

[1103] 骨材中の粘土鉱物がコンクリートの性質に与える影響

正会員 迫田 恵三 (東海大学海洋学部)

1. まえがき

骨材中に粘土鉱物等の膨張性物質が含まれていると、コンクリートの長さ変化や、圧縮強度、静弾性係数等に大きな影響を及ぼすといわれている。粘土鉱物の中には特にモンモリロナイト、クロライト、イライトのように吸水膨張し、脱水して収縮するといった性質を持つものがある。このうちモンモリロナイトは、大きさが1 μ 以下のものから数 μ とひじょうに細かく、吸水膨張することによって体積が原容積の7~10倍になるといわれている。このモンモリロナイトは砂岩、粘板岩等の堆積岩のみならず、安山岩、玄武岩等の火山岩にも存在する。このモンモリロナイトがコンクリート用骨材に含有している場合には、その含有量によつてはコンクリートの性質に大きく影響するものと考えられる。しかし、モンモリロナイトがコンクリートの性質に与える影響についての研究報告は少なく、また、骨材中のモンモリロナイトの定量法についても確立された方法はみられない。

そこで、本研究では骨材中のモンモリロナイトの定量化を試み、またモンモリロナイトがコンクリートの長さ変化、圧縮強度、静弾性係数にどのように影響を与えるかについて研究をおこなつた。

2. 使用骨材

表-1に骨材の性質を示す。使用した骨材は粗骨材8種類、細骨材として富士川産を使用した。使用した骨材の岩石名は石灰岩、安山岩、砂岩である。

表-1 骨材の性質

	比重 (%)	吸水率 (%)	モンモリロナイト量 (%)	岩石名
石灰岩A	2.72	0.32	0	カルサイト質
石灰岩B	2.79	0.63	0	ドロマイト質
青森産	2.55	4.05	4.4	安山岩
伊豆長岡産	2.37	4.66	4.9	安山岩
清水産	2.61	3.07	12.0	砂岩
富士川産	2.64	0.81	4.4	砂岩
人工軽量	1.53	23.0		
伊東産	2.66	1.75	0	安山岩
富士川産S	2.62	1.02	3.2	砂岩

図-1に粗骨材のX線回折結果を示す。モンモリロナイトは回折角6度のところにそのピークが現れるが、清水、富士川、長岡、青森産にそのピークみられる。

表-2 配合表

W/C	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (l/m ³)	G (l/m ³)	S P (%)
0.3	189	630	249	361	C×1
0.5	189	378	310	381	
0.7	189	270	354	371	

3. 実験方法

3-1. X線によるモンモリロナイト定量法

一般に岩石中の鉱物量を測定する方法としては、顕微鏡を用いた鉱物容量法が用いられている。この方法は岩石薄片を2~

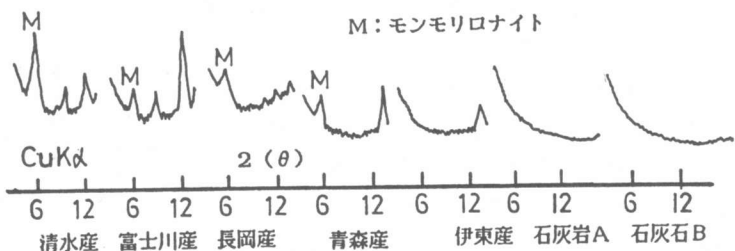


図-1 骨材のX線回折図

5枚作製し、岩石表面の鉱物面積を求める方法であるが、モンモリロナイトの場合には粒子が細かいために、鉱物判定が難しいことと、X線による存在確認、薄片制作の手間など問題も多い。

そこで、本研究ではX線回折の強度が大きいほど鉱物量が多いことに注目し、市販されている高純度のモンモリロナイトと、石英の重量比を2%~20%に変えて混合し、X線回折をおこなった。

3-2. コンクリートの長さ変化

コンクリートの配合を表-2に示す。水セメント比は30, 50, 70%とし、各骨材を比較するため、単位水量、セメント量、骨材容積を一定にした。養生方法は(1)脱型後1週間標準養生した後、恒温養生したもの、(2)脱型直後に恒温養生したもの、(3)4日恒温養生、3日標準養生の乾湿繰り返し養生とした。材令は1, 4, 8, 13, 26週とした。恒温養生は温度20℃、湿度60%(RH)でおこなった。供試体の寸法は10×10×40cm、長さ変化率はダイヤルゲージ法によった。

