

デジタル技術を活用した 鉄道構造物の維持管理・建設分野の 省力化の取り組み

構造物技術研究部

部長 神田 政幸



Railway Technical Research Institute

1

講演内容

1. はじめに
2. 維持管理技術分野
 - 橋りょうの検査・診断の支援
 - トンネルの検査・診断・措置の支援
3. 建設・改良の技術分野
 - 駅改良計画策定の支援
 - 新線の設計・施工の支援
4. 今後の取り組みとまとめ



Railway Technical Research Institute

2

■ 構造物に関する研究開発の基本方針

はじめに

■ 基本方針

基本計画RESEARCH2025(2020～24)の5つの活動方針
(安全性向上/デジタル技術活用/総合力発揮/プレゼンス/研究環境)

- 自然災害を含む安全性の向上、及びデジタル技術による
鉄道システムの革新に寄与する先端的な研究開発
- データを基本としたシミュレーション・ネットワーク等の
デジタル技術を活用した、
 - ✓ 災害対策・早期復旧技術 (異常時対応)
 - ✓ 維持管理技術・建設改良技術 (平常時対応)の技術革新により、鉄道の安全性向上・省力化及び新しい価値
の創造に貢献する。

本日は、維持管理技術と建設改良技術に
しぼって発表。



Railway Technical Research Institute

3

■ デジタル技術と業務の省力化・省人化

はじめに

■ 維持管理技術

- 橋りょうの検査・診断へのデジタル技術の活用
- トンネルの検査・診断・措置へのデジタル技術の活用

■ 建設・改良技術

- 駅改良計画策定へのデジタル技術の活用
- 新線の設計・施工へのデジタル技術の活用



Railway Technical Research Institute

4

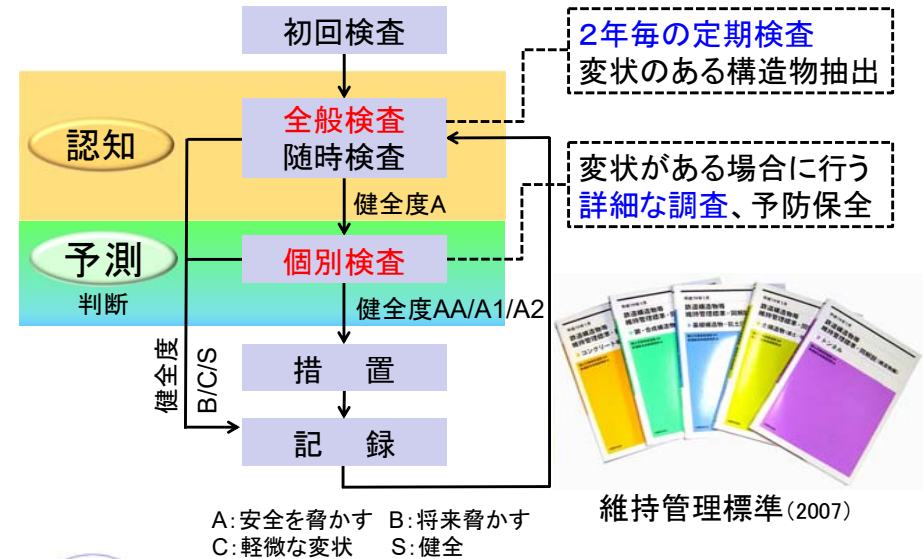
講演内容

1. はじめに
2. 維持管理技術分野
 - 橋りょうの検査・診断の支援
 - トンネルの検査・診断・措置の支援
3. 建設・改良の技術分野
 - 駅改良計画策定の支援
 - 新線の設計・施工の支援
4. 今後の取り組みとまとめ



鉄道構造物の維持管理

維持管理



維持管理へのデジタル技術の活用

維持管理

全般検査: 目視検査の支援

目視の代替として、画像情報を活用

- ➡ ■ 現地調査・内業の負担軽減
- 精度・質の向上による個別検査対象の削減

個別検査・措置: 詳細調査の支援、対策工設計の支援

変状予測・対策に画像情報等・シミュレーションを活用

- ➡ ■ 予防保全による、補修・補強コストの縮減



橋りょうの全般検査における活用

維持管理

全般検査

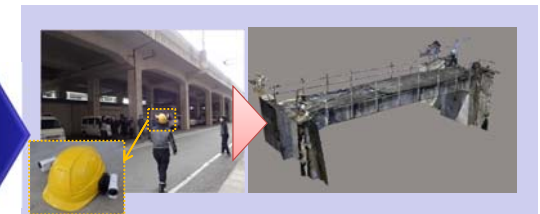
変状の有無、進行性の把握を目的に定期的を実施

現状



遠方からの目視調査

将来 画像デジタル技術を活用



現地調査で、詳細画像を取得
入念な目視は、パソコン上で実施

⇒画像の自動取得により、現地調査の負担軽減



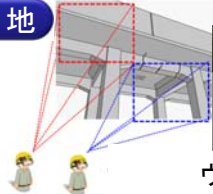
目視検査支援システムの概要

維持管理

①画像の自動取得

②SfM (Structure from Motion)

