Japan Concrete Institute

論 文

[1125] モンモリロナイト含有骨材を使用したコンクリートの物理的性質

正会員○脇坂安彦（建設省土木研究所）
正会員 宇治公隆（大成建設株式会社）
正会員 林 順三（株式会社熊谷組）
佐々木肇（株式会社間組）

１．はじめに

近年、良質骨材の枯渇に伴ない、品質の劣る骨材も使用せざるを得なくなってきている。変質鉱物の１つであるモンモリロナイト（粘土鉱物の一種）を多く含んだ岩石を骨材として使用したコンクリートでは、偽凝結現象やひびわれなどが生じる例が知られている。もし、これらのような現象が生じるとすれば、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ことも考えられ、コンクリート構造物にとって問題である。迫田[1]は、モンモリロナイト含有量が10%以上の場合、長さ変化、強度等に影響するとしている。

そこで本研究では、原石の鉱物化学的試験を実施し、さらにはモルタルおよびコンクリートの硬化前後の諸性質を検討することにより、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を目的とした。

２．使用骨材の性質

モンモリロナイト含有骨材として４種類（記号：A、B、C、Iで示す）、モンモリロナイトを含まない標準骨材として２種類（記号：K、Lで示す）を使用した。骨材の性質を表－１に示す。なお、モンモリロナイトの定量は、桜井らの提案する方法[2]に準拠した。

表－１ 骨材の性質

項 目	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2	C	I	K	L
産 地	北海道				青森県		宮城県	山形県	茨城県	佐賀県
生成年代	中新世				中新世		中新世	中新世	二畳紀	鮮新世
岩 質	輝石安山岩				粗粒玄武岩		含石英輝石安山岩	粗粒玄武岩	砂岩	玄武岩
モンモリロナイト含有量 %	7～11				12～14		12～14	20～23	0	0
陽イオン交換容量 (CEC) meq/100g	23.3	20.7	15.2	15.5	31.0	22.0	24.6	18.5	8.7	3.9
吸水率 %	5.03	4.33	4.40	4.55	4.03	3.26	3.57	3.73	1.72	2.86
表乾比重	2.51	2.53	2.53	2.52	2.68	2.68	2.61	2.68	2.60	2.79

３．試験項目

本研究では、コンクリートでの試験とともに、モンモリロナイト含有骨材を用いた場合の特性をより明確にするため、モルタルでの試験を実施した。

モルタル試験では、フレッシュな状態での諸性質、主にフロー特性、凝結硬化特性を把握し、水和発熱過程、硬化後の強度特性について検討した。また、合わせて骨材の含水比の影響についても検討した。コンクリート試験では、スランプ特性、凝結硬化特性等のフレッシュな状態での各種性質および硬化後の強度特性、凍結融解に対する抵抗性等の検討を行った。

４．モルタルの性質

４．１ 配合

骨材は水洗いし、絶乾状態で表－２に示す粒度に調整した。セメントには普通ポルトランドセメントを用い、水セメント比W/C=50%、砂セメント比S/C=2.0 とした。なお、各砂は表乾状態で使用した。骨材含水比の影響に関する試験では、水セメント比を練り混ぜ後に所定の値になるよ

NII-Electronic Library Service

うに調整した。

４．２　モルタルの基本的性質

４．２．１　フレッシュモルタルの性質

１）凝結硬化速度

図－１にモルタルの凝結硬化速度試験結果（ASTM C 403による）を示す。標準モルタル（骨材Ｌで作製したモルタル）に比較して、モンモリロナイト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が早くなっている。特に、Ａ骨材が顕著であった。

表－２　細骨材の粒度分布

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

２）フロー値

練り上がったモルタルをJIS R 5201に準拠し、テーブルフロー試験を実施した。試験結果を図－２に示す。標準モルタルに対して、モンモリロナイト含有骨材を使用したモルタルのフロー値はいずれも小さい。特にＡ骨材のフロー値は大幅に低下している。フロー値の傾向は図－１の凝結硬化速度とほぼ同様の傾向を示している。

