

令和 元年度 橋梁技術発表会

トルコ共和国
第1ボスプラス橋の工事報告
-長大吊橋の大規模保全-

海外事業委員会
【杉村誠, 北山暢彦】



一般
社団法人

日本橋梁建設協会

Japan Bridge Association

1. 第1ボスプラス橋大規模補修工事の概要

- ・橋梁位置図
- ・橋梁諸元、主ケーブル諸元
- ・主な工事内容

2. ハンガー取り替え

- ・ハンガー形式変更
- ・ハンガー取り替え手順
- ・ハンガー取り替えの技術的特徴

3. 送気乾燥システムの導入

- ・送気乾燥システムの目的
- ・送気乾燥システムの概要

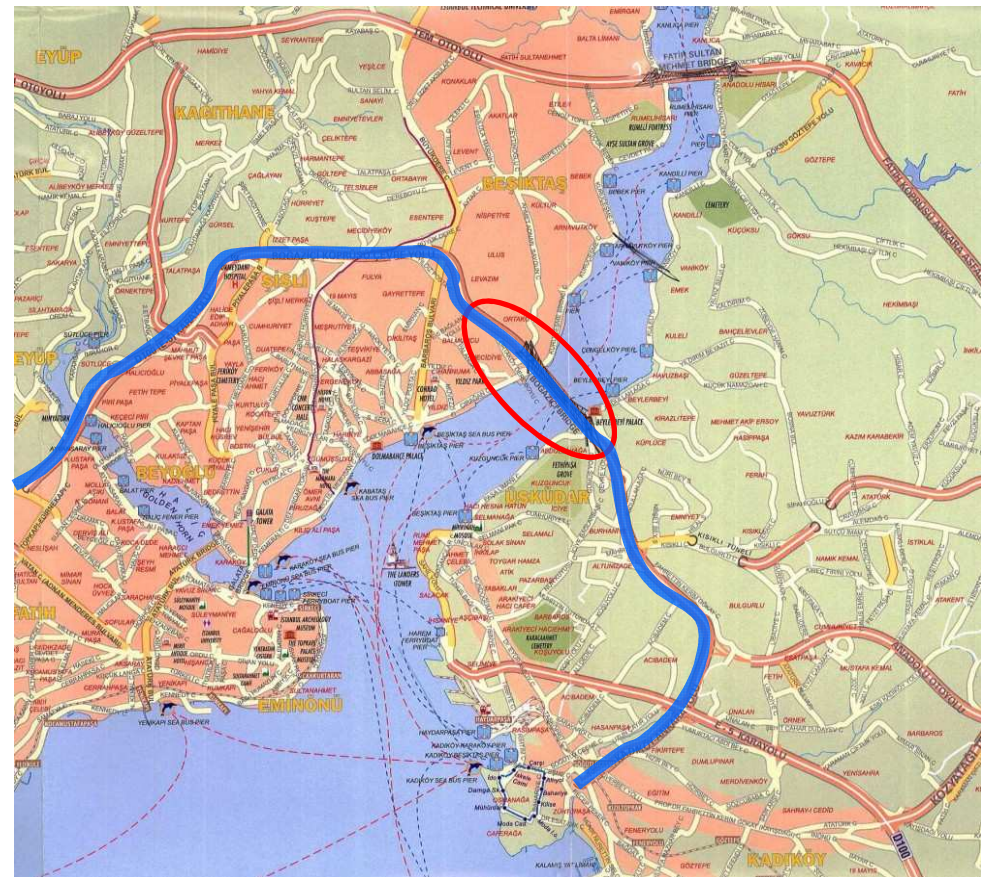
4. 主ケーブル補強

- ・主ケーブル健全度調査
- ・塔頂部主ケーブルの素線損傷
- ・主ケーブル補強方法
- ・主ケーブル補強架設手順、補強全景
- ・主ケーブル補強の技術的特徴

1. 第1ボスプラス橋大規模補修工事の概要

橋梁位置図

橋梁所在地:トルコ共和国 イスタンブール



〈第1ボスポラス橋位置〉

橋梁諸元、主ケーブル諸元

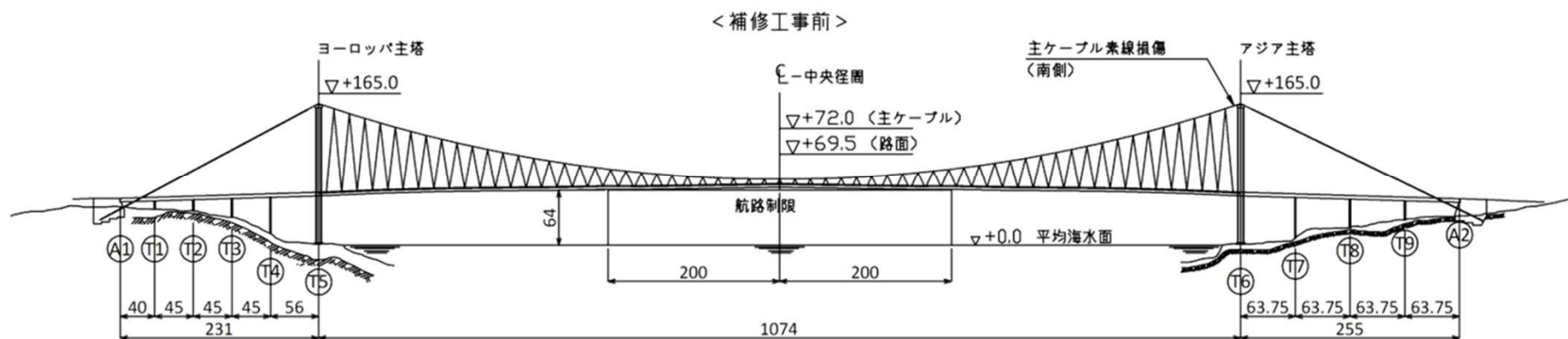


橋梁諸元

橋長: 1,560m (231m+1,074m+255m)

