

## ◆ コンクリート構造物の劣化診断に関する研究 ◆

### 1. 緒言

近年、アルカリ骨材反応や鉄筋の塩分腐食など、コンクリートの素材の品質欠陥に起因する早期劣化の事例が増大している。このような劣化の原因がコンクリートの素材にあり、しかも、劣化が化学反応によって進行する場合には、その劣化段階がある限界状態に達するまでは外観上何らかの異常を認めることは困難である。すなわち、外部に多少なりとも異常が認められた時点には劣化はもはや末期の状態になっており、補修による機能回復はほとんど不可能になることも多い。さらに素材の品質に原因がある場合の劣化は地域や建設後の期間のいかんを問わず顕在化するので、ごく初期の段階でその徴候を把握し、原因を確かめて早期に有効な対策を講ずることが極めて重要である。本研究はコンクリート建造物から採取した試料に基づいて、その構造物に劣化原因が存在するか否かを診断する手法を確立することを目的として実施しているものであるが、その一部には実際の構造物そのものに対して非破壊手法により劣化度の診断を行うものも含んでいる。

以上のような研究を実施するために、昭和61年度に『アルカリ骨材反応診断装置』および『コンクリート構造物力学特性診断装置』を設置し、引きついで昭和62年度には『腐食因子透過性診断装置』、『セメント硬化体健全度診断装置』および『コンクリート構造物の劣化機構解析装置』をいずれも大型特別機械整備費によって設置した。以下に本研究の概要について述べる。

### 2. 研究組織

本研究に関与している所内のメンバーは以下のとおりである。

教授 小林一輔 (5部) 増子 昇 (4部)  
 助教授 安井 至 (4部) 魚本健人 (5部)  
 前田正史 (4部)

なお、本研究には研究員として丸 章夫および小倉盛衛が、参加している。

### 3. 研究活動の概要

本研究は実際のコンクリート構造物の劣化調査とこれより採取したコア試料の分析ならびに劣化機構を解明するためのシミュレーション実験による劣化機構の解明からなり、これらを通じてコンクリート構造物の劣化診断の手法を確立しようとするものであり、これまでに実施した主な研究は以下のとおりである。

#### 1. 鉄筋コンクリート造大規模集合住宅に生じた早期劣化の調査 (昭和59年度～)

建築後わずか10年足らずの間に異常なひびわれなどの早期劣化を生じた埼玉県狭山市にある住宅都市整備公団 (当時、住宅公団) 分譲の大規模集合住宅 (鉄筋コンクリート4階建, 31棟, 1000戸) の調査を実施し、早期劣化の主な原因はアルカリシリカ反応であることを確かめるとともに、風化の進んだ粗悪な品質の骨材の使用に起因する劣化、アルカリを多く含むセメントの使用による著しい炭酸化の進行と白華現象などによる劣化が生じていることも明らかにした。

#### 2. セメント中のアルカリがコンクリートの諸性状に及ぼす影響 (昭和59年度～)

現在のセメントの製造方法が必然的にアルカリの多いセメントをつくりだす方法であることを指摘するとともに、アルカリ分の多いセメントを使用したコンクリートの諸性状には種々の異常な現象を生ずることをシミュレーション実験を通じて明らかにしたものである。すなわち、アルカリ分の多いセメントの使用はこれを用いたコンクリートのアルカリ骨材反応を促進させるのみでなく、異常凝結、スランプの著しい低下、強度や弾性係数の低下、異常膨脹、炭酸化の促進、腐食因子透過性の増大などを生ずることを立証したものである。

#### 3. アルカリシリカ反応に関する研究

(昭和60年度～)

アルカリシリカ反応に関する研究は主として以下のような課題に重点をおいて実施している。

- 1) 反応性岩石・鉱物の定性・定量方法とこれらの反応性の評価方法の確立
- 2) アルカリシリカ反応のメカニズムの解明
- 3) アルカリシリカ反応に影響を及ぼす諸要因の解明

1) の課題はコンクリート構造物の耐久性診断を行う上で極めて重要であり、このために偏光顕微鏡観察はもとより、X線回折試験、電子線マイクロアナライザ(写真)による面分析結果(カラーマッピング表示)の画像処理などによって、火山岩中のガラスやトリジマイトの定性・定量方法、堆積岩中の潜晶質石英の反応性の評価方法などを明らかにした。2) に関してはセメント中のアルカリとこれを用いたモルタルの細孔溶液の組成の分析結果より、アルカリシリカ反応には $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ および $\text{OH}^-$ のイオンが関与していることを確かめた。3) に関しては、アルカリシリカ反応によるコンクリートの膨脹に及ぼすアルカリ量、温度、反応性岩石・鉱物の種類と含有量、部材寸法などの影響について明らかにした。

#### 4. コンクリートの炭酸化に関する研究

(昭和62年度～)

コンクリートの炭酸化の速度を著しく促進する要因としてセメントや海砂などから供給されるアルカリがあることを指摘したものである。すなわち、炭酸化はコンクリート中のアルカリ量が多いほど促進され、しかも、この傾向はコンクリート構造物内部から孔隙水の移動が活発にある部分において著しいことを確かめたものである。

- #### 5. コンクリート中における物質移動に関する研究
- (昭和62年度～)

アルカリ骨材反応や鉄筋の塩分腐食に象徴されるコンクリート構造物の早期劣化はいずれもコンクリート内部における物質移動が関与しており、例えば、アルカリ骨材反応の場合は $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ または $\text{OH}^-$ などのイオンの移動が、鉄筋の塩分腐食の場合には $\text{Cl}^-$ と $\text{OH}^-$ などのイオン拡散が関与していることが知られているが、これらのコンクリート中における具体的な挙動についてはほとんど明らかにされていない。本研究では、EPMAの面分析などの手法を用いて $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ および $\text{Cl}^-$ などの各イオンのコンクリート中における移動現象に関する以下のような新しい事実を明らかにしたものである。

- 1) 打設後、相対湿度が100%に近い雰囲気下に



写真：電子線マイクロアナライザー

において2週間程度保存したコンクリート部材の断面にはアルカリの濃度勾配が生じており、このような現象はアルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の膨脹ならびにひびわれの発生と密接に関係していること。

2) 練り混ぜのさいに塩化物が導入されたコンクリート部材に表層部から炭酸化が生じた場合、部材の断面には塩素濃度の変化が起こり、とくに孔隙水が移動するような条件下においては、炭酸化した部分の塩素が非炭酸化部分に移動する結果、後者の塩素濃度が前者の数倍に濃縮される。

- #### 6. アコースティックエミッションによるコンクリート構造物の劣化診断に関する研究
- (昭和58年度～)

コンクリート構造物の劣化診断の手法としては種々の非破壊検査方法が考えられ、徐々に適用されつつある。しかし、現在大きな問題となっている道路・鉄道橋などの疲労荷重による劣化や、鋼材腐食、アルカリ骨材反応等の各種原因による劣化度を測定し、劣化の進行予測を行う場合には、ひび割れの発生をモニタリングすることが重要である。本研究では、各種非破壊検査方法の中から、ひび割れの発生等をリアルタイムでモニタリングすることが可能であるアコースティックエミッション法を取り上げ、新設または既設のコンクリート構造物の劣化診断手法を確立させることを目的として、診断手法の開発ならびに実構造物での検証実験を実施し、さらにより高い精度の診断を行うための研究を実施している。