

第17回技術シンポジウム

新技術で拓くインフラ長寿命化：リニューアル戦略と性能回復・蘇生への挑戦

～持続可能な社会を支えるインフラの未来～

令和7年11月17日(月) 13:30-17:20

アクロス福岡 B2F イベントホール (福岡市中央区天神 1-1-1)

主 催：九州大学

共 催：西日本高速道路株式会社

後 援 国土交通省九州地方整備局 (公社) 土木学会西部支部 (公社) 地盤工学会九州支部
(一社) 九州橋梁・構造工学研究会 (一社) 建設コンサルタント協会九州支部
(一社) 日本建設業連合会九州支部 (一社) 九州地域づくり協会

目 次

«講 演 1»

『持続可能な社会の実現に向けた資源循環・廃棄物処理システムの研究』 1

中山 裕文（九州大学大学院 工学研究院 環境社会部門 教授）

«講 演 2»

『鋼構造の耐震・長寿命化に資する『耐疲労鋼』の研究開発』 15

吉中 奎貴（国立研究開発法人 物質・材料研究機構 構造材料研究センター材料創製分野 加工熱処理プロセスグループ 主任研究員）

«講 演 3»

『新たな技術を活用した鉄道インフラの効率的な設備診断』 23

庄野 真也（西日本旅客鉄道株式会社 施設部 施設技術室 担当課長）

«講 演 4»

『高経年化する送電鉄塔の保全技術の高度化』 31

善甫 遼（東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所 技術開発部 材料・化学エリア）

«講 演 5»

『重度腐食した耐候性鋼材の素地調整におけるアブレイシブ・ウォータージェット新技術の実用展開』 39

豊田 雄介（西日本高速道路株式会社 関西支社 保全サービス事業部 改築第二課 課長代理）

■過去の技術シンポジウムポスター/チラシは下記よりPCまたはスマートフォン等で確認することができます

URL : <https://www.kyushu-u-nexco.jp/symposium/>



第17回 技術シンポジウム

新技術で拓く ひら インフラ長寿命化

リニューアル戦略と性能回復・蘇生への挑戦

～持続可能な社会を支えるインフラの未来～

令和7年
11月17日(月) 13:30-17:20
開場時間 13:00

アクロス福岡 B2F イベントホール
(福岡市中央区天神1-1-1)

プログラム

13:30~13:35	開会挨拶
13:35~14:10	講演1 『持続可能な社会の実現に向けた資源循環・廃棄物処理システムの研究』 中山 裕文(九州大学大学院 工学研究院 環境社会部門 教授)
14:10~14:45	講演2 『鋼構造の耐震・長寿命化に資する『耐疲労鋼』の研究開発』 吉中 奎貴(国立研究開発法人 物質・材料研究機構 構造材料研究センター 材料創製分野 加工熱処理プロセスグループ 主任研究員)
15:00~15:35	講演3 『新たな技術を活用した鉄道インフラの効率的な設備診断』 庄野 真也(西日本旅客鉄道株式会社 施設部 施設技術室 担当課長)
15:35~16:10	講演4 『高経年化する送電鉄塔の保全技術の高度化』 善甫 遼(東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所 技術開発部 材料・化学エリア)
16:25~17:00	講演5 『重度腐食した耐候性鋼材の素地調整におけるアブレイシブ・ウォータージェット新技術の実用展開』 豊田 雄介(西日本高速道路株式会社 関西支社 保全サービス事業部 改築第二課 課長代理)
17:00~17:15	学生アイデア発表 道路工学実践教室 最優秀賞
17:15~17:20	閉会挨拶

開催方法

会場開催のみとなります。

会場開催

HPの「シンポジウム参加申し込み」からお申し込みください。

※事前申し込みの方の当日参加はお断りいたします。

※土木学会認定CPDプログラム(認定番号 JSCE25-1074)

申込み先

※その他注意事項も併せてご確認ください。
<https://www.kyushu-u-nexco.jp/index.html>
申し込み締め切り 11月7日(金)



第17回技術シンポジウム

新技術で拓くインフラ長寿命化

リニューアル戦略と性能回復・蘇生への挑戦
～持続可能な社会を支えるインフラの未来～

近年、高度経済成長期に集中的に整備された社会インフラの老朽化が進行しており、これらの適切な維持管理・更新は、技術者にとってこれまで以上に重要な課題となっています。インフラの維持管理における課題の背景には、必要な財源の不足、技術者の減少、さらには地震や豪雨などの災害リスクの増大といった複合的な要因が存在します。これらの課題に対し、従来の手法だけでは対応が困難となっており、新たな技術や戦略の導入が求められています。

本シンポジウムでは、「新技術で拓くインフラ長寿命化:リニューアル戦略と性能回復・蘇生への挑戦～持続可能な社会を支えるインフラの未来～」をテーマに、インフラ分野の第一線で活躍する専門家をお招きし、最新の技術や知見を紹介いただき、多角的な視点からインフラの未来を展望します。

本シンポジウムを通して、インフラの長寿命化に向けた新たな視点や革新的な解決策を共有し、持続可能な社会の実現に向けて、参加者の皆様とともに知見を深める貴重な機会としたいと考えております。

講演者略歴



中山 裕文 (なかやま ひろふみ) 九州大学大学院 工学研究院 環境社会部門 教授

1999年、九州大学大学院工学研究科都市環境システム工学専攻博士後期課程を修了、博士(工学)。同年、日本学術振興会特別研究員(JSPS)を経て、2000年より九州大学大学院工学研究院に勤務。以来、環境システム学、資源循環・廃棄物工学の教育・研究に従事している。研究テーマは、資源循環・廃棄物システムの環境・経済評価、IoT技術を活用した資源循環の高度化、最終処分場の環境安全性評価など。



吉中 奎貴 (よしなか ふみよし) 国立研究開発法人 物質・材料研究機構 構造材料研究センター
材料創製分野 加工熱処理プロセスグループ 主任研究員

2013年北海道大学工学部卒業、2015年同大学大学院工学院博士前期課程を修了。2018年同大学大学院工学院博士後期課程修了、博士(工学)取得。博士課程では放射光測定技術を用いたチタン合金の超長寿命域における疲労特性を研究。同年より国立研究開発法人物質・材料研究機構 構造材料研究拠点(現構造材料研究センター)に所属し、疲労耐久性に優れた合金の開発・評価に関する研究に従事。



庄野 真也 (しょうの しんや) 西日本旅客鉄道株式会社 施設部 施設技術室 担当課長

2002年西日本旅客鉄道株式会社に入社し、在来線の保線現場区所に配属。鉄道本部施設部保線課(公財)鉄道総合技術研究所出向で軌道の材料設計を担当。2015年鉄道本部施設部施設技術室で画像解析などの技術開発を担当し、鉄道本部施設部保線課課長代理、下関保線区長を経て、2023年から現職。生産年齢人口減少の社会的課題に対し、画像解析や点群測量を活用した鉄道設備点検の生産性向上に資する技術開発を担当している。



善甫 遼 (せんぽりょう) 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所 技術開発部 材料・化学エリア

2014年、芝浦工業大学大学院理工学研究科材料工学専攻修了。同年から、高周波熱処理(鉄鋼材料熱処理メーカー)にて製品の不具合調査業務に従事。2019年から旭化成㈱にてプラント設備の設備材料に関する問題解決業務に従事。2024年から東京電力ホールディングス㈱にて送電設備や水力発電設備の設備材料トラブルの技術支援に従事。現在に至る。



豊田 雄介 (とよた ゆうすけ) 西日本高速道路株式会社 関西支社 保全サービス事業部 改築第二課 課長代理

2011年に西日本高速道路株式会社に入社し、高速道路の維持管理や新規建設工事に従事。2015年から株式会社高速道路総合技術研究所に出向し、橋梁の補修技術等に関する研究に従事。復職後は関西支社建設事業部、本社技術本部技術環境部を経て、2023年より現職。関西支社内の耐震補強事業を始めとした橋梁の改築事業に従事。

講 演 1

持続可能な社会の実現に向けた 資源循環・廃棄物処理システムの研究

中山 裕文

(九州大学大学院 工学研究院 環境社会部門 教授)

持続可能な社会の実現に向けた 資源循環・廃棄物処理システムの研究

～最終処分場遮水シートの長期耐久性評価～

九州大学大学院工学研究院環境社会部門
資源循環・廃棄物工学研究室
中山 裕文

1

2

SDGs：廃棄物分野に求められるキーワード

1. 廃棄物処理施設の長期環境安全性・レジリエンスの向上
2. カーボンニュートラル（炭素中立）
3. ネイチャーポジティブ（自然再興）
4. サーキュラーエコノミー（循環経済）

主な研究テーマ



本日の講演内容

1. 最終処分場の環境安全性を担保する遮水工
2. 遮水シートの劣化メカニズム
3. 長期間経過した遮水シートの耐久性

4

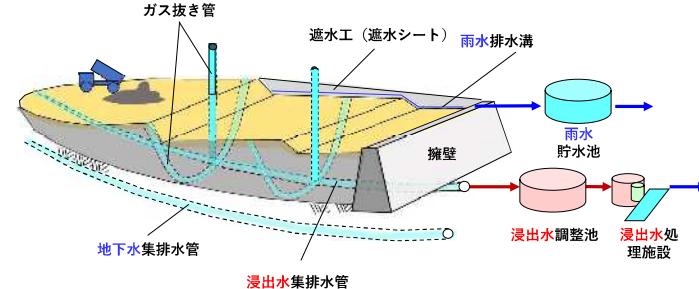
1. 最終処分場の環境安全性を担保する遮水工

5

最終処分場の主な機能と施設

主な機能

1. 保管機能
2. **遮水機能**
3. 廃棄物の安定化機能
4. 閉鎖後の土地の再利用



6

埋立地の主要施設（埋立前の福岡市中田埋立地、1996頃）

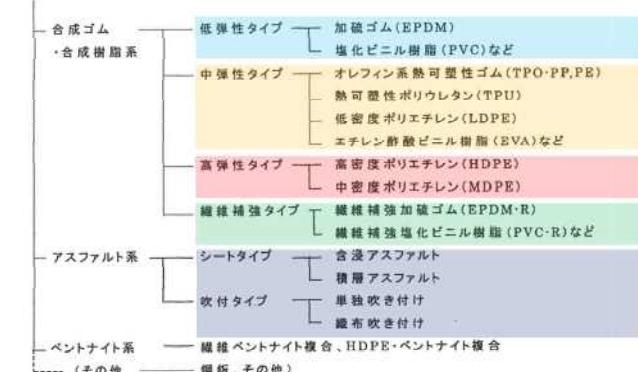
赤の破線内： 埋立地（および埋立地を構成する施設）
青字の施設： 最終処分場の付帯施設



7

遮水シートの種類

遮水シート



8

遮水シートに求められる基本物性

透水係数



引張強度

伸び

厚さ

引裂強度



引張強さ試験

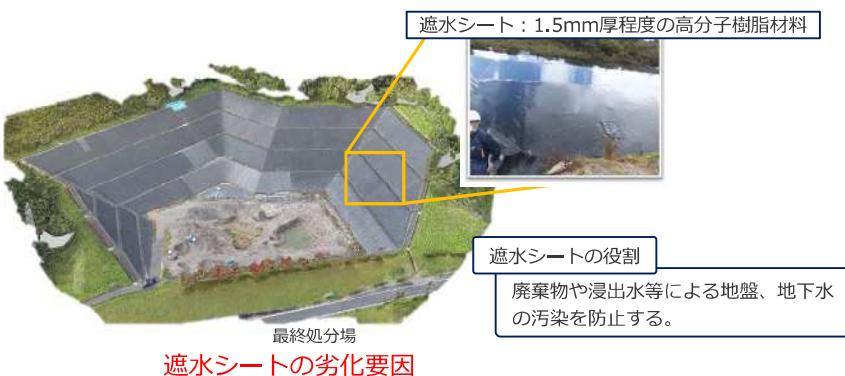
全国都市清掃会議：廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領

1

2. 遮水シートの劣化メカニズム

10

遮水シートの機能と劣化要因



遮水シートの劣化要因



による劣化作用を受ける。

紫外線 風雨 浸出水

1

敷設後長期間経過した遮水シートサンプリング

- ・国内の一般廃棄物最終処分場から、遮水シート(TPO)をサンプリング
 - ・各遮水シートサンプルを、「法面の向き」「暴露条件」で分類

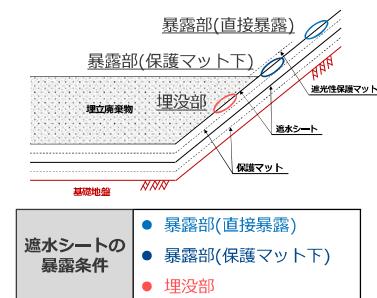


泰路即(直按泰路) 泰路即(休護マットト) 埋没即

※ 埋没部の遮水シートは、供用開始から数年間は直接暴露された後に廃棄物や覆土の下に埋まった状態のものである(例:直接暴露8年⇒埋没12年)。

12

暴露部と埋没部の遮水シート



13

遮水シートの劣化の度合をどのように評価するか？

引張試験による力学特性評価

遮水シートの引張試験を実施し、「引張強さ」と「破断時伸び」を計測した。未使用サンプルの試験値から性能保持率を計算し、力学特性の変化を各サンプルで比較した。

表面および厚さ方向の亀裂発生評価

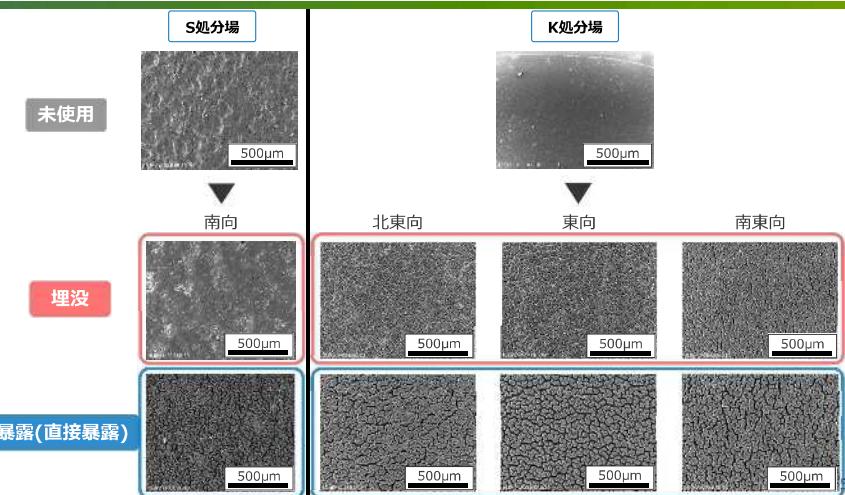
遮水シート表面のSEM像(100×)から亀裂の発生状況を観察した。得られたSEM像を2値化処理し、亀裂発生を数値化した。また、厚さ方向への亀裂の評価として、表面の粗さ測定を実施した。

FT-IRによる表面の酸化劣化評価

表面の酸化劣化により生成するカルボニル基(C=O)の発生を、FT-IR(フーリエ変換赤外分光光度計)により観察した。表面での酸化劣化の程度を、各サンプルで比較した。

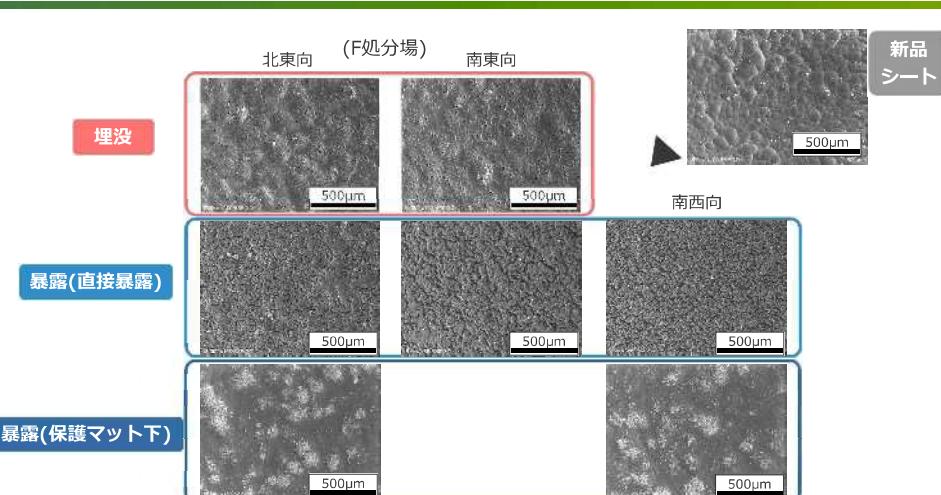
14

遮水シート表面の顕微鏡写真 (S,K処分場)



