

RPCの製造とその微視的構造に関する基礎研究

金沢大学大学院 学生会員 ○吉田 幸
金沢大学 正会員 五十嵐 心一
金沢大学 フェロー 川村 満紀

1. 序論

RPC(Reactive Powder Concrete)は、DSP の延長上においてフランスにて開発された新しいセメント系材料であり、その超高強度の発現が注目されている。RPC を製造し高強度を得るための基本概念としては、均質性・充填性の向上、打設後の加圧による空隙の除去および熱処理による反応生成物の変化が挙げられる[1]。しかし、実際の施工実績が報告されているにもかかわらずその基本概念のみが提案されるにとどまり、具体的な製造方法やその強度発現のメカニズムなどは必ずしも明らかにされてはいない。

本研究においては、一般に入手可能な材料を用いてRPCを製造するための基本的な情報を得ることを目的とし、2、3 の養生温度における力学的特性の相違を反応生成物および微視的構造の特徴と関連づけながら考察した。

2. 実験概要

表-1 RPC および高強度モルタルの配合

(1)使用材料および配合

使用したセメントは普通ポルトランドセメントである。骨材は硬質珪石細骨材(略号 S、100

	W/B	SF/C	(S+F)/B	(SF+F)/C
RPC	0.21	0.325	1.3	0.62
高強度モルタル		0.11	1.0	

～300 μm)および微粉石英(F、5～10 μm)の二種類を使用した。シリカフューム(SF)の混入率はセメント量に対して32.5%とした。減水剤はポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を使用し、消泡剤(ポリアルキレングリコール誘導体)もあわせて使用した。これら二種類の混和剤の添加量は予備実験の結果からそれぞれ 5%、2%とした。水結合材比(W/B)は 0.21 であり、比較用としてシリカフューム混入率 11%の高強度モルタルも作成した。配合を表-1に示す。

(2)供試体作成および養生方法

①圧縮強度試験 設定した養生方法は 20℃、90℃の水中養生および 200℃の高温炉内での養生であり、材令 7 日にて圧縮強度試験を行った。JIS R 5201 および JSCE-F506 に従って直径 50mm、高さ 100mm の円柱供試体を作成し、20℃および 90℃の水中養生に関しては打設後 24 時間にて脱型し、養生温度 20℃の場合は材令 7 日まで 20℃の水中養生を継続した。養生温度 90℃の場合は脱型後 2 日間 20℃の水中養生を行った後に材令 7 日まで 90℃の水中養生を行った。養生温度 200℃のものは打設後 24 時間にて脱型せずに 2 日間 20℃の水中養生を行い、その後材令 7 日まで 200℃の高温炉内にて養生を行った。

なお、高温炉に入れる際に供試体上面からの乾燥を防ぐため供試体上面にセメントペーストによるキャッピングを行った。

②X線回折 圧縮強度試験後破断面より採取した破片を真空乾燥炉内にて数日間乾燥させた。指頭に感じなくなるまで乳鉢を用いて粉碎し、X線回折用試料とした。

③電子顕微鏡観察および EDS 点分析 ②と同様の方法で採取した破片を真空乾燥炉内にて数日間乾燥させ、金-パラジウムを蒸着して電子顕微鏡観察および EDS 点分析用試料とした。

3. 実験結果および考察

図-1に RPC および高強度モルタルの材令 7 日における圧縮強度試験結果を示す。養生温度 20℃では RPC と高強度モルタルとの間に強度差は認められない。しかし、90℃で養生を行なうと、RPC の方がかなり大きな強度を示す。一方、200℃の高温炉内で養生を行なった場合、供試体表面には乾燥に起因するようなひび割れも認められず、さらに大きな強度を示した。

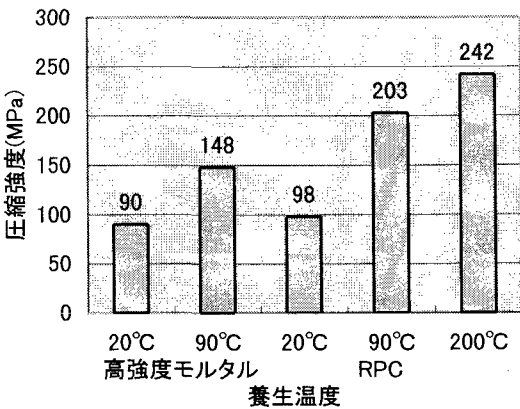


図-1 圧縮強度試験結果

図-2は養生温度 20℃、90℃および 200℃の RPC の材令 7 日におけるX線回折図である。養生温度 20℃では、石英および $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 以外に特徴的なピークは同定されなかった(図-2(a))。また、養生温度 90℃の場合も同様の回折図を示し(図-2(b))、これら二種類の養生方法では反応生成物に大きな相違はないことがわかる。養生温度 200℃におけるX線回折図においては、養生温度 20℃、90℃の場合には認められなかったゾノライト、トバモライト、CSH (I) といった CSH 系の結晶と考えられるピークがわずかではあるが確認された(図-2(c))。また、養生温度 20℃および 90℃と養生温度 200℃の回折角(2θ)30° 前後におけるバックグラウンドを比較すると、養生温度 200℃のものはバックグラウンドの高さが大きくなっていることがわかる。このことから、CSH 系の非晶質の生成物が 20℃や 90℃に比較して多量に生成されていることがわかる。

