

論文

[1053] スメクタイト族鉱物含有骨材の簡易品質判定法

藤原 靖*1・武田 均*2

1. はじめに

コンクリートダムのように骨材の採取地域が限定されるような構造物を建設する場合には、例えば土木学会コンクリート標準示方書ダム編などに規定した規格の一部を満足しない、いわゆる低品質骨材を使用する機会が増加している。

低品質骨材のうち、スメクタイト族鉱物（モンモリロナイトなど）を含有する岩石をコンクリート骨材として使用した場合、凝結が早まることが明らかにされている[1,2]。このような凝結性状はスメクタイト族鉱物の含有量により影響されるが、一般にその影響度は強度特性、凍結融解抵抗性などの硬化後の性質よりも、凝結が早まることによるワーカビリティーの低下の方が大きいことが明らかにされている[1]。

凝結の早まりはスメクタイト族鉱物の含有量に影響されるので、骨材の品質を判定する場合にその含有量が重要な情報となる。しかしスメクタイト族鉱物が凝結特性に与える影響の程度は、スメクタイト族鉱物の種類、産状、交換性陽イオンの組成、イオン交換容量などにより異なるため、含有量から骨材として使用した場合の凝結特性を直接判定することは難しい場合も多い。またスメクタイト族鉱物の含有量を把握する方法としてX線回折分析法が用いられるが、標準鉱物の選定などにより定量値が変動するため、含有量そのものの値に普遍性を持たせることが難しい。含有量の指標として陽イオン交換容量の測定が考えられるが、X線回折分析法と同様に、このような情報を得るための分析機器を建設現場に設置して品質管理を実施することは容易ではない。

著者らは前報において、骨材の有するコンクリートの凝結への影響の程度を把握でき、通常のコンクリートの品質管理と同等の器具や装置を使用して、スメクタイト族鉱物含有骨材の品質を簡易に判定する方法について提案した[3]。本報告では、本法の試験操作の簡素化並びに低品質骨材の使用対象となるダムコンクリートにおいても、その凝結特性を主とした品質を本法により評価できるか否かについて検討を行ったものである。

2. 実験方法

2.1 供試試料

供試試料は東北地方に産するスメクタイト族鉱物の含有量の異なる粗粒玄武岩を使用した。標準試料として大井川産川砂を使用した。簡易品質判定法の検討には、表-1に示した6水準の粒度に調整した4種類のスメクタイト族鉱物含有骨材を用い、これをK1~K4とした。モルタルの性質検討用にはK1~K4と別に新たに6種類のスメクタイト族鉱物含有量の異なる試料から細骨材を製造し、これをM1~M6とした。表-2に試料の性質を示した。

表-1 骨材試料の粒度

粒径5~2.5mm試料	
粒径2.5~1.2mm試料	
粒径1.2~0.6mm試料	
粒径0.6~0.3mm試料	
粒径0.3~0.15mm試料	
粒度調整試料	5~2.5mm : 9.5%
	2.5~1.2mm : 23.0%
	1.2~0.6mm : 23.0%
	0.6~0.3mm : 23.0%
	0.3~0.15mm : 14.0%
	<0.15mm : 7.5%

*1 大成建設（株）技術研究所 土木構造・水理研究グループ副主任研究員、農博（正会員）

*2 大成建設（株）技術研究所 土木構造・水理研究グループ研究員、工修（正会員）

2.2 簡易品質判定の試験方法

簡易品質判定法は簡易的なモルタルの断熱温度上昇試験である[3]。スメクタイト族鉱物を含有する骨材を使用した場合、コンクリートが過早凝結を生じることが知られている。過早凝結の程度はスメクタイト族鉱物の含有量により影響されるため、粉末X線回折分析により骨材の品質が調査されている。しかし過早凝結の程度はスメクタイト族鉱物含有量のみならず、鉱物の種類、産状、交換性陽イオン組成、陽イオン交換容量によっても影響される。そこで本法はセメントとスメクタイト族鉱物含有骨材の直接的な反応により得られる物性値による評価に着目したものである。以下にその試験手順を示す。

