

## 委員会活動報告

# 橋梁ケーブル調査研究小委員会

### 講演：

- 1) 橋梁ケーブル調査研究小委員会の設立について：中村俊一
- 2) 橋梁ケーブルに関する諸課題と橋梁ケーブル調査研究小委員会に対する期待：玉越隆史（国総研）、澤田守（土研）
- 3) 長大吊橋の建設と維持管理：森山彰（本四高速）
- 4) 海外におけるケーブル技術の現状：井上学（IHIインフラシステム）
- 5) JSS構造用ケーブル材料規格改正紹介と規格制定の現状と留意事項：矢野守俊（東京製綱）

# JSSC 橋梁ケーブル 調査研究小委員会の 設立について

中村俊一

橋梁ケーブル調査研究小委員会委員長

東海大学名誉教授

IABSE副会長

# 橋梁ケーブル調査研究小委員会の設立について

## 委員会設立の背景:

20世紀後半、多くの吊形式橋梁が建設され、設計・製作・架設技術が開発・発展。その後、国内での新規プロジェクトは減少。

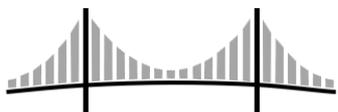
橋梁ケーブルに関し、計画・設計・製作・架設・維持管理の体系的な技術基準や手引書が整備されていない。

道路橋示方書、ケーブル便覧、ISOなどに十分に反映されていない。

橋梁の老朽化が進み維持管理・補修面で問題が生じている

国際競争力が弱い

技術の継承やケーブル技術を理解する技術者が不足



# 橋梁ケーブル調査研究小委員会の設立について

## 委員会設立の目的・活動内容：

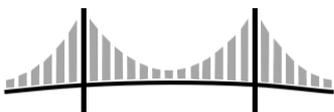
中立的・第三者的な立場により、ケーブル技術に関する国内外の技術を体系的にまとめ、技術資料として整備する。

成果は、道路橋示方書やケーブル便覧に反映させる

吊形式構造およびケーブル技術の発展、国際競争力の強化に貢献

ケーブル構造物の設計・施工・維持管理の関係者からの問合せ窓口

講習会、講演会、工場見学、現場見学 → 人材育成



# 橋梁ケーブル調査研究小委員会の設立について

## 委員会の構成:

委員長: 中村(東海大学名誉教授)

幹事: 矢野、三輪(東京製綱)、榊(神鋼鋼線工業)、伊藤(東京製綱)

## 委員:

大学関係: 勝地(横国大)、北根(京大)、松本(京大)、松宮(京大)、

古川(京大)、宮下(長岡技大)、橋本(神戸大)、青木(秋田大)

管理者など: 澤田(土研)、玉越(国総研)、森山(本四高速)、

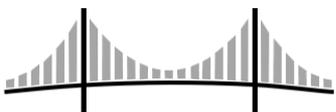
鋼材・材料工学の専門家: 未定

腐食・防錆の専門家: 北村、外(本四エンジ)、鈴木(日鉄防食)

付属品(ダンパー他)の専門家: 藤田(中井商工)

橋梁会社: 掘井(横河)、北山(IHI)

コンサルタント: 中村(大日本)



# 橋梁ケーブル調査研究小委員会の設立について

## 委員会の活動方針：

維持管理に関する技術資料の作成を優先する。これと並行して、他の重要な技術的課題についても調査研究を進める。活動はWGを主体とする。

WG1：ケーブル維持管理に関する技術資料作成WG（澤田）

WG2：ホームページ運営WG（矢野）

WG3：ケーブル疲労WG（澤田）

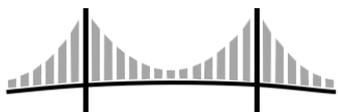
WG4；ケーブル防食WG（森山）

WG5；ケーブル耐荷力WG（宮下）

WG6：ケーブル空力振動対策WG（勝地）

WG7：吊り形式橋の終局強度WG（北根）

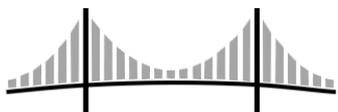
WG8：吊り形式橋梁の施工技術調査WG（矢野）



# 橋梁ケーブル調査研究小委員会の設立について

## 本日の講演

- 1) 橋梁ケーブル調査研究小委員会の設立について: 中村俊一
- 2) 橋梁ケーブルに関する諸課題と本小委員会に対する期待:  
玉越隆史(国総研)、澤田守(土研)
- 3) 長大吊橋の建設と維持管理: 森山彰(本四高速)
- 4) 海外におけるケーブル技術の現状: 井上学(IHIインフラシステム)
- 5) JSS構造用ケーブル材料規格改正紹介と規格制定の現状と留意  
事項: 矢野守俊(東京製綱)

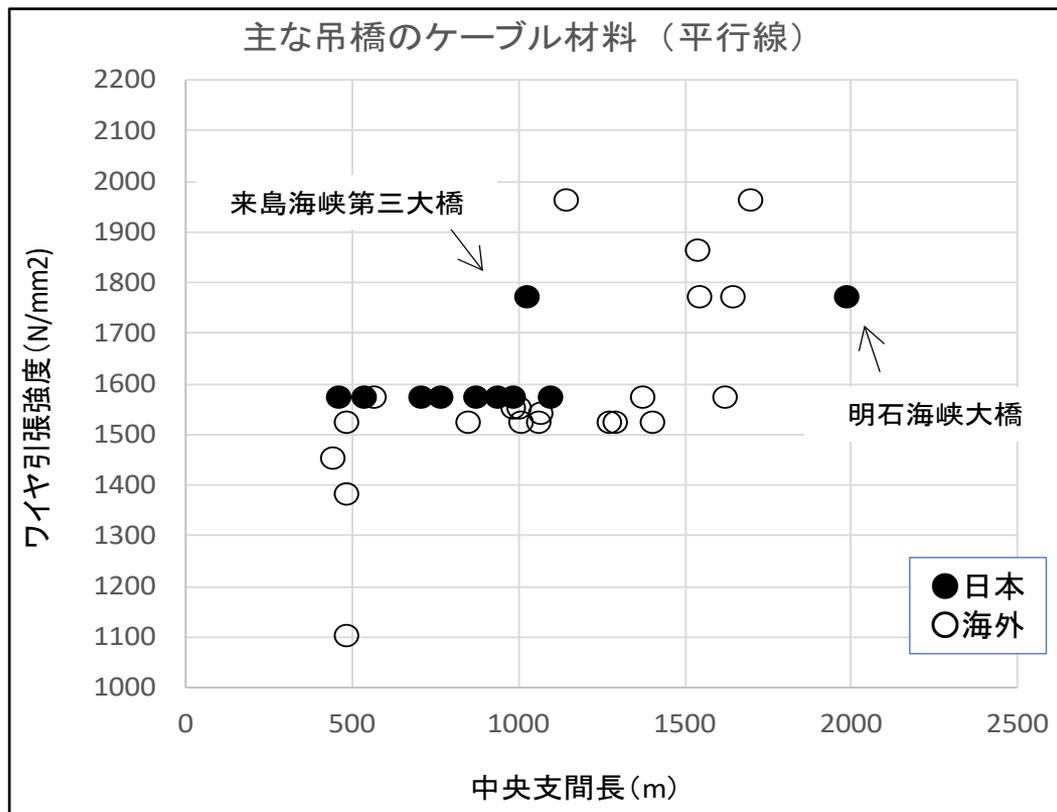


# 橋梁ケーブルに関する諸課題と 本小委員会に対する期待

国土交通省 国土技術政策総合研究所 玉越隆史  
国立研究開発法人 土木研究所 澤田 守

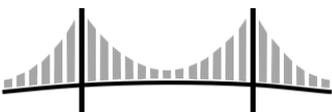
# 橋梁用ケーブルの歴史

- 日本のケーブルは、本四架橋当時は世界最先端であったはず。
- しかし、使用実績では、橋梁規模、ワイヤー強度とも海外がリード。



出典：本州四国連絡高速道路株式会社編著「長大吊形式橋梁の建設・維持管理」

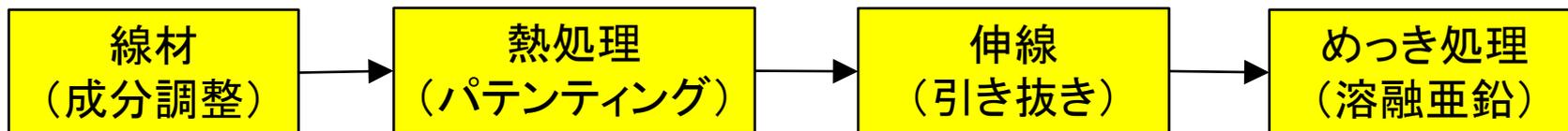
→ 日本の橋梁用ケーブルは国際競争力、技術的優位性を喪失？



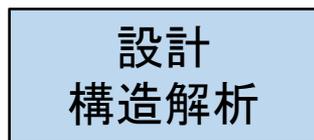
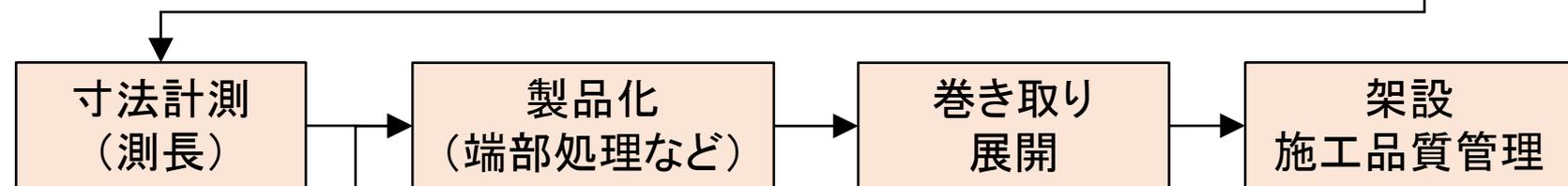
# 橋梁用ケーブルの技術とは？

## ■ 橋梁用ケーブル技術を構成する技術分野・項目

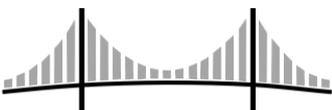
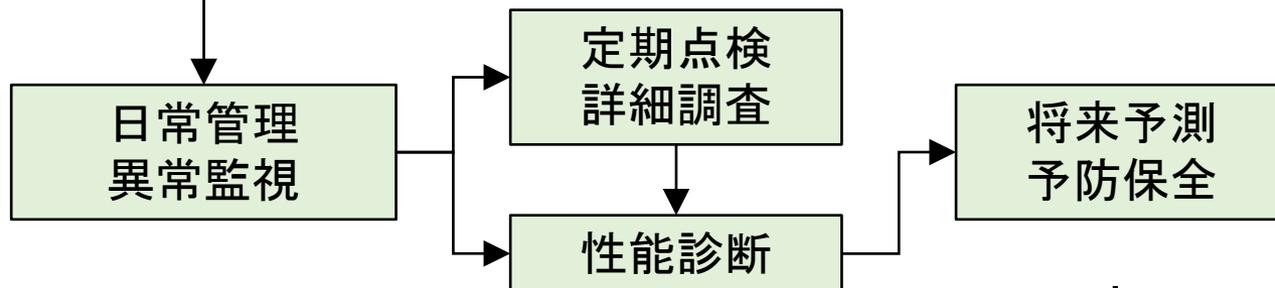
### 【製造】



### 【設計・施工】

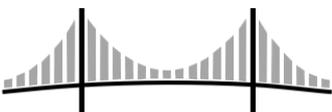
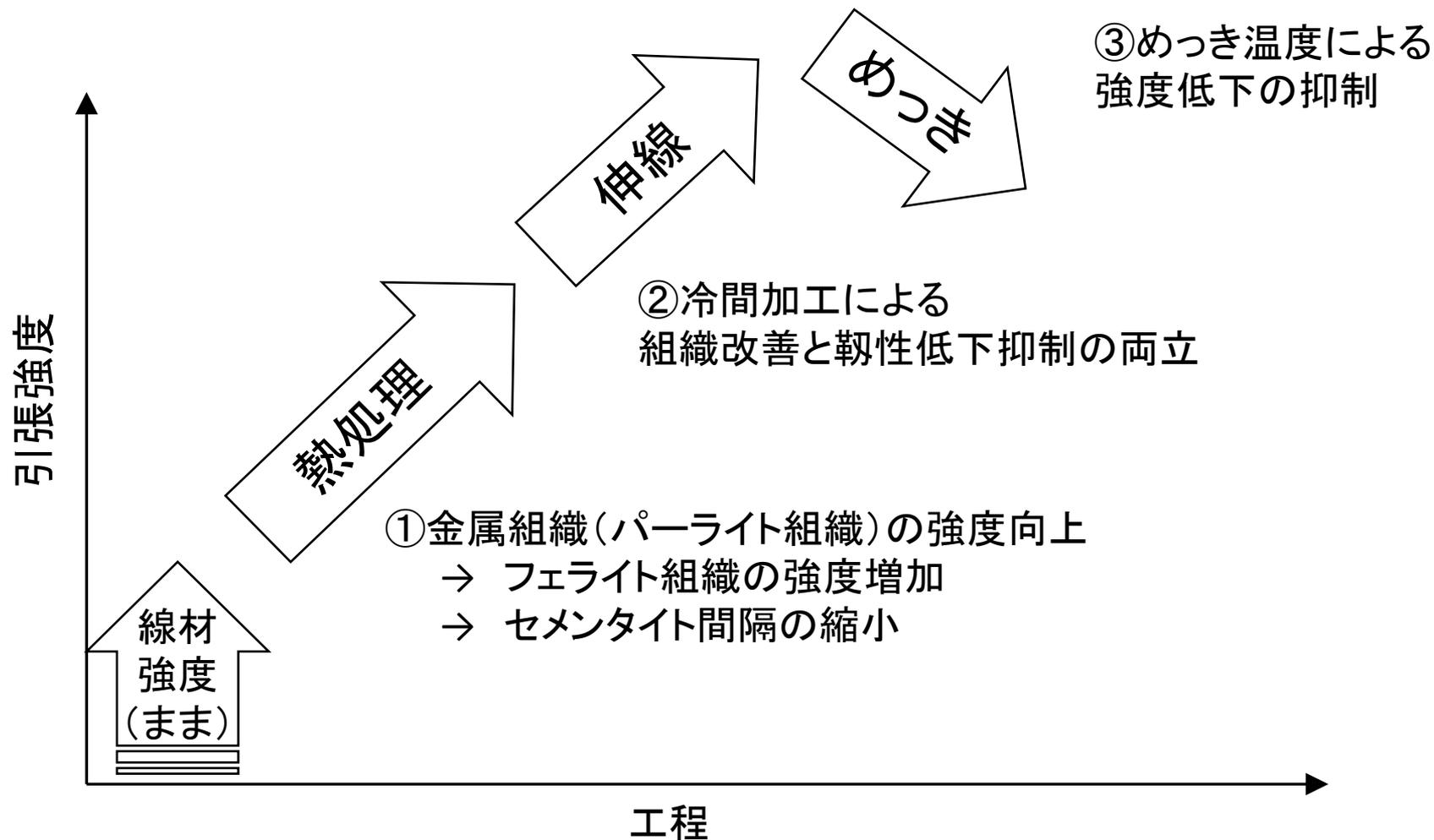


### 【維持管理】



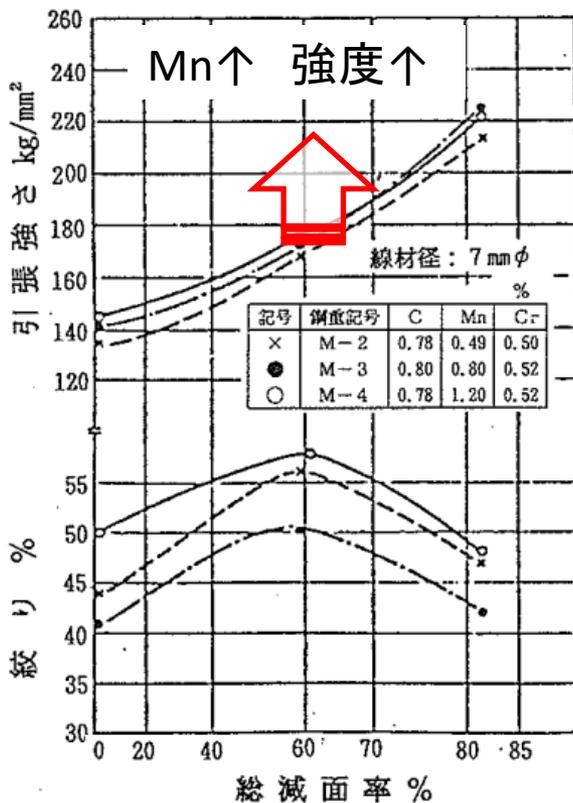
# 橋梁用ケーブルの技術とは？

## ■例えば、高強度化のためのワイヤー製造技術

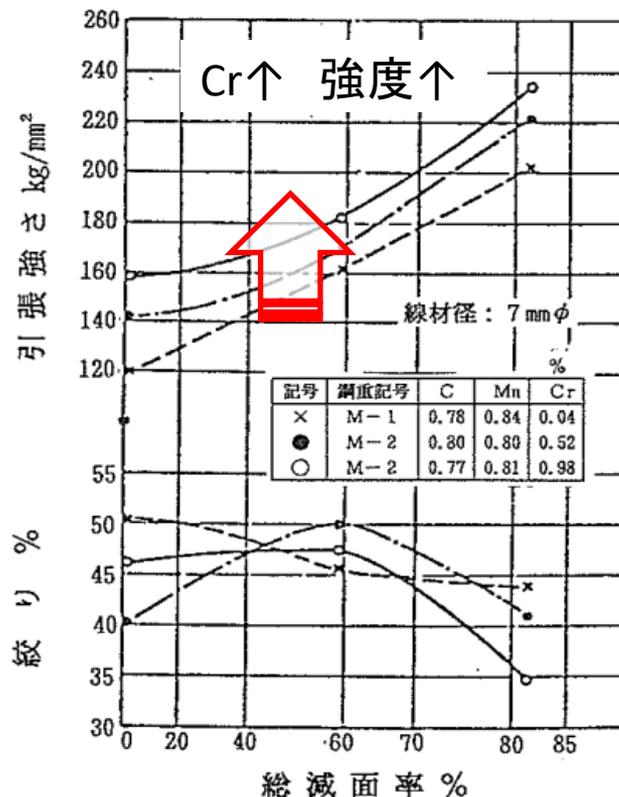


# 橋梁用ケーブルの技術とは？

例えば、伸線加工の影響を含めた、関連元素の添加量が強度特性に及ぼす影響を膨大な試行検証によって説明・ノウハウ化



(1) Mnの効果



(2) Crの効果

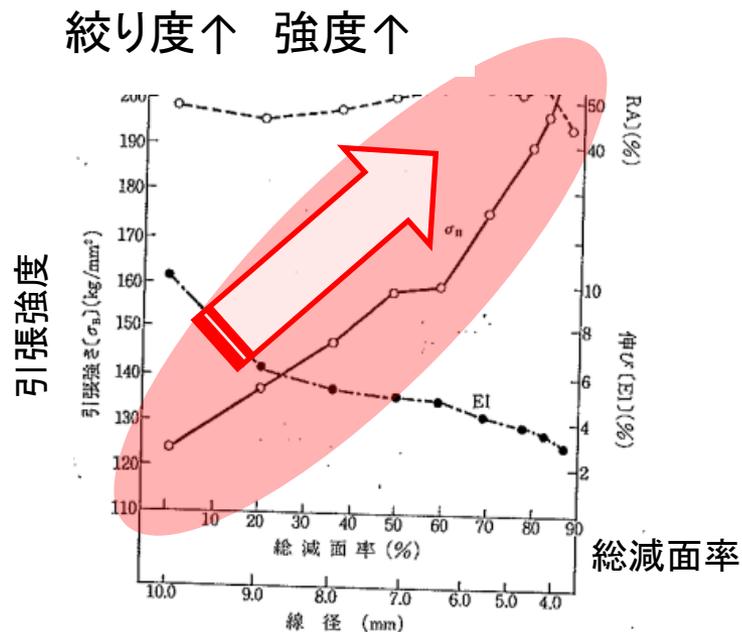
↑ 現在においても、高炭素鋼の高強度化手法の基本は同じ

出典：本州四国連絡橋公団

「ケーブル設計法に関する整理検討報告書 橋梁ケーブル用高強度垂鉛めつき鋼線(180キロ級)の開発」昭和63年3月

# 橋梁用ケーブルの技術とは？

例えば、伸線（絞り加工）の影響を熱処理・元素配合と組み合わせる評価。  
 → 長大橋の過酷な条件を踏まえた高いねじれ耐性保証技術を確立



第3図]伸線工程での機械的諸性質の変化

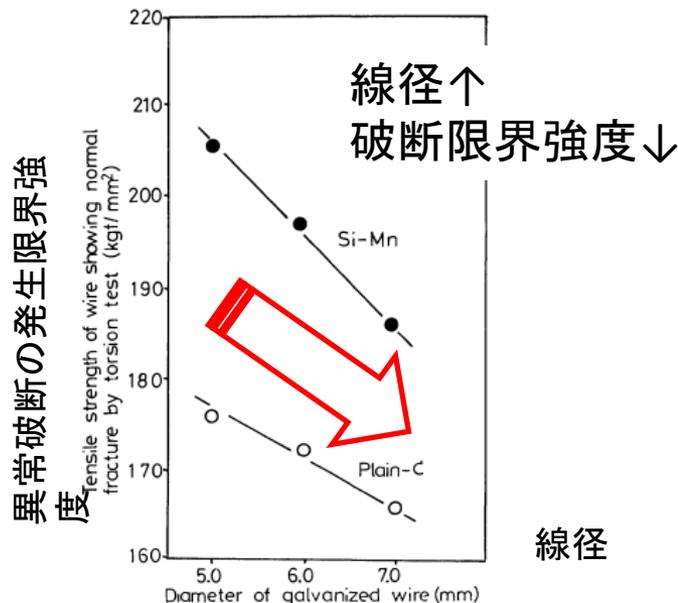


Fig. 5. Size dependency of tensile strength for galvanizing wire showing normal fracture by torsional deformation.

