

# 粗骨材中のモンモリロナイトがコンクリートの 諸性質に及ぼす影響

## THE INFLUENCE OF MONTMORILLONITE IN COARSE AGGREGATES ON PROPERTIES OF CONCRETE

迫田 恵三\*・丸 章夫\*\*・伊藤 利治\*\*\*

By Shigemi SAKODA, Akio MARU and Toshiji ITOU

This paper deals with the effect of rock as aggregates containing montmorillonite on the volume change, compressive strength and Young's modulus of the concrete. Ten types of coarse aggregates were used in this study, which were andesite, basalt, sandstone and slate rock. The contents of montmorillonite in aggregates were determined with a microscope and by X-ray analysis. The concrete specimens were cured in (1) standard manner (2) wet and dry condition cycles (3) high temperature at 60°C, 110°C and 200°C and (4) freezing and thawing cycles.

The summary and conclusion are follows

(1) The higher the content of montmorillonite in aggregates of sedimentary rocks, the higher volume change of the concrete specimens was observed.

(2) When the content of montmorillonite in sandstone aggregates exceeds 5%, the aggregates influence on the properties of concrete.

Keywords : montmorillonite, coarse aggregates, drying shrinkage, durability factor

### 1. ま え が き

近年、アルカリ骨材反応に代表されるような骨材に起因するコンクリートの品質低下が問題となっている。骨材に起因するコンクリートの品質低下は、アルカリ骨材反応のみならず、比重の小さい、吸水率の大きい骨材やモンモリロナイト、イライト、緑泥石などの粘土鉱物を含む骨材の使用によるもの等があげられる。これらの諸要因のうちモンモリロナイトは吸水して膨張、脱水して収縮し、吸水膨張では原体積の7~10倍に達するといわれている<sup>1)</sup>。骨材中のモンモリロナイトは、常温で水和した状態では問題はないが骨材を乾燥して使用する硫黄コンクリートや、煙突のようにコンクリートが連続して加熱乾燥させられる場合、あるいは乾燥、湿潤の繰り返しの構造物では、脱水・吸水によってコンクリートが収縮・膨張してひびわれを起こすことが考えられる。

また、コンクリートが凍結融解作用を受けるような環境にある場合には、吸水の際、水の凍結による体積膨張が生じコンクリートの耐久性を損ねることがある。このような性質を有するモンモリロナイトは砂岩、安山岩、玄武岩など多くの岩石中に含まれているが、わが国ではこの種の骨材が多く用いられている。

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はいくつかの報告がある<sup>2)3)</sup>。著者らは骨材中のモンモリロナイトがコンクリートの体積変化、圧縮強度、静弾性係数などに与える影響について、モンモリロナイト量が5%程度なら問題ないが10%を越えると影響があることを示した<sup>4)</sup>。また、実際の構造物のひびわれ、ポップアウトを調査し、その骨材のモンモリロナイト量の測定結果から、骨材のモンモリロナイト量の許容量を示した<sup>5)</sup>。しかし、いずれも常温におけるコンクリートの性質であって、高温下や、凍結融解作用を受ける場合、あるいはモンモリロナイトの含有量などの影響について実験を通じての検討はなされていない。

コンクリートが種々の環境下で使用されていることを考慮すると、モンモリロナイトを含む骨材が種々の環境下でどのようにコンクリートの性状に影響を与えるかを

\* 正会員 東海大学講師 海洋学部海洋土木工学科  
(〒424 清水市折戸3-20-1)

\*\* 理博 地質鉱物エンジニアリング(株)社長  
(〒350-02 坂戸市大字片柳2174-2)

\*\*\* 正会員 工博 千葉工業大学助教授 工学部土木工学科  
(〒275 習志野市津田沼2-17-1)

究明する必要があると思われる。本研究では、(1)常温におけるモンモリロナイトを含む骨材を用いたコンクリートの性質、(2)モンモリロナイトを含む骨材を用いたコンクリートが高温加熱された場合の性質変化、(3)モンモリロナイトを含む骨材の良否判定手法、(4)モンモリロナイトを含む骨材を用いたコンクリートが凍結融解作用を受けた場合の性質変化について検討を行ったものである。

## 2. 使用骨材の岩石鉱物学的性質

安山岩 A: 斜長石、普通輝石の斑晶、および細粒の斜長石、普通輝石、磁鉄鉱、ガラスなどからなる石基によって構成される。ガラスは5~10%である。

安山岩 B: 斜長石斑晶、ならびに微細な斜長石、普通輝石、ガラス、磁鉄鉱からなる石基によって構成されている。石基にアルカリ反応性物質であるガラスが多い。ガラスは岩石中42%を占める。気泡の多いサヌカイト型ガラス質安山岩を一部含む。

安山岩 C: 斜長石、普通輝石と頑火輝石の斑晶、および微細な斜長石、普通輝石、頑火輝石、ガラス、磁鉄鉱からなる石基より構成される。輝石類の一部がモンモリロナイトに交代されている。

安山岩 D: 斜長石と輝石の斑晶、ならびに微細な斜長石、輝石、磁鉄鉱などからなる石基によって構成されている。岩石はモンモリロナイト化、緑泥石化ならびに珪化作用を受け、モンモリロナイト、緑泥石および石英に交代されている。

玄武岩: 普通輝石とカンラン石の斑晶、ならびに細かい斜長石、輝石、カンラン石、磁鉄鉱からなる石基によって構成される。輝石とカンラン石はモンモリロナイトに交代されている。

安山岩 E: 角閃石と斜長石の斑晶、ならびに微細な斜長石、ガラス、磁鉄鉱、二次鉱物の絹雲母、緑泥石、方解石、モンモリロナイト、褐鉄鉱からなる石基より構成

されている。モンモリロナイトは角閃石を交代している。

石灰岩: 方解石を主体とし、ドロマイト炭質物、加えて微小石英などから構成されている。方解石とドロマイトの結晶は細かく、いずれも集合体である。これら細かい結晶の集合体を切って大きな方解石結晶からなる細脈が存在する。微小石英の量は数%である。

