

高炉セメントを用いた海洋鉄筋コンクリート構造物中の鉄筋の腐食について

東北大学 正員 板橋洋房
 東北大学 正員 三浦 尚
 東北大学 学生員 加藤 剛

1. まえがき

海洋環境下における鉄筋コンクリート構造物の劣化は、海水の作用を受ける感潮部分が最も顕著であり、コンクリート中の鉄筋の腐食が急速に進行するところでもある。鉄筋が腐食が始まると、かぶりコンクリートの剝離など鉄筋コンクリート構造物の耐久性が大きく損なわれる恐れがある。

本実験は、正方形断面のコンクリート角柱の中心に鉄筋を埋め込んだ両引張試体を用い、普通セメントおよび普通セメントより石灰分が少ないにもかかわらず耐海水性に優れているといわれる高炉セメントについて、乾燥海水中浸漬の繰り返しを与える実験室内促進試験を行い、海水の作用を受ける鉄筋コンクリートのひびわれ部の鉄筋の腐食を比較検討したものである。

2. 使用材料

セメントは市販の普通ポルトランドセメント（以下、普通セメントと記す）、粗骨材として丸森産砕石（比重=2.86、吸水率=0.76、最大寸法=25mm）、細骨材として白石川産川砂（比重=2.51、吸水率=2.50）を用いた。高炉セメントとするため粉末スラグを用いた。使用した粉末スラグの試験成績を表-1に示す。

混和剤としてリグニンスルホン酸塩を主成分とするAE減水剤を用いた。

鉄筋は横フシ異形棒鋼D22(SD30)で両端にねじ切りを施し、表面の錆および黒皮を取り除き使用した。海水は仙台新港より採取した。

3. 実験方法

コンクリートの配合および強度を表-2に示す。

供試体は、図-1に示したように断面の中心にD22の鉄筋を埋め込んだ8×8×435cmの角柱体とし、鉄筋のかぶりは2.9cm、コンクリート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。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た。また、供試体の一部にはコンクリート中のアルカリ性成分を多くして比較するために5%の水酸化ナトリウム溶液を練り混ぜ水として用いた。脱型後、約4週間水中養生して、材令28日で載荷した。供試体には、ほぼ最大ひびわれ間隔でひびわれが発生するようにノッチを設け、ひびわれ幅測定のためそのノッチをばさんでコンタクトポイントを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付した。供試体は2本1組とし、ジャッキで鉄筋応力度2000 kg/cm^2 となるように引張り、ひびわれを発生させ載荷フレームに固定した。ひびわれ幅をコンタクトタイプ歪計で測定した後、供試体を温度約50 ^\circ と一定に保った恒温室内の容器に入れた。また、引張試験機でひびわれを発生させたのち、ひびわれを戻したものと発生させないものも比較のために容器内に入れた。実験装置の概略を図-2に示す。

表-1 粉末スラグの試験成績

化 学 成 分 (%)										塩基度	真比重	粉末度 88 μ 残 (%)	7 μ 残 (%)
Ign Loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total						
0.66	34.62	15.96	0.96	41.12	6.38	0.06	98.44	1.83	2.91	1.02	41.90		

表-2 配合および強度

セメント	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					引張強度 (kg/cm ²)	引張強度 (kg/cm ²)
		水	セメント	砂	粗骨材	細骨材		
		W	C	S	G	量 (kg)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
普通セメント	41	176	332	728	1186	3320	423	31.4
高炉セメント	43	172	325	760	1150	3250	289	25.4

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

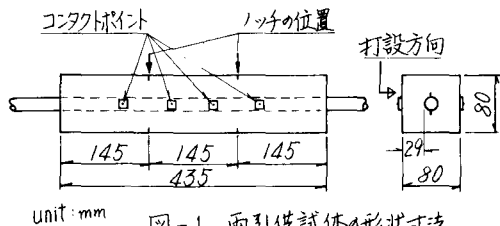


図-1 両引張試体の形状寸法

unit: mm

恒温室内で海洋感潮部を想定し海水を6時間毎(1日24時間)に容器内に入れ出し、供試体に乾燥-海水中浸漬の繰り返しを与えた。この時の海水の温度は約35℃であり試験期間は28日間とした。試験終了後、ひびわれ幅測定後除荷し、供試体から鉄筋を取り出し直接観察して鉄筋の腐食面積、腐食量、腐食長さを測定した。