3-3. コンクリートの圧縮強度、静弾性係数

養生方法は長さ変化率と同じように行い、材令は1, 4, 13週とした。

4. 実験結果及び考察

4-1. モンモリロナイトの定量

図-2にモンモリロナイトと石英の混合比を変えたX線回折の結果を示す。モンモリロナイトの重量比が増すごとにX線の強度、ピークが大きくなっている。このX線回折で得られたモンモリロナイトのピークの高さを計り、モンモリロナイトの含有量との関係を示したのが図-3である。モンモリロナイトの含有量と、ピークまでの高さはほぼ比例する結果となった。

以上のことより、高純度のモンモリロナイトと、石英を用いることによつて、骨材中のモンモリロナイト量を概略求めることができる。その結果、骨材のモンモリロナイト量は表-1に示したようになり、含有量の一番大きいのは清

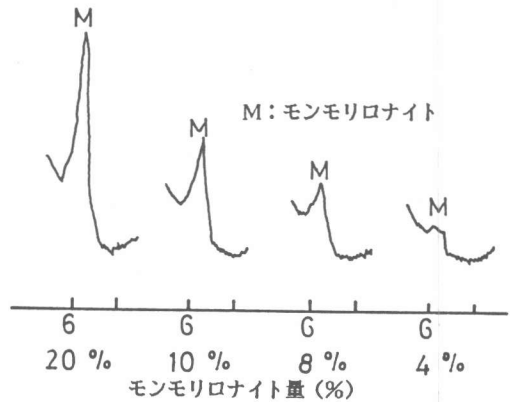


図-2 モンモリロナイト量とX線回折図

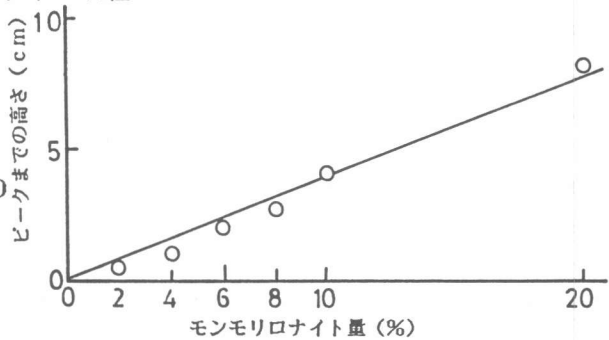


図-3 X線回折図のピークとモンモリロナイト量の関係

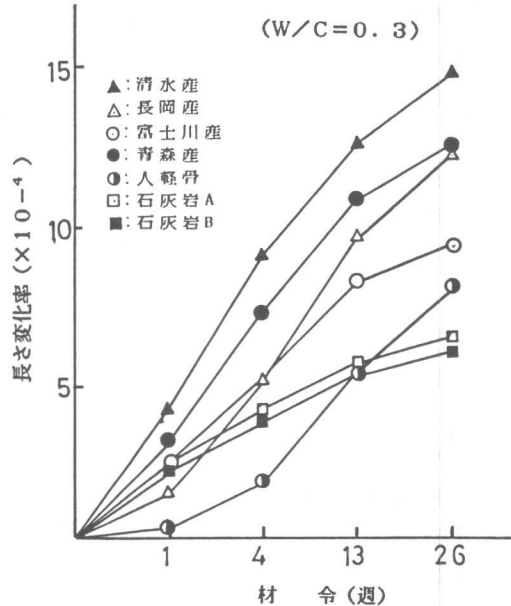


図-4 各材令における長さ変化率

水産骨材の12%である。

4-2. コンクリートの長さ変化

図-4, 5は脱型後、標準養生を1週間おこなつて、その後、恒温室に養生した長さ変化を示す。長さ変化に与える主な要因としては、単位水量、骨材品質であるが、図からも明らかなように骨材によつて、長さ変化率は異なつてゐる。長さ変化率の大きい清水産と、小さい石灰岩を比べると、水セメント比30%では材令26週で2.5倍の差が認められる。また、材令1週から26週にかけての長さ変化率の増加は石灰岩で2.7倍、清水産で3.5倍となつてゐる。

