

[25] セメントモルタルの熱衝撃抵抗性と微細構造

正会員 ○田 代 忠 一(山口大学工学部)
 上 岡 健 三(同 上)
 木 嶋 敏 治[※](同 上)

1. まえがき

セメント・コンクリートの熱衝撃抵抗性及び耐火性については、古くから多くの研究者によって、配合、骨材組成さらには圧縮強度¹⁾、動的弾性係数²⁾、熱伝導率などの各種物性と関連から研究されているが、最近の新しいタイプのセメント類についての熱衝撃抵抗性及びに微細構造からの研究は少ない。

筆者らは、セメント・コンクリートの物性と微細構造との関連について一連の研究を実施しているが、本研究はその一環としての研究である。すなわち、各種セメントを使用したモルタル供試体の200~1000℃の熱衝撃抵抗性を熱膨張収縮、重量減

のほか、細孔径分布、全細孔量、組成などの微細構造の関連から調べたものである。

2. 実験方法

2.1 使用材料及び配合

供試体は、普通ポルトランドセメント系(A)、高炉水砕スラグ混合セメント系(B)、けい石粉末混合セメント系(C)及びアルミナセメント系(D)のモルタルで、セメント、砂比は1:1である。養生は常温、蒸気、オートクレーブ養生またはそれらの組み合わせで、それらの明細は表1~4に示した。なお、供試体の大きさはφ8×30mmを主としたが、圧縮曲げ試験については10×10×40mmである。

2.2 熱衝撃抵抗試験

いわゆる急熱急冷反復試験法を採用した。105℃、24h、乾燥した供試体を200、400、600、800、1000℃の各温度に10分間保持し、ついで、常温の流水中に投入急冷し、再び上記操作を繰り返し破壊するまで反復した。

表1 Aモルタルの配合と養生

供試体	セメント	豊浦標準砂	W/C	養生
A-1	I(P)	I	0.65	水中(200℃, 28日)
A-2	I(P)	I	0.65	蒸気(600℃)+水中(200℃, 7日)
A-3	I(P)	I	0.65	蒸気(600℃)+オートクレーブ(180℃, 6時)
A-4	I(S)	I	0.65	蒸気(600℃)+水中(200℃, 7日)

P: 普通ポルトランドセメント, S: 耐硫酸セメント

表2 Bモルタルの配合と養生

供試体	セメント	スラグ	石こう	水酸化カルシウム	シリカゲル	豊浦標準砂	W/C	養生
B-1	0.5(P)	0.45	0.05	-	-	I	0.65	蒸気(600℃)
B-2	0.2(P)	0.75	0.05	-	-	I	0.65	+水中
B-3	0.2(P)	0.75	0.05	-	0.05	I	0.65	(200℃, 7日)
B-4	-	0.80	0.19	0.01	-	I	0.65	

P: 普通ポルトランドセメント

表3 Cモルタルの配合と養生

供試体	セメント	けい石粉末	豊浦標準砂	W/C	養生
C-1	0.7(P)	0.3	I	0.65	蒸気(600℃)+オートクレーブ(180℃, 6時)
C-2	0.5(P)	0.5	I	0.65	蒸気(600℃)+オートクレーブ(180℃, 6時)
C-3	0.5(P)	0.5	I	0.65	蒸気(600℃)+オートクレーブ(300℃, 6時)

P: 普通ポルトランドセメント

表4 Dモルタルの配合と養生

供試体	セメント	豊浦標準砂	W/C	養生
D-1	I(アルミナ)	I	0.5	水中(200℃, 7日)
D-2	2(キヤスタブル)		0.5	水中(200℃, 7日)

※現在は徳山曹達株式会社勤務

ただし、繰り返し操作は20回を限度とした。熱衝撃抵抗値は破壊までの回数を用いた。なお、破壊の認定は、供試体が分離した時点をもって破壊とした。供試体ホルダは図1に示すように白金線を使用した。

2.3 熱膨張収縮及び重量減

熱膨張収縮試験は、間接法で実施した。200, 400, 600, 800及び1000℃の各温度に達した後、直ちに冷却して室温まで下げ、その膨張収縮と重量減を測定した。加熱速度は3~4℃/m.である。なお、実験に供した試料は、105℃, 24h乾燥したものである。

