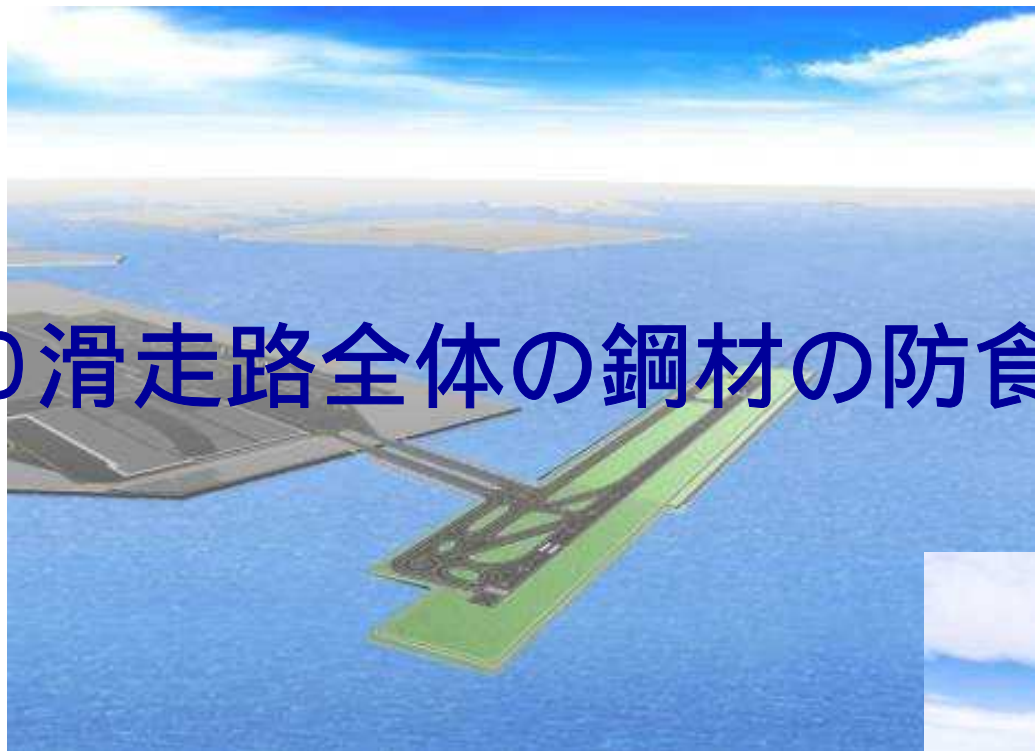
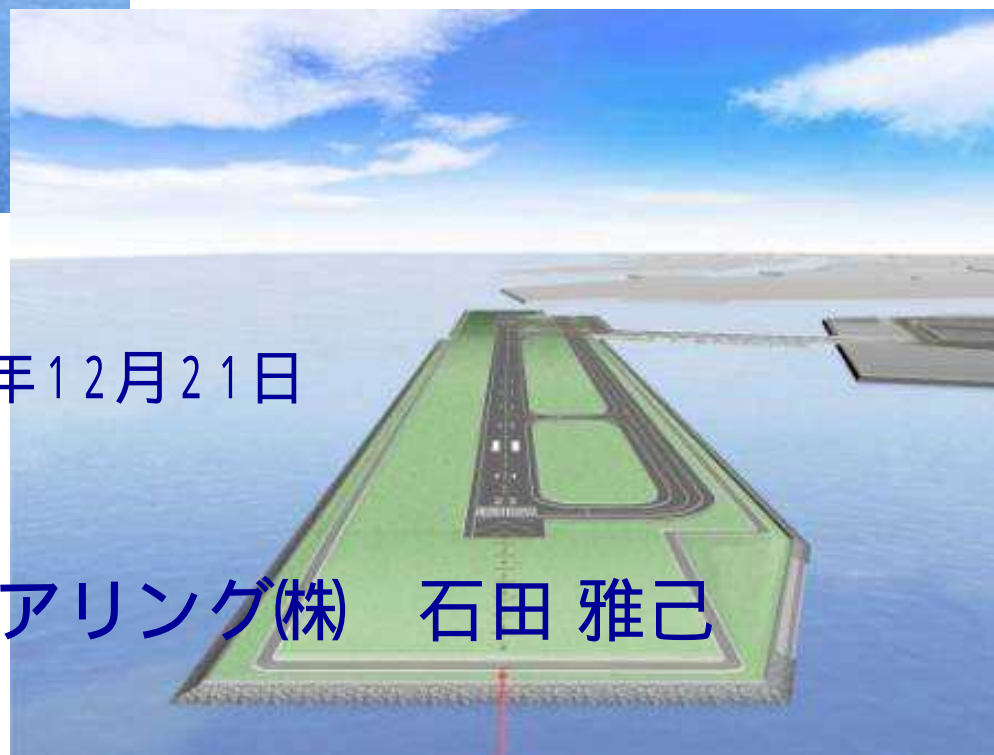


D滑走路全体の鋼材の防食の考え方及びその対策

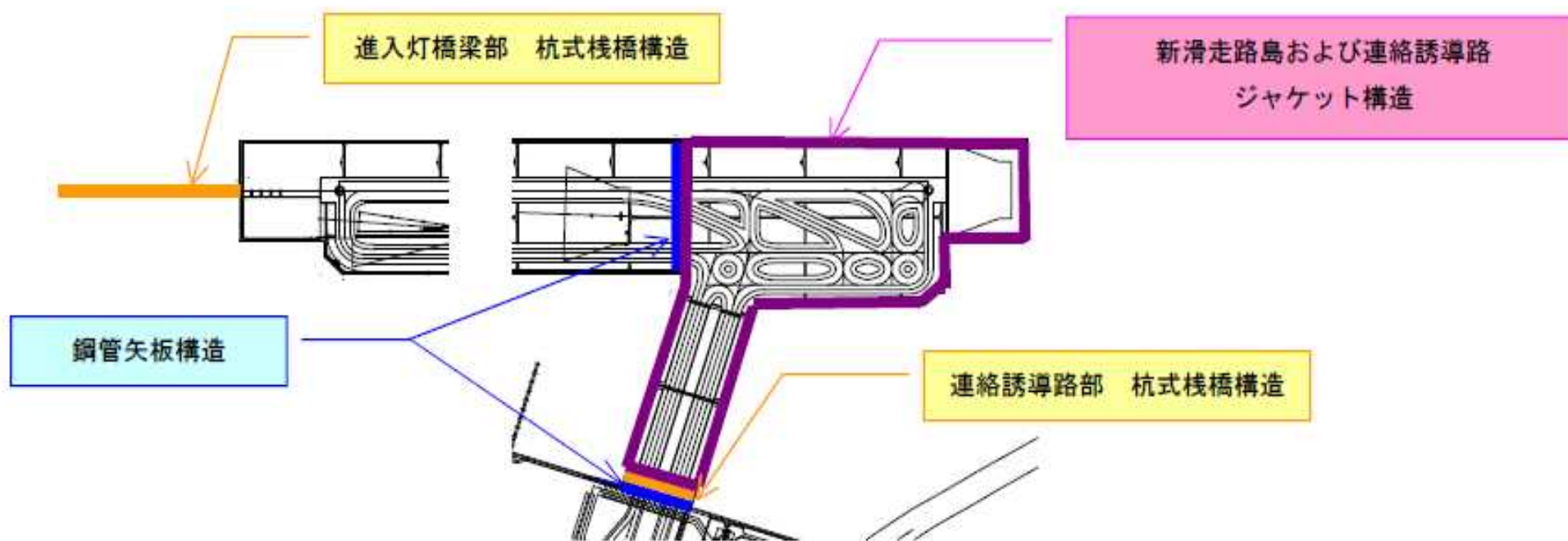


平成18年12月21日

新日鉄エンジニアリング(株) 石田 雅己



D滑走路島の鋼材使用主要施設



D滑走路の腐食環境

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。 桁下部の付着海塩粒子は降雨によって洗淨されることなく、高塩分濃度環境を形成する。	一般的な海上大気部と比較して、腐食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膜で濡れている。 生物付着はない。	腐食速度は最も大きい。
干満帯	海水の潮汐により乾湿が繰返される。 上層河川水が影響する場所もある。 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。 塗膜損傷が発生しやすく、該部での腐食速度は大きい。
海中部	生物付着、流速などが腐食因子として作用する。 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、腐食速度が大きい。
海底土中部	硫酸塩還元バクテリアなどが存在することもある。	硫化物は、鋼の腐食や電気防食特性に影響を及ぼす。

