

広島大学工学部 正会員○河合研至  
 広島大学工学部 正会員 田澤栄一  
 広島大学大学院 学生員 寺西修治

1. はじめに

セメントの水和は次のような過程を経て進展していくのではないかと考えられる。まず未水和セメント粒子が水と接触することにより、セメント成分が水中に溶解する。水中に溶解した成分が反応を起こし、水で占められている空間内に新しい水和粒子の核(germ:ジェルム)を生成する。その核が溶解成分との反応により粗大化し、生長した粒子同士が互いに接触し合い、空間的な連続性を形成していく。ここで、水和粒子の元となる核の生成は、反応によって生じた結晶の大きさで決定される。結晶がある大きさより小さい場合には、固体よりも液体となる方がエネルギー的に安定となり、結晶は再び溶解する。しかし、結晶がある大きさ以上であれば、それは固体化し、さらに核生長を続ける。したがって、人工的に水和粒子の核となるものを添加し核生成を助けることによって、初期の水和を促進し強度発現を早めることが出来るのではないかとと思われる。そこで本研究は、セメント混練時に超微粒の各種の核を添加することによる硬化体の強度発現促進効果ならびに品質改善効果を明らかにすることを目的として、水和生成物の相違、核添加による硬化過程の変化について検討を行なうものである。

2. 実験方法

ジェルム作製に使用したセメントは普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、中庸熟ポルトランドセメントならびに耐硫酸塩ポルトランドセメントの4種類である。作製したジェルムの種類ならびに諸特性を表-1に示す。なお、粉碎は湿式粉碎にて行ない、粉碎したジェルムはスラリー状態のまま実験に供した。モルタル試験体作製に当

表-1 ジェルムの種類及び諸特性

たっては、普通ポルトランドセメントならびに豊浦標準砂を使用し、これにジェルムを添加しW:C:S=0.5:1:1.6とした。ジェルムの添加量はセメント内割で0.1, 5%の3水準とした。練り混ぜに際してはダブルミキシング(DM)方法を採用した。実験は、

| ジェルム作製に使用した硬化体 |      |             | ジェルムの特性  |                          |       | 記号 |
|----------------|------|-------------|----------|--------------------------|-------|----|
| 使用セメント         | W/C  | 養生方法        | 平均粒径(μm) | 比表面積(cm <sup>2</sup> /g) | 濃度(%) |    |
| 普通ポルトランドセメント   | 0.30 | 20℃水中, 28日間 | 2.23     | 13,374                   | 20.4  | NA |
|                |      |             | 4.86     | 13,801                   | 30.3  | NB |
|                |      |             | 9.61     | 7,493                    | 33.2  | NC |
| 早強ポルトランドセメント   | 0.30 | 20℃水中, 28日間 | 2.79     | 14,031                   | 26.4  | HA |
|                |      |             | 2.76     | 15,880                   | 29.3  | MA |
| 中庸熟ポルトランドセメント  | 0.30 | 20℃水中, 28日間 | 2.66     | 15,577                   | 30.9  | SA |
|                |      |             | 3.80     | 15,743                   | 17.1  | BB |
| 耐硫酸塩ポルトランドセメント | 0.30 | 6日間         | 2.48     | 15,743                   | 17.1  | BB |
|                |      | 6日間         | 2.74     | 14,803                   | 4.7   | RS |

\* BH: ボトルハイドレーション

フロー試験, 単位容積重量試験, 凝結試験, 水程度の測定, 強さ試験について実施した。

3 実験結果及び考察

図-1にジェルムを添加したモルタルのフロー試験結果ならびに単位容積重量試験結果を示す。なお、記号は添加したジェルムの種類を表わし表-1に示した記号で、記号の後ろの数値はジェルムの添加率を表わす。図よりジェルムを添加したモルタルのフロー値は全体的にプレーンモルタルのフロー値よりも小さく、その傾向はジェルムの添加量が増すほど大きくなっている。これは、ジェルムが凝集しており水を保持するために、プレーンモルタルと同等のコンシステンシーを得るだけの水量が不足し、さらにジェ

