

土木学会関西支部

鋼橋の長寿命化に対するインハウスエンジニアの技術力向上に関する調査研究委員会

鋼橋の長寿命化に対するインハウスエンジニアの 技術力向上に関する講習会

日時：2025年7月16日（水）13：30～16：30

会場：建設交流館8F グリーンホール

委員会設置の背景(1)

老朽化した構造物の点検や診断、健全度（余寿命）
評価、および補修補強技術

= これまでの経験を超えた**未知の領域**



産・学・官・民、各組織の

垣根を越えた多くの技術者の英知を結集する必要

設置の背景(2)

- ・ メンテナンスは**経験工学**（≡医療行為）
→**ケーススタディ**（事例研究）が重要
- ・ 個々のタコツボ→広い範囲で多種多様な事例
→**全体のレベルアップ**
- ・ メンテナンスは人～将来を担う**若い技術者、現役技術者**
- ・ 各機関間の情報交換→**説明責任**



これまでの経緯(1)

- 1997-1999年度：橋梁リハビリテーション技術研修会
(京橋工業、成岡昌夫先生)
- 2003-2004年度：鉄道橋マネジメント研究会 (関西大学)
- 2005-2006年度：鉄道橋マネジメント共同研究グループ
(土木学会関西支部)
- 2008-2009年度：橋梁のリハビリテーションに関する調査
研究委員会 (土木学会関西支部)

設置の背景(3)

5

人々の生活は橋梁等のインフラによって支えられている。
(橋梁はインフラ構造物の多数を占める)

国内外において、**橋梁の崩壊事故**や**崩壊直前の危険な損傷事故**が頻発。

1983年:Mianus橋、1991年:大垣大橋、1992年:山神橋、
1994年:聖水大橋、2000年:Hoan橋、2004年:平等川橋、
2006年:山添橋、2007年:木曽川大橋、本荘大橋、I-35W

わが国で発生した橋梁の疲労等による損傷は構造全体の耐荷力に直接影響するものが少なく、幸いにも**重大な落橋事故**は報告されていない。

設置の背景(4)

2002年の疲労設計導入以前の

- ・ **既存不適格**な道路橋
- ・ 設計耐用年数を超えた鉄道橋等

膨大な数量の高齢化橋梁

その一方で**限られた予算や技術者の数と質**

⇒維持管理に**メリハリ**をつけ、

落橋につながるような重大な損傷の発生だけは何としても防止

これまでの経緯(2)

- 2011-2012年度：

FCM橋梁の維持管理に関する共同研究グループ

(土木学会関西支部)

FCM: Fracture Critical Member

橋梁の崩壊につながる主部材

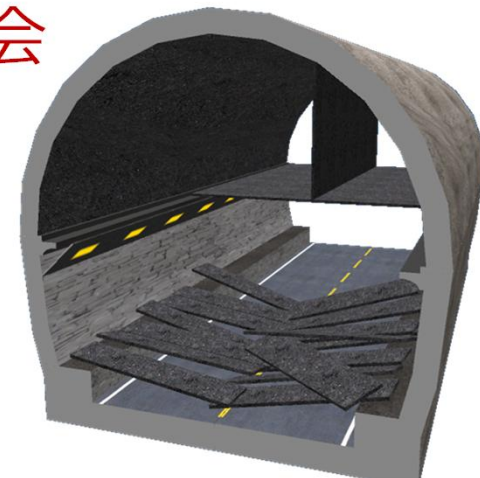
(引張の主部材等、機能欠損時に他の部材で力学的なカバーができない部材)

- 2013-2014年度：

FCMに着目した橋梁の維持管理に関する調査研究委員会

(土木学会関西支部)

笹子トンネル天井版崩落事故
2012年12月



設置の背景 (5)

鉄道橋

- 2年毎の定期検査
- 検査結果に基づいて様々な補修補強対策実施
- 損傷が再発した事例あり

道路橋

- 2014年度より5年毎の近接目視点検（手の届く距離）
- 支間長2m以上の全橋梁(716,466橋)を点検
- 点検の効率化、省力化を図る研究、技術

点検とは？
≠目的
=手段

重要

対策を含めた維持管理サイクル全体の効率化・高度化

点検の効率化・省力化

▼ 絶対NG

重大な損傷の見逃し

これまでの経緯(3)

2015-2016年度：

鋼橋の維持管理全体の高度化に関する共同研究グループ
(土木学会関西支部)

2017-2018年度：

鋼橋の維持管理全体の高度化に関する調査研究委員会
(土木学会関西支部)

設置の背景 (7)

近接目視点検

～2018年度 1巡目完了

- Ⅲ + Ⅳ判定 約10%
- 補修or更新or撤去の判断



2019年度～ 補修補強、更新、架け替えなどの対策のステージに突入
補修等着手橋梁：10%程度（当時）

設置の背景 (8)

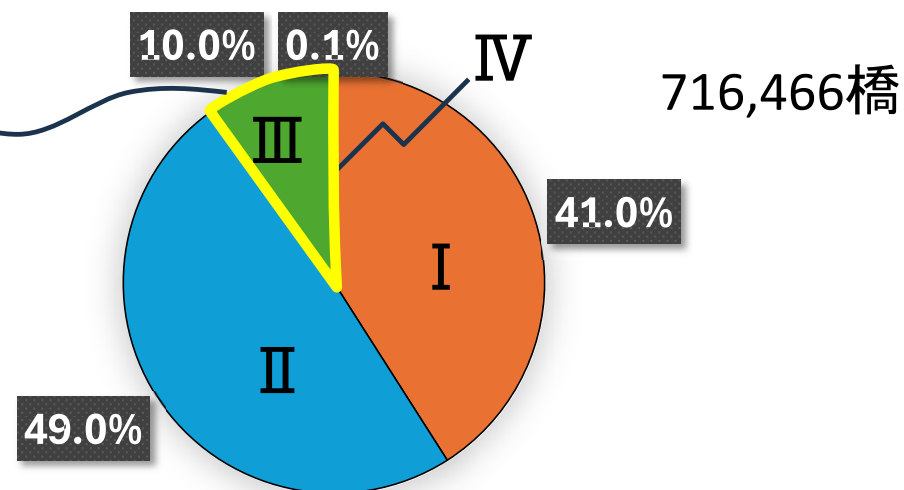
1巡目 道路橋点検結果

要補修橋梁数 多大 (約7万橋)

補修用の予算 限られる

橋梁は国民の生活を守る財産

- 橋梁数をできるだけ減らさない
- 対策の質も落とさない



安価でかつ確実に効果的な補修補強対策の必要性

2019年度～

2019年度土木学会関西支部
安価で確実な鋼橋の長寿命化対策
に関する共同研究グループ



2021年度から調査研究委員会へ

委員会の目的

鉄道事業者や道路管理者、コンサルタント、施工業者、大学の研究者、弁護士等多様な人材で構成し、**安価で確実な鋼橋の長寿命化対策**に関する調査研究を行うこと。

具体的な研究項目

- 関西地区の鋼橋の**実態調査と現状把握**
- 安価で確実な鋼橋の長寿命化対策に関する**事例研究**
- 安価で確実な鋼橋の長寿命化対策に関する**最新の研究事例**の収集

委員の所属先

14

- 【大学】 関大、岐阜大、福井大、日大
- 【鉄道】 大阪高速、大阪メトロ、近鉄、京阪、
泉北高速、南海、JR西、阪急・阪神、
レールテック
- 【道路】 大阪府、西日本高速、阪神高速、
阪高技術、本四高速
- 【施工】 奥村組、京橋ブリッジ
- 【設計】 日建設計シビル
- 【法律】 One Asia法律事務所

2023～2024年度

鋼橋の長寿命化に対する
インハウスエンジニアの技術力向上
に関する調査研究委員会

委員会の背景

資格制度の認定



点検員の質 **改善へ**

他方、

予算と技術者(力) **不足**



鋼橋

当て板等比較的小規模な補修や補強で済むケース多い



メリット

管理者

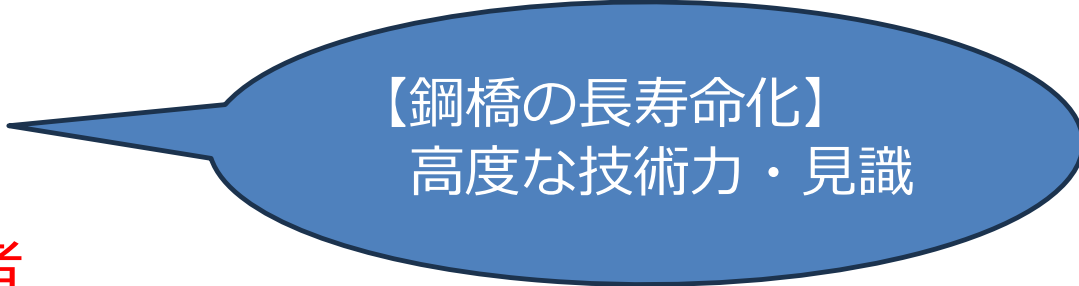
予算の制約が厳しい
供用停止を最小限にしたい

鋼橋の補修・補強設計等の長寿命化対策を適切に
発注できるインハウスエンジニアの技術力が必要

委員会の目的

- 委員が鋼橋の補修・補強設計等の長寿命化対策を適切に発注することができる見識を持つ
- インハウスエンジニアの技術力向上に関する調査研究を行う

委員構成と取組

- 経験 ベテラン技術者
 +
 比較的若手の技術者


【鋼橋の長寿命化】
高度な技術力・見識
- 職務 鋼橋の管理者
 設計・施工技術者
 研究者
 弁護士等


学際的な構成
- 取組 現場での見学会や、できるだけ現場に関係する事例を
 取り上げ、全員で議論することでインハウスエンジニアの技術力向上を目指す。

活動(2年間)

◎令和5年度

- 現場見学会や実橋の長寿命化事例に関する研究会を開催
 - 能登半島被災橋梁
 - 新潟県の鋼橋
 - PAジョイント施工状況
- 見学会や研究会でベテランと若手の技術者が議論を交わし、技術力向上

◎令和6年度

- 見学会や研究会の継続及び内容のとりまとめ
 - AWT工法施工状況（予定）

本日のプログラム

20

◆ 社員による技術継承や直営の維持管理事例の紹介（15分×4件＝60分）

- 本州四国連絡高速道路の大型耐震ダンパーの性能確認試験（技術検証）
- 六甲ケーブルの疲労損傷対策（非破壊検査の実施）
- 大阪モノレール南伸事業（技術継承）
- 大阪メトロの維持管理（直営点検、維持管理）

【休憩：15分】

◆ 新技術の紹介（15分×6件＝75分）

- トラス橋の温度変形挙動【鈴木 啓悟（福井大学）】
- TRSを用いた新しいジベル構造の提案【谷口 望（日本大学）】
- 鋼鉄道橋における薄型BP支承の適用【西田 寿生（京橋ブリッジ(株)）】
- 合成樹脂製埋設ジョイントへの取換工事【富山 久男（(公財)大阪府都市整備推進センター）】
- ヒューズ機構を有する仮橋脚構造【関口 穂（JR東日本コンサルタンツ(株)）】
- 橋梁点検支援ツールの開発【田井 政行（摂南大学）】

これから 3 時間半、
よろしくお願いいたします

大阪モノレール 南伸事業について

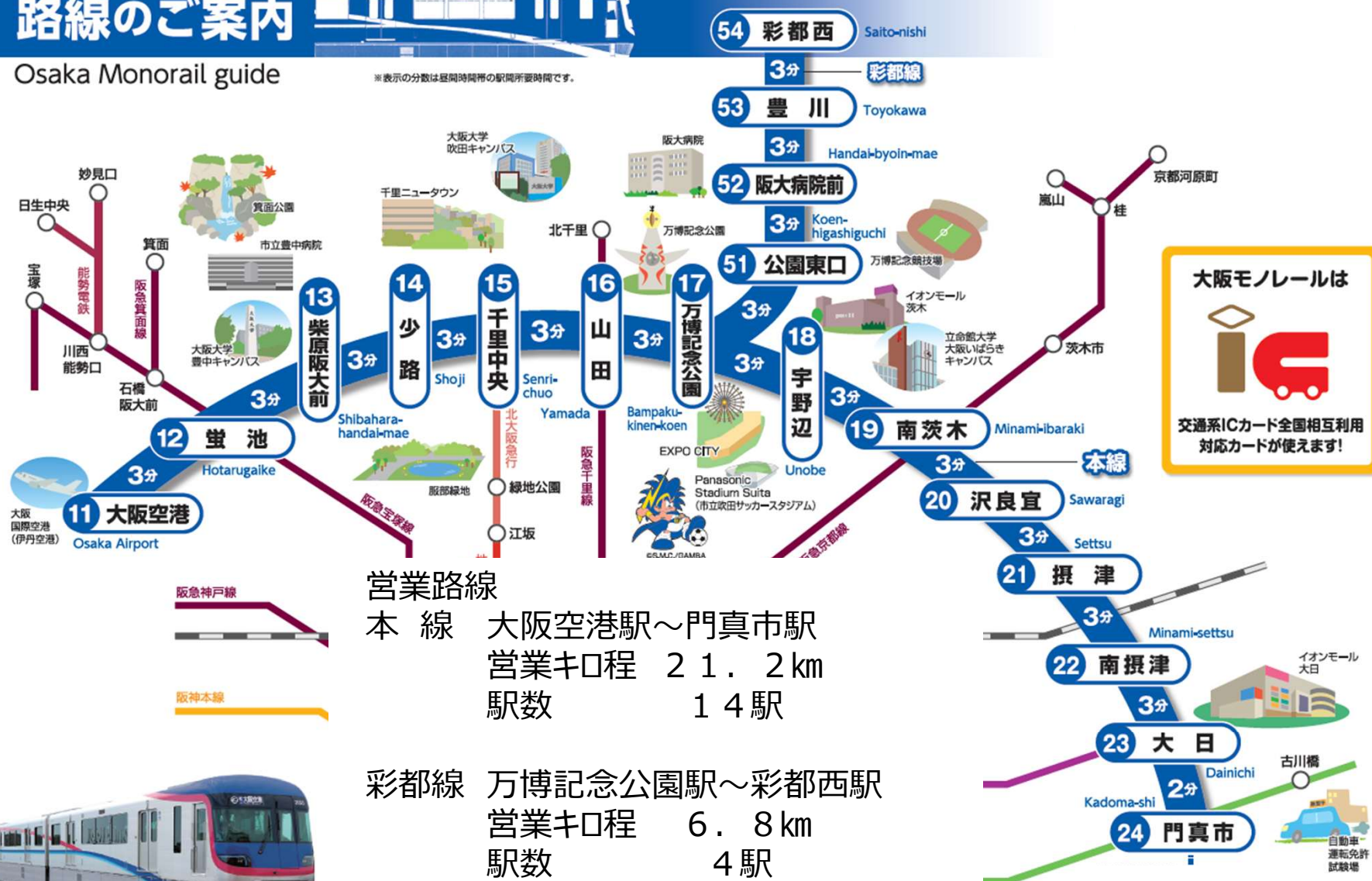
大阪モノレール（株）
砂原 一貴

路線のご案内

Osaka Monorail guide



※表示の分数は昼間時間帯の駅間所要時間です。



大阪モノレールは

交通系ICカード全国相互利用
対応カードが使えます!

営業路線

本線 大阪空港駅～門真市駅
営業キロ程 21.2 km
駅数 14 駅

彩都線 万博記念公園駅～彩都西駅
営業キロ程 6.8 km
駅数 4 駅

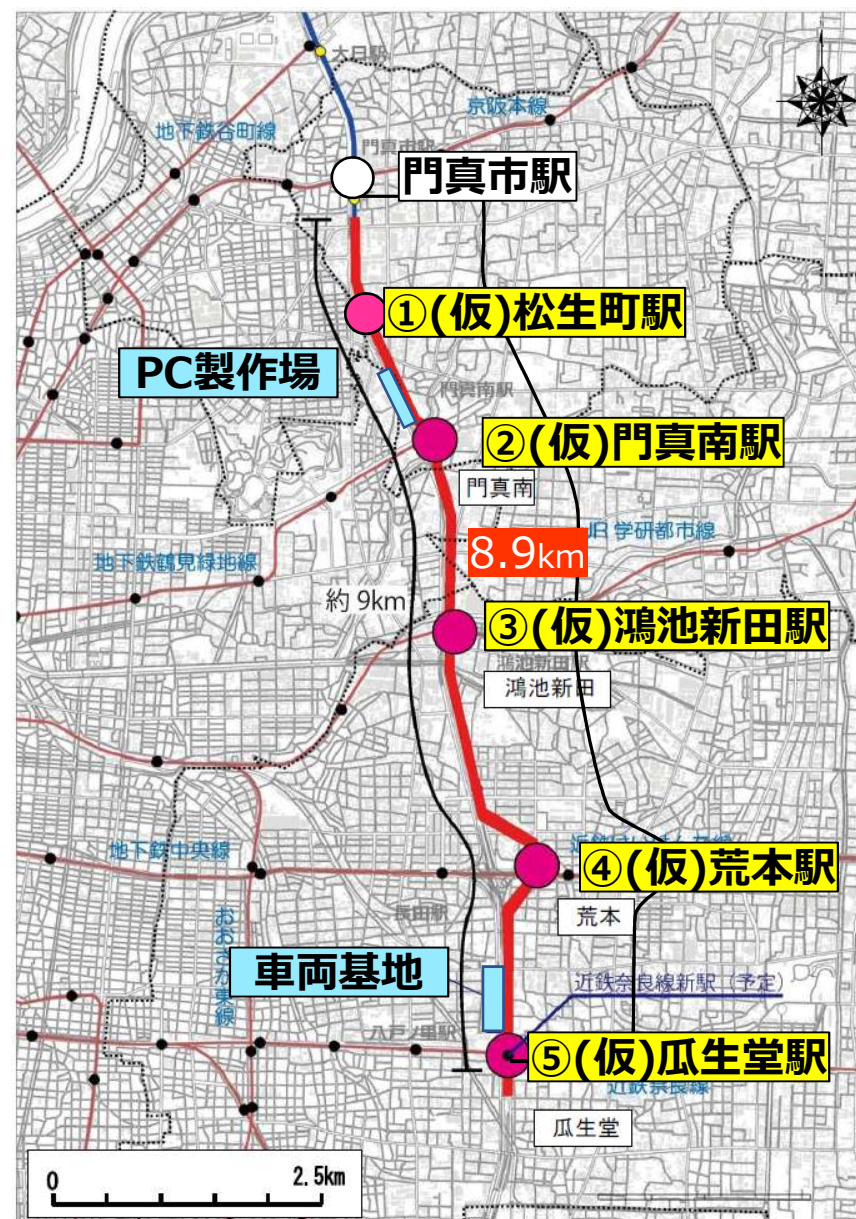
1日の乗客数は約13万人



大阪モノレール延伸事業 概要

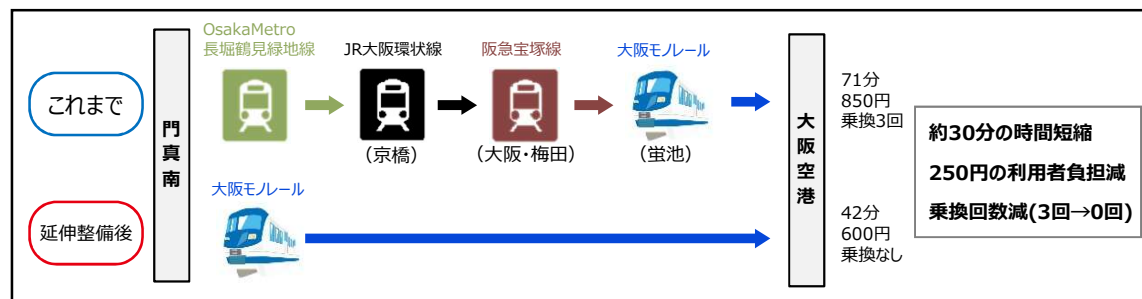
- 延長 営業キロ 8.9km
- 停留場（※駅名は仮称）
 - ①松生町駅 ②門真南駅
 - ③鴻池新田駅 ④荒本駅
 - ⑤瓜生堂駅
- 車両基地 瓜生堂駅の北側に新設（約18,600㎡）
- 開業予定 2029年 ➡ 2033年度
- 建設費（変更前） 約1,050億円
（インフラ部：約 740億円
インフラ外部：約 310億円）
- 建設費（変更後） 約1,864億円
（インフラ部：約1,442億円
インフラ外部：約 422億円）

※大阪府試算（建設事業評価審議会資料より抜粋）

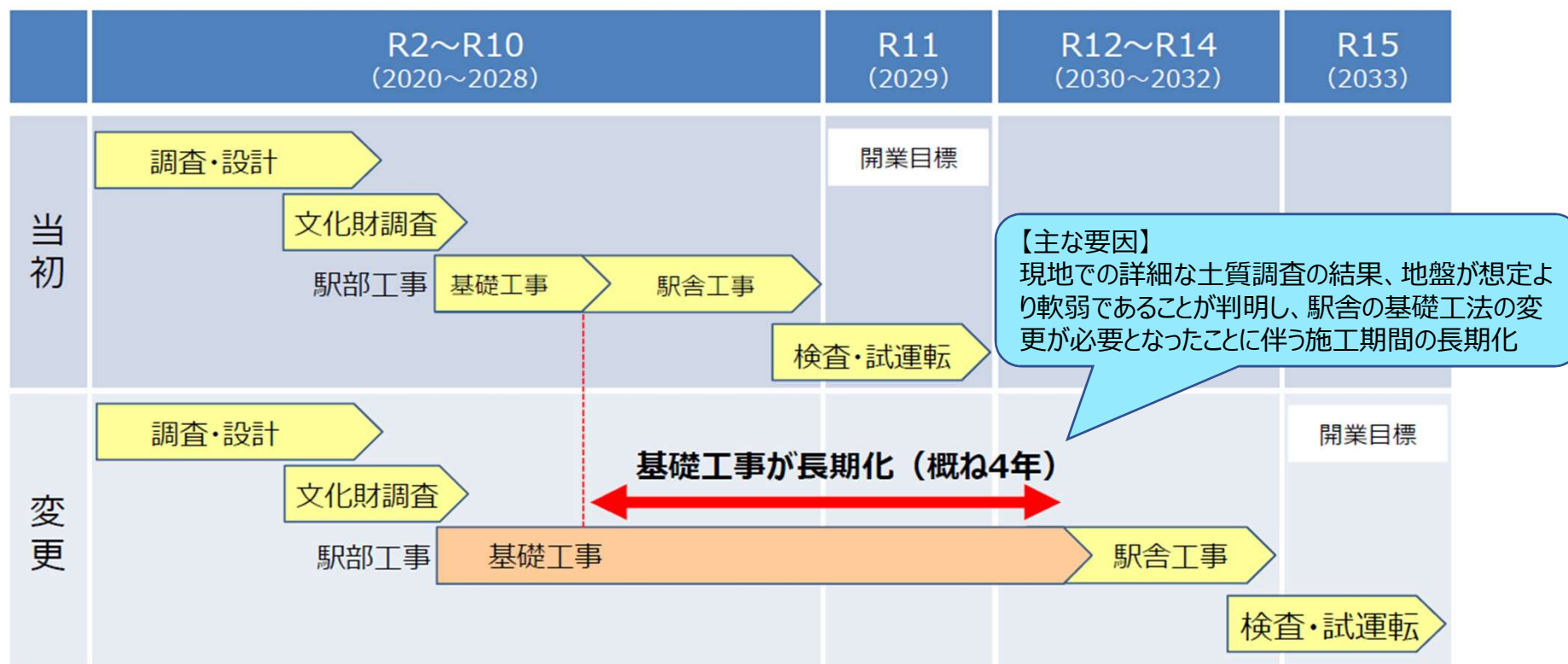


整備イメージ



大阪モノレール

延伸事業スケジュール



2016年度（平成28年度）	測量、土質調査、設計、環境影響評価に着手
2018年度（平成30年度）	都市計画決定、軌道法特許取得
2019年度（令和元年度）	都市計画事業認可、工事施行認可
2020年度（令和2年度）～	用地買収、建設工事
2021年度（令和3年度）	（仮称）松生町駅にかかる都市計画決定
2022年度（令和4年度）	（仮称）松生町駅追加に伴う工事施行変更認可取得
2033年度（令和15年度）	開業目標

大阪モノレール延伸事業 スキーム

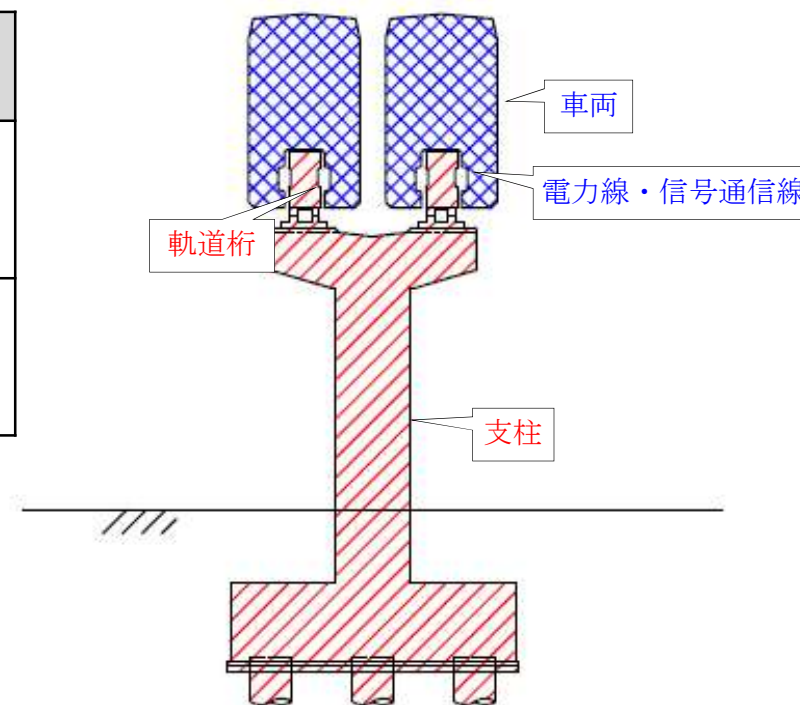
モノレールは軌道法に基づき、道路上に敷設される鉄道である。

道路構造物として位置づけられる支柱や軌道桁、駅舎についてはインフラ部として大阪府が整備する。

鉄道の運営にかかる車両本体、電力・信号設備、駅務機器等はインフラ外として当社で整備する。

《モノレールの事業区分》

区 分 (事業主体)	施設
インフラ部 (大阪府)	基礎、支柱、軌道桁、駅舎、分岐器、車庫 線内の支柱・桁など
インフラ外部 (大阪モノレール(株))	車両、電力線、信号通信線、駅務機器、 車庫内の検車場、事務所棟など



凡 例

-  インフラ部 …道路構造物
-  インフラ外部 …会社事業

インフラとインフラ外の区分の詳細は以下のとおりである。
インフラ部とインフラ外部を一体的に施工するため、P C 軌道桁と車両基地に関する工事はO M Cが大阪府より受託している。

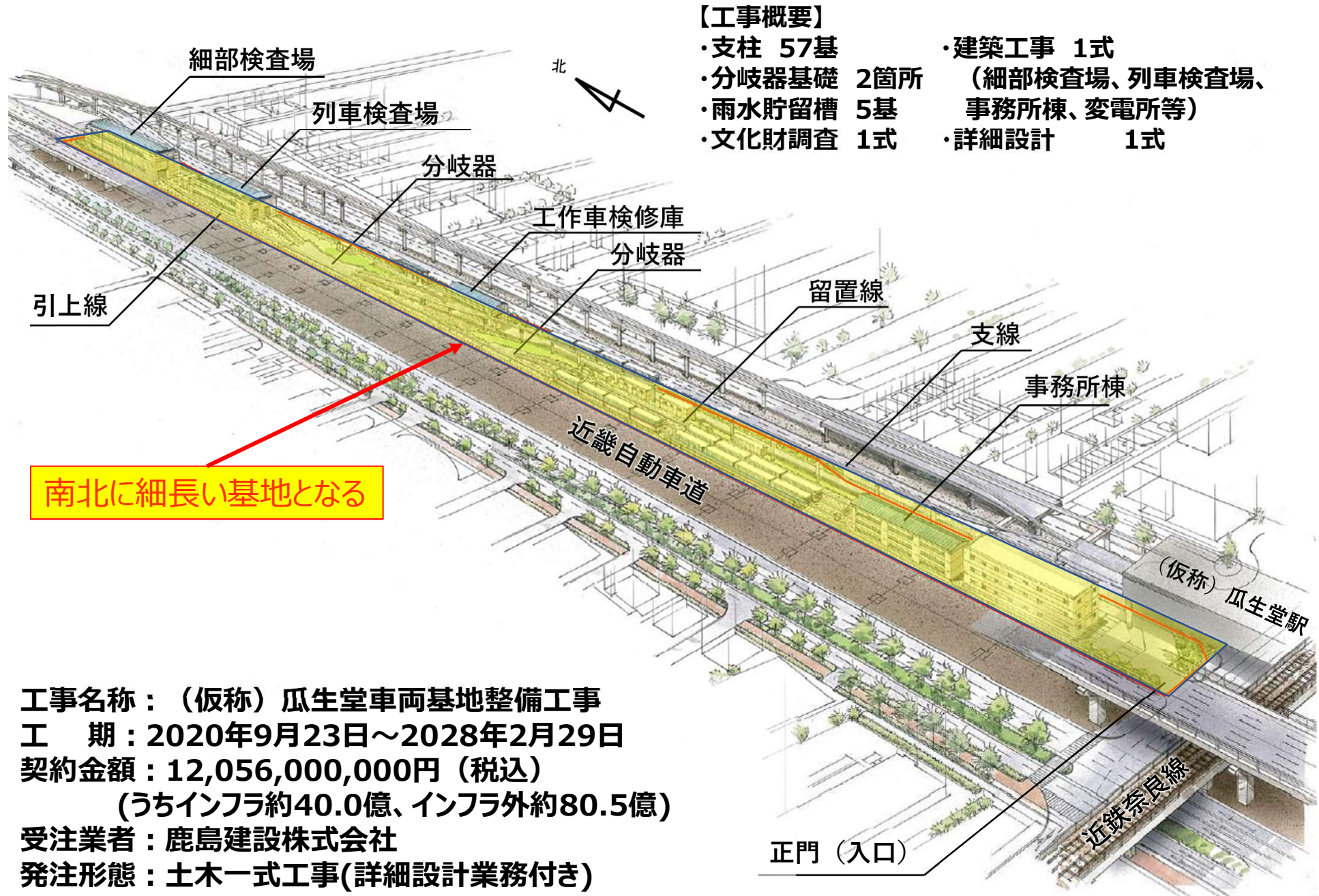
	インフラ	インフラ外
本線	・下部工(柱・基礎) ・上部工 鋼桁 - PC軌道桁 OMC受託 - PC軌道桁製作場 OMC受託 - 分岐橋 - 分岐器 OMC受託	桁取付 電車線・配電線ほか
駅舎	・下部工(柱・基礎) ・床版・壁・階段・エレベーターほか	・駅務室・駅務機器 ・内装 ・改札施設等業務に要する施設 ・信号保安・保安通信施設
車両基地	・軌道基礎 OMC受託 ・PC軌道桁 OMC受託	・基地内建築物（細部検査場ほか） ・軌道基礎（工作車検収庫部ほか） ・トラバーサ ・受変電設備等