粘板岩: 小さな石英と長石の破片、ならびに微細な石英、長石、黒雲母、絹雲母、緑泥石、褐鉄鉱、ガラスなどからなる。アルカリ反応性鉱物といわれている微細な黒雲母、絹雲母、ガラスの量は、いずれも微細過ぎて正確には定量できなかったが、おのおのが10%前後であろう。

砂岩 A: 珪化した砂岩である。原石の鉱物は珪化作用によって微小石英に交代されている。残っている砂粒は石英と正長石の砂粒(砂片)である。アルカリ反応性鉱物である微小石英の量は、27%である。

砂岩 B: 正長石、斜長石、石英、黒雲母などの鉱物砂粒(砂片)、粘板岩などの岩石砂粒、ならびに緑泥石、絹雲母、褐鉄鉱などからなる膠結物から構成されている砂岩は珪化作用とモンモリロナイト化作用を受け、アルカリ反応性鉱物である微小石英とコンクリートに有害であるモンモリロナイトが生成している。砂岩中の微小石英の量は26%である。写真-1に、砂岩 B の偏光顕微鏡写真を示す。

## 3. 実験方法

### (1) 常温におけるモンモリロナイトを含む骨材を用いたコンクリートの性質

a) 概要 モンモリロナイトを含む粗骨材が常温下(標準養生、恒温室養生、屋外暴露)においてコンクリートの圧縮強度、長さ変化、相対動弾性係数に及ぼす影響について検討を行った。

b) 使用材料および配合 セメントは普通ポルトランドセメント(比重:3.15,  $R_2O=0.64\%$ )を、細骨材

表-1 粗骨材の性質

種類	岩種	比重	吸水率 (%)	モンモリロナイト量 (%)	岩石名	
砕石	安山岩	A	2.66	1.75	0	安山岩
		B	2.53	4.95	2	サヌカイト型ガラス質安山岩と安山岩溶岩との混合物
		C	2.37	4.66	5	両輝石ガラス質安山岩
		D	2.67	2.12	13	安山岩
	玄武岩	2.78	2.01	23	玄武岩	
	安山岩	E	2.63	2.52	28	角閃安山岩
砕石	石灰岩	2.79	0.63	0	ドロマイト質石灰岩	
砂利	粘板岩 + 安山岩	2.55	4.05	4	粘板岩と安山岩溶岩	
	砂岩	A	2.64	0.81	4	砂岩
B		2.61	3.07	10	砂岩	



F: 正長石, B: 黒雲母 C: 緑泥石, M: モンモリロナイト

写真-1 粗骨材の顕微鏡写真 (砂岩 B)

表-2 コンクリートの配合

W/C (%)	S/A (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	C (kg/m <sup>3</sup> )	S (ℓ/m <sup>3</sup> )	G (ℓ/m <sup>3</sup> )	SP *
30	40.8	189	630	249	361	C×1%
50	44.9	189	378	310	381	
70	48.8	189	270	354	371	

\* : superplasticizer

は川砂（比重：2.62，吸水率：1.02）を用いた。表-1に本研究で用いた粗骨材の物理的性質を示す。使用した粗骨材は火山岩が6種，堆積岩が4種である。粗骨材に含まれるモンモリロナイト量は火山岩で最大28%，堆積岩で10%である。骨材中のモンモリロナイトの定量は偏光顕微鏡を用いた。

表-2にコンクリートの配合を示す。水セメント比は30，50，70%とし，単位水量，セメント量，骨材容積を一定にした。

c) 供試体の寸法および養生方法 圧縮強度用供試体の寸法は直径10 cm，長さ20 cmの円柱供試体を用い，脱型後，標準養生を行った。恒温室（温度20°C，湿度55%）での乾燥収縮用供試体は縦10 cm，横10 cm，長さ40 cmとした。乾燥収縮の養生方法は脱型後1週間標準養生を行い，その後，恒温室に静置した。乾湿の繰り返しは脱型後2週間標準養生を行い，その後，恒温室で4週間，20°Cの水中浸漬1週間で1サイクルとして，合計5サイクルの乾燥，湿潤の繰り返しを行った。屋外暴露試験は脱型後，供試体を2週間標準養生を行い，その後，屋外に暴露した。

d) 長さ変化および相対動弾性係数試験 長さ変化試験はJIS A 1129のゲイタルゲージ法によって行った。相対動弾性係数試験は円柱供試体を用いて，JIS A 1127の縦振動法によって求め，各材令での動弾性係数と標準養生を2週間行った供試体の動弾性係数との比で求めた。

## (2) 高温におけるモンモリロナイトを含む骨材を用いたコンクリートの性質

a) 概要 モンモリロナイトは脱水して収縮，吸水して膨張を起こす。また，モンモリロナイトの脱水は温度によって影響される。ここでは乾燥温度を60，110，200°Cとし，モンモリロナイトを含む骨材を用いたコンクリートの長さ変化，重量変化，相対動弾性係数，圧縮強度を求めた。

b) 連続乾燥による試験 コンクリートの使用材料，配合および供試体寸法は(1)の常温におけるコンクリートの性質と同じである。養生方法は脱型後2週間標準養生を行い，その後，60，110°Cの乾燥器で材令8週間

乾燥を継続した。長さ変化，相対動弾性係数および重量変化の測定は，供試体を室温まで冷却して行った。

c) 高温乾燥，水中浸漬の繰り返し試験 養生方法は脱型後2週間標準養生を行い，その後，110°Cで1日乾燥，20°Cの水中に1日浸漬したものと，110°Cで乾燥を3日，20°Cの水中で浸漬4日の乾湿を繰り返した。さらに，乾燥温度を200°Cにして3日間乾燥し，その後20°Cの水中に4日間浸漬する乾湿の繰り返しを行った。