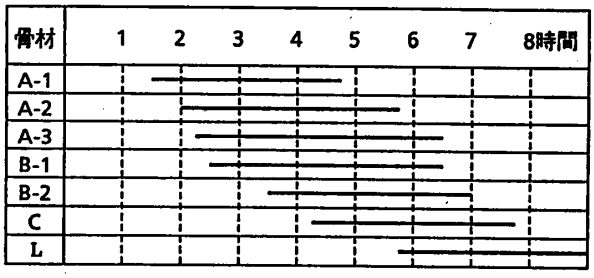


図-1　凝結硬化速度試験結果

図－３に骨材の陽イオン交換容量（以下、ＣＥＣと称する）とフロー試験結果の関係を示す。Ａ骨材とその他の骨材とでは傾向が異なっているものの、ＣＥＣの増加に伴いフロー値が低下することがわかる。また、骨材の吸水率と凝結硬化速度、フロー値との間にも相関が認められる。

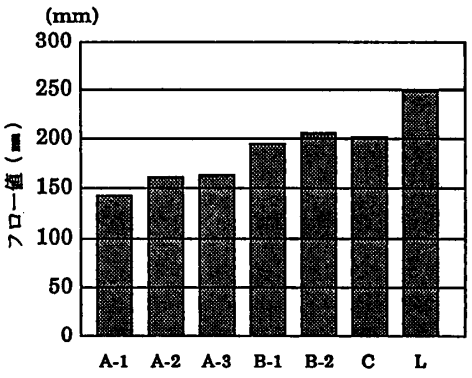
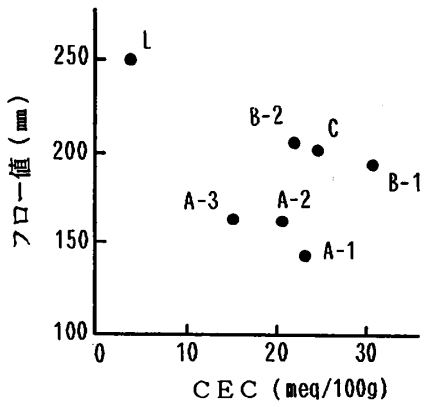


図-2　テーブルフロー試験結果

３）水和発熱

モルタル中で生じている水和反応の様子を水和発熱過程により検討した。試験の手順は次の通りである。骨材は88～ 105μm の粒度に調整し、セメント 2gと骨材 2gを 5分間混合し、この混合試料 1.3gを計り取り、 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。蒸留水の入ったゴム膜シールを針で破り錠剤に水を落して水和を開始させ、コンダクションカロリーメーターを用いて、水和開始から48時間までの水和発熱を測定した。なお、試料としては各粘土鉱物含有骨材に標準骨材を混合しモンモリロナイト含有量を変えたものを用いた。



図－３　陽イオン交換容量（ＣＥＣ）とフロー値の関係

水和発熱の過程でモンモリロナイト含有骨材と標準骨材で図－４に一例を示したような誘導期（図－４の①～②の区間）の状態に違いがみられた。モンモリロナイト含有骨材では誘導期に第３ピークが認

NII-Electronic Library Service

められるものが多く、一方、標準骨材ではこのようなピークは認められない。

図－５はＣＥＣと第３ピークの発熱量、開始時間（図－４の①の時間）および第２ピークの開始時間（③の時間）との関係を示したものである。

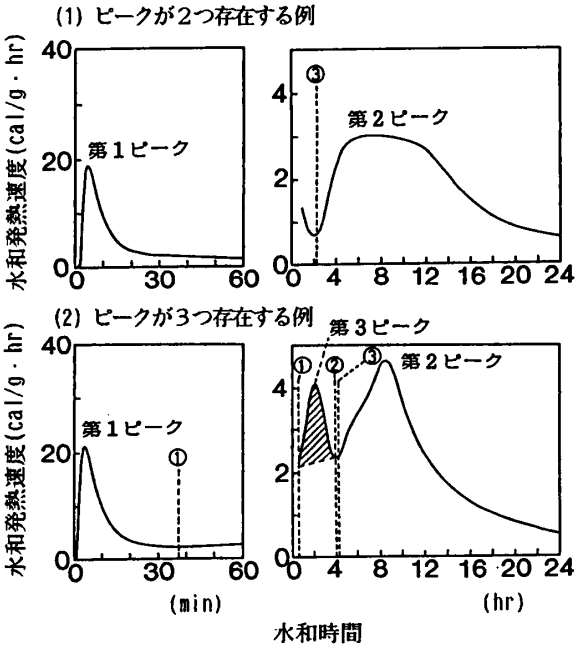
発熱量とＣＥＣとの間には骨材別に正の相関が認められるものが多い。相関が認められないのは、第３ピークを持たないＣ骨材のＣＥＣが20meq/100g以下の試料である。第３ピークの開始時間とＣＥＣとの間には全体的に負の相関が認められる。第２ピークの開始時間とＣＥＣとの間には骨材別に正の相関が認められるものが多い。相関が認められないのは発熱量と同じくＣ骨材である。

