


学位論文の要旨

専攻名	環境工学専攻	ふりがな氏	ながの ひろき 永野 敬喜 
学位論文題目	硫酸侵食に起因するコンクリートの中性化深さ予測式の構築に関する研究		
<p>コンクリートは、硫酸や硫酸塩により著しい劣化を生じる。日本では数多くの温泉が湧き出ており、そのうちいくつかの温泉は硫酸イオンを多く含んでいる。大分県別府市の明礬温泉は、その代表的な温泉で、pHが2程度の強酸の温泉が湧き出ており、周辺のコンクリート構造物に大きな被害を与えている。このような外的要因に曝されるコンクリート構造物の維持保全計画を立てる際、コンクリートの余寿命の予測が大変に重要となる。そこで、本研究では硫酸劣化の促進実験と位置付けた実験室における硫酸溶液浸漬実験ならびに明礬温泉における温泉浸漬、土壌埋設および気中曝露試験を実施し、硫酸劣化に影響を及ぼす要因について検討し、硫酸溶液浸漬試験結果を基に、硫酸侵食によるコンクリートの中性化深さ予測式の構築を試みた。</p> <p>論文は以下の5章から構成されている</p> <p>第1章「序論」では、本研究の背景ならびに目的について述べた。</p> <p>第2章「既往の研究」では、硫酸浸漬実験に関する既往の研究を調査し、先ず、硫酸侵食のメカニズムについて整理した。硫酸侵食による劣化のメカニズムは硫酸塩侵食の場合と異なり、セメントの水和生成物である水酸化カルシウムと反応し二水せっこうが生成されるとともにC-S-Hの分解反応により同じく二水せっこうを生成し、組織が脆弱化する。これらの反応により、表層から剥落を生じ、著しい劣化を生じることになる。硫酸侵食を受けたコンクリートの断面は、表面より剥落部分、二水せっこう化した脆弱層、中性化層、硫酸イオン浸透層、健全部分となっているが、一般に、初期断面から剥落した表面までを「侵食深さ」、剥落した表面から中性化位置までを「中性化厚さ」、両者を合わせて「中性化深さ」と定義されている。通常、コンクリート構造物の耐久性は、鉄筋腐食の可能性が高まる中性化で評価されることから、硫酸侵食の場合、中性化部分より硫酸イオンは内部に浸透しているが、その深さは小さく、フェノールフタレインの噴霧で簡単に測定が可能な「中性化深さ」を評価指標とした。</p> <p>次いで、中性化深さに及ぼす要因分析について整理した。主な要因として、セメント水比、セメント種類、混和材、粗骨材、溶液のpHなどが挙げられているが、セメント種類、混和材および粗骨材が中性化深さに及ぼす影響については定量的な評価に至っていなかった。</p> <p>第3章「実験」では、モルタルとコンクリートについて硫酸溶液浸漬実験および明礬温泉地曝露試験を実施した。モルタル実験では、硫酸濃度の影響と、混和材の影響として高品質フライアッシュおよびガラス繊維混入の影響について検討した。その結果、既往の研究で明らかにされていたことと同様に硫酸濃度が高いほど中性化深さは大きくなること、侵食深さは膨張性生成物の形成により初期に負の値を示すことを確認し、フライアッシュ置換率の増加に伴い中性化深さが増加すること、ガラス繊維の混入により剥落を抑制できるが中性化深さの抑制にはあまり効果がないことなどを明らかにした。</p>			

(注) 和文 2,000 字又は英文 800 語以内

続紙 有 無

コンクリート実験では、コーティング材、水セメント比、粗骨材の有無、混和材（フライアッシュ、高炉スラグ）の各影響について検討した。その結果、市販のビニルエステルおよびエポキシ樹脂系のコーティング材は硫酸濃度 5%の強酸でも十分な耐久性を有するが、施工不良によるピンホールが存在すると、そこから硫酸イオンが浸透し、コンクリートの劣化を生じることが分かった。また、既往の研究のように、溶液が強酸の場合は水セメント比が小さいほど、弱酸の場合は逆に大きいほど、中性化深さが大きくなることを確認したが、粗骨材の影響はほとんどみられなかった。さらに、フライアッシュを混入した場合は置換率が 20～30%の範囲で、高炉スラグ微粉末は置換率の増加とともに中性化深さが減少することなどを明らかにした。

