

共同研究報告書

整理番号第95号

沸石族鉱物含有岩石の工学的特性
に関する共同研究報告書（1）

平成6年1月

建設省土木研究所
環境部地質研究室

株式会社 間 組

株式会社建設技術研究所

株式会社 熊 谷 組

大成建設株式会社

Copyright © (1994) 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。

沸石族鉱物含有岩石の工学的特性 に関する共同研究報告書（1）

建設省土木研究所 環境部 地質研究室 室 長 中村康夫
主任研究員 脇坂安彦
研究員 阿南修司^{*1}

(株) 間組^{*2} 技術研究所 技術研究部第四研究室 副主任研究員 前田照信
研究員 佐々木肇

(株) 建設技術研究所^{*2} 東京支社 ダム水工本部 本 部 長 菅原 捷
地 質 部 本 部 長 宇田進一
副 技 師 長 福田建大
主 任 技 師 中尾誠司
福岡支社 地 質 部 技 師 正木英和
応 用 理 学 部 課 長 石川邦夫

(株) 熊谷組^{*2} 技術本部応用技術部地質基礎グループ 副 部 長 三谷 哲
研究員 野坂 徹
技術本部技術研究所環境系研究開発部環境グループ 課 長 門倉伸行
研究員 黒本雅哲
材料系研究開発部コンクリートグループ 研 究 員 林 順三

大成建設(株)^{*2} 技術研究所 土木構造・水理研究グループ チームリーダー 松岡康訓
副主任研究員 藤原 靖
研究員 岡本修一
研究員 武田 均
研究員 宮崎礼子

要 旨

2%程度までの濁沸石を含んだ骨材を使って、濁沸石がコンクリート、モルタルに与える影響の把握を主目的として、フレッシュモルタルの性質、モルタル細孔溶液組成、水和発熱特性、強度、乾燥収縮、乾湿繰り返しに関する試験を行った。その結果、この程度の濁沸石含有量では、モルタルの性質は、濁沸石非含有の骨材を使った場合と差がないことがわかった。

キーワード：沸石族鉱物，濁沸石，骨材，コンクリート，モルタル

*1 現 中国地方建設局岡山国道工事事務所

*2 ABC順

ま え が き

近年、良質な岩石材料の枯渇から、鉱物化学的に問題を有する鉱物を含有する岩石についても使用せざるを得ない状況となってきた。

沸石族鉱物にはイオン交換性があり、コンクリート骨材として使用するセメントの水和反応に悪影響を与える恐れがある。また、沸石族の一つである濁沸石は、乾燥湿潤の繰り返しにより早期に劣化することが知られている。また、沸石族に属する鉱物は種類が非常に多く、それら一つ一つの鉱物学的・化学的性質も異なっているばかりか、堆積岩中にも火山岩中にも出現し、ほぼ全ての岩種に普通にみられる。

このことから、それぞれの沸石がどのような劣化特性を持つか検討し、沸石の岩石材料としての特性を明らかにしてその判定法を確立することは、骨材の効率的な使用に不可欠である。このような現状に対し、従来の研究では有害鉱物として沸石を挙げているものは多いが、濁沸石による劣化に関するものがいくつかわる以外には具体的な劣化機構を明らかにしたものは見られない。

このため、沸石族鉱物の中の有害な鉱物種の特定、定量法の確立、沸石族鉱物含有岩石の劣化機構の把握、原石の良否判定方法の確立等を目的として共同研究を行っている。本報告書では今までに得られた成果のうち、平成3年度および4年度分を試験結果を中心に報告する。

平成6年1月

目 次

まえがき

1. 実験用骨材	1
2. 実験用骨材の岩石記載	1
2.1 肉眼観察の結果	1
2.2 偏光顕微鏡による観察結果	1
2.3 X線回折分析の結果	6
3. 実験用骨材の鉱物化学的性質	7
3.1 陽イオン交換容量 (CEC) および交換性陽イオン	7
3.2 アルカリシリカ反応性	11
4. 実験用骨材の物理的性質	12
5. モルタルの性質	12
5.1 使用材料および配合	12
5.2 フレッシュモルタルの性質	14
5.3 モルタルの細孔溶液組成の経時変化	18
5.4 モルタルの水和発熱特性	18
5.5 モルタルの強度特性	24
5.6 モルタルの乾燥収縮特性	25
5.7 モルタルの乾湿繰り返しに対する特性	26
6. まとめ	31

1. 実験用骨材

実験に使用した骨材の産地および岩型は、表-1の通りである。なお骨材のうちNKとYKは、分析機関cでそれぞれ1、2、3に、分析機関bではa、bに区分されている。

表-1 実験用骨材の一覧

(1) 濁沸石含有骨材

記 号	産 地	岩 型
M G	神奈川県	火山礫凝灰岩
T T	鹿児島県	砂 岩
N K	広島県	花崗岩
Y K	神奈川県	凝灰角礫岩

(2) 標準骨材（濁沸石非含有）

記 号	産 地	岩 型
K M	茨城県	砂 岩
H B	広島県	花崗岩

2. 実験用骨材の岩石記載

2.1 肉眼観察の結果（分析機関c）

NKおよびYKは肉眼観察により次のように区分することができる。

NK-1：ピンク色長石を含む比較的粗粒、新鮮な花崗岩

— 2：変質を被り白濁化した花崗岩

— 3：サンプル中の土砂

YK-1：淡緑色の比較的新鮮と思われる安山岩質凝灰岩（グリーンタフ）

— 2：暗緑色の被変質安山岩質凝灰岩（グリーンタフ）

— 3：淡褐色で乳白色長石（被変質）スポットを含む安山岩質凝灰色

2.2 偏光顕微鏡による観察結果

NK-1、2、3、YK-1、2、3の偏光顕微鏡による観察結果は、表-2の通りである。（分析機関C）。

分析機関bでは分析機関cとは独立に偏光顕微鏡による観察を行っている。NK、YKはa試料、b試料にそれぞれ区分されている。以下に観察結果を記す。

表-2 偏光顕微鏡観察の結果(分析機関c)

試料	岩 石	顕 晶 鉱 物	備 考
YK1	熱水変質した 安山岩質 凝灰角礫岩	Pl, Qz, Chl/Smec ≫ Cal, Aug	普通輝石(オーライト)の残晶を少しもつ。 変質鉱物は曹長石と規則型緑泥石・ス멕タイト混合層≫石英>方解石である。
YK2	同 上	Chl/Smec>Pl, Qz >Cal >Aug	YK1 とほぼ同じ。
YK3	同 上	Qz>Pl>Chl/Smec >Lm>Cal, Pr, Aug , Hyp	普通輝石(オーライト), 紫蘇輝石(ハイロツン)を 少しもつ。変質鉱物は曹長石>石英, 規 則型緑泥石・ス멕タイト混合層>カルサイト, ロ モンサイト >方解石である。
NK1	熱水変質した 黒雲母花崗岩	Qz, Pl, Ad ≫ Chl, Mica > Cal	黒雲母は緑泥石化し、斜長石は曹長石, カルサイト, 方解石に分解している。
NK2	熱水変質した 角閃石・黒雲母 花崗閃緑岩	Qz>Pl>Ad, Mica, Chl, Lm	角閃石→透角閃石、黒雲母→緑泥石、斜 長石→ロモンサイト, 曹長石, カルサイト化が著しい。 ロモンサイトの細脈が認められる。
NK3	土 砂	Pl, Qz > Ad >Mica, Chl >Lm>Cal	NK2 とほぼ同じ。

(1) MG

火砕岩状組織を示す角礫凝灰岩で沸石の細脈を伴う。砕屑片として安山岩、凝灰岩を伴う。変質鉱物としては、有色鉱物を交代するス멕タイトが認められる。

また、脈状に沸石が認められるが、X線回折結果により濁沸石と考えられる。

砕屑片：岩片には中量の粗面安山岩、安山岩、少量のガラス質安山岩、軽石凝灰岩を伴う。

岩 片：粗面安山岩は、粒径最大5.8mm、亜角礫状で斑状斜長石、ス멕タイト化した有色鉱物と、針状斜長石、単斜輝石と粒間を埋めるカリ長石と単斜輝石で構成される。安山岩は粒径最大2.15mmの亜角礫状で、石基はガラス質でス멕タイト化作用を受け、微～細粒の輝石やそれらと交代するス멕タイトを伴っている。ガラス質安山岩は粒径最大1.9mm、角礫状で少量の斜長石斑晶を伴い、暗褐色ガラスや球顆状珪長質鉱物、ス멕タイトよりなる石基で構成される。軽石は粒径最大2.9mm、亜角礫状で縞状の組織を示し、粘土質で少量の斜長石、石英結晶片を伴う。

結晶片：少量の斜長石、単斜輝石、不透明鉱物、石英が見られる。石英は粒径最大0.6mmで破片状を示す。斜長石は粒径最大1.65mmで、自形、柱状、カルスバット式双晶や集片双晶を示し、汚染されている。単斜輝石は粒径最大1.95mm、自形～半自形、短柱状で淡褐色を示す。不透明鉱物は粒径最大0.56mm、半自形粒状で黒色を示す。

基 質：中量存在し、ガラスを主とするが、微量のス멕タイト、沸石に交代されている。

変質鉱物：少量のス멕タイトや沸石脈が見られる。ス멕タイトは脈幅最大0.1mm、他形、繊維状、

放射状で有色鉱物を交代する。アミグダロイドに空隙を埋めるものがある。沸石脈は粒径最大0.85mm、細脈充填状を示す。結晶は柱状で、正負の伸長性を示す。

(2) TT

碎屑状組織を示す砂岩である。砂岩、泥岩、玄武岩等の岩石片と斜長石、カリ長石、石英、黒雲母の結晶片よりなる。基質は粘土が多く、セリサイト化、沸石化している。また、沸石脈と思われるものが認められ、一部方解石に交代している。X線回折結果より、沸石は濁沸石と思われる。

破砕片：岩片には砂岩、泥岩、玄武岩～ひん岩、結晶片には、斜長石、カリ長石、石英、黒雲母がみられる。

岩片：砂岩は少量存在し、粒径最大0.6mm、亜角礫状で長石、雲母結晶片と粘土の多い岩石である。泥岩は微量存在し、粒径最大0.45mm、亜角礫状の微粒粘土で構成され、セリサイト、緑泥石化作用を受けている。玄武岩～ひん岩は微量存在し、粒径最大0.75mm、亜角礫状で、長柱状斜長石で構成され、ピロタキシンチック組織を示す。

結晶片：斜長石は、少量～中量存在し、粒径最大0.8mm、他形、柱状、粒状で集片双晶を示す。カリ長石は中量存在し、粒径最大1.05mm、他形粒状、破片状でパーサイト状組織を示す。石英は中量存在し、粒径最大1.2mm、他形粒状で波状消光を示す。黒雲母は少量存在し、粒径最大0.3mm、他形、葉片状で淡褐色～褐色を示し、屈曲しているもの多く、緑泥石に変わっているものも多い。

基質：比較的粘土が多く、微量のジルコン、不透明鉱物を伴っている。粘土は少量～中量存在し、微粒で基質を埋め、セリサイト、沸石化している。ジルコンは粒径最大0.2mm、他形粒状で淡黄～淡紅色を示す。

変質鉱物：少量のセリサイト、緑簾石やプレーナイト脈と微量の沸石を伴っている。セリサイトは粒径最大0.08mm、他形鱗片状、葉片状で微量のものは粘土、斜長石を交代する。沸石は粒径最大0.1mm、柱状で正の伸長性を示し、濁沸石と思われる。緑簾石は粒径最大0.4mmで、無色～淡黄色を示す。プレーナイト、方解石脈は脈幅0.14mmで、柱状、束状で負の伸長性を示し、交代状の方解石を微量伴っている。

(3) NK

完晶質セリエート状組織を示す花崗岩である。変質作用を受け汚染されている。

(i) a 試料

主成分鉱物：斜長石は中量存在し、粒径7.9mm半自形、柱状で集片双晶が見られ、曹長石質で粉状に汚染されている。カリ長石は中量存在し、粒径最大35mm、半自形～他形、粒状でパーサイト組織を示す。石英は中量存在し、粒径最大1.5mm、他形、不規則粒状、縫合状、交代状を示す。

副成分鉱物：アパタイトは微量存在し、粒径最大0.12mm半自形で六角柱状を示す。ジルコンは微量存在し、粒径最大0.08mm、半自形で淡黄色～淡褐色を示す。スフェンは微量存在し、粒

径最大0.1mm、他形、粒状で淡褐色を示す。不透明鉱物は少量存在し、粒径最大0.2mm、他形、粒状で黒色～赤色を示す。

変質鉱物：石英は少量存在し、粒径最大0.5mm、他形、不規則粒状でカリ長石と融食状組織を作り、細粒黒雲母と共生する。黒雲母は少量存在し、粒径最大0.02mm、他形、細粒状集合をし、暗褐色で細粒石英と共生する。緑泥石は少量存在し、粒径最大0.1mm、細粒片状の黒雲母を交代する。炭酸塩鉱物は微量存在し、粒径最大0.7mm、他形、不規則交代状、石英粒間を充填、細脈状のものもある。ほたる石は微量存在し、粒径最大0.15mm、半自形、粒状等方性で屈折率低く、石英、炭酸塩鉱物と共生する。

