

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	二疊紀	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

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。

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-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。

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88~105 μ m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。

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

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

骨材	1	2	3	4	5	6	7	8時間
A-1		—	—	—	—	—	—	—
A-2		—	—	—	—	—	—	—
A-3		—	—	—	—	—	—	—
B-1		—	—	—	—	—	—	—
B-2		—	—	—	—	—	—	—
C		—	—	—	—	—	—	—
L		—	—	—	—	—	—	—

図-1 凝結硬化速度試験結果

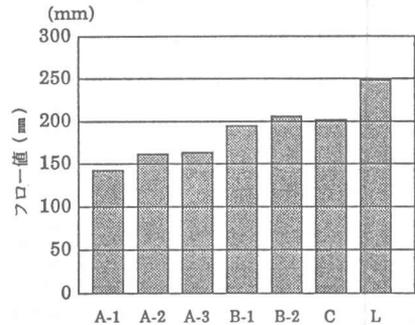


図-2 テーブルフロー試験結果

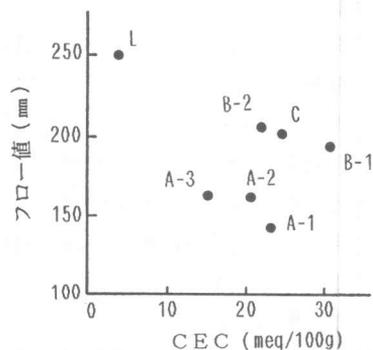


図-3 陽イオン交換容量 (CEC) とフロー値の関係

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。

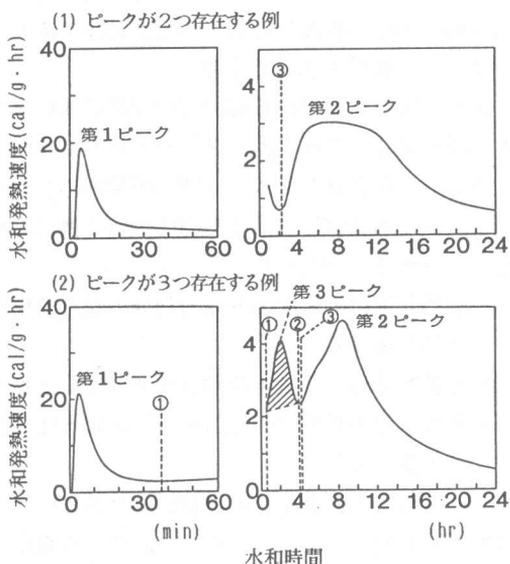
発熱量とCECとの間には骨材別に正の相関が認められるものが多い。相関が認められないのは、第3ピークを持たないC骨材のCECが20meq/100g以下の試料である。第3ピークの開始時間とCECとの間には全体的に負の相関が認められる。第2ピークの開始時間とCECとの間には骨材別に正の相関が認められるものが多い。相関が認められないのは発熱量と同じくC骨材である。

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いく。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いく。このような傾向は田中³⁾が述べているC₃A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/cm²、材令28日 が 460kgf/cm²であり、一方、標準モルタル(L骨材使用)は材令 7日 で 342kgf/cm²、材令28日 で 492kgf/cm²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/cm²、材令28日 で80.1kgf/cm²



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

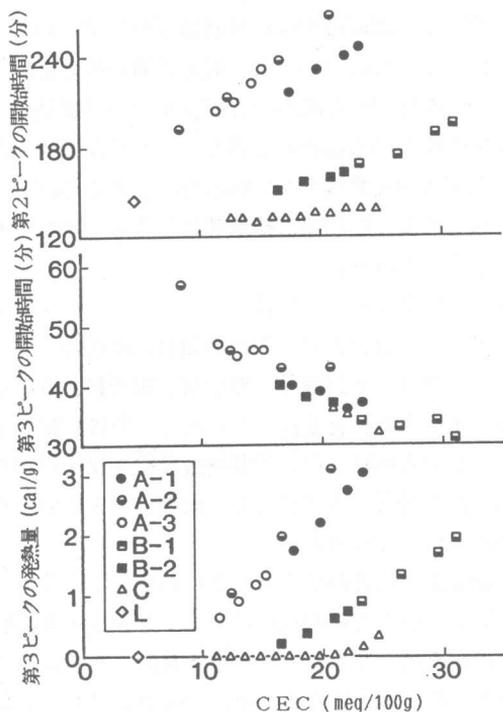


図-5 CECと水和発熱特性との関係

cm³であるのに対し、標準モルタルはそれぞれ69.1kgf/cm²、84.6kgf/cm²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。

