

令和5年度 橋梁技術発表会

関門橋の建設と50年後の今



安里 俊則

西日本高速道路㈱

技術本部 技術環境部 構造技術課長



1

本日の発表

1. 関門橋の計画
2. 若戸を超える吊橋への挑戦
3. 東洋一の吊橋建設
～最初の職場、挑戦の職場 インタビュー～
4. 関門橋以降の長大吊橋
～ケーブル製作・架設技術の進展～
5. 関門橋リフレッシュ工事



2

本日の発表

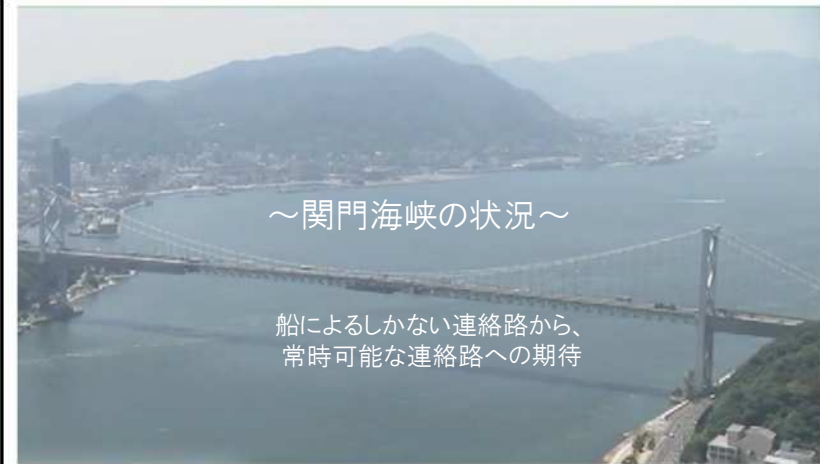
1. 関門橋の計画
2. 若戸を超える吊橋への挑戦
3. 東洋一の吊橋建設
～最初の職場、挑戦の職場 インタビュー～
4. 関門橋以降の長大吊橋
～ケーブル製作・架設技術の進展～
5. 関門橋リフレッシュ工事



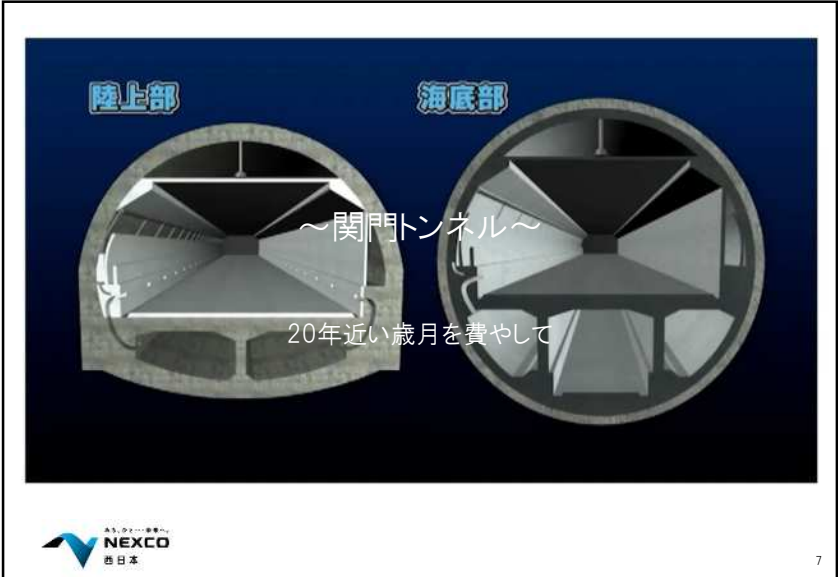
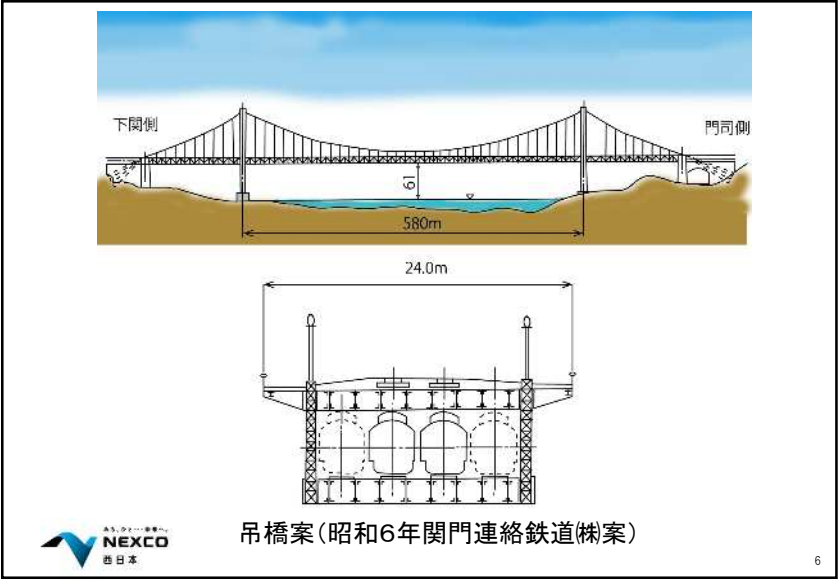
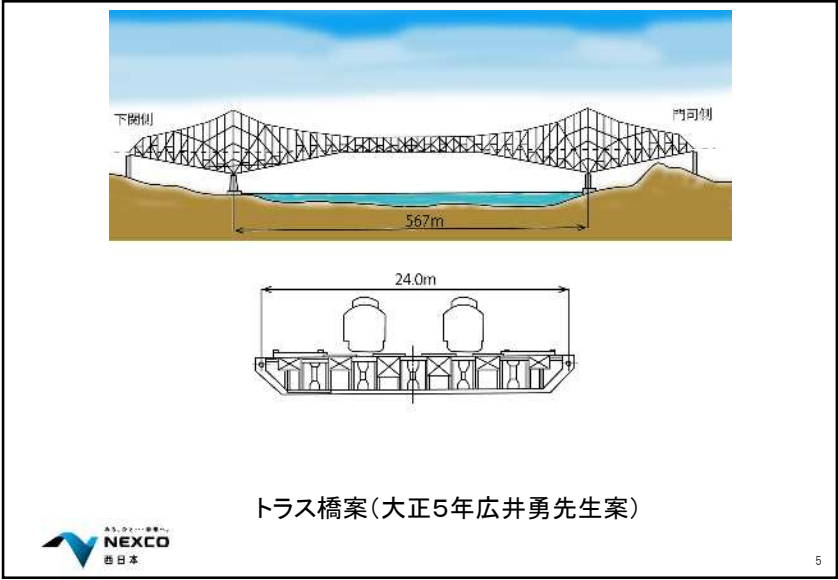
3

