

室蘭工業大学大学院	学生員	吉田	行
室蘭工業大学工学部	正 員	尾崎	詠
室蘭工業大学工学部	正 員	菅田	紀之

— 1018 —

次に鉄筋モルタル供試体の配合を表-2に、その形状および寸法を図-2に示す。モルタル供試体はセメント、水セメント比、かぶりを一定にし、スチールダスト混入率のみ0、20%の2種類で作成し、自然乾燥、淡水浸漬、海水促進、海水浸漬の4つの異なる環境における各自然電位の傾向を評価するのに用いた。

2.2 実験装置
2.2.1 促進試験装置

本研究で使用した促進試験装置は図-3のように、海水貯水槽、供試体設置水槽、ポンプ、ヒーターとそれらを制御する制御盤からなり、湿潤行程時はポンプにより海水貯水槽から供試体設置水槽に海水が注水され、自然落下により絶えず循環する。乾燥行程時は温度センサーで設定した温度を保つ様にヒーターから温風が送られる。乾燥・湿潤のサイクルは1sec～60hourに設定でき、乾燥温度は室温から50℃まで設定できる。また、平成4年7月から海水用ヒーターが取り付けられ、海水温度の設定が可能となった。本研究では乾燥・湿潤のサイクルを実環境における干満帯の状況および促進効果を考慮し、湿潤行程12時間、乾燥行程12時間として合わせて1サイクルとし、乾燥温度および海水温度は、コンクリート供試体設置時は温度変化によるひび割れを考慮し、乾燥・海水共に20℃に設定、その後海水用ヒーターを取り付け、乾燥・海水共に40℃に設定した。

2.2.2 海水浸漬装置

本研究で使用した海水浸漬装置は、水槽に海水を満たしただけの簡便なものであるが、海水の温度が20℃になるように温度センサーで制御した。

なお、促進試験・海水浸漬試験に用いた海水は室蘭市イタンキ漁港で採取したもので塩化物イオン濃度(Cl⁻)2.3%程度のものを使用した。

2.3 実験概要

実験は28日間標準養生した後に各試験装置に供試体を設置し、その後サイクル数が経過しある程度腐食が進行したと思われる時期に供試体を破壊した。破壊後は鉄筋を取り出して目視観察を行い、腐食面積はプランメーターと方眼紙を用いて測定し、腐食重量は直示天秤により0.1mgまで測定した。また、コンクリートは供試体表面から1cm毎の深さの層に切断し全塩分量解析を行った。

表-2 モルタル供試体配合表

供試体 記号	W/C (%)	$\frac{d}{d+s}$ (%)	単位量 (kg/m ³)				フロー値 (cm)	圧縮強度 材齢28日 (MPa)
			W	C	d	s		
BF-A	50	0	272	544	0	1460	23.7	54.6
BF-B	50	20	272	544	631	1168	21.3	58.7

