

分置

I
SJ 230 78-02

配布限定

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。

01.11.30 [技術情報室]

高速増殖炉(F.B.R.)遮蔽用 原型炉用遮蔽体モックアップ試験(I)

(受託研究)

1978年7月

電源開発株式会社

Electric Power Development Co., Ltd.

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

Mock-up Test for Prototype Reactor Shielding (I)

Abstract

This report describes the results on the thermal properties of two kinds of serpentines and chemical analysis of serpentines and cement, which was subsequently carried out after the thermal performance test on serpentines concrete for Fast Breeder Reactor Shielding.

Two kinds of serpentines used for this test were Miyamori product in Iwate prefecture and Ube product in Yamaguchi Prefecture.

The binder of concrete was normal portland cement. Unit cement weight was 400 kg/m^3 , water cement ratio ranged from 0.50 to 0.52 and sand-ratio was 0.53.

The aggregate crushing value according to British Standard Institution (B.S.812-1975) was tested after 90°C , 110°C , 300°C and 600°C heating temperatures. The concrete test pieces were exposed to high temperatures of 110°C , 300°C and 600°C for 7 days and with the heating rate of 50°C per hour.

The fundamental results obtained throughout the test are as follows.

- (1) All the serpentines contained less percentage of Uranium and thorium than those of cement.
- (2) Aggregate crushing value before heating were different depending on the source. Aggregate crushing value fairly increase by heating from 110°C to 300°C .

Aggregate crushing value largely decreased by the heating more than 600°C.

- (3) The properties of the two kinds of serpentines concrete before heating did not show the difference depending on those sources. The properties of those concrete after heating of 110°C, 300°C and 600°C showed the source dependent difference. After 300°C heating, the strength slightly decreased, while differences of length and weight largely decreased in case of the concrete used unsound aggregate, and the concrete with more crystalline water in serpentine showed little decrease about the dynamic modulus of elasticity. While after 600°C heating, the properties of all the concrete were outstandingly deteriorated. When the concrete are left in the atmosphere for long time after heating, all the concrete exposed to the temperature of 300°C did not collapse, but those of 600°C collapsed into smaller fragments.

July, 1978

Takanobu Shiozaki	'77 Dec. ~ '78 Mar.
Yutaka Hozumi	'78 Apr. ~
Akitaka Hiratsuka	'77 Dec. ~
Minoru Yasuda	'77 Dec. ~
Katsuo Ishimi	'77 Dec. ~ '78 Apr.
Kiyoshi Okawa	'77 Dec. ~

The work performed under the contracts between Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporations and Electric Power Development Co., Ltd.

原型炉用遮蔽体モックアップ試験 (I)

要 旨

本研究は、高速増殖炉 (F.B.R)用遮蔽体に供用する蛇紋岩コンクリートの一連の開発研究の一環として実施したもので、「蛇紋岩の産地別耐熱特性」を骨材およびコンクリートから検討し、併せて「セメントおよび蛇紋岩の微量化学成分」の分析も行った。試験した蛇紋岩は岩手県宮守産および山口県宇部産のもので、先に試験した埼玉県越生産の結果も含め検討・考察した。

試験検討した項目は、蛇紋岩そのものの耐熱破碎特性およびコンクリートとした場合の耐熱諸特性 (圧縮強度, 引張強度, 動弾性係数, 長さ変化, 重量変化) ならびに普通ポルトランドセメントおよび蛇紋岩の一般成分と微量成分の分析である。試験における加熱温度は、骨材の破碎試験では 90, 110, 300 および 600℃, コンクリートの諸試験では 110, 300 および 600℃ とし, その加熱速度は 50℃/H, 加熱期間は 1 週間とした。なお, コンクリートには普通ポルトランドセメントを用い, その配合はセメント量が 400Kg/m³, W/C が 0.50~0.52, S/A が 0.53 であった。

試験結果は大略以下のとおりであった。

- (1) 蛇紋岩から核分裂生成物 (FP) 検討対象成分となろうウラン U およびトリウム Th が微量検出されたが, セメントから検出された量に比べいずれの骨材も著しく少なかった。
- (2) 各種蛇紋岩の加熱前の破碎抵抗値は, 産地により可成り異なったが, 加熱後の破碎抵抗は 110~300℃ の加熱で相当増加し, 600℃ 加熱で著しく低下する現象が共通してみられた。また, 結晶水の多いものほどその増加割合が大きかった。
- (3) 各種蛇紋岩コンクリートの加熱前の諸物性は, 一部の項目を除けばさほど骨材産地の差はみられないが, 加熱後の物性は加熱温度によっては, 可成り産地の差がみられた。すなわち, 300℃ 加熱においては, ルーズな骨材のときほど強度低下が少ないが, 長さ変化および重量変化が大きい傾向を示し, 結晶水が多いとき動弾性係数の減少が小さかった。一方, 600℃ 加熱においては, コンクリート諸物性の劣化が著しく, 産地の差も消失した。また, 加熱したコンクリートを大気中に長期間保存すると, 300℃ 加熱したものはいずれのコンクリートとも安定であったが, 600℃ 加熱したものは湿分の吸収によっていずれのコンクリートも崩壊した。

1978 年 7 月

汐 崎 考 允	1977 年 12 月 ~ 1978 年 3 月
穂 積 豊	1978 年 4 月 ~ 1978 年 7 月
平 塚 昭 隆	1977 年 12 月 ~ 1978 年 7 月
安 田 稔	1977 年 12 月 ~ 1978 年 7 月
石 見 勝 雄	1977 年 12 月 ~ 1978 年 4 月
大 川 清	1977 年 12 月 ~ 1978 年 7 月

本報告書は電源開発株式会社が動力炉核燃料開発事業団からの委託により行った研究の成果である。

目 次

	頁
1. ま え が き	1
2. 使 用 材 料	2
(1) セ メ ン ト	2
(2) 骨 材	3
3. 試 験 項 目 お よ び そ の 試 験 方 法	4
(1) セメントおよび蛇紋岩の化学分析項目および試験方法	4
(2) 蛇紋岩の耐熱破砕抵抗試験方法	5
(3) コンクリートの耐熱試験項目とその試験方法	5
a) 試験に用いたコンクリートの諸性質	5
b) コンクリートの養生および乾燥加熱方法	7
c) コンクリートの耐熱試験項目とその試験方法	8
4. 試 験 結 果	9
(1) セメントおよび蛇紋岩の化学成分	9
a) セ メ ン ト	10
b) 蛇 紋 岩	10
(2) 各種蛇紋岩の耐熱破砕抵抗	10
a) 外 観 一 般	10
b) 破 砕 抵 抗	10
(3) 各種蛇紋岩コンクリートの耐熱諸特性	11
a) 外 観 一 般	11
b) 圧 縮 強 度	11
c) 引 張 強 度	14
d) 動 弾 性 係 数	16
e) 長 さ 変 化	18
f) 重 量 変 化	20
5. 検 討 お よ び 考 察	22
(1) セメントおよび蛇紋岩の化学成分	22
(2) 各種蛇紋岩の耐熱破砕抵抗	22
(3) 各種蛇紋岩コンクリートの耐熱諸特性	23
6. む す び	27

添 付 写 真

写真-1. 加熱前後の蛇紋岩の色状 29
写真-2. 300 および 700℃加熱コンクリートの外観 29

参 考 文 献

1) ~ 9) 30

添 付 表

付表-1. 試験に用いた蛇紋岩の埋蔵量および採取状況 31

1. ま え が き

これまで、高速増殖炉の中性子遮蔽に効果的な蛇紋岩の物性および蛇紋岩コンクリートの耐熱特性について一連の実験的研究を行って来た。すなわち、各地に産する蛇紋岩の調査試験、蛇紋岩と砂岩とのコンクリートによる耐熱比較実験、各種セメントを用いた蛇紋岩コンクリートの長期高温加熱実験ならびに蛇紋岩コンクリートに対する長期熱サイクル、加熱速度、湿分状態、超高温等の影響に関する諸実験である。

これらの実験的研究により、我国に産する蛇紋岩の基本的物性および代表的蛇紋岩と考えられる埼玉県越生産の蛇紋岩コンクリートの耐熱特性はほぼ把握することができた。

そこで、今回はモックアップ試験として、蛇紋岩のローカル特性がコンクリートの耐熱特性に及ぼす影響を把握するため、各地に産する蛇紋岩の中から2種抽出し、骨材の耐熱破砕抵抗およびそのコンクリートの耐熱諸物性を求め、先に求めた越生産の試験結果と合せ検討・考察した。また、使用したセメントおよび蛇紋岩について、化学分析を行い、FP対象成分の有無などの検討も行った。

なお、末尾に用いた蛇紋岩の埋蔵量等の調査結果を添付した。

2. 使用材料

(1) セメント

本研究は前回の研究結果との対比検討を行うため、使用したセメントは前回と同様に日本セメント(株)の普通ポルトランドセメントとした。そのセメントの化学的性質および物理的性質は表-1および表-2の項目Iに示すとおりで、項目II~IIIは前回用いたセメントの性質である。

なお、普通ポルトランドセメントを用いた経緯は、先に実施した研究において他のセメントより好ましい結果が得られたためである。

表-1 セメントの化学成分

(単位：%)

項目	強熱減量	不溶残分	二酸化ケイ素	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	三酸化う	計
	(ig loss)	(in sol)	(SiO ₂)	(Al ₂ O ₃)	(Fe ₂ O ₃)	(CaO)	(MgO)	(SO ₃)	
I	0.4	0.2	22.2	5.2	3.2	64.7	1.2	2.1	99.20
II	0.6	0.3	22.2	5.0	3.0	64.2	1.3	2.4	98.73
III	0.7	0.2	22.0	5.4	3.0	64.1	1.1	2.1	98.60

表-2 セメントの物理的性質

項目	比重	粉末度 (ブレン 比表面積 cm ² /g)	凝 結					安定性 (パット 浸水法)	フロー値 (mm)
			室温 (°C)	湿度 (%)	水量 (%)	始発 (時-分)	終結 (時-分)		
I	3.16	3,160	20.0	91	28.0	2-32	3-57	良	250
II	3.15	3,090	19.0	90	27.5	2-29	4-07	良	248
III	3.15	3,350	20.9	96	26.5	3-00	4-05	良	247

項目	曲げ強さ (Kg/cm ²)			圧縮強さ (Kg/cm ²)		
	3日	7日	28日	3日	7日	28日
I	31	44	66	139	231	402
II	32.9	47.5	74.1	135	222	404
III	30.7	45.0	66.7	127	216	401

(2) 骨 材

コンクリートに用いた蛇紋岩は、先に行った調査試験の結果から、結晶水の含有量およびローカル性ならびにコンクリート適性などを勘案して、岩手県宮守産および山口県宇部産とした。なお、蛇紋岩はジョークラッシュャおよびロッドミルで碎石・砕砂として用いた。

これら蛇紋岩骨材の物理的性質は先に用いた越生産と共に表-3に示す。すなわち、骨材の

表-3 骨材の物理的性質

骨材の種類	粗 骨 材				細 骨 材			強熱減量 (%)
	比 重	吸 水 量 (%)	安 定 性 (%)	すりへり 減 量 (%)	比 重	吸 水 量 (%)	安 定 性 (%)	
宮 守 産	2.61	2.05	6.8	13.4	2.61	2.05	7.5	8.2
宇 部 産	2.55	2.64	13.4	20.1	2.54	2.00	13.4	14.3
越 生 産 (I)	2.62	1.14	7.0	14.2	2.62	1.39	6.2	16.0
越 生 産 (II)	2.63	1.14	8.0	15.8	2.62	1.16	6.6	15.3