幅員: 33.4m (片側3車線)

完成: 1973年 (45年以上経過)



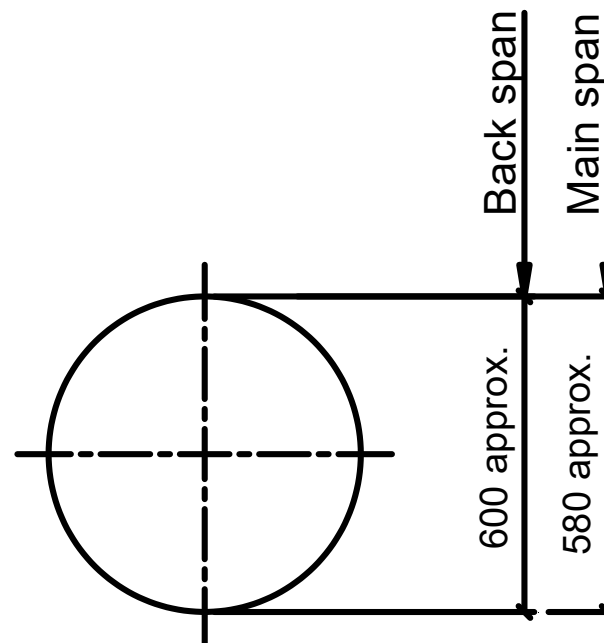
<全体一般図>

主ケーブル諸元

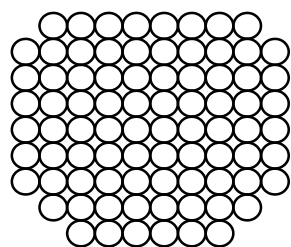
主ケーブル直径

中央径間：約580mm

側径間：約600mm



中央径間



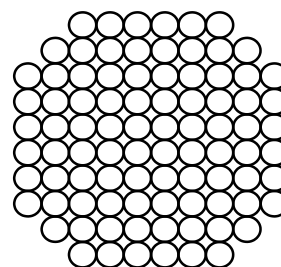
ストランド数：82個

ストランド径：64mm(127素線)

素線径：5mm

総素線数：10,414本

側径間



ストランド数：88個

ストランド径：64mm(127素線)

素線径：5mm

総素線数：11,176本

〈主ケーブル断面〉

【第1ボスプラス橋の特徴】

※世界に3橋しかない斜めハンガー形式の長大吊橋

※アジアとヨーロッパを結ぶ交通の要衝

※1日約20万台と言われる重交通量

※建設から45年以上が経過



長寿命化対策として大規模補修工事を実施

主な補修工事内容

1期工事(2014－2016)

- ① **ハンガー取り替え**
- ② 主ケーブル健全度調査
- ③ **主ケーブル送気乾燥システム**
- ④ ハンドロープ取り替え
- ⑤ ロッカーリンク取り替え

2期工事(2016－2019)

