# 第 2 回 定 期 研 究 会

## 平成 22 年度 SGST 総会・第 2 回定期研究会 議事録

日時 : 平成 22 年 6 月 18 日(金) 16:00~17:30 場所 : 愛知工業大学 本山キャンパス 多目的室

出席者: 永田, 奥村, 海老澤(名工大), 北根(名大), 木下(岐阜大), 小塩, 渡辺(名城大), 鈴木(愛工大), 川西(豊田高専), 村瀬, 中野(愛知県), 野田, 山田健, 酒井(中日本 HW.E), 中本(中部復建), 林(協和 C), 原田(創建), 佐藤(中日本 C), 鷲見(八千代 C), 杉山(杉山設計事務所), 藤澤(新三重), 片山(JIP), 山田(サクラダ), 土橋(横河), 小枝(川田), 神頭,

吉嶺(日車),織田,加藤,森田,松村(瀧上)

31 名(敬称略)

1. 定期研究会(16:00~17:30)(織田幹事長)

講演者:日鉄トピーブリッジ株式会社

技術本部 技術企画部長 高田 賢一(たかだ けんいち) 氏 営業本部 橋梁商品部長 藤川 敬人(ふじかわ のりひと) 氏

講演項目:「羽田空港 D 滑走路 - 世界初の鋼製ジャケットによる桟橋式空港」

土木学会 CPD プログラム認定番号 JSCE10-0145

#### 講演内容

講演「羽田空港 D 滑走路 - 世界初の鋼製ジャケットによる桟橋式空港」:

羽田空港D滑走路の鋼製ジャケット式桟橋構造ならびに鋼構造の防食法の2テーマについてご 講演頂いた。

鋼製ジャケット式桟橋構造は、多摩川の流れを阻害しない広い杭間隔(30m)に対応可能な構造、巨大な航空機荷重への対応、供用中の空港に隣接した急速加工、大量製作、100 年間の長期耐久性と維持管理性という顧客のニーズを満たす提案をすることで採用に至った。これらを踏まえた工場製作から現場施工までの技術をご紹介頂いた。

また,鋼構造の防食法については、羽田空港の腐食環境を分析しチタンカバープレートを用いた上部構造の防食ならびに飛沫滞上部のステンレス鋼ライニング工法、海中部ジャケット鋼管杭の電気防食工法を採用した技術をご紹介頂いた。

本発表については参加者の関心も高く、活発な質疑応答が行われた。

以上//

## 平成 22 年 6 月 18 日 H22. SGST 第 2 回定期研究会

講演題目:「羽田空港 D 滑走路 - 世界初の鋼製ジャケットによる桟橋式空港」 土木学会 CPD プログラム認定番号 JSCE10-0145

講演者:日鉄トピーブリッジ株式会社

技術本部 技術企画部長 高田 賢一(たかだ けんいち) 氏 営業本部 橋梁商品部長 藤川 敬人(ふじかわ のりひと) 氏

会場: 愛知工業大学 本山キャンパス(愛知県名古屋市) 講演日時: 平成22年6月18日(金) 16:00~17:30

#### 講演要旨:

桟橋式空港で鋼製ジャケットを適用した空港は世界で初めてである.

このプロジェクトは鋼製ジャケット約26万トンを含めて約50万トンの鋼材を使用した大プロジェクトであり、耐震設計、疲労耐久性、防食システム、などに新しい技術的な取組をした、本講演では、これらを踏まえた羽田空港D滑走路の設計・施工について紹介する.