亜鉛めっき鋼線のねじり試験における異常破断発生限界強度と線径

↑ 本四で採用されたケーブルの、優れた「耐ねじれ性」は未だ、世界最高水準

# 橋梁用ケーブルの技術とは？

例えば、防食に不可欠な溶融亜鉛めっきの施工では、元素成分の違いと処理時の温度履歴の組合せによって複雑な機械的性質への影響が現れる

→ ワイヤー種類に応じた、めっき施工時温度制御技術の確立

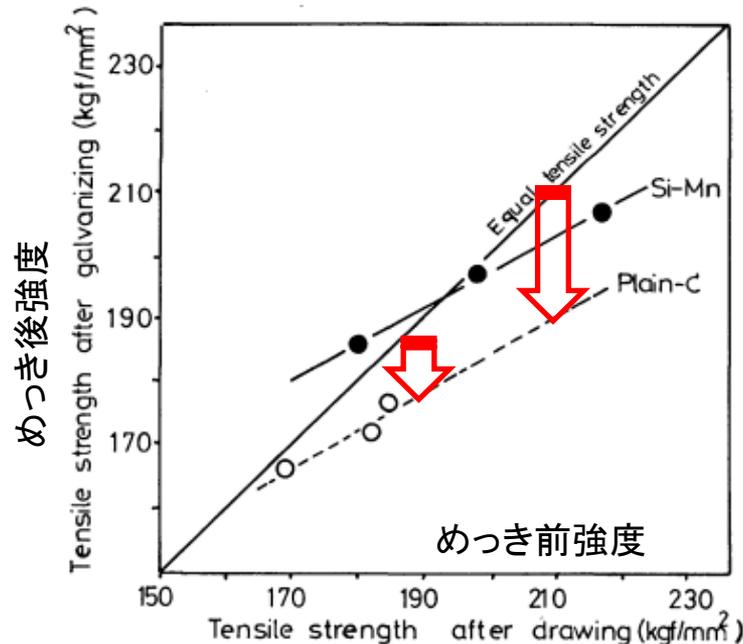


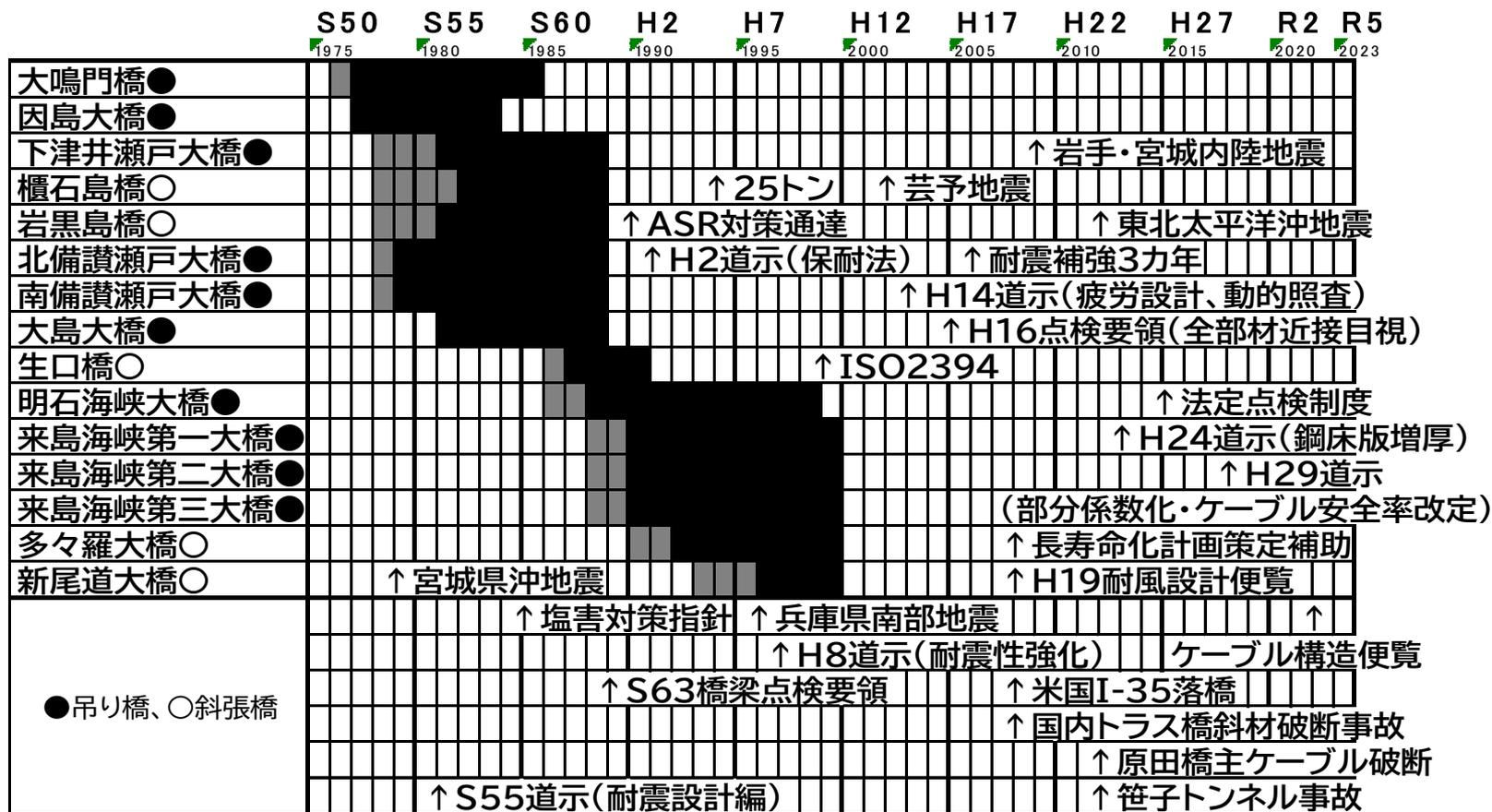
Fig. 4. Relationship between tensile strength after drawing and after galvanizing treatment.

めっき前後の強度の比較

↑ 海峡部橋梁での長期防食性を目指して開発された亜鉛めっき技術・仕様の適切性は日々実証実績を積み上げつつある。

# 橋梁用ケーブルの技術とは？

## ■ 或いは、高性能ケーブルを有する吊り形式橋梁の維持管理技術



↑ 時々最新の最新技術による多様なケーブル橋梁群が過酷な環境で長時間実験中  
 → 設計～維持管理まで、世界に例がなく追従困難な高品質なデータが蓄積

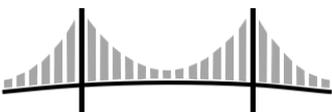
# 橋梁用ケーブル技術の現在位置

以上より

(恐らく)潜在的には、未だ世界最先端といえる実力があるといえる

今必要な取り組み(環境整備)の提案

- <処方箋1> 国際競争力の獲得と発揮
- <処方箋2> 技術的優位性の確保と継続
- <処方箋3> 継続的発展の保証



# < 処方箋1 > 国際競争力の獲得と発揮

## インフラの技術基準は性能規定化推進の流れ

### □ 自由貿易、国際調達の拡大

- 性能の客観的証明に基づく採用  
→  
技術の高度さと合理性が  
正当に評価される調達環境

1995年 WTO/ TBT協定発効



1996年 WTO・政府調達協定発効

### □ 日本のインフラ技術基準も性能規定化へ転換

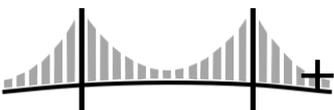
- 2002年 道路橋示方書改定  
・性能規定の考え方の導入
- 2017年 道路橋示方書改定  
・信頼性の概念の導入



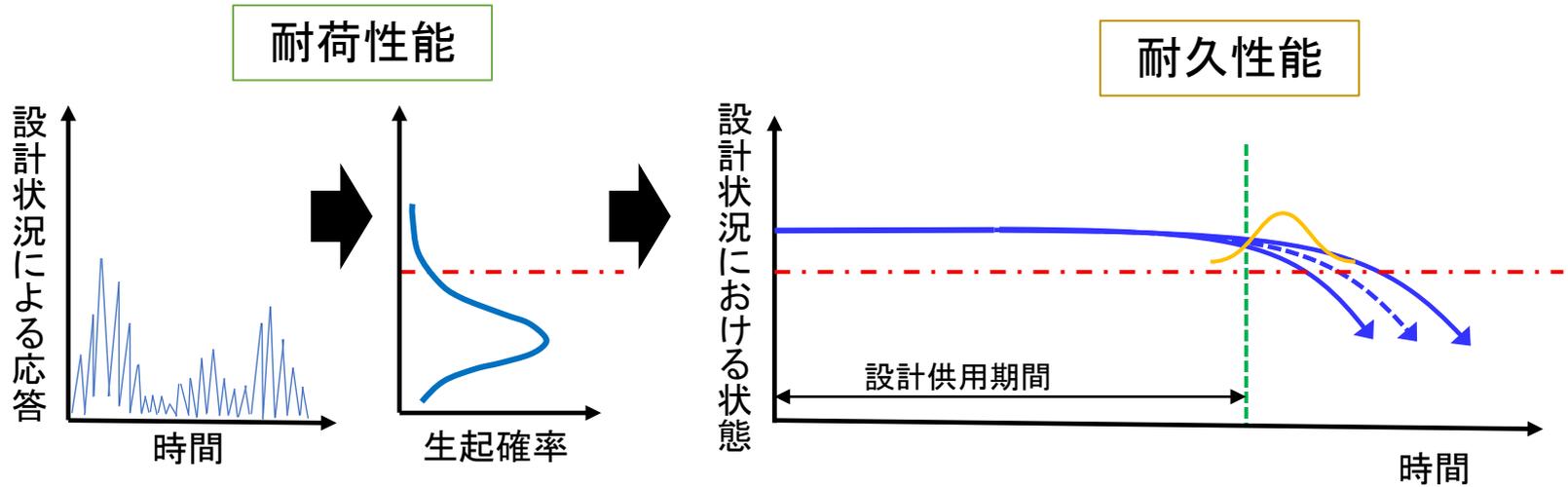
実力の客観的評価を可能とする体系へ



定性的規定から  
定量的規定へ



## 耐荷性能と耐久性能の分離 + 部分係数設計法の導入



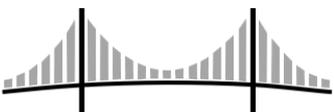
状況(作用)と状態(抵抗)のそれぞれの信頼性に応じ、安全余裕を**確率的に保証**

供用期間中に遭遇しうる一過性の作用に対する

耐荷性能の前提となる状態が保持される時間を**確率的に保証**

供用期間中に想定される環境の影響を見込んで

→ 材料や製品の信頼性が確保すべき安全率に反映できる！

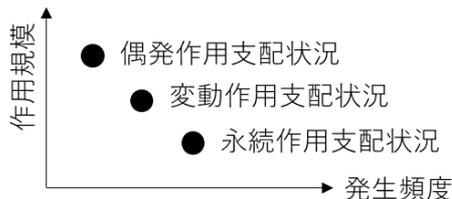


# 耐荷性能の要求方法(性能マトリクス)

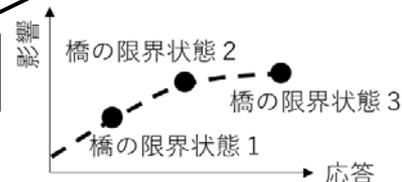
## 性能マトリクス

状況(作用) 橋が置かれる状況	状態(抵抗) 想定する橋の状態 (構造安全面、機能面) 実現の确实性 (=信頼性)
--------------------	---

考慮する状況



考慮する限界状態



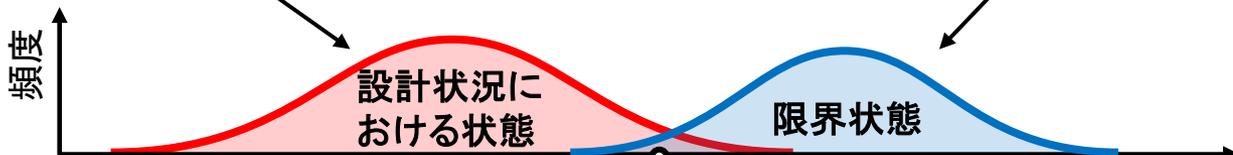
設計状況

- ・荷重係数
- ・荷重組合せ係数

限界状態を超えないとみなせる条件

- ・抵抗係数
- ・部材構造係数

・調査解析係数



要求性能: 想定する状況下で所要の状態に留まることの信頼性

# 基準に反映できる抵抗側(材料等)の実力

材料や部材の特性

変換

統計的手法による数量化

設定

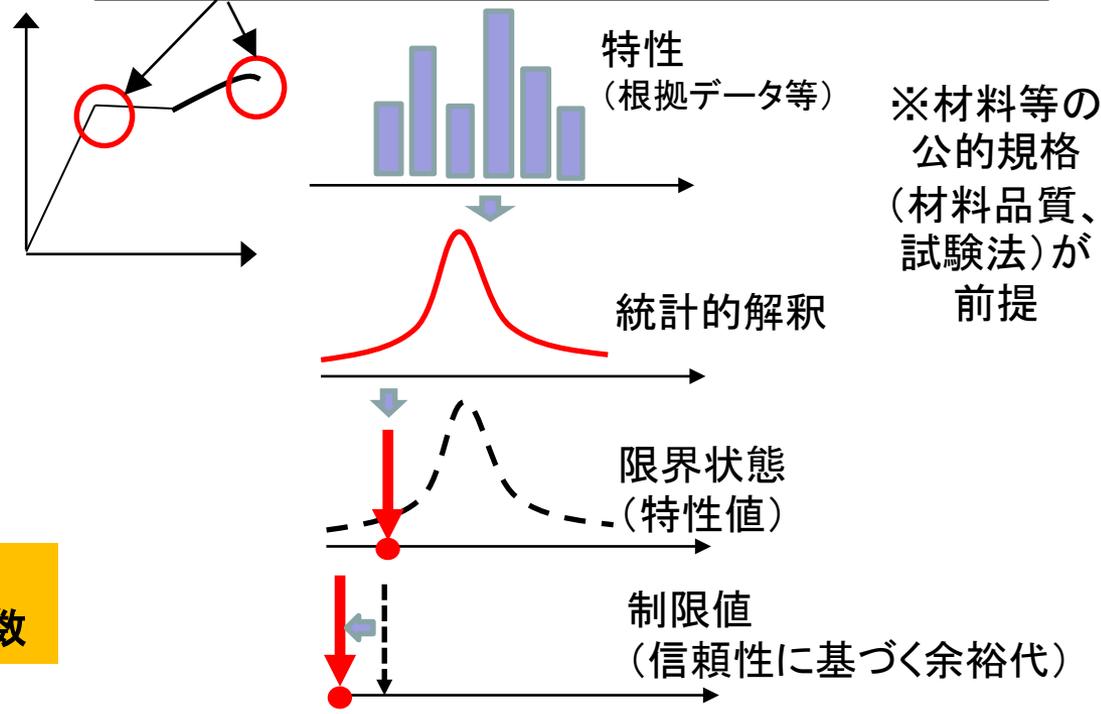
限界状態・特性値

- ・抵抗係数
- ・部材・構造係数

限界状態を超えないとみなせる条件・制限値

抵抗側の実力を評価できる部分係数が用意されている

照査に使える、明確な定義が可能で再現性のある「変曲点」などの閾値を設定



※材料等の公的規格(材料品質、試験法)が前提

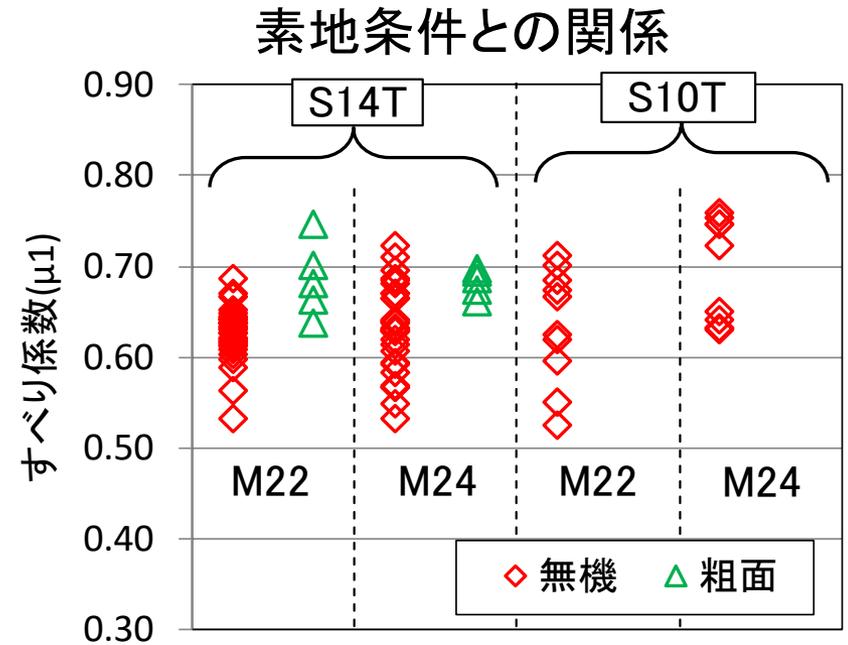
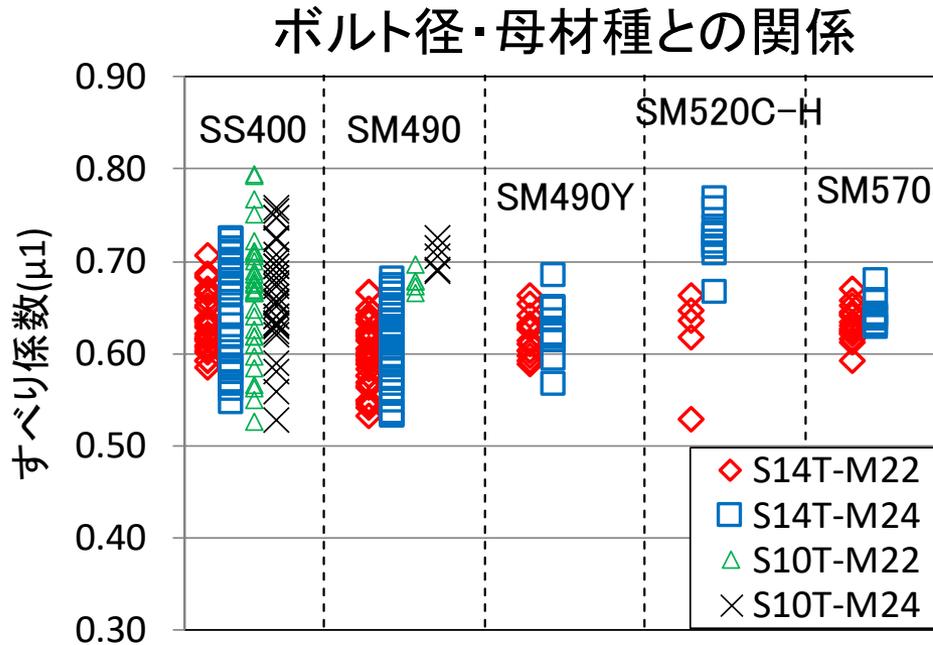
抵抗係数 $\Phi_R$	抵抗値の評価に直接関係する確率統計的な信頼性の程度を考慮する係数(材料強度、部材寸法、耐力推定式等のばらつき等を考慮)
部材・構造係数 $\xi_2$	部材等の非弾性域における強度増加又は減少の特性の違いに応じて抵抗係数を補正する係数

作用から作用効果を算出するにあたっての部分係数は調査・解析係数  $\xi_1$

# 2017道路橋示方書に反映された抵抗側の信頼性

## 高強度ボルト(S14T)のすべり係数の例

ボルト径や母材条件との組合せなど、規定済みボルトとの比較を中心に、すべり係数のばらつきなどの特性の実証結果を反映

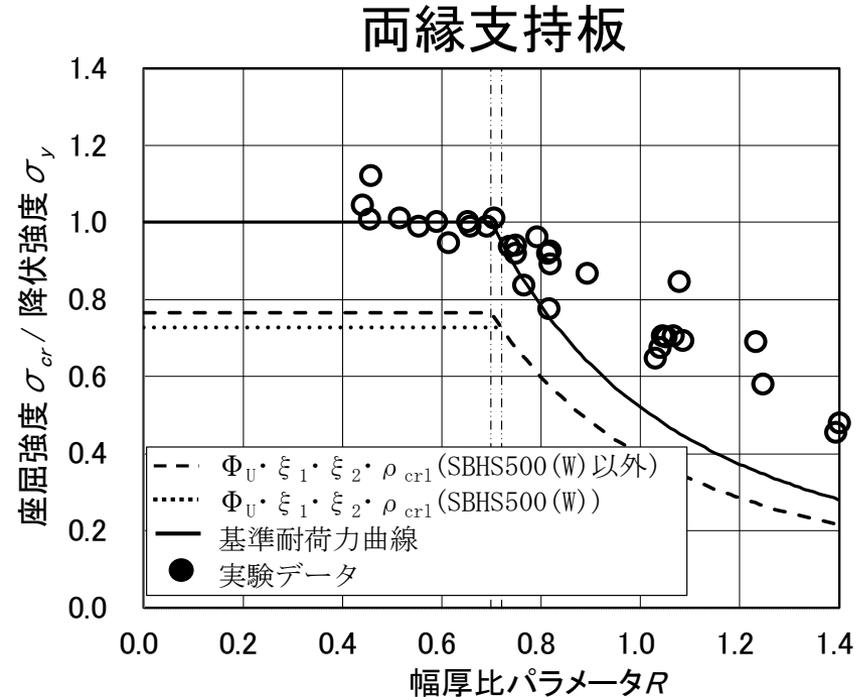
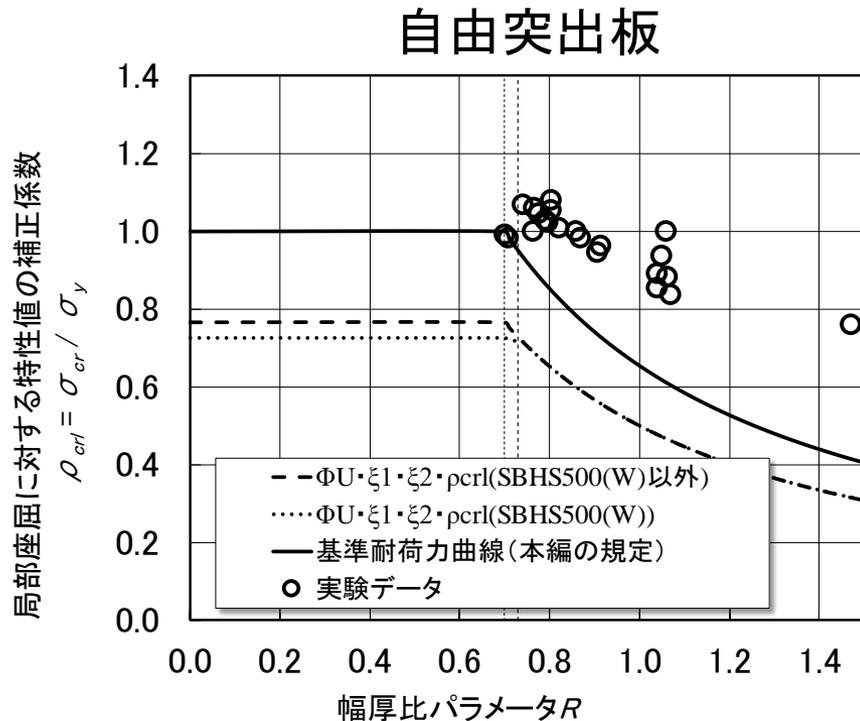