- ・対象地域の地質状況あるいは外観等で分類した区域ごとに岩石試料を採取する。
- ・採取試料を乾燥器（110℃）を用いて乾燥、粉碎、粒度調整を行い供試試料とする。
- ・一定温度環境下で、供試試料に普通ポルトランドセメント、水を所定割合で混合して練混ぜる。
- ・練混ぜた試料をポリビンに充填し、熱電対を挿入して断熱容器に入れる。
- ・挿入した熱電対で一定時間ごとの温度変化を所定の時間まで測定する。
- ・測定した時系列の温度データを時間差分して温度上昇速度（温度変化率）として算出する。
- ・練混ぜ後、所定の時間範囲に観察される温度上昇速度のピーク形状からその最大値を読み取る。
- ・得られた温度上昇速度の最大値を骨材の品質判定に適用する。

上記の手順で、スメクタイト族鉱物を含有した試料並びに標準試料について、品質判定を目的とした温度上昇速度の最大値の測定を行った。

2.3 供試試料の鉱物化学的分析

鉱物化学的分析として、粉末X線回折分析及び陽イオン交換容量の測定を行い、表-2に示した。なお粉末X線回折による測定結果は、14Å付近の回折ピークの半価幅、面積強度及びピーク形状を2つの三角形に近似して半価幅と面積強度から算出した面積近似値として示した。スメクタイト族鉱物の含有量はどのような標準鉱物を使用するかで定量値が異なるため、スメクタイト族鉱物含有量とせず、相対的なスメクタイト族鉱物含有量の指標として表示した。また同じく、陽イオン交換容量を試料間の相対的なスメクタイト族鉱物含有量の目安として示した。

2.4 モルタル試験

モルタルは最大骨材寸法150mm、スランプ4cm、空気量3%のダムコンクリートの外部コンクリート（以下A配合とする）、内部コンクリート（以下B配合とする）に相当するコンクリートの配合から、5mmのふるいでウェットスクリーニングした場合に得られるモルタルを想定して算出した配合（表-3）で作製した。

試験はJISに準拠して練混ぜ温度、単位体積重量、フロー値、圧縮強度について測定し、ASTMに準拠してプロクター貫入抵抗試験による凝結試験を行った。

表-2 供試試料の性質

試料名		簡易試験判定の検討用				モルタルの性質の検討用					
		K1	K2	K3	K4	M1	M2	M3	M4	M5	M6
X 線 回 折	半価幅: W (2θ:deg.;CuKα)	1.39	1.07	0.48	0.80	1.15	1.15	0.80	0.59	1.05	0.98
	回折強度: I (cps)	316	420	225	380	317	394	633	1147	469	471
	ピーク面積近似値(cps×deg.)	390	634	1708	775	460	525	698	983	574	571
陽イオン交換容量 (CEC:meq/100g)		15.1	19.6	33.0	22.4	27.8	28.7	29.6	32.8	29.5	29.1

表-3 モルタルの配合

配合	水/セメント比 (W/C)	細骨材/セメント比 (s/c)	セメント	混和剤	使用骨材試料
外部(A)	0.53	2.7	中庸熱フライアッシュ (置換率20%)	AE減水剤 (C×0.25%)	M1~M6
内部(B)	0.76	4.1	中庸熱フライアッシュ (置換率20%)	AE減水剤 (C×0.25%)	M1,M3,M4

表-4 温度上昇速度の最大値

試料名	簡易試験判定の検討用					モルタルの性質の検討用					
	標準	K1	K2	K3	K4	M1	M2	M3	M4	M5	M6
粒度調整試料	0	0.4	0.7	1.8	1.1	-	-	-	-	-	-
5~2.5mm粒径試料	0	0	-0.1	0	-0.1	-	-	-	-	-	-
2.5~1.2mm粒径試料	0	-0.2	-0.5	-0.4	-0.4	-	-	-	-	-	-
1.2~0.6mm粒径試料	0	0	0.5	1.7	0.5	-	-	-	-	-	-
0.6~0.3mm粒径試料	0	0.4	1.0	2.6	1.6	0.7	0.8	1.1	1.9	1.2	1.0
0.3~0.15mm粒径試料	0.1	1.0	1.5	3.3	2.1	-	-	-	-	-	-

