

No.47 2007

# NAKABOH REPORT



# NAKABOH REPORT

第47号 2007年

— 目 次 —

●巻頭言

電気防食に求められる今後の役割 .....1  
常務取締役 田中 博幸

●技術報告

《施工事例》

サハリン2プロジェクトで建設されるLNG生産設備内の電気防食装置 ..... 3  
技術統括部 古部 実

●新技術紹介

ALAPANEL (アラパネル) 方式 ..... 9  
事業推進部 RC推進室

## 巻 頭 言

常務取締役  
田中 博幸

### 電気防食に求められる今後の役割

電気防食は、港湾鋼構造物、船舶、ガス・石油・水道などの埋設パイプライン、タンクや熱交換器などのプラント施設内面、鉄筋コンクリート構造物などに適用されており、日本国内での適用も50年以上の歴史があります。これまでの電気防食は、主として防食の確実性や経済的視点で使用材料の選定や工法の選択が行われてきましたが、今後は環境問題や資源の有効利用などへの配慮も必要となってきたと感じています。

電気防食の設計方法や材料仕様については施設管理者や適用対象物ごとに標準化されている場合が多く、国際的にも作成段階の国際規格を含めて規格基準類の整備が進んでいます。しかし、環境や資源の枯渇問題と電気防食の関連はあまり議論されていませんでした。そこで、電気防食の流電陽極に関係する金属について、確認埋蔵量を年間生産量で割った値である「可採年数」でまとめてみました。(表1)

なお、金属の枯渇については、金属資源の確認埋蔵量に未確認資源量を加えた値を年間生産量で割った「枯渇年数」という指標もありますが、未確認資源量の推定値が研究者によって様々なようですので、ここでは「可採年数」を記載しました。

表1 電気防食の流電陽極にかかわる主な金属の可採年数

金属	可採年数 (年)	防食対象または電気防食用途
鉄	151	防食対象物
アルミニウム	207	Al合金陽極の主金属 Zn合金陽極や,Mg合金陽極の添加金属
亜鉛	19	Zn合金陽極の主金属 Al合金陽極や,Mg合金陽極の添加金属
マグネシウム	(629)	Mg合金陽極の主金属 Al合金陽極の添加金属
インジウム	13	Al合金陽極の添加金属
マンガン	92	Mg合金陽極の添加金属

出典：Mineral Commodity Summaries (2007)

(マグネシウムの可採年数は上記出典の2005年版によるもの)

これによると、亜鉛とインジウムの可採年数が20年以下となっています。亜鉛もインジウムも工場内でのリサイクルは進んでいるものの、市場からの回収は必ずしも十分ではないようです。

特にインジウムはITO(インジウムとすずの複合酸化物)ターゲット材として使われており、この分野では枯渇問題の認識から代替材料の研究も進められています。また、世界のインジウム

量の約60%が日本国内で流通していることなどを考えると、当面は電気防食の組成材料として調達が困難となることはないのかもしれませんが、しかし、鉱物資源の枯渇懸念は更なる価格高騰につながることも考えられます。

一方、外部電源方式の電極材料には合金や金属酸化物が使われていますが、最近では母材にチタン、タンタル、ニオブなどを使用し、その表面を白金、イリジウム酸化物、ルテニウム酸化物などで被覆したものが使用されています。なお、海水中で長年使用されてきた鉛銀合金については白金系の環境配慮型電極に置き換わってきています。

外部電源用電極は不溶性金属であり、使用量も少ないことから枯渇問題で大きな影響は生じないと考えられます。

今回のNAKABOH REPORTでは、サハリン2プロジェクトにおける地上据え置きタンク、埋設配管、栈橋鋼管杭などの電気防食適用例、および鉄筋の電気防食工法であるALAPANEL(アラパネル)工法について紹介させていただきます。