このように、骨材によって程度は異なっているが、ＣＥＣの増加とともに第３ピークの発熱量は大きくなるとともに開始時間は早くなってくる。また、ＣＥＣの増加に伴って第２ピークの開始時間は第３ピークの開始時間とは逆に遅くなってくる。このような傾向は田中[3]が述べているＣ$_3$Ａが通常よりも多い場合のポルトランドセメントの水和発熱過程と類似している。そして、この第３ピークの存在が今までに述べてきたようなモンモリロナイト含有骨材を使ったモルタルの凝結時間と関係しているものと考えられる。すなわち、モンモリロナイト含有骨材を使ったモルタルの凝結時間が早くなるのは水和反応の変化が一因と考えられる。

４．２．２　圧縮強度

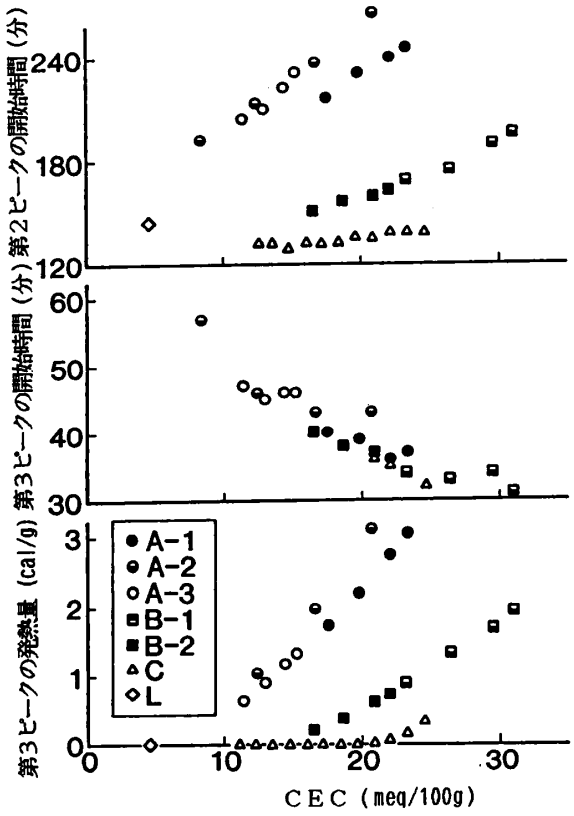
材令 7日と28日について、JIS R 5201に従って圧縮強度および曲げ強度試験を実施した。モンモリロナイト含有Ａ骨材 (A-1,A-2,A-3)を使用したモルタルの圧縮強度は平均で材令 7日が 332kgf/㎠、材令28日が 460kgf/㎠であり、一方、標準モルタル（Ｌ骨材使用）は材令 7日で 342kgf/㎠、材令28日で 492kgf/㎠であり、各材令で97%および94%の強度比である。

また、曲げ強度はＡ骨材を使用したモルタルが材令 7日で59.7kgf/㎠、材令28日で80.1kgf/



註）第３ピークの発熱量は図の斜線部を積分したものである

図－４　水和発熱曲線の代表例



図－５　ＣＥＣと水和発熱特性との関係

NII-Electronic Library Service

㎠であるのに対し、標準モルタルはそれぞれ69.1kgf/㎠、84.6kgf/㎠で、強度比は86%および95%であった。

４．３　骨材含水比の影響

通常、実施工に於ける細骨材は湿潤状態にあり、計量する水の量を補正して練り混ぜを行っている。そこで、骨材としてＡ４、ＩおよびＬを取り上げ、細骨材の含水比がフレッシュモルタルの性質に及ぼす影響について検討した。砂の含水比は以下の３種類とした。