## 羽田空港D滑走路 鋼構造の防食法について



日鉄トピーブリッジ㈱

## 羽田D滑走路鋼構造(桟橋·連絡橋)







#### 桟 橋 部 上 部 工







## 連絡橋(場周道路橋)

(連続鋼床版飯桁・チタンカパープレート設置)





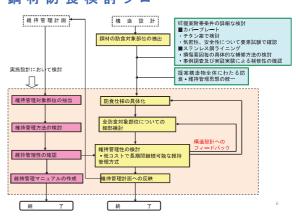




#### 羽田D滑走路鋼構造の腐食環境

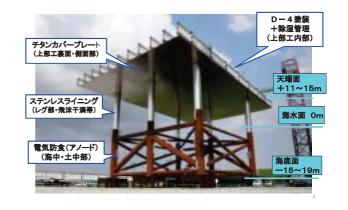
| 環境    | 環境の特徴   | 腐食特性   |  |  |
|-------|---|--|--|--|
| 海上大気部 | 風が微細な海塩粒子を運ぶ。<br>桁下部の付着海塩粒子は降雨によって<br>洗浄されることなく、高塩分濃度環境を<br>形成する。 | 一般的な海上大気部と比較して、腐食<br>速度はかなり大きい。  |  |  |
| 飛沫帯   | 鋼表面は、十分に酸素を含む薄い水<br>膜で濡れている。<br>生物付着はない。                          | 腐食速度は最も大きい。  |  |  |
| 干满带   | 海水の潮汐により乾湿が繰返される。<br>上層河川水が影響する場所もある。<br>船舶や漂流物の衝突が起きやすい。         | 干満帯から海中部に連続している構造物では、平均海面付近が酸素濃淡電池のカソードとして作用する。<br>建態機能が発生しやすく、該部での<br>腐食速度は大きい。 |  |  |
| 海中部   | 生物付着、流速などが腐食因子として作用する。<br>上層河川水が影響する場所もある。                        | 干満帯から海中部に連続している構造物では、平均干潮面直下付近が酸素濃淡電池のアノードとして作用し、<br>腐食速度が大きい。                   |  |  |
| 海底土中部 | 硫酸塩還元パクテリアなどが存在す<br>ることもある。                                       | 硫化物は、鋼の腐食や電気防食特性<br>に影響を及ぼす。   |  |  |

## 鋼材防食検討フロー

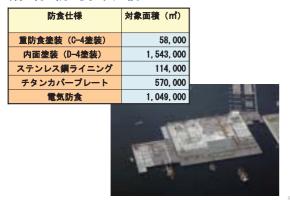


## 

#### ジャケット防食仕様



## 鋼材防食面積



チタンカバープレート除 湿 管 理 シ ス テ ム





#### カバープレート適用性試験結果

| 試験項目     | 試験目的  | 試験結果  |
|----------|---|---|
| 静的強度試験   | チタンパネル本体の曲げ強度お<br>よび吊金具部の強度の把握                  | チタンパネル本体の正負曲げ試験で強度<br>の確認を行い、許容応力度を決定した。<br>吊金具部の引張・圧縮強度試験を行い、<br>許容輸力を決定した。        |
| 疲労強度試験   | チタンパネル本体の疲労耐久性<br>の把握                           | チタンパネルの疲労試験から、疲労曲線<br>を設定した。  |
| 気密試験     | チタンパネル嵌合目地部、突合<br>せ目地部およびレグ周り目地部<br>の気密性の把握     | 各目地部の気密性は良好であり、除湿システムの設計条件を満足する気密性を有することを確認した。                                      |
| 実構暴露試験   | 実構梁に設置したカバーブレー<br>トで、足場防護工としての機能と<br>内部の防食性能の確認 | 環境モニタリングと暴露試験の結果、除<br>湿なしの場合でも環境がマイルドになることを確認した。また、点検・調査作業を通<br>じて足場防護工としての機能も確認した。 |
| モックアップ試験 | カバープレートの歩行安全性や<br>製作性・維持管理性を検証                  | 実物大部材によるモックアップを製作し、<br>施工性の確認を行うとともに、点検路とし<br>ての機能や補修性を検証した。                        |
| 風洞試験     | 設計荷重に支配的な風荷重を<br>実験的に検証                         | 実験により求めた風荷重を整理し、設計風荷重とした。   |