- ⑥ **主ケーブル補強**

2. ハンガー取り替え

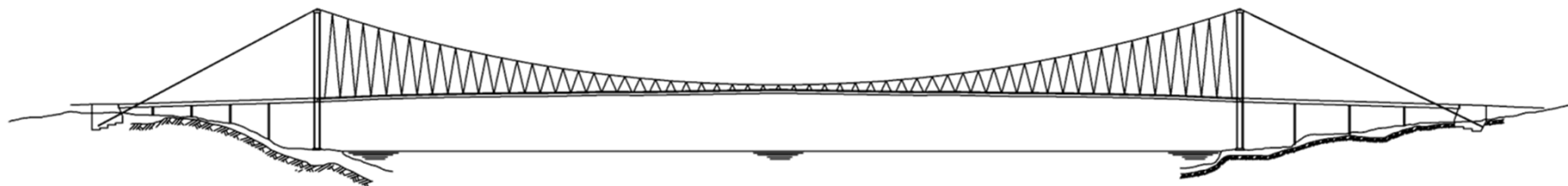
ハンガー形式変更

【斜めハンガーの長所、短所】

長所: 桁の橋軸方向の移動量を制御可能

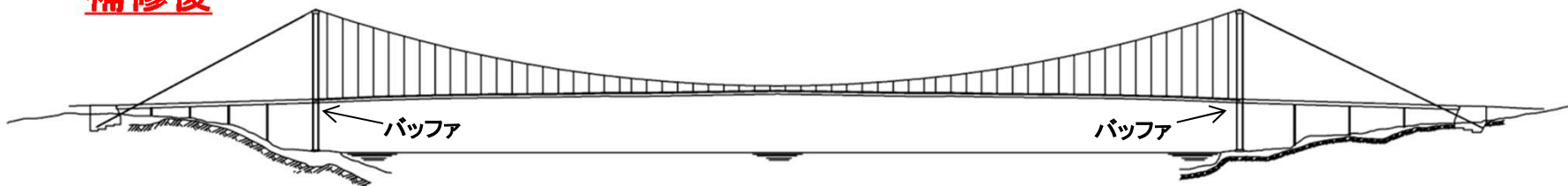
短所: 桁の疲労耐久性が低い

補修前



斜めハンガーから鉛直ハンガーに変更

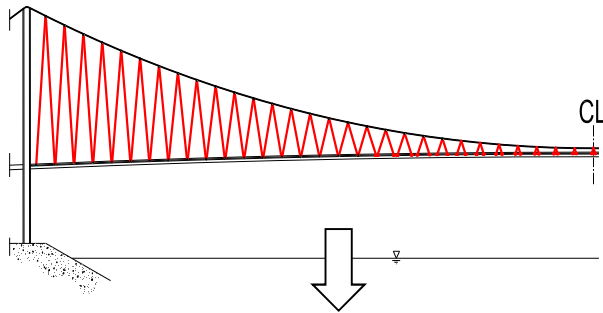
補修後



※桁の疲労耐久性が向上

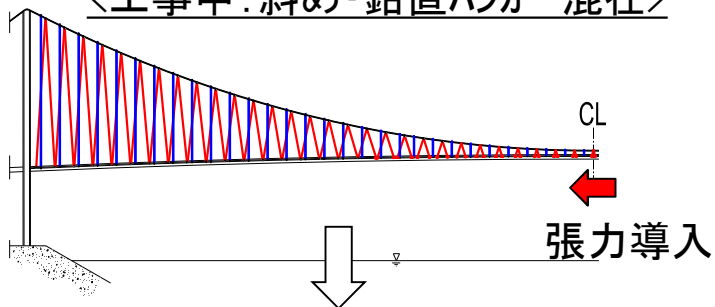
ハンガー取り替え手順

＜工事前：斜めハンガー＞



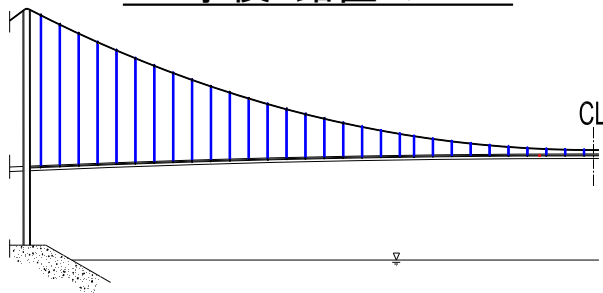
- ①鉛直ハンガー定着部材の設置
(主ケーブルおよび補剛桁)

