2 : 15	5 : 03	17 : 54	21 : 06
Ce	C 80 L 20	*2	3 : 15	2 : 03		0 : 44		2 : 15	5 : 03	18 : 30	22 : 18
Cf	C 75 L 25	無	3 : 00	2 : 00				2 : 12	5 : 00	18 : 48	22 : 42
Cg ^{*4}	C 70 L 30	無	2:45-00	1 : 57				2 : 09	5 : 15	19 : 30	22 : 54
Cg	C 70 L 30	無	3 : 00	2 : 00				2 : 12	5 : 12	19 : 42	23 : 12
Ch	C 65 L 35	無	3 : 00	1 : 57				2 : 12	5 : 15	19 : 12	22 : 48
Ci ^{*4}	C 60 L 40	無	2:45-00	1 : 54				2 : 09	5 : 21	19 : 24	23 : 30
Cj	C 55 L 45	無	3 : 00	1 : 54				2 : 12	5 : 24	19 : 54	22 : 48
Ck	C 50 L 50	無	3 : 15	1 : 54				2 : 12	5 : 33	19 : 54	22 : 42
Cl ^{*4}	C 45 L 55	無	2:45-00	1 : 51				2 : 12	5 : 45	20 : 18	23 : 48
L	L 100	無	3 : 15	1 : 33				2 : 24	8 : 30	22 : 12	26 : 30

*1 : ピーク3の有無

*2 : ピーク3が僅かに認められるが、解析は第3ピーク無として行った。

*3 : ①の欄の3 : 00-15は3 : 00から3 : 15の間に第1ピークが存在したことを表す。

*4 : ①の欄の2 : 45-00は2 : 45から3 : 00の間に第1ピークが存在したことを表す。

表－ 2.13 水和発熱曲線の各区間の発熱量，平均発熱速度および発熱速度の傾き

Sample No	配 合	* 1	発 熱 量 (cal / g)						平均発熱速度 (cal/g·hr) 時間② ～時間⑥	発熱速度の傾き (cal/g·hr·hr) 時間⑥ ～時間⑦	セメントの重量 (g)	ベースライン (mv)
			区間Ⅰ 水和開始～時間②	区間Ⅱ 時間②～時間⑥	区間Ⅲ 時間⑥～時間⑨	区間Ⅳ 時間⑨～48時間	合 計 水和開始～48時間	ピーク 3				
Aa	A- 2 (63) 100 L 0	有	3.984	—	41.106	9.744	65.877	3.063	2.280	0.596	1.96	0.170
Ab	A- 2 (63) 95 L 5	有	3.572	—	41.694	11.024	66.709	2.747	2.235	0.625	1.99	0.158
Ac	A- 2 (63) 85 L 15	有	3.515	—	39.384	10.423	62.237	2.212	2.073	0.636	1.98	0.373
Ad	A- 2 (63) 75 L 25	有	3.770	—	40.856	10.601	63.051	1.747	2.048	0.759	1.98	0.458
Ae	A- 8 100 L 0	有	3.593	—	39.239	8.159	58.015	1.340	1.805	0.695	1.97	0.558
Af	A- 8 95 L 5	有	3.824	—	41.441	10.181	62.219	1.193	1.860	0.752	1.96	0.650
Ag	A- 8 85 L 15	有	3.470	—	39.304	8.725	57.222	0.916	1.707	0.808	2.00	0.145
Ah	A- 8 75 L 25	有	3.339	—	38.459	9.939	56.582	0.633	1.570	0.768	2.00	0.350
Ai	A-10 100 L 0	有	3.727	—	36.912	6.039	57.398	3.133	2.014	0.620	1.98	0.359
Aj	A-10 80 L 20	有	3.639	—	38.513	8.069	58.500	1.997	1.923	0.730	1.98	0.447
Ak	A-10 60 L 40	有	3.506	—	39.414	6.687	55.415	1.049	1.680	0.873	1.98	0.537
Al	A-10 40 L 60	有	3.825	—	42.545	9.082	62.093	2.652	1.639	1.016	1.99	0.430
Ba	B- 1 100 L 0	無	5.280	0.215	41.424	8.717	55.636	—	0.860	0.807	1.99	0.146
Bb	B- 1 80 L 20	無	4.730	0.227	40.569	9.437	54.963	—	0.649	0.784	1.98	0.254
Bc	B- 1 60 L 40	無	4.394	0.386	41.380	11.366	57.526	—	0.643	0.618	1.98	0.539
Bd	B- 1 40 L 60	無	3.988	0.254	41.234	8.350	53.826	—	0.423	0.595	1.98	0.430
Be	B- 2 100 L 0	有	3.741	—	38.575	9.550	60.368	1.961	2.378	0.653	1.98	0.633
Bf	B- 2 95 L 5	有	3.883	—	37.052	8.282	57.030	1.710	2.347	0.797	1.98	0.642
Bg	B- 2 85 L 15	有	3.645	—	40.255	6.695	56.967	1.352	2.121	0.865	1.99	0.152
Bh	B- 2 75 L 25	有	3.590	—	39.775	7.842	56.655	0.901	2.021	0.850	1.98	0.249
Bi	B- 3 100 L 0	有	3.711	—	39.198	6.106	53.991	0.747	1.982	0.903	1.98	0.345
Bj	B- 3 95 L 5	有	3.705	—	40.529	8.983	57.858	0.621	1.930	0.909	1.99	0.438
Bk	B- 3 85 L 15	有	3.850	—	40.421	7.960	56.224	0.397	1.813	0.938	1.99	0.541
Bl	B- 3 75 L 25	有	3.801	—	41.533	9.009	57.782	0.209	1.730	0.979	1.97	0.635
Ca	C 100 L 0	有	3.700	—	40.260	8.842	56.645	0.347	1.961	0.930	2.00	0.153
Cb	C 95 L 5	有	3.709	—	38.688	8.563	54.424	0.156	1.873	0.943	1.98	0.255
Cc	C 90 L 10	有	3.781	—	38.591	8.490	54.081	0.068	1.818	0.917	1.98	0.354
Cd	C 85 L 15	有	3.769	—	39.045	8.754	54.576	0.012	1.780	0.942	1.99	0.439
Ce	C 80 L 20	* 2	3.778	2.771	39.835	9.727	56.111	—	13.855	0.941	1.98	0.542
Cf	C 75 L 25	無	6.235	0.196	42.161	9.658	58.250	—	0.980	0.943	1.98	0.637
Cg	C 70 L 30	無	5.588	0.167	40.288	8.560	54.603	—	0.835	0.844	1.98	0.136
Cg	C 70 L 30	無	5.729	0.166	40.328	7.953	54.176	—	0.830	0.862	1.98	0.438
Ch	C 65 L 35	無	5.536	0.199	40.325	8.773	54.833	—	0.796	0.853	1.98	0.544
Ci	C 60 L 40	無	5.355	0.202	43.148	10.099	58.804	—	0.808	0.842	1.98	0.638
Cj	C 55 L 45	無	4.917	0.201	40.446	8.899	54.463	—	0.670	0.800	1.98	0.144
Ck	C 50 L 50	無	4.749	0.177	39.548	8.757	53.231	—	0.590	0.767	1.99	0.246
Cl	C 45 L 55	無	4.630	0.182	40.120	6.492	51.424	—	0.520	0.749	1.98	0.542
L	L100	無	3.192	0.159	41.843	7.192	52.386	—	0.187	0.498	1.98	0.343