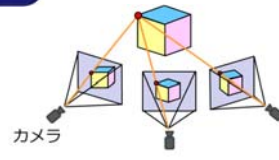
現地



ウェアラブルカメラ

内業

3次元モデル生成



3次元モデル生成プログラム

9

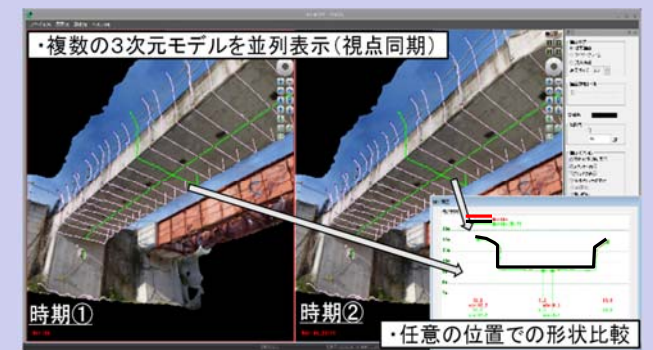
目視検査支援システムの概要

維持管理

内業



- ・再検査
- ・記録簿の作成



3次元モデル閲覧プログラム

- 画像の自動取得による、現地調査の負担軽減
- 前回検査との比較による、進行性把握
- 練技術者による再検査による、個別検査対象の削減



Railway Technical Research Institute

10

3次元モデルの作成例(1)

維持管理



Railway Technical Research Institute

11

3次元モデルの作成例(2)

維持管理



Railway Technical Research Institute

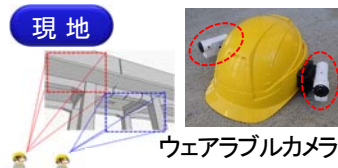
12

3次元画像による目視検査支援システム

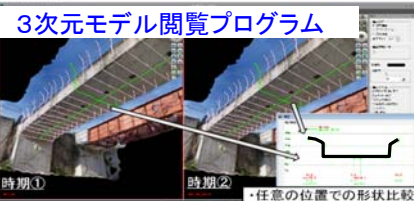
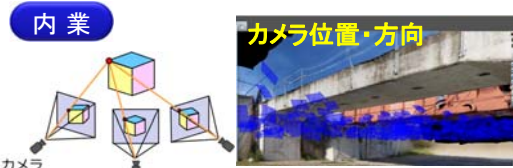
維持管理

- 現場で過去の3D画像と比較することで、検査支援で省力化
- 撮影画像の3D画像処理技術⇒3D構造物を作成

①画像の自動取得



②SfM (Structure from Motion) 3次元モデル生成



- 現場：前回検査(3D構造物)との比較 ⇒ 検査負担軽減/進行性把握
- 事務所: PC上で再検査 ⇒ 個別検査対象の削減



Railway Technical Research Institute

共同研究: アジア航測(株) 13

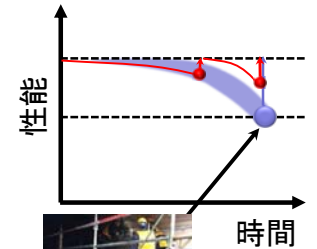
橋りょうの個別検査における活用

維持管理

個別検査

変状に対し、精度の高い健全度判定を行うことを目的に実施

現状 詳細調査に基づく変状予測 **負担大**



将来 画像情報に基づく変状予測 **負担小**



変状予測、予防保全の支援
補修時期・範囲の最適化
⇒ 補修・補強コストの縮減



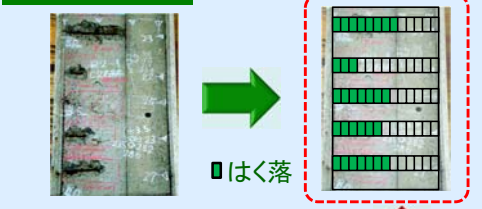
Railway Technical Research Institute

14

画像情報を用いた鉄筋腐食速度の推定

維持管理

①画像情報



調査: 画像情報
鉄筋位置、かぶり、(中性化)

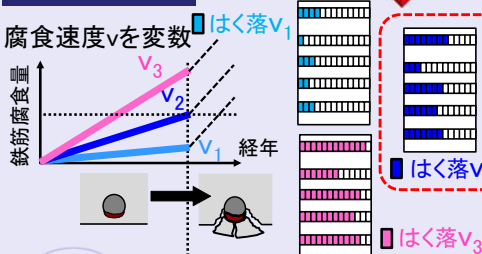
画像情報に合う鉄筋腐食速度を算定 (①と②の比較)