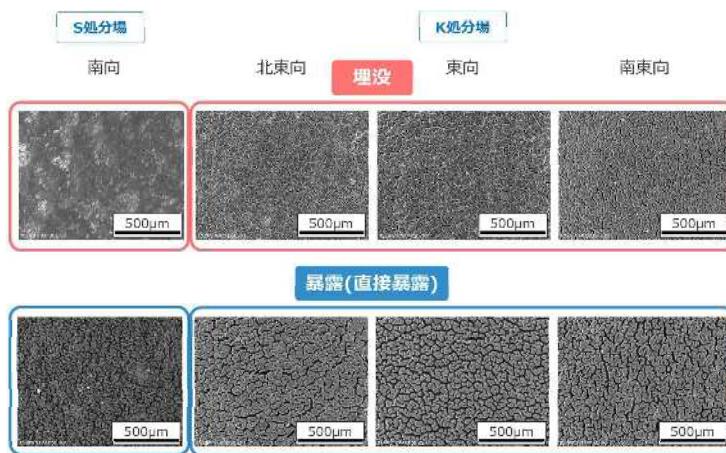
15

遮水シート表面の顕微鏡写真



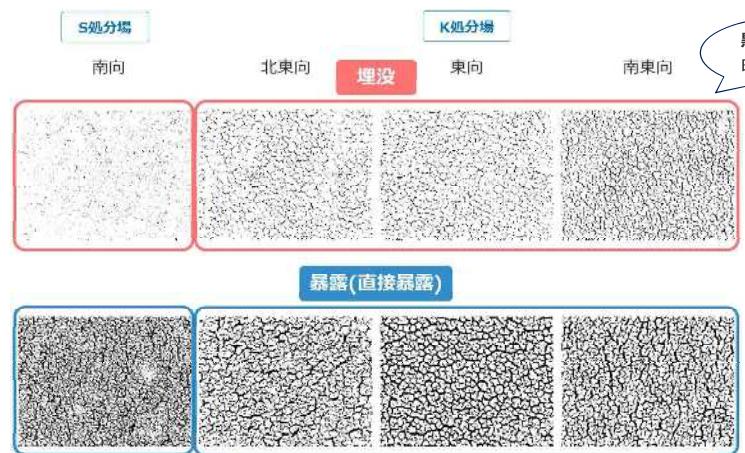
16

2値化処理による表面亀裂評価（2値化処理前）



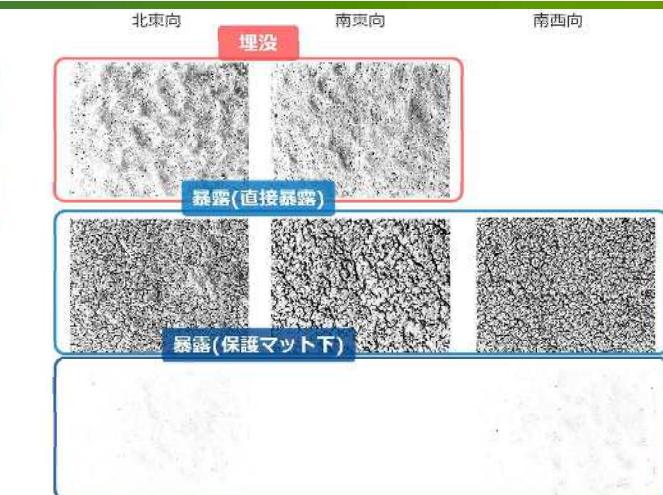
17

2値化処理による表面亀裂評価（2値化処理後）



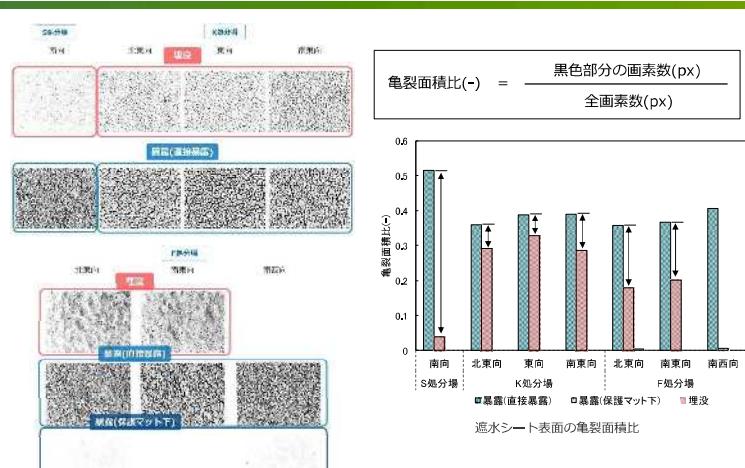
18

2値化処理による表面亀裂評価



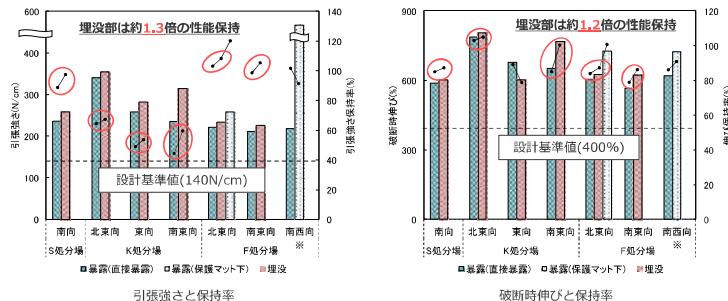
19

2値化処理による表面亀裂評価



20

引張試験による力学特性評価



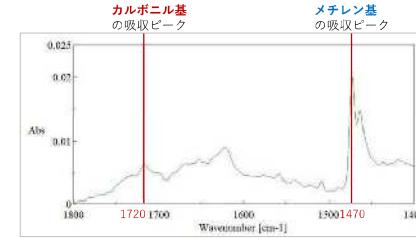
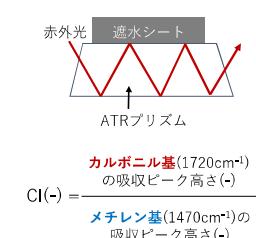
- すべての遮水シートが日本遮水工協会の定めた設計基準値を上回っており、基準値以下となる著しい力学特性の低下はみられなかった。
- 埋没部**の遮水シートは、**直接暴露**された遮水シートと比較して、初期の力学特性を維持している傾向がみられた。

21

FT-IR測定による酸化劣化評価

原理 遮水シートに赤外線を照射し、透過または反射した光を検出することで、試料表面のスペクトルを得る

目的 酸化によって出現するカルボニル基(C=O)の吸収ピークを検出し、酸化劣化の度合いを評価する



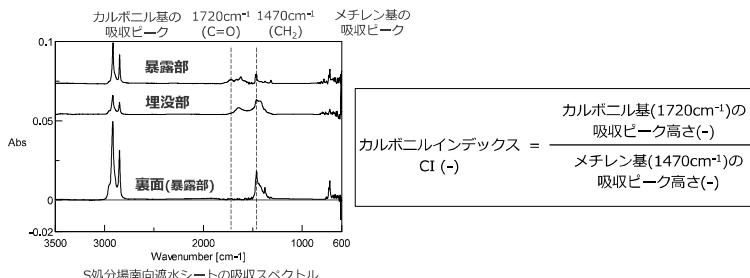
遮水シートの吸収スペクトルの一例

22

FT-IRによる表層の酸化劣化評価

原理 遮水シート表面に赤外光を照射し、返ってくる反射光の吸収スペクトルから、表層の化学構造の情報を得る。

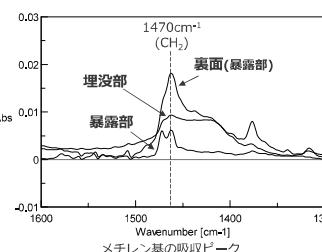
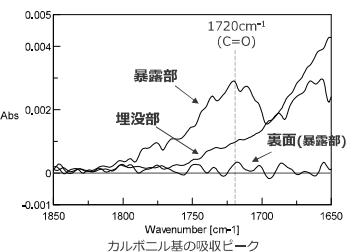
目的 酸化によって出現するカルボニル基(C=O)の吸収ピークを検出し、酸化劣化の進行を各サンプルで比較する。



23

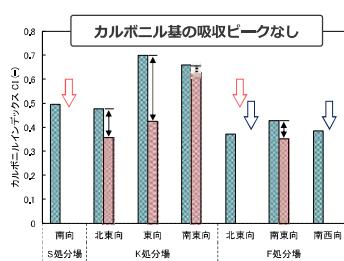
カルボニルインデックス

$$\text{カルボニルインデックス} = \frac{\text{カルボニル基}(1720\text{cm}^{-1})\text{の吸収ピーク高さ}(-)}{\text{メチレン基}(1470\text{cm}^{-1})\text{の吸収ピーク高さ}(-)}$$

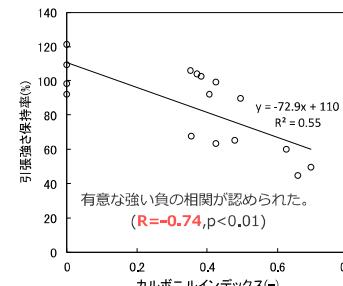


24

カルボニルインデックスによる劣化評価



遮水シート表面のカルボニルインデックス



「引張強さ保持率」と「カルボニルインデックス」の関係

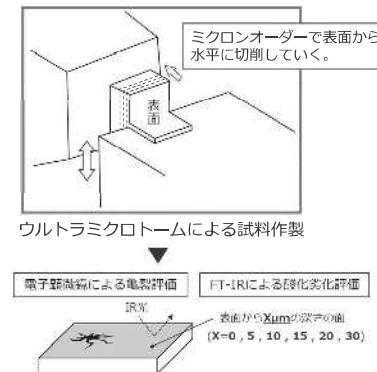
- 直接暴露された遮水シートではカルボニル基の吸収ピークが確認された
- 一部の埋没部・保護マット下の遮水シートではカルボニル基の吸収ピークが確認されなかった。

25

遮水シート表面からの深さ方向への劣化度合の評価

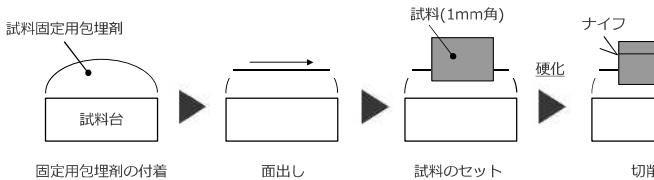


遮水シートのサンプリング箇所



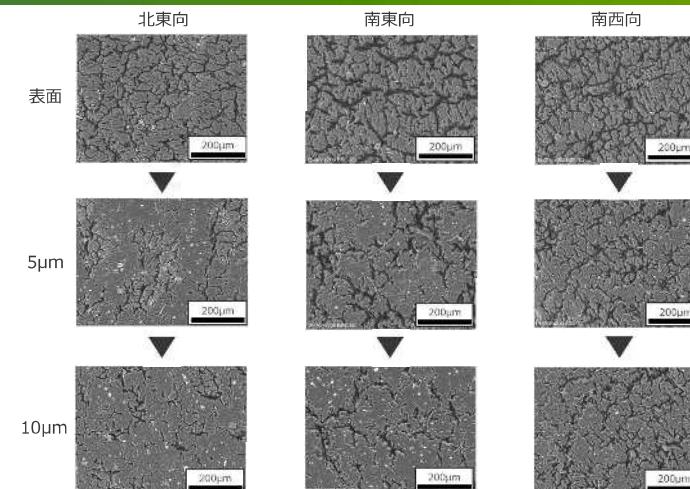
26

ウルトラミクロトームによるシートの切削

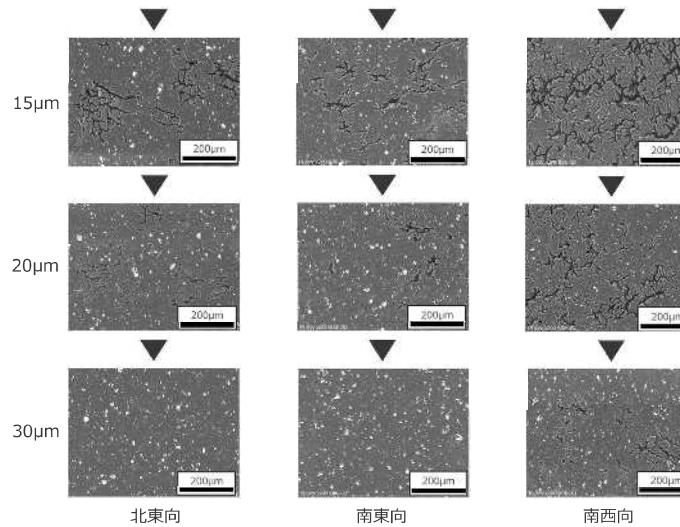


27

深度別の亀裂発生評価

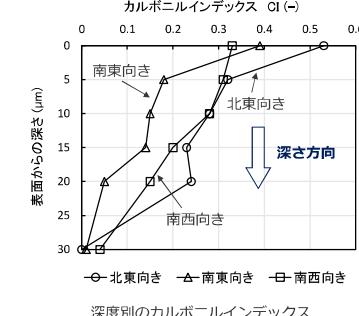
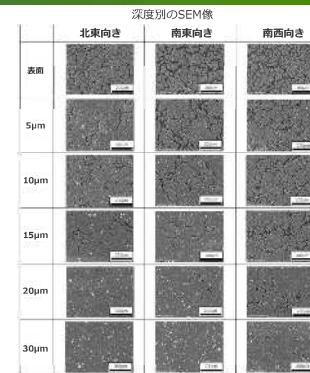


28



29

カルボニルインデックスによる劣化評価



- 遮水シート表層に向かって、カルボニル基の吸収ピークが高くなり、カルボニルインデックスの値も増加していることが確認された。
- 供用開始から20年もの間、日光に直接暴露された遮水シートであったが、劣化は表面から30μm程度の表面近傍に留まっていることが分かった。

30

表面から深さ方向の劣化の進行の評価

- 表面顕微鏡観察の結果、表面では無数に発生した亀裂も、表面から深くなるにつれて減少していく様子を確認することができた。
- FT-IR測定の結果、酸化劣化によって現れるカルボニル基の吸収ピークの高さが各深度別で異なり、カルボニルインデックスの値は表面から深くなるにつれて減少していく様子を確認することができた。



- 深さ方向分析から、約20年もの間、日光に直接暴露されていた遮水シートでも、劣化の進行は1.5mm(1,500μm)のシート厚に対して30μmと表面近傍に留まっている。

31

3. 長期間経過したシートの耐久性

32

さらに長期間経過したシート（現場で26-28年+促進暴露でさらに50年）

メタハラによる促進暴露試験：

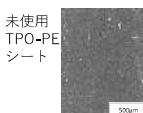
屋外で使用される高分子材料は、紫外線、可視光線、熱、湿度などによって劣化する。このような劣化現象を迅速に再現するために、自然暴露よりも短時間で劣化を引き起こす促進暴露試験を行う。メタルハライドランプは、太陽光に近いスペクトルを持つ人工光源として、この試験で使用される。

処分場名 (県名)	材質	厚さ	法面の方角	暴露条件	現場経過年数(年)	促進時間(h)
O(福島) K(群馬)	TPO-PE	1500μm (1.5mm)	南	遮光性保護マット下	26	0-3360 の7ケース
					28	

促進時間(h)	屋外暴露相當年数(年)
0	0
480	7.5
960	15
1,440	22.5
1,920	30
2,640	40
3,360	50

33

顕微鏡観察による亀裂発生評価



現場暴露（26-28年）の屋外暴露相当年数(年)

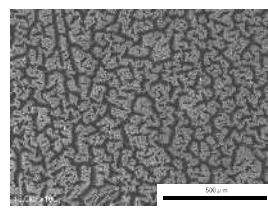
	0	7.5	15	22.5	30	40	50
O处分場 現場暴露 26年							
K处分場 現場暴露 28年							

34

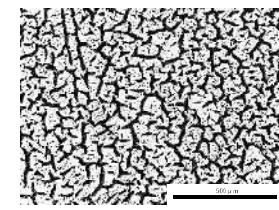
2値化処理による亀裂発生状況の定量的評価

顕微鏡写真的輝度値に閾値を設けることで2値化処理し³⁾、亀裂部分の画素数を全画素数で除した値である「亀裂面積比」を定義することで亀裂の発生状況を定量化した。

$$\text{亀裂面積比} = \frac{\text{黒色部分の画素数(px)}}{\text{全画素数(px)}}$$



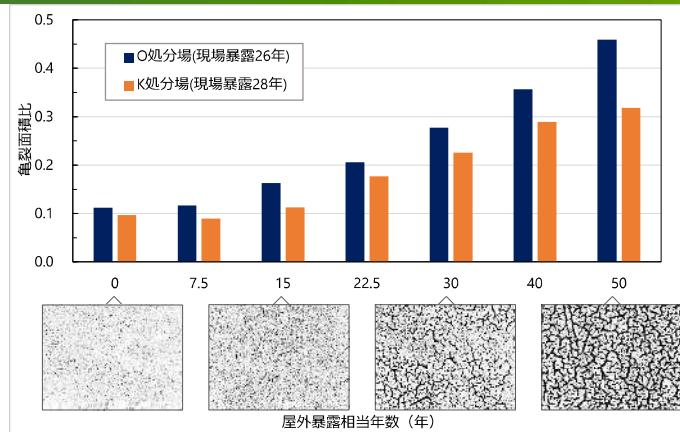
2値化処理前のSEM画像



2値化処理後のSEM画像

35

亀裂の面積の定量的評価

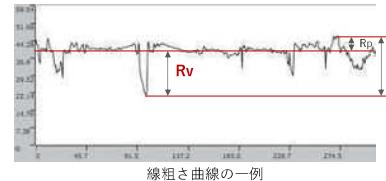
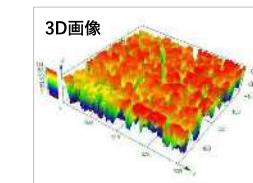
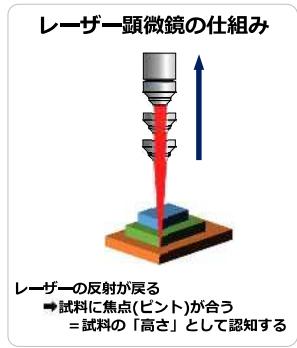


屋外暴露相当年数と亀裂面積比の関係

36

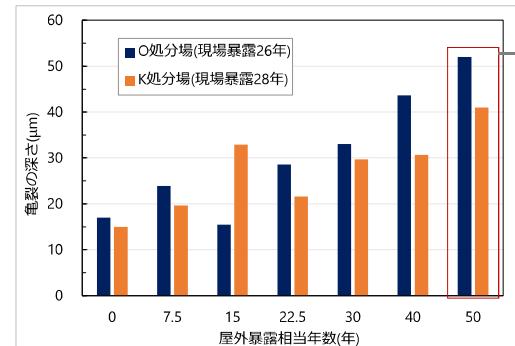
表面粗さ分析による亀裂発生の深さ評価

測定機器：3D測定レーザー顕微鏡
(OLS4500)



