

論文

[1134] コンクリート中の鉄筋腐食速度に及ぼす各種要因の影響に関する実験

正会員 榊田 佳寛 (建設省建築研究所)

正会員 ○掛川 勝 (建設省建築研究所)

正会員 花榮 浩 (セメダイン)

1. はじめに

コンクリート中の鉄筋腐食速度は、コンクリートの品質、塩化物量、中性化の有無、鉄筋のかぶり厚さ等に影響される。これらの要因が鉄筋腐食速度に及ぼす影響については多数の研究[1][2]が行われており、かなり明らかになってきているが、中性化と塩化物とが複合された場合については、まだ十分明かでない。又、温度の影響についても十分明かでない。そこで本研究では、鉄筋を埋め込んだコンクリート試験体を用い、水セメント比、塩化物量、中性化の有無、かぶり厚さを変化させ、温度を変化させた湿潤環境下で腐食促進試験を行い、鉄筋腐食速度に及ぼすこれらの影響を検討した。

2. 実験方法

2. 1 実験計画

(1) 鉄筋腐食要因

鉄筋腐食要因の水準を表-1に、塩化物量と水セメント比の組合せを表-2に示す。塩化物量0.3%は未洗浄の海砂使用の場合の値であり、塩化物量1.0%は実態調査[3]でのほぼ最大値である。水セメント比及びかぶり厚さは、通常の建築物に用いられる範囲を対象とした。

(2) 実験手順

実験の手順を図-1に示す。腐食試験は中性化促進試験を行ったもの及び恒温恒湿室内に保存したものについて行った。中性化促進試験は温度30℃、湿度60%R.H., CO₂濃度5%の条件で行った。恒温恒湿室の条件は温度20℃、湿度60%R.H.である。腐食試験開始時の試験体の中性化深さは表-3に示すようであり、中性化促進試験を約2年半行っても、水セメント比が50, 55%のものはいずれも、かぶり厚さ30mmの鉄筋の位置まで中性化させることはできなかった。腐食試験は、密閉したステンレス槽中に試験体に接しないよう

表-1 鉄筋腐食要因の水準

要因	水準
塩化物量 注)	0, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0 %
水セメント比	50, 55, 60, 65 %
かぶり厚さ	10, 30 mm
中性化	有, 無
試験条件	20, 60℃ 90%R.H. 以上