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10cm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にした。その結果、粗骨材最大寸法G_{max} = 20mm、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。

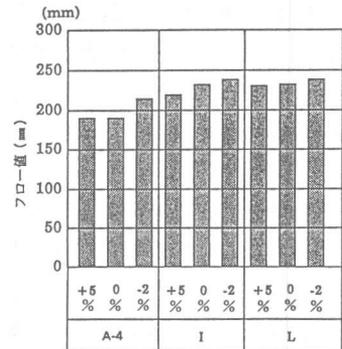


図-6 含水補正量とフロー試験結果

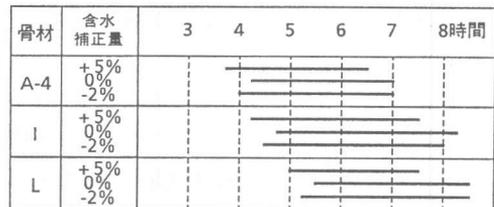


図-7 凝結硬化速度試験結果

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 cm	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

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10cm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18cm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・終結が早くしており、細骨材が凝結に与える影響が大きいことがわかる。

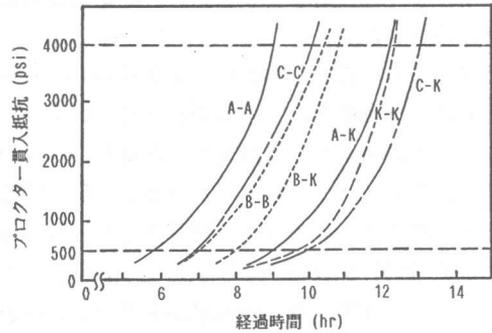


図-8 凝結硬化速度試験結果

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/cm²であり、標準コンクリートK-K (417kgf/cm²)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/cm²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

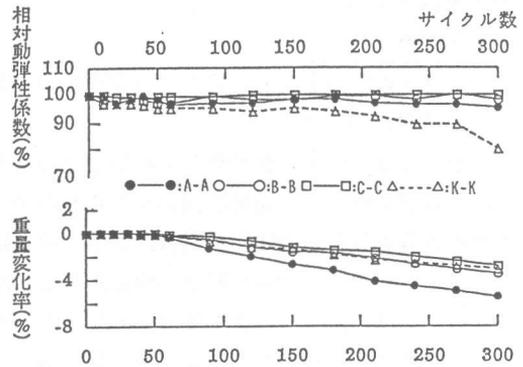


図-9 凍結融解試験結果

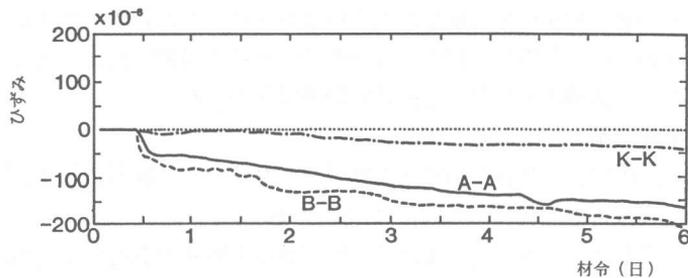


図-10 若材令期の長さ変化

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。

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

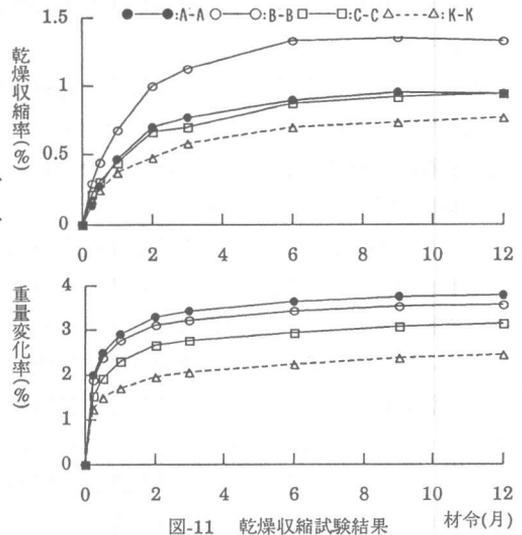


図-11 乾燥収縮試験結果 材令(月)