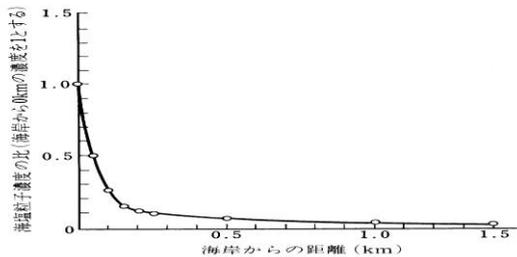


溶融亜鉛めっき鉄筋を用いた コンクリート供試体の暴露実験

(一社)日本溶融亜鉛鍍金協会(愛知亜鉛株式会社) 永見 美典
(一社)日本溶融亜鉛鍍金協会 高野 嘉彦
(一社)日本溶融亜鉛鍍金協会(沖縄ガルバ株式会社) ○仲松庸一郎

1. はじめに

- 一般に飛来塩分粒子は、海岸から遠い距離の場所まで飛来するがその減衰は著しく、汀線から100~200m離れた距離の地域では濃度が1/5~1/10に低下するといわれています。



解説図 25.3 海岸からの距離と海塩粒子濃度²⁾

建築工事標準仕様書・同解説JASS5鉄筋コンクリート工事 2009 p596~597

そこで汀線から200m以内における飛来塩分粒子の影響の大きい環境(汀線から70m及び140m地点)で溶融亜鉛めっき鉄筋の防蝕効果の確認を行う目的で、福井県三国海岸の福井石油備蓄(株)内において10年間の計画で平成13年5月から暴露試験を開始した。



- しかしながら福井石油備蓄(株)の都合により暴露試験の継続が不可能になったため、供試体を平成15年12月に愛知県の伊良湖岬に移し暴露を継続した。



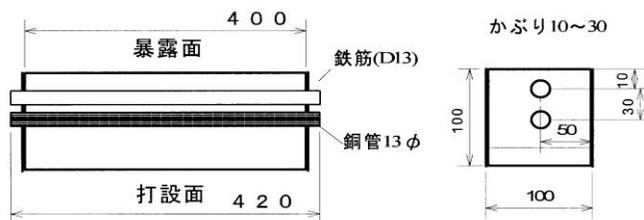
- 福井石油備蓄(株)内における暴露2年7ヶ月後の暴露試験結果2)と暴露地変更後の伊良湖岬9年3ヶ月後の暴露試験結果をまとめた。

2. 方法

2.1 鉄筋コンクリート用棒鋼

鉄筋コンクリート用棒鋼(JIS G3112 D13:以下黒鉄筋)及びそれらに溶融亜鉛めっき加工(JIS H8641 HDZ55:以下めっき鉄筋)を施した鉄筋を用いた。

鉄筋端部の保護目的でコンクリートに打設する前に両端5cmをエポキシ樹脂塗装し、打設時に突出させた鉄筋端部は塩ビ樹脂キャップにコーキング材を充填して被せ保護した。



—部は塗装面:暴露面と打設面以外は遮塩性塗料で塗装する

2.2 コンクリート供試体

コンクリートは水セメント比(w/c)が60%、スランプが 18 ± 2.5 cm、塩化物イオン量 $0.3\text{Kg}/\text{m}^3$ 以下を基準とし、比較用に水セメント比70%の供試体も作成した。

使用した細砂は長良川水系、粗砂、砂利(25~5mm)は揖斐川水系の材料を使用した。コンクリートの配合表を表1に、コンクリートの圧縮試験結果を表2に示す

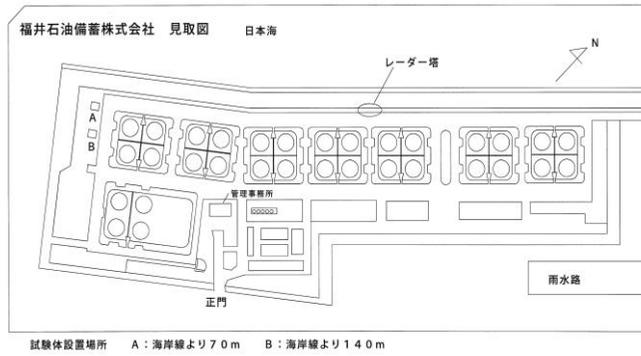
表1 コンクリートの配合表

No.	水セメント比	スランプ	単位量 Kg/m^3				
	%	cm	セメント	水	砂	砂利	混和剤
1	60	18	297	178	818	970	2.97
2	70	18	257	180	950	954	2.57

表2 コンクリートの圧縮試験結果

No.	スランプ	空気量	Cl含有量	温度	圧縮強度 N/mm^2	
	cm	%	Kg/m^3	$^{\circ}\text{C}$	7日	28日
1	17.5	4.5	0.024	26	22.0	24.3
2	18.0	4.8	0.021	26	16.2	22.0

