

鹿島技術研究所 正会員 横関 康祐
 鹿島技術研究所 正会員 ミス・ステイーブル
 鹿島技術研究所 正会員 須田久美子
 鹿島技術研究所 正会員 本橋 賢一

1. まえがき

塩害を受けるRC構造物の耐久性設計の観点から、腐食ひびわれの発生時期が一つの寿命と考えられている。腐食ひびわれ発生期間は、外部から浸透した塩分が鉄筋周辺に蓄積される期間と、鉄筋の腐食開始からかぶり表面に腐食ひびわれが発生するまでの期間Tに分けられる。このうち、筆者らはTに着目し、図-1に示すような推定ツールの開発を進めている。図中、右側の限界腐食量(腐食ひびわれ発生時の腐食減量)の推定については、既に解析的に求める方法を示し¹⁾、暴露調査等によりコンクリート中に生成される鉄錆の物理的性質を検討してきた²⁾。

本論文は、酸素拡散支配による腐食を想定した時のTとかぶり厚さLの関係について、表-1に示す解析条件の基で検討したものである。

2. 腐食速度

鉄筋の腐食速度は曲げひびわれの存在や環境条件に応じて律速形態が様々な変化すると考えられるが、ここでは、酸素拡散によって支配される場合を想定した。鉄筋位置にある酸素がすべて腐食反応に消費されるとし、コンクリート中で酸素の濃度勾配すなわち酸素拡散率Jが一定になると仮定すると、Jは表面酸素濃度C_B、コンクリートの酸素拡散係数D及びLを用いて図-1中の式で表わせる。

また、Jから腐食速度への換算は暴露試験により得られた鉄錆成分の含有割合²⁾と生成経路³⁾を考慮して行なった。すなわち腐食反応の化学式から2価の錆及び3価の錆1molを生成するには1/2mol、3/4molの酸素が必要であり、そこから求められる必要酸素量と供給される単位時間当りの酸素量が等しくなると仮定すれば、酸素拡散支配の腐食速度を求めることができる⁴⁾。

図-2に酸素拡散率J及び腐食速度とかぶり厚さの関係の計算結果を示す。C_Bは気中の酸素濃度の21.3%と水中に空気が飽和したときの溶存酸素濃度の0.64%⁵⁾を、Dは既往の文献⁶⁾⁷⁾を参考にして0.16×10⁻⁴及び1.0×10⁻⁴cm²/secの2水準を用いた。Jと腐食速度が比例関係にあることから、Jの式より酸素拡散支配の腐食速度はLに反比例して減少することが分かる。

3. 限界腐食量

限界腐食量の計算は図-1に示すとおり、コンクリートを弾

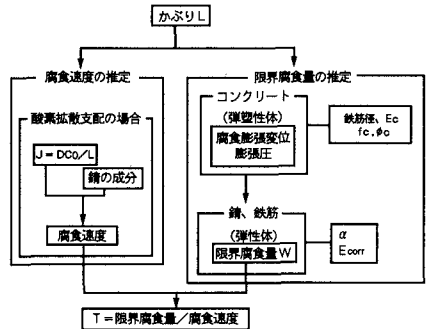


図-1 腐食ひびわれ発生期間(T)推定フロー

表-1 解析条件一覧表

パラメータ	入力値
酸素濃度	0.64, 21.0 (%)
酸素拡散係数	0.16, 1.0 (×10 ⁻⁴ cm ² /sec)
かぶり厚さ	2.0~10.0 (cm)
引張強度 ¹⁾	25.0 kgf/cm ²
弾性係数 ¹⁾	2.5×10 ⁵ kgf/cm ²
クリープ係数 ¹⁾	2.0
腐食膨張率 ²⁾	2.0~4.0
弾性係数 ²⁾	2.5×10 ³ kgf/cm ²
鉄筋径 ²⁾	2.0 cm