(ii) b 試料

主成分鉱物：斜長石は中量存在し、粒径7mm、半自形、柱状で集片双晶、アンチパーサイト組織が見られ、葛長石質な斜長石である。カリ長石は中量存在し、粒径55mm、半自形～他形、柱状でパーサイト組織が見られ、斜長石とボーキリチック組織を作る。石英は少量～中量存在し、粒径最大2.3mm、他形、不規則粒状、縫合状、交代状組織を作る。黒雲母は少量存在し、粒径最大0.8mm、他形、板状集合で淡褐色～暗褐色を呈する。

副成分鉱物：アバタイトは微量存在し、粒径最大0.15mm、半自形で柱状を示す。ジルコンは微量存在し、粒径最大0.6mm、半自形、短柱状で淡黄色を示す。不透明鉱物は微量存在し、粒径最大0.4mm、自形、融食状で黒雲母と共生し、細脈状のものもある。

変質鉱物：緑泥石は微量存在し、粒径最大0.4mm、他形、板状で淡黄色～緑色を示す。黒雲母を交代するものが多い。セリサイトは少量存在し、粒径最大0.5mm、他形で葉片状、鱗片状を示す。斜長石を交代している。緑簾石は微量存在し、粒径最大0.08mm、他形、不規則交代状で淡黄色を示す。

(4) YK

(i) a 試料

填間状組織を示し、単斜輝石の多い玄武岩である。割れ目を伴い、変質作用を受けている。

斑 晶：斜長石は中量存在し、粒径最大2.4mm、自形～半自形、柱状で集片双晶が見られ、曹長石で汚染され、最大対称消光角は43°を示す。単斜輝石は少量存在し、粒径最大2.0mm、半自形、粒状、短柱状で双晶が見られ、劈開が多い。

石 基：斜長石は中量存在し、粒径最大0.15mm、自形、柱状で集片双晶を示し、曹長石化している。単斜輝石は中量存在し、粒径最大0.15mm、半自形～他形、短柱状、粒状で淡緑色を示し、斜長石粒間を埋める。不透明鉱物は少量存在し、粒径最大0.15mm、自形～他形、粒状、散点状で斜長石粒間を埋める。

変質鉱物：スメクタイトは微量存在し、粒径最大0.12mm、他形、微粒繊維状、放射状で、淡黄緑色～淡褐色で石基斜長石の粒間を交代状に埋めている。細脈状のものも見られる。曹長石は少量存在し、粒径最大0.45mm、他形で斜長石斑晶、石基を不規則に交代している。セリ

サイトは微量存在し、粒径最大0.03mm、他形、鱗片状で斜長石を交代している。緑泥石は微量存在し、スメクタイトと共生する。淡黄色でスメクタイトより淡色である。

(ii) b 試料

斑 晶：斜長石は中量存在し、粒径最大2.0mm、自形～半自形、短柱状、粒状で集片双晶を示し、曹長石化し、汚染状で帯状にスメクタイトに交代されているものもある。単斜輝石は少量存在し、粒径最大1.3mm、自形～半自形、短柱状、柱状で、双晶が良く見られ、淡緑色を示し、スメクタイト化作用を受けている。

石 基：斜長石は多量存在し、粒径0.12mmで自形～半自形、柱状、針状で集片双晶を示し、曹長石化作用を受けている。不透明鉱物は少量存在し、粒径最大0.15mm、半自形、粒状で酸化鉄鉱化、赤色のものが多い。火山ガラスは石基斜長石を埋めて見られるが、濁沸石化している部分がある。少量存在する。

変質鉱物：スメクタイトは微量存在し、粒径最大0.07mm、他形、繊維状で黄緑色～黄褐色を示し、有色鉱物、斜長石、石基を広く交代する。濁沸石は少量～中量存在し、粒径最大1.8mm、他形、柱状、束状で双晶が見られ、正の伸長性を示す。スチルバイトは微量存在し、粒径最大0.3mm、束状で直消光で負の伸長性を示す。緑簾石は微量存在し、粒径最大0.1mm、他形、粒状を示す。曹長石は斜長石を交代して多量存在する。セリサイトは微量存在し、粒径最大0.03mm、他形、鱗片状で斜長石を交代している。石英は少～中量存在し、粒径最大0.2mm、基質中に散在している。緑泥石は粒径最大0.3mmの不規則な形でスメクタイト中に混合する。

(5) KM

完品質等粒状組織を示す変成岩で、変質鉱物としては黒雲母を交代して緑泥石が認められる。薄片中では黄鉄鉱は認められない。

主成分鉱物：斜長石は少量存在し、粒径最大0.38mm、他形、粒状で稀に集片双晶を示し、曹長石質である。粉状、微細な汚染を受けている。カリ長石は中量存在し、粒径最大0.4mm、他形、粒状で稀にカルスバット双晶が見られ、時にパーサイト組織をしめす。カリ長石内にはしばしば針状の珪線石が生成している。石英は多量存在し、粒径最大0.6mm、他形、粒状で波状消光を示す。黒雲母は少量～中量存在し、粒径最大0.2mm、他形、粒状、葉片状で淡褐色～褐色を示す。白雲母は少量～中量存在し、粒径最大0.7mm、半自形～他形板状、扁平状で針状の断面を示す。

副成分鉱物：ジルコンは微量存在し、微粒最大0.06mm、半自形で粒状を示す。不透明鉱物は微量存在し、微粒最大0.10mm、他形、粒状で黒色を示す。珪線石はカリ長石、雲母鉱物中に、最大0.05mmの針状を示して産する。

変質鉱物：緑泥石は微量存在し、微粒最大0.2mm、他形、黒雲母を交代して繊維状で、淡黄緑色を示す。本試料には黄鉄鉱は見られない。

(6) HB

完品質等粒状組織を示すアブライト質細粒花崗岩。石英、斜長石、カリ長石、黒雲母からなる。変質鉱物として斜長石を交代しセリサイトが、黒雲母を交代して緑泥石が認められる。薄片中に沸石は認められない。

主成分鉱物：斜長石は少量存在し、粒径最大2.25mm、半自形、柱状、短棒状で集片双晶を示し、曹長石質でセリサイト化している。カリ長石は中量存在し、粒径最大1.5mm、自形～他形、柱状、粒状でカルスバット式双晶、パーサイト組織、斜長石の客晶を伴うボーキリチック組織が見られ、若干汚染されている。石英は中量存在し、粒径最大1.25mm、半自形から他形、粒状で波動消光を示す。黒雲母は少量存在し、粒径最大1.0mm、他形、板状で、結晶粒間に見られ、緑泥石に一部交代されている。

副成分鉱物：ジルコンは微量存在し、粒径最大0.08mm、他形で粒状を示す。不透明鉱物は微量存在し、粒径最大0.08mm、他形、不規則粒状で暗褐色を呈す。

変質鉱物：セリサイトは少量存在し、粒径最大0.17mm、他形、鱗片状、板状で斜長石を交代するものが多い。緑泥石は少量存在し、粒径最大0.45mm、他形、板状で黒雲母を交代し、淡緑色を示す。

2.3 X線回折分析の結果

(1) 含有鉱物の同定

各試料とも、全岩および水ひしたもの（粘土鉱物同定用）に関してX線粉末回折を実施した。（水ひしたものについては測定後にエチレングリコール処理を施し、再度測定を行った）。同定された鉱物を以下に示す（分析機関C）。

YK-1 : Pl Qz Chl/Smec

— 2 : Pl Qz Chl/Smec Cal

— 3 : Qz Pl Chl/Smec Lm

NK-1 : Qz Pl Ad Chl Mica Cal

— 2 : Qz Pl Ad Lm Chl Mica Cal

— 3 : Qz Pl Ad Lm Chl Mica Cal

(Qz : 石英 Pl : 斜長石 Ad : 氷長石 (= K長石) Mica : 白雲母、絹雲母
Chl : 緑泥石 Chl/Smec : 緑泥石・ス멕タイト(モンモリロナイト)混合層 Lm : 濁沸石)

分析機関bによる試験結果は、表-3の通りである。

(2) 濁沸石の含有量

NKおよびYKの濁沸石の含有量は、表-4の通りである。

表-3 X線回折分析の結果(分析機関b)

骨 材	Sm	Ch	Qz	Pl	Ab	Kf	Cpx	Cc	La	Ep	Ze
N K 1-1		+	◎		◎	○		?			
N K 1-2		+	◎		◎	○					
Y K 2-1	+	+	+	○			△				?
Y K 2-2	+	+	◎		◎	△	△		+	?	

◎ : 多量, ○ : 中量, △ : 少量, + : 微量, ± : きわめて微量
? : 痕跡.

Sm : スメクタイト, Ch : 緑泥石, Qz : 石英, Pl : 斜長石,
Ab : 曹長石, Kf : カリ長石, Cpx : 単斜輝石, Cc : 方解石,
La : 濁沸石, Ep : 緑レン石, Ze : 未同定鉱物(沸石?)

表-4 X線回折分析による骨材中の濁沸石含有量(分析機関e)

(1) N K 骨材

粒 度	含有量
0.15mm以下	7.0(%)
0.3-0.15mm	2.5
0.6-0.3mm	2.3
1.2-0.6mm	1.1
2.5-1.2mm	1.5
5 -2.5mm	1.2

(2) Y K 骨材

粒 度	含有量
0.15mm以下	6.9(%)
0.3-0.15mm	3.2
0.6-0.3mm	2.4
1.2-0.6mm	2.0
2.5-1.2mm	1.8
5 -2.5mm	1.7

3. 実験用骨材の鉱物化学的性質

3.1 陽イオン交換容量(CEC)および交換性陽イオン

粒径0.425mm以下に調整された試料のCECおよび交換性陽イオンの分析値は、表-5の通りである。
分析は全て原子吸光光度計により行った(分析機関c)。

また、分析機関cで行われた粒子径を変えた分析結果を表-6に示す。

分析機関dによる分析結果を表-7に示す。

以上の分析結果をまとめると、表-8のようになる。今回試験した沸石含有骨材はイオン交換力が極めて低いか、スメクタイトに由来する弱いイオン交換力を有している。したがってセメントの水和反応に及ぼす影響は無いかあっても小さいと考えられる。

表-5 粒径0.425mm以下の試料のCECおよび交換性陽イオン
(分析機関C).

項 目		YK1	YK2	YK3	NK1	NK2	NK3
CEC		4.4	16.0	10.5	0.8	1.0	2.9
交換性陽イオン	Ca	10.1	24.7	8.0	4.0	0.8	11.2
	Mg	1.1	1.4	3.2	0.1	0.1	0.2
	K	0.1	5.4	0.5	0.3	0.2	0.4
	Na	0.2	3.3	0.2	0.1	0.1	0.2
	合計	11.5	34.8	11.9	4.5	1.2	12.0

単位: meq/100g

表-6 粒径別にみたCECおよび交換性陽イオン (1)
(分析機関c).

試 料		Y K			N K		
		MIX	0.15 ≥	0.15~0.3	MIX	0.15 ≥	0.15~0.3
CEC	実験 1	11.1	13.7	10.5	5.1	9.1	2.6
	実験 2	12.0	15.0	11.6	5.1	7.7	3.0
交換性陽イオン	Ca	8.3	11.0	8.2	13.3	20.3	8.6
	Mg	6.8	7.4	5.4	0.6	0.7	0.5
	K	0.6	0.7	0.6	0.4	0.5	0.2
	Na	0.7	0.9	0.6	0.3	0.4	0.2
	合計	16.4	20.0	14.8	14.6	21.9	9.3

MIX: 粒子径の異なる6種を指定の割合で混合。粒子径が0.3mm程度になるまで粉碎したもの。

0.15 ≥: 粒子径 0.15mm 以下に調整されたもの。

0.15~0.3: 粒子径 0.15mm ~0.3mm に調整されたもの。

・CECにおける実験1, 2はともに同条件。

表-7 粒径別にみたCECおよび交換性陽イオン(2)(分析機関d).