* 1 : ピーク 3 の有無

* 2 : ピーク 3 が僅かに認められるが、解析は第 3 ピーク無として行った。

表- 2.14 水和発熱曲線の各区間の発熱量

Sample No	配 合	* 1	S-②	②-③	③-④	④-⑤	⑤-⑥	②-⑥	⑥-⑦	⑦-⑧	⑧-⑨	⑨-F
A a	A- 2 (63) 100 L 0	有	3.984	0.037	4.645	5.895	0.466	—	6.034	32.311	2.761	9.744
A b	A- 2 (63) 95 L 5	有	3.572	0.073	4.412	5.482	0.452	—	6.678	31.387	3.629	11.024
A c	A- 2 (63) 85 L 15	有	3.515	0.068	3.854	4.575	0.418	—	6.146	30.293	2.945	10.423
A d	A- 2 (63) 75 L 25	有	3.770	0.067	3.469	3.979	0.309	—	7.535	30.385	2.936	10.601
A e	A- 8 100 L 0	有	3.593	0.110	3.278	3.151	0.485	—	8.170	28.283	2.786	8.159
A f	A- 8 95 L 5	有	3.824	0.117	3.250	3.017	0.389	—	8.612	28.750	4.079	10.181
A g	A- 8 85 L 15	有	3.470	0.111	2.671	2.593	0.348	—	7.462	28.393	3.449	8.725
A h	A- 8 75 L 25	有	3.339	0.105	2.243	2.106	0.391	—	7.040	28.470	2.949	9.939
A i	A-10 100 L 0	有	3.727	0.062	4.829	5.397	0.431	—	5.224	28.760	2.928	6.039
A j	A-10 80 L 20	有	3.639	0.058	3.964	3.942	0.315	—	7.925	28.032	2.556	8.069
A k	A-10 60 L 40	有	3.506	0.079	2.831	2.544	0.354	—	7.371	28.594	3.449	6.687
A l	A-10 40 L 60	有	3.825	0.343	1.928	3.564	0.806	—	7.593	31.812	3.140	9.082
B a	B- 1 100 L 0	無	5.280					0.215	7.068	30.803	3.553	8.717
B b	B- 1 80 L 20	無	4.730					0.227	6.765	30.873	2.931	9.437
B c	B- 1 60 L 40	無	4.394					0.386	8.004	30.426	2.950	11.366
B d	B- 1 40 L 60	無	3.988					0.254	9.647	29.334	2.253	8.350
B e	B- 2 100 L 0	有	3.741	0.051	3.141	4.950	0.360	—	9.734	25.454	3.387	9.550
B f	B- 2 95 L 5	有	3.883	0.050	2.812	4.596	0.355	—	6.207	28.327	2.518	8.282
B g	B- 2 85 L 15	有	3.645	0.044	2.369	3.708	0.251	—	8.281	28.265	3.709	6.695
B h	B- 2 75 L 25	有	3.590	0.043	1.849	3.329	0.227	—	7.767	28.136	3.872	7.842
B i	B- 3 100 L 0	有	3.711	0.085	1.713	2.958	0.220	—	7.446	27.843	3.909	6.106
B j	B- 3 95 L 5	有	3.705	0.123	1.446	2.856	0.216	—	7.594	28.710	4.225	8.983
B k	B- 3 85 L 15	有	3.850	0.039	1.158	2.595	0.201	—	7.427	29.381	3.613	7.960
B l	B- 3 75 L 25	有	3.801	0.075	0.727	2.445	0.192	—	7.238	31.554	2.741	9.009
C a	C 100 L 0	有	3.700	0.048	1.074	2.547	0.174	—	6.913	29.567	3.780	8.842
C b	C 95 L 5	有	3.709	0.094	0.823	2.390	0.157	—	6.635	29.340	2.713	8.563
C c	C 90 L 10	有	3.781	0.047	0.616	2.351	0.205	—	6.492	29.205	2.894	8.490
C d	C 85 L 15	有	3.769	0.089	0.497	2.272	0.150	—	6.495	29.997	2.553	8.754
C e	C 80 L 20	* 2	3.778					2.771	6.384	30.491	2.960	9.727
C f	C 75 L 25	無	6.235					0.196	6.445	32.548	3.168	9.658
C g	C 70 L 30	無	5.588					0.167	6.656	31.136	2.496	8.560
C g	C 70 L 30	無	5.729					0.166	6.380	31.359	2.589	7.953
C h	C 65 L 35	無	5.536					0.199	6.424	31.164	2.737	8.773
C i	C 60 L 40	無	5.355					0.202	6.920	32.858	3.370	10.099
C j	C 55 L 45	無	4.917					0.201	6.272	31.991	2.183	8.899
C k	C 50 L 50	無	4.749					0.177	6.301	31.176	2.071	8.757
C l	C 45 L 55	無	4.630					0.182	6.610	31.164	2.346	6.492
L	L 100	無	3.192					0.159	10.553	28.251	3.039	7.192

* 1 : ピーク 3 の有無

* 2 : ピーク 3 が僅かに認められるが、解析はピーク 3 無として行った。

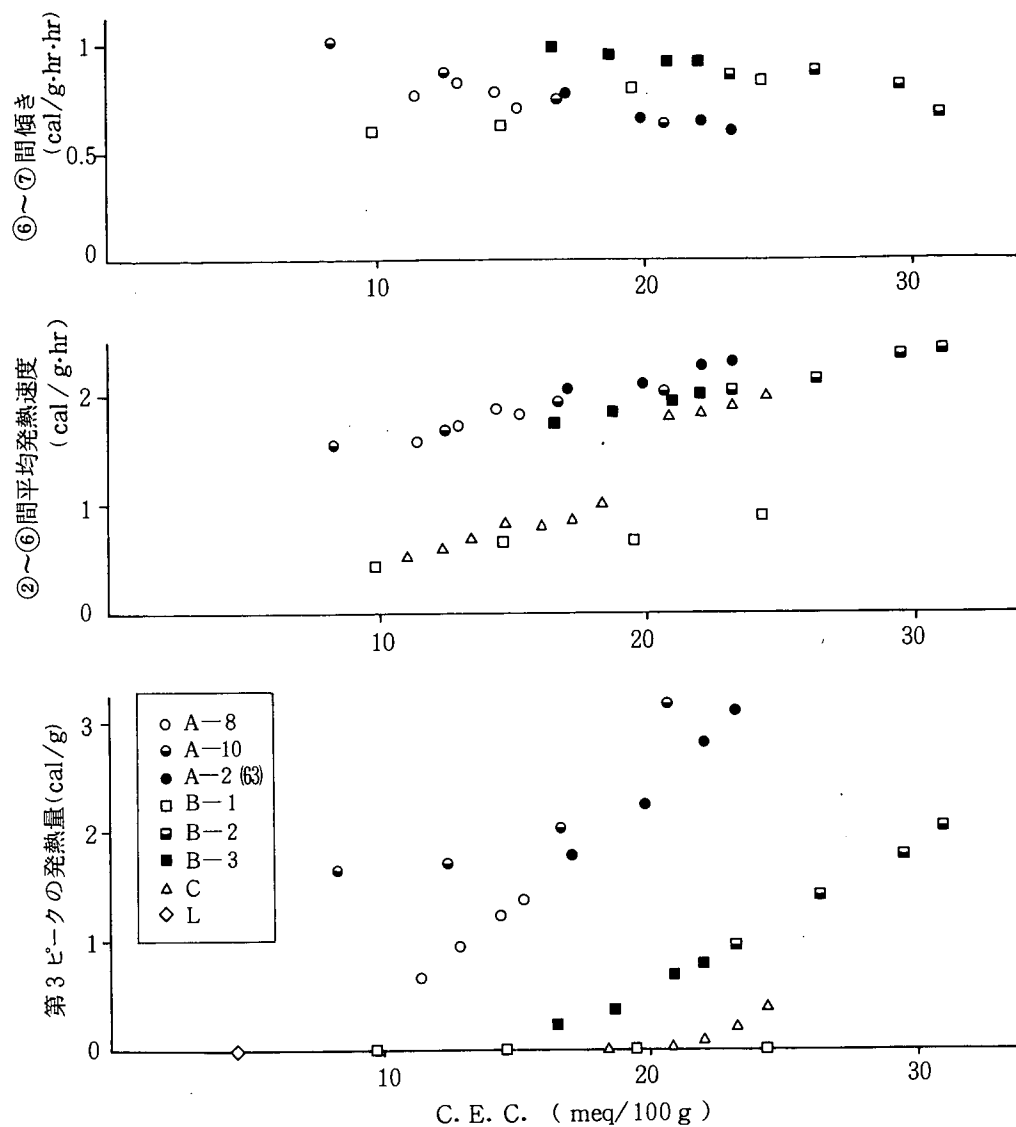


図- 2.9 C. E. Cと水和発熱との関係

間の傾きとの間には明瞭な相関は認められない。C. E. C と②～⑥間の平均発熱速度との間には正の相関が認められるが、傾きは非常に小さい。C. E. C と第3ピークの発熱量との間にはよい正の相関が認められる。しかし、相関関係は骨材毎に異なっており、A-10の系列、A-2 (63) とA-8の系列、B-2とB-3の系列およびCの系列に分かれている。これはそれぞれの骨材でC. E. Cがほぼ同じであっても、交換性陽イオンの濃度が異なっているためであると考えられる。B-1やCで第3ピークの発熱量が小さいのは他に比べ交換性陽イオンのCaが多いためと考えられる。