3. 結果と考察

3.1 簡易品質判定法についての検討

簡易品質判定法により測定した温度上昇速度の最大値を表-4に示した。その中の代表的なものを図-1に示した。まず粒度調整試料についてみると、図の上段、標準試料の測定結果に示されるようにスメクタイト族鉱物を含まない骨材もしくは含有量の低い骨材の場合には、練混ぜ後、約1時間から2時間の間（楕円で囲まれた部分）では温度上昇速度は0℃/時間で推移した（図-1(a)）。これに対して、スメクタイト族鉱物を含有する骨材の場合には、同様の時間の範囲において明らかな温度上昇速度のピーク（極大値）を有するか（図-1(c)）、もしくは接水直後の発熱は急速に収束し温度上昇速度が低下するが、完全に0℃/時間にならずショルダーピーク（変極点）として観察された（図-1(b)）。

これらの練混ぜ後、約1時間から2時間の間の温度上昇速度のピークあるいはショルダーピークから読み取った値を本方法では便宜上、温度上昇速度の最大値とした。

簡易試験では、なるべく試験操作を単純化する必要がある。そこで本方法では試料の粒度調整作業が煩雑であり、これを簡素化するため、粒度調整したものと5~2.5、2.5~1.2、1.2~0.6、0.6~0.3、0.3~0.15mmの各粒径の試料を用いて、簡易品質判定試験を行い比較検討した。粒径5~2.5、2.5~1.2mmの試料の場合、粒度調整試料のような練混ぜ後、1時間から2時間の間のピークあるいはショルダーは観察されなかった。その代表例として2.5~1.2mmの場合の例を図-1（中段）に示した。

一方、粒径1.2~0.6、0.6~0.3、0.3~0.15mmの試料の場合にはピークあるいはショルダーが観察された。その代表例として0.6~0.3mmの場合の例を図-1（下段）に示した。またピークあるいはショルダーピークの大きさや形状は、ピークあるいはショルダーピークが観察された粒径1.2~0.6、0.6~0.3、0.3~0.15mmの試料のうち、粒径0.6~0.3mmの粒度の試料（図-1(h,i)）が上段に示した粒度調整試料のそれ（図-1(b,c)）に近似していた。したがって、実験操作の簡素化を行うには粒径0.6~0.3mmの単一粒度の試料を使用するのが適当であろうと判断し、次のモルタルの性質についての検討に使用した骨材については、粒径0.6~0.3mmの単一粒度の試料で温

度上昇速度を測定した。

粒径0.6~0.3mmの試料の温度上昇速度の最大値と相対的なスメクタイト族鉱物含有量の指標となる回折ピークの面積近似値及び陽イオン交換容量を試料間の相対的なスメクタイト族鉱物含有量との関係について図-2に示した。図のように粒径0.6~0.3mmの単一粒度での温度上昇速度の最大値と回折ピークの面積近似値(表-2)及び陽イオン交換容量(表-2)の間には良好な正の相関がみられ、最大値はスメクタイト族鉱物の含有量を反映していることが明らかであった。

3.2 簡易品質判定試験結果とモルタルの性質との関係

ダムコンクリートに準じた配合のモルタルを製造して、簡易品質判定試験によりダムコンクリートの凝結特性の評価が可能であるか否かを主眼として検討を行った。

図-3に温度上昇速度の最大値とフロー値との関係について示した。A配合では温度上昇速度の最大値が1.1℃/時間までは、その最大値が異なってもフロー値の変化はほとんどなく一定であった。この値より大きくなるとフロー値が急に小さくなった。このような傾向はB配合においてもほぼ同様であった。スメクタイト族鉱物含有骨材の場合、練上がり直後の流動性はスメクタイト族鉱物の含有量に対してあまり敏感でなく、凝結の早まりに起因した流動性の経時的な低下に対してより敏感であると予想された。