試料名	M G					
	0.15>	0.3~0.15	0.6~0.3	1.2~0.6	2.5~1.2	5~2.5
EX. C						
N a (meq/100g)	3.079	2.793	2.713	2.410	1.693	1.333
K (meq/100g)	0.427	0.367	0.306	0.243	0.179	0.119
C a (meq/100g)	29.628	22.074	18.158	14.930	10.097	8.670
M g (meq/100g)	1.399	0.924	0.851	0.741	0.553	0.410
TOTAL (meq/100g)	34.534	26.158	22.027	18.324	12.522	10.533
CEC (meq/100g)	14.249	10.116	7.801	6.400	3.830	3.332
Ca抽出						
C a (meq/100g)	20.419	13.927	12.130	9.921	6.914	5.065

試料名	T T					
	0.15>	0.3~0.15	0.6~0.3	1.2~0.6	2.5~1.2	5~2.5
EX. C						
N a (meq/100g)	0.602	0.363	0.232	0.123	1.672	1.314
K (meq/100g)	0.324	0.195	0.142	0.079	0.177	0.118
C a (meq/100g)	17.561	10.400	7.324	3.914	9.970	8.550
M g (meq/100g)	0.994	0.465	0.447	0.351	0.546	0.405
TOTAL (meq/100g)	19.482	11.423	8.145	4.466	12.365	10.387
CEC (meq/100g)	6.415	3.396	2.781	2.517	2.122	1.987
Ca抽出						
C a (meq/100g)	15.881	10.300	9.332	7.365	5.573	3.928

試料名	NK						
	0.15mm>	0.3~0.15mm	0.6~0.3mm	1.2~0.6mm	2.5~1.2mm	5~2.5mm	混合試料
EX. C							
N a (meq/100g)	0.465	0.187	0.159	0.133	0.136	0.132	0.167
K (meq/100g)	0.244	0.082	0.087	0.079	0.081	0.072	0.106
M g (meq/100g)	0.237	0.212	0.191	0.119	0.106	0.085	0.167
C a (meq/100g)	67.064	31.105	18.378	10.533	7.920	6.069	21.436
TOTAL (meq/100g)	68.010	31.586	18.816	10.863	8.244	6.357	21.877
CEC (meq/100g)	9.900	3.262	3.371	2.678	3.189	1.930	4.076
酢酸Na抽出C a (meq/100g)	84.262	42.954	31.187	22.086	23.699	6.813	27.731

表-7 続き

試料名	YK						
	0.15>	0.3~0.15	0.6~0.3	1.2~0.6	2.5~1.2	5~2.5	混合試料
EX. C							
Na (meq/100g)	0.822	0.563	0.544	0.570	0.495	0.502	0.551
K (meq/100g)	0.354	0.265	0.243	0.232	0.204	0.208	0.235
Mg (meq/100g)	2.196	1.697	1.730	1.821	1.622	1.947	1.622
Ca (meq/100g)	20.119	14.688	14.510	13.392	12.220	13.843	6.624
TOTAL (meq/100g)	23.491	17.213	17.027	16.016	14.541	16.500	9.032
CEC (meq/100g)	13.515	10.025	10.009	9.913	7.768	6.340	10.126
酢酸Na抽出Ca (meq/100g)	14.565	10.796	10.269	10.961	9.381	7.406	10.730

試料名	K M					
	0.15>	0.3~0.15	0.6~0.3	1.2~0.6	2.5~1.2	5~2.5
EX. C						
Na (meq/100g)	0.094	0.113	0.071	0.046	0.047	0.045
K (meq/100g)	0.081	0.044	0.054	0.057	0.050	0.043
Ca (meq/100g)	0.443	0.271	0.238	0.175	0.143	0.124
Mg (meq/100g)	0.243	0.100	0.101	0.128	0.105	0.091
TOTAL (meq/100g)	0.860	0.528	0.463	0.405	0.345	0.302
CEC (meq/100g)	0.500	0.042	N・D	N・D	0.044	0.235
Ca抽出						
Ca (meq/100g)	0.470	0.281	0.360	0.189	0.165	0.131

試料名	H B					
	0.15>	0.3~0.15	0.6~0.3	1.2~0.6	2.5~1.2	5~2.5
EX. C						
Na (meq/100g)	0.160	0.109	0.088	0.072	1.669	1.309
K (meq/100g)	0.071	0.039	0.034	0.034	0.176	0.117
Ca (meq/100g)	1.596	0.649	0.571	0.713	9.955	8.518
Mg (meq/100g)	0.147	0.134	0.118	0.095	0.545	0.403
TOTAL (meq/100g)	1.975	0.932	0.811	0.915	12.346	10.348
CEC (meq/100g)	0.487	N・D	N・D	0.087	0.198	0.080
Ca抽出						
Ca (meq/100g)	1.921	0.669	0.966	0.769	0.681	0.601

表－8 実験用骨材のCECおよび交換性陽イオンのまとめ

骨材の種類		陽イオン交換容量(CEC)	交換性陽イオン(Ex-C)	緩衝液抽出Ca
沸石含有骨材	N K	0.15mm以下の粒径でやや大きくなるが、CECは3～4meq/100gと非常に小さく、イオン交換力は極めて低い。	交換性カルシウムが主要イオンである。	炭酸カルシウム鉱物を多く含有すると考えられる。
	Y K	CECは6～14meq/100gと供試試料中で最も大きい。共存するスメクタイトの影響と思われる、イオン交換力を有する。	交換性カルシウムが主要イオンである。	炭酸カルシウム鉱物を含有すると考えられる。
	T T	CECは2～6meq/100gと小さく、イオン交換力は極めて低い。	交換性カルシウムが主要イオンである。	炭酸カルシウム鉱物を含有すると考えられる。
	M G (参考)	CECは3～14meq/100gと供試試料中で最も大きい。共存するスメクタイトの影響と思われる、イオン交換力を有する。	交換性カルシウムが主要イオンであるが、交換性ナトリウムの量も多い。	炭酸カルシウム鉱物を含有すると考えられる。
標準骨材	K M	CECは1meq/100g以下でほとんど無く、イオン交換力は全く有しない。	—	炭酸カルシウム鉱物を含有しないと考えられる。
	H B	CECは1meq/100g以下でほとんど無く、イオン交換力は全く有しない。	—	炭酸カルシウム鉱物を含有しないと考えられる。

交換性陽イオン組成ではカルシウムイオンが主体で参考試料のMGのみナトリウムイオンがやや多かった。

沸石含有骨材は方解石と見られる鉱物からのカルシウムイオンの供給があると考えられ、特にNKでその傾向が強い。

3.2 アルカリシリカ反応性

分析機関bで行われた、アルカリシリカ反応性試験の結果を表－9に示す。いずれの骨材も無害である。

表－9 アルカリシリカ反応性試験（化学法）の結果（分析機関b）

骨 材	Sc(mmol/l)	Rc(mmol/l)	判 定
M G	30	145	無 害
T T	31	101	無 害
N K	16	140	無 害
Y K	22	292	無 害
K M	25	36	無 害
H B	16	25	無 害

4. 実験用骨材の物理的性質

細骨材の比重、吸水率および硫酸ナトリウムによる安定性試験の結果は表-10の通りである。土木学会コンクリート標準示方書ダム編の規格値を満たしていないのは、NKの比重（規格値2.50以下）とYKの吸水率（規格値の最小値3%以下）である。なお、モルタル作製用の細骨材の物理的性質は表-12のようになっている（後述）。

表-10 細骨材の物理的性質（分析機関b）

骨材	絶乾比重	表乾比重	吸水率(%)	安定性損失量(%)
M G	2.54	2.60	2.64	7.5
T T	2.57	2.61	1.67	4.2
N K	2.49	2.54	1.92	3.3
Y K	2.50	2.58	3.18	8.5
K M	2.63	2.65	0.74	1.0
H B	2.59	2.61	0.77	0.3

5. モルタルの性質

5.1 使用材料および配合

沸石族鉱物含有骨材としてNK、TT、YK骨材、沸石族鉱物を含まない標準骨材としてKM、HB骨材を使用した。細骨材の粒度分析は表-11に示す通りである。モルタル試験に用いる細骨材の物理試験を行ったところ、結果は表-12のようであった。

使用したセメントは普通ポルトランドセメントで、表-13のような性質をもったものである。

モルタルの配合は次のような3ケースに分けて行っている。

(1) 絶乾状態の細骨材使用の場合

細骨材の質量は絶乾状態で計量している。モルタル1バッチ当たり（練り上がり量：約5.3ℓ）の各材料の使用量は表-14に示すが、いずれの骨材でも配合は同じである。

(2) 表乾状態の細骨材使用の場合

① フレッシュモルタルの性状試験時（平成5年1月26日、27日実施分）

細骨材の質量はほぼ表乾状態で計量している。ただし、モルタル試験時に細骨材の表面水率を測定し、配合補正している。各細骨材の表面水率測定結果およびモルタル1バッチ当たり（練り上がり量：約5.4ℓ）の各材料の使用量を表-15に示す。

② モルタル供試体作製時（平成5年2月2日実施分）

表-11 細骨材の粒径分布

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

表-12 モルタル試験に用いた細骨材の物理的性質(分析機関c)

	標準骨材		沸石鉱物含有骨材		
	K M	H B	N K	T T	Y K
絶乾比重	2.63	2.57	2.47	2.56	2.48
表乾比重	2.65	2.59	2.52	2.59	2.58
吸水率(%)	0.74	0.81	1.97	1.45	3.68

表-13 使用したセメントの性質

(1) 物理的性質

比 重	比表面積	凝 結			安定性	圧 縮 強 さ (kg f/cm ²)			水 和 熱 (cal /g)	
		水 量	始 発	終 結		3d	7d	28d	7d	28d
3.16	3240	28.1%	2*34"	3*48"	良	155	251	419	78.3	89.5

(2) 化学的性質

MgO	So ₃	Total alkali	Cl ⁻	lg. loss
1.6%	1.9%	0.61%	0.006%	1.4%

表-14 モルタルの配合(1)

W / C	S / C	W (g)	C (g)	S (g)
0.5	2.0	1675	3350	6670

表-15 モルタルの配合(2)-①

細骨材の種類	細骨材の表面水率(%)	W / C	S / C	W (g)	C (g)	S (g)
基本配合	± 0	0.5	2.0	1700	3400	6800
K M	0.68	0.5	2.0	1746	3400	6754
H B	10.05			1697	3400	6803
N K	10.12			1692	3400	6808
T T	10.20			1686	3400	6814
Y K	10.70			1652	3400	6848

表-16 モルタルの配合(2)-②

細骨材の種類	細骨材の表面水率(%)	W / C	S / C	W (g)	C (g)	S (g)
基本配合	± 0	0.5	2.0	1500	3000	6000
K M	-0.17	0.5	2.0	1510	3000	5990
H B	+0.06			1496	3000	6004
N K	-0.76			1546	3000	5954
T T	+0.64			1462	3000	6038
Y K	+0.80			1452	3000	6048

細骨材の質量はほぼ表乾状態で計量している。ただし、モルタル試験時に細骨材の表面水率を測定し、配合補正している。各細骨材の表面水率測定結果およびモルタル1バッチ当たり（練り上がり量：約5.4ℓ）の各材料の使用量を表-16に示す。

5.2 フレッシュモルタルの性質

表-17にフロー値及び凝結時間、表-18にフロー値の経時変化を示す。フロー値は沸石族鉱物含有骨材で200mm以下と小さくなり、標準試料では220mm前後となっていた。図-1にフロー値の経時変化を示した。フロー値の時間の経過による低下はフロー値が最も小さいNK試料を除いてほとんど同様に生じていた。NK試料では1時間経過後に大きくフロー値が低下していた。

なお、表-19は強度試験および乾湿繰り返し試験用供試体作製時のフレッシュモルタルの性質を示したものである。

表-17 フレッシュモルタルの品質（平成5年1月26日、27日実施）

砂の状態	試験項目	K M	H B	N K	T T	Y K
表乾	フロー値	224	217	191	176	171
	練り上がり温度(℃)	21.2	21.2	21.2	21.8	21.7
	凝 始発(時間-分)	6-35	6-20	5-10	5-10	4-30
	結 終結(時間-分)	9-30	8-45	8-15	7-55	7-25
絶乾	フロー値	196	195	161	159	162
	練り上がり温度(℃)	21.8	21.2	22.0	21.4	22.5
	凝 始発(時間-分)	5-30	5-30	5-00	4-20	4-00
	結 終結(時間-分)	8-20	8-05	7-10	7-15	6-50

凝結時間は沸石族鉱物含有骨材の方が標準骨材に比較して始発時間、終結時間ともに1時間から2時間ほど早くなっていた。凝結時間が早くなる順序は骨材の陽イオン交換容量が大きいものほど早くなっていた(図-2)。

表-18 モルタルフローの経時変化(平成5年1月26日、27日実施)

	種類	試験項目	経過時間 (分)					
			0	30	60	90	120	180
表乾状態の細骨材を使用	K M	フロー値	224	204	192	187	182	162
		モルタル温度(℃)	21.2	18.8	18.1	17.7	17.7	17.7
	H B	フロー値	217	198	188	178	152	156
		モルタル温度(℃)	21.2	18.6	18.6	17.8	18.0	18.0
	N K	フロー値	191	176	168	158	141	138
		モルタル温度(℃)	21.2	19.0	18.8	18.0	17.6	17.8
	T T	フロー値	176	170	150	153	148	133
		モルタル温度(℃)	21.8	20.5	18.4	18.2	18.2	19.3
	Y K	フロー値	171	156	126	117	116	109
		モルタル温度(℃)	21.7	20.7	19.3	19.2	18.8	18.5
絶乾状態の細骨材を使用	K M	フロー値	196	171	172	166	159	137
		モルタル温度(℃)	21.8	19.0	18.0	18.0	18.3	18.0
	H B	フロー値	195	187	183	165	167	164
		モルタル温度(℃)	21.2	18.5	18.0	18.0	18.3	17.6
	N K	フロー値	161	149	142	141	122	111
		モルタル温度(℃)	22.0	20.0	19.0	19.0	18.1	18.1
	T T	フロー値	159	146	132	133	119	109
		モルタル温度(℃)	21.4	19.5	18.6	18.2	18.3	17.3
	Y K	フロー値	162	130	103	102	—	—
		モルタル温度(℃)	22.5	20.0	19.0	18.2	—	—