5. 骨材のイオン交換の影響

1) 試験方法

本実験の骨材は、所定の粒度分布に調整した各骨材を1NのNaCl, KCl, CaCl_2 溶液中に浸漬し、24時間真空にして放置した後、デカンテーションし、0.1Nの硝酸銀溶液を滴下しても白濁しなくなるまでイオン交換水にて洗浄したものを用いた。この骨材を使ってモルタルを作り、凝結硬化速度試験 (ASTM C 403) およびフロー試験 (JIS R 5201) を実施した。

2) 試験結果および考察

(1) 凝結硬化速度

凝結硬化速度試験の結果を図-2.10に示す。どの骨材でもカリウム置換を行った場合、始発時間が最も遅くなる。L骨材では、イオン種の影響はみられず、始発時間はほぼ一定になっているが、A骨材、C骨材およびB-3骨材ではナトリウム置換を行うと早くなり、B-1、B-2骨材では、カルシウム置換を行うと早くなる。

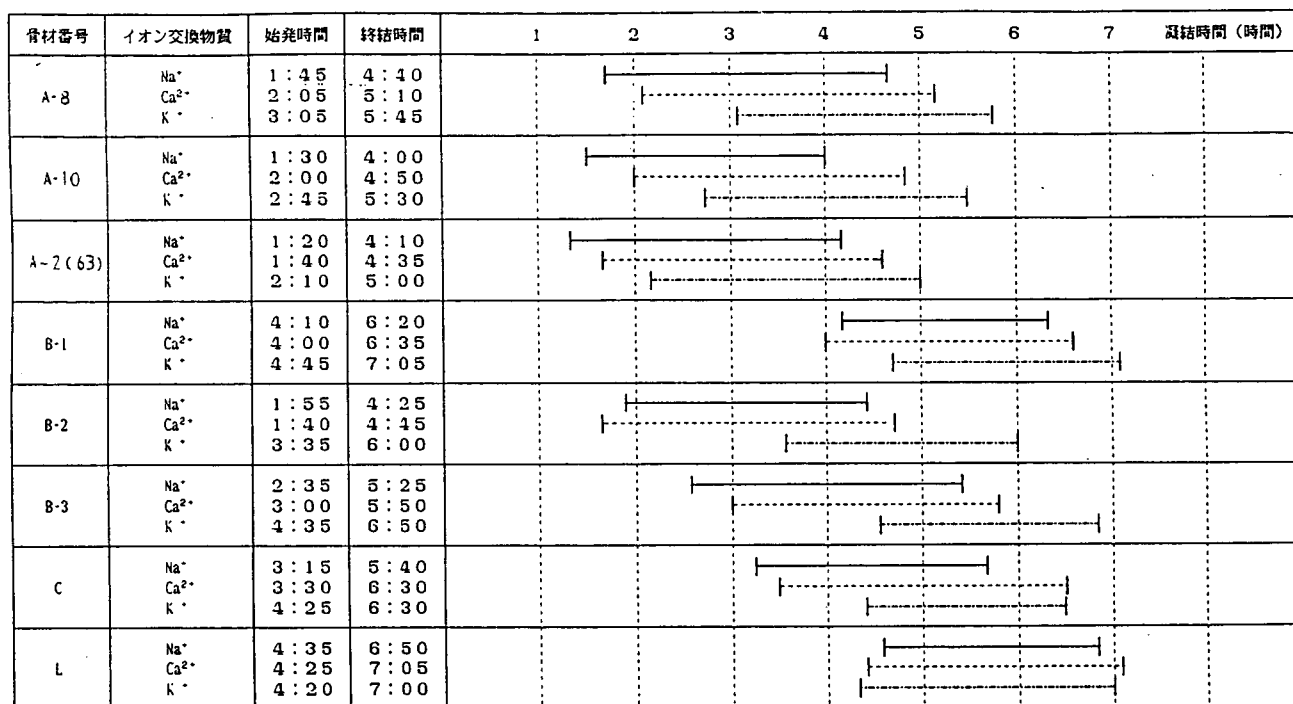


図-2.10 イオン交換を行った骨材で作ったモルタルの凝結時間

(2) フロー値

フロー試験の結果を表-2.15に示す。

表-2.15 イオン交換を行った骨材を用いたモルタルのフロー試験結果

骨 材	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
A - 8	127 × 126	140 × 138	140 × 139
A - 10	121 × 121	138 × 137	145 × 145
A-2 (63)	119 × 118	129 × 123	139 × 138
B - 1	170 × 165	176 × 173	181 × 178
B - 2	151 × 150	155 × 152	149 × 148
B - 3	172 × 170	171 × 169	174 × 170
C	165 × 161	164 × 156	168 × 166
L	197 × 196	208 × 200	196 × 190

単位：mm

6. 若材令期の細孔溶液の組成

1) 試験方法

モルタルの練り混ぜ後、水和発熱曲線のピークより決定した時間毎に細孔溶液を絞り出した。絞り出しには、練り混ぜ後1時間までは窒素ガスによる加圧ろ過法を、それ以上の時間経過の場合にはステンレス製の細孔溶液抽出器を使用した。なお、骨材はA-10、B-2およびLを用いた。

分析は、イオンクロマト法により行った。

また、比重試験は、1 ml のガラス製ピクノメーターを用い、試料は練り混ぜ直後（0分）のモルタルから採取した溶液を用いた。

2) 試験結果と考察

(1) 細孔溶液の組成

分析結果を表-2.16、図-2.11に示す。A-10、B-2骨材ともL骨材と比較すると Na^+ 、 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 OH^- 濃度が低く、経過時間によっては Ca^{2+} 濃度が高くなっている。

(2) 細孔溶液の比重

比重試験の結果を表-2.17に示す。数字の上では差がみられたが、測定精度が0.1のため実際には差があるとはいえない。

表-2.17 細孔溶液の比重

	A - 10	B - 2	L
比 重	1.007	1.005	1.015

表 - 2.16 細孔溶液の組成

A - 10 骨材

時間 (分)	0	3	20	60	82	262	495
pH	12.4	12.4	12.4	12.4	12.5	12.7	12.7
Na ⁺	61.3	67.9	64.8	63.9	71.8	84.8	97.4
K ⁺	65.7	68.3	62.1	53.7	58.6	69.3	75.2
Ca ²⁺	86.8	92.8	91.3	88.3	94.3	106.8	99.8
Mg ²⁺	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
SO ₄ ²⁻	73.3	71.2	60.6	53.3	58.1	47.1	50.6
OH ⁻	35.3	36.5	34.7	34.7	42.9	64.7	70.6
水温 (°C)	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0

B - 2 骨材

時間 (分)	0	2	20	135	382
pH	12.3	12.3	12.3	12.5	12.6
Na ⁺	39.8	40.8	30.9	38.5	40.5
K ⁺	33.5	30.7	19.8	21.9	23.5
Ca ²⁺	98.3	92.8	89.8	108.3	120.8
Mg ⁺	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
SO ₄ ²⁻	59.1	54.1	45.6	33.5	32.1
OH ⁻	27.6	25.9	25.9	45.3	58.2
水温 (°C)	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0

L 骨材

時間 (分)	0	3	20	120	570
pH	12.7	12.7	12.8	12.9	12.9
Na ⁺	116.1	113.5	102.7	132.2	167.9
K ⁺	236.8	236.1	203.6	263.4	289.0
Ca ²⁺	83.8	83.8	86.8	102.3	83.8
Mg ²⁺	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
SO ₄ ²⁻	158.0	137.4	121.8	91.2	86.2
OH ⁻	70.6	76.5	76.5	105.9	111.8
水温 (°C)	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0