サハリン2プロジェクトの施工例は、水質・土質や温度など防食対象物周辺の環境が国内と異なるため、適用事例が比較的少ない工法、および寒冷地仕様の防食材料についての紹介です。石油と天然ガスは金属資源と同様に枯渇問題を抱えており、エコエネルギーへの転換についても論議されています。電気防食による輸送ラインの安全確保は環境汚染の回避や省エネにも貢献できているものと感じています。また、「ALAPANEL(アラパネル)」の特徴はいくつかありますが、従来の亜鉛系合金からアルミニウム系合金としたことで省資源・省エネ工法への移行としても位置づけられます。

電気防食における環境問題や資源枯渇問題への対応効果の大きさは他産業と比べると大きな数値とはならないかもしれませんが、しかし、電気防食は構造物の長寿命化において省資源化に大きく貢献できるものですが、電気防食工法自体も環境負荷低減や資源の有効利用に貢献できるよう技術開発に取り組んでいきたいと考えています。

## サハリン2プロジェクトで建設される LNG 生産設備内の電気防食装置

技術統括部 古部 実

## 1. はじめに

ロシア サハリン島 東沿岸沖合では、1977 年頃から油田・ガス田が発見され、オイルメジャー各社が参加したプロジェクトが計画された。サハリン島を中心としたプロジェクトは大陸側へのサハリン1原油パイプラインとサハリン2の天然ガスパイプライン及び LNG プラントがあるが、今回はサハリン2の LNG プラントについて紹介する。サハリン2は、ガスプロム、ロイヤルダッチシェル、三井物産、三菱商事が株主となったサハリンエナジー株式会社が実施している天然ガス・油田開発事業である。サハリン島南部のプリゴロドノエに建設中の施設は、サハリン島北方で生産した天然ガスや原油を輸出するためのターミナルで、ロシアで初めての LNG 生産設備が含まれる。

このプロジェクトで採用された当社の電気防食技術をご紹介します。

## 2. 防食設計

石油化学プラント建設には、施主が計画した設備の内容を示す Project Specification が用意される。電気防食もプラント内に建設される施設の腐食防止に欠かせない技術のひとつとして認識されており Project Spec. に必ず含まれている。

電気防食の Project spec. には、電気防食設計、設計条件の他に防食装置の材料仕様・施工維持管理計画に関わる内容も記載されている。

石油・ガス生産設備、製油所、化学製品の生産設備を多数所有する石油会社やそれらを建設するプラントエンジニアリング会社では、自社の防食設計、施工経験や維持管理経験から独自の防食技術標準を持つところが多く、ロイヤルダッチシェルも Shell Standards の中に電気防食技術標準を持ち、その内容はこの Project Spec. の電気防食仕様の中に反映されている。

## 2.1 適用規格

海外プロジェクトの設計・建設には、米国規格、英国規格の他、ISO（国際規格）、EN（欧州規格）等が引用されている。

これらの規格は電気防食設計、施工並びに維持管理のガイドラインとなる。今回の業務には、NACE(National Association of Corrosion Engineers : 米国)<sup>1)</sup>、BS(British Standards : 英国)<sup>2)</sup>、DNV (Det Norske Veritas : ノルウェー)<sup>3)</sup>等の規格をガイドラインとし、Project Spec. 記載の要求内容を反映して防食設計を行なった。