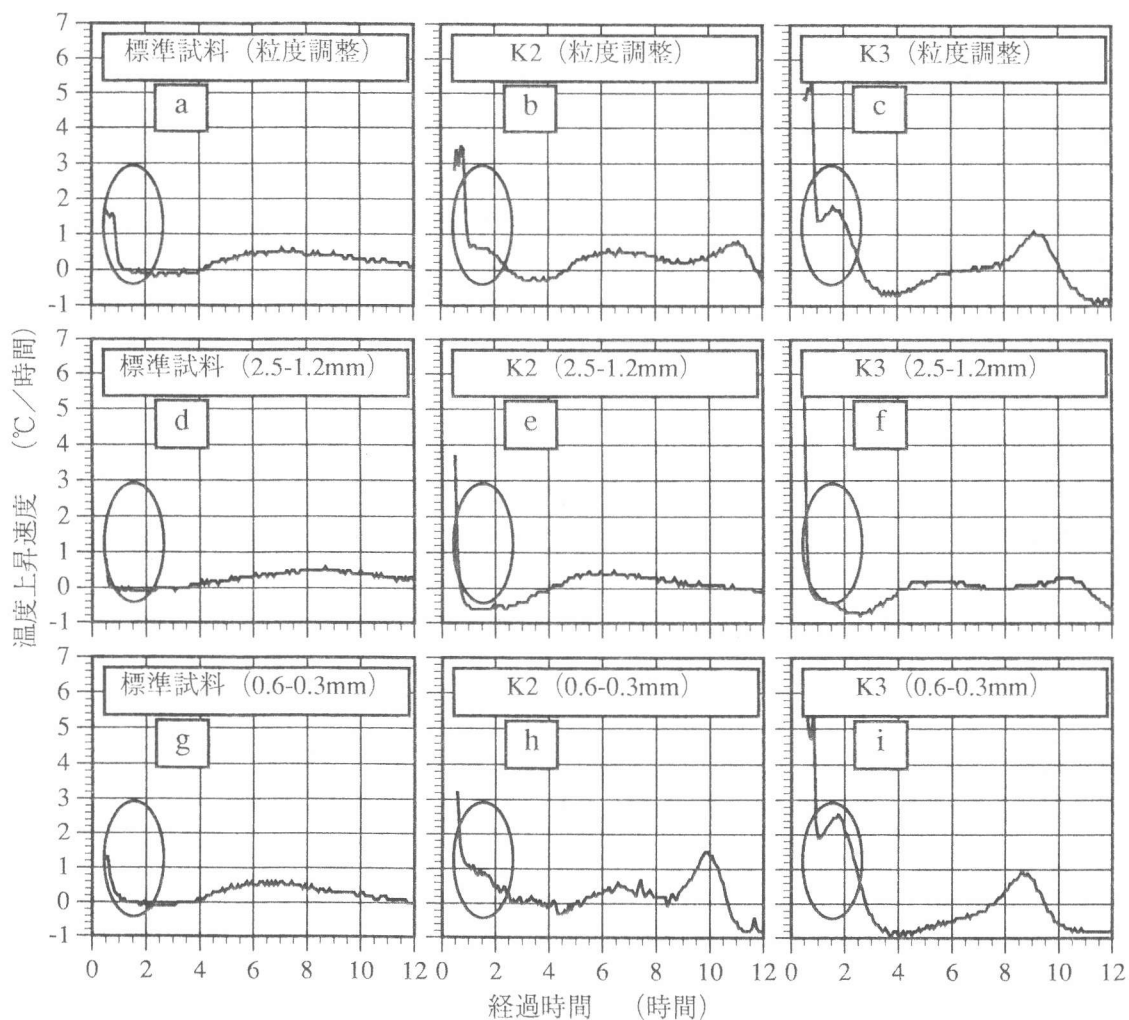


図-1 簡易品質判定試験結果の代表例

図-4に温度上昇速度の最大値と凝結の始発時間との関係を示した。図のようにフロー値の場合とは異なって、温度上昇速度の最大値と凝結の始発時間との間にはA配合、B配合ともに良好な負の相関が認められた。凝結特性はスメクタイト族鉱物の含有に起因する影響が最も明瞭に表れる性質であることが明らかである。またB配合の凝結の始発時間の方がA配合に比較して10分前後早くなっていた。これはB配合の方がA配合よりも細骨材セメント比が大きく、セメントに対するスメクタイト族鉱物の割合が大きくなるため、凝結に及ぼす影響が強くと考えられた。