(1) A-10骨材

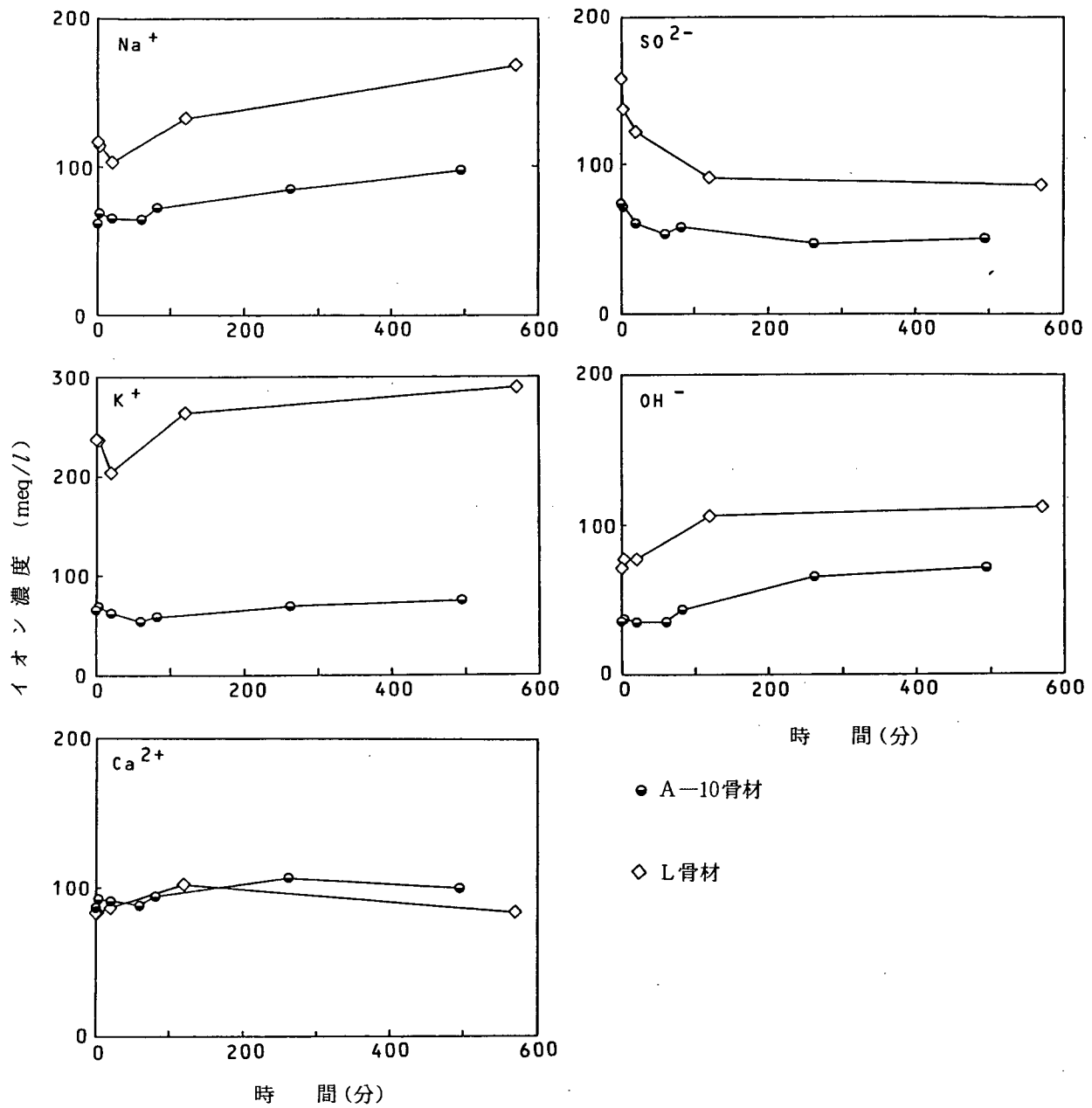


図- 2.11(1) 細孔溶液組成の経時変化

(2) B-2 骨材

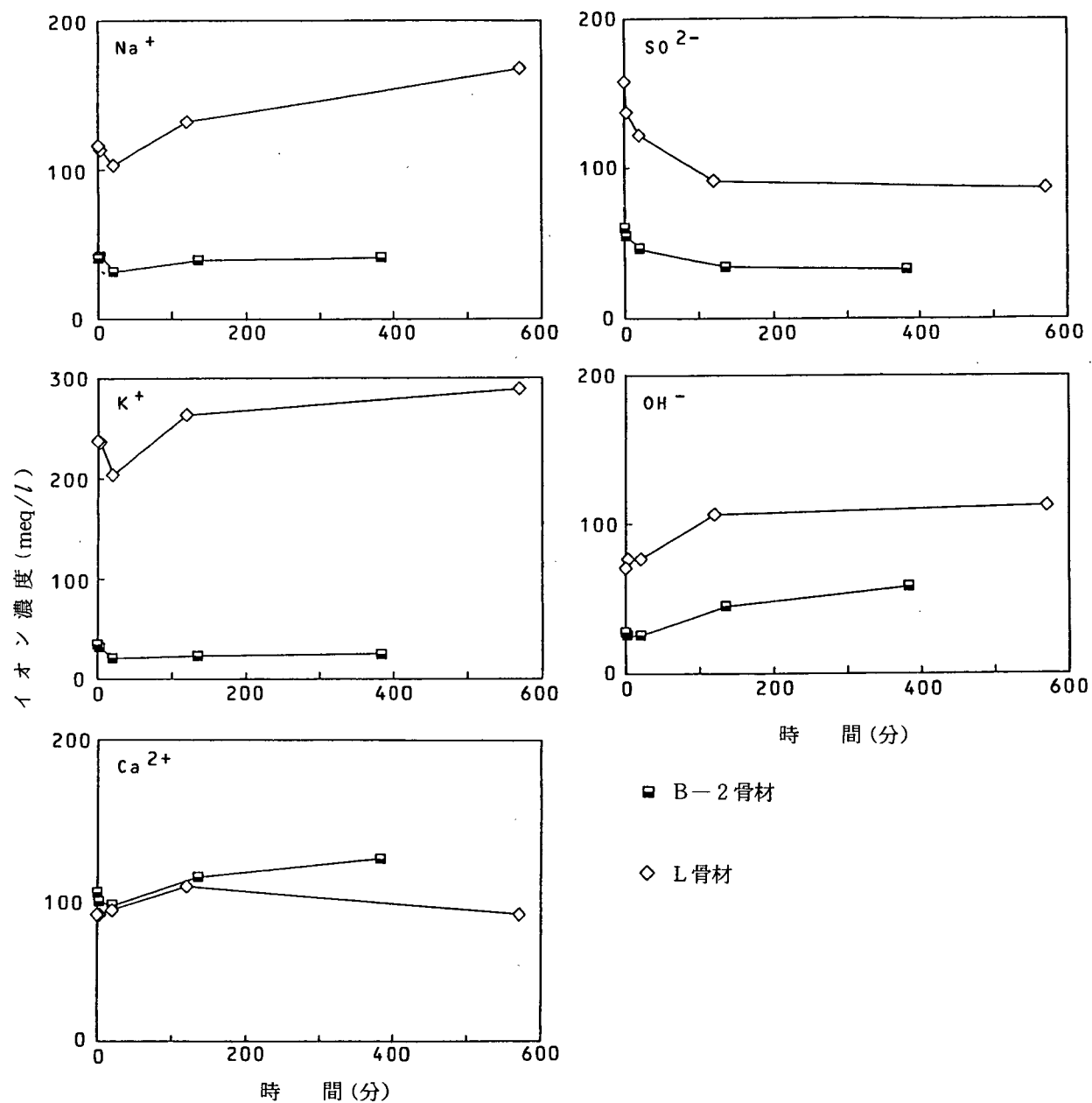


図- 2.11(2) (続き)

第 3 編 モンモリロナイトの定量法の検討



1. はじめに

62年度まではモンモリロナイトの含有量に関して主に C. E. C の値で表現してきた。ここではモンモリロナイトの含有量を定量的に求めるための手段として X 線回折法を取り上げ、X 線回折による定量法がモンモリロナイトの含有量を決定する手段となり得るかどうかについて検討した。

モンモリロナイトの含有量を定量するためには含有量が明らかとなっている試料により検量線を作成し、その検量線と定量を行う試料の面積強度（あるいは回折強度）からモンモリロナイト量を求めることになる。そこではじめに、純粋なモンモリロナイトを用いての検量線の作成について検討した。

鉄道総合技術研究所（桜井ほか，1986）の検討では、面積強度とモンモリロナイト含有量との関係が結晶度によって左右され、検量線の傾きと半価幅との間に負の相関があることが示されている。そこで同様の方法でモンモリロナイトの定量を行った

2. 検量線の作成

純粋なモンモリロナイトとしてはクニミネベントナイト，ワイオミングベントナイト，B 骨材原石山産ベントナイト原石の 3 種類を取り上げた。それぞれについて純粋なモンモリロナイトの含有量を 5%，10%，20% と変化（希釈）させて回折強度および面積強度を求めた。試料の混合割合は表－3.1 に示す通りである。

