

# [ 4 ] 海洋鉄筋コンクリート構造物中の鉄筋の腐食に関する研究

正会員 後 藤 幸 正 (東 北 大 学)

正会員 ○三 浦 尚 (東 北 大 学)

正会員 田 代 権 一 (東 北 大 学)

## 1. 序言

鉄筋コンクリート構造物が海洋環境にさらされる場合、コンクリート中の鉄筋腐食の問題は耐久性にとって大変重要であり、かつ、未解決のことが多い分野である。また、実際に用いられる鉄筋コンクリート構造物においては、外力が作用した時、一般に、引張鉄筋周辺のコンクリートにはひびわれが発生していると考えられ、このようなひびわれ部においては局部的な腐食の進行が懸念される。したがって、コンクリート中の鉄筋腐食の問題は、かぶりコンクリートに包まれてひびわれが発生していない部分で検討するばかりではなく、ひびわれ部でも検討することが重要である。

ひびわれが発生している鉄筋コンクリート部材が海水に接した場合の鉄筋腐食の原因としては、ひびわれから海水が鉄筋まで浸透して鉄筋表面の不動態被膜を破壊し、次いで外部からの酸素や水分の供給によってさびが進行して行くと思われる。したがって、本研究では、まず始めに、鉄筋コンクリートのひびわれ部から鉄筋への海水の浸透の様子を調べ、次に、そのようなひびわれが発生した鉄筋コンクリート部材が海水に接した時の鉄筋のさびの発生および進行状態を、現場実験および実験室における促進試験によって調べ、鉄筋腐食におよぼすかぶり、鉄筋応力、骨材の性質等の影響について検討した。

一方、鉄筋コンクリート部材に実際に生ずるひびわれ幅は、かぶり・鉄筋の引張応力度等の条件が一定であっても、ある範囲内ではばらつくものである。従って鉄筋腐食の研究を行なう場合には安全のために、また条件を一定にするためにそれらのばらつきの内の最大のひびわれ幅を用いて実験をした方が良いと考えられる。そして本研究においては、予備実験により最大ひびわれ間隔をあらかじめ求めておき、ひびわれが最大ひびわれ間隔で生ずるように、人為的にひびわれを制御した供試体を用いて実験を行なった。

## 2. 実験材料および実験方法

### 2-1 実験材料

実験に使用したセメントは早強ポルトランドセメント、混和材はリグニンスルホン酸塩を主成分とする空気連行性減水剤、粗骨材としては表-1に示すような普通砕石3種、スラグ砕石2種、川砂利および軽量骨材を用いた。細骨材としては川砂(比重

表-1 使用した骨材の性質

呼び名	砕石A	砕石B	砕石C	川砂利	スラグA	スラグB	軽量骨材
比 重	2.86	2.53	2.58	2.59	2.62	2.77	1.25
吸水率(%)	0.76	3.95	2.54	2.02	4.53	1.73	14.5
すりへり減量(%)	9.8	24.3	18.8	22.8	41.3	8.3	17.2
破砕値(%)	10.3	16.5	18.4	16.5	32.7	16.6	35.2

2.52 吸水率2.50)を用いた。また鉄筋は異形鉄筋(SD30, SD35)D22およびD51を用いた。

表-2に使用したコンクリートの配合を示す。

### 2-2 実験方法

実験には、両引供試体およびはり供試体を用いた。図-1に、供試体および実験装置を示す。供試体にはひびわれを制御する目的でノッチを入れ、またひびわれ幅を測定するためコンタクトポイントを取付けた。両引供試体は所定の応力度まで鉄筋をセンターホールジャッキで引張り、ひびわれを発生させた状態で載荷フレームに固定した。はり供試体は2本の供試体を背中合わせにし、PC鋼棒2本を用いてはりの主鉄筋が所定の応力度になるまで荷重を導入した状態で固定した。

海水の浸透実験は、このような状態の供試体を染料水（ローダミンを海水に溶かしたもの）に所定の時間浸漬し、24時間乾燥後、供試体を割り、染料水のひびわれからの浸透状態を観察した。

実験室における鉄筋腐食実験においては、前記の状態の両引き供試体およびはり供試体を、室温を50°Cで一定に保った恒温室に入れ、供試体を入れた金属製容器内に海水を入れたり出したりすることによって供試体に乾湿の繰返しを1日1～2サイクルで1～3ヶ月間与えた。