図-5に温度上昇速度の最大値と圧縮強度との関係を示した。図のようにA配合の場合には、材令1、4、13週において温度上昇速度の最大値が異なっても圧縮強度の変化はほとんど認められず、最大値が2℃/時間付近の試料で材令13週の場合のみ強度の低下が認められた。一方、B配合の場合には、材令1、4、13週において温度上昇速度の最大値が大きくなるのともなって圧縮強度の低下が認められた。このことは、凝結時間の場合と同様にB配合の方がA配合よりも細骨材セメント比が大きく、セメントに対するスメクタイト族鉱物の割合が大きくなるためと考えられた。

以上の結果から、本簡易品質判定法によりダムコンクリートの配合においてもスメクタイト族鉱物を含有する骨材の特徴である凝結性状への影響の把握が可能であることが明らかとなった。また流動性、硬化特性、強度特性へ及ぼすスメクタイト族鉱物の含有量の違いは、A配合よりもB配合で顕著に認められることが明らかとなった。

本簡易品質判定法の実工事への適用については、現在は使用している装置固有の温度上昇速度を使用しているので、普遍的な指標にするための補正に関する検討が必要と考えられる。また実機製造の骨材を使用したコンクリート試験での検討が必要である。さらにスメクタイト族鉱物含有骨材の有効利用には超遅延剤の使用が効果的であることが明らかとなっている[4]。そこで超遅延剤を添加した場合の凝結特性を把握し、本法により判定される骨材品質による超遅延剤の有無及び添加量などについて検討が必要と考えられる。