結晶水は強熱減量(110~800℃)から見ると越生産および宇部産が多く、宮守産は可成り少ない。コンクリート骨材としての適性は物理的諸性質から見ると宮守産および越生産が可成りタフで優れており、宇部産はルーズであり好ましいものではない。なお、コンクリートに用いたこれら骨材の粒度は表-4に示すとおりで、ほぼ標準的である。

表-4 コンクリートに用いた骨材の粒度

(単位：%)

骨材の種類	粗 骨 材		細 骨 材						粗 粒 率
	20~10	10~5	5~2.5	2.5~1.2	1.2~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15以下	
宮 守 産	60	40	11	23	27	19	12	8	2.77
宇 部 産	60	40	10	27	27	17	11	8	2.71
越 生 産 (I)	60	40	10	23	28	17	12	10	2.72
越 生 産 (II)	60	40	6	22	29	19	14	10	2.57

化学分析に用いた蛇紋岩は、原石山全体を代表するようにサンプリングしたもので、コンクリートに用いたものと物性値は必ずしも合致しないと考えられる。

3. 試験項目およびその試験方法

(1) セメントおよび蛇紋岩の化学分析試験方法

この分析試験は日本コンサルタント㈱に依頼して実施したもので、分析項目およびその分析方法は表-5および表-6に示すとおりであり、一般化学成分のほか、微量成分の検出も合せ行った。なお、蛇紋岩は乳鉢などにより微粉末にして分析試料とした。

表-5 セメントの分析方法

分類	分析項目	分析方法
一般分析	1 強熱減量 igloss	JIS R 5202 ボルトランドセメントの化学分析方法
	2 不溶残分 insol	"
	3 二酸化けい素 SiO ₂	"
	4 酸化アルミニウム Al ₂ O ₃	"
	5 酸化第一鉄 FeO	JIS M 8213 鉄鉱石中の酸化第一鉄の定量方法
	6 酸化第二鉄 Fe ₂ O ₃	JIS R 5202 ボルトランドセメントの化学分析方法
	7 酸化カルシウム CaO	"
	8 酸化マグネシウム MgO	"
	9 二酸化いおう SO ₂	JIS R 5202 の 6.10 項硫化物いおうの定量方法に準じた方法
	10 三酸化いおう SO ₃	JIS R 5202 ボルトランドセメントの化学分析方法
	11 酸化ナトリウム Na ₂ O	"
	12 酸化カリウム K ₂ O	"
	13 吸着水 H ₂ O ⁽⁻⁾	試料を 110℃ で乾燥した場合の減量を吸着水とした
微量分析	14 鉛 Pb	セメント協会標準試験方法 CAJSI-51 セメント及びセメント原料中の微量成分の定量方法
	15 亜鉛 Zn	"
	16 銅 Cu	"
	17 砒素 As	"
	18 マンガン Mn	セメント協会標準試験方法 CAJSI-43 セメントおよびダスト中のマンガンの定量方法
	19 コバルト Co	" CAJSI-51 に準じた方法により定量した
	20 カドミウム Cd	" " セメント及びセメント原料中の微量成分の定量方法
	21 塩素 Cl	セメント協会化学専門委員会の硬化コンクリート中の塩素の定量方法
	22 酸化チタン TiO ₂	過酸化水素吸光光度法による定量方法
	23 酸化ニッケル NiO	セメント協会標準試験方法 CAJSI-51 に準じた方法により定量した
	24 クロム Cr	" CAJSI-51 セメント及びセメント原料中の微量成分の定量方法
	25 六価クロム Cr ⁺⁶	" "
	26 ふっ素 F	日本セメント㈱水熱分解-イオンメータ直接測定によるふっ素の定量方法
	27 全水銀 T.Hg	セメント協会標準試験方法 CAJSI-48 セメント及びダスト中の水銀の定量方法
28 りん P	JIS M 8850 石灰石の化学分析方法による五酸化りん定量方法から換算した方法	
29 ウラン U	国立地質調査所の方法	
30 ジルコニウム Zr	ケルセチン吸光光度法	
31 トリウム Th	国立地質調査所の方法	
32 ほう素 B	ASTM C 169-75 のマニット法による B ₂ C ₃ の定量方法から換算した定量方法	

表 - 6 蛇紋岩の分析方法

分類	分析項目	分 析 方 法
一般分析	1 強熱減量 igloss	セメント協会標準試験方法 CAJ SI-12 けい酸質原料の化学分析方法
	2 二酸化けい素 SiO ₂	"
	3 酸化アルミニウム Al ₂ O ₃	"
	4 酸化第一鉄 FeO	JIS M 8213 鉄鉱石中の酸化第一鉄の定量方法
	5 酸化第二鉄 Fe ₂ O ₃	セメント協会標準試験方法 CAJ SI-12 けい酸質原料の化学分析方法
	6 酸化カルシウム CaO	"
	7 酸化マグネシウム MgO	"
	8 二酸化いおう SO ₂	JIS R 5202 の 6.10 項 硫化物いおうの定量方法に準じた方法
	9 三酸化いおう SO ₃	けい酸塩試料中の硫酸塩の定量方法による三酸化いおうの定量
	10 酸化ナトリウム Na ₂ O	セメント協会標準試験方法 CAJ SI-12 けい酸質原料の化学分析方法
	11 酸化カリウム K ₂ O	"
	12 吸着水 H ₂ O ⁽⁻⁾	試料を 110℃ で乾燥した場合の減量を吸着水とした
	13 結晶水 H ₂ O ⁽⁺⁾	igloss 多から H ₂ O ⁽⁻⁾ 多を差引いたものを結晶水多とした
微量分析	14 鉛 Pb	セメント協会標準試験方法 CAJ SI-51 セメント及びセメント原料中の微量成分の定量方法
	15 亜鉛 Zn	"
	16 銅 Cu	"
	17 ひ素 As	"
	18 マンガン Mn	" CAJ SI-43 セメントおよびダスト中のマンガンの定量方法
	19 コバルト Co	" CAJ SI-51 に準じた方法により定量した
	20 カドミウム Cd	" " セメント及びセメント原料中の微量成分の定量方法
	21 塩素 Cl	セメント協会化学専門委員会の硬化コンクリート中の塩素の定量方法
	22 酸化チタン TiO ₂	過酸化水素吸光光度法による定量方法
	23 酸化ニッケル NiO	セメント協会標準試験方法 CAJ SI-51 に準じた方法により定量した
	24 クロム Cr	" CAJ SI-51 セメント及びセメント原料中の微量成分の定量方法
	25 六価クロム Cr ⁺⁶	"
	26 ふっ素 F	日本セメント(株)水熱分解-イオンメータ直接測定によるふっ素の定量方法
	27 全水銀 T-Hg	セメント協会標準試験方法 CAJ SI-48 セメント及びダスト中の水銀の定量方法
	28 りん P	JIS M 8850 石灰石の化学分析方法による五酸化りん定量方法から換算した方法
	29 ウラン U	国立地質調査所の方法
	30 ジルコニウム Zr	ケルセチン吸光光度法
	31 トリウム Th	国立地質調査所の方法
	32 ほう素 B	ASTM C 169-75 の マニット法による B ₂ O ₃ の定量方法から換算した定量方法

(2) 蛇紋岩の耐熱破碎抵抗試験方法

この圧碎試験は British Standard の BS 812⁵⁾の方法により 40t 載荷法と破碎 10%法の 2 ケースについて行った。この試験は、150φ×140h (mm)の容器に試料を 100hまで装填し、プランジャーを介して載荷圧碎する方法である。なお、試料の寸法は規格標準の 10~15 mm とした。

試料の加熱温度は 90, 110, 300 および 600℃とし、その加熱時は 90℃の場合が 4 時間 (BS 812 方式)、110~600℃の場合が 1 週間とした。圧碎試験時の試料温度は加熱後ただちに自然冷却して常温とした。なお、600℃で加熱した場合には加熱後空中に 1 週間放置したものについても行った。

(3) コンクリートの耐熱試験項目とその試験方法

a) 試験に用いたコンクリートの諸性質

コンクリートの配合条件は前回の研究^{1) 2)}と同様下記のとおりとし、水量は所定のスランブが得られるよう実験的に求めた。

コンクリートの配合条件

骨材最大寸法	単位セメント量	細骨材率	スランブの範囲
20 mm	200 Kg	53%	5~10 cm

コンクリートの練り混ぜは、可傾式の 280ℓ ミキサを用い、練り混ぜ時間は、「練り混ぜ

(2分) → 休止(1分) → 練り混ぜ(1分)」とした。練り混ぜたコンクリートの配合およびその性質は表-7 および表-8 に示すとおりとなり、先に行った越生産骨材のコンクリートとはほぼ同様の W/C となった。

表-7 コンクリート配合

コンクリートの種類	骨材最大寸法 (mm)	セメント量 C (Kg/m ³)	水量 W (Kg/m ³)	絶対細骨材率 s/a (%)	細骨材量 S (Kg/m ³)	粗骨材量 G (Kg/m ³)
宮守 (1)	20	400	204	53	901	799
宮守 (2)	20	400	204	53	898	799
宇部 (1)	20	400	202	53	876	780
宇部 (2)	20	400	200	53	879	783
越生 (1)	20	400	201	53	882	782
越生 (2)	20	400	208	53	896	794

表-8 コンクリートの性質

コンクリートの種類	水セメント比 W/C (%)	セメント空隙比 (C/V)	コンクリートの性質			摘要
			スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	
宮守 (1)	0.51	0.51	7.7	2.0	8.0	300°C
宮守 (2)	0.51	0.51	7.9	1.9	9.0	600°C
宇部 (1)	0.51	0.51	7.6	2.4	11.0	300°C
宇部 (2)	0.50	0.50	7.7	2.8	9.0	600°C
越生 (1)	0.50	0.50	7.7	2.5	8.0	300°C
越生 (2)	0.52	0.52	6.4	1.7	23.0	600°C

各試験用供試体の成型は、それぞれ所定のモールドにコンクリートを詰め込み、棒パイプレータによる締め固めによって行い、 $21 \pm 3^\circ\text{C}$ の空中で 24 時間の養生を行ってから脱枠した。

b) コンクリートの養生および乾燥加熱方法

コンクリートの養生および乾燥加熱のパターンは図-1 に示すとおりである。養生は脱枠後材令 14 日まで $21 \pm 3^\circ\text{C}$ の霧養生を行い、その後、前乾燥直前の材令 84 日または加熱直前の材令 91 日まで温度 $21 \pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度 $80 \pm 5\%$ の空中養生を行った。また、材令 84 日で空中養生を打切ったものはその後の材令 91 日までの 1 週間 110°C の前乾燥を行った。一方、加熱は 300°C および 600°C の 2 通りで行い、加熱期間はいずれも実質で 1 週間とし

