

硫酸によって劣化したコンクリートの侵食深さに関する研究

東北大学	学生会員	吉田 祐介
東北大学		寺林明日美
東北大学	正会員	岩城 一郎
東北大学	フェロー	三浦 尚

1. 緒言

下水道施設で発生するコンクリート構造物の劣化として硫酸によるコンクリート腐食が挙げられる。この種の劣化に関しては、セメントペースト部における劣化メカニズムが解明されるとともに¹⁾、著者らによってモルタルレベルでの劣化予測式の提案がなされている²⁾。その結果、これまでにモルタルについては水セメント比や硫酸濃度が劣化に及ぼす影響をある程度解明することができたが、コンクリートに対しては、その劣化機構が究明されているとは言い難く、劣化予測式についても未だ提案されていないのが実状である。そこで、本研究では水セメント比が硫酸によるコンクリートの劣化に及ぼす影響を調べるために、水セメント比を変化させた3種類のコンクリート供試体を用いて硫酸浸漬実験を行った。実験では供試体の質量変化を測定し、その値を侵食深さに換算した結果から考察を行った。

2. 実験概要

コンクリートの配合は水セメント比 65%、55%、35%の3種類とし、各コンクリートの単位粗骨材量をスランプ一定の条件でほぼ 1100kg/m³とした。供試体は 10cm×20cm×8cmの角柱供試体とし、硫酸浸漬面以外の5面を被覆して1面浸漬実験とすることで硫酸による劣化現象を1次元として捉えた。硫酸濃度は3%とし毎週溶液を全量交換した。測定は4個の供試体で行い毎週質量を測定し、その平均値を採用した。

3. 実験結果および考察

測定した供試体の質量から以下の式(1)により平均侵食深さを求めた。

$$E_t = H_0 - H_0 \frac{M_t}{M_0} \quad (1)$$

ここで、 E_t ：平均侵食深さ(mm)

H_0 ：供試体の初期高さ(mm)

M_t ：材齢tにおける供試体質量(g)

M_0 ：供試体の初期質量(g)

この式は質量減少率が供試体表面から剥離した部分の

質量割合と等価であると仮定して侵食深さを算定したものである。なお粗骨材部分は硫酸による作用を受けても劣化しないため、実際に侵食が進行するのはモルタル部分であるが、ここで言う平均侵食深さとは、モルタル部分の侵食深さと劣化しない粗骨材部分を全体として平均化したものとする事で質量変化率からの換算を可能にした。図-1は3種類の水セメント比のコンクリート供試体の平均侵食深さの経時変化である。図より水セメント比が小さい供試体ほど侵食が進んでいることがわかる。これは既往のモルタル供試体による実験結果²⁾と同様であり、細孔構造が緻密な配合ほどセメント硬化体と硫酸の反応による体積増加を許容する空隙量が少ないために、その時に発生する膨張圧に耐えられず細孔構造が崩壊する速度が大きいためであると考えられる。よって本実験の範囲内においては、一般的に耐久的であると言われている水セメント比の小さなコンクリートほど、硫酸侵食を受ける場合はかえって劣化を早めてしまうという事が言える。

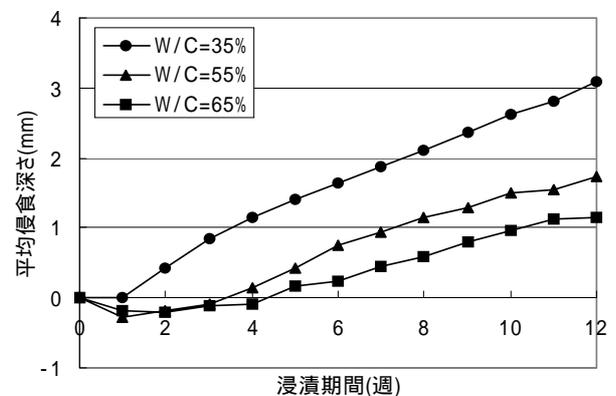


図-1 平均侵食深さ

キーワード 下水道施設, 化学的腐食, 硫酸, 侵食, 劣化予測

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL 022-217-7432

また、図中で浸漬初期に平均侵食深さが負の値を示している理由は、前述の式において平均侵食深さは供試体の初期高さを基準としているため、水セメント比が大きな供試体では反応生成物が供試体表面に堆積しているの、見かけの侵食深さはマイナスとなる。