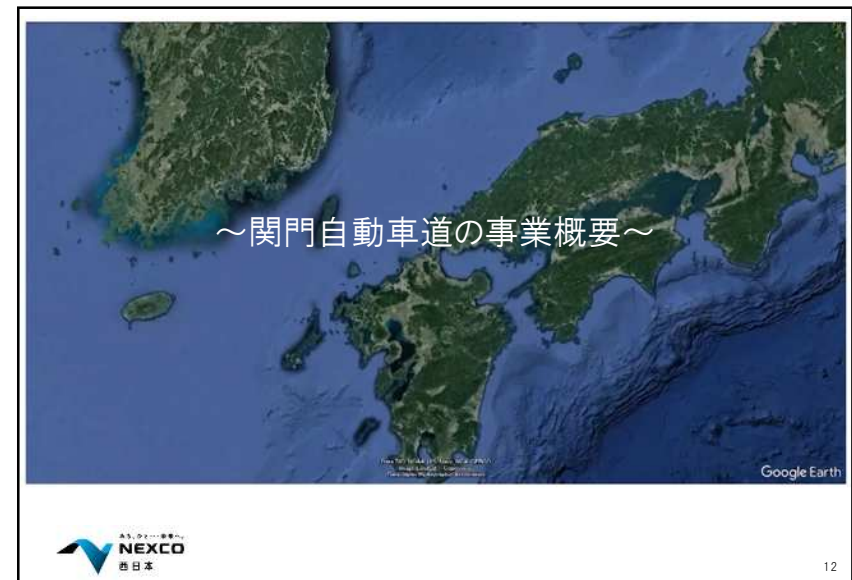
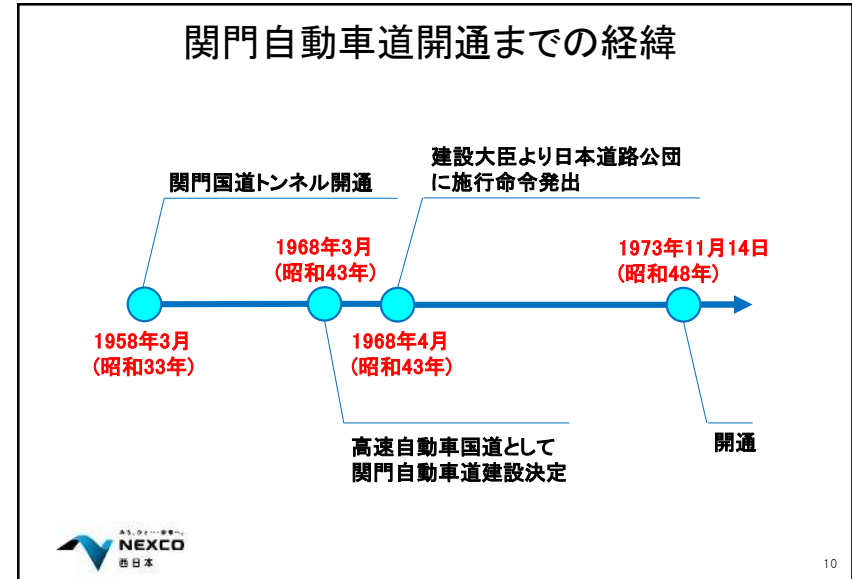
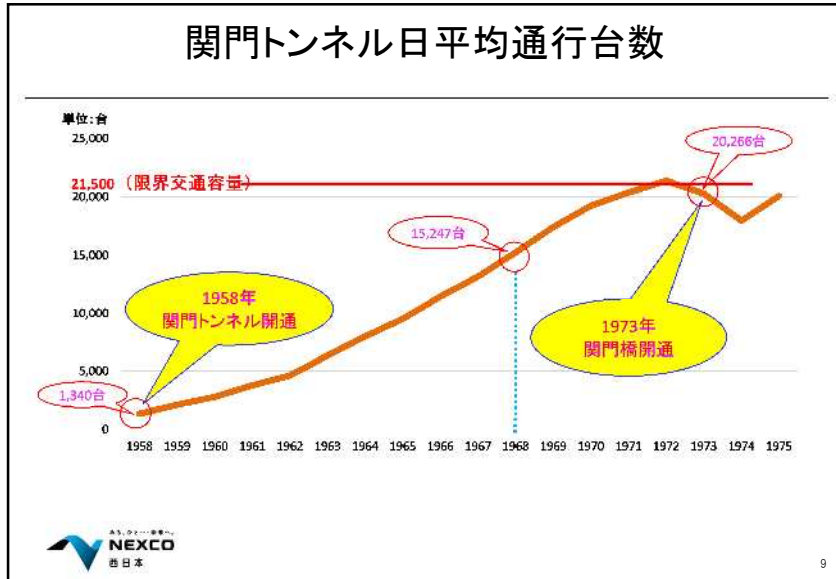
～関門海峡の状況～

