

セメント性状がアルカリ骨材反応に与える影響についての基礎検討

土木研究センター
ジェイアール総研エンジニアリング
ジェイアール総研エンジニアリング
鉄道総合技術研究所

正会員
上間 綾乃
荒畑 利一
正会員 上原 元樹

○三浦 正純

1. はじめに

コンクリートにおけるアルカリ骨材反応とは、骨材に含まれているシリカ成分と細孔溶液中のアルカリ成分との化学反応により生成された物質が、マトリックスに対して膨張圧を発生し、マトリックスにひび割れを発生させる事象と言うことができる。これまで、アルカリ骨材反応のメカニズムについて、骨材と細孔溶液との反応および生成物についての研究は数多く行われているものの、膨張圧発生に関する研究は少ない。特に、膨張圧の蓄積に重要な役割を果たすと考えられるマトリックス側からの研究はほとんどない。そこで、セメント性状がアルカリ骨材反応による膨張にどのような影響を及ぼすか検討を行うこととした。

2. 試験方法

セメントの粉末度が異なると凝結時間だけでなくマトリックスの骨格（細孔構造）が異なる。そこで、同じセメントクリンカーを粉砕して製造した粉末度の異なるセメントを用いてモルタルバーを作製し、促進養生後の物性値および膨張量を測定し、粉末度がアルカリ骨材反応に与える影響について検討した

(1) 試験用セメントの製造

粉末度の異なるセメントは、セメントクリンカーを 5mm 以下の粒度まで粗粉砕後、試験用ボールミルを用いて粉砕時間を変えることで粉末度を調整した。現在の普通ポルトランドセメントの標準的な粉末度 3500 を中心とし、粉末度の大きなもの 4500 と小さなもの 2500、3 種類のセメントを製造した。なお、石膏はセメント中の SO₃ 量として 2% となるように試薬石膏を添加した。

表 1. 製造したセメントの性状

試料名	粉末度	凝結試験			アルカリ量 (R ₂ O%)
	比表面積 (cm ² /g)	水量 (%)	始発 (hr-min)	終結 (hr-min)	
2500	2,480	26.4	1-55	3-45	0.524
3500	3,460	26.0	1-25	2-40	0.516
4500	4,500	25.4	1-10	1-50	0.509

製造したセメントの性状は表 1.に示すように、ほぼ目標とした粉末度であり、2500 は 4500 に比べて凝結時間が倍程度と遅くなっていることがわかる。また、アルカリ量は本来同じ値を示すはずであり、分析のばらつきの範囲内のデータと思われる。

(2) モルタルバー試験

反応性骨材としてクリストバライトを含有するガラス質安山岩を用いた。ペシマムを考慮し非反応性骨材（標準珪砂）40%、反応性骨材 60%で混合した。セメントアルカリ量は NaOH を添加して 1.2%に調整した。JIS の配合に従ってモルタル角柱供試体（4×4×16cm）を各 3 本作製、促進条件（40℃，RH95%以上）で養生、長さ変化を測定した。

(3) 物性試験

モルタルバー試験と同一配合で円柱供試体（φ5×10cm）を作製し、促進養生（40℃，RH95%以上）後に圧縮強度および静弾性係数を測定した。また、比較のため 20℃水中養生および 20℃湿空養生、材令 28 日での物性試験を行った。

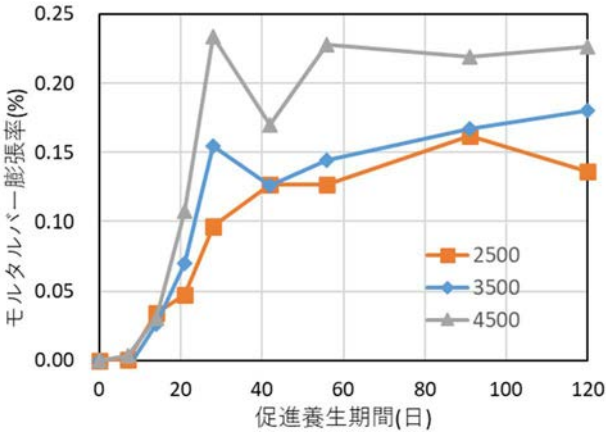


図 1. モルタルバー膨張率の変化

3. 試験結果

モルタルバー試験結果を図 1. に示す。材令 28 日までは粉末度と膨張量に明確な差があり、粉末度が大きい（粒子が細かなセメント）ほど大きな膨張を示している。それ以降の材令での膨張量データは大きくばらついている。その理由は不明であるが、粉末度の最も大きな 4500 は、3500、2500 に比べて大きな膨張を示しており、セメントの粉末度がアルカリ骨材反応による膨張に影響を与えていると解釈できる。