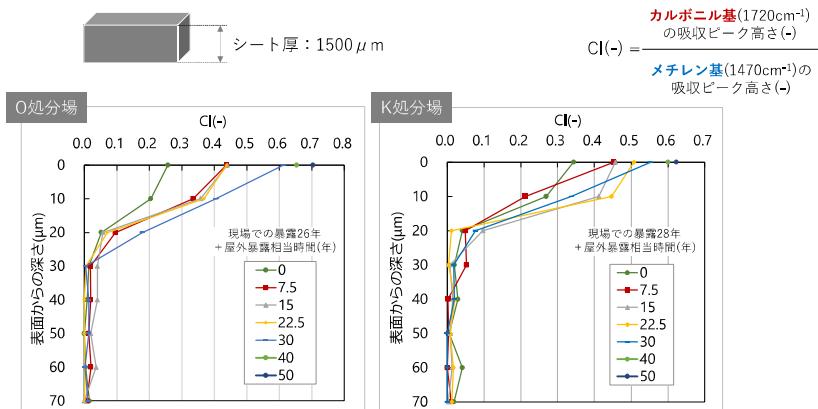
37

表面粗さ分析による亀裂発生の深さ評価



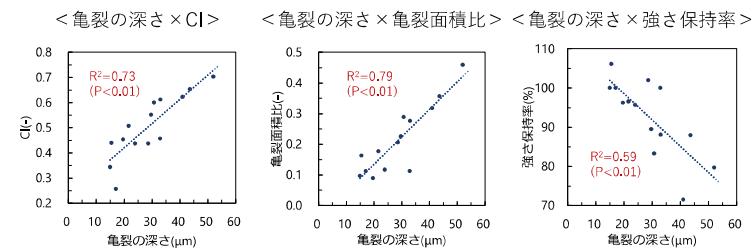
38

FT-IR測定による深度別の酸化劣化評価



39

劣化要因間の相関関係



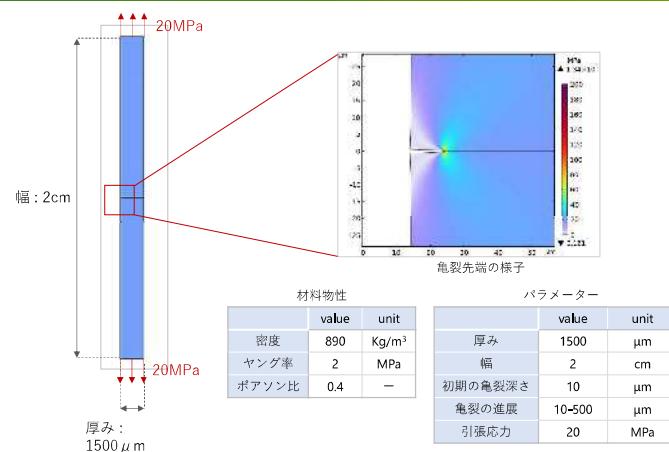
表面が酸化され分子切断
が生じる化学的劣化

▶ 亀裂の発生、進行

▶ 力学的特性の低下

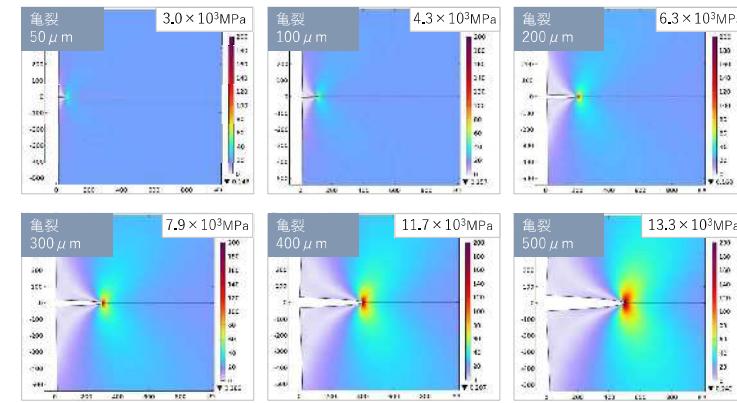
40

亀裂進展と応力に関する数値シミュレーション



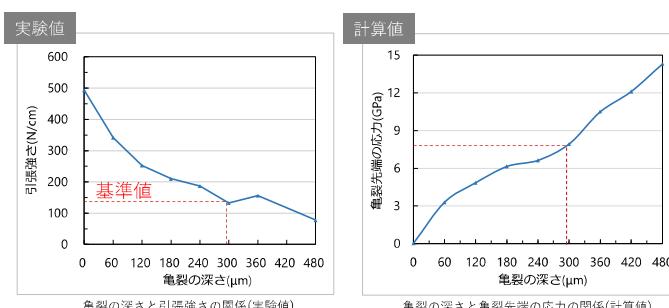
41

亀裂進展と応力に関する数値シミュレーション



42

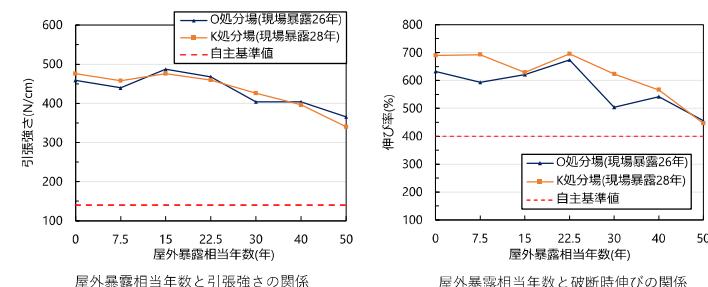
亀裂進展と応力に関する数値シミュレーション



- シートの亀裂深さが約300 μm (シート厚さの5分の1) を超えると、シートの引張強さは基準値を下回る。
- 亀裂深さが300 μmのとき、亀裂先端の約8 GPaの応力が集中する (シートに作用させた引張試験時の引張応力20 MPaの400倍)。
- 亀裂が深くなると亀裂先端の応力集中が大きくなり、シートが破断する原因となる。
- 一方、現場で26-28年+促進暴露50年分が経過したシートでも、亀裂深さは50 μm程度であった。

43

現場で26年、促進暴露50年分が経過した遮水シートの力学特性



- 屋外暴露相当年数が増えるにつれて、引張強さ・伸び率は減少傾向を示した。
- 現場での26-28年の暴露に加え、約50年相当の促進暴露を行ったサンプルにおいても、「引張強さ」「伸び率」とともに自主基準値を上回っていた。

44

まとめ：屋外暴露相当50年に及ぶ劣化を受けた遮水シート

① 力学特性評価

現場で26-28年、促進暴露50年に及ぶ劣化を受けた遮水シートでも、力学的特性は基準値を上回っていた。

② 酸化劣化評価

酸化劣化の深さはシート厚1500 μm に対して、表面から30 μm 未満であった。

③ 亀裂発生評価

亀裂の深さはシート厚1500 μm に対して40-50 μm であった。

④ 劣化要因間の相関関係

亀裂の深さとCI、亀裂面積比の間には正の相関関係が存在し、亀裂の深さと引張強さ保持率の間には負の相関関係が存在していた。

⑤ 数値シミュレーション

数値シミュレーションの結果、亀裂深さが300 μm を超えると、シートの引張強さは基準値以下となる。一方で現場で26-28年、促進暴露50年分が経過したシートの亀裂深さは50 μm 程度であった。

45

遮水シートの劣化メカニズムと長期耐久性

- 紫外線や熱により遮水シートの表面が酸化されることで分子切断が生じカルボニル基が発生する**化学的劣化**が始まる。
- 化学的劣化が進行した部分では、亀裂が発生する。
- 亀裂の進行により、シートの**力学的特性が低下**していく。
- ただし、今回用いたサンプルは、表面からの劣化深度が浅く、引張強さ等のシートの物性が基準値以下となることはなかった。

46

–メモ用紙としてお使いください–

講 演 2

鋼構造の耐震・長寿命化に資する 『耐疲労鋼』の研究開発

吉中 奎貴

(国立研究開発法人 物質・材料研究機構 構造材料研究センター材料創製分野
加工熱処理プロセスグループ 主任研究員)

鋼構造の耐震・長寿命化に資する『耐疲労鋼』の研究開発

鋼構造の耐震・長寿命化に資する『耐疲労鋼』の研究開発

国立研究開発法人 物質・材料研究機構
吉中 奎貴



鋼構造の耐震・長寿命化に資する『耐疲労鋼』の研究開発

- 01 ● NIMS概要
- 02 ● 疲労耐久性に優れた新鋼材の開発と適用事例
- 03 ● 溶接性を改善した耐疲労鋼の開発
- 04 ● 耐食性を考慮した耐疲労鋼の開発

01 ● NIMS概要

02 ● 疲労耐久性に優れた新鋼材の開発と適用事例

03 ● 溶接性を改善した耐疲労鋼の開発

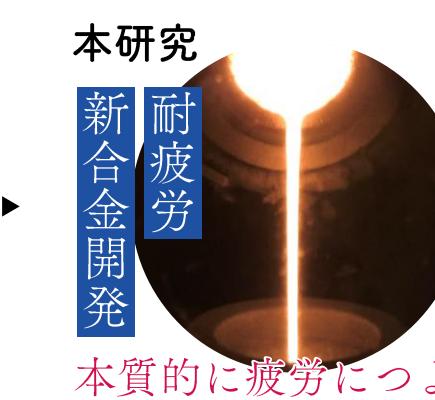
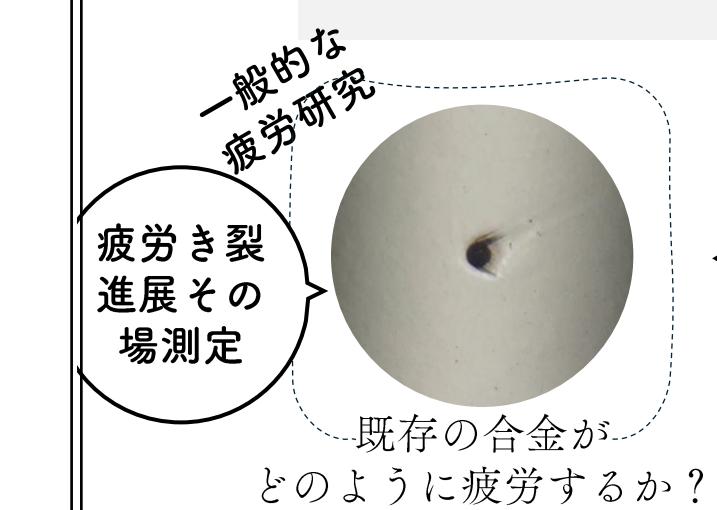
04 ● 耐食性を考慮した耐疲労鋼の開発

02

Summary
疲労耐久性に優れた新鋼材の開発と適用事例

金属疲労につよい合金の開発

合金設計の問題として金属疲労を打破



本質的に疲労につよい
合金をつくりこむ

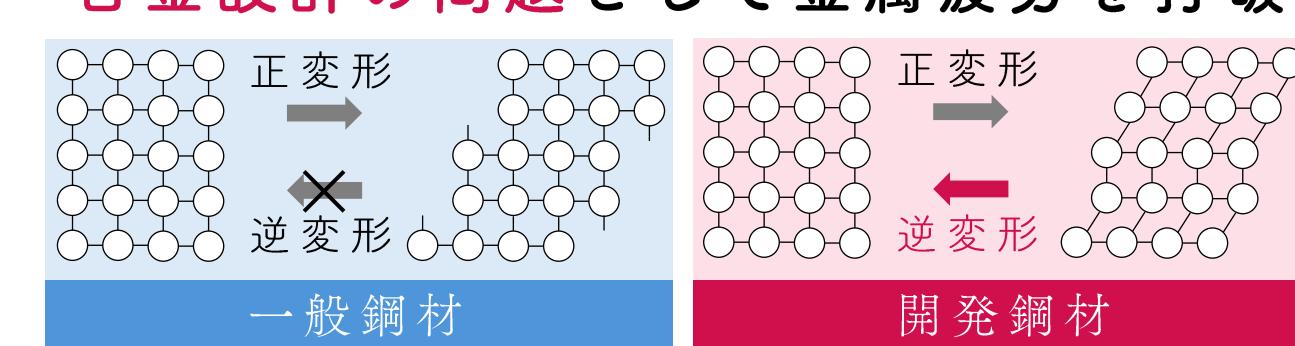
新合金で社会問題解決

三大都市圏で6分以上継続する長周期地震動が予測

深刻な疲労損傷

鋼材ダンパー

疲労につよい新合金で
地震から建物・人命を守る！



一般的な
疲労研究
疲労き裂
進展その
場測定
既存の合金が
どのように疲労するか？

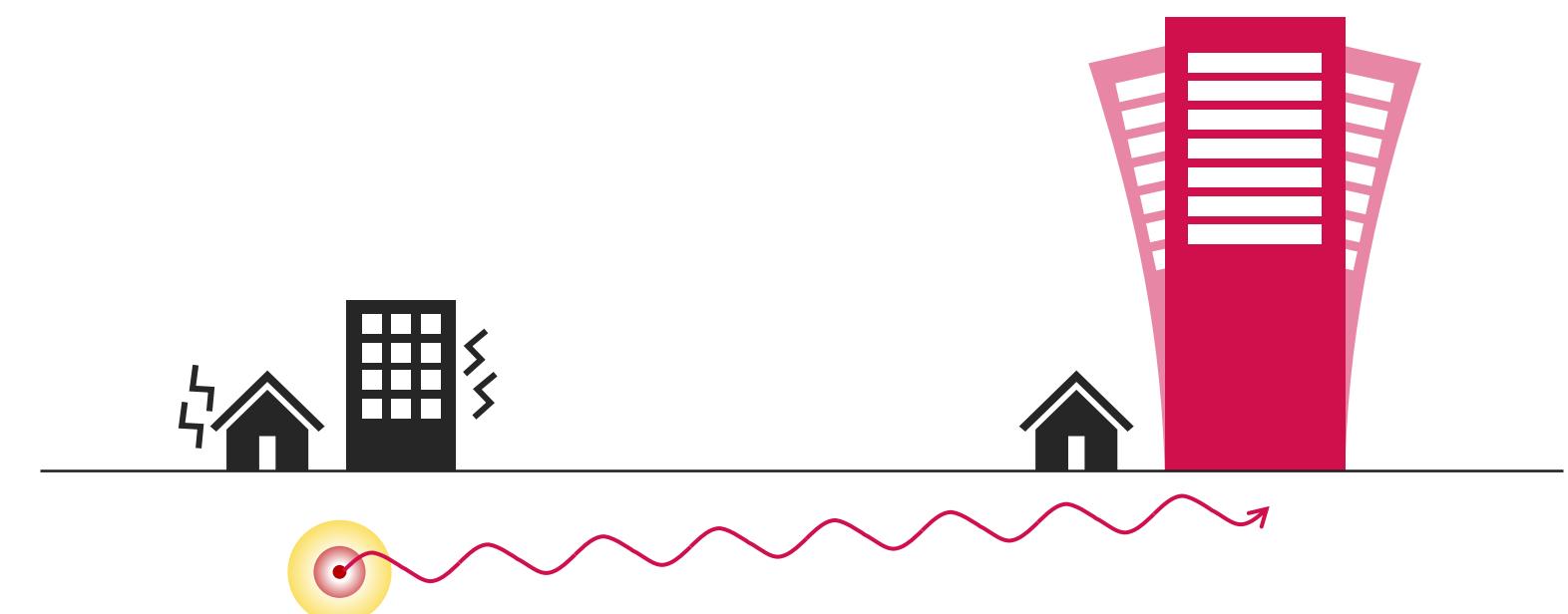
南海トラフ地震時に想定される揺れの継続時間

内閣府防災情報のページ(https://www.bousai.go.jp/kohou/kouhoubousai/h27/82/special_01.html)

01

Background

巨大地震における長周期地震動



- 減衰されにくい長周期成分は数百km離れた遠方まで到達
- 固有周期の長い超高層ビル等が長時間、大振幅で揺れる

巨大地震における長周期地震動への対策

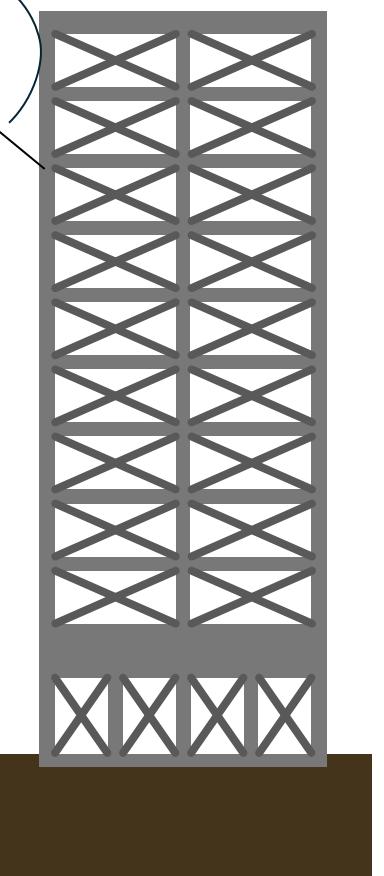
02

Background

建築物の地震対策としての三構造：耐震/免震/制振構造

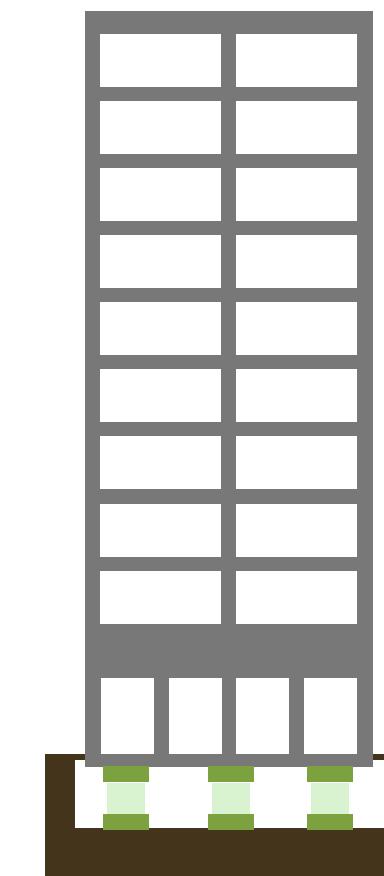


主要構造体が塑性変形することによるエネルギー吸収



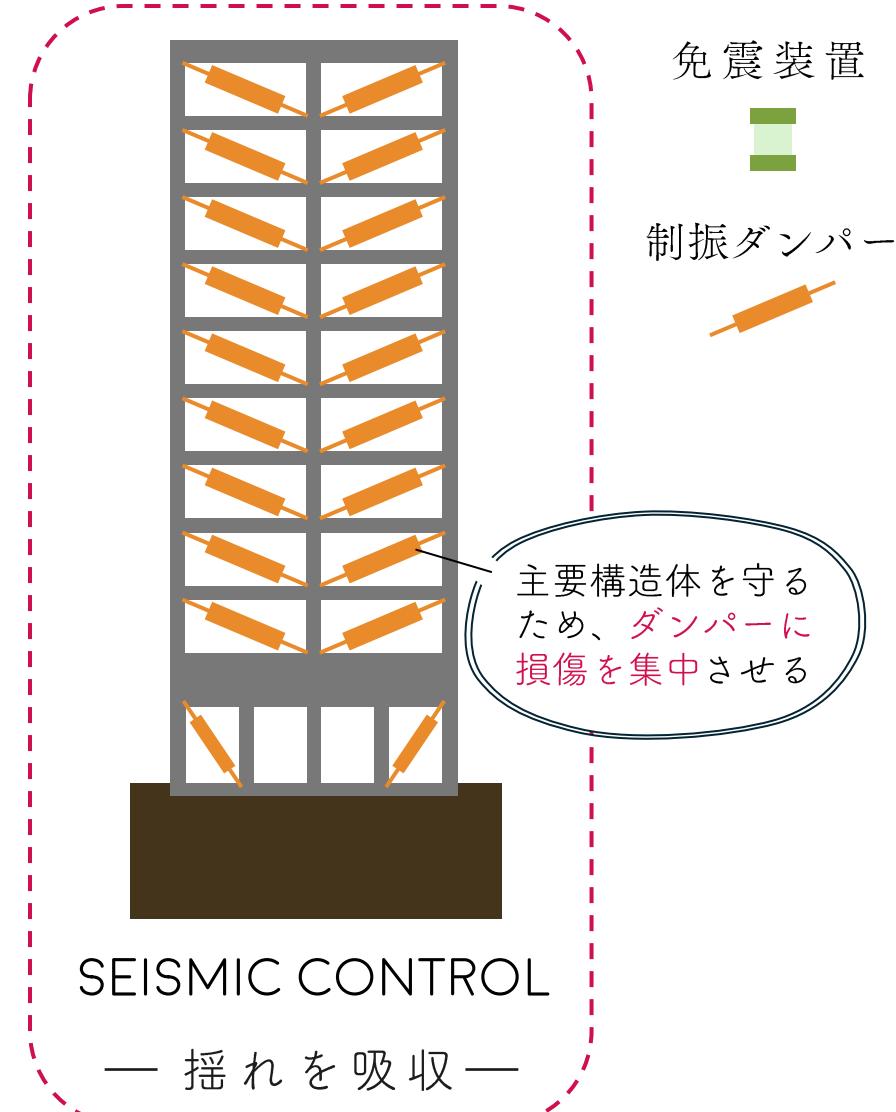
SEISMIC RESISTANCE

— 摆れに抵抗 —



SEISMIC ISOLATION

— 摆れを伝えない —



免震装置
制振ダンパー

主要構造体を守るために、ダンパーに損傷を集中させる

SEISMIC CONTROL

— 摆れを吸収 —

5

6

03

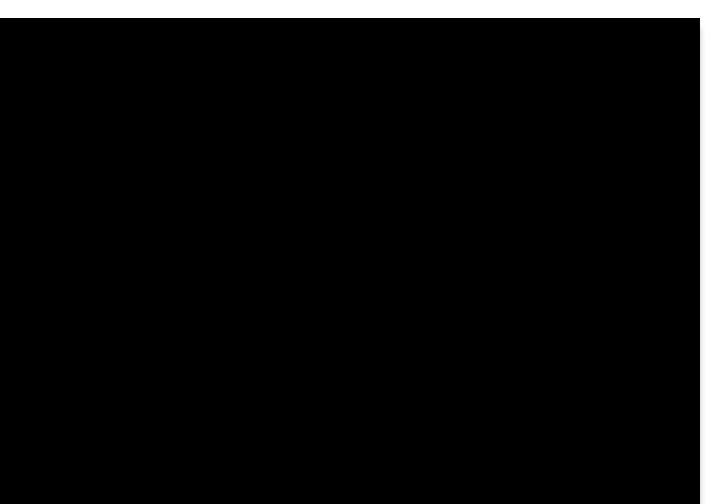
Background

鋼材ダンパー



鋼材ダンパー

- 他種ダンパーに比べ低コストで高シェア
- 建物に剛性を付与し固有周期を制御可能
- 繰返し弾塑性変形による振動エネルギー吸収



低サイクル疲労

多数回大変形

×

長周期地震動

… 加えて、多数の余震や内陸型地震に対する、さらなる「安全余裕度」のニーズ

!!

