

1. まえがき

海岸や港湾のコンクリート構造物では、その規模や種類、あるいは施工場所などの状況に応じて、コンクリートの練りませ水として海水を用いることが多い。しかし、鉄筋コンクリートに海水を練りませ水として用いると内部の鉄筋の腐食を促し、構造物の耐久性を低下させるような有害な影響をもたらすと言われている。このために、たとえば土木学会コンクリート標準示方書でも鉄筋コンクリートに対しては練りませ水として海水を用いることを禁止している。一方、十分なかばりを確保し、高配合のコンクリートを入念に施工すれば、練りませ水としての海水の影響は無視し得る程度であるとの見方もある。

本研究は、練りませ水として海水を用いたコンクリートが鉄筋の腐食に与える影響を、海水環境における暴露試験をもとに長期的に調べることが目的としており、併せてセメントの種類やかばりの影響などについても検討を加えようとするものである。本文は長期試験の中間報告として、暴露試験後5年までの結果を取り纏めたものである。

2. 使用材料

セメントは、普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、中熱ポルトランドセメント、B種高炉セメント、およびアルミナセメントを用いた。普通ポルトランドセメントおよびB種高炉セメントについてはSO₃量を2%増量したものを加え、セメントの種類としては合計7種とした。使用した骨材は相模川産の川砂(比重: 2.61, 吸水量: 2.5%, 粗粒率: 2.98)および川砂利(最大寸法: 25 mm, 比重: 2.65, 吸水量: 1.0%, 粗粒率: 6.85)である。コンクリートの練りませ水としては、海水(比重: 1.024, pH: 8.03, Na: 10.1 g/l, Cl: 17.1 g/l)および水道水を用いた。鉄筋は中9の丸鋼であり、長さを18 cmとして、コンクリート打込み前に表面処理を施さばり黒皮を除去した。

3. 供試体の成形および暴露条件

コンクリートの配合は、単位セメント量 290 kg, スランプ 5 cm, 空気量 4%とした。供試体の形状はいずれも15×30 cmであり、圧縮強度試験用および鉄筋発錆試験用の2種を作製した。鉄筋は図に示すような位置に設置し、コンクリートの打込みを行なった。供試体は原則として翌日脱型し、アルミナセメントを用いた供試体では脱型後ただちに暴露試験に供し、早強ポルトランドセメントを用いた供試体では脱型後3日間標準水中養生を行ない海水への暴露を開始した。その他のセメントを用いた供試体は、脱型後標準水中養生を行なって枚令7日の時点で暴露試験に供した。

供試体の暴露場所は、1日2回1.5 mの潮差で人工的に潮の干満作用を再現する実験水槽(神奈川県久里浜)内の満潮面および干潮面の中間位置である。

水槽内の海水成分は、練りませ水として使用した海水とほぼ同様であり、海水温度は夏期で約24℃、冬期で約8℃である。暴露場所の気象条件は、月別平均最高気温が夏期で約30℃、冬期で約10℃、平均最低気温が夏期約24℃、冬期で約2℃である。

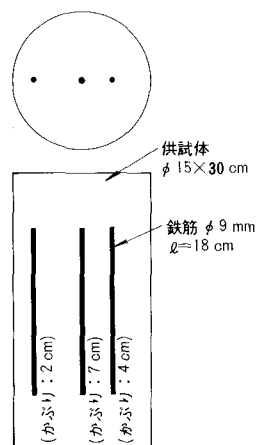


図 鉄筋の埋込み位置

4. コンクリートの品質変化

外観観察、圧縮強度試験および中性化試験（フェノールフタレイン溶液使用）について実施した。

材令5年における観察結果によると、セメントの種類や練りませ水の相違によってコンクリート表面の状態にほとんど差は認められなかった。

圧縮強度の試験結果を表に示した。初期材令の圧縮強度は、海水を練りませ水としたとき水道水を使用したものに対しほぼ同程度が若干大きい傾向を示しているが、材令5年ではほとんど同一の強度となっている。ただし、アルミナセメントを用いた供試体では、海水を使用したものの初期材令が著しく小さな値を示しているが、材令5年に至る強度の伸びは大きく、水道水を用いたコンクリートの90%程度の強度比を示した。