吸水率の違いによる長さ変化率をみると、吸水率の大きい骨材は全体的に長さ変化率も大きい。しかし、吸水率が4.7%の長岡産と3%の清水産を比べると、清水産の方が長さ変化率は大きくなつてゐる。水セメントによる長さ変化率の差は単位水量を一定にしたためか、ほとんど認められなかつた。

コンクリートを乾燥することによつて、コンクリートの内部の水が逸散し、収縮、重量変化を起こす。各骨材の材令における重量変化を示したのが図-6, 7である。水セメント比30%では最大3%程度、水セメント比70%では8%程度の重量変化がみられる。水セメント比30%では各骨材間の差も小さく全体的に重量変化も小さい。これは水セメント比が小さいために、標準養生1週間の間に水和が進み遊離水が少なくなつたものと考えられる。水セメント比70%では、吸水率の大きさに順に重量変化率も大きくなつてゐる。しかし、吸水率3%の清水産の重量変化は、吸水率0.3%の石灰岩と同程度である。

逸散水量と長さ変化率の関係を図-8に示す。乾燥収縮の主な要因が水分逸散であれば、逸散水量が大きいほど長さ変化率も大きくなるはずである。個々の骨材でみると、逸散水量が増すにつれ長さ変化率は大きくなつてゐる。しかし、清水砂岩について見ると、吸水率は比較的大きいのに逸散水量は小さく、長さ変

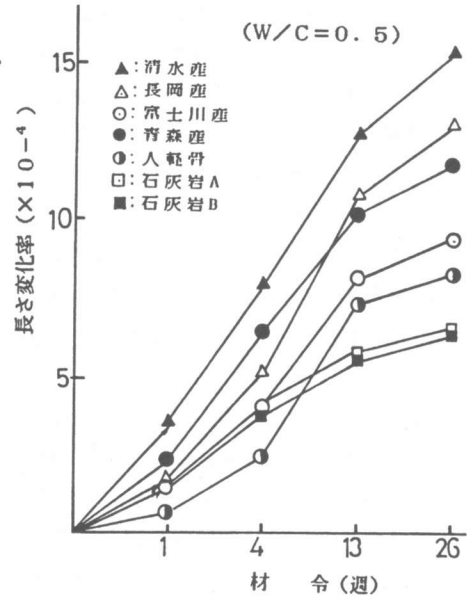


図-5 各材令における長さ変化率

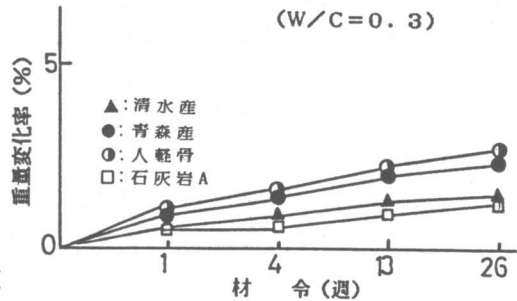


図-6 各材令における重量変化率

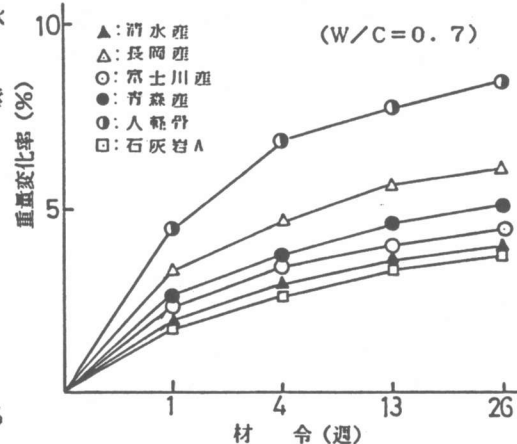


図-7 各材令における重量変化率

化率は大きくなっている。このようになった原因の一つに、モンモリロナイトの存在があげられる。

コンクリートの長さ変化率は養生条件によつて異なるといわれている。しかも骨材中に膨張性のモンモリロナイトが含まれていると、なおさら異なつた挙動を示すものと考えられる。図-9は脱型後、直ちに恒温室に養生したコンクリートの長さ変化を示している。脱型後、恒温室に養生することによつて、セメントの水和が妨げられ、長さ変化率も骨材によつて異なると予想されたが、材令26週でみると、長さ変化率は脱型後、1週間標準養生したものとほとんどかわらない結果となつた。

