

# V-292 硬化コンクリート中の全塩分と可溶性塩分の関係

日本道路公団 正会員 関根信哉  
日本道路公団 増田 隆  
日本道路公団 正会員 吉岡博幸

## 1. はじめに

硬化コンクリート中の塩分（塩素）の存在形態としては、セメント水和物あるいはセメント成分と結合しているものと、容易に水に溶解してイオン化するものがあり、前者は鋼材の腐食に関与しにくく、後者は直接関与すると言われている。このような塩素の存在形態は、周囲の条件に影響されて変化し易く、分析に当たっての試料の前処理操作によっては上記のいずれとも区別しがたい形態となる塩素もあり得る。したがって、JCI腐食防食委員会の「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法（案）」（以下、「JCI試験法」という。）では、全塩分を“硬化コンクリート中に含まれる塩分の全量”、可溶性塩分を“硬化コンクリート中に含まれる50℃の温水に可溶性塩分”と定義しており、それぞれに対し前処理操作を含めた分析方法を規定している。本研究は、各種試験におけるJCI試験法による塩分分析試験結果より、種々の環境下の硬化コンクリート中の全塩分と可溶性塩分との関係を把握することを目的とした。

## 2. 試験概要

### 2.1 各試験の概要と配合

本研究では、表-1に示す各試験で得られたJCI試験法による塩分分析試験結果を対象とした。すなわち、シリーズIは内部塩分によるものであり、シリーズII～VIは外部塩分によるものである。これら外部塩分によるもののうち、シリーズII～IVは海水のしぶきや飛来塩分、シリーズV、VIは人工海水の噴霧で、シリーズVIIは実構造物における凍結防止剤の散布などによる。シリーズV、VIの促進試験条件は、温度を70℃一定で常湿～90%で乾湿繰返し（各4時間）を行い、乾燥開始から2時間後に人工海水を30秒間噴霧し、1サイクルを8時間とした。試験に用いたコンクリートの配合を、表-2に示す。使用セメントはシリーズIVのみ早強ポルトランドセメントで、他のシリーズは普通ポルトランドセメントである。

### 2.2 分析方法

全塩分および可溶性塩分の分析方法はJCI試験法に準じ、全塩分および可溶性塩分の定量方法はいずれも塩素イオン選択性電極を用いた電位差滴定法とした。分析は試料中のモルタルについて行い、計算によりコンクリートの単位容積に対する塩素(Cl)の重量 $\text{Kg}/\text{m}^3$ で表わした。

## 3. 結果と考察

全塩分と可溶性塩分の試験結果の単回帰分析結果を、表-3に示す。いずれも、全塩分と可溶性塩分の間に

表-1 各試験の概要

| シリーズ | 試験内容                           | 曝露場所                                                     | 曝露期間                                 | 分析個数                                               |
|------|--------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------|
| I    | 内部塩分による鉄筋の発錆試験                 | 東京都町田市（市街地）                                              | 5年                                   | 20(4)                                              |
| II   | 外部塩分による鉄筋の発錆試験                 | 石川県松任市（海浜部）                                              | 5年                                   | 75(15)                                             |
| III  | 各種塗装材により表面被覆したコンクリートの曝露試験      | 石川県松任市（海浜部）                                              | 5年                                   | 30(6)                                              |
| IV   | 各種新築修復材により表面部分に接合したコンクリートの曝露試験 | 石川県松任市（海浜部）                                              | 5年                                   | 24(8)                                              |
| V    | 防水工により表面被覆したコンクリートの塩分浸透促進試験    | 促進試験条件（本文中）                                              | 3か月                                  | 24(8)                                              |
| VI   | 外部塩分（海水噴霧）による鉄筋の発錆促進試験         | 促進試験条件（本文中）                                              | 8か月                                  | 45(9)                                              |
| VI   | 実構コンクリート床版の塩分量試験               | A橋：新潟県<br>B橋：山梨県<br>C橋：宮城県<br>D橋：福島県<br>E橋：山梨県<br>F橋：山梨県 | 5年<br>9年<br>11年<br>11年<br>17年<br>17年 | 16(4)<br>16(4)<br>16(4)<br>16(4)<br>16(4)<br>16(4) |

