

硫酸によって劣化したコンクリートの内部強度分布に関する研究

東北大学 学生会員 ○吉田 祐介
 東北大学 学生会員 青柳 直樹
 東北大学 フェロー 三浦 尚

1. はじめに

下水道施設において、硫酸によるコンクリートの早期劣化が深刻な問題となっている。この種の劣化に関する既往の研究は、コンクリートの浸食深さや中性化深さに及ぼす影響について調べたものがほとんどで¹⁾、内部の強度低下について言及したものは見当たらない。そこで、本研究では、モルタル供試体を用いて硫酸浸漬実験を行い、硫酸濃度が、劣化深さ及び内部強度分布に及ぼす影響を調べる。ここで劣化深さとは、浸食深さを含めた、フェノールフタレイン試験による中性化深さを表すものと定義する。また、実際の下水道施設から採取したコンクリートの内部強度分布を測定し、劣化深さの測定結果と併せて考察を行うと共に、実験室内で行ったモルタル供試体の内部強度分布の測定結果との比較検討を行った。

2. 実験概要

モルタルの配合は W/C を 35%一定とした。実験に使用したモルタル供試体は、浸漬実験用に $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ の角柱供試体とした。角柱供試体は、28 日間標準水中養生を行った後に半分に切断して $4 \times 4 \times 8\text{cm}$ とし、浸漬面となる端面 ($4 \times 4\text{cm}$ の面) 以外の残り 5 面を封かんして硫酸溶液（濃度 5%、3%、1.5%、0.5%）に浸漬した。測定項目は、劣化深さ、及び内部の推定圧縮強度分布とし、所要の浸漬期間を経過した供試体において随時測定を行った。内部の推定圧縮強度分布は、針貫入試験機²⁾を用いて測定した。

下水道施設の実構造物は、昭和 63 年 12 月から平成 12 年 10 月まで圧送管直後の人孔として供用されていた施設である。コンクリート製スラブからコアを採取し、劣化深さと内部強度分布を測定した。またこの構造物の設計基準強度に近いと考えられる W/C55%のモルタル供試体で上記と同様の硫酸浸漬実験を行い、両者を比較した。

3. 実験結果と考察

各硫酸溶液に浸漬した場合の劣化深さの経時変化を図-1 にプロットする。図より、硫酸の浸透による劣化の進行は、硫酸濃度が高いほど顕著に現れていることがわかる。濃度 5%、3%及び 1.5%の硫酸溶液に浸漬した供試体では浸食の進展が見られ、この場合の中性化域は、セメント水和物と硫酸の反応生成物が堆積したと見られる白く変色した領域とほぼ一致していたのに対し、濃度 0.5%の硫酸に浸漬した供試体では全く浸食されておらず、石膏等の反応生成物の堆積もほとんど見られなかった。このように浸食及び中性化の進展が濃度により異なる理由は、濃度が高いほど石膏等の生成量が多くなるためであり、硫酸の内部への浸透速度と、反応生成物がコンクリートの空隙を満たし浸食を開始するまでの時間に依存すると考えられる。

また、図より劣化深さは浸漬日数の経過に伴いほぼ直線的に増加しており、濃度の増加にほぼ比例して劣化深さも大きくなっていることから、硫酸によるコンクリートの劣化は硫酸濃度と浸漬日数により推定できる可能性が示唆された。そこで、劣化深さが時間と濃度の一次関数であると仮定した結果、W/C35%の場合には劣化深さを $D(\text{mm})$ 、硫酸濃度を $c(\%)$ 、浸漬日数を $t(\text{day})$ として、 $D=0.035c \cdot t$ の式で劣化深さを推定可能であることが明らかになった。上式で得られた直線を図-1 に併せて示す。W/C が異なる場合については今後検討していくつもりである。

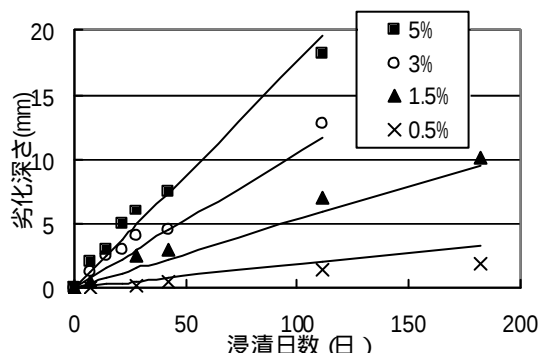


図-1 硫酸濃度が劣化に与える影響

キーワード 硫酸腐食，針貫入試験，内部強度分布，浸食深さ，中性化深さ

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 022-217-7428

各硫酸溶液に浸漬させた場合の、針貫入試験より推定したモルタル内部の強度分布を図-2に示す(W/C35%-浸漬期間112日)。なお、供試体表面に浸食が見られた場合には、浸食面での推定圧縮強度を0とプロットしている。図より、濃度5%、3%及び1.5%の硫酸溶液に浸漬した場合には、濃度が高いほど浸食されているが、濃度0.5%の硫酸に浸漬した場合には、浸食は見られない。一方、内部の強度分布に関しては、濃度の高い硫酸溶液に浸漬した場合、浸食面内部における強度がほぼ健全部と同じ値を示しているが、硫酸濃度が低くなるほど強度低下域が深く、また強度低下は緩やかな傾向を示している。これは、濃度の高い硫酸に浸漬した場合には、石膏等反応生成物が多く、硫酸が内部へと浸透すると同時に激しく浸食される劣化形態をとるためであり、浸食面内部にまでは硫酸浸透の影響が及ばなかったものと推測される。

