

V-104 セメントの SO_3 含有量と減水遅延剤を添加したコンクリートの凝結硬化速度に関する研究

中国電力株式会社技術研究所 正会員 藤 木 洋 一

1. ま え が き

最近ある工事でコンクリートの硬化不良現象が発生したのでその原因を調査したところ、使用したセメントの SO_3 含有量が非常にすくなくなかったこととリグニン系減水遅延剤（以下L.S.C.とよぶ）を標準使用量の1.5倍程度過剰に添加したことなどが重なりあつて起つた異状凝結遅延現象と推定された。

セメントの SO_3 含有量とL.S.C.添加コンクリートの凝結遅延性との関係については、実験を行なつて確かめられた例もなく、またその遅延機構についても明らかにされていないので、筆者はあらためて SO_3 含有量を0~4%の範囲で変化させて試製した、普通セメント3種類、早強セメント1種類、計4種類のセメントを用いて、L.S.C.添加コンクリートの凝結硬化速度の測定を行なつたのでその結果を発表するものである。

2. 試製セメントの製造

実験に用いたセメントは小型のロッドミルによつてクリンカーを粉砕したのち、所要の SO_3 含有量になるようにセッコウを添加して製造したものである。目標とした SO_3 含有量は、セッコウ無添加、1.0、1.25、1.5、1.75、2、3、4%の8種類とした。

3. 実験方法

① 配合

実験の対象としたコンクリートは、骨材最大寸法40^{mm}、水セメント比50%、細骨材率38%、単位セメント量300^{kg}の配合で、実際にはこの配合からあらかじめ粗骨材を取除いたモルタルとして実験に用いた。

② 凝結硬化速度の測定方法

凝結硬化速度の測定方法は、ASTM C 304 Tに準拠してプロクター貫入抵抗試験機を用い、抵抗値が500^{PSI}に達したときを始発、4000^{PSI}に達したときを終結とした。

③ 注水初期の水和発熱速度の測定

注水初期のセメントペーストの水和発熱速度の測定には双子型伝導熱量計を用いたが、この熱量計は注水直後から任意の時間まで連続して測定記録できる性能をもっているものである。

4. 実験結果

図1.にセメントの SO_3 含有量とL.S.C.を添加したコンクリートの貫入抵抗試験による終結時間との関係を示した。

なお、この実験は4種類のセメントについて実施したが、いずれのセメントでも同じような傾向を示したので、ここではその一例を示すにとどめた。

この図からセメントの SO_3 含有量がある値以下になると、 $L.S.C.$ 添加量のいかにかわらず終結時間はいちぢるしく遅延すること、および限界となる SO_3 含有量は $L.S.C.$ 添加量に依るにつれて大きな値となることなどがわかる。なお今回試製したセメントは、クリンカーを少量づつ小型ミルで粉砕して製造したもので、連続して大量に製造する市販のセメントとはその性質が若干相違するものと考えられる。

また今回の実験では単位水量を一定としたので、 $L.S.C.$ 添加量が増すにつれてフロー値および混入空気量は増加している。これらの要因はコンクリートの凝結硬化速度に若干の影響を与えるものであるが、 SO_3 含有量と $L.S.C.$ を添加したコンクリートの凝結硬化速度との関係を定性的に把握しようとする今回の実験の目的に対しては差支つがえないものと思われる。

5. SO_3 含有量とコンクリートの凝結に関する考察

SO_3 含有量と $L.S.C.$ 添加コンクリートの終結時間との関係について考察するまえに、 $L.S.C.$ を用いないコンクリートの凝結におよぼす SO_3 の影響について考察すると、

図2.に試製セメントのJ.I.S.規格によるセメントペーストの凝結試験の結果と同じセメントを用いたコンクリートの貫入抵抗法による凝結試験の結果を示した。この図からJ.I.S.法による場合はセッコウが添加されていないセメントでは急結性を示すことがわかる。しかし貫入抵抗法では逆に遅延する傾向を示している。このように同じセメントを用いても試験の方法が異なると全く反対の結果を示した。

その理由について検討を加えると、例えば今回の貫入抵抗試験において、経過時間と貫入抵抗値との関係を示すと図3.の通りで、セッコウが添加されていないセメントを用いた場合は注水後30分程度で抵抗値は100 PS^L 程度に達するが、セッコウが添加されているセメントにおいては、注水後4~5時間抵抗値0の状態を示している。