注) 加熱冷却において点線は長さおよび重量変化、動弾性係数の材令 1 日測定後のパターンを示す。

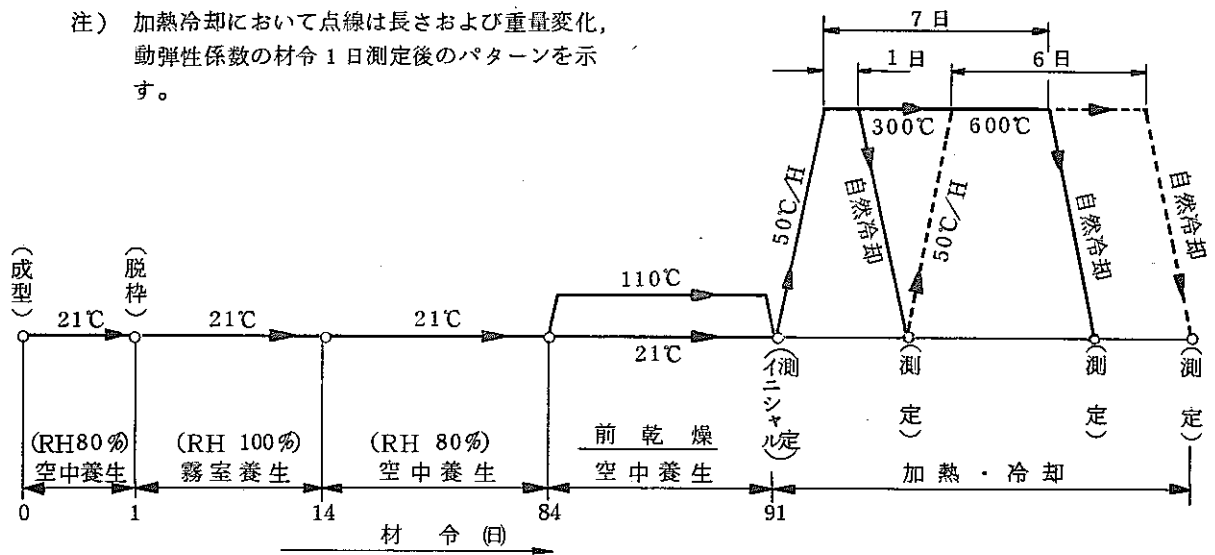


図-1 養生および加熱のパターン

た。加熱開始時の昇温速度は 50℃/H とし、測定時の供試体温度は常温でその降温速度は空中における自然冷却とした。なお、乾燥加熱炉の概要は表-9に示すとおりで、その温度分布は検定の結果、700℃加熱制御の場合で±10℃程度であり、ほぼ一様と見なされた。炉内における供試体の配置は熱雰囲気³⁾が十分循環できるよう十分な間隔を設けた。

表-9 乾燥加熱炉の概要

仕様の項目	110℃乾燥炉	300および600℃加熱炉
炉内寸法	巾 奥行 高さ 105×100×106cm	巾 奥行 高さ 165×185×165cm
温度能力	200℃	700℃
ヒーター容量	4.5kW	150kW (75kW×2回路)
温度平衡方法	炉内空気循環方式	炉内空気循環方式
処理量 (φ10×20cm)	288本 (72本×4段)	252本 (84本×3段)
〃 (φ15×30cm)	96本 (24本×4段)	144本 (48本×3段)

c) コンクリート耐熱試験項目およびその試験方法

試験項目およびその試験方法は表-10に示すとおりである。試験項目はコンクリートの性質を判断するために必要な5項目とし、標準的養生および前乾燥処理した2種類の養生供試体(図-1参照)について行い、加熱材令は先に実施した長期加熱実験結果³⁾を勘案して7日とした。試験方法は重量測定を除き全てJISにより行った。

表-10 試験項目および試験方法

試験項目	試験材令 (日)		試験方法	供試体寸法 (cm)
	加熱前	加熱後		
圧縮強度	7, 28, 91	1, 7	JIS A 1108	φ10×20
引張強度	7, 28, 91	1, 7	JIS A 1113	φ10×20
動弾性係数	7, 28, 84, 91	1, 7	JIS A 1127 (たわみ法)	10×10×40
長さ変化	7, 28, 84, 91	1, 7	JIS A 1124 (コンタクト法)	10×10×40
重量変化	7, 28, 84, 91	1, 7	卓上精密台秤 (感量1g)	10×10×40

4. 試 験 結 果

以下にセメントおよび蛇紋岩の化学分析結果、蛇紋岩の耐熱破碎試験結果ならびに蛇紋岩コンクリートの耐熱諸特性の対比実験結果について述べる。

(1) セメントおよび蛇紋岩の化学成分

表-11 セメントおよび蛇紋岩の化学分析結果

分 類	分 析 項 目	単 位	普通ポルトランドセメント	蛇 紋 岩	
			日本セメント(株)埼玉工場製	埼玉県越生産	岩手県宮守産
一 般 分 析	1 強熱減量 igloss	%	1.0	13.9	12.8
	2 不溶残分 insol	%	0.3	—	—
	3 二酸化けい素 SiO ₂	%	22.2	38.7	39.8
	4 酸化アルミニウム Al ₂ O ₃	%	4.4	2.1	1.3
	5 酸化第一鉄 FeO	%	0.04	4.2	2.1
	6 酸化第二鉄 Fe ₂ O ₃	%	3.1	3.2	5.4
	7 酸化カルシウム CaO	%	64.3	4.2	0.8
	8 酸化マグネシウム MgO	%	1.3	32.7	36.7
	9 二酸化いおう SO ₂	%	0.00	0.00	0.00
	10 三酸化いおう SO ₃	%	2.00	0.1	0.1
	11 酸化ナトリウム Na ₂ O	%	0.37	0.15	0.15
	12 酸化カリウム K ₂ O	%	0.60	0.02	0.08
	13 吸着水 H ₂ O(-)	%	(0.24)	(1.25)	(1.41)
	14 結晶水 H ₂ O(+)	%	—	(12.6)	(11.4)
微 量 分 析	15 鉛 Pb	PPM	24.6	0.0	0.0
	16 亜鉛 Zn	PPM	298.	60.3	59.0
	17 銅 Cu	PPM	147.	0.0	0.0
	18 ひ素 As	PPM	19.3	0.8	3.4
	19 マンガン Mn	PPM	204.	750.	987.
	20 コバルト Co	PPM	0.8	91.4	101.
	21 カドミウム Cd	PPM	0.8	0.2	0.1
	22 塩素 Cl	%	0.01	0.01	0.01
	23 酸化チタン TiO ₂	%	0.22	0.27	0.10
	24 酸化ニッケル NiO	PPM	15.9	2300.	2400.
	25 クロム Cr	PPM	59.3	2260.	2280.
	26 六価クロム Cr ⁺⁶	PPM	8.2	0.1	0.1
	27 ふっ素 F	PPM	270.	300.	130.
	28 全水銀 T.Hg	PPB	15.	79.	37.
	29 りん P	%	0.05	0.02	0.01
	30 ウラン U	PPM	1.6	0.1	0.2
	31 ジルコニウム Zr	PPM	80.	25.	41.
	32 トリウム Th	PPM	2.	1.	0.
	33 ほう素 B	%	0.00	0.00	0.00
合 計			100.00	100.15	99.95

注) 0.001% = 1 PPM = 1,000 PPB

注) セメントの全アルカリ = Na₂O + 0.658K₂O = 0.76%

普通ポルトランドセメントおよび蛇紋岩（越生および宮守産）の化学分析結果は表-11に示すとおりである。なお、ウランUおよびトリウムThの分析は工業技術院・地質調査所の方法により行ったもので、用いた標準試薬の純度は U_3O_8 が97.5%、Thが91.0%であった。なお、検出誤差は標準偏差で15%以内と考えられた。

a) セメント

FP検討対象となる成分としてウランUが1.6 ppm、トリウムThが2 ppm検出された。

b) 蛇紋岩

FP検討対象となる成分としてウランUが0.1~0.2 ppm、トリウムThが0~1 ppm検出されたが、産地の差は少なく、またセメント中の含有量に比べて非常に微量であった。蛇紋岩の一般成分としては酸化マグネシウムMgOが32.7~36.7%、結晶水 $H_2O^{(H)}$ が11.4~12.6%含まれるのが特徴的である。

(2) 蛇紋岩の耐熱破碎特性

a) 外観一般

各蛇紋岩の色状は写真-1に示すように300℃加熱までは青緑薄墨色を保ちほとんど変色しないが、600℃加熱では茶黄褐色に変色した。しかし、加熱によってクラック等の発生は観察されなかった。

b) 破碎抵抗

各蛇紋岩の圧碎に対する破碎抵抗値は表-12に示すとおりで、産地間の差がかなり大きい。しかし、加熱による破碎抵抗は図-2の10%破碎荷重の変化から明らかなように各蛇紋岩に共通した増減現象を示し、300℃加熱まではかなりの増加、600℃加熱で著しい低下がみられる。また、増減の中は74~104%に達し、産地間の差が若干みられる。

表-12 各種蛇紋岩の加熱前後の破碎抵抗

加熱温度 (℃)	宮 守 産		宇 部 産		越 生 産	
	破 碎 値 (%)	10% 破碎荷重 (t)	破 碎 値 (%)	10% 破碎荷重 (t)	破 碎 値 (%)	10% 破碎荷重 (t)
90 (BS基準)	10.7	36.4	18.7	19.8	17.6	24.7
110	10.0	40.0	17.6	23.3	12.5	31.6
300	8.0	45.0	13.0	29.8	11.5	34.0
600	19.9	19.2	29.3	9.3	20.9	16.8
600 放置*	21.9	16.5	30.0	9.3	23.0	15.8

注-1) BS基準は90℃で4時間乾燥後に試験する方法である。

注-2) 110~600℃の加熱時間は7日間とした。

注-3) ※は加熱後7日間空中放置してから試験したものである。

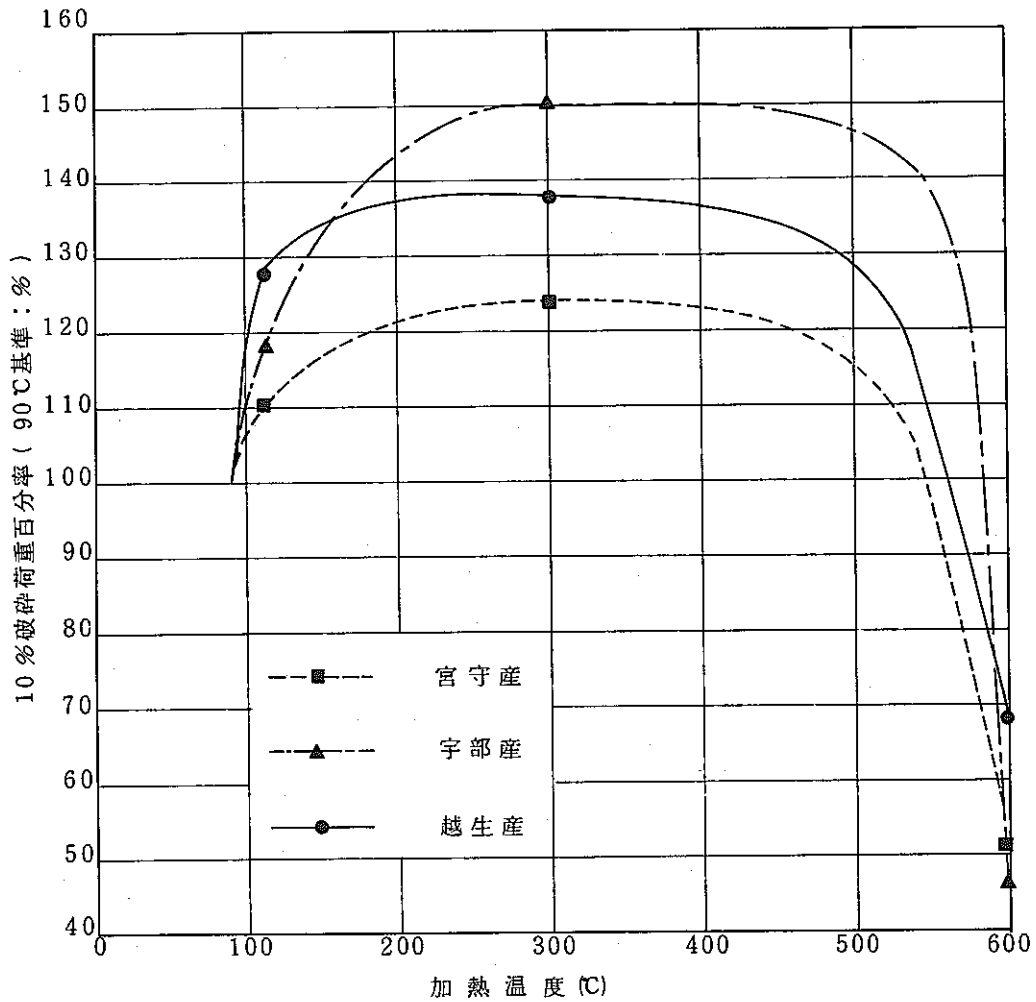


図-2 蛇紋岩の加熱温度と10%破砕荷重との関係

(3) コンクリートの耐熱諸特性

a) 外 観 一 般

各蛇紋岩を用いたコンクリートの外観は写真-2に示すとおりで、300°C加熱では炉から気中に取り出し急冷した直後に供試体の表面浅部にヘアクラックが発生したが、その後気中に長期間保存してもクラックは発達しない。しかし、600°C加熱の場合は発生したクラックは長期空中保存中に次第に発達して供試体は崩壊した。

b) 圧 縮 強 度

試験結果は、表-13に示すとおりで、加熱前コンクリートの圧縮強度の産地間の差はミキシングのバッチ間変動以下であり、産地による差は明瞭でない。一方、前乾燥および加熱を