図-10は乾燥、湿潤の繰り返しを受けたコンクリートの長さ変化を示す。この図に示したものは清水産であるが、乾燥において収縮、湿潤において膨張を繰り返すが、第1回目の収縮が1番大きく、その後は変化も小さくなつている。しかも、モンモリロナイトを含まない骨材と大差ない結果となつた。これは、乾湿繰り返しの期間に問題があつたのか、それとも1.2%程度のモンモリロナイト含有率ではあまり影響がないのか、はつきりしたことはわからない。

図-11は骨材の吸水状態が長さ変化に及ぼす影響について示したものである。骨材を110℃で24時間炉乾燥させた絶乾状態と、吸水率が1/3程度になるまで乾燥させた気乾状態、骨材内部に吸水させた状態との比較である。特に絶乾状態のものは練り混ぜ水をとりこんで膨張すると予想し、脱型後6~24時間の初期の長さ変化も測定した。

その結果、いずれの状態も収縮し、膨張はみられなかつた。ちなみに、同じ条件の骨材を用いたコンクリートを標準養生したものは、 $1 \times$

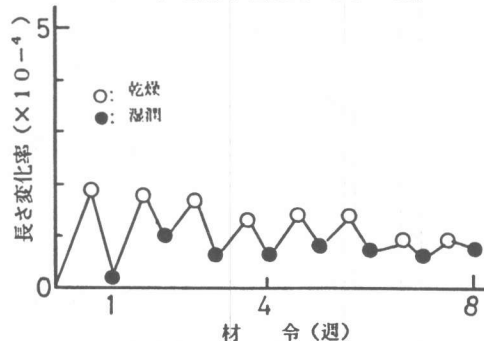


図-10 乾湿繰り返しによる長さ変化

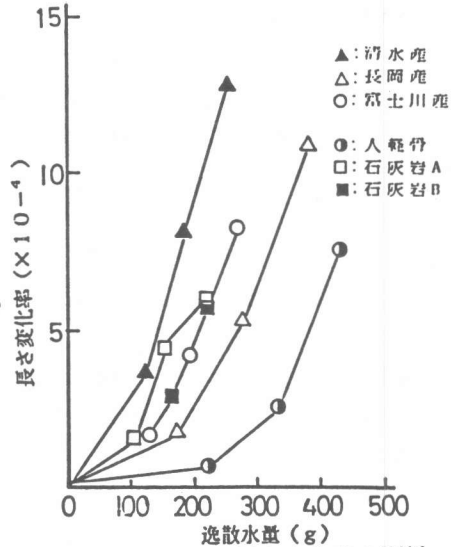


図-8 逸散水量と長さ変化率の関係

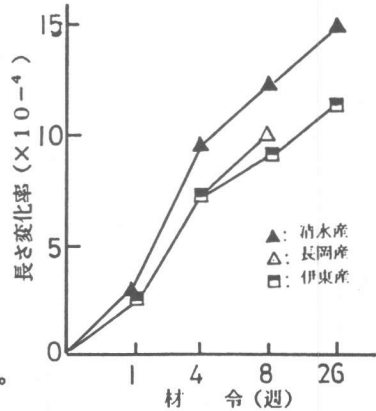


図-9 各材令における長さ変化 (脱型後恒温室養生)

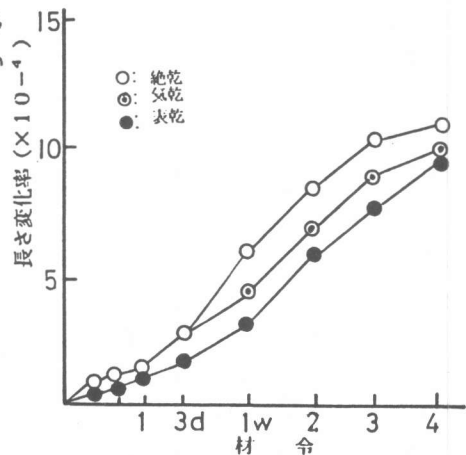


図-11 骨材の吸水状態と長さ変化率の関係

10⁻⁴ 程度で他の骨材と何ら異なる点は見られなかつた。

骨材の品質とコンクリートの長さ変化の関係を示したのが図-12~15である。図-12はコンクリートの圧縮強度Fを、単位セメント量Cで割ったF/Cと長さ変化率の関係を示す。F/Cが小さく、すなわち、同一セメント量に対し、圧縮強度が弱いほうが長さ変化率は大きくなっている。