注) NaCl対砂重量比

表-2 塩化物量と水セメント比の組合せ

W/C (%)	塩化物量 (%)				
	0	0.1	0.3	0.5	1.0
50	-	I	II	II	II
55	-	I	II	II	II
60	I	I	II	II	-
65	I	I	II	II	-

注) I (腐食試験期間); 12カ月
II (腐食試験期間); 6, 12カ月

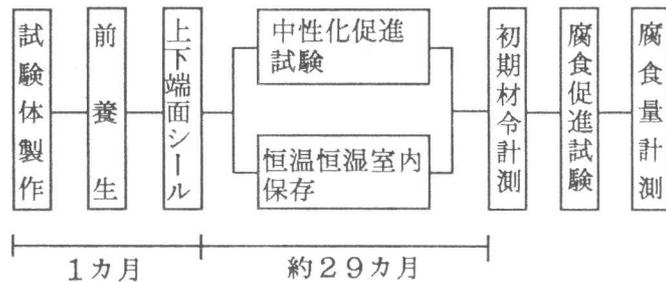


図-1 実験の手順

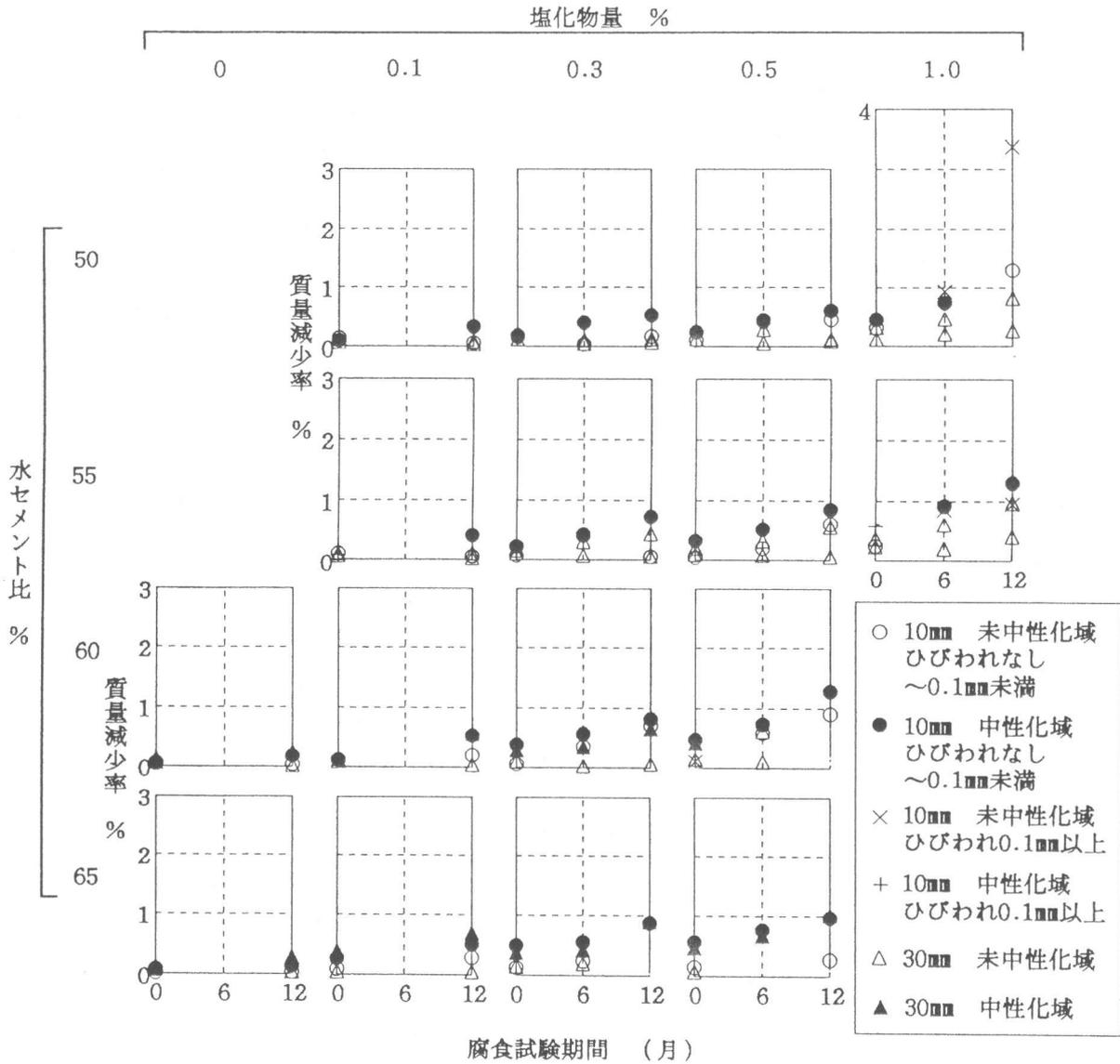


図-3 腐食試験期間と質量減少率の関係 (20°C, 90%R. H. 以上)

黒皮の質量百分率 w_s は、腐食していない鉄筋をダミーとし、鏽落としをするのと同じ時間だけクエン酸アンモニウム水溶液に浸せきして黒皮を落とし、その質量減少率を求めて計算した。

3. 実験結果

腐食試験期間と質量減少率の関係を図-3及び図-4に示す。図中において、コンクリートの中性化深さが、かぶり厚さ未満の場合を未中性化域、かぶり厚さ以上の場合を中性化域として示した。そのため、水セメント比が50~55%では促進中性化試験をしたものにもかかわらず、かぶり厚さ30mmの場合はすべて未中性化域となっている。

いずれの場合にも、鉄筋の質量減少率は腐食試験期間の増加に伴って増大する傾向にある。かぶり厚さ10mmの場合、中性化域にある鉄筋の質量減少率は、一般に未中性化域にあるものより大きい値を示している。しかし、未中性化域にある鉄筋でも幅0.1mm以上のひびわれが発生しているものの中には、中性化域にある鉄筋より大きな質量減少率を示しているものがあり、特に腐食試験温度が60°Cの場合に目立っている。かぶり厚さ30mmの場合の質量減少率は、かぶり厚さ10mmの