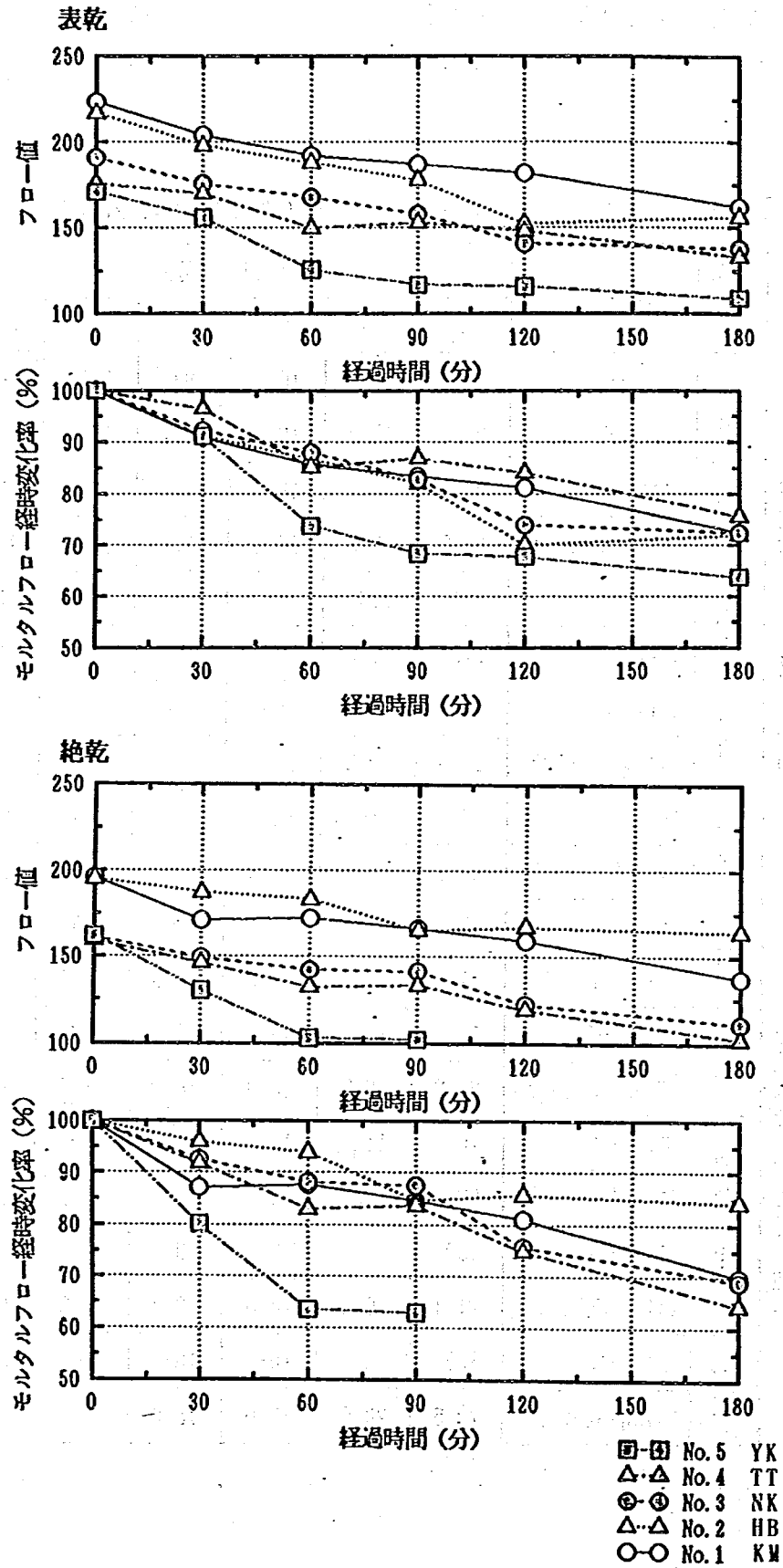
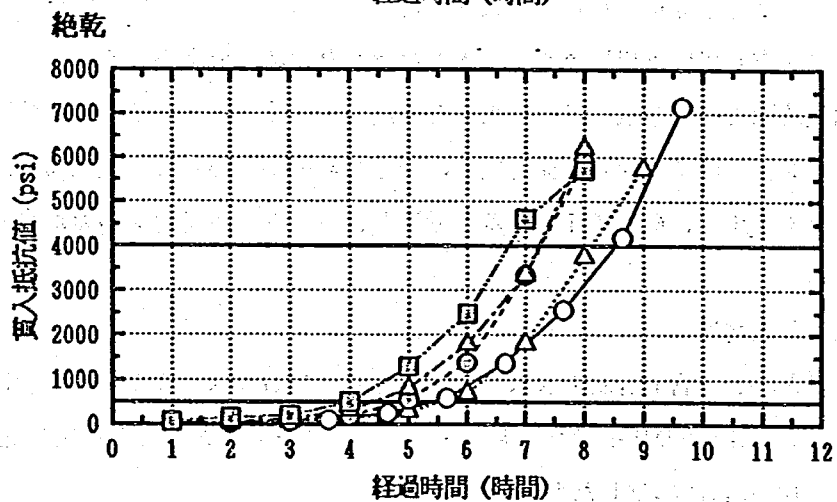
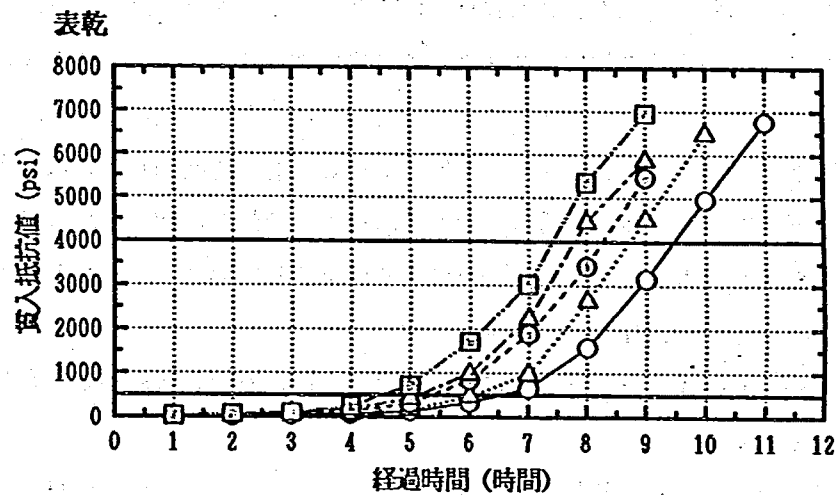


図-1 フロー値の経時変化 (分析機関 c)

表-19 供試体作製時のフレッシュモルタルの品質 (平成5年2月2日実施)

砂の 状態	試験項目	K M	H B	N K	T T	Y K
表	フロー値	211	207	194	171	177
乾	練り上がり温度 (°C)	21.7	21.8	21.7	22.1	22.1



- No. 5 YK
- △-△ No. 4 TT
- No. 3 NK
- △-△ No. 2 HB
- No. 1 KM

図-2 凝結硬化速度試験結果

5.3 モルタルの細孔溶液組成の経時変化

標準骨材のKM、HB骨材と沸石族含有骨材のNK、TT、YK骨材について行ったモルタルの細孔溶液化学組成の分析結果を表-20に、pHとイオン組成の経時変化を図-3および4、5に示す。

pHの練り混ぜ直後からの経時変化は図-3にみられるように、標準骨材のKM、HBと比較して、沸石族含有骨材のpHはわずかであるが低く推移している。また沸石族含有骨材の中でも陽イオン交換容量が最も高いYK骨材が低くなっていた。

イオン組成の経時変化(図-4、5)は、カリウムイオンと硫酸イオン濃度において標準骨材と沸石族含有骨材との間に違いがみられた。沸石族含有骨材ではカリウムイオンと硫酸イオン濃度が標準骨材のそれよりも低くなっている。このような傾向はスメクタイト族鉱物(モンモリロナイト等)を含有する骨材にみられるものと同様であるが、スメクタイト族鉱物含有骨材ほど顕著ではない。これは沸石族含有骨材はスメクタイト族鉱物含有骨材よりも、陽イオン交換力が小さいことに起因していると考えられる。沸石族含有骨材の中でも陽イオン交換容量の一番大きなYK試料でこの傾向は顕著となっている。

カリウムイオンと硫酸イオンの濃度がイオン交換により低下する原因は、セメントから高濃度に放出されるカリウムイオンと骨材中の交換性カルシウムイオンがイオン交換し、カリウムイオンが消費されることと、イオン交換でカルシウムイオンが液相中に放出されるため、石膏の溶解が阻害され、硫酸イオン濃度が高まらないことが考えられる。

カルシウムイオン濃度は標準骨材に比較して大きな違いはみられないが、NK骨材で高くなっている。これは同試料に多量に含有している炭酸カルシウムが溶解したためと考えられる。

図-6に凝結の始発時間と細孔溶液のイオン組成との関係を示す。図のように細孔溶液中のカリウムイオン、カルシウムイオン、硫酸イオンと始発時間とに明瞭な相関がみられる。凝結時間が早くなるものほど細孔溶液中のカリウムイオン、硫酸イオン濃度が低下し、カルシウムイオン濃度が高くなっていた。

5.4 モルタルの水和発熱特性

標準骨材のKM骨材と沸石族含有骨材のNK、TT、YK、MG骨材およびアルミナについて、水セメント比0.65、骨材セメント比1.0の比率でコンダクションカロリメーターで水和発熱速度を測定した。なお骨材の粒径は88~105 μ mに調整したものを使用した。

試験結果のうち発熱の第1ピークに担当するものを図-7に、第2ピークに担当するものを図-8に示す。標準骨材と沸石族含有骨材との間に明瞭な発熱特性の違いはみられなかった。またスメクタイト族含有骨材にみられる様な第1ピークと第2ピークとの間に生じ、過早凝結の原因となる第3ピークも観察されなかった。したがって供試試料程度の沸石族含有骨材では、凝結やフロー値への影響はスメクタイト族含有骨材に比較すると小さいと予想される。

また、水和発熱速度の測定と同一粒径および配合のモルタルについて水和生成物の同定を行った。結果を表-21に示す。

表-20 細孔溶液イオン組成の測定結果

K M

材令(hr)	Na+	K+	Ca++	SO ₄ ²⁻
5.5 hr	61.74	137.75	19.23	48.17
9.5hr	66.96	147.90	24.74	47.67
1 day	105.30	180.56	0.00	3.02
3 day	164.17	266.96	0.00	0.17
7 day	148.74	218.57	0.00	0.68
28 day	213.91	257.57	0.00	1.54

単位：mmol/l

H B

材令(hr)	Na+	K+	Ca++	SO ₄ ²⁻
5.5 hr	43.91	111.23	16.41	53.37
9 hr	65.91	132.35	16.08	53.87
1 day	93.39	172.61	0.00	3.29
3 day	144.52	213.38	0.00	3.18
7 day	212.91	242.20	0.00	0.68
28 day	220.78	249.62	0.00	1.58

N K

材令(hr)	Na+	K+	Ca++	SO ₄ ²⁻
4 hr	41.83	81.41	21.15	33.55
8 hr	78.26	58.72	83.09	35.63
1 day	92.78	109.57	0.00	0.27
3 day	136.52	117.72	0.00	0.21
7 day	180.96	147.72	0.00	0.33
28 day	200.00	146.24	0.00	0.49

T T

材令(hr)	Na+	K+	Ca++	SO ₄ ²⁻
4 hr	54.70	68.03	22.12	30.21
8 hr	59.91	64.88	6.56	33.24
1 day	107.43	96.21	0.00	0.08
3 day	163.26	122.74	0.00	0.04
7 day	174.65	110.10	0.00	0.12
28 day	261.48	162.43	0.00	0.74

Y K

材令(hr)	Na+	K+	Ca++	SO ₄ ²⁻
3.5 hr	23.83	11.46	35.64	15.61
7.5 hr	40.26	12.38	26.61	12.51
1 day	59.74	14.60	15.99	0.00
3 day	102.52	20.79	0.00	0.00
7 day	97.13	16.52	0.00	0.00
28 day	136.13	19.54	0.00	0.00