図-13は吸水率と長さ変化の関係を示す。一般に吸水率の大きい骨材ほど長さ変化率も大きくなるといわれているが、清水産骨材のようにモンモリロナイトを含むような骨材では、吸水率の影響よりモンモリロナイトの含有の影響が大きいものと考えられる。

図-14はコンクリートの静弾性係数と長さ変化率の関係を示す。骨材の弾性係数は収縮に対する拘束の程度を決定すると言われ、弾性係数が大きいものほど長さ変化は小さくなる。図からも明らかなように、コンクリートの静弾性係数の大きいものは長さ変化率が小さくなっている。

図-15は骨材中のモンモリロナイトの含有量と長さ変化の関係を示す。モンモリロナイト含有量が5%程度では長さ変化率にさほど影響を及ぼさない。しかし、10%を越えると長さ変化率は大きくなる。

4-3. コンクリートの圧縮強度、静弾性係数

骨材中にモンモリロナイトが含まれていると、長さ変化のみならず、コンクリートの強度、弾性係数にも影響を与えられられる。

図-16に各材令での圧縮強度を示す。

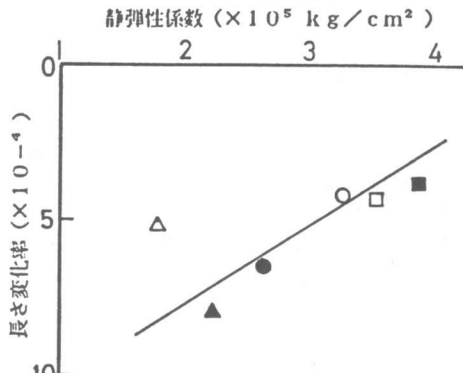


図-14 コンクリートの静弾性係数と長さ変化率の関係

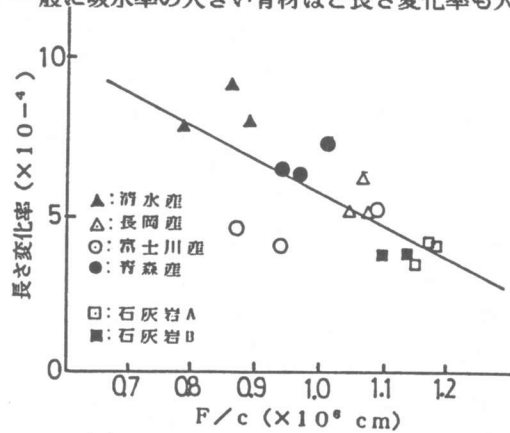


図-12 F/cと長さ変化率の関係

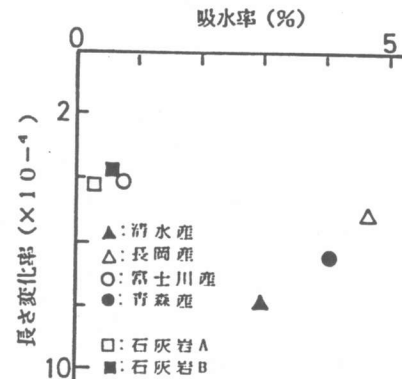


図-13 骨材の吸水率と長さ変化の関係

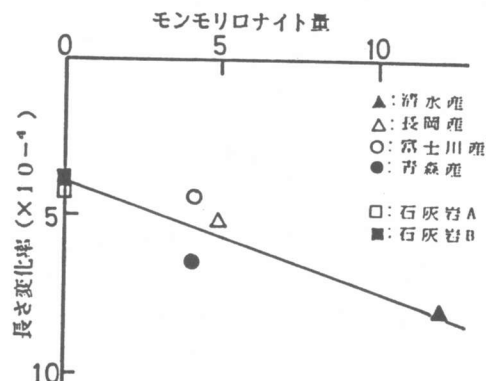


図-15 モンモリロナイト量と長さ変化の関係

骨材による強度差は大きく、伊東産と清水産を比べると、標準養生の材令4週では約30%の強度差が存在する。強度に与える要因としては種々考えられるが、骨材自身の強さが主な要因である。この骨材自身の強度に影響を与えているものの一つとしては、モンモリロナイトが考えられる。

