

[43] 各種コンクリート打継目の耐海水性に関する材令5年試験

正会員 森 好生 (運輸省港湾技術研究所)
 正会員 ○大即 信明 (同上)
 下沢 治 (同上)

1. 研究目的

コンクリートの打継目は、構造上の弱点となり、外観を損ね、水密性に悪い影響を及ぼす。特に、海洋環境における鉄筋コンクリート構造物にあつては、海水の作用によつて打継目のコンクリートの品質の低下や打継目付近の鉄筋の腐食などが生じやすい。しかしながら、これに関する実験例はほとんどない。

このため、種々の打継目を有する鉄筋入りの円柱供試体を海洋環境に暴露し、材令5年、10年、20年における打継目のコンクリートの中性化、コンクリート中の鉄筋の腐食などに関する試験を行い、打継目の耐海水性を検討しようとするものである。今回、材令5年の試験結果について報告する。

2. 打継目の種類

既往の研究によれば、打継目劣化の原因は、旧コンクリート表面のレイタンスであると言われている。また、近年では打継目に樹脂を用いる例も多い。これらのことを考慮して、次の7種の打継目を検討した。

- A : 旧コンクリート表面のレイタンスを除かず、打ち継ぐ
- B : 旧コンクリート表面のレイタンスを除かず、モルタルを5mm厚さに敷いて、打ち継ぐ
- C : 旧コンクリート表面のレイタンスをワイヤブラシで除き、打ち継ぐ
- D : 旧コンクリート表面のレイタンスをワイヤブラシで除き、モルタルを5mm厚さに敷いて、打ち継ぐ
- E : 旧コンクリート表面のレイタンスを除かず、エポキシ樹脂を塗布し、打ち継ぐ
- F : 旧コンクリート表面のレイタンスをワイヤブラシで除き、エポキシ樹脂を塗布し、打ち継ぐ
- G : 旧コンクリート表面のレイタンスをワイヤブラシで除き、ラテックスペーストを塗布し、打ち継ぐ

3. 供試体の製作および養生・暴露条件

供試体の大きさは、 $\phi 15 \times 30$ cmとし、型わくを組立て後、固定金具で鉄筋をかぶり2、4、7cmとなるようセットした。まず高さ15cm程度までコンクリートを打設し、約24時間後、固定金具をはずし打継目の処理を行い、後打ちコンクリートを打設した。なお、使用したセメントは早強ポルトランドセメントであり、配合および圧縮強度は表-1の通りである。

埋込み鉄筋としては、 $\phi 9$ mmの丸鋼(SR24)を使用し、クエン酸アンモニウム溶液などを用いて黒皮等を除去し、光沢の見られる状態として使用した。

養生は、材令28日まで標準養生し、その後20日間室内養生し、材令50日から海洋環境に暴露した。海洋環境としては、陸上部、感潮部および海中部を選んだ。

陸上部：常時潮風の影響を受け、強風時にはしぶき等が飛来する環境である。

感潮部：潮汐により1日2回海水に浸せきし、露出する環境である。

海中部：常時海水に浸せきしている環境である。

表-1 コンクリートの配合および圧縮強度

スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	配合				圧縮強度 (Kgf/cm ²)	
				単位量 (Kg/m ³)				7日	28日
				W	C	S	G		
12	4	49.4	42.7	149	300	820	1099	329	403

4. 試験方法

材令5年において、供試体を取り出し外観観察を行った後、中性化、腐食状況観察ならびに電気化学的測定を行った。

(1) コンクリートの中性化：供試体を鉄筋に沿って割裂した面及び打継目に沿って割裂した面に1%フェノールフタレイン溶液を吹き付け、平均中性化深さおよび最大中性化深さを測定した。

(2) 鉄筋の腐食：鉄筋に沿って割裂して鉄筋を取り出し、表面観察ののち、腐食面積を測定した。

(3) コンクリート中の鉄筋の電気化学的測定：供試体下面より70mm程度の箇所を鉄筋直角方向に割裂し、鉄筋の端部を露出させ、リード線をハンダ付けし、すぐにコーティングした。その後、自然電極電位および動電位分極曲線（電位送り速度10mV/分）を測定した。なお、自然電極電位測定時の基準電極として人工海水塩化銀電極を用い、動電位分極曲線基準電極として甘コウ電極、対極としてステンレス鋼を用いた。