船によるしかない連絡路から、
常時可能な連絡路への期待

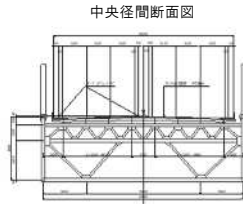
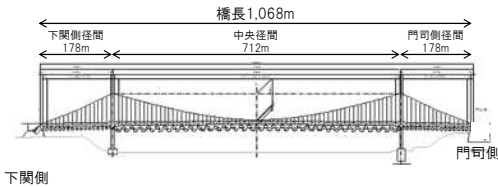


4





関門橋 一般図



下関側

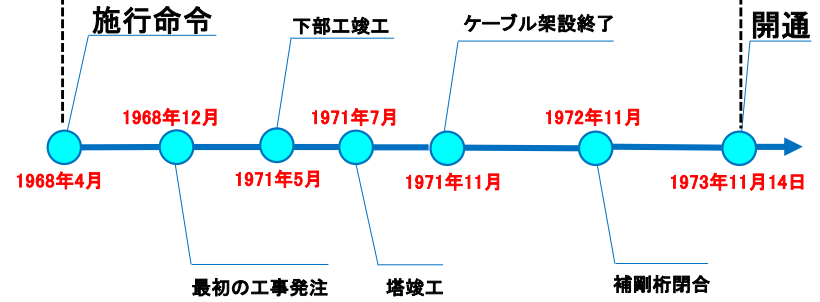
関門橋 (関門自動車道 下関IC~門司港IC)

橋梁形式 3径間2ヒンジ補剛桁吊橋
 橋梁格 1等橋
 道路規格 1種3級
 開通年月 昭和48年(1973)11月14日
 橋長 1,068m
 (178m+712m+178m)
 車線数 6車線
 桁下高 61m

関門橋	
橋長	1,068m
中央径間長	712m
側径間長	178m
桁下高	61m
車線数	6車線
工期	5年
事業費	300億円
	道路部8.6kmを含む



施行命令から5年で開通

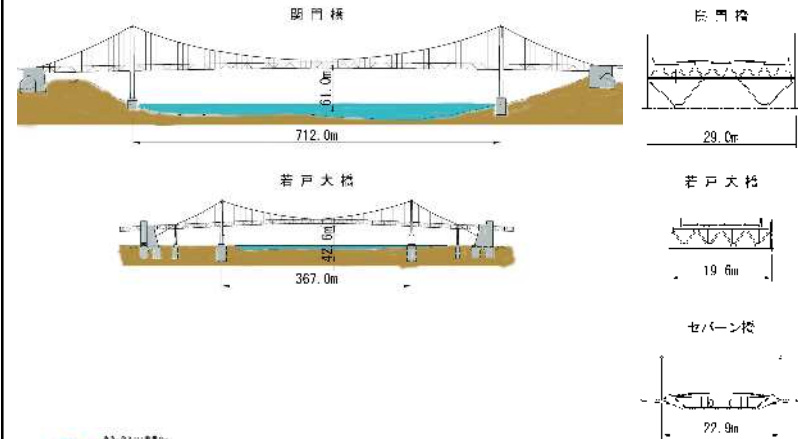


本日の発表

1. 関門橋の計画
2. 若戸を超える吊橋への挑戦
3. 東洋一の吊橋建設
 ~最初の職場 挑戦の職場 インタビュー~
4. 関門橋以降の長大吊橋
 ~製作・架設技術の進展~
5. 関門橋/フレッシュエース



関門橋と若戸大橋



関門吊橋学校

第一に、後世に誇れるとまではいかなくとも、その時点で**最高級の作品を完成させること**

第二に、後々の大型吊橋の参考となる**立派な資料を残すこと**

第三に、優秀な人材をできるだけ多く育成して、**本四架橋の計画に役立つようにしたい**

日本道路公団 関門建設所長 乙藤憲一の「心」



若戸、関門、本四と繋がる特筆すべき技術

PWSケーブルの採用



- ・PWS (Prefabricated Parallel Wire Strand) 工法 [国産技術]
- ・AS (Air Spinning) 工法 [米国特許工法]



逐次剛結工法による補剛桁の架設



関門橋特有の調査

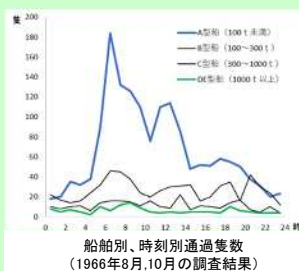
海象・気象調査

- 海象調査(潮位・潮流)
- 気象調査(気温・台風の影響度)



船舶調査

- 船舶別、時刻別通過隻数
- 船舶航跡実測
- 日本に寄港する大型外国客船



日本に寄港する大型外国客船

船名	総トン数(吨)	マストの水面上の高さ(m)	備考
President Cleveland	18,962	約42	○
Chusan	24,261	約48	○
Aronsay	27,632	約49	○
Himmaraya	27,955	約48	○
Arcades	28,356	約50	○
Arsova	28,750	約44	○
Ibena	29,614	約46	○
Arcadia	29,665	約48	○
Caronia	34,183	約59	○
Camberra	45,270	約57	○

※○は神戸港に寄港しているもの

技術検討委員会

調査、設計・施工の研究

奥村 敏恵	東京大学 教授
久保慶三郎	東京大学 教授
小坪 清真	九州大学 助教授
多田 安夫	建設省 土木研究所
大久保忠良	建設省 土木研究所
吉田 康	建設省 土木研究所
相良 正次	建設省 近畿地建
村上 永一	本州四国連絡橋公団
浅間 達雄	建設省 土木研究所
成田 信之	建設省 土木研究所
池田 哲夫	本州四国連絡橋公団