表－3.1 純粋なモンモリロナイトの混合割合

試 料 名	配 合				
KN-Ca-5%	クニミネベントナイト	5%	石英粉末	70%	シリカゲル 25%
KN-Ca-10%		10%		65%	25%
KN-Ca-20%		20%		55%	25%
WM-Ca-5%	ワイオミングベントナイト	5%	石英粉末	70%	シリカゲル 25%
WM-Ca-10%		10%		65%	25%
WM-Ca-20%		20%		55%	25%
BB-Ca-5%	B ベントナイト原石	5%	石英粉末	70%	シリカゲル 25%
BB-Ca-10%		10%		65%	25%
BB-Ca-20%		20%		55%	25%

試験結果を表－3.2 に示す。モンモリロナイトの含有量と回折強度・面積強度との関係を図示すると図－3.1 のようなほぼ直線関係を示している。

したがってこれらを用いることにより、モンモリロナイト含有骨材の含有量を算出することが可能となる。

そこで、これらの関係を利用して数種類の骨材について含有量を求めた。試料としては表－3.3 に示す A 骨材，B 骨材，C 骨材，I 骨材，B 骨材の標準試料（B 骨材の含有量を検討するために、既にモンモリロナイトの含有量が明らかにされているもの）および上越教育大学・渡辺教授所有の標準試料を使用した。

表- 3.2 純粋なモンモリロナイトの試験結果

試 料	I	W	I W
KN-Ca-20%	16.9	0.6	10.1
KN-Ca-10%	7.1	0.6	4.1
KN-Ca-5%	3.3	0.6	2.0
WM-Ca-20%	9.4	0.7	6.6
WM-Ca-10%	3.6	0.6	2.2
WM-Ca-5%	2.4	0.8	1.9
BB-Ca-20%	5.0	1.0	5.0
BB-Ca-10%	1.9	1.4	2.7
BB-Ca-5%	1.2	1.0	1.2

I : 強度, W : 半価幅, IW : 面積強度

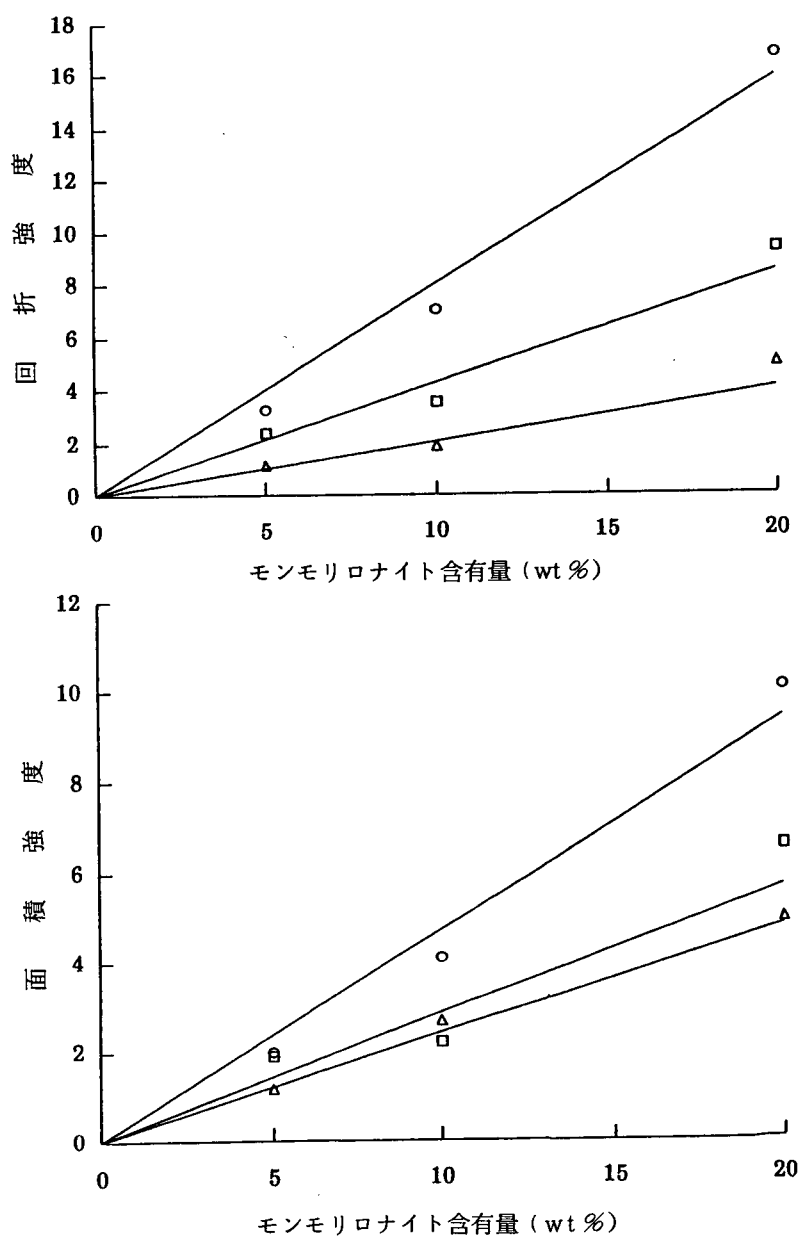


図- 3.1 純粋モンモリロナイトの検量線。丸：クニミネベントナイト，四角：ワイオミングベンナイト，三角：Bベントナイト原石

表- 3.3 未知試料の混合割合

A, A-原石, A-40 mm A-5-25mm, A-砂(75%) A(50%)	A骨材	75%		シリカゲル	25%
		50%	石英粉末 25%	シリカゲル	25%
B(75%) B(50%)	B骨材	75%		シリカゲル	25%
		50%	石英粉末 25%	シリカゲル	25%
BSD-10%(75%)	B標準試料10%	75%		シリカゲル	25%
BSD-15%(75%)	B標準試料15%	75%		シリカゲル	25%
BSD-24%(75%)	B標準試料24%	75%		シリカゲル	25%
BSD-24%(50%)	B標準試料24%	50%	石英粉末 25%	シリカゲル	25%
BSD-30%(75%)	B標準試料30%	75%		シリカゲル	25%
C(75%) C(50%)	C骨材	75%		シリカゲル	25%
	C骨材	50%	石英粉末 25%	シリカゲル	25%
I(75%) I(50%)	I骨材	75%		シリカゲル	25%
	I骨材	50%	石英粉末 25%	シリカゲル	25%
*Dr. Watanabe(75%)	渡辺先生所有標準試料	75%		シリカゲル	25%

各試料は石英粉末およびシリカゲルを混合することにより75%あるいは50%に希釈された状態となっている。

クニミネベントナイト, ワイオミングベントナイトの検量線からの計算式は以下のとおりであり, これにより計算した結果を表- 3.4 に示す。

回折強度から求めた含有量

$$I-\%(\text{KN}): Y = 0.85X - 0.64 \quad \begin{array}{l} 75\%: X = (Y + 0.64)(100/75)/0.85 \\ 50\%: X = (Y + 0.64)(100/50)/0.85 \end{array}$$

面積強度から求めた含有量

$$IW-\%(\text{KN}): Y = 0.50X - 0.40 \quad \begin{array}{l} 75\%: X = (Y + 0.40)(100/75)/0.50 \\ 50\%: X = (Y + 0.40)(100/50)/0.50 \end{array}$$

$$IW-\%(\text{WM}): Y = 0.31X - 0.12 \quad \begin{array}{l} 75\%: X = (Y + 0.12)(100/75)/0.31 \\ 50\%: X = (Y + 0.12)(100/50)/0.31 \end{array}$$

これらの値を比較すると, クニミネベントナイトの検量線から求めた値とワイオミングベントナイトの検量線から求めた値とは大きく異なっており(これについては既に両者の検量線の傾きが異なっていることから当然と考えられる), 標準となる純粋なモンモリロナイトによって求まる含有量には差が生じることがわかる。

次に, 新たに市販の純粋モンモリロナイト(山形県左沢産)を使用して検量線を作成した。検量線の試験結果を表- 3.5 および図- 3.2 に示す。この検量線を使って求めたA骨材のモンモリロナイト含有量を表- 3.6 に示す。これらの試料は, 表- 3.4 のA-40mmおよびA-5-25mmに対応するものであるが, 表