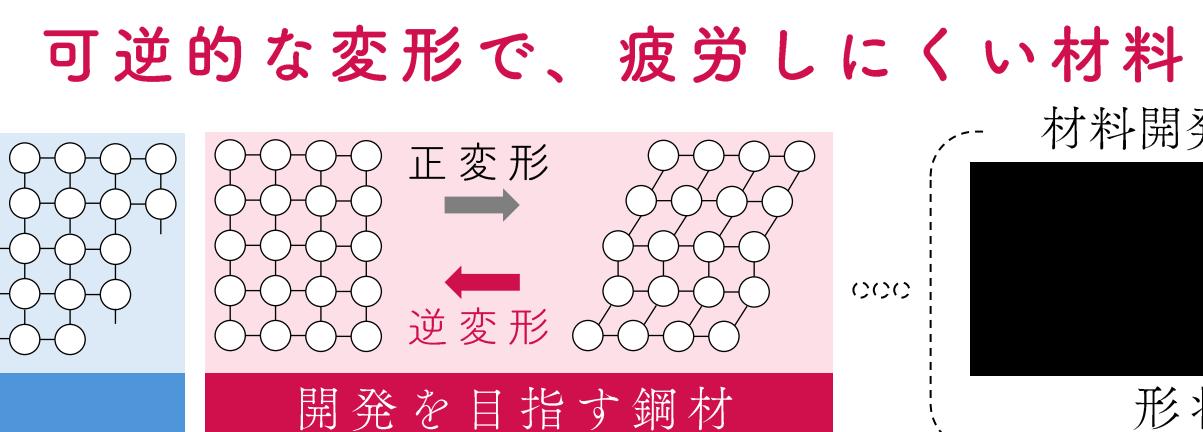
長周期地震動、巨大地震、余震に対応可能な革新的鋼材ダンパー

従来比10倍の疲労耐久性を有する新鋼材の開発

04

Concept

耐疲労合金開発指針



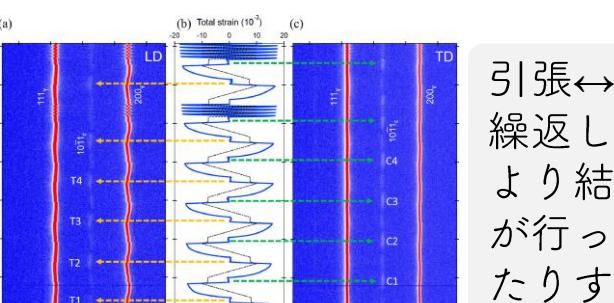
- ▶ 結合が切れず変形し、逆向き変形で元の原子配列に戻る
(高い変形可逆性により疲労損傷の蓄積を緩和)

◆ 材料の試作&様々な評価

ex. 疲労変形中の結晶構造変化を中性子その場回折で測定

J-PARC 「TAKUMI」

世界最高レベルの大強度陽子加速器施設



引張↔圧縮の繰返し荷重により結晶構造が行ったり来たりする。

※実際の測定データ



中性子その場回折により
新規変形メカニズムを実証

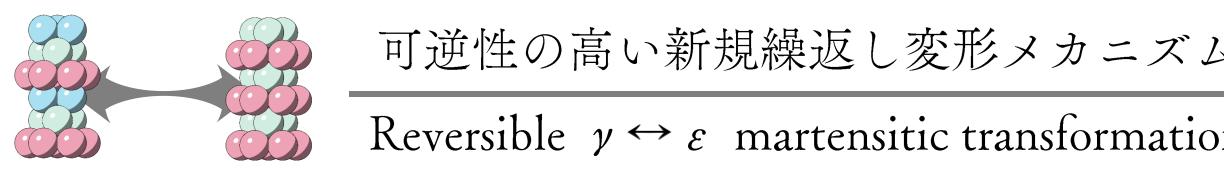


中性子その場回折により
新規変形メカニズムを実証

7

17

0 Concept 耐疲労合金開発指針



転位運動の非可逆性に起因する疲労損傷の蓄積を緩和

合金設計条件: Gibbsエネルギー差 $\Delta G^{\gamma \rightarrow \varepsilon} = 0$

※母相(γ)と変形相(ε)を熱力学的にバランスさせる

試作材: Fe-30Mn-4Si-2Al

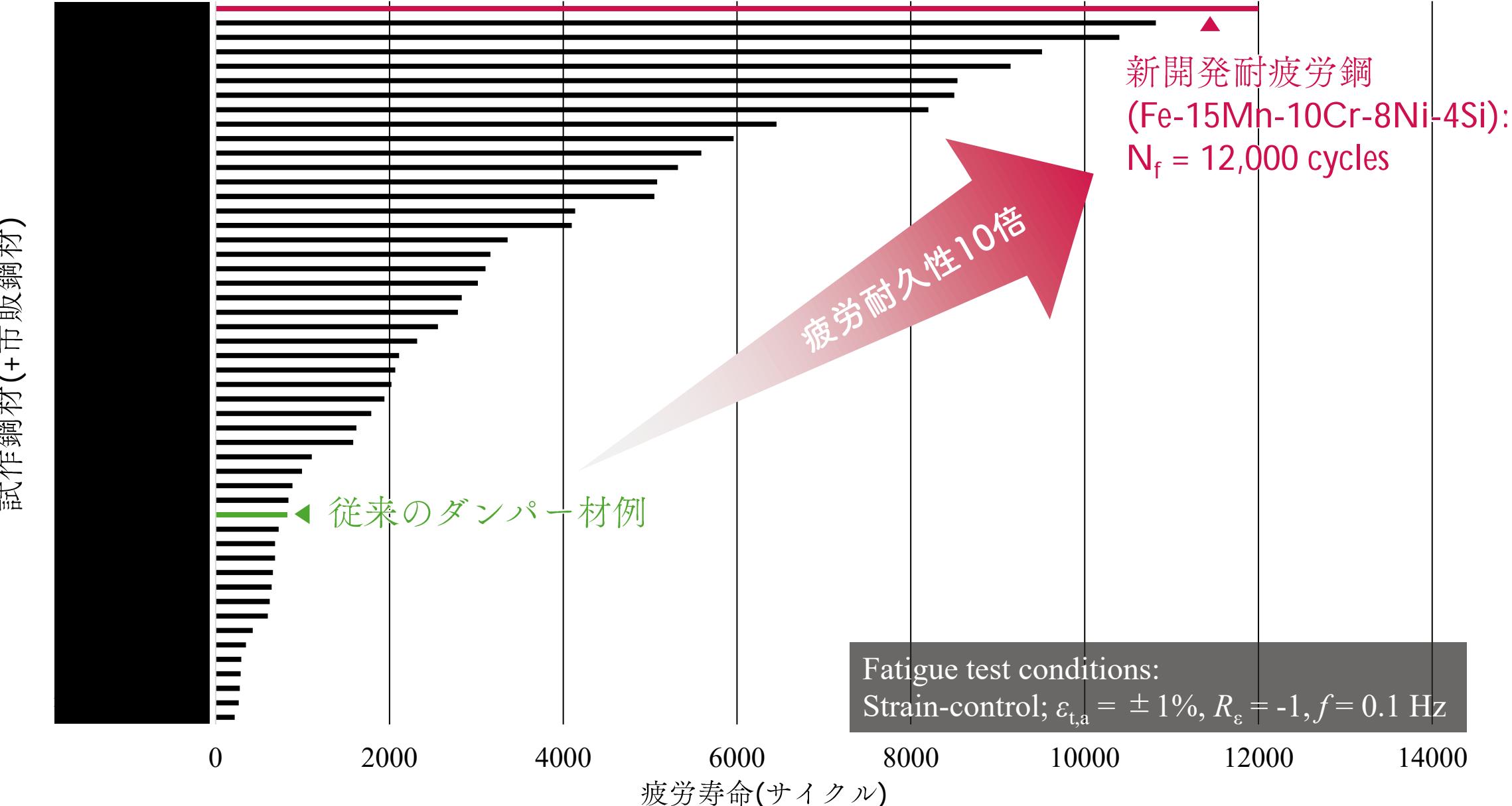
完成材: Fe-15Mn-10Cr-8Ni-4Si

- 低Mn化により大型電気炉溶解を容易に
- 圧延時割れを克服
- Cr, Niによる耐食性の付与



10t電気炉溶解鍛圧→ダンパー用大型圧延材

0 Result 開発合金の疲労寿命測定結果



9

10

1 Result 開発合金の引張特性

ヤング率	耐力	引張強さ	破断伸び
184 GPa	240-300 MPa	620-720 MPa	~80%



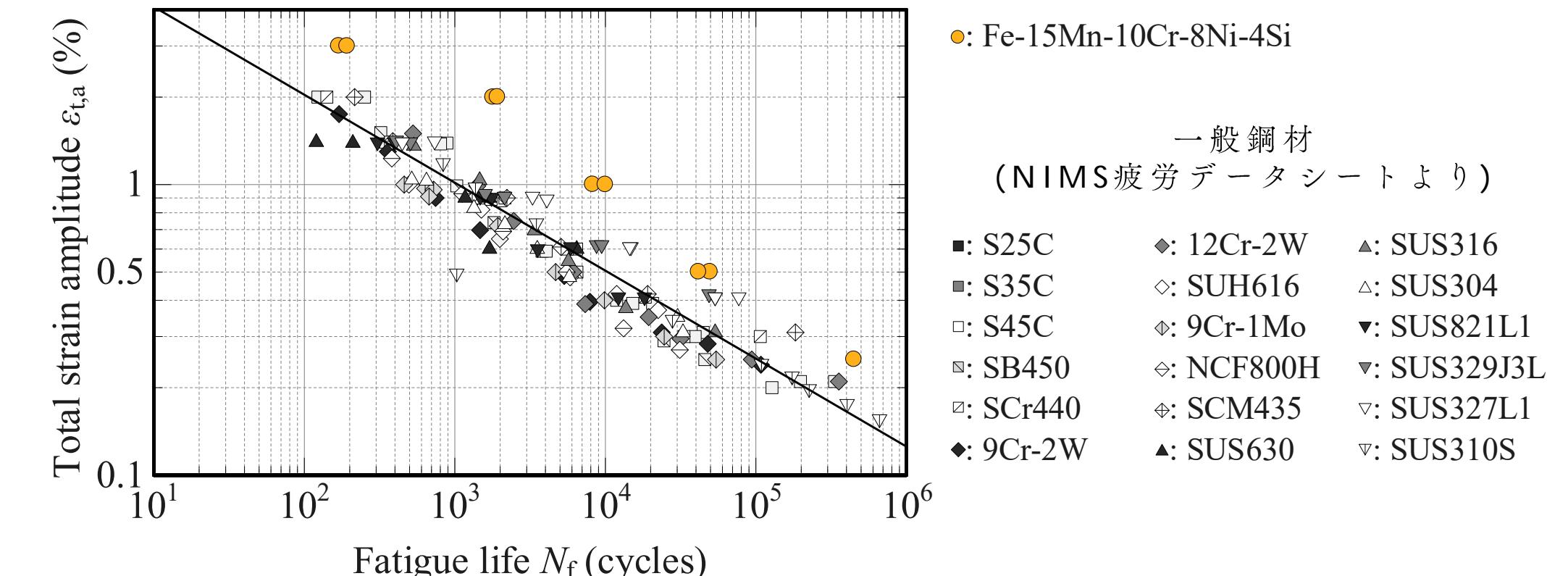
多彩な変形メカニズムの協調による高延性
- $\gamma \rightarrow \varepsilon$ transformation
- two-stage $\gamma \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha'$ transformation
- bidirectional $\gamma \rightarrow \varepsilon \rightarrow \gamma$ transformation

Yoshinaka et al., Mater Sci Eng A 833:2022;142583

Singh et al., Script Mater 255:2025;116382

1 Result 大型圧延材の塑性疲労寿命特性

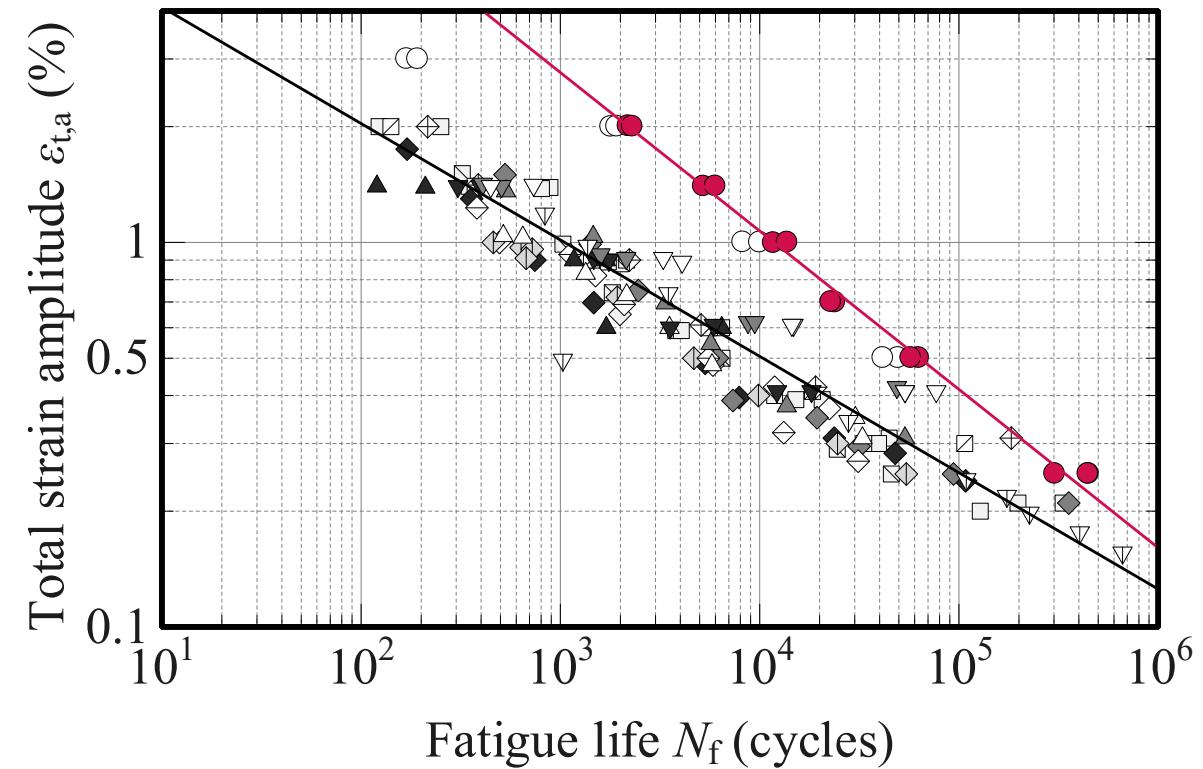
Proc Struct Integr 19 (2019): 214-223.



特に、ひずみレベルの高い領域で寿命の優位性を発揮する。

11

12



NIMS開発「耐疲労鋼」

- : Fe-15Mn-11Cr-7.5Ni-4Si (可溶接)
- : Fe-15Mn-10Cr-8Ni-4Si (先行材)

NIMSデータシートより一般鋼材

- | | | |
|-----------|------------|--------------|
| ■: S25C | ◆: 12Cr-2W | ▲: SUS316 |
| ■: S35C | ◇: SUH616 | △: SUS304 |
| □: S45C | ◊: 9Cr-1Mo | ▼: SUS821L1 |
| □: SB450 | ◊: NCF800H | ▼: SUS329J3L |
| □: Scr440 | ◊: SCM435 | ▼: SUS327L1 |
| ◆: 9Cr-2W | ▲: SUS630 | ▼: SUS310S |

Fe-15Mn-11Cr-7.5Ni-4Siは先行開発鋼材と同等の疲労寿命

Mater Sci Eng A 949 (2026): 149457.