鋼材の腐食対策

技術検討委員会コメント

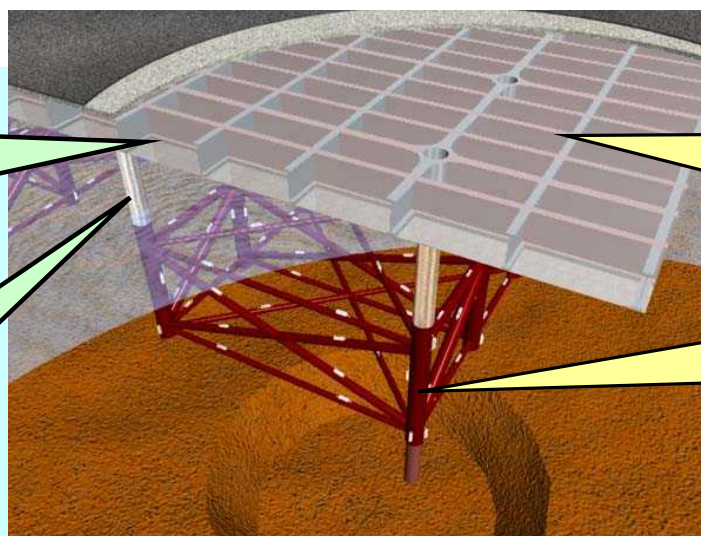
- ・腐食が問題となる全部位についての詳細な検討の実施
- ・不測の事態が生じた場合の対策の確認
- ・低コストで長期間維持できる維持管理方式の確立とマニュアル化

対応方針

- ・実施設計段階での腐食対策に関する詳細な検討の実施
- ・入札前VE提案附帯条件の実験による確認(カバースプレートの気密性・歩行安全性・耐久性、耐海水性ステンレス鋼ライニングの補修方法等)
- ・構造詳細を考慮した防食設計の具体化と維持管理マニュアルへの反映

