

九州大学 正員 松下 博通  
 " " 牧角 龍憲  
 " 学生員 〇 浜田 秀則

### 1. まえがき

コンクリートを硫酸塩溶液中に長期間浸漬すると、エトリンガイトと生成し、その異常膨張によってコンクリートは劣化し、最終的には崩壊にいたると一般に言われている。また、乾湿繰返し作用を与えることによって、コンクリート劣化が促進されることも知られている。しかし、その劣化機構は明確にはわかっていない。そこで筆者らは、① コンクリートの硫酸塩による破壊性状を明らかにする。② コンクリートの耐硫酸塩性に対する促進試験方法を確立する。③ コンクリートの耐硫酸塩性に対する劣化指標としては何が有効であるかを調べるなどを目的として一連の実験を継続中である。ここにその中間報告をする。

### 2. 実験概要

使用材料は、セメントが普通ポルトランドセメント、細骨材が海砂、粗骨材が角セン岩砕石である。コンクリートの配合は表-1に示すとおりであり、供試体は、 $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ 円柱供試体(測定項目1, 3, 4, 6, 7, 8)と $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ 円柱供試体(同項目1, 2, 4, 5)とした。実験は、実験Ⅰ：連続浸漬試験と実験Ⅱ：乾湿繰返し試験(表-2参照)の2種類を実施した。配合、溶液濃度、前養生方法、浸漬方法、測定項目は表-2に示すとおりであり、材令28日まで前養生を行った後浸漬を開始し、浸漬0, 2, 4, 8, 13週に測定を行った。但し、測定項目2, 5は浸漬開始後、1週間毎に測定を行った。

表-1 配合表

|    | W/C<br>(%) | S/a<br>(%) | 単位量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 混和料 (g/m <sup>3</sup> ) |     |              |
|----|------------|------------|-----------------------------|-------------------------|-----|--------------|
|    |            |            | W                           | C                       | S   | G            |
| I  | 3.3        | 38.0       | 149                         | 450                     | 698 | 1298         |
| II | 5.7        | 45.4       | 178                         | 313                     | 729 | 1085         |
|    |            |            |                             |                         |     | NL-4000 303A |

表-2 実験概要

| 浸漬方法                                 | 実験Ⅰ                                                                                                   |             | 実験Ⅱ       |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|
|                                      | 連続浸漬                                                                                                  |             | 乾湿繰返し(*1) |
|                                      | 供試体の全面浸漬                                                                                              |             |           |
| 使用配合                                 | 配合Ⅰ                                                                                                   | 配合Ⅱ         |           |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 溶液濃度 | 0, 10%                                                                                                | 0, 2.5, 10% | 0, 10%    |
| 前養生方法(*2)                            | 湿空養生                                                                                                  |             | 空中養生      |
| 測定項目                                 | 1. 外観観察 2. 質量変化 3. 圧縮強度<br>4. 動弾性係数 5. 長さ変化 6. 細孔径分布<br>7. X線回折 8. SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 定量分析 |             |           |

(\*1) 40時間浸漬、8時間乾湿(乾湿温度70°C)の2日を1サイクルとした。  
 (\*2) 湿空養生とは、材令1日で脱型後、材令7日まで水中養生を行った後、材令28日まで温度20°C、湿度95%RHの室内で養生を行ったもの。空中養生とは、材令7日まで湿空養生と同様で、材令28日まで温度20°C、湿度60%RHの室内で養生を行ったもの。

### 3. 実験結果ならびに考察

#### 3-1 実験Ⅰ：連続浸漬試験

図-1は長さ変化の測定値を示したものであるが、浸漬13週を経過してもこれといった変化は見られない。長さ変化に限らずその他の測定項目においても劣化の徴候は全く表れておらず、圧縮強度、動弾性係数は未だ漸増の傾向を示している。従って、実験Ⅰは現在も実験を進行中である。

#### 3-2 実験Ⅱ：乾湿繰返し試験の劣化原因

図-2は圧縮強度の測定結果を示したものである(左が前空中養生、右が前湿空養生を行った供試体の測定結果)。10% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>溶液に浸漬した供試体の場合、浸漬初期にその値が上昇し、あるピークまで達した後かなり急激にその値が減少するという傾向が見られる。図-3は前湿空養生を行った後、10% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>溶液に浸漬した供試体のPore Volumeの推移とその半径の大きき別に示したものである。浸漬初期には、全ての半径について、そのPore-