鉄筋腐食速度 v_2 のパターンが画像情報に一致
(はく落予測環境を含んだ速度)

はく落予測ツール
腐食速度 v_2 を用いた変状予測

構造物に応じた腐食速度で、精度の高い、変状予測
⇒ 将来の補修時期・範囲提案

②はく落予測



Railway Technical Research Institute

15

はく落予測ツールを用いた作業手順

維持管理

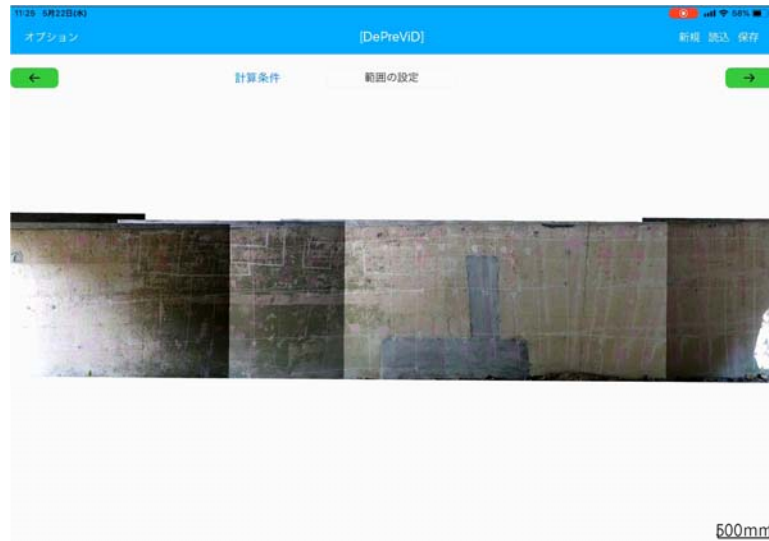


はく落時期と範囲の予測と同時に変状図を作成



Railway Technical Research Institute

16



講演内容

1. はじめに
2. 維持管理技術分野
 - 橋りょうの検査・診断の支援
 - トンネルの検査・診断・措置の支援
3. 建設・改良の技術分野
 - 駅改良計画策定の支援
 - 新線的设计・施工の支援
4. 今後の取り組みとまとめ