＜工事中：斜め・鉛直ハンガー混在＞



- ②鉛直ハンガー設置
- ③鉛直ハンガー張力導入

＜工事後：鉛直ハンガー＞



- ④斜めハンガー撤去
- ⑤鉛直ハンガー張力調整



〈斜め・鉛直ハンガー混在状態〉



〈鉛直ハンガー張力導入時〉



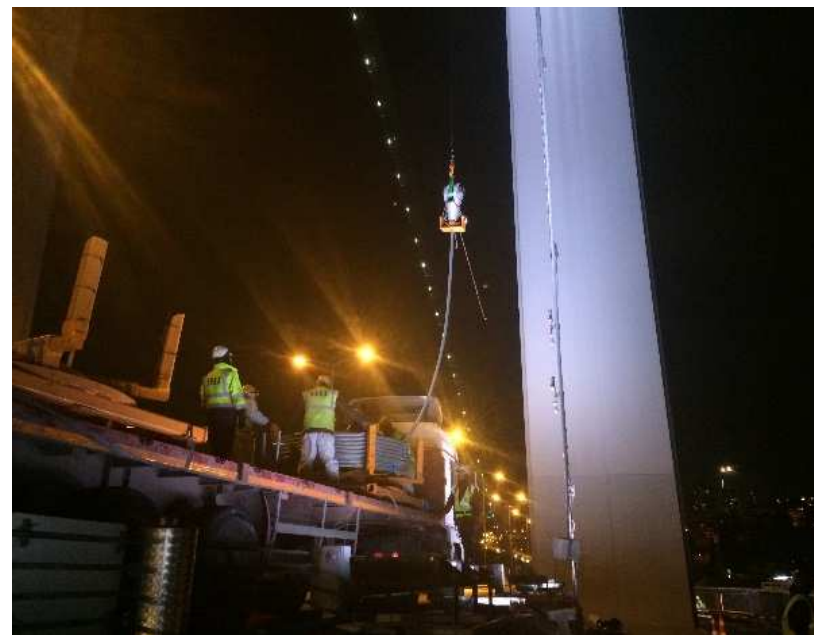
〈完成時〉

ハンガー取り替えの技術的特徴

1. 長大吊橋で**世界初**の斜めハンガーから鉛直ハンガーへの**形式変更**
2. **交通開放した状態**での全240本のハンガーの取り替え



〈夜間架設状況-1〉



〈夜間架設状況-2〉

3. ハンガー基部にハンガー長および張力調整機構を設置
4. ケーブル定着部に球面軸受を採用
5. 吊橋の出来形を反映した幾何学的非線形解析を実施



〈ジャッキング設備〉



〈ハンガー基部〉



〈球面軸受〉

3. 送気乾燥システムの導入

送気乾燥システムの目的

- ・乾燥空気の送気による腐食環境の改善
- ・モニタリングにより健全な状態を維持する

送気乾燥システムの概要

【主ケーブルの気密性の確保】

- ・ケーブルバンド部や塔、桁内にある隙間をコーキング
- ・石鹼水を使用して空気漏れがないことを確認



〈ケーブルバンド部コーキング状況〉

- ・主ケーブルをポリエチレン系の弾性材で覆う
- ・弾性材を132度で加熱溶融し密着させる



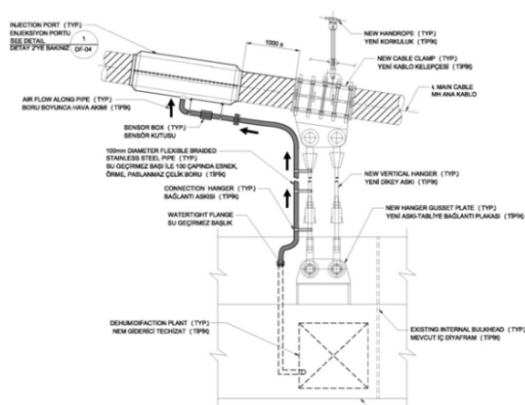
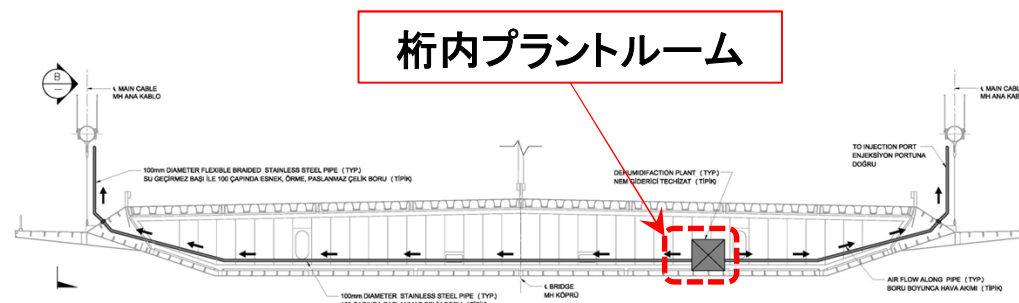
〈弾性材施工状況〉



