

V-248 炭酸化したコンクリート中の鉄筋腐食に及ぼす細孔溶液の移動の影響

ショーボンド建設㈱ 正会員 宇野祐一
千葉工業大学 正会員 小林一輔

1. はしがき

コンクリート中の鉄筋の腐食はその細孔溶液のpHによって大きく左右される¹⁾²⁾。すなわち、細孔溶液のpHが十分高ければ、鉄筋は腐食することがないが、pHが11以下に低下すると鉄筋の周囲に存在する不動態皮膜が破壊され腐食を開始する。この細孔溶液のpHを低下させる原因の主なものとしてコンクリートの炭酸化がある。炭酸化が鉄筋の腐食に関係して論じられる場合の一般的な考え方は、飽和水酸化カルシウムのpHが12.6の強アルカリ性を示すのに対して炭酸化によって炭酸カルシウムとなった部分のpHは8.5程度になるので、この部分に鉄筋が存在すると、鉄筋が腐食しやすくなるというものである。要するにコンクリート表面からの炭酸化深さと鉄筋の腐食とは密接に関連していると考えているのである。これは、コンクリート中における細孔溶液または細孔溶液中のイオンの移動がほとんど行われていない場合には適用できる考え方であるが、実際のコンクリート構造物では程度の差こそあれ上記のような物質移動が行われていると考えるのが妥当である。たとえば、炭酸化が生じている領域であっても、その部分の細孔溶液の水酸化イオン濃度が十分に高ければ鉄筋の腐食は生じないことになる。本文は、鉄筋近傍に常にpHの高い水を供給したシミュレーション供試体の炭酸化実験を通じてこれを検証したものである。

2. 実験概要

実験に使用したセメントは $R_2O=0.57\%$ の普通ポルトランドセメントである。骨材は豊浦産の標準砂を用い、水はイオン交換水を使用した。さらに、鉄筋腐食に及ぼすセメント中のアルカリ分ならびに塩化物イオンの影響を調べるために水酸化ナトリウムをセメントの等価 Na_2O 量が0.9、1.5%になるように、また、塩化カルシウムをJIS A 5308「レデーミクストコンクリート」に定める塩化物の許容量である $0.3kg/m^3$ をモルタルに換算した $1.2kg/m^3$ を最低量として2.4、 $3.6kg/m^3$ になるように練り混ぜ水に溶解して添加した。モルタルの水セメント比は50%とし、フロー値が180になるように単位水量を定めた。供試体は $\phi 5 \times 10cm$ の円柱体とし、図-1に示すように $\phi 6mm$ のみがき丸鋼(SS-41)をかぶり8mmで2本埋め込んだ。この図は、さらに供試体中央部に $\phi 8mm$ の空孔部を設けたモデル供試体のものであるが、その他に空孔部を持たない普通供試体も作製している。これらの供試体は打ち込み後24時間で脱型して外部に露出している鉄筋を下塗り材にエポキシ樹脂を、上塗り材にアクリルウレタン樹脂を使用してコーティングした後、温度 $20^\circ C$ の噴霧室内で28日間の湿潤養生を行った。養生が終了した供試体は、まず、鉄筋まで炭酸化を起こさせる目的で温度 $20^\circ C$ 、相対湿度60%、 CO_2 濃度10%の条件で10週間の促進炭酸化を行った。その後、温度、 CO_2 濃度の条件は変化させずに、相対湿度96%、60%を各々1週間ずつ、都合2週間で1サイクルとして乾湿繰り返しを行い、鉄筋腐食を促進した。なお、モデル供試体については、中央部に設けた空孔部分からpH=7ならびに水酸化ナトリウムを用いてpH=13に調整した溶液を促進炭酸化期間、乾湿繰り返し期間を通じて連続的に供給した。所定のサイクル数を経過した供試体は、鉄筋埋設面が破断面となるように割裂し、直ちにフェノールフタレイン1%エタノール溶液を吹き付けて、非発色部を炭酸化域として画像解析装置を用いて中央部6cmの部分の炭酸化面積を測定し、その値から平均炭酸化深さを算出した。そ

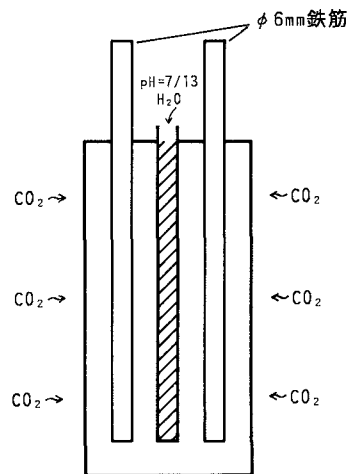


図-1 供試体 (モデル供試体)

