

報告 内部挿入型電極による RC 棧橋床版の電気防食試験

小熊 文雄*¹・千葉 丈夫*²

要旨：欧州、特にデンマーク国内で実績のある内部挿入型電極を使用して、実 RC 棧橋床版に電気防食試験を適用した。その結果、床版内鉄筋に対する電気防食効果は顕著に現われ、コンクリート表面に電極を設置する従来の電気防食工法と比較して、床版上層鉄筋も下層鉄筋と同等の電気防食効果が得られ、その有効性が確認できた。

キーワード：電気防食、内部挿入型電極、棧橋、床版

1. はじめに

内部挿入型電極による電気防食工法は、1984～1985年にデンマークで開発され、駐車場ガレージ・橋脚・バルコニーなどの建造物に適用され、現在までデンマーク国内の電気防食実績の約80%が本工法で施工されている〔1〕。しかし、我が国においては本工法での施工実績がないのが現状である。また、本工法には、①構造物の形状を変更せず、付加的死荷重を与えない②コンクリートの表面処理（オーバーレイ、塗装）が不要である③長期の電極寿命が期待できる④局部的補修が必要な場合にも適用可能であるなどの特徴があることが報告されている〔2〕。したがって、本工法を実 RC 棧橋床版部へ適用した場合の電気防食の有効性を検討する目的で、試験施工を実施したのでその結果を報告する。

2. 事前調査

2. 1 試験対象位置

図-1 に試験実施前に調査した対象棧橋位置を示す。対象棧橋は建設後、約25年経過した軽量骨材の出入荷棧橋であり、東京湾の奥に位置している。

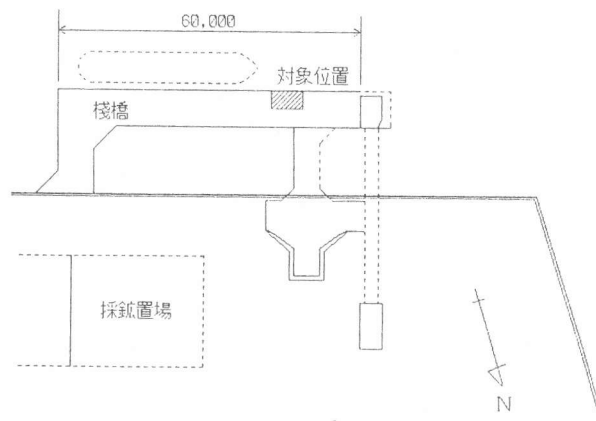


図-1 試験対象位置

2. 2 鉄筋探査

表-1 に電気防食対象床版内部の鉄筋径、配筋位置及び鉄筋表面積の探査結果を示す。探査は構造物の図面を参照しながら、鉄筋探査計を用い実施した。

また、対象床版の鉄筋表面積は配筋図から求めた。（上層鉄筋は下層鉄筋と同量だけ配筋されているものとした）。施工対象面は図-2 に示す約 2m X 2.5mの床版2面で海に向かって左がA面、右がB面、床版厚さは300 mmである。

* 1 (株)ナカボーテック エンジニアリング本部 技術総括部（正会員）

* 2 同上 技術開発研究所 開発研究部（正会員）

表 - 1 鉄筋探査状況

| 対象面 | 鉄筋径 (mm) | 鉄筋かぶり (mm) | 配筋間隔 (mm) | 鉄筋表面積 (m ²) |
|-----|----------|------------|-----------|-------------------------|
| A面 | 16 | 50(上下筋とも) | 120~400 | 4.35 |
| B面 | 16 | 50(上下筋とも) | 100~330 | 4.66 |