南伸事業 工事の紹介

①(仮称)瓜生堂車両基地整備工事
(R2.9~R10.2)

②PC軌道桁製作・架設等工事
(R3.9~R10.2)

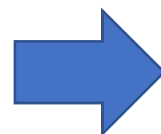
(仮称) 瓜生堂車両基地 工事概要



項目	R2年度	R3年度	R4年度	R5年度	R6年度	R7年度	R8年度	R9年度
準備工（樹木移植等）	↔							
文化財調査		↔						
基礎工事（鋼管杭・大口径杭）			↔					
雨水貯留槽				↔				
軌道工事				↔				
建築工事				↔				
外構工事						↔		

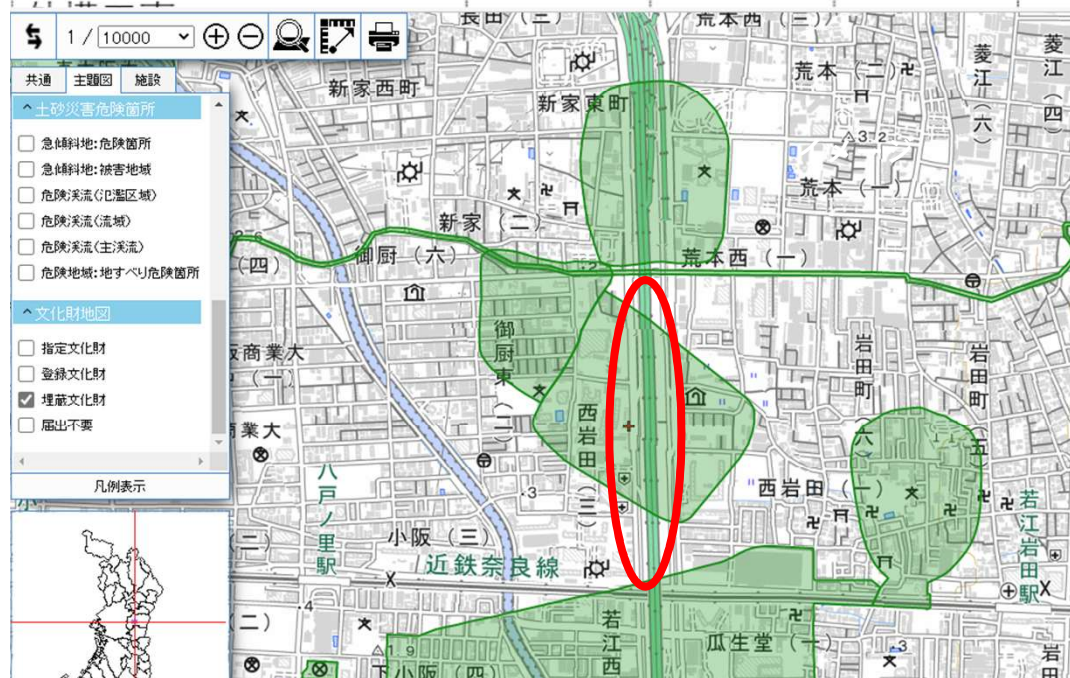


2021.5月



構造物などの施工に取り掛かる前に、
まずは整地、既存物の取壊し、樹木移設などを実施

項目	R2年度	R3年度	R4年度	R5年度	R6年度	R7年度	R8年度	R9年度
準備工（樹木移植等）	↔							
文化財調査		↔	↔					
基礎工事（鋼管杭・大口径杭）			↔	↔				
雨水貯留槽				↔	↔			
軌道工事				↔	↔	↔		
建築工事				↔	↔	↔	↔	↔



【列車検査場】埋文調査（人力掘削状況）



【列車検査場】遺物出土状況



出土した農具

瓜生堂車両基地予定地内には「西岩田遺跡」の包蔵地

（文化財保護法：埋蔵文化財の保護上特に必要があると認めるときは、文化庁長官は、当該発掘前における埋蔵文化財の記録の作成のための発掘調査の実施を指示することができる）



①

①古墳時代初頭頃の木製品（櫓）



③

③古墳時代中期から後期の溝



②

②古墳時代初頭頃の土器（甕）



④



④

④古墳時代中期から後期の須恵器、製塩土器

項目	R2年度	R3年度	R4年度	R5年度	R6年度	R7年度	R8年度	R9年度
準備工（樹木移植等）	↔							
文化財調査		↔						
基礎工事（鋼管杭・大口径杭）			↔					
雨水貯留槽				↔				
軌道工事				↔				
建築工事				↔				
外構工事						↔		

鋼管杭



2023年7月
全549本（土木422本・建築127本）
打設完了

PCウェル（φ3500）



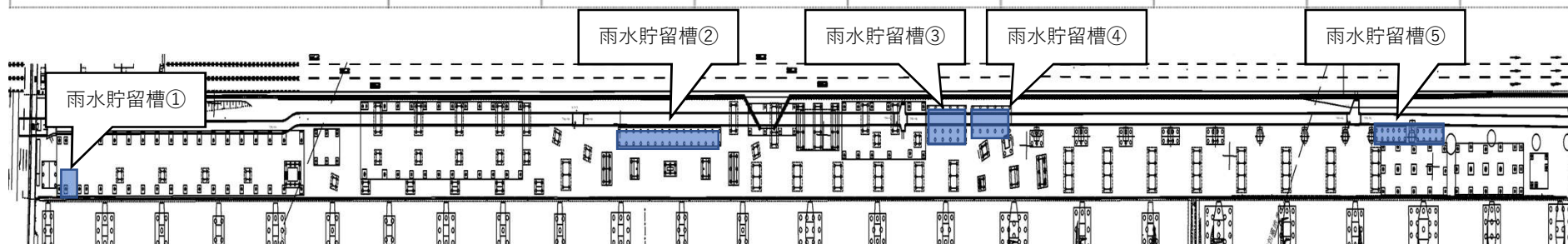
2024年1月
全100ロット（20ロット×5基）
圧入・沈設完了

PCウェル（φ4500）
※2023年3月 随意契約

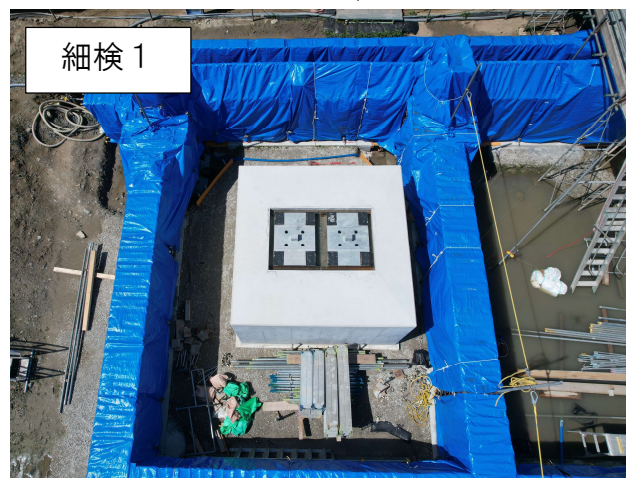
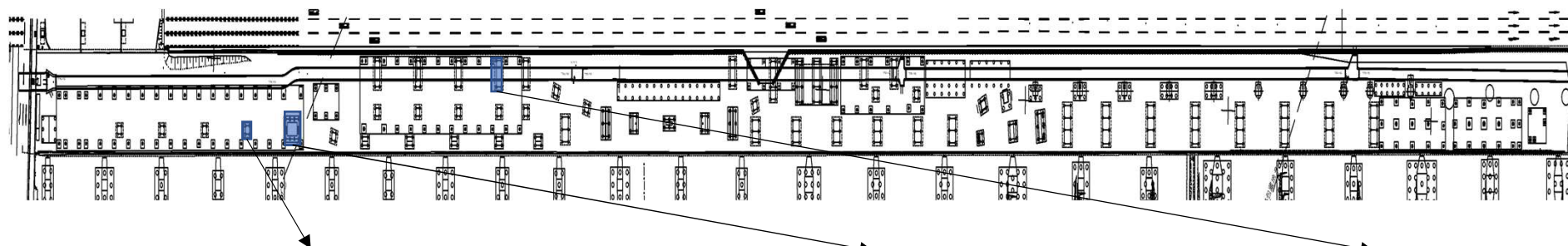


2024年4月
全40ロット（20ロット×2基）
圧入・沈設完了

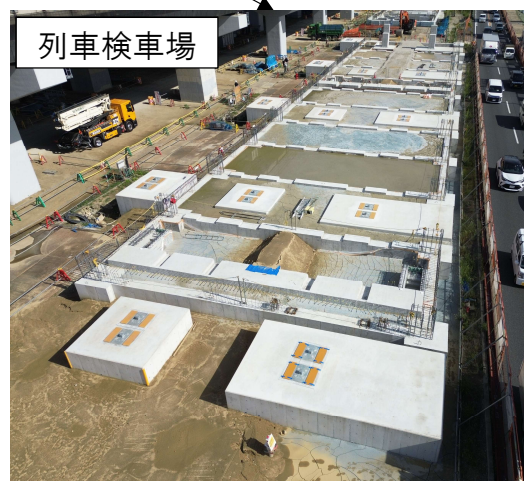
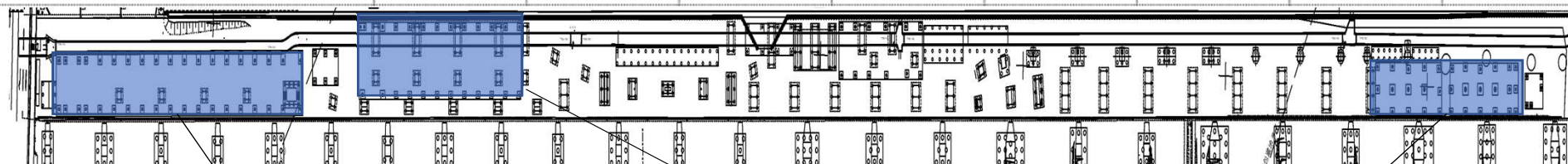
項目	R2年度	R3年度	R4年度	R5年度	R6年度	R7年度	R8年度	R9年度
準備工（樹木移植等）	↔							
文化財調査		↔						
基礎工事（鋼管杭・大口径杭）			↔					
雨水貯留槽				↔				
軌道工事				↔				
建築工事				↔				
外構工事						↔		



項目	R2年度	R3年度	R4年度	R5年度	R6年度	R7年度	R8年度	R9年度
準備工（樹木移植等）	↔							
文化財調査		↔						
基礎工事（鋼管杭・大口径杭）			↔					
雨水貯留槽				↔				
軌道工事				↔				
建築工事				↔				
外構工事						↔		



項目	R2年度	R3年度	R4年度	R5年度	R6年度	R7年度	R8年度	R9年度
準備工（樹木移植等）	↔							
文化財調査		↔	↔					
基礎工事（鋼管杭・大口径杭）			↔	↔				
雨水貯留槽				↔	↔			
軌道工事				↔	↔	↔		
建築工事				↔	↔	↔	↔	↔
外構工事						↔	↔	↔



車両基地工事状況（社員が定期的にドローンで撮影）

中央➡北 2022年10月

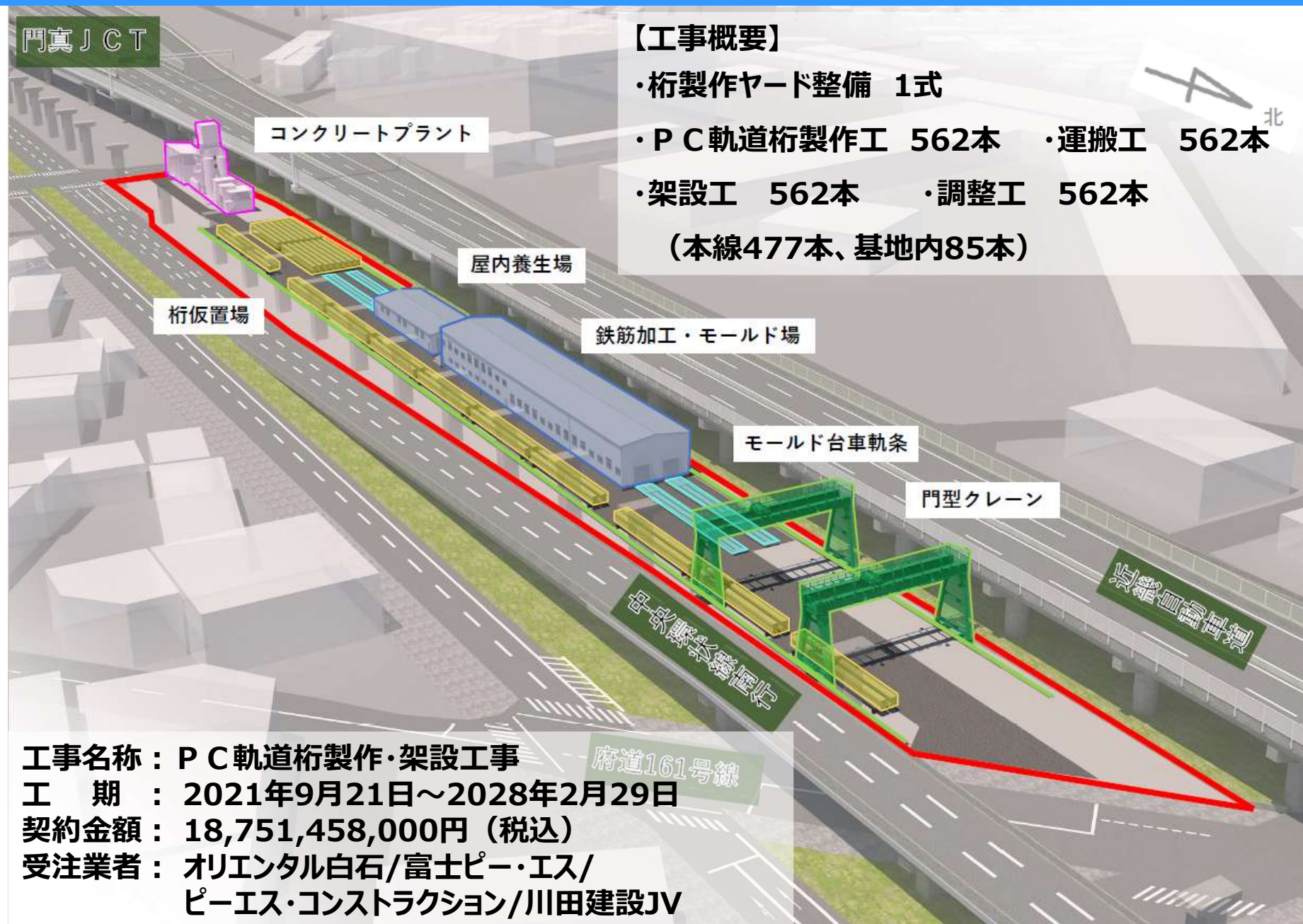


車両基地工事状況（社員が定期的にドローンで撮影）

中央➡北 2025年5月



PC軌道桁製作・架設等工事 工事概要



PC製作ヤード工事状況（社員が定期的にドローンで撮影）

北➡南 2022年9月



PC製作ヤード工事状況（社員が定期的にドローンで撮影）

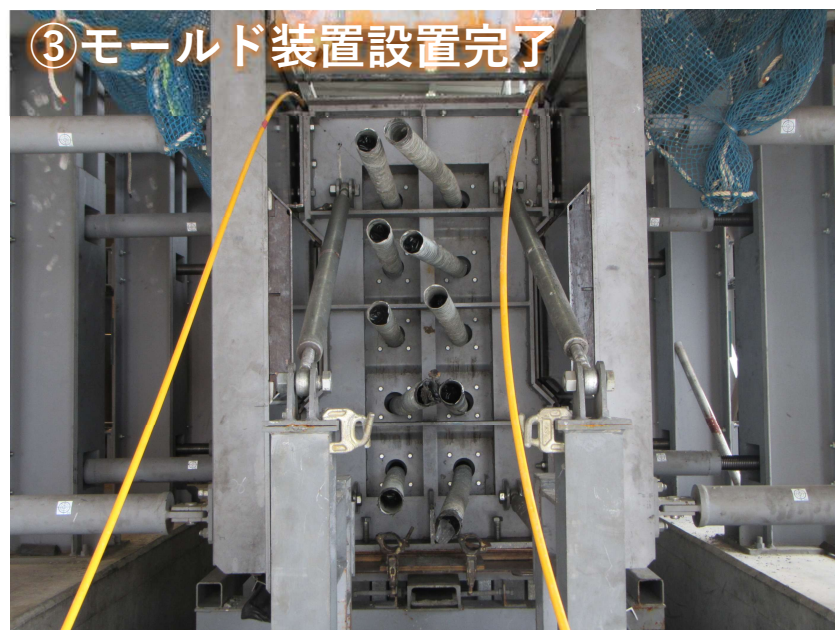
北➡南 2025年5月



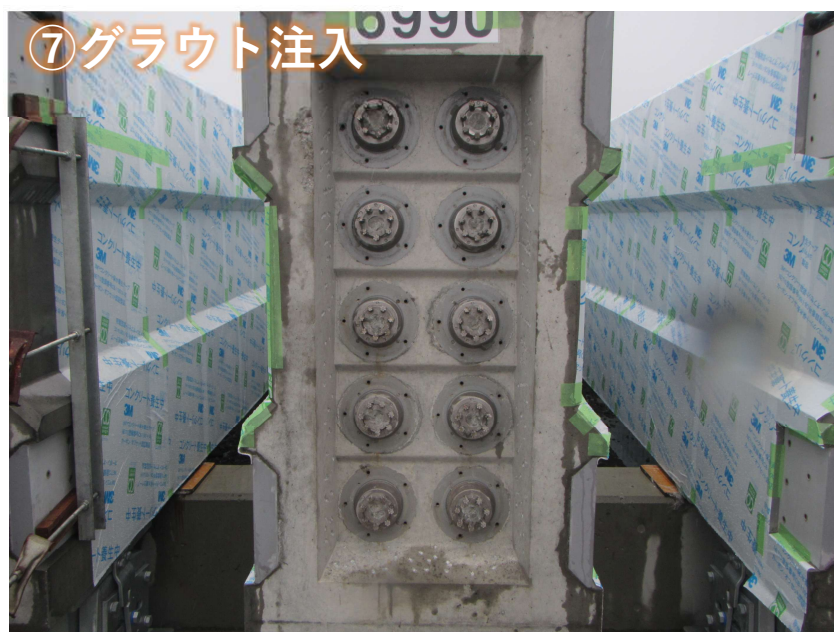
PC軌道桁製作工（イメージ動画）

PC軌道桁製作工事

PC軌道桁製作工（イメージ）



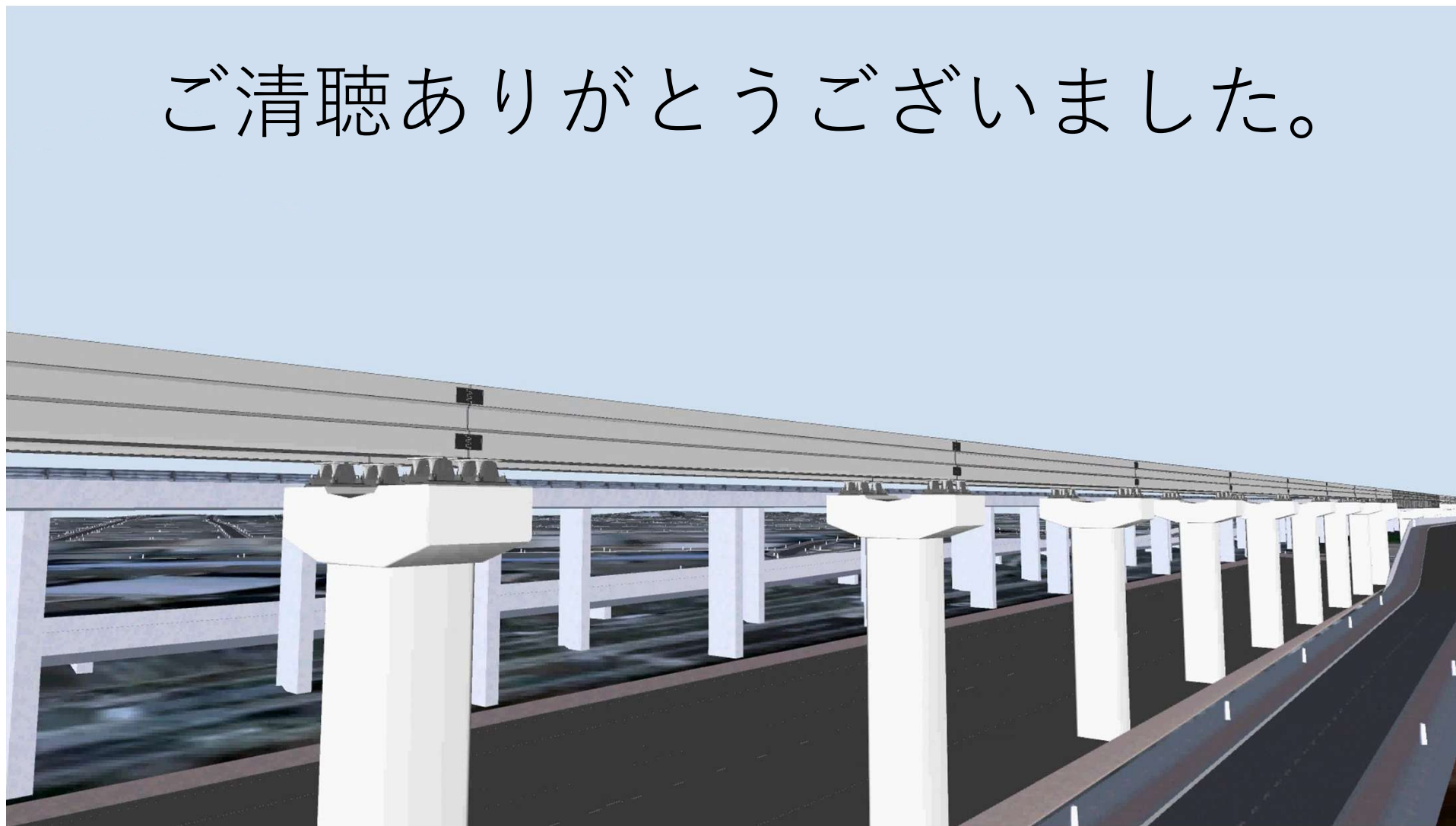
PC軌道桁製作工（イメージ）



PC軌道桁運搬~架設~調整工（イメージ）



ご清聴ありがとうございました。



鋼橋の長寿命化に対するインハウスエンジニアの
技術力向上に関する講習会

Osaka Metroの維持管理



大阪市高速電気軌道（株）
交通事業本部 工務部
奥山 貴也



Osaka Metroのあゆみ

1903年（明治36年）

日本初の公営電気鉄道として市電（5.1km）開業



1933年（昭和 8 年）

日本初の公営地下鉄（梅田（仮）～心斎橋間3.1km）開業

大阪の真ん中を走っている。

2018年（平成30年）4月1日

大阪市交通局 から Osaka Metro へ



構造物の維持管理について

地下鉄：8路線 133kmと
ニュートラム：1路線 8kmを運営
地下トンネル：123km
高架構造物：18kmを維持管理

Route Map
전선 노선도 地铁路线图



構造物の維持管理について



徒歩による点検
(営業中含む)

当社社員により、
構造物の点検を実施

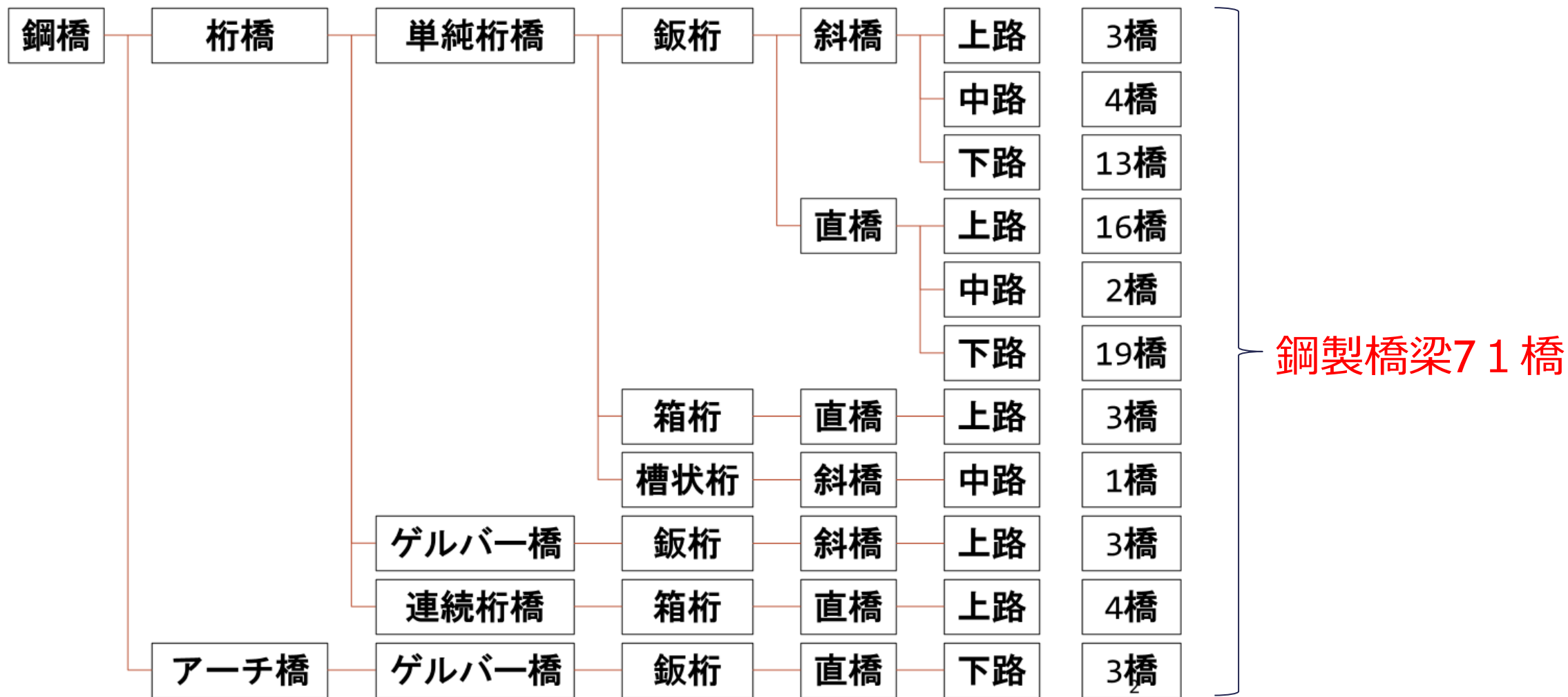
当社所有の構築点検車
による点検
(地下トンネル内・営業終了後)



当社所有の高所作業車
による点検
(高架部)