## (3) モンモリロナイトを含む骨材の良否判定法

a) 概要 モンモリロナイトを含む骨材の良否の判定を実験室内で短期間のうちに求めようとするものである。モンモリロナイトからの層間水が脱水する200°Cに粗骨材を加熱，その後，吸水させる乾湿繰り返しを行って骨材の損失重量を求めた。

b) 使用骨材 表-1に示す骨材のうちから代表的なものを5種類選別試料とした。

c) 損失重量試験 この方法はJIS A 1122硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験に準拠した。溶液は硫酸ナトリウムのかわりに水道水を用いた。粗骨材を110°Cで定量となるまで乾燥し，ふるい分けた。試料を金網かごに入れ，水中に24時間ひたす。試料の水を切り，200°Cで約24時間乾燥させる。この操作を5回繰り返して，最後にふるい分けを行う。損失重量はJIS A 1122と同じ方法で求めた。

## (4) 凍結融解作用を受けたコンクリートの性質

a) 概要 モンモリロナイトの含有量が異なる粗骨材を9種類使用して，コンクリートの耐凍結融解性を検討した。

b) 使用材料および配合 使用した材料は表-1に示す粗骨材を用いた。水セメント比は50%，目標空気量4%，単位水量191 kg/m<sup>3</sup>，単位セメント量382 kg/m<sup>3</sup>，単位細骨材量815 kg/m<sup>3</sup>，単位粗骨材容積を一定にした。スランプは12.9~15.0 cmとなった。

c) 耐凍結融解試験 ASTM C 666のA法によって行った。

## 4. 実験結果および考察

### (1) 常温におけるモンモリロナイト含有骨材を用いたコンクリートの性質

粗骨材中のモンモリロナイト含有量と，コンクリートの圧縮強度の関係を示したものが図-1である。全体的にみれば両者には一定の関係はみられないが，火山岩と堆積岩に分けてみると，堆積岩ではモンモリロナイトの量が多くなると，圧縮強度が小さくなる傾向がみられる。水セメント比30%と比較すると，火山岩骨材ではモンモリロナイトが30%近くでも，圧縮強度は600 kgf/cm<sup>2</sup>以上の強度が得られている。これに対して，モンモリロナ

イトの含有量が10%の堆積岩骨材は、モンモリロナイトの含有量が28%の骨材や、吸水率が4.95%、4.66%の火山岩骨材より強度が約14~18%小さい、これは堆積岩骨材の鉱物粒子の結合が弱いことが原因と考えられる。

図-2はコンクリートを脱型後、1週間標準養生を行い、その後、恒温室に放置した乾燥収縮の結果を示している。図に示した凡例の数字は粗骨材中のモンモリロナイト量を示している。乾燥収縮に与える主な要因としては、単位水量と骨材の品質があげられる。本研究では粗骨材の品質による違いをみるため、単位水量を一定にし

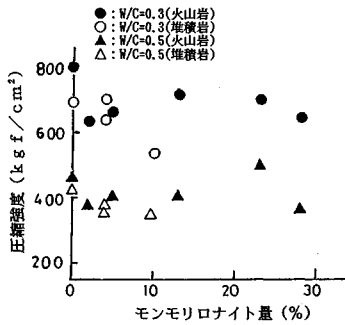


図-1 コンクリートの圧縮強度とモンモリロナイト量の関係

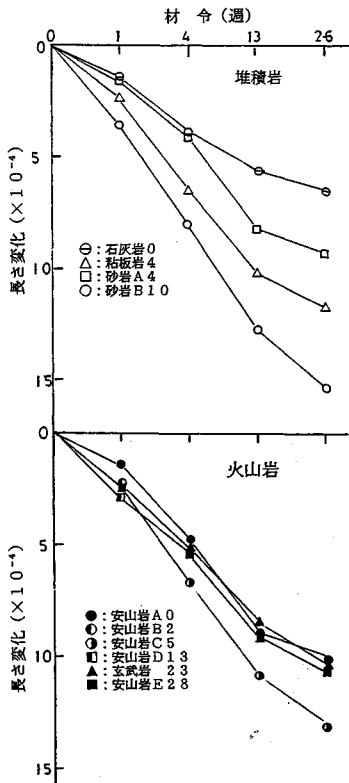


図-2 恒温室でのコンクリートの長さ変化

た。図からも明らかなように、各粗骨材によって乾燥収縮の値は材令の進行とともに大きく異なっている。材令26週でみると、堆積岩でモンモリロナイトが一番多い砂岩Bは、モンモリロナイトが4%の砂岩Aと比較して約1.7倍の値となっている。しかし、これに対して、火山岩では、モンモリロナイト含有量が0%と28%の乾燥収縮値はほとんど同程度であった。

材令26週での粗骨材中のモンモリロナイト含有量と、コンクリートの乾燥収縮の関係を示したものが図-3である。モンモリロナイトが水和していると、乾燥によって水分を放出して収縮する。その結果、コンクリートの乾燥収縮も大きくなることが考えられる。全体的にみるとモンモリロナイト含有量が30%程度までは、モンモリロナイト含有量と、コンクリートの乾燥収縮には一定の関係がみられない。しかし、堆積岩ではモンモリロナイト量が多くなると乾燥収縮は大きくなる傾向がみられる。このような結果になった原因について、常温乾燥による粗骨材の重量変化から考察してみる。図-4は粗骨材を48時間吸水させ、恒温室(20°C, 湿度55%)に放置し、重量変化をみたものである。重量変化に与える要因としては、粗骨材の吸水率とモンモリロナイト量が考えられる。吸水率の大きい安山岩Cやモンモリロナイトを含まない安山岩Aでは、乾燥4日において粗骨材に含まれる水分を大半放出している。これに対し、モンモリロナイトを多く含む砂岩Bと玄武岩では、吸水率が安山岩Aよりも大きいにもかかわらず、重量変化は小さく、