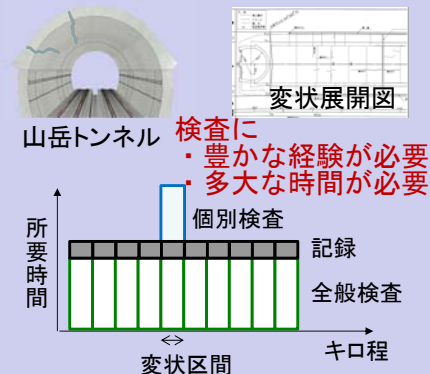
トンネルの全般検査における活用

全般検査

変状の有無、進行性の把握を目的に定期的実施

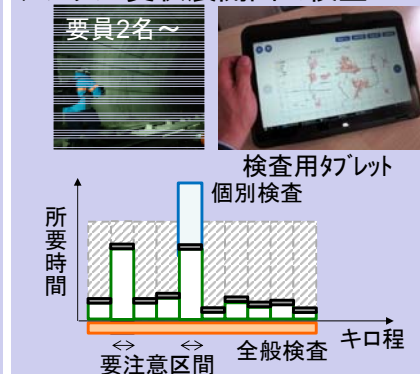
現状

紙の変状展開図で検査



将来

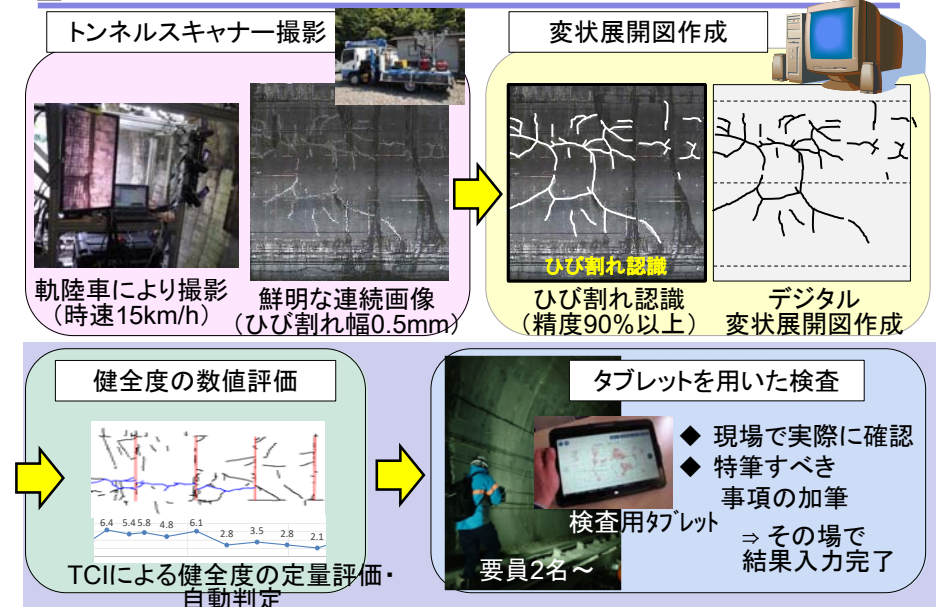
画像デジタル技術を活用
デジタル変状展開図で検査



⇒画像の自動取得・自動判定により現地調査の負担軽減



目視検査支援システムの概要



TCIによる健全度自動判定

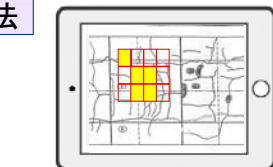
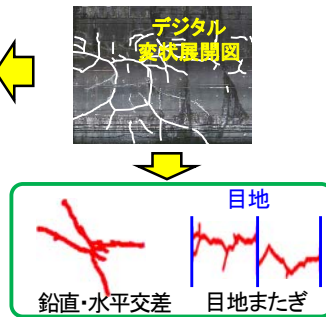
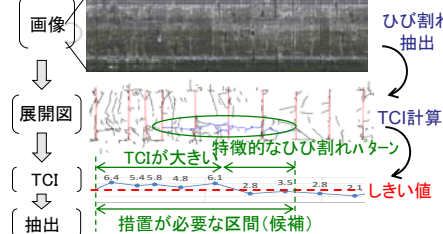
維持管理

画像データをもとに健全度を数値で評価

- 長さ、幅を自動抽出
- ひび割れインデックス TCIによる健全度の定量評価



措置が必要な区間(目地間)を抽出する手法



措置が必要なひび割れを抽出する手法

21

トンネルの全般検査と電子野帳

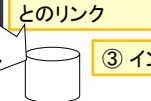
維持管理

電子野帳システム機能向上

① 図面・写真表示機能



② データベースとのリンク



③ インターフェース



電子野帳システム機能向上

トンネル健全度 & 剥落注意箇所抽出

- ① 図面・写真表示機能
- ② データベースとのリンク
- ③ インターフェース

- ④ 目地間健全度の自動判定(TCI)
- ⑤ 剥落要注意箇所の自動抽出(ひび割れ形状)