〈ヒートブランケット設置状況〉

【除湿設備の設置】

- ・除湿機(プラントルーム)を桁、塔内、橋台内(全8箇所)に設置
- ・乾燥空気をプラントルームから主ケーブル内に送気

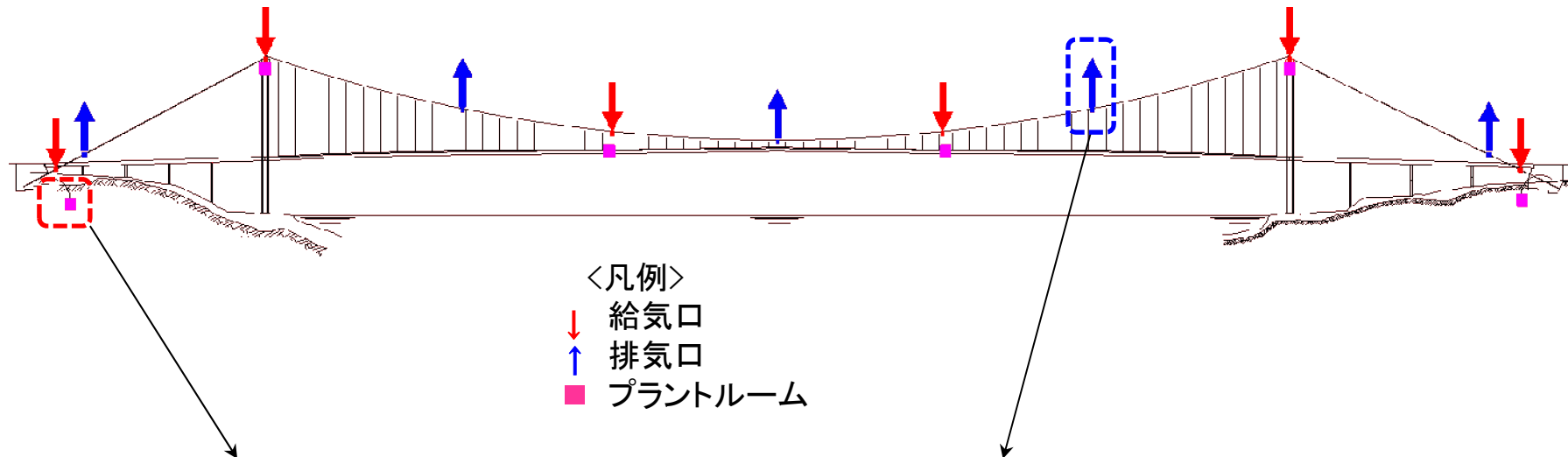


〈桁内の送気要領〉

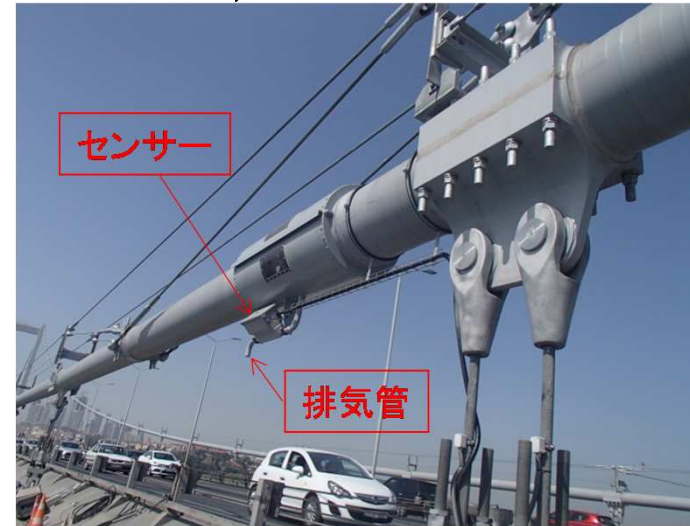


〈給気口〉

送気乾燥システム配置図



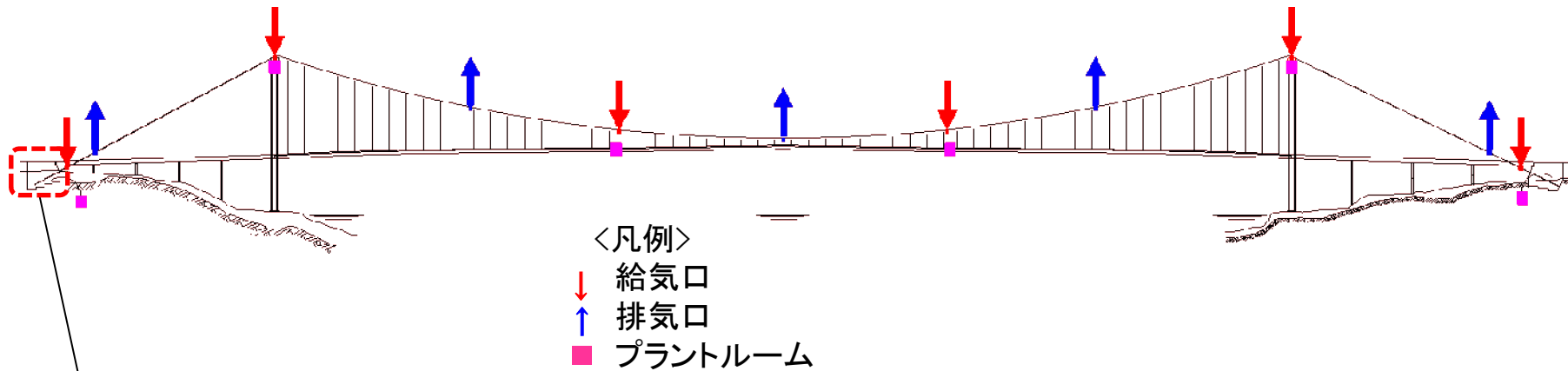
〈橋台内プラントルーム〉



〈排気口(センサー装備)〉

【橋台内の状況】

送気乾燥システム配置図