行くと、その圧縮強度は図-3から明らかなように、① 110℃で前乾燥すると一般に若干増加した。② 300℃で加熱すると骨材によって増減した。また前乾燥したものは相対的に若干低下が大きい。③ 600℃で加熱するといずれも大巾に低下し、その残存圧縮強度は約 1/2 の 150~160 Kg/cm² となり前乾燥および産地の影響は消失した。④ 加熱 1~7 日の間の変化は、加熱温度において若干の増減現象がみられるが、ほぼ横ばい状態であり、加熱 1 日までの影響が著しく、長期加熱の影響はほとんどない。

表-13 各種コンクリートの加熱前後の圧縮強度

コンクリートの種類		加熱温度 (℃)	養生状態	圧縮強度 (Kg/cm ²)				
				養生材令 (日)			加熱材令 (日)	
				7	28	91	1	7
宮 守	(1)	300	標準	296	443	480	468	451
			乾燥	(材令 84~91日)			483	410
	(2)	600	標準	279	449	467	134	158
			乾燥	(材令 84~91日)			515	173
宇 部	(1)	300	標準	303	468	482	534	507
			乾燥	(材令 84~91日)			493	464
	(2)	600	標準	252	413	448	159	152
			乾燥	(材令 84~91日)			493	155
越 生	(1)	300	標準	278	460	460	443	432
			乾燥	(材令 84~91日)			477	403
	(2)	600	標準	289	440	523	180	169
			乾燥	(材令 84~91日)			483	175

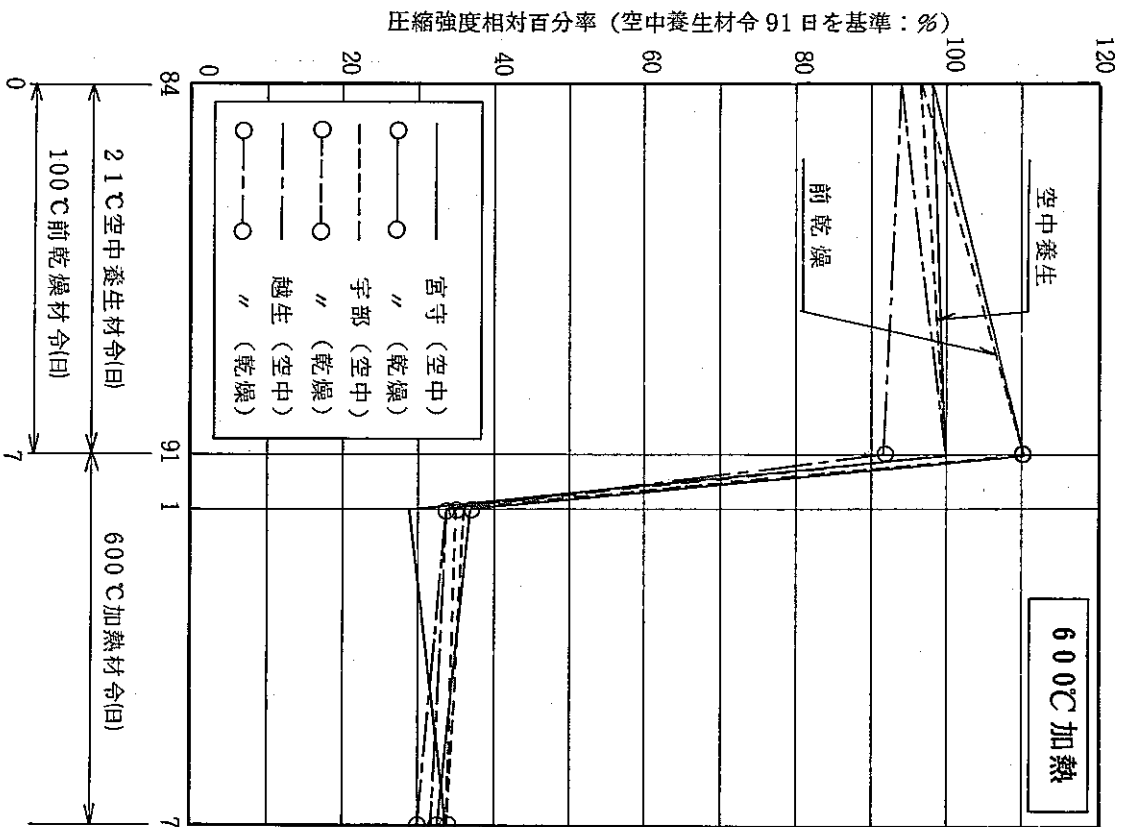
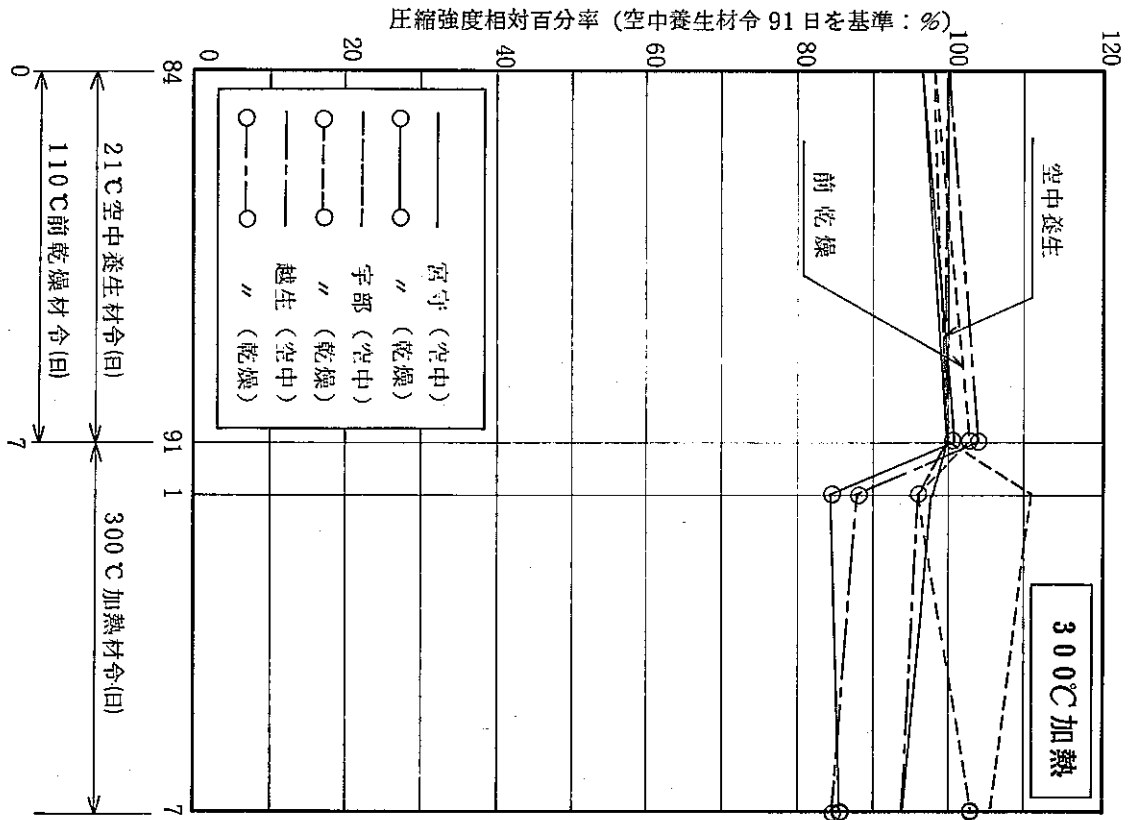


図-3 コンクリートの乾燥加熱と圧縮強度との関係

c) 引張強度

試験結果は表-14 に示すとおりで、加熱前コンクリートの引張強度に骨材産地の差が若干みられる。また、乾燥および加熱後の引張強度の変化は図-4 から明らかなように①110℃乾燥によって5~20%減少し、骨材産地の差が若干みられる。②300℃で加熱すると0~20%減少し、ここでも骨材産地の差が若干みられる。また、前乾燥したものはさらに減少率が6~8%大きくなった。③600℃で加熱すると、いずれも大巾に減少し、その残存引張強度は10~11Kg/cm²となり、前乾燥および骨材産地の差の影響は消失した。④加熱1~7日における引張強度の変化は、各加熱温度において若干の増減現象が見られるが、ほぼ横ばい状態であり、加熱1日までの影響が著しく、長期加熱の影響は少ない。

表-14 各種コンクリートの加熱前後の引張強度

コンクリートの種類		加熱温度 (℃)	養生状態	引張強度 (Kg/cm ²)				
				養生材令 (日)			加熱材令 (日)	
				7	28	91	1	7
宮 守	(1)	300	標準	30	34	36	33	33
			乾燥	(材令 84~91日)			32	29
	(2)	600	標準	28	32	35	10	11
			乾燥	(材令 84~91日)			28	12
宇 部	(1)	300	標準	27	30	36	35	36
			乾燥	(材令 84~91日)			34	33
	(2)	600	標準	23	26	31	13	11
			乾燥	(材令 84~91日)			26	13
越 生	(1)	300	標準	28	37	39	31	31
			乾燥	(材令 84~91日)			32	29
	(2)	600	標準	27	36	42	12	11
			乾燥	(材令 84~91日)			34	12