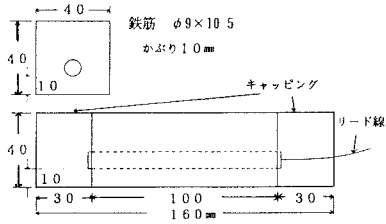


図-2 モルタル供試体形状・寸法

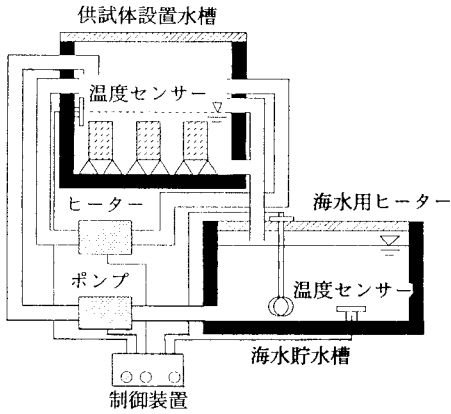


図-3 促進試験装置概要

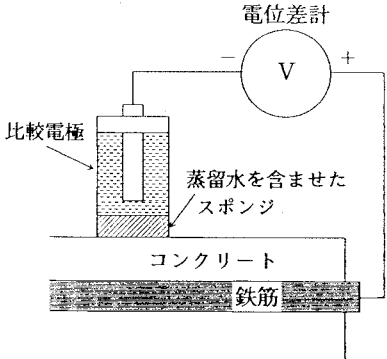


図-4 自然電位測定方法

一方、腐食の進行状況の推定と環境による影響を評価するために、コンクリート供試体の自然電位は7サイクル毎に、またモルタル供試体は70サイクルまでは3～4サイクルのインターバルで、その後はコンクリート供試体と同様に7サイクル毎に定期的に測定した。なお、促進試験の自然電位測定は浸漬試験と比較することを考慮して、最も吸水した状態で行った。図-4に自然電位測定方法の概略を示すが、比較電極には飽和塩化銀電極を使用した。

3. 実験結果および考察

3.1 鉄筋腐食

本研究では約660サイクル経過した供試体を破壊し、鉄筋の腐食状況を測定した。以下にその結果を論ずる。

まず鉄筋の腐食重量率を図-5に示す。腐食重量率とは、コンクリート打設前に測定した鉄筋初期重量に対する鉄筋腐食重量の割合である。

促進試験における腐食重量率はBFで0.2～0.4%程度、SBでは0.1%～0.2%程度であり、わずかながらセメント別による差が見られる。また、かぶり厚が小さいほど腐食重量率は増加しており、かぶりによる傾向も確認される。しかしながら水セメント比、ダスト混入率の違いによる明確な傾向は本実験では確認できなかった。

一方、浸漬試験の腐食重量率はどの供試体も一様に0.1%程度で、配合条件およびかぶり厚さの違いによる差が全く出なかった。このことから、本実験において約2～4倍程度の促進試験の促進効果が確認されたが、水セメント比やダスト混入率による明確な差が現れなかったのは、腐食の絶対量が少ないためと思われる。

同様の傾向は、腐食面積率でも見られる。浸漬試験では対象としている赤錆は見られず、促進試験においてもかぶりの薄い一部で赤錆が見られたものの、わずか2%以下と低かった。以上を総合すると、促進試験のサイクル設定を再検討する必要があると思われる。