5. 試験結果および考察

(1) コンクリートの中性化：表-2に打継目における最大中性化深さ、平均中性化深さおよび破壊状況を示す。打継目以外における平均中性化深さは1mm以下であり、中性化は、打継目においては著しく進行することが認められた。暴露条件別には、陸上部の中性化が最も速く、感潮部と海中部との差は明確ではない。打継目の種類別にはA、Eの進行が速く、D、Cの進行は遅い。すなわち、レイタンスを除いたものほど、中性化の進行が遅い。なお、割裂時の破壊状況より打継目Fは全強と判断され、D、C、GがFに続き、A、B、Eは軽く力を加えるだけで打継目で全面はく離した。中性化および強度に関してはレイタンス除去の影響が大きい。

(2) 鉄筋の腐食：旧コンクリート部の鉄筋はほとんど腐食してはず、打継目の鉄筋は少し腐食し、後打ちコンクリート部の鉄筋はさらに腐食していた。また、本試験と平行して行った打継目のないコンクリートでは腐食は全く観察されなかった。表-3に腐食面積率を示す。暴露条件別には、感潮部の腐食がやや多い。また、かぶ

表-2 打継目の中性化

打継目の種類	最大中性化深さ (mm)			平均中性化深さ (mm)			打継目を割裂した時の破壊状況
	陸上部	感潮部	海中部	陸上部	感潮部	海中部	
A	53.7	13.1	6.4	24.0	9.9	2.6	打継目全面はく離
B	23.0	10.5	13.8	19.4	6.2	11.5	同上
C	※	9.0	8.2	※	5.0	1.3	感潮部のものは端部は打継目が見えたが内部は打継目以外で割裂
D	21.0	8.0	※	3.3	2.2	※	同上
E	43.0	24.8	46.5	39.9	13.3	16.2	打継目全面はく離
F	※	※	※	※	※	※	打継目以外での割裂
G	33.8	4.6	4.8	25.2	1.2	0.8	感潮部打継目全面はく離

※ 打継目以外で破壊

表-3 腐食面積率 (%)

	かぶりcm	腐食面積率 (%)							
		A	B	C	D	E	F	G	平均
陸上部	2	3.8	*5.5	*0.0	*0.0	10.8	*5.0	0.7	3.7
	4	0.7	*0.3	*0.0	*0.0	7.4	*7.5	0.2	1.2
	7	0.1	*0.0	*0.0	*0.5	3.9	*6.7	0.0	1.6
感潮部	2	15.8	2.9	7.7	8.3	9.9	9.5	12.5	9.5
	4	14.2	0.9	9.7	7.5	3.5	6.3	3.2	6.5
	7	1.7	0.2	4.4	8.0	0.9	3.4	2.8	3.1
海中部	2	6.9	1.3	—	*6.2	*6.3	*5.8	*1.0	6.3
	4	10.4	1.1	—	*3.6	*2.6	*7.3	*1.6	4.4
	7	1.8	1.7	—	*1.4	*0.0	*2.6	*3.8	1.9

注：2本の平均値、ただし*印は1本のみ値

りが小さくなるにつれて腐食が多くなる。打継目の鉄筋の腐食についてみると、打継目 E、F の腐食が最も多く、かぶり 7 cm の鉄筋も腐食していた。これは、写真-2 に示すように打継目の面に幅 1 mm 程度の空隙を多数生じているためと推定される。エポキシ樹脂を塗布した打継目は、強度の面では良好であるが、鉄筋腐食の面では問題があるものと判断される。

(3) コンクリート中の鉄筋の電気化学的測定：コンクリート中の鉄筋の自然電極電位は、人工海水塩化銀電極を基準として +20 mV ~ -450 mV の範囲であつた。自然電極電位と腐食面積率との関係を図-1 に示す。あまり相関はよくないが、-200 mV 程度が腐食の目安と考えられる。次に、動電位分極曲線の例を図-2 ~ 5 に示す。図-2 は打継目のない供試体（感潮部）、図-3 は A（感潮部）、図-4 は A（陸上部）、図-5 は B（感潮部）である。全般的な特徴として明確な孔食電位を示さず、比較的ゆるやかな変化を示している。また腐食量の多い A（感潮部）には不働態の領域がほとんどないのに対し、腐食量の少ないものには広い不働態の領域があるようである。ひとつの試みとして $\Delta I / \Delta E$ （電流密度の変化 / 電位の変化、目安として ΔI を 0 ~ 2 $\mu A / cm^2$ とした）と腐食量の関係を図-6 に示す。ばらつきはあるものの、かなりの相関が認められる。