2.3 暴露場所 福井石油備蓄(株)



伊良湖岬



3. 試験結果

3.1 塩分濃度測定

福井2年7ヶ月暴露供試体からコア採取し、深さ方向にスライスした汀線より70m地点及び140m地点試料の分析を行った。

表3 汀線より70m地点の供試体（福井暴露）

B01-7-10-1			
深さの層別 (cm)	NaCl (%)	Cl ⁻ (%)	Cl ⁻ (Kg/m ³)
0～1	0.181	0.110	2.58
1～2	0.084	0.051	1.19
2～3	0.040	0.024	0.564
3～4	0.032	0.019	0.446
4～5	0.031	0.019	0.446

表4 汀線より140m地点の供試体（福井暴露）

Z01-14-5-1			
深さの層別 (cm)	NaCl (%)	Cl ⁻ (%)	Cl ⁻ (Kg/m ³)
0～1	0.130	0.079	1.85
1～2	0.049	0.030	0.705
2～3	0.025	0.015	0.352
3～4	0.017	0.010	0.235
4～5	0.019	0.012	0.282

暴露地変更伊良湖岬9年3ヶ月の塩化物イオン濃度測定結果

表5 汀線より70m地点より移動した供試体（伊良湖暴露）

Z02-7-10-2			
深さの層別 (cm)	NaCl (%)	Cl ⁻ (%)	Cl ⁻ (Kg/m ³)
0～1	0.400	0.243	5.71
1～2	0.413	0.251	5.89
2～3	0.359	0.212	4.98
3～4	0.281	0.171	4.01

表6 汀線より140mより移動した地点供試体（伊良湖暴露）

Z 02-14-3-1			
深さの層別 (cm)	NaCl (%)	Cl ⁻ (%)	Cl ⁻ (Kg/m ³)
0～1	0.326	0.198	4.65
1～2	0.301	0.183	4.30
2～3	0.308	0.187	4.39
3～4	0.243	0.148	3.47

3.2 鉄筋腐食面積測定

福井2年7ヶ月暴露供試体の解体写真及び、鉄筋腐食面積の測定結果を表7に示す。

測定方法は、透明シートを巻きつけて腐食部分のマーキングを行い展開し、2値化して面積を求めた。



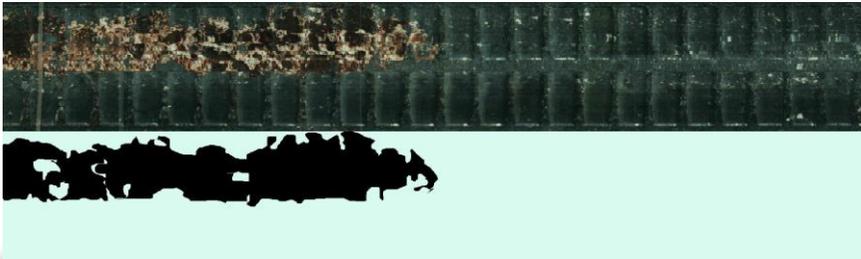


表7 福井2年7ヶ月暴露供試体の鉄筋の腐食面積

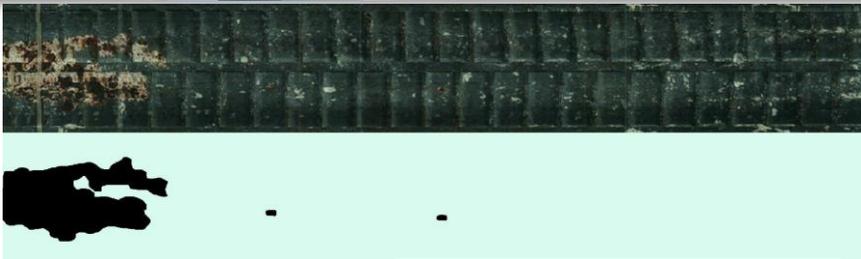
供試体No	備考	腐食面積 (%)
B01-7-3-2	黒鉄筋、かぶり1cm、70m地点	17.7
B01-7-10-1	黒鉄筋、かぶり1cm、70m地点	10.19
B01-14-7-2	黒鉄筋、かぶり1cm、140m地点	6.48
Z01-7-3-1	めっき鉄筋、かぶり1cm、70m地点	0(赤錆無し)
Z01-7-3-2	めっき鉄筋、かぶり1cm、70m地点	0(赤錆無し)
Z01-14-10-1	めっき鉄筋、かぶり1cm、140m地点	0(赤錆無し)