1) コンクリート 2) 錆 3) 鉄筋

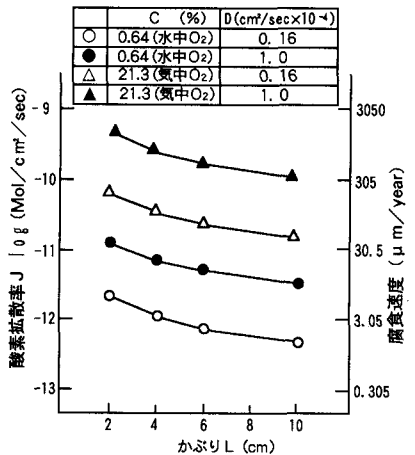


図-2 酸素拡散率J、腐食速度とかぶり厚さLの関係

塑性体、鉄筋及び錆を弾性体と仮定して行い、コンクリートのクリープは見掛けの弾性係数を低減させることで考慮した¹⁾²⁾。図-3に鉄筋径を2cmとした場合の限界腐食量とかぶり厚さLの関係を示す。図中に解析モデルと解析条件を併記した。限界腐食量はLが大きくなるに従って増加するが、Lが6cm以上になると増加の割合が少なくなった。これはひびわれの進展モードの違いによるもので、すなわち、 $L \leq 4$ cmの場合は内部から進展したひびわれがかぶり表面に達するのに対し、 $L \geq 6$ cmの場合には、内部ひびわれがかぶり表面に達する前に、内部膨張応力の不均一さに起因してかぶり表面側に曲げ引張応力が発生するため、かぶり表面から内部に向かうひびわれが生じるという経過をたどった。また、限界腐食量は鉄錆の体積膨張率 α によって大きく変化するが、コンクリート中の鉄錆の成分分析の結果から、少ないデータではあるものの α は3.0~3.2の範囲にあることが推定されたため²⁾、以下のTの計算には $\alpha=3.2$ を用いた。

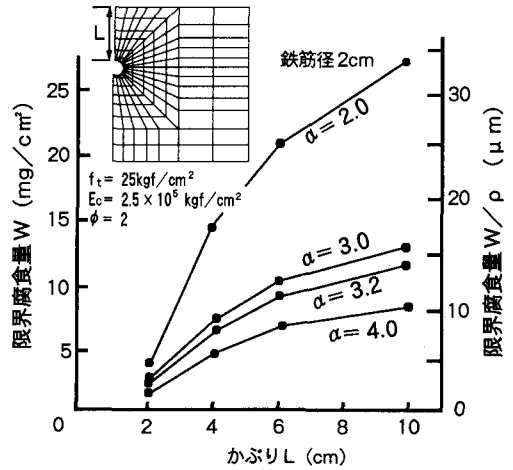


図-3 限界腐食量とかぶり厚さLの関係

4. 腐食ひびわれ発生期間T

図-1に示すとおり、3節で得られた限界腐食量を2節で得られた腐食速度で除すことでTが得られる。 C_0 及びDをパラメータにとって試算したTとかぶり厚さLの関係を図-4に示す。同図から、Lが2cmから10cmの範囲で、Tはほぼ直線的に増大することが分かる。これは、腐食速度がLに反比例するのに対し、限界腐食量の増加率はかぶりの増加に伴って減少するため、両者の影響が相殺し合うことによる。

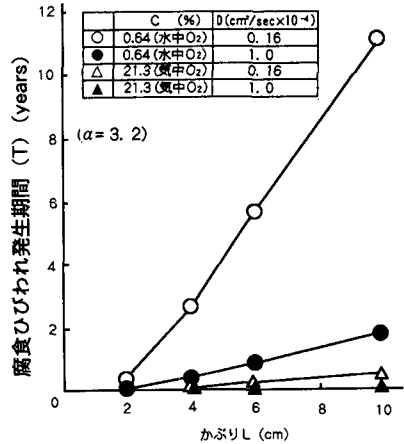


図-4 T期間とかぶり厚さLの関係 ($\alpha=3.2$)

5. まとめ

酸素拡散支配で全面腐食を想定した場合の腐食ひびわれ発生期間Tについて解析的検討を行なった。その結果、かぶり厚さLが大きくなるに従って限界腐食量は大きくなるが、鉄筋径2cmの場合、Lが6cm以上になると、増加の割合が少なくなること。また、この関係と腐食速度がLと反比例することが相殺し合い、Lが増えるとTはほぼ直線的に増大することが明らかになった。今後、Tに対する各種パラメータの影響度を耐久性設計に役立てて行くためには、コンクリート中における酸素拡散と腐食挙動を明確にし、環境条件やコンクリートの品質に応じて妥当な表面酸素濃度 C_0 及び酸素拡散係数Dを選定することが必要と思われる。

【参考文献】

- 1) 須田ら：鉄筋の腐食生成物の物理的性質が腐食ひびわれ発生限界腐食量に及ぼす影響、土木学会年講、pp. 520-521、1992. 6
- 2) 須田ら：腐食ひびわれ発生限界腐食量に関する解析的検討、J C I年講、1992. 6
- 3) 三沢：さびの腐食科学、防食技術、No. 37、pp. 501-506、1988
- 4) Slater：ASTM STP 818、pp. 11-13、1983. 12
- 5) 日本化学会：化学便覧 基礎編II、pp. 620-621、1971. 4
- 6) 小林ら：各種セメント系材料の酸素の拡散性状に関する研究(IV)、生産研究、Vol. 38、No. 6、pp. 25-28、1986. 6
- 7) 関ら：コンクリート部材の寿命予測、コンクリート工学、Vol. 29、No. 8、pp. 15-23、1991. 8