吊構造に関する研究

多田 安夫	建設省 土木研究所
伊藤 學	東京大学 助教授
猪瀬 寧雄	日本建設コンサルタント(株)
大久保忠良	建設省 土木研究所
岡内 功	中央大学 助教授
奥村 敏恵	東京大学 教授
国広 哲男	建設省 土木研究所
下川 浩寅	建設省 道路局
高田 孝信	東洋大学 教授
田原 保二	(株)日本構造橋梁研究所
平木 一	科学技術庁 航空技術研究所
鷲津久一郎	東京大学 教授



設計は人の心

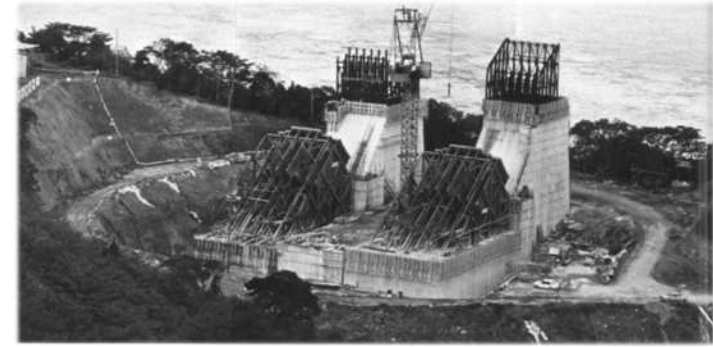


「ときには大胆に」
 「あるときは安全性に神経を使い臆病に」
 「より良い、より美しい構造物を」
 日本道路公団 関門建設所工事長 村上巴里

手書きの計算書



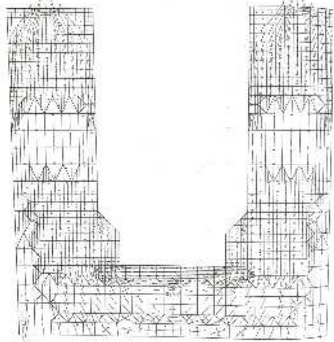
光弾性実験による設計照査



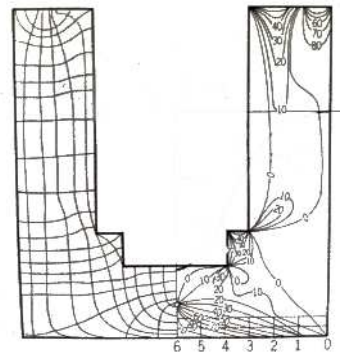
門司側橋台、アンカーフレーム据付状況



光弾性実験による設計照査



2次元FEMによる主応力図



光弾性実験による主応力線図

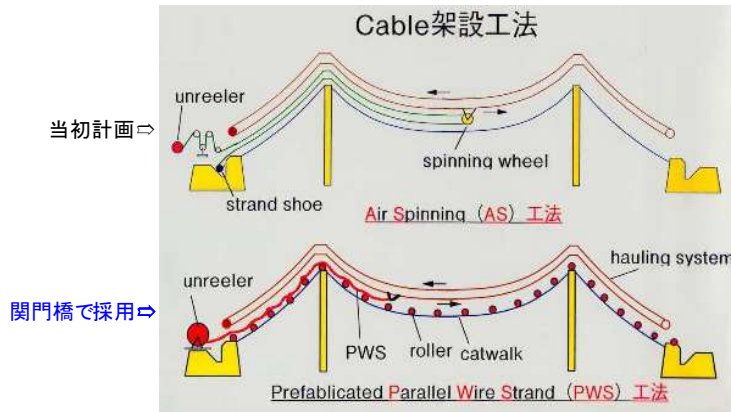




関門橋のケーブル架設技術

※ この資料は 元神戸製鋼所 三田村 武 様から頂いた資料を引用しております。

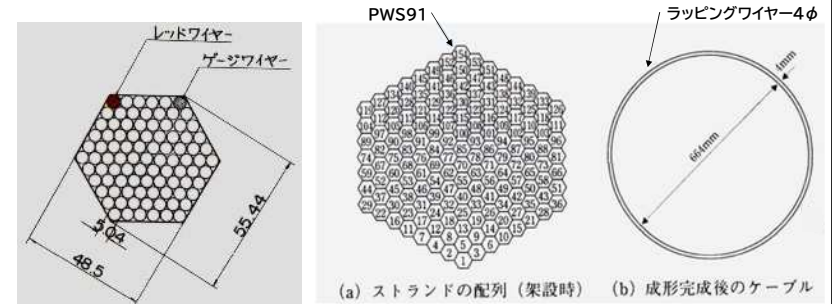
関門橋のメインケーブルは平行線ケーブル
長大橋日本初！



平行線ケーブル 架設法の説明図



関門橋のメインケーブル



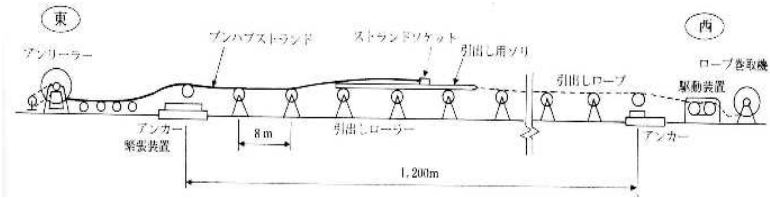
PWS91の断面図

ケーブルの断面構成

- ・ストランド数: 154本/1ケーブル
- ・ワイヤー本数: 91本/1ストランド



ケーブルストランド展開試験

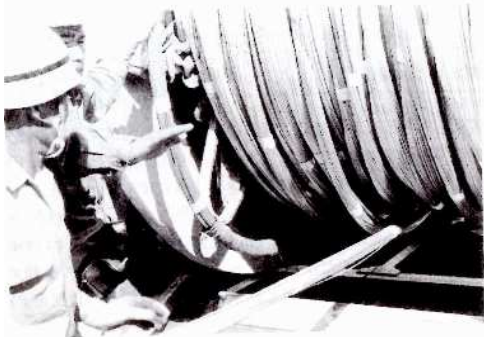


関門橋・展開試験 要領図

- ・展開試験は4本
- ・当時の八幡製鉄大分工場敷地内にて実施



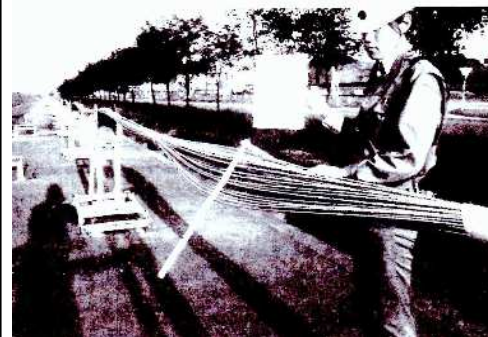