図 - 1 において浸漬期間が増加するに従って平均侵食深さはほぼ直線的に増加していることから、平均侵食深さが増加に転じて以降の範囲で、各セメント水比に対する平均侵食深さと浸漬期間との関係を 1 次関数で近似し、その直線の傾きをプロットした図を、図 - 2 に示す。図よりセメント水比が大きくなるほど平均侵食深さの傾きもほぼ直線的に大きくなっていることがわかる。この結果より平均侵食深さは浸漬期間 t とセメント水比 C/W に比例すると仮定して、浸漬期間 t とセメント水比 C/W の一次関数として最小自乗法により比例定数を求めた結果、以下の式 (2) を得た。

$$E_t = 0.106 \times C/W \times (t - k) \quad (2)$$

ここに、 E_t ：平均侵食深さ(mm)

C/W ：セメント水比

t ：浸漬期間(week)

k ：定数(week)

モデル化に当たっては簡単のため式 (2) と時間軸との交点を k と定めて、これを侵食開始時期と定義した。この定数 k すなわち侵食が開始するまでに要する時間も配合によって決まる可能性があるが、その解明に関しては今後の研究課題として取り扱ってきたい。

図 - 3 に図 - 1 の実測値と併せて、式 (2) による計算結果を直線で示す。それぞれの相関係数は、 $W/C=35\%$ が 0.994、 $W/C=55\%$ が 0.988、 $W/C=65\%$ が 0.993 であり、概ね良好な近似直線が得られたと思われる。このことから、既往の研究²⁾においてモルタル供試体の硫酸による中性化の進行が直線で表されることを示したように、硫酸によるコンクリートの侵食も直線でその傾向を掴むことができる可能性が示唆された。図において主に水セメント比が小さい場合の結果については、浸漬前半は直線よりも傾きが大きく、浸漬後半は直線よりも傾きが小さいように見える。これはコンクリート供試体の硫酸浸漬面が実験開始の段階では粗骨材が露出しておらず、初期の数週間は表面のモルタル層で反応が起こり、その後粗骨材が露出した後は硫酸に接するモルタル部分の面積が異なるためだと考えられる。実験条件や直線として評価する範囲をどのように設定するかに関しては今後の研究課題であると考えられる。

4. 結論

硫酸によるコンクリートの侵食は水セメント比が小さいほど進行し、侵食深さの経時変化は直線的な傾向を示すため、セメント水比と浸漬期間の一次関数で近似できる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 例えば、蔵重勲，魚本健人：硫酸腐食によるセメント硬化体の侵食メカニズム，セメント・コンクリート論文集，No55，2001，pp.458 - pp.463
- 2) 吉田祐介，板橋洋房，岩城一郎，三浦尚：硫酸の影響を受けたコンクリート劣化の進行に関する研究，セメント・コンクリート論文集，No.57，2003，pp.308 - pp.314

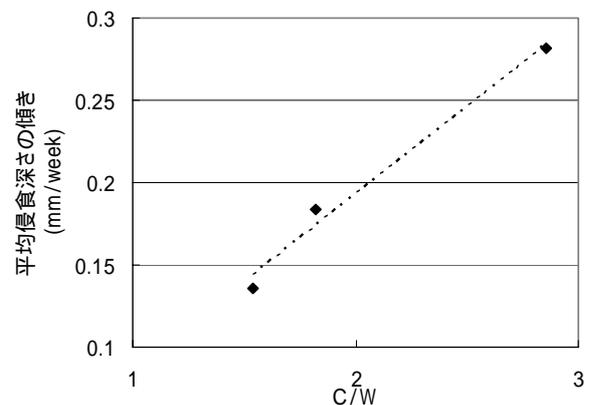


図 - 2 平均侵食深さの傾き

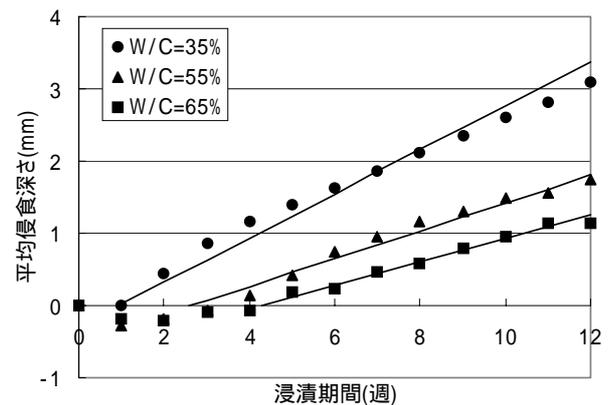


図 - 3 平均侵食深さ近似式