社会連携講座の活動成果の概要 2014-2018

2019.3

<社会連携講座について>			
■ 社会連携講座の概要	3		
■ 社会連携講座に関するこれまでの取り組み	4		
■ インフラ・イノベーション研究会の概要	5		
<講座研究の概要>			
<u>1. データ分析</u>			
■ 1-1 データ分析の概要	7		
■ 1-2 データ整備の概要	8		
■ 1-3 データ整備の事例	9	<参考資料>	
■ 1-4 傾向分析の概要	10	<u>社会連携講座の活動成果の概要(2009-2013)(抜粋)2014.4</u>	
■ 1-5 データ分析の概要	11		
■ 1-6 分析性能の評価の概要	13	■ バランス・スコアカード(参照モデル)と管理指標(案)	30
■ 1-7 分析性能の評価の事例	14	■ ダッシュボードによるインフラ管理指標の活用	31
■ 1-8 結果の解釈と評価の概要	15		
■ 1-9 結果の解釈と評価の事例	16	<u>点検等現場業務の将来像(ver.2014.3)</u>	
■ 1-10 フィードバック	17	■ 点検業務の課題と	
■ 1-11 分析結果と現場実証の概要	19	ICTを活用した改善の方向(ver.2014.3)	33
2. 分析結果の活用			_ 34
■ 2-1 分析結果の活用方策の全体像	20	2) 構造物特性を踏まえた点検業務の合理化(案)	_ 35
■ 2-2 分析結果の活用-研究事例			_ 36
事例1) 洞道の詳細点検要否判別モデル			
事例2)とう道の危険空洞判別モデル		5) オープンデータ活用による維持管理の高度化(案) _	38
事例3)早期摩耗鉄蓋判別モデル			
事例4)上床はく離・はく落回帰モデルの構築			
事例5)ハンチ部の損傷有無の判別予測の構築			
事例6)床版の健全度推定			
事例7)道床補修判別モデル	27		

社会連携講座について

Muz

ICTの活用によるインフラの高度化をテーマに、日本を代表するインフラ企業等と東京大学が講座を設立

1. 社会連携講座の名称等

和文:「情報技術によるインフラ高度化」社会連携講座(第2期)

英文: Research Initiative for Advanced Infrastructure with ICT

--設置期間:平成26年4月1日~平成31年3月31日

URL: http://www.advanced-infra.org/

2. 講座の目的

情報技術を活用して施設管理等に関するマネジメントを高度化するとともに、インフラに関する技術支援・技術伝承の仕組みを確立し、インフラ・イノベーションの実現を目指す。

また、こうした目的を達成するため、シーズとニーズ、技術と運用、理論と実践といった様々な知識や経験を結合し、新しい価値を生み出す実践的な研究プラットフォームの確立を目指す。

3. 社会連携講座の構成員(平成31年3月現在)

東京大学大学院情報学環、首都高速道路株式会社、東京地下鉄株式会社、東京電力パワーグリッド株式会社、東日本高速道路株式会社、東日本旅客鉄道株式会社、株式会社日立製作所

共同研究機関:日本電信電話株式会社

研究協力機関:総務省、経済産業省、国土交通省、独立行政法

人土木研究所、東京都

4. 担当教員(平成31年3月現在)

越塚登教授(兼任)、石川雄章特任教授、齋藤正徳特任講師、猪村元特任講師(兼任)、熊田和人特任研究員、鈴木弘武特任研究員、二宮利江特任研究員(兼任)、津曲渉特任研究員(兼任)、大島谷雅美特任研究員(兼任)

社会連携講座とは(東京大学HP)

公益性の高い共通の課題について、民間企業または独立行政法人など から受け入れる共同研究の一環として、学部及び研究科などの研究を行う 大学院組織などにおかれる講座。学術と社会の発展の推進、および東京大 学における教育研究の推進・充実を図ることを目的とする。

