

## V-15

## モデル化供試体によるRCの経年変化予測と性能変化の評価の研究

|        |     |      |
|--------|-----|------|
| 北見工業大学 | 正会員 | 桜井宏  |
| 北見工業大学 | 正会員 | 鮎田耕一 |
| 北見工業大学 | 正会員 | 岡田包儀 |
| 北海道大学  | 正会員 | 佐伯昇  |
| 北海道大学  | 正会員 | 藤田嘉夫 |

## 1. はじめに

寒冷地のコンクリート構造物の耐久性評価と寿命予測を可能とするためには、以下の検討が必要である。

第一に鉄筋コンクリート部材のモデルを作成し、それを用いた室内試験による促進試験と曝露試験の結果を比較し、それらの劣化形態の比較と時間的関係（促進試験の加速率）を明らかにする事、第二に劣化形態をモデル化し基礎的な考察を行い、被害の任意の時間に対する発生率を把握するため信頼性理論等を参考にし、検討を加え明らかにする事である。

本研究では、以上の検討に必要な基礎的な研究として凍結融解及び、凍結融解と鉄筋腐食を組み合わせたコンクリート部材のモデル化実験とそのデータの分析により、鉄筋コンクリート部材の凍結融解と鉄筋腐食等の劣化と耐力、かぶりコンクリートの耐食性及びコンクリート表面剝離面積の増加による美観等のRC部材の性能低下の関係について検討しRC部材の各種の劣化指標とRC部材の性能低下についての検討を行う。

## 2. 方法

## 2.1 検討フロー

モデル化供試体によるRCの経年変化予測と性能変化の評価の検討のフローを図-1に示す。

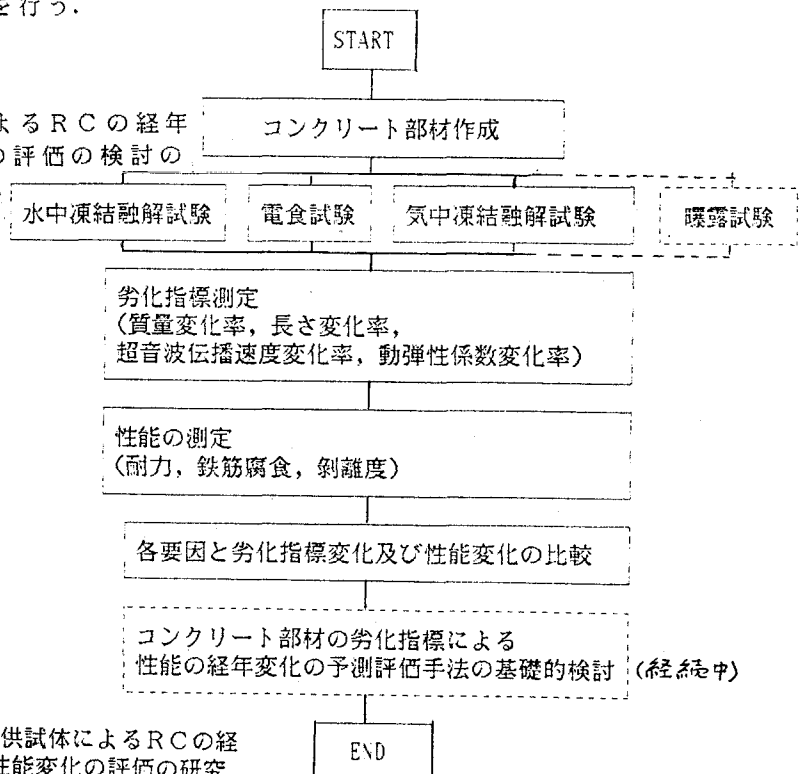


図-1 モデル化供試体によるRCの経年変化予測と性能変化の評価の研究

Study about Estimation of Deterioration of Change in Time and Evaluating of Performance of Reinforced Concrete By model specimens

Hiroshi SAKURAI, koichi AYUTA, kaneyoshi OKADA, Noboru SAEKI, Yoshio Fujita

## 2.2実験方法

### 2.1.1 材料及び配合

表-1にコンクリートの使用材料の性質を示す。骨材は札内川産の川砂、川砂利を使用した。表-2にコンクリートの配合を示す。水セメント比を45%と65%のケースで検討した。表-3に鉄筋材料の性質を示す。主鉄筋は、異形棒鋼を使用しスターラップにはステンレス鋼を使用した。これは耐力試験で、鉄筋が腐食した際に主鉄筋の断面欠損のみの影響を把握するためである。なお、主鉄筋とスターラップの間は、ビニールテープで絶縁した。