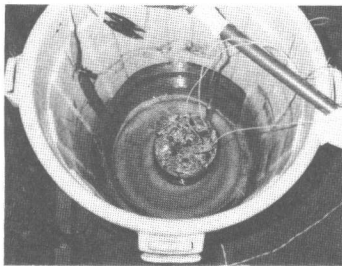


写真-1 動電位測定中の供試体

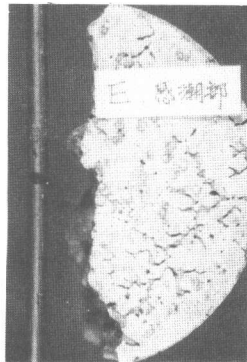


写真-2 Eの打継目

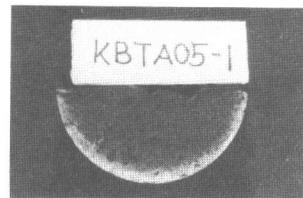


写真-3 Aの打継目

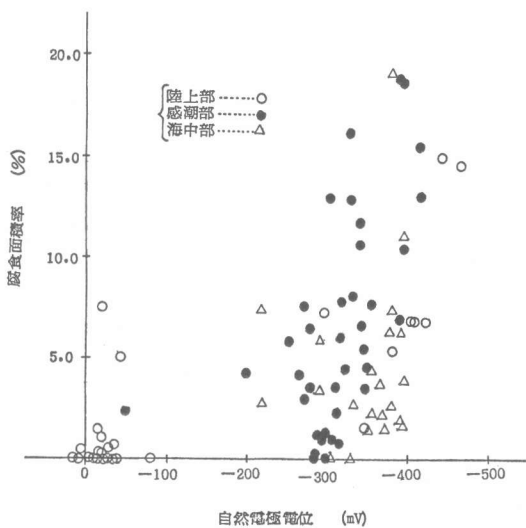


図-1 自然電極電位と腐食面積率の関係

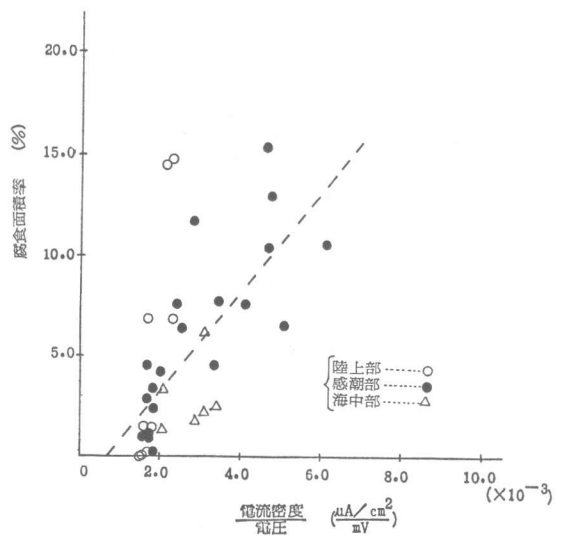


図-6 $\Delta I / \Delta E$ と腐食面積率の関係

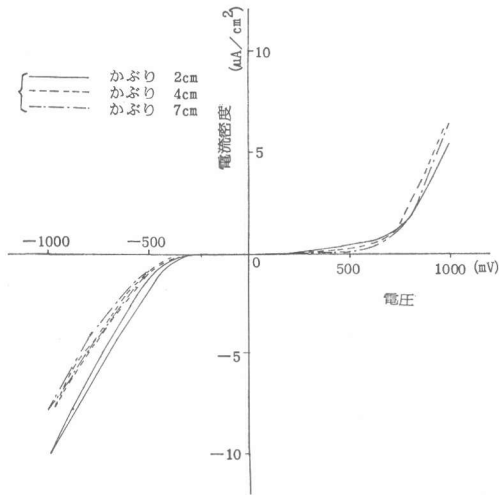


図-2 打継目のない供試体（感潮部）の動電位分極曲線

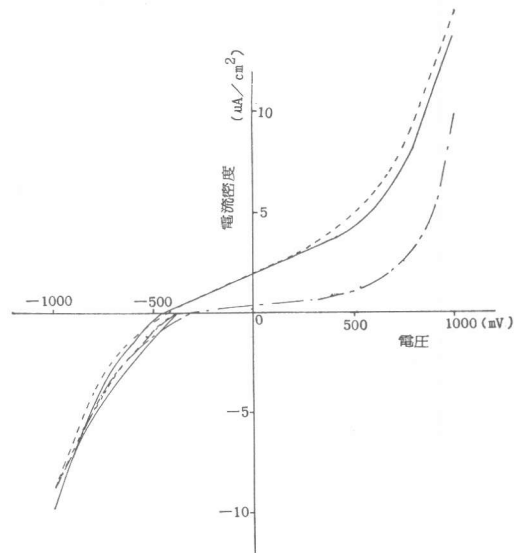


図-3 A (感潮部)の動電位分極曲線

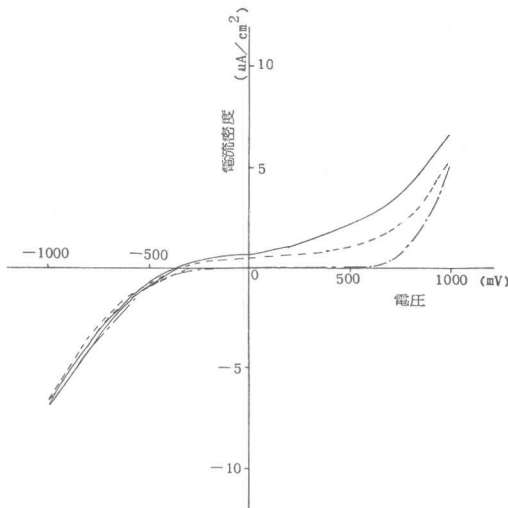