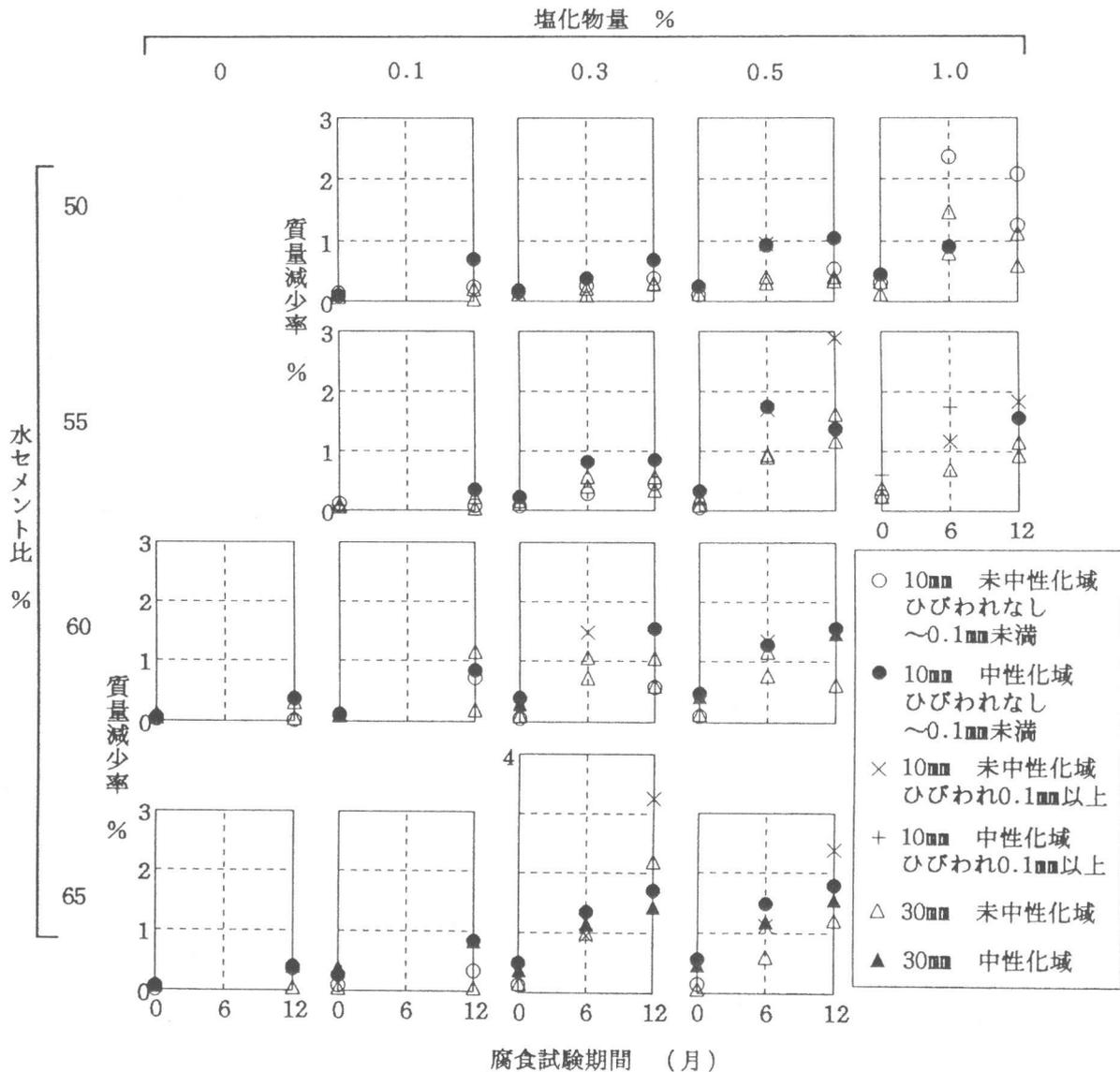


図-4 腐食試験期間と質量減少率の関係 (60°C, 90%R. H. 以上)

ものよりも一般に小さい値を示している。又、腐食試験温度が60°Cのものは、腐食試験温度20°Cのものに比べて一般的に大きい傾向にある。

4. 考察

4.1 腐食速度

図-3及び図-4から各腐食試験期間毎の鉄筋の質量減少率を比べると、試験期間によって逆転していたりして大きなばらつきがある。このため、以下では試験期間を通じての腐食傾向をみるために腐食速度を定義して、これに基づいて考察する。腐食速度を求めるにあたり、まず、ひびわれによる影響が考えられるがひびわれがあると質量減少率は非常に大きな値になることがあり、そのため、ここではひびわれ幅が0.1mm未満のものを対象とする。

