

4. 疲労対策事例の紹介(その2)

大嶋 昇

阪神高速道路(株)

疲労対策事例の紹介(その2)

阪神高速道路(株) 大嶋 昇

1. 阪神高速道路の概要
2. 疲労損傷の点検
3. 疲労損傷の応急・恒久補修
4. 疲労損傷の予防保全

1. 阪神高速道路の概要
2. 疲労損傷の点検
3. 疲労損傷の応急・恒久補修
4. 疲労損傷の予防保全

1. 阪神高速道路の概要

阪神高速道路は1962年に阪神高速道路公団として設立され、
阪神圏の都市高速として1964年に1号環状線の部分供用を開始

供用延長: 258.1km

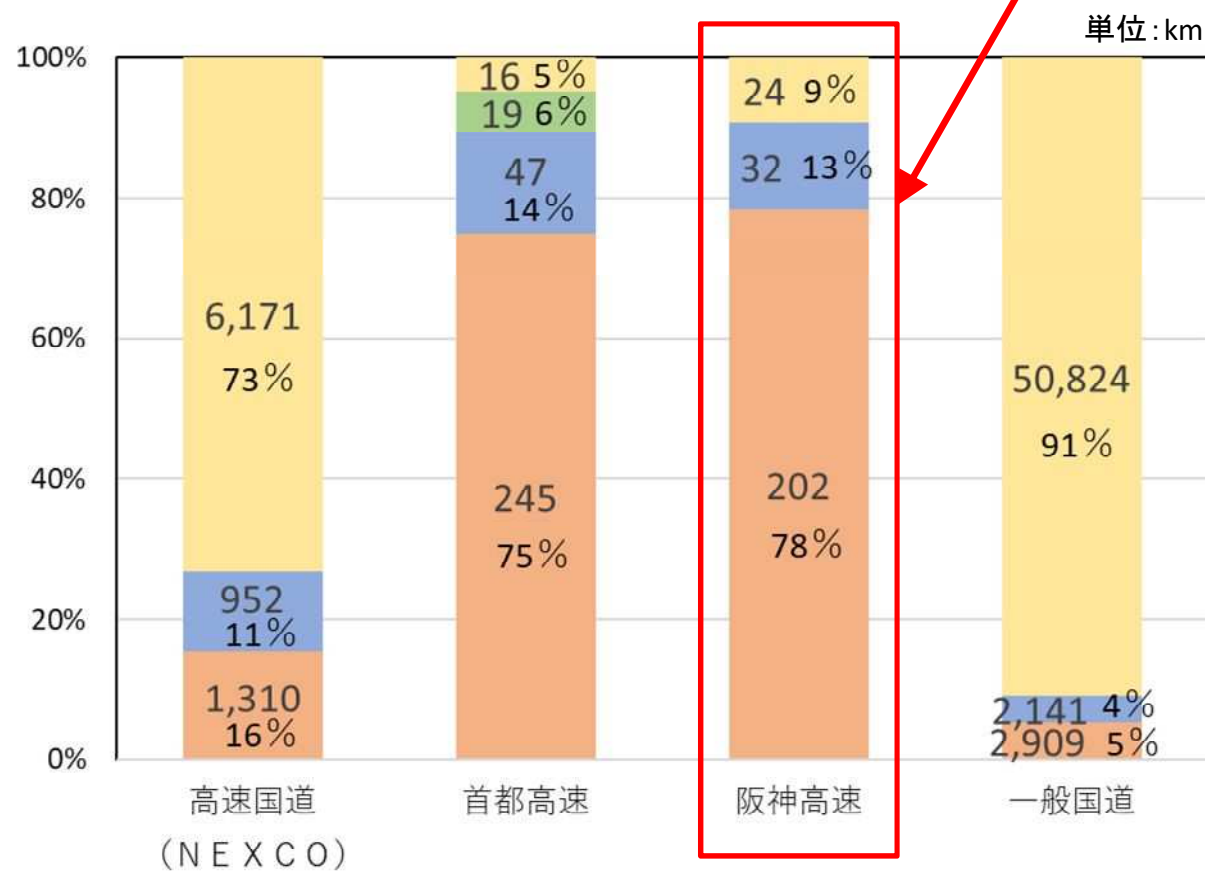
→さらなるミッシングリンク解消に注力している



1. 阪神高速道路の概要

構造物比率

橋梁が約8割となっている



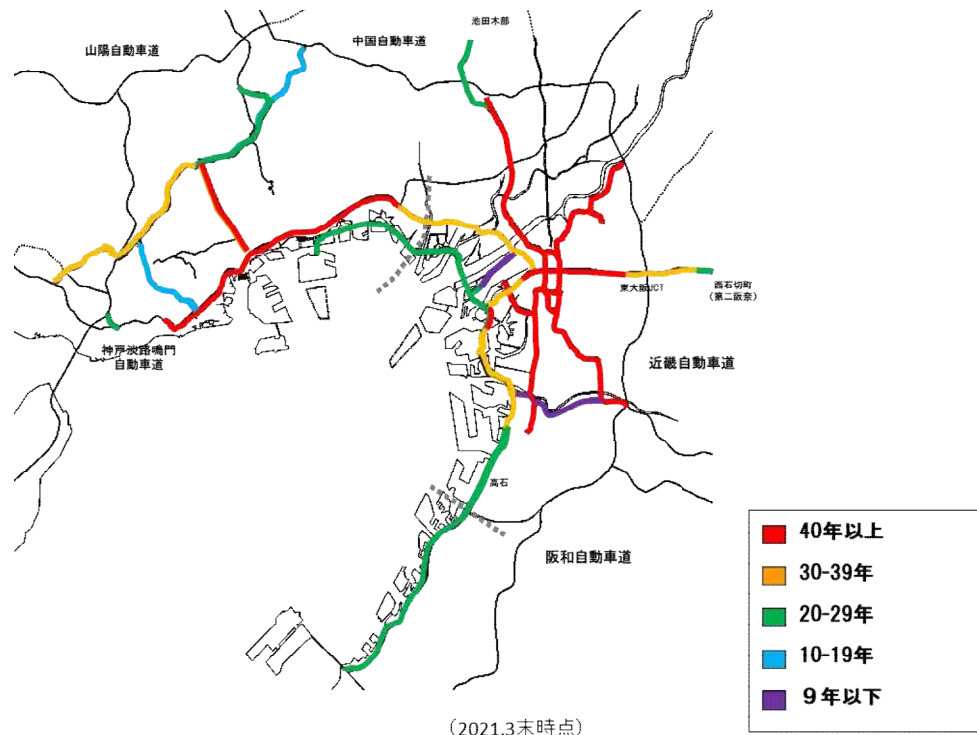
橋梁約1万径間のうち
「鋼床版が約1400径間」

- 土工
- 半地下
- トンネル
- 橋梁

NEXCO : 道路統計年報2020
 首都高速 : 2021年4月時点(HPより)
 阪神高速 : 2021年3月末時点
 一般国道 : 道路統計年報2020
 (数字は延長Km)

1. 阪神高速道路の概要

供用延長の推移



40年以上	大阪池田線、守口線、森小路線、堺線、神戸西宮線、松原線等
30~39年	東大阪線、大阪西宮線、湾岸線等
20~29年	湾岸線、大阪池田線延伸部、北神戸線等
10~19年	北神戸線、神戸山手線
9年以下	淀川左岸線、大和川線

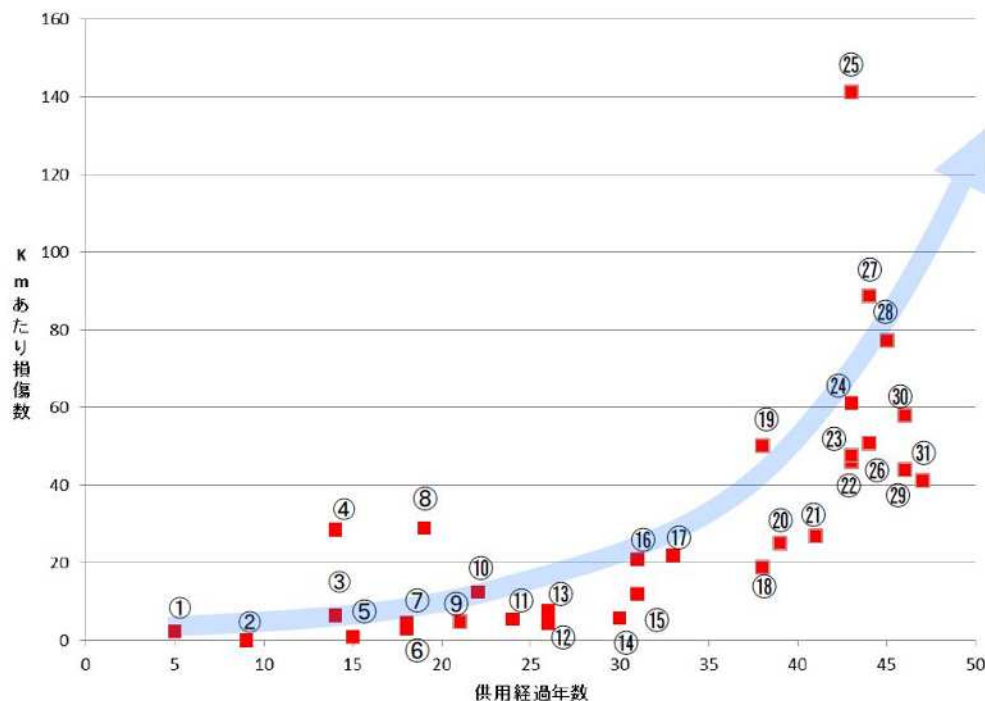


総延長258.1kmのうち、
 ✓ 経過年数40年以上
 が約**43%**(約111km)
 ✓ 30年以上が約**63%**
 (約163km)