1)表乾状態の砂重量の５%増加分の含水状態の砂（＋５%の砂と称する）

2)表乾状態の砂（表乾状態の砂（０%）と称する）

3)表乾状態の砂重量の２%減少分の含水比の砂（－２%の砂と称する）

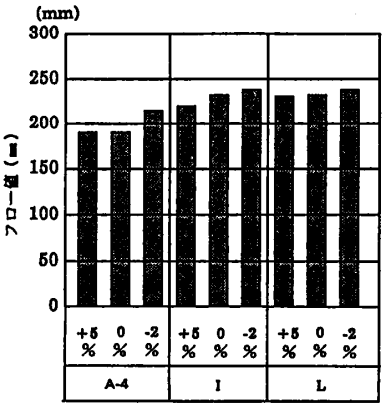


図-6　含水補正量とフロー試験結果

図－６のように含水比の増加によりフロー値は低下する傾向を示している。これは、表面水の全量を練り混ぜ水には加算できず、表面水の一部は、骨材に物理的に吸着されるものと推測される。その結果として、表乾状態の砂を用いた場合と、その他の場合でフローに差が生じていると考えられる。

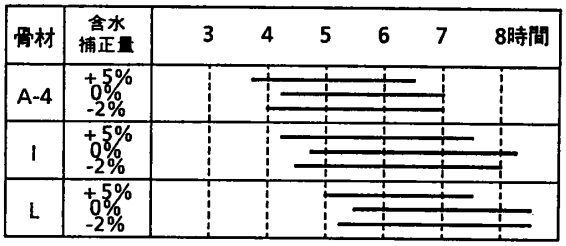


図-7　凝結硬化速度試験結果

図－７に凝結硬化速度試験結果を示す。いずれのモルタルについても、表乾状態の砂および（－２%の砂）を使用した場合に比べ、（＋５%の砂）を使用した場合の方がモルタルの凝結は始発、終結とも早くなっている。これは、フロー試験の結果からもわかる通り、（＋５%の砂）を使用した場合、セメントとの水和に関係する練り混ぜ水が実質減少しているためと考えられる。

以上のような現象は標準骨材Ｌでも生じており、特にモンモリロナイトが関与した現象ではないと考えられる。

５．コンクリートの性質

５．１　コンクリートの種類および配合

コンクリート試験は、粗骨材、細骨材ともにモンモリロナイト含有骨材を用いたものと、粗骨材にモンモリロナイト含有骨材を用い細骨材は標準骨材を用いたもの、および粗骨材、細骨材ともに標準骨材を用いたものの３種類について行った。

表－３　コンクリートの種類およびフレッシュ時の性質

No.	粗骨材	細骨材	スランプ	空気量
1	Ａ３	Ａ３	9.0 ㎝	4.6%
2	Ｂ２	Ｂ２	18.0	4.8
3	Ｃ	Ｃ	17.0	4.9
4	Ｋ	Ｋ	17.0	4.6
5	Ａ３	Ｋ	12.0	5.1
6	Ｂ２	Ｋ	18.5	3.4
7	Ｃ	Ｋ	18.0	4.5

試験体の組合わせを表－３に示す。以下では、コンクリートを（粗骨材の記号－細骨材の記号）で表す。使用骨材の違いによるコンクリートの物性値の相違を比較検討するため、各コンクリートの配合は一定とした。単位水量は、まずＡ３骨材を使用したコンクリートのスランプが１０㎝程度となるように定め、その他のコンクリートについてはＡ３骨材使用の単位水量に合わせることとした。その結果、粗骨材最大寸法Ｇmax ＝20㎜、水セメント比 W/C＝50%、細骨材率 s/a＝42%、単位水量Ｗ＝185 kg/m3 、ＡＥ減水剤使用量Ｃ×0.25%とした。