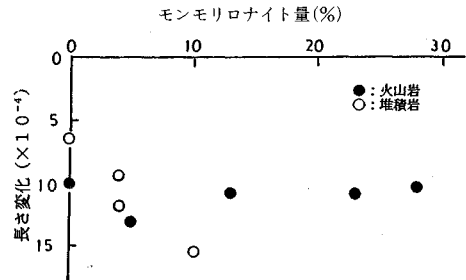


図-3 長さ変化とモンモリロナイト量の関係

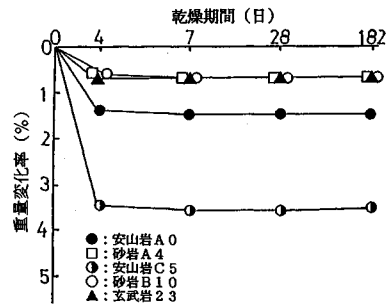


図-4 恒温室での粗骨材の重量変化率

しかも乾燥期間7日と182日ではほとんど重量変化はみられない。これは常温において、粗骨材中のモンモリロナイトからの水分逸散が長期にわたって緩やかに進行することを示すものである。このことが20%を超えるモンモリロナイト含有粗骨材であっても、常温におけるコンクリートの乾燥収縮を小さくしている原因と考えられる。

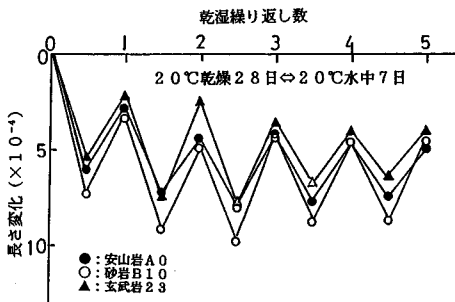
図一五は恒温室に4週間放置し、その後、20°Cの水中に1週間浸漬の乾燥、湿潤を繰り返し5回受けたコンクリートの長さ変化を示している。モンモリロナイトの含有量が多い粗骨材を用いたコンクリートの長さ変化率が大きくなると予想したが、長さ変化率が一番大きくなったのはモンモリロナイトを10%含む砂岩Bである。また、乾湿繰り返しサイクルが3サイクル以降では長さ変化の割合も小さくなる傾向がみられる。これは恒温室4週間での乾燥では粗骨材中のモンモリロナイトからの脱水が少ないことや、乾燥4週後、標準養生を1週間行ったことでコンクリートの水和水が進んだことが原因と考えられる。

図一六は恒温室4週間、水中浸漬1週間の乾湿繰り返しを5回受けたコンクリートの相対動弾性係数の結果を示す。乾湿の繰り返しが多くなるにつれ、コンクリートの相対動弾性係数は大きくなっている。相対動弾性係数が大きくなる理由は長さ変化に与える要因と同じことが考えられる。また、乾燥から湿潤、湿潤から乾燥にかけ

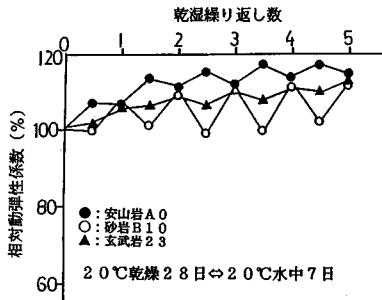
ての相対動弾性係数の変化は玄武岩で小さく、砂岩Bでは大きくなっている。

図一七は屋外に暴露したコンクリートの長さ変化を示している。堆積岩ではモンモリロナイトの量が多くなると、長さ変化も大きくなっているが、材令26週での砂岩Bの長さ変化は恒温室で養生したもの1/3にも満たない。火山岩でも長さ変化は小さく、しかも、モンモリロナイトの量と長さ変化には一定の傾向はみられない。屋外に暴露したコンクリートの長さ変化が小さいのは、降雨の影響が大きいことが考えられる。また、肉眼で観察した結果でも供試体にひびわれなどの変化はみられなかった。

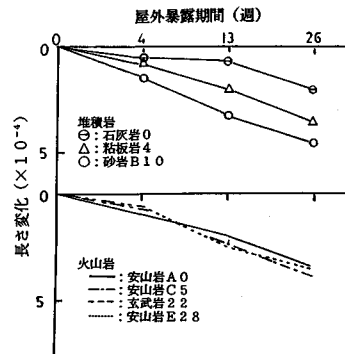
図一八は屋外に暴露したコンクリートの相対動弾性係数を示している。全体的には暴露期間の経過とともに相対動弾性係数は大きくなる傾向がみられる。これは降雨によって、コンクリートが乾燥せずにコンクリートの水和水が進んだためと考えられる。



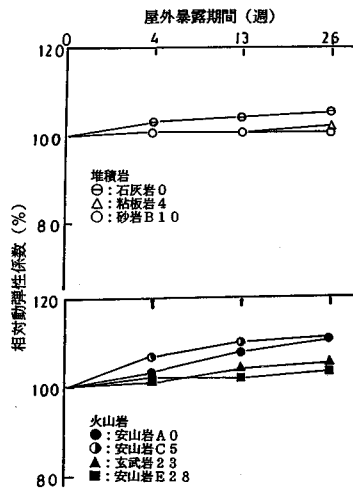
図一五 乾湿繰り返しによるコンクリートの長さ変化



図一六 乾湿繰り返しによるコンクリートの相対動弾性係数



図一七 屋外暴露したコンクリートの長さ変化



図一八 屋外暴露したコンクリート相対動弾性係数

(2) 高温におけるモンモリロナイト含有骨材を用いたコンクリートの性質

図-9, 10はコンクリートを60, 110°Cに連続乾燥した場合の、長さ変化と相対動弾性係数の結果を示している。モンモリロナイトの含有量が長さ変化や相対動弾性係数に与える影響は、火山岩骨材では比較的小さい。これに対して、堆積岩骨材はモンモリロナイトを10%含有する砂岩Bのように大きな長さ変化と、相対動弾性係数の低下を示す。このようになった理由として次のことが考えられる。火山岩骨材はモンモリロナイトをとり囲む鉱物が融着し結合が強い。そのため、モンモリロナイトからの吸着水、層間水が脱水しにくい。他方、堆積岩骨材では一般的に堆積物粒子が粘土鉱物等の膠結物によって固められているので結合力が弱く、モンモリロナイトからの吸着水、層間水の脱水が容易である。