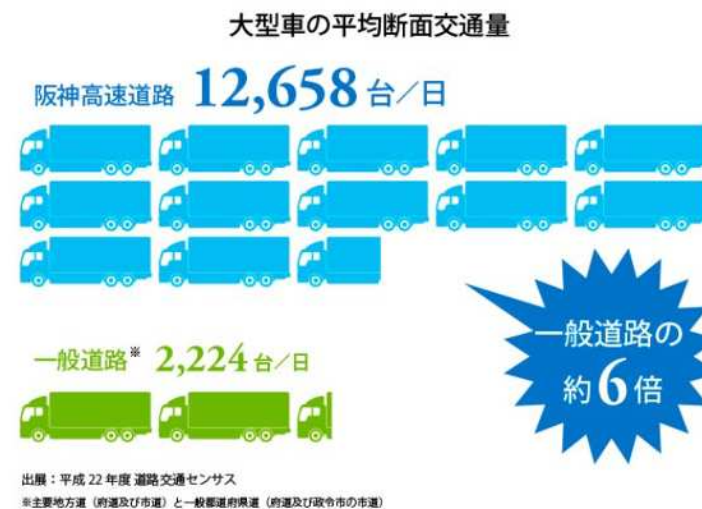
→阪神高速は供用から50年以上が経過し
 供用路線の多くが老朽化している

1. 阪神高速道路の概要

供用年数と損傷数



高速道路の大型車交通量



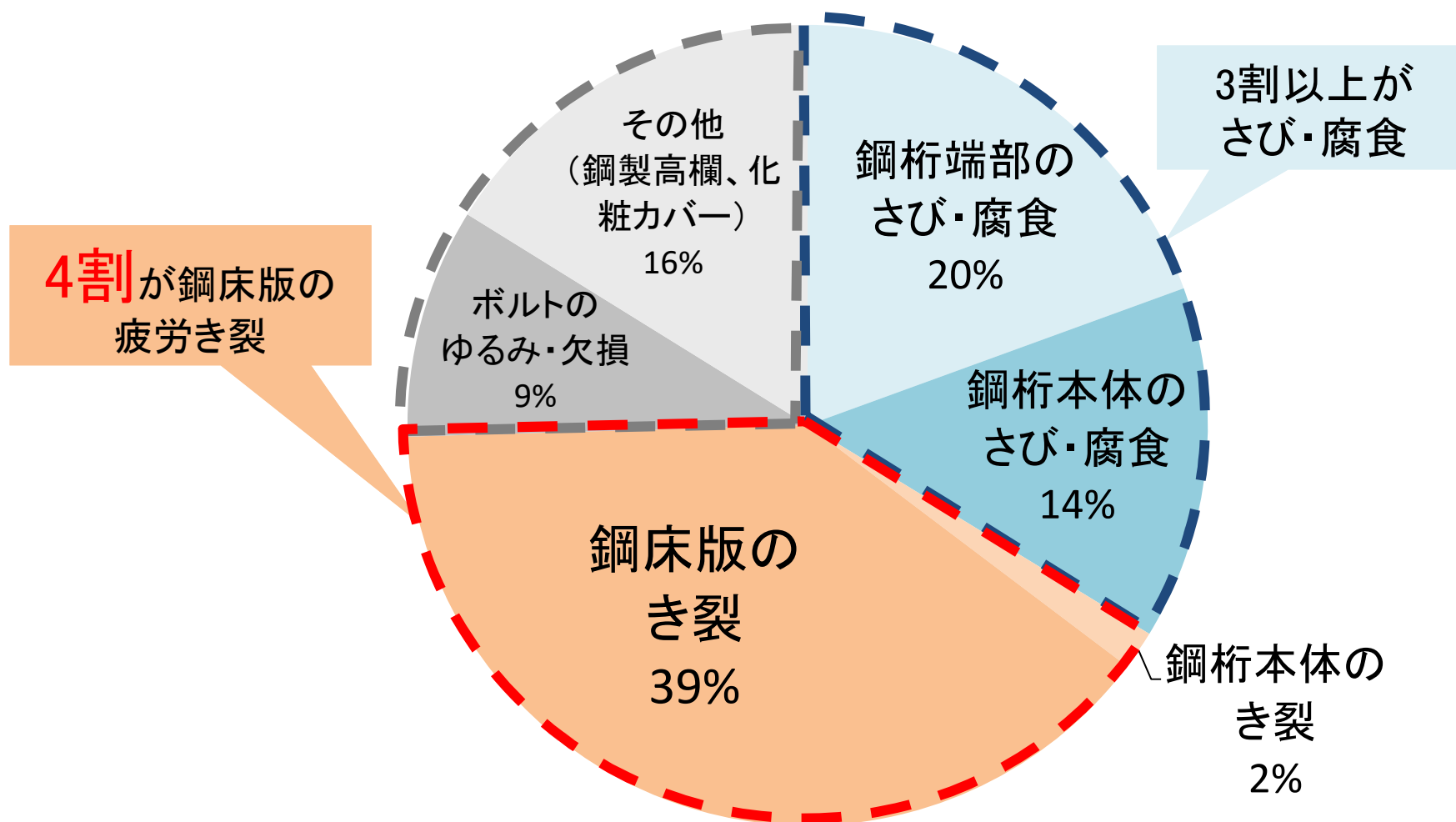
- ・供用約40年頃からkmあたりの損傷数が大きく増加する傾向が見られる
- ・大型車利用は一般道に比べ約6倍