NII-Electronic Library Service

５．２　フレッシュコンクリートの基本的性質

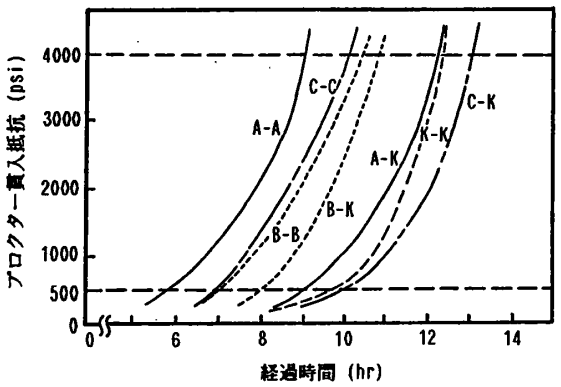
１）スランプ

表－３に示すごとく、スランプはＡ骨材を使用したコンクリート（Ａ３－Ａ３、Ａ３－Ｋ）が10㎝程度で、標準コンクリート（Ｋ－Ｋ）に比べて特に小さくなったが、その他のコンクリートは18㎝程度で標準コンクリートとほぼ同じであった。

２）凝結硬化速度

図－８に各コンクリートの凝結硬化速度の試験結果を示す。粗骨材および細骨材にモンモリロナイト含有骨材を使用した場合、いずれのコンクリートも標準コンクリートＫ－Ｋに比べ始発および終結時間は早く、特にＡ３－Ａ３は早くなっている。一方、細骨材に標準骨材Ｋを使用した場合においては、Ａ３－ＫおよびＣ－Ｋは標準コンクリートと同程度の結果となっているのに対し、Ｂ２－Ｋは始発および終結時間が標準コンクリートに比べ１～２時間早くなっている。

このように、細骨材にモンモリロナイト含有骨材を使用したコンクリートは、細骨材に標準骨材を使用したコンクリートよりも始発・終結が早くなっており、細骨材が凝結に与える影響が大きいことがわかる。



図－８　凝結硬化速度試験結果

５．３　硬化コンクリートの性質

１）圧縮強度

モンモリロナイト含有骨材を使用したコンクリートの圧縮強度は材令28日で 281～344 kgf/㎠であり、標準コンクリートＫ－Ｋ（ 417kgf/㎠）に比べて強度は67～82%と低く、細骨材を標準骨材Ｋで置き換えた場合でも、強度の低下は小さく押さえられるものの 334～375 kgf/㎠で強度比は80～90%であった。

２）凍結融解

凍結融解試験結果を図－９に示す。

凍結融解 300サイクルにおける重量減少率は、最大でもＡ３－Ａ３の 5.4%であり、その他のコンクリートでは 2～ 4%であった。

相対動弾性係数は、 300サイクル終了時で標準コンクリートが74%まで低下しているが、モンモリロナイト含有骨材を使用したコンク

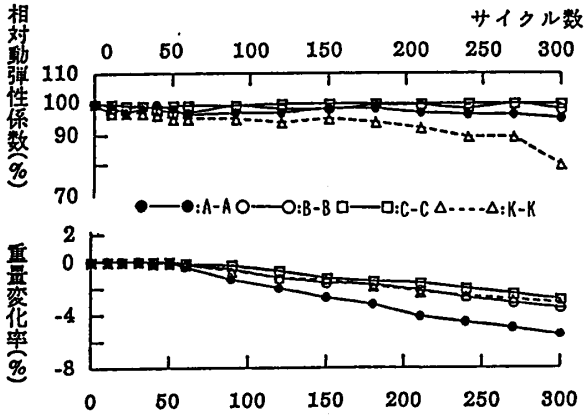
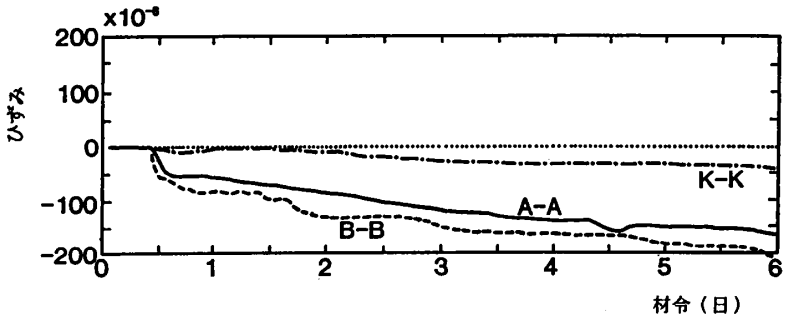