物性試験結果の一覧を表 2. に示す。材令 28 日で見ると、20℃湿空養生の物性値は粉末度による差はなく、ほぼ同じ値であるが、20℃水中養生の場合、粉末度が大きいほど圧縮強度が大きいという傾向が見られる。20℃水中養生ではアルカリ骨材反応の進行は軽微であるのに対し、水和が十分に進行するため、粉末度の違いがセメント硬化体組織の違いとして顕著に現れたものと考えられる。

20℃湿空養生に対し 40℃湿空養生ではアルカリ骨材反応が顕著に進行すると同時にセメントの水和反応も活発になる。材令 28 日では 2500 と 3500 は 20℃に比べ 40℃の強度が低い、4500 では 40℃のほうが大きな値となっている。40℃では、水和による強度増加がアルカリ骨材反応による強度低下を上回ったためと解釈できる。一方、静弾性係数はいずれの粉末度とも、20℃に比べ 40℃の値が小さくなっている。

アルカリ骨材反応が進行に伴い静弾性係数は大きく低下することが知られており、静弾性係数と圧縮強度の比の値（静弾性／強度）がアルカリ骨材反応の進行程度を目安として扱うことができる。本試験のデータでは、静弾性係数と膨張率の関係（図 3.）は明瞭ではないものの、膨張率と静弾性／強度比の関係（図 4.）では負の相関関係が明確になっている。

4. まとめ

粉末度が大きい（粒子が細かな）セメントほど、アルカリ骨材反応による膨張が大きく、静弾性係数の低下も大きくなる傾向にあった。これは、同じ反応生成物量であれば、マトリックスの空隙が小さいほど膨張圧が高くなることが一因と考えている。アルカリ骨材反応を制御するには、骨材だけでなくセメント側からの検討も必要である。

表 2. 試験結果一覧

粉末度 (cm ² /g)	養生 温度	養生 環境	材令 (日)	膨張率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性 係数 (kN/mm ²)	静弾性 ／強度 (×10 ³)
2500	20℃	水中	28	—	43.7	27.0	0.62
		湿空	28	—	42.1	26.0	0.62
	40℃	湿空	28	0.097	39.3	19.9	0.51
			56	0.126	37.9	16.4	0.43
			91	0.162	43.6	18.6	0.43
3500	20℃	水中	28	—	46.7	25.6	0.55
		湿空	28	—	42.6	24.9	0.58
	40℃	湿空	28	0.155	37.0	16.6	0.45
			56	0.144	42.6	13.7	0.32
			91	0.167	42.3	14.8	0.35
4500	20℃	水中	28	—	54.2	25.9	0.48
		湿空	28	—	43.1	25.1	0.58
	40℃	湿空	28	0.234	47.9	16.6	0.35
			56	0.228	44.0	14.2	0.32
			91	0.219	45.9	14.7	0.32

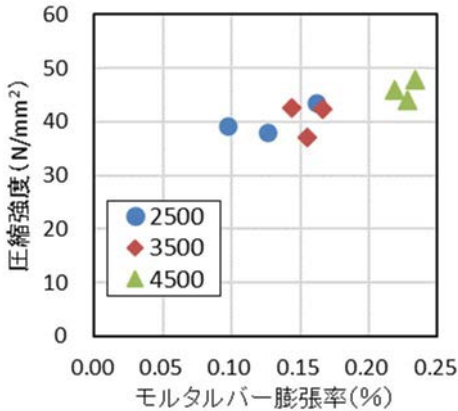


図 2. 圧縮強度と膨張率の関係

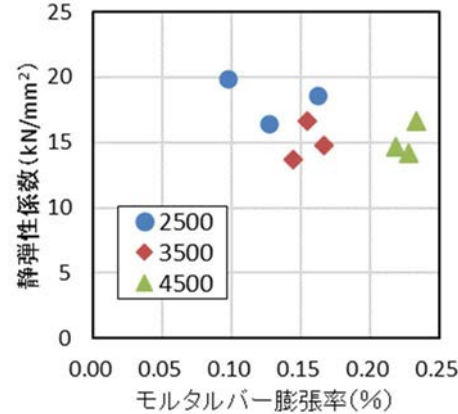


図 3. 静弾性係数と膨張率の関係

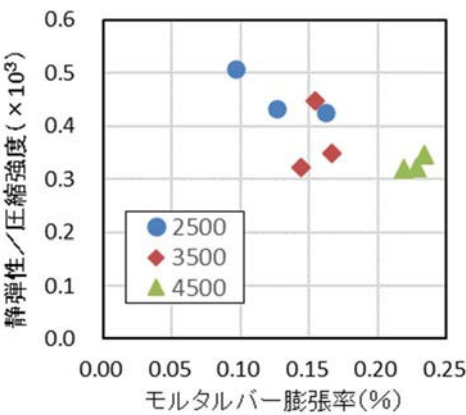


図 4. 静弾性／強度と膨張率の関係