2.4 曲げ、圧縮強度

供試体は熱膨張収縮及び重量減試験用と同様、105℃, 24hで乾燥したものである。

2.5 微細構造の測定

組成は粉末X線回折、細孔径分布と全細孔量は、水銀圧入式ポロシメータ(Carlo-Erba 200)で調べた。

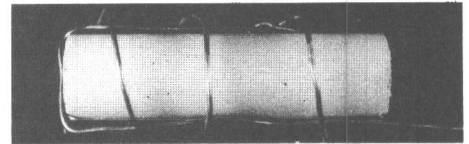
3. 実験結果及び考察

3.1 熱衝撃抵抗

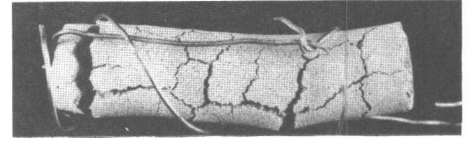
熱衝撃抵抗値は、表5に示した。また、試験後の一部の供試体の写真は図1に示した。表5から明らかのように、400℃の熱衝撃抵抗値は、各供試体いずれも21回以上を示すが、温度の上昇につれ、差異が顕著となり、1000℃の試験では、C>D≧B>Aとなる。なかでも、シリカ粉末混合セメント系モルタルの300℃オートクレーブ養生供試体(C-3)が21回を示し、その外観も図1に示すようにほとんど変形せず、抵抗値が最も高い。これに反して、最も抵抗値が低いのは普通ポルトランドセメント系モルタル(A-1)で同図に示した。なお、同種セメントを使用している養生法、配合などによる熱衝撃抵抗値の差異は多少みられるが、セメントの種類ほどの差はない。

3.2 膨張収縮と重量減

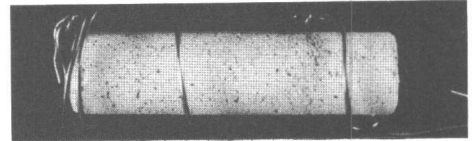
図3~5から明らかのように、加熱に伴う膨張収縮と重量減は、セメントの種類ごとに特徴あるパターンを示している。普通ポルトランド系Aモルタルと他のモルタルを比較してみると、Bは重量減に対して収縮が著るしく大で、C(C-3を除く)はやゝ大きく、Dは膨張している。また、膨張収縮と重量減の急変の加熱温度は、Aモルタルでは、600℃と1000℃、Bモルタルでは、600℃と1000℃、Cモルタルでは800℃、または



熱衝撃試験前



A-1, 1000°C 2回



C-3, 1000°C 21回

図1 熱衝撃試験前後の供試体

表5 熱衝撃抵抗値(回数)

供試体	加熱温度(°C)				
	200	400	600	800	1000
A-1	21≦	21≦	5	3	2
A-2	21≦	21≦	21≦	3	2
A-3	21≦	21≦	16	3	3
A-4	21≦	21≦	5	2	2
B-1	21≦	21≦	21≦	21≦	8
B-2	21≦	21≦	21≦	11	6
B-3	21≦	21≦	21≦	19	10
B-4	21≦	21≦	12	5	5
C-1	21≦	21≦	21≦	21≦	21≦
C-2	21≦	21≦	21≦	21≦	11
C-3	21≦	21≦	21≦	21≦	21≦
D-1	21≦	21≦	21≦	21≦	9
D-2	21≦	21≦	21≦	21≦	8

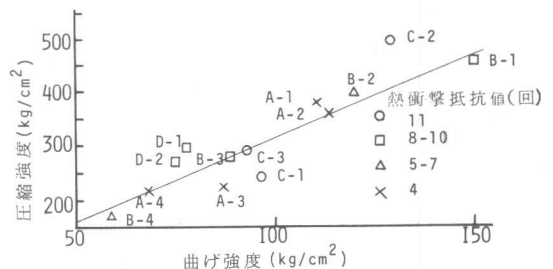


図2 圧縮強度と曲げ強度

1000℃のものが多い。

3.3 圧縮強度と曲げ強度

供試体の圧縮強度と曲げ強度は、図2に示した。大略直線的な関係が認められる。なおセメントの種類と強度との関係は、判然としない。

3.4 細孔径分布と全細孔量

図6に示すように、細孔径分布はセメントの種類ごとの特徴が認められる。すなわち、Aモルタルの細孔は、加熱前後共375Åから75000Åまで多少の増減があっても全体的に分布しているが、B、C及びDモルタルについては、加熱前が3000Å以下の細孔を主とし、加熱後は逆に3000Å以上の細孔に変化している。なお、全細孔量はA、C、Dについては加熱前後の変化が一定でないが、Bモルタルは加熱後減少する。

3.5 水和物組成

主要な水和物は次のようである。A： $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、C-S-H(I)、B：G-S-H(I)、エトリンジャイト、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、C：トベルモライトまたはゾノトライト、D： C_2AH_{10} 。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ はCとDがほとん