鉄筋の質量減少率は、腐食試験期間と共に増加している傾向にあることから、腐食試験期間と質量減少率との関係を直線で近似し、その傾きを腐食速度とする。しかし、鉄筋の腐食は腐食試験開始以前の養生、促進中性化試験中などに既に進行しているため、それらの期間を以下のよう

に考慮した。まず、鉄筋の質量減少率 Δw (%)と腐食試験期間 t (月)との関係を直線式(2)で近似し、 $\Delta w=0$ となる $t=t_0$ を求めた。

$$\Delta w = a \cdot t + b \quad (2)$$

t_0 の値は大きなばらつきがあったが、その中央値を求めると6カ月であったので、これを促進試験期間に加え、実際の腐食試験期間+6カ月を用いて、これを等価な腐食試験期間とした。質量減少率 Δw と等価な腐食試験期間 t との関係を式(3)で近似し、その傾きを腐食速度 q (%/月)とした(図-5)。

$$\Delta w = q t \quad (3)$$

ここで、 q : 腐食速度 (%/月)
 t : 等価な腐食試験期間
 (腐食試験期間+6カ月)

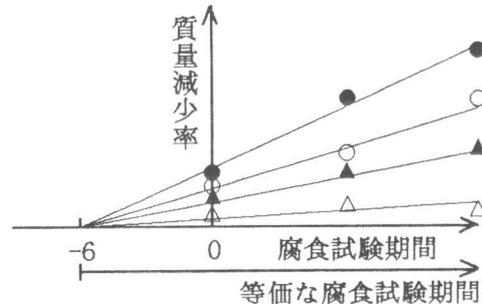


図-5 等価な腐食試験期間

4.2 腐食速度に及ぼす各種要因の検討

図-6は、かぶり厚さ、中性化の有無及び腐食試験温度別に、塩化物量と腐食速度の関係を示したものである。個々の場合をみると、水セメント比が小さい方が腐食速度が大きくなっていった