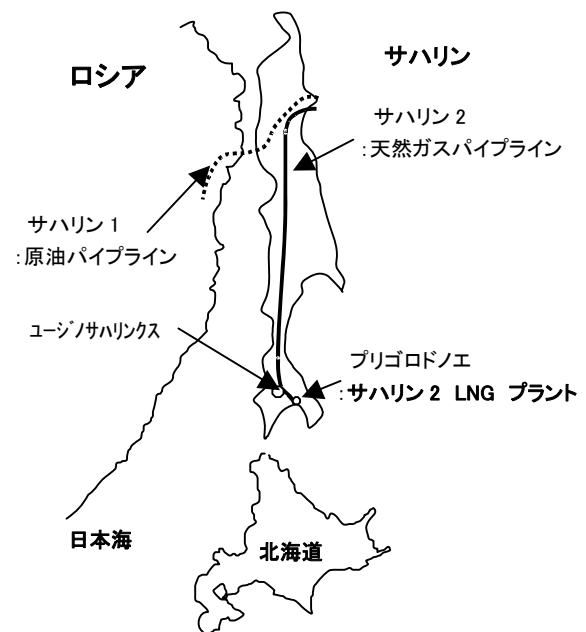


図-1 サハリンの石油開発事業

写真-1 サハリン 2 LNG プラント<sup>4)</sup>

## 2.2 防食対象と適用した電気防食方法

防食対象は下表に示す原油タンク、埋設タンク、埋設配管並びにLNG出荷栈橋であり、適用した防食方式を表-1に示す。

表-1 防食対象と防食方式

防食施設	防食対象部	防食方式
地上据置タンク (直径約93m 原油タンク)	原油に含まれるブラインウォーターに接するタンク内面の鋼材表面	流電陽極方式
地上据置タンク (直径約93m 原油タンク)	基礎砂に接するタンク底板外面の鋼材表面	外部電源方式
廃油地下タンク (1.6~2.8m ×長さ5~8m)	埋設タンク外面の鋼材表面	流電陽極方式
廃油埋設配管 (4~10in ×長さ600m)	埋設配管外面の鋼材表面	流電陽極方式
消火埋設配管 (8in ×長さ4~6m長)	埋設配管外面の鋼材表面	流電陽極方式
LNG 出荷栈橋 (2.5m 杭、およびコーン部)	海水に接する栈橋基礎杭及びコーン部の鋼材表面	流電陽極方式

### 2.2.1 タンク内外面

#### (1) タンク内面

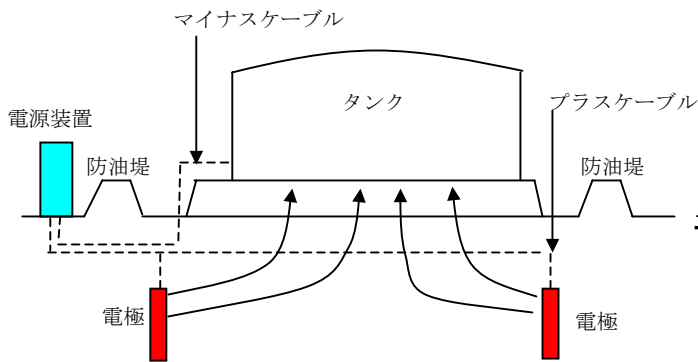
原油タンク内面には原油に含まれるブライン(塩水)による腐食を防止するために塗覆装と電気防食の併用防食が一般的な方法である。

Project Spec.に基き、亜鉛合金陽極による流電陽極方式を採用した。

約0.5m以下で、底板全面への電流分布を考慮し、リボン状の金属混合酸化物電極を底板全面に敷詰める方法が使われるようになり、今回もこの方法を採用した(図-3)。

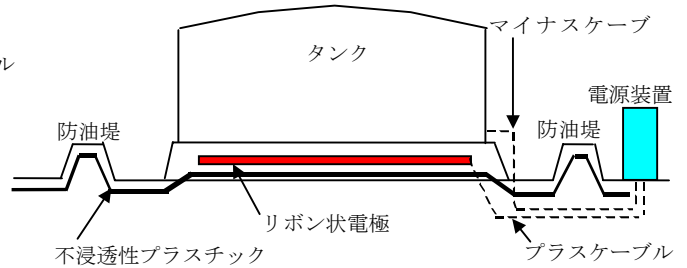
#### (2) タンク底板外面

タンク底板外面の防食には一般に外部電源方式が広く適用されており、この際通電電極はタンク周りのタンクヤードに埋設する場合が多い(図-2)。しかし、最近は多くのプロジェクトにおいて環境汚染防止の目的からタンクヤード全域に不浸透性プラスチック層が敷設されるようになり、電極を底板とプラスチック層の間の砂層に設置しなくてはならなくなってきた。タンク底板とプラスチック層との間は