↑ すなわち、信頼性と合理性の「客観的証明」があれば、  
実力に応じて適材適所が実現できるように基準に反映できる。

# 2017道路橋示方書に反映された抵抗側の信頼性

## 高強度鋼材SBHSの基準耐荷力の例

鋼材の機械的性質に加えて、実験供試体と実橋の条件の違い、実験データの量・質など違いの影響の検討結果を反映

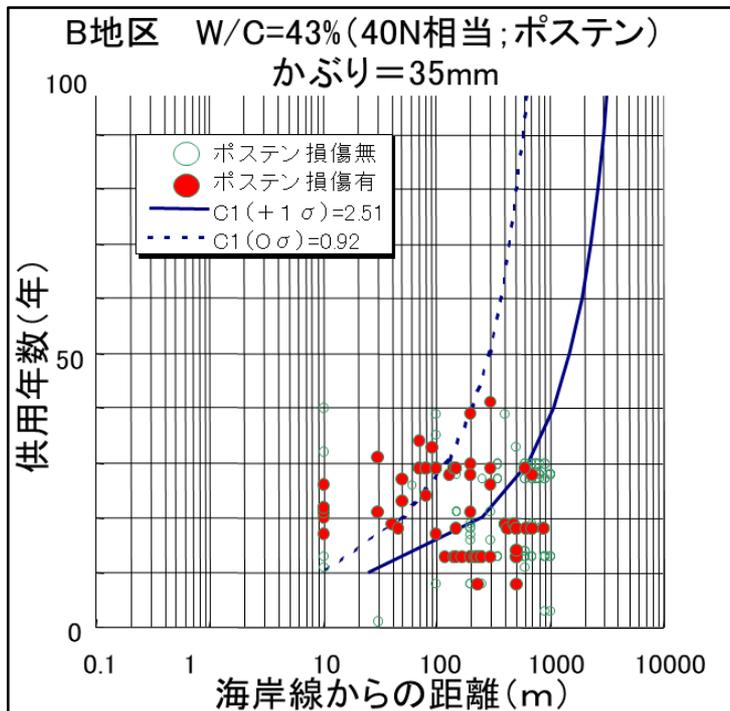


↑ すなわち、信頼性と合理性の「客観的証明」があれば、  
実力に応じて適材適所が実現できるように基準に反映できる。

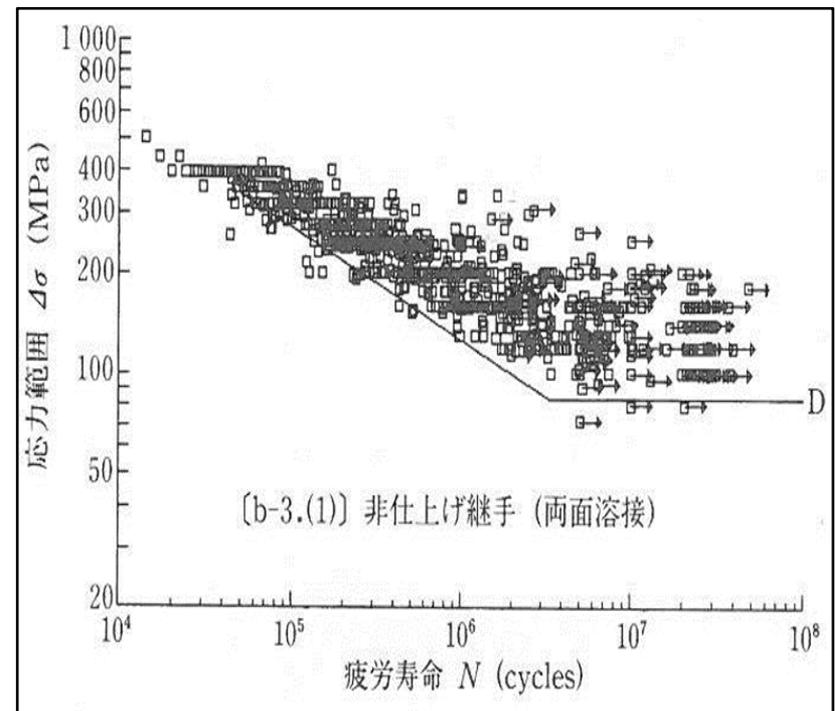
# 2017道路橋示方書に反映された抵抗側の信頼性

## ■例えば、耐久性能も、信頼性に基づく要求が基本

実績と理論からの根拠付け  
(塩害対策としてのかぶり厚)



類似性を考慮した実験  
(溶接継手の疲労強度)



- ↑ 耐荷性能同様に、信頼性と合理性の「客観的証明」に基づき適材適所が可能
- ↑ ただし、実時間・実環境での耐久性能の証明方法が課題

# 2017道路橋示方書に反映された抵抗側の信頼性

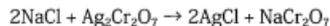
## ■例えば、性能検証方法そのものも基準を構成

→「合理的なデファクト手法」から「公認された規格手法」へ

### (3) ガーゼ拭き取り塩素イオン検知管法

塗膜表面の塩分をガーゼで拭き取り、脱イオン水に溶解させ、検知管にて測定する。

検知管内の重クロム酸銀 ( $\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) が塩分と反応して白色化することを利用している。



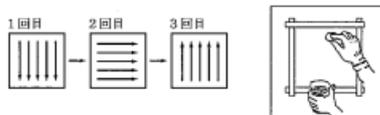
( $\text{AgCl}$ ・・・白色沈殿物で水に溶解しない)

#### 1) 測定に必要な器具 (1 箇所)

- i) 脱イオン水 150ml
- ii) ガーゼ
- iii) ビニル手袋またはポリエチレン手袋
- iv) マスキングテープ (20mm 幅程度) またはマグネットシート
- v) メジャー
- vi) ポリビーカー (300～500ml × 2 個)
- vii) 塩素イオン検知管

#### 2) 試料採取要領

- 1) 測定箇所を正確に測り、マスキングテープなどにより仕切る。  
(測定箇所面積は、通常  $0.25\text{m}^2$ )。
- ii) 脱イオン水で十分洗浄したビニル手袋あるいはポリエチレン手袋をする。
- iii) 脱イオン水で十分洗浄したビーカーに脱イオン水 100ml を入れる。
- iv) 適当な大きさのガーゼを脱イオン水で湿潤させる。



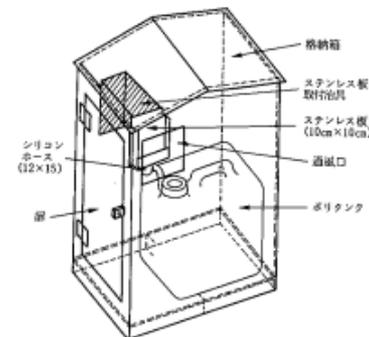
### (1) 土研法

#### 1) 採取方法

付図-Ⅲ. 3. 1 に示す土研式塩分捕集器を用いて 10 cm × 10 cm のステンレス板に付着した飛来塩分を採取する。

#### 2) 暴露方法と回収

- i) 雨の掛かる風通しのよい場所に設置する。
- ii) 通風口の方向 (ステンレス板の法線方向) は最も多く吹く風の方向に合わせる。
- iii) 回収間隔は 30 日を標準とする。暴露期間は 1 年を標準とする。
- iv) 回収時にはステンレス板に付着した飛来塩分を水によりポリタンクに流し込み、ポリタンク内に入った水を回収する。
- v) 回収した水の量および塩分濃度を分析する。



付図-Ⅲ. 3. 1 土研式塩分捕集器

↑ 実績を積んだ確立された方法であれば、  
規格化・基準化により、内外に対する性能の客観的証明は可能

# 国内事情を考慮した、手法なども規格化により公認される

日本工業規格 JIS

A 1219 : 2013

## 標準貫入試験方法

Method for standard penetration test

### 序文

この規格は、2005年に第1版として発行されたISO 22476-3を基とし、日本国内においては土層構成が複雑であること、軟弱地盤を含めた地盤全般に対して本規格から得られた試験結果に基づく設計体系が成り立っていることを考慮し、技術的内容を変更して作成した日本工業規格である。

なお、この規格で点線の下線を施してある箇所は、対応国際規格を変更している事項である。変更の一覧表にその説明を付けて、附属書JAに示す。また、附属書JBは対応国際規格にはない事項である。

### 1 適用範囲

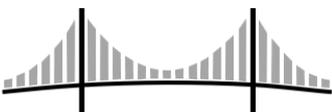
標準貫入試験（SPT）は、SPTサンプラーを動的貫入することによって地盤の硬軟、締まり具合の判定、及び土層構成を把握するための試料の採取を目的とする。

本試験は、主として粗粒土の強度と変形定数を求めるために用いられるが、他の種類の地盤に適用してもよい。れき（礫）質土又は軟岩の場合、ソリッドコーンを用いることができる。

本試験は、質量63.5kgのハンマーを760mmの高さからアンビルに落下させて、SPTサンプラーを打ち

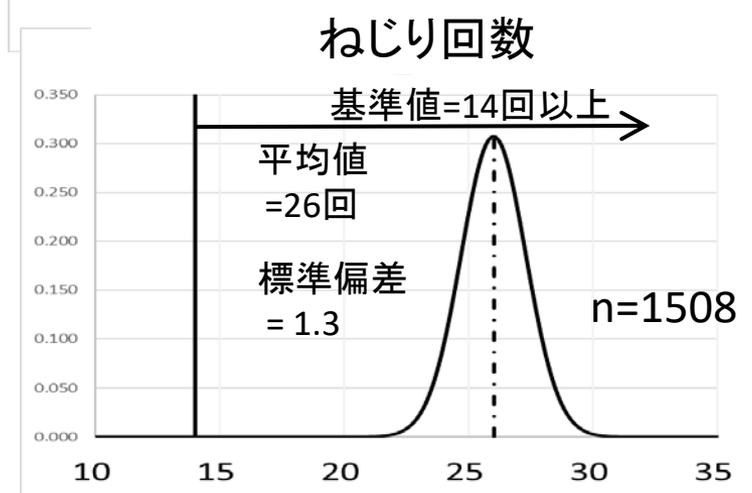
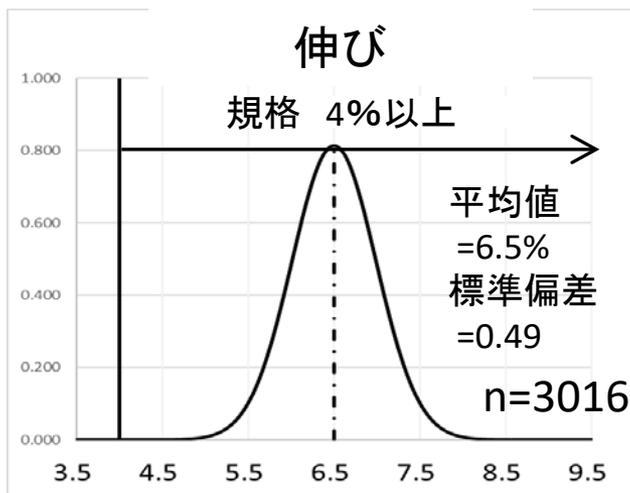
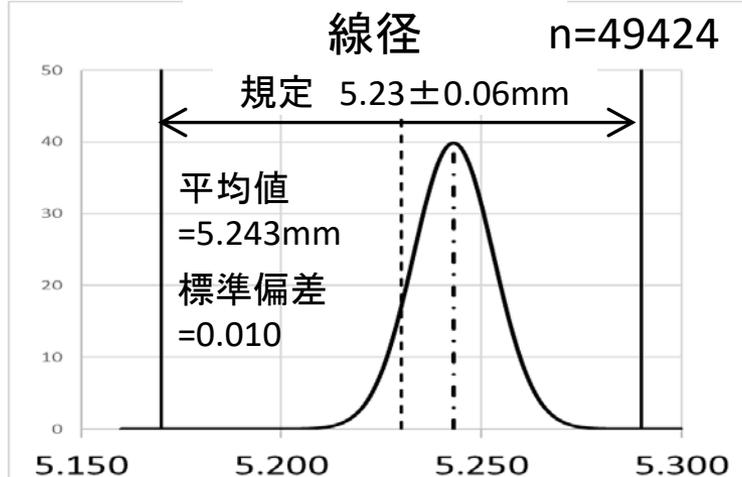
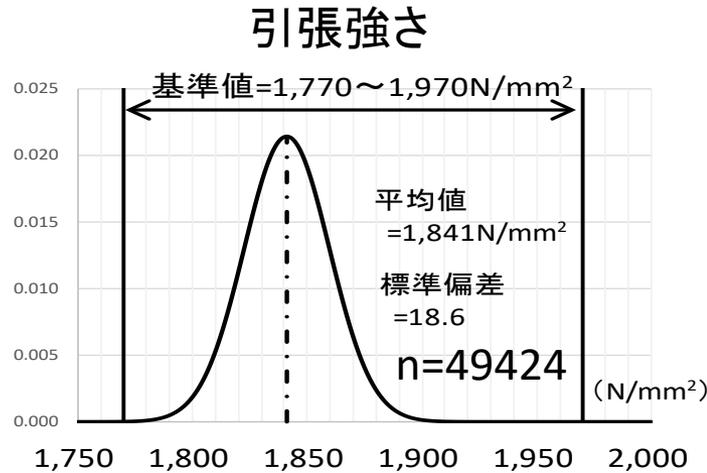
込む  
打撃  
附属

この規格は、2005年に第1版として発行されたISO 22476-3を基とし、日本国内においては土層構成が複雑であること、軟弱地盤を含めた地盤全般に対して本規格から得られた試験結果に基づく設計体系が成り立っていることを考慮し、技術的内容を変更して作成した日本工業規格である。



# 「高い能力」「高い信頼性」 VS 「客観的証明」「説明性」

## 明石海峡大橋の亜鉛めっき鋼線の検査結果の例



→ ニーズに応じた能力と信頼性の規格化(保証・説明性)余地は？

# <処方箋2> 技術的優位性の確保と継続

## ■ 経験の蓄積

Q: 長大橋の新設でなければならないのか？

- ① 高齢化と老朽化の進展
- ② 国土強靱化の要請



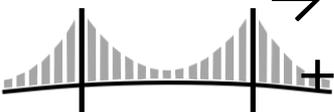
膨大な既設インフラへの対策はまったなし！

A: ケーブル技術への期待

- ケーブル構造物を守れるのはケーブル技術
- ケーブルだからできることも多いはず

A: 世界をリードできる実経験の蓄積

- 実環境・実時間の経験は追い抜けない



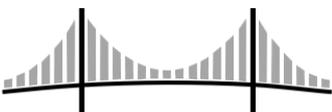
# 全国にある、膨大な潜在的ニーズ



高性能カメラでも  
認識には限界



腐食断面欠損と  
素線の破断



# <処方箋3> 継続的発展の保証

## ■インフラマネジメントにおけるライフサイクルを通じた性能保証

- ① 構造物の機能保証から「インフラ」の性能保証へ
- ② 不可避な災害と高齢化へのリスクマネジメントの必要性



インフラリスクの最小化のための絶えざる改善の要請

A: ケーブル技術への期待

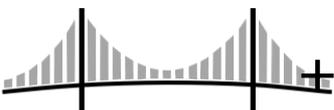
→ ケーブル構造物の性能診断の実現

→ ケーブルなら合理的になることも(土工も防災も視野)