図-17は養生条件が強度に与える影響をみたものである。恒温養生では材令が進むにしたがって、標準養生との強度差は大きくなり、材令13週での恒温養生のものは標準養生の約50%の強度である。モンモリロナイトを一番多く含む清水産と他の骨材を比べると、養生条件の違いによる差異は見られなかった。

図-18は標準養生と他の養生法との静弾性係数比を示す。材令13週での恒温養生では約30%の低下がみられる。しかし、圧縮強度と同じように清水産骨材と他の骨材では養生方法による違いはみられなかった。

5. 結論

純度の高いモンモリロナイトと石英の混合比を変えてX線回折を行うことによつて、骨材中のモンモリロナイト量を概略求めることができた。モンモリロナイト含有量が5%程度ならコンクリートにさほど影響を与えないが、10%を越えると長さ変化は大きくなる。しかし、急激な膨張、収縮は見られなかった。コンクリートの圧縮強度、静弾性係数はモンモリロナイト含有量が、10%を越えるようなものでは影響を受ける。

更にモンモリロナイトの含有率が大きい骨材について、検討を行う必要があるものと思われる。

本研究において、東京大学生産技術研究所の小林一輔教授に指導助言を賜わり、X線回折では東海大学海洋学部の佐藤武助教授に援助をいただいた。厚く感謝の意を表します。

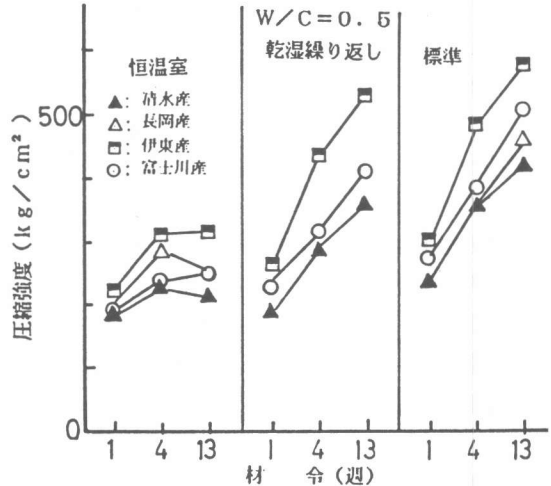


図-16 養生環境別にみた圧縮強度

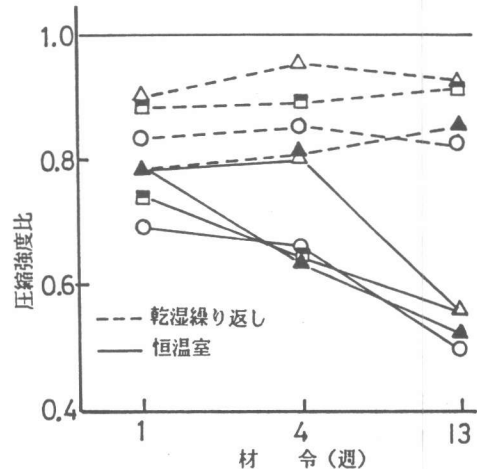


図-17 標準養生を基準とした圧縮強度比

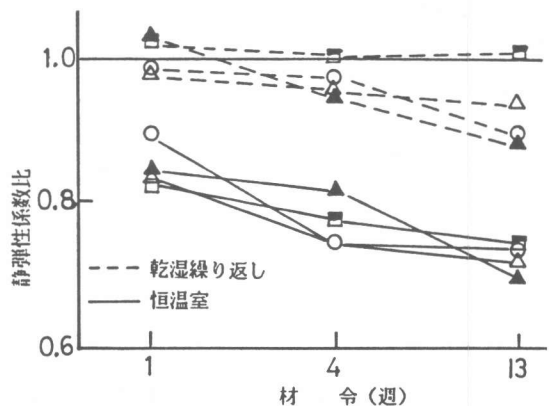


図-18 標準養生を基準とした静弾性係数比