\* 分析個数欄の（）内数字は分析を行った供試体数又はコア数

表-2 コンクリートの配合

| シリーズ | スラン<br>プ<br>(cm)                  | 空気量<br>(%)                      | 水セメ<br>ント比<br>W/C<br>(%)             | 細骨材<br>率<br>S/a<br>(%)               | 単位量(Kg/m <sup>3</sup> )<br>水 W  | セメン<br>ト C                      | 塩分量<br>(対細骨<br>材乾重量、%) |
|------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| I    | 12.0<br>10.8                      | 4.0<br>3.8                      | 50.7<br>50.7                         | 43.0<br>43.0                         | 152<br>152                      | 300<br>300                      | 0.1<br>0.3             |
| II   | 5.8<br>10.0<br>15.5<br>8.7<br>8.8 | 5.4<br>4.3<br>4.0<br>4.3<br>4.1 | 43.0<br>53.3<br>54.7<br>66.7<br>40.0 | 45.9<br>44.7<br>44.4<br>48.1<br>42.1 | 144<br>160<br>160<br>160<br>160 | 300<br>300<br>300<br>240<br>400 | —<br>—<br>—<br>—<br>—  |
| III  | 10.0                              | 4.3                             | 53.3                                 | 44.7                                 | 160                             | 300                             | —                      |
| IV   | 9.3                               | 4.4                             | 42.0                                 | 43.0                                 | 168                             | 400                             | —                      |
| V    | 10.0                              | 4.4                             | 50.3                                 | 43.5                                 | 155                             | 300                             | —                      |
| VI   | 9.8<br>10.0<br>9.8                | 3.9<br>4.0<br>4.0               | 51.7<br>66.7<br>40.0                 | 42.0<br>45.0<br>40.0                 | 155<br>160<br>160               | 300<br>240<br>400               | —<br>—<br>—            |
| VI   | 配合に関する詳細は不明                       |                                 |                                      |                                      |                                 |                                 |                        |

\* 建設当時の品質規格からは、セメントは普通ポルトランドセメントで、W/C=50～55%、W=160Kg/m<sup>3</sup>、C=300Kg/m<sup>3</sup>程度と推定される

はかなり強い相関があることがわかる。シリーズⅣ（断面修復材＋外部塩分）、Ⅴ（防水工＋促進試験）、Ⅵ（促進試験）を除くと、全塩分と可溶性塩分の関係には顕著な差はない。そこで、シリーズⅠ～ⅢおよびⅦの全塩分と可溶性塩分の関係を、図－1に示す。

シリーズⅠとⅡを比較すると、シリーズⅡの方が全塩分に対する可溶性塩分の比率が大きくなっており、外部塩分による方が固定される塩分が少ないことがわかる。これはセメント水和反応中の塩素は、硬化後に侵入する塩素より固定化され易いことを示すものと考えられる。同一曝露条件のシリーズⅢ（塗装材＋外部塩分）とⅣ（断面修復材＋外部塩分）を比較すると大きな差異があるが、シリーズⅣの方が全塩分量が1オーダー少ないため単純な比較は問題がある。また、他のシリーズと比べても全塩分量が少ないため、可溶性塩分の全塩分に対する比率が他のシリーズと比較して著しく小さいのは、セメントの種別の違いによるものかどうかは不明である。しかし、シリーズⅢは曝露条件が同一のシリーズⅡとほぼ同様の傾向であった。試験期間は違うが促進条件（温度・湿度）が同一のシリーズⅤ（防水工）とⅥ（被覆なし）を比較すると大きな差異があるが、これも全塩分量のオーダーが違うので単純な比較はできない。しかし、全塩分量が多いシリーズⅦはシリーズⅡを除く他のシリーズと比較しても可溶性塩分の比率が大きく、固定される塩分が少ないことがわかる。これは、今回の促進条件が影響しているものと考えられる。シリーズⅦは実橋床版であり7.5cmのアスファルト混合物で被覆されているといえるが、内部塩分によるシリーズⅠとほぼ同様の関係であった。また、同一橋梁によるものではないが、全塩分と可溶性塩分の関係に経過年数や全塩分量による差は認められなかった。シリーズⅦの全塩分と可溶性塩分の関係を、図－2に示す。

