

V-372

ひび割れを有するコンクリートの気体透過抵抗性

千曲建設工業 正会員 佐藤博之
 長岡技術科学大学工学部 正会員 下村 匠
 長岡技術科学大学大学院 学生会員 青山敏幸

1. はじめに

塩害をはじめとするコンクリート構造物の劣化現象の予測には、コンクリート中における腐食物質の移動の評価が重要である。供用中のコンクリート構造物には種々の原因によりひび割れが発生するため、ひび割れを有したコンクリートの物質透過を評価しなければならない。本研究では、種々の形態のひび割れを有したコンクリートおよびコンクリート部材の平均的な気体透過抵抗性について、数値解析による検討を行った。

2. ひび割れを含むコンクリート要素中の水蒸気の拡散

コンクリート中の気体透過現象のうち、構造物の劣化現象に重要と考えられる拡散透過を本研究では対象とする。すなわち気相全体の質量中心は静止しており、常圧かつ一様な圧力分布であり、気相中を各成分が分子の相互拡散により移動する現象を考える。以下では、気体として水蒸気を考える。

対象とするコンクリートのひび割れは、乾燥収縮ひび割れ、曲げひび割れ、腐食ひび割れなどであり、ひび割れ幅は水蒸気分子の平均自由行程よりも通常十分大きい範囲である。したがって、分子と壁との衝突の影響は小さいと考えられる。またひび割れ経路の屈曲の程度、ひび割れ面の凹凸の程度がひび割れ内の気体の分子拡散に及ぼす影響は考慮しない。

以上の仮定に基づき、ひび割れを有したコンクリート要素の平均水蒸気拡散係数を定式化する。ひび割れが生じている単位厚さのコンクリート要素を考える（図-1）。要素を透過する水蒸気の総量は、健全な部分を透過する量とひび割れ部分を透過する量との総和で表されるので、要素の平均水蒸気拡散係数は次式により評価される。

$$\bar{D}_v = D_v + \varepsilon D_{vo} \quad (1)$$

ここに、 D_v ：ひび割れを生じていないコンクリート中の水蒸気拡散係数、 ε ：コンクリート要素の平均ひずみ（ $= \sum w_i / l$ ）、 D_{vo} ：自由な空間における水蒸気の拡散係数である。本方法によれば、ひび割れの影響は区間内に含まれるひび割れ幅の総和を区間幅 l で除した平均ひずみにより表されることとなる。

3. ひび割れを有したコンクリート壁の水分透過抵抗性

コンクリート構造物の耐久性評価には、かぶりコンクリートの平均的な物質透過抵抗性が重要な指標となる。ここでは、ひび割れの状態と部材の平均水分透過抵抗性の関係について解析的に検討する。ひび割れが生じていないコンクリート中の水分移動は著者らが提案した気液二相の水分の移動を考慮した解析手法[1]により評価し、ひび割れ部分における水分の移動は式(1)に基づき評価する。

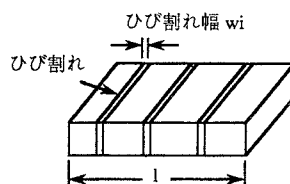


図-1 ひび割れを含むコンクリート要素

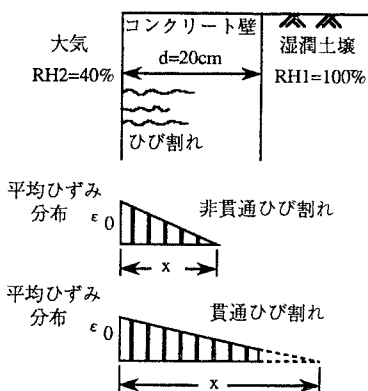


図-2 ひび割れを有したコンクリート壁

キーワード：ひび割れ、気体透過抵抗性、平均ひずみ、平均水分拡散係数

〒386-12 長野県上田市諏訪形 973-1 TEL 0268-22-3835 FAX 0268-25-5587

〒940-21 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 TEL 0258-47-9603 FAX 0258-47-9600

解析対象は図-2 に示すように、一方向に水分の移動が生じる壁状構造物（厚さ $d=20\text{cm}$ ）とした。初期条件は部材のすべての部分を飽水状態とし、両端の境界条件は相対湿度 $RH_1=100\%$ の湿潤状態の土壌と、相対湿度 $RH_2=40\%$ の大気とした。前章における考察に基づき、ひび割れ幅は平均ひずみにより表現した。ひび割れが表面から内部に向かって進展する状態を想定し、部材の厚さ方向に平均ひずみを線形に変化させた。