現場実験では、前記の状態のはり供試体を、青森県八戸港内感潮部に3～12ヶ月間暴露した。

各々の実験終了後、コンクリートから鉄筋を取出し、ひびわれ部に発生したさび量を、腐食面積および腐食鉄量を測定することによって比較した。ただし、腐食鉄量の測定値は誤差が大きかったことがわかったので、以後、主に腐食面積によって比較している。

### 3. 実験結果およびその考察

#### 3-1 海水の浸透実験

ひびわれ部における海水の浸透実験によって得られた結果の主なものは次の通りである。

1) 鉄筋D22、かぶり2.9～4.9cmの両引供試体を鉄筋応力度2000kg/cm<sup>2</sup>まで載荷して染料水に浸漬した結果、いずれの供試体でも30分後には染料はひびわれを通して鉄筋表面にまで達し、さらに、鉄筋軸方向に奥深く浸透していた。

2) 1)と同じ供試体を鉄筋応力度2000kg/cm<sup>2</sup>まで載荷してひびわれを発生させた後に荷重を除いてひびわれを閉じさせ、同様の実験を行なった結果、いずれの供試体においても染料は1時間後にコンクリート断面の2/3程度まで達し、6時間後にはすでに鉄筋表面まで達していた。

表-2 コンクリートの配合

粗骨材の種類	粗骨材の最大寸法(m.m)	スランプ(c.m)	空気量(%)	水-セメント比W/C(%)	細骨材率s/a(%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材
碎石 A	15	10±1	3±1	53	47	191	360	786	1120	0.90
碎石 B	15	10±1	3±1	53	47	191	360	786	894	0.90
スラグ碎石 A	15	10±1	3±1	53	47	191	360	786	921	0.90
碎石 A	20	10±1	3±1	53	43	183	345	734	1096	0.86
軽骨材	20	10±1	3±1	53	43	159	300	775	509	0.75
碎石 A	25	10±1	3±1	53	41	172	325	717	1200	0.81
碎石 B	25	10±1	3±1	53	41	172	325	717	1036	0.81
碎石 C	25	10±1	3±1	53	41	172	325	717	1070	0.81
スラグ碎石 A	25	10±1	3±1	53	41	172	325	717	1073	0.81
川砂利	25	10±1	3±1	53	41	172	325	717	1060	0.81
碎石 A	30	10±1	3±1	53	41	170	321	721	1170	0.80
碎石 B	30	10±1	3±1	53	41	170	321	721	1040	0.80
スラグ碎石 A	30	10±1	3±1	53	41	170	321	721	1077	0.80

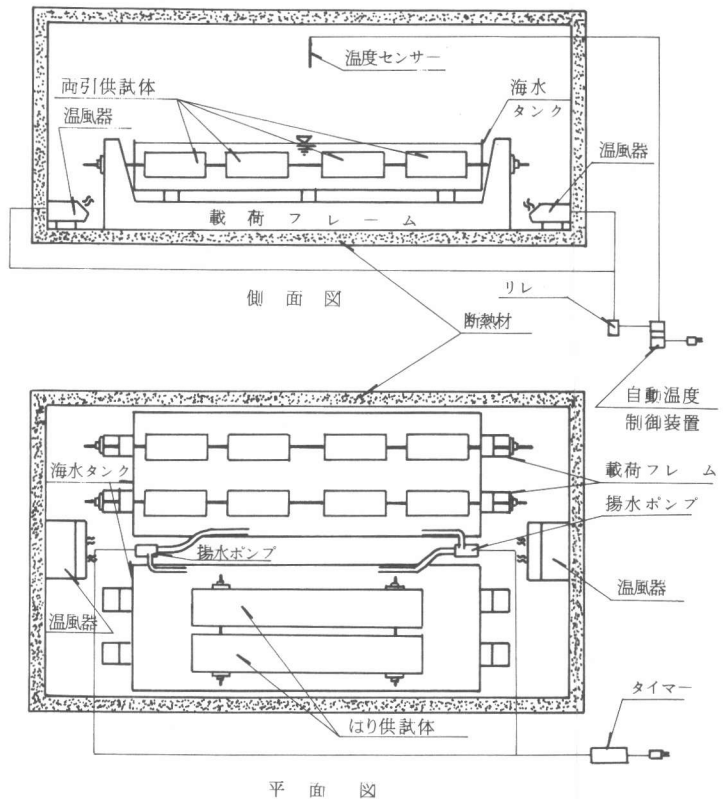


図-1 実験装置

3) 1)と同じ供試体を染料水中に浸漬した状態で載荷し、直ちに取出して観察した結果、染料は鉄筋表面まで達していた。これは、ひびわれが発生する時に染料水の中に引込むためであろうと考えられる。