○ 鋼桁下面
カバースプレート

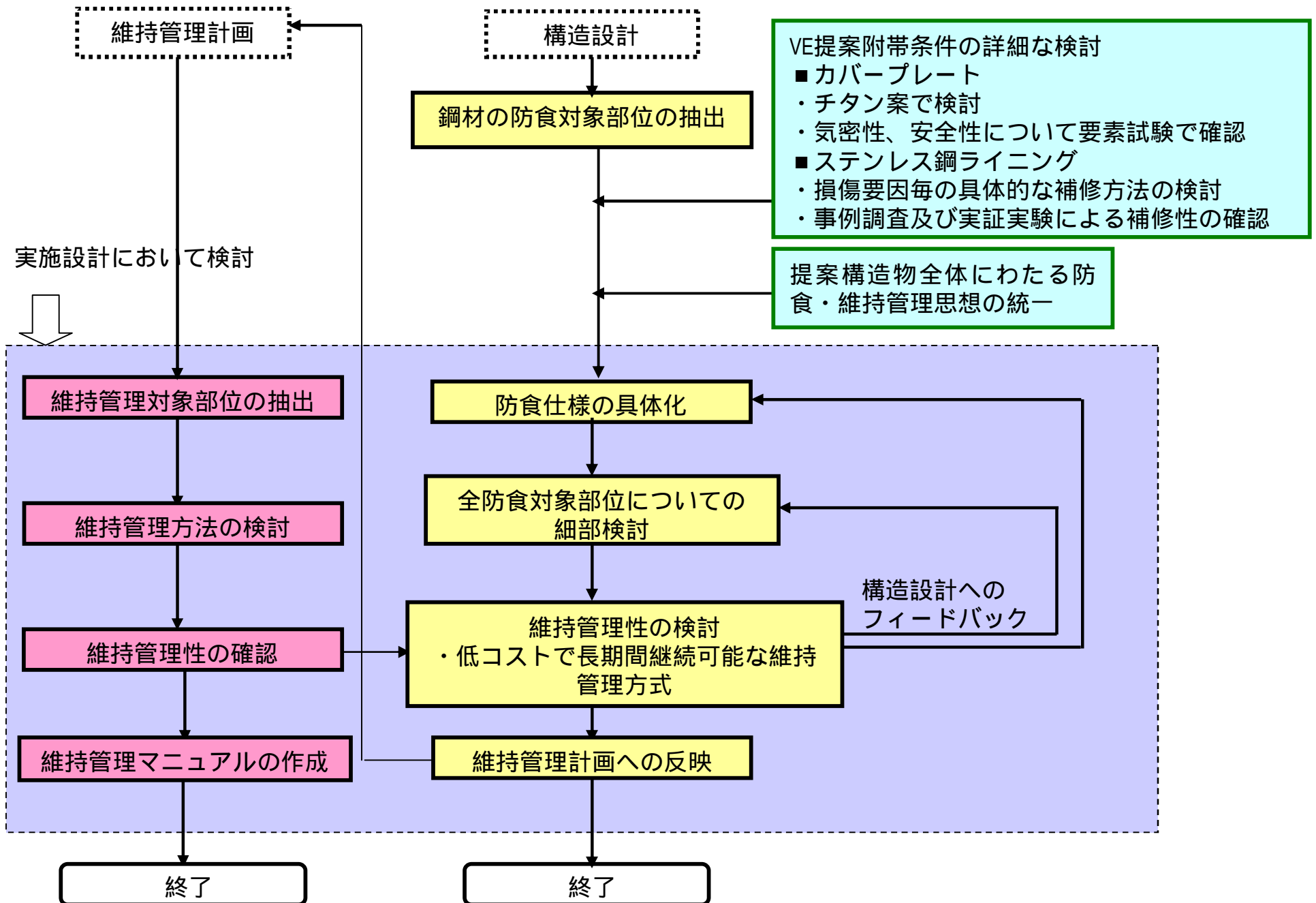
○ 干満・飛沫帯
耐海水性ステンレス
鋼ライニング



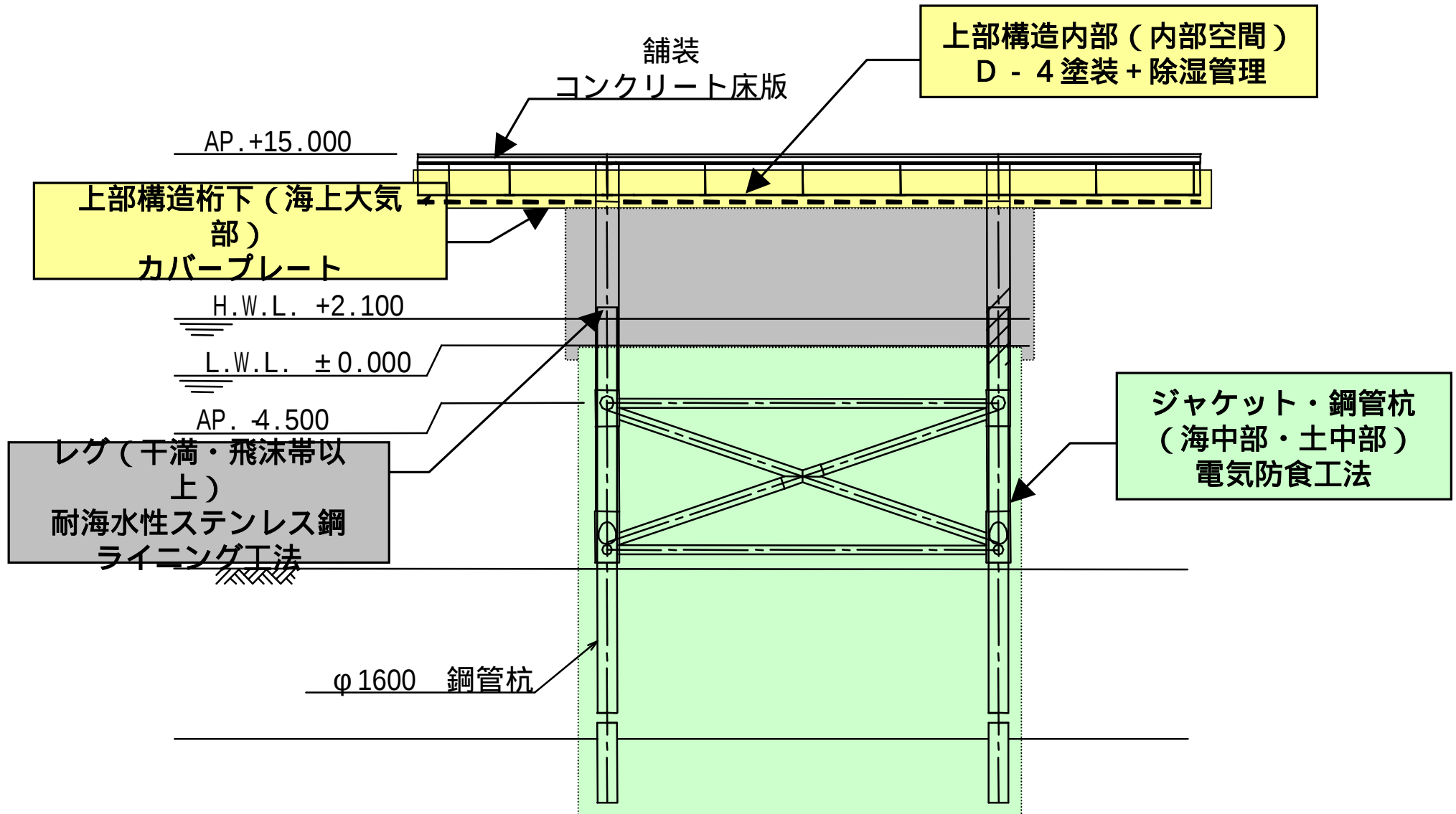
○ 鋼桁内部
D-4塗装 + 除湿

○ 海中部・土中部
電気防食

鋼材の腐食対策検討フロー



ジャケット構造の防食仕様

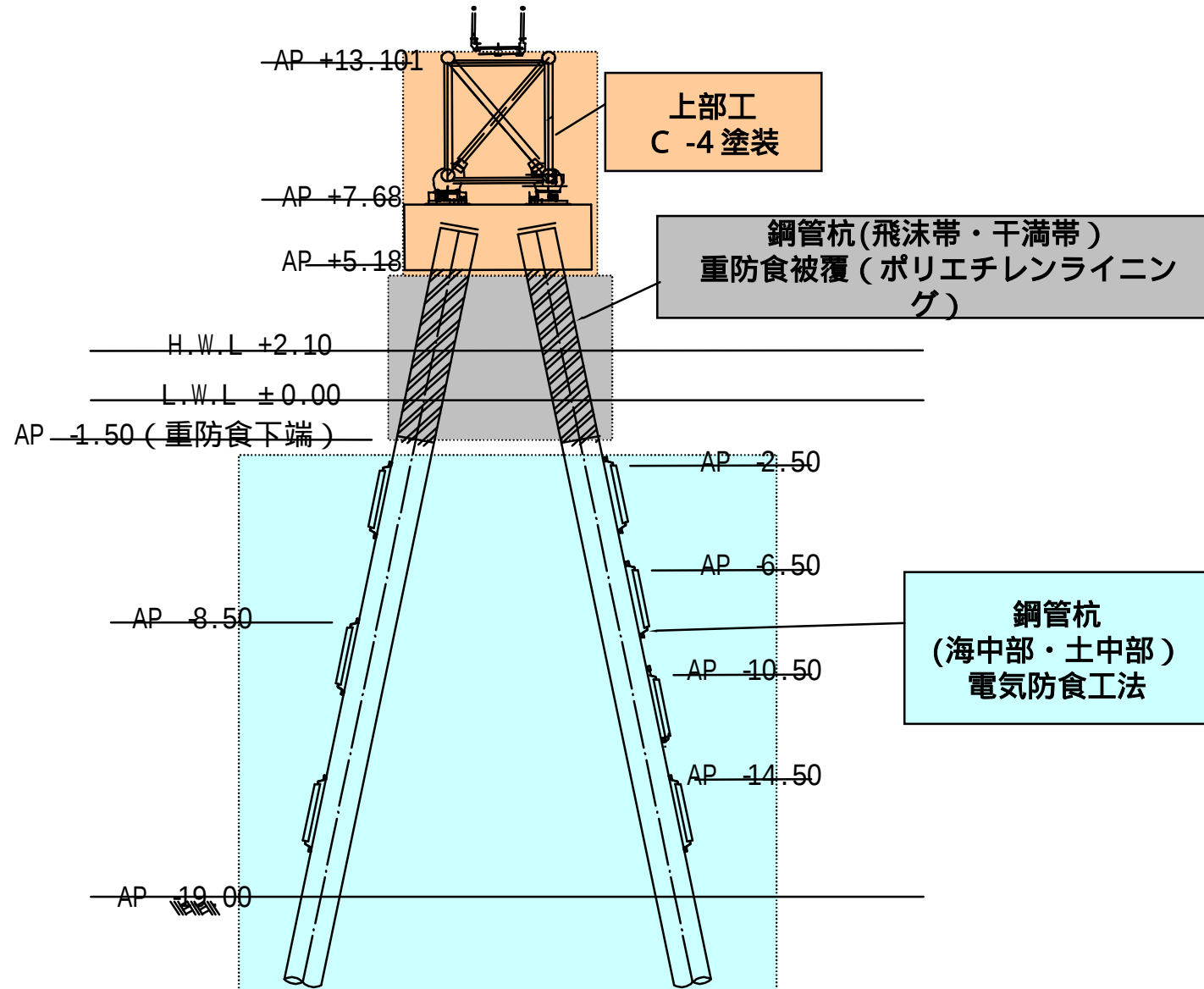


ジャケット構造の防食仕様

< 新滑走路島および連絡誘導路部ジャケット構造 >

腐食環境区分	対象構造部位		防食工法	備考
海上大気部	上部構造	内部空間	D-4塗装 + 除湿管理	除湿管理できない箇所はD-4塗装のみ
		カバースプレート	外面:チタン 内面:ポリエステル樹脂 焼付塗装	
		カバースプレート 非設置部	C-4塗装	
	レグ・ブレース		耐海水性ステンレス鋼 ライニング	形状複雑部は、C-4塗装 あるいは超厚膜形エポキシ樹脂ライニング
飛沫帯	レグ・ブレース	耐海水性ステンレス鋼 ライニング	形状複雑部は、超厚膜形 エポキシ樹脂ライニング	
干満帯				
海中部	レグ・ブレース		電気防食 (流電陽極方式)	最初の陽極更新は構造物 設置から35年後で計画
土中部	鋼管杭			

