

[42] 海水を使用した場合の鉄筋の発せいとコンクリートの諸性質に及ぼす影響

正会員 中島 正 智 (日曹マスタービルダーズ(株)中央研究所)

正会員 ○植田 実 (日曹マスタービルダーズ(株)中央研究所)

正会員 御所窪 邦 男 (日曹マスタービルダーズ(株)中央研究所)

1. まえがき

土木学会標準示方書、および建築学会標準仕様書では鉄筋コンクリートには練りませ水として海水の使用を禁止している関係上、塩化物が多量に混入した場合のコンクリートの諸性質や鉄筋の発せいに及ぼす影響に関する研究例は殆んどみられない。が、海砂中の塩分含有量が最大0.6%にも達する例があり、この場合にはコンクリート中の全塩化物が海水練りませ水にほぼ匹敵し、また海岸構造物や比較的早期に海水に接するコンクリートには除々に塩化物が蓄積され、遂には海水で練りませたコンクリートと同程度か、それ以上にも達する場合もある。

本研究はそれらの実情を考慮して海水で練りませ、鉄筋を埋設したコンクリートの自然暴露試験を行なっている試験体が材令5年を経過したので、この時点での圧縮強度(標準養生)、中性化、暴露試験体中の塩分の挙動鉄筋の発せい状況等について検討したものである。

2. 使用材料

鉄筋はSR-24 ϕ 13mm \times 260mmでこれを鉄工やすり、研磨布を用いて表面研磨を行ない、脱脂したのち試験に供した。セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材ならびに粗骨材は富士川産砂・砂利を使用した。混和剤は樹脂酸系A E剤、リグニン系A E減水剤、およびコンクリート用防せい剤を使用した。練りませ水として海水は神奈川県真鶴海岸より採取したものを、真水は水道水を使用した。

3. 試験方法

3.1 コンクリートの配合

コンクリートの水・セメント比は土木学

表-1 コンクリートの配合

会標準示方書で定める海洋コンクリートの、耐久性から定まる水・セメント比とし、断面の厚さが普通の場合のうちから55および60%の2点を用いた。配合を表-1に示した。

練り混ぜ水	混和剤	防せい剤 (ℓ/m^3)	W/C (%)	s/a (%)	C (kg/m^3)	W (kg/m^3)
水道水	ヴィンソル	なし	55	39	285	157
海水	ヴィンソル	なし	55	39	289	159
	ヴィンソル	3	55	39	289	159
	ヴィンソル	6	55	39	285	157
	ヴィンソル	6	60	40	262	157
	ボノリス δ 8	なし	55	39	271	149
	ボノリス δ 8	3	55	39	275	151
	ボノリス δ 8	6	55	39	271	149
	ボノリス δ 8	6	60	40	245	147

3.2 スランプ 空気量および圧縮強度

スランプはJIS A 1101に空気量はJIS A 1128によった。またJIS A 1108により材令3, 7, 28日および1, 3, 5年における圧縮強度を試験した。

3.3 供試体の作り方

所定の配合で練りませられたコンクリートをあらかじめ鉄筋を設置した ϕ 15cm \times 30cmの

型わく内に詰める。(図-1)また、これと同一配合のコンクリートで強度試験用の供試体を作製した。

3.4 養生方法および暴露場所

発せい試験用供試体は翌日に脱型し、3日間標準養生を行なった後、茅ヶ崎市萩園2722日曹マスタービルダーズ(株)中央研究所屋上(海岸からの距離約3Km)に自然暴露を行なった。また、圧縮強度用供試体は脱型後、所定の材令となるまで標準養生を行なった。

3.5 中性化試験方法

供試体を割裂した後、フェノールフタレインのアルコール溶液を塗布し、赤紫色に変色していない部分の深さを片側について3点測定し、その平均値を中性化深さとした。

3.6 鉄筋の腐食試験

割裂した供試体より埋設鉄筋を取り出し、鉄筋表面のさびの観察と発せ面積率の測定を行なった。

3.7 硬化コンクリート中の塩分量の測定

割裂した供試体を外側部分と内側部分に分け微粉碎し、絶乾としたものを分析用試料とした。コンクリート中の塩分はセメントに複塩として固定されるものと、遊離の状態が存在するものがあり、遊離の状態の塩分が鉄筋の腐食に関係するといわれている¹⁾。そこで、コンクリート中の塩分の挙動を検討するために下記の3種類の抽出方法で塩分を抽出し、定量を行なった。塩分測定にはホルハルト法を用いた。

