

1. まえがき

硬化したコンクリート内における素材の複合効果が各素材間、特にセメントペーストと骨材粒との界面における結合性状の影響を著しく受けることは当然であるが、減水剤を混入した場合には結合材としてのセメントペースト自体の性質が相当に変化すると考えられるので、各素材間の結合性状もこの影響を受けると思われ。これら、減水剤を用いたコンクリートの複合特性を検討するためには、まず減水剤がセメントペーストの諸性質におよぼす影響を基礎的に明らかにしておく必要がある。本報告は、上記の題目で行なっている一連の研究のうち、減水剤の各種主成分がセメントの水和度・セメント水和物の比表面積・セメントペーストの細孔分布・等におよぼす影響について試験した結果を取りまとめたものである。また、多環アロマスルホン酸塩系減水剤を多量使用した高強度コンクリートの圧縮強度特性についても、各素材および素材間の界面の性質を中心に検討した。

本研究は、東京大学土木工学科で行なったものであり、園方正直教授および岡村助教に御指導を賜った。実験には、同学科コンクリート実験室の方々の御援助と頂いた。また、この研究に對し、昭和47年度吉田研究奨励金を授与された。ここに謹んで厚く御礼申し上げます。

2. 減水剤の主成分がセメントペースト硬化体の諸性質におよぼす影響

減水剤の主成分は、一般にセメントの凝結を遅延させるが、いわゆる標準型あるいは早強型減水剤は凝結遅延の影響をなくするために硬化促進剤を副成分として含んでいる場合が多く、これがセメントペースト硬化体の諸性質に種々の影響をおよぼすことが多い。本研究では、リグニンスルホン酸系、オキシカルボン酸系およびポリオール系を代表し副成分を含まない遅延型減水剤3種(以下、それぞれと単に減水剤L, O, Pという)を選択、これらがセメントペースト硬化体の諸性質におよぼす影響を調べた。それぞれの減水剤の使用量は、モルタル供試体の凝結始発時間を50%程度遅らせるのに必要な量としたが、これらの値は各製造者が指定している標準使用量とほぼ一致した。試験に用いたセメントは、普通ポルトランドセメントである。

(1) セメントの水和度におよぼす影響

図-1は、減水剤L, OおよびPを添加した各セメントペーストについて、セメントの結合水量を枚令9.5時間〜7.5月の長期に亘って測定した結果を示したものである。この図により、混和剤の添加により凝結が相当に遅れた場合でも硬化後における水和の回復は却って著しく、枚令が3〜4日以上になると、何れの減水剤を添加したセメントペーストの水和の程度もプレーンの場合に比べて同等以上進むことが確かめられた。

(2) セメント水和物の比表面積におよぼす影響

水蒸気吸着法によって、各水和段階におけるセメント水和物の比表面積を枚令8ヶ月まで試験した結果は、図-2の様である。この図に依れば、セメントの水和度が約50%(枚令2〜3日)以上となる範囲においては

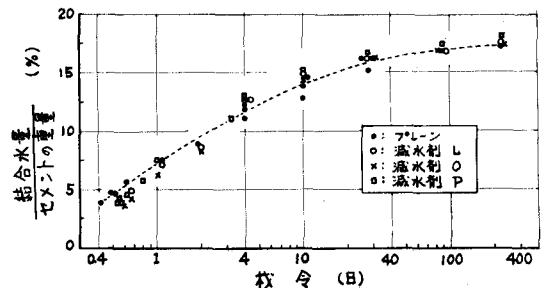


図-1 枚令に伴うセメントペーストの結合水量(W/C=0.4)

リグニンスルホン酸系およびオキシカルボン酸系の減水剤（LおよびO）を添加した場合はアレーンの場合と比べて大差ないが、ポリオール系の減水剤（P）を添加した場合に水和物の比表面積が著しく増大する事が認められる。一方、水和度が50%より小さい範囲（投与9.5時間～2日）に於ては、水和物の比表面積の大きさは減水剤の主成分の種類により相違するが、特にオキシカルボン酸系の減水剤は、この時期に生成される水和物の比表面積を増大させることが認められるのであって、これは純薬を添加した場合でも同様であった。なお、硬化促進剤として代表的な塩化カルシウムを添加した場合にも、水和物の比表面積が全般的に大きくなった。従って、ポリオール系以外の減水剤であっても、塩化カルシウムを含む減水剤の場合には水和物の比表面積を増大させると思われる。