重交通により構造物の老朽化が進行
→特に鋼構造物の損傷が多く発生

1. 阪神高速道路の概要

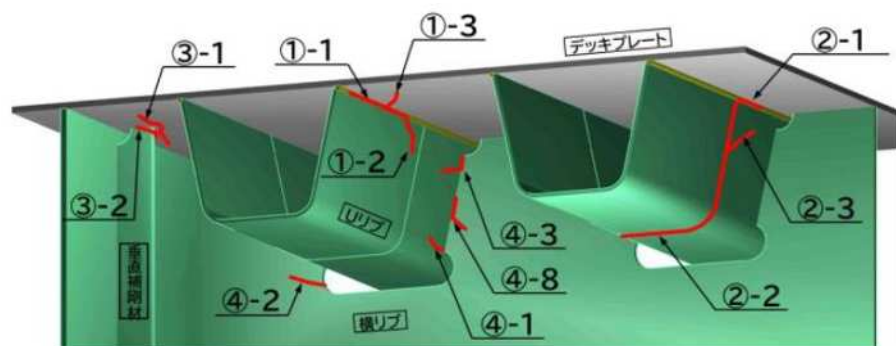
鋼構造物の損傷の発生割合

鋼床版の疲労き裂が鋼構造物の損傷の**約4割**を占めている

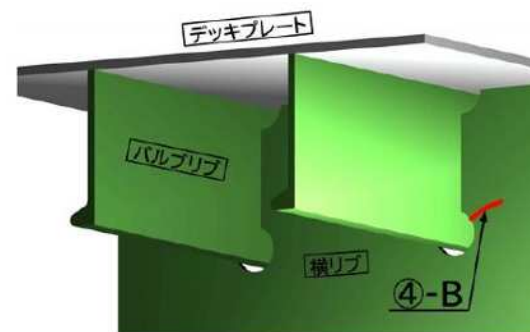


鋼床版における疲労き裂

鋼床版では縦リブ (**Uリブ・バルブリブ**) と他部材の溶接部で疲労き裂が発生



Uリブ鋼床版における損傷箇所



バルブリブ鋼床版における損傷箇所

これらの疲労損傷に対し、

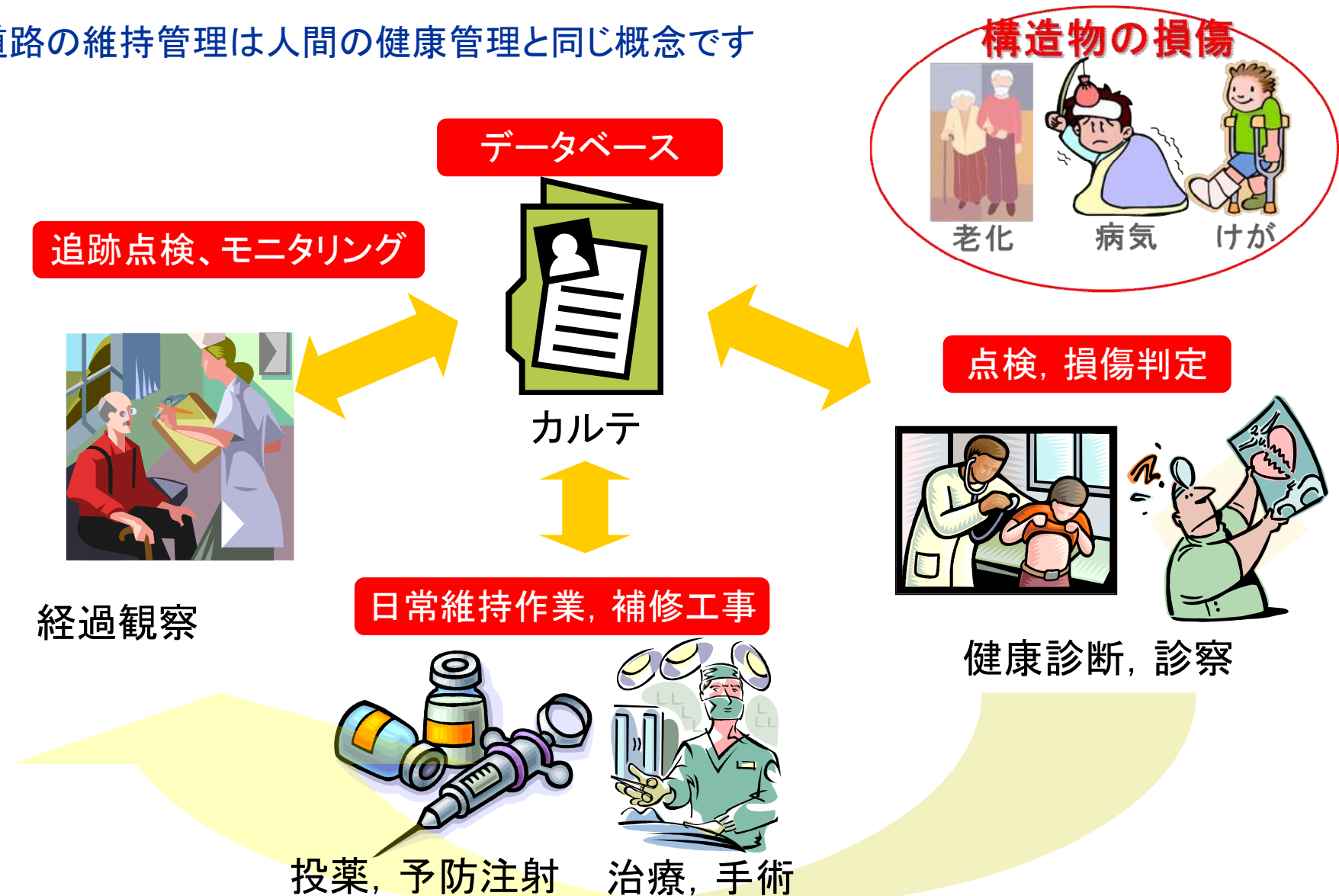
- **点検**によるき裂の発見
- **応急・恒久補修**による
欠損した断面性能の回復とき裂の進展抑制
- **予防保全**によるき裂の未然防止

の対応を行っている

1. 阪神高速道路の概要
2. **疲労損傷の点検**
3. 疲労損傷の応急・恒久補修
4. 疲労損傷の予防保全

2. 疲労損傷の点検

道路の維持管理は人間の健康管理と同じ概念です



2. 疲労損傷の点検

点検の目的

構造物を常に適切な状態に保全するべく、**損傷の状況やその影響度を把握**し、補修あるいは補修工事の計画策定を行うために必要となる対策の要否、また、対策の内容を判断するための基礎資料を得ること

点検の体系

- 初期点検 : 構造物完成後の初期状態を把握
- 日常点検 : **定常的な巡回点検**で損傷や異常を早期に発見
- 定期点検 : **構造物および目的ごとに定めた頻度**で接近、目視、たたきおよび簡単な計測により損傷・異常を発見
- 臨時点検 : 定期点検では不十分な場合に適宜実施する点検



定期点検(定常的に実施)



定期点検(5年に1回)

2. 疲労損傷の点検

点検の手順



点検方法

- 目視 : 肉眼により部材の変状等を把握
- 渦流探傷試験(ET) : 塗膜割れが発生している場合に実施
- 磁粉探傷試験(MT) : ETによる反応がある場合に実施
- 超音波探傷試験(PA) : デッキプレートへ進展が懸念される場合に実施

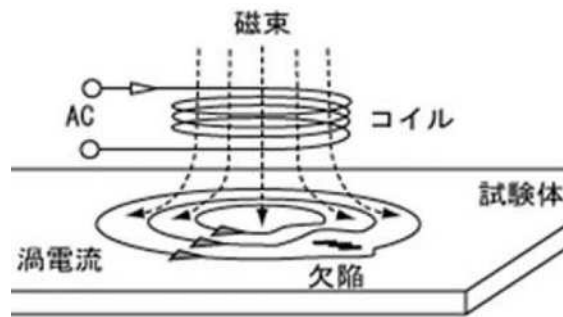


目視点検を基本とし、疲労損傷の発生が懸念される場合には
非破壊検査で損傷の検出を行う

2. 疲労損傷の点検

非破壊検査手法

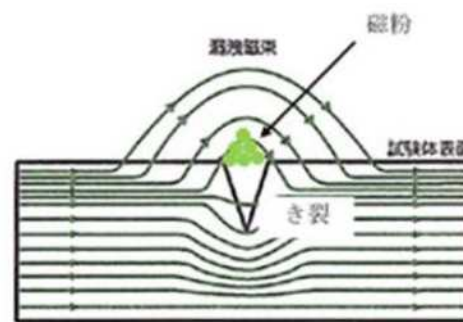
渦流探傷試験



損傷によって変化する
渦電流を検知する

損傷の有無を検知

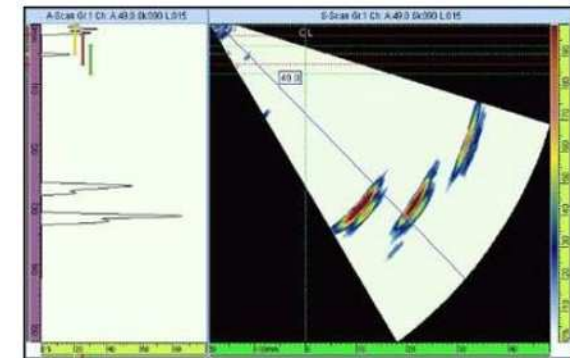
磁粉探傷試験



損傷に生じる漏洩磁界
に磁粉を吸着させて
損傷を検知

表面き裂の長さを確認

超音波探傷試験



多数の振動子から
得られる超音波波面
から損傷を検知

き裂の深さを確認

2. 疲労損傷の点検

点検の手順



点検で発見されたき裂はS～CランクもしくはOKランクに判定される

- Sランク : **機能低下が著しく**構造物の安全性もしくは第三者影響から緊急に対策が必要がある場合
- Aランク : **機能低下がある**もしくは第三者に影響を及ぼす恐れから対策が必要がある場合
- Bランク : 損傷の状態を観察する必要がある場合
- Cランク : 損傷が軽微である場合
- OKランク: 上記以外



判定に基づいて対策の優先度の決定をしている

鋼床版疲労損傷におけるsランク損傷事例

鋼床版のデッキプレートに進展したき裂は路面の陥没等を誘発する恐れがあるためsランク判定とされている



溶接線上を進んだき裂がデッキプレート側に進展している

2. 疲労損傷の点検

点検結果の記録

定期点検で発見された損傷を「保全情報管理システム」に登録し、損傷状況、損傷判定などの蓄積 & 更新を行っている



Home / 損傷カルテ 損傷一覧 / 最新情報

p0057664 点検区分 上下部工点検 総線 現状 ランプ <<本線>> 管理番号 構造形式 M.C.B 前へ | 次へ

工種	部材	部材詳細	点検項目	左右	内面	ネット設置種別	詳細路下情報	損傷位置
桁	鋼桁本体	-	さび、腐食			焼防止ネット	駐車場	S1-1 損傷図

最新情報 履歴 [構造物カルテ](#)

最新点検以降の履歴

実施日	更新区分	工事・業務名	判定	対策	状況
2020-02-04	二次判定	2019年度構造物点検及び管理業務	A	T2[通常補修(旧T1t)]	健全度
2019-12-03	一次判定	2019年度構造物点検及び管理業務	a		
2019-12-03	点検時応急措置	2019年度構造物点検及び管理業務	a		

措置前 措置後

2019-12-03	点検実施	2019年度構造物点検及び管理業務	a	縦桁ウェブ断面減少5/10.5mm(450x40)	
------------	------	-------------------	---	---------------------------	--

住宅地図 航空写真 [拡大](#) [縮小](#)