図-3に下水道施設のコンクリート製スラブから採取した試料の中性化深さを点線で、内部強度分布を実線でそれぞれ示す。図より、この構造物の健全域は表面から少なくとも50mmより深部であると判断され、中性化深さが20mmであることから、健全域と比較すると中性化深さより内部でも強度低下していることが明らかとなった。

図-4に実験室において各硫酸溶液に浸漬したモルタル供試体の内部強度分布を示す(W/C55%-浸漬期間112日)。濃度1.5%では、浸漬面から10mm程度まで強度低下域が存在しているのに対し、濃度5%では、浸食が大きく進行しているが、強度低下域は4~5mm程度しか存在しない。図-3、4の両者を比較すると、実構造物の供用期間(14年余)の浸食深さは10mm程度であるのに対し、実験室における硫酸浸漬期間112日における浸食深さは、硫酸濃度1.5%では1mmであったため、実構造物のおかれた環境は、硫酸濃度1.5%の実験条件よりも厳しくは無かったのではないかと推察できる。すなわち実構造物では低濃度の硫酸が表面に長期間付着していたと想定され、硫酸がコンクリート表面から徐々に内部に浸透していき、表面付近の中性化域よりもさらに深部にまで長い年月をかけて影響を及ぼしていったものと考えられる。針貫入試験により得られる内部強度分布はその影響を顕著に示していると思われる。

4. 結論

- (1) 硫酸によるコンクリートの劣化深さは濃度と浸漬期間に比例する傾向があり、その関係から劣化深さを推定できる可能性が示唆された。
- (2) 硫酸による劣化を受けた実構造物では中性化域より深部においても強度低下域が存在することが確認された。従って、硫酸の影響により劣化しているとされる下水道施設においては、中性化域より深部を健全域とせず、さらに深部にまで強度低下域があることに留意する必要がある。

【参考文献】

- 1) 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，No.55，pp.458-464，2001
- 2) 三浦尚，岩城一郎，板橋洋房：針貫入試験によるコンクリート構造物の劣化診断に関する研究，土木学会論文集，No.620/V-43，pp.245-255，1999

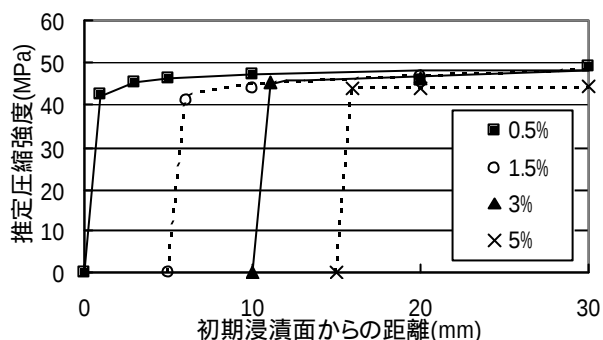


図-2 硫酸濃度が内部強度分布に与える影響

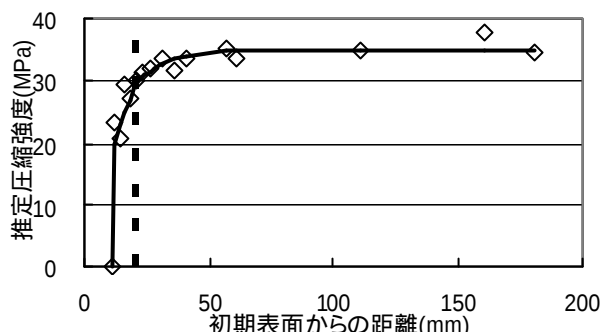


図-3 実構造物の内部強度分布

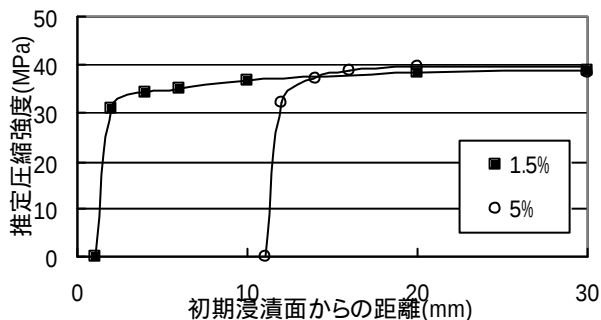


図-4 モルタル供試体の内部強度分布