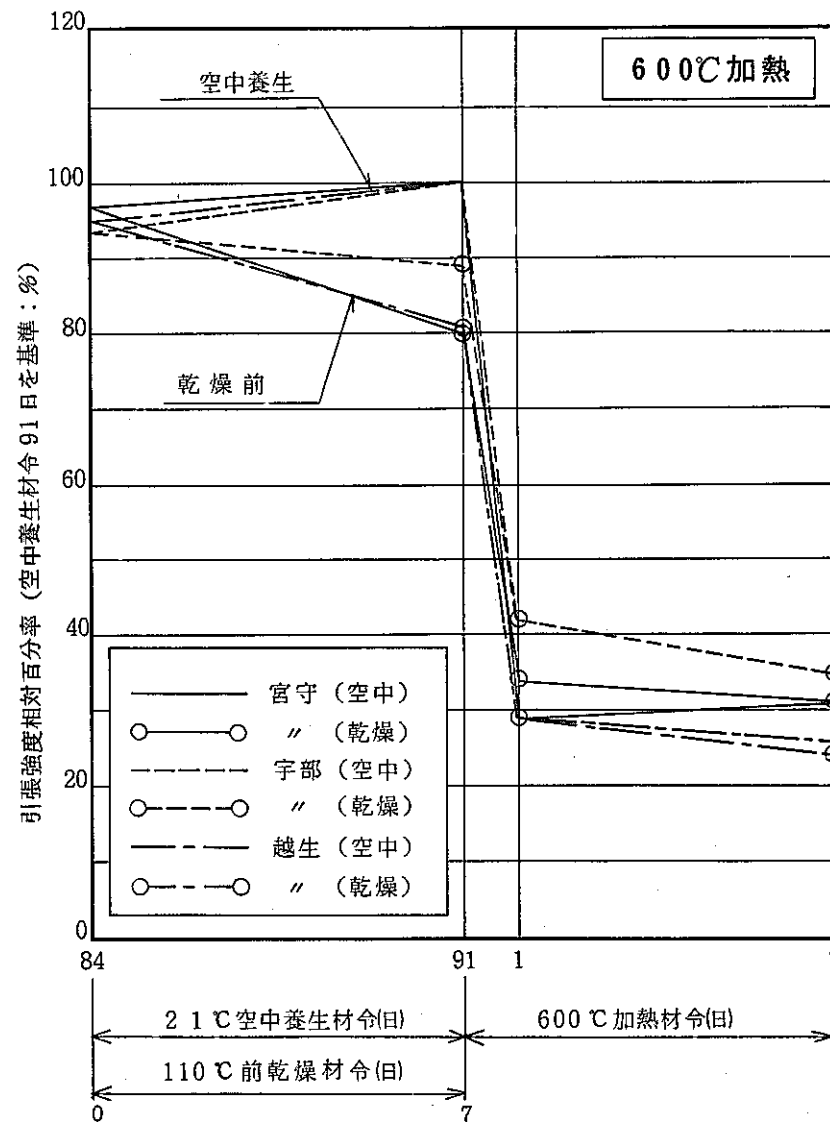
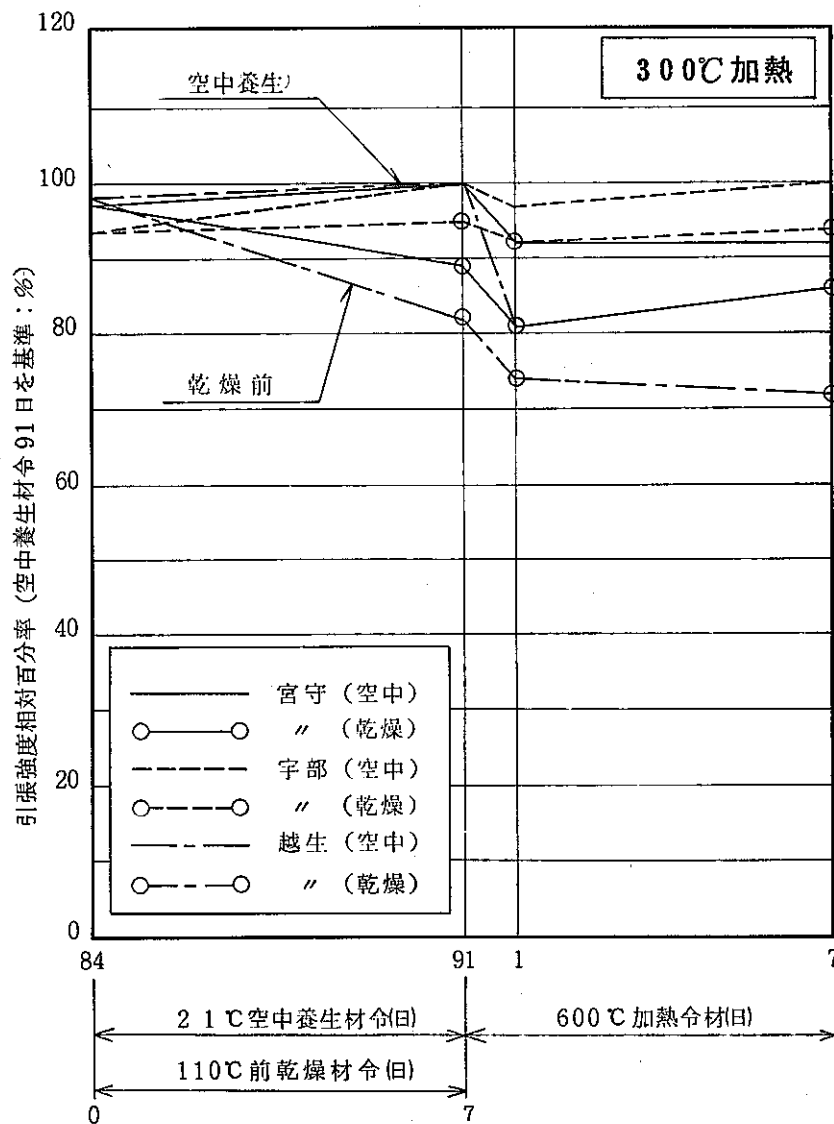


図-4 コンクリートの乾燥加熱と引張強度との関係

d) 動 弾 性 係 数

測定結果は、表-15 に示すとおりで、加熱前コンクリートの動弾性係数に骨材産地の差が若干みられる。また、乾燥加熱後の動弾性係数の変化は図-5 から明らかなように①110℃で乾燥すると12~17%減少し、骨材産地の差はほとんどみられない。②300℃で加熱すると49~61%減少し、骨材産地の差はみられるが、前乾燥の影響は全くみられない。③600℃で加熱すると91~94%減少し、骨材産地の差および前乾燥の影響は消失する。④加熱継続に対する変化は加熱1~7日の間でいずれも若干の低下がみられることから、加熱継続の影響を多少受けるといえよう。

表-15 各種コンクリートの加熱前後の動弾性係数

コンクリートの種類		加熱温度 (℃)	養生状態	動弾性係数 ($\times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$)				
				養生材令 (日)			加熱材令 (日)	
				7	28	91	1	7
宮 守	(1)	300	標 準	327	361	370	168	144
			乾 燥	(材令 84~91日)			280	171
	(2)	600	標 準	328	366	369	48	25
			乾 燥	(材令 84~91日)			285	49
宇 部	(1)	300	標 準	290	313	315	160	135
			乾 燥	(材令 84~91日)			240	170
	(2)	600	標 準	278	304	309	40	17
			乾 燥	(材令 84~91日)			228	48
越 生	(1)	300	標 準	322	327	327	198	178
			乾 燥	(材令 84~91日)			255	193
	(2)	600	標 準	340	363	374	62	21
			乾 燥	(材令 84~91日)			273	67

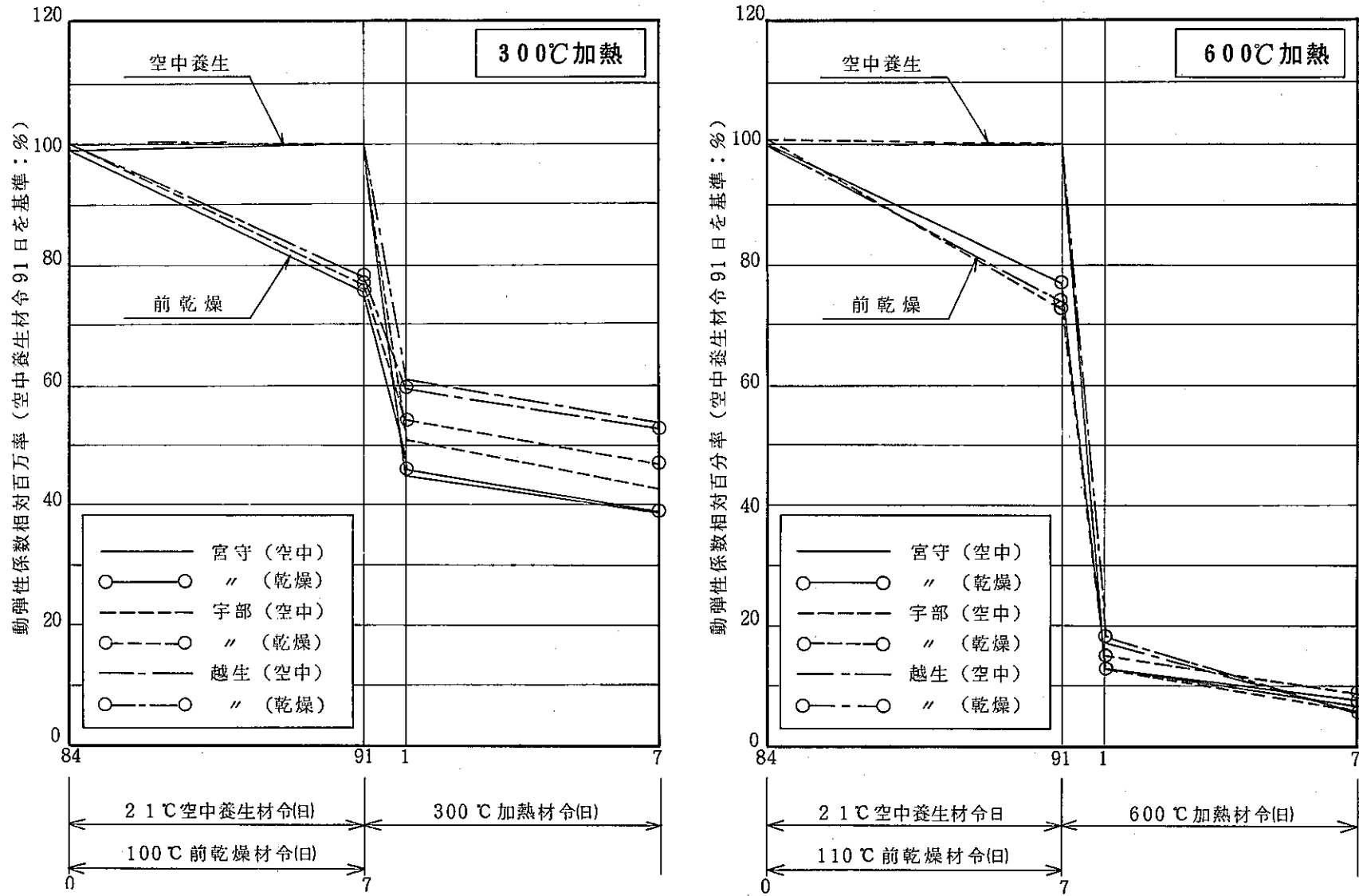


図-5 コンクリートの乾燥加熱と動弾性係数との関係

e) 長さ変化

測定結果は表-16 に示すとおりで、養生期間におけるコンクリートの長さ変化の骨材産地の差は、ミキシングバッチ間変動以内であり明瞭でない。また、乾燥加熱後の長さ変化は図-6 から明らかなように① 110℃で乾燥すると0.07～0.17% 収縮し、その中で骨材産地の差が明確に現われている。② 300℃で加熱すると0.20～0.45% 収縮し、骨材産地の差が明らかである。また、前乾燥したものはさらに若干収縮量が多い。③ 600℃で加熱すると0.63～1.61% も収縮し、骨材産地の差も著しい。また、前乾燥したものの収縮はいずれもさらに幾分大きい。④加熱1～7日における変化は各温度においていずれも若干の収縮を示した。