\* 防食電流は従来型の電極から供給される

図-2 外部電源方式による従来型基礎を持つタンクの防食方法



\* 防食電流はタンク基礎内に設置された線状又はリボン状電極から供給される

図-3 外部電源方式による不浸透性プラスチック基礎を持つタンクの防食方法

### 2.2.2 廃油タンク(地下タンク)及び廃油埋設配管外面

一般的に塗覆装のある小規模の防食対象は、流電陽極方式で防食される。今回もタンクと付属配管はマグネシウム合金陽極による流電陽極方式を採用した。

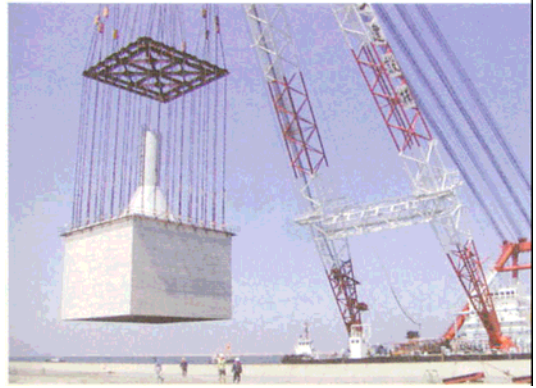
### 2.2.3 消火埋設配管

プラント内の消火配管はこれまで鋼製配管が主配管から消火栓まで利用されていたが、最近では配管にプラスチック管が利用されるようになり、鋼管部は消火栓直下部の短い配管だけになってきた。

このプラントにおいても主配管にプラスチック管が採用され、消火栓直下部の短い配管のみが対象で、マグネシウム合金陽極による流電陽極方式を採用した。

### 2.2.4 LNG 出荷栈橋

本栈橋はコンクリート基礎を持つ鋼管杭とその上に取付けられたデッキで構成される。冬季には流水が押し寄せするため、鋼管杭の水線部分には流水による破損防止用の鋼製コーンが設けられており、この鋼管杭と鋼製コーンが防食対象となっている。杭およびコーンの防食は塗装とアルミニウム合金陽極による流電陽極の併用防食を採用した。

写真-2 LNG出荷栈橋<sup>4)</sup>写真-3 コンクリート基礎上の防護コン鋼管杭<sup>4)</sup>

### 2.3 詳細設計・材料調達・出荷

防食設計の基本方針を決定した後、設計仕様書、材料仕様書、システムレイアウト図、施工マニュアル、材料検査法案等を作成した。顧客承認を得た後、材料製作や調達作業を行った。

電気防食材料は製作後、検査を終えて輸出梱包し建設現場に向けて出荷した。

### 3. 施工・完成測定

海外プロジェクトでは、多くの場合、建設業務を担当するエンジニアリング会社の管理下で地元の建設会社やその国以外の建設会社が工事を担当する。

電気防食の工事も通常、それらの建設会社の手に委ねられるが、本プロジェクトでは当社が予め工事マニュアルを用意し、技術アドバイスも行った。

特殊な工事内容の場合には必要に応じ当社から防食技術者を派遣する必要がある。今回は電極設置工事および完成測定で技術員派遣を行った。

### 4. 設計・施工上の配慮点

冬期は気温が大幅に低下するため、作業環境が悪くなったり、使用材料の物性が変化してしまう可能性が生じるので、それらを考慮した機材の選定や施工面での対応が行なわれた。