表-1 コンクリートの使用材料の性質

| セメント                    | 細骨材                            | 粗骨材                                         | 混和剤                               |
|-------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|
| 普通ポルトランドセメント<br>比重：3.16 | 比重：2.61<br>吸水率：2.40%<br>産地：札内川 | 最大寸法：25mm<br>比重：2.65<br>吸水率：1.63%<br>産地：札内川 | A E 剤<br>成分：7:2<br>(陰イオン)系<br>活性剤 |

表-2 コンクリートの配合

| 配合種類 | セメント種類       | W/C (%) | 細骨材率 (%) | 示 方 配 合   |              |             |             |          |           | 打ち込み時の性状 |  |
|------|--------------|---------|----------|-----------|--------------|-------------|-------------|----------|-----------|----------|--|
|      |              |         |          | 水 (kg/m³) | セメント (kg/m³) | 細骨材 (kg/m³) | 粗骨材 (kg/m³) | 混和剤 (cc) | スランプ (cm) | 空気量 (%)  |  |
| N451 | 普通ポルトランドセメント | 45      | 31       | 152       | 338          | 564         | 1277        | 48.5     | 6.3       | 3.5      |  |
| N452 | 普通ポルトランドセメント | 45      | 31       | 152       | 338          | 564         | 1277        | 39.7     | 8.0       | 4.8      |  |
| N55  | 普通ポルトランドセメント | 55      | 34       | 152       | 276          | 634         | 1258        | 46.9     | 8.0       | 4.5      |  |
| N65  | 普通ポルトランドセメント | 65      | 34       | 152       | 234          | 647         | 1279        | 52.9     | 9.2       | 5.1      |  |

注. N451, N452は各々実験Ⅰ, 実験Ⅱの配合である

表-3 鉄筋材料の性質

| 種類     | 鉄筋種類          | 鉄筋径 (mm) | 記号     | 機械的性質         |                |         |
|--------|---------------|----------|--------|---------------|----------------|---------|
|        |               |          |        | 降伏点 (kgf/cm²) | 引張強度 (kgf/cm²) | 伸び率 (%) |
| 主鉄筋    | 熱間圧延異形棒鋼      | 6        | SD30A  | 3300          | 5200           | 27      |
| 主鉄筋    | 熱間圧延棒鋼1種      | 6        | SR24   | 3360          | 4980           | 55      |
| スターラップ | オースサイト系ステンレス鋼 | 4        | SUS304 | —             | 5910           | 51      |

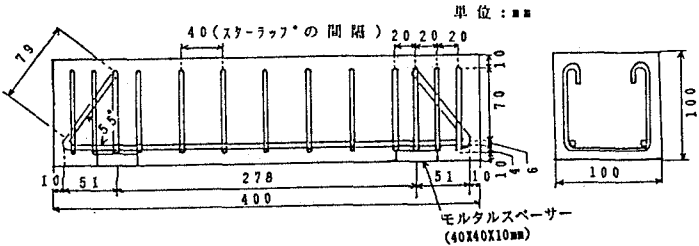


図-2 供試体の形状寸法

2.2.2 形状寸法

図-2に供試体の形状寸法を示す。耐力試験が可能のように鉄筋の定着長を確保するために鉄筋を支点の外側で図のように折り曲げた。また、正確に鉄筋のかぶりの10mmに確保するためと載荷の際の支持が確実に行えるように支点位置に水セメント比40%のスペーサーを打ち込み前にセットした。打ち込みは、2層に分けて行い、バイブレーターを使用した。強度試験用供試体はΦ10x20cmを用いた。

2.2.3 試験方法

(1)水中凍結融解試験方法

実験条件の内、凍結融解試験は、ASTM-C666に準拠した水中急速凍結融解試験とした。凍結融解開始材令は28日である。

(2)電食試験方法

電食試験方法を表-4に示す。試験開始材令は、28日である。

(3)曝露試験方法

曝露試験地は、凍結融解と海水の影響を受ける網走の樽浦海岸と凍結融解のみ受ける内陸の北見市内の建物の屋上(北見工大)で、現在も継続中である。

(5)載荷試験方法

載荷試験方法を図-3に示す。

2.3解析方法

試験による内的要因と外的要因の影響と劣化指標の低下の関係を重回帰分析により整理し各要因と各劣化指標との関係を求める。

なお、内的要因として水セメント比を、外的要因として凍結融解回数を取り上げた。

表-4 電食試験条件

|           |                                                  |
|-----------|--------------------------------------------------|
| 実験方法      | 可変電圧定電流電食装置により直供で5Vの一定電圧を供試体に渡し供試体の電位を定期的に腐食させる。 |
| 供試体寸法(cm) | 角柱(10×10×45)                                     |
| 測定項目      | 電位                                               |
| 試験腐食面積    | 鉄筋露出面積率(%)                                       |
| 鉄筋直径      | 鉄筋欠損率(%)                                         |