当社の鋼製橋梁



当社の鋼製橋梁

御堂筋線 淀川橋梁

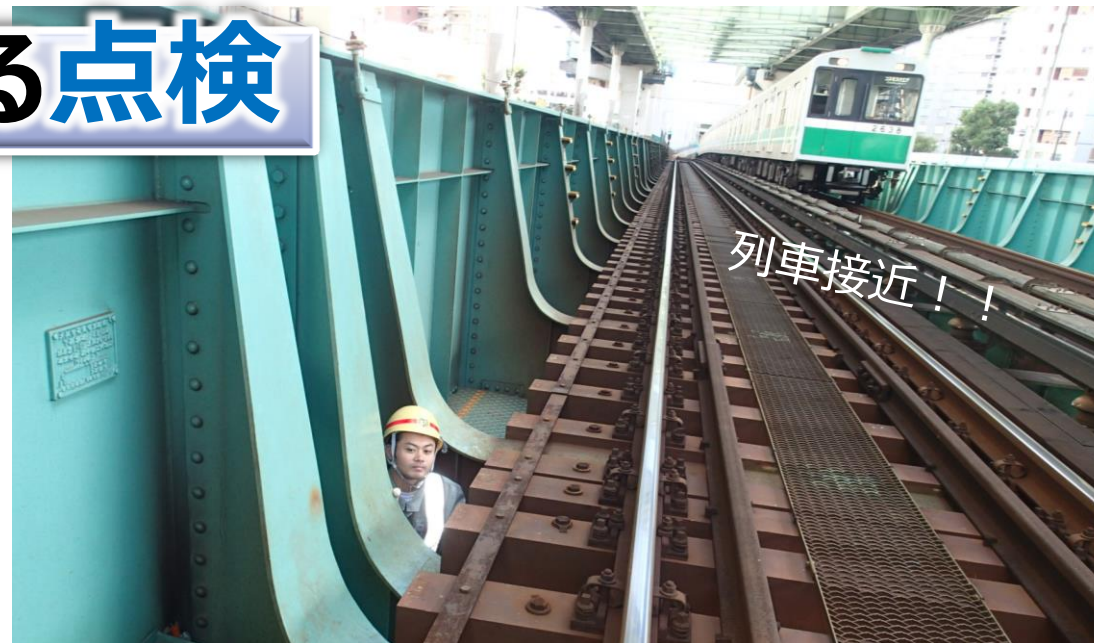


ニュートラム 南港水路橋

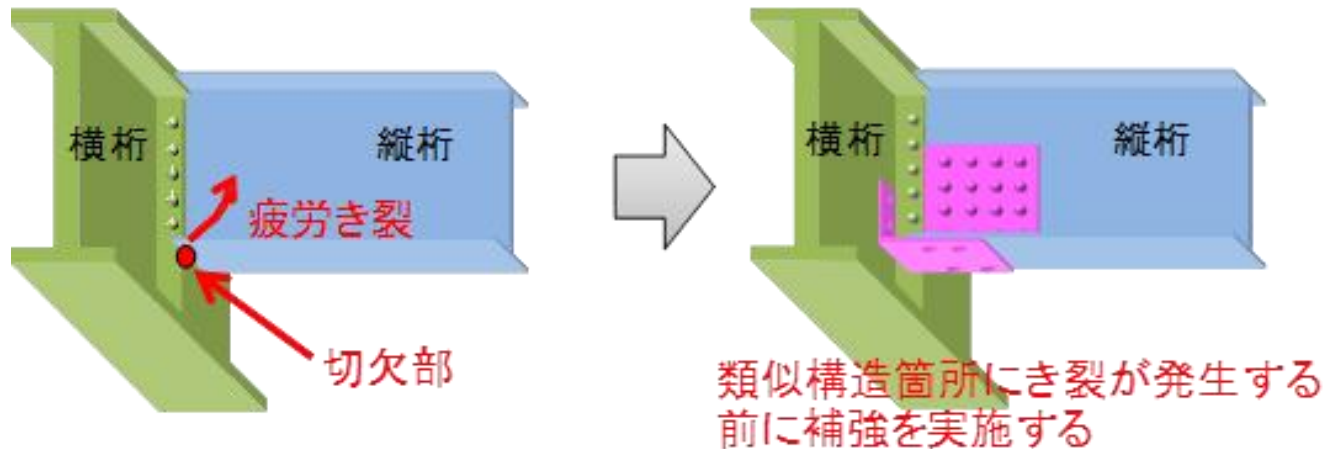


中央線 千船橋梁

インハウスエンジニアによる点検



予防保全対策（補強）の実施



切り欠き部のき裂発生抑制

維持管理の課題 **見えない**箇所が存在する

構築点検車
による

近接目視
と
打音検査



点検は目視が基本！

しかし
きちんと見えない箇所がある。

高所や狭くて見えない箇所为例 (地下鉄トンネル内)



シールド立坑等
トンネル高所部



複線シールド道床下
コルゲートパイプ



軌道直上のRCダクト
吊下げ樹脂アンカー

高所・狭隘部点検の課題

1. 点検用足場、天井仕上り材の撤去・復旧が必要

➡作業**効率**が悪い。**費用**が高い。

2. 高くて、狭くて、埃が多い・検査員の立入りが困難

➡**危険**性が高く、作業**環境**が悪い。

3. 点検結果の報告が異常箇所のみ

➡狭くて暗くて見にくい環境。検査員が見えなかったり、**見落とし**したりしていないか？ **報告書**だけで安全か？

マイクロドローン導入 2019年～

手のひらサイズで**360度カメラ**を搭載。

360度カメラ
を搭載

LEDライト

360度カメラ（映像記録用）

FPVカメラ（パイロット操縦用）

機体重量**370グラム**

飛行時間**3分程度**

ドローンパイロットの育成 2020年～

3か月間で社内パイロットを育成

基本課程	特別課程
ドローンの基礎知識・操作技術 座学1日・実技1日	マイクロドローン基礎知識・操作技術 座学・実技 計12日（週1日開催） + 自主練習
目視	目視・FPVゴーグル 360°カメラ搭載
トータル 約3か月間	



ドローン基本講習



ドローン講習
(座学・メンテナンス)



FPVゴーグルによる
飛行訓練

駅天井内点検状況



吊材の間、配管の上
ダクト隙間でも飛行可能。

人手による点検では
立ち入れない！
踏むと壊れてしまう！！
ような箇所でも点検可能

マイクロ・ドローン導入点検のメリット

点検用足場、天井仕上げ材の撤去・復旧が不要。

いつでも飛ばせる。作業効率の向上、費用削減。

高くて危険・狭くて埃が多い空間への検査員立入りが不要。

安全性向上、作業環境が大幅に改善。

360度カメラで、全範囲の映像が保存可能。

全て記録するため、いつでも再確認が可能
異常箇所の見落としがない。

撮影データは土木・建築・電気、施設点検にも活用可能



狭隘部の点検サービスやっています！

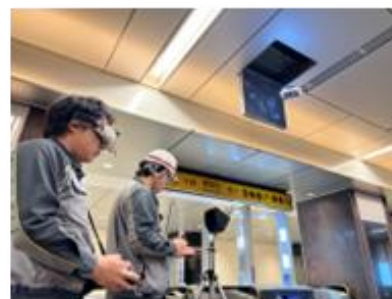
点検業務サービスの流れ



事前調査



点検計画の策定



点検実施
(飛行・撮影)



変状箇所抽出
健全度判定など

主な点検実績... 関東・関西民鉄等

ドローンスクールも始めました！

講習コース

基礎技能コース

Class-E  Class-D
NSI Lv.1  Class-C

実務技能コース

Class-B  Class-A
NSI Lv.2

OJT

Class-S NSI Master

Osaka Metro プレスリリース：

https://subway.osakametro.co.jp/news/news_release/20240515_drone_school.php

ムラモトドローンテラス：

<https://school.drone-terrace.jp/professional/nsi/>



目指せ 即戦力！

狭隘空間点検業務のドローンオペレーターとして活躍！

2024
7/1
OPEN



NSIドローンスクール by Osaka Metro & MURAMOTO DRONE TERRACE

Step 1 訓練プログラム

約100時間の操縦訓練で、マイクロドローンでの狭隘部飛行を担う技能を習得。

Step 2 実務訓練

実際の地下鉄駅施設内でのOJTを実施し、実際の点検作業を行う実務能力を習得。

Step 3 技能認定証を発行

OJT修了後、Osaka Metro/MURAMOTO DRONE TERRACE 公認の技能認定証を発行。狭隘空間点検業務におけるドローンオペレーターとして活躍！



〒591-8025 大阪府堺市北区長曾根町1206-4
TEL. 072-275-6235

HPはこちら
携帯電話機の利用マナーにご協力ください



ご清聴ありがとうございました



鋼橋の長寿命化に対するインハウスエンジニアの技術力向上に関する講習会
2025年7月16日

トラス橋の温度変形挙動

福井大学 鈴木啓悟



背景と目的

3

温度上昇



持ち上がり挙動



高速鉄道等において
乗り心地に影響

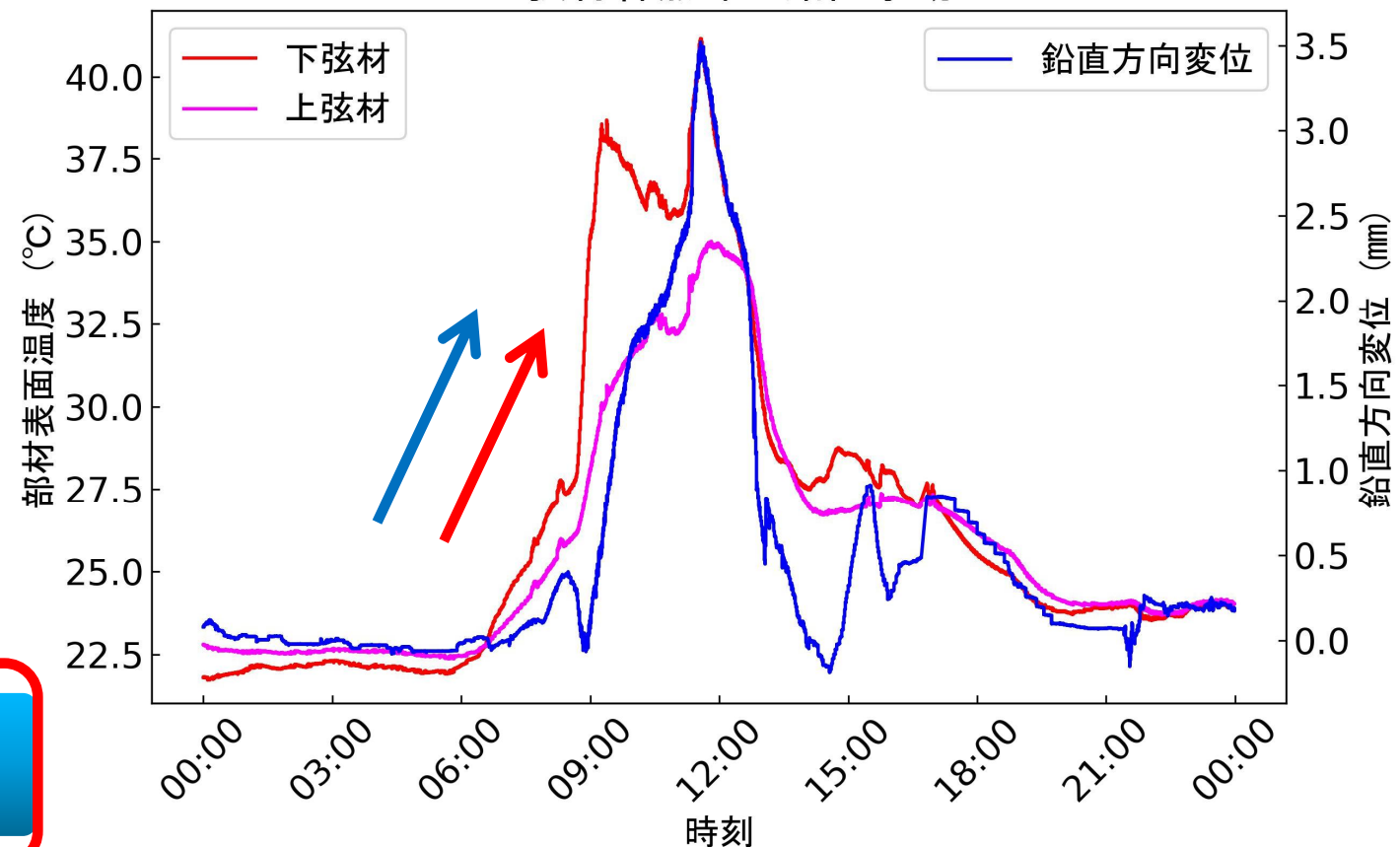


目的

持ち上がり挙動の原因究明

実測・FEMシミュレーション

下弦材各点部の鉛直挙動



対象橋梁と計測項目

4



接触式変位計

熱電対

レーザー変位計

名称	旧布施田橋（昭和33年～平成30年）
形式	曲弦ワーレントラス橋3連，ゲルバー橋9連 コンクリート桁橋16連
橋長	559.6m
支承	4本ローラー支承
箇所	福井県福井市～福井県坂井市
計測	曲弦ワーレントラス橋 1 径間(支間長：60.9m)

計測項目

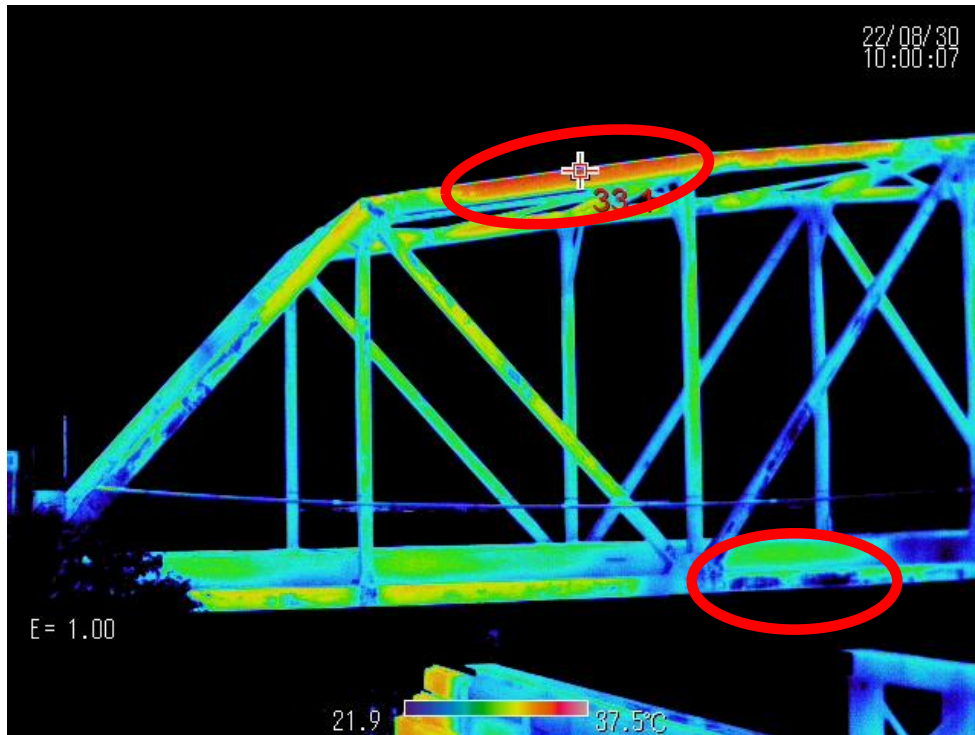
- 変位（支承水平、節点鉛直）
- 表面温度（サーモカメラ、熱電対）
- 外観（UAV、スチルカメラ）

解析

- FEM温度変動シミュレーション

トラス部材間の温度差

5



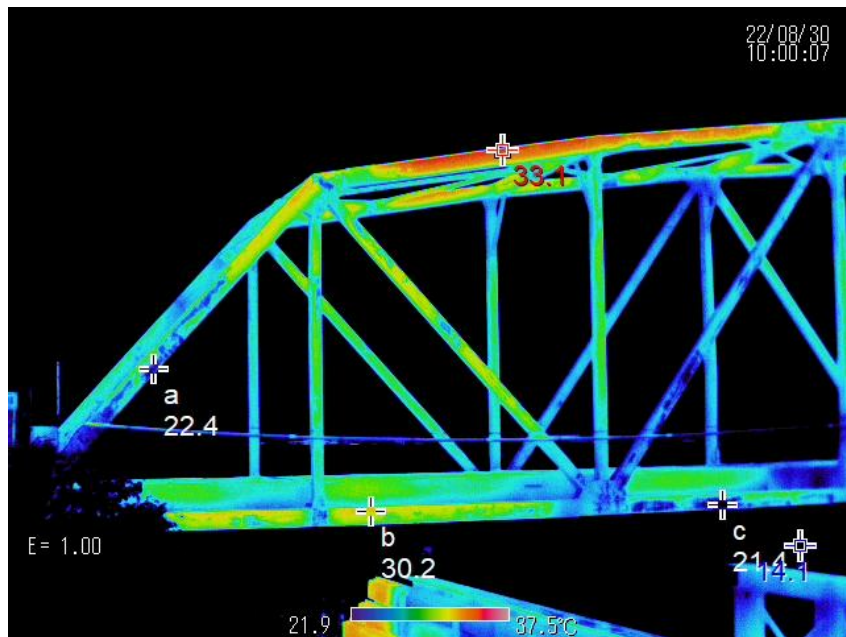
- 腐食部分は温度が高く、塗装部分は温度が低い傾向
- 鋼材の塗膜残存状況が、部材温度に及ぼす影響大

研究の流れ

6

表面状態	部材温度
腐食部分	高
塗装部分	低

ドローン
スチールカメラ



python
FEM

上弦材
下弦材

腐食発生状況把握

錆率の定量化

錆率に応じた温度入力

全体挙動のシミュレーション

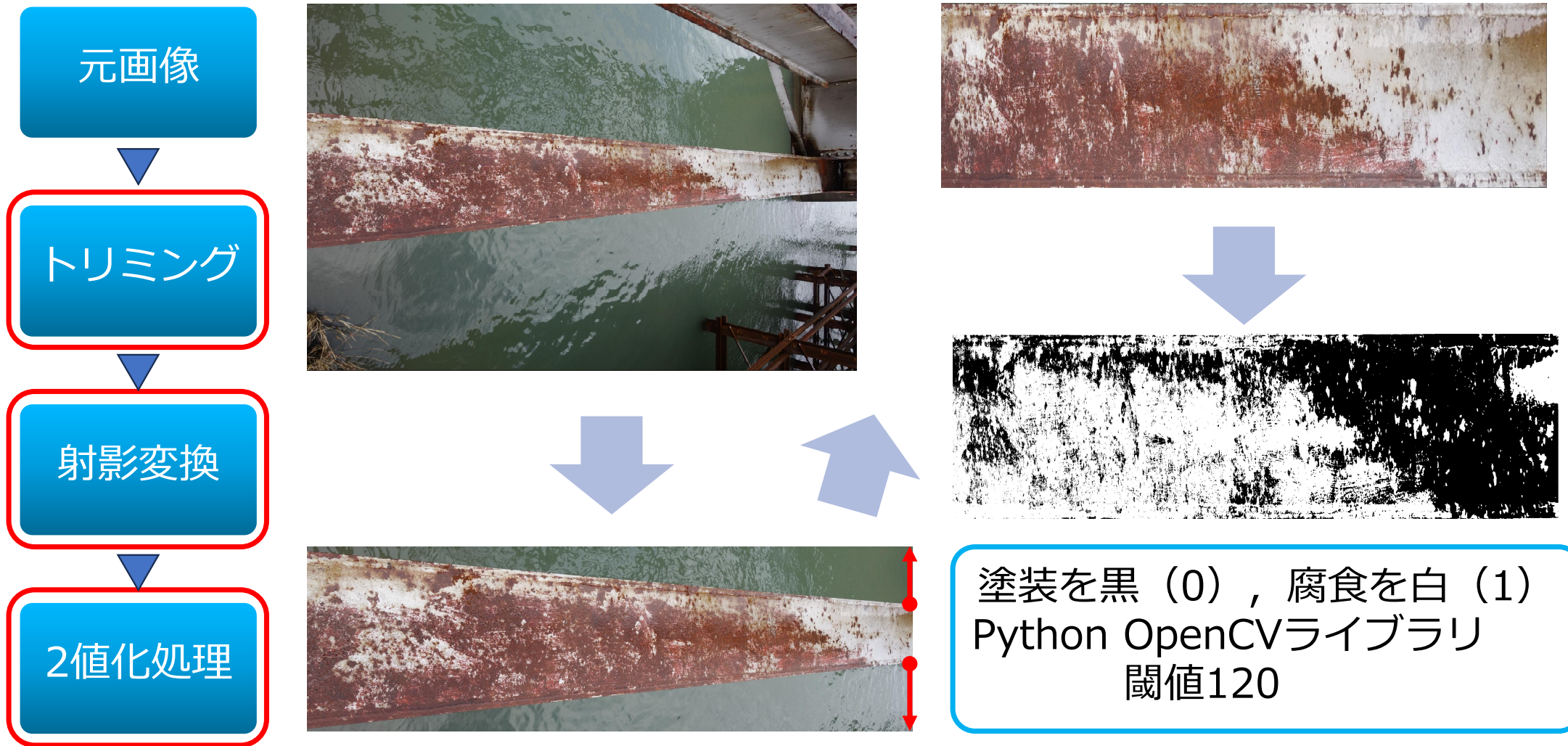
腐食発生状況

7



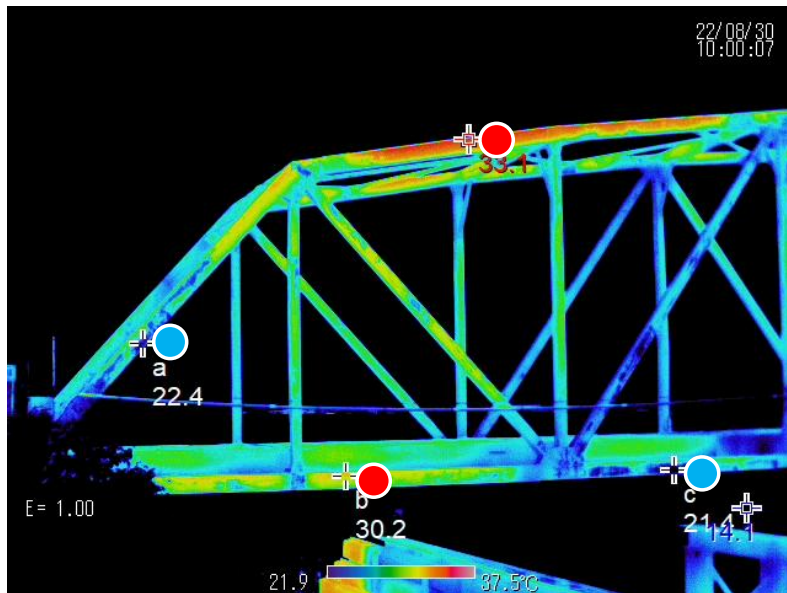
錆率の定量化

8



錆率に応じた温度入力

9



$$\text{錆率(\%)} = \frac{\text{白 (1) の合計}}{\text{画像の面積}} \times 100$$

$$\text{想定温度} = \text{Min} + (\text{Max} - \text{Min}) \times r$$

● *Max* : 腐食部分の部材温度

● *Min* : 塗装部分の部材温度

r : 錆率

(例)

部材温度

20℃

23℃

30℃

錆率

0%(塗装)

30%

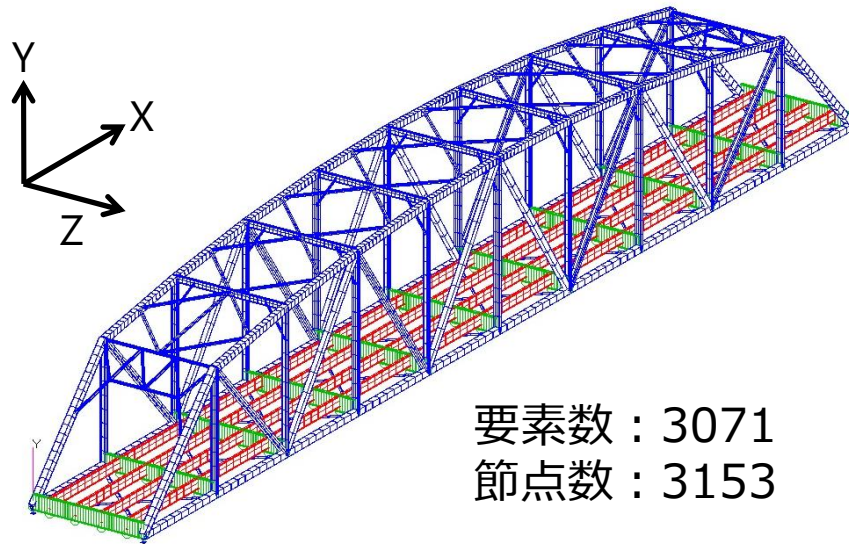
100%(腐食)

	錆率	想定温度
上弦材	91.3%	41.3℃
下弦材	33.2%	36.8℃

←2022/08/30の
部材温度を基に算出

FEMモデルと解析パラメータ

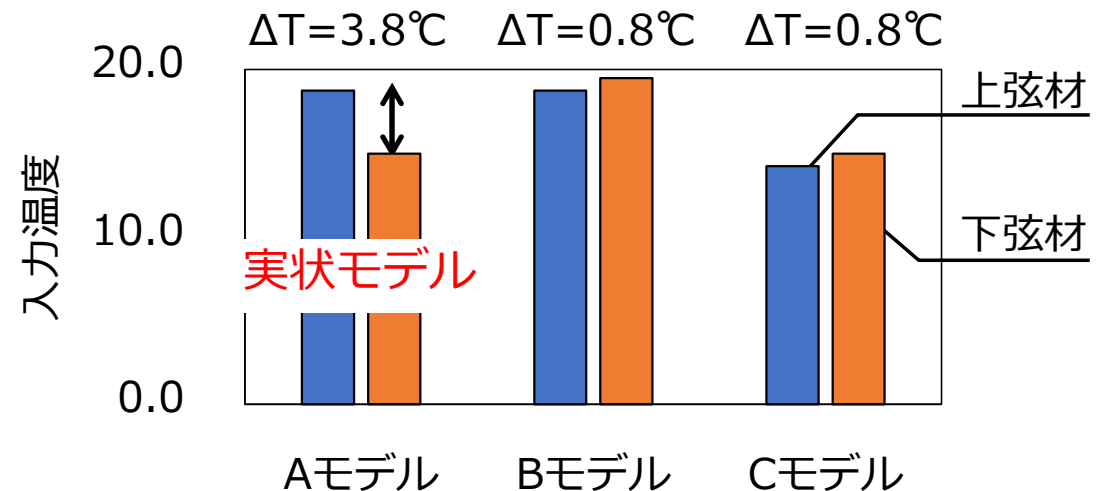
10



要素数 : 3071
節点数 : 3153

解析モデルの鳥瞰図

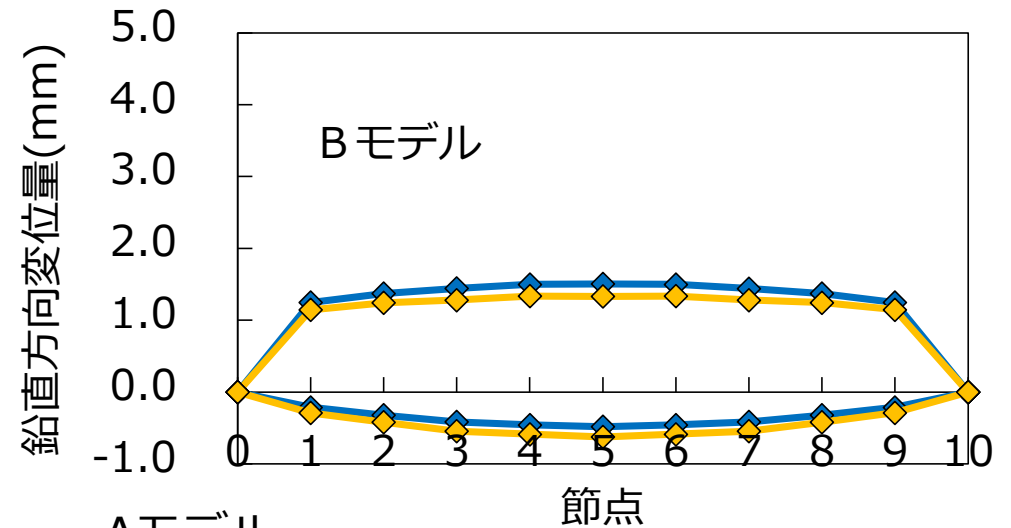
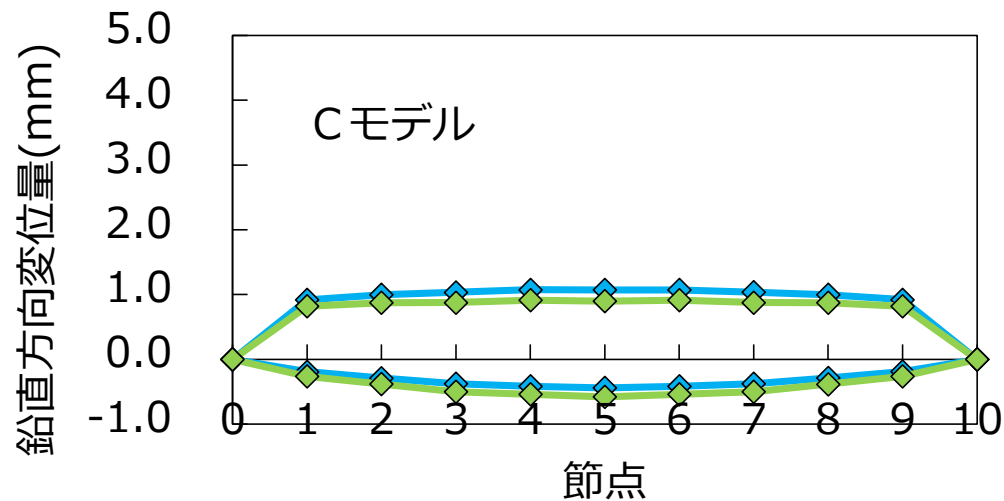
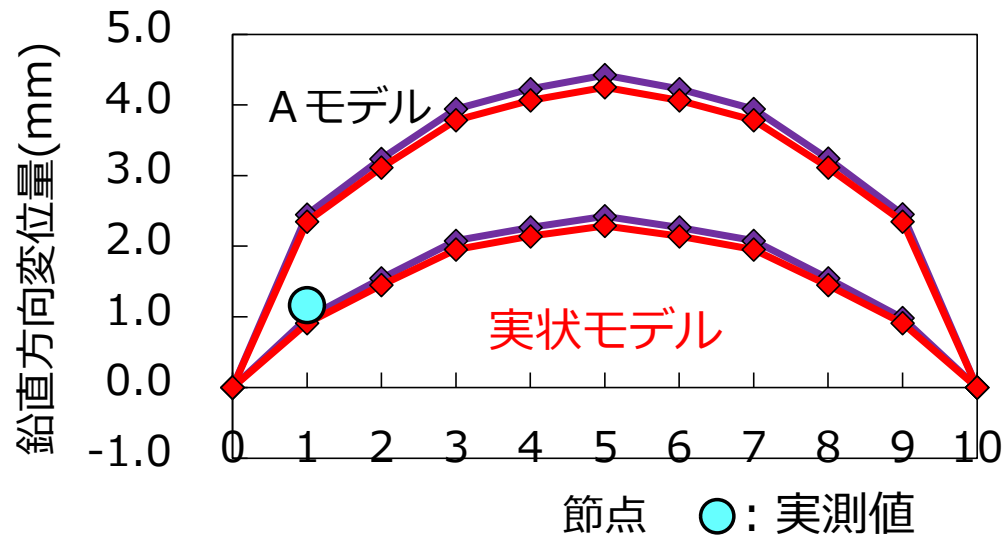
FEMモデルの材料諸元		
トラス部材	密度(kg/m^3)	ヤング率(MPa)
	7,850	205,000
	ポアソン比	線膨張係数($/^{\circ}C$)
	0.3	1.17×10^{-5}