3.2 塩分浸透

塩分浸透量における代表的な例を図-6に示す。促進と浸漬試験を比較するとBFでは浸漬試験による浸透量の方が多く、

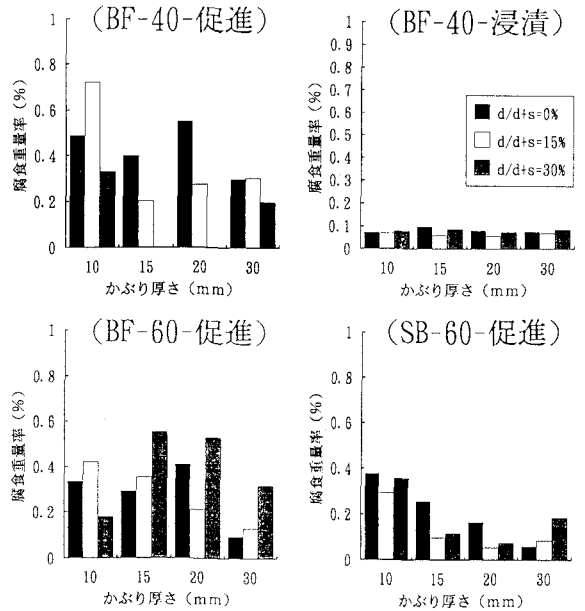


図-5 鉄筋の腐食重量率

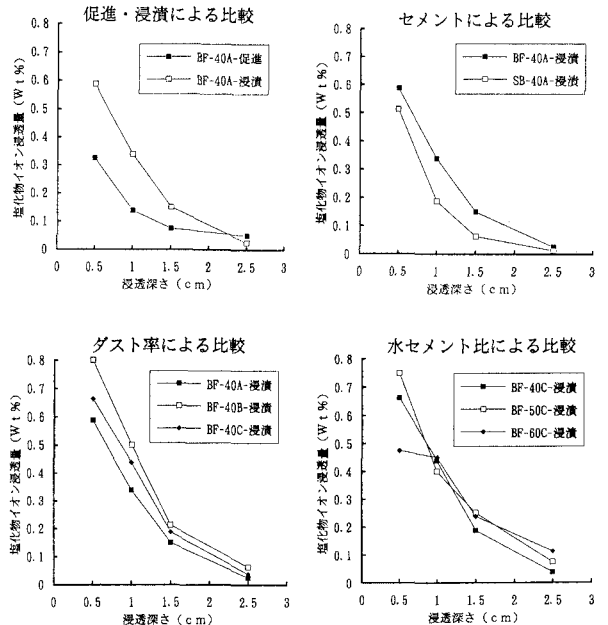


図-6 塩分浸透量

S Bにおいても促進、浸漬ともほぼ同程度であり促進効果は得られなかった。しかし腐食重量率の結果を考慮すると、腐食過程においては塩分だけではなく酸素の影響が大きいということが分かる。次にセメントによる比較では、浸漬試験ではその殆どに、また促進試験でもコンクリート深部におけるS Bの明らかな塩分遮蔽性を確認できる。これは低発熱型特殊高炉セメントのスラグ混入率が60%と大きく、その空隙充填効果のためであると思われる。ダスト混入による比較では、その多少にかかわらず混入した供試体の方がおおむね浸透量が多くなった。これは供試体表面のダストが腐食することにより、コンクリート表面の空隙が大きくなるためではないかと推察される。水セメント比別では、おおむね水セメント比の小さい供試体の塩分浸透量が特にコンクリート深部で小さくなる傾向が伺える。

次に塩分拡散係数及び表面塩分量の代表的な例を図-7および図-8に示す。本研究では正規確率紙を利用して求めた。塩分拡散係数は、水セメント比別ではほぼ右上がりの関係になっており水セメント比が大きいものほど拡散係数が大きくなる傾向が伺える。しかし、表面塩分量は水セメント比が大きいものほど小さくなる傾向を示した。これにより塩分浸透に関して、水セメント比が小さく密実なものほどコンクリート内部に塩分は浸透せずに、コンクリート表層部分で塩分濃縮が起り表面塩分量が大きくなるものと思われる。このことから表面塩分量をセメント別で比した場合、水セメント比50、60%と大きいところではBFに比べSBの方がその値は大きく、SBの塩分遮蔽性が優れているということを裏付ける結果となった。