4) 恒温室において、海水に入れたり出したりする乾湿の繰返しを1日1サイクルで28日間与えた後、1)と同様の実験を行なった結果、染料水は1)と同様に供試体の奥深くまで達していた。

5) 鉄筋D51、かぶり7~15cmの両引供試体を、鉄筋応力度 $1800\text{ kg/cm}^2$ まで載荷してひびわれを発生させた後、鉄筋応力度を $900\text{ kg/cm}^2$ にまで下げてから染料水中に5分間浸漬した結果、いずれの供試体でも染料水は鉄筋表面にまで達していた。

6) 以上のことから、鉄筋コンクリート部材がひびわれの発生した状態で海水に接すると、ほとんどの場合、海水は部材の奥深くまで浸透し、鉄筋まで達していると思われる。

### 3-2 鉄筋の腐食実験

表-3に、腐食実

表-3 供試体のひびわれ幅

験用供試体に載荷した時に発生したひびわれ幅の平均値を示す。

かぶり (cm)	ひびわれ 間隔 (cm)	はり供試体		両引供試体	
		$1000\text{ kg/cm}^2$	$2000\text{ kg/cm}^2$	$1000\text{ kg/cm}^2$	$2000\text{ kg/cm}^2$
2.9	14.5	58	160	74	155
3.4	17.0		175		173
3.9	19.5	78	192	99	196
4.4	22.0	94	245	104	275

図-2は、促進実験において、乾湿の繰返しを1日に1サイクルにした場合と

2サイクルにした場合とでの比較を示す。これより、促進実験においては1日当りの乾湿繰返しサイクル数を1から2へと増加することにより、かなり腐食が促進されることがわかった。実際に海水に接する構造物の感潮部や波浪の影響を受ける部分について考えると、1日当りのサイクル数ある程度多くして実験を行なうことも必要であると

考えられる。図-3は、現場暴露試験の結果の1例を示す。この実験においては、いずれも12月から暴露を開始したものである。この結果によると、寒冷地である八戸市で、しかも、12月から3ヶ月間という冬季の暴露にもかかわらず、鉄筋に腐食の発生が見られた。また、12月から9ヶ月および12ヶ月間暴露した供試体(かぶり2.2cm)では、すでに腐食が鉄筋下面全体に広がっており、それに伴う縦ひびわれの発生も見られたが、鉄筋上面には全く発錆は見られなかった。この理由としては、鉄筋下面側の方がブリージングの影響あるいは曲げの影響が大きいと思われることの外、かぶり側においては酸素等の供給量が多くなるということも影響しているものと思われる。

図-4には、促進実験による両引供試体とはり供試体とのさび量の違いを示す。この内、図-4(b)における最大腐食面積とは、1つのひびわれ部におけるさび量の内の最大値を示したものである。これらを見ると、最大腐食面積は、はり供試体と両引供試体とであまり差が認められないが、平均腐食面積においてはかなりの差が見られた。また、鉄筋の引張応力度が $1000\text{ kg/cm}^2$ の供試体の鉄筋には、かぶりが2.9cmの場合でも全く腐食

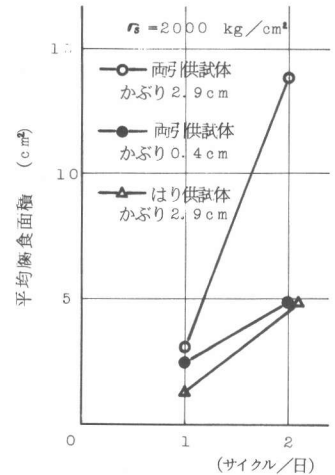


図-2 乾湿繰返し回数の影響

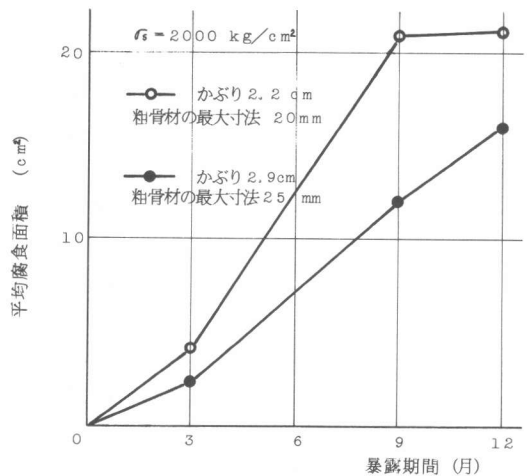


図-3 現場暴露試験結果

は見られなかった。このことから、鉄筋コンクリート部材の鉄筋の腐食に対する鉄筋応力度の影響は、大変大きいことがわかる。

図-5には、粗骨材の種類と鉄筋の腐食との関係を示

す。これらの供試体において発生したひびわれ幅は、いずれも0.17mm~0.20mmの間にあった。これよりコンクリート中の鉄筋の腐食の程度は、使用した粗骨材の品質によって大きく異なり、一般的傾向としては、吸水率が大きく破砕値も大きいほど腐食量が多いという傾向が認められる。

