

[1060] コンクリートの各種打継目の耐海水性に関する材令10年試験

正会員 ○浜田 秀則 (運輸省港湾技術研究所)  
 原茂 雅光 (運輸省港湾技術研究所)  
 正会員 大即 信明 (運輸省港湾技術研究所)

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、海水の作用によって、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、これに関する長期の実験例はほとんどない。このため、本研究は、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酸化、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年および10年の試験結果について報告する。

また、コンクリート中の埋設鉄筋の腐食状況を非破壊的に試験する試みとして、数種の電気化学的測定を行ったので、その結果も併せて報告する。

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た後、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た後、打ち継ぐ

3. 供試体の製作、養生および暴露条件

供試体の大きさはφ15×30cmとし、型枠を組立てた後、固定金具で鉄筋をかぶり2、4、7cmとなるようにセットした(図-1参照)。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(比重 3.16)であり、粗骨材は鬼怒川産碎石(比重 2.63、F.M 6.89)、細骨材は同川産川砂(比重 2.58、F.M 2.75)を使用した。配合および圧縮強度は表-1のとおり

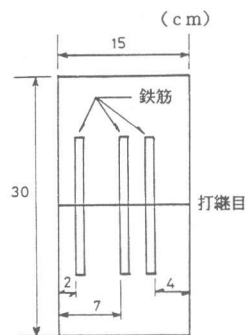


図-1 供試体略図

表-1 コンクリートの配合および圧縮強度

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

である。埋め込み鉄筋としては、φ9mmの丸鋼（SR24）を使用し、クエン酸二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日まで標準養生とし、その後約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、以下に示す、陸上部、感潮部および海中部を選んだ。なお、海水中のCl<sup>-</sup>濃度は平均して、16000mg/lであった。

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

感潮部：潮汐により1日2回海水に浸漬し、露出する環境

海中部：常時海水に浸漬している環境

#### 4. 試験方法

材令10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、埋設鉄筋の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および打継目に沿って割裂した面にフェノールフタレイン1%アルコール溶液を吹きつけ、中性化の進んでいる所を数ヶ所選択しその中性化深さを測定し、平均中性化深さおよび最大中性化深さを求めた。

(2) 鉄筋の腐食： 鉄筋に沿って割裂して鉄筋を取り出し、表面観察の際に発錆箇所のスケッチを行い、それをもとにプランニメーターを用いて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7cm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、すぐにエポキシ樹脂によりコーティングした。その後、自然電極電位および動電位分極曲線を測定した。

#### 5. 試験結果および考察

##### (1) 供試体の外観観察

供試体の割裂を行う前に表面の外観観察を行った。陸上部暴露の供試体は絶えず潮風にさらされるためと思われるが、白っぽくザラついていた。海中部、感潮部暴露の供試体は海水との接触により茶褐色に変色していたもののザラつきはなかった。また、感潮部暴露のDタイプとGタイプの各々2本中1本に鉄筋方向にたてひびわれが生じていた。この2本は、かぶり2cmの鉄筋の発錆がきわめて激し

表-2 打継目部の付着性 (材令10年)

	陸上部	感潮部	海中部	判定基準
A	1	1.5	1	割裂時に 全面剥離-1
B	2.5	1	1	
C	-	3	2	
D	3	3	3	継目をたたく ことにより 全面剥離-2
E	-	2	2	
F	2	3	3	剥離せず (付着が良い) -3
G	2	1	2.5	

表中の値は各々2本の平均値である

かったものであり、このためにひびわれが発生したものと思われる。

(2) 打継目の付着性

打継目の付着性の判定は、鉄筋に沿って割裂した供試体により行い、表-2に示す1~3までの3段階に分類した。同じく表-2に判定結果を示す。これより、A、Bタイプは明らかに他のタイプより付着性が劣っている。また、レイタンスを除去すると打継目面のコンクリート相互の付着性が向上する。レイタンスの除去を前提として打継目の付着性を検討すると、D、Fタイプが優れており、Gタイプ（特に感潮部）は劣るという結果になっている。

表-3 打継目部の中性化深さ (材令10年)