17

18



19

20

九州大学×NEXCO西日本 第17回技術シンポジウム
鋼構造の耐震・長寿命化に資する『耐疲労鋼』の研究開発

01 ● NIMS概要

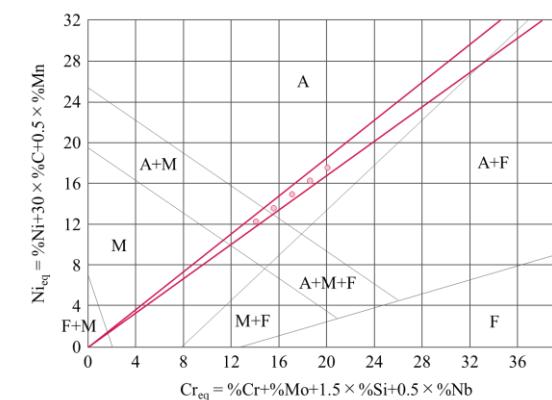
02 ● 疲労耐久性に優れた新鋼材の開発と適用事例

03 ● 溶接性を改善した耐疲労鋼の開発

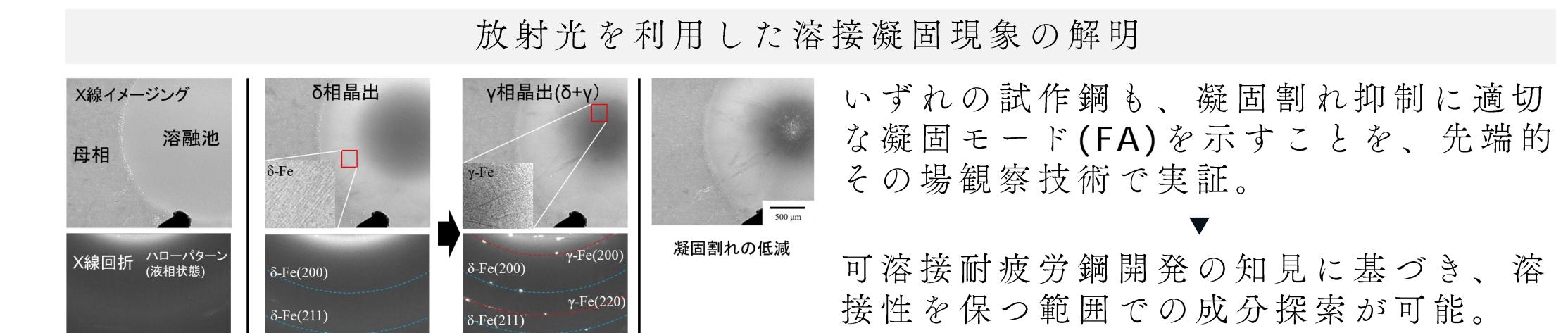
04 ● 耐食性を考慮した耐疲労鋼の開発

Fe-15Mn-aCr-bNi-4Si
(a, b) = Z1(14, 10.1), Z2(12.5, 8.8), Z3(11, 7.5), Z4(9.5, 6.1), Z5(8, 4.8)
※Z3は可溶接耐疲労鋼と同じもの

Cr-Ni量は可溶接耐疲労鋼の開発において見出した、凝固モードに関する成分条件を参考に系統的に変化させている。



Schaeffler図を用いた成分設計



いずれの試作鋼も、凝固割れ抑制に適切な凝固モード(FA)を示すことを、先端的その場観察技術で実証。

可溶接耐疲労鋼開発の知見に基づき、溶接性を保つ範囲での成分探索が可能。

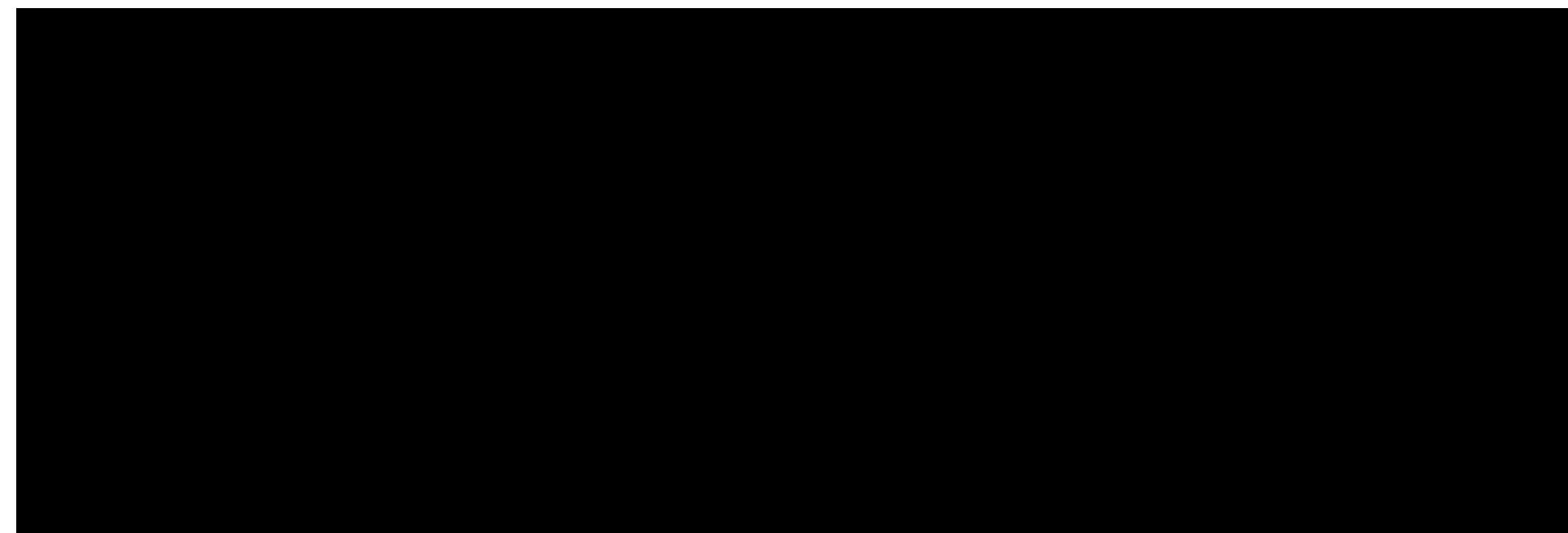
Results

耐食耐疲労鋼の開発に向けた耐食性評価

塩水噴霧試験(Salt Spray Test)

アノード分極測定

ISIJ Int 64.7 (2024): 1197-1205.



3D光学/レーザー顕微鏡による表面特性調査

分極曲線による腐食挙動評価

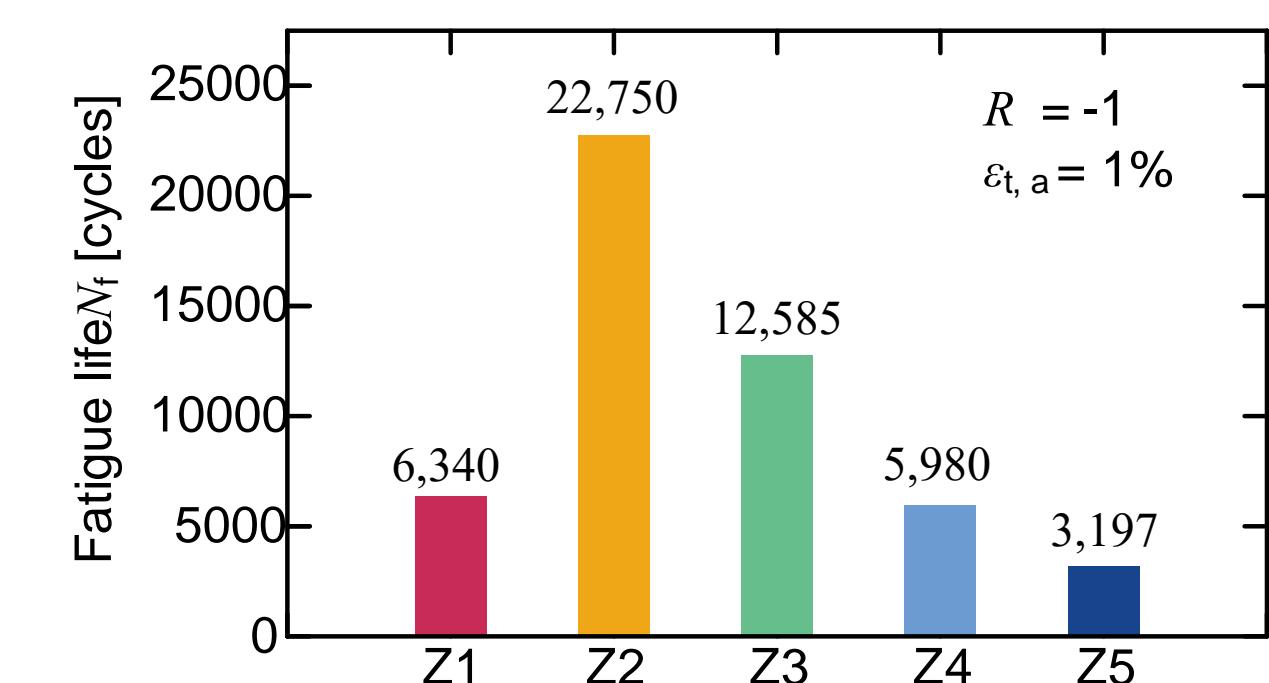
試作鋼はいずれも不働態化タイプの腐食挙動を示し、海浜環境でも不働態化性があり優れた耐食性を示す。発錆が非常に抑制され、特にZ1やZ2は炭素鋼の1/10の腐食しか生じない。

※現在進行しているZ2の暴露試験途中経過は、マルテンサイト系ステンレス鋼と同程度の結果

Results

耐食耐疲労鋼の開発に向けた疲労挙動評価

疲労寿命測定結果



疲労破断後の変形組織測定結果

Alloy	γ (EBSD)	ε (EBSD)	α' (FM)
Z1	98.8%	1.2%	0%
Z2	48.5%	51.5%	0.18%
Z3	25.4%	74.6%	0.84%
Z4	13.3%	86.4%	1.96%
Z5	15.6%	82.2%	12.66%

*Z1-3は変形前は100% γ *Z4は96.5% γ +3.5% ε 、Z5は74.4% γ +25.6% ε

Z2は先行開発可溶接耐疲労鋼(Z3)の倍近い超長寿命を示した。変形組織の解析の結果、Z2では可逆的な変形を阻害すると思われる組織(α')の発達がよく抑え込まれていた(※Z1はそもそも可逆的な変形を生じさせるための熱力学的条件からやや外れている)。

ISIJ Int 64.7 (2024): 1197-1205.

「耐食耐疲労鋼」Z2 : Fe-15Mn-12.5Cr-8.8Ni-4Si

21

22

Conclusion
おわりに

鋼構造の耐震化・長寿命化に資する、優れた疲労耐久性を有する鋼材の開発および応用事例、溶接性や耐食性を考慮した新鋼材の開発事例を紹介した。

- 可逆的な相変態による新たな繰返し変形メカニズムは疲労耐久性の改善に有効である。
- 開発された耐疲労鋼は一般鋼材の10倍の疲労耐久性を有する。
- 耐疲労鋼は鋼材ダンパー心材として実用化されており、適用例も増えつつある。
- 変形メカニズムと凝固モードの双方に着目した合金開発により、疲労耐久性と溶接性を兼備する新鋼材を開発した。
- 同鋼材による実大ダンパーを試作し疲労試験を行った結果、これまでの耐疲労鋼を超える疲労耐久性が発現した。
- 鋼構造インフラ長寿命化を見据え、損傷要因である疲労と腐食、また構造体化に必須である溶接の3要素に着目した「耐食耐疲労鋼」の開発に着手した。
- 試作鋼の腐食挙動および疲労挙動の測定・解析の結果、卓越した疲労耐久性と良好な耐食性を兼備しつつ、溶接性も確保した新鋼材が見いだされた。

23

24

–メモ用紙としてお使いください–

講 演 3

新たな技術を活用した鉄道インフラの効率的な設備診断

庄野 真也

(西日本旅客鉄道株式会社 施設部 施設技術室 担当課長)

新たな技術を活用した鉄道インフラの効率的な設備診断

2025年11月17日：第17回技術シンポジウム

西日本旅客鉄道株式会社
鉄道本部施設部施設技術室 庄野 真也

1. はじめに

JR西日本管内 概要

管理エリア
2府16県（北陸5県・近畿2府5県・中国5県・九州1県）

鉄道
線路延長：4,897.5km
(内訳) 新幹線 937.7km (2線区)
在来線 3,959.8km (49線区)
駅 数：1,150駅



JR | WEST 3

講演概要

1 はじめに（当社概要）

2 JR西日本の施設部門について

3 線路のメンテナンス

4 新たな技術の適用紹介

5 おわりに



1. はじめに

JR西日本管内 概要

管理エリア
2府16県（北陸5県・近畿2府5県・中国5県・九州1県）

鉄道
線路延長：4,897.5km
(内訳) 新幹線 937.7km (2線区)
在来線 3,959.8km (49線区)
駅 数：1,150駅



JR | WEST 3

1. はじめに

激変する経営環境

人口減少・少子高齢化 社会行動変容 デジタル化の加速 内安・物価高騰 国際競争・人財確保 気候変動問題 等

経営課題に対応し未来社会においても価値を創造し続けるために…

JR西日本 「私たちの志」

人、まち、社会のつながりを進化させ、
心を動かす。未来を動かす。

私たち、
これからも安全、安心を追求し、高め続けます。
人と人、人とまち、人と社会を、リアルとデジタルの場でつなぎ、西日本を起点に地域の課題を解決します。
そして、持続可能で活力ある未来を創り、その先の一人ひとりが思い描く暮らしを、
様々なパートナーと共に実現していきます。

長期ビジョン 2032

パックキャスト視点で設定する10年後に実現したい未来

- 4つの
ビジョン
- 安全、安心で、人と地域にやさしい交通
 - 人々が行きかう、いきいきとしたまち
 - 一人ひとりにやさしく便利で豊かな暮らし
 - 持続可能な社会

中期経営計画 2025

持続的に価値創造する企業グループへ成長の第一ステップ

- 5つの
重点戦略
- 鉄道の安全性向上
 - 主要事業の活性化と構造改革（鉄道事業・グループ事業）
 - 不動産・まちづくりのさらなる展開
 - デジタル戦略による多様なサービスの展開
 - 新たな事業の創出

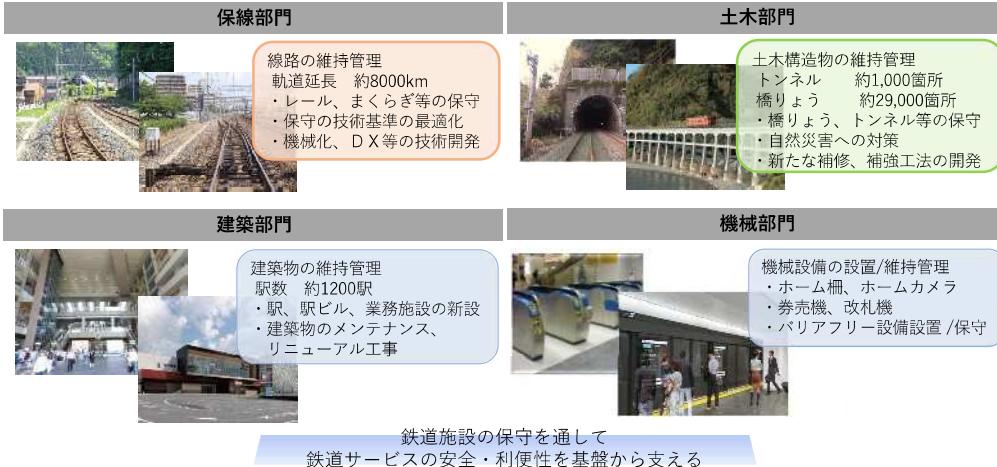
2. JR西日本の施設部門について

鉄道システムを構成する技術分野 ※運輸分野・横断的分野除く



2. JR西日本の施設部門について

施設部門の役割



3. 線路のメンテナンス

線路の構造(基本)

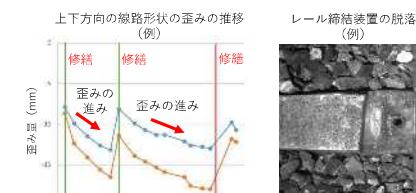


- 鉄道設備のうち列車の荷重が直接作用する設備
- 小さな部材(碎石・まくらぎ・レール締結装置・レール)の集合体で線路を構成
- レールの位置(上下・左右)は、バラストによる反力、まくらぎとレール締結装置による剛性で拘束

線路メンテナンスの特徴

- 変形しやすい構造であり列車荷重により線路の形状に歪みが発生
 - 変形を一定量許容しており、短い周期で補修を実施
- 経済性を考慮し個々の耐力がそれほど高くない部材で構成
 - 構成部材の部分破壊を許容しており、都度補修を実施
 - (※部分的に壊れても列車荷重は支持され走行安全性は確保可能)

定期的な検査/検査結果に基づく補修の投入
が乗り心地や安全性確保に必要



3. 線路のメンテナンス

線路の補修:例

線路形状の歪みや構成する部材の不具合に対して、計画的な補修を実施し列車の走行安全性を確保



線路の構造強化(長寿命化):例

ロングレール化	PCまくらぎ化	省力化軌道

レール間を溶接で接合することで列車走行時の継目部に生じる変動荷重を低減

まくらぎをコンクリート製に交換することでまくらぎの耐久性を向上

バラストに代わりコンクリート等を用い、線路形状の歪みを大幅に低減

3. 線路のメンテナンス

線路の診断

安全安定輸送を維持するためには、補修や構造強化が必要な箇所を捉えることが重要

線路設備を診断（検査・判定）し、線路の保守状態を監視

線路検査の体系

JR西日本：社内規程

- 線路の巡視 : 頻度や方法（列車・徒歩）などを規定
- 線路の定期検査 : 線路および構成部材の検査頻度や検査方法、管理基準を規定
- その他 : 線路の状態をより詳細に把握するための管理基準を規定

国交省：鉄道に関する技術上の基準を定める省令

- 線路の巡視 : 列車が安全に運転することができる状態が保持されているかの確認
- 線路の定期検査 : 線路および構成部材の保守状態を定期的に検査



3. 線路のメンテナンス

巡視や検査の対象となる線路設備は膨大であり、網羅的にこれらを実施するためには高い効率性が必要

これまでの線路検査の効率化

軌道検測車



当社管内全線で運用し線路形状の状態を測定
取得した狂い値から状態予測を行い計画的な整備に反映

レール探傷車

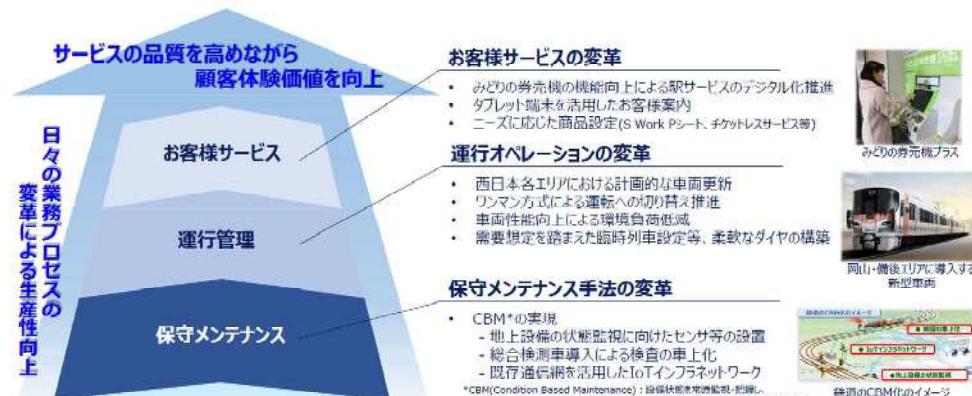


レール傷の状態を計測
超音波探傷の測定結果から計画的にレール交換を実施

4. 新たな技術の適用紹介

当社の重点戦略

日々の業務プロセスを変革し、鉄道事業の活性化を支える生産性向上と持続可能なシステム構築を実現



4. 新たな技術の適用紹介

紹介技術

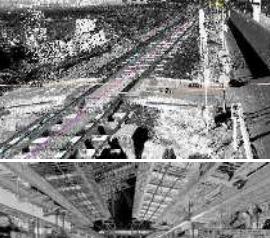
概要

	概要
MMSの鉄道分野への適用 (Mobile Mapping System)	道路分野で活用されているレーザ計測技術であるMMSを鉄道分野に適用し計測業務等に活用
線路設備診断システムの導入	事業用車両に搭載した各センサで取得した線路画像から診断対象物の検知と不具合の抽出が可能なシステムを導入し線路検査に活用
トンネル覆工表面検査システムの更新 (NEXCO西日本殿 共同開発)	新幹線用トンネル覆工表面の検査システムの更新にあたり、トンネル覆工表面画像の取得速度向上、安定的な画像取得で構造物検査に活用