表- 3.4 未知試料の試験結果

試 料	I	W	I W	I%(KN)	IW%(KN)	IW%(WM)
A (75%)	3.9	0.9	3.5	7.1	10.4	15.6
A (50%)	2.1	0.9	1.9	6.4	9.2	13.0
A-原石 (75%)	13.6	0.7	9.5	22.3	26.4	41.4
A-40mm (75%)	13.6	0.7	9.5	22.2	26.4	41.4
A-5-25mm (75%)	13.6	0.7	9.5	22.3	26.4	41.4
A-砂 (75%)	6.1	0.7	4.3	10.6	12.5	19.0
B (75%)	4.3	0.7	3.0	7.7	9.1	13.4
B (50%)	2.7	0.7	1.9	7.9	9.2	13.0
BSD-10% (75%)	5.1	0.7	3.6	9.0	10.7	16.0
BSD-15% (75%)	3.7	0.8	3.0	6.8	9.1	13.4
BSD-24% (75%)	6.9	0.8	5.5	11.8	15.7	24.2
BSD-24% (50%)	4.2	0.8	3.1	11.4	14.0	20.8
BSD-30% (75%)	5.7	0.8	4.6	9.9	13.3	20.3
C (75%)	12.2	0.4	4.9	20.1	14.1	21.6
C (50%)	5.4	0.5	2.7	14.2	12.4	18.2
I (75%)	7.5	0.7	5.3	12.8	15.2	23.3
I (50%)	4.4	0.7	3.1	11.9	14.0	20.8
* Dr. Watanabe (75%)	7.1	0.6	4.3	12.1	12.5	19.0

試料の () 内の%は測定時の希釈率。

*のス멕タイト含有量は14~18%。

- ・ I% (KN) はクニミネの回折強度の検量線から求めたモンモリロナイト含有量。
- ・ IW% (KN) はクニミネの面積強度の検量線から求めたモンモリロナイト含有量。
- ・ IW% (WM) はワイオミングの面積強度の検量線から求めたモンモリロナイト含有量。

表- 3.5 市販の純粋モンモリロナイトの試験結果

	I	W	I・W
モンモリ 5%	2.2	1.0	2.2
モンモリ 10%	4.4	1.1	4.8
モンモリ 20%	5.1	1.2	11.9

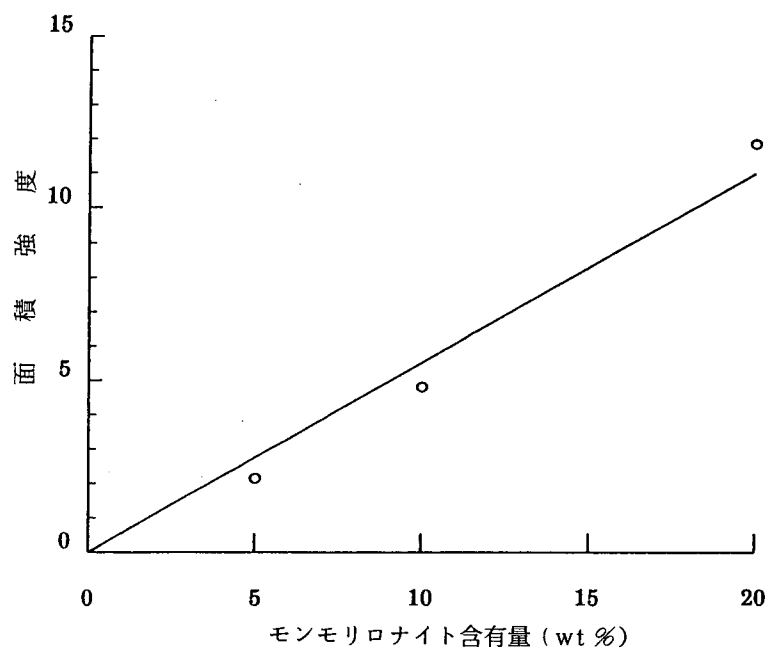


図- 3.2 市販の純粋モンモリロナイトによる検量線

表- 3.6 A 骨材の試験結果と市販純粋モンモリロナイトの
検量線による含有量

試	料	I	W	I・W	I・W(%)
A-5-25'	20mm	5.5	1.1	6.0	15.0
A-40	40mm	4.8	1.1	5.3	13.5
A-5-25	20mm	5.1	1.1	5.6	14.2

— 3.4 の含有量と相違しており、検量線のベースとなるモンモリロナイトの種類により含有量の推定値が変化してしまうことがわかる。以上のように検量線の作成には未知試料に適した純粋なモンモリロナイトの選択をする必要があるといえる。

さらに、A 骨材および B 骨材について現地調査時に採取したサンプルについての X 線回折試験による回折強度・面積強度測定結果よりモンモリロナイト含有量を定量した。その結果を表- 3.7 に示す。ところで、ここで求めた値と C. E. C との関係を図示すると図- 3.3 のようになる。X 線回折による C. E. C とはバラツキはあるものの直接関係とみなすことができる。したがって、モンモリロナイト含有量と C. E. C が直線関係にあり、また、C. E. C と凝結開始時間とがある程度相関があることを考え合わせると、X 線回折による定量は有効な手段となり得ることがわかる。

3. 検量線の傾きと半価幅との関係

次に検量線の傾きと半価幅との関係について検討した。図- 3.1 のモンモリロナイト含有量と面積強度との関係を原点を通る 1 次直線に回帰して傾きを求めた。回帰式は以下の通りである。

クニミネベントナイト： $Y = 0.504 X$

ワイオミングベントナイト： $Y = 0.329 X$

表- 3.7 現地採取したA骨材とB骨材の試験結果とモンモリロナイト含有量

	I	W	I・W	(I)%	(I・W)%
クニミネ Ca 5%	3.7	2.7	10.0		
10%	7.8	2.9	22.6		
20%	20.4	2.6	53.0		
A-1 Ca (75%)	11.2	2.6	29.1	16.0	16.0
A-2 Ca (75%)	11.5	2.5	28.7	16.4	15.8
A-3 Ca (75%)	3.9	3.1	11.7	7.1	7.6
A-4 Ca (75%)	10.3	2.4	24.7	14.9	13.9
A-5 Ca (75%)	9.9	2.8	27.7	14.4	15.3
A-6 Ca (75%)	5.5	2.6	14.3	9.1	8.8
A-7 Ca (75%)	6.9	2.9	20.0	10.8	11.6
B-1 Ca (75%)	4.9	2.3	11.3	8.4	7.4
B-2 Ca (75%)	9.8	2.45	24.0	14.3	13.5
B-3 Ca (75%)	11.0	2.5	27.5	15.8	15.2

$$(I)\% = (I + 2) (100 / 75) / 1.1$$

$$(I \cdot W)\% = (I \cdot W + 4) (100 / 75) / 2.76$$

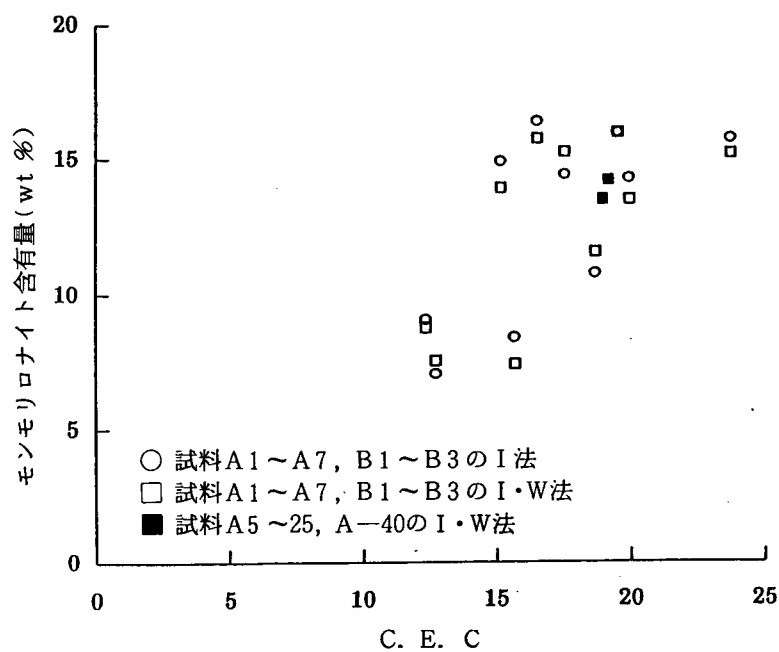


図- 3.3 X線回折によるモンモリロナイト含有量とC. E. Cとの関係

Bベントナイト : $Y = 0.249 X$

傾きと半価幅との関係を見ると、クニミネベントナイト、ワイオミングベントナイト、Bベントナイト原石の順にそれぞれ傾きが0.504, 0.329, 0.249 となり、半価幅は、0.6, 0.7, 1.1となる。図-3.4にこれらの関係を示した。傾きと半価幅とは負の関係がみられる。