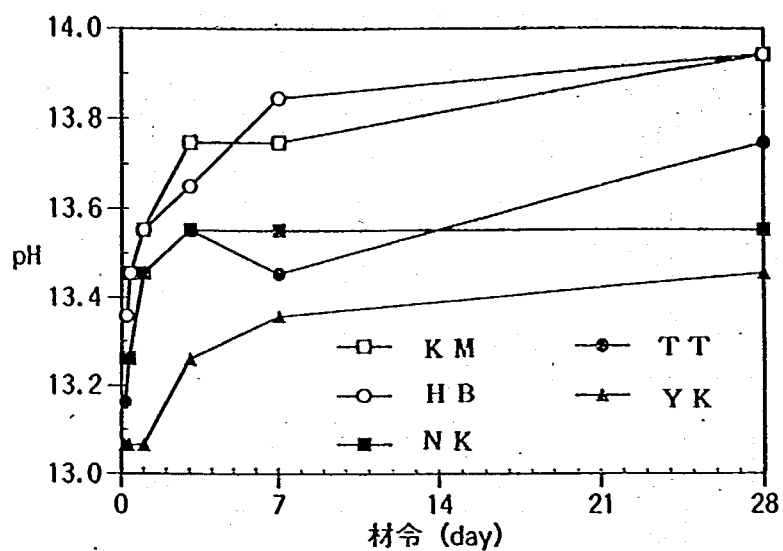


図-3 pHの経時変化

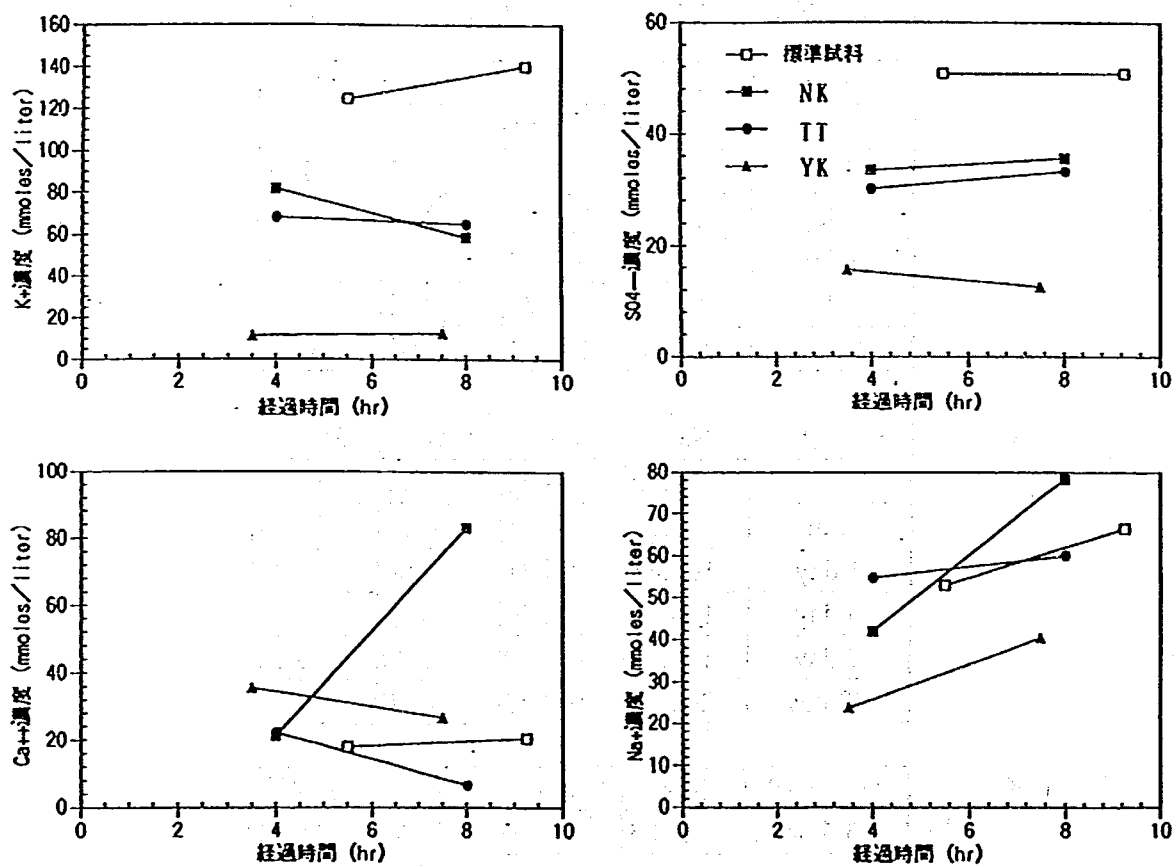


図-4 練り混ぜ後10時間までの細孔溶液イオン組成の経時変化

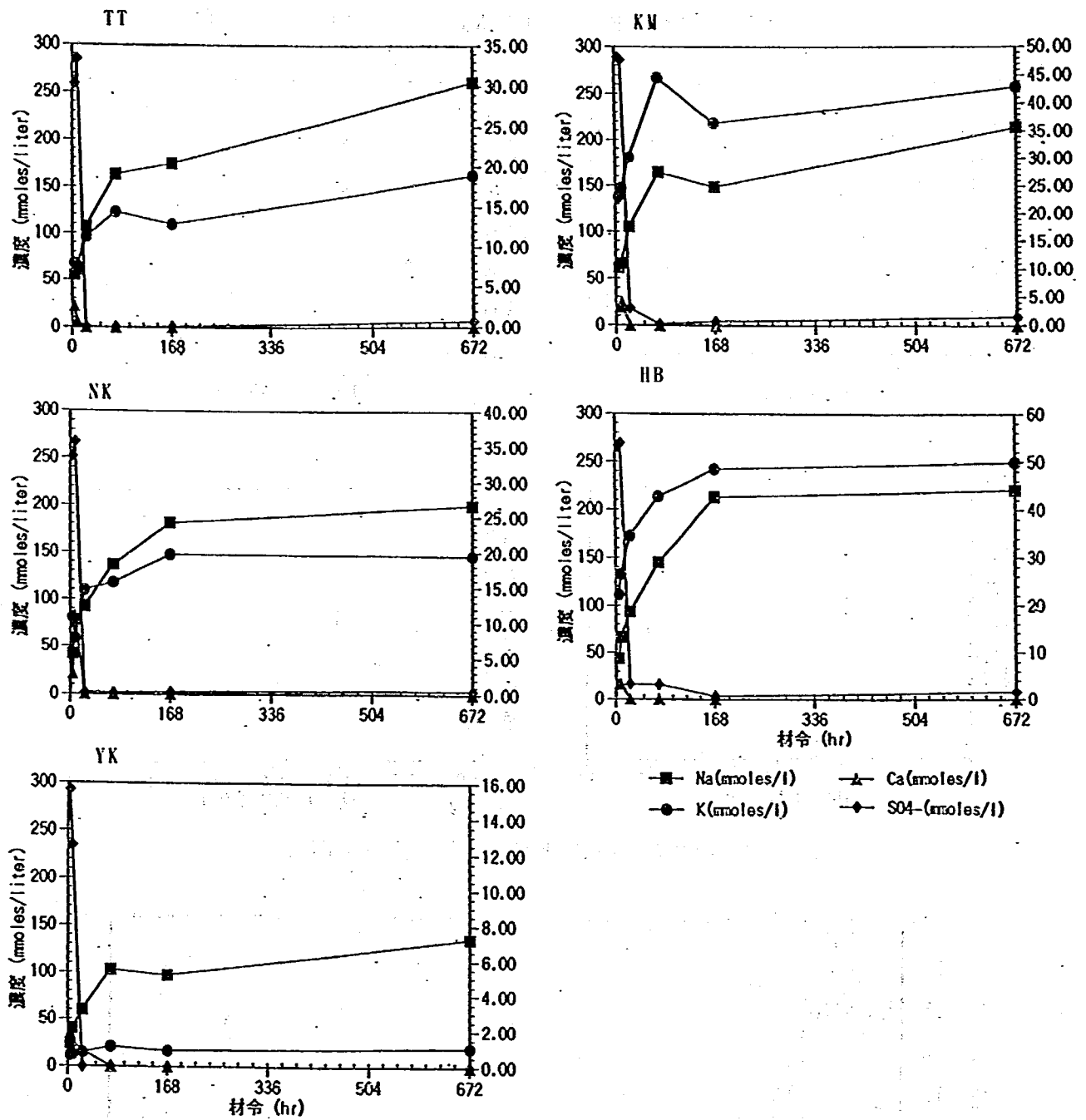


図-5 練り混ぜ後28日までの細孔溶液組成の経時変化

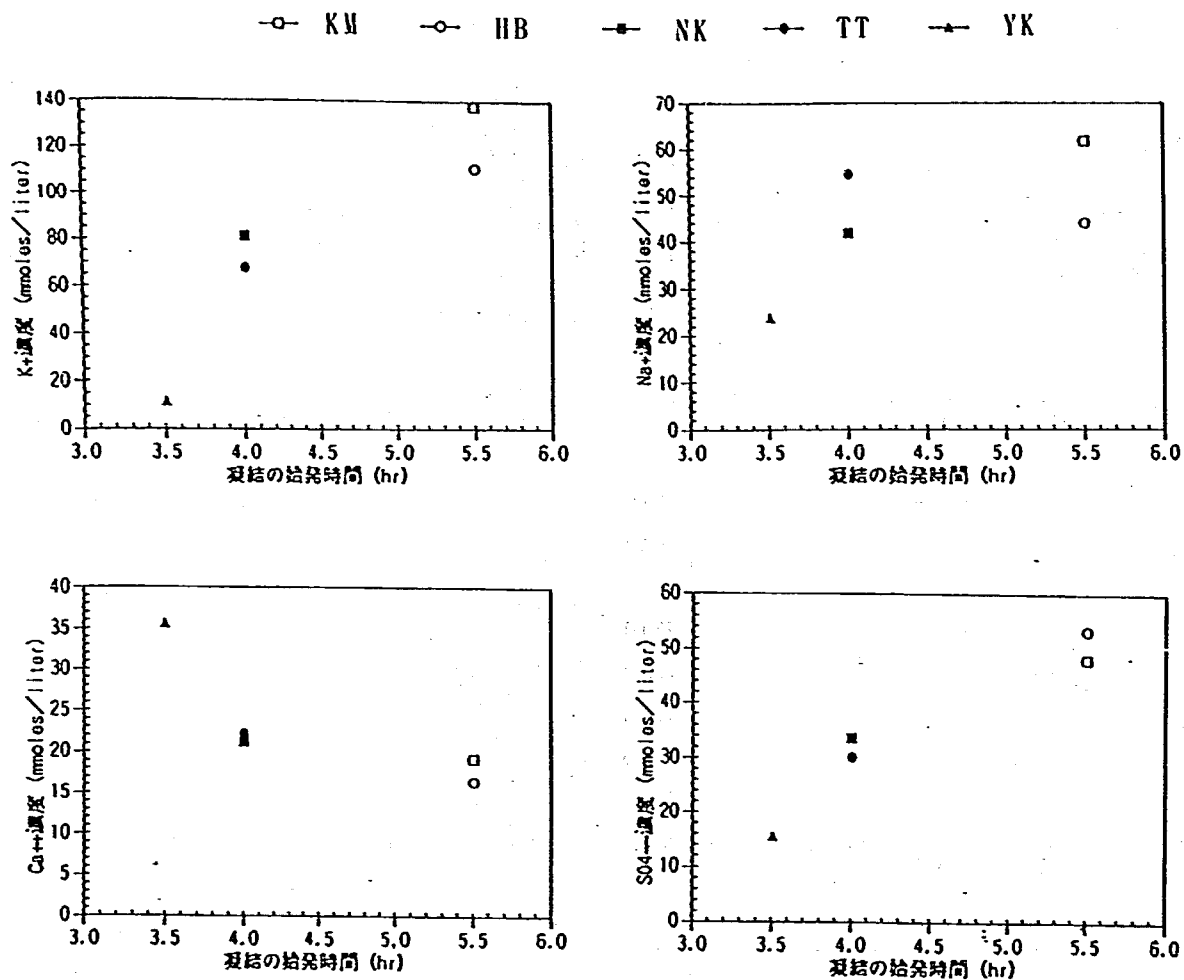


図-6 細孔溶液のイオン組成と凝結の始発時間との関係

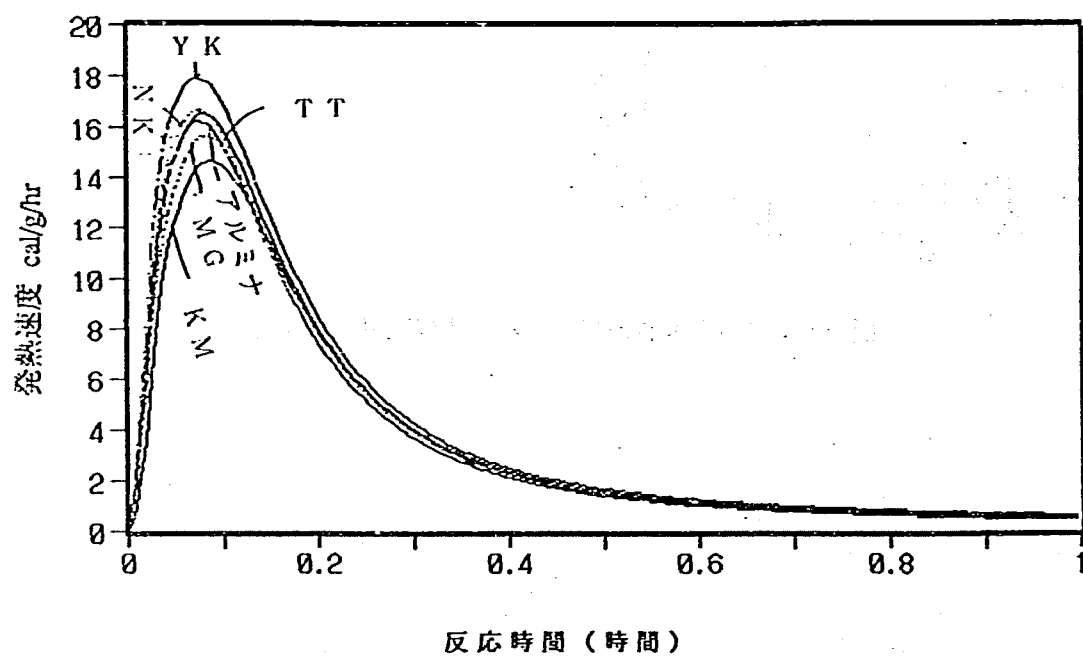


図-7 第1ピーク相当の発熱速度

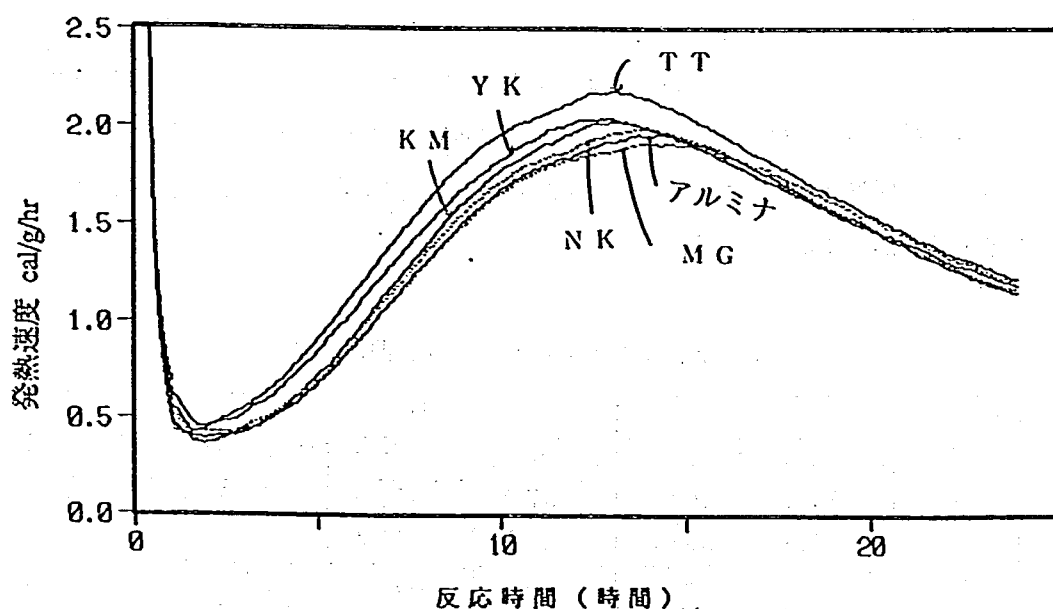


図-8 第2ピーク相当の発熱速度

表-21 示差熱分析により推定された水和生成物

試料名	1 日材令	7 日材令	28 日材令
A T T	① 90°C吸着水の脱水 ② 460°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 575°C付近、石英の転位 ④ 650°C炭酸カルシウムの分解	① 95°C吸着水の脱水 ② 470°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 575°C付近、石英の転位 ④ 680°C炭酸カルシウムの分解	① 90°C吸着水の脱水 ② 452°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 580°C付近、石英の転位 ④ 660°C炭酸カルシウムの分解
B N K	① 92°C吸着水の脱水 ② 465°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 575°C付近、石英の転位 ④ 668°C炭酸カルシウムの分解	① 90°C吸着水の脱水 ② 460°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 575°C付近、石英の転位 ④ 660°C炭酸カルシウムの分解	① 95°C吸着水の脱水 ② 453°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 578°C付近、石英の転位 ④ 560°C炭酸カルシウムの分解
C Y K	① 90°C吸着水の脱水 ② 458°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 648°C炭酸カルシウムの分解	① 90°C吸着水の脱水 ② 470°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 670°C炭酸カルシウムの分解	① 97°C吸着水の脱水 ② 470°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 675°C炭酸カルシウムの分解
D M G	① 92°C吸着水の脱水 ② 458°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 650°C炭酸カルシウムの分解	① 95°C吸着水の脱水 ② 470°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 690°C炭酸カルシウムの分解	① 100°C吸着水の脱水 ② 473°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 690°C炭酸カルシウムの分解
m H B	① 92°C吸着水の脱水 ② 465°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 575°C付近、石英の転位 ④ 660°C炭酸カルシウムの分解	① 90°C吸着水の脱水 ② 465°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 578°C付近、石英の転位 ④ 675°C炭酸カルシウムの分解	① 90°C吸着水の脱水 ② 452°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 576°C付近、石英の転位 ④ 660°C炭酸カルシウムの分解