#### カバープレート適用性試験







静的強度試験

疲労強度

労強度試験

気密 試験

15

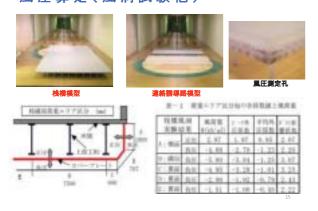




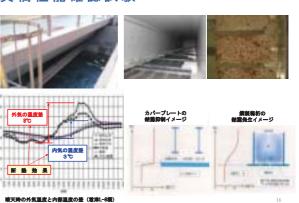
モックアップ 試験

技術委員会 立会状況

## 風圧算定(風洞試験他)



## 実橋性能確認試験



## 内部空間湿度管理システム

- -鋼桁の腐食環境改善→常時相対湿度50%以下に管理
- 除湿対象容積 140万m3(東京ドームの約1.1倍)
- \*主要仕様機器 除湿機50台、送気ダクト 総延長8km



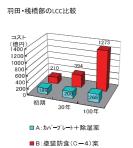
#### 除湿システムの概念図



18

## 塗装防食との経済性比較

#### カバープレート+除湿でLCC大幅削減



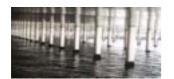
| _A:カバーブレー | 卜+除湿案 | Ě   | (億円)    |
|-----------|-------|-----|---------|
|           | 初期    | 30年 | 100年    |
| カバープレート   | 114   | 114 | 114     |
| D-4塗装     | 53    | 53  | 53      |
| 除湿機設置     | 14    | 14  | 14      |
| 点検路       | 5     | 5   | 5       |
| 除湿機運転     |       | 22  | 82      |
| 合計        | 186   | 208 | 268     |
| D. 含妆叶合(0 | 4) %  |     | /#± m \ |

| B: 塗装防食(C-4)案 |     |     | (億円) |
|---------------|-----|-----|------|
|               | 初期  | 30年 | 100年 |
| C-4塗装         | 145 | 145 | 145  |
| グレーチング        | 65  | 65  | 65   |
| 再塗装           |     | 153 | 921  |
| タッチアップ        |     | 15  | 92   |
| 点検足場          |     | 15  | 50   |
| 合計            | 210 | 394 | 1273 |

## ステンレスライニング

20

## 耐海水性ステンレス鋼ライニング





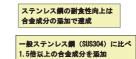
ジャケット式防波堤

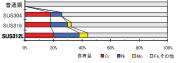




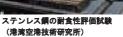


## 耐海水性ステンレス鋼 (SUS312L)











ー酸ステンレス側 耐海水性 ステンレス側 (試験4年後の状況) 22

## ステンレスライニングの要領と課題

# 上端 ---- インダイルクトシーム溶接 +プラズマ海接 --- TIG溶接 --- TIG溶接 --- TIG溶接 レグ (網管) A A 斯面図

#### ①被覆溶接の高能率化

溶接速度:0.8~1.5 m/min (薄板材アーク溶接の20~30 倍の溶接速度)

#### ②被覆材の薄肉化

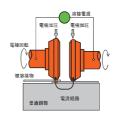
0.4 mm被覆材の溶接可能 (アーク溶接適用可能板厚の 1/3以下)

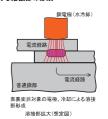
23

#### ステンレスライニングの溶接法

#### インダイレクト抵抗シームステンレス銀ライニング溶接法

裏面側にある鋼構造物をパックパーの代用とする鋼構造物表面の黒皮研削による通電路の確保片面電極配置による表裏面非対称な溶接部の形成





24

## 耐 衝 撃 性 確 認







漫透探傷試験状況①

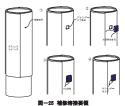


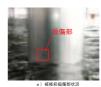
浸透探傷試験状況②

## ステンレスライニングの補修方法

漂流物などの衝突による損傷部の補修法確立

- ・薄肉ライニング村の溶損を避けるためのパッチ 村の利用
- ・侵入海水の影響を避けるための水蒸気抜き孔
- -羽田沖での海上実補修により、短時間補修法を 実証





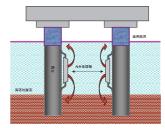




電 気 防 食 工 法 ( 流 電 陽 極 方 式 )