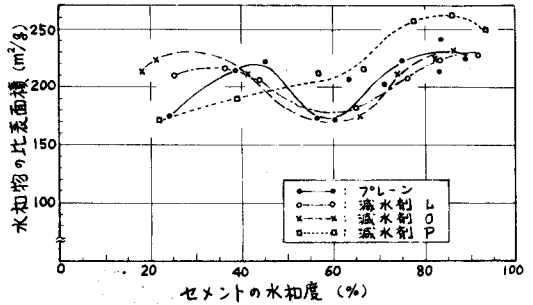


図-2 各水和段階におけるセメント水和物の比表面積

(3) セメントペーストの細孔径分布におよぼす影響

セメントペーストの練り混ぜ中に空気が運行されない様に工夫した真空練り混ぜ方法により供試体と作製し、投与12～16時間、4日および7ヶ月におけるセメントペーストの細孔径分布と水銀圧入法により最小径90Åの範囲まで測定した。その結果、この範囲におけるセメントペースト中の細孔径分布は、セメントの水和度の影響を著しく受けるが、減水剤の有無および種類による影響はあまり大きくない事が認められた。また、走査型電子顕微鏡を通して5000倍程度まで拡大して観察した投与12時間以降におけるセメントペースト硬化体の構造は、減水剤の種類にかかわらずアレーンの場合と同様であった。従って、(2)で述べた減水剤の主成分の相違によるセメント水和物の比表面積への影響は90Å以下の小さな間隙の変化に起因したものと考えられるのであって、減水剤がセメントペースト硬化体の構造におよぼす影響は、主として90Å以下の小さな間隙の大きさに相違を生じさせることであると思われる。

3. 減水剤を多量使用した高強度コンクリートの圧縮強度特性

多環アロマスルホン酸塩系の減水剤を多量（0.5%および1%）使用したコンクリートの圧縮強度を投与1日、3日、7日および28日において試験した。図-3は、これらのうち投与1日および28日における試験結果を示したものであるが、普通ポルトランドセメントを用い、常温（21℃）で養生した場合でも、減水剤を多量に用いてコンクリートのセメント水比を上げれば、投与1日で500 kg/cm²以上、投与28日で900 kg/cm²以上もの圧縮強度が得られることが認められる。しかし、投与3日以降における圧縮強度がセメント水比に比例して増加する範囲には限度があり、例えば減水剤の添加量を0.5%および1%とした場合、セメント水比をそれぞれ3.5および3.7より大きくしても強度は頭打ちとなったのである。減水剤を多量添加したこれらのコンクリートは、十分なワーカビリティをもち、締固めを入念に行なったものである。また、投与3日以降において圧縮強度が頭打ちとなった範囲のコンクリートの破断面を観察すると、殆んど全ての粗骨材粒が割れている

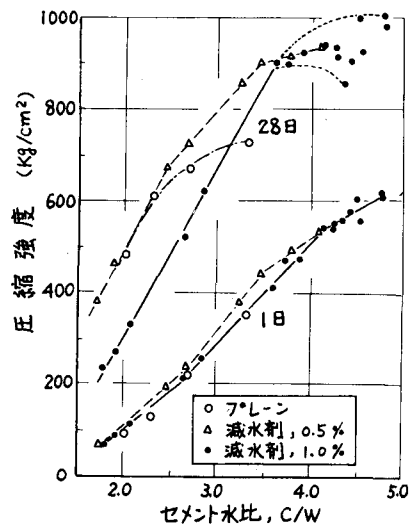


図-3 コンクリートのセメント水比と圧縮強度との関係

ことが認められた。従って、コンクリートの圧縮強度が約 1000 kg/cm^2 になっても 引張強度は 60 kg/cm^2 程度に過ぎない*ことを考慮すると、前記の強度の頭打ちとは、骨材粒とセメントペーストの界面における結合の良否に起因したものではなく、むしろコンクリート中に生ずる引張応力がセメントペーストあるいは骨材粒の引張強度の限界値を越えた影響と思われる。