Railway Technical Research Institute

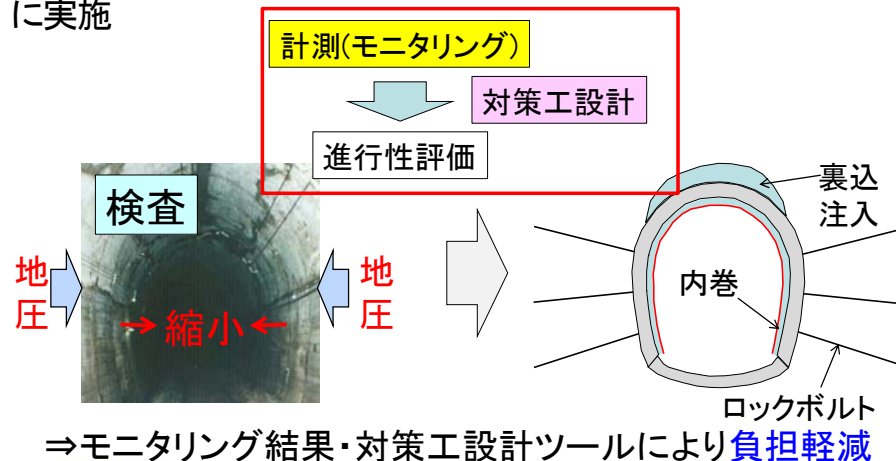
22

トンネルの個別検査・措置における活用

維持管理

個別検査・措置

検査結果に対し、監視、性能の維持、回復あるいは向上を目的に実施



Railway Technical Research Institute

23

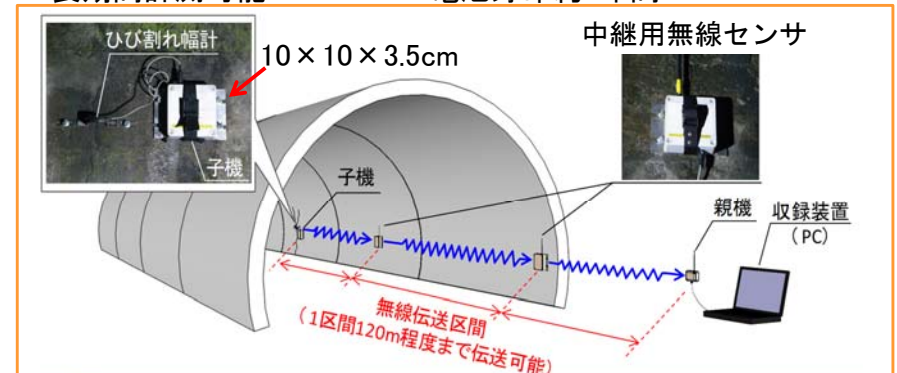
監視: トンネルの変状をいち早くとらえる

維持管理

変状トンネルの監視

無線センサ(ひび割れ幅、地中変位、内空変位)で自動計測、クラウドへ伝送。

- 煩雑な配線作業が不要 ⇒ センサ設置の施工性向上
- 長期間計測可能 ⇒ 電池寿命約2年間



Railway Technical Research Institute

24

変状トンネルへの適用

維持管理

トンネル坑口から142mの位置に設置



高頻度計測の状態監視により、
リスク回避・安全運行を図る。

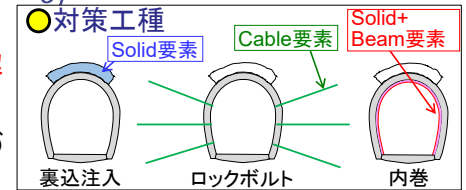
25

地山劣化法/モニタリングを対策工設計へ

維持管理

$$R = \frac{d1}{d2} \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2c \cos \phi + (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \phi}$$

- ・地山要素の緩み(破壊接近度R)に応じて強度低下させる数値解析モデルにより、変状を表現
- ・事例分析、模型実験結果に基づき対策工モデル構築(解析精度確保)



- ・構造条件、地山条件、対策条件について680通りのパラスタ

対策効果を予測(対策工設計ソフト作成)

26

変状対策工設計ソフトの開発

維持管理

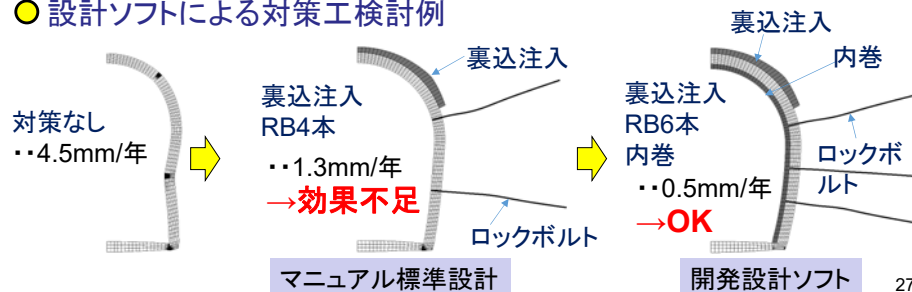
変状対策工設計ソフトを作成

変状対策工設計ソフト



対策効果は変状レベルによって異なる
→ モニタリングデータで得た変位速度に合わせて対策効果を出力

設計ソフトによる対策工検討例



27

講演内容

1. はじめに
2. 維持管理技術分野
 - 橋りょうの検査・診断の支援
 - トンネルの検査・診断・措置の支援
3. 建設・改良の技術分野
 - 駅改良計画策定の支援
 - 新線の設計・施工の支援
4. 今後の取り組みとまとめ



28

建設・改良へのデジタル技術の活用

建設・改良

改良・改造事業：ケーススタディ支援

旅客視点の快適性、事業者視点の安全性の両立を目的として、画像情報・シミュレーションを活用

- BIM/CIM・流動シミュレーションにより、負担軽減
- 旅客定量化による安全性確保・快適性向上
- スムーズな構造設計へのデータ移管

建設事業：設計・施工の連続支援

設計の自動化、設計・施工の連続支援を目的として、デジタル情報・シミュレーションを活用

- BIM/CIM・設計自動化により、設計負担軽減
- スムーズな施工管理・品質管理へのデータ移管



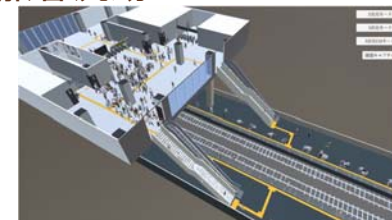
Railway Technical Research Institute

29

駅改良計画策定でのデジタル技術の活用

建設・改良

旅客流動シミュレーション



混雑箇所
混雑レベル(滞留時間・密度)

流動改善(駅改良)

目的: 安全性・快適性の向上



Railway Technical Research Institute

30

シミュレーションの活用(現状把握)