5. 研究テーマ

1)ICT活用による施設マネジメントの高度化

点検データ、センサーデータ等の分析結果を活用した点検・維持管理業務の合理化、センサー等のICT機器の活用による作業の効率 化などの施設マネジメントの高度化

2)情報活用による技術支援・技術伝承

インフラ管理に関する技術的判断を支援し、各社の技術力を維持・発展させるため、マニュアル等の形式知と熟達者の暗黙知に着目した技術支援・技術伝承の仕組みの確立

6. 運営方針

学術と社会の発展の推進及び教育研究の進展・充実を図ることを 目的とし、共同研究が着実に実施されるよう、参加者の相互協力の もと次の方針に基づいて運営される。

- (1) 幅広い知識や経験が交流し、新しい価値が生み出されるよう努める
- (2) 主体的かつ積極的に研究に関与し、協働して研究を推進するよう努める
- (3) 研究成果を積極的に公表するとともに、その成果の実現に向けて努める

研究活動の一環として、研究テーマに関連する各分野の専門的な 知識や経験を持ち寄り、情報交流を促進し新たな気づきをもたらす 研究プラットフォームを運営する。

7. 期待される効果

公物・施設・空間管理分野と情報技術分野において、様々な知識 や経験が交流し結合することにより、研究領域の発展、社会的便益 の向上、新ビジネスの創出等に繋がる。また、本講座を核とする産・ 学・官の横断的な人的・知的なネットワークが生まれる。

インフライノベーション研究会

社会連携講座を中核として、様々な方が参加できるオープン&フェアな交流の場。研究会の目的・活動などに賛同し協力する企業や団体に参加していただき、幅広い知識や経験を共有し、交流を深めることで新しい価値を生み出すことを目的とする。

社会連携講座に関するこれまでの取り組み

中核となる講座研究を計画的に実施するとともに、現場業務の将来像に基づく関連研究も外部資金等を活用して積極的に推進

H27 H29 H26 H28 H30 〈施設マネジメントの高度化及び技術支援・技術伝承〉 ・点検等現場業務における研究成果の 研究によって得られた知見の整理と 参加企業間の認識の共有と先進事例 多種多様な分析手法の比較・評価 ・研究によって得られた知見の整理と 試行·評価 等の調査 ①データの可視化によりデータ間の関 ①分析手法、分析モデルの評価、汎用 ①過年度研究のモデル・知識体系を ①過年度研究のモデル・知識体系を他 ①企業の現状・取組事例、関連する先 係性、損傷傾向等を把握し、新たな気 他の路線、施設等に横展開 ②有効 の路線、施設等に横展開 ②モデル・ 性の検討・評価 ②分析結果の現場の 行事例等の調査 ②データ分析に必 付きを得る ②設定した分析目標に対 性を確認 知識体系の汎用化を実施 活用方策の検討(点検、診断、措置補 応したデータ分析を実施 ③分析結果 要な関連事例、既往研究の情報収集 ・研究成果の業務への試行導入 研究成果の業務への試行導入と評価 の解釈・評価を実施 修、記録可視化) ・データ分析の試行と分析手法の比較 ①研究の成果を現場業務の支援、基 活用/導入の測定結果。測定指標の データ分析活用による業務の改善 ①企業のニーズを確認し各種目標の 準・ルールの見直し等に試行的に導入 ①現場業務に試行導入し、評価改善を ①データ活用の観点から、企業の業務 設定 ②データ分析を試行実施 ③各 ②業務改善効果を評価 実施 ②業務改善効果を評価するとと 実態を踏まえた活用方策の検討 ①研究成を点検等現場業務に導入し 種データを地図上や統計グラフ等によ もに本格導入に向けた改善 りデータ間の関係性を把握 た際の導入効果の検討・評価 現場業務の将来像 関連研究 「市町村技術支援研究会」 1) 点検員の現場作業 「ICTを活用した市町村のインフラ維持管理支援に関する研究」(東北大学、島根県、小田原市) 実務への展開 (自主研究) の効率化と履歴管理(「車載及びUAV搭載カメラ画像を活用した河川管理の高度化」※SIP事業(㈱ソーシャル・キャピタル・デザイン、㈱復建技術コンサルタント) 2)構造物特性等を踏 「空港管理車両を活用した簡易舗装点検システムの開発」※SIP事業(パシフィックコンサルタンツ㈱、㈱ソーシャル・キャピタル・デザイン) まえた点検業務の合理 「道路舗装の計測・管理に関する新技術研究会」(自主研究) 化(案) 関連研 「行動観察手法を用いた高速道路事業におけるマネジメントスキルの検討」 「技術力・マネジメント力育成に関する検討」 3)技術的判断の支援 (東日本高速道路(株)関東支社) と技術伝承(案) 「道路台帳事業をモデルとした技術者人材育成」(㈱パスコ) 「品質向上、生産性向上及び人材育成」 究 「インフラ維持管理データサイエンスの高度化と体系化」 インフラマネジメントに係る人工知能の活用」 4) 点検データ等の経営 SCOPE研究費 ((株)ベイシスコンサルティング) マネジメントへの活用 「スマート・メンテナンス・ハイウェイ構想の実現」(東日本高速道路(株) (案) 「高度なインフラ・マネジメントを実現する多種多様なデータの処理・蓄積・解析・応用技術の開発」※SIP事業 (東日本高速道路㈱、㈱横須賀テレコムリサーチパーク、㈱ソーシャル・キャピタル・デザイン) 5)オープンデータ活用 による維持管理の高度 「ICTを活用した道路維持管理業務の高度化」 化(案) (東京都道路整備保全公社) 定例会開催: ①インフラ管理にお 定例会開催:①情報技術によるイ 定例会開催:①モニタリング技術 定例会開催:①点群データの整備 定例会開催:①洪水対策における 情報通信技術、②AIにより変わるソフ ける新たな取り組み、②プローブデ と活用技術、②海外における情報通 ンフラ高度化の取り組み、②情報技 の活用、②ICT を活用した施設管理 術を活用した国の政策動向、③ICT ③データを活用したインフラ管理、 ータの活用方策、③診断データの業 信技術の活用、③インフラの点検・ トウェア開発とWebサービス、③構造 究 を活用したアセットマネジメントの取 ④新技術を活用したインフラ管理、 務や現場への活用方策、41土砂災 診断手法、4多種多様な計測データ 物点検の効率化に向けた新技術、4)