図-11は連続乾燥したコンクリートの圧縮強度を示している。60, 110°Cで乾燥したコンクリートの圧縮強度は全体的には一定の傾向はみられない。岩種別にみると堆積岩はモンモリロナイトが多くなると強度が低くなり、火山岩ではモンモリロナイトが20%以上になると、

強度が小さくなる傾向がみられる。

図-12は110°Cで1日乾燥, 20°Cの水中に1日浸漬の繰り返しを8回行ったコンクリートの長さ変化を示している。乾湿の繰り返しを増すごとに、コンクリートの長さ変化率は大きくなっているが、長さ変化率そのものは全体的に小さい。やはり、110°Cの1日乾燥では粗骨材中のモンモリロナイトからの脱水が少ないことが原因と考えられる。

さらに同じ条件で乾燥期間を4日、水中浸漬を3日に

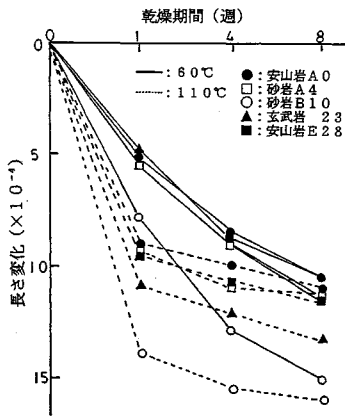


図-9 連続乾燥したコンクリートの長さ変化

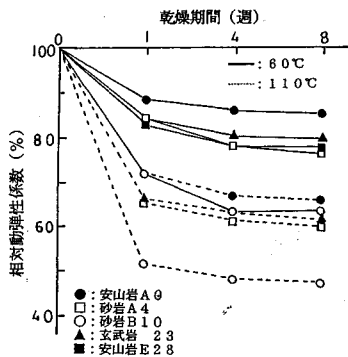


図-10 連続乾燥したコンクリートの相対動弾性係数

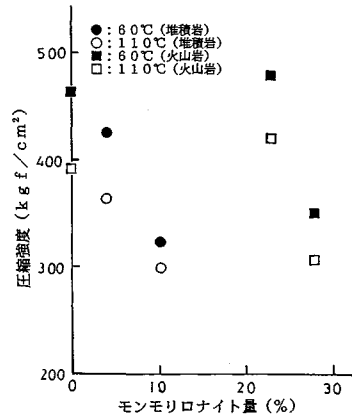


図-11 連続乾燥したコンクリートの圧縮強度

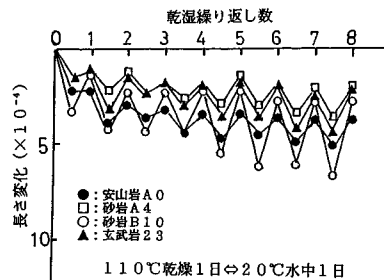


図-12 乾湿繰り返しによるコンクリートの長さ変化 (110°C 乾燥1日⇔20°C 水中1日)

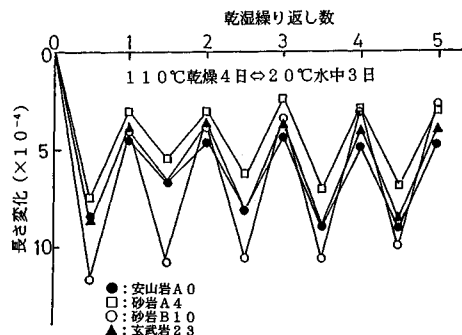


図-13 乾湿繰り返しによるコンクリートの長さ変化 (110°C 乾燥4日⇔20°C 水中3日)

延ばした結果が図-13である。1回目の乾燥では1日乾燥したものより約3倍の長さ変化率が生じている。特にモンモリロナイトを10%含む砂岩Bは大きな長さ変化率を示し、1サイクル目以降では収縮量が小さくなるかわりに、湿潤において徐々に膨張する傾向がみられる。

図-14は110°Cで1日乾燥、20°Cの水中で1日浸漬を繰り返したコンクリートの相対動弾性係数を示す。1回目の乾燥においてモンモリロナイトを含む骨材を用いたコンクリートは20%以上の相対動弾性係数の低下がみられる。特に堆積岩でモンモリロナイトを多く含む砂岩Bは、乾湿を繰り返すことによって、相対動弾性係数の低下が大きくなり、4サイクル目では60%以下になっている。しかし、モンモリロナイトが23%の玄武岩は乾湿の繰り返し回数が増えても、相対動弾性係数は1回目の乾燥の結果とほとんど変わらない。

図-15は同温度で乾燥期間を4日、水中浸漬を3日にした場合のコンクリートの相対動弾性係数を表わしている。乾燥を4日にしたこと相対動弾性係数は大きく低下している。特に砂岩Bの低下は大きく、乾燥時では1回目から60%以下、5サイクルでは40%以下となっている。

