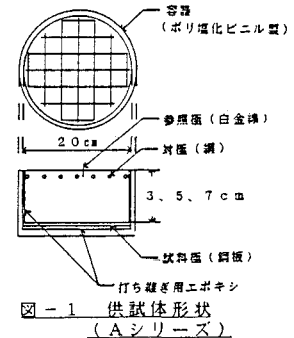


## コンクリートの酸素透過性と 鋼材腐食に関する研究

電力中央研究所 正員○松村卓郎 京都大学 正員 井上 晋 京都大学 正員 宮川豊章  
京都大学 正員 小林和夫 京都大学 正員 藤井 学

1. まえがき コンクリート中への塩化物の浸透、蓄積あるいはコンクリートの中性化により鋼材が腐食可能状態となった後、鋼材腐食は酸素および水分の供給により腐食生成物の生成、蓄積過程へと進展して行く。一般にこの鋼材腐食の進行速度は酸素の供給に律速され则认为られている。本研究では鋼材腐食時の鋼材表面における酸素の消費とそれとともなう酸素の拡散をモデル化し電気化学的手法を用いてコンクリート中での酸素透過性を検討したものである。

2. 実験概要 供試体は一面からのみ酸素が侵入、拡散できるものとし、供試体内部に試料極として鋼板を用いて酸素の拡散を一次元的に調べようとするもの（Aシリーズ、図-1）と現実の構造物に一般的に用いられることの多い鉄筋を試料極としたもの（Bシリーズ、図-2）の2シリーズを作製し、かぶりがコンクリートの酸素透過性に与える影響を調べるため両シリーズともにかぶり 3, 5, 7cm の3レベルを設定した。コンクリートは基本の水セメント比を 50%とし、材令3日まで密封養生を行った。なお、セメントは早強ポルトランドセメントを用いた。



Aシリーズではコンクリートの密実性が酸素の透過性に与える影響を調べるために「コンクリート標準示方書〈施工編〉20章 海洋コンクリート」

の配合を参考に水セメント比 30, 40, 50, 60%の4種のコンクリートを用いた。コンクリートの配合を表-1に示す。このうち水セメント比 50%のものについては密封養生、水中養生、気中養生各3日間の3種類を設定した。さらに、コンクリート表面樹脂ライニングが酸素透過性に与える影響を調べるために、現在一般に用いられているものとしてビスフェノールA系エポキシ樹脂を基材としたもの（略称エポキシ）、ひびわれ追従性が期待されているポリブタジエン系ウレタン樹脂を基材としたもの（略称ウレタン）、その発水性が期待さ

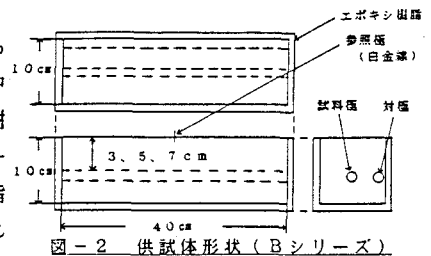


表-1 コンクリートの示方配合

| W/C (%) | スラブの厚さ (cm) | 空気量 (%) | s/a (%) | 最大粗骨材寸法 (cm) | 単位量 (kg/m³) |     |     |      | 水和剤 (g/m³)                           |
|---------|-------------|---------|---------|--------------|-------------|-----|-----|------|--------------------------------------|
|         |             |         |         |              | セメント        | 水   | 細骨材 | 粗骨材  |                                      |
| 30      | 7~10        | 4±1     | 35      | 15           | 800         | 180 | 531 | 1024 | 5800 (高性能減水剤...)                     |
| 40      |             |         | 55      |              | 380         | 144 | 992 | 843  | 7000 (高性能減水剤...)<br>1440 (空気量調整剤...) |
| 50      |             |         | 55      |              | 360         | 180 | 942 | 799  | 1800 (A型減水剤...)                      |
| 60      |             |         | 55      |              | 360         | 216 | 880 | 757  | 1440 (空気量調整剤...)                     |

\*) N.L. 1450

\*\*) 303A

\*\*\* No. 70

注) 単位水量は水和剤を含む

Bシリーズでは配筋方向が透過性に与える影響を調べるため

にはりやスラブなどを想定した水平配筋、柱などを想定した垂直配筋のものをそれぞれ作製した。鉄筋として黒皮付き異形丸棒 (D13 SD35) を用いたが黒皮の影響を調べるためにみがき丸棒を用いたものも作製した。なお、両シリーズとも温度一定 (約20℃)、相対湿度85±5%の環境条件で試験を行った。

供試体中の溶存酸素が腐食反応により陰極還元されるような場合には、陰極反応は拡散律速的になり、分

Takuro MATUMURA Susumu INOUE Toyoaki MIYAGAWA Kazuo KOBAYASHI Manabu FUJII

極曲線は電位軸に平行な限界電流を示す。実験方法は、まず、自動分極装置により供試体を  $-200\text{mV} \sim -2000\text{mV}$ 、Ptの範囲で、 $-0.08\text{mV/S}$  の速度で分極試験を行い、限界電流密度  $i_l$  を与える電位  $E_l$  を求め、ポテンシオスタットにより供試体内試料極を電位  $E_l$  に保持した。電流は無抵抗電流計を用いて対極とポテンシオスタットの間で測定した。試験期間は 8~15 日とし定常値を限界電流として求めた。