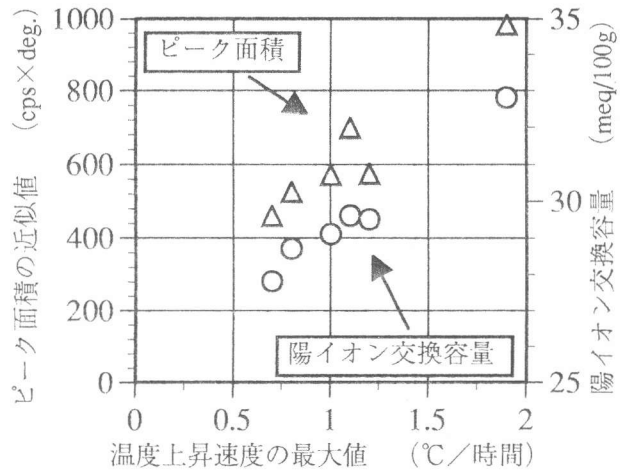


図-2 温度上昇速度の最大値とスメクタイト族鉱物含有量指標

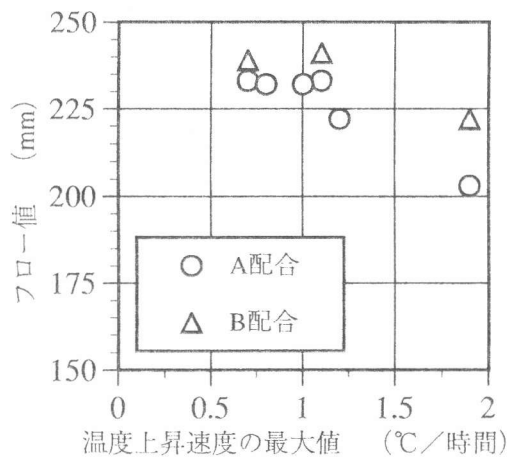


図-3 温度上昇速度の最大値とフロー値

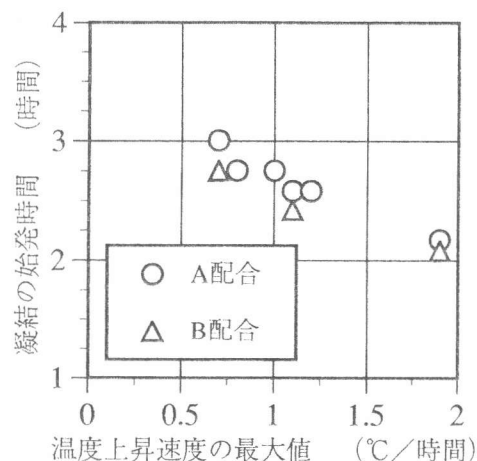


図-4 温度上昇速度の最大値と凝結始発時間

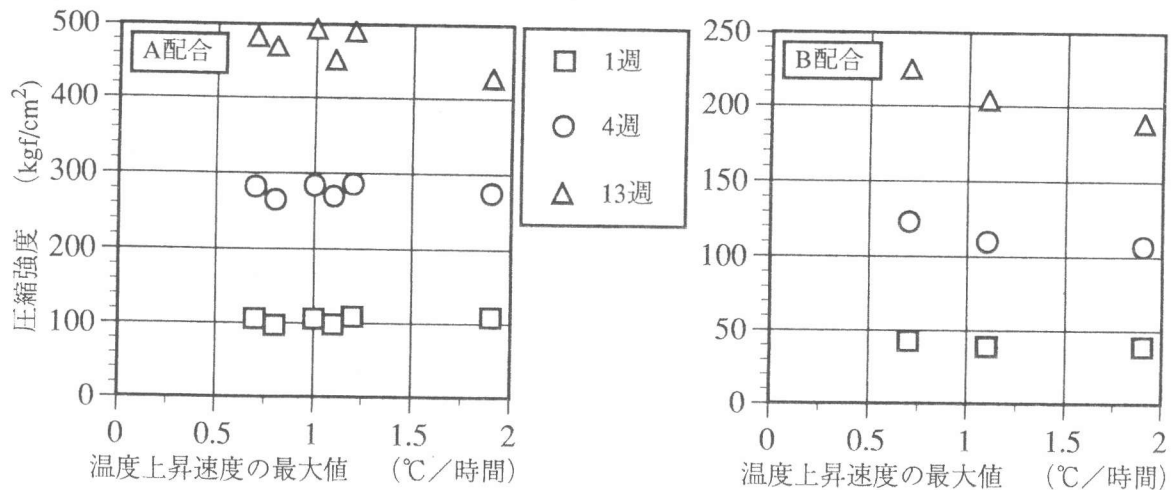


図-5 温度上昇速度の最大値と圧縮強度との関係

4. まとめ

- (1) 粒度調整試料の温度上昇速度のピークあるいはショルダーピークから読み取った最大値に粒径0.6~0.3mmの場合の最大値の大きさ、形状が近似していた。
- (2) 粒径0.6~0.3mmの試料の温度上昇速度の最大値は、スメクタイト族鉱物の含有量と相関が高く、この粒径を用いることにより試験操作の簡素化が可能と考えられた。
- (3) ダムコンクリートのウェットスクリーニングを想定したモルタル試験では、A配合、B配合ともに温度上昇速度の最大値の違いによるフロー値の変化は小さいことが認められた。
- (4) A配合、B配合ともに温度上昇速度の最大値と凝結の始発時間との間には良好な負の相関が認められ、B配合の凝結の始発時間の方がA配合に比較して10分前後早くなっていた。
- (5) A配合の場合には、材令1、4、13週において温度上昇速度の最大値が変わっても圧縮強度の変化はほとんど認められず、B配合の場合には、材令1、4、13週において温度上昇速度の最大値が大きくなるのにもなって圧縮強度の低下が認められた。
- (6) 本簡易品質判定法によりダムコンクリート配合においてもスメクタイト族鉱物含有骨材の凝結特性の把握が可能であり、凝結特性からみた骨材品質の判定に適用可能と考えられた。
- (7) 本法の実工事への適用には、今後の温度上昇速度データの普遍化、実機によるコンクリート試験での検討、超遅延剤を添加した場合の凝結特性の把握などの検討が必要と考えられた。

[参考文献]

- 1) 脇坂安彦ほか：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、コンクリート工学年次論文報告集、12-1、pp.733-738、1990
- 2) 脇坂安彦ほか：モンモリロナイト族鉱物含有骨材を使用したコンクリートの凝結特性、応用地質、Vol.34、No.5、pp.4-14、1993
- 3) 藤原靖・武田均：スメクタイト族鉱物含有骨材の簡易品質判定法に関する基礎研究、土木学会第48回年次学術講演会概要集、5、pp.480-481、1993
- 4) 河野広隆・高橋弘人：粘土鉱物含有骨材を用いたRCDコンクリートの凝結時間特性、土木学会第47回年次学術講演会概要集、5、pp.514-512、1992