進入灯橋梁の防食仕様



鋼管杭・鋼管矢板構造の防食仕様

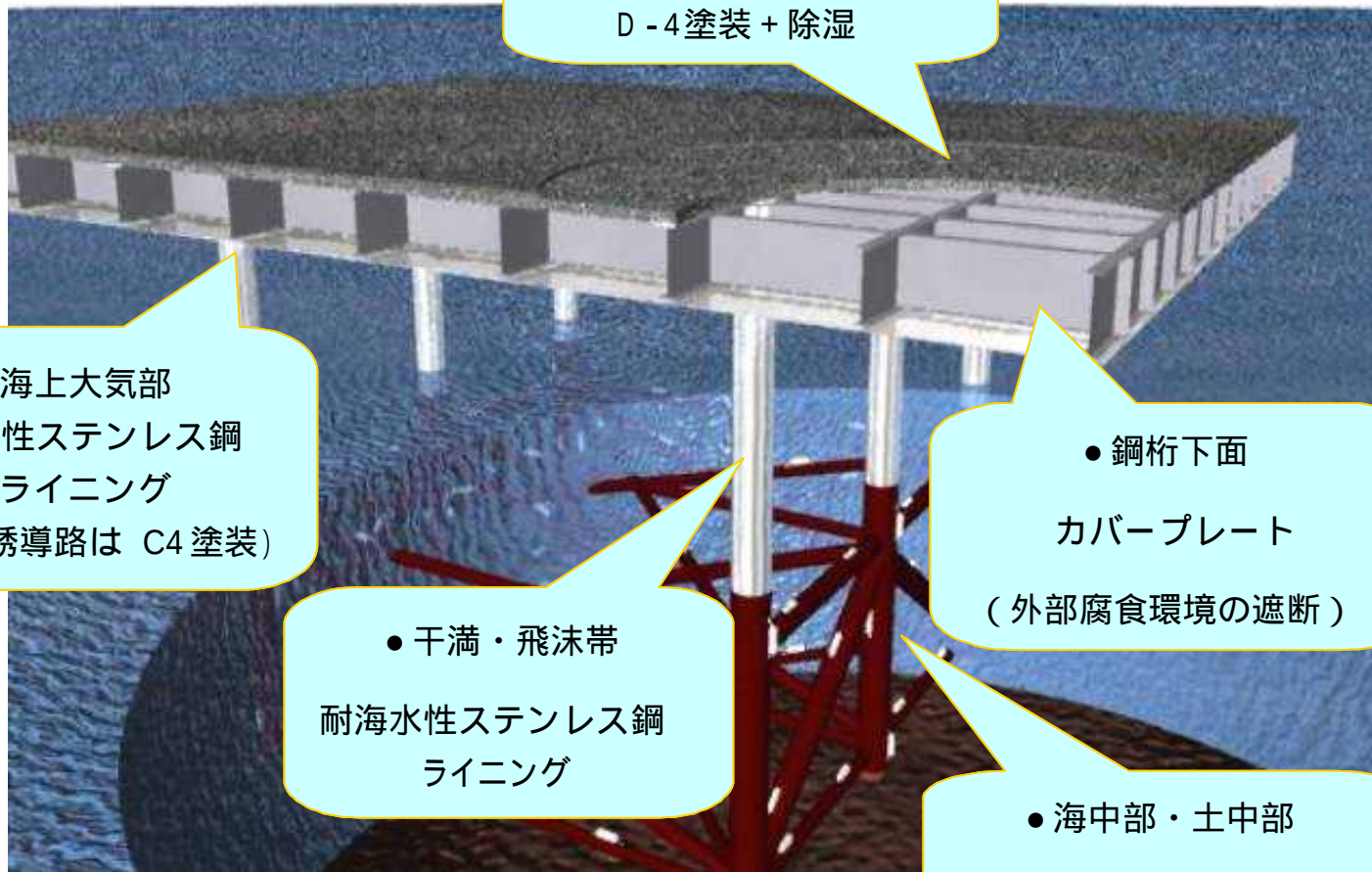
< 連絡誘導路および進入灯橋梁部杭式栈橋構造 >

腐食環境区分	対象構造部位	防食工法	備考
海上大気部 飛沫帯 干満帯	進入灯橋梁部 上部工	C-4塗装	
	連絡誘導路栈橋部 直杭	ウレタンエラストマー ライニング	
	進入灯橋梁部 鋼管杭	ポリエチレン ライニング	
海中部	鋼管杭	電気防食 (流電陽極方式)	最初の陽極更新は構造物 設置から35年後で計画
土中部			

< 鋼管矢板構造 >

腐食環境区分	対象構造部位	防食工法	備考
海中部	鋼管矢板	電気防食 (流電陽極方式)	最初の陽極更新は構造物 設置から35年後で計画
土中部			
陸上土中部	鋼管杭	腐食代 3mm	

ジャケット構造の防食仕様



● 鋼桁内部構造

D-4 塗装 + 除湿

● 海上大気部

耐海水性ステンレス鋼
ライニング
(連絡誘導路は C4 塗装)

● 鋼桁下面

カバープレート
(外部腐食環境の遮断)