図-4 A (陸上部)の動電位分極曲線

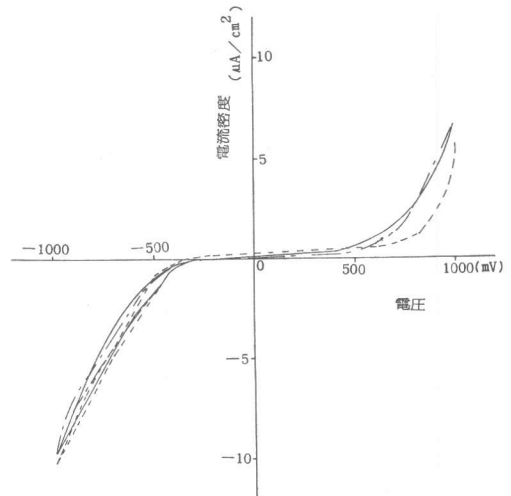


図-5 B (感潮部)の動電位分極曲線

6. 結論

今回の各種コンクリート打継目の耐海水性に関する材令5年試験によつて、次のことが結論づけられる。

- (1) 打継目における中性化はその他の部分に比較して著しく速く進行する。また、陸上部およびレイタンスを除去しなかつたものの中性化の進行が著しい。
- (2) 打継目を有する供試体中の鉄筋の腐食は、打継目を有しないものに比較して多く、やや感潮部が多い。また、かぶりの小さなものほど腐食が多い。
- (3) 自然電極電位および動電位分極曲線は、腐食の推定に有力な手がかりを与える。特に、動電位分極曲線は定量的な推定にも可能性を有する。

参考文献

- 1) 武若 耕治, 小林 一輔, 「鉄筋の塩分腐食とその防食に関する研究」, 土木学会 第35 回年学講演会, 1980, PP 345 ~346
- 2) 遅沢 浩一郎, 「ステンレス鋼の耐食性と材料選定」, 防食技術, Vol 27, No 5, 1978, PP 256 ~266