4. 新たな技術の適用紹介

MMSの鉄道分野への適用

- 2014年から技術開発に着手
 - 基地線/営業線で精度検証、計測/調査業務への適用を検討し2021年から在来線/新幹線で運用を開始
- 


- 
- レーザ計測で線路設備の点群データを可視化処理
全ての点群データに地理座標情報（緯度・経度・標高）が保有され点群間の計測（距離・面積）に活用

4. 新たな技術の適用紹介

MMSの活用

- 建築限界管理：列車の走行空間が確保されているか軌道中心から構造物までの離隔距離を測定し管理

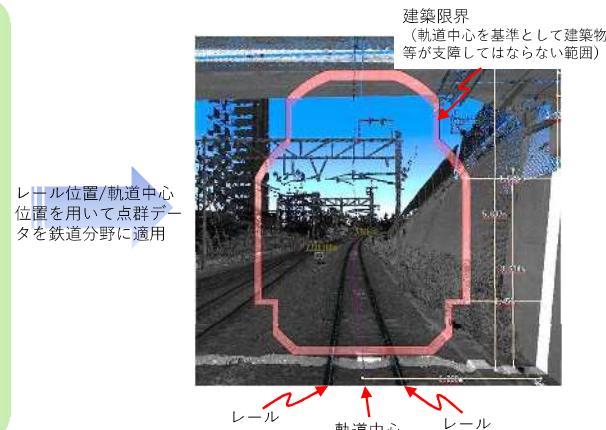
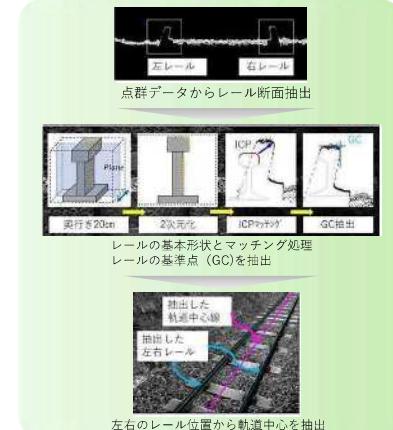


MMSで計測した点群データ解析結果の活用により人による測定業務が減少し生産性が向上効果を実現

4. 新たな技術の適用紹介

鉄道分野への適用条件

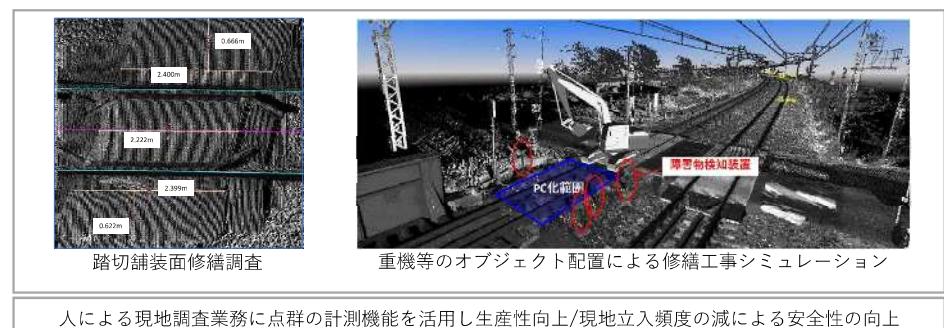
MMSの鉄道分野への適用には鉄道の管理基準となるレール/軌道中心（左右のレールの中心位置）の位置抽出が必須



4. 新たな技術の適用紹介

MMSの活用

- 現場調査業務等：補修/工事が必要な箇所の調査業務に活用



他のシステムとの連携開発など利便性の向上を図り利活用拡大を展開中

4. 新たな技術の適用紹介

線路設備診断システムの導入

2024年8月1日から運用を開始



- 搭載車両：総合検測車 (DEC 741)
- 測定エリア：電化区間
- 測定頻度：3回/年
- 測定速度：最高速度 100 km/h

当社管内 測定エリア（赤実線）



轨道検査測定装置

緒目板検査装置

処理制御装置（車内）

4. 新たな技術の適用紹介

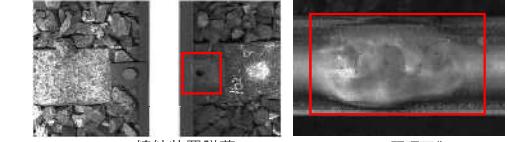
線路設備診断システムの概要

列車の台車に搭載した「軌道検査測定装置」および「緒目板検査装置」により、レール・レール緒結装置・レール継目・まくらぎ等の線路設備を対象に、取得した画像等を解析し欠陥の検知を自動で実施

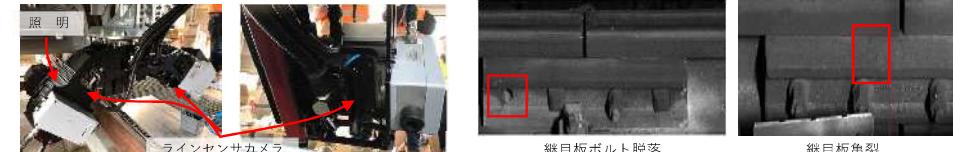
軌道検査測定装置



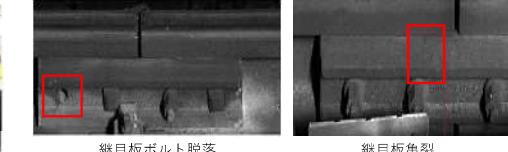
《欠陥検知例》



緒目板検査装置



《欠陥検知例》



線路設備の欠陥検知機能を装置化することで全線に亘り網羅的かつ均一の品質で欠陥を検知

4. 新たな技術の適用紹介

線路設備診断システムの導入による検査体系の見直し

JR西日本：社内規程

- 線路の巡視：頻度や方法（列車・徒歩）などを規定
- 線路の定期検査：線路および構成部材の検査頻度や検査方法、管理基準を規定
- その他：線路の状態をより詳細に診断するための管理基準を規定

線路構造が均一な区間を対象に線路の巡視（徒歩）の回数を半減し労力低減を実現

従 来	線路設備診断システム導入後
線路の巡視（徒歩） (1回／2週間※)	線路の巡視（徒歩） (1回／4週間※)

（※ 線区毎で巡視頻度は異なる）

線路設備診断システムによる測定/診断



線路設備診断システム測定

診断結果の確認（事務所）

4. 新たな技術の適用紹介

トンネル覆工表面検査システムの更新

トンネル覆工表面の歩徒による目視検査効率化を目的に2002年に検査システムを導入

主な特徴	課 題
軌陸車による自走 検査速度5km/h程度	検査効率が低
照射したレーザ光の受光強度で変状を抽出し画像化	検査時の地上検査者に対する防護措置が必要

約20年の経年により検査システムの更新

- NEXCO西日本殿から技術提供を受け、道路分野のトンネル検査システムを新幹線鉄道用として開発
- 装置開発およびフィールド試験をえて、2022年度から運用開始

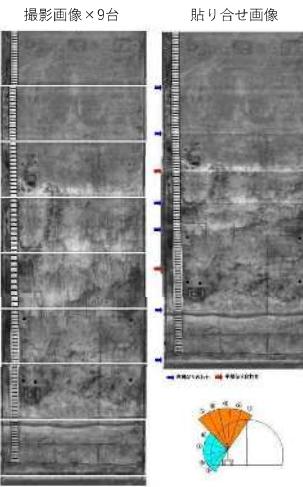


4. 新たな技術の適用紹介

トンネル覆工表面検査システムの特長

項目	特長
検査速度	50km/h程度（牽引式）
データ取得方法	カメラ（照明装置+ライセンサカメラ）
データ取得範囲	トンネル半断面

- 撮影ユニット（照明装置+ライセンサカメラ）の採用により検査速度が向上
- トンネル内の照明箇所の画像品質の向上
- レーザ光を使用しないため地上検査員の防護措置が不要



5. おわりに

JR西日本 「私たちの志」

人、まち、社会のつながりを進化させ、
心を動かす。未来を動かす。

私たちは、

これからも安全、安心を追求し、高め続けます。

人と人、人とまち、人と社会を、リアルとデジタルの場でつなぎ、西日本を起点に地域の課題を解決します。

そして、持続可能で活力ある未来を創り、その先の一人ひとりが思い描く暮らしを、
様々なパートナーと共に実現していきます。

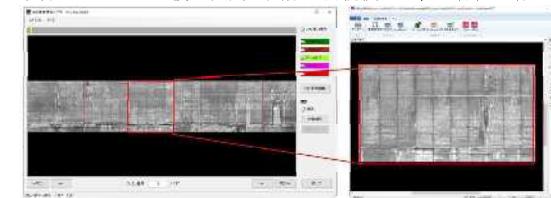
鉄道事業の活性化と持続可能な鉄道システムの構築にむけて
新たな技術の導入/保全方式の考え方を取り入れ、
更なるメンテナンスの品質向上/生産性向上を図る



4. 新たな技術の適用紹介

トンネル覆工表面検査システムの活用

取得したトンネル覆工表面の画像を目視検査し、進行性の有無の確認/トンネル検査箇所の抽出に活用



画像閲覧ビューア (例)



画像比較による変状の進行性確認

画像取得速度向上および他の装置にあわせて牽引/運用することによる生産性向上を実現

《今後の予定》

開発時にトンネル覆工表面のひび割れ検出を実装
今後、運用を検討し更なる生産性向上を検討



メシカ

もっとつながる。未来が動き出す。

JR
JR西日本グループ

–メモ用紙としてお使いください–

講 演 4

高経年化する送電鉄塔の保全技術の高度化

善甫 遼

(東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所
技術開発部 材料・化学エリア)

高経年化した送電鉄塔の保全技術の高度化

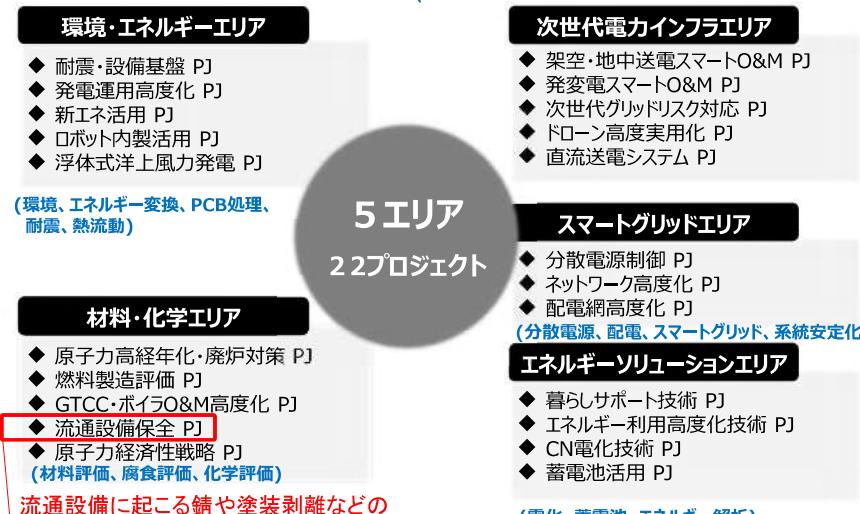


2025.11.18
東京電力ホールディングス(株) 経営技術戦略研究所
技術開発部 材料・化学エリア
流通設備保全PJ 龍岡、吉野、金井、菊池、善甫

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



東京電力HD 経営技術戦略研究所(TRI)の技術開発部の組織体制 3



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所



自己紹介・経歴

【自己紹介】

- ・名前: 善甫 遼 (ゼンポ リョウ)
- ・出身: 茨城県つくば市
- ・年齢: 37歳
- ・趣味: 武道(合気道、空手、剣術)

【略歴】

・芝浦工業大学大学院 材料工学専攻修了 [2008~2014]

・**高周波熱鍊(株)** [2014~2019]

・**旭化成(株)** [2019~2024]

・**東京電力HD(株)** [2024~現在]

経営技術戦略研究所 技術開発部 材料・化学エリア

電気流通設備や水力発電設備の材料損傷トラブルへの技術支援。

主な業務経験：材料損傷に関する問題解決や技術支援。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所



目次

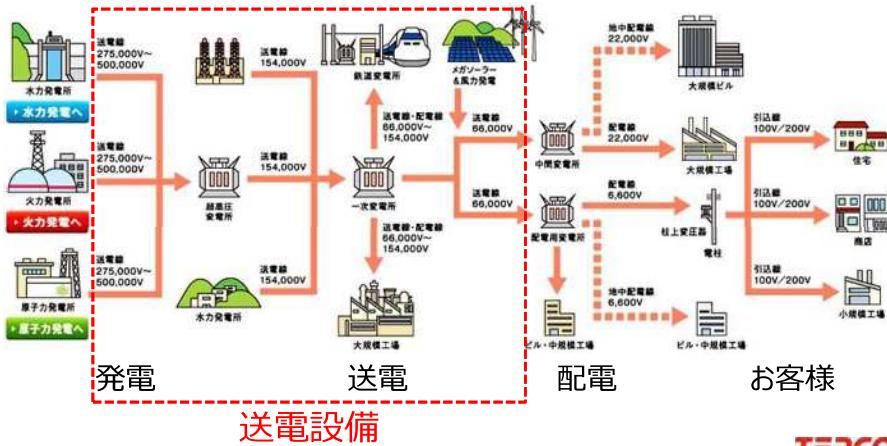
1. 背景と課題
2. 鉄鋼材料と大気腐食の基礎知識
3. 送電鉄塔の防食技術
 - 亜鉛めっき鋼板と防錆塗装
 - 送電鉄塔のメンテナンス
4. 腐食速度マップの作成
 - 腐食速度マップで可能になること
 - 腐食モニタリングシステム
 - 腐食データ収集
 - 重回帰分析
 - 現場への適用
5. 今後の課題
 - 塗膜下腐食速度マップ
 - アルミの腐食速度マップ

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所



1. 背景と課題

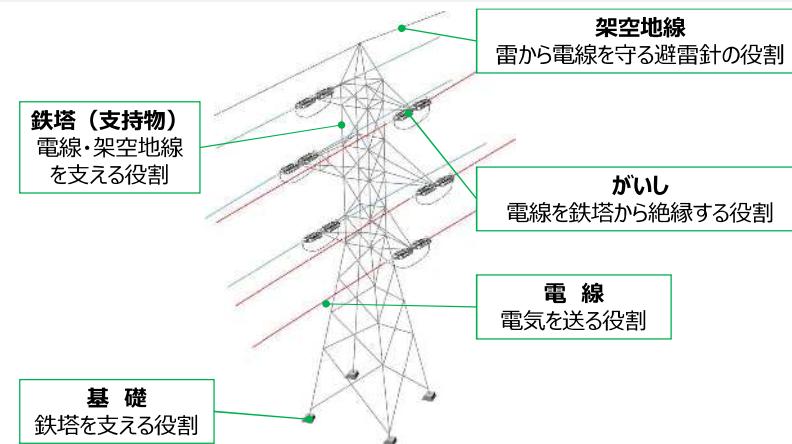
- 電力供給は発電、送電、配電に大別される。
- 東京電力PGは、送電線は合計で41万km、送電線を支持する送電鉄塔は4.4万基を保有している。



5

1. 背景と課題

- 送電設備は定期的なメンテナンスが必要である。
- 特に送電鉄塔の寿命律速は腐食減肉であるため、そのメンテナンス技術(防食技術)が重要である。



6

1. 背景と課題

7

- 4.4万基の鉄塔のメンテナンス最適時期で保全することで、大幅な修繕コストの削減が期待できる。
- そのために、鉄塔の寿命律速となる腐食速度マップを作成する。

メンテナンスの時期

- 早すぎる ⇒ メンテナンス過剰で修繕コスト増
- 遅すぎる ⇒ 部品取替えor立替えで修繕コスト増
- 最適時期 ⇒ 最も修繕コストが小さくなる。

2. 鉄鋼材料と大気腐食の基礎知識

8

- 送電鉄塔は鉄鋼材料が主に用いられてる。
- 鉄鋼材料は安価、入手性、加工性、高強度などのメリットがあるが、耐食性の悪さというデメリットがある。
- 鉄鋼材料には腐食対策が必要。

構造材としての鉄鋼材料の特徴

メリット	安価、入手性、加工性、高強度など
デメリット	耐食性の悪さ(さびやすい)

2. 鉄鋼材料と大気腐食の基礎知識

9

- 腐食は金属と環境間の化学的相互作用である。(結果的に減肉)
- 大気下での防食では、大別して下記の三つがある。
 - 高耐食性材料を使用する。 → 耐食性の良い材料に交換
 - 腐食を肩代わりさせる。 → 亜鉛めっき鋼板
 - 環境遮断させる。 → 防錆塗装

例えば
ステンレス?