打継目の種類	最大中性化深さ (mm)			平均中性化深さ (mm)			Ave
	陸上部	感潮部	海中部	陸上部	感潮部	海中部	
A	-	10	6.5	-	3.8	5	6.3
B	75	15	6.5	75	12.5	4	31.3
C	15	*	0	4	*	0	48
D	*	*	*	*	*	*	*
E	26	45	0	13	20	0	17.3
F	7	*	*	3	*	*	5
G	35	12.5	5	5	5	5	11.3
Ave	31.6	20.6	3.6	20	10.3	2.8	

\* 打継目以外で破壊

(3) 打継目のコンクリートの中性化

表-3に材令10年時における打継目面の最大中性化深さ、平均中性化深さを示す。打継目以外における平均中性化深さは1~5mm程度であり、中性化は打継目において著しく進行することが認められる。暴露条件別に見ると、海中部および感潮部に比べて、陸上部での中性化の進行が速い。海中部ではさほど中性化は進まないが、それでもA、B、Gタイプでは若干中性化が進行しており、上記(2)の結果と併せて考えると、付着性が劣ると中性化も進行しやすいものと思われる。また、エポキシ樹脂を用いた打継目面は他の打継目面に比べて中性化が進行しやすいという結果になっているが、これは写真-1に示すように、打継目

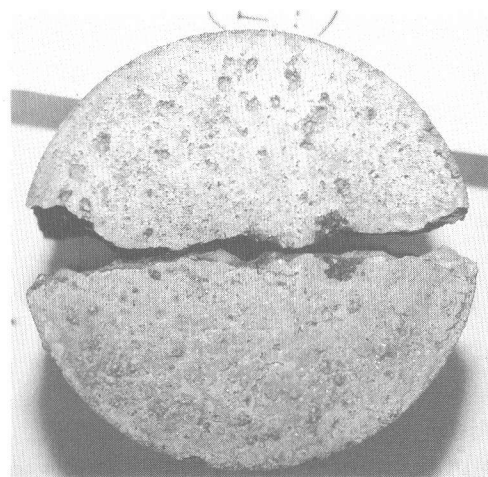


写真-1 Eタイプの打継目 (材令10年)

表-4 鉄筋の発錆面積率 (材令10年)

(%)

	かぶり(cm)	A	B	C	D	E	F	G	Ave
陸上部	2	3.3	*5.7	*2.7	*0.5	*3.5	*4.5	0.7	3.0
	4	4.1	*5.2	*3.7	*0	*3.0	*1.4	0.1	2.5
	7	4.6	*0.2	*0.2	*0	*1.1	*1.7	0.2	1.1
	Ave	4.0	3.7	2.2	0.2	3.8	2.5	0.3	
感潮部	2	13.7	8.1	8.7	61.4	7.1	31.4	47.0	25.3
	4	3.9	8.9	6.1	47.9	7.6	31.5	5.0	15.8
	7	4.9	2.5	18.0	33.3	5.3	25.6	2.5	13.2
	Ave	7.5	6.5	10.9	47.5	6.7	29.5	18.2	
海中部	2	2.6	1.0	4.6	0.7	4.1	0.9	*0.2	2.0
	4	*0.3	1.1	*0.2	1.0	7.0	0.6	*0.1	1.5
	7	0.2	0.6	*0.2	0.6	1.8	0.9	*0	0.6
	Ave	1.0	0.9	1.7	0.8	4.3	0.8	0.1	
Ave		4.2	3.7	4.9	16.2	4.5	10.9	6.2	

表中の値は2本の平均値、ただし\*印は1本のみ

面に比較的大きな空隙が多数存在するためと思われる。

(4) 鉄筋の腐食状況

鉄筋の腐食状況は、D、Gタイプの感潮部暴露のようにほぼ全面にわたって発錆しているものもあったが、陸上部および感潮部暴露のものでは、大部分は打継目部ないし打継目部から後打ちコンクリート部にかけて発錆していた(写真-2参照)。また、海中部暴露のものには、鉄筋全面に点錆が発生するという性状を示すものが多かった。表-4に材令10年時の発錆面積率を示す。いずれのタイプについても、陸上部、海中部に比べて感潮部の発錆面積が大きくなっており、陸上部と海中部ではほぼ同程度の発錆面積となっている。A、B、E、F、Gタイプについては陸上部の方が海中部よりも若干発錆が進んでいるが、これらはいずれも打継目部の中性化が大きかったためと思われる。また、この表を見る限りにおいては、レイタンスの除去が鉄筋の発錆に及ぼす影響はさほど大きくないようである。また、エポキシ樹脂を塗布した打継目