1 硝酸分解法

試料約10gをビーカー内に精秤し、硝酸(1+10)を加え、30分間攪拌したのち吸引濾過を行ない、脱塩水で十分に洗浄する。

2 温水抽出および冷水抽出法

試料約10gをビーカー内に精秤し、温水を加え、湯浴上で時々攪拌しながら放置する。冷水抽出を行なうものについては脱塩水を加え攪拌する。所定の時間後に吸引濾過を行ない、脱塩水を用いて洗浄を行なう。

抽出時間については予備実験を行ない温水抽出では、2時間、冷水抽出では3時間とした。

4 試験結果および考察

4.1 コンクリートの圧縮強度試験

コンクリートの試験結果を表-2に示した。本実験では海水を練りませ水に用いた場合の圧縮強度は水道水を用いたものと比較して材令3日および7日においては上回り、28日以後はほぼ同等である結果を得た。海水を練りませ水に用いた場合の圧縮強度については、Abrams氏²⁾が材令28日以後は低下することを報告している。しかしながら、その後の研究をみると28日以後の長期強度は水道水練りのものと変わらないかむしろ海水練りの方が増加するとの報告^{3)~4)}もある。

なお、防せい剤を使用した場合の圧縮強度への影響については防せい剤無添加の場合の強度を多少上回っており、これから判断して防せい剤が長期材令でコンクリートの圧縮強度に悪影響をもたらすことはないといえる。

表-2 コンクリートの試験結果

練り 混ぜ水	混和剤	防せい剤 (l/m^3)	W/O (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	圧 縮 強 度 (Kg/cm ²)					
						3日	7日	28日	1年	3年	5年
水道水	ウィンソル	なし	5.5	11.0	4.0	126	194	326	398	402	401
海 水	ウィンソル	なし	5.5	11.6	4.4	198	249	322	399	413	412
	ウィンソル	3	5.5	11.5	4.7	224	265	343	420	454	434
	ウィンソル	6	5.5	10.2	4.4	214	268	349	433	430	422
	ウィンソル	6	6.0	10.2	4.6	188	240	311	373	377	402
	ボゾリス δ 8	なし	5.5	10.3	4.7	214	278	357	427	427	428
	ボゾリス δ 8	3	5.5	11.0	5.4	231	288	380	426	436	446
	ボゾリス δ 8	6	5.5	9.4	5.0	235	294	375	424	443	436
ボゾリス δ 8	6	6.0	9.0	5.0	204	263	338	398	408	408	

4.2 中性化試験

中性化試験結果を表-3に示した。この中性化試験の内容は下記の如くに要約される。

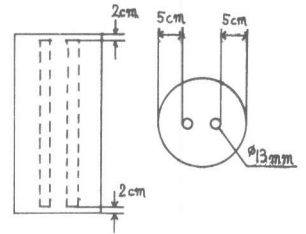


図-1 鉄筋の埋込み方法

海水を練りませ水として用いたW/C=50%のヴィンソルコンクリートの中性化深さの総平均は2.0mm、ポゾリスコンクリートでは1.9mmであった。しかしながら、水道水を練りませ水として用いたヴィンソルコンクリートでは中性化深さが3.6mmであったことから、海水中の塩化物により中性化速度が遅くなり、その結果、AE減水剤とAE剤の中性化深さに差が現われなかったものと思われる。ヴィンソルコンクリートでは水道水練りませで3.6mm、海水練りませで2.0mmとなっており、海水を練りませ水とした方が中性化が遅いという結果を得た。塩化物の混入が中性化速度におよぼす影響についての過去の文献には同等⁴⁾とする報告と遅くなるとする報告がある⁵⁾。本実験においては防せい剤の使用の有無によっての中性化速度に有意差は認められなかった。