## 電気防食工法(流電陽極方式)

流電陽極方式とはアルミニウム合金陽極(アノード)を防食対象 となる鋼材(鋼管杭・鋼矢板等) に取付けて防食する方式





電気防食設計

電気防食方式 アルミニウム合金陽極による流電陽極方式 隔極設計寿命 35年

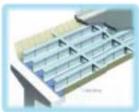
| 防食基準 | 適用範囲   | 平均干潮面(M. L. W. L. )以下                |
|------|--------|--------------------------------------|
|      | 防食率    | 平均干潮面以下、90%を基準                       |
|      | 防食電位   | 海水塩化銀電極基準 -780mV                     |
|      | 防食電流密度 | 海中は深さ方向で2層に区分                        |
|      |        | ・上層:汚染 (M.S.L.以深) A.P. +1.2m ~ −2.0m |
|      |        | ・下層:清浄 A.P. −2.0m ~ 海底面              |
|      |        | *電気防食開始時の裸鋼材の防食電流密度と海水抵抗率は下表         |
|      |        | → 陽解の巫仏恭生養徳け 「初難恭生養徳 x 0.5」          |

|        |      | 下層(清浄)   | 上層(汚染)    |
|--------|------|----------|-----------|
| 防食電流密度 | 海水中  | 100mA/m2 | 130mA/m2  |
|        | 石積中  | 50mA/m2  | 65mA/m2   |
|        | 海底土中 | 20mA/m2  | 30mA/m2   |
| 海水の抵抗率 |      | 30 Ω •cm | 35 Ω • om |

カバープレートの今後の活用 鋼橋の長寿命化に向けて

## 橋梁常設足場(防食機能付き) NSカバープレート





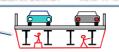
6

日鉄トピーブリッジ㈱

より良い点検環境に

橋梁常設足場(防食機能付き) NSカバープレート

いつでも 安全・確実 に 近接目視点検 - 補修作業









より経済的に

NSカバープレートの外皮材仕様の選定

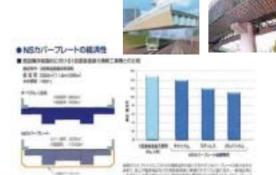
腐食環境 (飛来塩分量など)

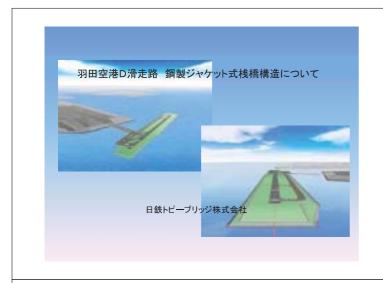
- カラーガルバ鋼板仕様
- ステンレス鋼板仕様
- チタン板仕様

耐用年数

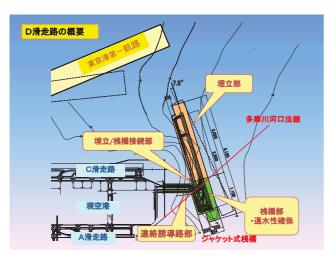
- カラーガルバ鋼板仕様
- ステンレス鋼板仕様
- チタン板仕様

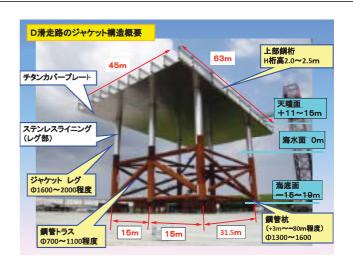
経済比較 重防食塗替え費とNSカバープレート設置(塗替え省略)















#### 施設の特徴

- 多摩川の流れを阻害しない →広い杭間隔(30m強)に対応可能な構造
- ■巨大な航空機荷重への対応
- 供用中の空港に隣接した急速施工、大量製作 →現地施工量を減らし、工場でプレキャスト化可能な構造
- ■100年間の長期耐久性と維持管理性
- 高天端(+15m)、大水深(-20m)、軟弱地盤への対応 →剛性の高い構造
- ■大平面一体構造の実現