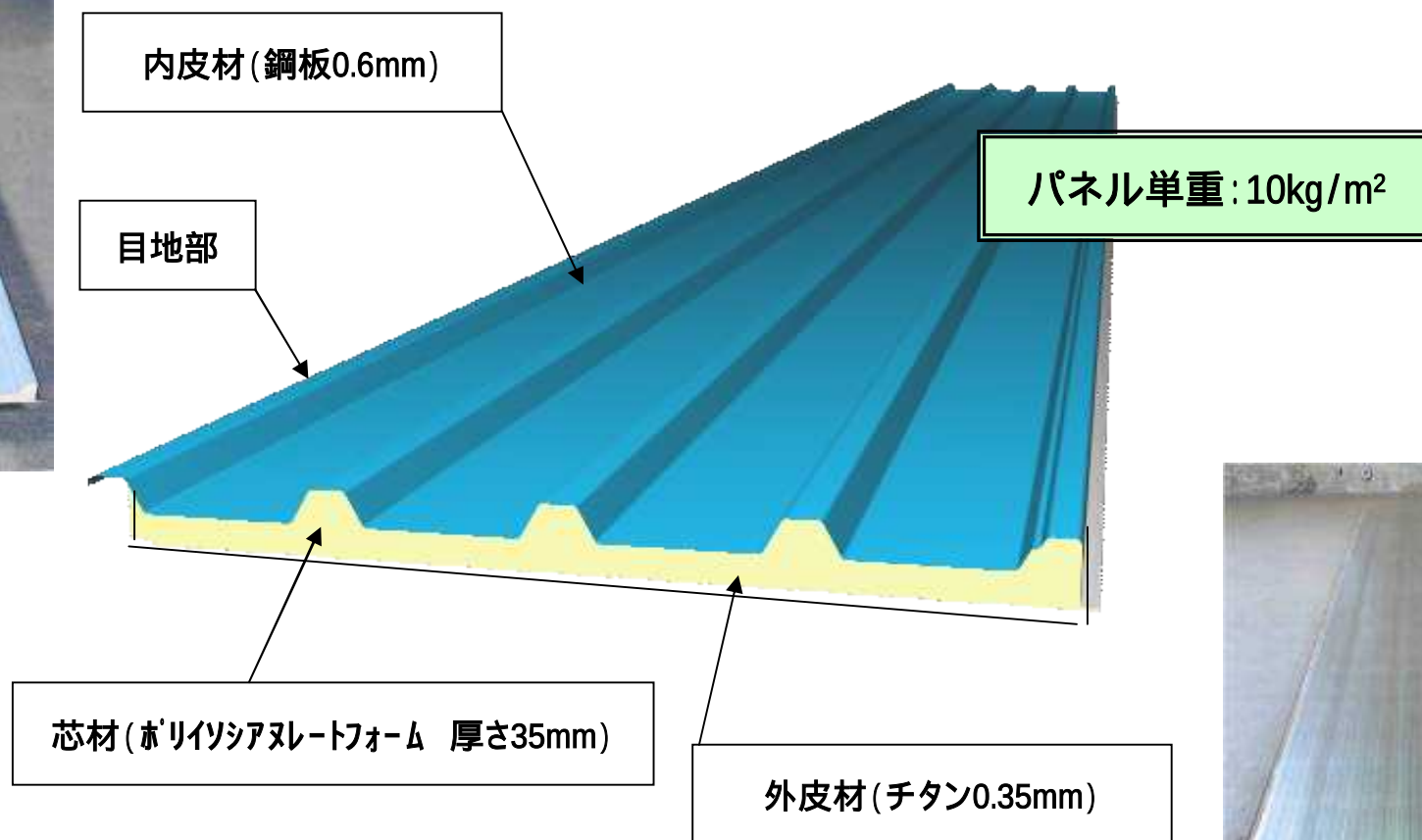
● 干満・飛沫帯

耐海水性ステンレス鋼
ライニング

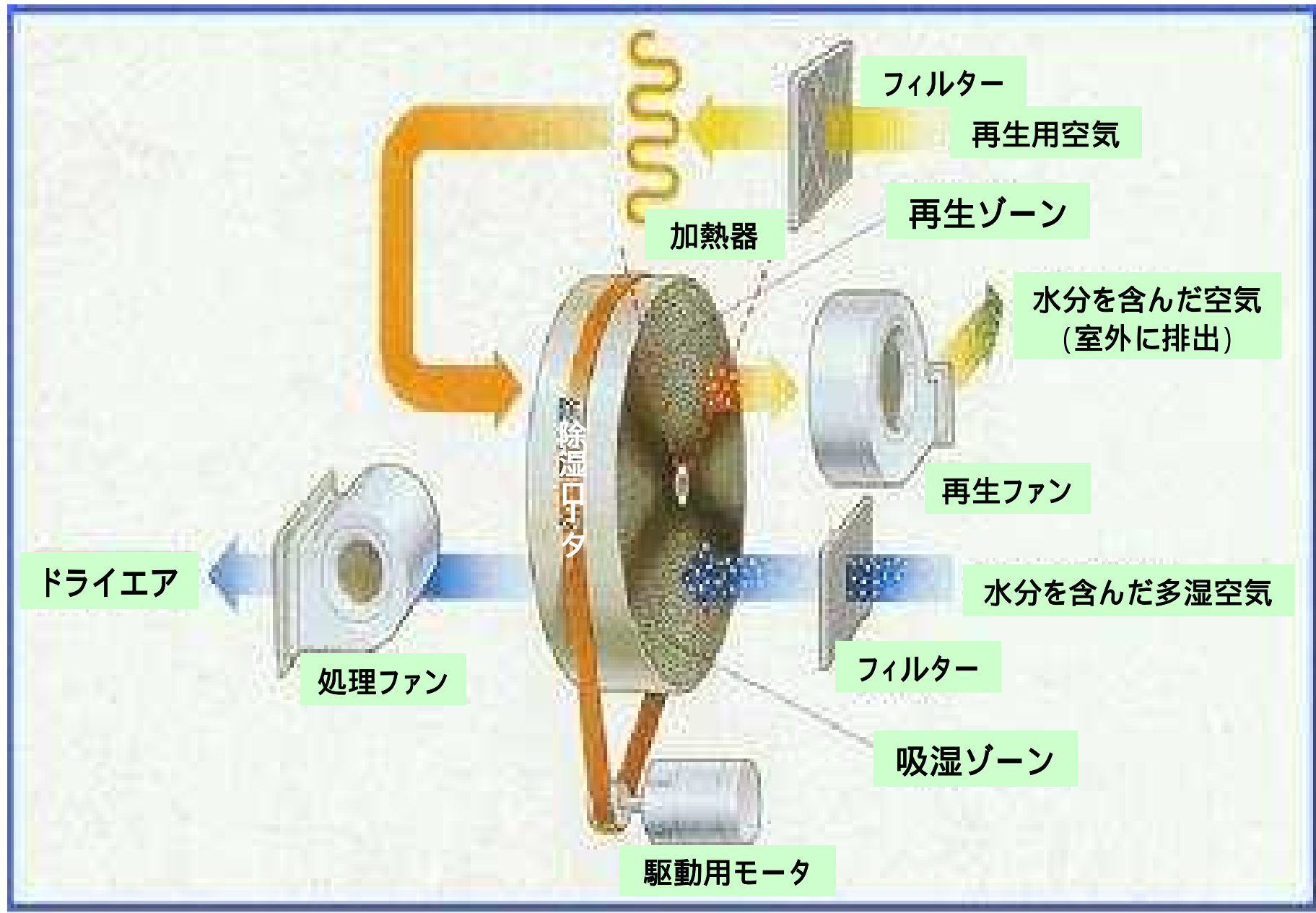
● 海中部・土中部

電気防食

カバークレイト：チタンパネルの構造



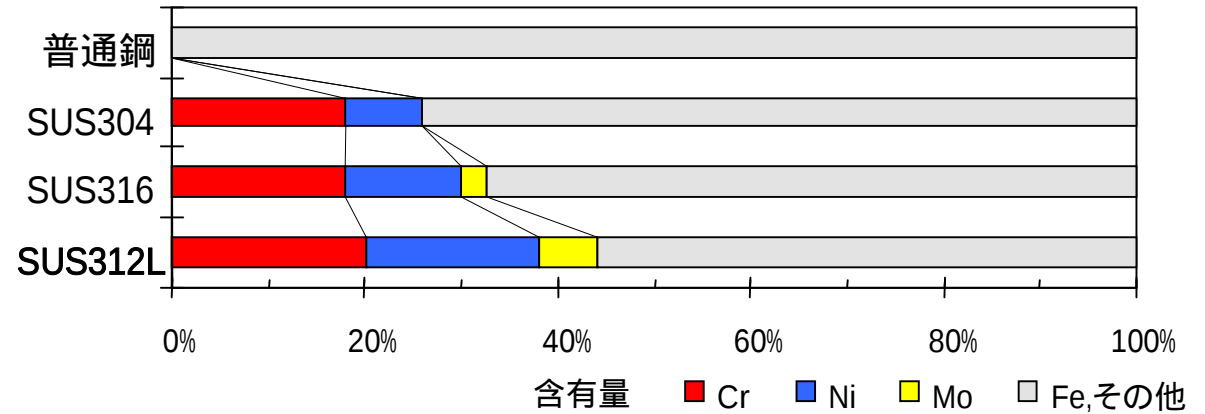
除湿システムの概念図



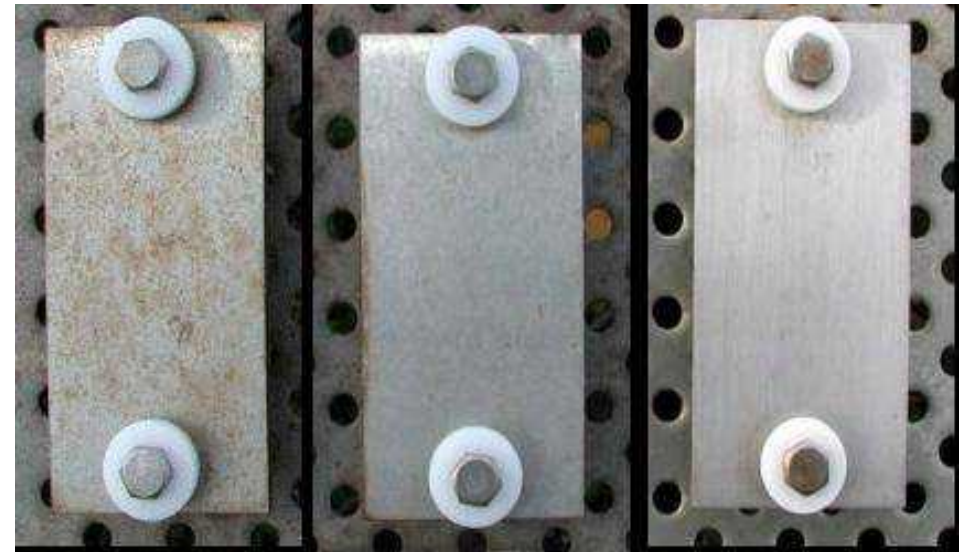
耐海水性ステンレス鋼 (SUS312L)