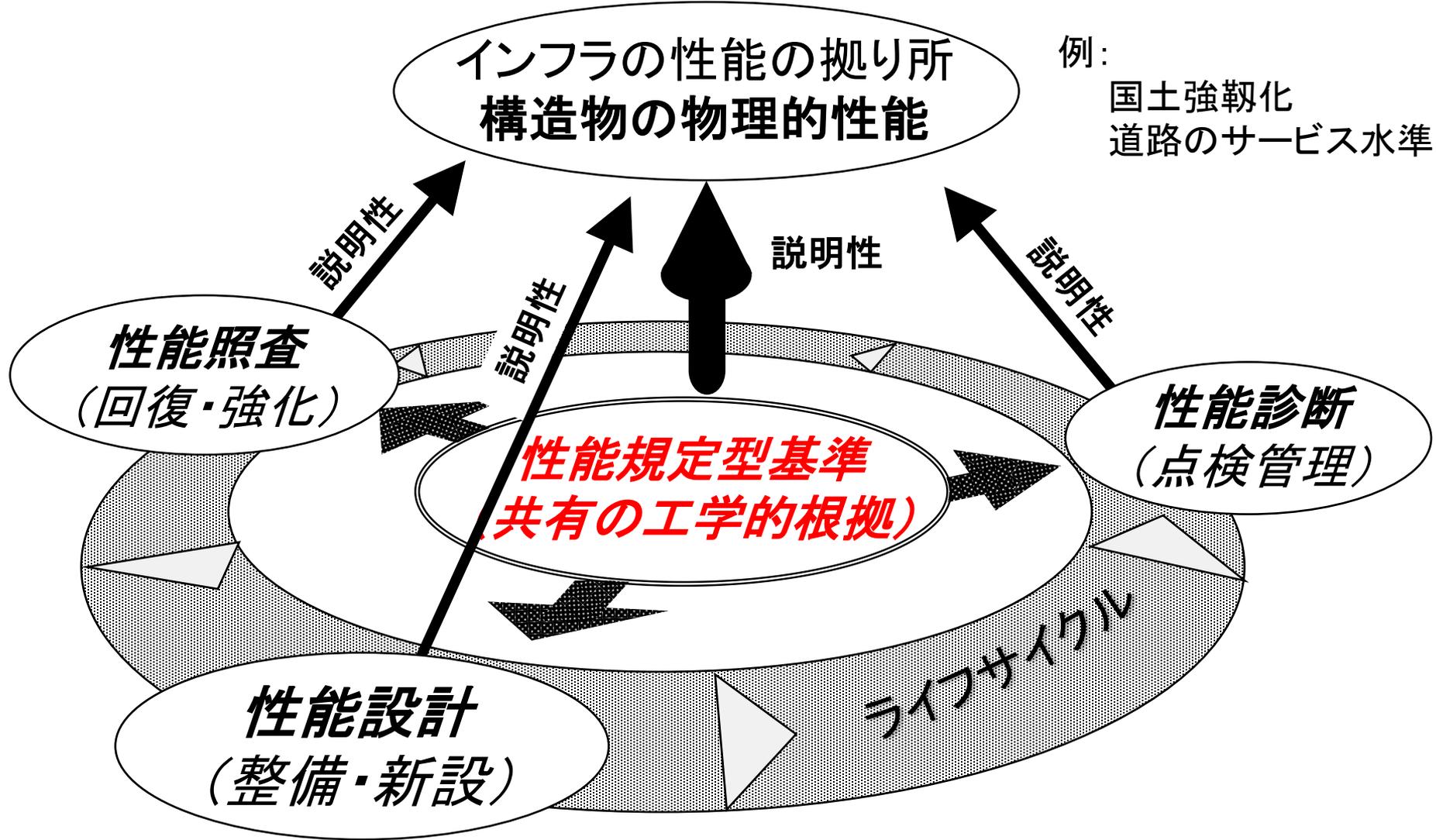
A: 世界をリードできる高度なマネジメント環境

→ 本四を始めとする膨大な良質なデータ

→ DXを可能とする先端デジタル技術環境



# そして、時代は構造物マネジメントからインフラマネジメントへ





# 本小委員会に対する期待

□日本の既存ケーブル技術の実力の客観的証明

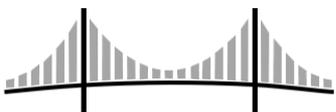
→ 公的規格・技術基準の充実

□国内外でのケーブル技術の適材適所の実現

→ 潜在的ニーズの発掘によるリスク低減策の提示

□さらなるケーブル技術の発展が約束される環境の実現

→ 絶えざる課題発掘と解決のための体制の在り方



# 長大吊橋の建設と 維持管理

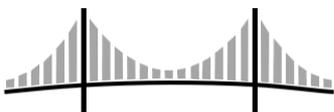
令和5年11月17日

本州四国連絡高速道路株式会社

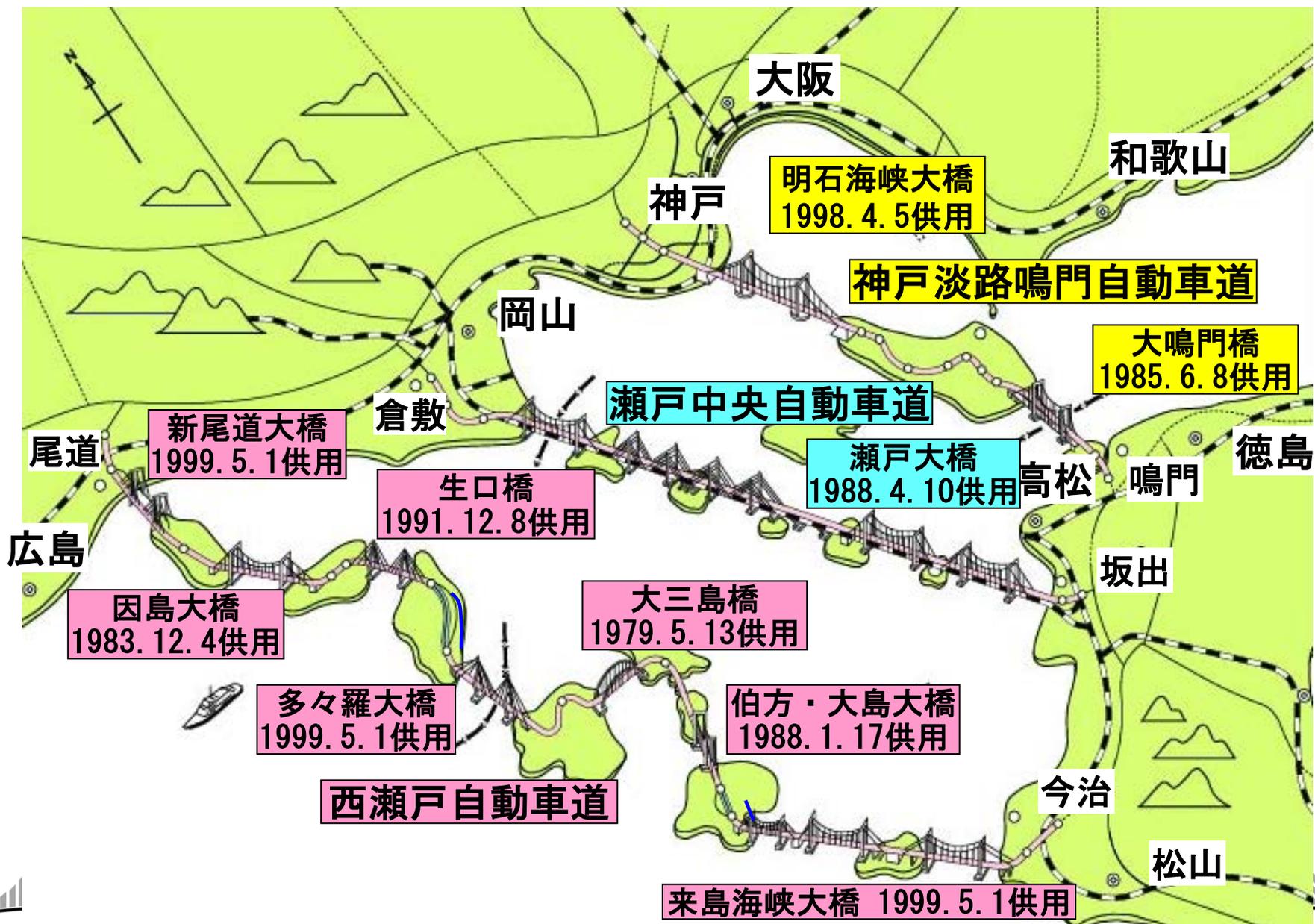
森 山 彰

- ◆ 日本における長大吊橋建設は、20世紀後半に急速に発展
- ◆ 米国をはじめとする海外の技術を参考に、各種の新しい技術を確立し、建設
- ◆ 本州四国連絡橋では、新しい材料の適用のため独自の規格を制定し品質の確保に努めた
- ◆ 吊橋の建設には多くの技術開発を伴い、それらは現在でも活用される技術も少なくない
- ◆ 維持管理では点検・モニタリング等によるデータを集積しながら管理の合理化を実施中

建設におけるケーブル類の検討事例や維持管理の現況・課題について報告

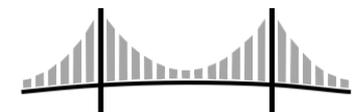


# 本州四国連絡橋の建設

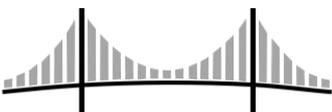




吊橋：10橋 斜張橋：5橋 トラス橋、アーチ橋 各1橋



## 吊橋 中央支間長の変遷



## ケーブル規格類の制定

本四連絡橋の建設のため、海外規格等を参考に規格類を制定

### 【線材・鋼線の製作】

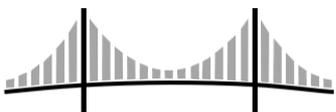
- ◆線材・・・寸法、きず深さ、脱炭層深さ他
- ◆鋼線・・・線径、機械的性質（強さ、伸び、ねじり他）、亜鉛めっき特性、直線性他

### 【平行線ストランドの製作】

- ◆形状・・・ねじれ（着色）、断面保持（シージング）他
- ◆ソケット加工・・・材料、温度管理、プレス加工他
- ◆巻取り・・・リール径他
- ◆長さ精度・・・測長精度1/15,000以上（電磁式法を開発）

### 【より線ロープ類の製作】

- ◆形状・・・よりピッチ、ねじれ（ガイドマーク）
- ◆プレストレスング・・・載荷荷重、載荷法、測長
- ◆ソケット加工・・・材料、温度管理、プレス加工



## ケーブル用鋼線が有すべき基礎特性として確認

### 【鋼線】

- ① 疲労特性: 疲労限を有していることを確認
- ② 遅れ破壊特性: 促進試験、現地暴露試験他で確認
- ③ 応力腐食割れ特性: 腐食時の特性を確認
- ④ 耐食性: 促進試験により確認
- ⑤ クリープ特性: 応力負荷状態でのクリープ歪を確認
- ⑥ 低温特性: 低温時の靱性を確認

### 【ケーブル部材】

- ① 側圧影響把握試験: バンドやサドル部で受ける側圧が引張強さや疲労特性に及ぼす影響を確認
- ② 曲げ影響試験: AS工法の場合のストランドシュー固定時の引張強さや疲労特性に及ぼす影響を確認
- ③ 局部曲げの影響把握: 製作や架設中のトラブルにより局部曲げが引張強さに与える影響を確認
- ④ ソケット定着試験: ソケット定着の鋼線と亜鉛銅合金の付着性、ソケット定着の強度確認
- ⑤ 線膨張係数把握試験: 伸び量を正確に評価するため



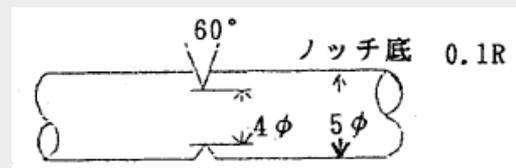
## 【事例】遅れ破壊特性の確認

- ◆ 伸線加工で強化された鋼線は、焼入れ焼戻しによる強化材より遅れ破壊特性に優れていることが知られている
- ◆ しかし、高い応力負荷状態で使用されるため、遅れ破壊特性を確認
- ◆ 従来鋼線(1,570N/mm<sup>2</sup>)と高強度鋼線(1,770N/mm<sup>2</sup>)の特性を比較検証

### 【試験法】

#### ①高温高湿遅れ破壊試験

- 試験体・・・切欠き有り材、無し材(各々3体)
- 高温高湿槽(60°C、90%以上)で6か月月間放置
- 負荷応力



切欠き形状

形状	従来鋼線 (1,570N/mm <sup>2</sup> )		高強度鋼線 (1,770N/mm <sup>2</sup> )	
	荷重(kN)	応力(N/mm <sup>2</sup> )	荷重(kN)	応力(N/mm <sup>2</sup> )
切欠き無し	19.6	999	22.1	1,124
切欠き有り	14.7	1,167	16.6	1,319

### 【結果】

全ての試験体で折損なし  
試験の前後で破断強度に差はなし

鋼線種別	切欠き無し		切欠き有り	
	試験前	試験後	試験前	試験後
従来鋼線	34.0	34.4	28.3	28.0
高強度鋼線	36.7	37.0	29.9	30.4

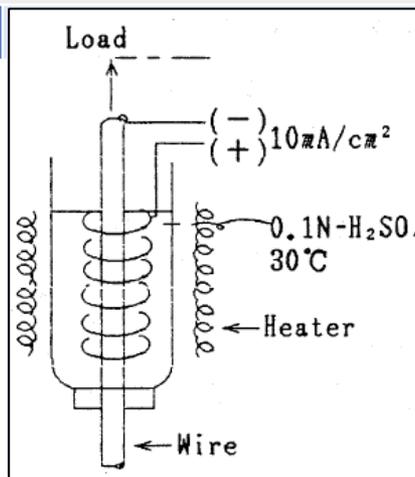
(単位:kN) (n=3の平均)

## 【事例】遅れ破壊特性の確認

### ②水素チャージによる遅れ破壊試験

- 亜鉛めっき層で水素が吸蔵されにくくなるので、熱処理した裸線を供試体とする
- 定荷重式遅れ破壊試験機により、電気化学的方法で水素を強制的に供給

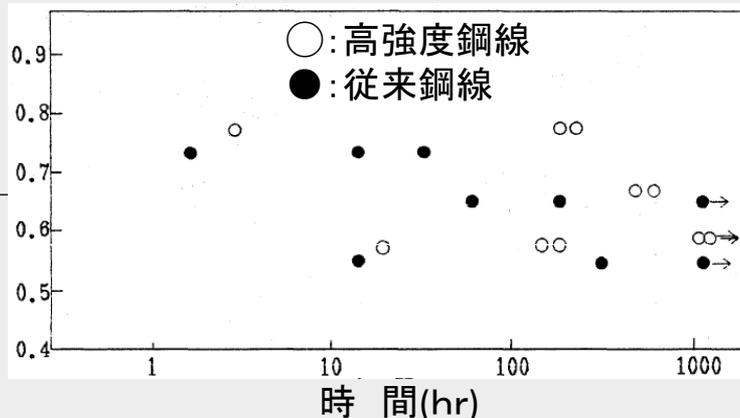
試験機	定荷重式遅れ破壊試験機
負荷形態	定荷重引張
試験片形状	裸線
負荷応力	実引張強さ×0.55~0.77
溶液	0.1N-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
試験温度	30±1℃
電流密度	10mA/cm <sup>2</sup>
溶液浸漬長さ	100mm



### 【結果】

材料による特性の差はない

負荷応力  
実破断強度



## 【事例】遅れ破壊特性の確認

### ③高強度鋼線の遅れ破壊に対する安全性評価

明石海峡大橋用に製作した高強度鋼線の、遅れ破壊が生じる限界の状態や実環境下での発生の可能性の有無を把握することを目的に(1)遅れ破壊促進試験、(2)大気暴露試験体の拡散性水素量測定を実施

#### (1)遅れ破壊促進試験

試験体・・・めっきを剥がし、平滑に仕上げ、ノッチを付与

引張応力・・・980～1,470N/mm<sup>2</sup>

電流密度・・・10～400mA/cm<sup>2</sup>

破断の有無と拡散性水素量の関係を把握

#### 【結果】

負荷応力1,470N/mm<sup>2</sup>で遅れ破壊が生じるが、負荷応力1,180N/mm<sup>2</sup>以下では生じない

#### (2)水素吸蔵量計測

明石海峡大橋において、めっきを除去し、10年間暴露した試験体(鋼線、5mm長さチップ)の水素吸蔵量を大気圧イオン化質量分析計により計測

測定条件・・・温度範囲:20～500°C

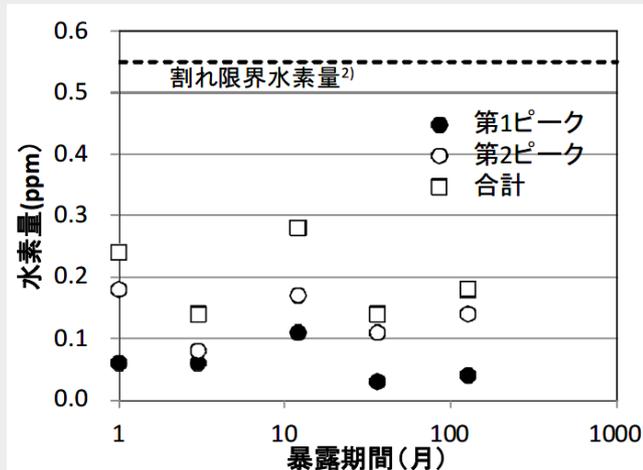
昇温速度:12°C/分

測定:30sec(6°C)ごと

#### 【結果】

水素吸蔵量は、遅れ破壊を生じさせるレベルよりかなり低く、実環境下での遅れ破壊発生の可能性は低い

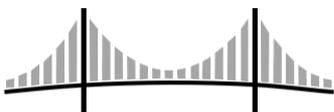
水素吸蔵量と  
暴露期間の関係



## ケーブルストランドのソケット定着の品質管理【項目】

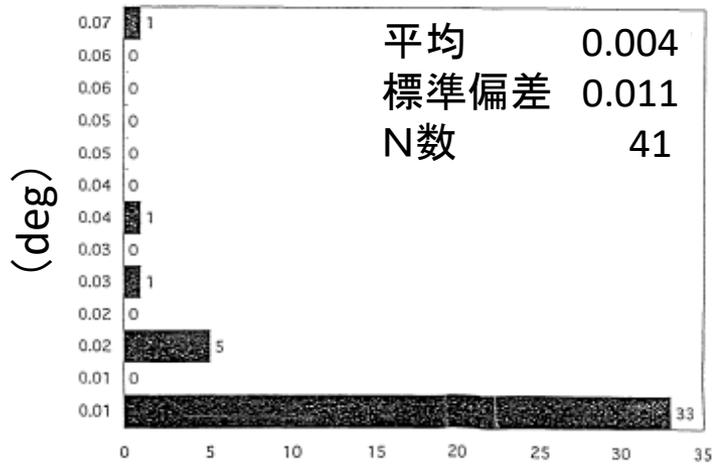
項目	試験及び検査方法	合否判定基準	抜き取り数
ソケットとストランドの直角度	ソケットに取り付けた直角度測定治具とソケットの傾きをすき間ゲージで測定。測定はソケットの周囲4箇所とし、その最大値を用いる。	$90^{\circ} \pm 0.5^{\circ}$	20ストランド 毎 1ストランドの片側
ソケットメタル 鑄込率	るつぼ内の亜鉛銅合金重量をソケット鑄込む前後で測定し鑄込み重量を算出。計算鑄込み重量との比で算出。	$\geq 90\%$	全数
ソケット付加工精度	背面プレスの実施前後にソケット前面とストランドの基準点間の距離を測定し、ストランドの抜き出し量を測定。	判定基準なし (見込み抜き出し量と比較)	全数
外観	素線の外観、リールの巻取り状況、防錆状況、ソケット止めの状況を目視で確認。	有害な欠陥がない	全数
亜鉛銅合金の 化学成分	合金中のCu、他の微量元素Pb、Fe、Cdを定量分析。	Zn: $98 \pm 0.2\%$ Cu: $2 \pm 0.2\%$	1個/溶鋼

検査項目ごとに、試験・確認方法を決め、品質を確認

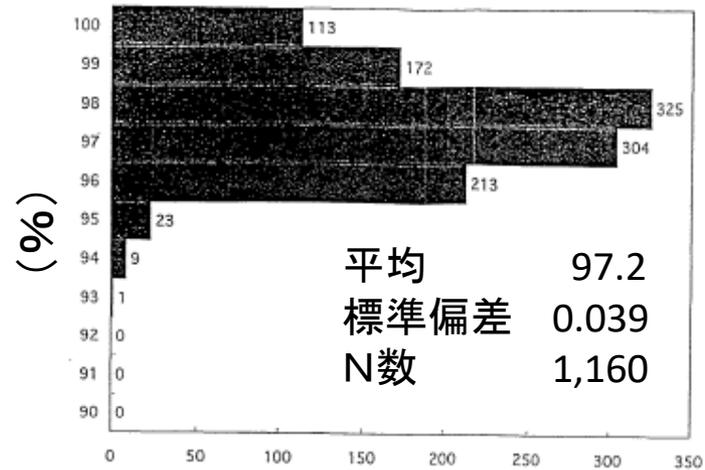


## ケーブルストランドのソケット定着の品質管理【結果】

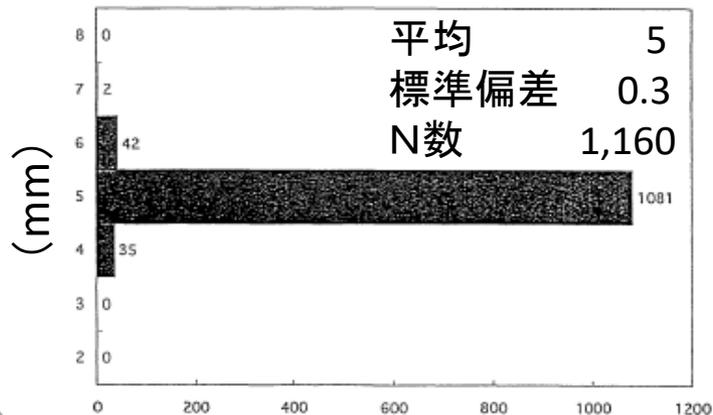
### 【直角度】



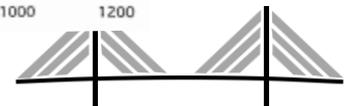
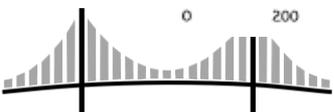
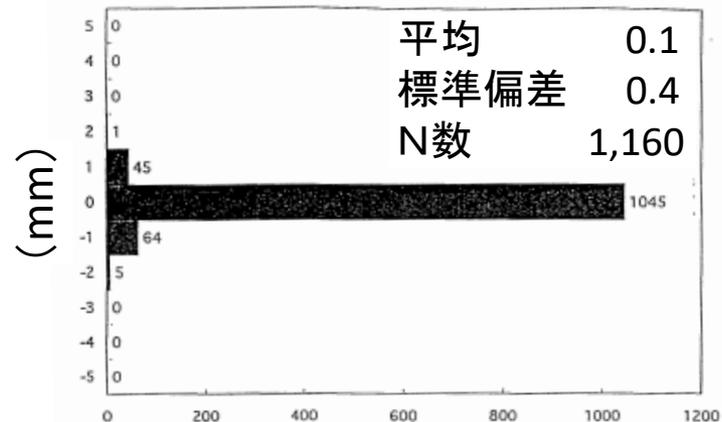
### 【鑄込率】



### 【抜きし量】



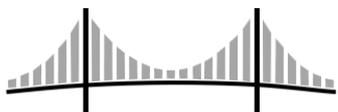
### 【加工精度】



## ケーブルストランドのソケット定着の品質管理【結果】

項 目		明石海峡大橋	南備讃瀬戸大橋	大鳴門橋
ソケットとストランドの直 角度 $90^{\circ} \pm 0.5^{\circ}$	X	0.004	0.0099	0.0254
	$\sigma$	0.011	0.0046	0.0305
メタル鑄込み率 90%以上	X	97.2	96.09	97.40
	$\sigma$	0.039	1.08	1.29
背面プレスによる抜き 量	X	5.0	4.9	4.7
	$\sigma$	0.3	0.4	0.6
ソケット付け加工精度	X	0.1	0.0	0.1
	$\sigma$	0.4	0.4	0.6

→ 高品質なストランドを安定的に製造・供給



## ケーブル構造などの変更(本州四国連絡橋)

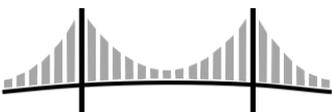
因島大橋(1983年完成)以降、順次建設を行い1999年に来島海峡大橋が完成  
それまでの建設や維持管理の実績を反映し、構造や施工法他を変更

橋名	完成年
因島大橋	1983
大鳴門橋	1985
大島大橋	1988
瀬戸大橋	1988
明石海峡大橋	1998
来島海峡大橋	1999

### ケーブル関連構造他の変更

- ① ケーブル鋼線強度
- ② ハンガーロープ形式変更
- ③ ケーブルバンド形状変更
- ④ ケーブルサドル形状変更
- ⑤ 渡海工法の変更
- ⑥ キャットウォーク構造の改良
- ⑦ 送気乾燥システムの開発 他