展開試験でわかった事①



リール内でPWSのたるみが発生する様子の例

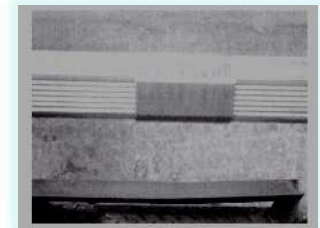
製作工場には密にまくように依頼

展開試験でわかった事②



引き出し中に生じるバードゲージの例

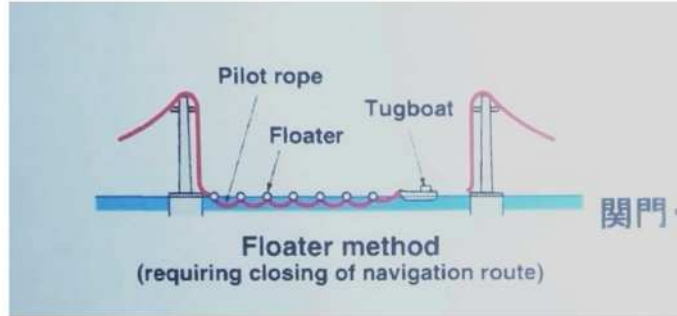
バードゲージ対策



ずれ止めのためのワイヤージングの例

パイロットロープの渡海

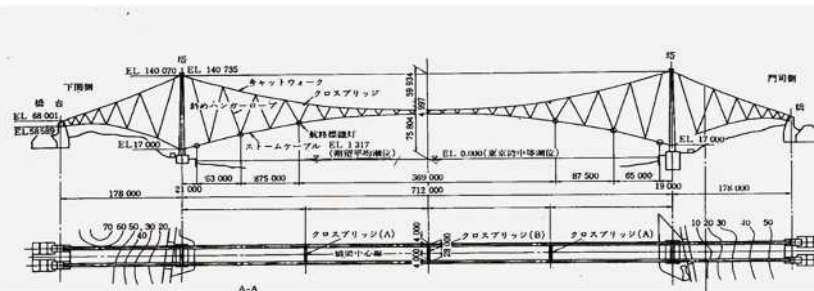
パイロットロープの 渡海



渡海直前の様子
すごい人数の見物客



キャットウォークの架設



関門橋キャットウォーク一般図



キャットウォーク床面

メインケーブル架設状況



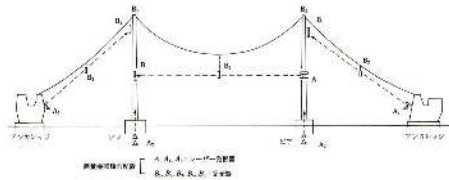
当時開発されて間もないプレハブ・ストランド工法 (PWS(=Parallel Wire Strand) 工法) で施工された。工程は季節の安定した秋(10&11月)に 設定された。



PWS架設

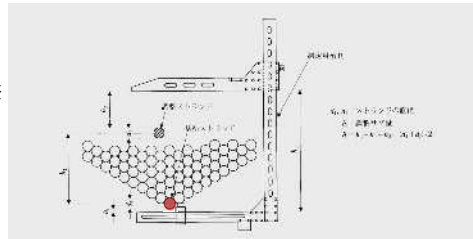


サグ測量やサグ調整作業

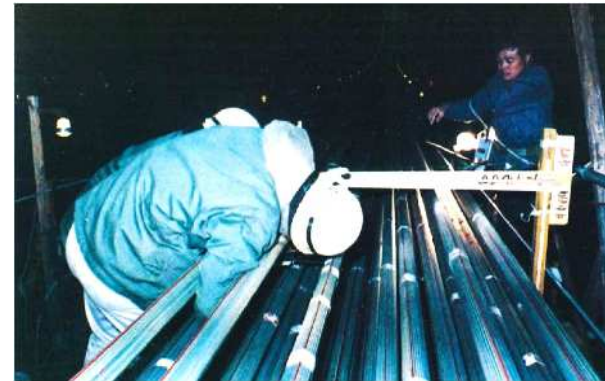


絶対サグ測量
夜間

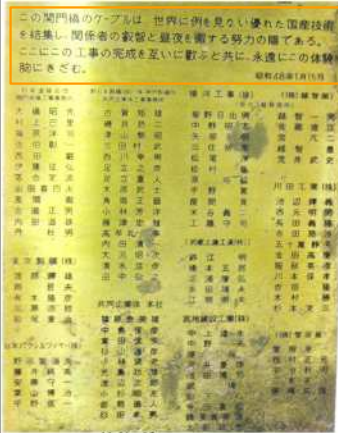
相対サグ調整
夜間



夜間 サグ調整



40年後に取り出された銘版 ～関門橋のタイムカプセル～



銘板に書かれている文章

この関門橋のケーブルは、世界に例を見ない優れた国産技術を集結し、関係者の叡智と昼夜を徹する努力の賜である。

ここにこの工事の完成を互いに歎ぶと共に、永遠にこの体験を胸にきざむ。

昭和48年1月15日

当時の工事長、村上己里氏の作文

この銘版は下関壇ノ浦の関門橋資料展示室に飾られてある。

本日の発表

1. 関門橋の計画
2. 若戸を超える吊橋への挑戦
3. 東洋一の吊橋建設
～最初の職場、挑戦の職場 インタビュー～
4. 関門橋以降の長大吊橋
～製作、架設技術の進展～
5. 関門橋のリフレッシュ工事