n K M	① 95°C吸着水の脱水 ② 465°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 576°C付近、石英の転位 ④ 663°C炭酸カルシウムの分解	① 92°C吸着水の脱水 ② 467°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 578°C付近、石英の転位 ④ 665°C炭酸カルシウムの分解	① 90°C吸着水の脱水 ② 460°C水酸化カルシウムの脱水 ③ 578°C付近、石英の転位 ④ 652°C炭酸カルシウムの分解

5.5 モルタルの強度特性

硬化モルタルの性質を知るために、曲げ強度および圧縮強度試験を行った。結果を表-22に示す。またこれらの材令との関係を図-9に示した。圧縮強度は標準骨材のKM骨材が低く推移する以外はほぼ同様程度となっていた。曲げ強度は全骨材ほぼ同様に推移するが、標準骨材のKM骨材が最も低く、沸石族鉱物含有骨材のTT骨材が高くなっていた。

表-22 モルタルの圧縮強度と曲げ強度

材令	7日		28日		91日	
試料名	曲げ強度	圧縮強度	曲げ強度	圧縮強度	曲げ強度	圧縮強度
Y K	81.1	404.9	87.8	526.5	95.0	535.6
N K	71.8	398.8	84.5	539.4	94.1	536.3
T T	80.0	463.5	90.9	543.4	107.2	539.4
K M	64.7	391.3	82.8	421.7	91.5	533.1
H B	82.6	451.8	86.1	543.0	96.2	548.2

単位：(kgf/cm²)

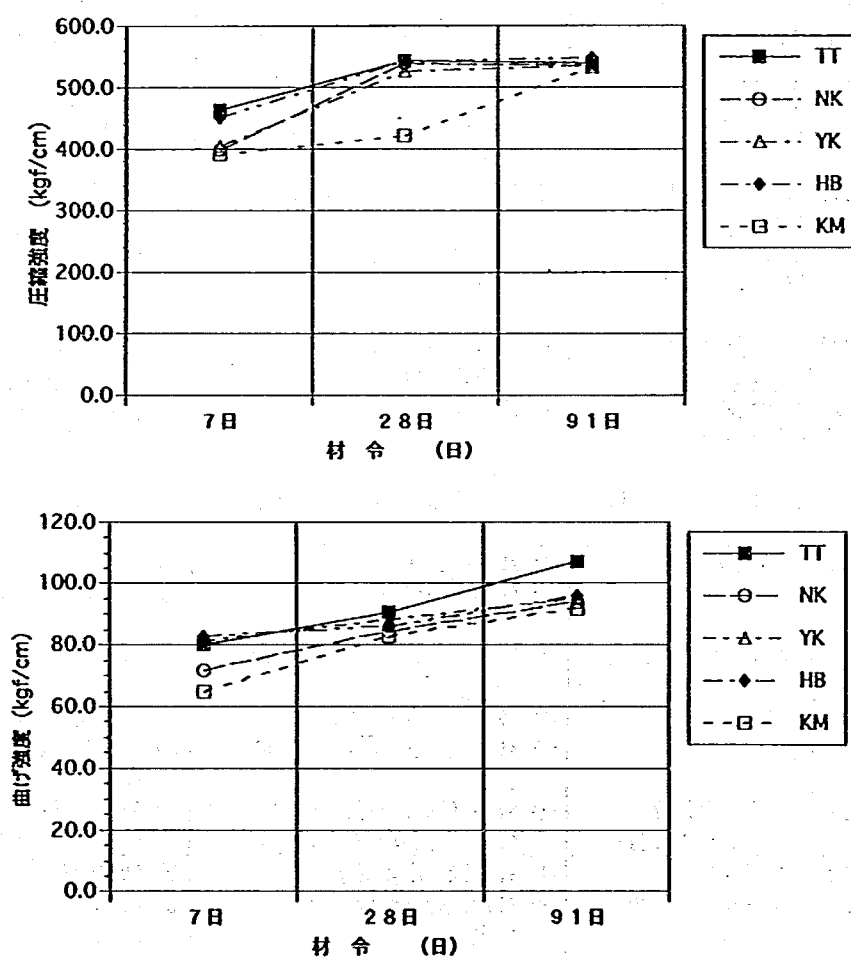


図-9 モルタルの圧縮強度と曲げ強度の経時変化

5.6 モルタルの乾燥収縮特性

モルタルの乾燥収縮試験の結果を表-23に示した。またこれらの経時変化を図-10に示した。長さ変化、重量変化ともに標準骨材に比較して沸石族鉱物含有骨材の方が変化率が大きくなっていた。また沸石族鉱物含有骨材の中でも陽イオン交換容量が大きく、モルタルのフロー値が小さく、凝結時間が早くなるYK骨材の変化率が最も大きくなっていた。

表-23 モルタルの乾燥収縮試験の結果

1) 長さ変化率 (%)

材令 (日)	K M	H B	N K	T T	Y K
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	-0.048	-0.040	-0.057	-0.067	-0.096
14	-0.071	-0.056	-0.083	-0.096	-0.138
28	-0.093	-0.077	-0.109	-0.122	-0.170
60	-0.116	-0.097	-0.127	-0.142	-0.194
90	-0.124	-0.103	-0.133	-0.146	-0.199
120	-0.130	-0.109	-0.137	-0.152	-0.205
150	-0.134	-0.113	-0.142	-0.156	-0.211
180	-0.138	-0.115	-0.143	-0.159	-0.214

2) 重量変化率 (%)

材令 (日)	K M	H B	N K	T T	Y K
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	-2.871	-2.646	-3.576	-3.368	-4.156
14	-3.446	-3.201	-4.218	-3.951	-4.779
28	-3.999	-3.750	-4.782	-4.446	-5.264
60	-4.470	-4.264	-5.240	-4.860	-5.650
90	-4.661	-4.503	-5.448	-5.070	-5.816
120	-4.777	-4.643	-5.566	-5.198	-5.915
150	-4.812	-4.713	-5.632	-5.274	-5.978
180	-4.859	-4.766	-5.679	-5.309	-6.036

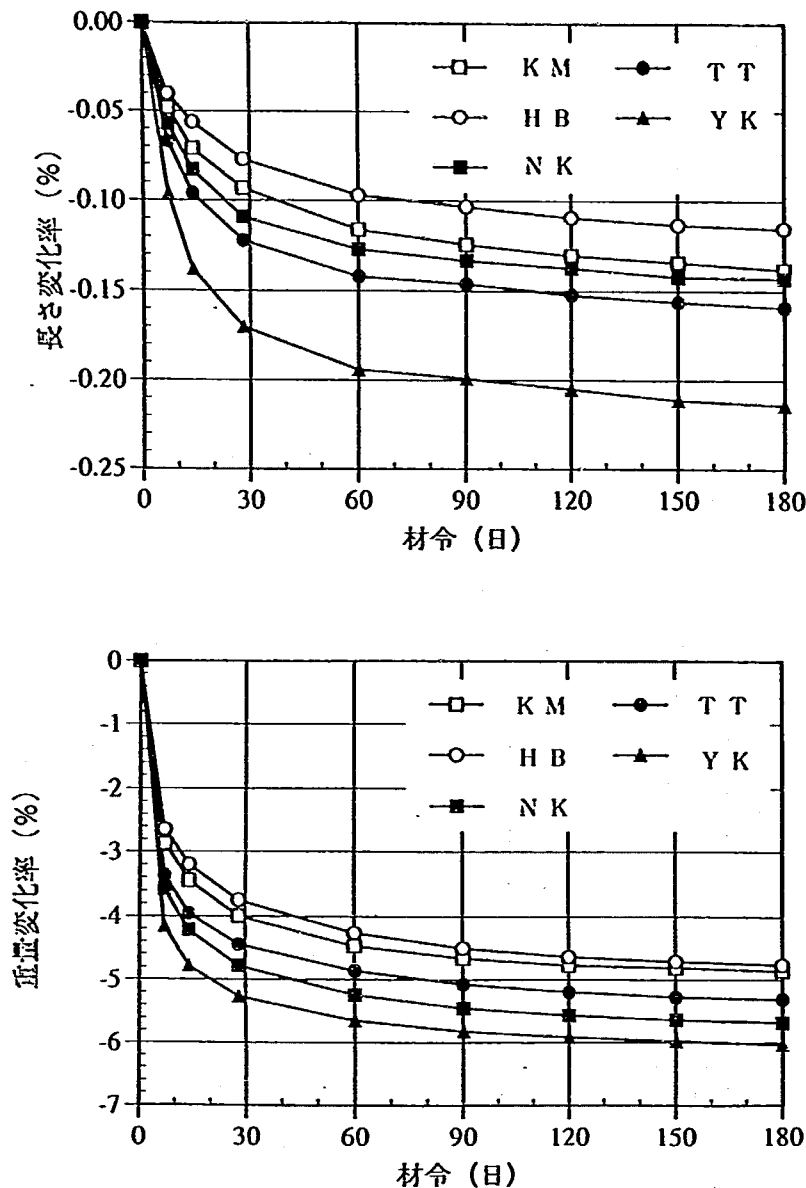


図-10 モルタルの乾燥収縮試験の結果

5.7 モルタルの乾湿繰り返しに対する特性

モルタルの乾湿繰り返し試験の結果を表-24に示す。重量変化率、長さ変化率および相対動弾性係数の経時変化を図-11に示す。

重量変化率は、標準骨材に比較して沸石族鉱物含有骨材の方が変化率がやや大きくなっていた。一方長さ変化率は標準試料のHB骨材以外はほぼ同様の変化率で推移しており、標準骨材と沸石族鉱物含有骨材との間に明瞭な差異はみとめられなかった。