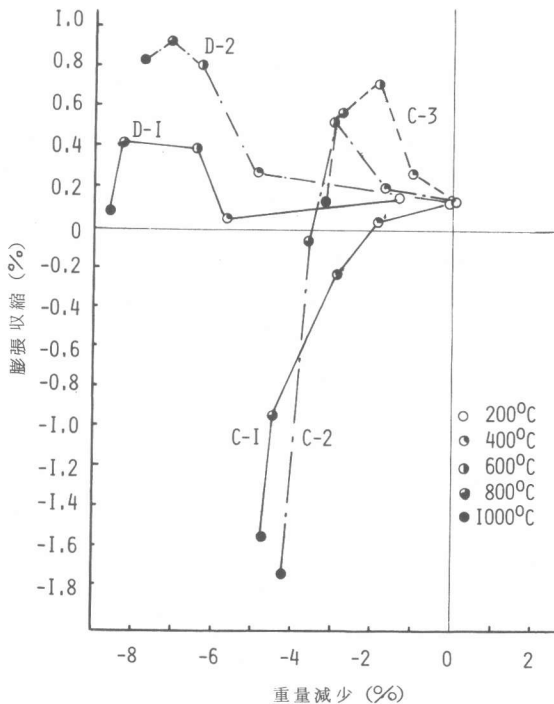


図5 C及びDモルタルの膨張収縮と重量減少

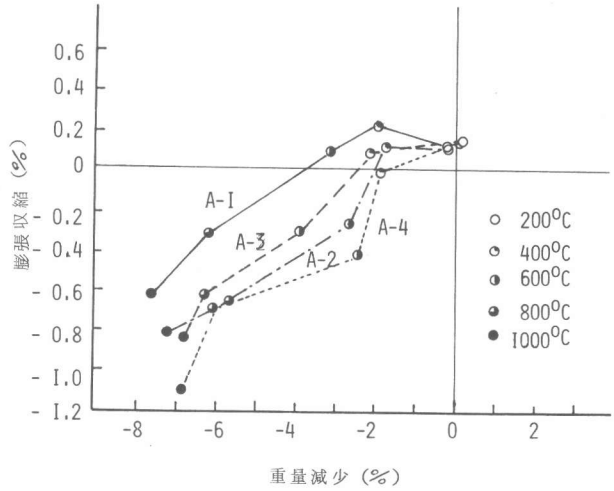


図8 Aモルタルの膨張収縮と重量減少

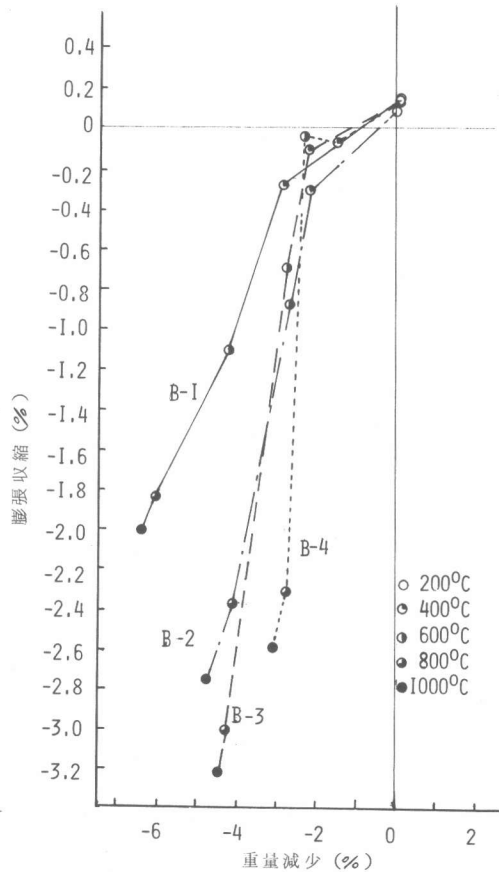


図4 Bモルタルの膨張収縮と重量減少

どなく、ついでBで、Aが最も多い。なお同種類中におけるCa(OH)₂量の変動は多少認められる。

3.6 熱衝撃抵抗、膨張収縮、重量減、強度及び微細構造の相互関係

Aに比較して収縮の大きいB及びCさらには膨張するDはいずれも衝撃抵抗性が高い。しかしながら、重量減はB、Cがやゝ小さい。熱衝撃抵抗性と強度との関係は図2に示すよう一定しない。以上のことを一般材料の熱衝撃抵抗性を示す式 $R = P\sqrt{k}/\beta$