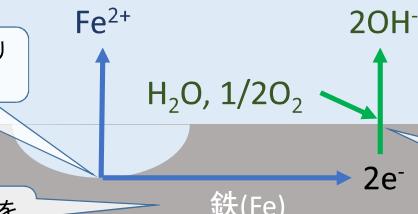
アノード反応
 $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

カソード反応
 $1/2O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$

②腐食を肩代わりさせる。

①高耐食性材料を使用する。

③環境遮断させる。



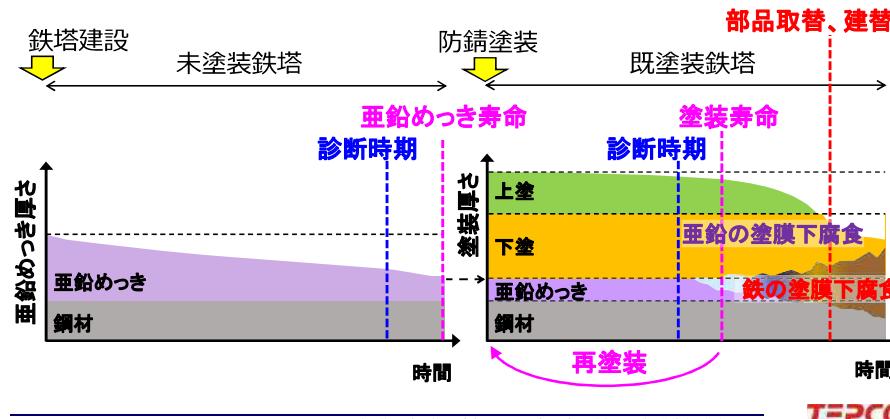
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所

TEPCO

3. 送電鉄塔の防食技術（送電鉄塔のメンテナンス）

11

- 送電鉄塔では、最初に亜鉛めっき鋼板を用いる。
- 亜鉛めっきがある程度腐食減肉したタイミングで防錆塗装する。
- 塗装の劣化に合わせて再塗装を繰り返す。



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所

2. 送電鉄塔の防食技術（亜鉛めっき鋼板と防錆塗装）

10

- 送電鉄塔では②亜鉛めっき鋼板、③防錆塗装を用いて設備材料の長寿命化をしている。
- 亜鉛めっき鋼板は表面に保護性酸化皮膜を形成して、腐食速度が小さくなる。

②亜鉛めっき鋼板

腐食を亜鉛が肩代わりする。

保護性酸化被膜
亜鉛(Zn)
鉄(Fe)

さび
鉄(Fe)

Znの腐食速度 < Feの腐食速度

③防錆塗装

塗装が水と酸素から遮断する。

防錆塗装
亜鉛(Zn)
鉄(Fe)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所

TEPCO

3. 送電鉄塔の防食技術（送電鉄塔のメンテナンス）

12

- 塗装が早過ぎるとメンテナンス過剰でコストが大きくなる。
- 塗装が遅過ぎると部材取替えor建替えでコストが非常に大きくなる。
- 塗装最適時期が予測可能で、腐食速度マップが必要。



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所

TEPCO

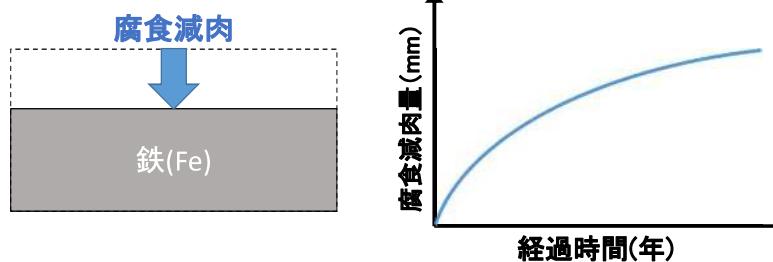
4. 腐食速度マップの作成

13

【腐食速度】

- 腐食速度は全面減肉時の単位時間あたりの減肉量(mm/y)。
- 特定の環境での腐食速度を算出する場合、板材試験片の暴露では数年単位で暴露期間が必要。

板材試験片を用いた暴露試験による腐食速度の算出



TEPCO

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所

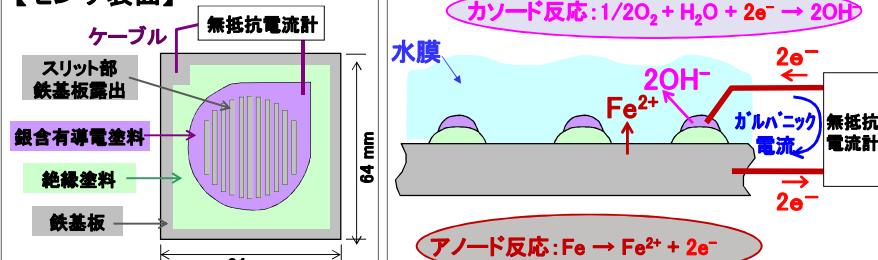
4. 腐食速度マップの作成 (ACMセンサ)

15

【ACMセンサの基本的な構造・測定原理】

- センサは鉄基板と銀含有誘電塗料の間に絶縁塗料を挟んでいる。
- センサに水膜が出来ると電流が流れ、腐食のモニタリングが出来る。

【センサ表面】



【センサ断面】



TEPCO

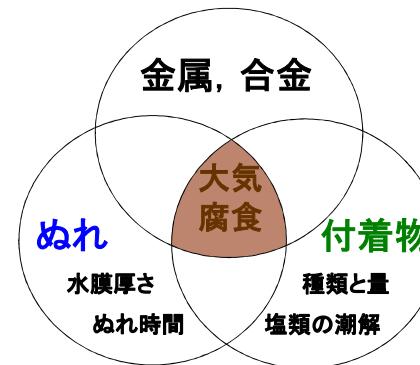
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所

4. 腐食速度マップの作成 (腐食速度マップで可能になること)

14

- 腐食速度は環境要因(天候、地形)により変化する。

- 「環境条件が分かれれば暴露試験をせずとも、腐食速度が予測可能な計算式」の導出を行った。



腐食速度計算式	
測定ツール	ACMセンサ
測定地域	157カ所の選定
導出手法	重回帰分析

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所

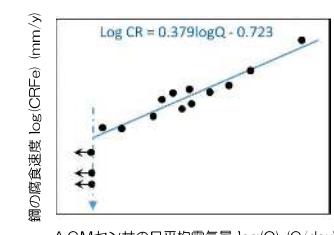
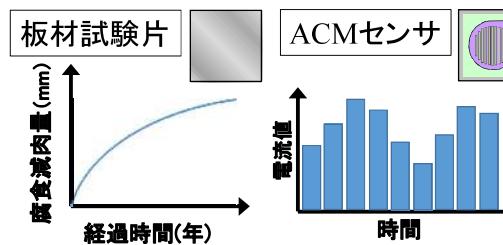
TEPCO

4. 腐食速度マップの作成 (ACMセンサ)

16

【ACMセンサを用いた腐食速度の算出】(元田先生らの研究)

- 同環境で板材試験片とACMセンサを同時に暴露することで、鉄と亜鉛の腐食速度⇒日平均電気量のマスター曲線を作成。
- 新規の環境でもACMセンサから腐食速度を算出可能となった。



ACMセンサの日平均電気量と鉄の腐食速度との関係

(元田他: 材料と環境, 47, 651 (1998))

$$\text{腐食減肉量} \propto \text{累計電気量}$$

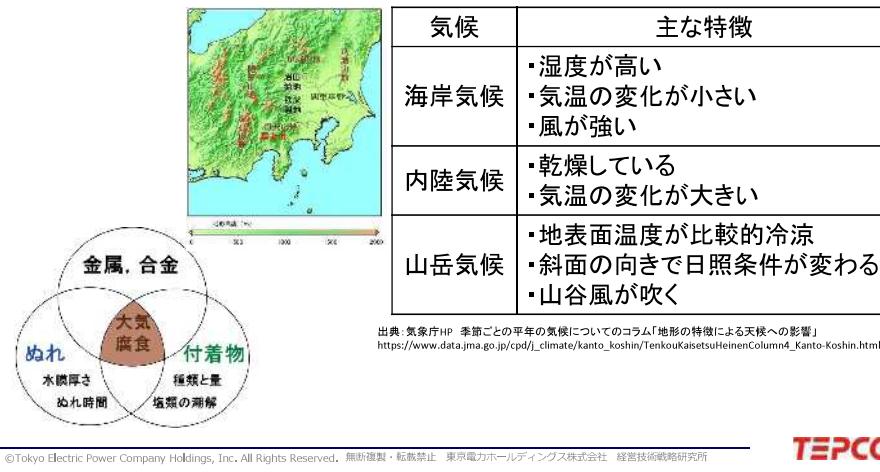
TEPCO

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所

4. 腐食速度マップの作成 (157カ所の選定)

17

- ・気候は「海岸気候」「内陸気候」「山岳気候」に大別される。
- ・様々な気候の腐食速度データをまんべんなく得られるように、測定地域を送電鉄塔157カ所から選定した。



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所

TEPCO

4. 腐食速度マップの作成 (重回帰分析)

19

- ・説明変数となる環境因子は気象因子、地形因子に大別される。
- ・説明変数の候補の中から、統計的手法で検討して選択した。

説明変数の候補(全83因子)

説明 変数	気象因子	地形因子
	平均気温、平均湿度 風向風速、波浪 濡れ時間、積算降水量 NOx濃度、SOx濃度、etc.	緯度、経度、標高 傾斜、曲率、海度 前方障害度、etc.

説明変数の選択方法

- ①腐食速度との単相関と多重共感性の有無の検討により説明変数を絞り込む。
 ※**多重共感性**: 説明変数間の強相関等を示す
- ②重回帰式に取り入れる説明変数を**変数増減法**により選択
 ※**変数増減法**: 説明変数の取捨選択を行う方法
 判定基準: F 値 ≥ 2

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所

TEPCO

4. 腐食速度マップの作成 (重回帰分析)

18

【重回帰分析】

- ・各地の環境によって変化する腐食速度を算出するために、重回帰分析を用いる。
- ・**腐食速度を目的変数、環境因子を説明変数**として重回帰式を導出する。

重回帰分析: 目的変数(Y)を複数の説明変数(X)により推定する手法

$$\text{重回帰式: } Y = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n + b$$

Y: 目的変数 a_n : 説明変数の係数 X_n : 説明変数 b : 係数
 (腐食速度) (環境因子)

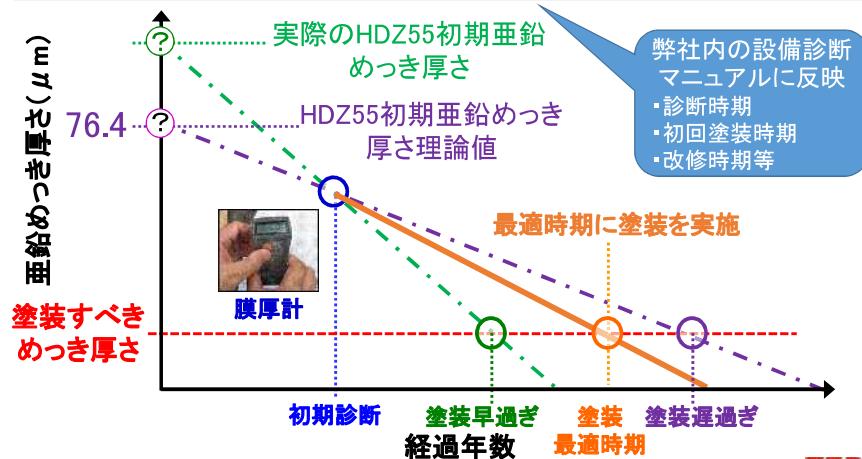
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所

TEPCO

4. 腐食速度マップの作成 (現場への適用)

20

- ・環境因子を説明変数とした腐食速度の計算式を導出した。
- ・それにより、関東全域の腐食速度マップを作成した。
- ・送電鉄塔の**最適時期での計画的な塗装**が可能になった。



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所

TEPCO

【背景・課題】

- 4.4万基の鉄塔のメンテナンス最適時期で保全することで、大幅な修繕コストの削減が期待できる。
- そのため、鉄塔の寿命律速となる腐食速度マップを作成する。

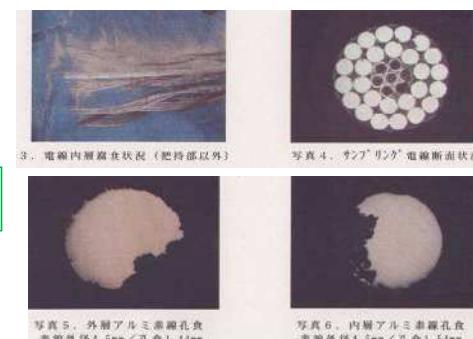
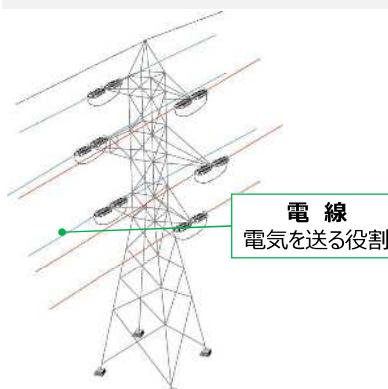
【検討手法・結果】

- ACMセンサ測定で得た157カ所の腐食速度データから、環境因子を説明変数とした重回帰分析で、関東全域の腐食速度マップを作成した。
- 腐食速度マップにより、最適時期での計画的なメンテナンスが可能になった。

5. 今後の課題 (塗膜下腐食速度マップ)

【アルミの腐食速度マップ】

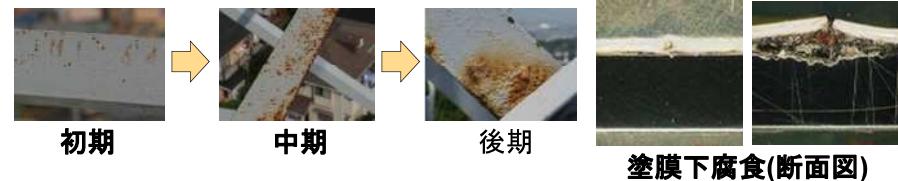
- 送電線は「鋼心アルミより線」が主流。
- アルミは付着海塩濃度がある程度以上になると急激に腐食する。
- 修繕コスト低減のため、アルミ腐食速度マップが必要。



5. 今後の課題 (塗膜下腐食速度マップ)

【塗膜下腐食】

- 塗膜下腐食は塗膜下の金属が腐食減肉していく現象。
- 再塗装時のケレンで残留した腐食生成物を起点に腐食が発生。
- 更なる修繕コスト削減のため、塗膜下腐食速度マップが必要。



塗膜下腐食(断面図)



※白錆・赤錆を除去するが、
亜鉛合金層は残す程度。

ご清聴ありがとうございました

–メモ用紙としてお使いください–

講 演 5

重度腐食した耐候性鋼材の素地調整における アブレイシブ・ウォータージェット新技術の実用展開

豊田 雄介

(西日本高速道路株式会社 関西支社 保全サービス事業部
改築第二課 課長代理)

重度腐食した耐候性鋼材の素地調整における アブレイシブ・ウォータージェット新技術の実用展開

AWT

Abrasive Water-jet Treatment

西日本高速道路(株) 関西支社
保全サービス事業部 改築第二課 豊田 雄介



関西支社 事業概要

■ 事業データ

項目	NEXCO西日本 全体	NEXCO西日本 関西支社	備考
営業延長(km)	3,625	990	
事業延長(km)	56	56	上段:新設
	171	42	下段:6車線化及び4車線化
休憩施設数 (箇所)	SA 100(94)	26(24)	上:休憩名「箇所でカウントしたエリ カ数」。()内は、第三セクター等の運 営を除いた有人の営業施設。 別所PA(上下駿)は含まず。
PA	213(98)	54(29)	



4

1. NEXCO西日本 関西支社 概要

2. 大規模更新・修繕 / 耐震補強

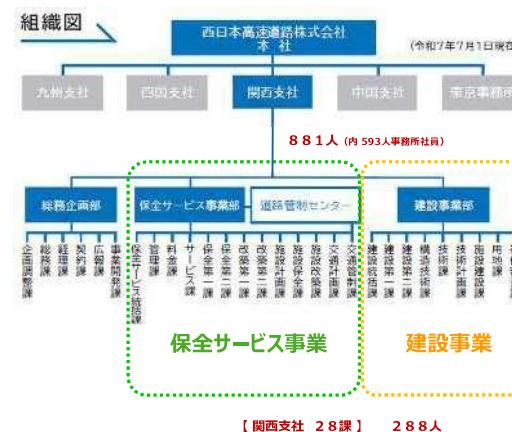
3. 重度腐食した耐候性鋼材の素地調整

～アブレイシブ・ウォータージェット新技術の実用展開～

2

関西支社 組織図

■ 組織図



【事務所概要】 【19事務所】 593人

事務所名	営業延長(km)	計(面積ha)
滋賀高速道路事務所	85.3	
京都高速道路事務所	83.7	
大阪高速道路事務所	120.2	
奈良高速道路事務所	99.8	
和歌山高速道路事務所	91.3	
福知山高速道路事務所	118.5	
神戸高速道路事務所	97.6	
名神高速道路事務所	88.0	
四国高速道路事務所	83.9	
第二神明道路事務所	29.9	
高知高速道路事務所	91.9	

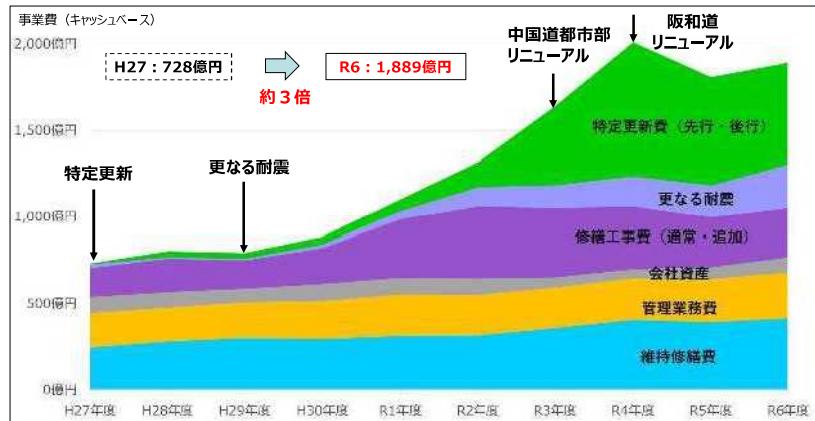
事務所名	営業延長(km)	計(面積ha)
新名神高速道路事務所	12.9	12.0
新名神大飯原事務所	7.4	7.4
新名神大飯原事務所	4.4	4.4
新名神大飯原事務所	12.2	22.5=1 34.7
相模山高速道路事務所	—	8.7
奈良工事事務所	12.4	— 12.4
福知山高速道路事務所	—	11.2
第二神明道路事務所	6.9	— 6.9
阪神高速道路事務所	—	— 57.8

注1 新名神大飯原事務所、八幡原工事所へ高坂(名神)沿線施設部は合併

5

関西支社 保全サービス事業の執行状況

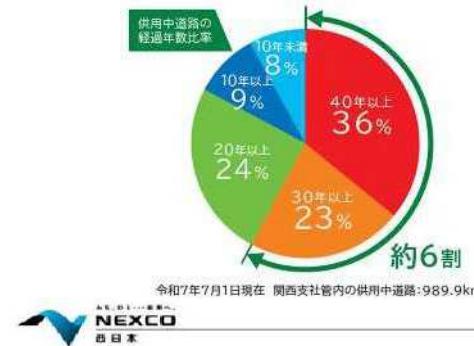
- 特定更新・更なる耐震等のプロジェクト型事業により、**10年間で事業費は約3倍**まで増加
- 新規路線の開通やリニューアル・更なる耐震の着手により**今後も事業費は増加する見込**



6

高速道路の老朽化の現状

- 昭和38年の名神高速道路（栗東IC～尼崎IC）の開通から60年以上が経過
- 開通から30年を経過する道路は約6割となり、確実な維持管理が求められる。



9

高速道路の老朽化の現状

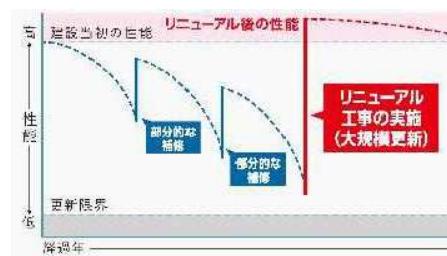
- 経年年数に伴う老朽化に加えて、大型車交通量や車両総重量の増加、凍結防止剤の散布などにより道路の老朽化が進行



10

大規模更新・修繕の必要性

- これまで定期的に点検を行なながら部分的な補修、補強を繰り返してきたが、**構造物の長期的な安全性や耐久性の確保が困難になりつつある**。
- 高速道路ネットワークの機能を長期にわたって健全に保つため、**平成27年度より大規模更新を実施**
- 重交通区間での橋梁更新工事は、長期間かつ大規模な交通規制によって**慢性的な渋滞の発生が懸念**されるため社会的影響の低減が必要