3 東洋一の吊橋建設

最初の職場、挑戦の職場
(インタビュー)



本日の発表

1. 関門橋の計画
2. 若戸を超える吊橋への挑戦
3. 東洋一の吊橋建設
～最初の職場・最期の職場、インタビュー～
4. 関門橋以降の長大吊橋
～ケーブル製作・架設技術の進展～
5. 関門橋のメンテナンス



※ この資料は 元神戸製鋼所 三田村 武 様から頂いた資料を引用しております。

ワイヤーの強度アップ

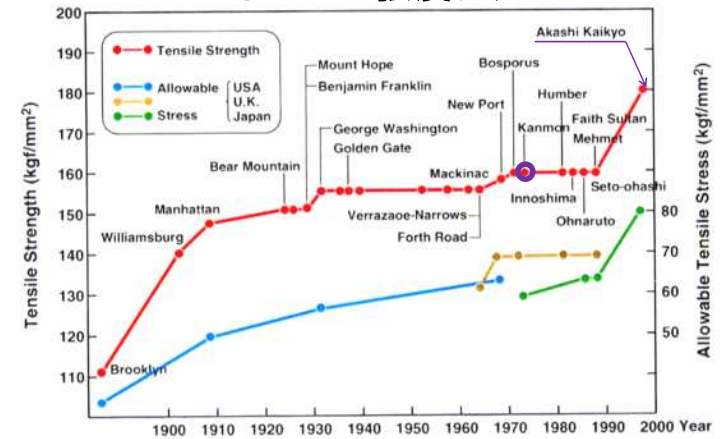
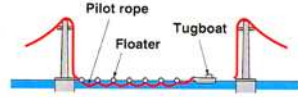


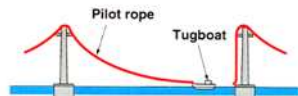
Figure 3 : History of strength for cable wire

パイロットロープ渡海工法の進展



Floater method
(requiring closing of navigation route)

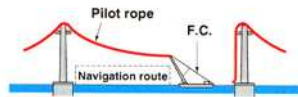
関門、因島ほか



Free-hang method
(requiring closing of navigation route)



大鳴門



F.C. method
(requiring restriction of navigation route)

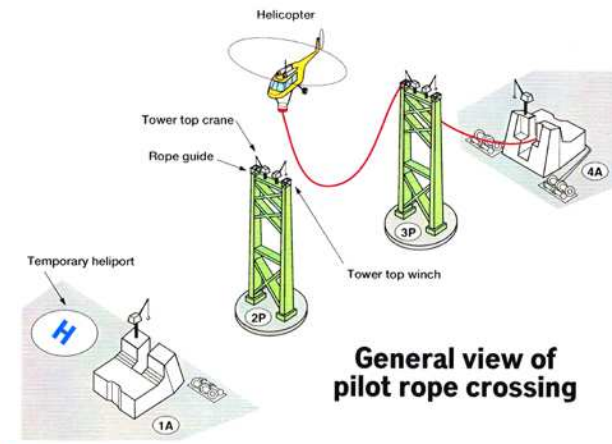


瀬戸大橋



Conventional pilot-rope crossing method

パイロットロープ渡海工法の進展



General view of
pilot rope crossing

明石、来島



ケーブルの防食

明石海峡大橋

ケーブル防食

ゴムラッピング
塗装 (ハイバロン)
接着剤
ワイヤラッピング

NEXCO 西日本

49

ケーブル送気乾燥システム

明石海峡大橋

乾燥空気送気システム

排気カバー
送気配管
送気カバー
ブロー (8基)

送気システム

除湿乾燥機ほか(塔下)

NEXCO 西日本

50

トルコ地図 と 架橋場所

架橋場所

トルコ地図

黒海 Kara Deniz
エーゲ海 Ege Denizi
地中海 Ak Deniz

NEXCO 西日本

51

1915チャナッカレ橋と明石海峡大橋との対比(1)

1915 Çanakkale Bridge
至 欧州 1020 4163 2023 1120 至 アジア
主ケーブル直径0.883m
ハンガー間隔14m
航路 1600×70m

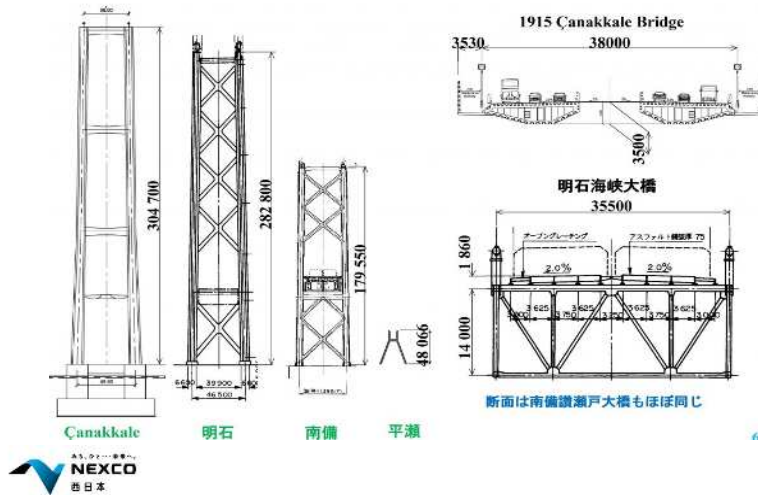
明石海峡大橋
959,999 1990,796 960,295 至 淡路
主ケーブル直径1.122m
ハンガー間隔14.2m
航路 1513×65m