動弾性係数の変化率は、沸石族鉱物含有骨材であるTT、NK骨材と標準骨材であるHB骨材が増加側で推移し、沸石族鉱物含有骨材であるYK骨材と標準骨材であるKM骨材が減少側で推移していた。標準骨材と沸石族鉱物含有骨材との間に系統的な差異はみとめられなかった。

表-24 モルタルの乾湿繰り返し試験の結果

(1) 重量 (g)

	0	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
TT 1	575.2	535.9	527.7	527.8	527.0	527.1	528.1	529.9	542.6	544.4	536.5
TT 2	575.8	536.8	528.6	528.6	527.6	527.8	529.2	529.8	541.9	543.0	536.2
TT 3	573.8	534.6	526.4	525.7	525.5	525.8	527.8	527.7	537.6	537.5	532.7
TT 平均	574.9	535.8	527.6	527.4	526.7	526.9	528.4	529.1	540.7	541.6	535.1
NK 1	570.6	531.2	522.3	522.0	520.8	522.0	524.6	526.6	546.0	548.1	539.2
NK 2	574.5	536.0	526.7	526.2	525.5	526.2	532.5	537.5	554.6	548.5	544.5
NK 3	568.8	529.6	520.9	520.7	520.2	519.6	521.7	523.8	540.9	541.9	535.3
NK 平均	571.3	532.3	523.3	523.0	522.2	522.6	526.3	529.3	547.2	546.2	539.7
YK 1	579.0	535.5	527.6	527.9	526.7	527.1	528.6	530.7	543.1	545.0	537.4
YK 2	574.0	530.5	521.9	522.3	521.3	521.3	522.4	523.0	532.3	532.7	528.8
YK 3	569.3	527.3	517.0	517.2	517.3	517.2	520.2	521.6	532.8	533.4	526.9
YK 平均	574.1	531.1	522.2	522.5	521.8	521.9	523.7	525.1	536.1	537.0	531.0
HH 1	582.8	546.3	538.2	538.8	538.1	538.8	542.1	543.2	561.2	559.7	547.8
HH 2	588.1	552.2	543.8	544.7	543.7	544.3	546.6	547.6	562.4	561.0	552.6
HH 3	578.4	542.1	533.9	534.3	533.5	533.6	537.3	538.2	556.5	553.1	545.5
HH 平均	583.1	546.9	538.6	539.3	538.4	538.9	542.0	543.0	560.0	557.9	548.6
KM 1	585.5	549.2	541.1	539.9	539.2	539.7	545.4	544.7	555.4	555.4	549.4
KM 2	585.1	549.4	541.0	540.1	539.8	540.9	546.9	545.8	559.8	560.0	555.1
KM 3	585.2	548.6	539.9	539.2	539.1	539.9	542.8	543.4	556.1	557.7	551.4
KM 平均	585.3	549.1	540.7	539.7	539.4	540.2	545.0	544.6	557.1	557.7	552.0

(2) 重量変化率 (%)

	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
TT 1	-6.83	-8.26	-8.24	-8.38	-8.36	-8.19	-7.88	-5.67	-5.35	-6.73
TT 2	-6.77	-8.20	-8.20	-8.37	-8.34	-8.09	-7.99	-5.89	-5.70	-6.88
TT 3	-6.83	-8.26	-8.38	-8.42	-8.37	-8.02	-8.03	-6.31	-6.33	-7.16
TT 平均	-6.81	-8.24	-8.27	-8.39	-8.35	-8.10	-7.97	-5.95	-5.79	-6.92
NK 1	-6.91	-8.46	-8.52	-8.73	-8.52	-8.06	-7.71	-4.31	-3.94	-5.50
NK 2	-6.70	-8.32	-8.41	-8.53	-8.41	-7.31	-6.44	-3.46	-4.53	-5.22
NK 3	-6.89	-8.42	-8.46	-8.54	-8.65	-8.28	-7.91	-4.91	-4.73	-5.89
NK 平均	-6.83	-8.40	-8.46	-8.60	-8.52	-7.88	-7.35	-4.22	-4.40	-5.54
YK 1	-7.51	-8.88	-8.83	-9.03	-8.96	-8.70	-8.34	-6.20	-5.87	-7.18
YK 2	-7.58	-9.08	-9.01	-9.18	-9.18	-8.99	-8.89	-7.26	-7.20	-7.87
YK 3	-7.38	-9.19	-9.15	-9.13	-9.15	-8.62	-8.38	-6.41	-6.31	-7.45
YK 平均	-7.49	-9.05	-8.99	-9.12	-9.10	-8.77	-8.54	-6.62	-6.46	-7.50
HB 1	-6.26	-7.65	-7.55	-7.67	-7.55	-6.98	-6.79	-3.71	-3.96	-6.01
HB 2	-6.10	-7.53	-7.38	-7.55	-7.45	-7.06	-6.89	-4.37	-4.61	-6.04
HB 3	-6.28	-7.69	-7.62	-7.76	-7.75	-7.11	-6.95	-3.79	-4.37	-5.69
HB 平均	-6.21	-7.63	-7.52	-7.66	-7.58	-7.05	-6.88	-3.96	-4.32	-5.91
KM 1	-6.20	-7.58	-7.79	-7.91	-7.82	-6.85	-6.97	-5.14	-5.14	-6.17
KM 2	-6.10	-7.54	-7.69	-7.74	-7.55	-6.53	-6.72	-4.32	-4.29	-5.13
KM 3	-6.25	-7.74	-7.86	-7.88	-7.74	-7.25	-7.14	-4.97	-4.70	-5.78
KM 平均	-6.19	-7.62	-7.78	-7.84	-7.71	-6.87	-6.94	-4.81	-4.71	-5.69

表-24 続き

(3) 長さ (cm)

	0	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
TT 1	179.09	178.20	178.90	178.95	178.75	179.25	178.65	178.83	179.04	179.10	179.11
TT 2	178.96	178.45	178.35	178.45	178.45	179.10	178.40	178.82	178.41	178.91	178.92
TT 3	178.36	177.90	177.85	178.05	178.00	178.80	178.10	178.49	178.16	178.53	178.36
TT 平均	178.80	178.18	178.37	178.48	178.40	179.05	178.38	178.71	178.54	178.85	178.80
NK 1	179.19	178.90	178.55	178.25	178.85	179.10	178.80	179.19	179.07	179.19	179.16
NK 2	178.59	178.05	178.15	178.10	178.15	178.55	178.40	178.57	178.46	178.46	179.62
NK 3	178.83	179.00	179.05	179.70	179.00	179.35	179.50	179.35	179.39	179.36	179.41
NK 平均	178.87	178.65	178.58	178.68	178.67	179.00	178.90	179.04	178.97	179.00	179.40
YK 1	178.64	178.10	178.10	178.30	178.10	179.30	178.45	178.35	178.68	178.57	178.61
YK 2	179.40	178.90	178.50	179.20	178.95	179.35	179.00	178.95	179.12	179.37	179.30
YK 3	179.25	178.75	179.00	178.95	178.90	178.90	179.10	178.25	179.37	179.31	179.30
YK 平均	179.10	178.58	178.53	178.82	178.65	179.18	178.85	178.52	179.06	179.08	179.07
HH 1	178.92	178.05	178.20	178.50	178.50	179.10	179.65	178.91	179.09	179.00	179.00
HH 2	178.60	178.60	177.75	178.55	178.55	178.65	178.80	178.85	178.86	178.82	178.71
HH 3	177.97	177.60	177.10	177.75	177.95	178.50	178.50	177.91	178.02	177.94	177.86
HH 平均	178.50	178.08	177.68	178.27	178.33	178.75	178.98	178.56	178.66	178.59	178.52
KM 1	178.89	178.45	178.20	178.60	178.95	179.00	178.50	178.71	178.86	178.79	178.55
KM 2	179.02	178.30	178.15	178.55	178.90	179.25	178.50	178.63	178.92	178.79	179.14
KM 3	178.76	177.85	177.40	178.45	178.20	179.00	178.40	178.69	178.76	178.75	178.70
KM 平均	178.89	178.20	177.92	178.53	178.68	179.08	178.47	178.68	178.85	178.78	178.80

(4) 長さ変化率 (%)

	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
TT 1	-0.50	-0.11	-0.08	-0.19	0.09	-0.25	-0.15	-0.03	0.01	0.01
TT 2	-0.28	-0.34	-0.28	-0.28	0.08	-0.31	-0.08	-0.31	-0.03	-0.02
TT 3	-0.26	-0.29	-0.17	-0.20	0.25	-0.15	0.07	-0.11	0.10	0.00
TT 平均	-0.35	-0.24	-0.18	-0.23	0.14	-0.23	-0.05	-0.15	0.02	0.00
NK 1	-0.16	-0.36	-0.52	-0.19	-0.05	-0.22	0.00	-0.07	0.00	-0.02
NK 2	-0.30	-0.25	-0.27	-0.25	-0.02	-0.11	-0.01	-0.07	-0.07	0.58
NK 3	0.10	0.12	0.49	0.10	0.29	0.37	0.29	0.31	0.30	0.32
NK 平均	-0.12	-0.16	-0.10	-0.11	0.07	0.02	0.09	0.06	0.07	0.29
YK 1	-0.30	-0.30	-0.19	-0.30	0.37	-0.11	-0.16	0.02	-0.04	-0.02
YK 2	-0.28	-0.50	-0.11	-0.25	-0.03	-0.22	-0.25	-0.16	-0.02	-0.06
YK 3	-0.28	-0.14	-0.17	-0.20	-0.20	0.08	-0.56	0.07	0.03	0.03
YK 平均	-0.29	-0.31	-0.16	-0.25	0.05	-0.14	-0.32	-0.02	-0.01	-0.01
HB 1	-0.49	-0.40	-0.23	-0.23	0.10	0.41	-0.01	0.10	0.04	0.04
HB 2	0.00	-0.48	-0.03	-0.03	0.03	0.11	0.14	0.15	0.12	0.06
HB 3	-0.21	-0.49	-0.12	-0.01	0.30	0.30	-0.03	0.03	-0.02	-0.06
HB 平均	-0.23	-0.46	-0.13	-0.09	0.14	0.27	0.03	0.09	0.05	0.01
KM 1	-0.25	-0.39	-0.16	0.03	0.06	-0.22	-0.10	-0.02	-0.06	-0.19
KM 2	-0.40	-0.49	-0.26	-0.07	0.13	-0.29	-0.22	-0.06	-0.13	0.07
KM 3	-0.51	-0.76	-0.17	-0.31	0.13	-0.20	-0.04	0.00	-0.01	-0.03
KM 平均	-0.39	-0.54	-0.20	-0.12	0.11	-0.24	-0.12	-0.02	-0.06	-0.05

表-24 続き

(5) 一次共鳴振動数

	0	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
TT1	1249	1025	1008	999	918	994	954	1057	1066	1203	1205
TT2	1174	1015	1020	942	998	1233	1011	1136	1074	982	1000
TT3	1029	735	971	696	921	986	1093	907	1062	972	949
TT 平均	1151	925	1000	879	946	1071	1019	1033	1067	1052	1051
NK1	1053	1028	1033	1150	1057	1206	1127	1230	1051	1132	1285
NK2	1071	1054	1010	1115	1157	1358	980	1238	933	1159	1274
NK3	1063	949	1093	707	650	988	1002	1136	1161	1166	1024
NK 平均	1062	1010	1045	991	955	1184	1036	1201	1048	1152	1194
YK1	960	911	1000	1018	1045	982	839	924	1294	989	1063
YK2	1097	937	1145	1031	740	959	722	1063	999	1091	1022
YK3	1008	1026	1055	1016	703	987	693	1174	990	1126	985
YK 平均	1022	958	1067	1022	829	976	751	1054	1094	1069	1023
HH1	1027	710	1059	926	904	1212	879	1205	1013	1183	1138
HH2	993	954	971	962	766	989	935	1169	1004	1155	1359
HH3	1003	1022	1009	1015	783	1059	937	1234	1018	1144	1318
HH 平均	1008	895	1013	968	818	1087	917	1203	1012	1161	1272
KM1	1417	1162	1144	1031	1125	988	862	1028	999	964	1313
KM2	1483	1031	1130	1021	1211	1016	1019	1183	1231	1035	1047
KM3	1462	1166	1024	1057	1243	1083	861	1158	1239	987	925
KM 平均	1454	1120	1099	1036	1193	1029	914	1123	1156	995	1095