表-3 中性化試験結果

練りませ水	配 合			平均中性化深さ (mm)
	混和剤	防せい剤 (ℓ/㎡)	W/C (%)	
水道水	ヴィンソル	なし	55	3.6
海水	ヴィンソル	なし	55	1.9
	ヴィンソル	3	55	2.1
	ヴィンソル	6	55	2.1
	ヴィンソル	6	60	2.8
	ポゾリス㍉8	なし	55	1.8
	ポゾリス㍉8	3	55	2.0
	ポゾリス㍉8	6	55	1.9
	ポゾリス㍉8	6	60	2.8

表-4 鉄筋の腐食試験結果

練りませ水	配 合			発せい面積率 (%)
	混和剤	防せい剤 (ℓ/㎡)	W/C (%)	
水道水	ヴィンソル	なし	55	0.1
海水	ヴィンソル	なし	55	3.4
	ヴィンソル	3	55	0
	ヴィンソル	6	55	0
	ヴィンソル	6	60	0
	ポゾリス㍉8	なし	55	0.1
	ポゾリス㍉8	3	55	0
	ポゾリス㍉8	6	55	0
	ポゾリス㍉8	6	60	0

表-5 供試体の塩分分析結果

供試体の配合	練りませ水	水道水	海水	海水	海水	海水	海水	海水	海水	海水	
	混和剤	ヴィンソル	ヴィンソル	ヴィンソル	ヴィンソル	ヴィンソル	ポゾリス㍉8	ポゾリス㍉8	ポゾリス㍉8	ポゾリス㍉8	
	W/C	55	55	55	55	60	55	55	55	60	
	防せい剤 (ℓ/㎡)	なし	なし	3	6	6	なし	3	6	6	
塩分量 (絶乾コンクリートに対する値)	当初塩分量 (%)	trace	0.217	0.203	0.217	0.214	0.214	0.206	0.203	0.200	
	硝酸分解法	内部	0.004	0.195 (8.9.9)	0.180 (8.8.7)	0.196 (9.0.3)	0.201 (9.3.9)	0.195 (9.1.1)	0.196 (9.5.1)	0.172 (8.4.7)	0.189 (9.4.5)
		外部	0.008	0.181 (8.3.4)	0.179 (8.8.2)	0.182 (8.3.9)	0.181 (8.4.6)	0.178 (8.3.2)	0.184 (8.9.3)	0.154 (7.5.9)	0.163 (8.1.5)
	温水抽出法	内部	0.003	0.166 (7.6.5)	0.170 (8.3.7)	0.167 (7.7.0)	0.170 (7.9.4)	0.170 (7.9.4)	0.173 (8.4.0)	0.154 (7.5.9)	0.154 (7.7.0)
		外部	0.006	0.160 (7.3.7)	0.158 (7.7.8)	0.160 (7.3.7)	0.158 (7.3.8)	0.160 (7.4.8)	0.172 (8.3.5)	0.142 (7.0.0)	0.152 (7.6.0)
	冷水抽出法	内部	0.002	0.100 (4.6.1)	0.102 (5.0.2)	0.106 (4.8.8)	0.112 (5.2.3)	0.114 (5.3.3)	0.104 (5.0.5)	0.108 (5.3.2)	0.098 (4.9.0)
		外部	0.004	0.105 (4.8.4)	0.100 (4.9.3)	0.106 (4.8.8)	0.106 (4.9.5)	0.104 (4.8.6)	0.110 (5.3.4)	0.090 (4.4.3)	0.100 (5.0.0)

注 () 内は当初塩分量を100とした時の値を示す

4.3 鉄筋の腐食試験

鉄筋の腐食試験結果を表-4 に示した。今回の材令5年での結果は多量の塩分にかかわらず防せい剤を使用しない供試体でも腐食はそれほど進行していなかった。この理由は水・セメント比が55%と比較的安全側にあること、鉄筋のかぶり厚さが5cmと大きかったこと、鉄筋を垂直筋とし、十分な締め固めを行なった供試体であることなどによるものと思われる。また、防せい剤を使用した供試体の鉄筋に発せいは見られなかった。