南備讃瀬戸大橋
平瀬橋 95.7 1648 1100 274 274 至 坂出
中央径間長 日本第2位

NEXCO 西日本

52

1915チャナッカレ橋と明石海峡大橋との対比(1)



世界の長大吊橋 トップ10 2022. 3時点

順位	橋名	所在国	中央支間長 m	竣工年 など
1	1915 チャナッカレ橋	トルコ	2023	2022.3
2	明石海峡大橋	日本	1991	1998
3	武漢揚四港長江大橋	中国	1700	2019.10
4	南沙大橋	中国	1688	2019.4
5	西候門大橋	中国	1650	2009
6	グレートベルト・イースト	デンマーク	1624	1998
7	オスマン・ガーズイ橋	トルコ	1550	2016
8	李舜臣大橋	韓国	1545	2012
9	潤揚長江公路大橋	中国	1490	2006
10	洞庭湖大橋	中国	1480	2018

世界最長の吊橋 トルコ 1915チャナッカレ橋 完成(2022.3.18 開通)



本日の発表

1. 関門橋の計画
2. 若戸を超える吊橋への挑戦
3. 東洋一の吊橋建設
～最初の職場・挑戦の職場 インタビュー～
4. 関門橋以降の長大吊橋
～製作・架設技術の進展～
5. 関門橋リフレッシュ工事

損傷状況《リフレッシュ工事前(2011(H23年度)時点)》

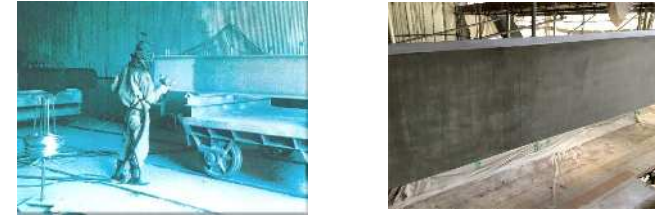
補剛桁の塗膜ひび割れ ケーブル等に錆発生 高力ボルトの腐食 支承部の疲労亀裂

主塔 主ケーブル ハンガーロープ 中央橋脚 橋脚間 橋台(アンカレイジ) 補剛桁 門司側

橋台床版(上面)の劣化 橋台側面の劣化 大型伸縮装置の腐食 伸縮装置からの漏水

高く評価される建設時の新技術①

補剛トラス桁 金属溶射の採用



建設当時の金属溶射施工状況 塗膜剥離後の金属溶射状況

40数年経過しても非常に健全 → 亜鉛溶射被膜を残し再塗装を実施



高く評価される建設時の新技術②

軽量コンクリート+I型鋼格子床版の採用

床版構造図(鋼格子床版)

現在の状況

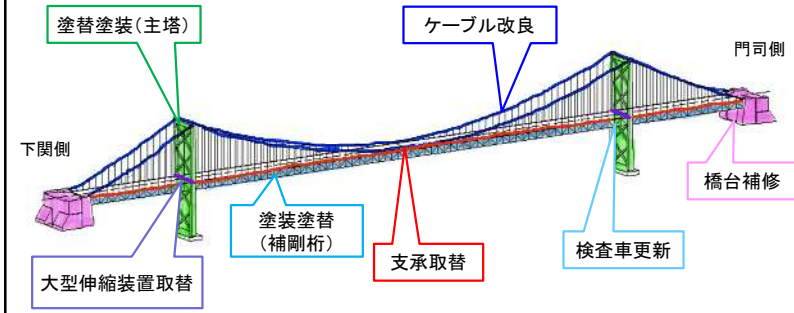
断面中心線 軽量コンクリート充填 A-A

鋼筋 伸縮装置

●床版: 軽量骨材1.85~1.87kg/m³ ●建設当初の入念な施工と検査の賜物

長大吊橋へのI型鋼格子床版の採用、軽量コンクリートの使用は稀少!

関門橋リフレッシュ工事の概要



- 補剛桁、主塔の塗替え
- 主ケーブルの防食対策
- 床組支承の取り換え
- 床組の連続化(ノージョイント)
- 橋台部鉄筋コンクリート床版(RC床版)の打替え



補剛桁、主塔の塗替え

■補剛桁の塗替え

1000 μ 以上の厚膜となり、塗膜割れが発生

⇒剥離剤を用いた剥離やIH(電磁誘導加熱)などの新たな剥離工法を用いて、健全な下地の金属溶射を残して塗替塗装を実施



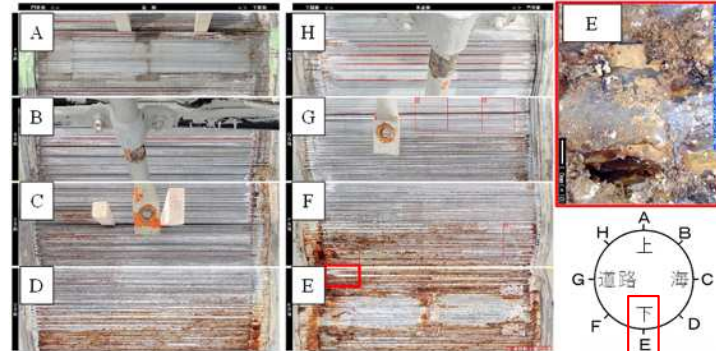
剥離剤を用いた塗膜剥離作業



IHによる加熱状況



主ケーブルの状況

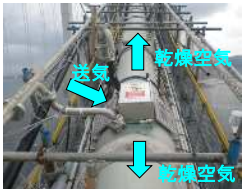
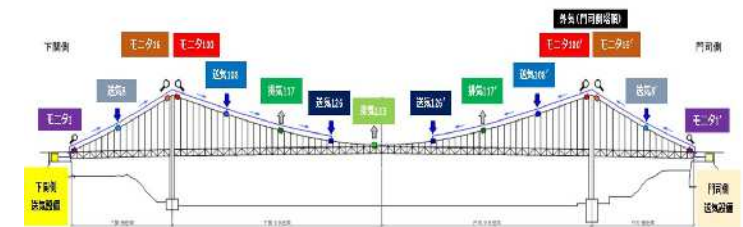