Powered by GeoCloud

保全情報管理システムの一例

2. 疲労損傷の点検

点検の手順



判定をもとに対策を決定し、**恒久補修**を行う



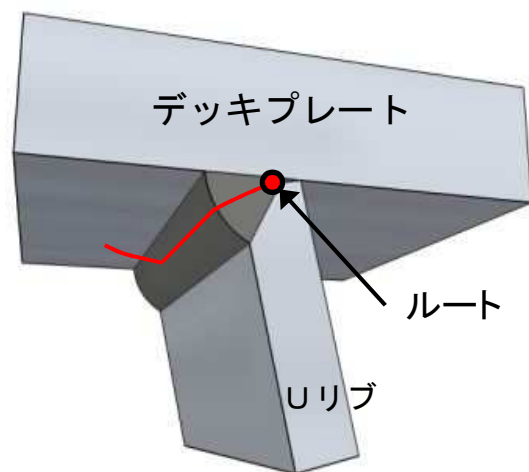
欠損した断面性能の回復とき裂の再進展抑制の2つの観点で実施



当て板補修事例

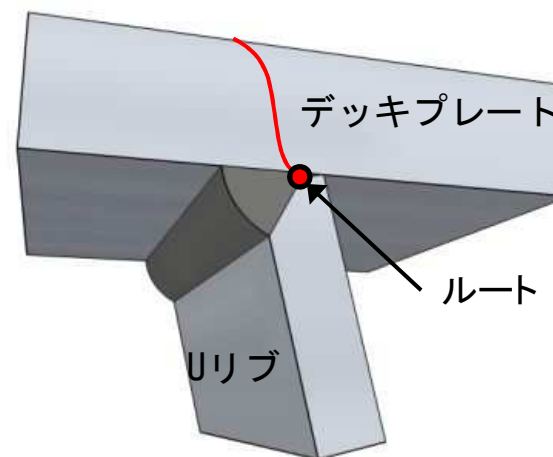
点検での発見が困難なき裂

Uリブとデッキプレートの溶接部ではルートを起点としてき裂が発生
→ ビード貫通き裂とデッキ貫通き裂の2種類が存在



ビード貫通き裂

デッキ下面からの目視で
き裂が発見可能



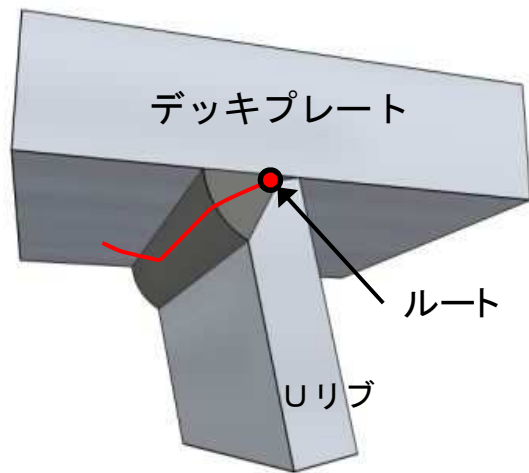
デッキ貫通き裂

デッキ下面からの目視では
き裂が発見不可能

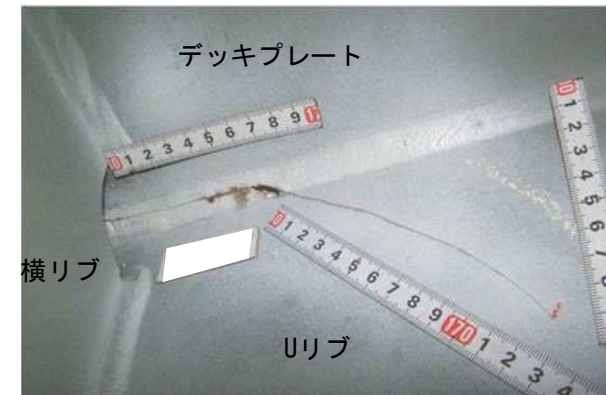
2. 疲労損傷の点検

ビード貫通き裂の損傷事例

目視でき裂が発見可能



(a) 損傷事例



(b) 損傷事例



(c) 損傷事例

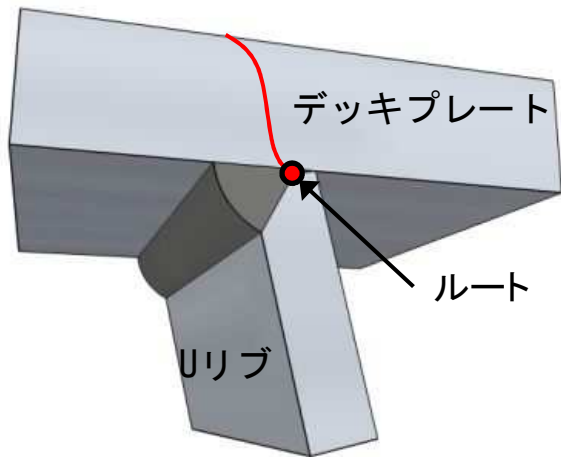


(d) 損傷事例

2. 疲労損傷の点検

デッキ貫通き裂の損傷事例

目視でのき裂が発見不可能



確認には舗装の
撤去が必要



(e) 損傷事例



(g) 損傷事例



(f) 損傷事例



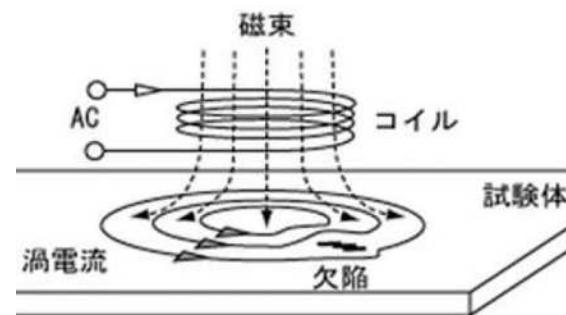
点検での発見が困難なき裂に対する取り組み

非破壊検査手法を用いた舗装走行面からの損傷の検知技術を開発



渦流探傷技術を用いたき裂検査車
(みつけるくんK)

損傷によって変化する渦電流を
検知する渦流探傷法を活用



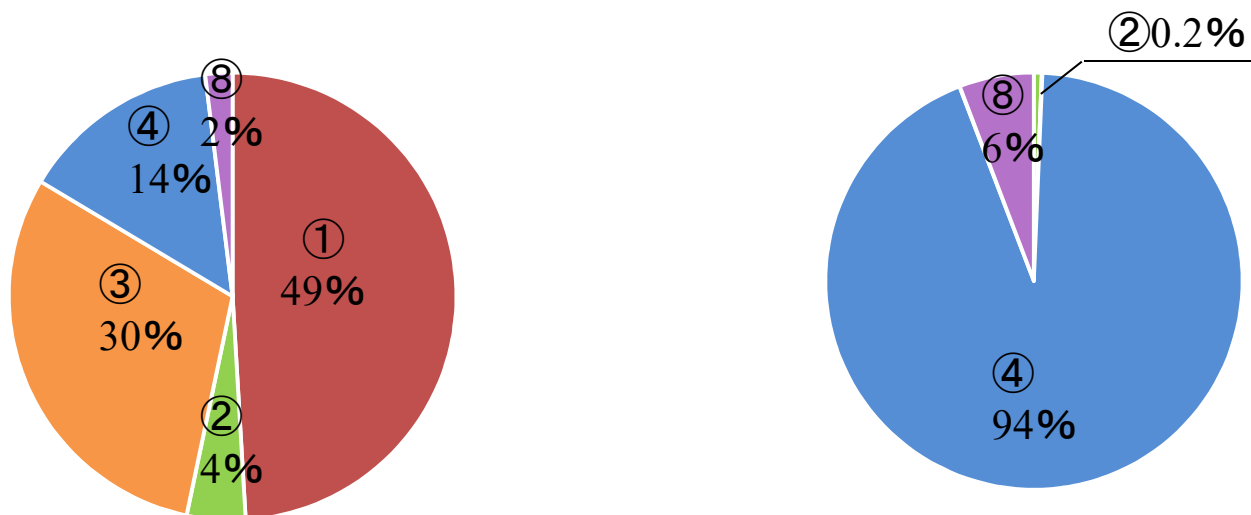
➡ 舗装面上からの損傷のスクリーニングが可能

1. 阪神高速道路の概要
2. 疲労損傷の点検
- 3. 疲労損傷の応急・恒久補修**
4. 疲労損傷の予防保全

損傷タイプ

鋼床版疲労き裂は発生頻度や進展性がき裂タイプによって異なる

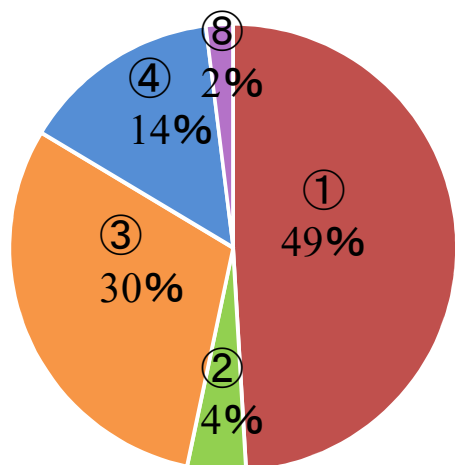
- タイプ①: 縦リブとデッキプレートの溶接部のき裂
- タイプ②: 縦リブ同士の突合せ溶接部のき裂
- タイプ③: 垂直補剛材とデッキプレートの溶接部のき裂
- タイプ④: 縦リブと横リブの交差部のき裂
- タイプ⑧: その他