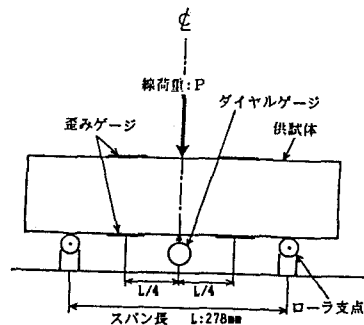


図-3 載荷試験方法

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 実験結果

##### 3.1.1 凍結融解試験結果

##### (1) 凍結融解回数と質量変化率の関係

水中凍結融解試験による凍結融解回数と質量変化率の関係を図-4に示す。

##### (2) 凍結融解回数と超音波伝播速度の関係

水中凍結融解試験による凍結融解回数と超音波伝播速度の関係を図-5に示す。

水中凍結融解試験による凍結融解回数と剝離度の関係を図-6に示す。

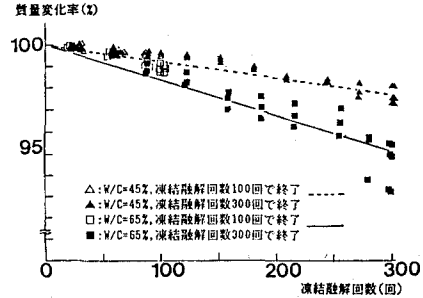


図-4 凍結融解回数と質量変化率の関係(水中凍結融解)

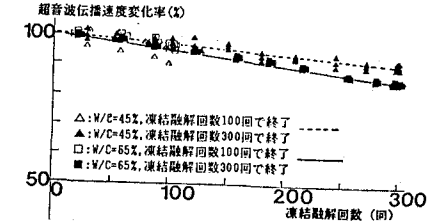


図-5 凍結融解回数と超音波伝播速度変化率の関係(水中凍結融解)