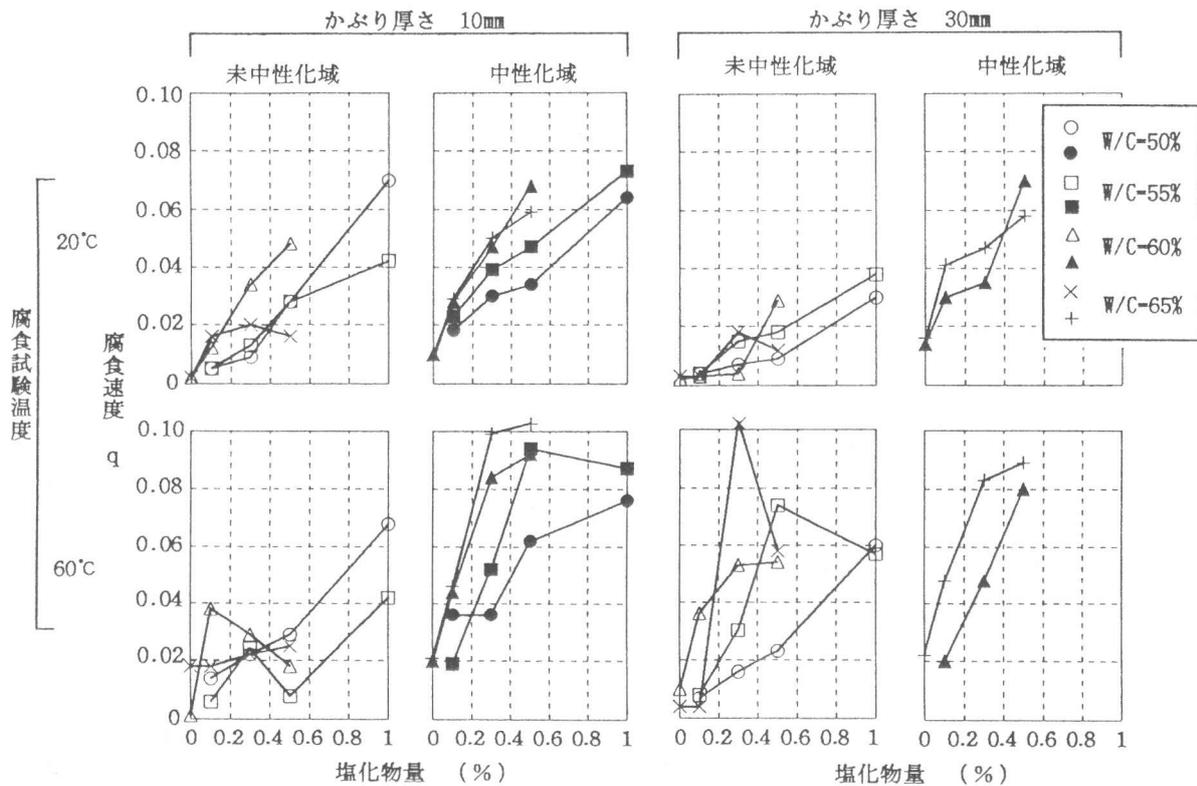


図-6 塩化物量と腐食速度の関係

り、塩化物量が小さい方が腐食速度が大きくなっていきたりする逆転の現象がみられるが、平均的な傾向は以下のようなものである。

(1) 中性化の影響

かぶり厚さが10mmで、腐食試験温度が20℃の場合、中性化域と未中性化域の腐食速度を比べると、塩化物量が0～0.3%の範囲では中性化域の方が未中性化域の2～5倍の大きさとなっているが、塩化物量が0.5～1.0%の範囲では1.5～2倍となっている。このことから塩化物量が大きくなると中性化の有無よりも塩化物量の方が、腐食速度に及ぼす影響が大きくなることが考えられる。かぶり厚さが10mmで、腐食試験温度が60℃の場合には、いずれの塩化物量においても中性化域の腐食速度は未中性化域の2.5～3倍となっている。又、この場合は塩化物量による違いは少なかった。かぶり厚さが30mmの場合は、腐食試験温度が20℃の時、中性化域のものは未中性化域の4～5倍となり、60℃では1.5～2倍程度となっている。以上のことから、腐食速度に及ぼす中性化の影響をまとめて述べると未中性化に対して平均して2～3倍程度大きくなるといえよう。

(2) 温度の影響

腐食試験温度の影響について比較すると、かぶり厚さ10mmで未中性化域では、腐食試験温度が20℃から60℃に変化しても腐食速度は同程度の値となっている。しかし、中性化域では、腐食試験温度60℃での腐食速度は、腐食試験温度20℃の1.5～2倍程度となっている。

一方、かぶり厚さ30mmでは、腐食試験温度60℃での腐食速度は、20℃のものより2～4倍大きい値となっている。更に、中性化域での腐食速度も腐食試験温度60℃のものは20℃のものほぼ1～2倍となっている。従って、腐食試験温度が高くなると腐食速度は大きくなる傾向にあり、腐食試験温度が20℃から60℃になると平均してほぼ2倍程度になる。

(3) かぶり厚さの影響

腐食試験温度20℃において、かぶり厚さが30mmの鉄筋の腐食速度は、かぶり厚さ10mmの1.5～2倍となっており、かぶり厚さの平方根の逆数にほぼ比例していることが認められる。

5. まとめ

(1) 塩化物量が少なく、腐食試験温度が20℃の場合には、中性化域の腐食速度は未中性化域のそれよりも2～5倍程度大きくなるが、塩化物量が大きくなるとその比率は小さくなり、中性化域と未中性化域の腐食速度の違いが小さくなる。

(2) 中性化域の鉄筋腐食速度は、未中性化域のそれに対して平均して2～3倍程度大きくなる。

(3) 鉄筋腐食速度は、腐食試験温度が20℃から60℃になるとほぼ2倍程度大きくなる。

(4) 鉄筋腐食速度は、かぶり厚さの平方根の逆数にほぼ比例する。

参考文献

- 1) 森永 繁：鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究、東京大学学位請求論文、1986.11
- 2) 榊田佳寛、安田正雪、花栄 浩、松林裕二：塩分環境下におけるコンクリートの鉄筋腐食速度に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、V.12, No.1, pp.441-446、1990.6
- 3) 友沢史紀、榊田佳寛、阿部道彦、田中 齊、安田正雪他：鉄筋コンクリート造建築物の塩害実態調査、建築研究報告No.118、1986.11