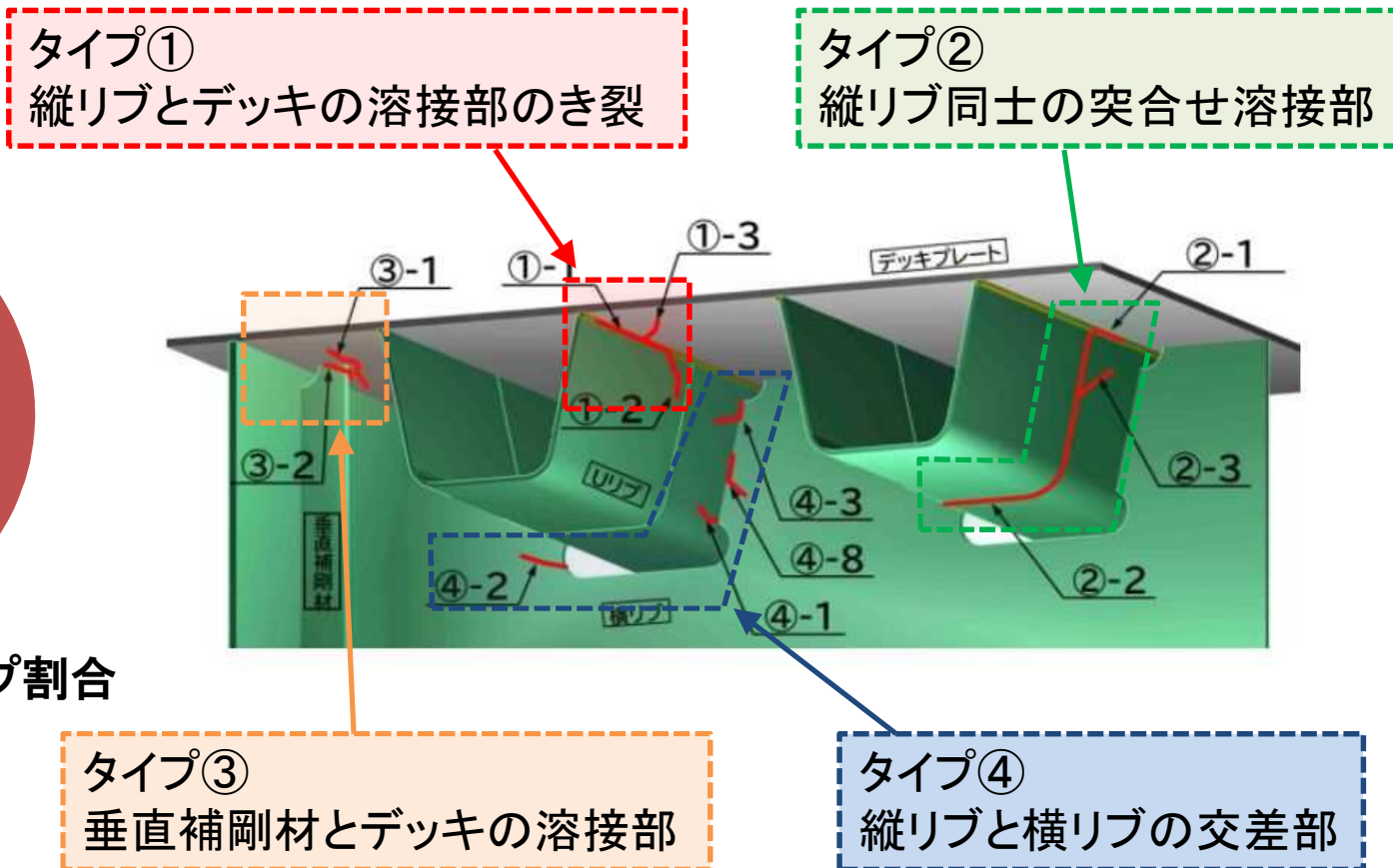
Uリブ鋼床版の損傷タイプ割合

バルブリブ鋼床版の損傷タイプ割合

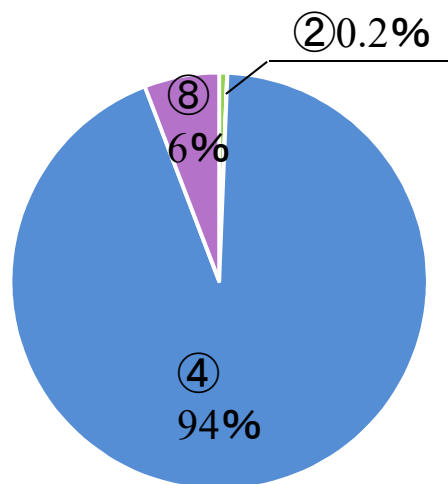
Uリブ鋼床版の損傷タイプ



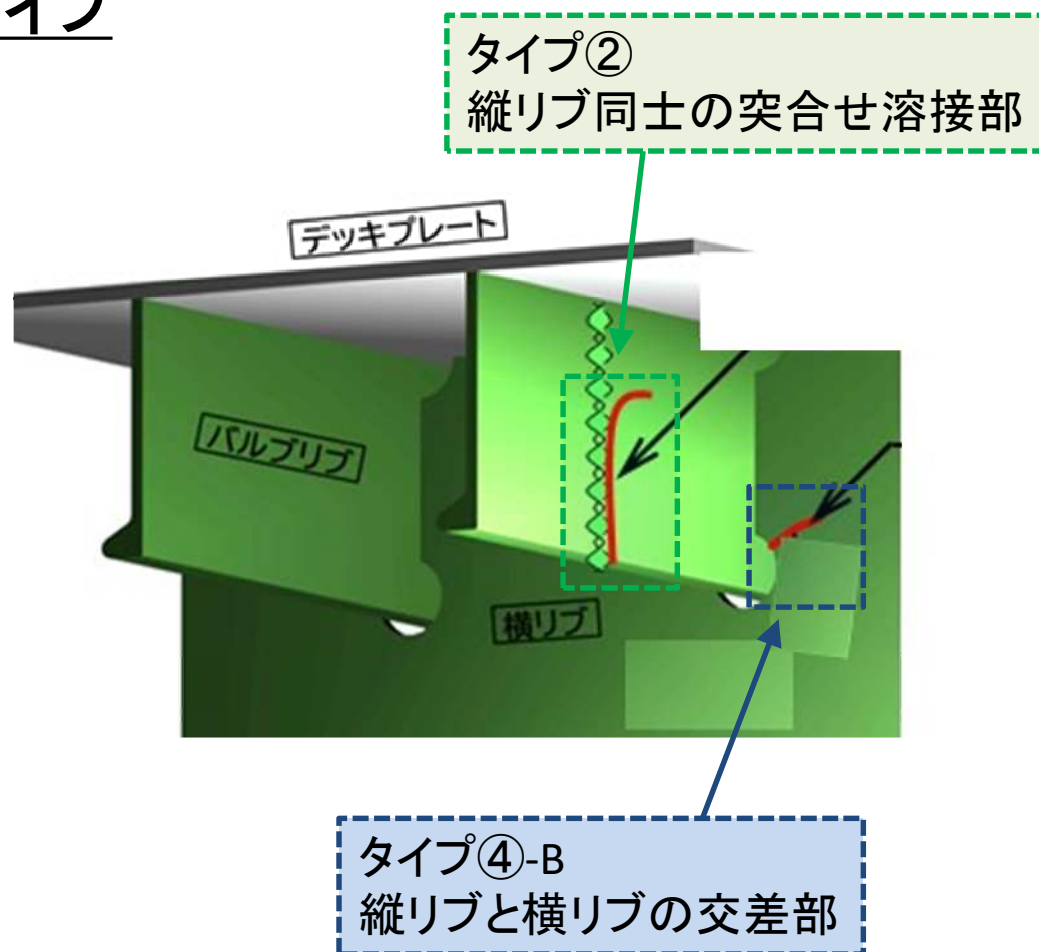
Uリブ径間の損傷タイプ割合



バルブリブ鋼床版の損傷タイプ



バルブ径間の損傷タイプ割合



※バルブリブのタイプ④き裂はUリブと分けてタイプ④-Bとしている

損傷タイプごとの対応方法

	応急処置	恒久補修
タイプ①	<ul style="list-style-type: none">• ストップホール• 削り込み	<ul style="list-style-type: none">• スタッド当て板• Uリブ取替え• 補修溶接
タイプ②	<ul style="list-style-type: none">• ストップホール• 削り込み	<ul style="list-style-type: none">• 突合せ溶接部の当て板
タイプ③	<ul style="list-style-type: none">• ICR処理工	<ul style="list-style-type: none">• 上端部の半円切欠き
タイプ④	<ul style="list-style-type: none">• ストップホール• 削り込み	<ul style="list-style-type: none">• Uリブと横リブ交差部の当て板
タイプ④-B	<ul style="list-style-type: none">• ストップホール• 削り込み	<ul style="list-style-type: none">• バルブリブと横リブ交差部の当て板