- (1) 地表の凍結を考慮し防食材料の埋設深さを決定した。
- (2) 低温海水中でも使える陽極を採用した。

- (3) 流水の影響を考慮した陽極取付方法が採用された。

**謝辞：**このレポートに紹介致しました業務並びにレポート発行承認に当り御協力戴きました関係各位の皆様にご心から御礼申し上げます。

#### \*\*サハリン案件に関する技術の紹介\*\*

エネルギーの枯渇や近年のエネルギー需要増加に伴い既存の生産地だけでなく一段と厳しい自然環境の中に生産設備が建設されるようになってきている。

厳しい環境条件下に建設される施設構造物には新たな材料や施工方法が取り入れられており、我々が取り組む腐食防止の仕事においても、構造物のおかれた自然環境や腐食環境の中でより信頼性のある防食技術や工法を生み出してゆくことが必要とってきている。

サハリンの案件に関連し検討された主な技術について以下に紹介する。



1. 低温用アルミニウム合金陽極

アルミニウム合金陽極は通常の温度環境では優れた陽極性能を発揮するが、北海などの低温環境では陽極性能が低下する。当社では、低温環境でも安定した性能を示す陽極開発を行ない、結果を第24防錆防食技術発表大会（平成16年）で報告<sup>5)</sup>している。

1.1. マグネシウムとシリコンの影響

アルミニウム合金陽極への添加材料の中で、マグネシウムとシリコンが陽極性能に影響する報告に基づき、低温特性を向上させるためにマグネシウムとシリコン添加量を変化させたときの陽極性能に及ぼす影響を検討したところ、発生電気量:2600 A/h・kg以上、陽極電位: -1050 mV (vs. SCE) 以下を共に満たすための成分はシリコン添加量: 0% (不純物レベル)、マグネシウム添加量: 3.0~3.5%が有効であることがわかった。

1.2 実環境試験

北海道釧路湾内において本開発品とアルミニウム合金陽極の性能比較試験を行なった。試験期間は冬期の約5ヶ月間とし、試験は電流密度: 0.5mA/cm<sup>2</sup> の定電流とした。供試陽極の陽極成分を表-1に、陽極性能を表-2に、電位と水温の関係を図-1に示す。

表1 供試陽極の化学成分 (mass%)

	Al	Zn	Mg	In	Si	Fe
開発品	残部	3.20	3.80	0.020	-	0.09
A合金	残部	3.30	1.20	0.019	0.21	0.10
B合金	残部	5.50	-	0.021	0.24	0.05

表2 実環境試験結果

	平均陽極電位 (mV vs.SSE)	発生電気量 (A・h/kg)
開発品	-1054	2647
A合金	-1050	2593

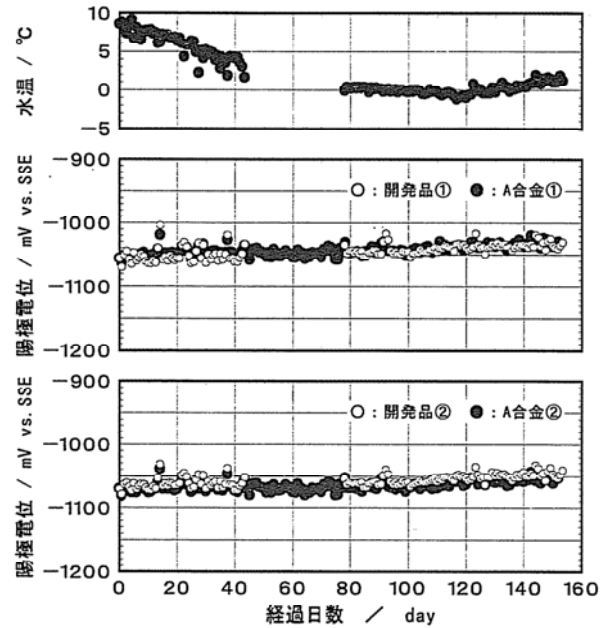


図1 電位経時変化

1.3. まとめ

アルミニウム合金陽極をベースに高マグネシウム・低シリコンにすることで低温環境における陽極性能が向上することがわかった。

2. 有限要素法の利用

複雑な鋼構造物を防食する場合、電極装置の配置方法の良し悪しは取付け後の電位測定で確認し、その結果を次の設計に反映される方法が行われており、これまでは事前確認ができる適当な方法がなかった。