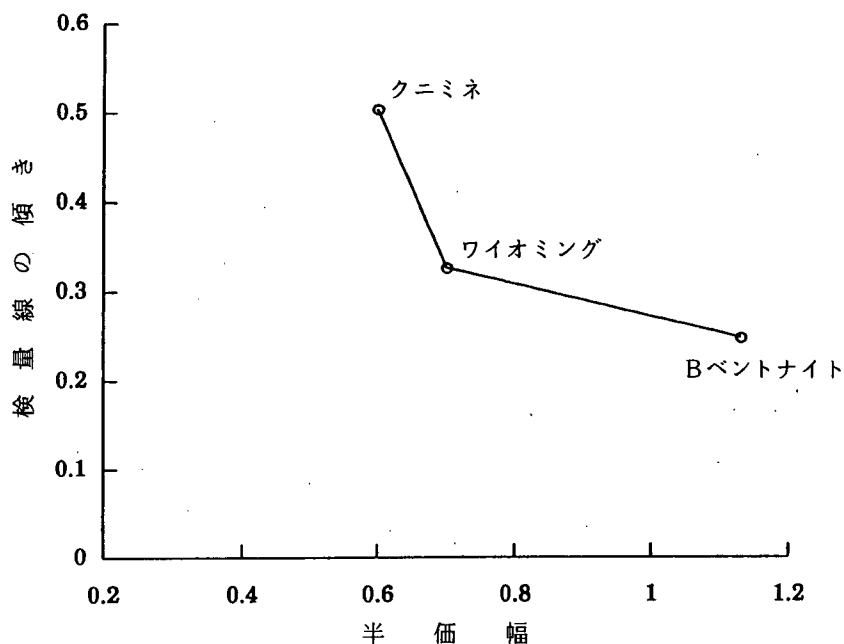


図-3.4 半価幅と検量線の傾きとの関係

表-3.8 クニミネベントナイト、ワイオミングベントナイトおよび検量線の傾き0.3から求めたA、B骨材のモンモリロナイト含有量

試料	面積強度 クニミネ ベントナイト	面積強度 ワイオミング ベントナイト	半価幅, 傾の関係 $Y = 0.3 X$
A (75%)	10.4	15.6	15.6
A (50%)	9.2	13.0	12.7
A-原石 (75%)	26.4	41.4	42.2
A-40mm (75%)	26.4	41.4	42.2
A-5-25mm (75%)	26.4	41.4	42.2
A-砂 (75%)	12.5	19.0	19.1
B (75%)	9.1	13.4	13.3
B (50%)	9.2	13.0	12.7
BSD-10% (75%)	10.7	16.0	16.0
BSD-15% (75%)	9.1	13.4	13.3
BSD-24% (75%)	15.7	24.2	24.4
BSD-24% (50%)	14.0	20.8	20.7
BSD-30% (75%)	13.3	20.3	20.4

A, B骨材の半価幅は0.7～0.9であるので、図－3.4から判断すると傾きはおよそ0.30である。そこで検量線を $Y = 0.3 X$ とすると含有量Xは以下の計算から算出される。結果は、表－3.8に示した。

$$75\% : X = Y (100/75) / 0.3$$

$$50\% : X = Y (100/50) / 0.3$$

結果は当然の事ながら、A, B骨材の半価幅がほぼ同一なワイオミングベントナイトの検量線から求めた結果とほぼ一致している。

4. 試料の粉碎時間の影響

検量線の傾きは半価幅によって異なっていることがわかった。この半価幅は結晶の粒径や結晶度によって異なるとされている。そこでこのことを確認するために試料を粉碎時間を変えて粉碎し、粒径や結晶度に変化を与えてX線回折を行った。

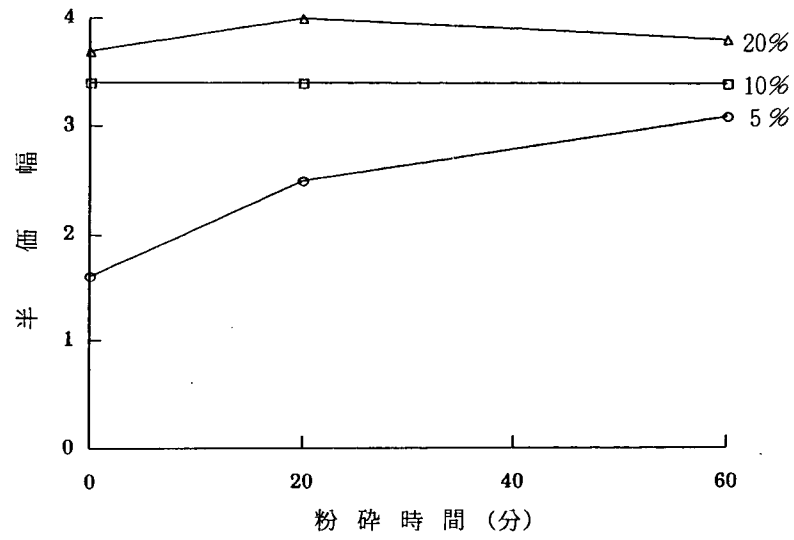
表－3.9に粉碎時間毎のX線試験結果を示す。

図－3.5は粉碎時間による半価幅の変化を示したものである。図のようにクニミネベントナイトの5％では、時間の経過に伴って半価幅も大きくなっているが、その他のものでは、明瞭な変化は認められない。このため、粉碎時間と面積強度の関係（図－3.6）や粉碎時間による検量線の変化にも明瞭な相関は認められなかった。これは粉碎時間が短かったためと考えられる。今後の検討が必要である。

表－3.9 粉碎時間とI, W, I・Wとの関係

試料	粉碎時間	モンモリ含有量	I	W	I・W
クニミネCa	粉碎 0	5 %	1.0	1.6	1.6
		10 %	2.3	3.4	7.8
		20 %	5.1	3.7	18.9
	粉碎 20分	5 %	1.4	2.5	3.5
		10 %	2.4	3.4	8.2
		20 %	4.9	4.0	19.6
	粉碎 1 h	5 %	1.5	3.1	4.6
		10 %	2.2	3.4	7.5
		20 %	5.4	3.8	20.5
BベントナイトCa	粉碎 0	5 %	0.7	0.7	0.5
		10 %	0.9	1.4	1.3
		20 %	1.6	2.2	3.5
	粉碎 20分	5 %	0.4	0.7	0.3
		10 %	1.1	0.9	1.0
		20 %	1.6	2.2	3.5
	粉碎 1 h	5 %	—	—	—
		10 %	1.0	1.1	1.1
		20 %	1.6	2.3	3.7

1) クニミネベントナイト



2) B-ベントナイト

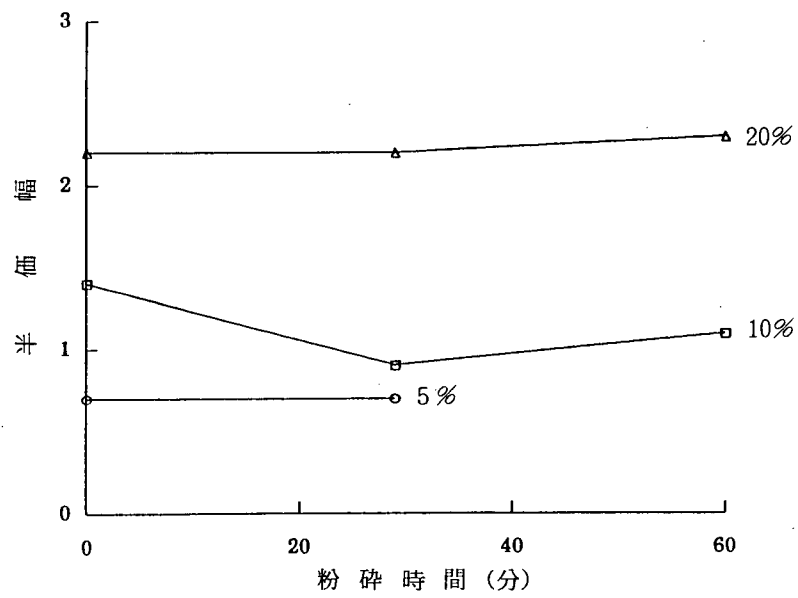
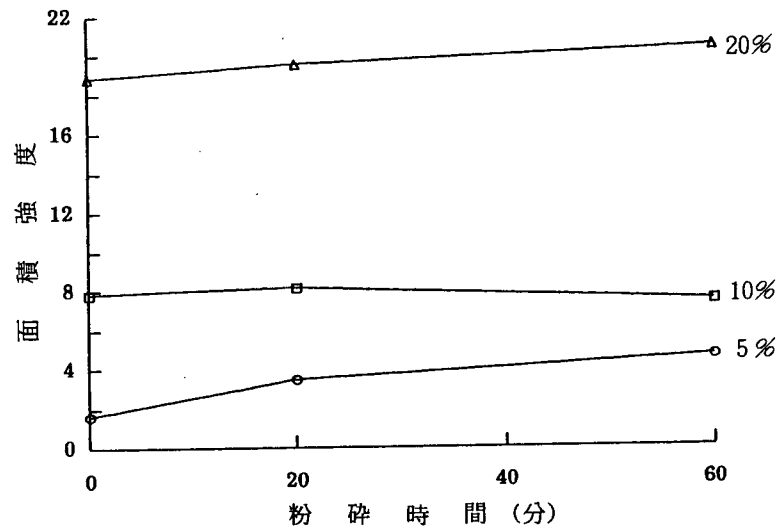