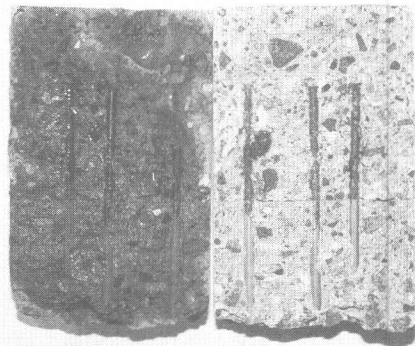


写真-2 鉄筋の腐食状況の一例 (Fタイプ、感潮部、材令10年)

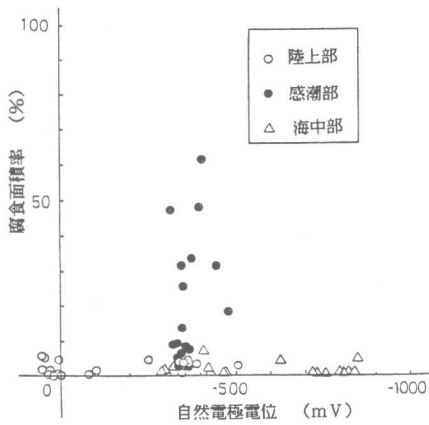


図-2 自然電極電位と腐食面積率の関係 (材令10年)

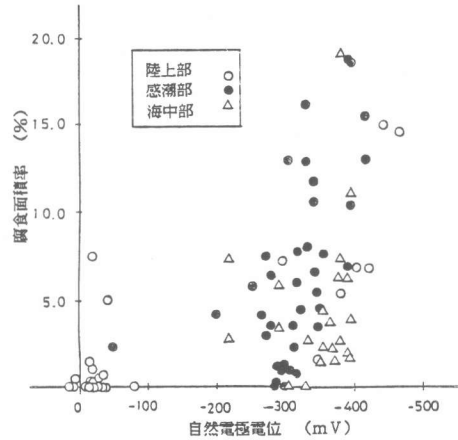


図-3 自然電極電位と腐食面積率の関係 (材令5年)

は付着性は良好であるが、鉄筋の防食性は良くないものと判断される。

(5) 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、+50mV～-850 mVの範囲であった。図-2に材令10年時における自然電極電位と腐食面積率の関係を示す。海中部暴露については、腐食面積率に大きな変動はないものの、自然電極電位はかなりの(-300mV～-800mV)変動を示している。それに対して、感潮部暴露のものは、腐食面積率の変動は大きいものの自然電極電位の変動はあまりない。また、陸上部暴露のものは、自然電極電位が比較的「貴」の領域に集中している。このように、暴露条件ごとに特徴ある結果となっている。図-3に材令5年時における関係[1]を示す。

若干同様の傾向が見られるものの材令10年程その傾向は明確ではない。

図-4に材令10年時の動電位分極曲線の一例(Dタイプ、かぶり2cm)を示す。これより、陸上部には良好な不動態があり、感潮部と海中部では不動態が破壊されている可能性が高いことが推察される。他の供試体の動電位分極曲線もほぼ同様の傾向であった。

動電位分極曲線を用いて鉄筋の腐食の状況を推察する1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 $\Delta I = 0 \sim 2 \mu A / cm^2$ )と腐食面積率の関係(材令10年)を図-5に示す。感潮部暴露のものについて見るとかなり良い相関が認められる。材令5年時においても同様の相関関係