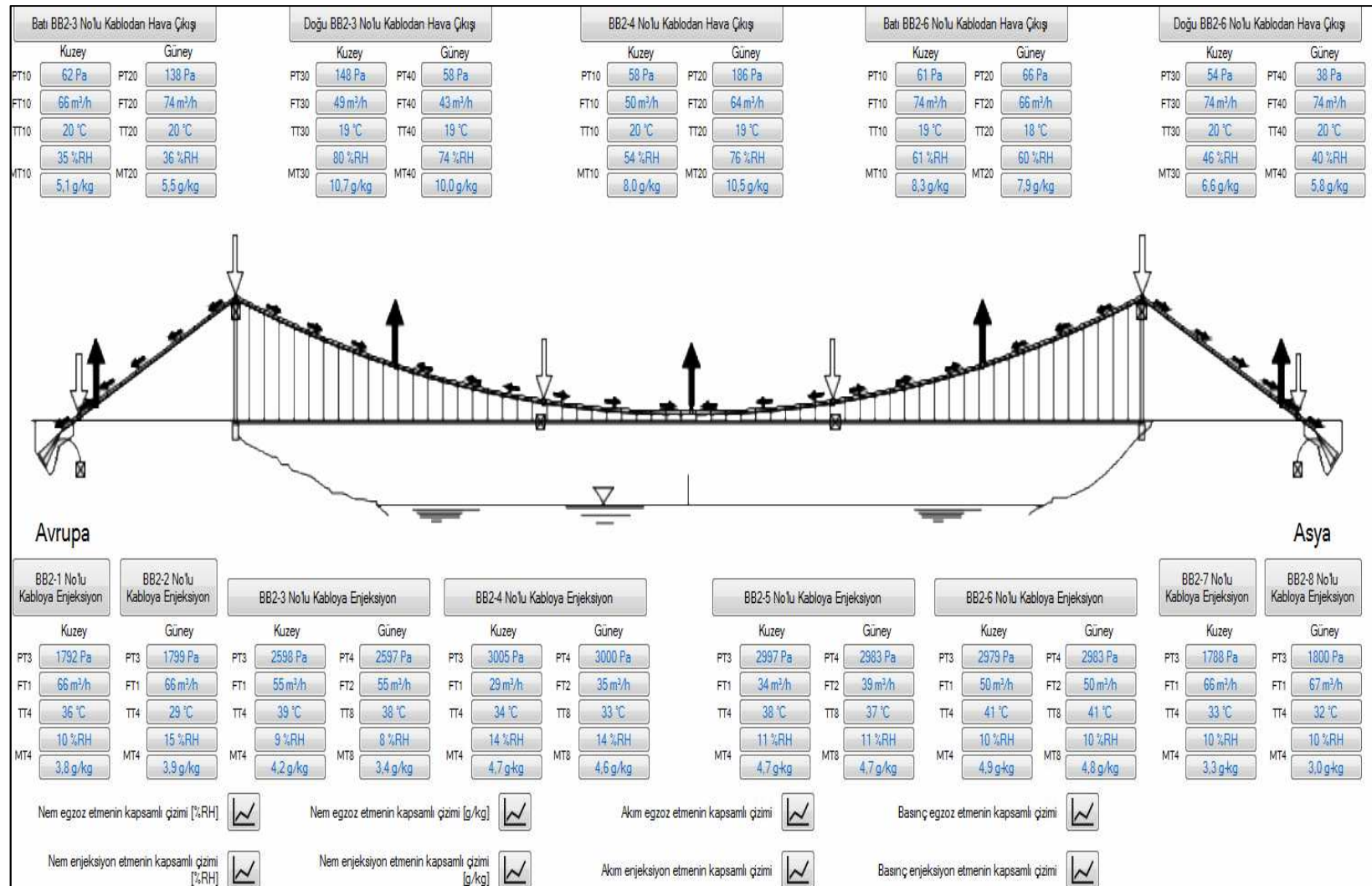


＜橋台内主ケーブルの状態＞



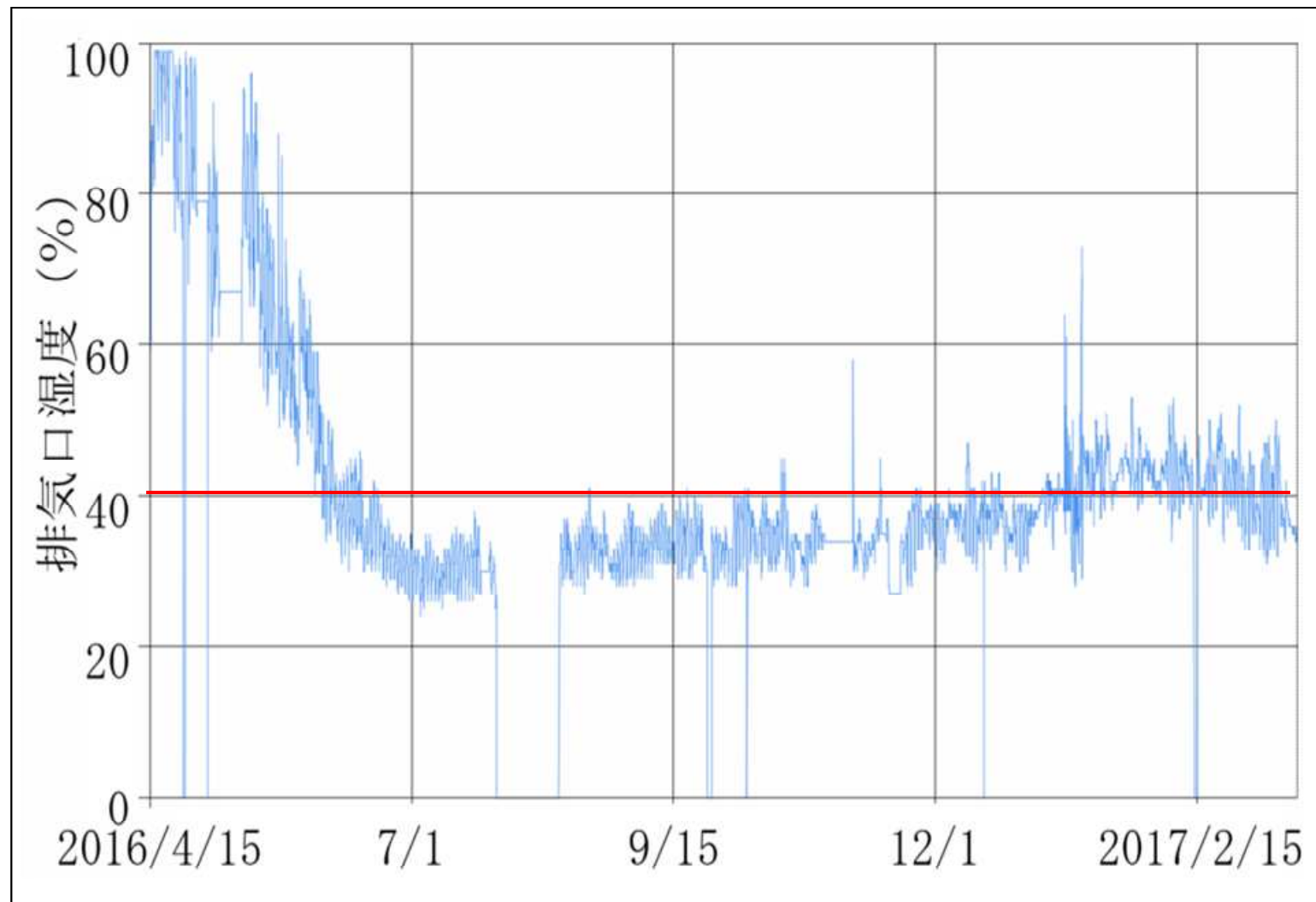
＜橋台内テント設置後＞

【モニタリング】



<モニタリング画面>

【相对湿度】

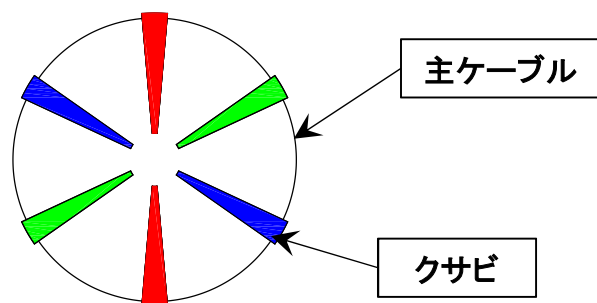


〈主ケーブル相对湿度の経過〉

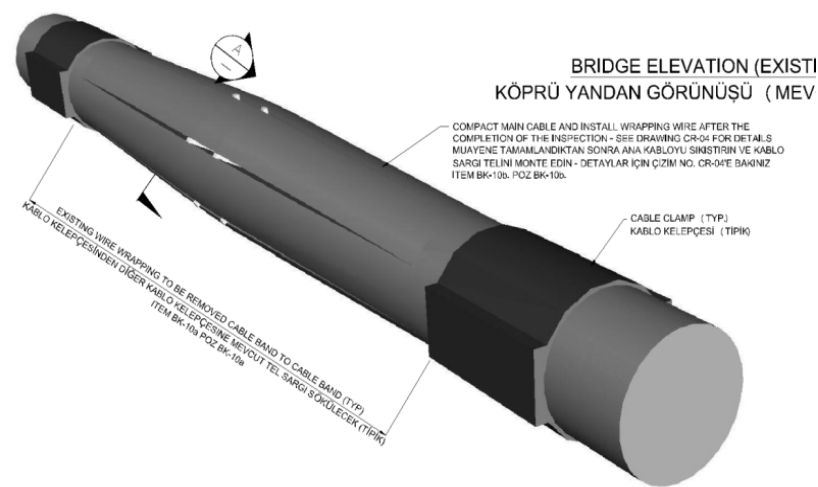
4. 主ケーブル補強

主ケーブルの健全度調査

- ・主ケーブルのラッピングを撤去
- ・クサビの挿入、主ケーブルの内部露出
- ・主ケーブル素線の腐食、劣化状況の確認