建設・改良

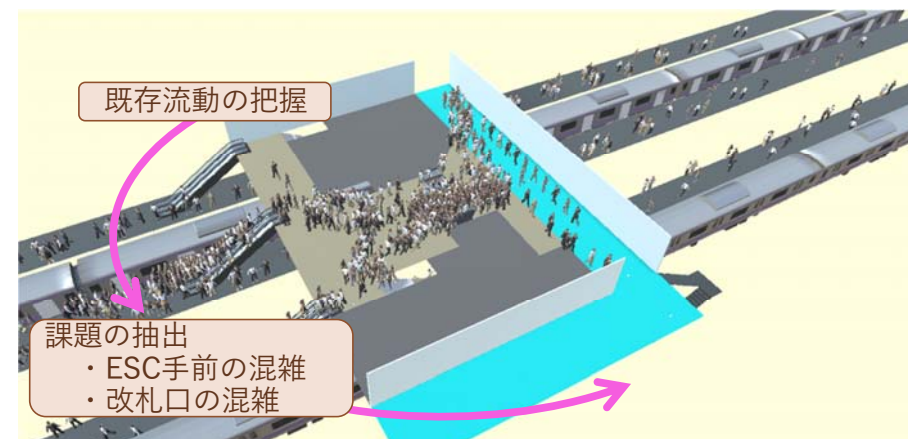


Railway Technical Research Institute

31

シミュレーションの活用(課題の抽出)

建設・改良

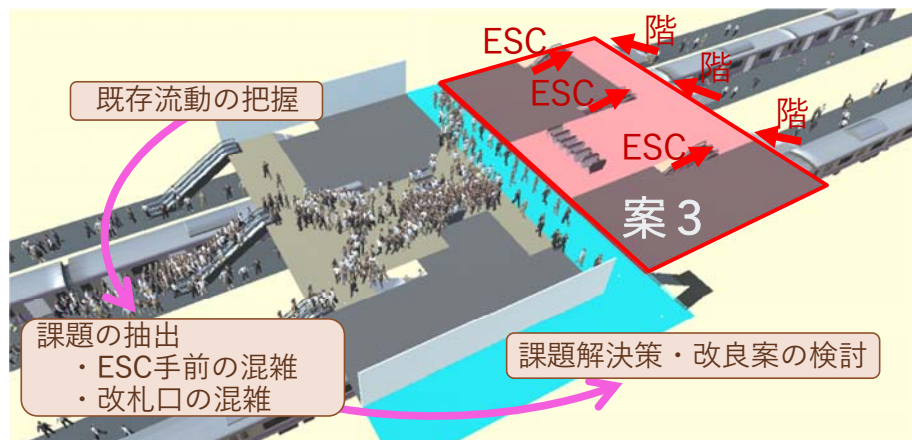


Railway Technical Research Institute

32

■ シミュレーションの活用(改良案の提案)

建設・改良

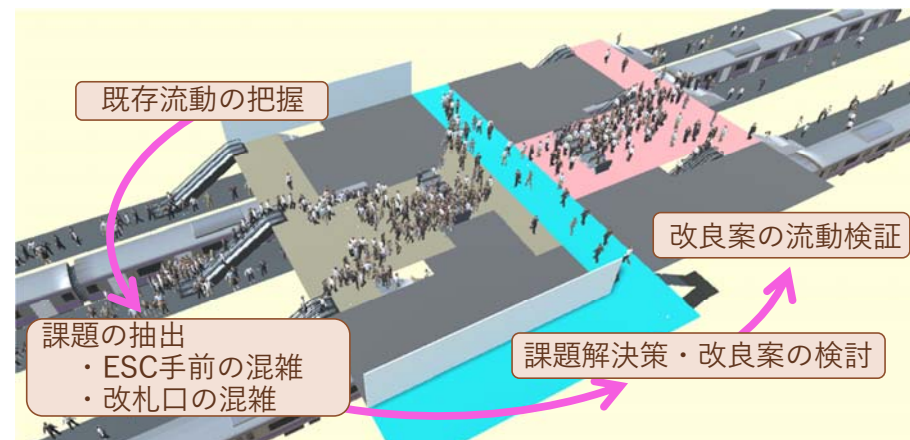


Railway Technical Research Institute

33

■ シミュレーションの活用(改良効果検証)

建設・改良



Railway Technical Research Institute

34

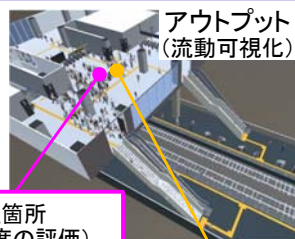
■ シミュレーションのインプット&アウトプット

建設・改良

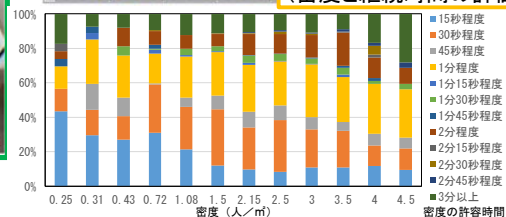
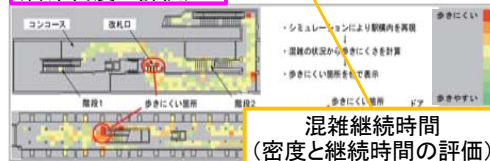
インプット(シミュレーション条件)