図3.のA,C点を終結とするならばセッコウが添加されていないセメントの方が早く終結するといえるし、B,D点を終結とすれば逆に遅延するといえる。

したがってこれらの実験結果から試験方法が異なると全く反対の結果が得られるおもな原因は、物理的には加圧力の相違によるものと考えられる。

図1. SO_3 と $L.S.C.$ 添加コンクリートの終結時間

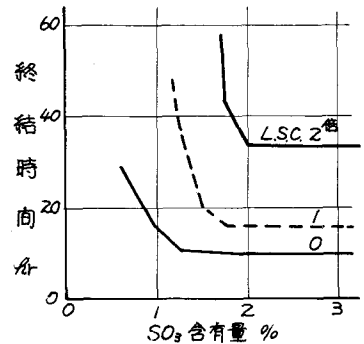
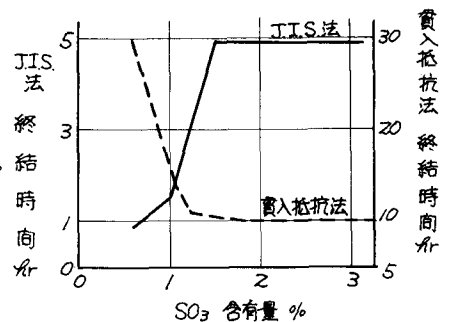


図2. 貫入抵抗法とJ.I.S.法による終結時間



またこの原因をセメントの水和反応機構面から検討を行なうと、図4.はセッコウ無添加のセメントとセッコウを添加したセメントの水和発熱速度を示したものであるが、この曲線は通常オ2ピークとよばれているもので、 CaS の水和によっておこることがたしがめられている。今回実験したセメントについてこのオ2ピークの起る時間を測定して貫入抵抗法による終結時間との比較を行な。たところ、図5.のように両者の時間はよく一致することがわかった。

この検討結果から貫入抵抗法によるコンクリートの終結は CaS の水和によるものと推定される。またセッコウが添加されていないセメントペーストの終結は、おもに CaA の水和に起因するものであることはよく知ら

れている。したがってセッコウが添加されていないセメントの凝結時間を測定する場合、試験方法が異なると全く逆の傾向を示した化学的原因は、一方が CaS が水和する時期を、他方が CaA の水和する時期をとらえているためと考えられる。

さらに図3.において、この実験に使用した2種類のセメントは同じクリンカー

を粉砕して得られたものであるが SO_3 含有量のいかにがかわらず CaA 、 CaS の量は一定である。したがってこの図のA点がC点まで遅延したということは、 CaA の水和がセッコウによって抑制されたことを示し、B点がC点まで促進されたことは、 CaS の水和がセッコウの添加によって促進されたことを示すものと思われる。

以上の考察をとりまとめると、セッコウが添加されていないセメントを用いたコンクリートは CaA の水和を抑制するセッコウが存在しないことによって CaA がはげしく水和するためコンクリートにはこねばりが生ずるが、このこねばりはコンクリートが荷重に耐え得るほどに硬化しない。コンクリートが荷重に耐え得るまで硬化するには CaS の水和が必要であるが、この CaS はセッコウが添加されていないと水和が促進されないため、セッコウが添加されているセメントを用いた

図3. 経過時間と貫入抵抗値

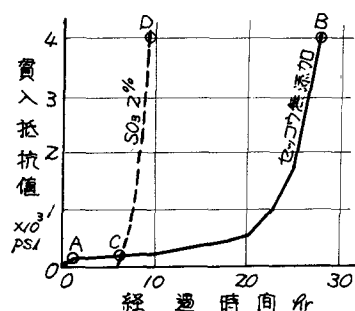


図4. セメントペーストの水和発熱速度

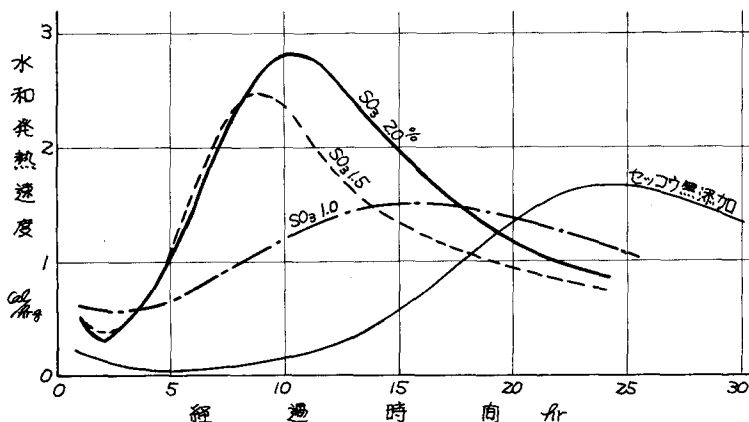
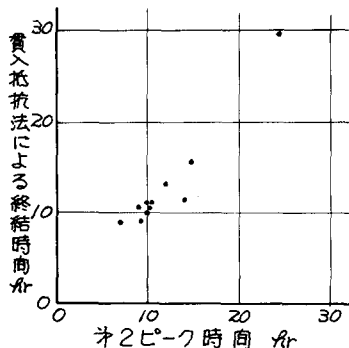