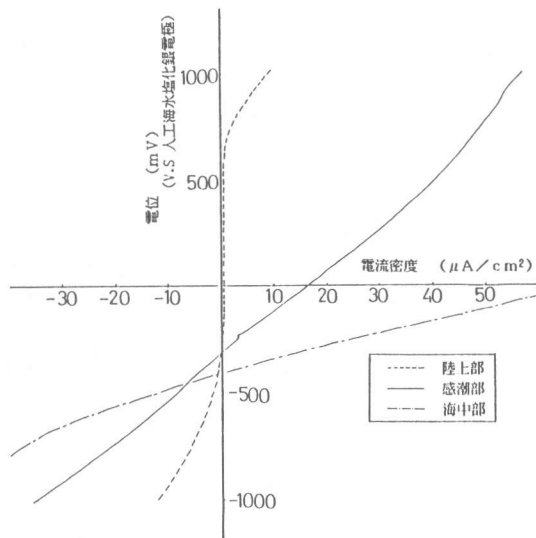


図-4 動電位分極曲線の一例 (Dタイプ)

を示したが[1]、材令10年時の方が若干相関が良いようである。以上、数種の電気化学的計測結果を示したが、これらは暴露条件毎に異なる特徴を示している。

#### (6) 腐食状況の考察

前述したように、鉄筋の腐食状況は暴露条件ごとに異なるものとなったが、これは、各暴露条件ごとに腐食の直接的な原因となる条件が異なるためであろう。例えば、陸上部においては打継目部の中性化が卓越すること、海中部においては塩素イオンが鉄筋表面に到達するが酸素の供給が少ないこと、さらに感潮部では中性化と塩素イオンの両方の影響を受けるといようなことが考えられる。

陸上部および感潮部の条件下ではマクロセルが形成されやすい。すなわち、打継目部が腐食しているものは打継目部の不動態のみが破壊され活性化して、活性-不動態電池が形成された可能性がある。また、打継目部が腐食せずに端部が腐食しているものは、酸素濃淡電池が形成された可能性がある。それに対して、海中部においては、図-4の動電位分極曲線より推察されるように、不動態は鉄筋全面にわたって失われ、鉄筋表面の任意の箇所においてマイクロセルが形成された可能性がある。

上記の理由により、鉄筋の腐食性状が各暴露条件毎に異なってくるものと思われる。

#### 6. 結論

今回の10年試験により得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 打継目の付着性はレイタンスの除去に大きく影響される。レイタンスを除去すると付着性は高まる。レイタンスの除去を前提とすると、モルタルとエポキシ樹脂を用いた打継目の付着性は、ラテックスペーストを用いたものより良好である。
- (2) 打継目面のコンクリートの中性化は陸上部において速く進行する。また、エポキシ樹脂を用いた打継目面は他のタイプに比べて中性化の進行が速い。
- (3) いずれの打継目を用いた場合でも鉄筋の腐食は感潮部において最も進んでいる。陸上部（エポキシ樹脂を除く）、海中部では腐食はさほど進んでいない。
- (4) 打継目面のコンクリート相互の付着性の良否と鉄筋の防食性の良否は必ずしも一致しない。
- (5) 自然電極電位、動電位分極曲線といった鉄筋の電気化学的情報は暴露条件に大きく左右される。従って、これらの情報の解析を暴露条件毎に行うことにより、鉄筋の腐食状況の推定の手がかりを得ることが可能であると思われる。

(参考文献)

- [1] 森、大即、下沢；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、第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集、1981

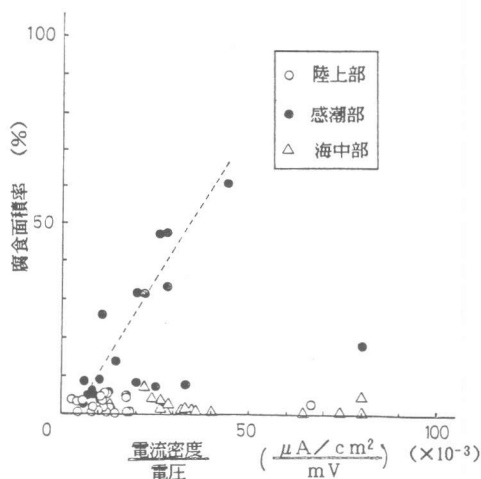


図-5  $\Delta I / \Delta E$ と腐食面積率の関係 (材令10年)