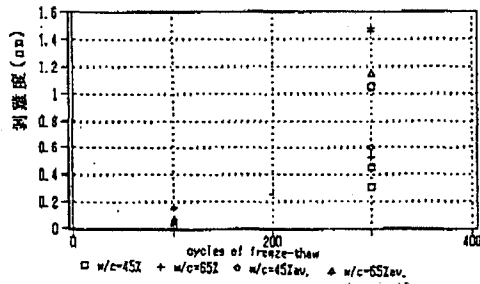


図-6 凍結融解回数と剝離度の関係

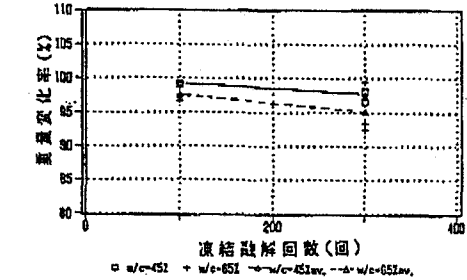


図-7 電食試験後の凍結融解回数と質量変化率の関係

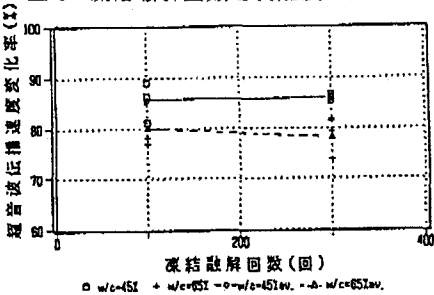


図-8 電食試験後の凍結融解回数と超音波伝播速度変化率の関係

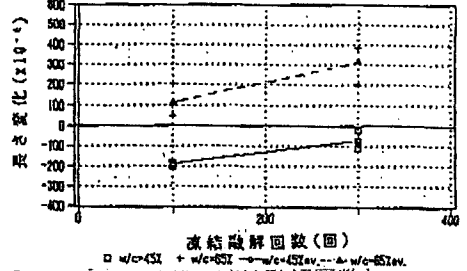


図-9 電食試験後の凍結融解回数と長さ変化の関係

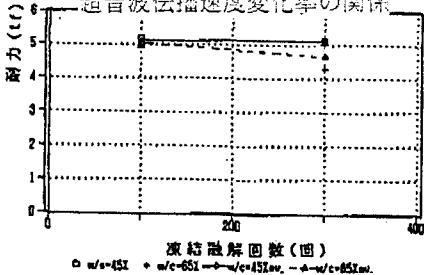


図-10 電食試験後の凍結融解回数と耐力の関係

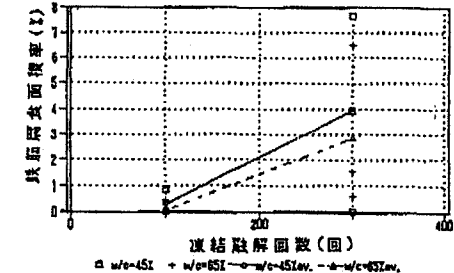


図-11 電食試験後の凍結融解回数と鉄筋腐食面積率の関係

### 3.1.2電食試験後の劣化指標の測定結果

電食試験後の凍結融解回数と質量変化率の関係を図-7に示す。電食試験後の凍結融解回数と超音波伝播速度変化率の関係を図-8に示す。電食試験後の凍結融解回数と長さ変化率の関係を図-9に示す。

### 3.1.3耐力試験結果

電食試験後の凍結融解回数と耐力の関係を図-10に示す。凍結融解回数の増加により耐力が低下している傾向を示している。

### 3.2考察

表-5に各要因と劣化指標の関係を重回帰分析したものを示す。

電食試験後の凍結融解回数と鉄筋腐食面積率の関係を図-11に示す。凍結融解回数が増加するにしたがって鉄筋腐食面積率が増加し、表層のコンクリートが鉄筋を保護するかぶりとしての性能が低下している傾向が現れている。電食試験後の凍結融解回数と積算電流の関係を図-12に示す。凍結融解回数の増加にともない鉄筋腐食を発生させる積算電流も増加の傾向を示している。積算電流と腐食面積率の関係を図-13に示す。腐食の発生は水セメント比が大きい程増加する傾向が現れており、これは積算電流の他に水セメント比も腐食程度に影響を与える重要な要因であることを示している。電食試験後の剝離度と鉄筋腐食面積率の関係を図-15に示す。剝離度と積算電流の関係を図-14に示す。剝離度と鉄筋腐食面積率と積算電流のばらつきは大きいが、鉄筋の腐食程度がまだ小であることなどが一因と考えられる。

質量変化率と剝離度の関係を図-16に示す。質量の低下とともに剝離度が増加している傾向が現れている。これは剝離度が剝離深さに剝離面積を乗じてこれを測定全面積で除したもので定義されており剝離した体積を示しているためである。電食試験後の超音波伝播速度変化率と耐力関係を図-17に示す。超音波伝播速度が低下すると耐力が減少する傾向が認められる。これは超音波伝播速度がコンクリートの強度特性の低下を示しているように鉄筋とコンクリートの付着強度やコンクリートの圧縮強度の低下が耐力に影響したものと考えられる。