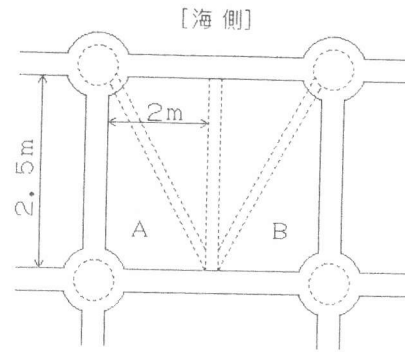


図 - 2 施工対象面

2. 3 鉄筋腐食診断

電気防食試験を実施する前に、対象栈橋床版の外観から腐食の進行が見られる下層鉄筋の腐食状況を非破壊検査によって診断した。診断方法は対象コンクリート表面の測定点に可搬センサーを押しつけ、各測定点の鉄筋自然電位、分極抵抗及びかぶりコンクリートの電気抵抗の3要素を連続して測定する。解析は3要素の「しきい値」の重ね合せから“腐食大”、“腐食軽微”、“腐食なし”の腐食ランクに分類して作図し、各ランクの面積率を求める。鉄筋の発錆面積率は実構造物の測定面をはつり、測定点を中心としたかぶり厚さを半円とする円内の腐食状況を目視観察した調査結果から発錆面積率20%以上を“腐食大”、5~20%を“腐食軽微”、5%以下を“腐食なし”とする〔3〕。図-3、図-4は解析結果で、それによれば、A面では測定対象全体の6%程度が“腐食軽微”の領域であることが判明した。一方、B面では全体の30%程度が“腐食軽微”もしくは“腐食大”の領域であり、鉄筋腐食は床版中心部であることが判明し、B面の方がより腐食傾向にあることが判った。

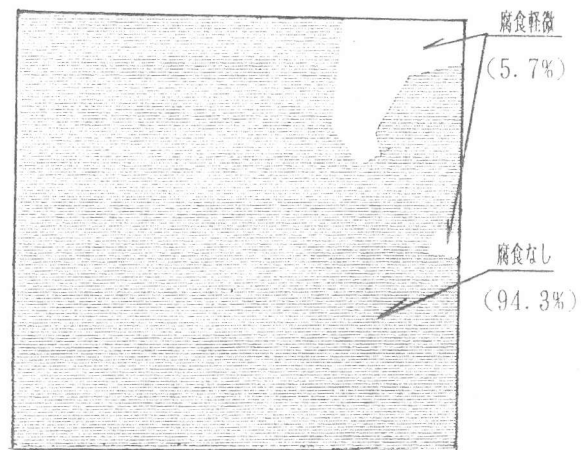


図 - 3 A面解析結果

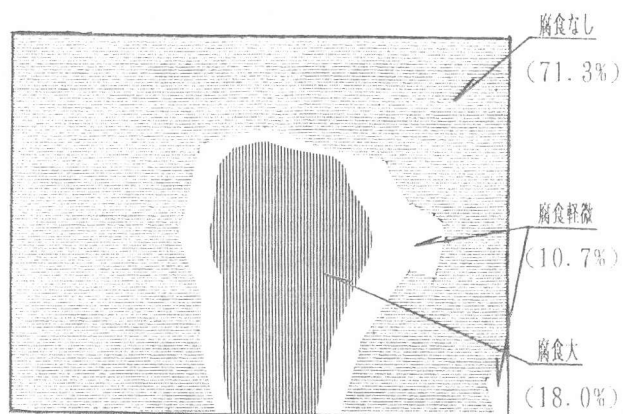


図 - 4 B面解析結果

3. 電気防食試験

3. 1 電気防食設計

(1) シミュレーションによる設計

本工法による電気防食試験を実施する前に、事前調査した諸データをパラメータとして、適正

な電極設置位置を分極量に基づく数値解析手法でシミュレーションした。10個のパラメータを用い、最小分極量が100mV、鉄筋電位が-1000mVより卑にならないように最大分極量を700mVとして電極設置間隔位置を求めた。その結果を表-2に示す。

表-2 適正な電極設置間隔

| A、B面 | 共通パラメータ | 個別パラメータ | 適正電極設置位置 |
|---|--|--|--------------------------|
| ①電極長さ(cm) :5 ②かぶり厚さ(cm) :5 ③鉄筋径(cm) :1.6 ④鉄筋間隔(cm) :25 | ⑤コンクリート厚さ(cm) :15 ⑥電極の閉路電位(V, SCE) :1 ⑦最小分極量(mV) :100 ⑧最大分極量(mV) :700 | ⑨鉄筋の分極パラメータ(cm) A:0.62694 B:0.22583 ⑩鉄筋自然電位(mV, SCE) A:-32 B:-146 | A面:12~72cm B面:15~53cm |

3.2 電極とモニタリングの設置

(1) 電極設置

電極はシミュレーション結果と現場の配筋状態を考慮して図-5及び図-6に示す位置の床版下面に設置した。設置間隔はA、B面ともほぼ25~51cmの間に収めた。B面で海側2箇所が縦・横不規則な