FEMモデルの設定			
境界条件	単純支持 (摩擦係数0.3を設定)		
部材の要素	ビーム要素		
	カンバーをモデルに導入		
錆率	Aモデル	Bモデル	Cモデル
上弦材	91.3%	91.3%	33.2%
下弦材	33.2%	91.3%	33.2%

全体挙動のシミュレーション

11



Aモデル

解析値 : 0.9mm
実測値 : 1.2mm

温度差あり



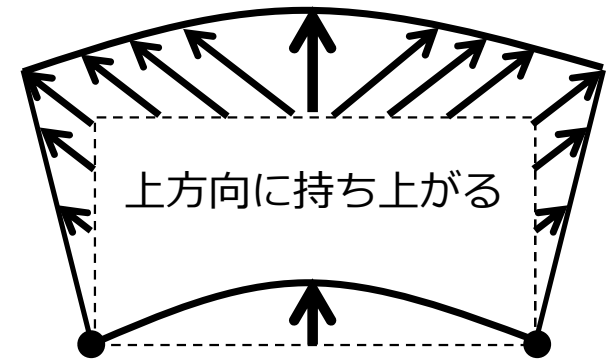
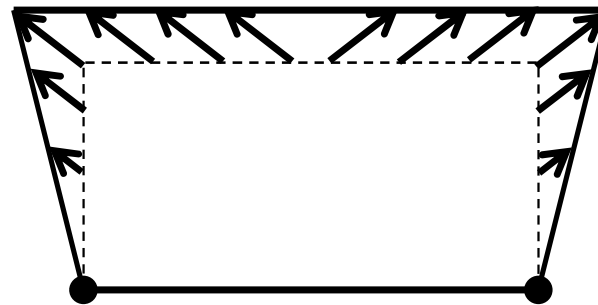
持ち上がり

温度差なし



ごくわずかに動く

橋軸方向



上弦材と下弦材の
錆率が異なる



錆率の高い上弦材
が暖まりやすい



上弦材は、下弦材よりも
伸び量が大きくなる

トラス橋全体が負曲げを
受けるような状態になる



鉛直上方向に持ち上がる挙動

トラス橋の変形挙動を実測結果とFEMによるシミュレーションの両面から分析を行い、以下のことが明らかになった。

- 錆部分は温度が高く、塗装部分は温度が低い傾向にある。また、鋼部材の錆率が、部材表面温度に与える影響が大きい。
- トラス橋の上弦材、下弦材の塗装が劣化し、それぞれ塗膜状態に差が生じると、部材温度差の原因となる。そして、部材温度差は橋梁の鉛直挙動を引き起こす。

ご清聴ありがとうございました

トラス橋部材の発錆状態が部材温度と鉛直挙動に及ぼす影響

鈴木 啓悟, 野島 悠生, 竹谷 晃一, 阿久津 絢子, VANKAYALAPATI Keerthi Kireeti,
伊藤 裕一, 佐々木 栄一

鋼構造年次論文報告集, 第31巻, pp.312-317, 2023年11月

TRSを用いた新しいジベル構造の提案

日本大学 理工学部 交通システム工学科 谷口 望

2022年度 高速道路調査会 研究助成

「床版取り換えに適した鋼-コンクリートずれ止め構造を用いた弾性合成桁に関する研究」

2023-2024年度 日本鉄鋼連盟 研究助成

「床版取り換えを想定しサステナビリティを向上させた弾性合成桁の開発に関する研究」

研究の着想

最近の話題 **高速道路の大規模修繕**（NEXCO西HPより引用）

橋梁（床版取替）：損傷した鉄筋コンクリート床版を、より耐久性の高い床版に取り替えます。
（プレストレストコンクリート床版）



研究の着想

最近の話題 高速道路の大規模修繕⇒床版の損傷・土砂化



研究の着想

最近の話題 道路橋示方書の改訂

非合成構造に対しても合成効果を考慮して設計を行う
(非合成桁と合成桁の2重の設計)

活荷重の増加への対応 (B活荷重)

研究の着想

床版取り換えでは、プレキャストPC床版が設置される

PC床版の箱抜き部にずれ止めを設置

合成とするには、ずれ止めが不足するはず、最小間隔守れない？

床版撤去時にずれ止めは損傷するはず、溶接再設置必須か？



三井住友建設HPより引用

研究の着想

従来の道路橋の鋼桁と床版のずれ止め

スタッド or スラブアンカー（ひげ鉄筋）



床版撤去後のずれ止めの状況例



研究の着想（構造の提案）

完全合成ではなく不完全合成を積極的に活用し，弾性合成を目指してはどうか？

⇒2重設計の解消，設計の合理化・高度化（解析技術の進歩に対応）

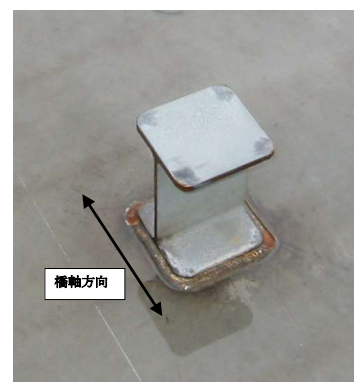
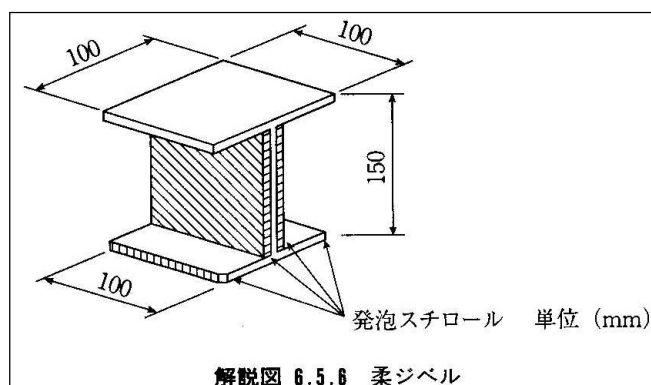
床版撤去時に撤去しやすいように，ずれ止めごと床版を取り換えられるようにしてはどうか？

⇒床版裏面側からワンサイドボルトで着脱できないか
（サステナビリティ向上，社会的損失の最小化）

研究の着想（構造の提案）

弾性合成桁用のずれ止め

鉄道で使用実績のある柔ジベルの活用



鉄道橋で使用されているずれ止めの例



柔ジベル拡大



研究の着想（構造の提案）

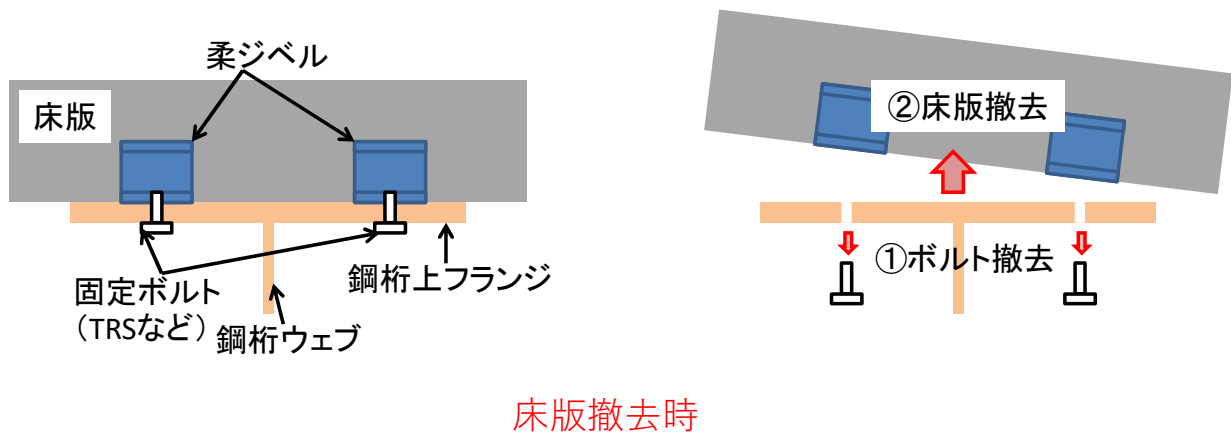
ずれ止めの固定方法⇒溶接で取り付けると床版撤去時に支障，再利用不可

ワンサイドボルトの活用
(特にTRSが適していると考えた)

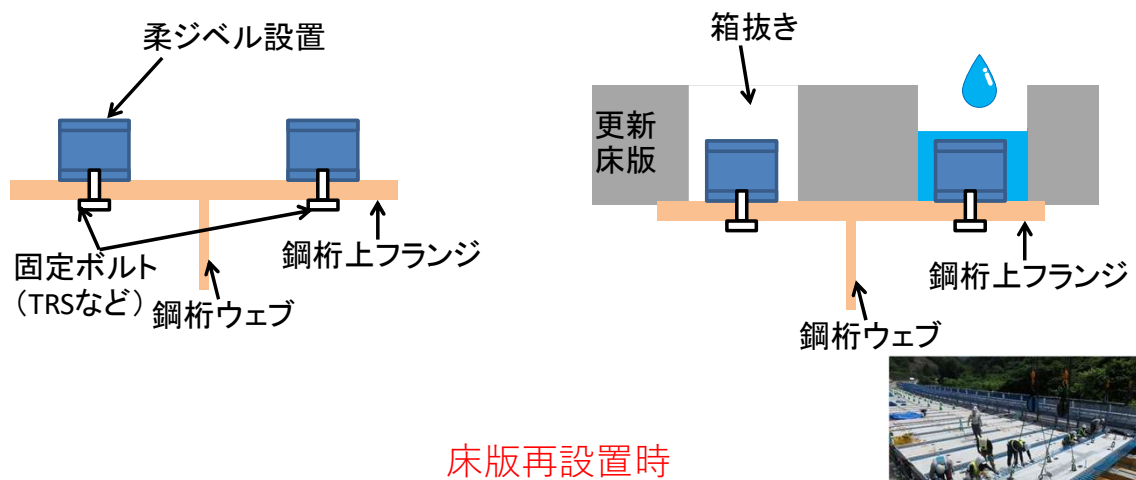
摩擦接合ではなく支圧接合にできる
コンクリート側に突起等が少ない
確実に取り外しでき，再設置も容易



研究の着想（構造の提案）



研究の着想（構造の提案）



三井住友建設HPより引用



①施工試験

柔ジベルをTRSで固定できるか確認



②載荷試験

柔ジベル合成桁の載荷試験を実施

弾性合成桁の挙動確認

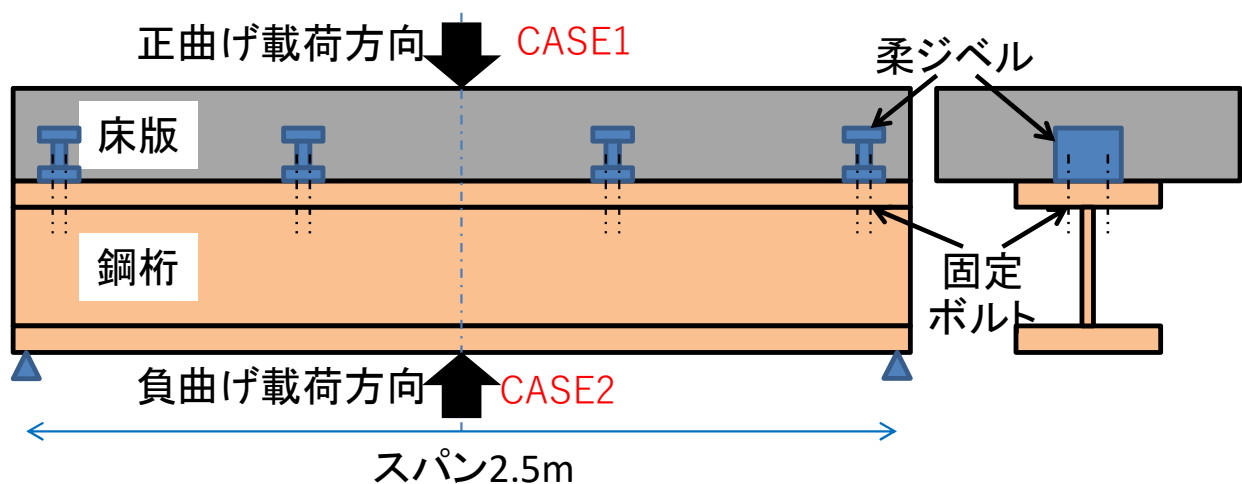


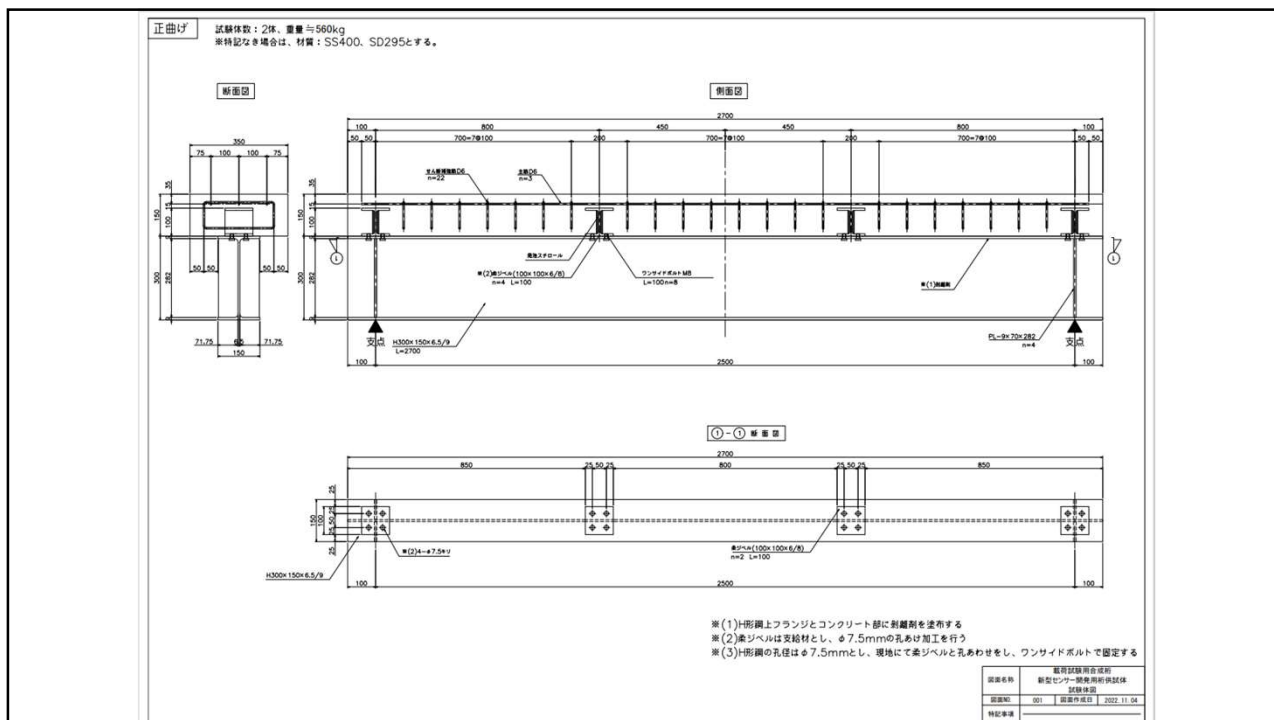
③施工試験

載荷試験後にTRS, 床版が撤去できるか確認



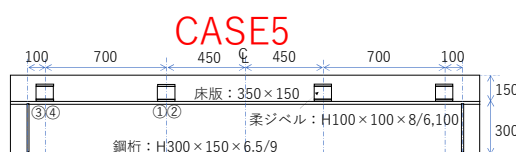
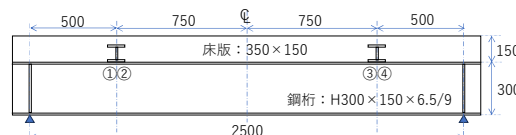
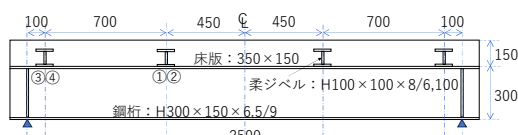
～載荷実験～



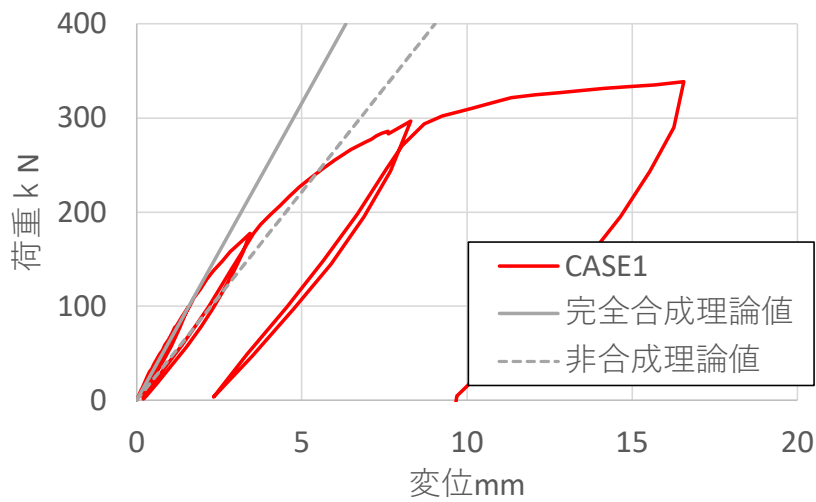


載荷実験の種類

CASE	載荷方向	ずれ止め数	発泡スチロール	ずれ止め方向	終局時ボルト破断
1	正曲げ	4	有	橋軸方向	破断なし（最大荷重338kN）
2	負曲げ	4	有	橋軸方向	破断なし（最大荷重282kN）
3	正曲げ	2	有	橋軸方向	破断あり（荷重307kNで発生）
4	正曲げ	4	無	橋軸方向	破断あり（荷重330kNで発生）
5	正曲げ	4	無	橋軸直角方向	破断あり（荷重339kNで発生）



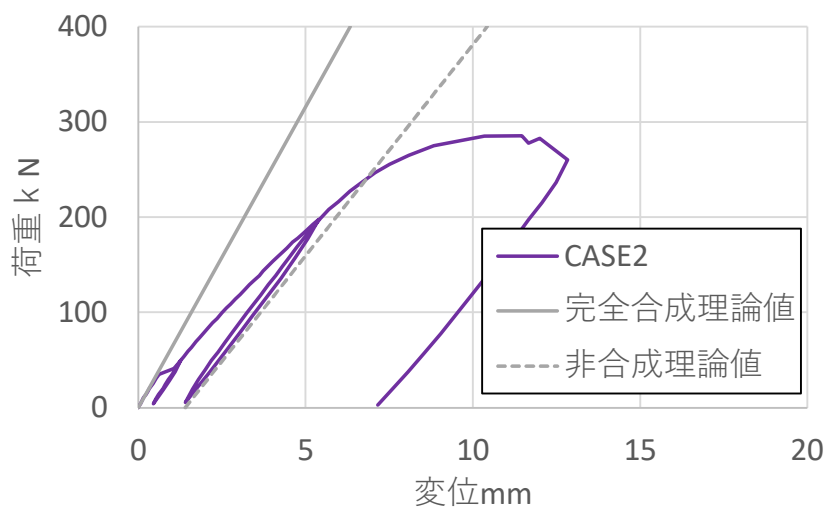
CASE1(ずれ止め4個, 発泡スチロールあり, 正曲げ)



鋼桁降伏: 170kN

TRS破断しない

CASE2(ずれ止め4個, 発泡スチロールあり, 負曲げ)

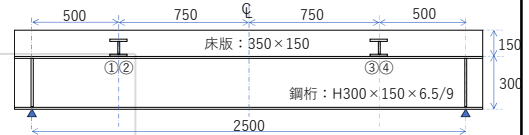
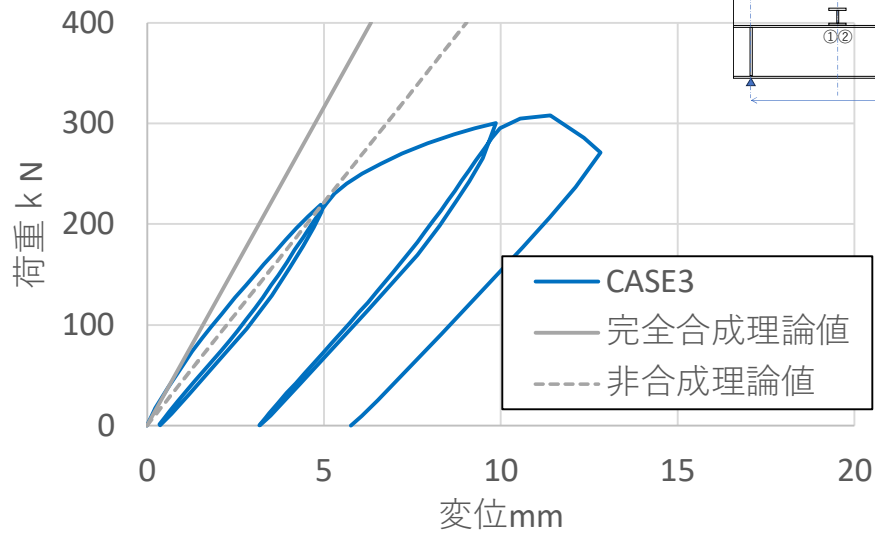


ひび割れ: 30kN

鋼桁降伏: 250kN

TRS破断しない

CASE3(ずれ止め2個, 発泡スチロールあり, 正曲げ)

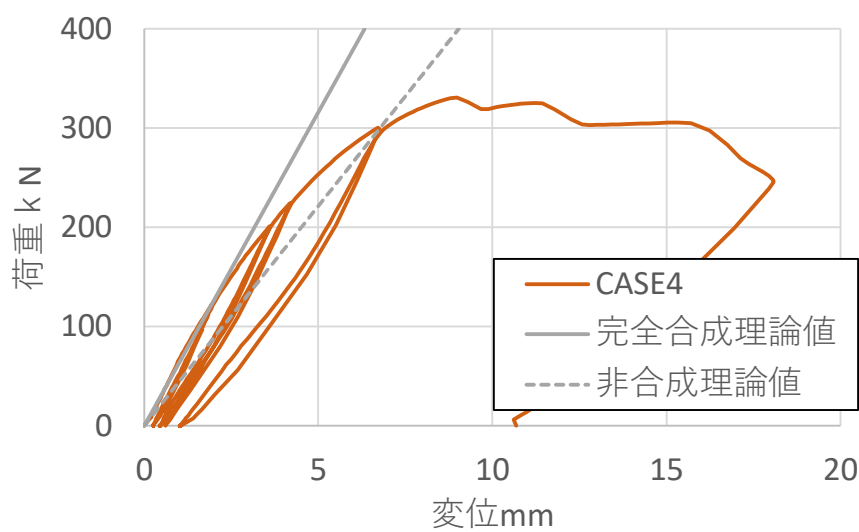


鋼桁降伏: 180kN

TRS破断: 307kN



CASE4(ずれ止め4個, 発泡スチロールなし, 正曲げ)

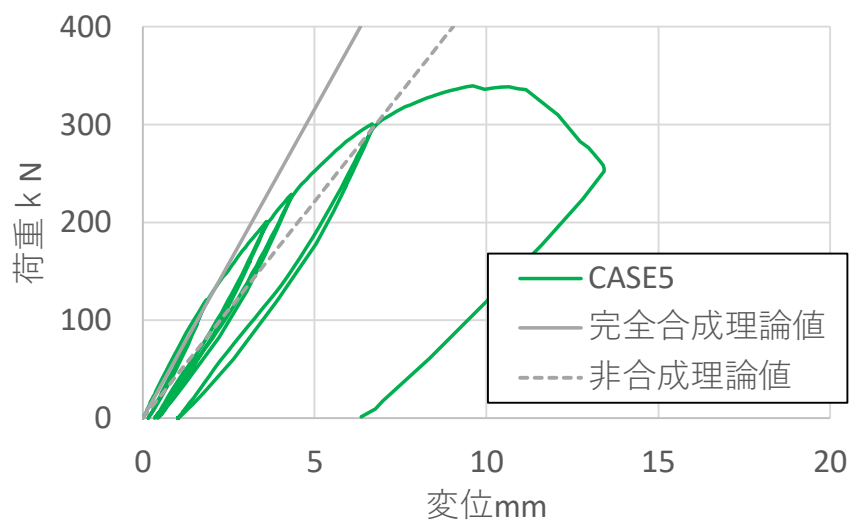


鋼桁降伏: 210kN

TRS破断: 330kN



CASE5(ずれ止め4個, 発泡スチロールなし, 正曲げ, 橋直)

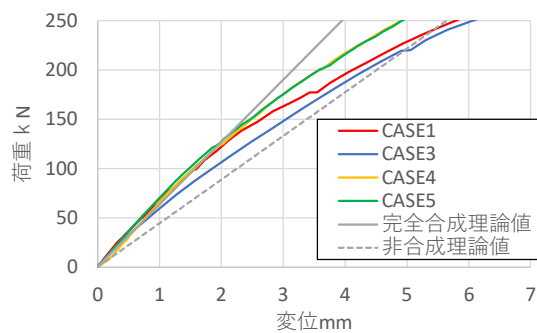
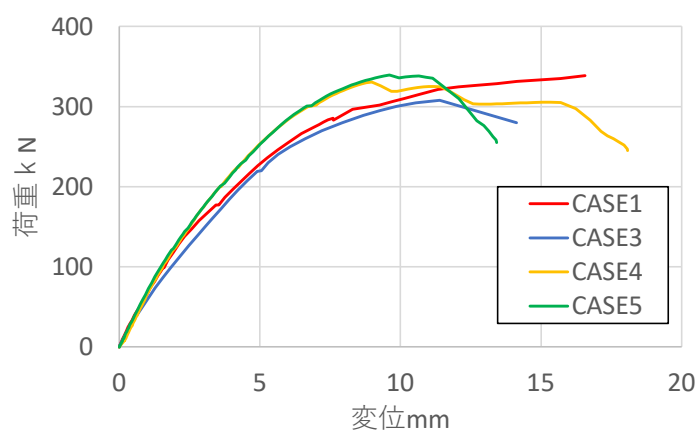


鋼桁降伏: 220kN

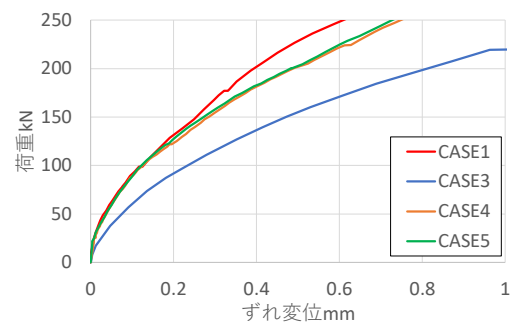
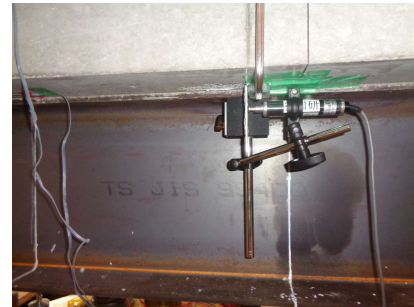
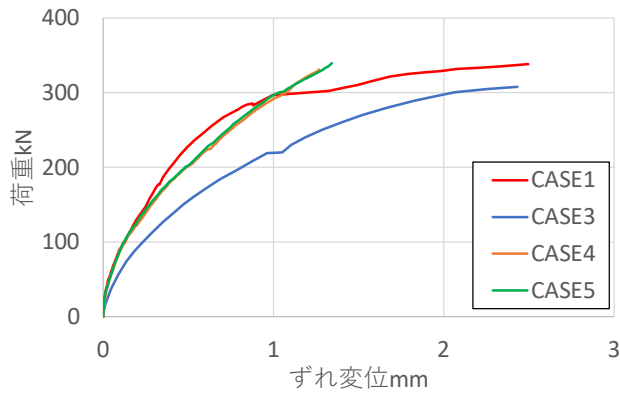
TRS破断: 339kN



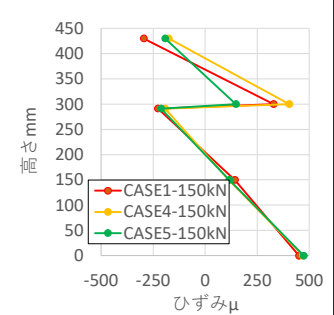
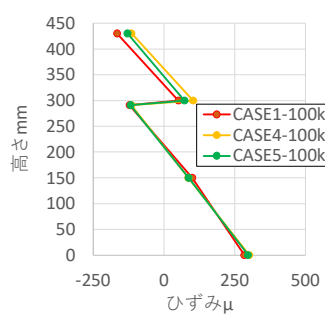
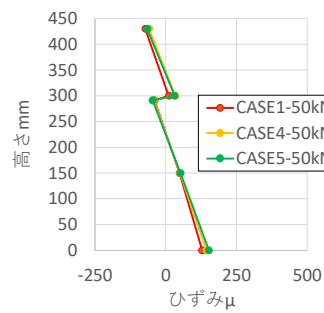
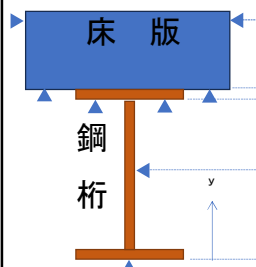
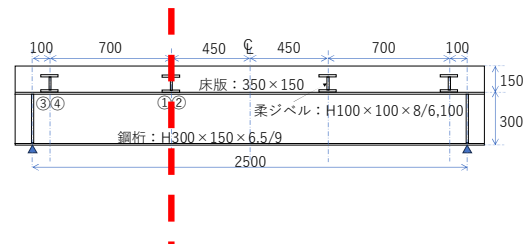
荷重-変位図の比較