ステンレス鋼の耐食性向上は
合金成分の添加で達成

一般ステンレス鋼 (SUS304) に比べ
1.5倍以上の合金成分を添加



ステンレス鋼の耐食性評価試験
(港湾空港技術研究所)



SUS304

SUS316

SUS312L

一般ステンレス鋼

耐海水性
ステンレス鋼

(試験4年後の状況)

耐海水性ステンレス鋼ライニング



ライニング状況



組立状況



ジャケット式防波堤

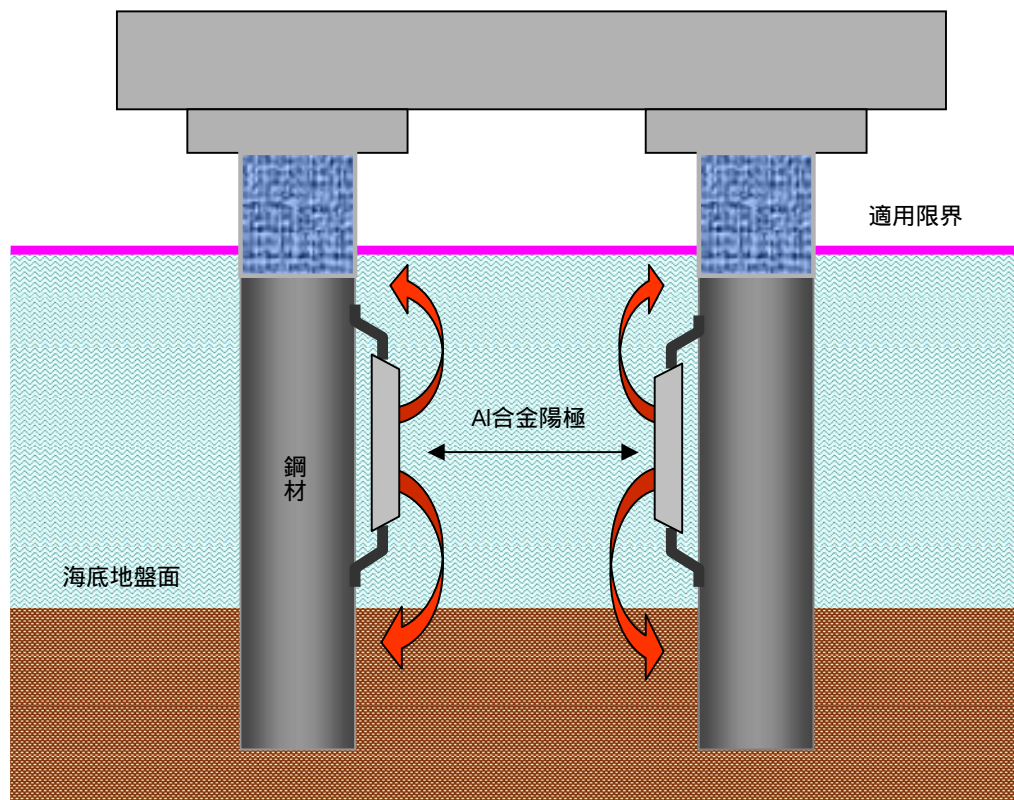


ジャケット式栈橋



ジャケット式プラットフォーム

電氣防食工法(流電陽極方式)



電気防食設計(まとめ)

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
--------	---------------------

陽極設計寿命	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 * 陽極の平均発生電流は、「初期発生電流 × 0.5」

		下層(清浄)	上層(汚染)
防食電流密度	海水中	100mA/m ²	130mA/m ²
	石積中	50mA/m ²	65mA/m ²
	海底土中	20mA/m ²	30mA/m ²
海水の抵抗率		30 Ω・cm	35 Ω・cm

支承種別と防食仕様

対象施設・部位		上部工形式	支承種類	防食仕様
棧橋部	滑走路端継手部	PC桁	ゴム支承	めっき + 塗装
埋立 / 棧橋接続部	渡り桁	PC桁	ゴム支承	めっき + 塗装
連絡誘導路部	連絡誘導路橋梁部	鋼鈹桁	鋼製支承	C 4 - M 塗装 + 保護カバー
	場周道路橋梁部	鋼鈹桁	鋼製支承	C 4 - M 塗装 + 保護カバー
	保安道路橋梁部	鋼鈹桁	鋼製支承	C 4 塗装
	現空港接続部	PC桁	揚圧力抵抗装置	めっき + 塗装
		PC桁	ゴム支承	めっき + 塗装
進入灯橋梁部	上部工	鋼トラス桁	ゴム支承	C 4 塗装

伸縮装置種別と防食仕様

対象施設 (伸縮装置設置部位)		伸縮装置形式	防食仕様
埋立 / 栈橋接続部	滑走路・高速脱出誘導路	ローリングリーフジョイント	エポキシ塗装
	平行誘導路	ローリングリーフジョイント	エポキシ塗装
	着陸帯・誘導路帯	Sジョイント	エポキシ塗装
	場周道路	DPジョイント	エポキシ塗装
栈橋部滑走路端温度継手部	滑走帯	Sジョイント	エポキシ塗装
	場周道路	DPジョイント	エポキシ塗装
栈橋 / 連絡誘導路接続部	連絡誘導路	ローリングリーフジョイント	エポキシ塗装
連絡誘導路橋梁部	連絡誘導路	ローリングリーフジョイント	エポキシ塗装
連絡誘導路 / 現空港接続部	連絡誘導路	ローリングリーフジョイント	エポキシ塗装
栈橋 / 場周道路接続部	場周道路	モジュラージョイント	エポキシ塗装
場周道路橋梁部	場周道路	モジュラージョイント	C4塗装
場周道路 / 現空港接続部	場周道路	モジュラージョイント	C4塗装
連絡誘導路保安道路A橋	保安道路	モジュラージョイント	C4塗装
連絡誘導路保安道路B橋	保安道路	モジュラージョイント	C4塗装

入札前VE提案附帯条件への対応

ジャケットレグ干満飛沫帯の防食仕様の最適化

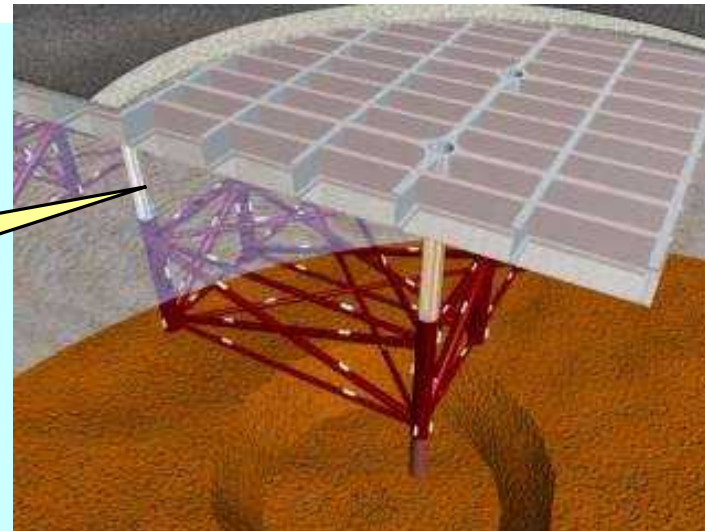
附帯条件

- ・損傷要因を抽出した上で損傷に対する補修方法についての検討
- ・損傷を受けた場合の補修方法について実現性を試験により確認

対応方針

- ・損傷要因毎の具体的な補修方法について検討し、補修の実現性を確認した上で維持管理マニュアルに反映する
- ・ジャケット設置海域と同条件において具体的な補修方法の実現性、確実性等について実証実験により確認