図-3にも認められる様に、減水剤の添加量の影響を同一セメント水比に対する圧縮強度で比較すると、添加量の少ない場合(0.5%)の方が強度的に有利となり、この傾向は枚令が浅につれて著しくなった。コンクリート中のフリージング水によって骨材粒の下面に出来る水膜は骨材粒とセメントペーストとの界面における結合に悪影響をおよぼすが、特に減水剤を多量に使用した場合には減水剤の固形成分が前記の水膜の中にも相当量残存し骨材粒とペーストとの結合が一層悪くなると予想されるのであって、減水剤の添加量が多い場合に強度的に不利となった理由としてこの影響が考えられる。しかし、コンクリートの再振動締固めの有無による効果によってこの影響を間接的に試験したところ、この種の水膜の影響は図-3の強度差を説明出来るほど大きなものではない事を示唆する結果が得られたのである(表-1参照)。

セメントペースト部分の配合が同じであれば、上記の様な強度の伸びに相違を生ずるものの他の原因としては、セメントの水和度の相違が挙げられる。この影響を検討するために旧標準砌(相馬産)を用いて造ったモルタル供試体($\phi 5 \times 10 \text{ cm}$)の圧縮強度を試験し、それぞれ供試体中のセメントペースト部分の水和度を直ちに測定した。図-4は、この試験結果を示したものであるが、セメント水比が一定の場合で比較すると、セメントの水和度が同じであれば減水剤の有無に関係なくモルタルの圧縮強度も等しくなることが認められる。しかし、減水剤を1%添加した場合には、同一枚令におけるセメントの水和度が相違に連れ、この影響はセメント水比が小さい場合および枚令3日以降の場合に特に著しくなることが認められるのである。これは、コンクリートの圧縮強度試験結果(図-3)に認められた傾向と一致するのであって、減水剤を1%添加したコンクリートの同一枚令における圧縮強度が小さく示された理由がセメントの水和が遅れたことに原因していると考えられるのである。しかし、2の(1)でも認められた様に、減水剤を標準量添加するとセメントの水和は無添加の場合に比べて同等以上に進むのが一般であって、過量に添加した場合に何故セメントの水和が遅れるかについては今後検討する必要がある。

表-1 再振動締固めの有無がコンクリートの圧縮強度におよぼす影響

コンクリートの配合 ⁽¹⁾			スラン ² (cm)	再振動の有無 ⁽²⁾	圧縮強度 ⁽³⁾ (kg/cm^2)		
C (kg/m^3)	C/W	S/A (%)			σ_1	σ_7	σ_{28}
600	4.14	30	5.0→12.2	無	545 (100)	817 (100)	938 (100)
			7.5→14.9	有	552 (101)	876 (107)	959 (102)
700	4.79	23	0	無	625 (100)	855 (100)	1006 (100)
			0	有	658 (105)	899 (105)	1063 (106)

- (1) 減水剤の添加量：セメントに対する重量比で1%
- (2) コンクリートの打込み終了後1~1.5時間において型枠の外部より振動を加えた。
- (3) ()内の数値は再振動しなかった場合に對する比率(%)を示す。

* 実験で得られたコンクリートの圧縮強度と引張強度との関係式

$$\sigma_t = 0.05 \sigma_c + 10$$

(但し、 $200 \text{ kg/cm}^2 \leq \sigma_c \leq 1000 \text{ kg/cm}^2$)
 σ_t : 引張強度 (kg/cm^2)
 σ_c : 圧縮強度 (kg/cm^2)

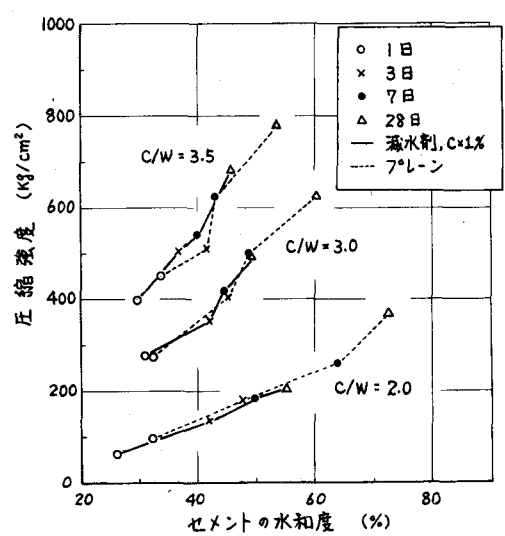


図-4 モルタルの圧縮強度とモルタル中のセメントの水和度との関係