ハード面
・平面図
CAD、BIM
・設備条件
ESC能力
改札機能

ソフト面
・駅利用者数
ODデータ
(移動経路データ)
車両扉乗降人数
・列車運用
ダイヤ



混雑箇所
(群集密度の評価)



35

■ VRとシミュレーションの連携

建設・改良



Railway Technical Research Institute

36

旅客流動シミュレーション



混雑箇所
混雑レベル(滞留時間・密度)

流動改善(駅改良)

目的: 安全性・快適性の向上



Railway Technical Research Institute

37

講演内容

1. はじめに
2. 維持管理技術分野
 - 橋りょうの検査・診断の支援
 - トンネルの検査・診断・措置の支援
3. 建設・改良の技術分野
 - 駅改良計画策定の支援
 - 新線の設計・施工の支援
4. 今後の取り組みとまとめ



Railway Technical Research Institute

38

研究の背景

- 国土交通省では、BIM/CIM活用ガイドラインを作成している
- 鉄筋の干渉チェック等、施工時の検討として3次元CADが利用されている。
 - 3次元CADデータが一部で利用されているが、設計業務に活用した事例が少ない。



干渉チェック



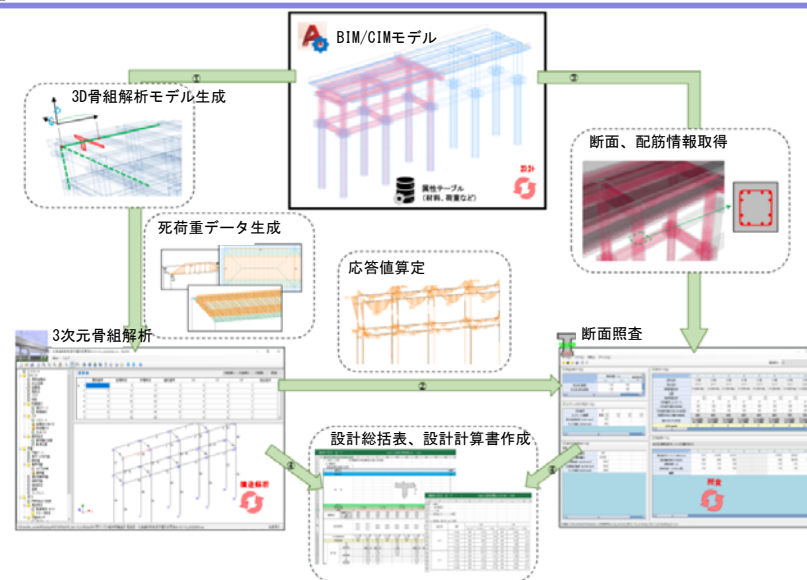
施工シミュレーション

出典: 土木学会・建設コンサルタンツ協会「CIMによるコンクリート構造物モデル作成ガイドライン(素案)」

研究の目的

- 生産性向上を目的とした設計業務へのBIM/CIM活用を検討
- 設計業務の高度化・効率化のニーズ
 - 計画・施工・維持管理との連携

39



Railway Technical Research Institute

※BIM/CIMモデル: 3次元図面に属性情報を加えたモデル

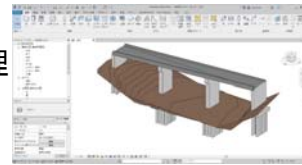
40

BIM/CIMモデル構築手法

建設・改良

- BIM/CIMモデル作成に用いるソフト選定 (Revit、Civil3D…)
- BIM/CIMモデル構築に必要な属性情報整理
- BIM/CIMモデル活用による効果 (施工時のメリット)

施工における活用



プラットフォームに
過去の構造物データを蓄積
(構造物設計の半自動化を視野)



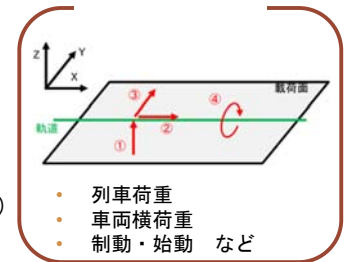
Railway Technical Research Institute

出典：Autodesk Revit 土木向けトレーニング テキスト一般橋梁編 41

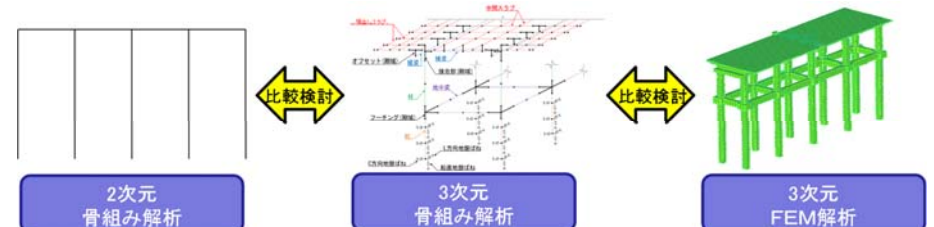
3次元骨組み解析による性能照査法

建設・改良

- 中間スラブのモデル化
 - ①鉛直力の分配
 - ②水平力の荷重分担比較
- 列車荷重の載荷方法の検討
- 解析手法による応答値の比較
(3次元骨組と2次元骨組, FEMとの比較)