材令1年ではいずれの供試体にも中性化は認められなかった。材令5年の試験結果によると、中性化の進行は極めて小さく平均中性化深さを測定することは困難であり、各種要因による差は見られなかった。

5. 鉄筋の発錆傾向

供試体中の鉄筋をとり出し、表面観察、腐食面積の測定、腐食深さの測定、重量変化の測定を行なった。表面観察は材令1年および5年において、その他の試験項目は材令5年において実施した。

表面観察結果によると、材令1年ではアルミナセメントを用いたもののみに鉄筋の腐食が観察され、海水を練りませ水としたコンクリート中の鉄筋の腐食がやや明瞭であった。5年を経過した時点ではほぼ半数の鉄筋に腐食が認められたが、腐食の程度は点食、孔食あるいは担食など広範囲に亘り、大部分は赤サビであり一部の試験片には黒サビも観察された。鉄筋上端附近に腐食が多く発生するようであったが、ブリー징水の影響や供試体製作時の条件も含まれると思われるので、各種要因の相対的比較を行なうときにはこの部分の腐食を除外して考えることとした。表に面積の測定できる程度の腐食に就き、鉄筋表面積に対する腐食面積の比率を示した。表から明らかなように、練りませ水として海水を用いたものは水道水を用いたものに比較し内部の鉄筋は腐食しやすい傾向にあるようではあるが、材令5年程度ではその差は小さいと思われる。また、かぶりを大きくすることによって腐食の程度は減少し、海水を練りませ水として使用するときにもかぶりを4～7cmとするときには多くの鉄筋に腐食は認められなかった。

集中腐食による腐食深さは、鉄筋上端部を除いてはその値はノギスを用いて測定できる程度以下であった。また、材令5年までに生じた腐食では試験前後の試験片の重量差によって腐食を明瞭に識別することは困難であった。

なお、本試験はセメント協会との共同研究の一環として継続中のものである。本文の取りまとめに当っては、セメント協会研究所、セメント協会専門委員会の方々に種々の御指導を賜った。記して感謝の意を表する次第である。

表 コンクリートの強度および鉄筋の腐食結果 *

セメントの種類	練りませ水	圧縮強度 (kg/cm ²)		発錆面積率 (%)		
		初期材令	5年	2cm	4cm	7cm
普通ボルト	水道水	(28) 366	509	0.0	0.0	0.0
	海水	(28) 409	518	0.0	0.0	0.0
普通ボルト	水道水	—	524	(—)	(—)	(—)
	海水	(28) 388	521	0.1	0.1	0.0
早強ボルト	水道水	(7) 425	560	(—)	(—)	(—)
	海水	(7) 390	555	2.4	0.1	(—)
中 庸 熱 ボ ル ト	水道水	(28) 328	478	(—)	(—)	(—)
	海水	(28) 356	477	6.1	0.0	0.1
B 種 高 炉	水道水	(28) 380	563	(—)	(—)	(—)
	海水	(28) 395	551	0.0	0.0	(—)
B 種 高 炉	水道水	(28) 363	523	0.0	(—)	(—)
	海水	(28) 366	513	(—)	(—)	(—)
アルミナ	水道水	(1) 428	672	0.0	0.0	0.1
	海水	(4) 258	603	0.1	0.2	0.1

注： * それぞれ3ヶの測定値の平均値。

** () の数値は材令 (日) を示す。

*** 鉄筋全長 (18 cm) の表面積に対する腐食面積の割合。
2, 4 および 7 cm は鉄筋のかぶり。0.0 は腐食は確認できたが面積測定が不可能なもの、(—) はまったく腐食の認められないものを表わす。