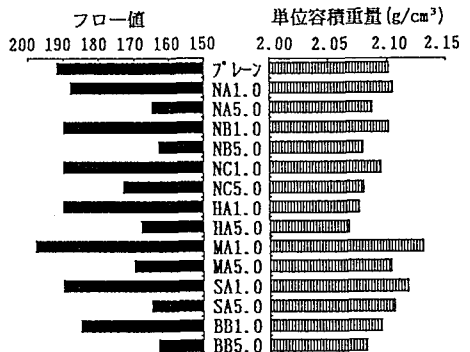


図-1 ジェルムを含むモルタルのフロー試験・単位容積重量試験結果

ルムの添加

量が多いほど

その傾向

が顕著に表

れたもので

はないかと

思われる。

凝結試験

結果を図-

2に示す。

図-2 ジェルムを含むセメントペーストの

いずれのジ

ェルムを添加したセメントペーストにおいても傾向はほぼ同じであり、

プレーンと比較して始発及び終結が早くなっている。また、ジェルムの添加

量が多いほどその傾向は強く、本研究で目的としている初期水和反応の促進

がジェルムによって達成されていることを示す結果であると思われる。

硬化収縮試験の結果より算出した水合度の測定結果の一例を図-3に示

す。ここでは、W/C=50%の普通ポルトランドセメントペーストの理論収縮

率を8.58%とし、この値と試料の硬化収縮率の測定値との比を水合度として

表している。図からジェルムの添加により水合が促進されていることが

わかる。また、ジェルムの粒度による差を見たとき、粒度が小さいほど水

和が早くなっている。このことは粒径が小さいほど水和物の初期の結晶核

に近く、核生長を促す効果が大きいことを示すものと思われる。

ジェルムを添加したモルタルの曲げ強さならびに圧縮強さ試験結果の一

例を、それぞれ図-4ならびに図-5に示す。全般的に、ジェルムを添加

したモルタルは材令3日または7日においてはプレーンモルタルを上回る強

度を示すものが多いが、それ以降の強度増加が少なく、材令28日におい

てはプレーンモルタルの強度を下回るものが増えてきている。この結果につ

いては明らかでないが、概して促進環境等で反応を促進させた場合には、

早期には反応促進効果が表れるが長期になるほど反応の促進効果が薄れる

あるいは反応を遅延する形となるケースがあり(例えば、反応性骨材を使

用したモルタル供試体の促進環境下と自然環境下における膨張特性)、今

回の結果もそのような反応速度の影響が表れたものではないかと思われる。

4 まとめ

(1) ジェルムの添加により凝結が早くなった。さらに、ジェルムの粒径が小さいほど、また添加量が多い

ほど凝結は早くなった。硬化収縮による水合度の測定結果においても、ジェルムの添加により水合が促進さ

れる結果が得られており、ジェルムの添加が核生成を促し、初期水合を改善することが明らかとなった。

(2) ジェルムの添加によりモルタルの圧縮強さならびに曲げ強さともに初期の強度は増加しジェルム無添

加のモルタルを上回ったが、長期材令においてはジェルム無添加のモルタルを下回った。

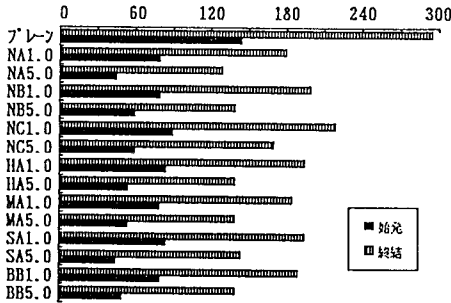
(3) ジェルムの添加によりモルタルのフロー値は小さくなり、添加量が多いほどその傾向は大きくなる。

また、単位容積重量は若干小さくなる傾向にあるが、ジェルム無添加のモルタルと大きな差は表れなかった。

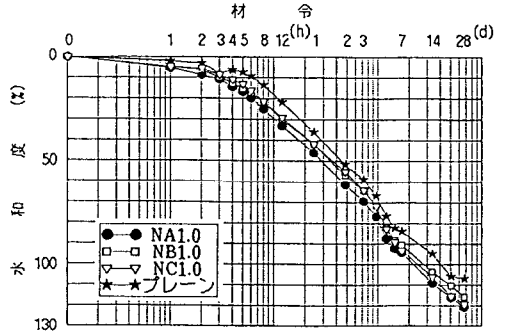
[謝辞] ジェルムの作製に当たっては、三菱重工業(株)原動機事業本部、広島研究所ならびに長崎研究所

関係各位のご協力をいただきました。記してここに厚くお礼申し上げます。

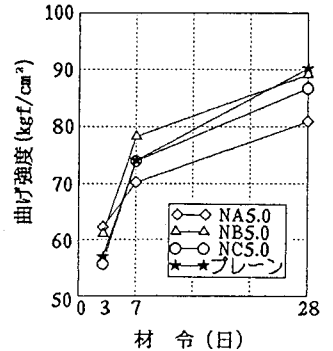
時間(分)



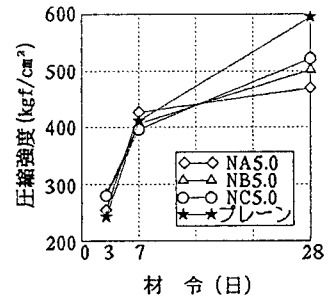
凝結試験結果



ジェルムを含むセメントペーストの水和度の測定結果



ジェルムを含むモルタルの曲げ強さ試験結果



ジェルムを含むモルタルの圧縮強さ試験結果