応急処置

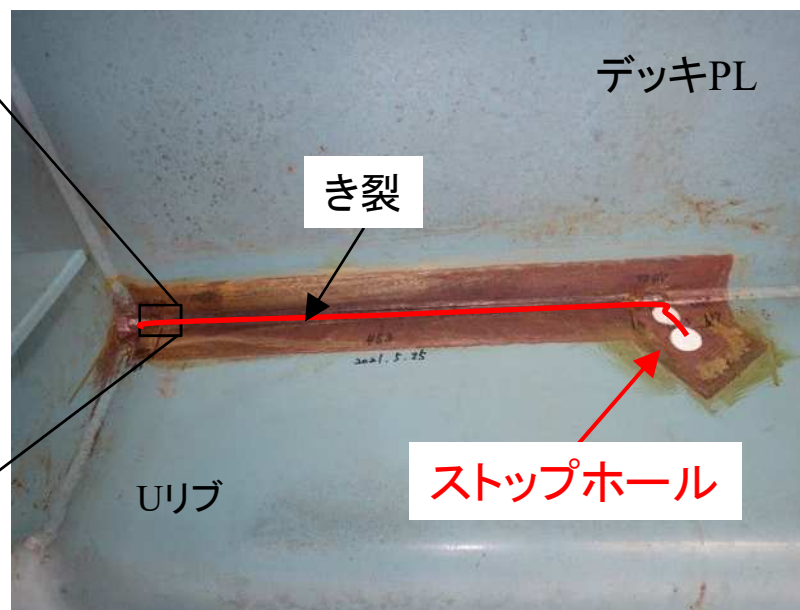
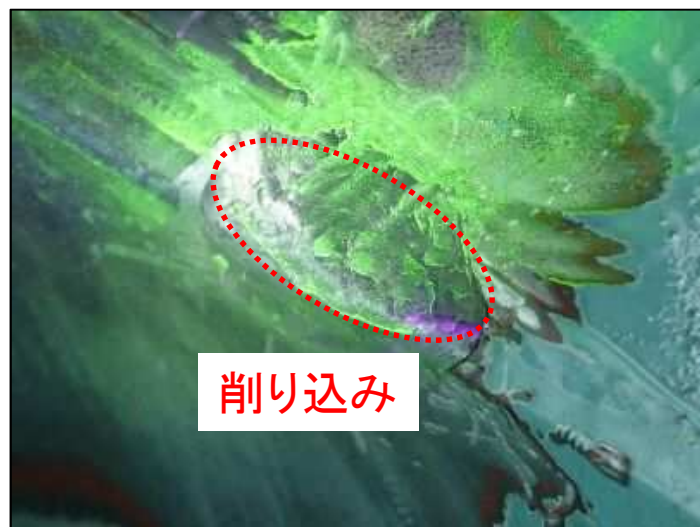
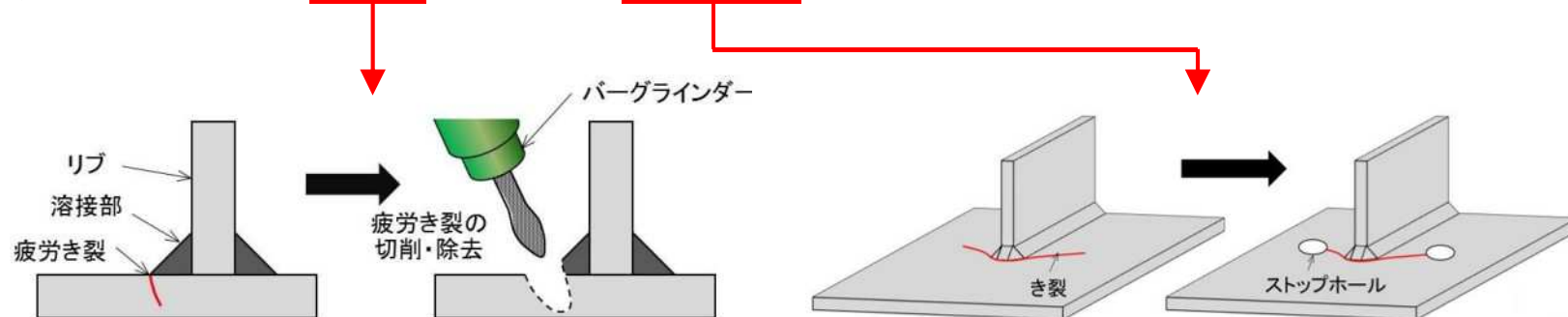
	応急処置
タイプ①	<ul style="list-style-type: none">• ストップホール• 削り込み
タイプ②	<ul style="list-style-type: none">• ストップホール• 削り込み
タイプ③	<ul style="list-style-type: none">• ICR処理工
タイプ④	<ul style="list-style-type: none">• ストップホール• 削り込み
タイプ④-B	<ul style="list-style-type: none">• ストップホール• 削り込み



- ストップホール
 - 削り込み
 - ICR処理工
- の3種類の対応がある

削り込み・ストップホール

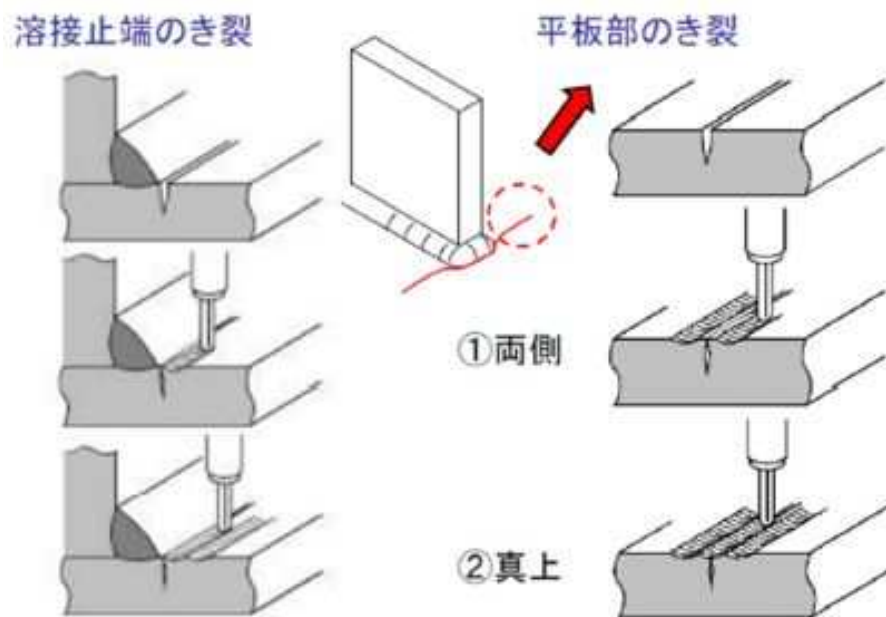
き裂の先端を削るもしくは孔あけすることで応力集中を緩和する工法



ICR処理工 (Impact Crack Closure Retrofit Treatment)

＜衝撃き裂閉口処理工＞

き裂の近傍を叩くことで鋼材表面を塑性変形させ、き裂閉口と圧縮応力の導入を行う工法



施工イメージ図



施工事例

恒久補修

恒久補修	
タイプ①	<ul style="list-style-type: none">スタッド当て板Uリブ取替え補修溶接
タイプ②	<ul style="list-style-type: none">突合せ溶接部の当て板
タイプ③	<ul style="list-style-type: none">上端部の半円切欠き
タイプ④	<ul style="list-style-type: none">Uリブと横リブ交差部の当て板
タイプ④-B	<ul style="list-style-type: none">バルブリブと横リブ交差部の当て板