材料の高強度化による数量の低減や構造の合理化、架設作業の省力化等によるコスト縮減、耐久性の向上を実現

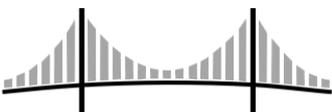
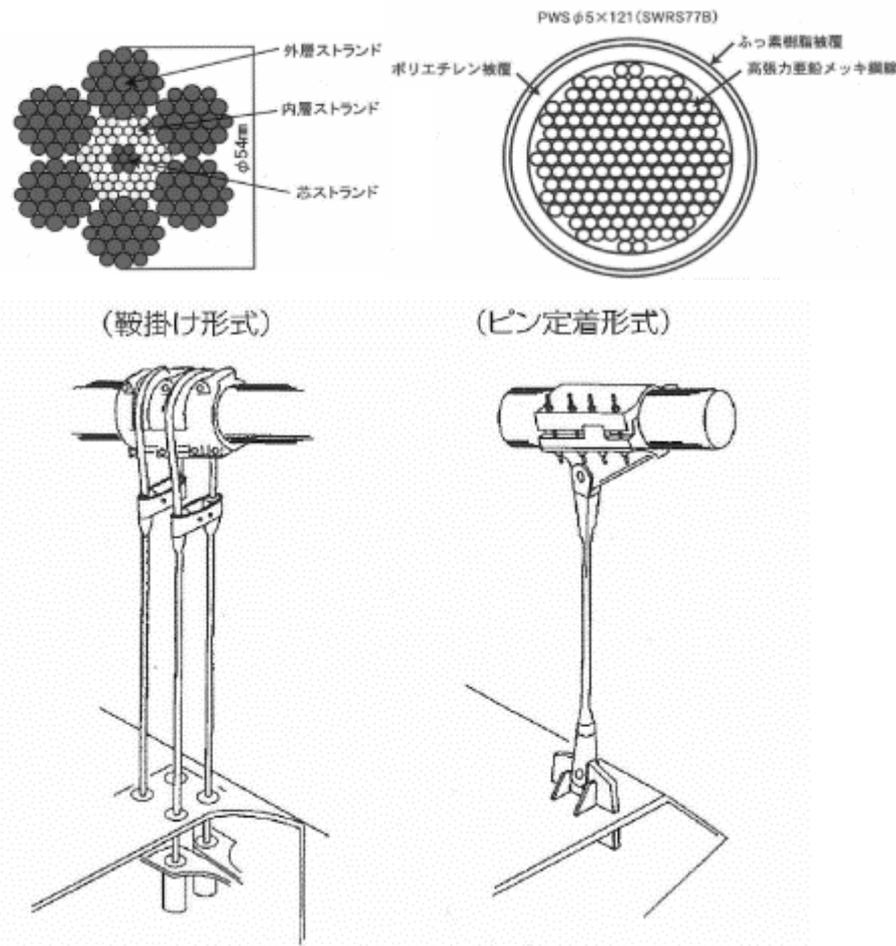


## 【ハンガーロープの構造変更】

### CFRCロープ

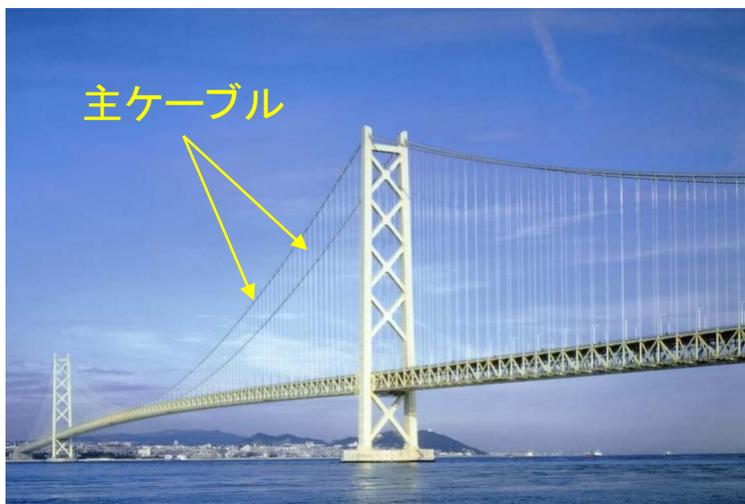
- ◆ **曲げ部**でロープの断面が決定されるため不合理  
⇒ 直線ロープの採用
- ◆ 外装部を**塗装**により防食性の確保を想定し、定期的な**塗替**塗装が必要のため、高い防食性を有する構造が必要  
⇒ **PE被覆**ケーブルの採用
- ◆ **ピン定着**構造の採用により、定着側の構造を簡素化
- ◆ ただし、円形ケーブルの**風による振動対策**が必要

CFRCロープ ⇒ PE被覆ケーブル

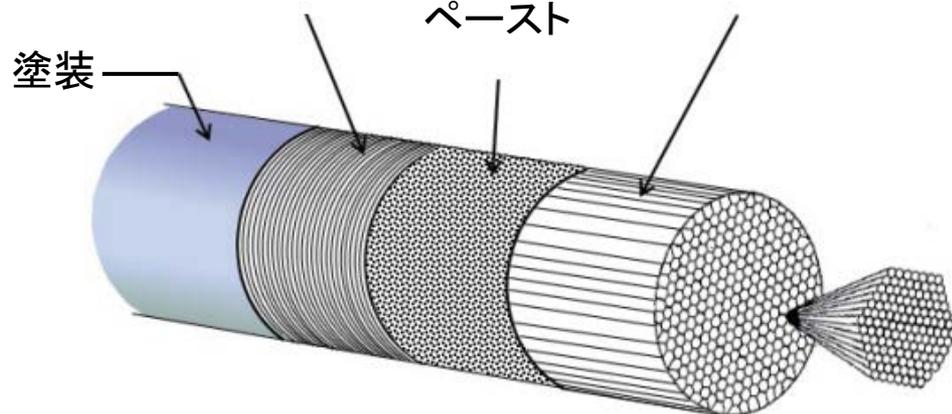


## 主ケーブル防食のための技術開発

従来の防食構造: ケーブル内に水を入れない(遮水)



ラッピングワイヤ巻付け 防錆ペースト 亜鉛めっき鋼線

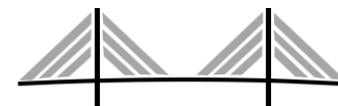
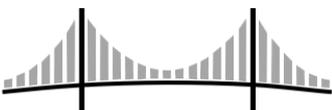


### 主ケーブルの点検結果

- ◆ 因島大橋で腐食を確認
- ◆ 架設時に残存した水あるいは塗装の割れ等の原因で浸入した水を確認
- ◆ 従来法では腐食を阻止することは困難
- ◆ 新たな防食法(腐食環境改善)を開発



因島大橋の主ケーブル(供用後約6年後)

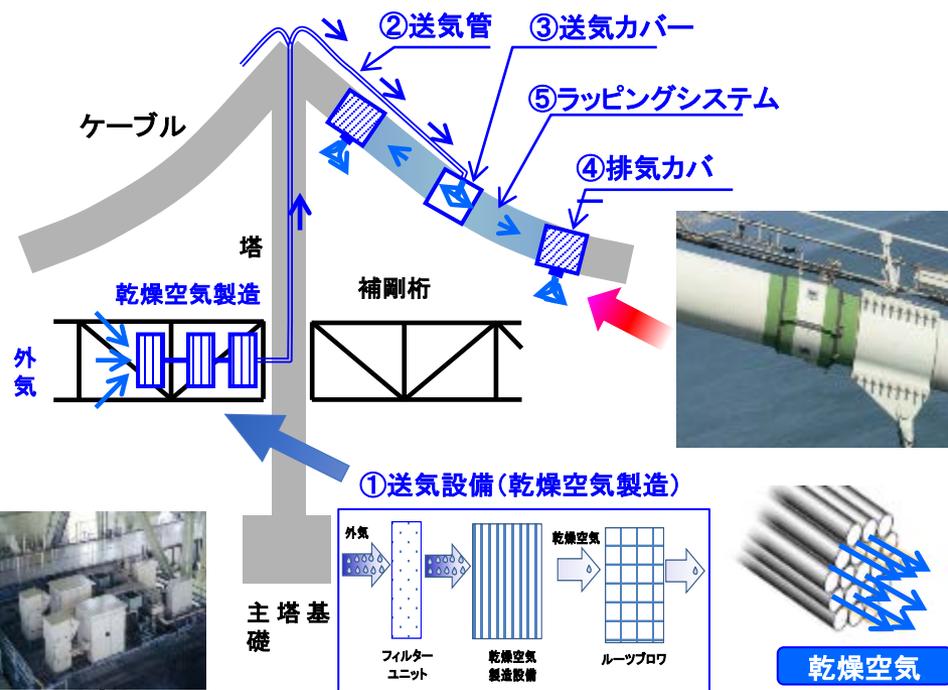


## 主ケーブル防食のための技術開発

主ケーブル送気乾燥システムによる防食

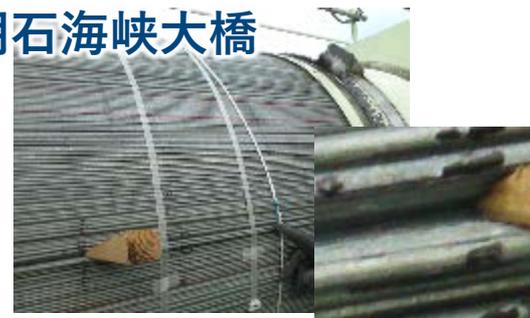
- ①送・排気の温湿度モニタリングによりシステムの稼働状況を確認
- ②バンド部のシール部の補修や塗替塗装、設備の保守や更新を実施
- ③定期的な開放調査によりシステムの効果を確認、今後も継続予定

### ケーブル送気乾燥システムの概要



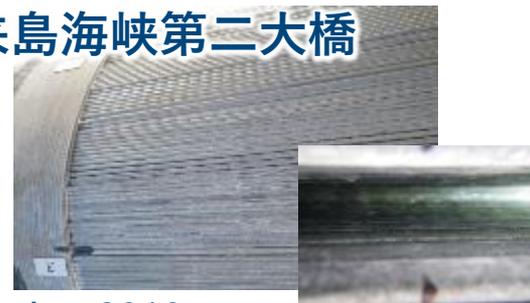
### 供用20年後の調査

明石海峡大橋



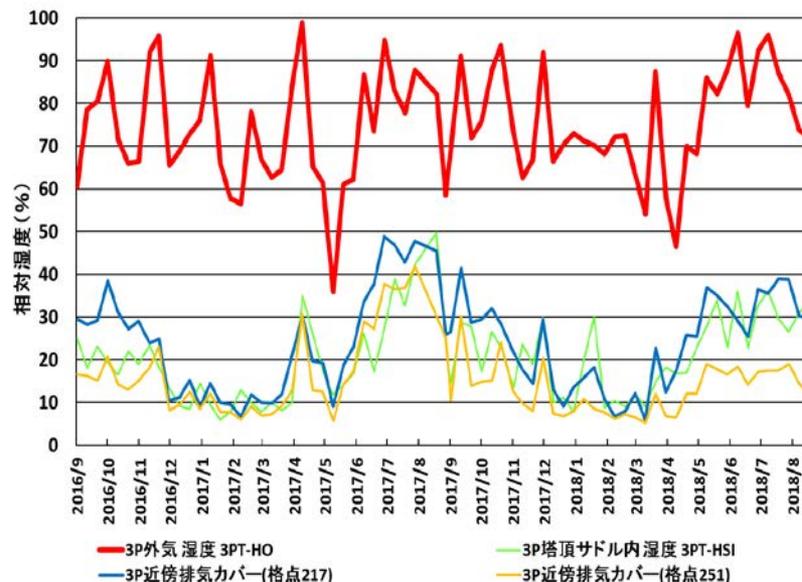
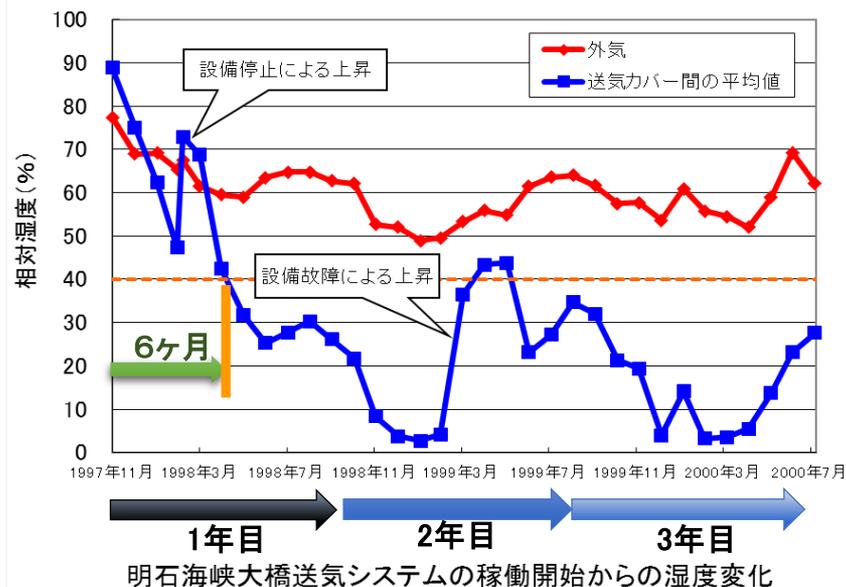
Nov-2018

来島海峡第二大橋



Jan-2019

## 送気乾燥システムによるケーブル内部環境のモニタリング

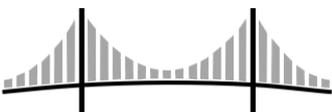


### システム稼働開始直後

- ケーブル内部の相対湿度は、送気開始から徐々に低下
- 新設橋梁で6～8ヶ月、既設橋梁で1年3～6ヶ月で湿度は安定

### 稼働20年程度経過後

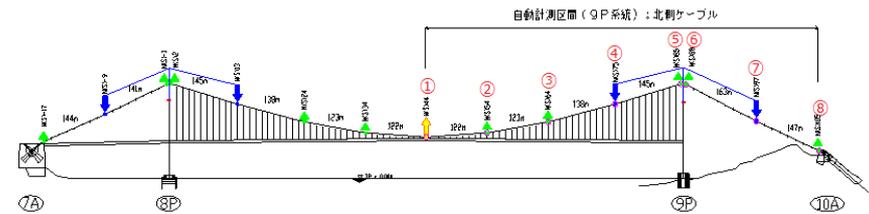
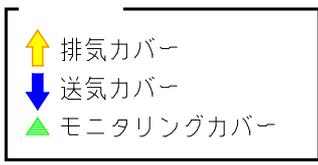
- ケーブル内部の相対湿度は、ほぼ40%以下で管理
- 夏期は一時的に相対湿度が高くなるが、年間を通しては安定  
→ 夏期の除湿効果改善のためシステム改良



## ケーブル内部環境の経年変化(来島第三大橋)

		側径間						中央径間						側径間				
		7A			8P			9P						10A				
		モニタリング -17	送気 -9	モニタリング -1	モニタリング 2	送気 13	モニタリング 24	モニタリング 34	換気 44	モニタリング 54	モニタリング 64	送気 75	モニタリング 85	モニタリング 88	送気 97	モニタリング 105		
H15	H150722	44.6	41.7	47.2	56.1	50.1	48.3	44.0	30.0	18.7	16.7	11.1	25.6	18.5	8.9	15.3	010719 9Pブレーキリング開始	
H16	H160728	30.3	29.5	26.8	31.1	33.8	28.9	30.0		27.9		19.4	24.4	34.2	31.7		0408 8Pブレーキリング開始	
H17	H170725	47.9	43.4	59.3	51.3	39.1	31.2	32.0	38.1	35.7	24.7	23.5	41.4	25.2	22.1	21.8	※8Pはスポットエアコン	
H18	H180809	34.1	39.8	41.2	39.5	38.6	33.9	35.3	29.0	26.7	26.3	19.4	28.1	23.6	16.6	19.4		
H19	H190727	25.6	20.5	32.1	39.1	28.8	30.8	27.3	32.7	29.0	12.1	6.5	15.4	15.0	18.2	12.9		
H20	H200729	29.3	34.0	32.2	43.4	39.3	34.5	35.4	35.8	21.1	17.4	16.2	16.3	14.2	20.6	18.4		
H21	H210819	31.2	34.8	30.5	29.2	20.4	26.2	34.2	37.1	25.5	16.8	12.1	18.6	13.6	17.7	16.6		
H22	H220804	27.0	29.1	29.4	34.2	25.5	29.6	31.8	32.2	11.9	10.7	7.6	18.1	17.9	12.6	14.8		
H23	H230809	52.3	55.0	56.7	75.4	75.1	36.2	24.0	12.8	15.8	12.3	故障	15.3	7.1	13.8	12.4	※7A~CL間送気設備停止	
H24	H240730	28.0	20.8	34.5	28.2	26.4	27.9	22.1	7.5	9.1	14.3	故障	2.9	0.8	2.7	1.7	120307 9Pブレーキリング改造	
H25	H250724	31.2	28.4	30.9	32.1	30.4	32.7	34.3	7.6	6.8	3.5	3.1	3.3	6.3	5.6	0.9	1403 8Pブレーキリング改造	
H26	H260729	10.3	9.7	11.7	9.9	8.3	13.2	14.3	1.5	2.4	1.2	2.8	2.8	3.9	4.9	1.7		
H27	H270730	18.9	15.6	16.7	17.9	17.0	16.5	20.0	12.0	11.7	9.9	10.4	10.9	14.5	10.7	6.9		
H28	H280719	17.5	11.7	15.1	16.5	11.8	15.1	16.5	10.4	12.8	9.9	11.6	12.1	12.4	12.2	9.7		
H29	H290804	15.4	14.0	13.4	16.0	13.4	12.4	17.9	3.0	3.5	3.3	3.8	4.4	5.0	7.0	4.4	1609 ブレーキ更新 1612 除湿ロータ交換	
H30	H300727	20.5	16.5	23.8	19.0	17.0	22.6	25.9	11.8	8.4	6.6	3.4	4.8	5.5	3.9	1.7	1710 9P再生温度140→100変更(経済化検討)	

システム改良内容



**凡例**

相対湿度(%)

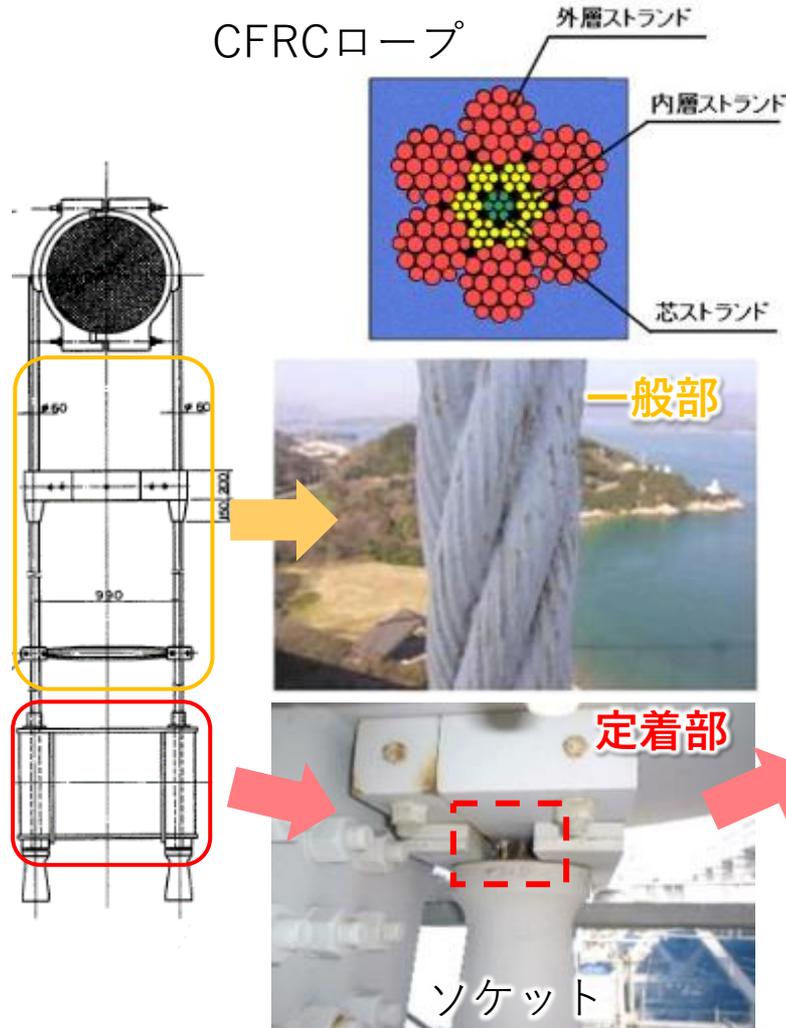
- 20%未満
- 20~40%未満
- 40~60%未満
- 60%以上

		側径間																
		7A			8P			9P						10A				
		モニタリング -17	送気 -9	モニタリング -1	モニタリング 2	送気 13	モニタリング 24	モニタリング 34	換気 44	モニタリング 54	モニタリング 64	送気 75	モニタリング 85	モニタリング 88	送気 97	モニタリング 105		
H15	H150722	46.6	40.9	49.5	49.4	40.5	43.1	42.5	47.1	42.1	23.0	24.3	24.9	50.5	22.1	66.7	010719 9Pブレーキリング開始	
H16	H160728	38.7	24.4	34.6	28.3	26.8	23.4	28.7	24.5	33.0	33.8	34.7	40.3	29.6	39.7	35.7	0408 8Pブレーキリング開始	
H17	H170725	45.2	50.8	49.9	31.7	49.7	31.0	29.5	35.5	37.3	37.3	24.2	51.9	29.8	39.7	31.9	※8Pはスポットエアコン	
H18	H180809	28.8	33.2	33.1	38.3	37.9	33.0	34.8	27.5	21.4	30.8	21.9	28.6	32.3	23.3	26.8		
H19	H190727	27.2	20.2	28.9	32.3	25.7	29.1	26.3	29.5	17.0	15.4	12.8	16.6	18.6	15.7	17.9		
H20	H200729	28.8	31.8	28.4	39.8	35.2	34.5	30.5	29.3	21.0	19.3	21.0	20.4	22.9	23.4	18.3		
H21	H210819	33.3	35.9	36.6	29.6	19.2	26.6	28.5	40.5	25.8	23.7	19.3	23.7	25.8	25.5	24.7		
H22	H220804	29.9	30.9	33.6	26.9	27.1	32.6	36.2	29.5	27.7	21.2	19.0	17.1	21.4	16.9	15.0		
H23	H230809	40.4	50.2	56.6	55.0	47.6	36.5	30.3	31.5	31.0	27.3	28.2	27.8	29.1	24.2	27.9	※7A~CL間送気設備停止	
H24	H240730	22.1	19.2	22.4	25.8	24.4	24.9	24.3	17.0	12.4	11.9	8.8	12.1	14.7	11.8	14.5	120307 9Pブレーキリング改造	
H25	H250724	28.3	24.0	29.7	29.2	25.7	30.8	30.1	19.2	14.2	13.8	10.8	14.1	39.6	10.7	13.2	1403 8Pブレーキリング改造	
H26	H260729	10.0	9.8	11.2	10.5	10.0	11.2	15.8	15.3	15.0	13.5	10.3	12.9	9.9	10.9	12.9		
H27	H270730	13.3	11.8	16.8	18.3	14.4	15.5	16.6	18.8	16.8	18.3	20.9	20.5	18.1	15.9	12.9		
H28	H280719	16.5	12.7	13.5	16.5	13.6	16.0	16.5	24.5	22.8	21.5	22.9	24.5	23.0	21.8			
H29	H290804	13.4	14.3	18.5	16.3	13.5	13.8	13.8	16.3	13.4	11.7	11.0	13.6	12.4	12.4	13.0	1609 ブレーキ更新 1612 除湿ロータ交換	
H30	H300727	20.0	16.5	24.0	22.2	16.7	22.2	32.9	26.7	22.7	19.4	16.6	18.6	18.0	16.1	17.4	1710 9P再生温度140→100変更(経済化検討)	