## →ジャケット構造の採用

#### ①ジャケット製作 主要数量

|  | 箇所<br>ジャケット 桟橋部上部ジャケット |             | 鋼材量(ton) | 備考   |
|--|------------------------|-------------|----------|------|
|  |                        |             | 170,000  | 厚板中心 |
|  |                        | 桟橋部下部ジャケット  | 87,000   | 鋼管中心 |
|  |                        | 連絡誘導路部ジャケット | 24,000   | 鋼管中心 |
|  |                        | ジャケット合計     | 281,000  |      |
|  | 鋼管杭                    |             | 130,000  |      |
|  | 橋梁上部工                  |             | 14,000   | 厚板中心 |

| 防食仕様      | 防食面積<br>(m2) | 備考           |
|-----------|--------------|--------------|
| D4塗装+湿度管理 | 1,633,000    |              |
| カバープレート   | 570,000      | チタン1,000ton  |
| C-4塗装     | 58,000       |              |
| SUSライニング  | 114,000      | ステンレス 400ton |
| 電気防食      | 1,049,000    | 陽極16,000個    |

#### ②桟橋式空港の事例

•PORTGUL Funchal airport



\*NEWYORK LaGuardia airport



←世界初のジャケット式桟橋空港 ·羽田空港D滑走路



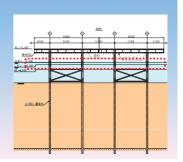


#### ③環境への配慮

#### 通水性

- ・河川に架かる橋の橋脚の規定からの要求事項 滑走路方向杭間隔 :最小25m以上、平均50m以下→約30m間隔 河積阻害率8%以下
- ·滑走路方向杭間隔 :31.5m
- ·河積阻害率:約7%
- ■河床高AP-3.7m~計画高潮 位AP+3.8mにはトラス材配

河川流を阻害 しない構造

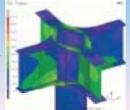


#### ④航空機の繰り返し走行に対する疲労耐久性確保

- ·対象航空機 A380、B747等 最大400tf×衝撃1.4=560tf ・離発着回数 11.5万回/年 × 100年=1150万回
  - ・I型断面析の採用 → 溶接施工性、維持管理性の向上

  - 上部桁の疲労設計
    ・一般部 公称応力による評価
    ・複雑部 ホットスポット応力に よる評価FEM解析により 応力集中を評価





#### ④航空機の繰り返し走行に対する疲労耐久性確保

- ●超音波打擊処理UIT (Ultrasonic Impact Treatment) による溶接部止端仕上法
- ・鋼桁の溶接部にて疲労亀裂の始点となりやすい溶接止端部の表面形状を滑らかに処理、アンダーカットを除去し、疲労亀裂を防止