- ケーブル下面の表層を中心に腐食が進行
- 高湿度のため、腐食が生じやすい環境(結露・気化)
- 垂鉛メッキの部分的な消失

送気設備の導入



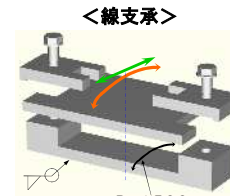
ケーブル送気システムの概要



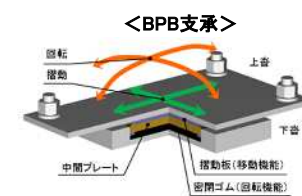
ACMセンサー類
(塔頂・橋台カバー内(上))



床組支承の取り替え



全数取替



- ・橋軸方向のみ水平移動、回転が可能
- ・腐食により固着し、機能損失していた

- ・橋軸方向と橋軸直角方向への水平移動、回転が可能
- ・疲労き裂の原因である、回転・水平変位の拘束を解消



既設支承



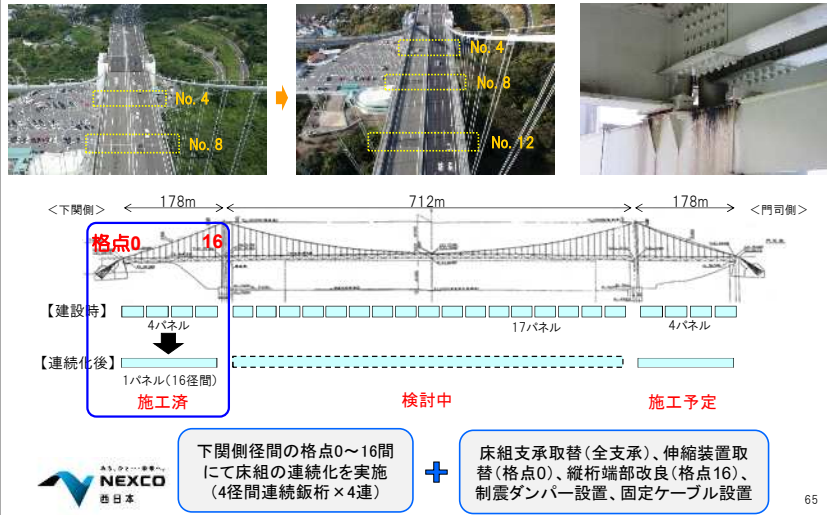
ジャッキアップによる支承取替



支承取替完了



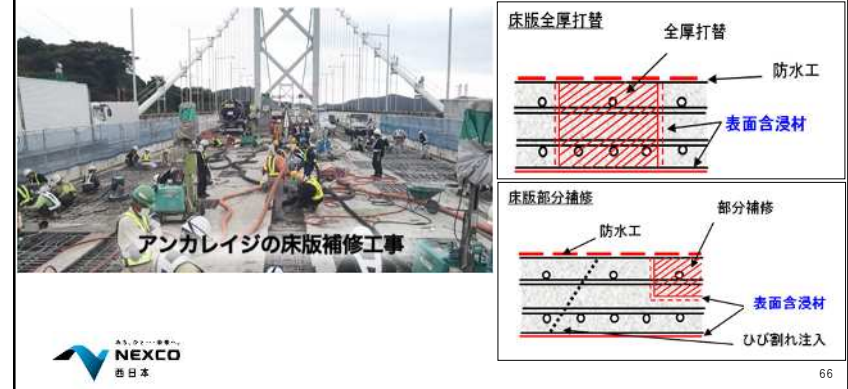
床組の連続化(ノージョイント化)



橋台部鉄筋コンクリート床版 (RC床版) 打替え

■アンカレイジ(橋台)上屋床版

近年の車両大型化、防水工の未施工などによる床版の劣化
 ⇒床版の全層打替・部分補修および防水工を実施

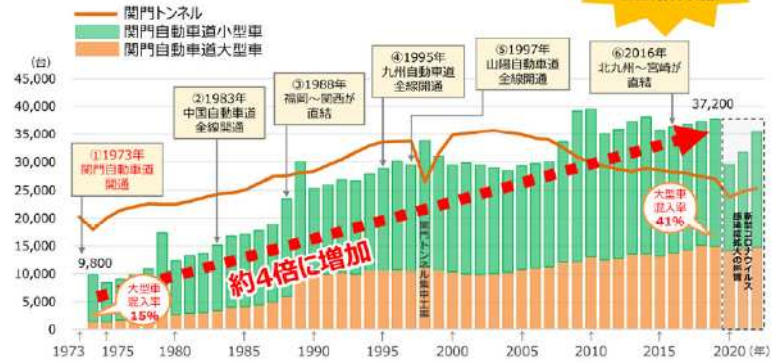


最後に



関門橋の整備効果

■関門自動車道 車両別一日平均通行台数



おまけ



本州と九州をつなぐ、地域経済に欠かせない
関門橋をより長く、美しく管理して参ります



ご清聴ありがとうございました