表-16 各種コンクリートの加熱前後の長さ変化

コンクリートの種類	加熱温度 (℃)	養生状態	長さ変化 (%)						
			養生材令 (日)				加熱材令 (日)		
			7	28	84	91	1	7	
宮 守	(1)	300	標 準	0.021	0.009	0.001	0	-0.273	-0.277
			乾 燥	0.029	0.004	0	-0.102	-0.276	-0.297
	(2)	600	標 準	0.012	0.006	0.001	0	-0.935	-0.999
			乾 燥	0.011	0.005	0	-0.136	-1.081	-1.087
宇 部	(1)	300	標 準	0.031	0.002	0.003	0	-0.407	-0.447
			乾 燥	0.029	0.000	0	-0.166	-0.467	-0.496
	(2)	600	標 準	0.017	0.008	0.001	0	-1.540	-1.612
			乾 燥	0.018	0.001	0	-0.162	-1.512	-1.614
越 生	(1)	300	標 準	0.027	0.004	0.000	0	-0.176	-0.201
			乾 燥	0.040	0.006	0	-0.070	-0.198	-0.228
	(2)	600	標 準	0.018	0.010	0.002	0	-0.585	-0.625
			乾 燥	0.024	0.012	0	-0.094	-0.670	-0.716

注) 測定の基長は約100mmである。

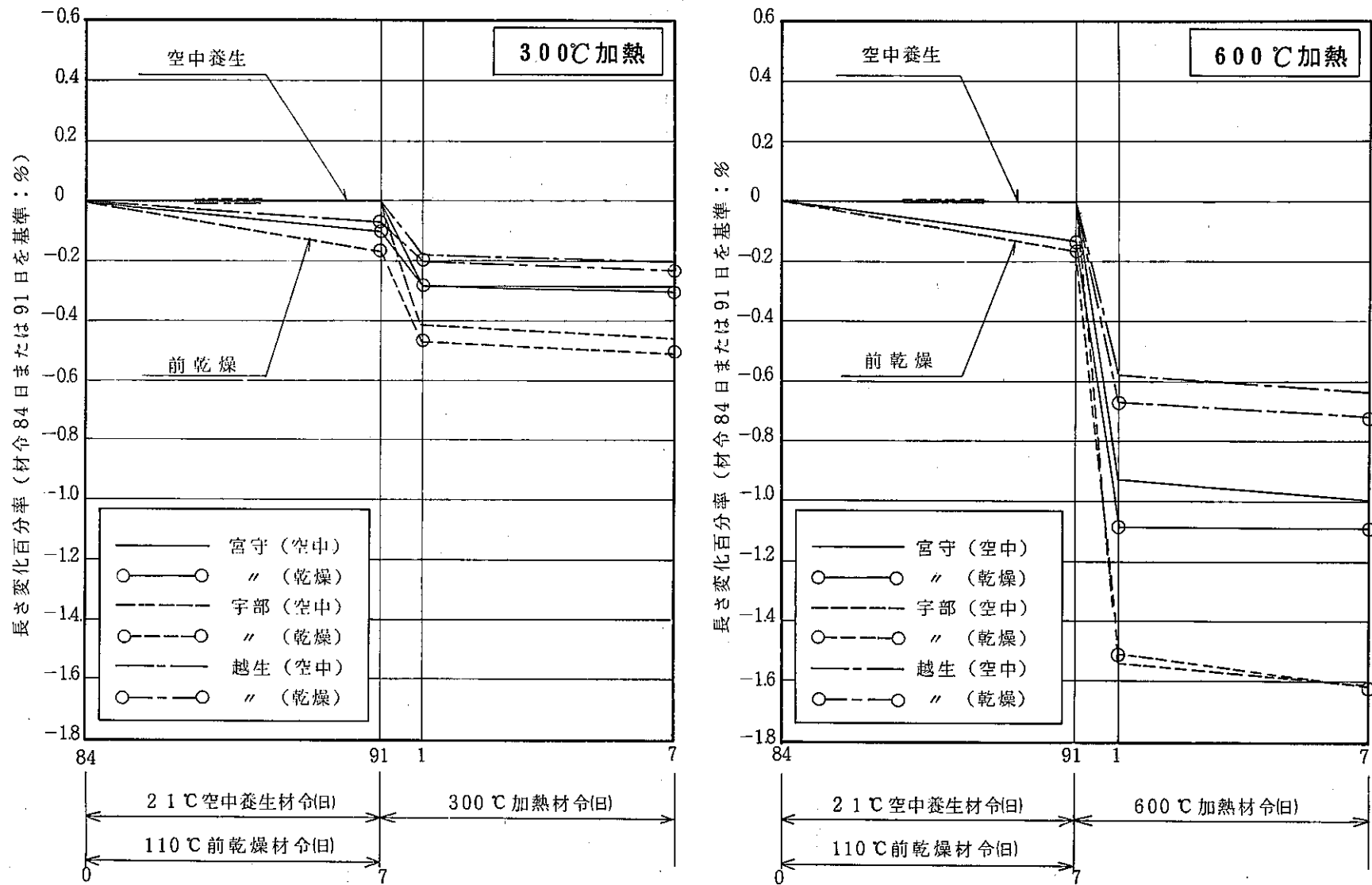


図-6 コンクリートの乾燥加熱と収縮との関係

f) 重量変化

測定結果は表-17 に示すとおりで、養生中コンクリートの材令7～91日間の重量減少は0.2～1.8%で、その中で骨材産地の差が若干みられた。また、乾燥加熱後の重量変化は図-7から明らかのように①110℃で乾燥すると5.0～6.5%減少し、骨材産地の差が明らかに見られる。②300℃で加熱すると6.5～8.5%減少し、骨材産地の差は見られるが、前乾燥の影響は明らかでない。③600℃加熱では15.3～18.5%減少し、骨材産地の差は明らかであるが、前乾燥の影響はみられない。④加熱期間の影響は若干みられ、骨材産地の差も多少みられる。

表-17 各種コンクリートの加熱前後の重量変化

コンクリートの種類		加熱温度 (℃)	養生状態	コンクリートの重量変化 (%)					
				養生材令 (日)				加熱材令 (日)	
				7	28	84	91	1	7
宮 守	(1)	300	標準	0.45	0.23	0.03	0	-7.76	-7.84
			乾燥	0.40	0.18	0	-5.87	-7.70	-7.81
	(2)	600	標準	0.24	0.14	0.23	0	-15.14	-16.32
			乾燥	0.44	0.18	0	-5.95	-15.50	-16.51
宇 部	(1)	300	標準	1.04	0.30	0.24	0	-8.33	-8.49
			乾燥	0.99	0.33	0	-6.10	-8.37	-8.54
	(2)	600	標準	0.47	0.23	0.70	0	-18.27	-18.58
			乾燥	0.41	0.15	0	-6.58	-18.05	-18.56
越 生	(1)	300	標準	1.35	0.22	0.03	0	-6.47	-6.52
			乾燥	1.31	0.22	0	-4.96	-6.47	-6.53
	(2)	600	標準	1.70	0.90	0.00	0	-13.80	-15.30
			乾燥	1.80	1.00	0	-5.00	-13.80	-15.40

注) コンクリート供試体の測定開始時の重量は9,350～9,650gであった。

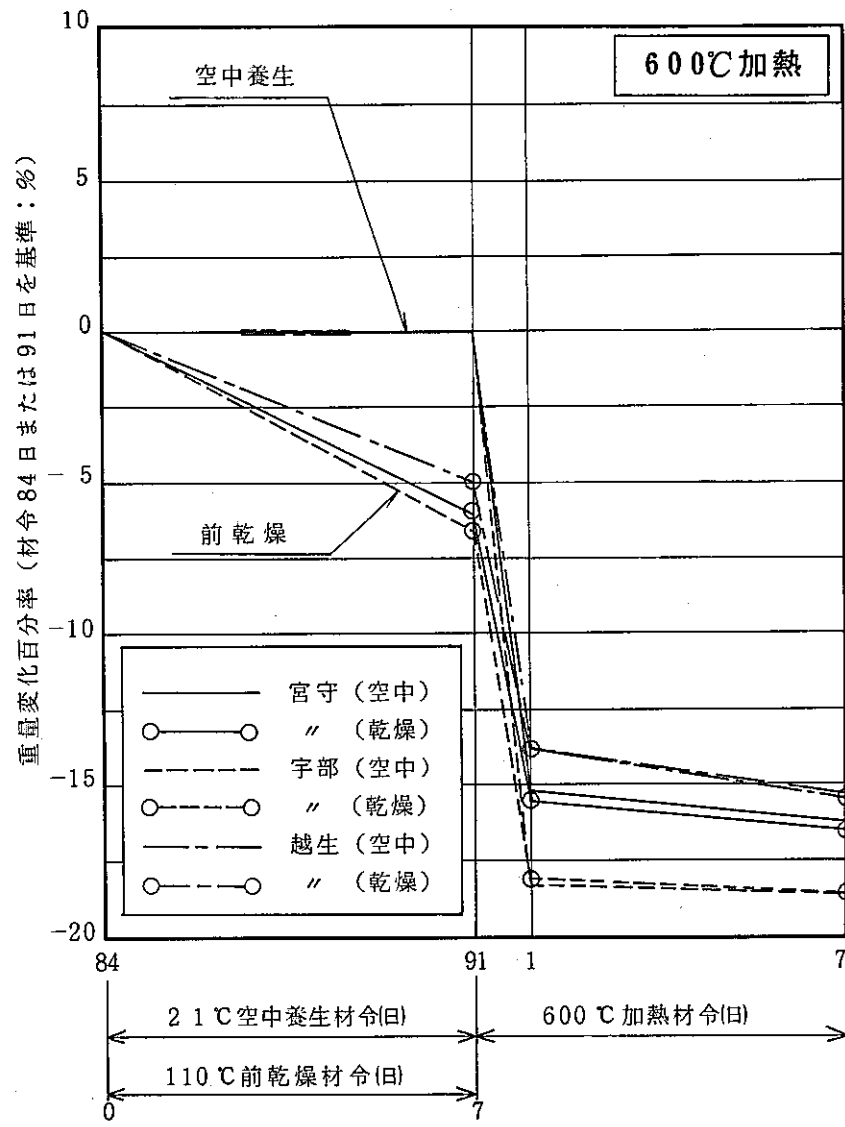
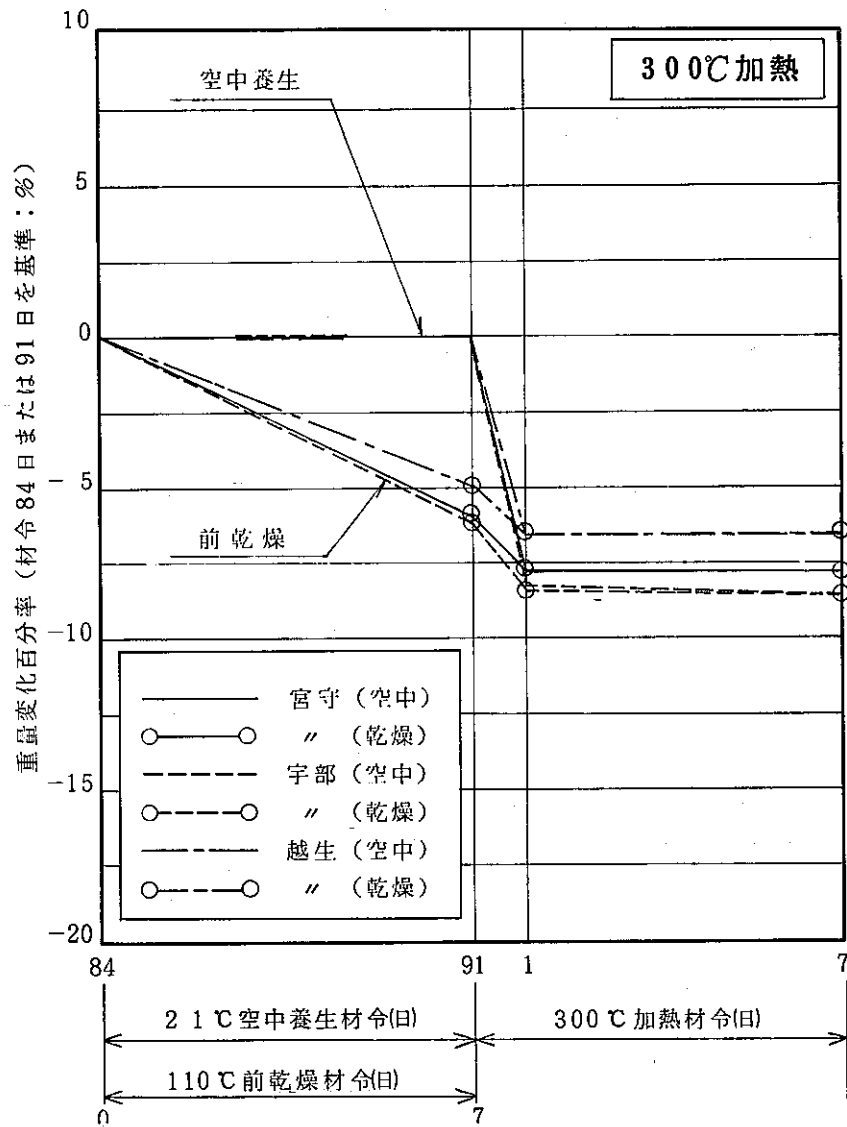