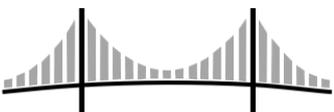
ケーブル内部環境の経年変化(最も湿度が高くなる夏季のデータ)を把握  
→システムの改良、補修計画を立案、実施

## ハンガーロープの構造と腐食

ハンガーロープ(CFRC)に腐食が発生

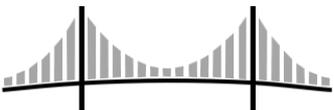
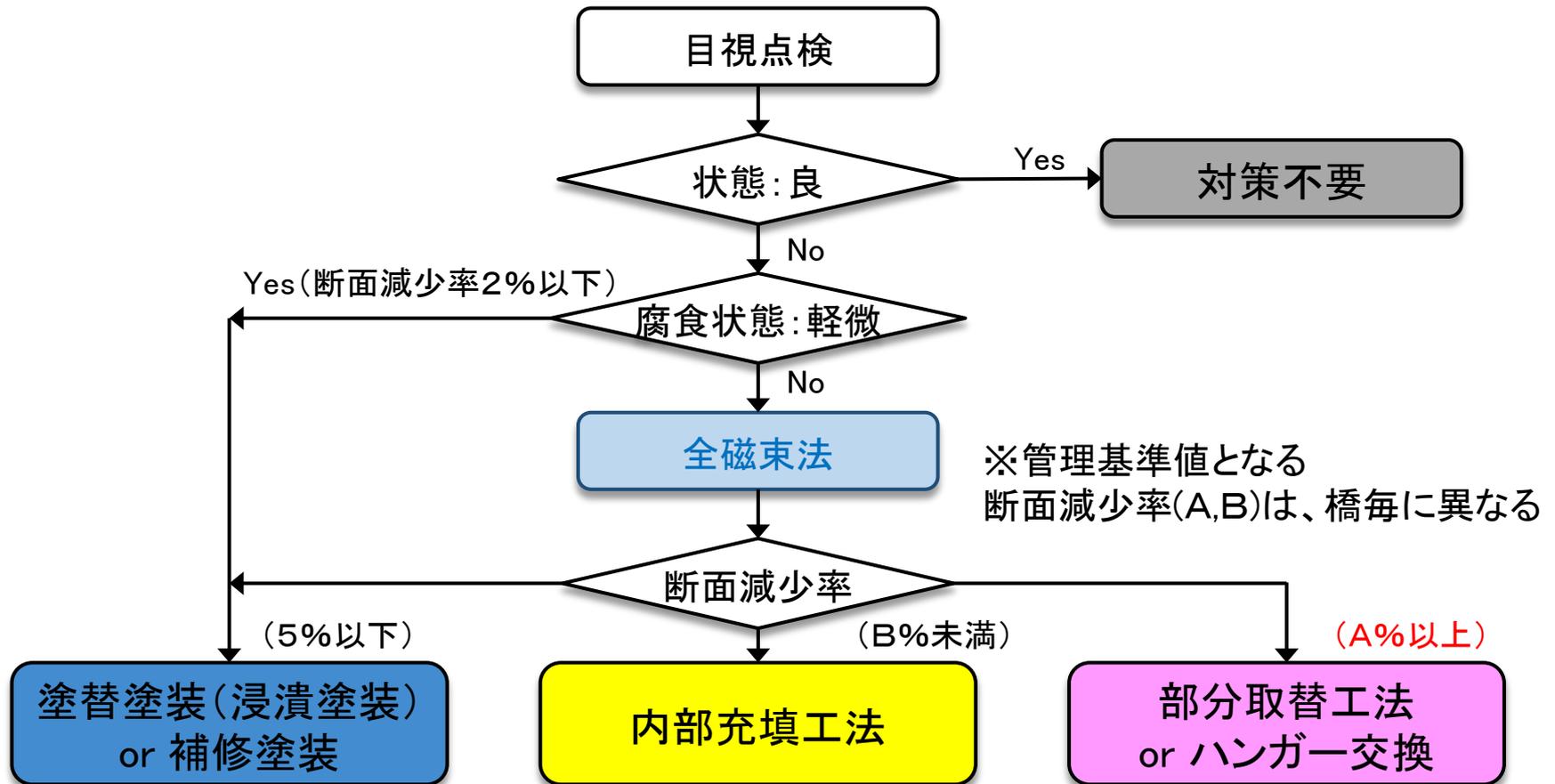


ソケット近傍に錆が発生



## ハンガーロープの維持管理フロー

外観の腐食状態、非破壊検査による断面減少率に応じて補修工法を選定



## ハンガーロープの管理基準の検討

- ◆ 腐食による断面減少(強度低下)に応じた管理が必要
- ◆ 強度低下が著しい場合は、ロープの取替えが必要

### 【管理基準の設定】

- ① ハンガーロープの作用力は、設計とは異なり、橋の供用実態を反映(鉄道未載荷などを反映)
- ② 設計で考慮した製作・架設誤差の影響は、ロープ張力を実測することで反映
- ③ 腐食箇所が直線部の場合は、曲げの影響を排除
- ④ 上記を反映して、ロープに作用する力(荷重)を算定
- ⑤ 腐食したロープの強度を設定
- ⑥ 所要の安全性を確保できる管理基準値を設定

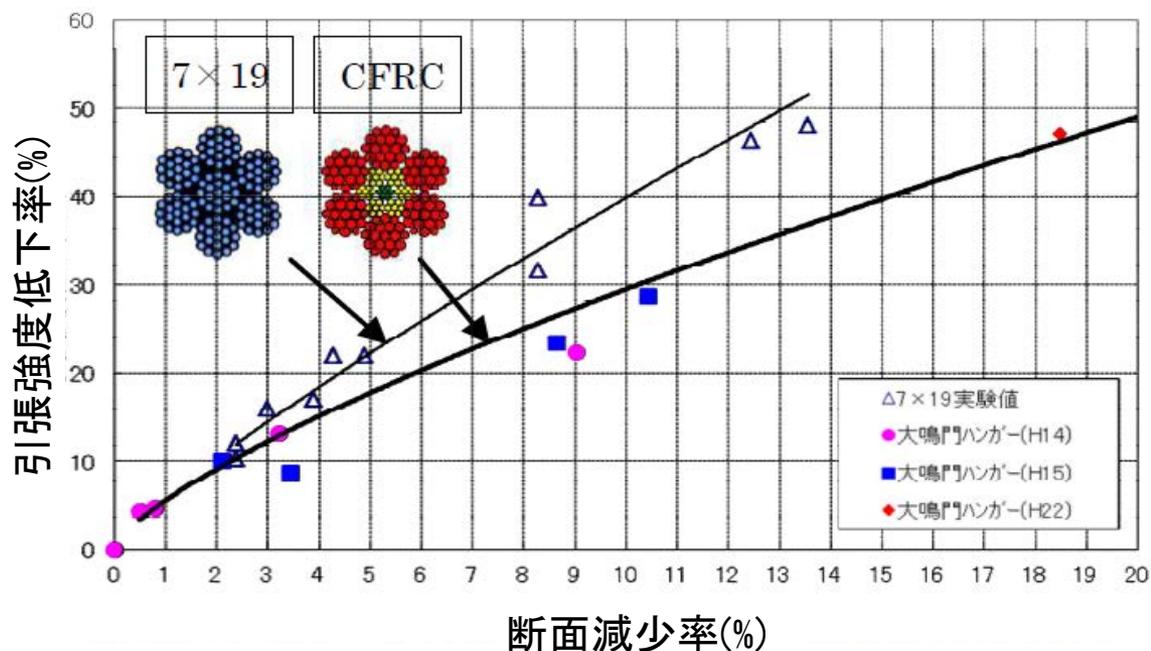
### 【課題】

- ① 腐食ロープの引張強さや疲労強度を設定するためのデータが不足(腐食の形態の違いによる強度低下の影響など)
- ② 保持すべき安全性のレベルの設定

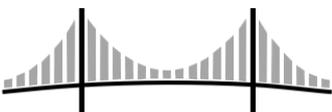


## 腐食ロープの強度（断面減少率と強度低下の関係）

- ◆ より線ロープは、断面減少率を大きく上回る強度低下が生じる
- ◆ 下図は、CFRC(Φ60)の外部腐食ロープを対象とした試験結果



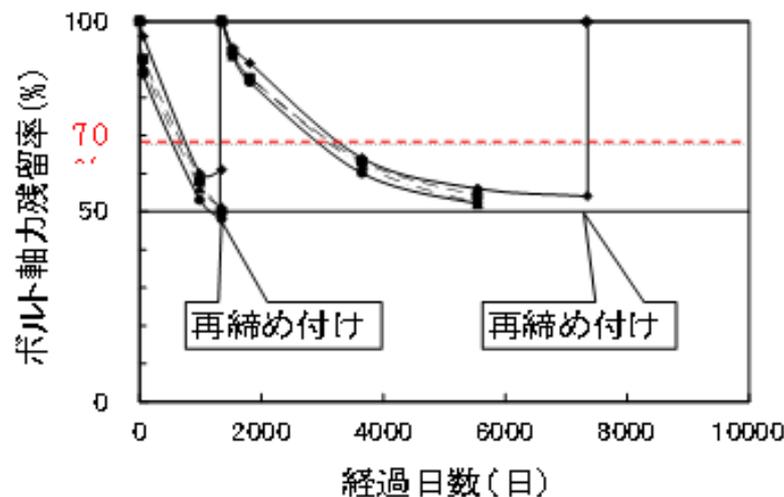
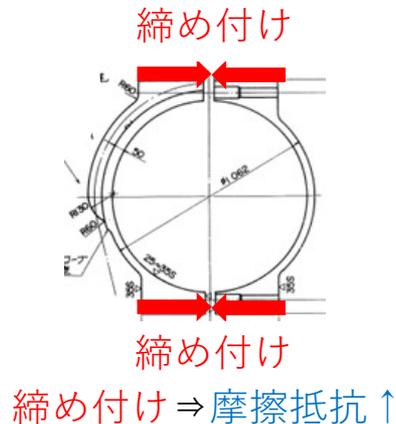
断面減少量とロープ引張強度低下率の関係(大鳴門橋)



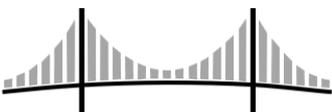
## ケーブルバンドの軸力管理

時間の経過とともにバンドボルト軸力は低下するため、定期的な計測と軸力管理が必要

- ◆ ケーブルバンドは、橋桁にかかる荷重をハンガーロープを介して主ケーブルに伝達
- ◆ バンドボルトの締め付けで生じる摩擦によりケーブル上での位置を保持
- ◆ バンドのすべり安全性の確保のため、ボルトの軸力を管理

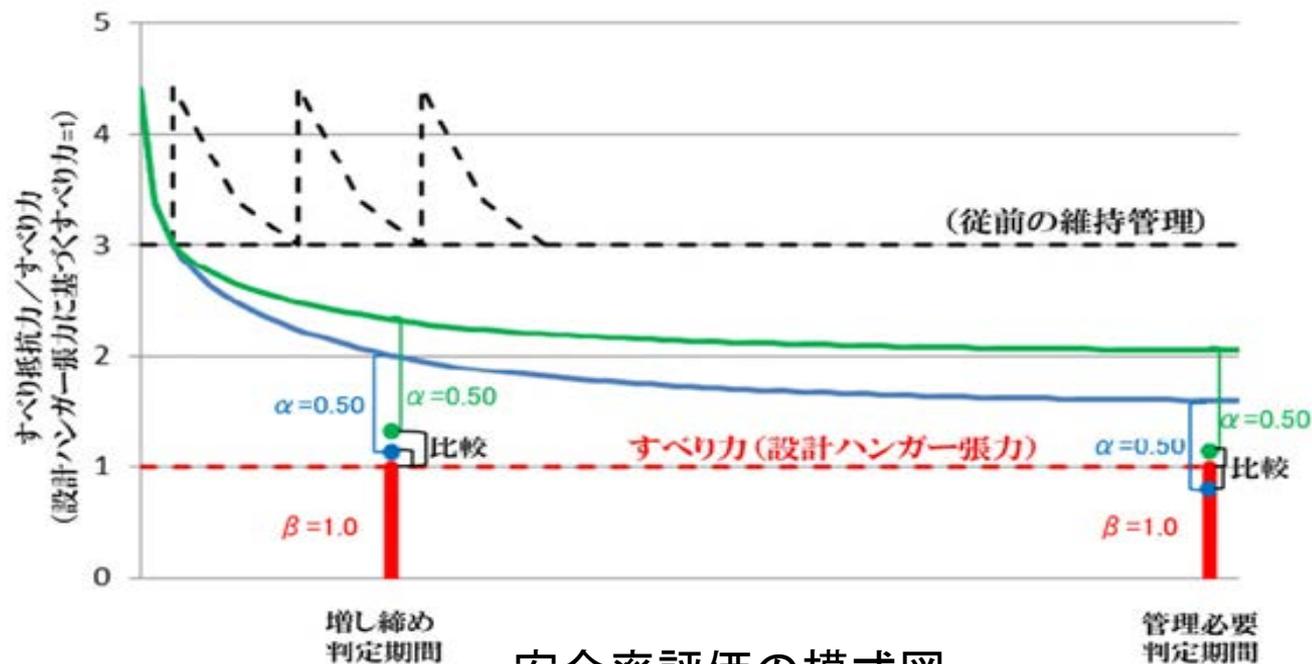


バンドボルト軸力低下と増し締め



## ケーブルバンドの軸力管理

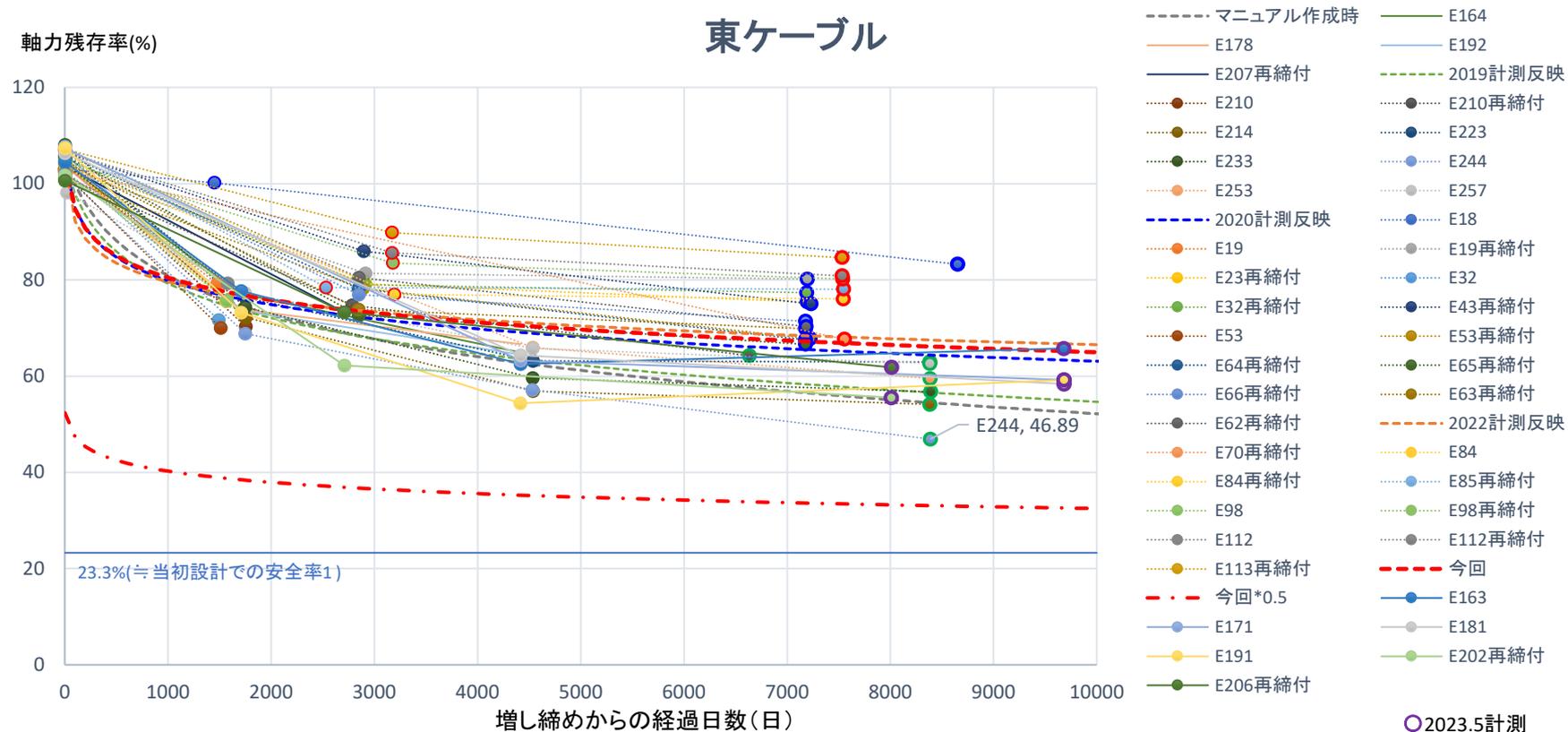
- ◆ 従来は、バンドのすべり安全性に関して、設計要領に基づいたボルト軸力管理を行ってきたが、設計要領の想定を上回る軸力低下が確認され、度々のボルトの増し締めが必要
- ◆ 維持管理の合理化を目的として維持管理段階での安全性の評価について検討を行い、管理マニュアルを作成



安全率評価の模式図

## ケーブルバンドの軸力管理

### 計測データと予測式(明石海峡大橋 東ケーブル)

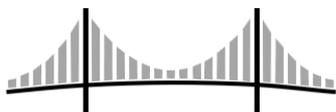


計測結果から、中長期の軸力低下と予測

データ蓄積により、予測式の修正を適宜行い、精度を向上し、管理方針を見直し



- ◆ケーブル材料は、HBS規格などを制定し、品質確保に努めた
- ◆ケーブル材料は厳しい使用環境から各種の特性について、多岐にわたる検証を行い、橋の建設に適用
- ◆建設と維持管理の実績を反映し各種の構造変更を行い、コスト縮減と耐久性の向上を実現
- ◆ケーブル類には、ハンガーロープに腐食の発生が確認されているが、構造的な不具合はみられない
- ◆管理段階での安全性の再評価を行い、ハンガーロープやケーブルバンド他の管理基準を策定し維持管理の合理化を実現
- ◆今後もデータの蓄積により安全性評価の精度向上を図り、管理の高度化を実現
- ◆本四連絡橋の歴史はまだ40年、今後も細心の注意と新たな挑戦による管理を継続
- ◆200年橋梁の実現に向け更なる管理の高度化・効率化と技術開発を推進