図- 3.5 粉碎時間による半価幅の変化

1) クニミネベントナイト



2) Bベントナイト

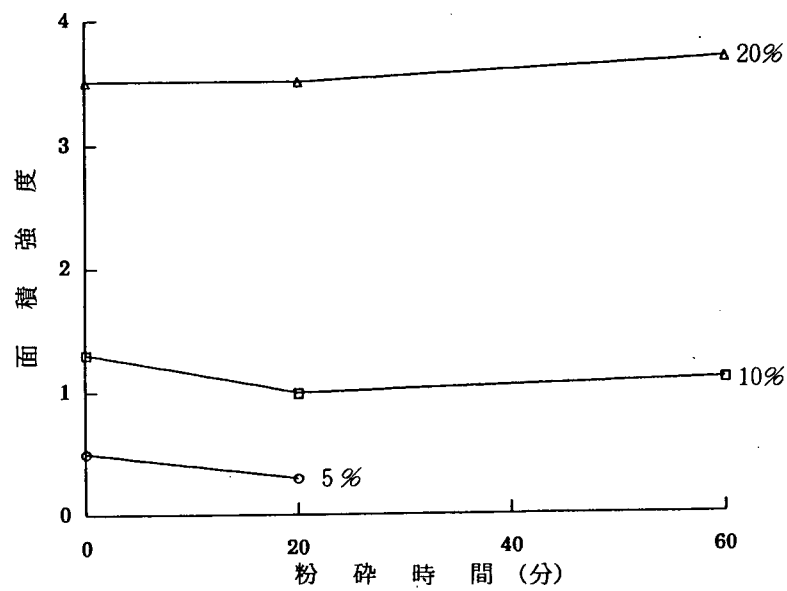


図-3.6 粉碎時間による面積強度の変化

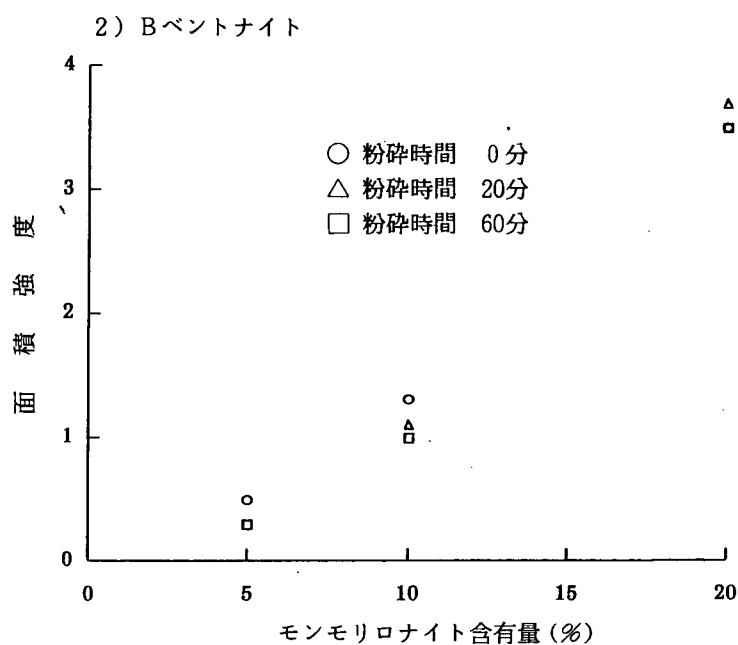
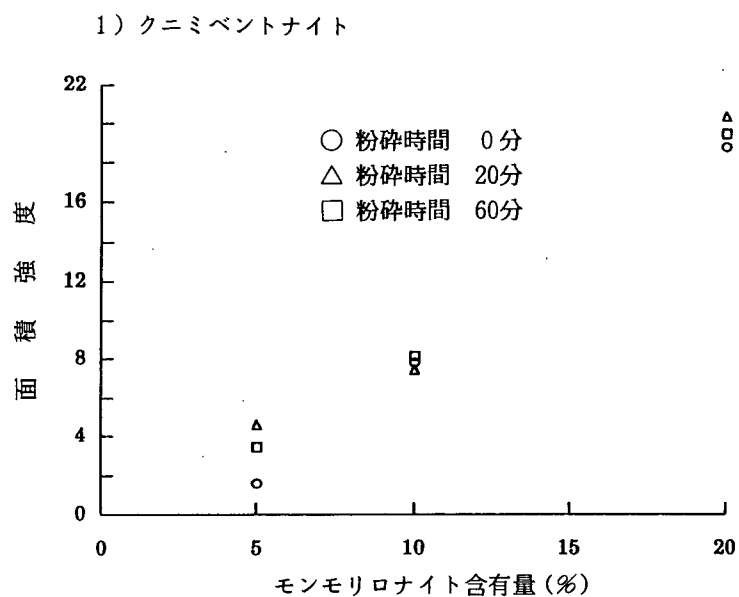


図- 3.7 粉砕時間による検量線の変化

参 考 文 献

市川 慧ほか15名 (1987) 粘土鉱物含有骨材を使用したコンクリートの劣化に関する共同研究報告書. 共同研究報告書, 4, 86p. 土木研究所.

桜井 孝・立松英信・水野 清 (1986) 膨潤性粘土鉱物の簡易定量法の研究. 鉄道技術研究報告, 1312, 27p.

あ　と　が　き

本報告では昭和62年度および63年度の試験結果を述べた。試験結果の記述では詳細な考察は加えずに試験結果の表示と簡単な説明にとどめた。試験結果をみてわかるように、モンモリロナイトとモルタル細孔溶液との間でイオン交換が行われ、それによってセメントの水和反応が通常の場合と異なっていると考えられる。このような反応機構に関する詳細な考察やモンモリロナイト含有骨材の使用方法的提案等については続編で行う予定である。

本研究の遂行にあたり上越教育大学自然系の渡辺　隆教授にはモンモリロナイトに関して種々御教示いただき、また、モンモリロナイトの試料を御恵与いただいた。ここに記して厚く御礼申し上げます。

粘土鉱物含有骨材を使用した
コンクリートの劣化に関する
共同研究報告書（その2）

土木研究所共同研究報告書第38号
平成2年3月（1990）
市川・中村・脇坂・長沢・前田・
佐々木・根岸・田中・三谷・
永沢・林・松岡・宇治・藤原

要旨

粘土鉱物の1つであるモンモリロナイトを含有した骨材を使用したコンクリートの劣化現象を把握すること、モンモリロナイト含有骨材のコンクリート用骨材としての良否の判定法の開発、骨材として使用する場合の対策法の開発などを目的に種々の試験を行った。その結果、モンモリロナイト含有骨材をモルタルおよびコンクリートに使用すると、凝結が早くなるのは、モンモリロナイトとモルタル細孔溶液との間でイオン交換が行われているためであることが示唆された。

キーワード：粘土鉱物・モンモリロナイト・モルタル・コンクリート・骨材

郵便はがき

41円切手
をはって
下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

地質化学部地質研究室 行

No. 009

No.

配布先氏名

配布先住所



土木研究所共同研究報告書第38号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏名

印