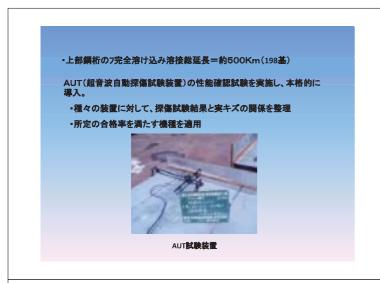


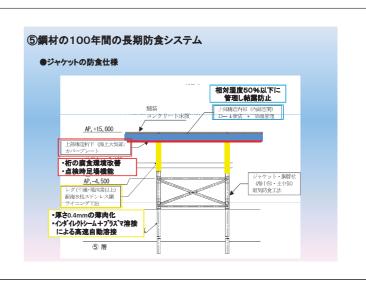


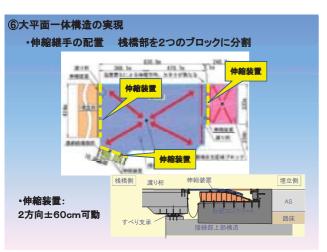


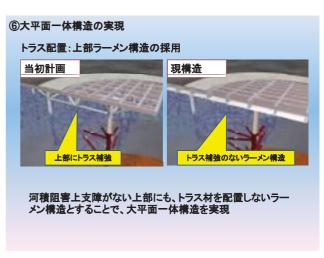
UIT法による仕上マクロ状況

UIT**法の作業状況** 





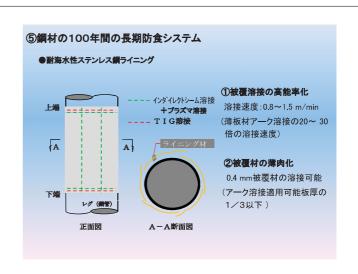


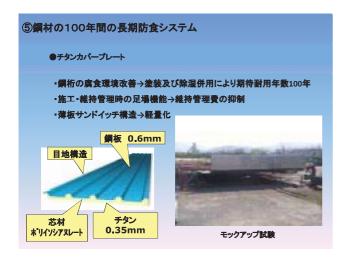


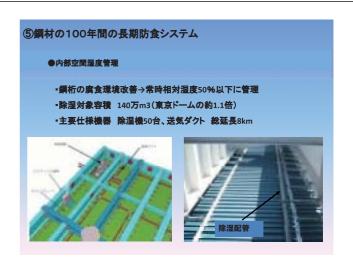


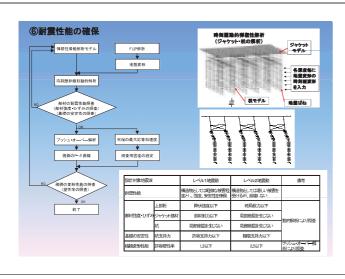


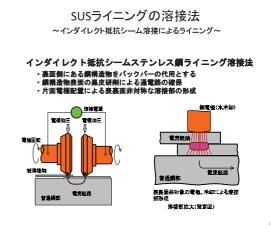












- 43 -

## SUSライニングの溶接法

インダイレクト抵抗シーム・プラズマ複合溶接法・装置構成 (以下、複合溶接法)

- ・溶接能率の低下をさせないよう1ラン複合溶接とした。
- ・インダイレクト抵抗シーム溶接の高速性を損なわない よう、より高速溶接可能なプラズマ溶接を適用

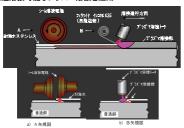


図-14 インダイレクト抵抗シーム・プラズマ複合溶接機成(模式図)

#### 耐衝擊性確認







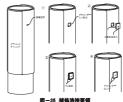
浸透探傷試験状況①

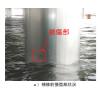


浸透探傷試験状況②

## SUSライニングの補修方法

- 漂流物などの衝突による損傷部の補修法確立 ・薄肉ライニング材の溶損を避けるためのパッチ 材の利用
- ・侵入海水の影響を避けるための水蒸気抜き孔 ・羽田沖での海上実補修により、短時間補修法を 実証









### 施工状況:上部ジャケット製作

上部ジャケット 工場内ブロック組立

内部キズT/6以下、UT感度L/2検出レベル



## 施工状況: 上部ジャケット製作

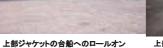
上部ジャケット ヤード大組立

一度に12基の組立が可能なスペースを確保



施工状況: 上部ジャケット出荷







上部ジャケットの出荷 → 一体化ヤードへ

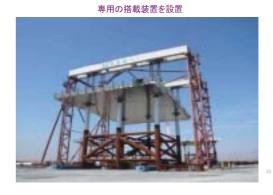
## 施工状況: 下部ジャケット製作

下部ジャケット立体組立

専用の組立架台を配置して効率化



# 施工状況: ジャケット製作 上部・下部ジャケットー体化



施工状況: ジャケット製作 桟橋ジャケット積込

国内最大級の起重機船(3,700t吊)を長期チャーター



施工状況(13) ジャケット運搬

桟橋ジャケット 海上運搬

6,000t積級台船による海上運搬



施工状況(14) ジャケット現地施工

国内最大級の旋回式起重機船(1,600t吊)による打設

桟橋ジャケット 基礎杭打設



施工状況(15) ジャケット現地施工

桟橋ジャケット 据付





基礎杭ヘジャケット挿入直前の状況

- 45 -

## 施工状況(16) ジャケット現地施工







## 施工状況(18) ジャケット現地施工

桟橋ジャケット ジャケット間継手

ジャケット同士の現場結合 最終的には全てのジャケットが一体化



38

施工状況(19) 上部工(床版工)







施工状況(20) 桁内部付帯工





幹線ダクト敷設

除湿機器計装

40