荷重-ずれ変位図の比較



荷重-ひずみの比較



まとめ

- TRSボルトにより柔ジベルを一般的市販の器具において接合することは可能である。また、載荷試験後もTRSボルトが破断しない状態では、TRSボルトを外すことは可能であり、床版を容易に撤去できることが分かった。撤去後のTRSボルトと孔はネジ山がつぶれることもなく、再利用可能である。
- 載荷試験におけるずれ止め部の荷重－ずれ変位の結果より、初期剛性においても鋼桁と床版にずれが生じる結果となっており、やはり不完全合成の挙動を示した。また、除荷と再載荷を行った場合でも復元性が確認されたため、弾性合成の挙動が再現できる可能性を示すことができた。

まとめ

- 柔ジベル構造に発泡スチロールを設置することは、ずれ止めとしてのせん断伝達挙動に影響を及ぼすが、低せん断力下では大きな影響はなく、終局時のせん断力下では取り付けTRSボルトの破断を防ぐ効果がある結果となった。
- 柔ジベルの橋軸直角方向の挙動は、発泡スチロールを設置しない場合、橋軸方向の挙動と同等な挙動を示した。

謝辞

- 本研究は、高速道路調査会および日本鉄鋼連盟の研究助成を受けて研究を行いました。TRSボルトの使用に関しては、鋼橋メンテナンス研究会の皆様からアドバイスをいただき、（株）ロブテックスファスニングシステムから材料提供いただきました。また、載荷実験の実施にあたっては、日鉄環境（株）の皆様、日本大学の笠野英行様および学生の皆様の協力を得ました。記して謝意を表します。

鋼鉄道橋における薄型 B P 支承の適用

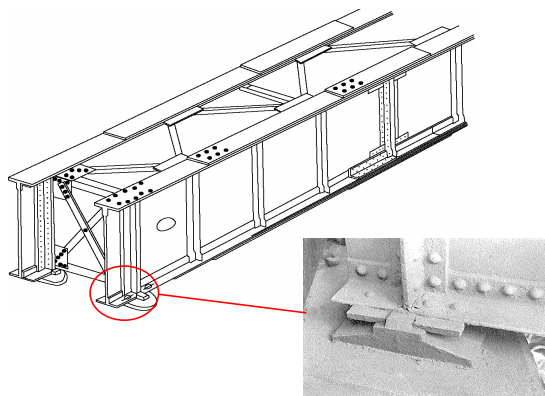
京橋ブリッジ株式会社

0

1.はじめに 支承開発の背景

鉄道上路プレートガーダー（リベット構造）の代表的な変状

- 線支承部直上の下フランジ山形鋼コーナー部に生じるき裂



(線支承)



(下フランジき裂)

1

● 下フランジ山形鋼コーナー部のき裂

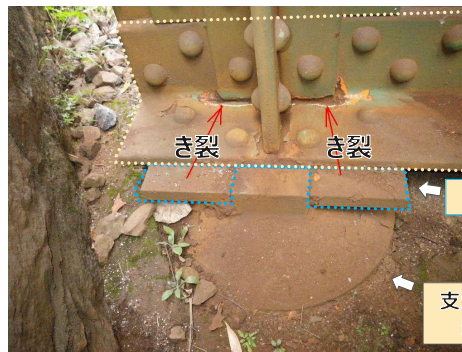


2

2.き裂状況

き裂部の修繕

- ① 下フランジ山形鋼の部材交換
 - ② ソールプレート交換
 - ③ 支承交換
 - ④ 桁座修繕
- をセットで行うことが多い



下フランジ山形鋼（き裂部）を切断撤去

➡ 取り出した山形鋼を詳細調査

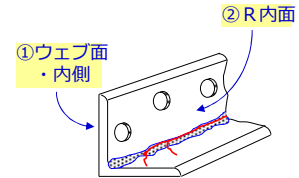


取り出した山形鋼（き裂あり）

3

下フランジ山形鋼 き裂状況（一例）

①ウェブ面・内側より

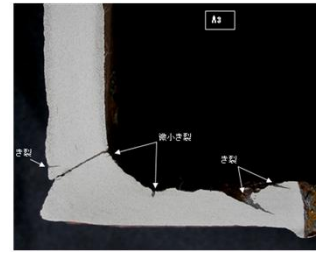
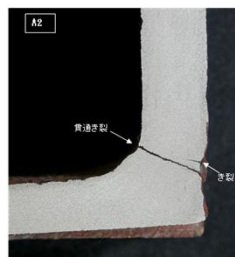
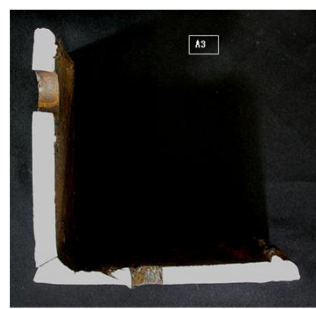
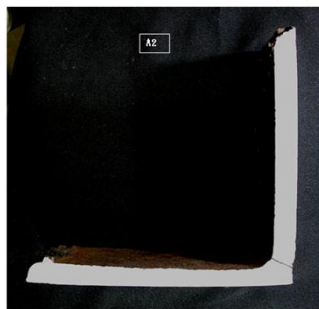


②R内面より



4

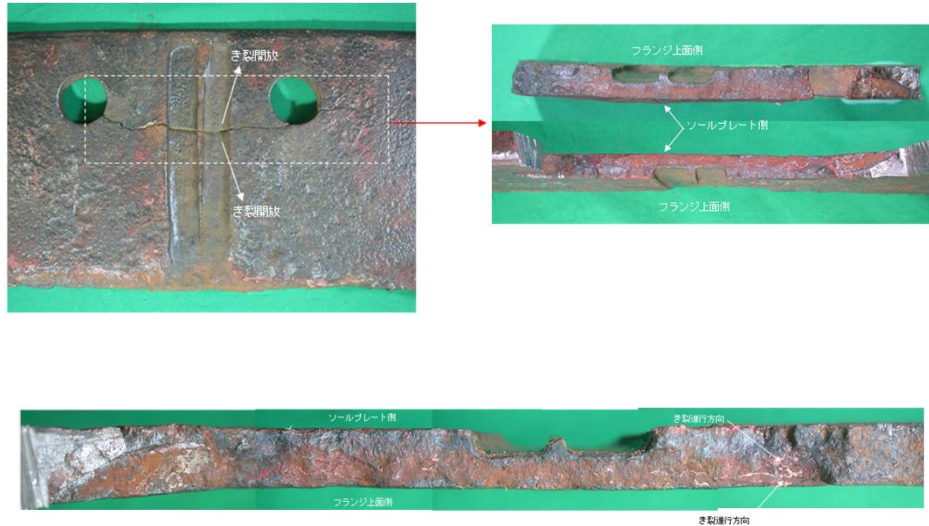
下フランジ山形鋼 き裂状況（鋼材断面）



(2) A2-A2断面拡大：貫通き裂と腐食部の微小き裂

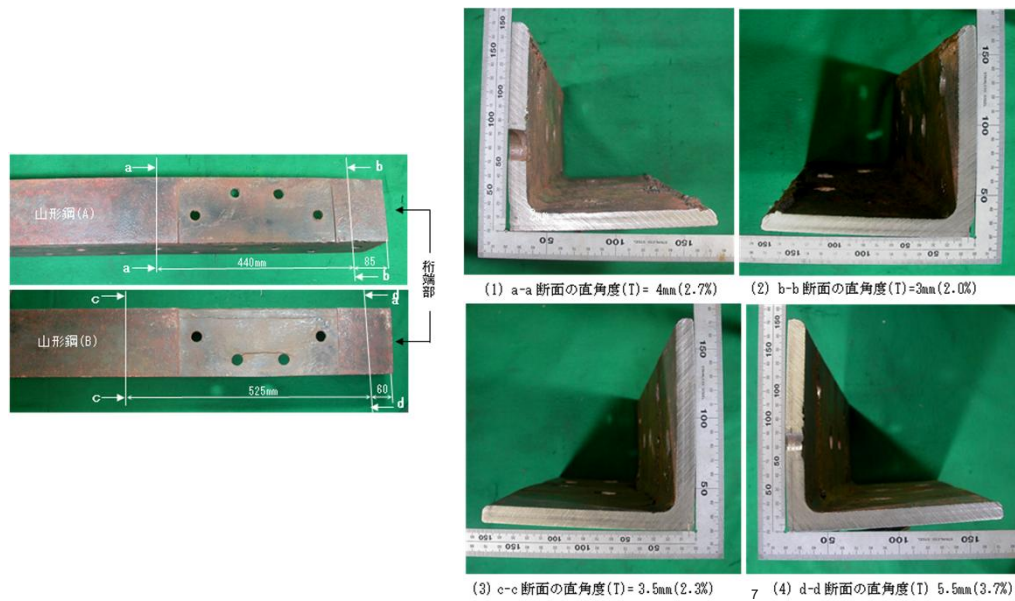
5

下フランジ山形鋼 き裂状況（リベット孔部）



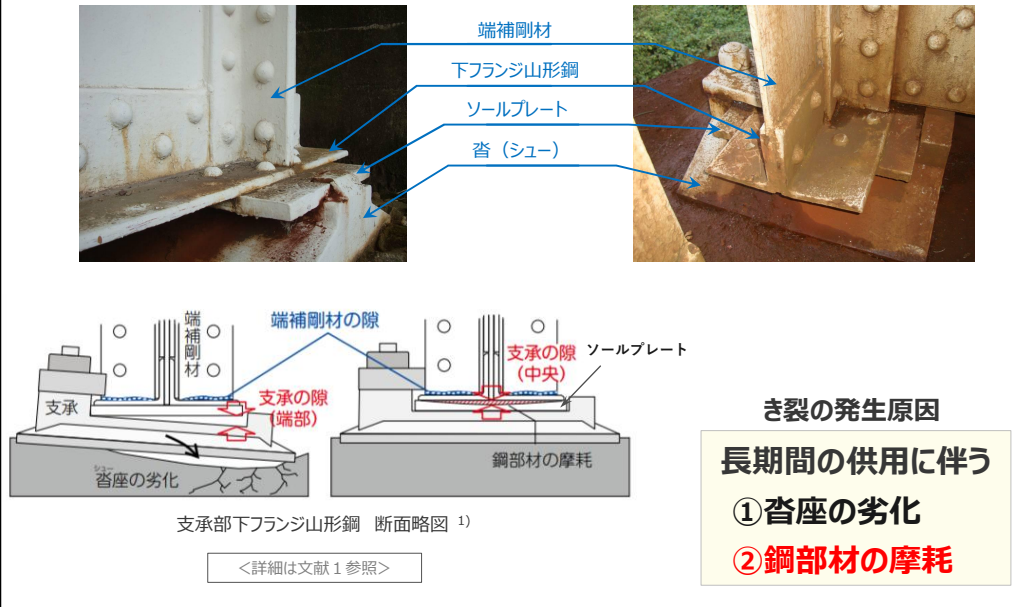
6

下フランジ山形鋼 変形状況



7

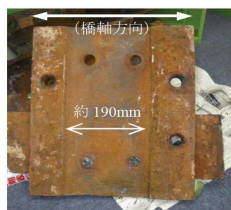
3.き裂の発生原因



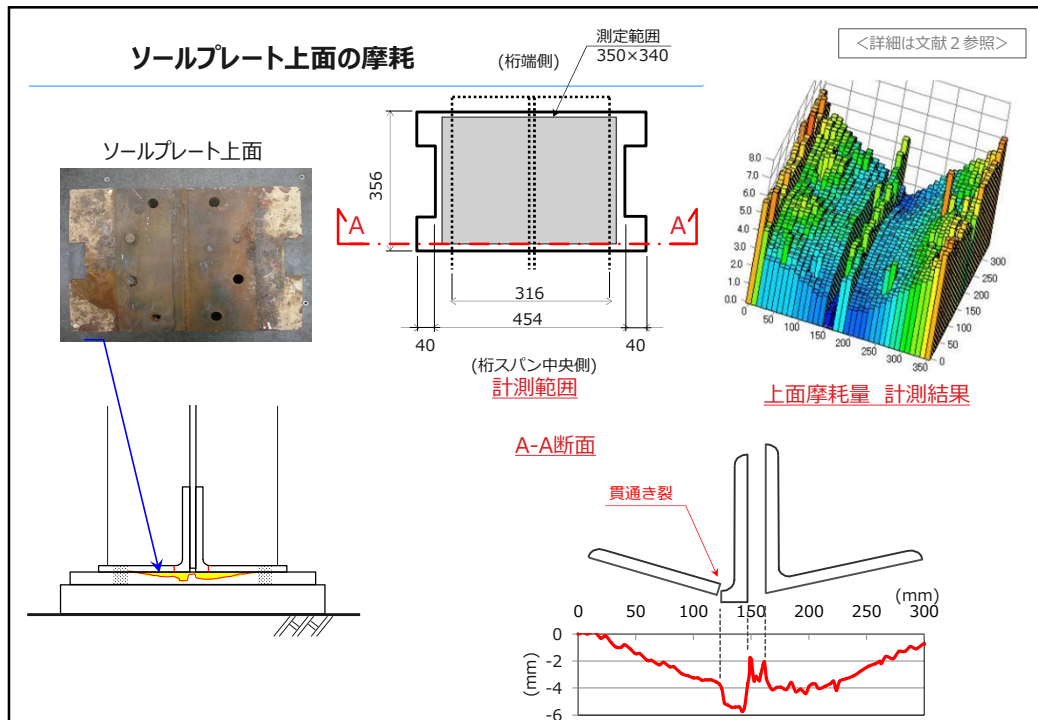
8

鋼部材同士の接触部の摩耗状況

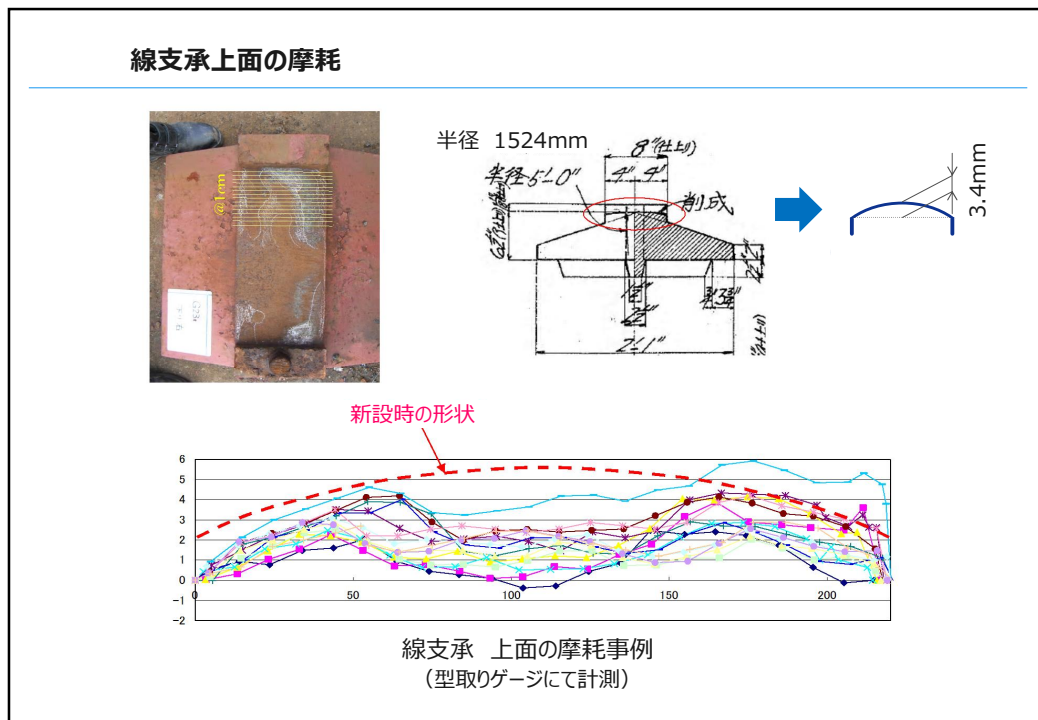
※写真は同一橋りょうではない



9



10



11

摩耗進行に伴う弊害（部材接触）

<詳細は文献 2 参照>

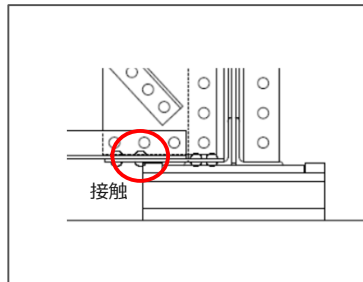
- サイドブロックが、端支材やガセットプレート等に接触



健全な状態



摩耗・変形が進行し、接触した状態



ガセットプレートのリベットが
線支承に食い込んだ例

12

3. 薄型 B P 支承の開発

現状

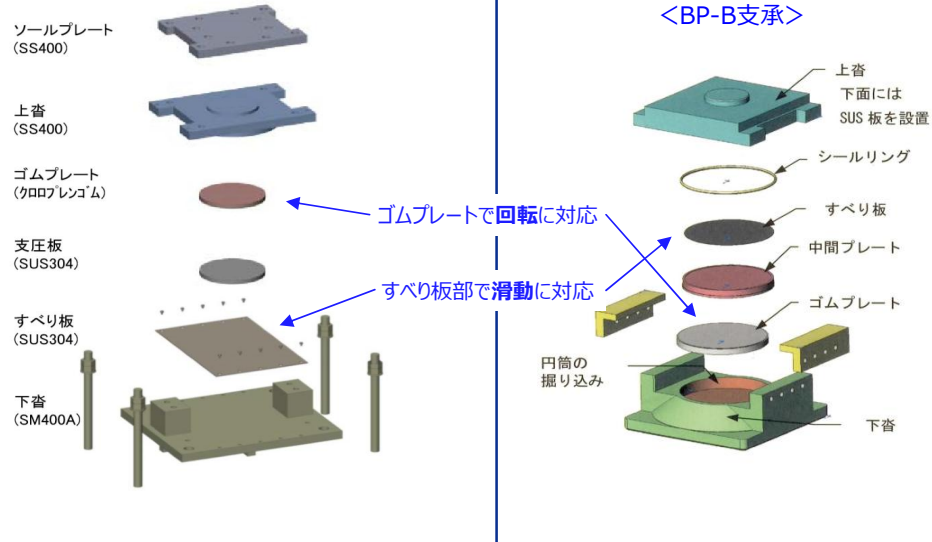
- 長期間の供用を考えた場合、鋼部材の摩耗は避けられない
- 支承部は特に摩耗が大きく、変状（き裂）の発生要因となっている

支承開発のコンセプト <長期間使用する支承には、摩耗に対応できることが求められる>

- ① 耐摩耗性が高いこと
(接触面積の増、耐摩耗性の高い材質適用、表面処理 等)
- ② 将来、摩耗が進行した際に、摩耗した部材の取り換えが容易であること
(部材の取り替えが可能な構造、維持管理性に優れる)
- ③ その他 :
修繕の現場において、低コスト、短期間で製作可能、現地条件に合わせた形状寸法
(汎用性の高い材料、製作・加工が容易)

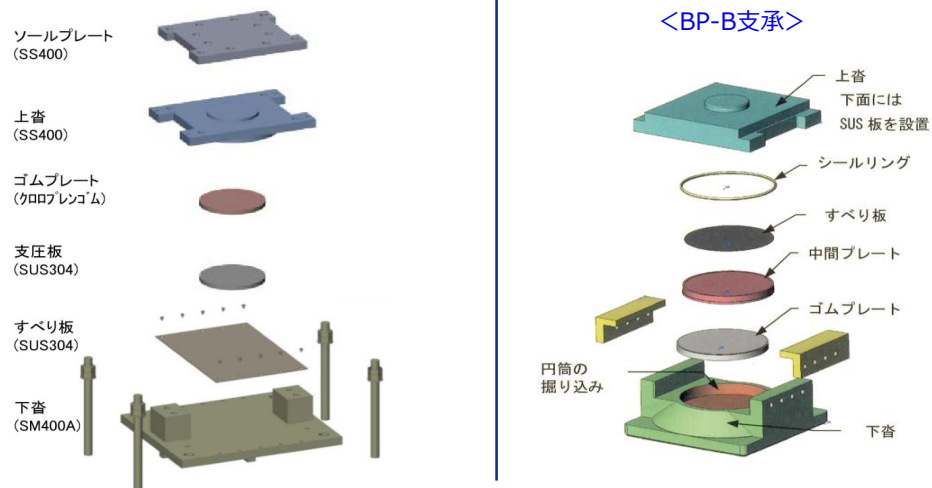
13

開発した支承構造



14

BP-B支承との比較

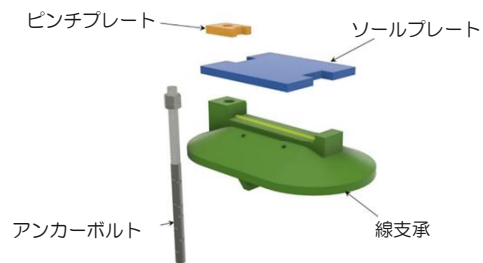
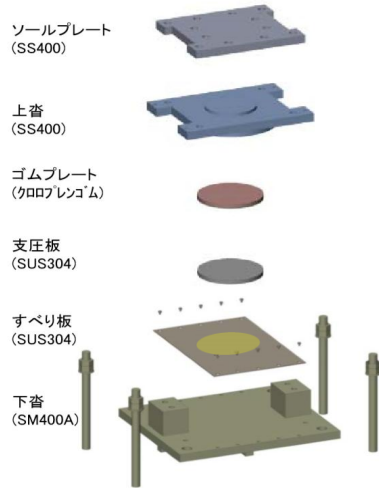


特徴① 一般的なBP-B支承に比べて支承高さが低く、既設線支承からの置換えが容易

特徴② 下沓側の掘り込みが無いので、支承内部に水分・塵埃が溜まりにくい

15

線支承との比較



線支承に比べて

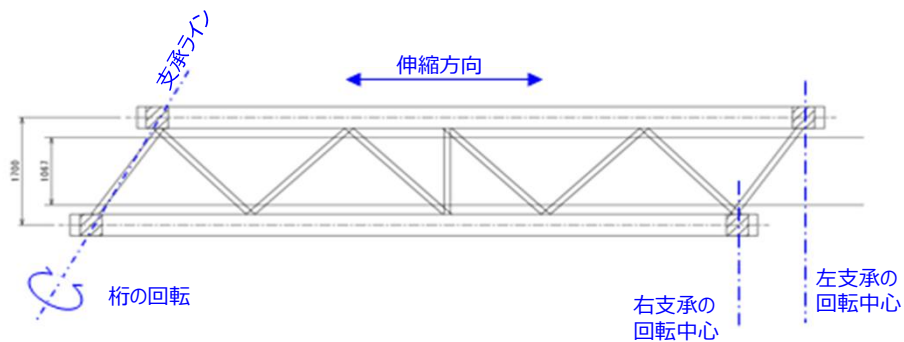
- 特徴③** 摺動面の接触面積が大きいため、
摩耗進展速度が遅い
- 特徴④** ゴムプレートを挿入しているため、
斜角桁の複雑な挙動に追従できる