写真-1は養生温度 90℃および 200℃の RPC の材令 7 日における破断面の SEM 像である。養生温度 90℃の写真を観察すると、全体的に空隙が少ない密な構造であることがわかる(写真-1(a))。一方養生温度 200℃においても同様の密な組織が形成されていたが、養生温度 90℃では観察されなかった棒状の結晶性の生成物が空隙を充填するように生成されているのがいたるところで観察された(写真-1(b))。この結晶生成物に EDS 点分析(矢印部分)を行った結果を図-3に示す。CaとSiの明瞭なピークのみが同定され、定量分析結果では表-2に示すように CaO/SiO_2 モル比は約 1.0 であった。よって、高温で養生を行なった RPC 中には低 CaO/SiO_2 比の CSH 系の反応生成物が確認された。

4. 結論

RPC は養生温度 20℃においては一般の高強度モルタルとほとんど強度の相違はないが、熱処理により著しい強度の増大をもたらすことが確認された。養生温度 90℃においてはセメントの水和反応およびボゾラン反応の促進による組織の緻密化により圧縮強度は増大する。一方、養生温度 200℃の場合は CaO/SiO_2 比が低く結晶性の高い反応生成物が著しい強度の増大に寄与したものと思われる。

参考文献

[1] Richard, P. & Cheyrezy, M., Cement and Concrete Research, Vol. 25, No. 7, pp. 1501-1511, 1995.

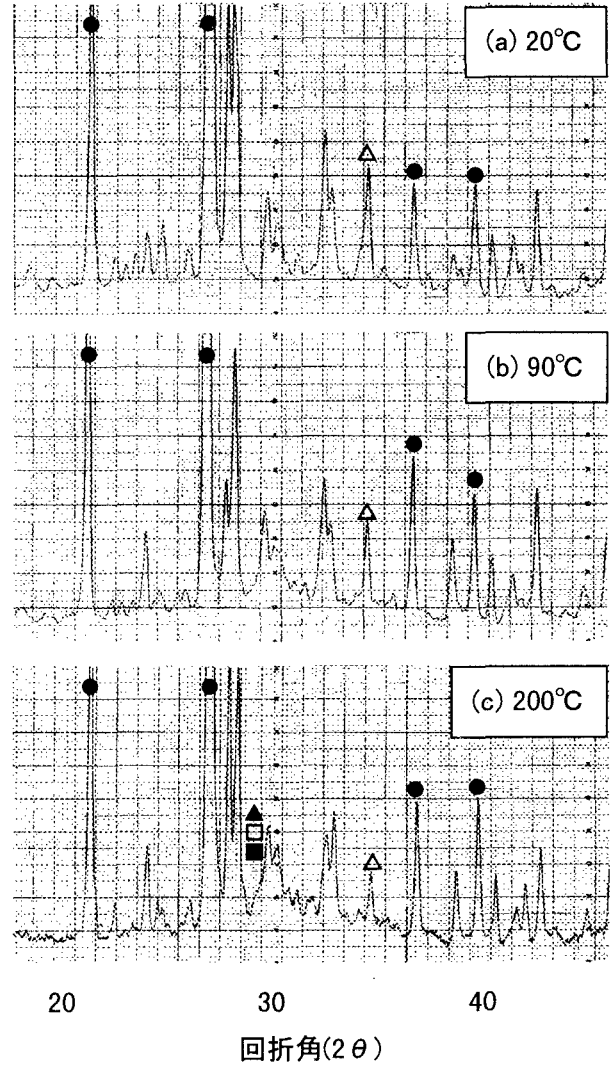


図-2 X線回折図 (石英(●); $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Δ);
ゾノライト(▲); トバモライト(□); CSH (I) (■))

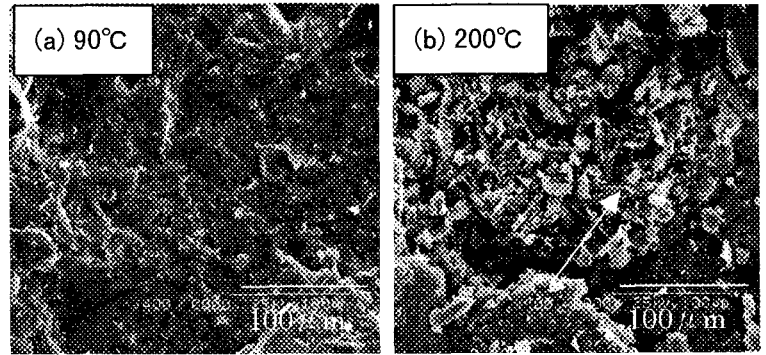


写真-1 RPC の破断面

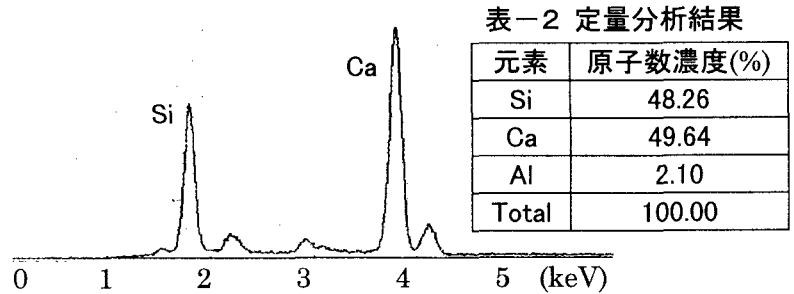


図-3 EDS 点分析結果