耐海水性ステンレス鋼ライニングの板厚の最適化；
干満・飛沫帯 - 大気部と同様の0.4mm厚を採用



海洋暴露試験場



排貝作業実験



排貝試験体



排貝作業状況



海生生物付着状況



鋼製ケレン棒



エアグラインダー
+ 砥粒入りナイロンブラシ



排貝後試験体

耐衝擊性確認



打撃状況



浸透探傷試験状況



浸透探傷試験状況

S U S 溶接補修実験



溶接補修前



溶接補修作業状況



溶接補修部



浸透探傷試験状況



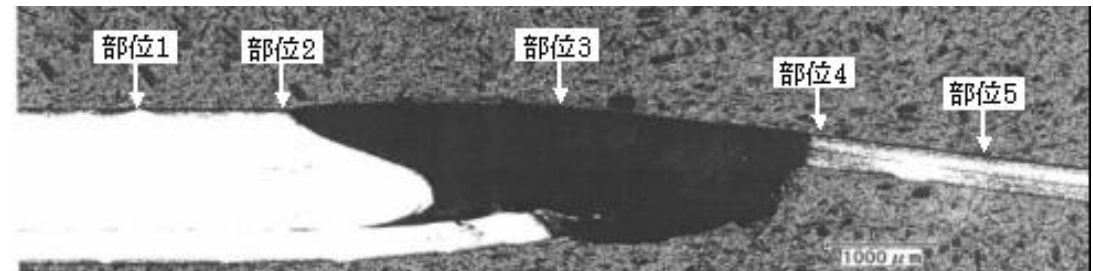
浸透探傷試験状況



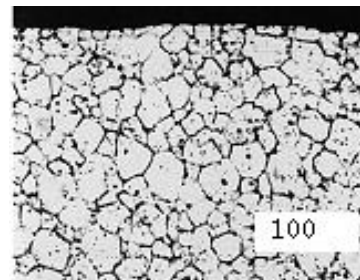
溶接補修部観察



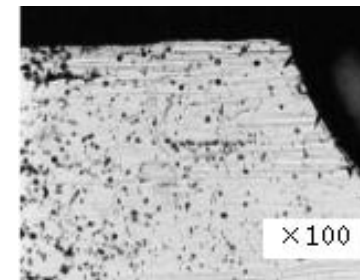
試験片切出し部



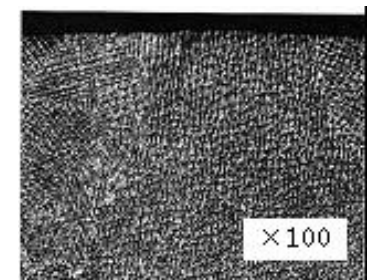
部位1



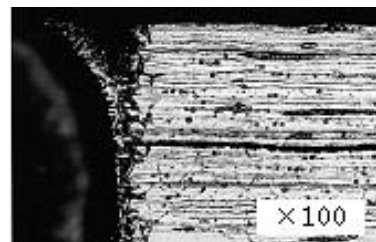
部位2



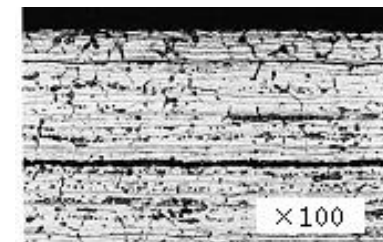
部位3



部位4



部位5



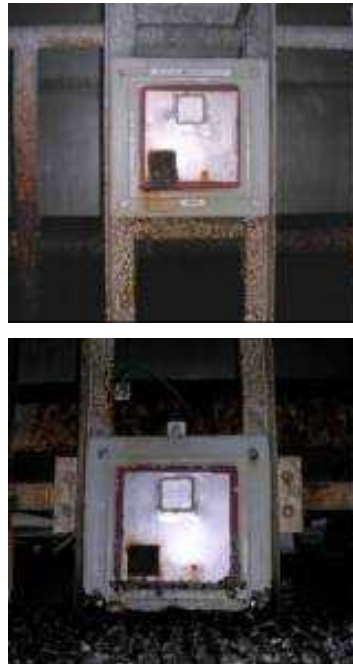
溶接部周辺の溶け込み状況確認

溶接部及び熱影響部の鋭敏化確認

しゅう酸エッチング試験結果

暴露試験体の溶接補修部観察

暴露試験体 1



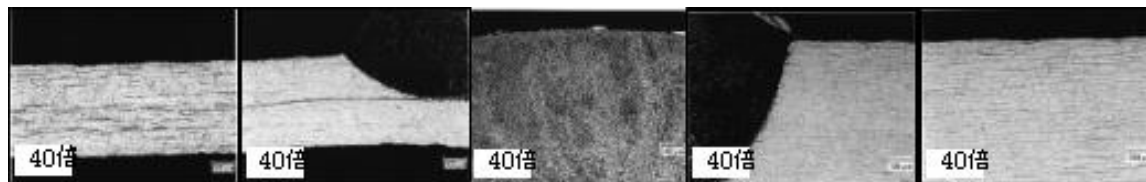
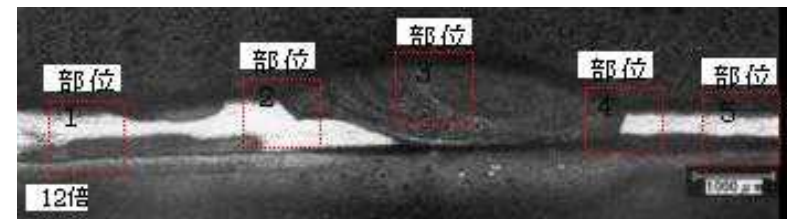
暴露試験体 2