16

特徴④

ゴムプレートを挿入しているため、
斜角桁の複雑な挙動に追従できる

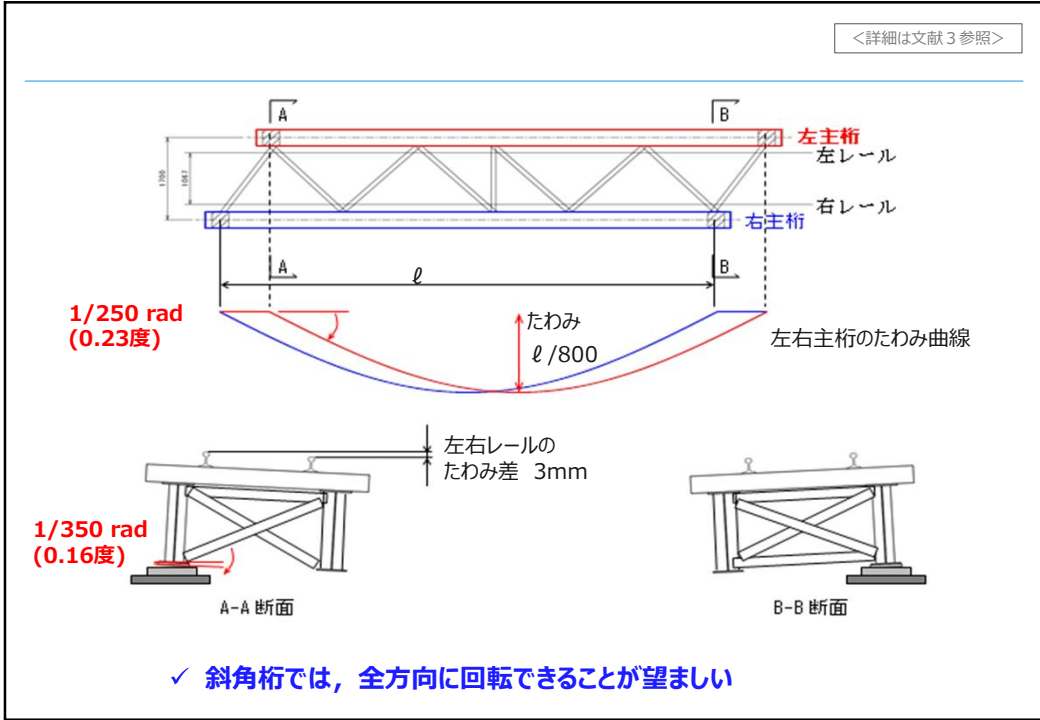
- 斜角桁では、一般に、線支承は橋軸直角に据えている。



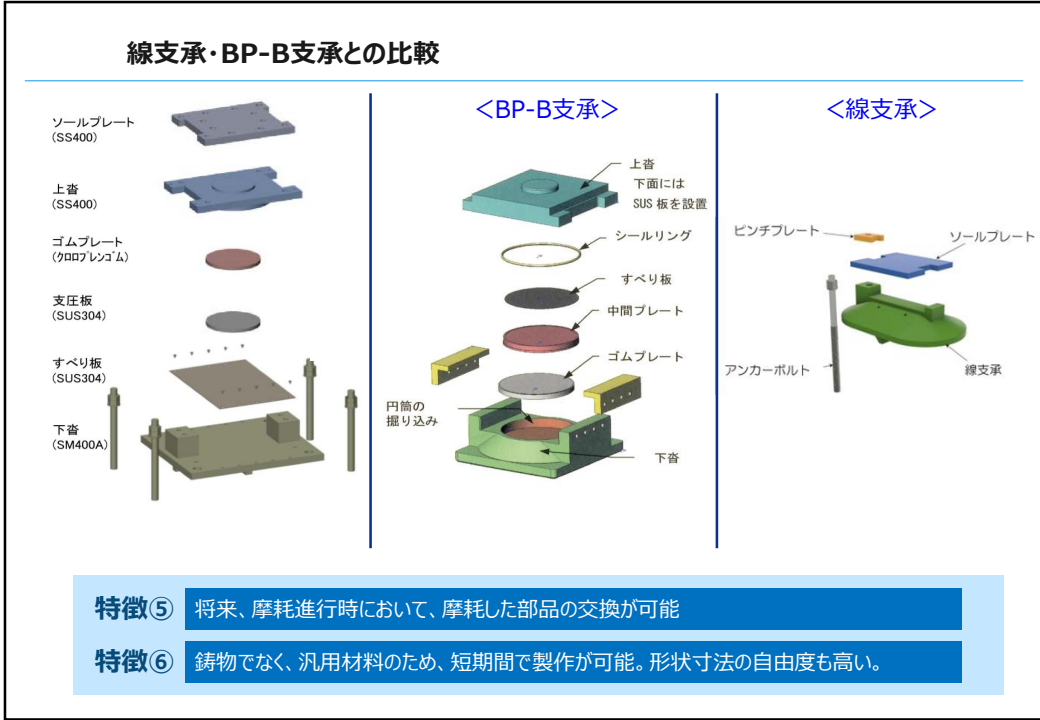
桁の伸縮方向と回転軸の方向が直交しない

左右線支承の回転中心位置が異なる

17

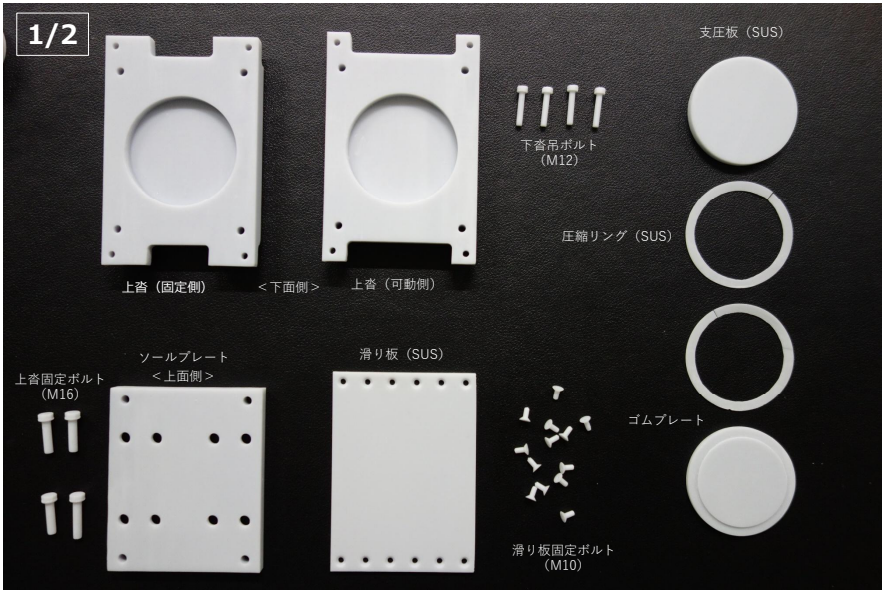


18

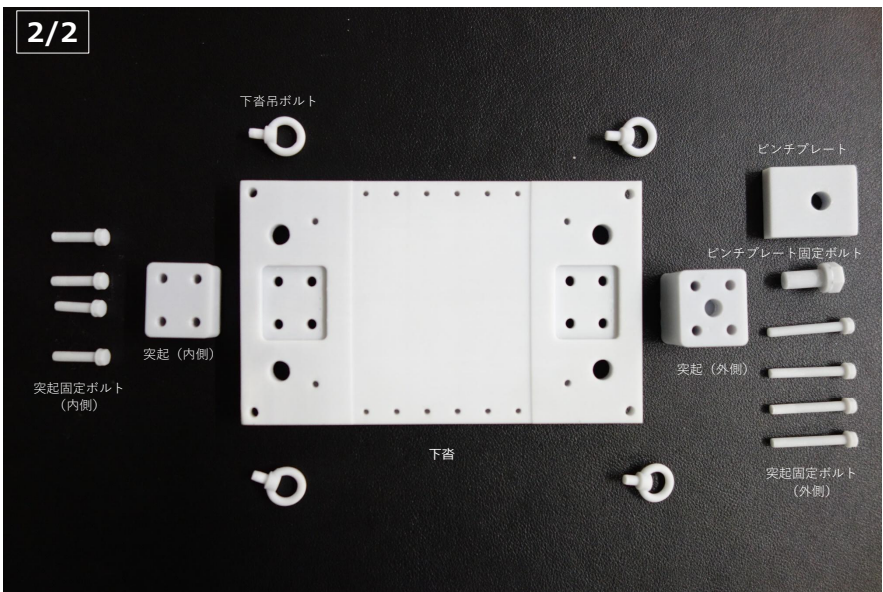


19

特徴⑤ 将来、摩耗進行時において、摩耗した部品の交換が可能

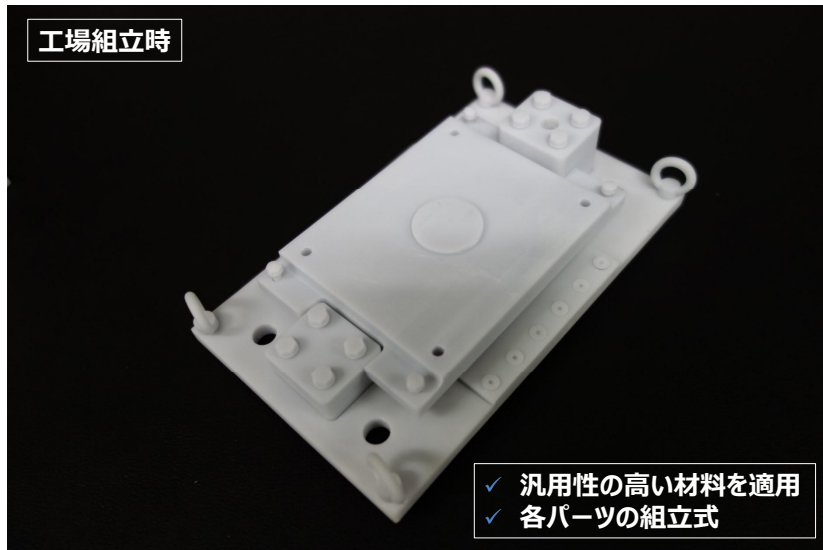


20



21

工場組立時

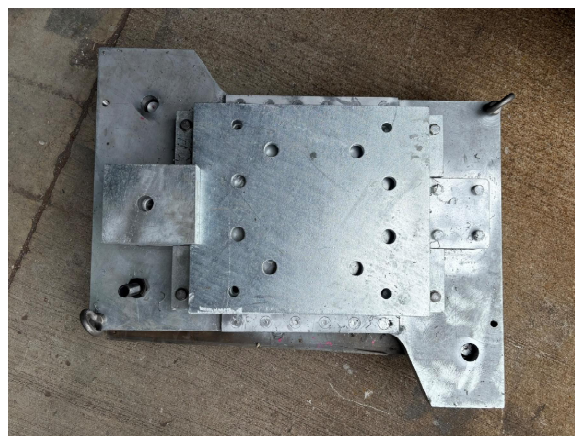


- ✓ 汎用性の高い材料を適用
- ✓ 各パーツの組立式

✓ 将来、すべり板や支圧板は、摩耗進行が予想されるが、各パーツの交換が可能

22

特徴⑥ 鋳物でなく、汎用材料のため、短時間で製作が可能。形状寸法の自由度も高い。

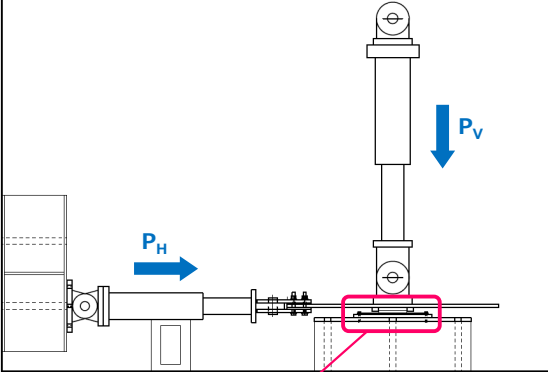


✓ 汎用性の高い鋼材（SS材やSM材）を切断加工するため、形状寸法は自由

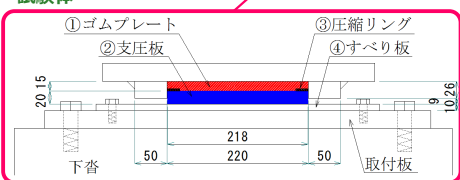
23

[＜詳細は文献 3 参照＞](#)

二軸載荷試験



試験体



試験内容

一定の鉛直荷重を載荷した状態で
水平方向に荷重を載荷

目的

- 水平方向の挙動を把握
- 摩擦係数 (P_H/P_V) を把握

試験条件

① 鉛直荷重を変化

鉛直荷重	支圧応力度
190 kN	5 N/mm ²
380 kN	10 N/mm ²
570 kN	15 N/mm ²
760 kN	20 N/mm ²

許容支圧応力度 20 N/mm²

② 水平載荷速度を変化
摩擦係数の速度依存性を確認

③ 支承を1度傾斜
支承交換時の施工精度を考慮

④ すべり板に古材 (10年供用後)
古材での摩擦係数

26

5. 鉄道橋での使用実績




➢ これまでの使用実績 500基 以上

- ・大阪市高速電気軌道(株)
- ・小田急電鉄(株)
- ・京阪電気鉄道(株)
- ・南海電気鉄道(株)
- ・西日本旅客鉄道(株)
- ・阪神電気鉄道(株)

➢ 適用開始から、最長で25年以上経過

◆ メンテナンスでは、変状原因をよく調べ、
修繕後に容易に変状を再発させないことや、
施工性、長期的な維持管理性などを考え、
創意工夫することが大切

27

ご清聴ありがとうございました

＜参考文献＞

- 1) 吉田善紀・小林裕介
：リベット桁支承部の疲労き裂進展抑制のための補強工法，
鉄道総研報告，Vol.34，No.6，2020
- 2) 西田寿生・木村元哉・廣畑幹人・山口隆司
：鉄道上路プレートガーダー（リベット構造） 支点部下フランジ山形鋼のき裂発生に関する検討，
鋼構造年次論文報告集，第32巻，2024.11
- 3) 西田寿生・木村元哉・山田不二彦・古市 亨・松井繁之
：鋼鉄道橋における交換用支承の開発について，構造工学論文集，Vol.65A，2019.3

合成樹脂製 埋設ジョイント への取換工事

鋼橋の長寿命化に対するイン
ハウスエンジニアの技術力向上
に関する講習会

日時：令和7年7月16日
(水) 13:30～

場所：建設交流会館
8Fグリーンホール

2025/7/16

合成樹脂製埋設ジョイントへの取換工事

1

1

発表の内容

- 1) 事業の経緯
都市整備推進センター 富山 久男
- 2) 埋設型橋梁ジョイント
(PAジョイント) 紹介
PAジョイント協会 小倉 和也

2025/7/16

合成樹脂製埋設ジョイントへの取換工事

2

2



2025/7/16

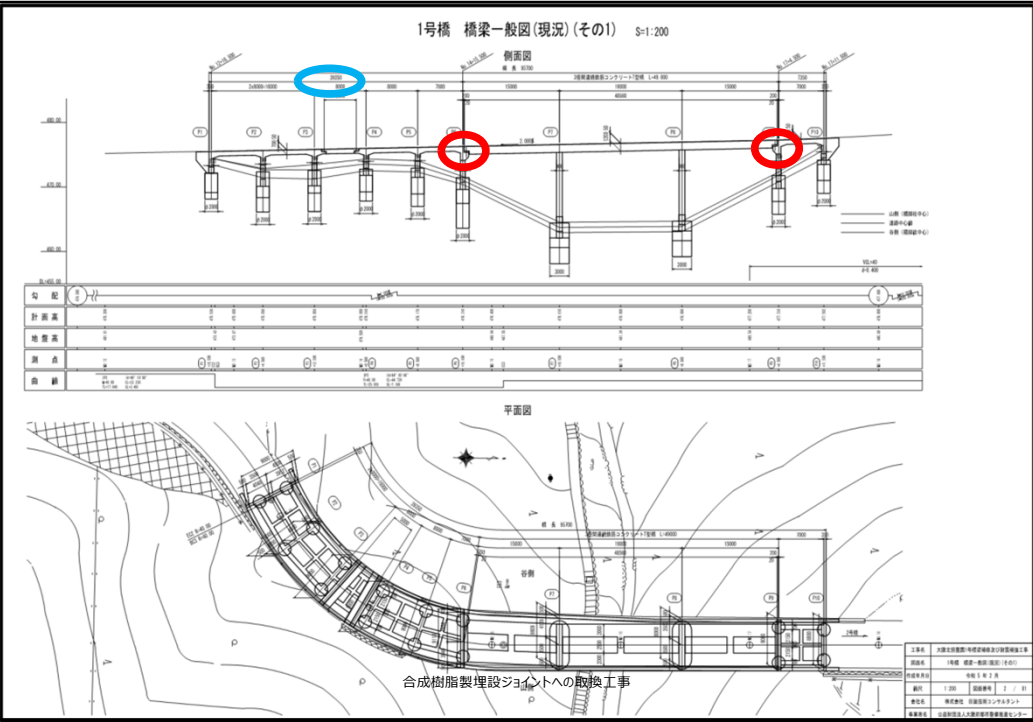
合成樹脂製埋設ジョイントへの取換工事

現場概要 （大阪北摂霊園）

千里ニュータウン及び周辺地域等の墓地需要に対応するため、昭和48年11月に開園（開発は大阪府企業局。旧タウン財団へ有償移管）。以降、段階的な墓域拡充を経て、整備済み墓所数は24,623区画となっている。

また、平成29年10月から「合葬・COSMOS WINDOW（承継等不要の共同埋蔵墓）」を運営している。令和2年9月から、一般墓地の面積を小さく割りなおし使用期間を30年に限定した墓地「小さなお墓（使用期間限定墓地）」の募集を開始。令和3年6月から、関西では初となるドイツ型樹木葬墓地「北摂の樹木葬 木もれびと星の里」の募集を開始した。

3



1号橋 橋梁一般図(現況)(その1) S-1:200

側面図

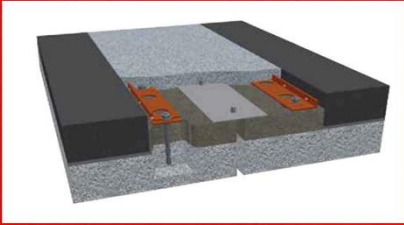
平面図

合成樹脂製埋設ジョイントへの取換工事

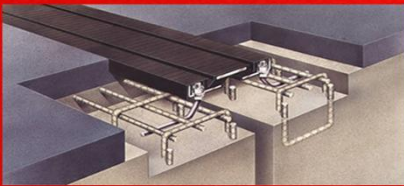
工務名	大阪北摂霊園(有償)建設費削減プロジェクト推進協議会
調査名	(特設) 調査・概算(調査) (2401)
調査年度	令和3年7月
調査尺	1:200
調査範囲	2.7.1.1
調査対象	調査対象箇所(埋設ジョイント)
調査場所	北摂霊園(有償)建設費削減プロジェクト推進協議会

4

伸縮装置比較（抜粋）



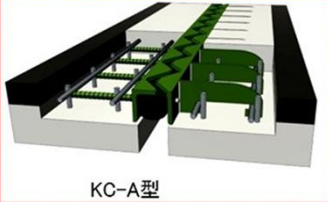
PAジョイント
(埋設型・特殊樹脂)



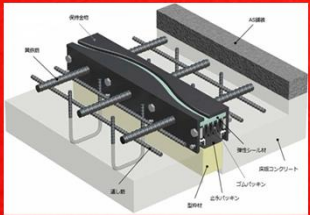
トランスフレックスジョイント
(荷重支持型・ゴム)

判定 ◎	
耐久性	○
走行性	◎
止水性	◎
施工性	○
経済性 (LCC)	◎

判定 △	
耐久性	△
走行性	×
止水性	△
施工性	△
経済性 (LCC)	×



KC-A型
メタルジョイント
(荷重支持型・表面鋼製)



プロフジョイント
(荷重支持型・表面鋼製)

判定 ○	
耐久性	○
走行性	○
止水性	○
施工性	○
経済性 (LCC)	○

判定 ○	
耐久性	○
走行性	○
止水性	○
施工性	○
経済性 (LCC)	◎

2025/7/16

合成樹脂製埋設ジョイントへの取換工事

5

5

・従来品



・PAジョイント®



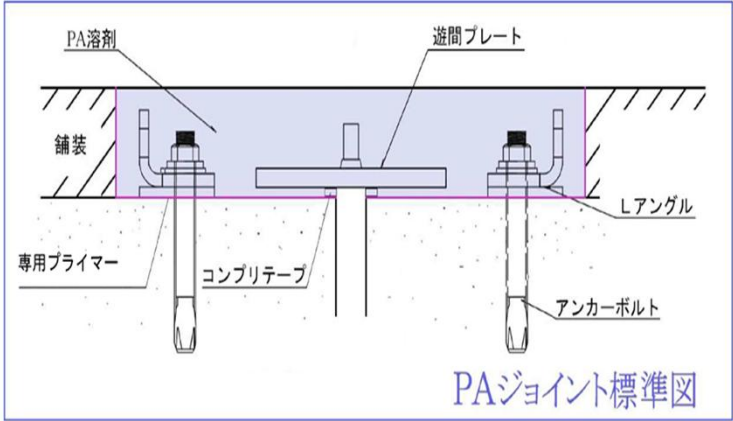
耐久性
(ホイールトラッキング)

基準値
3,000回転/mm

PAジョイント®
52,500回転/mm

6

6



PAジョイント®の構造

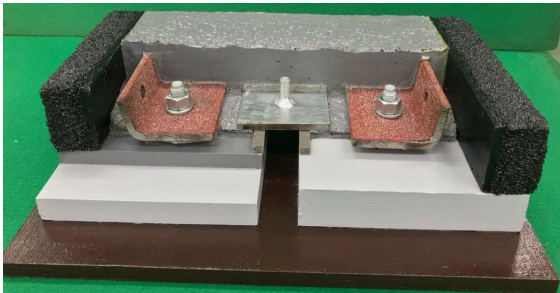
- PA溶剤（特殊合成樹脂）を中心にプライマー、プレート、アングル、アンカー、コンブリテーブで構成
- 標準施工厚 t=50mm
舗装厚内型（床板箱抜き不要）
- 施工に重機や特殊器具等不要
- 樹脂ゆえに鉛直方向の変化にも追従性が高い

7

7

単位：mm

PAタイプ	伸縮量	遊間幅	施工幅
PA20	～20	～40	280
PA30	～30	～65	320
PA40	～40	～90	350
PA60	～60	～110	390



PAジョイント®規格表

- 左表を標準規格として、
伸縮量：60mm以下
遊間幅：110mm以下
に対応。
- 輸入材を用いることにより、
最大伸縮量100mmまで対応
することも可能。(要お問合せ)

8

8



地震対策として

- 2016年の熊本地震では、鋼製ジョイントの破損により緊急車両が通行できなかったケースが問題となった
- PAジョイントは表面に鋼材の露出が無いことから、非常時の通行阻害リスクは鋼製より低い可能性有

9

9



2022

国産化



2015

日本輸入販売権

mageba
Austria www.mageba.at



PAジョイント®の遍歴

- 2015年に欧州のMAGEBA社より国内メーカーJTECが国内輸入開始
- アウトバーン等で長期供用実績有り
- 輸入品は養生時間12hのタイプが主流であった
- 2022年に、3h養生の国産化材料を販売開始 (NEXCO性能照査基準)

10

10

技術連携

橋 梁 新 聞

民の技術力引出し



海外より新技術導入
日本での定着を支援
——その地、坂野先生
が、MAGEBAと連携し、
有償で技術支援を、日本
の橋に提供している。
京都府の「スマート」な
橋の建設に貢献してい
ます。

橋守支援センター

坂野 昌弘 理事長

前 関西大学 環境都市工学部 教授

- ・ 耐久性能を数値化
大きな伸縮量に対しても15年
の耐久があることを証明
- ・ 土木学会発表、橋梁新聞掲載
- ・ 歩道用規格の試験
- ・ 不具合原因の究明 等

PAジョイント

- ・ MAGEBAとの国内輸入権
- ・ 実用新案、商標登録
- ・ NETIS、NEXCO試験

- ・ PAジョイントの国内規格を策定
- ・ 各部材のローカライズ
- ・ 製品化し、その後全国へ展開

11

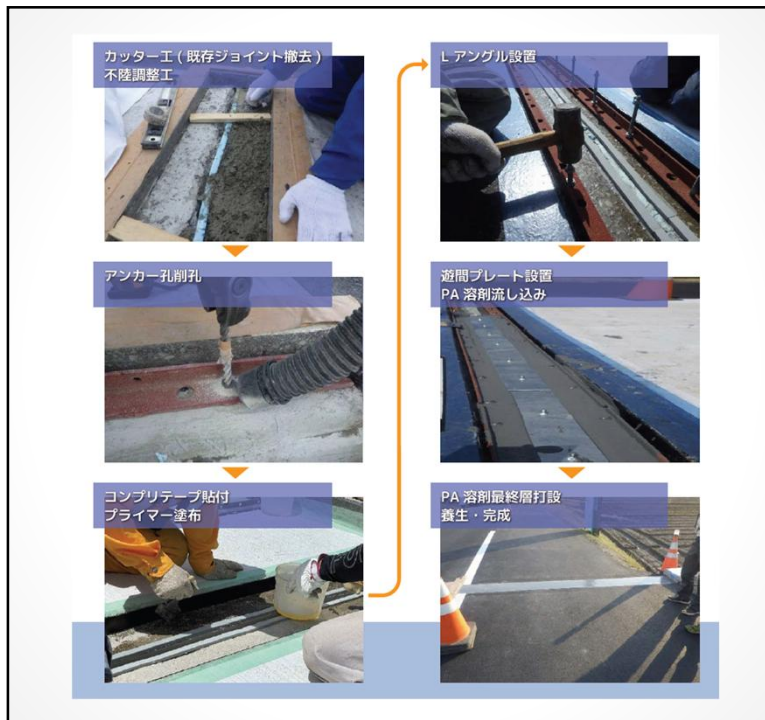
11

PAジョイントの特徴 まとめ

- 高い耐久性を誇る埋設型ジョイント
- 舗装厚内型であり床板へのダメージは最小限
- 埋設型ゆえに平坦性・静粛性に優れる
- 構造上止水性にも優れる
- 一定の地震対策にもなる
- 施工に際し特殊な技術・設備・器具が不要
- 国産化し施工性も大幅に改善（養生時間短縮）

12

12

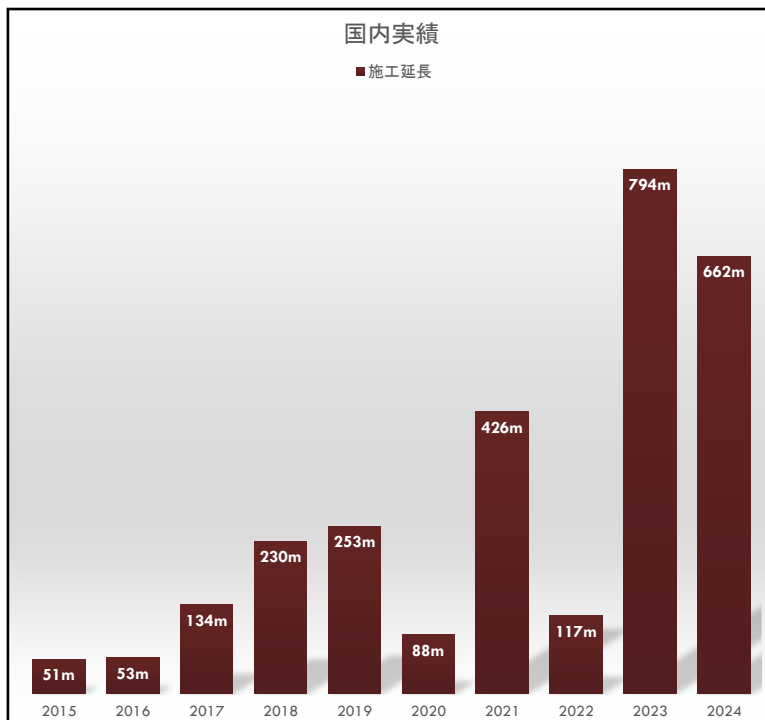


施工手順

- 基本的に舗装後設置タイプ
- カッター、箱抜き、不陸調整
- アンゲルをガイドにアンカー孔削孔
- コンプリテープ貼付、プライマー塗布
- L アンゲル設置（アンカー打込み）
- 遊間プレート設置
- 2 液性溶剤流込み
- 表面仕上げ、養生（3h/23℃）
- 硬度確認のうえ交通開放

13

13



国内実績

- 国内初導入の2015年以降、順調に実績を伸ばしている
- 北海道から鹿児島まで全国で設置
- 採用実績
国土交通省 様
NEXCO 様
各道府県市区町村 様

14

14



P A ジョイント施工事例①

奈良県吉野郡 石木谷橋

- 複雑な遊間に対応
- RC・PC・メタル桁にて拡幅
- 2017年7月

15

15



P A ジョイント施工事例②

中日本高速道路株式会社
愛知県一宮市 三ツ井第3高架橋

- 名神高速道路屈指の渋滞エリア
- 2023.9施工後、近隣エリアで
計100m以上設置済

16

16



P A ジョイント施工事例③ ～地震～

国土交通省北陸地方整備局
新潟県村上市 堀川橋

- 設置直後に深度 6 強の地震
- 翌日異常なしを確認
- 2019年6月施工

17

17



P A ジョイント施工事例④

国土交通省北陸地方整備局
石川県七尾市能登島南町 南橋

- 能登地震後の様子
- 橋軸直角方向に亀裂及び段差
- 段差量は20mm程度
- ジョイントに亀裂・付着切れ無し

18

18

ありがとうございました

大阪府都市整備推進センター
(大阪北摂霊園) 富山
P Aジョイント協会 小倉



令和6年5月31日見学会にて
行政機関をはじめ、道路管理会社等
多くの技術者に参加頂きました。



ヒューズ機構を有する仮橋脚構造の提案

JR東日本コンサルタンツ（株）
関口 穂

2 仮橋脚構造の耐震設計について



仮橋脚（道路橋）



仮橋脚（鉄道橋）

	中規模地震	大規模地震
道路構造物	設計水平震度 kh の1/2 とする場合が多い ^{1) 2)} $kh=0.1$ 1) 栗林・岩崎：施工時の地震荷重の決め方についての一提案, 1973.5 2) 道路協会：仮設構造物指針	
鉄道構造物 (JR東日本の場合) ³⁾	弾性域で安全 $kh=0.25$	弾性応答加速度スペクトル800gal に対して構造物が崩壊しない

3) 東日本旅客構造物マニュアル, 工事桁工法マニュアル, 2016.10

使用期間が短いことを考慮した耐震設計



設計水平震度
 $kh=0.1\sim0.25$ 程度

3 仮設構造物の大規模地震対応

熊本地震（2016年）では2日間のうちに同一観測点で2度も震度7を観測⁴⁾
（気象庁の観測史上初めて）

4) 気象庁, 平成28年(2016年)熊本地震調査報告, 技術報告書, 第135号, 2018.