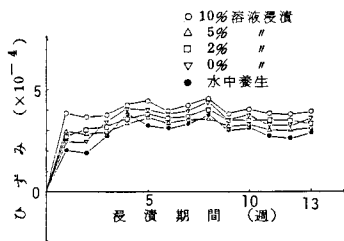


図-1 長さ変化

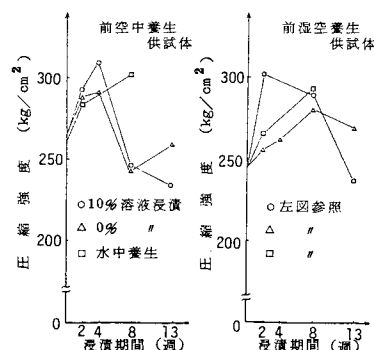


図-2 圧縮強度

Volumeが減少し、その後、最大半径と最小半径のPoreを除いてその他の半径のPoreはかなり急激に増加する傾向を示している。図-4は前湿空養生を行った供試体の長さ変化の測定値を示したものである。10%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液に浸漬した供試体の値が浸漬9週と境に急激に上昇を開始する傾向が認められる。この上昇傾向が発現する時期は、前述したところのPore Volumeが増加する時期と一致している。以上の結果より考えて、今回の乾湿繰返し試験の劣化原因は、浸漬開始後コンクリート中の空隙が何らかの物質で充満し始め、充満し終わった後、膨張破壊が起きたものと考えられる。従って、Pore Volumeの増加と長さの増加は、コンクリート内部に微細な亀裂が生じたためと考えられる。しかしながら、X線回折試験ではエトリンガイトは検出されていない。従って、本乾湿繰返し試験の劣化原因は、一般に言われているところのエトリンガイトの生成による影響よりも、硫酸ナトリウム結晶 [ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ] の生成の際の体積膨張が大きな影響を及ぼしているものと思われる。

3-3 促進試験の可能性  
今回の実験より、連続浸漬あるいは乾湿繰返しによるコンクリートの劣化はそれぞれその原因が異なることが考えられる。乾湿繰返し試験は上述したように、硫酸塩の結晶圧による膨張破壊に対する促進試験に成り得るものと考えられる。また、連続浸漬試験については、浸漬13週では顕著な反応が認められないので今後も観率と続けて、その試験の有意性も検討する予定である。

### 3-3 促進試験の可能性

今回の実験より、連続浸漬あるいは乾湿繰返しによるコンクリートの劣化はそれぞれその原因が異なることが考えられる。乾湿繰返し試験は上述したように、硫酸塩の結晶圧による膨張破壊に対する促進試験に成り得るものと考えられる。また、連続浸漬試験については、浸漬13週では顕著な反応が認められないので今後も観率と続けて、その試験の有意性も検討する予定である。

### 3-4 劣化指標の選取

実験Ⅱ：乾湿繰返し試験におけるコンクリートの劣化を表わす指標としては何が有効であるかを検討した結果を以下に示す。図-5は、実験Ⅱにおける動弾性係数の測定値を示している。10%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液浸漬の場合、圧縮強度の試験結果と同じように、浸漬初期にその値が上昇し、その後減少するという傾向を示している。図-6、7は、長さ変化とTotal Pore Volume、長さ変化と動弾性係数の相関を示したものである。いずれの場合も高い相関性があることがわかる。Pore Volumeの測定に比べて、長さ変化や動弾性係数は測定も簡単で、かつ同一の供試体で継続的に測定ができるという長所がある。従って、劣化指標として、長さ変化と動弾性係数を併用して用いればコンクリートの劣化性状とかなり明確にとらえることができるものと考えられる。

3-5 前養生方法の影響  
図-8は、実験Ⅱにおける長さ変化の測定値を、前養生方法の違いで比較したものである。この図-8、あるいは、図-2、5よりわかるとおり、前養生方法の相違による劣化状況の差異は全く認められない。

### 3-5 前養生方法の影響

図-8は、実験Ⅱにおける長さ変化の測定値を、前養生方法の違いで比較したものである。この図-8、あるいは、図-2、5よりわかるとおり、前養生方法の相違による劣化状況の差異は全く認められない。

本報告では、浸漬13週の結果までしか掲載できなかったが、実験は今後も継続する予定である。

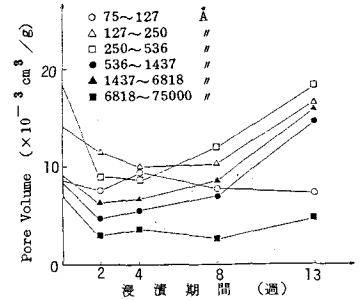


図-3 Pore Radius 別の Pore Volume

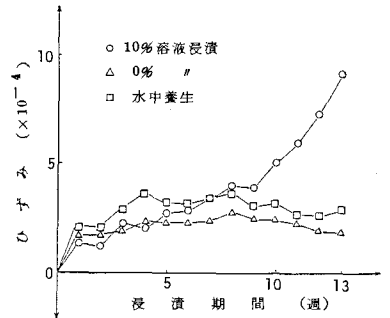


図-4 長さ変化

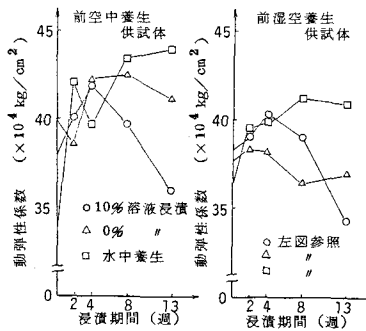


図-5 動弾性係数

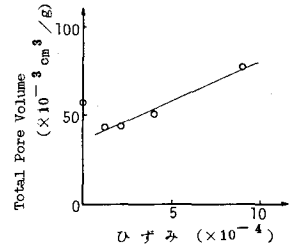


図-6 長さ変化とTPVの相関

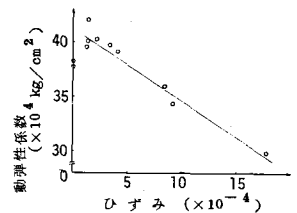


図-7 長さ変化と動弾性係数の相関

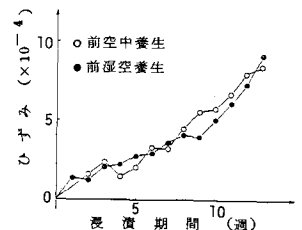


図-8 前養生方法の違いによる長さ変化の比較