- ・破断、損傷した素線の取り替え



- 検査1回目
- 検査2回目
- 検査3回目



＜クサビ挿入状況＞



＜新旧素線接続状況＞



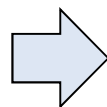
＜ターンバックル付きフェルール＞

塔頂部主ケーブルの素線損傷

主ケーブル健全度調査中に塔頂部主ケーブル素線の損傷を確認



〈補修前の素線破断状況〉



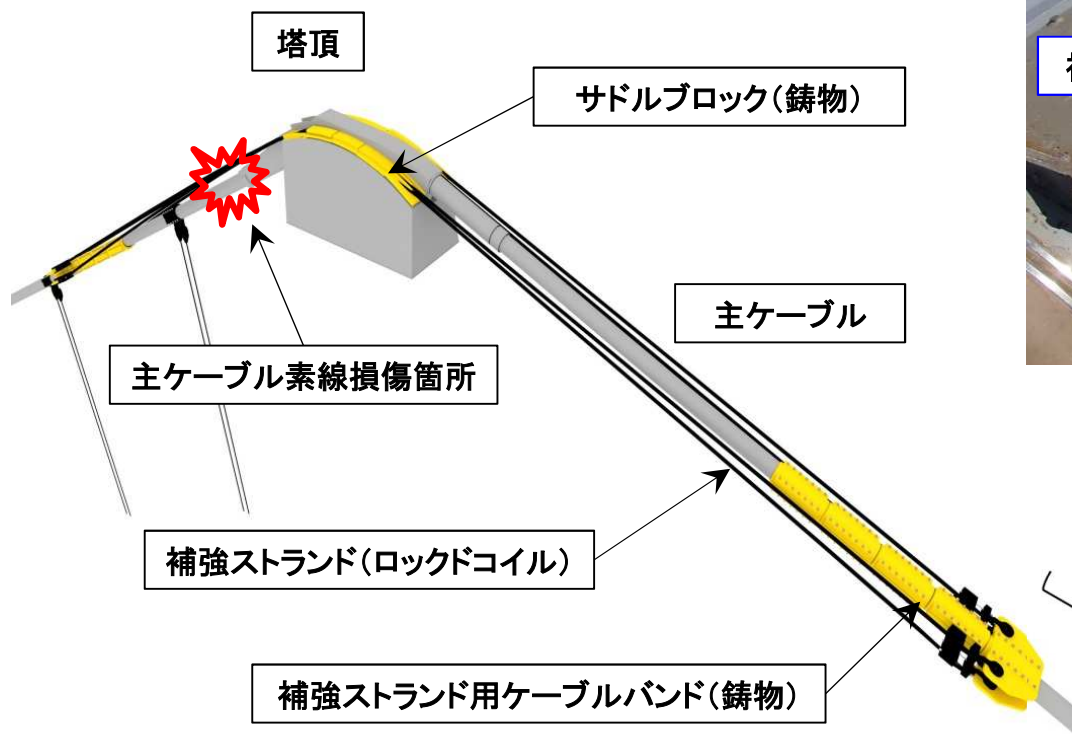
〈補修後の状況〉

- ・主ケーブルの安全率：設計値＝2.40 ⇒ 損傷後＝1.93
- ・健全な吊橋としての必要安全率＝2.15 > 1.93 NG!