図5. 終結時間とオ2ピークとの関係



コンクリートに比べて、凝結は遅延するものである。

6. セメントの SO_3 含有量と L.S.C. を添加したコンクリートの凝結硬化速度

セメントの SO_3 含有量がすくなくなると L.S.C. を添加したコンクリートの凝結時間はいちぢるしく遅延することはすでに述べたが、その原因について考察すると、

図 6. に L.S.C. を添加したセメントの水和発熱速度

図 6. L.S.C. を添加したセメントの水和発熱速度

の一例を示した。この図から L.S.C. の添加量に応じてピーク時間は、A 点から B, C, D 点と順次遅れていくことがわかる。したがって L.S.C. を添加することによって凝結が遅延するおもな原因は、L.S.C. が C_3S の水和を阻害することによるものと推定される。またすでに述べたようにセメント中の SO_3 がすくなくなると、L.S.C. を用いなくても C_3S の水和は遅れるが、L.S.C. を添加すると C_3S の水和は L.S.C. によってさらに阻害されるので、凝結はますます遅延するものと考えられる。

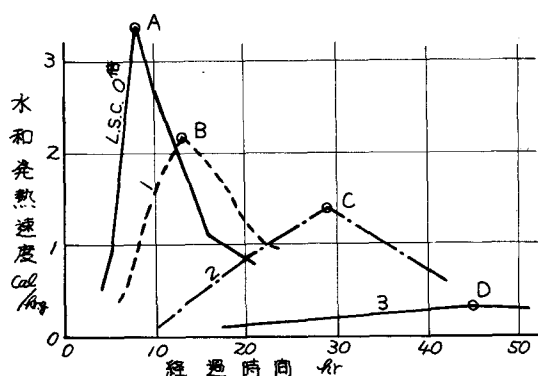
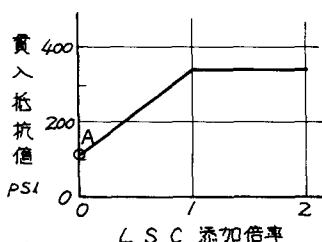


図 7. はセッコウが添加されていないセメントと添加されているセメントに L.S.C. を標準使用量の 0~2 倍量添加したコンクリートの注水 60 分後の貫入抵抗値を示したものであるが、この図からセッコウを添加していないセメントを用いた場合の貫入抵抗値は、L.S.C. を添加したときの方が大きいことがわかる。この図の A 点は図 3. の A 点であって、おもに C_3A の水和によって生ずるものと考えられるが、L.S.C. を添加すると抵抗値はさらに高い値を示したことは、L.S.C. が C_3A の水和を促進するの、あるいは L.S.C. と C_3A の水和生成物ができるとと思われる。またセッコウが添加されているセメントでは、このような傾向がみられないのは、セッコウが C_3A の水和を抑制するためと考えられる。

図 7. 注水 60 分後の貫入抵抗値



7. 結 論

コンクリートに L.S.C. を添加すると、添加量に応じて凝結時間は遅延し、またセメントの SO_3 含有量がある限度以下になると L.S.C. 添加量のいかにかわらず凝結はいちぢるしく遅延すること、限界となる SO_3 含有量は L.S.C. 添加量がふえるにつれて大きな値となることが、今回の実験の結果からあきらかになった。さらにこれらの遅延機構について検討を行なった結果、L.S.C. はコンクリートに凝結をもたらす C_3S の水和を阻害するため遅延現象が起るものである。またセメントの SO_3 含有量がすくないといちぢるしい遅延現象をおこす原因は、 SO_3 含有量がすくなくなると L.S.C. を添加しなくても C_3S の水和が遅れることによって凝結は遅延するが、L.S.C. を添加するとさらに C_3S の水和が阻害されるためと推定される。