スラグ碎石については、比較的強いと思われるスラグ碎石Bを粗骨材に用いた供試体ではあまり腐食量は多くないのに対し

比較的弱いと思われるスラグ碎石Aを用いた場合には、図-5に示すように、かなり腐食量が多くなるという結果が得られた。

図-6に、粗骨材の最大寸法とさび量との関係を示す。粗骨材の最大寸法が鉄筋腐食に与える影響は、この図に示すように、粗骨材の性質によって異なり、粗骨材が強硬なものである場合には最大寸法が大きくなるにしたがってさび量は減少し、粗骨材が弱いものであれば最大寸法が大きくなるにしたがってさび量は増大する。

以上のことから、海洋鉄筋コンクリート構造物に使用する粗骨材の種類としては、十分強硬なものとしなければならないことがわかる。また、かぶりは十分大きいものとするとともに、場合によっては鉄筋応力度を制限する等の対策も考えなければならないと思われる。

なお、この研究は文部省科学研究補助金によって行なわれたものである。

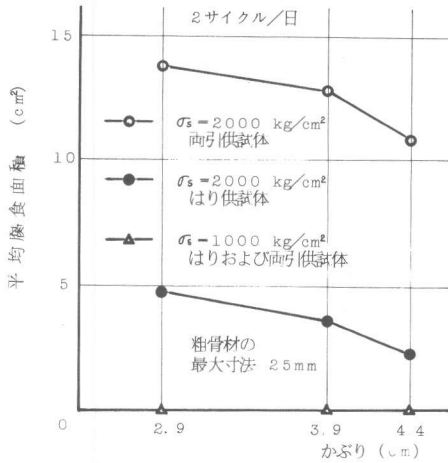


図-4(a) かぶりの影響 (平均腐食面積)

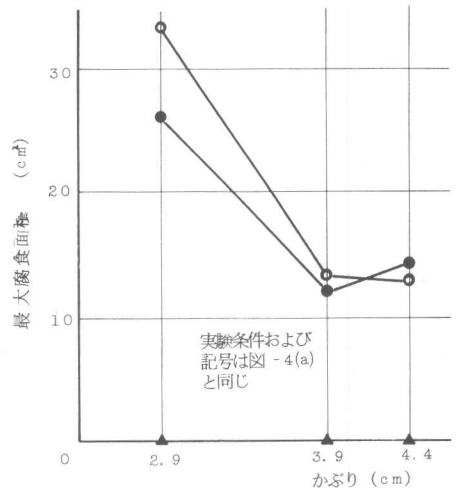


図-4(b) かぶりの影響 (最大腐食面積)

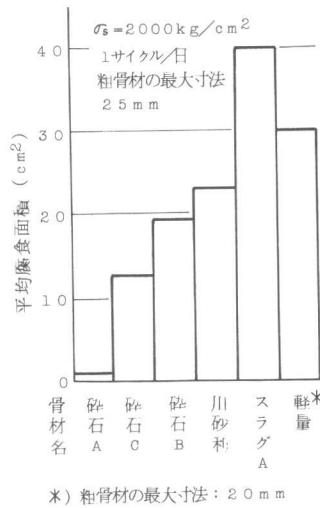


図-5 粗骨材の種類の影響

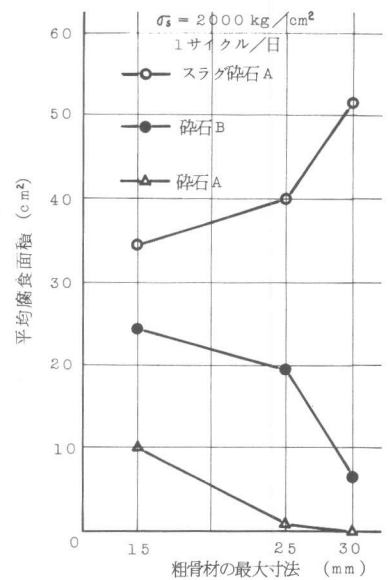


図-6 粗骨材の最大寸法の影響