4. 実験結果および考察

鉄筋の腐食は、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、海水等の浸入によりひびわれ部コンクリートのアルカリ成分が溶出して鉄筋表面の不動態皮膜を破壊し、鉄筋を腐食させたと思われる。これにより乾燥-海水中浸漬の影響がかなり大きいと思われる。実験結果は表-3に示す。測定したひびわれ幅は0.13~0.19mmの範囲にあり海洋コンクリート構造物の許容ひびわれ幅付近にあると思われる。鉄筋が少し偏りしていたため、ひびわれ幅も偏り水平鉄筋の上側にも下側にも腐食は発生していたがひびわれ幅が大きい方に腐食面積は偏っている。しかし、鉄筋の上側に比べ下側の方がコンクリートのブリージングの影響により水膜となり易く、どの供試体においても併発のある腐食であり、腐食量は多いと思われる。錆の発生状況は、普通セメントの場合フシとフシの間にはさまれ貼り付いたような面積の大きい腐食であったが、高炉セメントでは普通セメントと異なるような腐食傾向で面積が小さく併発のある腐食であった。腐食面積とひびわれ幅との関係を示した図-3からもわかるように今回の実験ではアルカリ成分が少ないにもかかわらず、海水中で高炉セメントの方は普通セメントに比べ錆びにくく、一般的に言われるように比較的耐海水性に優れていると思われる。また、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%水酸化ナトリウム溶液を混入した普通セメントの供試体では錆は全く発生せず、高炉セメントの方は極めて面積の小さい錆が生じていた。このようにアルカリ成分を増加させ、コンクリート中を強アルカリ性にするると鉄筋表面の不動態皮膜が保護され塩分の影響を受けてもコンクリートひびわれ部鉄筋の錆の発生はかなり抑制されるものと思われる。ひびわれを発生させ除荷した供試体とひびわれを発生させなかった供試体では錆の発生は見られなかった。錆の平均発生面積率は、普通セメントにおいてはコンクリート中の鉄筋表面積の約8%であり高炉セメントにおいては半分の約4%であった。

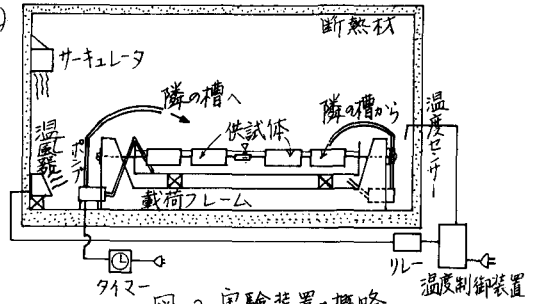


図-2 実験装置の概略

表-3 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) *	腐食量 (mg) *	腐食長さ (cm) *	ひびわれ幅 (10mm) *	腐食面積 (cm ²) *	腐食量 (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
材令28日で 載荷。 *の値は ひびわれ部4ヶ所 の平均値。							
159	20.5	7.2	152	45.4	9.0		
167	23.3	6.0	164	47.2	8.8		
材令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		
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		
材令28日 載荷。 NaOH 5% 混入							
151	1.7	1.2	148	—	—		
152	1.0	1.2	152	—	—		

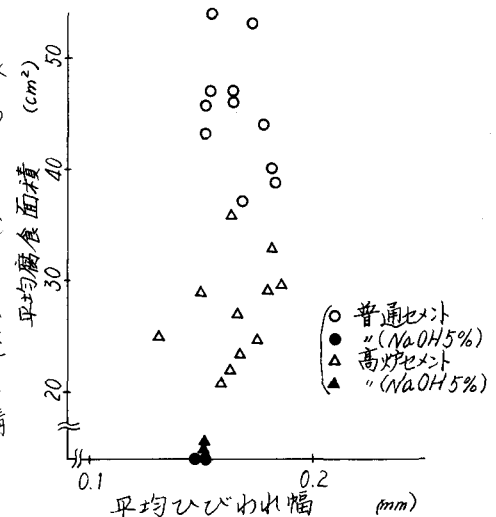


図-3 腐食面積とひびわれ幅の関係