

## 温泉環境下に暴露されたコンクリートの暴露2年間の調査結果

鹿児島大学工学部 学生員○佐村 有人  
 鹿児島大学工学部 正会員 武若 耕司  
 大日本塗料(株) 正会員 里 隆幸

## 1. はじめに

環太平洋火山帯に位置する我が国は、温泉が各地に分布している。これら温泉地帯においては、温泉水や温泉ガスに含まれている有害成分や温泉の熱などによりコンクリートが侵食を受け、その耐久性が以前から問題となっている。そこで、本研究では、鹿児島県霧島温泉郷内の種々の環境においてコンクリートならびに鉄筋コンクリート供試体の暴露実験を実施し、この環境下における劣化性状の定量化を試みている。本文では、その2年間の暴露結果を報告する。

## 2. 供試体の概要

今回調査を行った供試体は、図-1に示すような鉄筋コンクリート角柱供試体である。使用したセメントは、普通ポルトランドセメントおよび、目標粉末度  $5000\text{cm}^2/\text{g}$  に微粉砕したしらすを普通ポルトランドに対し置換率 15% で混合したしらす混合セメントである。(以下、これらを使用したコンクリート供試体の名称をそれぞれ普通 P.C. としらす混合 C. と称す)。表-1 にコンクリートの配合を示す。また、表-2 には混和材として使用したしらすの概要を示す。鉄筋はみがき丸鋼とエポキシ樹脂塗装鉄筋の2種類を用いてそれぞれ供試体を作製した。さらに、表面被覆材の効果について検討を行うために、エポキシ樹脂系被覆材をコンクリート表面に厚さ  $600\mu\text{m}$  で塗装した供試体も作製した。

## 3. 暴露実験の概要

暴露実験は霧島温泉地帯に位置するホテル内で実施している。今回の調査対象とした供試体の暴露環境は、表-3に示すような、常時高温の温泉水が直接接する硫黄泉浴槽中と、温泉水が直接かかる事はなく温泉ガスのみの影響を受ける環境である浴室上部の2箇所である。所定の期間が経過した供試体については、外観観察、重量測定、侵食深さ、鉄筋腐食量等の測定を行った。

## 4. 実験結果および考察

## 4. 1 外観観察

写真-1には、硫黄泉浴槽中に暴露した供試体の外観を暴露期間との関係で示した。温泉水中に暴露された供試体では、暴露4ヶ月目から供試体の表面に茶褐色の変色が認められた。また、暴露12ヶ月までは表面のモルタル部分が消失し、粗骨材の露出が認められる程度であったが、24ヶ月経過すると粗骨材までもが剥落する状況となった。一方、浴室上部に暴露した供試体では、24ヶ月経過時まで外観に大きな変化は認められなかった。また、エポキシ樹脂被覆剤の劣化状況に関しても、現状ではいずれの環境とも塗膜のひび割れや膨れなどは確認されていない。

表-1 コンクリートの配合表

| 供試体名                | W/C | 単位量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) |     |     |     | 混和材量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) |
|---------------------|-----|--------------------------------|-----|-----|-----|---------------------------------|
|                     |     | C                              | W   | S   | G   |                                 |
| 普通 P.C              | 50  | 404                            | 202 | 799 | 875 | なし                              |
| しらす混合 C.            |     | 343                            | 202 | 799 | 875 | 61                              |
| しらす混合 C.<br>(表面被覆材) |     |                                |     |     |     |                                 |

表-2 混和材用しらすの概要

| しらすの種類 | 火山ガラス  | 結晶質   | 粉末度                        |
|--------|--------|-------|----------------------------|
| しらす A  | 98.74% | 1.26% | $4850\text{cm}^2/\text{g}$ |

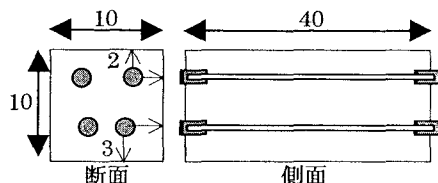


図-1 供試体の概要(単位: cm)

表-3 暴露環境

| 暴露環境   | 温度                         | 備考            |
|--------|----------------------------|---------------|
| 硫黄泉浴槽中 | $50 \sim 60^\circ\text{C}$ | 常時温泉水に浸漬した環境  |
| 浴室上部   | $10 \sim 35^\circ\text{C}$ | 温泉ガスの影響常に湿潤状態 |

