

東北大学 正員 三浦 尚
東北大学 正員 板橋洋房
住友建設(株) 加藤 剛

1. まえがき

海洋環境下のコンクリート構造物には、比較的海水の作用に対して耐久的事であることから高炉セメントが使用されることが多い。一方、高炉セメントを使用した海洋環境下の鉄筋コンクリート構造物においては、普通セメントのものに比べてアルカリ度が低く鉄筋腐食が起こりやすいと考えられるし、また海水の作用を受けても海水が浸透しにくいので腐食しにくいとも考えられる。ところが、後者の点に関して言えば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ひびわれが発生することが多く、そのような場合は高炉セメントのコンクリートであっても海水が浸透していくものと考えられる。

そこで、本研究は以上の点を解明するためコンクリート角柱の中心に鉄筋を埋込んだ両引張試体を用い、ひびわれを生じさせた状態で乾燥-海水中浸漬の繰返しを与える実験室内促進試験を行って、高炉セメントを用いた場合と普通セメントを用いた場合とでコンクリート中の鉄筋の腐食の程度を比較検討した。また高炉セメントと普通セメントではコンクリート中のアルカリ度が異なっていると思われるが、海洋環境下においては、海水の塩分の作用によって鉄筋が腐食するものでありコンクリート中のアルカリ成分は影響ないとも考えられる。従って、コンクリート中のアルカリ度を人工的に変化させて鉄筋の腐食におよぼすアルカリの影響についても調べた。

2. 実験材料

表-1 粉末スラグの試験成績

実験に使用したセメントは普通ポルトランドセメント、高炉セメントとしては普通セメント

化 学 成 分 (%)									塩基度	真比重	粉末度	
IG Loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total				880 μ m	75 μ m
0.66	34.62	15.96	0.96	41.12	6.38	0.06	98.44	1.83	2.91		1.02	4190

に粉末スラグを重量で65%混合して用いた。使用した粉末スラグの試験成績を表-1に示す。粗骨材としては砕石(比重=2.86,吸水率=0.76,最大寸法=25mm)、細骨材としては川砂(比重=2.51,吸水率=2.50)を用いた。混和材はリグニンスルホン酸塩を主成分とするAE減水剤、鉄筋は両端におに切りを施した横フシ異形鉄筋D22(SD30)で表面の黒皮を取り除いて使用した。表-2にコンクリートの配合および強度を示す。

表-2 コンクリートの配合および強度

セメント	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					圧縮強度 kg/cm ²	引張強度 kg/cm ²
		セメント	砂	砕石	水和材	単位量		
高炉セメント	43	172	325	760	1150	3250	289	25.4
普通セメント	41	176	332	728	1186	3320	423	31.4

W/C=53%, Slump=10 $\pm$ 1cm, Air=3 $\pm$ 1%, 最大寸法=25mm

3. 実験方法

粉末スラグはコンクリート打設直前に普通セメントと十分混合し、また打設時の鉄筋は常に縦リブが水平状態となるように配置した。供試体は、図-1に示すような正方形断面の中心にD22の鉄筋を埋込んだ角柱体とし、かぶり厚は2.9cmと一定とした。供試体の一部にはコンクリート中のアルカリ成分を増やすために、5%の水酸化ナトリウム溶液を練混ぜ水として用いた。それぞれの供試体には、ひびわれを制御する目的でノッチを設け、脱型後約4週間水中養生し、ひびわれ幅測定のためそのノッチをはさんでコンタクトポイント打設面側と打設底面側の鉄筋軸上のコンクリート表面に貼り付けた。その後、供試体2本を1組とし、材令28日でジャッキにより鉄筋応力2000kg/cm²となるように引張り、ひびわれを生じさせて載荷フレームに固定した。そのひびわれ幅を測定した後、温度約50 $\pm$ と一定に保った恒温室内の容器内に入れた。

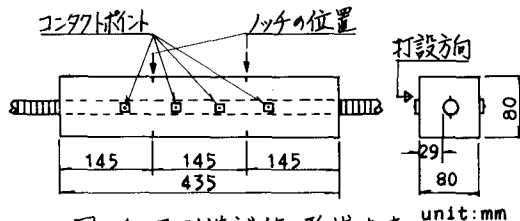


図-1 両引張試体の形状寸法

実験装置の概略を図-2に示す。恒温室内では海岸感潮帯を想定し海水を6時間毎(1日2サイクル)に容器内に出し入れして、供試体に乾燥-海水中浸漬の繰返しを与えた。この時の海水温度は約35℃であり、実験期間は28日間とした。実験終了後、供試体から鉄筋を取り出し、鉄筋の腐食面積、腐食鉄量、腐食長さを測定した。

4. 実験結果

鉄筋の腐食は、普通セメントおよび高炉セメントともコンクリートのひびわれ部を中心に局部的に発生しており、コンクリートのひびわれ部に海水の浸入が絶えず繰返されたことによって鉄筋表面の不動態皮膜が破壊され鉄筋を腐食に至らせにものと思われる。表-3に測定したひびわれ幅、腐食面積、腐食鉄量、腐食長さの平均値を示す。