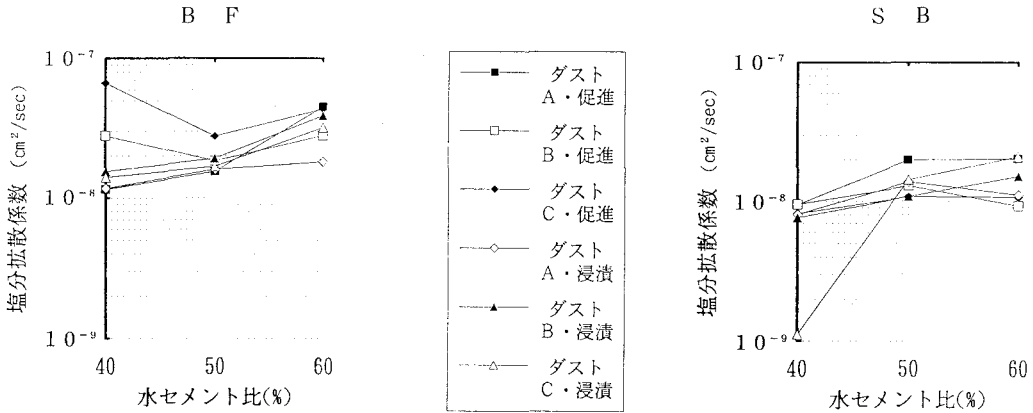


図-7 塩分拡散係数

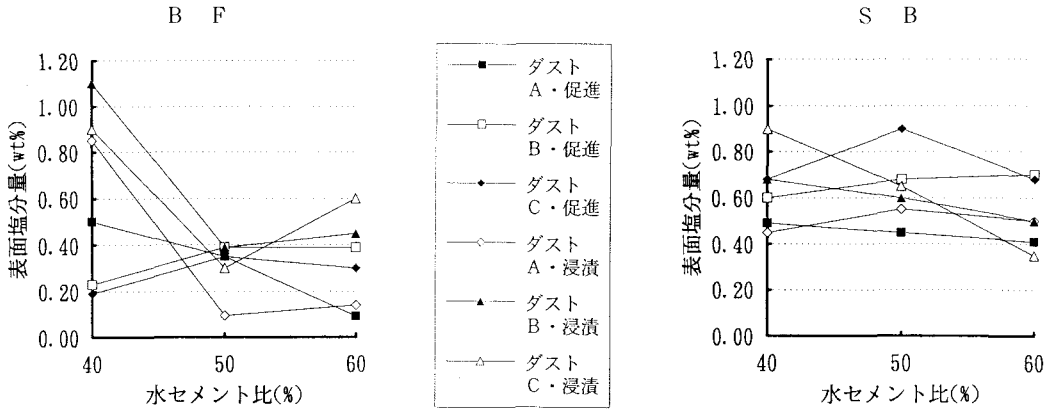


図-8 表面塩分量

3.3 自然電位測定

コンクリート供試体の自然電位経時変化の一例を図-9に示す。自然電位は促進と浸漬で異なり、促進試験では測定初期の頃より貴に変動を見せ、300サイクル以降-500 mV程度で安定するものと激しく変動するものとに別れる。これに対し浸漬試験では、400サイクル前後までは初期値から大きな変動を見せず比較的電位は安定しており、その後貴方向に変動を見せるものが現れている。しかしながら実際の腐食との対比では鉄筋表面の腐食も殆ど無かったため、その有効性を評価するのは困難である。そこで、これとは別に行ったモルタル供試体の自然電位の経時変化を図-10に示す。

まず自然乾燥をさせた供試体の自然電位に着目すると、供試体の乾燥と共に電位は初期値-600 mV程度から0 mVへと大きく貴に移行している。また促進試験でも乾燥と湿