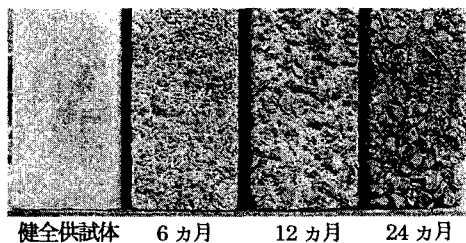


写真-1 硫黄泉浴槽に暴露された供試体の外観観察

#### 4. 1 重量変化率

図-2に、各供試体の重量変化の状況を暴露環境ごとに示す。この結果から、まず、硫黄泉水中におけるコンクリートの劣化が極めて大きいことがわかる。使用セメントの違いによる重量減少状況の比較では、しらす混合 C.を用いたものでは、12 ヶ月目までは普通 P.C.とほぼ同様の重量減少傾向を示すものの、12 ヶ月から 24 ヶ月の間の重量減少は、普通 P.C.に比べて少なくなっていた。これは、しらすのポゾラン反応による組織の緻密化に起因しているものと思われる。一方、浴室上部においては、普通 P.C.およびしらす混合 C.ともにわずかに重量減少が生じているが、これは供試体の乾燥によるものと考えられ、経時的な重量減少傾向はセメントの種類にかかわらず認められなかった。エポキシ樹脂塗装供試体については暴露環境にかかわらずこれまでのところ大きな重量変化は認められなかったが、硫黄泉浴槽の 24 ヶ月暴露供試体において幾分重量が増加しており、塗膜が温泉水を吸水している可能性も考えられた。

#### 4. 2 侵食深さ

図-3には、無塗装供試体の侵食深さの測定結果を示した。なお、ここでの侵食深さは、重量減少量から換算した消失深さに中性化深さを加えたものと定義したものである。硫黄泉浴槽中の 2 種類のコンクリートを比較すると、重量変化率の場合と同様に、しらす混合 C.を用いたものでは、12 ヶ月目までは普通 P.C.とほぼ同程度の侵食状況であったが、24 ヶ月目の侵食深さは、普通 P.C.に比べ明らかに小さくなっていた。また、しらす混合 C.供試体の中性化深さが、全暴露期間を通して、普通 P.C.使用の場合に比べて小さいという特徴も見られた。浴室上部においては、原因は定かではないが、いずれの供試体とも 24 ヶ月目に急激に中性化深さが増加した。ただし、これまでのところ普通 P.C.としらす混合 C.の間に侵食深さの大きな差が認められない。なお、ここで注目すべき点は、硫黄泉浴槽中と浴室上部でコンクリートの重量変化には大きな差は見られるが、侵食深さという観点からは、暴露の初期こそ差はあるものの 24 ヶ月の時点では、さほど差がなくなってきていることである。このことは、鉄筋の保護性能の観点からは、直接温泉水が接しない環境であってもかなり厳しい環境となる可能性があることを示唆するものであると考えられる。

#### 4. 3 鉄筋腐食量

24 ヶ月暴露までのところ、鉄筋には腐食は確認されなかった。これは、上記のようにこれまでのところ侵食深さが 1cm 以下であることから、中性化残りを考慮しても、侵食の影響が最小かぶりの 2 cm までには至っていないためであると考えられる。

#### 5. まとめ

今回の試験結果は以下に要約される。

1. コンクリートの消失という観点からは、温泉水中環境はコンクリートにとって過酷である。
2. しらす混合 C.を使用することによってコンクリートの長期の侵食を制御できる可能性がある。
3. エポキシ樹脂系被覆材は温泉環境下において劣化防止対策として有効である。
4. 直接温泉水に接しない環境であっても温泉環境では鉄筋保護性能は低下する可能性が高い。

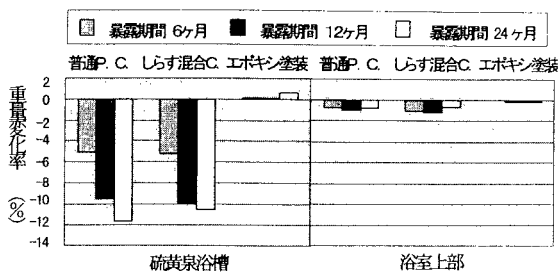


図-2 重量変化率

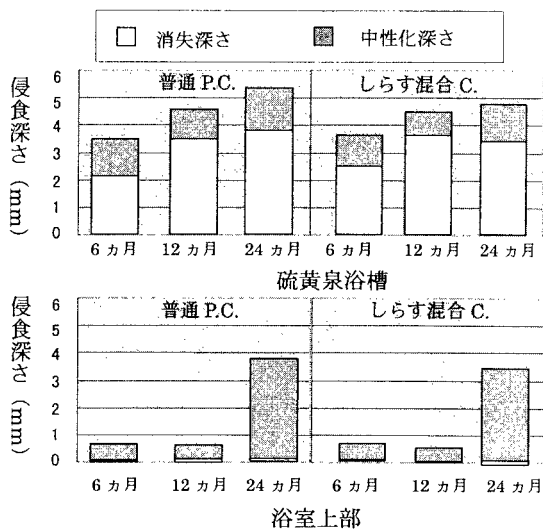


図-3 侵食深さ