図-7 コンクリートの乾燥加熱と重量変化との関係

5. 検討および考察

各項目ごとに検討あるいは考察を加えると以下のとおりである。なお、コンクリートの劣化については、すでに一連の蛇紋岩コンクリートの耐熱特性に関する研究^{1) 2) 3)}において論じたので、今回は主として骨材の影響を中心に検討・考察した。

(1) セメントおよび蛇紋岩の化学成分

FP 検討対象となる元素としてはウラン U およびトリウム Th が検出されたが、いずれも地球上の存在濃度 (U = 3~4, Th = 10~15 ppm) および平均的花こう岩 (U = 3, Th = 17 ppm)⁶⁾ に比べ非常に小さい値であった (表-11 参照)。これはシリカ SiO₂ の含有量が少ないためと考えられている。また、蛇紋岩に含まれる分量はいずれもセメントのそれより著しく少ないため、蛇紋岩コンクリートの FP が一般の骨材コンクリートに比べ特に大きくなることはありえない。なお、鈴木氏らの照射実験⁷⁾において蛇紋岩コンクリートは 400℃ の照射まで安定であることが確められている。

(2) 各種蛇紋岩の耐熱破砕抵抗

加熱前蛇紋岩の破砕抵抗は産地によってかなりの差が生じた、これは骨材のすりへり減量と相関性がみられたが、結晶水の多寡とは関連が見当らない (表-3 参照)。

加熱後蛇紋岩の破砕抵抗は、300℃ 加熱まではいずれのものもかなり増加し、その後も結晶水の分解温度近くまで低下しないものと推測される (図-2 参照)。また、結晶水の多いものほど増加率が大きな傾向を示している。これらの増加現象は、加熱による岩石組織の固密化によるものと考えられるが、水分減少に伴う内部摩擦の増加あるいはポアプレッシャーの減少なども考えられる。なお、この時点での破砕抵抗はイニシャル値の大きかったものがやはり大きかった。

600℃ 加熱では骨材によってイニシャル値より 35~55% 低下したが、結晶水の多寡による影響は見当らない。この低下現象は 580℃ 程度の加熱による結晶水の分解に伴う岩石組織の弱い弱体化によるものと考えられる。

従って、蛇紋岩の強度的耐熱限界は結晶水の分解温度と推測される。

(3) 各種蛇紋岩コンクリートの耐熱特性

蛇紋岩コンクリートは300～600℃加熱後に気中(20℃)に取り出すと、表面浅部にヘアクラックが発生した(写真-2参照)。これは表面が急冷されるために生ずる熱応力によるものと推察され、蛇紋岩コンクリート特有の現象とは考えられない。また、600℃加熱後に発生したヘアクラックに限り、気中保存中に次第に発達したが、これは、カルシウム系化合物が約400℃程度⁸⁾で熱分解して酸化カルシウムCaOが生じ、これが気中の水分H₂Oを吸収して水酸化カルシウムCa(OH)₂となつて膨潤するためと考えられる。これらのことは300℃加熱後発生したヘアクラックが発達しなかったことから明らかである。従つて、普通ポルトランドセメントを用いた蛇紋岩コンクリートの耐熱使用限界温度は400℃程度以下といえよう。

コンクリートの圧縮強度は、加熱前(表-13参照)に骨材産地の差が明らかでなかったことは、500Kg/cm²程度の強度に対し用いたすべての蛇紋岩が所要の強度以上であったためと判断される。乾燥加熱後(図-3参照)においては、110℃乾燥および300℃加熱の場合に用いた骨材によつて強度は若干増減し、骨材のタフネス(表-3、表-12より推定)との間に逆相関性がみられたが、結晶水の多寡の影響はなかった。この強度の増減現象は図-8⁹⁾に示すようにセメントペーストと骨材の加熱による膨張収縮差から生ずる内部応力の発生ならびに乾燥加熱によるセメントペーストおよび骨材の強度増加現象などの相殺結果と推察され、特にタフネスが小さい場合はセメントペーストの膨張収縮に対し骨材の追従変形が容易であるため、内部応力の発生割合が少なく強度低下が生じなかったものと考えられる。また、600℃加熱では全てのコンクリートの強度低下は大巾で、その残存強度は150～170Kg/cm²とほぼ一律であり、骨材産地の差は見れない。このことは骨材自体の強度劣化(表-11参照)も考えられるが、一律の残存強度である点を考慮すると、主としてセメント水和物の熱劣化に起因するものと推察される。従つて、300℃程度の加熱に対して強度低下を防止するためにはある程度ルーズな骨材を用いることが有利といえよう。なお、結晶水の多寡による差は明らかでない。

コンクリートの引張強度は加熱前(表-14参照)において若干産地による差が見られ、比重および破碎抵抗が大きく、吸水量の多いタフな骨材(越生産)ほど大きい傾向を示す。加熱後(図-4参照)においては90℃乾燥および300℃加熱したものは0～20%強度が低下し、ルーズな骨材(宇部産)ほどその低下が少ない。これは前述したようにルーズな骨材を用いた場合は加熱による内部応力の発生が少ないためと考えられる。また、110℃前乾燥後300℃加熱したものは一律に若干大きい。この場合は後述するように収縮量が多いためであろう。600℃加熱では全てのものが大巾に低下し、その残存強度は10～11Kg/cm²(イニシャル値の $\frac{1}{3}$ ～ $\frac{1}{4}$)

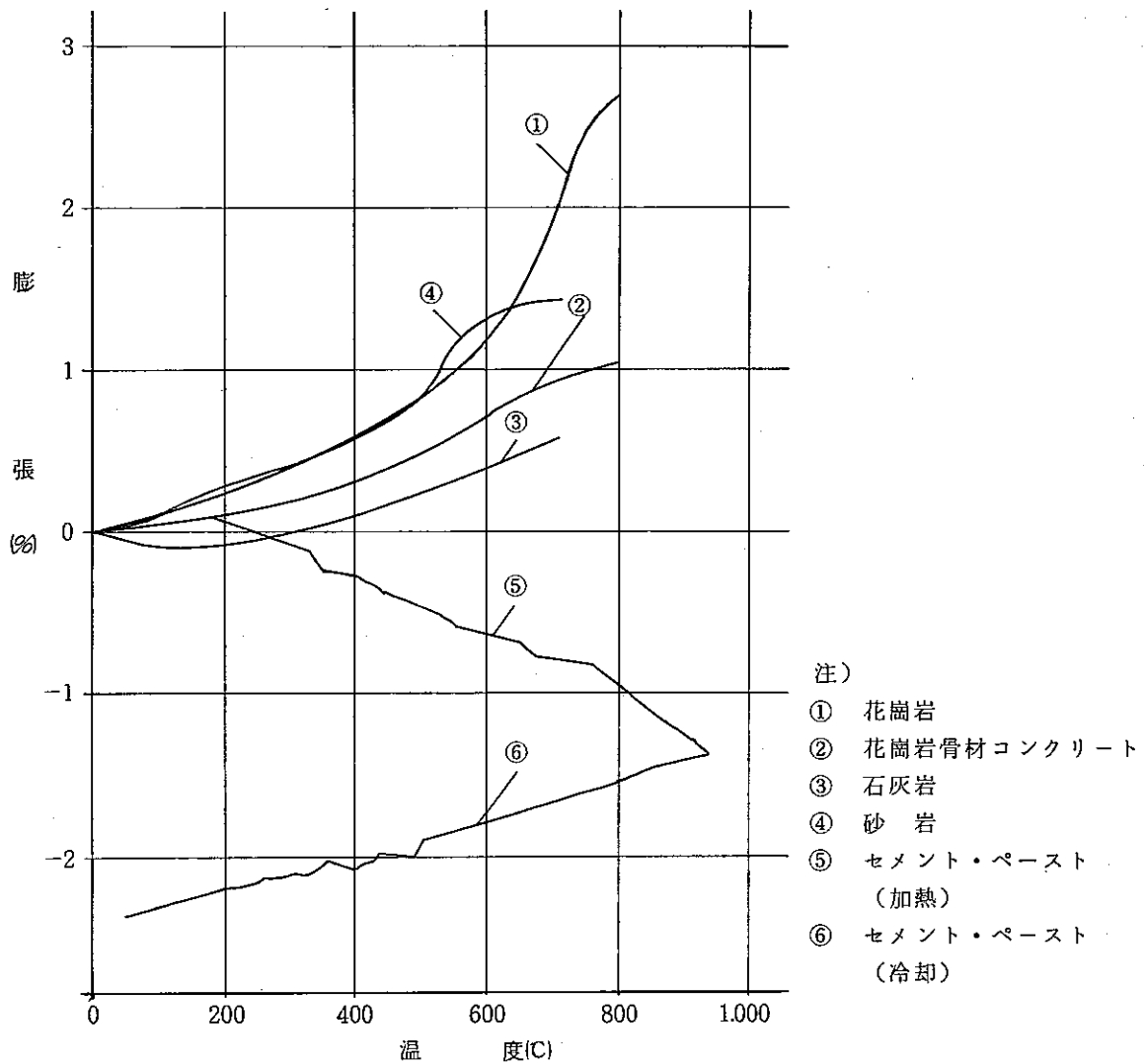


図-8 骨材およびセメントの温度と膨張との関係

となり、骨材産地の差および前乾燥の影響は消失する。この現象は圧縮強度と同様に主としてセメントペーストの熟劣化の影響と考えられる。従って、300℃程度の加熱において残存引張強度を高めるには、ある程度ルーズな骨材を用いるのが肝要と考えられる。なお、結晶水の多寡による影響は見られない。