図-9　凍結融解試験結果



図－１０　若材令期の長さ変化

NII-Electronic Library Service

Japan Concrete Institute

リートはいずれも90%以上の値を示しており、凍結融解による劣化は認められなかった。

3）長さ変化

コンクリート供試体（断面10cm×10cm×高さ40cm）の中央部に埋め込み型ひずみ計を配置し、恒温恒湿室内（20℃、90%R.H.）でA3、B2、K骨材使用コンクリートの打ち込み後のひずみ測定を行った。

ひずみ変化は、各コンクリートの凝結始発時間を基点とした。

図－10のごとく、標準コンクリートは材令の経過に伴う収縮ひずみ量が小さく、材令 6日において約40μ程度の収縮ひずみ量となっているのに対し、A3－A3およびB2－B2ではそれぞれ凝結の始発から収縮がみられ、材令 6日においてA3－A3では約 150μ、B2－B2では約 200μの収縮ひずみ量となっている。これより、モンモリロナイト含有骨材を使用したコンクリートは若材令期の収縮が大きいことがわかる。

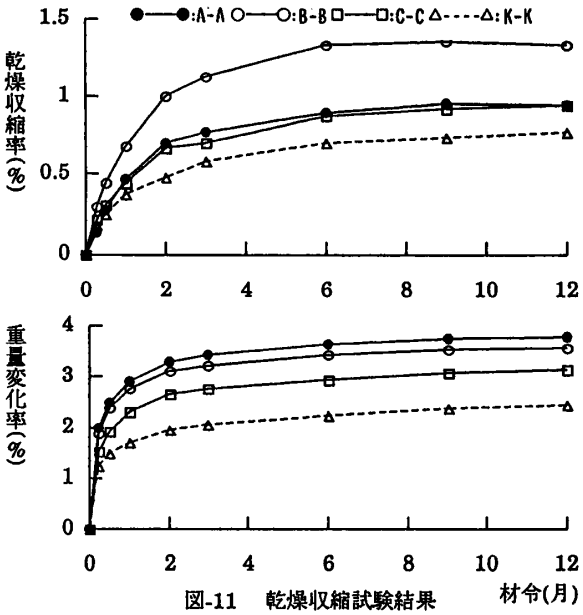


図-11　乾燥収縮試験結果

また、図－11に20℃、60%R.H.の恒温低湿室での乾燥収縮試験結果を示す。重量変化、長さ変化ともにモンモリロナイト含有骨材を使用したコンクリートは、標準コンクリートに比較して変化率が大きい。

6．まとめ

モンモリロナイト含有骨材を使ったモルタルおよびコンクリートの各種試験を行った結果、次のことが明らかとなった。

1）モンモリロナイト含有骨材を使用したモルタル・コンクリートと標準骨材を使用したモルタル・コンクリートで顕著な違いがみられたのはフレッシュな状態での性質である。モンモリロナイト含有骨材を使用した場合の始発・終結は標準骨材に比べ早く、フロー値も小さいなど、モンモリロナイト含有骨材を使用したモルタル・コンクリートは初期に硬くなる性質を有している。これにより、コンクリートのワーカービリチーが低下するものと考えられる。

2）上記のような違いが生じた原因としては、モンモリロナイトとセメントとの化学反応にともなう水和反応特性の変化が考えられる。このことは、モルタルの水和発熱過程の測定における第3ピークの存在から示唆される。

3）一方、硬化後のモルタルおよびコンクリートの性質にはフレッシュ時ほど顕著な差はみられなかった。圧縮強度は標準コンクリートに比べ67～82%と低く、また乾燥収縮は大きくなるものの、凍結融解に対しては特に問題はなかった。

〈参考文献〉

1) 迫田恵三：骨材中の粘土鉱物がコンクリートの性質に与える影響、コンクリート工学年次論文報告集　10-2, 1988, pp.583～588

2) 桜井孝・立松英信・水野清：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, 1986, 27p

3) 田中弘文：セメント化学雑論のはじめに，セメント・コンクリート, No.396, 1980, pp.53-58

NII-Electronic Library Service