4.4 供試体中の塩分の挙動

供試体中の塩分量を3種類の塩分抽出法で供試体の外部ならびに内部を分析した結果を表-5 に示した。得

られた結果は下記のように要約される。

表-6 に当初塩分量と5年間暴露後の内部と外部の塩分量を示した。当初塩分量に対し内部では9%、外部では17%減少している。また、表-7 に結果を示したように硝酸分解法の塩分量を100とすると温水抽出法の場合は約80~90%、冷水抽出法では約50~60%となる。この差はコンクリート中の塩分の存在形態によるものである。温水抽出では硝酸分解法の80~90%の塩分量が測定された。

表-6 当初塩分量と5年後の残存塩分量 (NaCl% 総平均値)

当初塩分量		0.209 (100)
残存塩分量 (硝酸分解法)	内 部	0.190 (90.9)
	外 部	0.175 (83.7)

※ () 内は当初塩分量を100としたときの割合

表-7 3種類の抽出方法によって測定された塩分量 (NaCl% 総平均値)

抽出方法	内 部	外 部
硝酸分解法	0.191 (100)	0.175 (100)
温水抽出法	0.165 (86.4)	0.158 (90.3)
冷水抽出法	0.106 (55.5)	0.103 (58.9)

※ () 内は硝酸分解法を100としたときの割合

3種類の抽出方法による分析値を供試体内部の塩分量を100%とした場合の外部の塩分量は硝酸分解法では91.6%、温水抽出法95.8%、冷水抽出法97.2%となり、硝酸分解法が最も差があり、冷水抽出法にあまり差がない結果となっている。この現象から、比較的遊離の状態にある塩分は内部も外部も変わらないが、固定化しているような塩分は内部の方に多いと解釈される。遊離の塩分は一時期には片寄りが生じて5年間という年月の間に浸透圧等により濃度勾配を生じなくする力が働いて比較的一定化するが、固定化されるような塩分は外部では中性化や温度、湿度の変化による影響が大きく、内部に比較して固定されにくいものと推測される。

5 ま と め

海水を練りませ水として用い、鉄筋を埋設して自然暴露を行なっている試験体の暴露材令5年における試験を行なった。その結果は下記の如くである。

- (1) 海水練りませのコンクリートの短期材令強度は水道水の場合より増大するが、材令5年では水道水練りませのものとはほぼ同等であった。
- (2) 中性化速度は海水練りませの場合の方が水道水の場合より遅い。また、防せい剤の使用は中性化速度には影響を与えなかった。
- (3) 埋設鉄筋の腐食は予想より進行は小さかったが、防せい剤の効果は明らかに認められている。
- (4) 供試体中の塩分は打設時より減少しており、供試体の内部と外部とでは外部の方が少なかった。
- (5) 比較的遊離の状態にある塩分は内部も外部も変わらないが固定化しているような塩分は内部の方に多く存在することが認められる。

なお、長期材令用供試体は暴露試験を続行中であり、さらに長期材令での試験を行なう予定である。

参 考 文 献

- 1) W.Richartz: Zement-Kalk-Gips, 22, p.447
- 2) Abrams, D.A.: Tests of Impure Waters for Mixing Concrete, A.C.I. Proceedings, Vol. 20, p.442, 1924
- 3) Donald-F.Griffin And Robert-L.Henry: The effect of Salt in Concrete on Compressive Strength, Water Vapor Transmission, and Corrosion of Reinforced Steel, Report No. 306 of U.S.Naval Civil Engineering Lab., PortHueneme, Calif., p.1046, 1964
- 4) 岡田 清: コンクリートの中性化試験-5年屋外放置-, セ技報XXVI, p.397, 1963
- 5) 中村修吾, 金子恒夫: 塩分を含むコンクリート中の鉄筋の発せいに関する研究, コンクリート工学第13巻, 第1号, p.19, 1975
- 6) 柳場重正, 川村満紀, 高桑二郎: 海水を使用したコンクリートの諸性質について, セ技報XXVI, p.289, 1973
- 7) 斎藤隆幸: コンクリートの中性化および鉄筋のさびに関する長期試験: セ技報, XV, p.289, 1961