図-16は標準養生を4週間行ったコンクリートの圧

縮強度と、110°Cで4日、20°Cの水中浸漬3日を1サイクルとして乾湿を5回繰り返したコンクリートの圧縮強度との比を表わしている。全体的には粗骨材中のモンモリロナイト量が多くなると、圧縮強度比は小さくなる傾向がみられる。

図-17は200°Cで乾燥3日、20°Cの水中に4日浸漬の乾湿繰り返しを5回受けたコンクリートの長さ変化を示

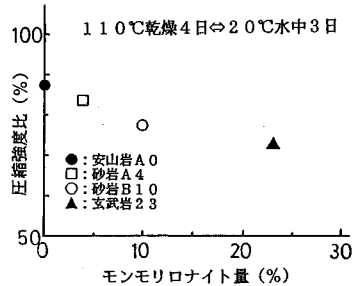


図-16 乾湿繰り返しによるコンクリートの圧縮強度 (110°C 乾燥 4日 ⇔ 20°C 水中 3日)

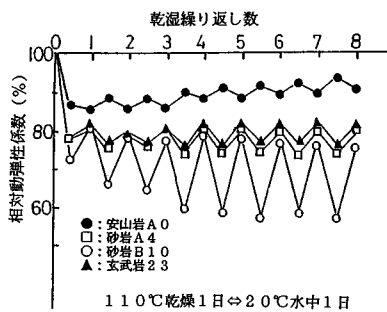


図-14 乾湿繰り返しによるコンクリートの相対動弾性係数 (110°C 乾燥 1日 ⇔ 20°C 水中 1日)

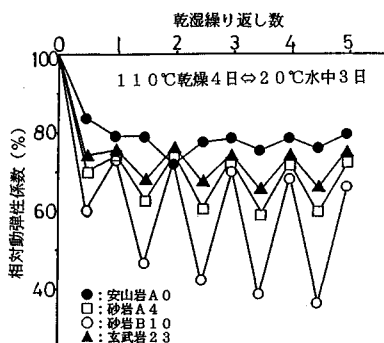


図-15 乾湿繰り返しによるコンクリートの相対動弾性係数 (110°C 乾燥 4日 ⇔ 20°C 水中 3日)

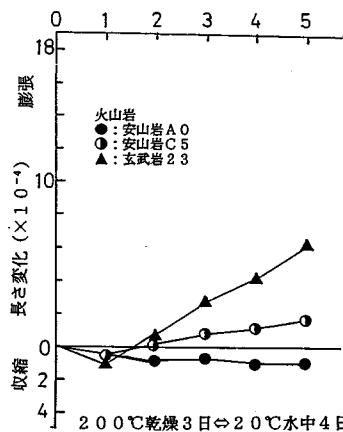
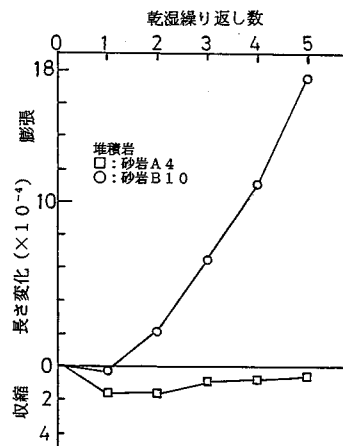


図-17 乾湿繰り返しによるコンクリートの長さ変化 (200°C 乾燥 3日 ⇔ 20°C 水中 4日)

す。図に示したのは吸水時の供試体の長さ変化である。乾燥温度を 200°C にした理由はモンモリロナイト中の水分移動が温度によって影響されるからである。すなわち、モンモリロナイト中の水分は吸着水、層間水、結晶水に分けられる。この中でもモンモリロナイトの収縮、膨張に影響を及ぼすのは層間水であり、層間水の脱水は示差熱分析では約 150°C となっている<sup>9)</sup>。本研究では層間水が完全に脱水する温度を 200°C と仮定して実験を行った。その結果、堆積岩でモンモリロナイトを多く含む砂岩 B は、乾湿の繰り返しを増すごとに吸水時において大きく膨張しており、3 サイクル目では肉眼で判別できるようなひびわれが発生した。写真-2 にそのひびわれの状況を示す。同じ堆積岩でもモンモリロナイトの含有量が少ない砂岩 A は、膨張量がかなり小さい。これに対し、火山岩でモンモリロナイト含有量が 23% と多い玄武岩は、乾湿の繰り返しを増すごとに膨張量が大きくなっている。しかし、同じ火山岩でもモンモリロナイトの含有量が少なく、吸水率の大きい安山岩 C の長さ変化率は比較的小さい値を示す。以上のように乾燥温度を 200°C にしたことでモンモリロナイトの層間水が脱水し、その後、コンクリートを水中に浸漬したことによって、吸水膨張して長さ変化が大きくなったものと考えられる。

図-18 は 200°C 乾燥 3 日、20°C の水中浸漬 4 日の乾湿繰り返しを受けたコンクリートの相対動弾性係数を示している。乾燥温度を 200°C にしたことによって、乾湿の繰り返し数が増えるにつれ相対動弾性係数は大幅に低下している。特に、砂岩 B や玄武岩のようにモンモリロナイトの含有量が多いものは相対動弾性係数の低下が著しい。5 サイクルの乾燥時では相対動弾性係数がいずれも 30% 以下となっている。

(3) モンモリロナイトを含む骨材の良否判定法

常温や、60、110°C では火山岩のようにモンモリロナイトが 20% 以上含まれていても、コンクリートの長さ変化や圧縮強度などに与える影響は小さくなった。そのため、モンモリロナイトを含む粗骨材の良否判定を短期間に行うには乾燥温度をさらに上げる必要がある。図-19 は粗骨材を 200°C で乾燥させ、その後、20°C の水中に 1 日浸漬の乾湿を繰り返した結果を示している。図からも明らかのように、モンモリロナイトの含有量が多い粗骨材の損失重量が大きいことがわかる。層間水の逸散による収縮、吸水による膨張の繰り返しが粗骨材粒子を破壊させ、損失重量を大きくしたものと考えられる。これに対し、吸水率が大きくても損失重量に与える影響は安山岩 C のようにモンモリロナイトが少ないと小さい。