有限要素法は、ボーイング社の技術者が航空機の強度計算に利用したことが始まりと言われているが、大型コンピューターの普及に伴い土木工学、船舶工学、材料工学などの分野で利用されるようになり、電気防食の分野でも1990年代半ばに米国で発表された。最近では当社においても複雑な構造物での電位分布を、有限要素法により事前確認ができるようになっている。

この方法の特徴は対象となる領域を小さな部分に分割し、各々の部分を簡単なモデル(数式)で近似し、それを全体に組み立てて解く方法である。それまでは導電紙を用いて1次元もしくは2次元の簡略化した電極配置において電位分布を具体化する方法が精一杯であった。この方法によって構造物を3次元で表し、電気防食の効果として電位分布をカラー表示することが可能となり一目瞭然で防食対象の電位状況を把握できるようになった。図-2に有限要素法を用いて陽極(下側中央部)周辺の電位分布を解析した事例を示す。防食範囲を特定する場合でも便利なツールで、顧客への説明データとしてもいろいろな場面で利用される技術である。

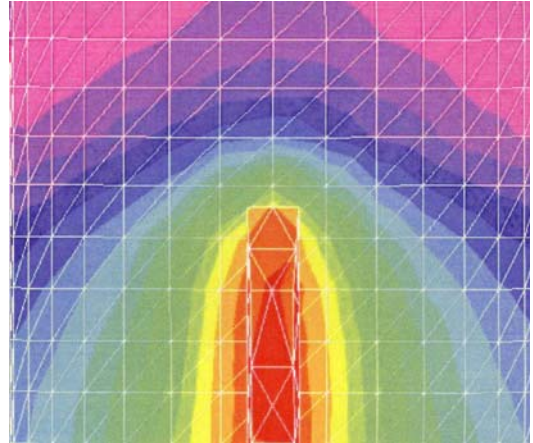


図-2 有限要素法による電位分析

#### 参考文献

- 1) NACE ; National Association of Corrosion Engineers : RP-0619 他
- 2) BS ; British Standards : BS 7361 他
- 3) DNV ; Det Norske Veritas : DNV RP-B-401 他
- 4) 佐藤厚子 ; 土木学会誌 vol.92 No. 2 February (2007) P4, P43
- 5) 小林浩之,白石 弘,石田雅巳 ; 第24回防錆防食技術発表大会予稿集,(社)日本防錆技術協会, P77(2004)

## [新技術紹介] ALAPANEL (アラパネル) 方式

塩害を受けているコンクリート構造物の延命対策として RC 鉄筋の電気防食法が広く知られています。一般にその方法として流電陽極方式と外部電源方式があり、防食対象物に対して適切な設計がなされています。

流電陽極方式には外部からの電源を必要としないという大きな特徴がありますが、弊社ではその新たな方法として、陽極材を従来の亜鉛からアルミニウムに変えた方式を開発しました。

亜鉛よりも軽量のアルミニウムパネルを利用することにより、取付金具数を少なくすることが可能となり、工事が簡素化されたことから亜鉛シート工法と比較し様々なコストメリットが生まれ、20年以上のメンテナンスフリーの工法として完成することができました。これが ALAPANEL 方式です

2007年11月に東京ビッグサイトで開催されたメンテナンステクノショー 2007 に出品し、コンクリート中の RC 鉄筋の新しい流電陽極方式として多くの反響をいただくことができました。