$E\sqrt{CP}$ (R:熱衝撃抵抗係数, P:引張り強さ, k:熱伝導率, β :熱膨張係数, E:弾性率, P:比重, C:比熱) からみると, R, E, Pを勘案しても, 熱衝撃抵抗はP, β にあまり依存していないことがわかる。

次に, 組成との関係は, Ca(OH)₂の少ないもの, またC-S-H(I), トベルモライト, ゴノトライトの順に熱衝撃抵抗値が高い。しかしながら, Ca(OH)₂のやゝ多いBがCa(OH)₂のほとんど認められないDとほぼ同じ値を示すことは, C-S-H系とC-A-H系との基本的な差異やスラグの粘性などによるのかも知れない。

細孔径については, 加熱前が3000Å以下に分布し, 加熱後3000Å以上に変化するもの, そのほか, C-3にみるように, 細孔径分布が僅かに変化するものが熱衝撃抵抗値が高い。C-S-H系におけるトポタキシャルな変化に起因するものであろう。

4. まとめ

各種養生の普通ポルトランド系, スラグ混合セメント系, シリカ混合セメント系及びアルミナセメント系モルタルの熱衝撃抵抗性は, 一般に他の材料で考慮される諸因子と異なった因子から検討されることが必要で, とくに, 組成を含めた微細構造からの検討が効果的であろう。シリカ混入オートクレーブ養生及びスラグ混合セメントモルタルの熱衝撃抵抗性の高いことは, セメント・コンクリートの利用に対して意義が大きい。

文献

1. J. David ; J. Am. Concr. Inst. 69, 118 (1972)
2. 宮坂 慶男 : コンクリートジャーナル, 11, 66 (1973)
3. 原田 有 : コンクリートジャーナル, 11, 37 (1973)

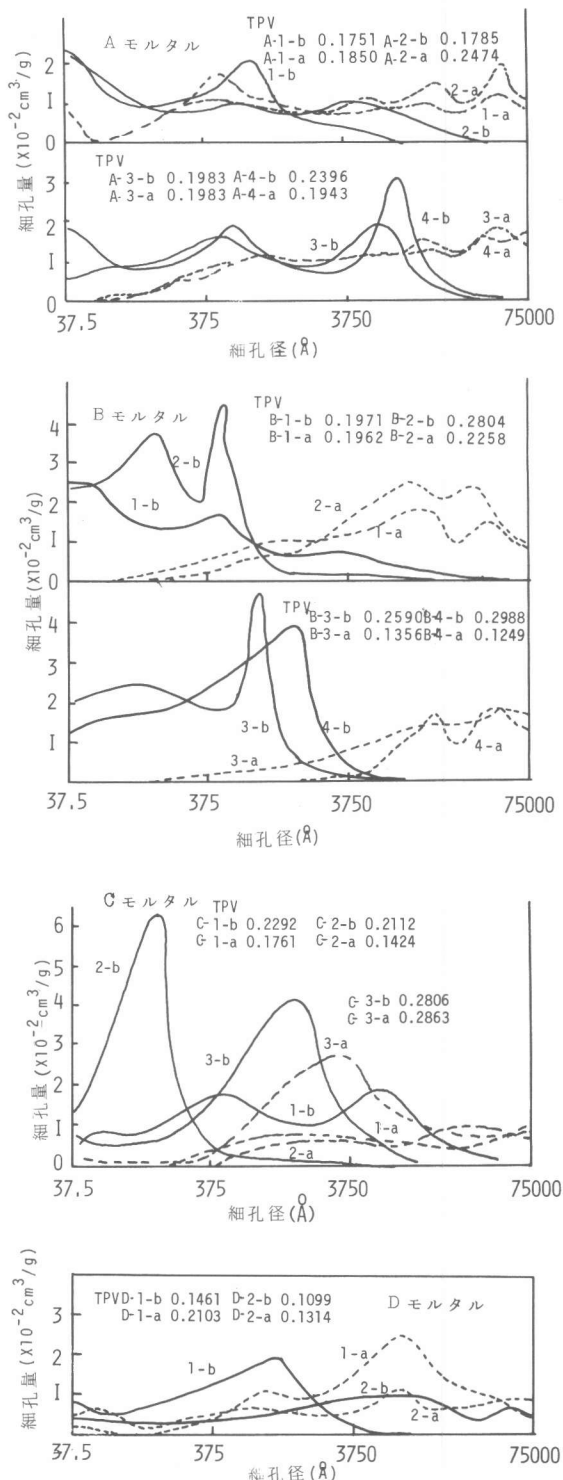


図6 モルタルの細孔径分布と全細孔量 (TPV) 1000°C熱衝撃試験前 (b) 熱衝撃試験後 (a)