図-20 は粗骨材の損失重量と 200°C 乾燥でのコンクリートの最大収縮値との関係を示している。骨材の損失

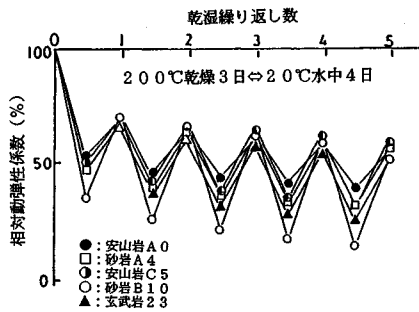


図-18 乾湿繰り返しを受けたコンクリートの相対動弾性係数 (200°C 乾燥 3 日 ⇨ 20°C 水中 4 日)

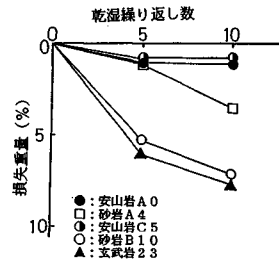


図-19 乾湿繰り返しを受けた粗骨材の損失重量

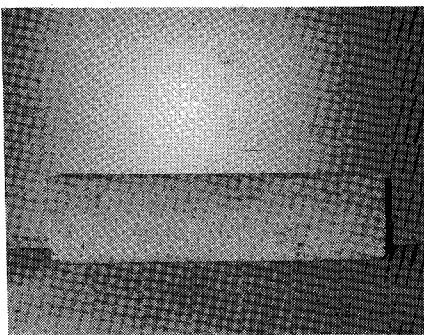


写真-2 乾湿の繰り返しを受けたコンクリートのひびわれ (砂岩 B)

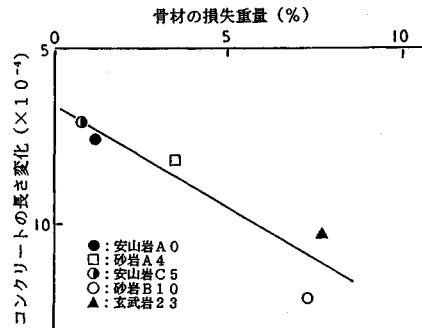


図-20 骨材の損失重量とコンクリートの長さ変化の関係



重量が大きくなれば、コンクリートの長さ変化も大きくなり、骨材の損失重量が5%を越えると、コンクリートの長さ変化は0.1%以上となっている。

図-21は骨材の損失重量と200°C乾燥、湿潤の繰り返し5サイクルでの相対動弾性係数の関係を示している。全体的には骨材の損失重量が大きいとコンクリートの相対動弾性係数の値は小さくなる傾向がみられる。以上の骨材の損失重量とコンクリートの長さ変化、相対動弾性係数の結果より、骨材の損失重量が5%を越える粗骨材は骨材として適さないと考えられる。また、200°Cに乾燥、水中に浸漬を繰り返すことによって、実験室内で比較的短期間のうちにモンモリロナイトを含む骨材の良否を判定することが可能と思われる。

(4) 凍結融解作用を受けたコンクリートの性質

モンモリロナイトを含有する骨材を用いたコンクリートはモンモリロナイトに含まれる水分が凍結し、劣化につながる事が予想される。図-22は凍結融解作用によるコンクリートの相対動弾性係数、重量変化、長さ変化の結果を示したものである。全体的には火山岩、堆積岩とも吸水率の大きいものが凍結融解に対する抵抗性が小さい。特に、吸水率の一番大きい安山岩Bは約60サイクルで相対動弾性係数が60%を下回る結果となった。これはこの粗骨材の一部に安山岩溶岩を含むために粗骨材中の空隙が多いことが原因と考えられる。粗骨材中のモンモリロナイトの量が多い砂岩Bと安山岩Eの相対動弾性係数は、凍結融解のサイクルを増すごとに小さくなるものと予想したが、いずれも90%以上の値を示した。特に砂岩Bは常温と高温においてもコンクリートに大きな影響を与えたが、凍結融解試験では耐久性に問題はない結果となった。また重量変化率、長さ変化率でもモンモリロナイトを多く含む骨材に顕著な変化はみられなかった。

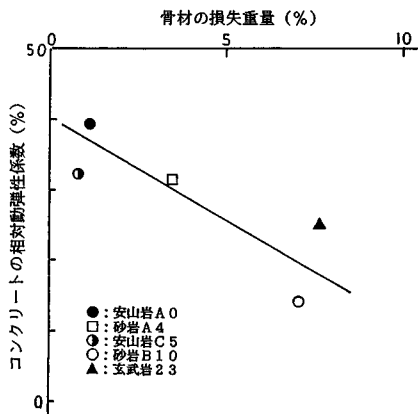


図-21 骨材の損失重量とコンクリートの相対動弾性係数の関係

図-23は粗骨材中のモンモリロナイト量と、コンクリートの耐久性指数の関係を示す。吸水率が一番多い安山岩Bを除けば、モンモリロナイト量に関係なく耐久性指数はほとんど80%以上を示しており、粗骨材中のモンモリロナイト量はASTMの凍結融解試験方法では耐久性指数には影響を与えないことがわかった。これはASTM C 666のA法では、コンクリートは凍結か融解時でも常に含水しており、乾燥過程が入っていない。モンモリロナイトは乾燥して吸水するとき異常膨張を起こす。そのとき凍結が生じると、吸水による膨張と凍結に