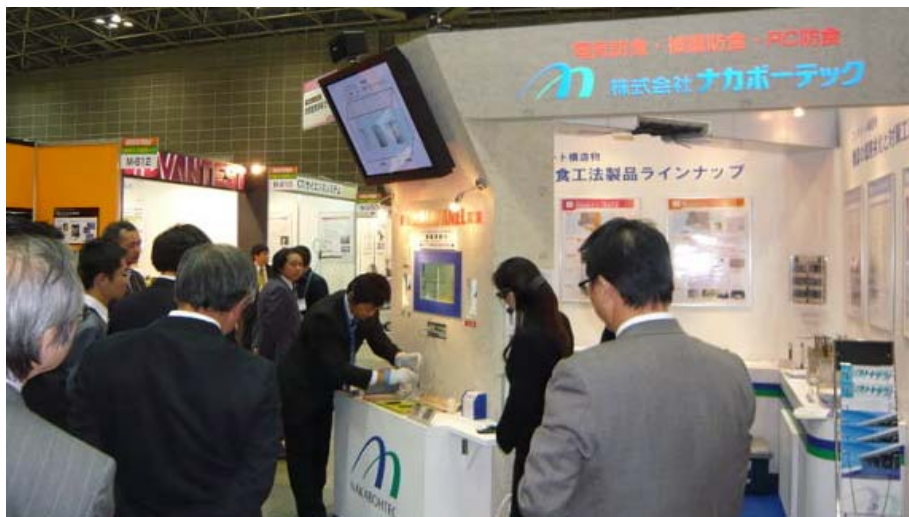


写真-1 : テクノショーの弊社ブース  
電気防食のモデル試験風景

以下に ALAPANEL 方式の主な特徴と工事の概要について示します。

## 1. ALAPANEL 方式の特徴

ALAPANEL 方式は、アルミニウム製パネル (ALAP-RC)、電解ジェルおよびパネル接合材から構成される。(特許出願中)

その概要を図1に示す。

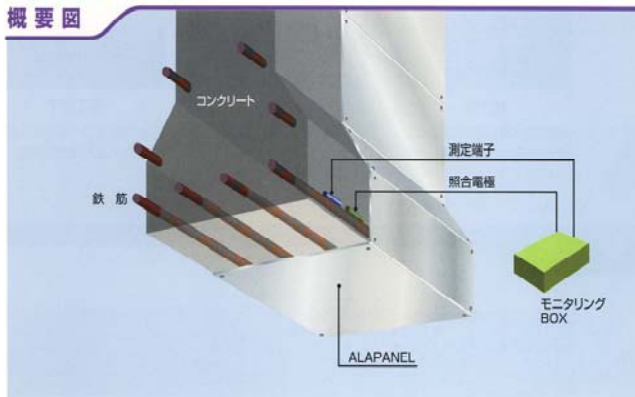


図-1 ALAPANEL 方式の取付概要

### 1.1 電源不要の流電陽極方式である

防食電流は ALAP-RC から電解ジェルを通して金属固有の電位差を利用しコンクリート内鉄筋に供給されるので、外部電源方式に用いる電源装置とその電源を必要としない。

入出力配線・配管や一次側の電力も不要なため、電源のない構造物への電気防食が可能となる。

### 1.2 メンテナンスフリーを実現

外部電源方式は、点検時に電流・電圧の調整および電源装置の保守点検が必要であったが流電陽極方式はそれらが不要となる。わずらわしい点検も外観検査が主体となりメンテナンスが容易となった。予め据付けたモニタリングボックスで電位測定ができ、防食効果を確認することができる。

### 1.3 施工方法改良で工期短縮が可能

軽くて丈夫なアルミニウム合金を主材料としているため、加工・取付けが容易になった。接合にリベットを使用することにより迅速に組立てられ従来工法と比較し工期が短縮出来る。

