

V-11 硫酸の作用を受けたコンクリートの劣化予測に関する一提案

東北大学 学生会員 ○吉田 祐介

東北大学 学生会員 寺林明日美

東北大学 正会員 岩城 一郎

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、そのメカニズムについてこれまで研究がなされてきた¹⁾。筆者らも硫酸によるコンクリートの劣化に関して実験を行い定性的・定量的に劣化現象を表現してきた²⁾。そこで本研究ではこれらの実験結果に基づき、コンクリートの硫酸劣化に及ぼす水セメント比と硫酸濃度、浸漬時間の影響を定量評価することで、硫酸の作用を受けたコンクリートの劣化予測式の構築を試みた。劣化現象としては侵食、中性化、強度低下などが挙げられる²⁾が、本研究では侵食深さと、コンクリート構造物の鋼材腐食に影響を及ぼす中性化深さについて予測式を提案する。

2. 実験概要

コンクリートの配合は水セメント比による影響を調べる目的で W/C=65%, W/C=55%, W/C=35% の 3 種類とした。ここで、骨材量は水セメント比の違いによる細孔構造の影響を見るために一定とした。供試体は 10cm×10cm×8cm の角柱供試体とし、硫酸浸漬面(10cm×10cm)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 5%, 3%, 1.5% の 3 種類とし毎週溶液を全量交換した。既往の研究¹⁾により測定した供試体の質量から平均侵食深さを求める事ができるため、平均侵食深さを考察の対象とした。質量測定は隔週で行い、中性化試験は 8 週毎に行った。中性化試験は供試体割裂面にフェノールフタレイン 1% 溶液を噴霧して侵食せずに残存しているうち赤色に呈色しない部分を中性化厚さと定義しノギスで測定した。

3. 実験結果および考察

既往の研究¹⁾²⁾から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く、その時に発生する膨張圧に耐えられず細孔構造が破壊する速度が大きいと考えられているために、侵食速度は総細孔量に逆比例すなわち水セメント比に逆比例するものと思われる。また反応に寄与する硫酸量が多いほど侵食の進行も早まるので侵食速度は硫酸濃度に比例するものと思われる。そして侵食速度とは逆に、実験開始からある程度の期間までは見かけ上侵食が始まらない期間があり、その期間の長さは総細孔量すなわち水セメント比に比例し、硫酸濃度に逆比例するものと思われる。以上のメカニズムからコンクリートの硫酸侵食に関して以下の式(1)のような侵食予測式を作成した。

$$E = k_1 \times C/W \times Co \times \left(t - k_2 \times W/C \times \frac{1}{Co} \right) \quad (1)$$

ここでそれぞれ、E: 平均侵食深さ(mm), k_1, k_2 : 実験結果から得られる定数, C/W: セメント水比, W/C: 水セメント比, Co : 硫酸濃度(%), t: 浸漬期間(週) である。

図-1 に実験結果と式(1)による侵食予測式の計算結果の一例(W/C=0.65 の場合)を示す。図のように侵食速度、見かけ上侵食が起こらない期間とともに、実用上十分な精度で予測できる結果が得られた。また全実験結果について式(1)による予測値と実測

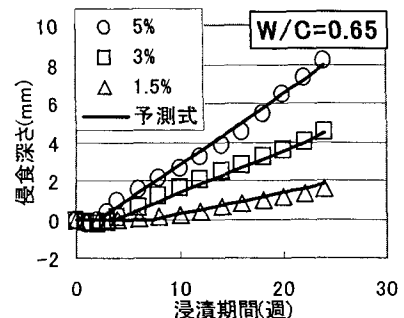


図-1 侵食深さ実験値と予測値

値との比を図-2に示す。図中の実線に近いほど精度良く予測されている事を示す。図よりほとんどのデータが±20%の範囲で予測可能であるが、W/C=0.55の場合に過大評価、W/C=0.35の場合に過小評価している傾向がある。