11

大規模更新・修繕 事業化経緯

時期	内容
H24.11.7 (H24.12.2)	「高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会」設立（以下、長期保全等検討委員会） 中央自動車道 笠子トンネル（上り線）天井板落下事故発生
H25.4.25	長期保全等検討委員会「中間とりまとめ」公表 高速道路の各構造物の変状状況から劣化要因を整理し、大規模更新・大規模修繕の必要要件について取りまとめ
H25.4.26	国土幹線道路部会へ「中間とりまとめ（要旨）」を報告 長期保全等検討委員会の中間とりまとめを踏まえ、検討内容及び大規模更新・大規模修繕の規模感について会社から報告
H26.1.22	長期保全等検討委員会「提言」 東・中・西日本高速道路の「大規模更新・大規模修繕計画（概略）」の公表 老朽化の進展並に厳しい使用環境により著しい変状が発生が頗る在していることを踏まえ、構造物の変状状況や劣化要因などから大規模更新・大規模修繕が必要となる構造物の要件を抽出。長期保全等検討委員会の提言を踏まえ、大規模更新・大規模修繕の事業規模を公表
H26.2.7	国土幹線道路部会への報告 高速道路各社の更新計画（概略）の内容について報告
(H26.7.1)	道路法施行規則の一部改正に伴う定期点検（1回/5年）の近接目視点検のルール化
H27.1.15	国土幹線道路部会において更新計画の審議【先行特定更新】 更新計画（概略）の内容について精査 ■ 国土幹線道路部会において審議
H27.3.25	道路整備特別措置法に基づく更新事業の事業許可【先行特定更新】

「大規模更新・修繕事業（通称：リニューアルプロジェクト）」に着手し、各地で工事を開始

R6.3.27 道路整備特別措置法に基づく更新事業の事業許可 【後行特定更新】

12

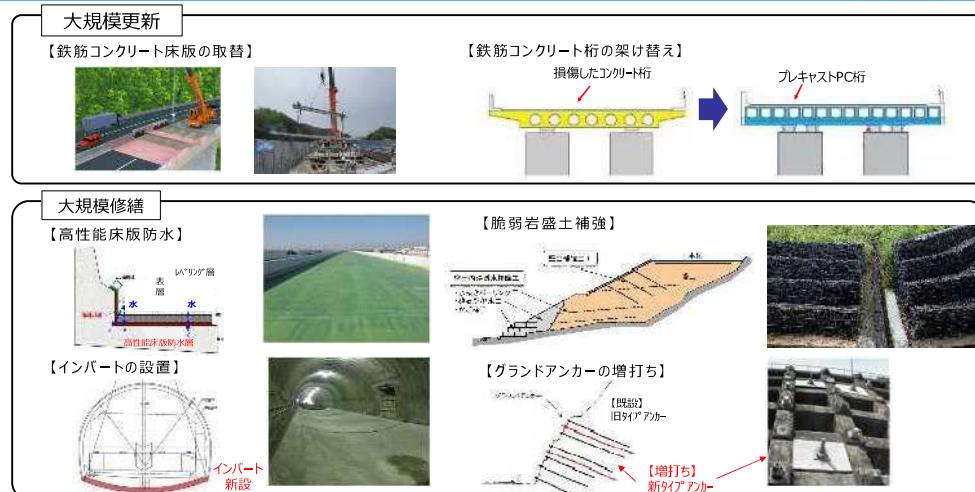
大規模更新・修繕の事業規模【先行特定更新】

- 重大な変状に進展するおそれのある個所に大規模更新・修繕を実施【先行特定更新】

区分	項目	工事概要	延長		工事予算
			西	東	
橋梁更新	床版	● 床版取替、床版全面打替え ● 付随工等	74 km	西	約8,600 億円
	桁	● 橋梁の上部構造の取替え ● 付随工等	224 km 3社計	西	約2兆4,700 億円
橋梁修繕	床版	● 床版補修、補強 ● 付随工等	6 km 3社計	西	約500 億円
	桁	● 橋梁の上部構造の補修、補強 ● 付随工等	9 km 3社計	西	約800 億円
土構造物修繕	床版	● 土構造物（盛土、切土）の補修、補強 ● のり面排水施設の補修、補強等	155 km 3社計	西	約700 億円
	切土	● 土構造物全体の安定性を確保する対策 ● 付随工等	455 km 3社計	西	約2,300 億円
TN修繕	床版	● 橋梁の上部構造の補修、補強 ● 付随工等	46 km 3社計	西	約700 億円
	本体覆工	● TN本体の補修、補強 ● TN覆工コンクリートの補修、補強 ● TN全体の安定性を確保する対策 ● 付随工 など	160 km 3社計	西	約1,300 億円
合計				西	約1兆4,700 億円
				3社計	約4.37 兆円

13

大規模更新・修繕の工事内容【先行特定更新】



12

大規模更新・修繕の事業規模【後行特定更新】

- 重大な変状に進展するおそれのある個所に大規模更新・修繕を実施【後行特定更新】

区分	項目	工事概要	延長		工事予算
			西	東	
橋梁更新	床版	● 床版取替、床版全面打替え ● 付随工等	6 km 3社計	33 km 3社計	約600 億円 約4,500 億円
	桁	● 橋梁（PC橋）の上部構造（桁）の取替え ● 橋梁（PC橋）の上部構造の補修、補強 ● 付随工等	18 km 3社計	51 km 3社計	約1,000 億円 約2,500 億円
土工舗装	舗装	● 舗装（路盤）の更新（高耐久化） ● 付随工等	342 km 3社計	899 km 3社計	約900 億円 約2,400 億円
	切土	● 土構造物（切土）の構造変更 （ボックスカルバート化、押え盛土等） ● 付随工等	1 km 3社計	2 km 3社計	約100 億円 約200 億円
	盛土	● 土構造物（盛土）の更新 （盛土材の置換等） ● 付随工等	- km 3社計	8 km 3社計	- 億円 約400 億円
合計				西	約2600 億円
				3社計	約1兆円

15

大規模更新・修繕の工事内容【後行特定更新】



大規模更新

【舗装路盤部の高耐久化】

【切土区間のボックスカルバート+押え盛土】

- 標準的な工法（グラウンドアンカー等）では地すべりの抜本的な対策とならない**切土区間**に対して**押え盛土**を構築することで、のり面全体に対して面的に変形を抑制する。
- 従来の交通確保のため、本線上に**ボックスカルバート**を設置

【対策前】  **【対策後イメージ】** 

大規模修繕

【PC鋼材のグラウト再注入】

充填材の充填不足がみられるPC桁に**グラウト再注入**を実施

16

耐震補強事業の事業経緯

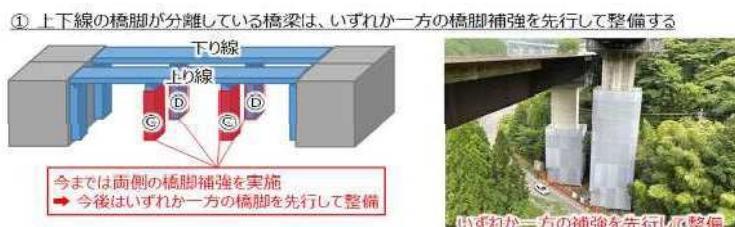
時期	内容
H7.1.17	兵庫県南部地震 (M7.3 震度7) → 平成7年 兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様【復旧仕様】 → 平成8年 道路橋示方書V編 耐震設計編 改訂（レベル2タイプII地震動の規定、落橋防止対策の強化） → 平成14年 道路橋示方書V編 耐震設計編 改訂（設計法の高度化、動的解析の活用）
H16.10.23	新潟県中越地震 (M6.8 震度7)
H17.3.20	福岡県西方沖地震 (M7.0 震度6弱)
H17.6.25	緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム【通称3プロ】（S55道示より前の道示を適用している橋梁を対象）
H23.3.11	東北地方太平洋沖地震 (M9.0 震度7) → 平成24年 道路橋示方書V編 耐震設計編 改訂（レベル2タイプI地震動の見直し、RC橋脚設計法の見直し）
H28.4.14	熊本地震 (M7.3 震度7) 耐震性能3（落橋・倒壊の防止）は完了していたが、 耐震性能2（橋としての機能の早期復旧）が不十分な状況であった
H28.11.16	社会资本整備審議会 道路分科会 基本政策部会（第57回） → 当面3年間 跨道橋等のロッキング橋脚を有する橋梁は概ね3年程度で耐震補強を実施 → 当面5年間 少なくとも地震発生確率が2.6%以上の地域で完了 → 当面10年間 全国で耐震補強の完了を目指す
H29	更なる耐震補強の事業化 → 合理性・効率性・経済性の観点で上下線同時施工として事業を推進
R6.1.13	高速道路の耐震補強 実施計画（ナスコ東・中・西、本四高速） → 今後の耐震補強対策をより効率的かつ確実に進めるため、 片側施工などの整備手法 とする

23

耐震補強事業の方針見直し



- 大規模地震発生時に橋脚の損傷に起因して、上下線共に通行不能になる部分（地震時のミッシングリンク）を早期に解消するため、令和6年度から暫定的な整備手法を採用し整備を進める。



耐震補強事業の完了目標

- 大規模地震発生確率2.6%以上の地域は、**R1.2年度末まで**に地震時のミッシングリンク解消を目指す（それ以外の地域は**R2.0年度頃**の解消を想定）



関西支社の稼働中の耐震補強工事



- 現在の33件の耐震補強工事が稼働中（橋梁数：376橋、累計工事費1,300億円）



26



3. 重度腐食した耐候性鋼材の素地調整

～アブレイシブ・ウォータージェット新技術の実用展開～

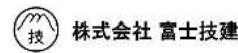


34

開発5者（アブレイシブ・ウォータージェット工法）



耐候性鋼材の素地調整工法（さび除去・除塩技術）



不具合事例



トラス下弦材下面



トラス下弦材下面（添接部）



35



37

不具合事例

- 耐候性鋼橋の異常腐食は点検、診断が難しく、母材喪失など致命的な損傷に気付くことが困難



点検時



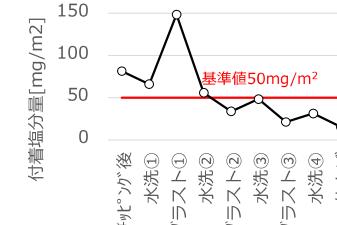
blast after

補修時の課題

- 異常さびが強固のため、blast作業前にチッピング処理が必要
- 表面付着塩分量の基準値を満足することが困難（塗装前の鋼素地品質基準）
- 鋼素地に残存する塩類を起点として塗膜下腐食の再劣化が発生し補修が終わらない



粗さび落とし



表面付着塩分量



二次孔食底の残存さび

キムアラン、貝沼重信、豊田雄介、榎本明博、森下弘大、矢野正彦、樋口直哉: 無塗装耐候性鋼部材におけるblast処理を用いた鋼素地調整法の検討. 防錆管理, Vol.69, No.10, pp.299-313, 2025.

補修後の再劣化（塗膜下腐食）

高知道 久保が内橋



- H4年 供用開始
- H27年 塗替え塗装

高知道 辺地床第1高架橋



- H4年 供用開始
- H18年 塗替え塗装

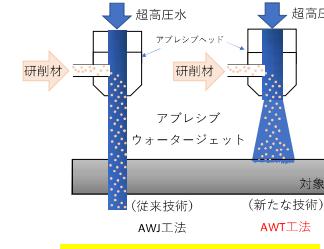
鋼素地調整の新技術

AWT (Abrasive Water-jet Treatment)

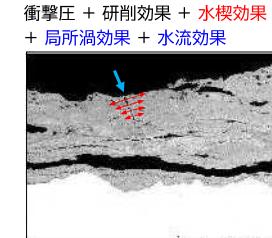
- 研削材を混合した高圧水を拡散噴射するウォータージェット工法
- 既存技術のAWJ工法に拡散ノズルを適用し技術開発
- 水流と研削材の衝撃力で『異常さび・塩分除去、素地調整』を僅か一工程で実現



アブレシブウォータージェット工法
(AWJ工法)



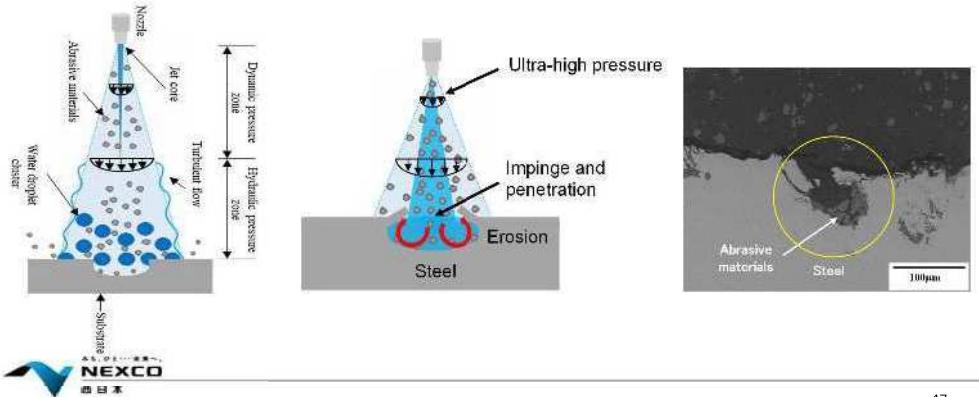
【参考】Abrasive: 研磨用の、研磨剤



貝沼重信、山本悠哉、伊藤義治、宇都宮一浩、押川凌: 商食生
成物層の厚さを用いた無塗装普通鋼材の腐食深さとその経
時性の評価方法、材料と環境, Vol.61, No.12, pp.53-54, 2012.

鋼素地調整の新技術 AWT (Abrasive Water-jet Treatment)

▶ 局所渦効果



47

鋼素地調整の新技術 AWT (Abrasive Water-jet Treatment)

▶ 撤去部材による試験施工



僅か1工程で素地調整完了



49

試験施工 (R4年)

橋梁名	南九州道 飯牟礼橋
橋梁形式	鋼4径間連続（箱桁+トラス）橋
防食仕様	無塗装耐候性鋼材
橋長	365m
竣工年	2001 (H13) 年6月



50

試験施工の結果

施工条件	施工面積	0.095 m ² (19×50cm)
水圧	230 Mpa	
照射距離	約100 mm	
照射時間	約120 秒	

天候 : 雨天(湿度80%)
付着塩分量 : 0~5 mg/m²
鋼素地の状態 : 1種ケレン相当

施工能力2.2 m²/h, 研削材使用量17.0 kg/m²



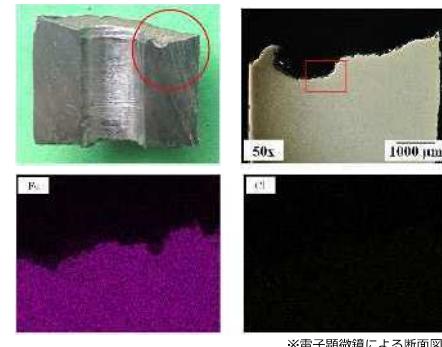
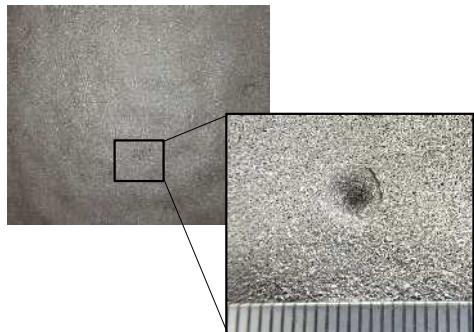
戻りさびが発生しない
わずかに戻りさびを確認

46

52

二次孔食の状態

- 二次孔食底部までさびを十分に除去できた
- コアサンプルにより、二次孔食底に塩分が無いことを成分分析で確認



53

狭隘部の施工性

- ボルト回りを水流が循環するため2方向からの施工で素地調整完了



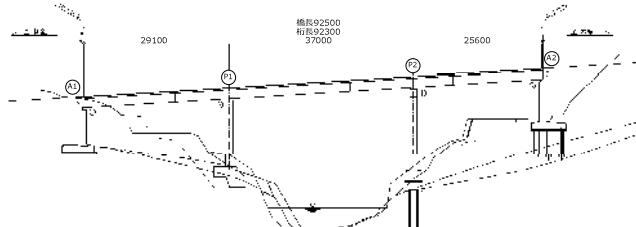
AWT水流が循環



54

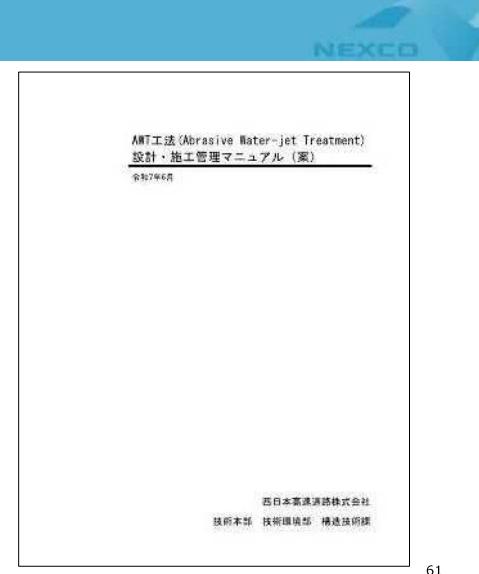
補修工事への実用展開 (R5年度～)

- 3径間連続非合成鋼4主鉄杭（無塗装耐候性鋼材・1992供用）
- 凍結防止剤散布量は年平均16 t/km（累積散布量474 t/km）
- 2020年に床版防水工G2が施工済



展開の現状

- 令和5年度より年間1～2橋の補修工事に適用
- これまでの施工実績（計6橋）で得られた知見をもとにAWT工法設計・施工管理マニュアルを策定（R7.6）



さいごに

- 九州支社においては、耐候性鋼橋が19橋存在する（会社全体では約110橋）
- 耐候性鋼橋の異常さびの発生は橋全体に生じるわけではなく、桁端部など局所的（橋梁全体からみると数%の面積割合）のため、損傷が軽視されがち
- しかし、異常さびの進行は非常に早く、措置を先送りにすることで部材の消失（場合によっては破断）に繋がりやすく、通常の鋼橋と比べ落橋リスクが高い
- AWT工法を有効活用して鋼橋の維持管理に役立てていきたい

–メモ用紙としてお使いください–

■配布資料（カラー版）について

- 配布資料（カラー版）がダウンロードできます
- 以下のページにアクセスいただき、ダウンロードしてください

URL: <https://www.kyushu-u-nexco.jp/>

または「九州大学 ネクスコ」で web 検索

九州大学 × NEXCO
包括的連携推進協定

ホーム | 技術シンポジウム | 道路工学実習教室 | 特別講義 | 共同研究 | 交流 |

ごあいさつ

九州大学とNEXCO西日本は、2009年9月に包括連携協定を締結。大学が持つ基礎研究成果と市場動向の技術専門力を強化し、新規技術開発および入札審査において連携協力を推進しています。

新着情報

2024年9月12日 第16回技術シンポジウム「自然災害は...」

2024年11月2日 フィードバック動画URL公開のお知らせ(第15...

2023年10月24日 開催資料公開のお知らせ(第15回技術シ...

2023年9月20日 第15回技術シンポジウムのお知らせ

2023年3月22日 道路工学実習教室のページを更新しました

2022年10月16日 フィードバック動画URL公開のお知らせ(第14...

シンポジウム参加申し込み

Web視聴によるCPD認定申し込み

九州大学
NEXCO
西日本

お問い合わせ

NEXCOエンジニアリング九州
協議企画室 開発部
TEL:092-771-0840
FAX:092-771-1419
e-mail:kikaku@w-e-kyushu.co.jp



九州大学
KYUSHU UNIVERSITY