**3. 実験結果および考察** 試料極における単位面積当りに単位時間に到達する酸素の量（酸素拡散率）と電流の関係はファラデーの法則により次式で表される。

$$J = i / (nAF) \quad \dots (1)$$

$J$  : 酸素拡散率、 $i$  : 限界電流、 $A$  : 電極面積、

$n$  : 原子価 (=4)、 $F$  : ファラデー定数 (96500)

式 (1) より求めた酸素拡散率を図-3~6に示す。かぶりが 3~7cm の範囲では酸素の透過性に与えるかぶりの顕著な影響は認められなかった。ライニングを施すと酸素の透過性は小さくなり、その効果は、エポキシ>ウレタン>シラン+PCMの順となった。コンクリートの水セメント比を小さくすると密実なコンクリートとなるため酸素の透過性は小さくなる。養生条件は酸素の透過性に影響を与え水中養生3日のコンクリートは密封養生3日のものより透過性は小さく、配筋方向が透過性に与える影響は小さかった。また、酸素還元以外の反応が黒皮の存在により生じている可能性があるようである。

拡散の基本式はフィックの法則により次式で表される。

$$J = -D \frac{dC}{dx} \quad \dots (2)$$

$D$  : 拡散係数、 $dC/dx$  : 濃度勾配

電極表面では酸素が全て消費され、コンクリート表面の酸素濃度は空気中の酸素濃度と同じであるとすると、コンクリート中の拡散係数が一定であると見なした場合の見かけの酸素拡散係数  $D_1$  は式 (2) より次式のように表すことができる。

$$D_1 = J \cdot x / C_a \quad \dots (3)$$

$C_a$  : 空気中の酸素濃度 ( $= 8.93 \cdot 10^{-6} \text{mol O}_2 / \text{cm}^3$ )、 $x$  : かぶり

式 (3) より求めたAシリーズの  $D_1$  を図-7~8に

示す。  $D_1$  は  $10^{-5} \sim 10^{-7} \text{cm}^2 / \text{sec}$  の範囲にあり、かぶりが大きくなると  $D_1$  は増大する傾向にある。酸素はコンクリートの孔隙中を気体分子としてあるいは孔隙水中を溶存酸素として拡散する。孔隙の含水量はコンクリート表面から内部にいくにしたがって大きくなり、加えて孔隙量は小さくなる。空気中の酸素の拡散係数が水中のそれに比べて約  $10^5$  倍大きいことから拡散係数はコンクリート中で一定ではなく鋼板近傍に拡散係数の非常に小さな層がある可能性が高い。したがって、コンクリートの酸素透過性は見かけの拡散係数よりも拡散率を用いて評価する方が適切であると考えられる。

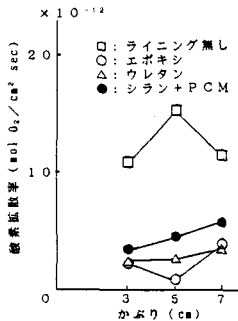


図-3 ライニング仕様が酸素拡散率に与える影響

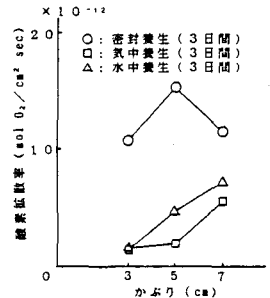


図-4 養生条件が酸素拡散率に与える影響

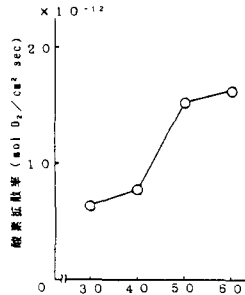


図-5 水セメント比が酸素拡散率に与える影響

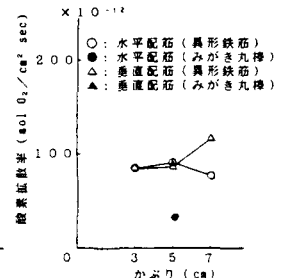


図-6 配筋方向が酸素拡散率に与える影響

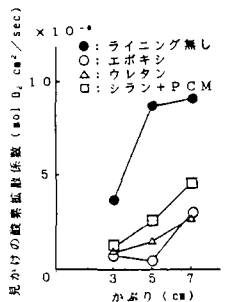


図-7 ライニング仕様が見かけの酸素拡散係数に与える影響

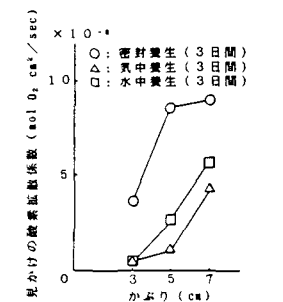


図-8 養生条件が見かけの酸素拡散係数に与える影響