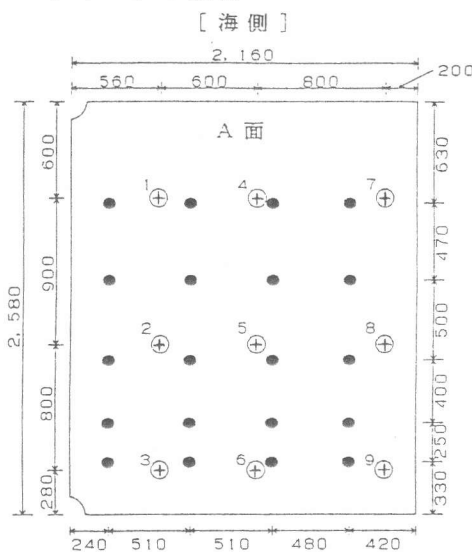


図-5 A面電極設置位置

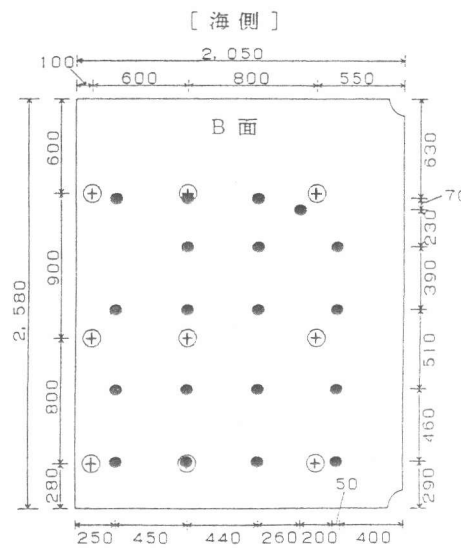


図-6 B面電極設置位置

位置に設置したのは所定設置位置のコンクリート中に廃鉄材が存在したためである。図中●が電極(床版下面)、○は外部照合電極での電位測定点(床版上面)を示す。また、表-3には電極の仕様と設置電極本数を示す。設置本数は対象コンクリート表面積当たりの数値である。また電極の設置方法は、所定位置の対象コンクリート表面にドリルでφ12mmの穴を明け、バックフィルとともに電極を挿入した。

表-3 使用電極

| 内部挿入型電極の仕様 | 設置電極本数 | | |
|------------|----------------------------|-----|---------------------|
| | 白金メッキチタン棒 (φ3 X 100 mm) | A面 | 20本 |
| | B面 | 19本 | 3.7本/m ² |