…近年、設計想定地震を超えた地震が短期間で発生している

■ 仮設構造物をL2で設計した事例（日経コンストラクション）⁵⁾

5) 夏目貴之, レベル2地震動に耐える仮支柱, 日経コンストラクション, 2017. 10

- ・ 当初計画
中規模地震動（L1地震動）の半分の水平力を見込む
- ・ 計画変更後
大規模地震動（L2地震動）でも倒壊しないように設計（本設構造物相当）

⇒ 鋼材重量は当初計画の5倍



低震度設計でも大規模地震での過大な損傷を防止したい

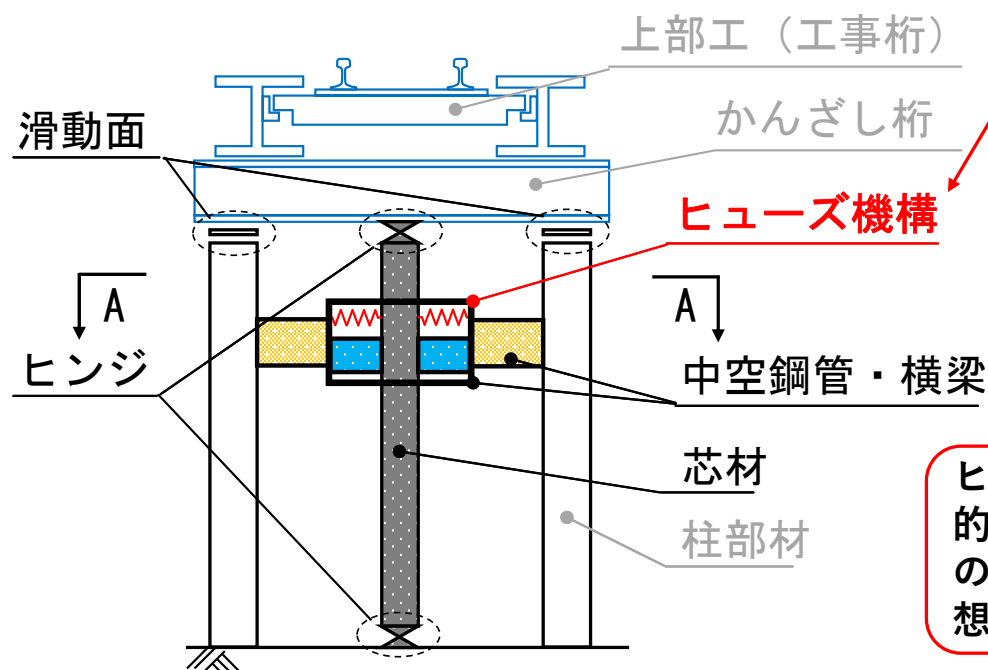
4 鉄道橋を想定した要求性能と提案する仮橋脚構造

目標とする要求性能（鉄道橋）

- ①設計想定地震動（L1地震動）⇒『走行安全性』を確保する構造
- ②設計想定以上の地震動 ⇒『破壊安全性』『損傷復旧性』を確保する構造

参考文献）鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），2012.9

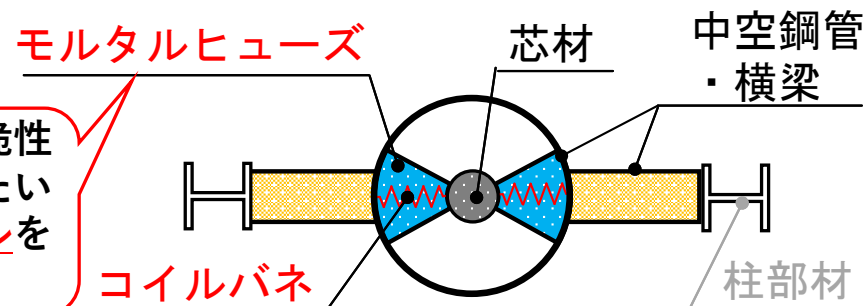
■提案する仮橋脚構造の略図



ヒューズ機構の機能

- ①設計想定地震動では柱部材に慣性力を伝達
- ②ヒューズ材が壊れ、過大入力があった場合に柱部材を保護

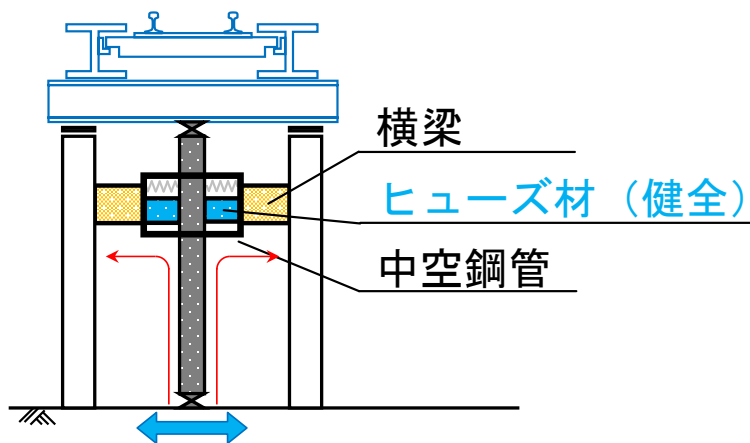
断面A-A



ヒューズ材は脆性的に破壊させたいので、**モルタル**を想定

5 ヒューズ機構を有する仮橋脚構造

設計想定地震動（L1地震動）

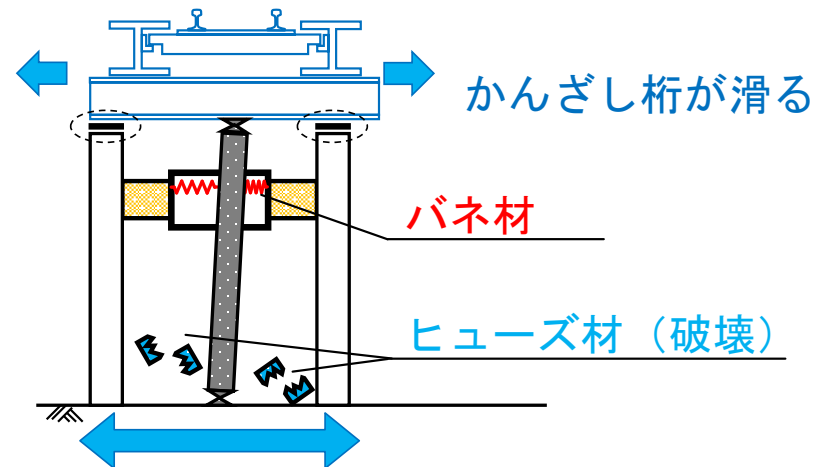


芯材にかかる慣性力はヒューズ材を介して
両側の脚部材に伝達・分担

→弾性域で安全を確保し、変位制限

✓『列車走行性』の確保

設計想定以上の地震動（過大入力）



■ヒューズ材が破壊しバネ材の弾性バネが作用
設定固有周期（長周期）に移行し、柱部材の
損傷を防ぐ

→損傷レベルの抑制

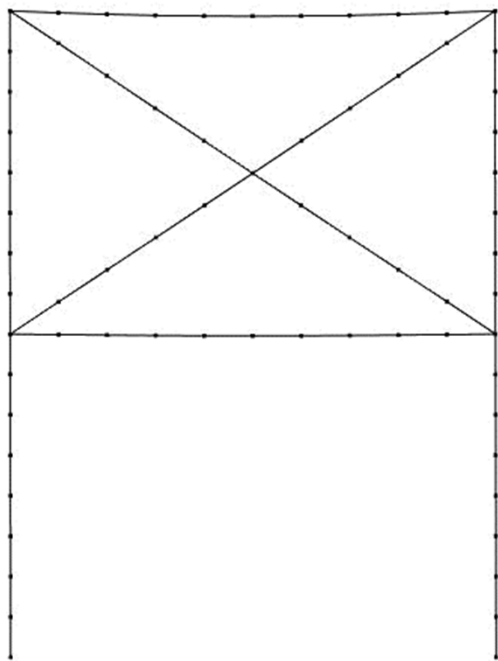
✓『破壊安全性』の確保

■損傷したヒューズ材を健全なものに取り換える
ことで早期復旧が可能

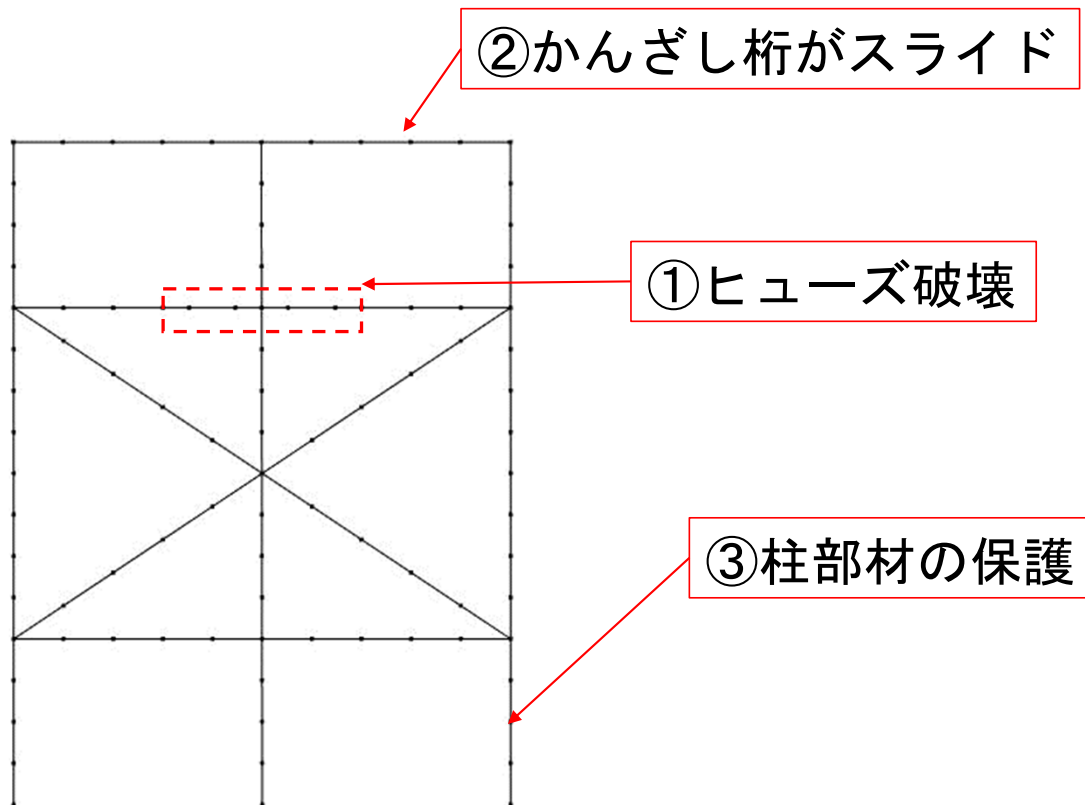
✓『損傷復旧性』の確保

⇒低震度設計でも大規模地震での過大な損傷を防止できる構造

従来の仮橋脚構造
(ヒューズ機構無し)



ヒューズ機構を有する仮橋脚構造



7 本日の内容

1. 概要

2. モルタルヒューズの耐荷力の検証

…ヒューズ機構発動のトリガーとなるモルタルヒューズの
実用的な耐力算定式の提案

3. ヒューズ機構の耐荷挙動の検証

…模型試験体によるヒューズ機構の動的応答の確認

4. 実構造レベルでの解析検討

…実構造物レベルでの仮橋脚構造にヒューズ機構を採用した際の
効果を解析的に検討

8 本日の内容

1. 概要

2. モルタルヒューズの耐荷力の検証

…ヒューズ機構発動のトリガーとなるモルタルヒューズの
実用的な耐力算定式の提案

3. ヒューズ機構の耐荷挙動の検証

…模型試験体によるヒューズ機構の動的応答の確認

4. 実構造レベルでの解析検討

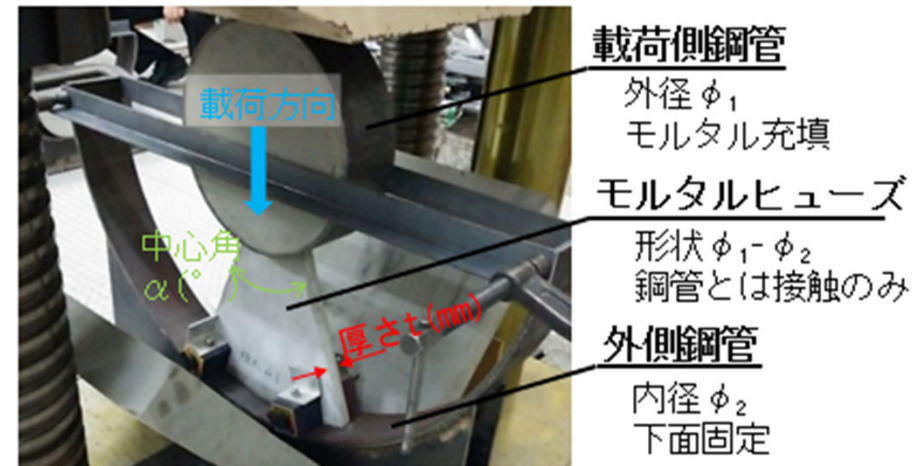
…実構造物レベルでの仮橋脚構造にヒューズ機構を採用した際の
効果を解析的に検討

9 モルタルヒューズの耐荷力の検証

モルタルヒューズ要素試験の概要

計6パターンの供試体で圧縮試験を実施

圧縮強度 f'_{ck} (N/mm ²)	割裂強度 σ_t (N/mm ²)	形状パラメータ $\phi_1 - \phi_2$ (mm)	厚さ t (mm)	α (°)
18.5	6.8	$\phi 114 - \phi 307$	20	45
		$\phi 216 - \phi 584$		
		$\phi 319 - \phi 882$		
55.7	15.7	$\phi 114 - \phi 307$		
		$\phi 216 - \phi 584$		
		$\phi 319 - \phi 882$		



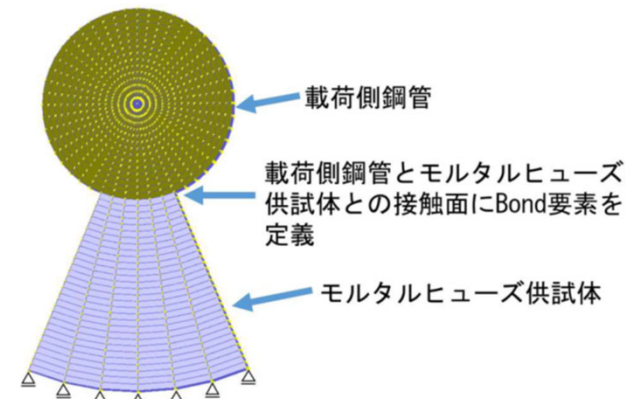
供試体のセット状況

FEMによる再現解析モデルの概要

本解析にはCOM3D Ver. 2016を使用

載荷側鋼管、モルタルヒューズ供試体をモデル化

- ・モルタル要素には前川らによるコンクリートの弾塑性破壊構成則を適用
- ・モルタルヒューズと載荷鋼管側の接触面の挙動を再現するため、界面要素（Bond要素）を設定

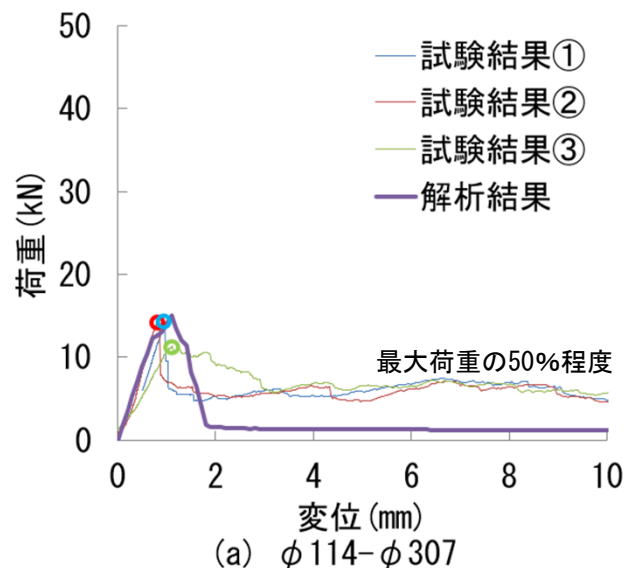


解析モデル

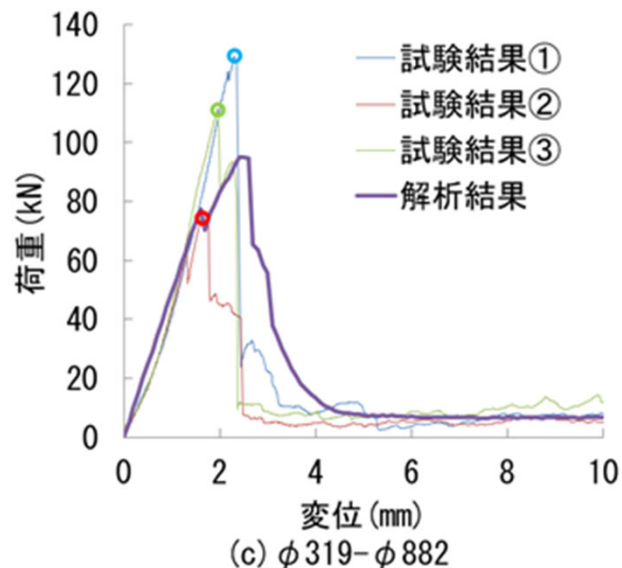
10 モルタルヒューズの耐荷力の検証

試験結果と解析結果（FEM解析）

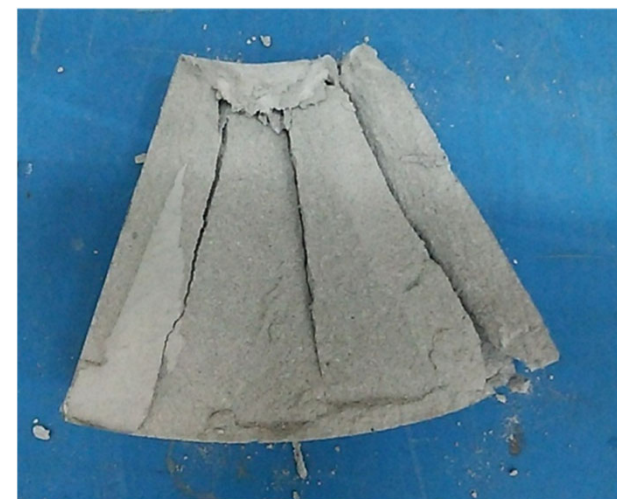
荷重-変位関係
(圧縮強度18.5 N/mm²)



荷重-変位関係
(圧縮強度55.7 N/mm²)



試験終了後の破壊性状の例



破壊性状

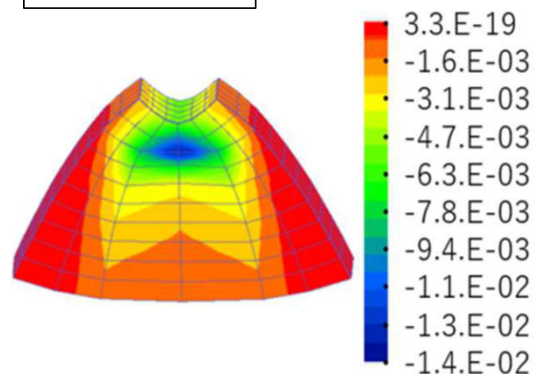
- ・ 供試体上部の圧縮破壊
- ・ 割裂的な破壊

解析結果と試験結果の最大荷重は概ね一致する

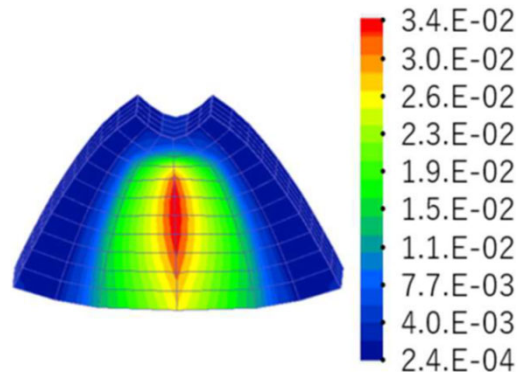
※初期剛性は強度により大きな差は生じない

11 モルタルヒューズの破壊メカニズム

最大荷重時

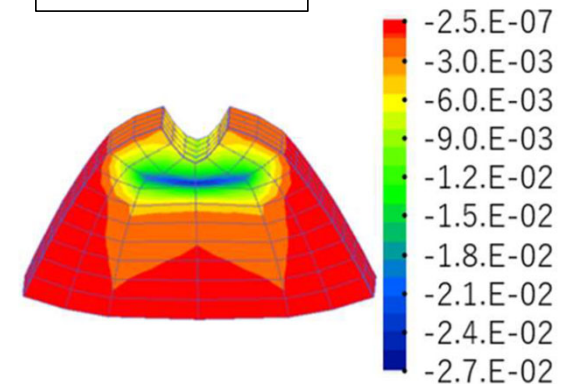


圧縮主ひずみコンター図



引張主ひずみコンター図

最大荷重直後



圧縮主ひずみコンター図

- ①最大荷重直後のステップで供試体上部の最大圧縮領域がつぶれる
- ②破壊領域より上部がくさび状の塊でさらに押される
- ③破壊領域より下部に割裂ひび割れが発生する
- ④荷重が急激に低下

供試体上部の圧縮破壊と割裂破壊が同時に発生する

⇒このメカニズムをもとに耐力算定式を検討



試験後供試体の破壊性状とも一致

12 モルタルヒューズの耐力算定式

破壊メカニズムから3種類の破壊想定面を仮定し、耐力算定式を設定

上部の圧縮破壊による算定式

① $P_{c1} = f'_{ck} \cdot A_1$

② $P_{c2} = f'_{ck} \cdot A_2$

試験結果の最大荷重値を
最も妥当に評価している

割裂破壊による算定式

③ $P_t = \sigma_t \cdot A_3$

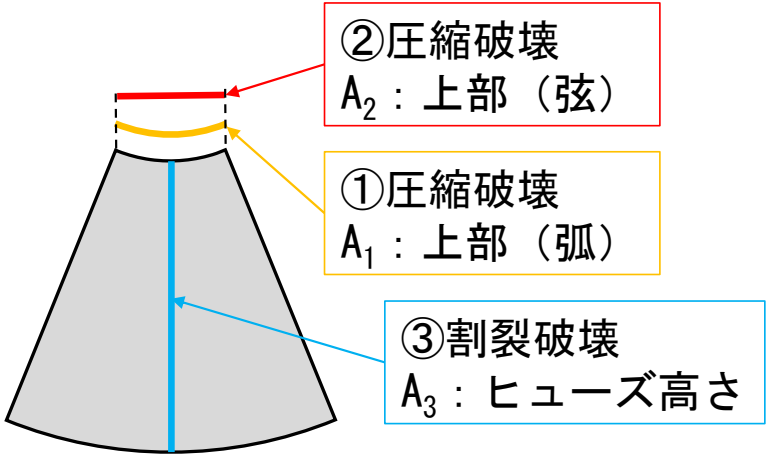


図 3種類の破壊想定面

表 試験結果と各耐力算定式による強度の比較

	強度 (kN)						算定値の試験値に 対する比率 の平均値	標準偏差	変動係数
	f'ck=18.5N/mm ²			f'ck=55.7N/mm ²					
	φ114-φ307	φ114-φ307	φ319-φ882	φ114-φ307	φ114-φ307	φ319-φ882			
試験値	13.2	25.8	41.9	55.7	106.5	120.5			
P _{c1}	16.5 /1.25	31.3 /1.21	46.3 /1.10	49.8 /0.89	94.4 /0.89	139.5 /1.16	1.09	0.16	0.15
P _{c2}	16.4 /1.24	31.1 /1.21	46.0 /1.10	49.5 /0.89	93.8 /0.88	138.6 /1.15	1.08	0.16	0.15
P _t	13.2 /1.00	25.1 /0.97	38.4 /0.92	30.2 /0.54	57.6 /0.54	88.2 /0.73	0.78	0.21	0.27

13 本日の内容

1. 概要

2. モルタルヒューズの耐荷力の検証

…ヒューズ機構発動のトリガーとなるモルタルヒューズの実用的な耐力算定式の提案

3. ヒューズ機構の耐荷挙動の検証

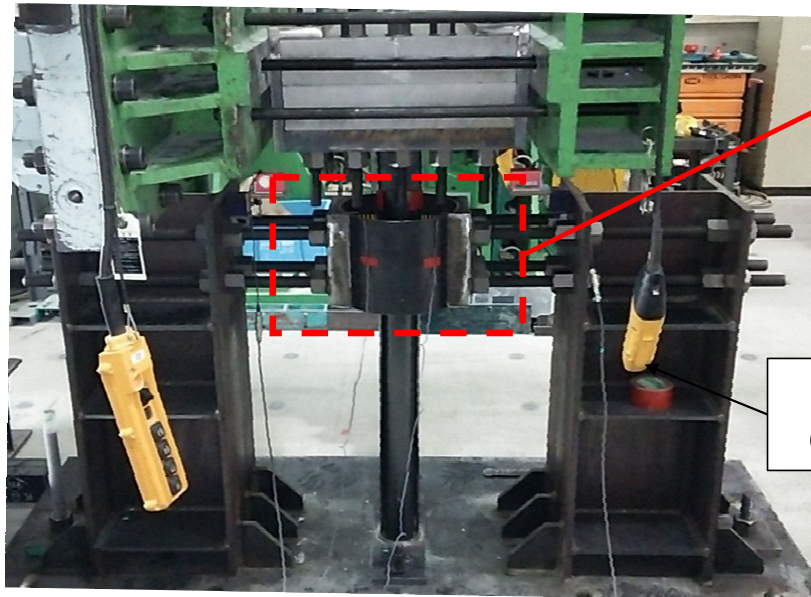
…模型試験体によるヒューズ機構の動的応答の確認

4. 実構造レベルでの解析検討

…実構造物レベルでの仮橋脚構造にヒューズ機構を採用した際の効果を解析的に検討

14 ヒューズ機構を用いた供試体の耐荷性能の検証（試験概要）

ヒューズ機構確認試験の概要



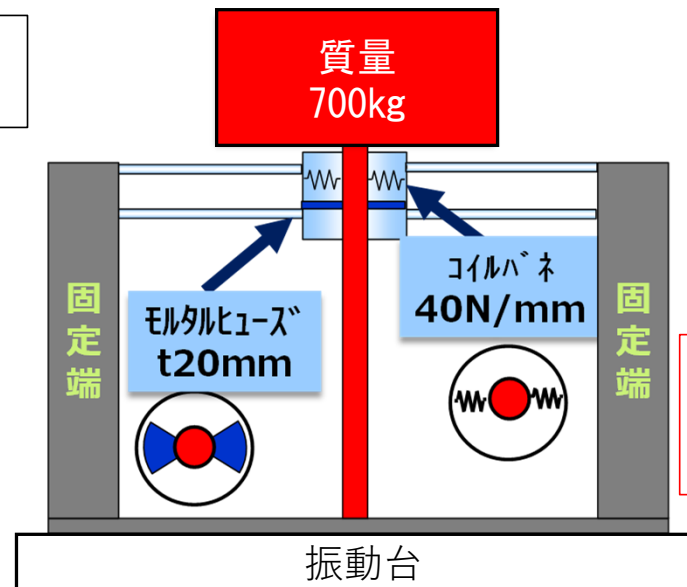
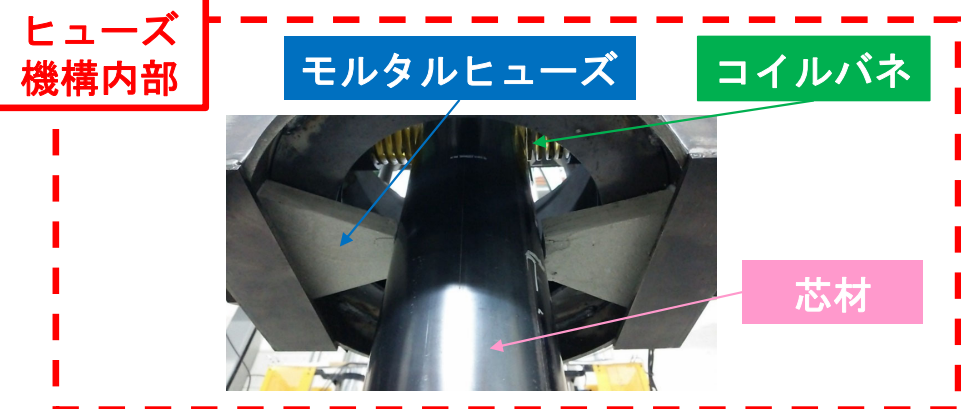
柱部材
(H型鋼)

モルタルヒューズ：圧縮強度18.5N/mm
φ114-φ307
厚さ20mm, 中心角45°

質量 (m) : 700kg

コイルバネのバネ定数 (k) : 40N/mm

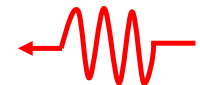
⇒ヒューズ破壊後の設定固有周期T : 1.19秒



固有周期Tの算定式

$$T = 2\pi\sqrt{m/k}$$

入力波形：
700galの加速度で2Hz
のsin波を3波入力

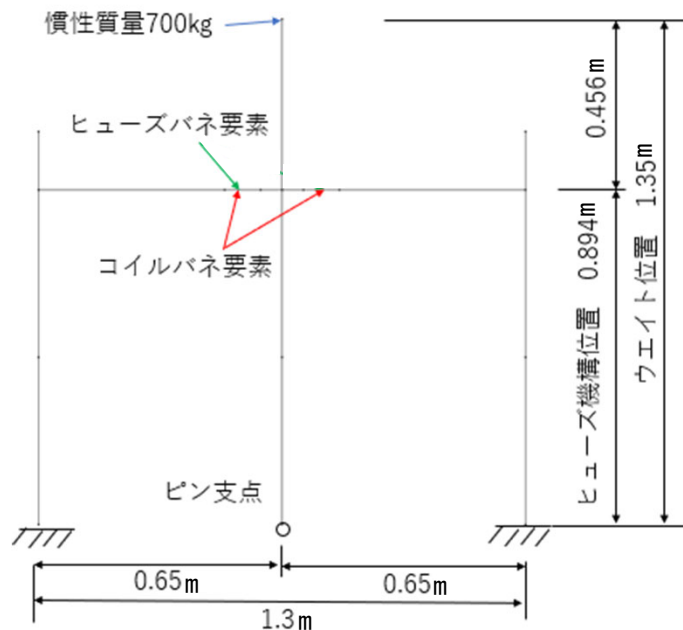


15 ヒューズ機構を用いた供試体の耐荷性能の検証（解析概要）

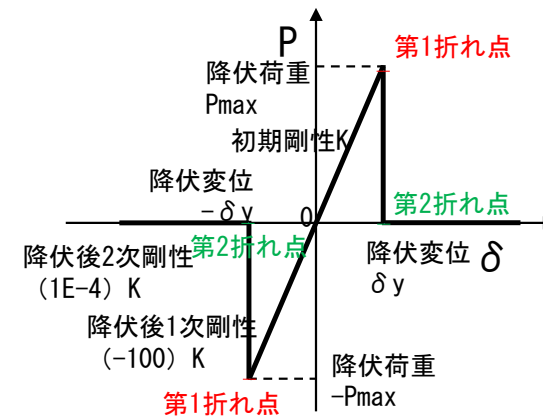
ヒューズ機構確認試験の再現解析

ヒューズ機構確認試験体の再現解析を実施
本解析では三次元非線形骨組み解析ソフトウェアのisasを用いてモデル化
ヒューズ部材には非線形特性を考慮

■解析モデル



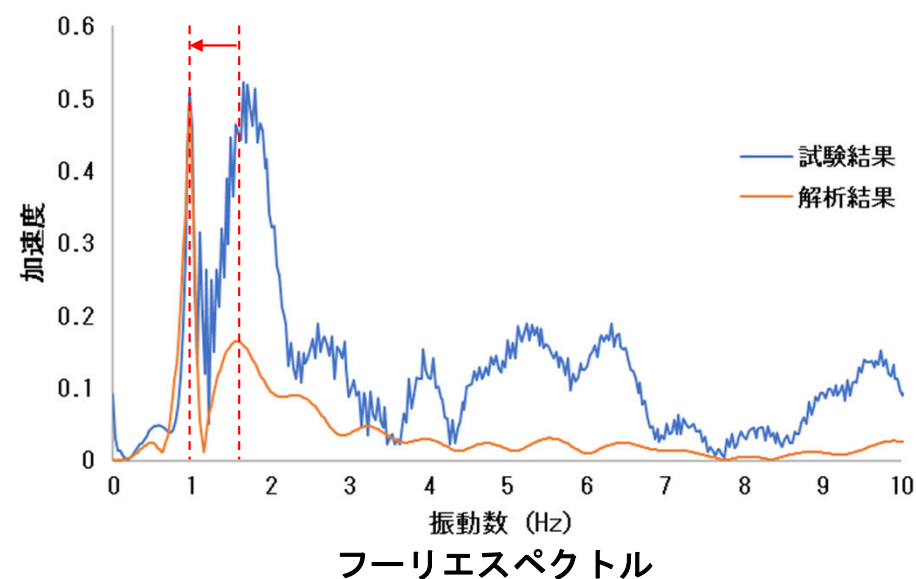
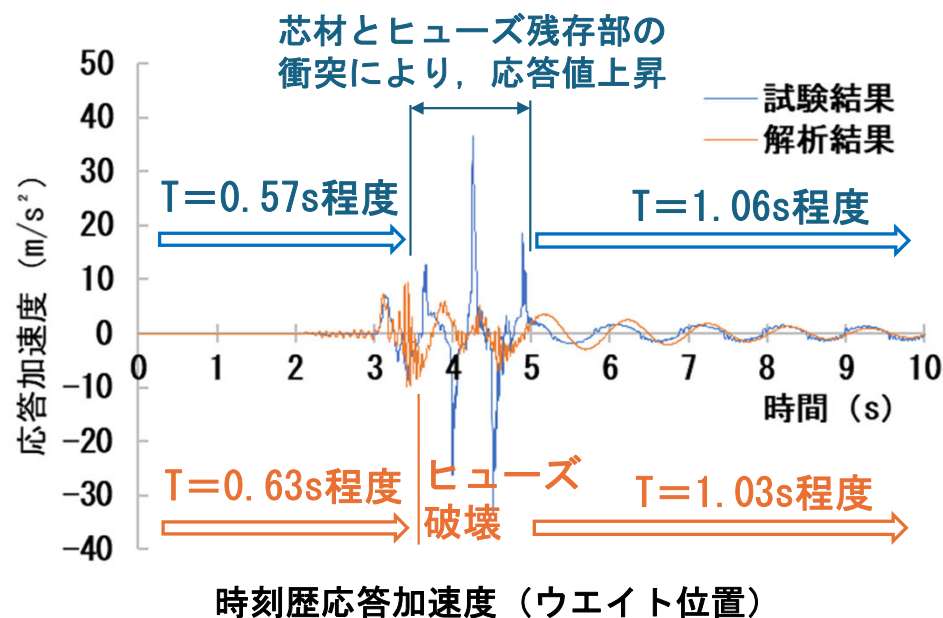
■ヒューズバネの非線形特性