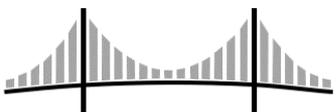
# 海外におけるケーブル技術の現状 ～吊構造形式橋梁を中心に～

(株)IHIインフラシステム  
井上 学

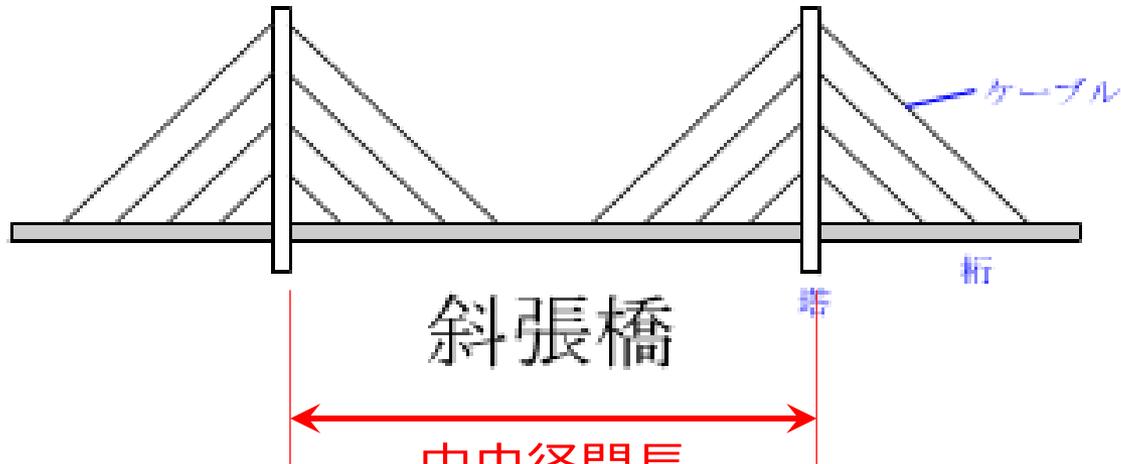
# 目次

---

1. 海外の吊構造形式橋梁の技術
2. 海外におけるケーブル関連技術の基準類の実態と動向
3. インフラ輸出の観点での日本のケーブル技術を取り巻く状況と課題



# 1. 海外の吊構造形式橋梁の技術



斜張橋

中央径間長

ケーブル

桁

塔

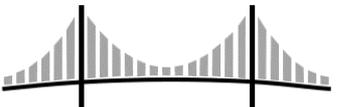


吊り橋

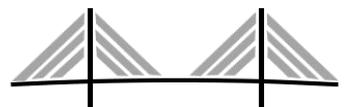
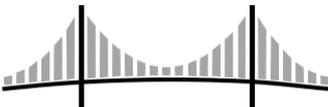
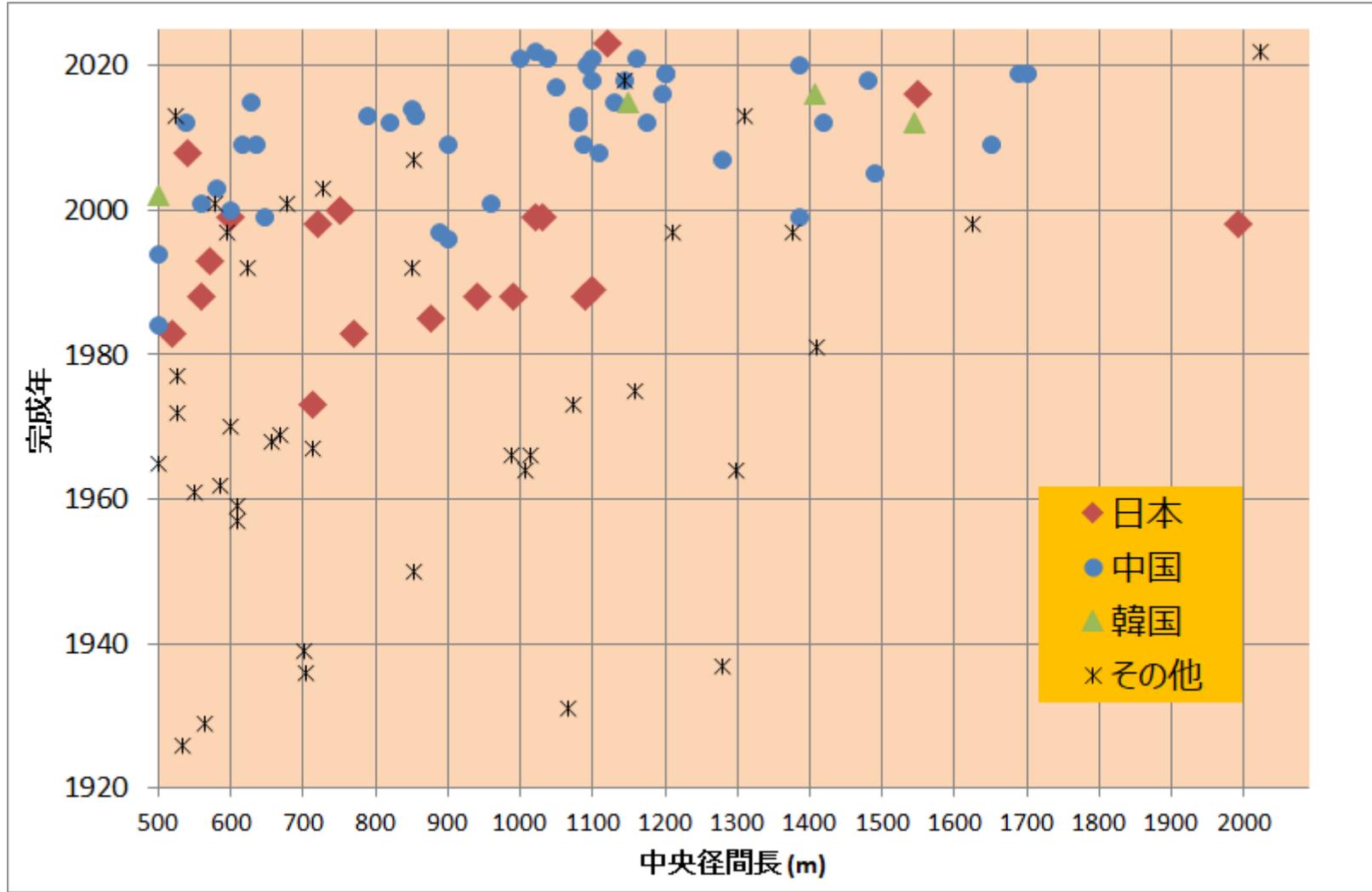
メインケーブル

ハンガーロープ

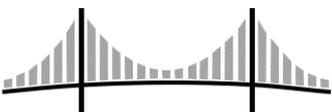
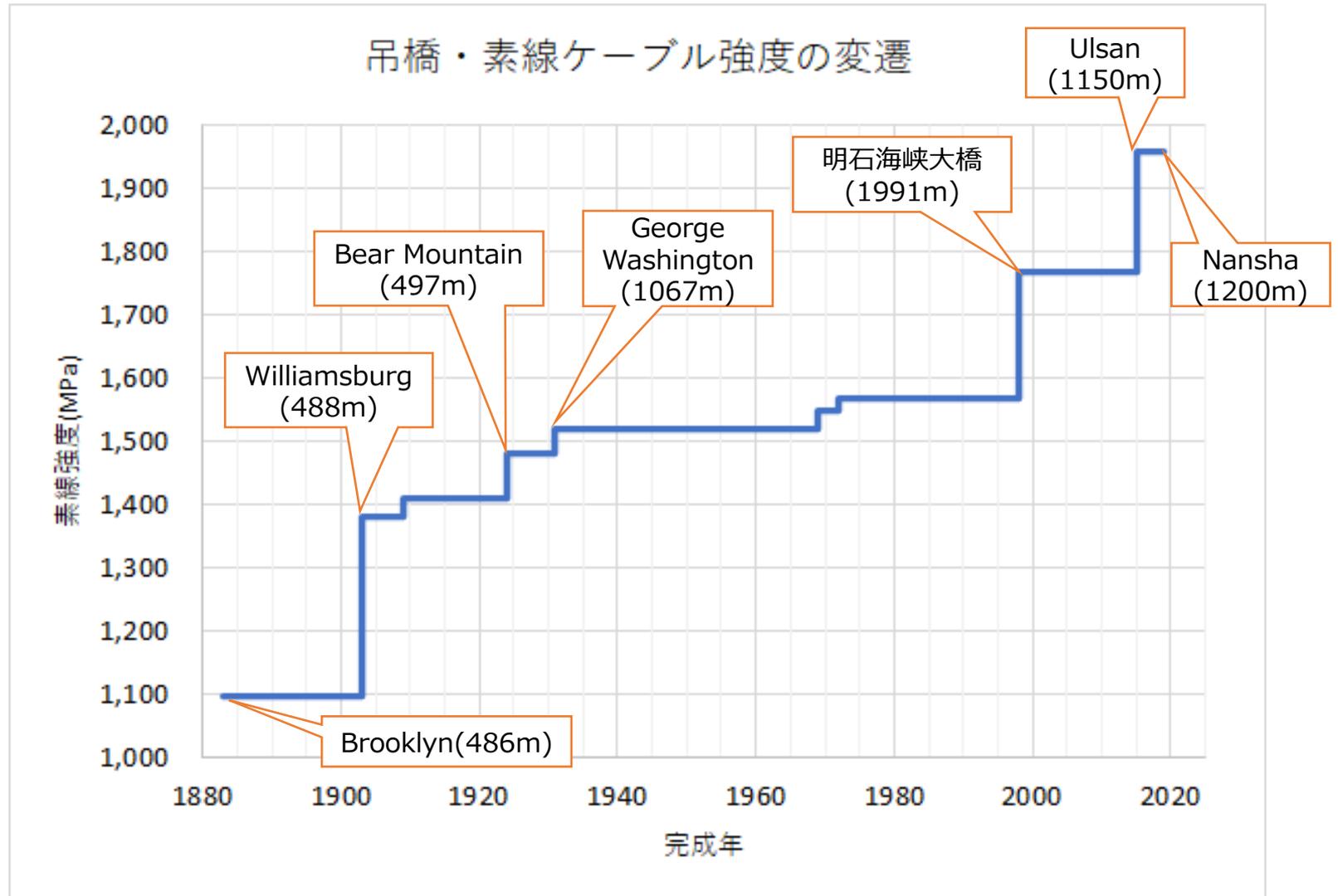
アンカーレッジ



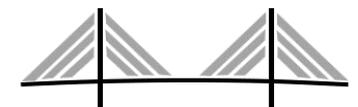
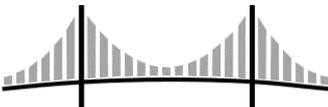
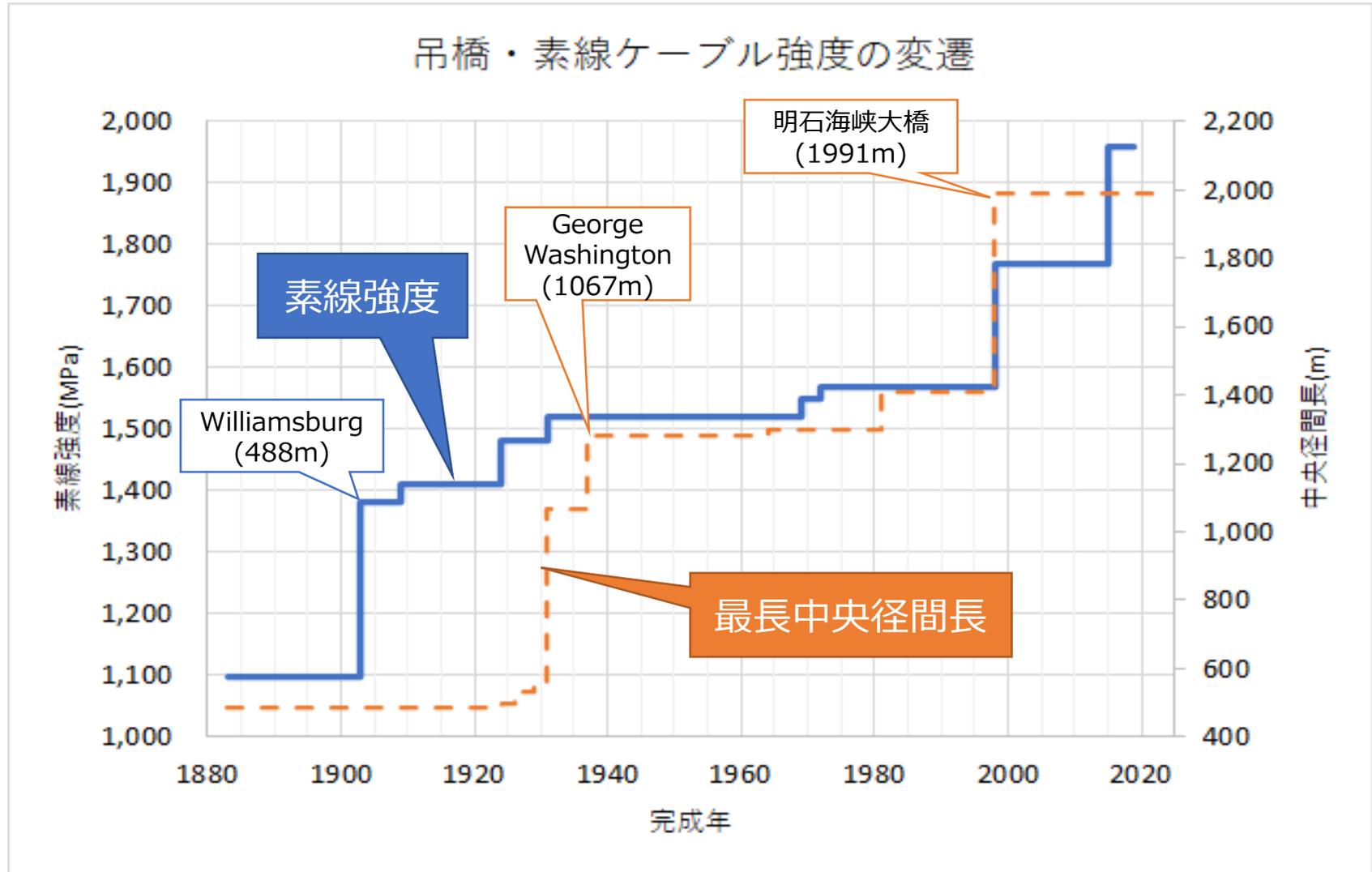
# 1. 海外の吊構造形式橋梁の技術：吊橋



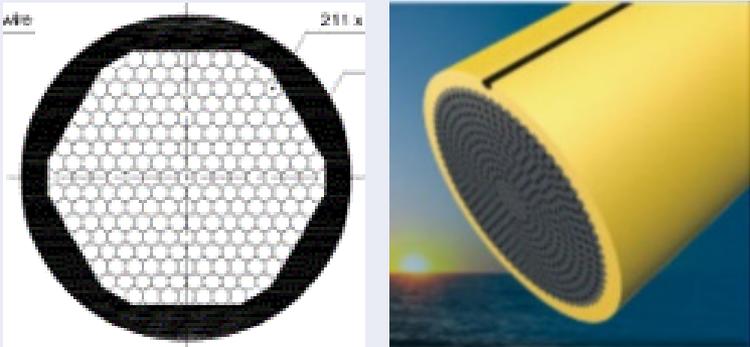
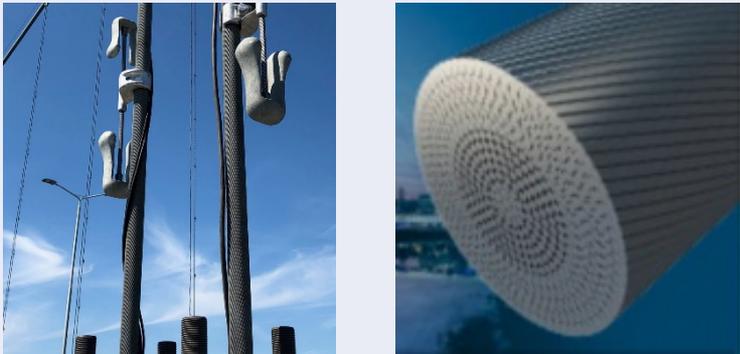
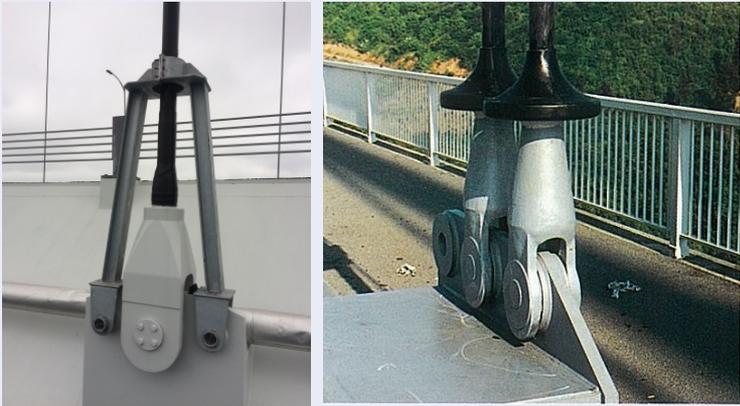
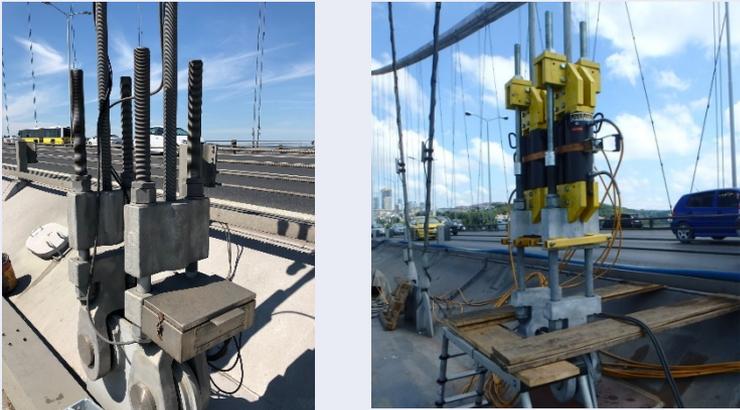
# 1. 海外の吊構造形式橋梁の技術：吊橋

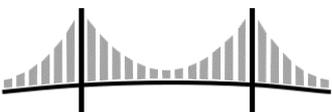


# 1. 海外の吊構造形式橋梁の技術：吊橋

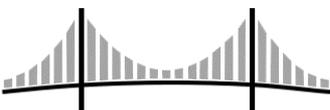
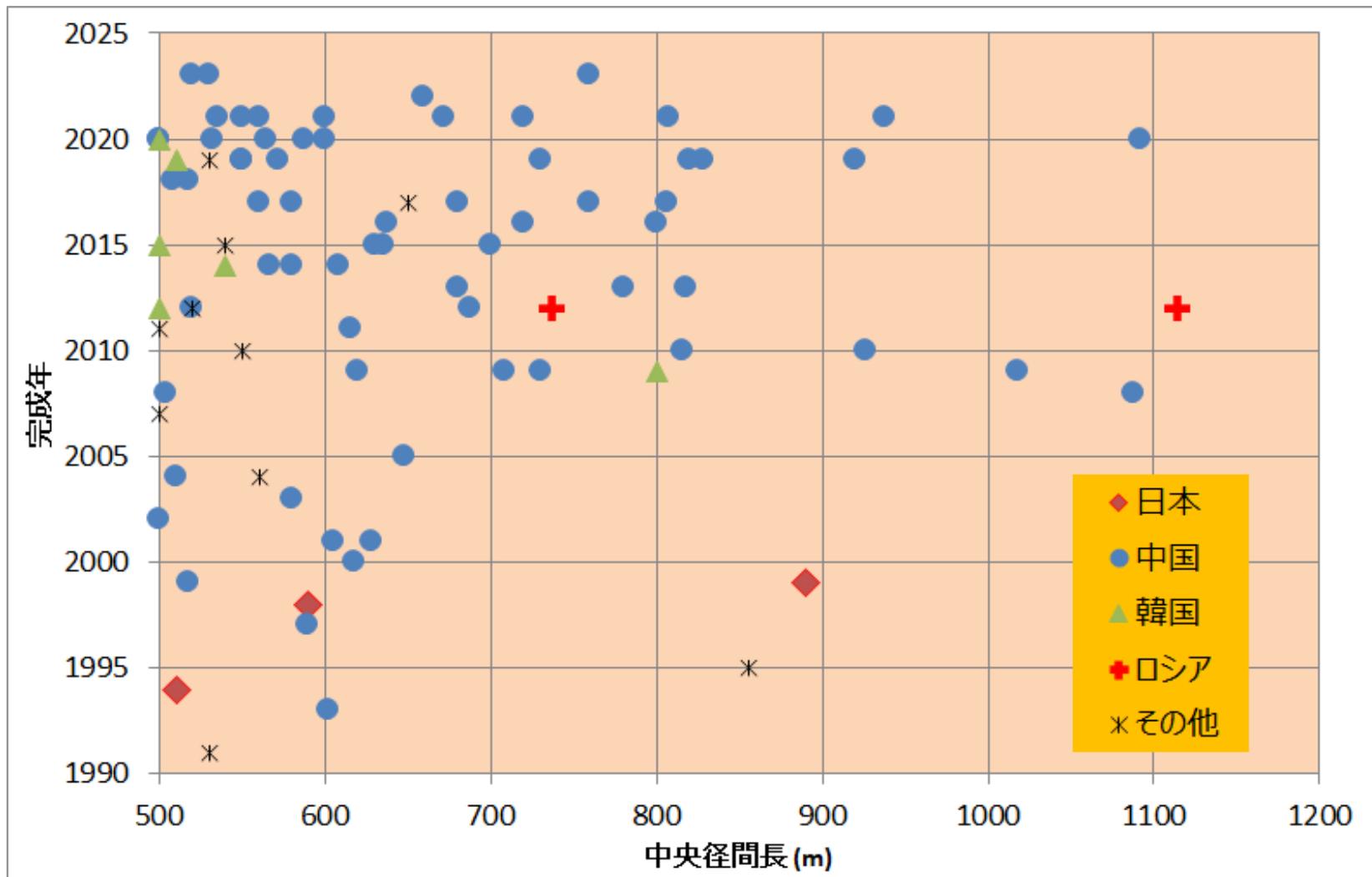


# 1. 海外の吊構造形式橋梁の技術：吊橋・ハンガー

	トレンド1	トレンド2
被覆	<p>有り</p> 	<p>無し</p> 
張力調整	<p>無し</p> 	<p>有り</p> 

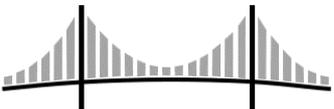
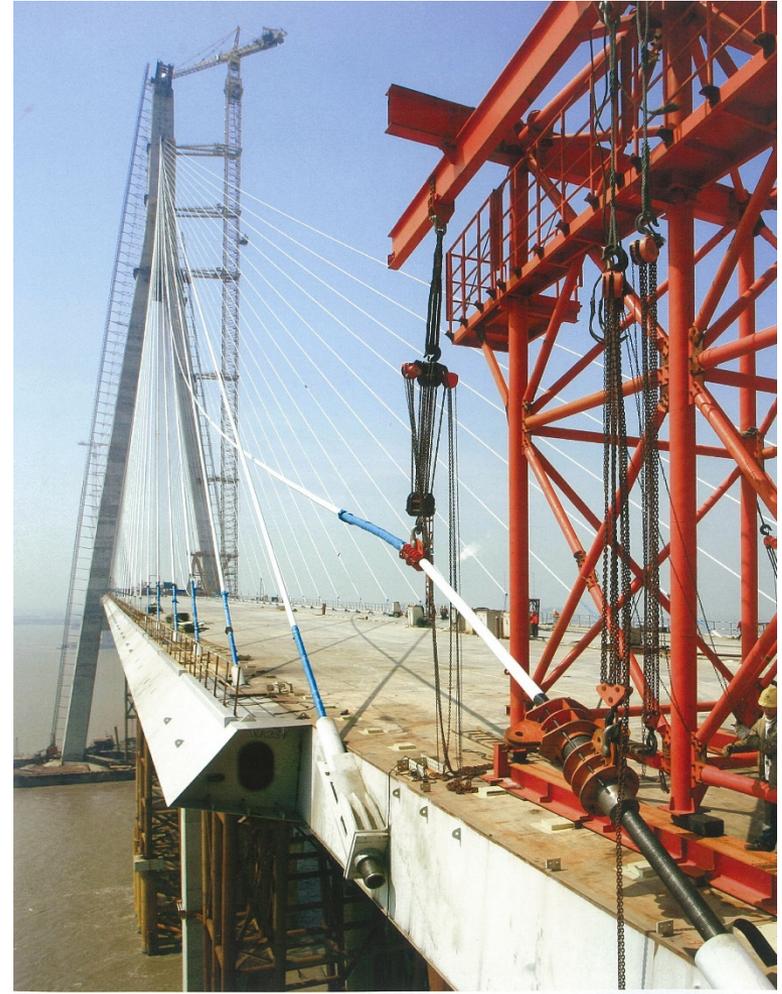