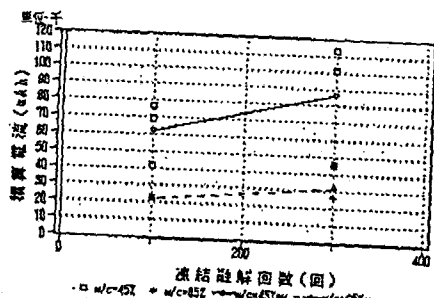


図-12 電食試験後の凍結融解回数と積算電流の関係

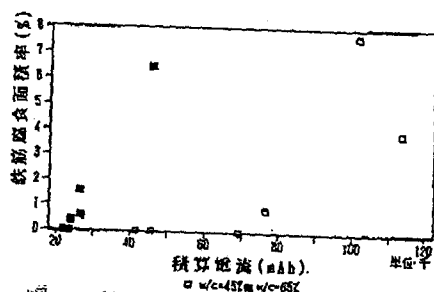


図-13 積算電流と鉄筋腐食面積率の関係

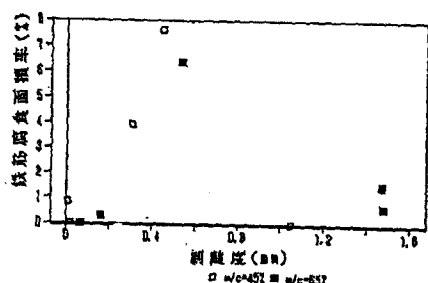


図-14 電食試験後の剝離度と腐食面積率の関係

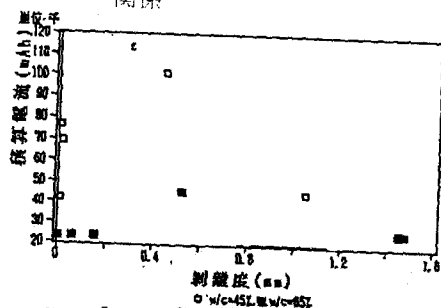


図-15 電食試験後の剝離度と積算電流の関係

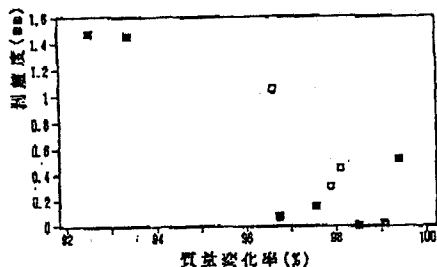


図-16 電食試験後の質量変化率と剝離度の関係

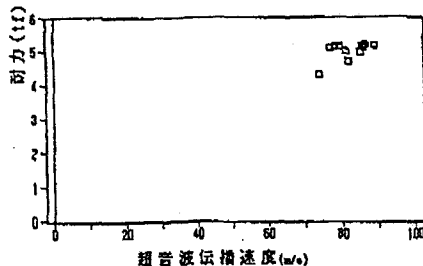


図-17 電食試験後の超音波伝播速度と耐力の関係

表-8 重回帰分析結果

|       | WBC<br>水化率               | CYCLE<br>凍結融解回数          | LENG<br>長さ変化              | WEIGHT<br>質量              | DYNAM<br>動弾性              | ULTRAN<br>超音波             | ULTRAG<br>超音波(コムパコン使用)                        |
|-------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|
| WBC   | 1.00000<br>0.0000<br>420 | 0.00399<br>0.9350<br>420 | -0.45191<br>0.0001<br>420 | -0.50209<br>0.0001<br>420 | -0.65967<br>0.0001<br>144 | -0.35659<br>0.0001<br>372 | -0.46096 (重相関係数)<br>0.0001 (F値)<br>138 (データ数) |
| CYCLE | 0.00399<br>0.9350<br>420 | 1.00000<br>0.0000<br>420 | 0.01603<br>0.7433<br>420  | -0.73286<br>0.0001<br>420 | -0.30055<br>0.0003<br>144 | -0.48807<br>0.0001<br>372 | -0.70690<br>0.0001<br>138                     |

### 3.3 今後の課題

促進試験の促進の程度を評価するため曝露試験と促進試験の比較を行い、また促進試験の変動の幅を把握するため再現性確認の実験と及び分散分析による検討確認を行っている。

### 4. まとめ

寒冷地の鉄筋コンクリート部材の経年変化と性能変化のモデル化の研究の結果以下のことが明らかになった。

- 1) 電食試験後の凍結融解回数と耐力の関係は凍結融解回数の増加により耐力が低下する傾向を示している。
- 2) 電食試験後の凍結融解回数と鉄筋腐食面積率の関係は、凍結融解回数が増加するにしたがって鉄筋腐食面積率が増加し、表層のコンクリートが鉄筋を保護するかぶりとしての性能が低下している傾向が現れている。
- 3) 電食試験後の凍結融解回数と積算電流の関係は、凍結融解回数の増加にともない積算電流が増加する傾向を示している。

### 謝辞

本研究を実施するに当たって御指導と御協力を頂いた北見工業大学林正道学長に感謝いたします。また、昭和63年度文部省科学研究費補助金奨励研究(A)の助成、小沢コンクリート工業(株)及び北見工業大学卒論生の森、守口、大戸及び柴田君等他の御協力に感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 桜井宏、鮎田耕一、佐伯昇、藤田嘉夫、岡田包儀: 凍結融解と鉄筋腐食によるRC部材の劣化に関する研究、寒地技術シンポジウム'87 講演論文集, pp.473-487, 1987
- 2) 桜井宏、鮎田耕一、佐伯昇、岡田包儀、藤田嘉夫: コンクリート構造物の耐久性評価のためのモデル化実験、土木学会北海道支部論文報告集, pp.553-556, 1988
- 3) 桜井宏、鮎田耕一、佐伯昇、藤田嘉夫: 凍結融解と鉄筋腐食によるRC部材の経年変化推定に関する研究、寒地技術シンポジウム'88 講演論文集, pp.491-496, 1988