非線形バネ要素の構成則
トリリニア（原点・最大点指向型）

16 ヒューズ機構を用いた供試体の耐荷性能の検証（結果）

動的載荷の試験結果と再現解析結果



■ 固有周期

試験結果 : $0.57\text{s} \rightarrow 1.06\text{s}$ に移行

解析結果 : $0.63\text{s} \rightarrow 1.03\text{s}$ に移行



- ・ 設定固有周期 1.19s 付近に移行（長周期化）
- ・ 固有周期の推移は試験結果と解析結果は概ね一致

17 本日の内容

1. 概要

2. モルタルヒューズの耐荷力の検証

…ヒューズ機構発動のトリガーとなるモルタルヒューズの実用的な耐力算定式の提案

3. ヒューズ機構の耐荷挙動の検証

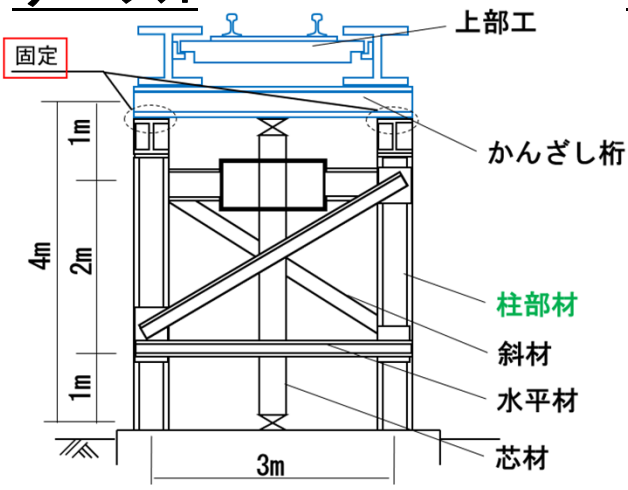
…模型試験体によるヒューズ機構の動的応答の確認

4. 実構造レベルでの解析検討

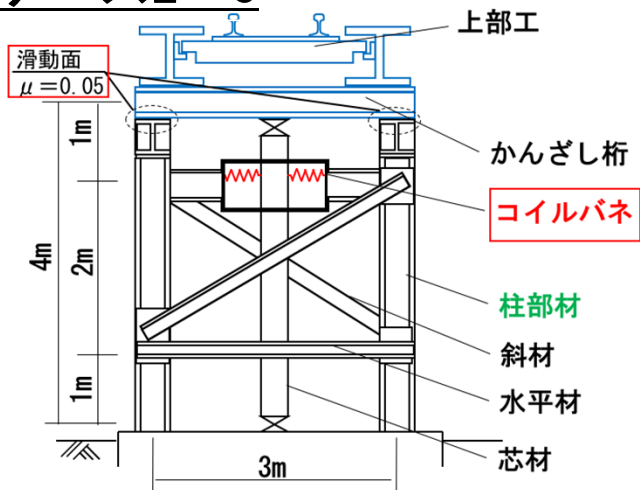
…実構造物レベルの仮橋脚構造にヒューズ機構を採用した際の効果を解析的に検討

18 実構造レベルでの解析検討（構造概要）

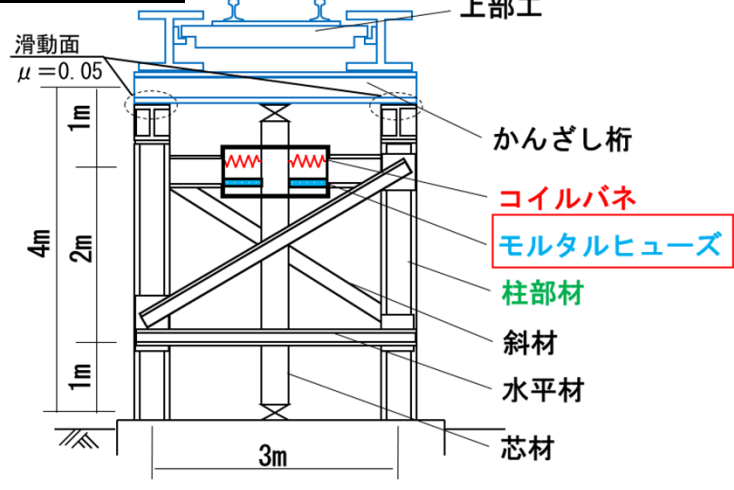
ケース1



ケース2・3



ケース4



■構造条件

上部工質量：5.37t（工事桁10mを想定）
柱：H350×350×12×19 高さ：4m
斜材：L130×130×12

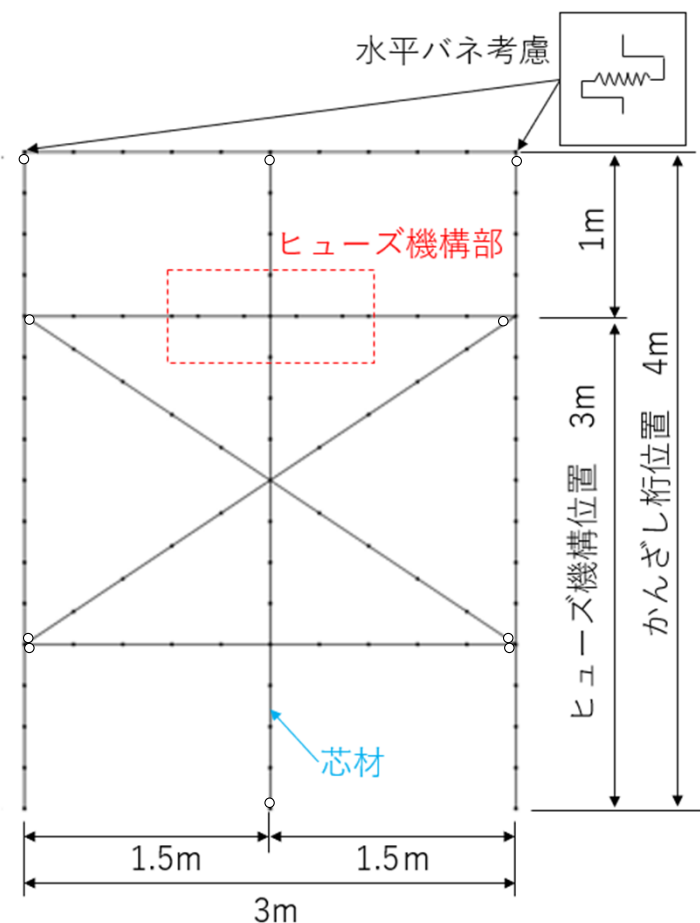
■入力地震動

L1地震動（G1） 変位の制限値（L1）：8mm
L2地震動スペクトル2（G2）

	設定条件		
	柱-かんざし	バネ材	ヒューズ材
ケース1	固定	無し	無し
ケース2	可動 ($\mu = 0.05$)	$K = 900\text{N/mm}$ ($T = 1.5\text{s}$)	無し
ケース3	可動 ($\mu = 0.05$)	$K = 8000\text{N/mm}$ ($T = 0.5\text{s}$)	無し
ケース4	可動 ($\mu = 0.05$)	$K = 900\text{N/mm}$ ($T = 1.5\text{s}$)	強度：130kN (250gal相当)

19 実構造レベルでの解析検討（解析モデル）

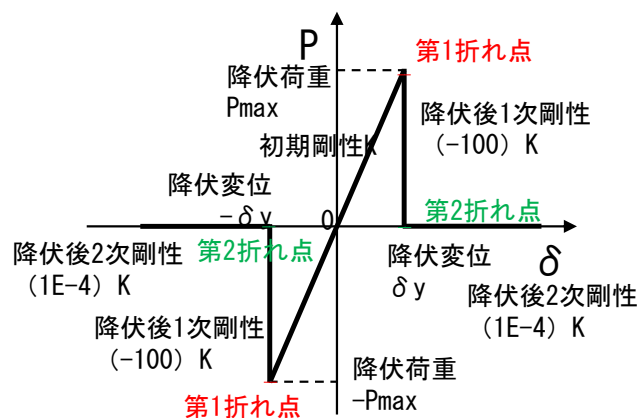
解析モデル（ケース4）



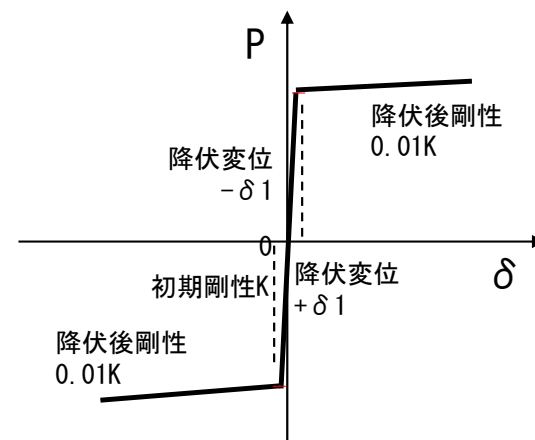
ヒューズ機構確認試験体の再現解析を実施
本解析では三次元非線形骨組み解析ソフトウェアの
isasを用いてモデル化

非線形特性を考慮する部材

- ・ 柱部材
- ・ 斜材
- ・ モルタルヒューズ
- ・ 摩擦（水平ばね）



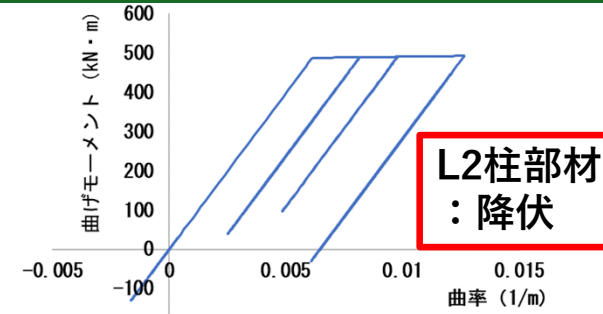
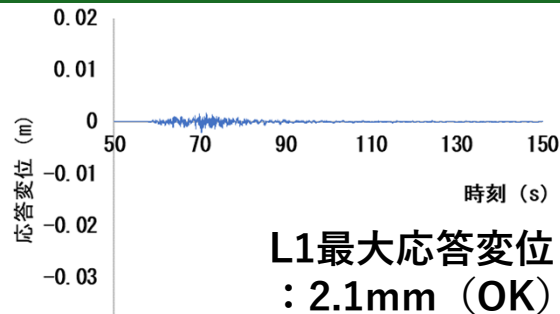
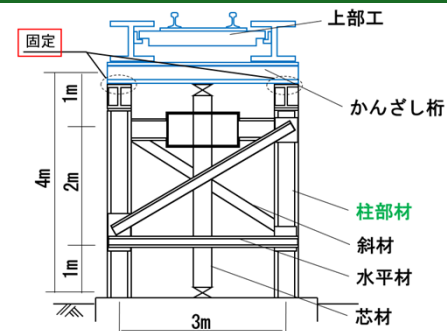
非線形ばね要素の構成則
トリリニア（原点・最大点指向型）
モルタルヒューズの非線形特性



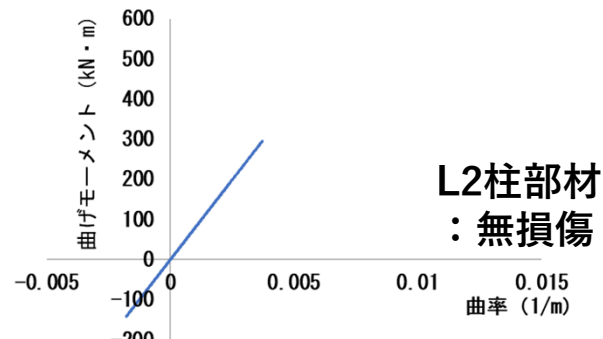
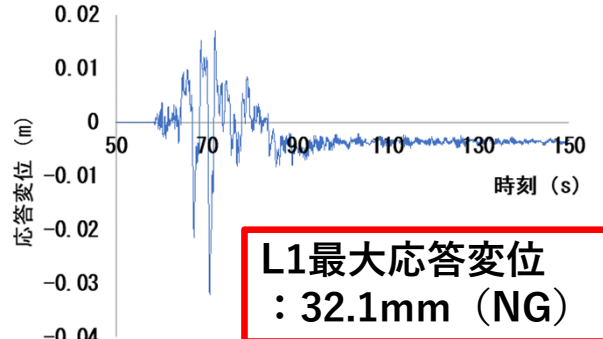
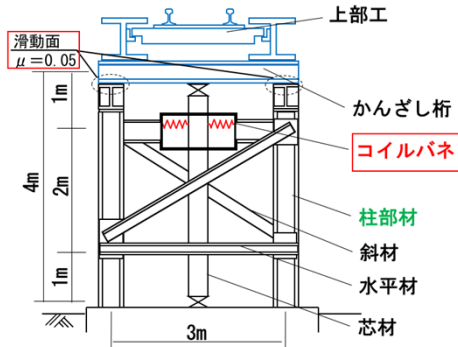
非線形ばね要素の構成則
バイリニア（標準型）
摩擦（水平バネ）の非線形特性

20 解析結果（L1時刻歴応答変位・L2柱基部のM-φ）

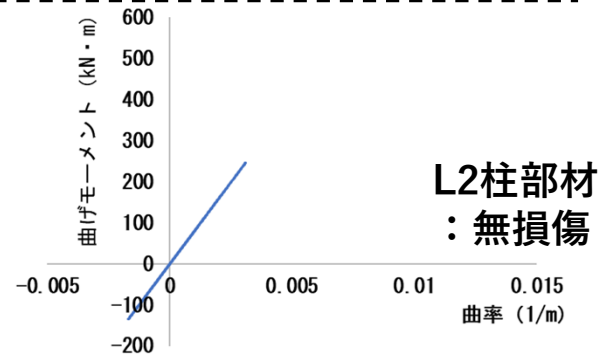
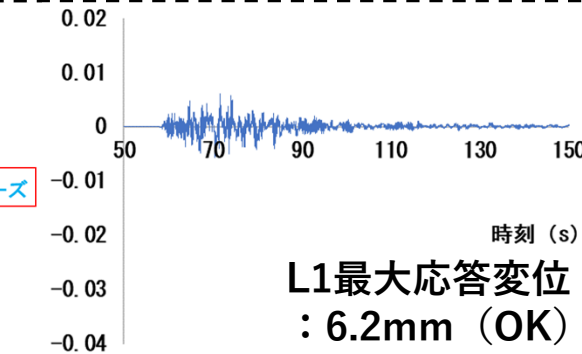
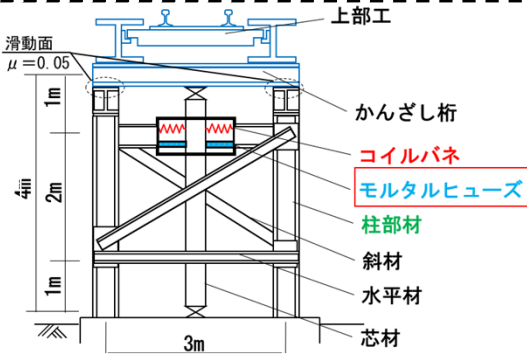
ケース1
かんざし固定



ケース2
かんざし可動
ヒューズ無し



ケース4
かんざし可動
ヒューズ有り



21 解析結果まとめ（要求性能）

	設定条件			解析結果	
	柱-かんざし	バネ材	ヒューズ材	L1 変位	L2 柱部材の損傷
ケース1	固定	無し	無し	制限値内	降伏
ケース2	可動 ($\mu = 0.05$)	$K = 900\text{N/mm}$ ($T = 1.5\text{s}$)	無し	制限値外	損傷無し
ケース3	可動 ($\mu = 0.05$)	$K = 8000\text{N/mm}$ ($T = 0.5\text{s}$)	無し	制限値内	降伏
ケース4	可動 ($\mu = 0.05$)	$K = 900\text{N/mm}$ ($T = 1.5\text{s}$)	強度：130kN (250gal相当)	制限値内	損傷無し

ヒューズ機構により、**L1地震時の走行安全性**および
L2地震時の破壊安全性・損損復旧性を満たすことを示した。

22 まとめ

■モルタルヒューズの耐荷力の検証

モルタルヒューズの要素試験、FEM解析を実施

⇒モルタルヒューズの破壊メカニズムから、実用的な耐力算定式を提案した。

■ヒューズ機構の耐荷性能の検証

ヒューズ機構を採用した供試体を用いて、動的載荷試験を実施

⇒モルタルヒューズ破壊後は設定固有周期に移行し、長周期化したことを示した。

■実構造レベルでの解析検討

実構造物レベルの仮橋脚構造において、ヒューズ機構の有効性を解析的に検討

⇒①L1地震時のヒューズ機構による変位抑制効果

②L2地震時のヒューズ破壊後、かんざし桁が可動することによる柱部材への損傷抑制効果

上記を確認し、本構造の有効性を確認した。

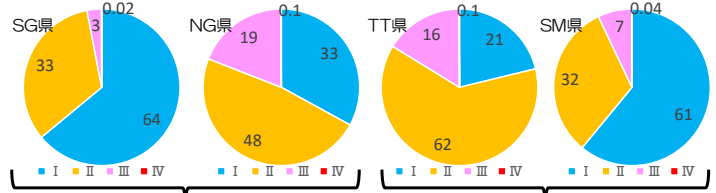
橋梁点検支援ツールの開発

摂南大学 田井政行

1. はじめに

出典) 道路メンテナンス年報, 国土交通省

自治体毎の対策区分の判定結果例



対策区分に大きなばらつき

隣り合う自治体でも
結果に大きな差異あり

点検者の技術・知識不足
の可能性

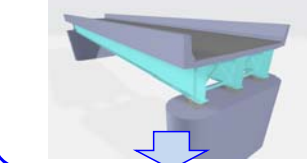
損傷・劣化の見落とし
点検結果の誤判定

損傷・劣化の見落としを防ぐための現場支援ツールが必要

2. デジタル野帳の概要

3Dモデル (BIM/CIMソフトで作成)

事例, 過去の点検記録:
点検漏れ防止, 判定区分参照



Unity: ゲーム開発ソフトウェア

タブレット端末:
カメラ機能, 点検記録

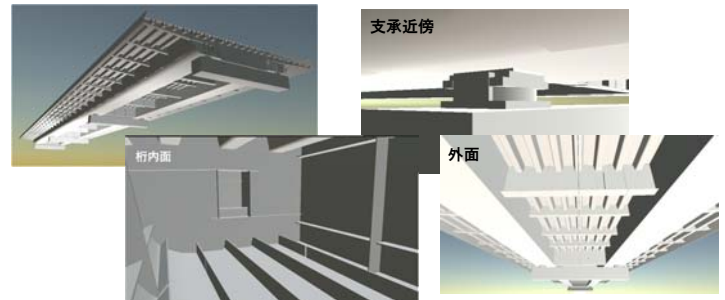


開発したデジタル野帳の有効性の検証

2. デジタル野帳の機能

□橋梁3Dモデルの活用

- 点検対象となる橋梁をVR空間上に3Dモデルとして作成。
- 事前に点検箇所の確認や点検実施時の目線を確認することができ, 点検作業の想定や計画の検討可能



2. デジタル野帳の機能

□橋梁3Dモデルの活用

- 点検時の誤報告防止のための目印の設置。
→例えばリブ番号をモデル上に表示



2. デジタル野帳の機能

□類似橋梁の損傷事例と誤判定防止機能

- 類似した橋梁の損傷事例・判定を把握し, 点検漏れや誤判定を防止



2. デジタル野帳の機能

口損傷が懸念される箇所の明示



2. デジタル野帳の機能

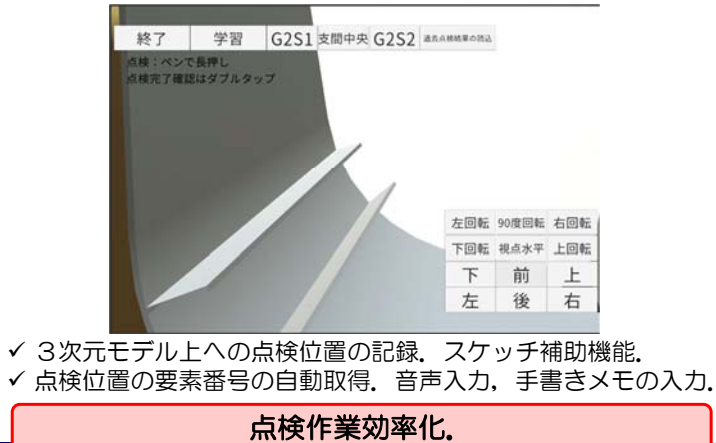
口過去の点検記録の表示・確認

- 過去点検での損傷・変状位置，点検結果を現場で確認可能



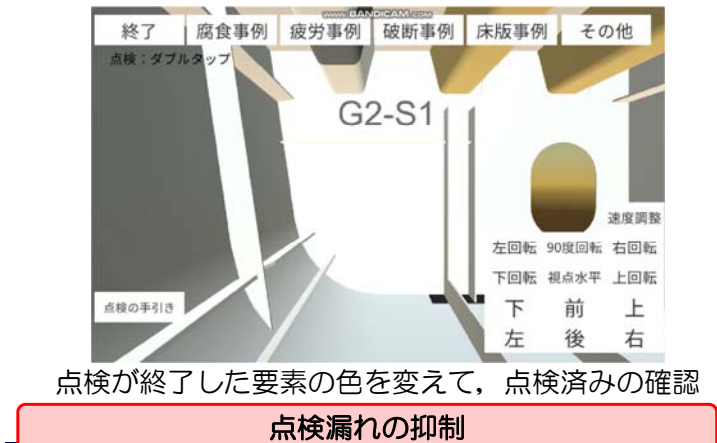
2. デジタル野帳の機能

口点検結果の記録



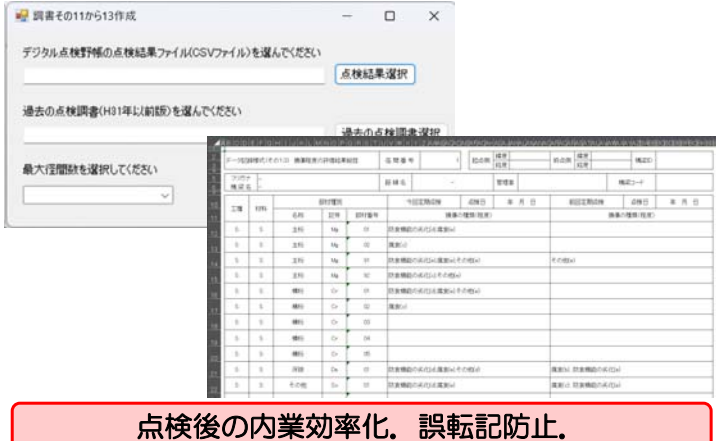
2. デジタル野帳の機能

口点検結果の記録



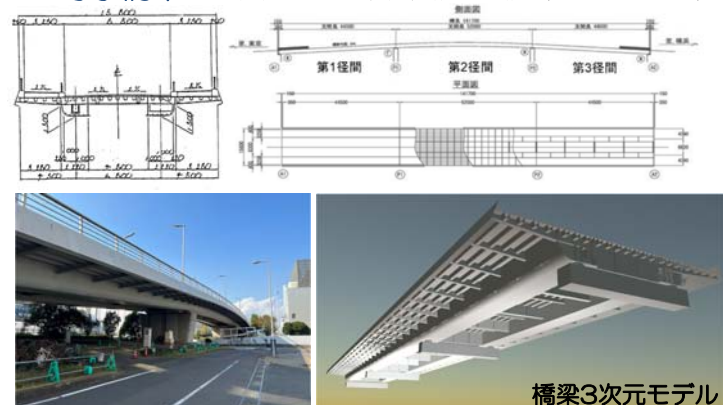
2. デジタル野帳の機能

口点検調書の自動出力機能



3. 開発・改良したデジタル野帳の実装検証

口対象橋梁 3径間連続鋼床版桁道路橋（羽田空港管内）



3. 開発・改良したデジタル野帳の実装検証

評価方法

従来手法

- ✓ 通常の野帳への点検結果
- ✓ PCでの点検調書作成
(損傷位置、種類、カテゴリなど)

開発手法

- ✓ タブレット端末上のデジタル野帳
- ✓ プログラムによる報告書の自動出力



比較

点検員

- 中堅点検員 (経験年数8年)
- 若手点検員① (経験年数5年)
- 若手点検員② (経験年数3年)



比較項目

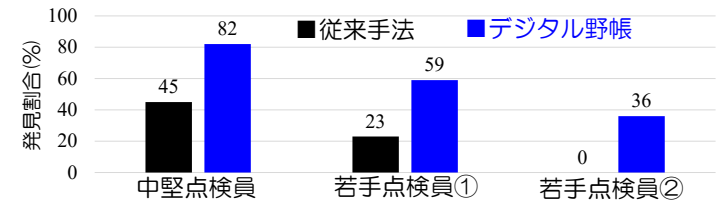
- 損傷の発見数
熟練点検員による詳細点検での発見数を正解値として比較。
- 点検時間(点検1箇所あたりの点検時間)
- 点検調書作成時間

13

3. 開発・改良したデジタル野帳の実装検証

損傷発見数 (塗膜割れ)

点検員	損傷発見数(塗膜割れ)		発見割合への効果
	従来手法	デジタル野帳	
熟練点検員 詳細点検 (点検歴20年以上)	22箇所		
中堅点検員 (点検歴8年)	10箇所	18箇所	37%向上
若手点検員① (点検歴5年)	45% (10/22)	82% (18/22)	36%向上
若手点検員② (点検歴3年)	5箇所	13箇所	36%向上
	23% (5/22)	59% (13/22)	
	0箇所	8箇所	
	0% (0/22)	36% (8/22)	



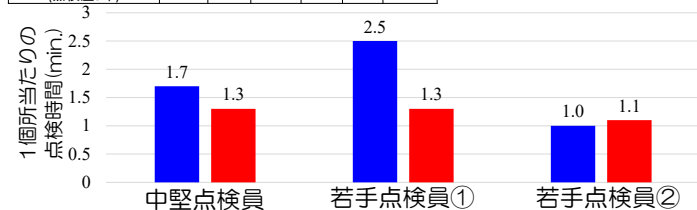
デジタル野帳の使用により発見割合**35%以上向上**

3. 開発・改良したデジタル野帳の実装検証

1箇所当たりの点検時間：従来手法と比べて改善傾向

点検員	従来手法			デジタル野帳		
	時間(分)	損傷数	1箇所当たり	時間(分)	損傷数	1箇所当たり
熟練点検員 詳細点検 (点検歴20年以上)	209分	61	3.4分			
中堅点検員 (点検歴8年)	68分	41	1.7分	65分	49	1.3分
若手点検員① (点検歴5年)	70分	28	2.5分	75分	56	1.3分
若手点検員② (点検歴3年)	58分	59	1.0分	82分	75	1.1分

点検記録時の様子



デジタル野帳の使用により作業効率の低下は見られない

3. 開発・改良したデジタル野帳の実装検証

内業時間の比較：

従来手法：点検結果を事務所にエクセルへ転記
デジタル野帳：プログラムによる自動出力



点検調書(その11~13)作成時間の比較

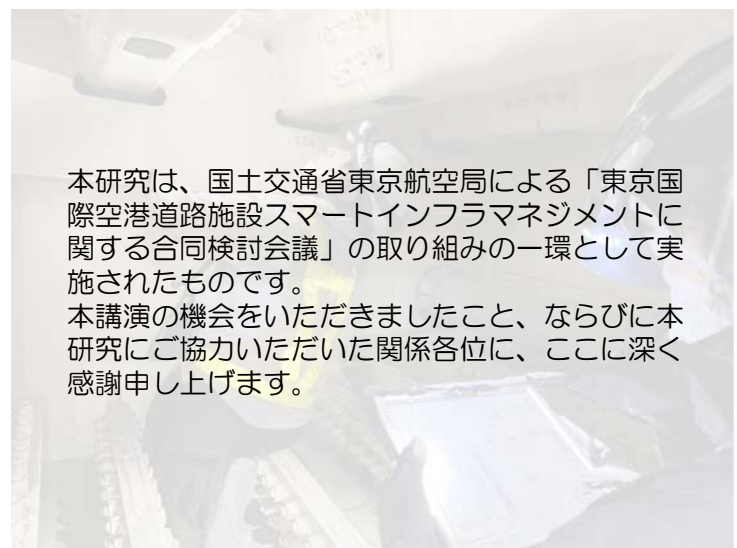
点検員	従来手法(エクセル手入力)		デジタル野帳
	損傷数	時間(分)	
中堅点検員 (点検歴8年)	49	15分	5分
若手点検員① (点検歴5年)	60	20分	5分
若手点検員② (点検歴3年)	44	24分	5分
平均	51	20分	5分

大幅な作業効率向上、転記エラー防止

4. まとめ

- デジタル野帳に、損傷の発生が懸念される個所の明示機能やスケッチ機能、音声や手書きによる点検結果の入力機能、点検調書の自動作成機能を追加した。
- 実橋梁での実装検証の結果、開発したデジタル野帳を使用することで、**従来手法と比べて塗膜割れの点検漏れ防止に有効である**傾向が得られた。
- 点検1箇所当たりの点検作業時間について、従来手法とデジタル野帳の使用を比較した結果、**点検作業時間は短くなる傾向が得られており、作業効率の改善が期待できる**結果であった。
- 点検調書の「その11~13」の作成時間を比較した結果、従来手法と比べてデジタル野帳は大幅に短くなり、**内業の効率化に効果的である**ことが確認された。

17



本研究は、国土交通省東京航空局による「東京国際空港道路施設スマートインフラマネジメントに関する合同検討会議」の取り組みの一環として実施されたものです。
本講演の機会をいただきましたこと、ならびに本研究にご協力いただいた関係各位に、ここに深く感謝申し上げます。