注)供試体 No の B:無処理 Z:溶融亜鉛めっき 7 : 海岸線から 70m 地点 14 : 海岸線から 140m

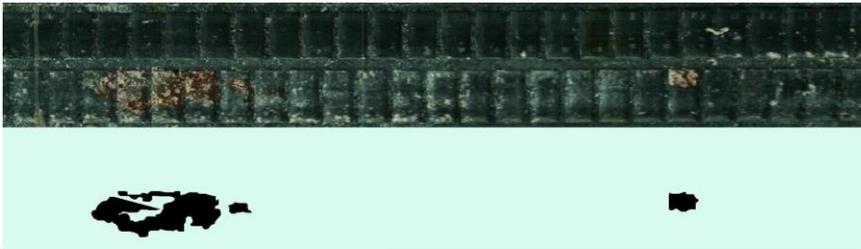
暴露地変更伊良湖岬9年3ヶ月暴露供試体の鉄筋腐食面積測定結果を写真2に示す。測定方法は、ハンデイスキャナーにてセンターから両端11cm(範囲22cm)円周方向にスキャンし画像ソフトにて腐食部分をマスクにて拾い出し、2値化して面積を求めた



B 02-7-7-2 腐食面積20.41%



B 02-7-1-2 腐食面積8.07%



B 02-14-10-2 腐食面積3.92%



B 02-14-5-2 腐食面積0%



Z02-7-10-2 腐食面積0.35%

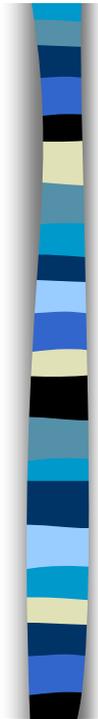


Z02-14-7-2 腐食面積0%

4. 考察

- 福井2年7ヶ月暴露かぶり1cm供試体の結果は、塩分浸透量が鉄筋位置で汀線から70mが2.58 Kg/m³及び腐食面積が17.7～10.19%、140mが1.85 Kg/m³及び腐食面積が6.48%で環境条件の差が非常に良く出た結果となっているのは写真1で分かる通り暴露に適した条件の場所であったからと考える。



- 
- 暴露地変更伊良湖岬9年3ヶ月暴露かぶり2cm供試体の結果は、福井2年7ヶ月暴露の暴露距離の差をそのまま引き継いだ結果で、70mより移動した供試体の塩分浸透量は5.89 Kg/m³ 腐食面積が20.1～8.07%、140mより移動した供試体の塩分浸透量は4.30Kg/m³ 腐食面積が3.92～0%となり、かぶりの差が鉄筋の腐食発生限界塩化物イオン量に関係したと考える。めっき鉄筋は、暴露地変更伊良湖岬9年3ヶ月の供試体の一つに孔食と見られる腐食面積0.35%の赤錆が見られたが、そのほかの供試体には赤錆の発生は見られなかった。



参考文献

建築工事標準仕様書・同解説JASS5鉄筋コンクリート工事 2009 p596～597
社団法人 表面技術協会 第112回講演大会 塩害環境下における溶融亜鉛めっき鉄筋コンクリートの暴露実験(社団法人日本溶融亜鉛鍍金協会 永見美典)2005



- 建築工事標準仕様書・同解説JASS5鉄筋コンクリート工事 2003 P528
- 鉄筋の腐食発生限界塩分濃度 $1.2(\text{Kg}/\text{m}^3)\text{NaCl}$
- $(0.73(\text{Kg}/\text{m}^3)\text{Clイオン})$

- コンクリート標準仕方書 2007 P120
- 鋼材腐食発生限界塩分濃度(Clim) $1.2(\text{Kg}/\text{m}^3)\text{Clイオン}$



- 建築工事標準仕様書・同解説JASS5鉄筋コンクリート工事 2007 P601
 - 鉄筋の腐食発生限界塩分濃度は、W/Cを
 - 考慮した解説表25.3より初期混入塩化物
 - イオン量の規制値である $0.3\text{Kg}/\text{m}^3$ を差し
 - 引いた値
- 解説表 25.3 W/Cと腐食発生限界塩化物イオン量 (kg/m³) の関係
- | W/C = 65% | W/C = 55% | W/C = 45% |
|-----------|-----------|-----------|
| 1.6 | 2.5 | 3.0 |
- コンクリート標準仕方書 2013 P149
 - 鋼材腐食発生限界塩分濃度(Clim) 類似の構造物の実測結果や試験結果を参考に定めてよい。
 - それによらない場合、式(2.1.6)～(2.1.9)を用いて定めてよい。ただしW/Cの範囲は、0.30～0.55とする。

(普通ポルトランドセメントを用いた場合)

$$C_{lim} = -3.0(W/C) + 3.4 \quad (2.1.6)$$

(高炉セメント B 種相当, フライアッシュセメント B 種相当を用いた場合)

$$C_{lim} = -2.6(W/C) + 3.1 \quad (2.1.7)$$

(低熱ポルトランドセメント, 早強ポルトランドセメントを用いた場合)

$$C_{lim} = -2.2(W/C) + 2.6 \quad (2.1.8)$$

(シリカフェームを用いた場合)

$$C_{lim} = 1.20 \quad (2.1.9)$$