(6) 動弾性係数(tf/cm²)

	0	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
TT1	1601.7	1005.0	957.1	940.2	792.7	929.6	857.9	1056.8	1100.6	1406.3	1390.5
TT2	1416.6	987.1	981.7	837.3	938.0	1432.3	965.5	1220.4	1115.7	934.7	957.1
TT3	1084.5	515.5	885.9	454.6	795.7	912.5	1125.5	774.9	1082.3	906.5	856.4
TT 平均	1367.6	835.9	941.6	744.0	842.1	1091.5	983.0	1017.4	1099.6	1082.5	1068.0
NK1	1129.3	1002.0	994.9	1232.3	1038.6	1355.2	1189.4	1422.1	1076.6	1253.7	1589.3
NK2	1176.3	1062.9	959.1	1167.7	1255.7	1732.2	912.9	1470.5	861.8	1315.2	1577.5
NK3	1147.3	851.4	1110.8	464.6	392.3	905.4	935.0	1206.6	1301.4	1315.1	1001.9
NK 平均	1151.0	972.1	1021.6	954.9	895.5	1330.9	1012.4	1366.4	1079.9	1294.6	1389.6
YK1	952.5	793.3	941.8	976.5	1026.7	907.3	664.2	808.8	1623.3	951.5	1083.9
YK2	1233.0	831.4	1221.3	991.0	509.6	855.8	486.1	1054.9	948.3	1131.8	985.9
YK3	1032.5	990.8	1027.1	953.0	456.3	899.4	445.9	1283.3	932.1	1207.2	912.5
YK 平均	1072.7	871.8	1063.4	973.5	664.2	887.5	532.1	1049.0	1167.9	1096.8	994.1
HH1	1097.2	491.6	1077.4	824.7	784.9	1412.8	747.6	1407.9	1028.0	1398.2	1266.3
HH2	1035.1	897.1	915.2	899.8	569.4	950.3	853.0	1335.8	1011.9	1335.9	1821.7
HH3	1038.6	1010.7	970.2	982.6	583.8	1068.2	842.0	1462.9	1029.4	1292.1	1691.5
HH 平均	1057.0	799.8	987.6	902.3	646.1	1143.8	814.2	1402.2	1023.1	1342.0	1593.2
KM1	2098.5	1233.7	1264.1	1024.4	1218.1	940.4	723.4	1027.5	989.4	921.3	1690.7
KM2	2296.9	1042.4	1233.1	1005.0	1413.1	996.6	1013.7	1363.5	1514.2	1070.8	1086.2
KM3	2232.7	1331.3	1010.5	1075.3	1486.8	1130.3	718.3	1300.7	1523.8	969.8	842.1
KM 平均	2209.4	1232.5	1169.2	1034.9	1372.7	1022.5	818.4	1230.5	1342.5	987.3	1206.3

(7) 相対動弾性係数 (%)

	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
TT1	62.75	59.75	58.70	49.49	58.04	53.56	65.98	68.71	87.80	86.82
TT2	69.68	69.30	59.10	66.22	101.11	68.16	86.15	78.76	65.98	67.56
TT3	47.53	81.69	41.91	73.37	84.14	103.78	71.45	99.80	83.58	78.96
TT 平均	61.12	68.85	54.40	61.58	79.81	71.88	74.39	80.40	79.15	78.09
NK1	88.73	88.09	109.11	91.97	120.00	105.31	125.92	95.33	111.01	140.72
NK2	90.36	81.53	99.27	106.75	147.26	77.61	125.01	73.26	111.81	134.11
NK3	74.21	96.82	40.49	34.20	78.91	81.49	105.17	113.44	114.63	87.33
NK 平均	84.46	88.76	82.96	77.81	115.63	87.96	118.72	93.83	112.48	120.73
YK1	83.29	98.87	102.52	107.79	95.26	69.73	84.91	170.42	99.90	113.80
YK2	67.43	99.05	80.37	41.33	69.41	39.42	85.55	76.91	91.79	79.96
YK3	95.96	99.48	92.30	44.20	87.10	43.19	124.28	90.28	116.91	88.38
YK 平均	81.28	99.14	90.76	61.92	82.74	49.60	97.79	108.88	102.25	92.68
HB1	44.80	98.19	75.16	71.54	128.76	68.14	128.31	93.69	127.43	115.41
HB2	86.66	88.42	86.93	55.01	91.81	82.40	129.05	97.76	129.06	175.99
HB3	97.31	93.41	94.60	56.21	102.84	81.07	140.85	99.11	124.40	162.85
HB 平均	75.67	93.44	85.37	61.12	108.21	77.03	132.66	96.79	126.97	150.73
KM1	63.08	60.24	48.82	58.05	44.81	34.47	48.96	47.15	43.90	80.57
KM2	45.38	53.68	43.75	61.52	43.39	44.13	59.36	65.92	46.62	47.29
KM3	59.63	45.26	48.16	66.59	50.63	32.17	58.26	68.25	43.43	37.72
KM 平均	55.78	52.92	46.84	62.13	46.28	37.04	55.70	60.76	44.69	54.60

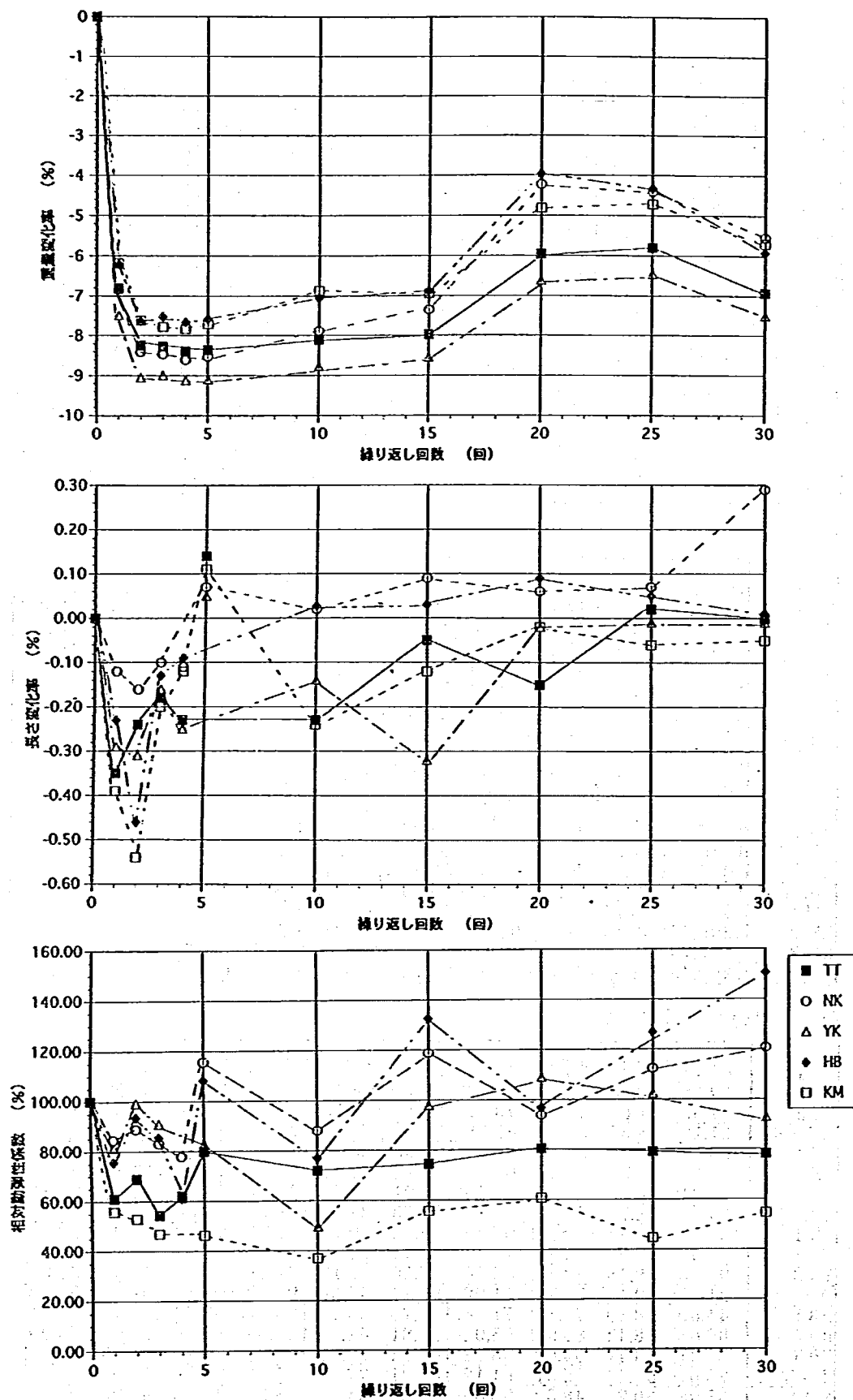


図-11 モルタルの乾湿繰り返し試験の結果

6. まとめ

1) 骨材の性質

- (1) 4種類の沸石族鉱物含有骨材として使用した骨材のうち、NK骨材では濁沸石の存在が確認できた。YK骨材ではスチルバイトを僅かに含有し、濁沸石を2.2%程度含有していた。TT骨材では脈として濁沸石を含有し粘土鉱物も含有していた。MG骨材でも脈として濁沸石を含有し、有色鉱物を交代したスメクタイトが認められた。
- (2) 沸石族鉱物含有骨材のうち、陽イオン交換容量はNK骨材とTT骨材で4 meq/100g前後であり、YK骨材とMG骨材で10 meq/100g前後であった。代表的な低品質骨材であるスメクタイト族鉱物含有骨材に比較し、小さい傾向にあった。交換性陽イオンの主体はいずれも交換性カルシウムイオンであった。いずれの骨材も炭酸カルシウム鉱物を含有しており、NK骨材が最も多量に含有していた。
- (3) 沸石族鉱物含有骨材のうち絶乾比重が2.5に満たないものはNK骨材の2.49のみであり、吸水率が3%を越えるものはYK骨材の3.18%の1点のみであった（なお、モルタル作製に調整した細骨材では、YK骨材の比重も2.48と規格を満たしていない）。スメクタイト族鉱物含有骨材に比較し、吸水率は非常に小さい傾向にあった。いずれの試料も安定性損失量は規定値の最小値12%を越えるものは無く、アルカリ骨材反応性はいずれも無害と判定された。

2) モルタルの性質

- (1) 沸石族鉱物含有骨材を使用したモルタルの細孔溶液組成は、標準骨材に比較して、カリウム、硫酸イオン濃度が低く、カルシウムイオンがやや高かった。この傾向はスメクタイト族鉱物含有骨材で見られた現象と同様であった。水和発熱過程には沸石族鉱物含有骨材と標準骨材の間に明瞭な差異は認められなかった。
- (2) 沸石族鉱物含有骨材は標準骨材に比較し、モルタルのフロー値は小さく、凝結時間が早まる傾向がみられた。各モルタルの凝結時間と細孔溶液のカリウム、硫酸、カルシウムイオン及び陽イオン交換容量との間にスメクタイト族鉱物含有骨材で見られるのと同様の相関が認められた。
- (3) 沸石族鉱物含有骨材と標準骨材とを比較した場合、乾燥収縮における長さ変化と重量変化は大きくなる傾向がみられたが、乾湿繰り返しによる長さ変化、曲げ強度においても明瞭な違いはみとめられなかった。

沸石族含有岩石の工学的特性
に関する共同研究報告書(1)

土木研究所共同研究報告書第95号
平成 6 年 1 月 (1994)

中村・脇坂・阿南・前田・佐々木・
菅原・宇田・福田・中尾・正木・
石川・三谷・野坂・門倉・黒木・
林・松岡・藤原・岡本・武田・宮崎

要 旨

2%程度までの濁沸石を含んだ骨材を使って、濁沸石がコンクリート・モルタルに与える影響の把握を主目的として、フレッシュモルタルの性質、モルタル細孔溶液組成、水和発熱特性、強度、乾燥収縮、乾湿繰り返しに関する試験を行った。その結果、この程度の濁沸石含有量では、モルタルの性質は、濁沸石非含有の骨材を使った場合と差がないことがわかった。

キーワード：沸石族鉱物・濁沸石・骨材・コンクリート・モルタル

郵便はがき

50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
環境部地質研究室 行

No. 008

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所共同研究報告書第95号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏名

印