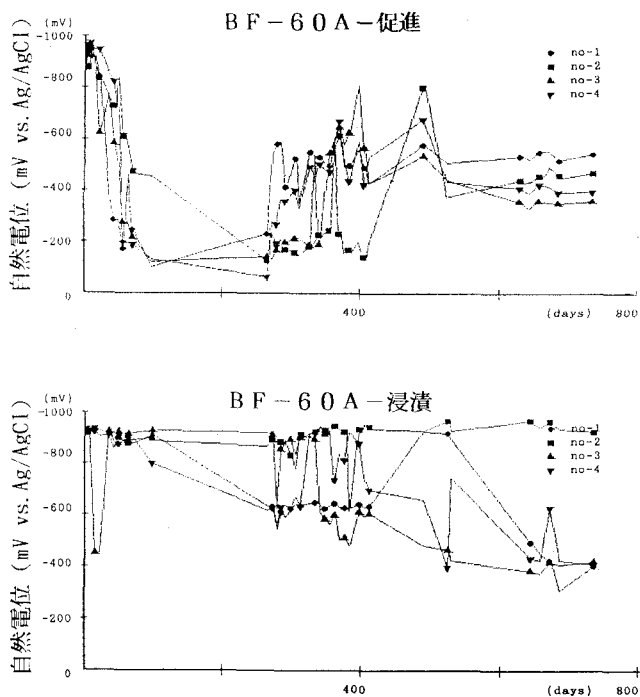


図-9 コンクリート供試体の自然電位

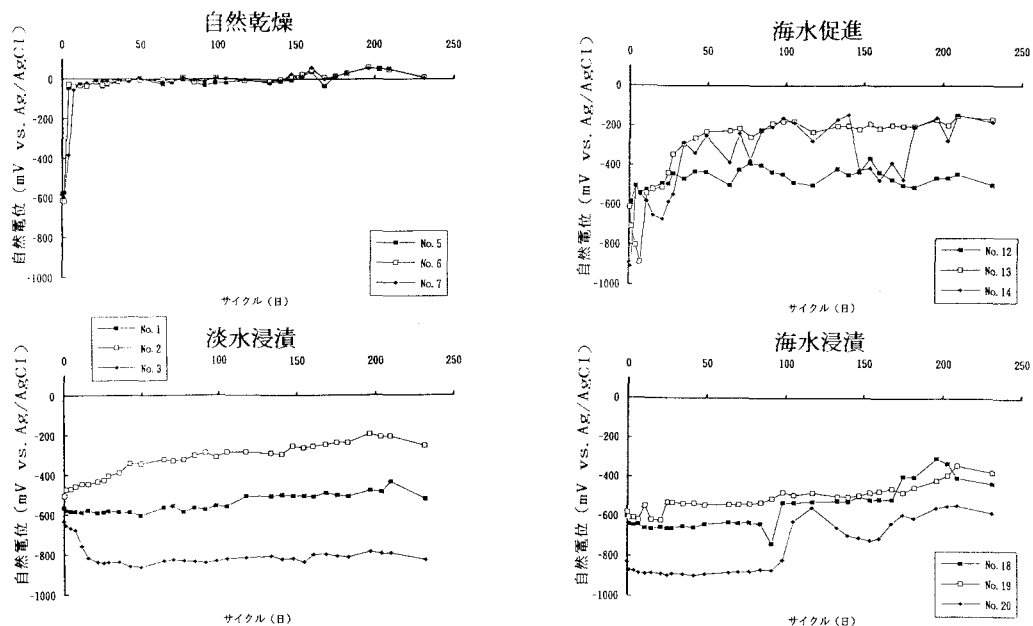


図-10 モルタル供試体の自然電位

潤を繰り返すため、測定初期から貴に移行する傾向が見られる。これに対して状態の変化が少ない浸漬試験では変動が少なく安定した傾向を示す。以上のことから、自然電位測定においてはコンクリートの含水状態が大きく関与すると言える。また、淡水と海水浸漬と比較すると、海水浸漬において約100サイクル経過した時点で100～200mV貴に移行しており、両者の環境の違いからこの時点で塩分が浸透し鉄筋表面付近で何らかの変化があったことを示したものと推察できる。

以上のように自然電位を評価する際は、測定する供試体の含水状態に注意し評価する必要がある、また測定は経時的に行うことで腐食の発生時期を知ることはある程度判定できるが、腐食の程度を判別するにはさらなる研究が必要であると思われる。

4. おわりに

本研究は、コンクリートの配合およびかぶり厚さが塩分浸透と鉄筋腐食に及ぼす影響を、促進試験と浸漬試験とで比較することにより検討してきたが、以下にその大要を述べる。

- (1) コンクリートの配合において、スラグ混入率が60%と大きい低発熱型特殊高炉セメントを用いたものは、高炉B種セメントと比較しても鉄筋の腐食重量率が小さく、塩分遮蔽性が優れていることも確認できた。また、水セメント比が小さい富配合なものほど塩分浸透深さも小さく、かぶり厚さに関しても3cm以上の部分には殆ど塩分が浸透していなかった。以上のことから、配合およびかぶりの組み合わせにより、ある程度の塩害対策が講じられるものと思われる。
- (2) コンクリートの塩分拡散係数は、水セメント比の増大に伴い大きくなる傾向が見られ、表面塩分量は逆に、塩分遮蔽性が優れている配合のものほど大きくなる傾向が見られる。これは塩分が内部に浸透できないため表面部分で塩分濃縮が起こっているものと考えられる。
- (3) 本実験における促進試験は、浸漬試験と比べて僅かではあるが促進効果が確認されたが、腐食の絶対量が少なく、その点から乾湿サイクルの再検討が必要である。
- (4) コンクリート供試体の自然電位測定に関しては、本実験では腐食が極めて少なく、実鉄筋と照らし合わせての評価が難しくその傾向を特定できなかった。モルタル供試体の実験では、測定は経時的に行うことで腐食発生の時期をある程度判定できるが、腐食の度合いを判定するには、さらなる研究が必要であると思われる。また、自然電位は供試体の含水状態に大きく影響されるため、その評価に関しては注意が必要である。
- (5) スチールダストの有効利用に関しては、鉄筋コンクリートに使用した場合塩分浸透量が大きくなる傾向が見られ、この点からは利用は難しいが、供試体中の鉄筋の腐食量が少なくダスト混入の有無による差がなかったため、今後継続して研究する。