コンクリートの動弾性係数は、加熱前において骨材産地の差が若干みられ、ルーズな骨材(宇部産)ほど小さい(表-15参照)。乾燥加熱後(図-5参照)においては110℃で前乾燥すると12~17%減少するが、骨材産地の差はほとんどみられなかった。300℃加熱では49~61%減少し、この中で骨材産地の差が若干みられ、結晶水の少ないもの(宮守産)の減少率が若干大きい。これは動弾性係数が水分に影響されるためであろう。600℃加熱では91~94%減

少し、その残存係数は $17 \sim 28 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$ となり、骨材産地の差は消失した。これは骨材の結晶水およびセメントのカルシウム系化合物からの脱水がほぼ完了し、全ての供試体の水分が逸散したために生じた現象と考えられる。従って、 300°C 程度の加熱では結晶水の多い骨材ほど動弾性係数の低下を押えることができる。

コンクリートの長さ変化は、加熱前(表-16 参照)の養生中における骨材産地の差は明らかでない。乾燥加熱後(図-6 参照)においては、 110°C の前乾燥で $0.07 \sim 0.17\%$ および 300°C 加熱で $0.20 \sim 0.45\%$ 収縮し、その中で骨材産地の差が見られ、ルーズな骨材(宇部産)ほど変化は大きかった。これは、前述したようにルーズな骨材を用いた場合に内部応力の発生が少ないためと考えられる。また、前乾燥後 300°C 加熱したものは若干収縮が大きかったが、これは後述するように、脱水がより促進されたためと考えられる。また 600°C 加熱では 300°C 加熱の場合より $3 \sim 4$ 倍も大きく収縮し、かつ骨材産地の差も著しい。この現象はセメントのカルシウム系化合物の 400°C 程度での脱水および骨材の結晶水の分解逸散に伴う収縮の増大あるいは骨材のルーズ化によるセメントペーストの収縮に対する追従変形の促進が考えられ、骨材産地の差は用いた骨材のタフネスの相違によるものと推察される。従って、収縮率の少ないコンクリートを得るためには、タフな骨材の方が望ましいといえる。

コンクリートの重量変化は加熱前(表-17 参照)の養生中に $0.2 \sim 1.8\%$ 減少し、この中で結晶水の多い骨材ほど自然脱水量が若干大きく、骨材の吸水量に反比例した異状な現象が見られた。乾燥加熱後(図-7 参照)においては、 110°C で乾燥すると $5.0 \sim 6.5\%$ 減少し、その中で骨材間格差が明らかに見られ、吸水量の多いものほど大きく、当然の結果となっている。 300°C 加熱では $6.5 \sim 8.5\%$ 減少し、 110°C 乾燥時より若干大きく、骨材産地の差も少し見られた。この重量減少の理由は骨材中の自由水の完全脱水とセメントの一部結合水の脱水によるものと考えられ、またその格差は骨材の吸水量以上であることから、自由水含有量の多寡のほか、骨材の通気性の多少によって、自由水およびセメントの結合水の発散が影響されるのではないかと推察される。 600°C 加熱では $15.3 \sim 18.6\%$ 減少し、 300°C 加熱の場合より著しく大きく、骨材産地の差もみられる。この重量減少はセメントのカルシウム系化合物からの結合水の発散(約 400°C) および骨材結晶水の発散(約 580°C) によるもので、その格差は主として骨材の結晶の多寡および通気性の多少と相関性を示している。従って、 300°C 程度の加熱において、コンクリート中に水分をより多く確保するためには吸水量が少なく結晶水を多く含む骨材を用いることが好ましいといえる。

加熱期間の影響は、物性の種類によって若干ことなり、内部応力発生や組織の熱分解などで

大きく変化する強度系物性は初期加熱で劣化または安定し、水分の脱水に伴って大きく変化する容積および重量系物性は加熱継続の影響を若干うける傾向を示す。また、吸水量が多くルーズな骨材ほど、加熱継続の影響は少ないといえる。

6. む す び

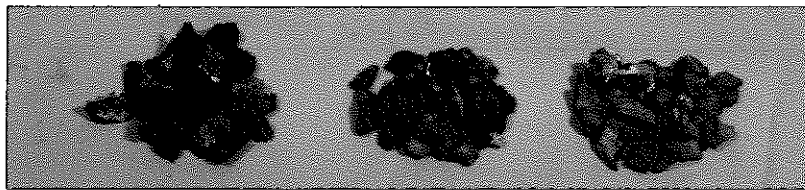
セメントおよび蛇紋岩の化学分析結果，蛇紋岩の耐熱破碎試験結果ならびに蛇紋岩コンクリートの耐熱諸特性の対比実験結果を総括すると以下のとおりである。

- (1) 蛇紋岩から微量成分としてウランUが0.1~0.2 ppm，トリウムThが0~1 ppm 検出されたが，セメントに含まれる分量にくらべいずれも著しく少ないことが明らかとなった。従って蛇紋岩の使用による弊害は生じないと考えられる。
- (2) 蛇紋岩の耐熱破碎抵抗は，300℃加熱で20~50%増加し，結晶水の分解温度近くまでいずれのものも十分耐熱的であることが明らかとなった。ただし，600℃加熱では30~50%減少することがわかった。
- (3) 蛇紋岩コンクリートの引張および圧縮強度は，90~300℃の乾燥加熱で増減し，ルーズな骨材の場合に耐熱的でタフな骨材より残存強度が大きく，また結晶水の多寡と強度劣化とは無関係であることが明らかとなった。従って，ある程度ルーズで結晶水の多い骨材ほど強度および遮蔽上好ましいといえる。ただし，600℃加熱ではいずれの場合にも強度低下が著しく，骨材産地の差が消失することがわかった。
- (4) 蛇紋岩コンクリートの動弾性係数は，300℃加熱で骨材の結晶水量に反比例しながら45~60%減少することが明らかとなった。従って動弾性係数を確保するためには結晶水の多い骨材を用いることが望ましいといえる。ただし，600℃加熱ではいずれの場合も動弾性係数はほとんど消失することがわかった。
- (5) 蛇紋岩コンクリートの乾燥加熱による収縮は，300℃加熱では0.2~0.45%収縮し，ルーズな骨材の場合に大きくなることが明らかとなった。従って収縮を防止するためにはタフな骨材を用いることが好ましいといえる。なお，600℃加熱ではさらに3~4倍収縮し，ルーズな骨材ほど大きいことがわかった。
- (6) 蛇紋岩コンクリートの300℃加熱による重量減少は6.5~8.5%で，吸水量の多い骨材のときほど大きく，かつその差より大きい減量を示すことが明らかとなった。従って，重量減少を防止するためには吸水量の少ない骨材を用いることが好ましいといえる。なお600℃加熱では，さらに大巾に減少し，吸水量および結晶水の多い骨材の場合ほど大きいことがわかった。
- (7) 加熱継続時間とコンクリート物性の安定時間との関係は，ルーズな骨材よりタフな骨材を用いた場合のほうが若干長くなる傾向がわかった。また，物性の種類によってもその安定に要する時間が若干ことなることがわかった。

(8) 加熱によるコンクリートの安定性は加熱中は異状はなかったが、加熱直後に空中に取り出し急冷すると表面浅部にヘアクラックが発生し、300℃加熱の場合はそのクラックは発達せず安定であったが、600℃加熱の場合は次第に発達することが明らかとなった。

以上のように蛇紋岩はいずれもFP対象成分量も少なく、それ自体が可成り高い温度まで極めて耐熱的であることが破砕試験で明らかとなった。また、蛇紋岩コンクリートの諸物性は加熱によって一部骨材の特定物性を除き一般に低下し、その程度は主として蛇紋岩のタフネスあるいはルーズネスの影響を受けるので、その選定に当っては結晶水を多く含むものから、その使用目的を勘案し選ぶことが肝要であろう。

以 上



加熱前 20℃ 加熱 300℃ 加熱 600℃

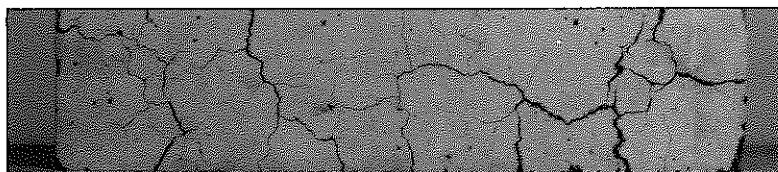
写真 - 1 加熱前後の蛇紋岩の色状



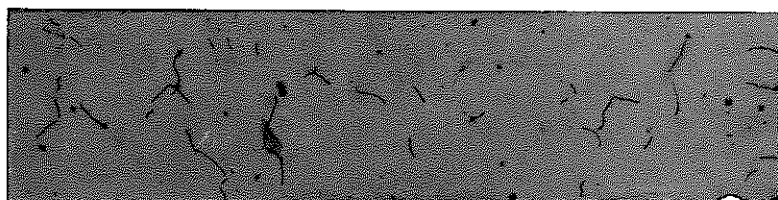
300℃加熱, 20日間放置 (字部)

600℃加熱, 20日間放置 (字部)

写真 - 2 a 加熱後コンクリートの外観 (φ 15 × 30 cm)



600℃加熱, 20日間放置 (字部)



300℃加熱, 20日間放置 (字部)

写真 - 2 b 加熱後コンクリートの外観 (10 × 10 × 40 cm)

参 考 文 献

- 1) 汐崎 他, 「蛇紋岩コンクリートの熱的使用限界把握試験(I)」電源開発協, 1977。
- 2) 汐崎 他, 「蛇紋岩コンクリートの熱的使用限界把握試験(II)」電源開発協, 1978。
- 3) 石井 他, 「F.B.R. 遮蔽用耐熱コンクリートの第1次実験」電源開発協, 1975。
- 4) 山村 他, 「F.B.R. 遮蔽用耐熱コンクリートの骨材調査, 試験」電源開発協, 1972。
- 5) British Standard Institution, B.S. 812-1975. 「Determination of Aggregate Crushing Value」。
- 6) 工業技術院地質調査所編, 「地球化学的分析方法-I」1976。
- 7) 鈴木 他, 「高速炉用遮蔽材料の照射試験(II)」動力炉・核燃料開発事業団, 1977。
- 8) W. Czernin 著, 徳根訳, 「セメント・コンクリート化学」, 技報堂, 1977。
- 9) G. Jönsson 他, 「Experimental Investigation of the Temperature Dependence of the Tensile Strength for Concrete in Temperature Associated with Fires」, Graduated Work at Division of Structural Mechanics and Concrete Construction, Lund Institute of Technology, Lund 1968。

付表 - 1 用いた蛇紋岩の埋蔵量および採取状況

蛇紋岩名	宮 守 産	宇 部 産	越 生 産
所 在 地	岩手県宮守村	山口県宇部市	埼玉県越生町
埋 蔵 量 (t)	1,500,000	3,200,000	1,500,000
常時生産量 (t/月)	13,000	60,000	10,000
最大生産量 (t/月)	40,000	100,000	15,000
主 な 用 途	① 化学肥料 ② セメント原料 ③ 碎石 (造園用)	① コンクリート用骨材 ② 製鉄用副原料 ③ 化学肥料 ④ 軽量骨材原料	① 道路用骨材 ② その他少量
従業員数 (人)	—	4	10
採石業者名	㈱東洋ソーダ	㈱枝村商会	㈱田村石材