解析の結果、部材内の水分の分布の経時変化が得られる。十分に時間が経過すると定常状態となり、部材を通過する水分流束も一定となる。定常状態における水分流束 J_w をもとに、次式により部材の平均水分拡散係数を評価した。

$$\bar{D}_w = -J_w \frac{d}{RH_2 - RH_1} \quad (2)$$

表面の平均ひずみ $\bar{\epsilon}_0$ 、ひび割れの深さ x をパラメトリックに変化させた場合の、部材の平均水分拡散係数を図-3 に示す。平均水分拡散係数は、ひび割れが生じていない場合の水分拡散係数により正規化している。この結果より以下のことが示唆される。

- (1) ひび割れ幅が小さい（平均ひずみが $100\ \mu$ 程度以下）場合、ひび割れの深さ、ひび割れの貫通・非貫通に関わらず、部材の平均水分透過抵抗性はあまり変化しない。
- (2) ひび割れ幅が大きい（平均ひずみが $1000\ \mu$ 程度）場合であっても、ひび割れ深さが部材厚さの $3/4$ 以下であれば、残りの健全な部分の貢献により、部材の平均水分透過抵抗性は確保される。
- (3) 幅が大きい（平均ひずみが $1000\ \mu$ 程度）ひび割れの貫通は部材の水分透過抵抗性を著しく低下させる。

4. 塩害によるコンクリート中の鉄筋の腐食の解析

著者らが開発中の塩害による構造物の劣化過程解析プログラム[2]に本研究の成果を組み込み、腐食ひび割れ発生後の水分移動をひび割れ幅に応じて評価することの影響を検討する感度解析を行った。かぶり厚さを 5cm 、鉄筋径を 20mm とした。初期状態はひび割れが生じていない健全な状態とし、以後海水による湿潤と乾燥（相対湿度 60% ）が 10 日ごとに繰り返されるとした。かぶりコンクリート中の水分と塩化物イオンと酸素の移動を考慮した。腐食生成物の堆積による腐食ひび割れの発生は弾性解析に基づき予測し、その後のひび割れ幅の増大は剛体モデルにより評価した。ひび割れ発生後は水分の拡散係数を各場所のひび割れ幅に応じて変化させた。

得られた時間と腐食量の関係を図-4 に示す。比較のため、腐食ひび割れ発生後もかぶりコンクリートの物質移動抵抗性が変わらないとする方法（A）、本研究による方法（B）、ひび割れ発生後はかぶりコンクリートの物質移動抵抗性を無視する方法（C）による解析結果をあわせて示す。本研究による方法による解析結果（B）は、A法とC法の間となり、C法による結果に近くなった。用いたひび割れモデルによると、腐食ひび割れが発生すると同時に鉄筋に到達し、ただちに大きなひび割れ幅となると予測されるためである。

参考文献

- [1] 下村 匠, 前川宏一: 微視的機構に基づくコンクリートの乾燥収縮モデル, 土木学会論文集, No.520/V-28, pp.35-45, 1995.8
- [2] 濱田 宏, 丸山久一, 下村 匠, 青山敏幸: 腐食性環境下における鉄筋コンクリート構造物の劣化予測モデル, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, 1997 (投稿中)

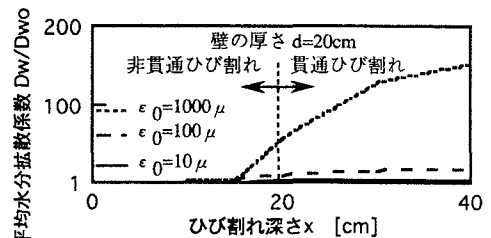


図-3 コンクリート壁の平均水分拡散係数

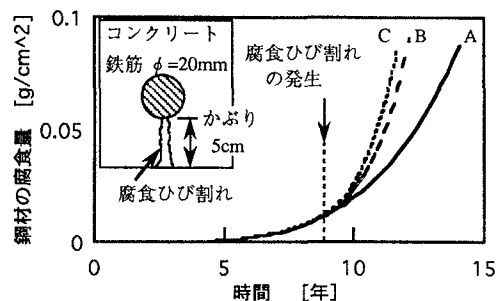


図-4 時間と鋼材の腐食量の関係