の後、鉄筋を取り出して腐食部分をトレースし、埋設部分の中央部 5cm の腐食面積率を画像解析装置を使用して求めた。以後に使用する炭酸化深さという用語は、フェノールフタレインによって求めた炭酸化深さのことである。

3. 実験結果と考察

図-2は、 $R_2O=0.57\%$ 、 $Cl^-=2.4kg/m^3$ の配合を例に取り、乾湿繰り返しサイクル数と炭酸化深さ、

腐食面積率の関係を示したものである。この図より、普通供試体においては、乾湿繰り返しサイクルの進行にともなって炭酸化が顕著に進んでいないにもかかわらず、腐食面積率は着実に増大していることがわかる。すなわち、この場合には鉄筋の周りの不動態皮膜が既に破壊されて鉄筋が活性化状態になっていることが明らかである。また、モデル供試体においては、炭酸化が鉄筋もしくは鉄筋近傍にまで到達しているにもかかわらず、腐食の発生が全く見られないことがわかる。また、この現象は塩化物イオンの有無に関係なく見られる。この理由として、1つは水の供給によって酸素の拡散が制御されていることが挙げられる。しかし、酸素の拡散速度と二酸化炭素の拡散速度を比較した場合、前者の方が速いことから考えて炭酸化が鉄筋表面まで進行している場合には、酸素の拡散も当然鉄筋付近においても活発に行われていると考えられる。したがって、上述の要因は、本実験の結果を説明するものではないと考えられる。このことから、モデル供試体の鉄筋がほとんど腐食していない理由は、細孔溶液の移動にともなって鉄筋近傍のpHが高い値に保持されているためと考えるのが妥当である。

図-3は、乾湿繰り返し17サイクルにおける炭酸化と鉄筋腐食との関係を同供試体から写し取ったものである。この図より明らかなように、モデル供試体においては、最大炭酸化深さが鉄筋を越えて内部まで到達している場合でも鉄筋の腐食が発生していないことがわかる。また、普通供試体の場合には、炭酸化と鉄筋の腐食の間には一応の相関がありそうである。

4. おわりに

本文は、炭酸化と鉄筋腐食の関係について細孔溶液の移動という概念を取り入れてシミュレーション実験を行い、炭酸化が鉄筋位置にまで到達していても、その部分のpHが高い状態に保たれていれば、鉄筋の腐食が生じないことを明らかにしたものである。また、この結果から、特に細孔溶液の移動が活発に行われるような構造物の鉄筋腐食に上記の要因が大きく関与することを示したものである。

なお、本研究は著者が東京大学生産技術研究所に在籍中に実施したものである。

【参考文献】

- 1)Whitman,R., Russel,R. and Altieri,V.:Ind. Eng. Chem., Vol.16, p.665(1924)
- 2)Pourbaix,M.:”Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions”, Pregamon Press, New York(1966)

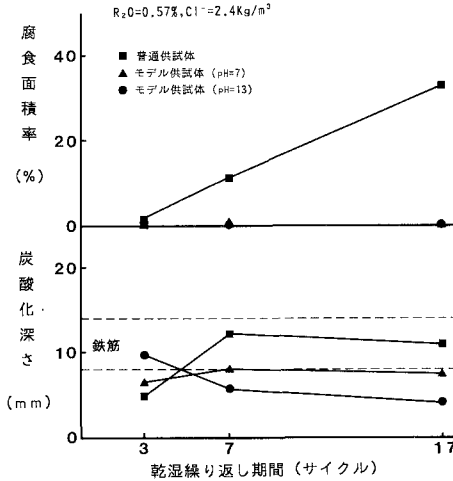


図-2 乾湿繰り返しサイクルと炭酸化深さおよび腐食面積率の関係

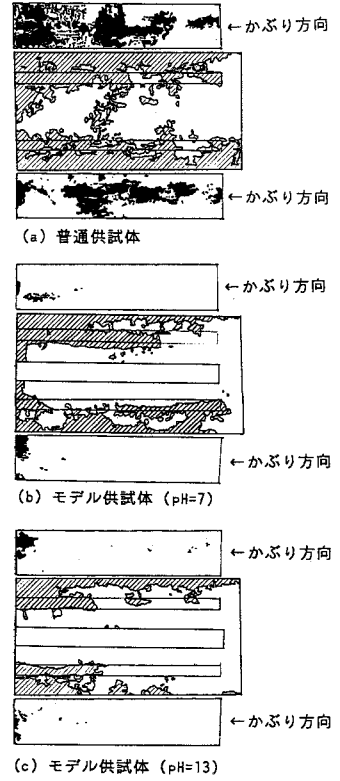


図-3 各供試体における炭酸化と鉄筋腐食の関係 ($R_2O=0.57\%$, $Cl^-=2.4kg/m^3$)