次に中性化深さから侵食深さを取り除いた中性化厚さを予測し、その後それぞれの足し合わせによって中性化深さを表現する。実験結果から中性化厚さの進行について水セメント比が大きいほど、また硫酸濃度が高いほど劣化の進行が早く、浸漬時間に関して非線形的に増加することが分かった。そこで中性化厚さを水セメント比の一次関数、硫酸濃度の一次関数、浸漬時間の定数乗にそれぞれ比例するものとして式(2)に示す予測式を構築した。

$$G = k_3 \times \beta_{W/C} \times \beta_{C_0} \times t^\alpha \quad (2)$$

ここでそれぞれ、G：中性化厚さ(mm)、 k_3 、 α ：実験結果から得られる定数、 $\beta_{W/C} : k_4 + k_5 \times W/C$ (k_4 , k_5 は定数)、 $\beta_{C_0} : k_6 + k_7 \times C_0$ (k_6 , k_7 は定数)、 t ：浸漬時間(週)である。

図-3に実験結果と式(2)による中性化厚さ予測式の計算結果の一例(W/C=0.65の場合)を示す。図より、硫酸濃度によらず、十分な精度で予測値が実測値を表現していると判断される。

以上より得られた侵食予測式と中性化厚さ予測式を足し合わせる事で中性化深さを予測する。その計算結果と実験結果とを図-4に示す。図より、中性化深さについても非常に高い精度で予測可能であることが示された。さらに、中性化深さの全実験結果について予測値と実測値との比を図-5に示す。図-2と同様に中性化深さについても±20%の範囲で十分に予測可能であることが明らかになったが、その傾向は侵食深さと同様であり、中性化深さの予測精度は侵食深さの予測精度が大きく影響を及ぼしている事が分かった。全てのデータに対して実測値を予測値で割った値の平均値は0.99、変動係数は10%であり実験結果を精度良く表現した予測式である事が分かった。

4. 結論

コンクリートの硫酸侵食に関する劣化予測式を提案し十分な精度が得られた。また硫酸によるコンクリートの中性化は侵食深さと中性化厚さとの足し合わせで表現でき、中性化深さの劣化予測式も実用上十分な精度で提案する事ができた。

【参考文献】

- 1) 蔵重 勉：硫酸によるコンクリート劣化のメカニズムと予測手法，東京大学博士論文，2002
- 2) 例えば，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，pp.308-314，2004

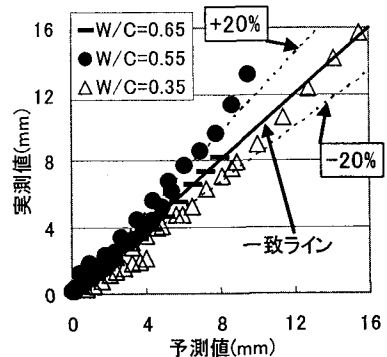


図-2 侵食深さ予測式の精度

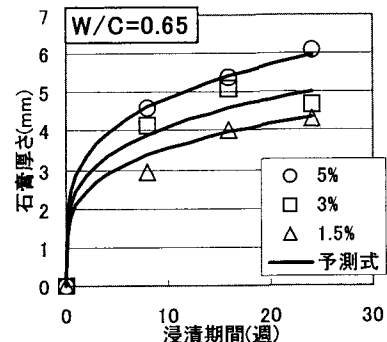


図-3 中性化厚さ実験値と予測値

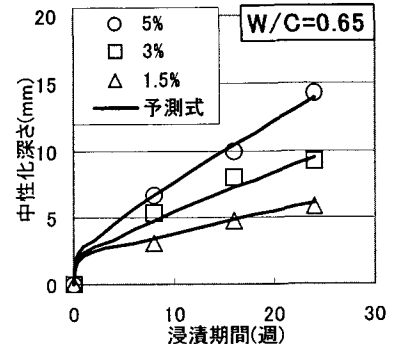


図-4 中性化深さ実験値と予測値

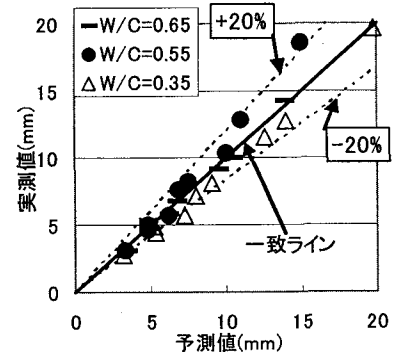


図-5 中性化深さ予測式の精度