(2) モニタリングの設置

電位監視用のモニタリング装置として図-7に示す位置（床版下面内部）に埋め込み用照合電極（二酸化マンガン電極）を埋設した。

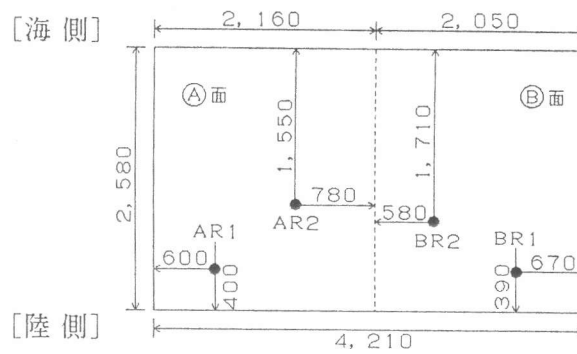


図-7 モニタリング設置位置

3. 3 通電

(1) 通電方法

図-8に本工法による通電回路の模式図を示す。通電は定電流電源装置を用いて通電した。

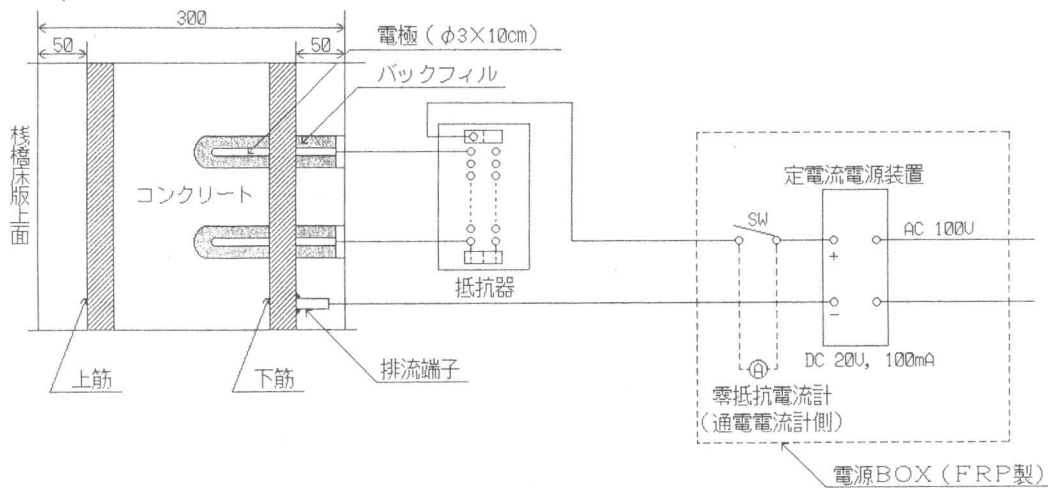


図-8 通電回路模式図

(2) E-log I 試験

通電防食電流を決定するために E-log I 試験を行ない、各対象面での分極特性曲線を求めた。図-9に各対象面の分極曲線を示す。100 mV分極のための鉄筋の通電防食電流密度を求めるとA面では 10.3 mA/m²、B面では10.7 mA/m²となり、これに各面の鉄筋表面積を掛けるとそれぞれ45mA、50mAとなり、この電流値で通電した。

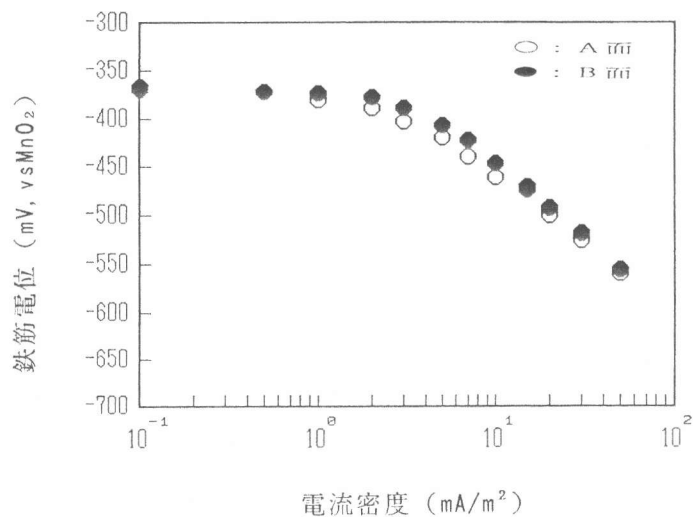


図-9 E-log I 試験

4. 試験結果

4.1 通電電流と復極量

図-10に通電期間(12週間)中における各対象面の防食電流密度と各測定期間での床版下面内に埋め込んだ照合電極及び床版上面で外部電極で測定した4時間復極量の経時変化を示す。

防食電流密度は試験開始後から鉄筋電位の復極状態をみながら徐々に低減させ、12週目にA面で当初の40%、B面で20%程度低減させた。一方、各床版とも下層鉄筋及び上層鉄筋で100 mV以上の復極量が得られ、電気防食効果が確認できた。また、上層鉄筋復極量はA、B面とも大差がなかったが、下層鉄筋復極量はA面のほうが通電電流が小さいにもかかわらず、50~80mV程度大きい値が得られた。このように下層鉄筋の復極量でA、B面に差がでたのはB面の鉄筋腐食が大きいという事前腐食調査結果と対応していることが確認できた。なお、各床版の下層鉄筋復極量は2箇所の埋め込み照合電極、上層鉄筋復極量は9箇所での外部照合電極での測定値の平均で示してある。ただし、どちらの照合電極とも二酸化マンガ電極である。

4.2 上層鉄筋への防食効果

栈橋床版内の上層鉄筋に対する防食効果は図-10で明らかに確認されたが、ここではさらに復極量の分布がどうなっているかをみた。図-11に通電12週目におけるA面床版上層鉄筋の24時間復極量の分布図を示す。

床版上面からの測定点は分布精度を上げるため、当初の測定点の他に縦方向に各2点ずつ合計6点追加してデータとした。分布図の結果によれば、電気防食の対象面ではB面との境界部と陸側の一部に小さな復極量が現れた箇所がみられたが、ほぼ全体の領域で防食効果が得られていることが判明し、本工法による床版上層部鉄筋への電気防食効果の有効性が確認することができた。この事はB面においても同様な結果が得られた。