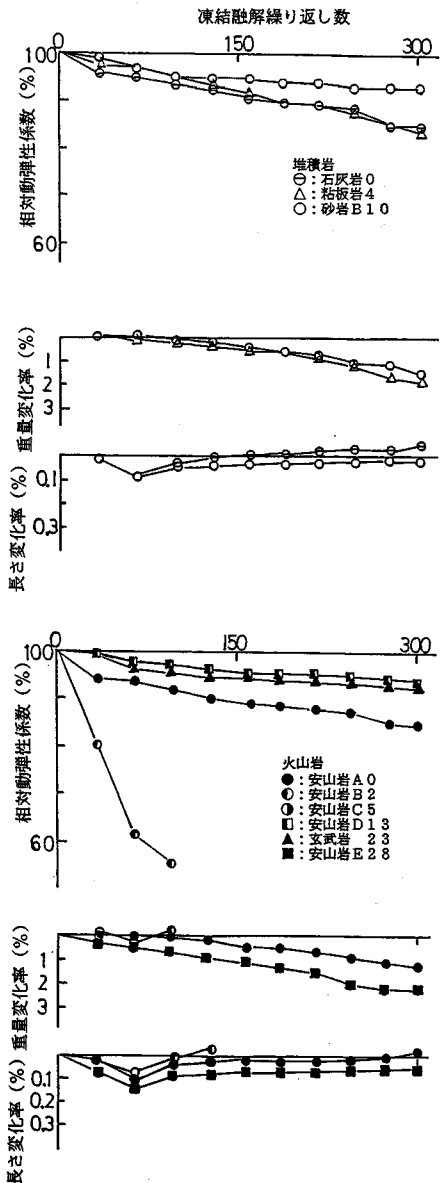


図-22 凍結融解作用を受けたコンクリートの性質

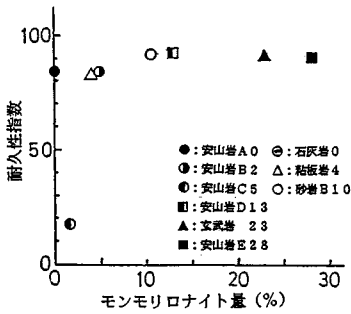


図-23 耐久性指数とモンモリロナイトの関係

よる膨張によって骨材の膨張，ひいてはコンクリートの膨張につながる事が考えられる。すなわち，モンモリロナイトを含む骨材を用いたコンクリートの耐凍結融解試験は凍結⇒融解⇒乾燥⇒吸水⇒凍結の過程を経ることが必要と考えられる。以上のような理由から本研究で用いた ASTM C 666 A 法ではモンモリロナイトの含有量が 28% 以下なら，コンクリートの耐凍結融解性の判定が難しいことがわかった。

## 5. 結 論

粗骨材中に含まれる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検討を行った。その結果，以下の結論が得られた。

(1) 常温において，堆積岩骨材でモンモリロナイトの含有量が 5% 以下であるとコンクリートの圧縮強度，乾燥収縮などに与える影響は小さいが，10% を越えると影響が大きくなる。また，火山岩骨材ではモンモリロナイト含有量が 30% 程度以下ではコンクリートに与える影響は少ない。

(2) モンモリロナイトの含有量が堆積岩骨材で 10% 以上，火山岩骨材で 20% 以上になると，モンモリロナイトの層間水が脱水するような高温乾燥を受ける場合には，コンクリートの長さ変化が大きくなり，相対動弾性係数は大きく低下する。

(3) モンモリロナイトを含有する粗骨材を 200°C で乾燥し，その後 20°C の水中に浸漬するような乾湿を繰り返すことによって，実験室内で比較的短期間のうちに骨材の使用の良否が判断できた。粗骨材の損失重量が 5% 以上ならコンクリート用骨材として用いない方がよいと思われる。

(4) ASTM C 666 A 法ではモンモリロナイト含有骨材を用いたコンクリートが，凍結融解作用を受けても相対動弾性係数はモンモリロナイトの含有量に関係なく 90% 以上を示した。凍結融解後に乾燥過程を入れることによってモンモリロナイトの影響が現われるものと思われる。

以上のようにモンモリロナイトが含まれる粗骨材については，その骨材を用いたコンクリートがどのような環境におかれるかが問題となる。また，モンモリロナイトの含有量について吟味する場合には，その骨材の岩種を調べる必要がある。すなわち，堆積岩の場合には一般的に堆積物粒子は粘土鉱物などの膠結物によって固められているので，結合力はそれほど強くなく，体積変化の著しいモンモリロナイトなどが含まれるとそれが少量であっても影響が現われやすい。一方，火山岩ではモンモリロナイト量が比較的多くても，それをとり囲んでいるマトリックス部を構成する鉱物はお互いに融着し，結合が強いためにコンクリートに与える影響は現われにくい。

謝 辞：本研究にあたり東京大学生産技術研究所の小林一輔教授にはご懇切なるご指導を賜った。X 線回折では東海大学の佐藤 武助教授にご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 三木幸蔵：わかりやすい岩石と岩盤の知識，鹿島出版会，pp.174，1984。
- 2) 鈴木哲也・小長井宣生・朝倉悦郎：粘土鉱物含有骨材のコンクリートに及ぼす影響，日本応用地質学会北海道支部昭和 63 年度研究発表会講演要旨，pp.10~11，1988。
- 3) Cole, W.F.: Evaluation of Basalt from Deer Park, Victoria, as an Aggregate for Concrete, ARRB Proceeding, Vol. 8, pp.23~33, 1976。
- 4) 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，第 10 回，pp.583~588，1988。
- 5) 丸 章夫：骨材の品質にかかわる耐久性の診断方法，コンクリート工学，Vol. 26, pp.40~48，1988。
- 6) 粘土ハンドブック編集委員会：粘土ハンドブック，技報堂出版，pp.36，1967。

(1990.2.24・受付)