基本的に恒久補修では
当て板によって

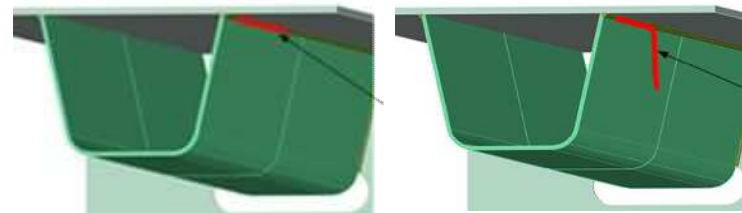
- 断面性能の回復
- き裂の再進展の防止
を行う

タイプ①き裂に対する恒久補修

• スタッドボルトを用いた当て板補修

適用対象

- ✓ 溶接ビード上にき裂が進んでいる場合
- ✓ Uリブの半分以下の範囲にき裂がある場合



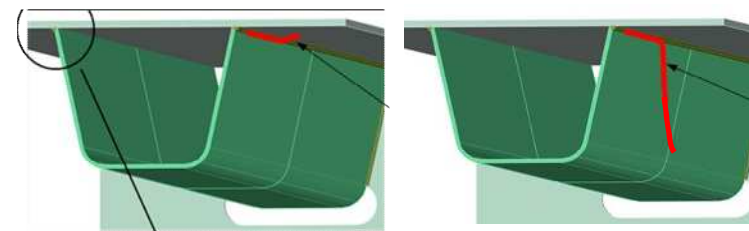
ワンサイドボルト
で締結

タイプ①き裂に対する恒久補修

• Uリブ取替え

適用対象

- ✓ デッキ側にき裂が進展している場合
- ✓ Uリブの半分以上の範囲にき裂がある場合

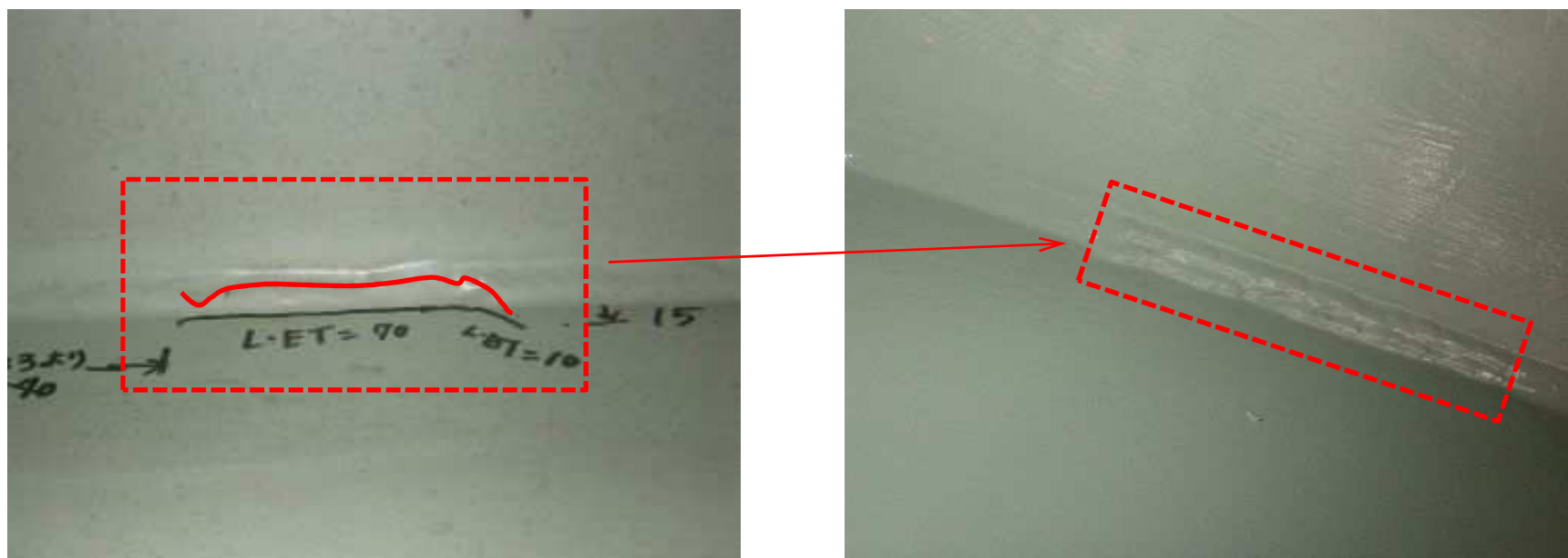


タイプ①き裂に対する恒久補修

- 補修溶接

適用対象

✓ 当て板できない場合に限り、やむをえず補修溶接



き裂部を削り取ったあと再溶接を行っている

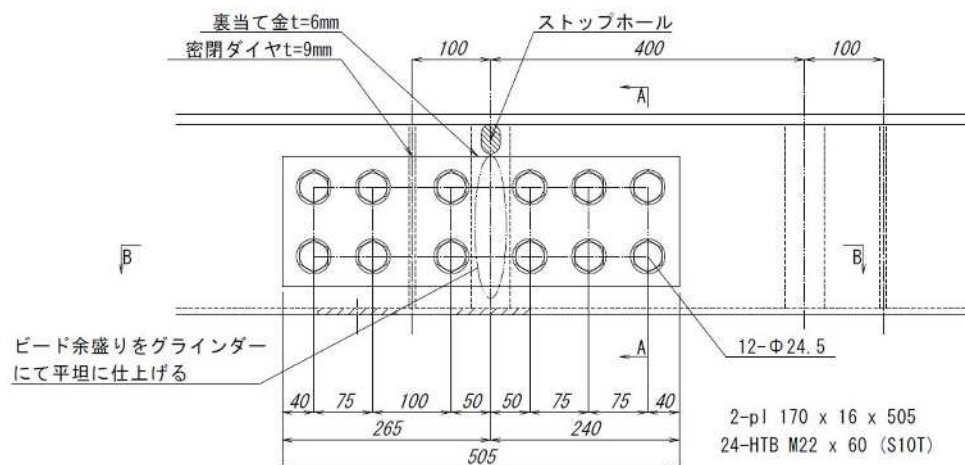
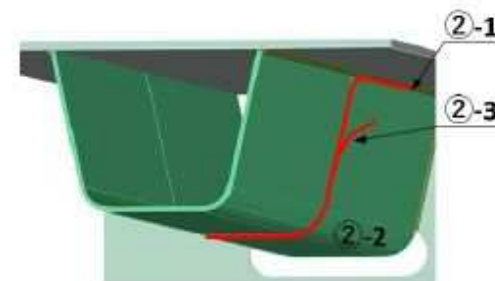
3. 疲労損傷の応急・恒久補修

タイプ②き裂に対する恒久補修

- Uリブ突合せ溶接部の当て板補修

適用対象

- ✓ タイプ②き裂全般



補修後

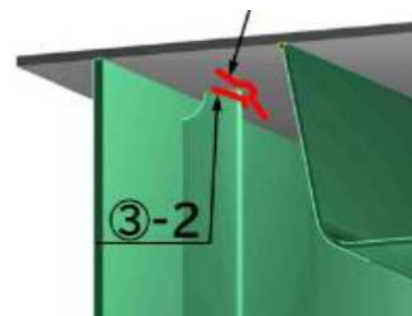
Uリブ突合せ溶接・デッキプレートとの交点は、
き裂の有無にかかわらずストップホールを設置

タイプ③き裂に対する恒久補修

- 垂直補剛材上端部の半円切欠き

適用対象

- ✓ タイプ③き裂全般



補修前



補修後

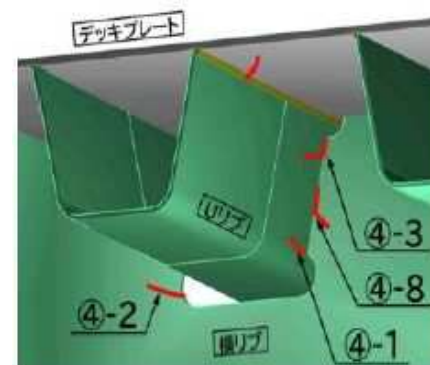
上端部を切欠くことで応力集中を緩和する

タイプ④き裂に対する恒久補修

- Uリブと横リブ交差部の当て板補修

適用対象

- ✓ タイプ④き裂全般



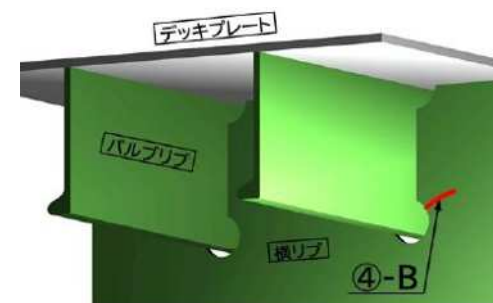
き裂発生位置に応じて**アンガル材**を設置して補修を行う

タイプ④-Bき裂に対する恒久補修

- バルブリブと横リブ交差部の当て板補修

適用対象

- ✓ タイプ④-Bき裂全般

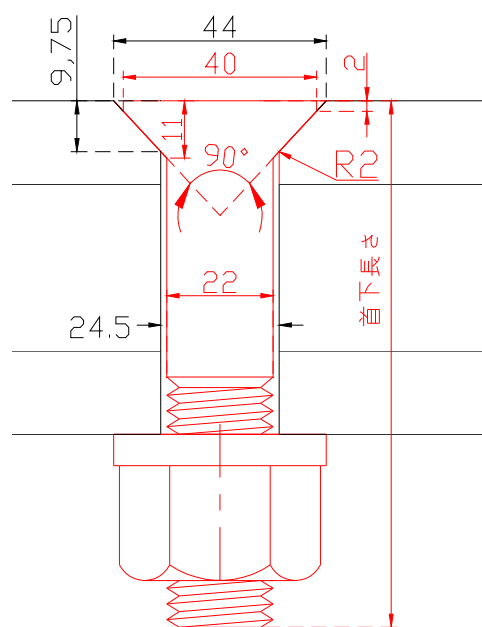


横リブ交差部に**アンガル材**を設置して補修を行う

舗装耐久性向上のための取り組み

Uリブ取替え工法などではデッキ上面から当て板をするため
デッキプレート上面までボルトが貫通

→舗装かぶり厚の確保を念頭に、皿型高力ボルトを採用



防食の耐久性、舗装の耐久性が向上

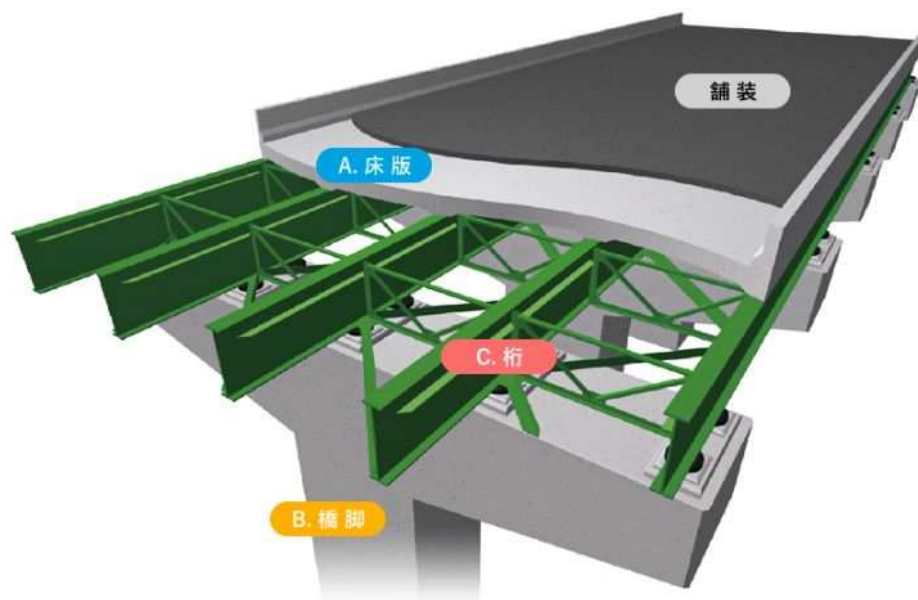
1. 阪神高速道路の概要
2. 疲労損傷の点検
3. 疲労損傷の応急・恒久補修
4. 疲労損傷の予防保全

4. 疲労損傷の予防保全



● 高速道路リニューアルプロジェクト__大規模修繕

重大な損傷が顕在化している構造物に対して、繰り返し補修を行っても健全性の改善が期待できないものの、構造物の全体的な取り替え(大規模更新)を必要としないレベルの箇所に関しては、**主要構造の全体的な補修(大規模修繕)**を行うことで、健全性の大幅な引き上げを図る。