- 列車荷重
- 車両横荷重
- 制動・始動 など



Railway Technical Research Institute

42

講演内容

1. はじめに
2. 維持管理技術分野
 - 橋りょうの検査・診断の支援
 - トンネルの検査・診断・措置の支援
3. 建設・改良の技術分野
 - 駅改良計画策定の支援
 - 新線的设计・施工の支援
4. 今後の取り組みとまとめ

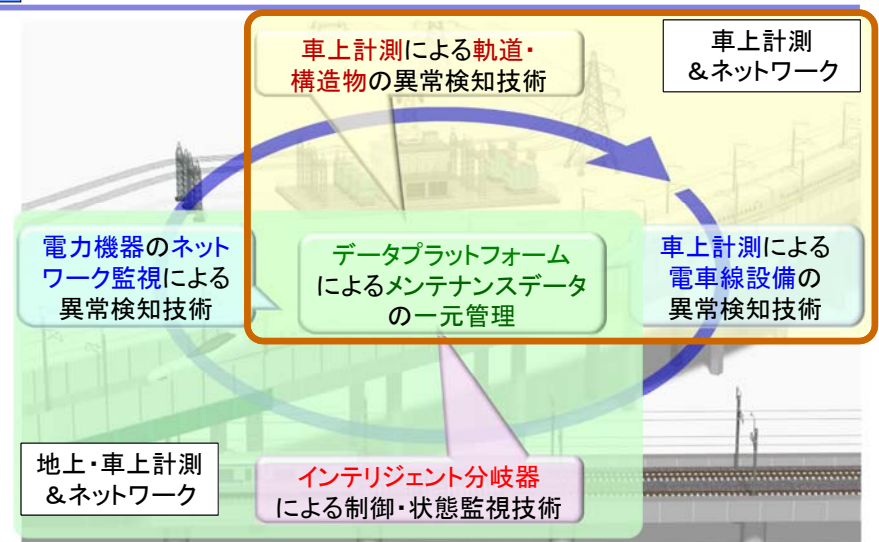


Railway Technical Research Institute

43

デジタルメンテナンス-RESEARCH 2025の取り組み

今後の取り組み



Railway Technical Research Institute

44

車上・同時計測とデータ一元管理

今後の取り組み

- 軌道・構造物・電車線等の車上・同時計測 & 系統データの一元管理⇒検査の省力化を図る(特に構造物)/(徒歩巡回等では不明)走行時異常を検知可能
- データプラットフォーム、ネットワーク、システム構築

車上・同時計測 & ネットワーク

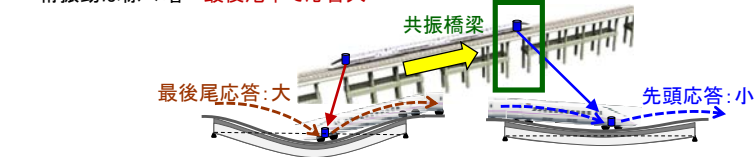
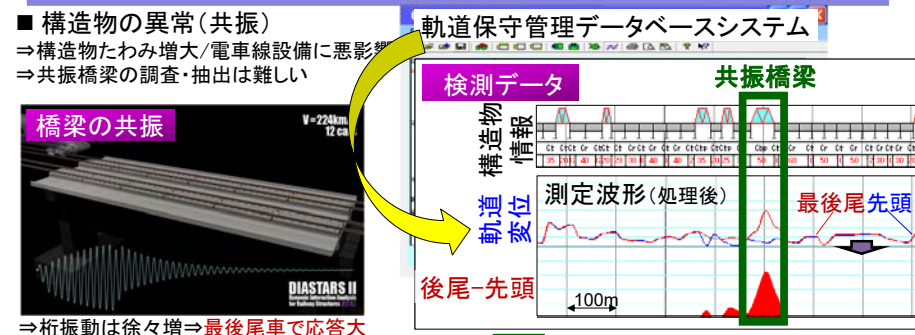


- 日常業務の負荷最小/メリット享受⇒系統別データサーバーを残し、スモールスタート可能なシステム構成

45

検測データによる構造物の異常検知例

今後の取り組み



- 構造物異常(共振)を検測データ(軌道)から検知した例
- 電車線設備に悪影響を与える可能性有り⇒軌道・構造物・電車線の同時計測・一元管理が有用

46

研究開発の方向性

今後の取り組み



Railway Technical Research Institute

47