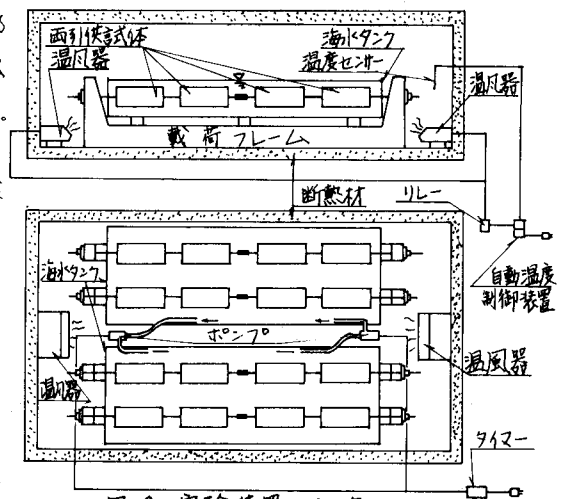


図-2 実験装置の概略

表-3 両引供試体の実験結果

高炉セメント				普通セメント					
ひびわれ幅 10mm	腐食面積 cm ²	腐食鉄量 mg	腐食長さ cm	ひびわれ幅 10mm	腐食面積 cm ²	腐食鉄量 mg	腐食長さ cm		
166	26.9	237.1	7.2	168	36.9	364.3	7.2		
180	29.9	445.3	6.4	182	40.0	449.7	8.0		
181	32.9	597.0	7.7	178	43.9	478.8	9.0		
186	29.9	507.0	7.8	192	51.6	494.3	9.0		
材料28日で 載荷。				159	20.5	7.2	152	45.4	9.0
				167	23.3	6.0	164	47.2	8.8
材料14日で 載荷。				163	21.9	5.5	152	43.4	9.1
				175	24.3	6.2	155	53.4	8.8
それ以外の値は ひびわれ部4所の 平均値。				150	29.5	7.5	153	46.9	8.8
				163	35.9	8.2	173	53.3	9.5
				131	24.5	6.4	164	44.8	8.6
				NaOH 5% 混入					
材料28日で 載荷。				151	1.7	1.2	148	—	—
				152	1.0	1.2	152	—	—

鉄筋が少し偏心していたことや供試体を継いだ時の自重も影響して、ひびわれ幅は偏っており平均すると0.13~0.19mmの範囲にあった。腐食は水平鉄筋の上面側、下面側にも発生していたがひびわれ幅の大きい方に腐食面積は偏っていた。錆の発生状況は、普通セメントの場合は、鉄筋のフシとフシとの間に狭まれ貼り付いたような面積の大きい腐食であったが、高炉セメントの場合には、普通セメントと異なるような腐食傾向を示し、小さな腐食面積で深さのある腐食であった。このように高炉セメントと普通セメントとの腐食面積においては、かなりの差は見られるが、腐食鉄量に関しては、ほとんど差はない。今回の実験ではアルカリ度が低いにもかかわらず、高炉セメントの方は普通セメントに比べ、ひびわれ部の鉄筋は海水の作用を受けても錆びにくい傾向を示した。この理由としては、高炉セメントを用いたコンクリートが耐海水性に優れているからとも考えられる。しかし、普通セメントに比べ、ひびわれ部の鉄筋に腐食が生じると孔食のように鉄筋の内部に腐食が進行していくように思われる。図-3に平均腐食面積と平均ひびわれ幅との関係を示す。この図からもわかるように、ひびわれ幅が大きくなるにつれて腐食面積も増大する傾向が見られる。5%の水酸化ナトリウム水溶液を混入した普通セメントの場合、ひびわれ部の鉄筋に全く錆は発生せず、高炉セメントの場合は極めて小さな腐食面積であった。このようにコンクリート中のアルカリ性成分を増やすことにより塩分の影響を受けるとコンクリートのアルカリ度に関係なく錆びると言われているにもかかわらず塩分の影響を受けてもひびわれ部の鉄筋の錆は、かなり抑制されるものと思われる。このことにより、塩分の影響下においては、コンクリート中のアルカリ度にも関係なく鉄筋は錆びるという従来の考え方は必ずしも正しいとは言えないかもしれない。

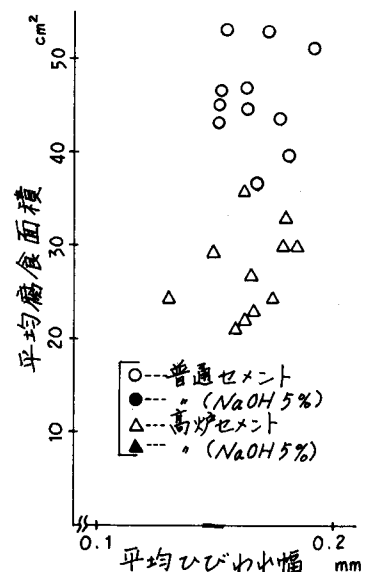


図-3 腐食面積とひびわれ幅の関係