4.3 電極の発生電流

本試験期間での通電電流から電極1本当たりの発生電流を求めると、表-4に示す数値となり、電極単位長さ当たりの発生電流は0.1~0.3 mA/cmとなっていた。

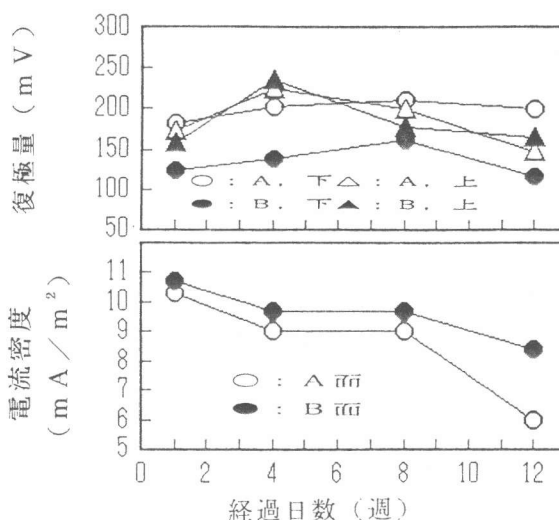


図-10 電流密度と復極量の関係

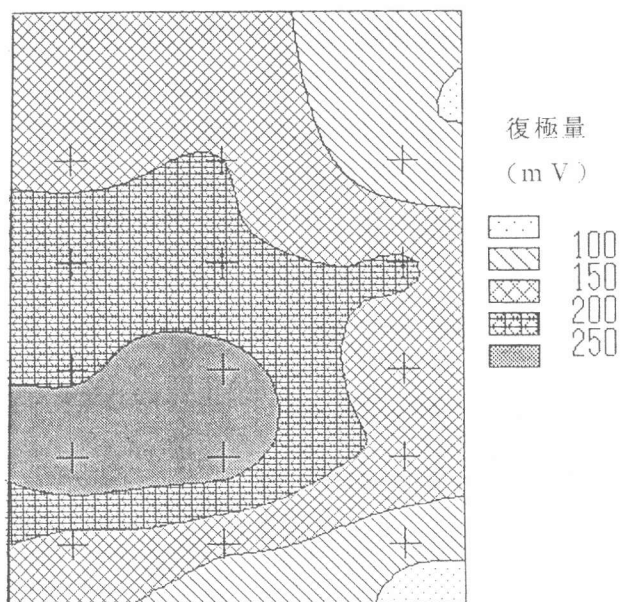


図-11 復極量分布図

この電流で通電した場合、白金メッキチタン棒であるこの電極は半永久的（50年以上）寿命で、バックフィルについては約20～25年の寿命（その後交換）と言われている〔2〕。

表-4 電極発生電流 (mA/cm)

| | 1週 | 4週 | 8週 | 12週 |
|----|-------|-------|-------|-------|
| A面 | 0.225 | 0.195 | 0.195 | 0.130 |
| B面 | 0.263 | 0.237 | 0.237 | 0.205 |

5. まとめ

(1) 3ヶ月後までの通電状態においては、床版内部鉄筋に対する電気防食効果が発揮され、特に、従来のようにコンクリート表面に電極を設置する工法と比較して床版上層鉄筋も下層鉄筋と同等に電気防食効果が期待できることが判明した。

(2) 本試験では、シミュレーション結果と現場の配筋状態を考慮して電極設置間隔を25～51cmの範囲に決めて施工し、電気防食効果が得られた。このことは、シミュレーションによる結果と符合していた。また、電極1本当りの発生電流は0.3mA/cm以下であった。

(3) 内部挿入型電極を使用した本工法は、従来工法と全く異なる電極配置であるが、同等な防食効果が得られた。

参考文献

- 1) 片脇清士・坂本浩行他：国内アンケート調査および海外現状調査、J C I 電気防食研究委員会資料、1994.7
- 2) Nielsen, K. and Groenvold, F.: Cathodic Protection Using Internal Anodes. Construction Maintenance & Repair, Vol.5, No.1, Jan./Feb. 1991
- 3) 望月紀保・山田哲也他：コンクリート中の鉄筋腐食評価方法について、コンクリート構造物の耐久性診断に関するシンポジウム論文集、日本コンクリート工学協会、1988.5