## 1.4 景観にとけこむ構造物を提供

本工法では ALAP-RC への塗装が可能であり、景観と調和した構造物を造ることが出来るようになった。

## 2. 手順方法

### 2.1 施工準備



写真-2 施工準備

施工対象面を水等で洗浄しパネル取付用レールを取付ける。

### 2.2 陽極取付け



写真-3 陽極取付け状況

レールに沿って取付け位置を決定・確認し、パネルをリベットでレールに取付ける。

### 2.3 外観処理



写真-4 外観処理

目地・端部をコーキング材で処理した後、パネル表面の養生用フィルムを撤去し完成する。

### 3. 標準仕様

以下に使用材料、防食対象への適用標準を紹介する。

#### 3.1 主要材料標準

##### (1) ALAP-RC

材料：アルミニウム合金製シート  
 標準寸法：1枚当り 40cm×50cm×3mmt  
 標準質量：1枚当り 約 1.6 kg  
 期待耐用年数：20年を標準とする

カラーリング：標準色はグレー  
 (オプション)

##### (2) 電解ジェル

材料：(主成分) 吸水性ポリマー  
 標準使用量：コンクリート接合面に 10mm

##### (3) 接合材

材料：アルミニウム合金製圧延レール  
 厚み：2mm

#### 3.2 適用標準

##### (1) 回路構成

500㎡以下を1単位とし回路構成するが、実施に当たっては、適用対象の規模、部位から回路構成を設計する。

##### (2) 防食効果確認

予め防食対象部のコンクリート中に設備したモニタリング装置で電位測定し確認することが出来る。

電位変化量：100mV以上

### (3) メンテナンス

防食状態の確認以外には ALAPANEL の外観観察(汚れ、破損等)のみで、維持管理においては特別な専門知識は必要ない。

### 4. 防食効果

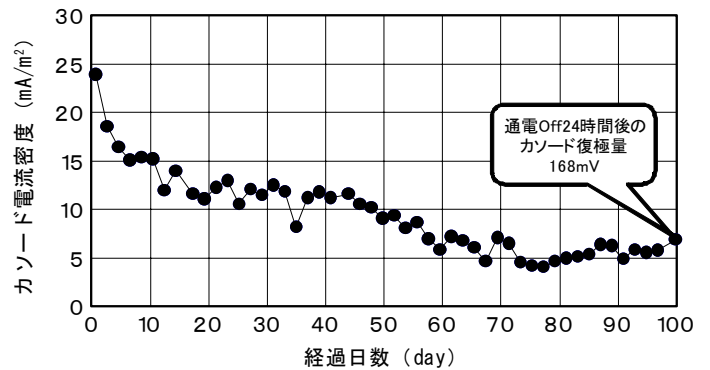


図-2 ALAPANEL方式の防食電流

コンクリート床版を模擬した試験体の裏面に ALAPANEL を 8 枚設置し、鉄筋の電気防食試験を行った。なお、本試験体内部の鉄筋は既に腐食が進行しており、表面にはひび割れが生じている状態である。鉄筋に流入する防食電流(カソード電流密度)の経時変化を図-2に示す。

カソード電流密度は開始直後から減少傾向を示し、60日経過後からは 6mA/m<sup>2</sup> 付近で定常状態を示すようになった。100日経過時の通電 Off24 時間後のカソード復極量は防食判定基準である 100mV 以上を維持しており、ALAPANEL 方式の有効性を確認した。

5. あとがき

ALAPANEL 方式はコンクリート構造物の防食法として弊社が開発した流電陽極方式の新たな工法です。これまでの流電陽極方式の特徴に加え、軽量化や景観対応等の特徴も有しており、さらにお客様のニーズに対応することが可能となりました。

ALAPANEL 方式の採用をご検討いただきますよう、お願い申し上げます。



写真-5 試験施工 1



写真-6 試験施工 2

NAKABOH REPORT

No.47, 2008 年 2 月 1 日発行

編集発行人 大野 泰彦

(非売品, 無断転載を禁ず)

発行所 株式会社ナカポーテック  
技術統括部

〒104-0033

東京都中央区新川 2 丁目 5 番 2 号

Tel. 03-5541-5814

Fax. 03-5541-5835



株式会社 **ナカポーテック**  
NAKABOHTEC CORROSION PROTECTING CO., LTD.