#### 4. まとめ

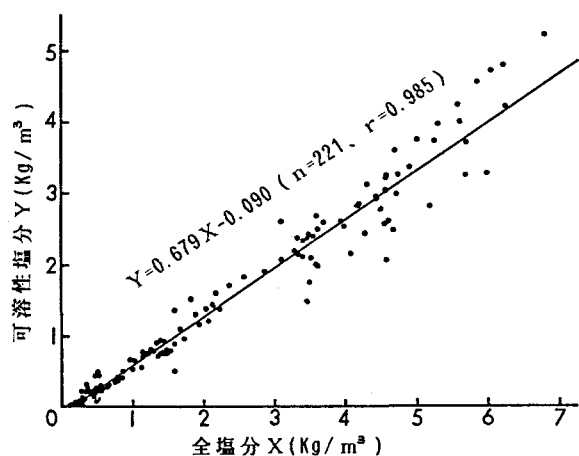
硬化コンクリート中の全塩分と可溶性塩分の間には高度の相関が認められた。また、実構造物（床版）では全塩分と可溶性塩分の関係に、経過年数や全塩分量による違いは認められなかった。

〔参考文献〕 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに規準（案），1987

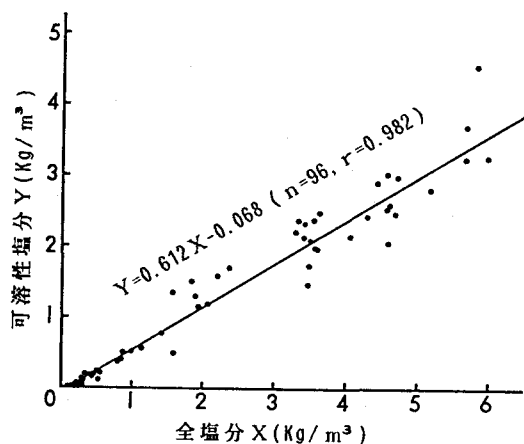
表－3 単回帰分析結果

| シリーズ    | 回帰式              | 相関係数 (r) | サンプル数 (n) | 全塩分の範囲 (kg/m <sup>3</sup> ) |
|---------|------------------|----------|-----------|-----------------------------|
| Ⅰ       | $Y=0.614X-0.098$ | 0.993    | 20        | 1.721～0.532                 |
| Ⅱ       | $Y=0.732X-0.096$ | 0.995    | 75        | 6.790～0.120                 |
| Ⅲ       | $Y=0.687X-0.061$ | 0.997    | 30        | 1.410～0.110                 |
| Ⅳ       | $Y=0.224X-0.002$ | 0.933    | 24        | 0.180～0.030                 |
| Ⅴ       | $Y=0.724X-0.041$ | 0.989    | 24        | 0.670～0.050                 |
| Ⅵ       | $Y=0.924X-0.310$ | 0.998    | 45        | 40.523～0.069                |
| Ⅶ (全体)  | $Y=0.612X-0.068$ | 0.982    | 96        | 5.988～0.069                 |
| Ⅶ (5年)  | $Y=0.597X-0.054$ | 0.931    | 16        | 0.330～0.110                 |
| Ⅶ (9年)  | $Y=0.634X-0.090$ | 0.890    | 16        | 1.592～0.163                 |
| Ⅶ (11年) | $Y=0.581X+0.043$ | 0.934    | 32        | 5.988～0.069                 |
| Ⅶ (17年) | $Y=0.665X-0.102$ | 0.999    | 32        | 4.570～0.160                 |

X：全塩分 (kg/m<sup>3</sup>) Y：可溶性塩分 (kg/m<sup>3</sup>)



図－1 全塩分と可溶性塩分の関係（シリーズⅠ～Ⅲ、Ⅶ）



図－2 全塩分と可溶性塩分の関係（シリーズⅦ）