第 4 章「予測式の検討」では、2 章 3 章の結果を踏まえて C/W の影響、pH の影響、混和材（フライアッシュ、高炉スラグ）の影響を考慮した中性化深さ予測式の構築を試みた。硫酸侵食による中性化の進行は経時の平方根に比例して進行するものとし、上記の各要因の影響関数の積として式を構築した。文献調査で収集した実験データを用いてその予測式の精度を検証した結果、構築した中性化深さ予測式の精度は比較的高いことが分かった。しかしながら、硫酸溶液の調整方法の違いによる誤差が大きいことが明らかとなった。

第 5 章「結論」では、本研究で得られた知見をまとめるとともに、今後の課題について述べた。本研究で構築したコンクリートの中性化予測式は、促進試験として位置づけられる硫酸溶液浸漬実験結果の予測が可能である。しかしながら、セメント種類、温度、流速などの影響は充分検討されていないことや、実際の温泉、土壌、気中環境での中性化の進行との対応についても未検討であり、今後の課題である。

[2000 文字]

学位論文審査結果の要旨

専攻	環境工学 専攻	氏名	永野 敬喜
論文題目	硫酸侵食に起因するコンクリートの中性化深さ予測式の構築に関する研究		
主査	佐藤 嘉昭		
審査委員	菊池 健児		
審査委員	真鍋 正規		
審査委員	大谷 俊浩		
審査委員	小山 智幸		
審査結果の要旨 (1000字以内)			
<p>コンクリートは、硫酸や硫酸塩の侵食によって著しい劣化を生じることが知られている。日本では数多くの温泉が湧き出ており、そのうちいくつかの温泉は硫酸イオンを多く含んでいる。大分県別府市の明礬温泉はその代表的な温泉で、pHが2程度の強酸の温泉が湧き出ており、周辺のコンクリート構造物の劣化の原因となっている。このような外的要因に曝されるコンクリート構造物の維持保全計画を立てる際、劣化現象に対するコンクリートの寿命の予測を行うことは極めて重要なこととなる。そこで、本論文では硫酸侵食による劣化の促進実験と位置付けた実験室における硫酸溶液浸漬実験ならびに明礬温泉における温泉浸漬、土壌埋設および気中曝露試験を実施し、硫酸侵食による劣化に影響を及ぼす要因について詳細に検討し、硫酸浸漬の場合の中性化深さ予測式を提案している。その結果、以下のことを明らかにしている。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 硫酸侵食によるコンクリートの中性化深さ C は \sqrt{t} 則に従う ($C=A\sqrt{t}$)。 (2) 硫酸侵食によるコンクリートの中性化速度係数 A は水セメント比 (W/C) と浸漬溶液の pH の影響を受ける。 (3) フライアッシュや高炉スラグ微粉末などの混和材料を添加することによって、硫酸侵食によるコンクリートの劣化を抑制できる。 (4) これらの影響要因をパラメータにした中性化深さの予測式を構築し、既往の実験データを用いて提案した予測式の妥当性を検証した結果、予測値にはばらつきはあるものの、実験データの傾向を表すことができる。 <p>このような知見はいずれも適切な実験や考察から導かれたことが論文に示されており、提案した硫酸侵食によるコンクリートの中性化深さの予測式は新設構造物の設計段階においても活用でき、その有用性は高く評価できる。また、論文審査委員会や公聴会における説明および質疑応答は十分に満足のできるものであった。</p> <p>以上より、本論文は博士(工学)の学位に値するものと審査委員全員一致で判定した。</p>			