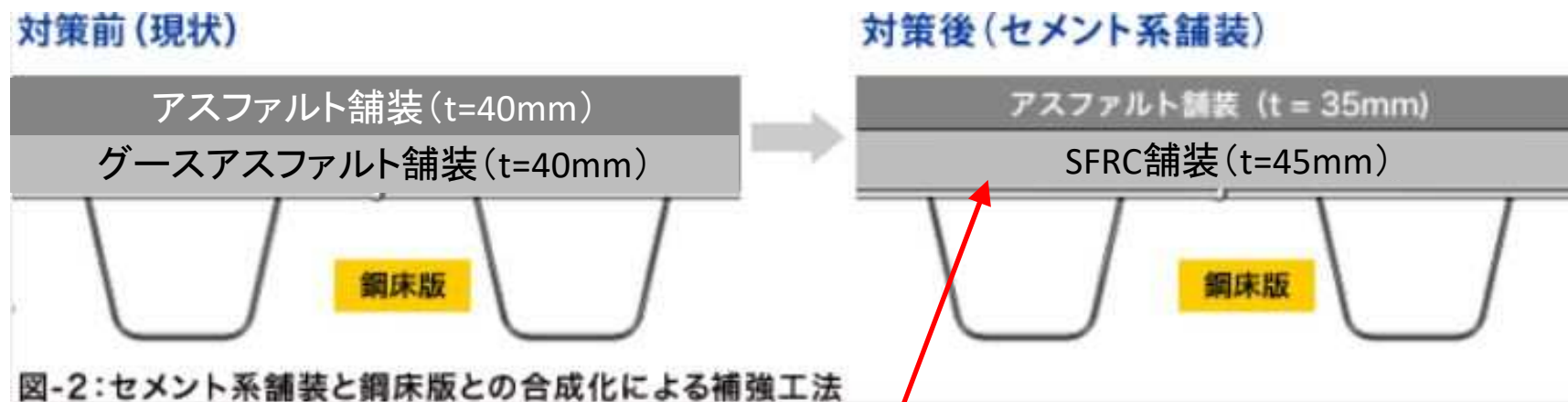


損傷タイプごとの対応方法

	予防保全	
タイプ①	<ul style="list-style-type: none">SFRC舗装	タイプ①では上面からの対応
タイプ②		
タイプ③	<ul style="list-style-type: none">上端部の半円切欠き	
タイプ④	<ul style="list-style-type: none">Uリブと横リブ交差部の当て板	タイプ③、④、④-Bでは補修と同様の工法
タイプ④-B	<ul style="list-style-type: none">バルブリブと横リブ交差部の当て板	

SFRC舗装工法

グースアスファルト舗装の代わりに鋼床版デッキプレート上面に打設され、
グースアスファルトと比べて剛性が大きい
→デッキき裂に対する予防保全として実施



剛性を高め溶接部への応力集中を低減

SFRCとは

鋼繊維補強コンクリート (Steel Fiber Reinforced Concrete)



鋼繊維 (スチールファイバー) を混ぜたコンクリート

- スチールファイバーはコンクリートとの付着性も良く、強度も高い上、周囲をコンクリートで封入されるため空気や水が遮断されて、鉄の大敵である錆も起こりにくい



コンクリート

圧縮力に強いが、引張り・曲げ・せん断に弱く、破壊に対して脆い

SFRC

圧縮強さは変わらないが、引張り・曲げ・せん断の通常のコンクリートに比べ1.3~1.8倍と改善され、ひび割れが生じにくい

破壊性状も大きく異なり、極めて粘り強く、韌性のある材料

タイプ③、④、④-Bに対する予防保全

タイプ③
上端部の半円切欠き



タイプ④
当て板による補強



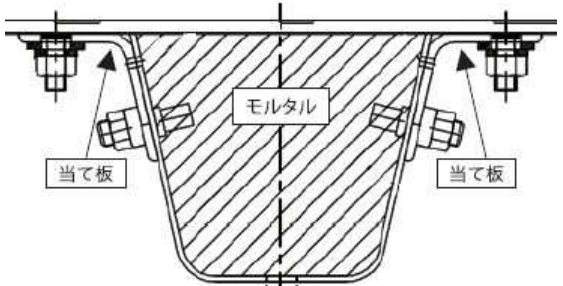
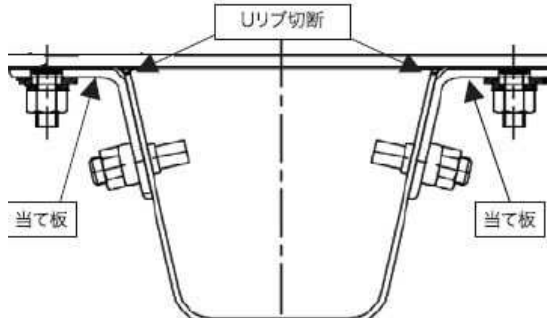
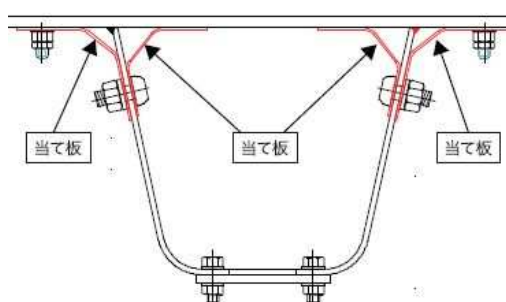
タイプ④-B
当て板による補強



疲労き裂発生位置への応力集中低減効果があるため
予防保全として補修と同様の工法を実施

新たな予防保全手法への取り組み

SFRC舗装は規制が必要 ⇒ **規制が不要な下面からの予防保全工法**を開発

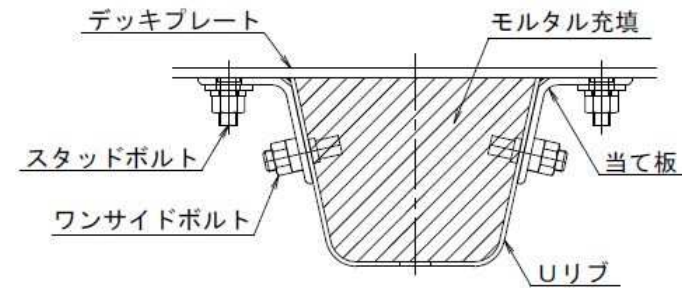
名称	モルタル充填 あて板工法	Uリブ切断 あて板工法	弾性あて板工法
補強概要			
	<p>◆ Uリブ内への軽量モルタル充填＋あて板による補強</p>	<p>◆ ビード近傍を切断し溶接接合からあて板ボルト接合へ改造</p>	<p>◆ 薄鋼板(2.3mm)のUリブ内外面への接着接合による補強</p>

→メリットに応じた工法の使いわけを検討中

4. 疲労損傷の予防保全

モルタル充填当て板工法

Uリブ内に軽量モルタルを充填することで
疲労強度の改善を図る工法



締め固め器具



充填作業



モルタル

Uリブ切断当て板工法

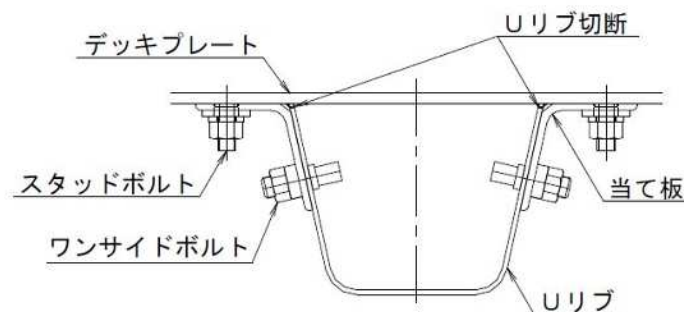
Uリブビードを切断したのちに当て板によって再度デッキプレートと接続する工法
→き裂の発生起点である溶接ビードを無くし、き裂の発生を抑止



支間中央部



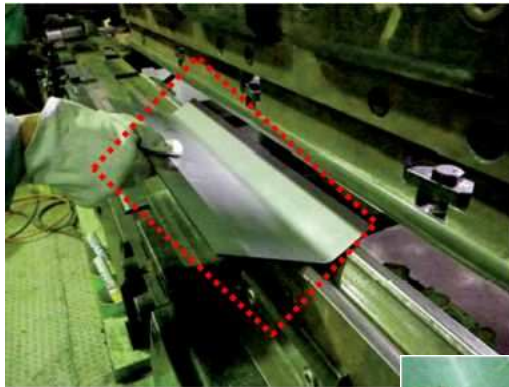
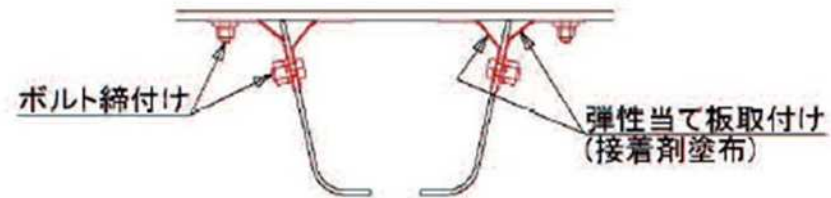
横リブ交差部



当て板による接続

弾性当て板工法

薄板の当て板を接着させることで
応力の低減を図る工法



弾性当て板



接着剤の塗布



当て板の設置

・阪神高速道路における鋼床版疲労き裂の現状と点検から対策までの流れについて紹介した。

・特に、Uリブ鋼床版における疲労き裂については、多種多様なき裂が存在するため、非破壊検査手法を用いて、損傷状況を正確に把握し、適切な補修計画を立てることが重要である。

・恒久補修においては「断面性能の回復」「き裂の再進展の防止」を念頭に各き裂タイプによって補修方法を決定している。

・また、SFRC舗装等予防保全を実施し、損傷を未然に防ぐ取り組みも実施している。