# 1. 海外の吊構造形式橋梁の技術：斜張橋



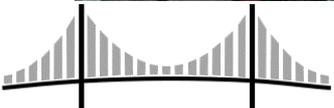
# 1. 海外の吊構造形式橋梁の技術：斜張橋

## 工場集束型



# 1. 海外の吊構造形式橋梁の技術：斜張橋

現場集束型



## 2. 海外におけるケーブル関連の技術基準類の実態と動向

- 長大橋に特化した基準はほとんどない。
- プロジェクト毎に対応しているのが現状。



### 困った事例

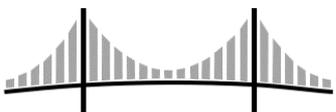
- 要求仕様などの作成者に知識・経験が少なく、良く分からないので、過去の複数のプロジェクトからコピーをして体裁を整える。

同じ意図の異なる性能保証試験が複数要求されている

根拠なく厳しい要求をしている / 安易にリラクスしてしまっている。

過去には必要であったが、現代には不要なもの・そぐわない要求が残っている。

煩雑な変更手続きや説明が必要となり、時間・労力の無駄が大きい。



## 2. 海外におけるケーブル関連の技術基準類の実態と動向

具体的にどのように対応しているのか？ 例えば、メインケーブル素線(ワイヤ)では・・・  
基本となる基準

### EN10264: Steel wire and wire products – Steel wire for ropes

Part-1: General requirements

Part-2: Cold drawn non alloy steel wire for ropes for general applications

Nominal diameter (mm)	5.91
Deviation on diameter (mm) (See Note 1)	+0.08/ -0.05
Nominal tensile strength (MPa)	1760 - 1960 (1760 -0/+200)
Minimum 0.2% proof load (MPa)	1350
Modulus of elasticity (MPa)	min. 190000 210000

Test Type	Reference Standard	Frequency of Testing
Diameter	EN 10218	Each end of each coil
Tensile test	EN 10264-1	Each end of each coil
Proof stress and stress/strain curve	EN 10264-1	One end of each 10 <sup>th</sup> coil
Modulus of Elasticity	EN 10264-1	One end of each 10 <sup>th</sup> coil

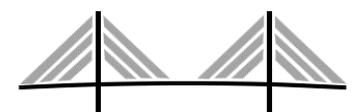
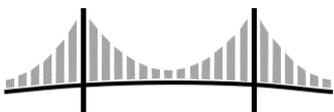
Fatigue resistance (See Note 2)	Min 2 x 10 <sup>6</sup> cycles with a stress range 400 - 750 MPa without failure.
Minimum elongation measured over a length of 250 mm	4%



Elongation	EN 10264-1	One end of each 10 <sup>th</sup> coil
Wrapping test on coated wire	EN 10218	One end of each 10 <sup>th</sup> coil
Torsion test on coated wire	EN 10264-1	One end of each coil

基本となる基準からの変更・追加を個別に要求

性能保証のやり方や条件を個別に定義



## 2. 海外におけるケーブル関連の技術基準類の実態と動向

- ▶ プロジェクト固有の問題・要求に柔軟に対応しやすいようになっている。



- それぞれの事情に対応したバリエーションがつけやすい土壌が出来ている。
- 設計・製作・架設・管理とのリンクが明確。

Table B5 - Inspection levels (IL)

Inspection Levels	Characteristics	Requirements
IL3 Relating to RC3	Extended inspection	Third party inspection
IL2 Relating to RC2	Normal inspection	Inspection in accordance with the procedures of the organisation
IL1 Relating to RC1	Normal inspection	Self inspection

Supervision levels (DSL)

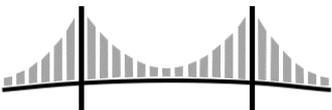
Minimum recommended requirements for checking of calculations, drawings and specifications

Third party checking :  
Checking performed by an organisation different from that which has prepared the design

DSL2 relating to RC2	Normal supervision	Checking by different persons than those originally responsible and in accordance with the procedure of the organisation.
DSL1 Relating to RC1	Normal supervision	Self-checking: Checking performed by the person who has prepared the design

Eurocode: EN1990 “Basis of structural design”

relating to RC3		that which has prepared the design
DSL2 relating to RC2	Normal supervision	Checking by different persons than those originally responsible and in accordance with the procedure of the organisation.
DSL1 Relating to RC1	Normal supervision	Self-checking: Checking performed by the person who has prepared the design



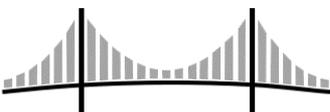
### 3.インフラ輸出の観点での日本のケーブル技術を取り巻く状況と課題

#### 日本のケーブル技術

世界のプロジェクトで“使ってみよう”, “検討の俎上に載せよう”・・・とはなっていない.

- 長い年月をかけての様々な検討に裏付けられた技術
- 実橋梁での多数の採用実績
- 数十年の供用実績・経験

があるのになぜ



### 3.インフラ輸出の観点での日本のケーブル技術を取り巻く状況と課題

①

- (世界的に)公式だと認められやすい形での情報発信が少ない.
- 紙の証明がない.

②

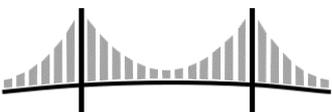
- 相手の要求レベルに柔軟に合わせられない.
- (自分たちが信じる)最高品質の一択

③

- 数十年後のことよりもまずは目先のことが喫緊の相手には響かない.

◆ 新設・大型構造物以外にも目を向ければ，国内外にニーズはたくさんあるはず.

◆ せっかくの技術・経験・実績を活かしやすい環境づくりが不可欠.



# JSS構造用ケーブル材料規格改正紹介と 規格制定の現状と留意事項

“平行線ケーブルワイヤのISO規格、JIS規格、JSS規格化を経験して”

橋梁ケーブル調査研究小委員会 矢野守俊

# 我が国の平行線ケーブルワイヤ規格の変遷(1) (Φ5mm、一例)

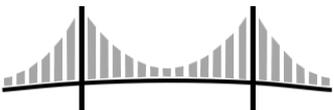
(単位はN系に統一)

	(参考 AISI- 1963)	<b>建設省 土木研究所</b> 昭和39年度 試作仕様	日本橋梁 建設協会 仕様	豊里大橋 大阪市土 木局 仕様書	道路公団 <b>関門橋</b> 特記仕様 書	本四公団 <b>因島大橋</b> 特記仕様 書HBS G 3501	日本鋼構 造協会 JSS 12	本四公団 HBS G 3501	本四公団 HBS G 3508	日本鋼構 造協会 JSS II 06 改正	国際標準化 機構 <b>ISO19203</b>	日本産 業規格 <b>JIS G 3571</b>	日本鋼構 造協会 <b>JSS II 0 6改正</b>
制定年 他	1963年	1964年	不明 (1967年 以前)	1969年	1970年	1977年	1978年	1979年	1989年	1994年	2018年	2020年	2021年
引張強 さ (N/mm <sup>2</sup> )	1510以 上 ただし、 1ロット 或いは1 溶解の平 均値 1550以 上	i) 1570以 上、平均 1620以上 ii) 1620以 上、平均 1670以上 iii) 1670以 上、平均 1720以上	1620以 上	同左	<b>1570以 上 ~1770 以下</b>	同左	同左	同左	<b>1770以上 ~1960以 下 (追加、明 石海峡大橋 適用)</b>	1770以上 ~1960以 下 (追加)	1570以上~ 1770未満 1670以上~ 1870未満 1770以上~ 1970未満 <b>1860以上~ 2060未満 1960以上~ 2160未満</b>	同左	同左
ねじり 回数 (回)	—	—	17以上	—	<b>18以上</b>	<b>14以上</b>	同左	同左	同左	同左	1570: 14以上 1670: 14以上 <b>1770: 12以上 1860: 10以上 1960: 8以上 (注記参照)</b>	<b>14以上</b>	同左

AISI :  
American Iron  
and  
Steel Institute

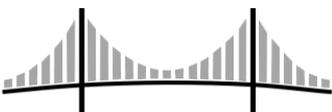
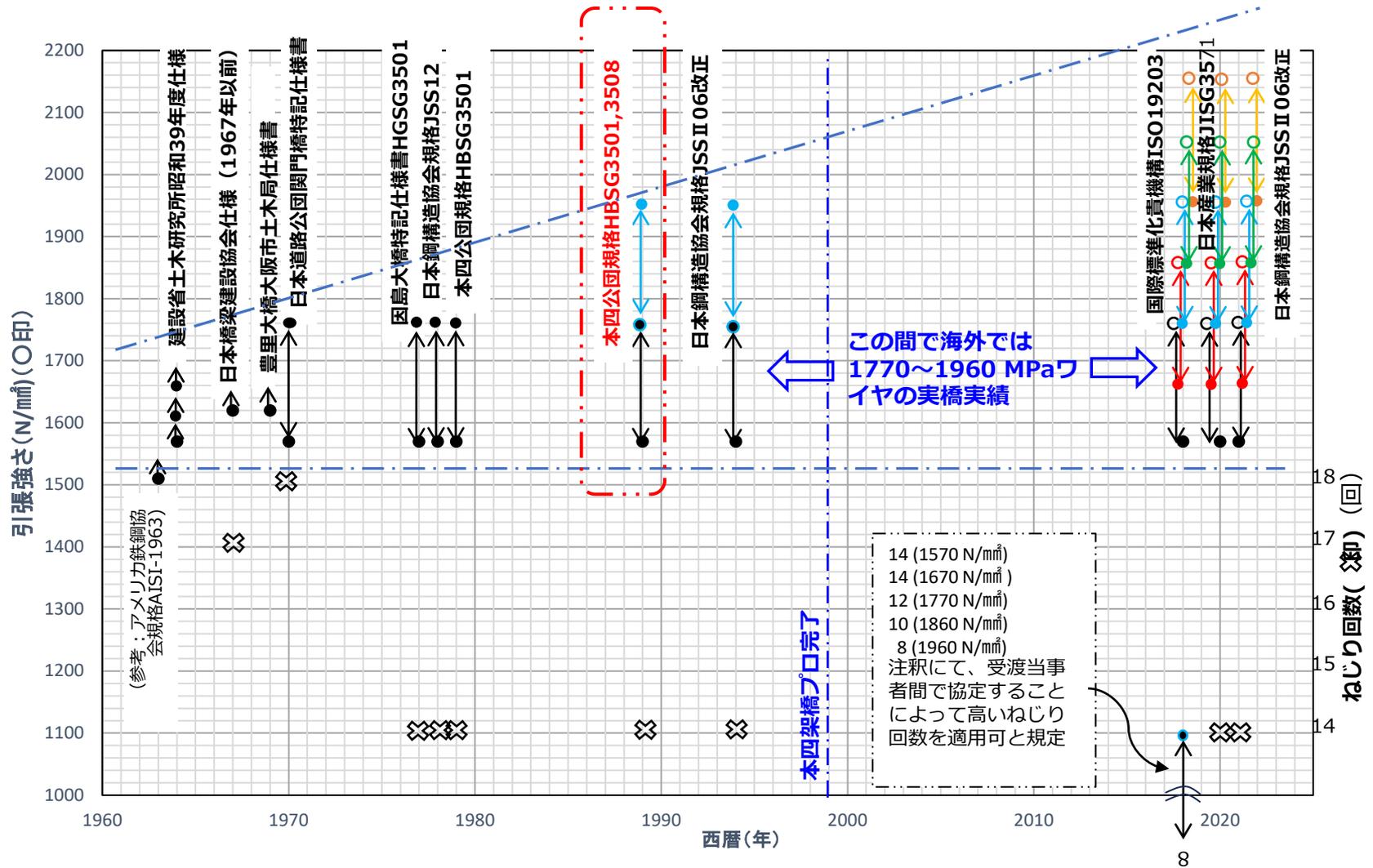
注記)

ISO19203ねじり回数： 注釈にて、受渡当事者間で協定することによって高いねじり回数を適用可と規定



# 我が国の平行線ケーブルワイヤ規格の変遷(2)

我が国の平行線ケーブルワイヤ規格の変遷(φ5mmワイヤ引張強さ及びねじり回数の例)





# JSS構造用ケーブル材料規格改正に至る背景

- 前スライドに示すように、本四架橋プロが完成した1999年以降、吊橋建設は海外（韓国、中国、トルコ、ノルウェー、チリなど）に移行。さらに我が国で開発された1770MPa技術をもとに製造された1960MPaワイヤも大規模吊橋で採用されるようになった。
- このように多国間で使用される製品となり、ISO19203が2018年に新規制定された。ただ、JSS規格、本四公団規格（HBS）が重要視してきた特性（ねじり回数）において、ISO規格だけでは不足していた。そこで、ISO 19203規格を踏襲しつつHBS, JSSを元に日本独自のねじり特性要求値を反映したJIS G 3571規格が新規制定された。

ISO 19203-2018 Hot-dip galvanized and zinc-aluminum coated high tensile steel wire for bridge cables (←ワイヤ規格)

ISO 19427-2019 Steel wire ropes - Pre-fabricated parallel wire strands for suspension bridge main cable - Specifications (←ワイヤを六角形に束ねたストランド規格)

JIS G 3571-2020 平行線ケーブル用高強度亜鉛めっき鋼線及び亜鉛アルミニウム合金めっき鋼線 (←ISO19203に相当するワイヤ規格)

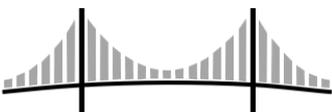
- 上記の他、高強度ワイヤを製造するための元となる線材のJIS規格も新たに制定された。

JIS G 3504-2020 橋りょう（梁）用線材

- JSS構造用ケーブル材料規格のうち、次の2規格についてJISとの整合を図り、JSS II 06（φ5mm級対象）、JSS II 11（φ7mm級対象）して改正された。

JSS II 06-2021 平行線ストランド (←JSS規格はワイヤとストランドを一つの規格として制定)

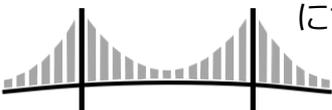
JSS II 11-2021 被覆平行線ケーブル (←同上)



# ISO/WG内で審議された要求品質特性項目(試験項目比較のみ)

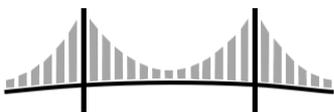
	中国当初申請案 →	ISO19203 (=JISG3571、JSS II 06,11-2021)	参考 JSS II 06-1994
ワイヤ径許容差	○	○	○
ワイヤ径偏径差	○	○	○
ワイヤ断面積	○	— (要求品質特性に不適)	—
ワイヤ重量	○	— (要求品質特性に不適)	—
ワイヤ引張強さ	○	○	○
ワイヤ耐力	○	○	○
引張破断後伸び	○	○	○
弾性係数	○	○	— ※2
ねじり回数	○	○	○
巻き付け性	○	○	○
めっき付着量	○	○	○
めっき付着性	○	○	○
屈曲性	○	— (局部試験、ねじり試験で代用)	—
直線性	○	○	○
引張疲労特性	○	特別品質特性 ※1	—
リラクセーション特性 I、II	○	特別品質特性 ※1	—
めっきの均一性	○	特別品質特性 ※1	—
めっき耐食性 (塩水噴霧試験)	—	特別品質特性 ※1	—

※1) 特別品質特性: 通常の工場生産管理の過程では要求されない特殊な品質特性。受渡し当事者間で事前に協定が必要な試験項目 ※2) 関門橋、因島大橋では特記仕様書にて規定実績有



# JSS構造用ケーブル材料規格改正点概要

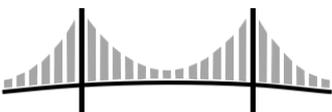
- ISO 19203-2018、JIS G 3571-2020はワイヤ規格であり、我が国には本四架橋用に規定された本四公団規格HBSを除くと、**ワイヤ集合体用の国内の規格は、日本鋼構造協会のJSS構造用ケーブル材料規格JSS II 06、11-1994のみ。**
- **JSS構造用ケーブル材料規格をJIS G 3571-2020に整合するよう、改正。**
  - JSS II 06-2021 平行線ストランド  
(主に吊橋のφ5mm級メインケーブルに使用、PPWS)
  - JSS II 11-2021 被覆平行線ケーブル  
(主に斜張橋、アーチ橋や吊橋のφ7mm級ハンガー材に使用、PWC)
- さらに、**建設案件の国際化に合わせて英語版も作成。**



# 世界のケーブル材料関連規格類

国	規格名他	対象、内容等	
ISO	ISO19203	国際標準化機構規格	Hot-dip galvanized and zinc-aluminum coated high tensile steel wire for bridge cables
	ISO19427		Pre-fabricated parallel wire strands for suspension bridge main cable
日本	JIS G3571	国家規格	平行線ケーブル用高強度亜鉛めっき鋼線及び亜鉛アルミニウム合金めっき鋼線
日本	JSS II 06 JSS II 11	協会規格	平行線ストランド (⇒PPWS) 被覆平行線ケーブル (⇒PWC)
中国	GB/T 17101 GB/T 36483 GB/T 39133 GB/T 18365	推薦性国家標準 (強制性国家標準はGB)	Hot-dip zinc or zinc-aluminium coated steel wires for bridge cables Main cable paralleled wire strands for suspension bridge (⇒PPWS) Suspender of suspension bridge (⇒PWC) Hot-extruded PE protection paralleled high strength wire cable for cable-stayed bridge (⇒PWC)
ノルウェー	Handbook R410	ノルウェー道路局マニュアル	Cables for suspension, cable-stayed and arch bridges
アメリカ	PTI DC45.1-18	PTI協会推奨標準	Recommendations for Stay Cable Design, Testing, and Installation
スイス	fib Bulletin 89	fib協会推奨標準	Acceptance of stay cable systems using prestressing steels, Recommendation
フランス	CIP recommendations on cable stays	フランス省間委員会推奨標準	Cable Stays: Recommendations of French Interministerial Commission on Prestressing

平行線ケーブル材料を含む規格

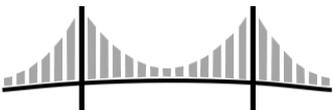


# 公的規格制定における現状と留意点

規格制定の現状と課題について知る上で、具体例として、JSS構造ケーブル規格改正のきっかけとなったISO規格、JIS規格制定の概要について紹介。

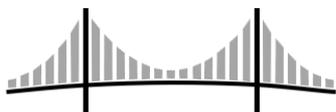
- ISO (International Organization for Standardization) 規格やJIS (Japan Industrial Standards) 規格制定の大前提は、ISOの例で言うと、国際的な取引をスムーズにするため同じ品質の製品を提供できるようにすること。
- 我が国はISOに加盟しており、ISO規格 = JIS規格が基本 (ただし、各国事情を反映可)
- では、このISO規格の品質項目、要求値などが、どのような手続きによって制定されているかという点、
  - 1) ISO内に設けた各国委員で構成されるWGにおいて、**国によって異なる要求品質 (国家規格、公団、協会規格などが前提) を集め、単純化した表現では、この中で標準的な品質を求め、これをISO要求品質として更に標準化 (standardization) という手続き。**このため、
    - ⇒ **自国内に規格、基準類が整備されていることが前提**
    - ⇒ **社内規格・社内基準類は標準化議論の対象外** (標準化の対象項目外)
  - 2) 規格の新規作成あるいは更新の際には加盟国に通知
    - ⇒ **自国に不利とならないよう積極的に規格作成WGに参加することが重要かつ**

必要



# まとめ

- 橋梁ケーブル材料規格の変遷より分かるように、我が国では建設工事に合わせて規格整備され、適用されてきた。また、その実績がケーブルワイヤのISO規格作成において根拠のある規格として他国の理解を得る材料となった。このように、規格、基準類の整備は重要であり、必須。
- ケーブルワイヤのISO規格化は、中国からの自国の国家規格をISO規格にするという戦略的なアプローチに端を発していたが、これは国際化を果たす上では理にかなった一方法。将来、グローバルに使用される技術については、積極的に協会規格化 → JIS、ISO規格化するなどの戦略を図る、あるいは他国からそのような規格申請があった場合は積極的に関わって自国に不利にならないようにすることが重要であり、必須。
- 橋梁ケーブル調査研究小委員会は、このような規格や基準類の整備に繋がる技術資料の提供を目的の一つとして活動します。



# 橋梁ケーブル調査研究小委員会HPの紹介

当委員会ではホームページ（<https://BridgeCableResearchJp.org>）を開設し、技術情報を発信するとともに、技術的なお問い合わせにも対応できるようにしています。

橋梁ケーブル調査研究小委員会は、橋梁ケーブルに関する課題解決のための調査研究活動を中立的、第三者的立場で行っている委員会です。

## 橋梁ケーブル調査研究小委員会 Bridge Cable Research Japan

[トップページ](#)

[委員会活動](#)

[技術情報](#)

[関連規格・技術基準](#)

[吊構造橋梁情報投稿フォーム](#)

[技術的なお問い合わせ](#)



橋梁ケーブル調査研究小委員会は(一社)日本鋼構造協会の技術・標準委員会に属する小委員会であり、橋梁ケーブルに関する課題解決のための調査研究活動を中立的、第三者的立場で行うため、2023年10月に正式発足しました。

吊構造橋梁情報  
投稿フォーム