断面観察結果



断面観察結果



ドライチャンバーによる水中部補修



ドライチャンバーイメージ



岸壁状況

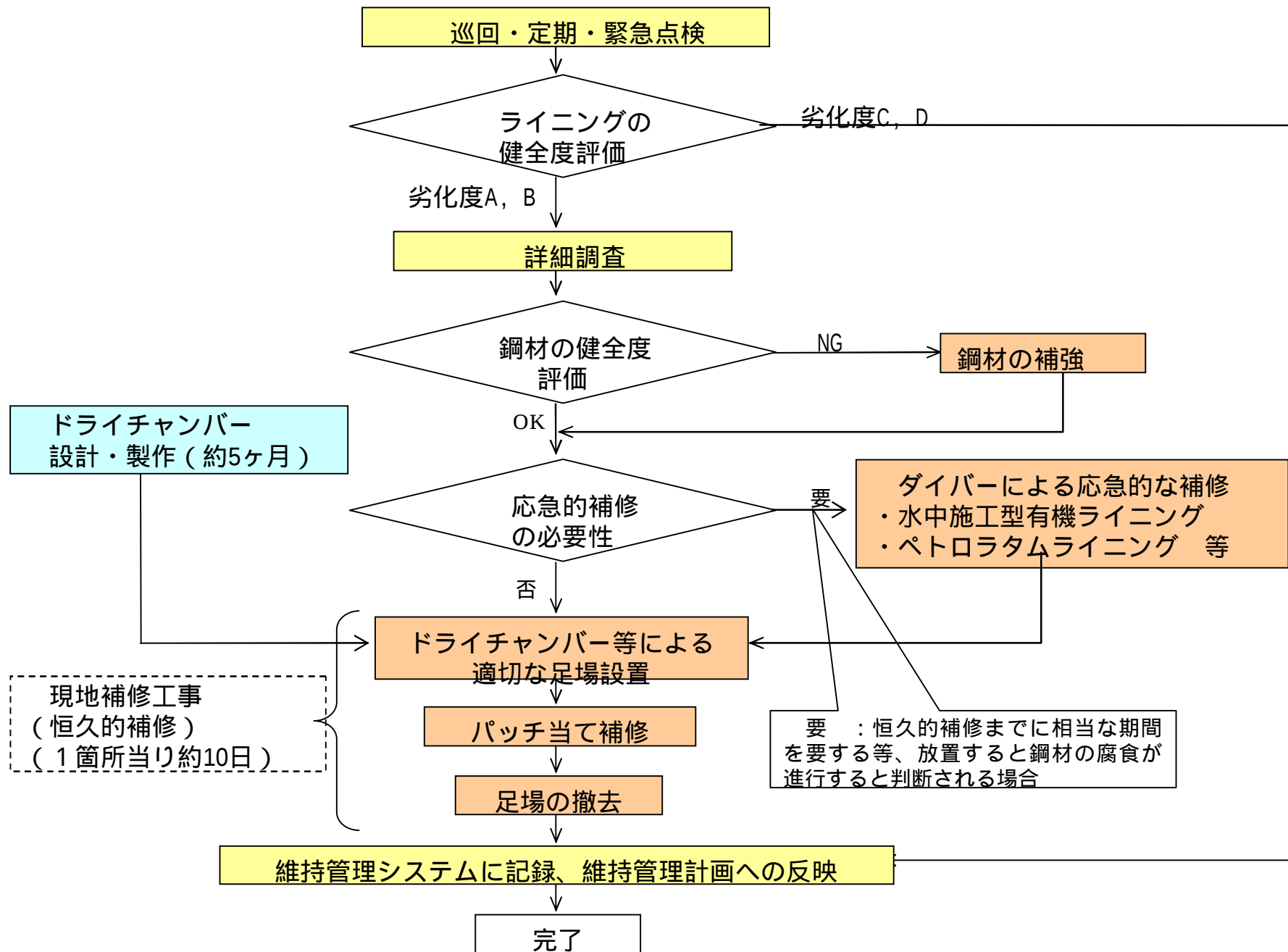


函体設置状況



函体設置完了

ステンレス鋼の溶接補修フロー



入札前VE提案附帯条件への対応

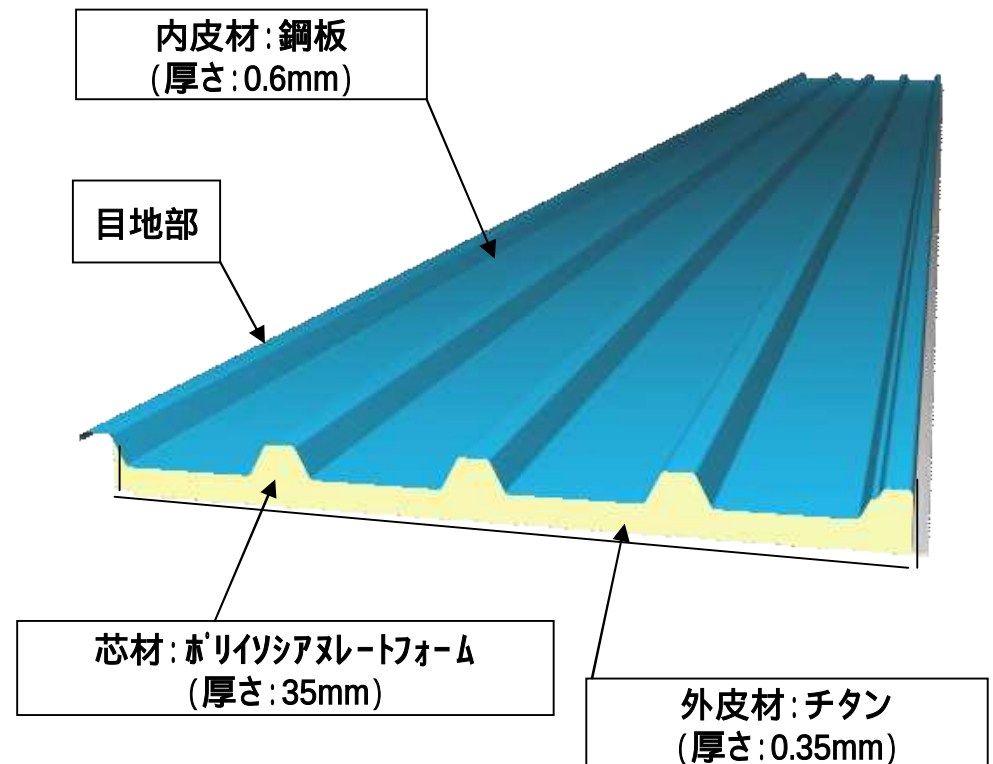
カバープレーットの最適化

附帯条件

- ・気密性及び歩行安全性について試験により確認
- ・腐食耐久性について類似事例の実績等により確認
- ・損傷を受けた場合の具体的補修方法を提示し、その実現性を試験により確認

対応方針

- ・気密性、歩行安全性、具体的補修方法について、実物大の模型試験により確認
- ・腐食耐久性を実績調査等により確認



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の確認を行い、許容応力度を決定した。 吊金具部の引張・圧縮強度試験を行い、許容軸力を決定した。
疲労強度試験	チタンパネル本体の疲労耐久性の把握	チタンパネルの疲労試験から、疲労曲線を設定した。
気密試験	チタンパネル嵌合目地部、突合せ目地部およびレグ周り目地部の気密性の把握	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。
実橋暴露試験	実橋梁に設置したカバープレートで、足場防護工としての機能と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、施工性の確認を行うとともに、点検路とし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(1)



静的強度試験



気密試験



疲労強度試験

カバープレート適用性試験(2)



実橋暴露試験



モックアップ試験

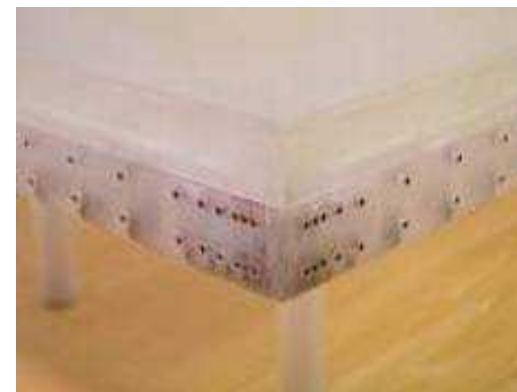
カバープレート適用性試験：風洞試験



栈橋模型



連絡誘導路模型



風圧測定孔

鋼材の腐食対策

防食設計と維持管理

鋼材の防食対象部位の抽出

防食仕様の具体化、細部の検討

維持管理性の検討、構造設計への
フィードバック、維持管理マニ
ュアルへの反映

更なる
ライフサイクルコストの低減
に向けて

防食仕様	対象面積
重防食塗装（C-4塗装）	(m^2) 58,000
内面塗装（D-4塗装）	1,543,000
ステンレス鋼ライニング	114,000
カバープレート	570,000
電気防食	1,049,000