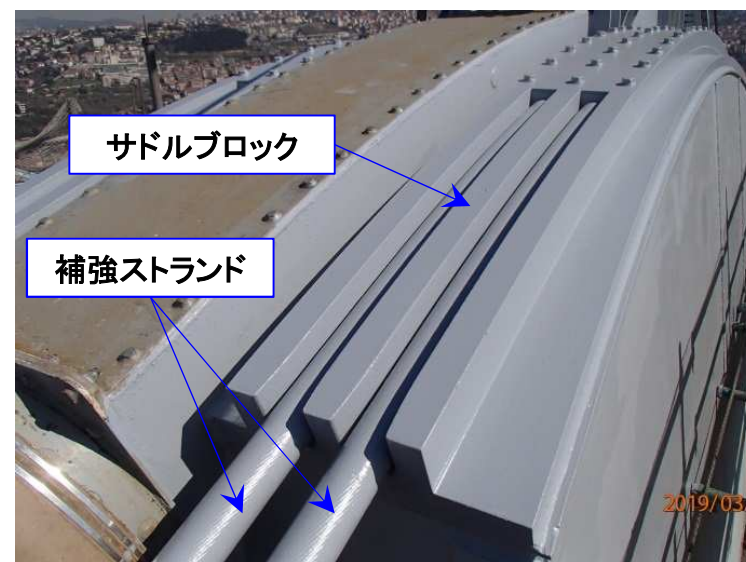


全ての塔頂で主ケーブル補強工事(2期工事)を実施することが確定

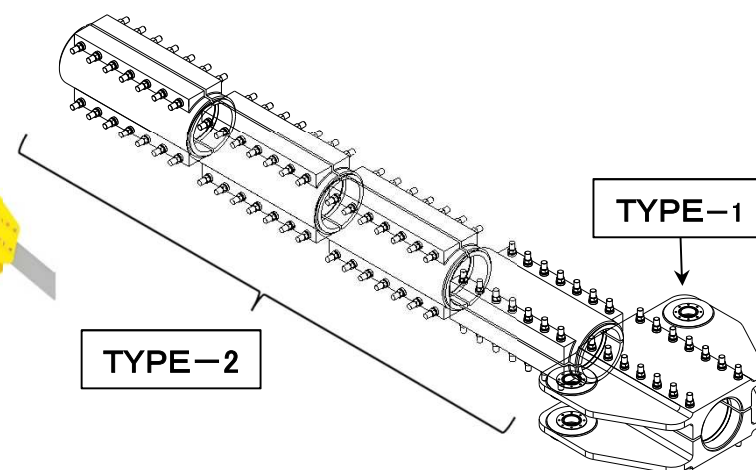
主ケーブル補強方法



〈主ケーブル補強イメージ〉



〈サドルブロック〉



〈補強ストランド用ケーブルバンド〉

主ケーブル補強架設手順



〈主ケーブル補強架設手順〉

主ケーブル補強全景



〈主ケーブル補強全景〉



＜塔頂の状況－1＞



＜塔頂の状況－2＞



＜補強ストランド用ケーブルバンドー1＞



＜補強ストランド用ケーブルバンドー2＞

主ケーブル補強の技術的特徴

1. 世界的に希少な吊橋主ケーブル補強例

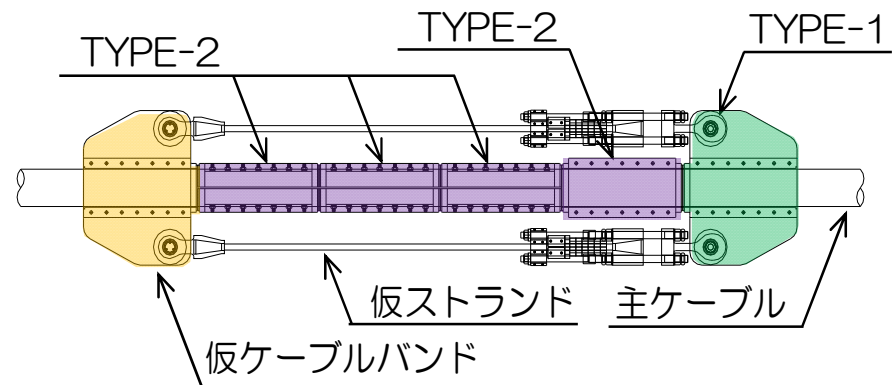
日本国内での事例無し。

2. 補強ストランド用ケーブルバンドの一体性確保

- ・主ケーブルの曲線形状に対応した各部材の端面角の決定
- ・工場で仮組立を行い各部材の形状および密着状態を確認し、精度を確保
- ・現場でプレテンションを与え、各部材間の完全接触を実現



〈工場仮組立状況〉



〈仮ストランドおよびジャッキ設備〉

3. サドルブロック底面の密着性確保

塔頂面とサドルブロックの隙間にはSplash Zone Compoundというゲル状材料を充填し、密着性を確保した。



＜サドルブロック密着性確保＞

4. 張力調整機構、球面軸受の設置

ストランド張力と長さが調整可能なジャッキ設備を設置した。また、ピンの部分にも球面軸受を設置し、定着部に曲げモーメントが作用しない構造とした。

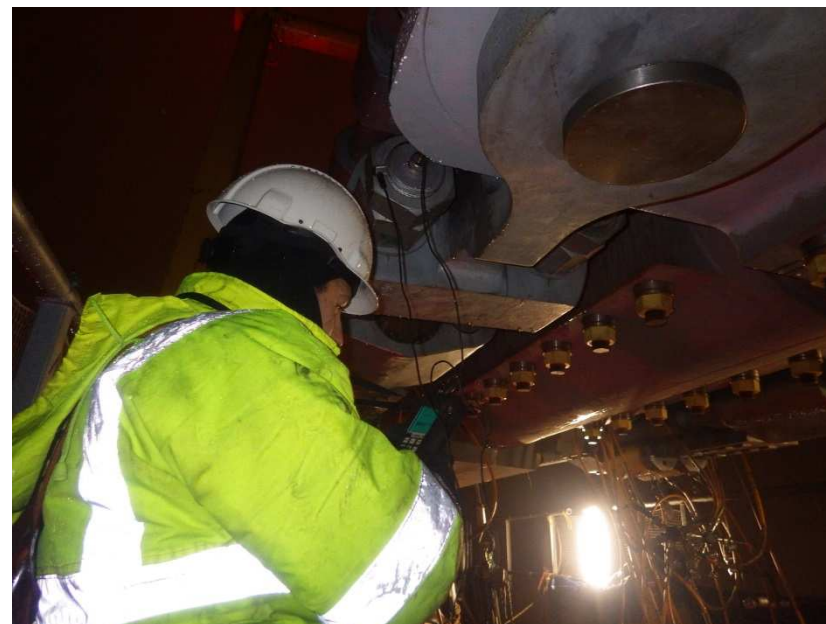
5. 補強ストランドの張力管理

ストランド張力が安定するまで再緊張とモニタリングを実施して、最終目標張力を確保した。

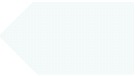
計測には温度の影響が排除できて、携帯が便利な小型の超音波軸力計を使用し、計測精度の高精度化を図った。



＜ストランド張力導入状況＞



＜ストランド張力計測状況＞



今回の発表が
少しでもお役に立てれば幸いです。

ご清聴ありがとうございました。