害対策における情報通信技術の活

用、⑤下水道管路の維持管理

RIAII © 2018

組み、④ICTを活用した地域支援、

⑤現実空間と情報空間の連携

⑤インフラ管理における新たな取り

組み

社会人を対象とした人材育成、⑤地

球観測衛星データの活用事例

の利活用、⑤自動走行システムの

技術開発の動向と今後の展開

インフラ・イノベーションの実現にむけて、知恵/経験の結合を促すオープンな価値創造の場を社会連携講座が主催

1. 研究会の名称等

「インフラ・イノベーション」研究会

2. 研究会の目的

公物・施設・空間管理分野と情報技術分野に おけるシーズとニーズ、技術と運用、理論と実 践といった様々な知識や経験を結合し、新しい 価値を生み出すこと、産・学・官の横断的な人 的・知的なネットワークを創りだすことを目的と する。

3. 研究テーマ

東京大学「情報技術によるインフラ高度化」社 会連携講座(以下「社会連携講座」という)の研 究テーマ(下記(1),(2))に関連する実業務におけ る課題解決に寄与する具体的かつ実践的な テーマを対象とする。

- (1) ICT活用による施設マネジメントの高度化
- (2)情報活用による技術支援・技術伝承

4. 活動内容

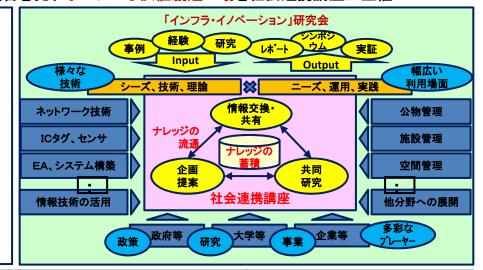
研究会の活動内容は次の通り。なお、参加者 の提案・意見等を踏まえて随時見直しを行う。

- (1) 講演・講義:研究テーマに関連する定期的 な講演・講義の開催
- (2) 参加型研究: 研究会会員による技術等の 発表、課題解決策の検討等
- (3) 交流会: 研究会会員が幅広く意見交換を 行うための交流の場
- (4)その他、情報発信など研究会の目的に寄 与する活動

5. 主催及び参加団体等

本研究会は、東京大学「情報技術によるインフ ラ高度化」社会連携講座が主催する。

社会連携講座設置企業、研究協力機関、関連 する共同研究契約等締結企業・団体及び本研 究会の目的・活動等に替同し協力する企業・団 体等が参加する。



平成22年度の開催実績

①点検・維持管理等現場業務の効率化:

現場で使える情報技術の課題を考える。

②技術力の維持と安全性の向上:

情報流通による人材育成の可能性と、技術力の維持に 必要なスキルの体系化について考える。

年 ③効率的な施設運営:

情報技術を活用した電力・交通・水道等の効率的な運 営とインフラ企業にとっての意味を考える。

4 情報共有基盤の構築と活用:

位置情報基盤の現状と課題を明らかにし、期待される 活用分野・具体的サービスについて考える。

20 26 ⑤現実空間と情報空間の連携 回年

現実空間と情報空間の連携による新しいビジネスの可 能性、インフラ高度化との関係を考える。

平成23年度の開催実績

①現場作業の支援(作業、技術支援):

行動観察や最新のIT機器の活用により、作業の利便性 や効率化、安全性を向上させる可能性について考える。 ②現場作業の支援(センサの活用):

社会インフラ構造物の維持管理へのセンサの活用や 新たなビジネスへの展開等について考える。

③情報の有効活用(蓄積・流通):

維持管理に関する情報の蓄積、流通に必要な技術や 手法等について、課題や活用策等について考える。 ④情報の有効活用(分析・加工):

情報画像解析の活用事例について議論する。

⑤点検体制の充実、人材育成:

社会インフラの維持管理に対し、産官学民連携の事例 等を通じ、点検体制や人材育成のあり方について考える

平成24年度の開催実績

①維持管理データの有効活用:

維持管理現場で発生するデータについて、その活用によ る維持管理業務の合理化の可能性について考える。 ②情報の流通による価値創造:

技術情報の流通とその価値について、制度上の課題や 解決方法及びICTシステムの活用について考える。 ③現場作業の効率化:

最新のICT技術やその現場作業の活用方策等を議論。 ④データ活用による経営・マネジメント支援:

経営の観点からデータを利用方法やICTシステムの可能性 について考える。 ⑤東日本大震災復興支援におけるICT活用

老朽化したインフラの維持管理や災害対応に向けたICTシ ステムの活用を考える。

平成25年度の開催実績

①社会資本の維持管理の課題と対応:

政府が「社会資本のメンテナンス戦略」で講じる施策等を題 材に、インフラ維持管理の課題と対応を考える。

②社会資本の維持管理の課題とICTの活用

トンネル天井板の落下事故に関する委員会報告への対応 等を踏まえ、維持管理におけるICTの活用を考える。 ③防災とICT:

合成開ロレーダ等を参考に、防災とICT活用を考える。 4)データ等の有効活用による維持管理の高度化:

マイクロジオデータを用いたサービスの実証や住民からの問合 せ情報の業務活用などを議論。

⑤インフラにおけるオープンデータの活用:

政府のオープンデータ戦略等を参考に、インフラ管理における オープンデータの活用の可能性を考える。

平成26年度の開催実績

①情報技術によるインフラ高度化の取り組み: 社会連携講座(第1期)における成果と関連 する取り組み事例等について、議論。

②情報技術を活用した国の政策動向:

総務省、経済産業省、国土交通省における 最近の政策の動き等について議論。 ③ICT を活用したアセットマネジメントの取組み: 仙台市の下水道事業におけるアセットマネジ

メント事例から、アセットマネジメントを考える。 ④ICT を活用した地域支援:

在宅医療に関する情報共有システムや地方 自治体での点検業務などを議論。

回年 ⑤現実空間と情報空間の連携:

現実空間と情報空間の連携について議論。

平成27年度の開催実績

①モニタリング技術の活用:

モニタリング技術を開発、実管理適用を議論。 ②ICT を活用した施設管理:

施設管理向けクラウドサービスの事例を参考 に、ICTを用いた実管理への適用を考える。 ③データを活用したインフラ管理:

空港舗装における維持管理データ活用の具 体的な管理手法と今後の課題について考える。 ④新技術を活用したインフラ管理:

ダムの老朽化を検査する水中インフラ点検ロ ボット活用事例を紹介し、新技術活用を議論。 ⑤インフラ管理における新たな取り組み:

橋梁点検の自治体の取組事例を紹介、自治 体自ら実施する点検の今後のあり方を考える。

平成28年度の開催実績

インフラ管理における新たな取り組み:

UAV を活用した河川管理について、考える。 ②プローブデータのインフラ管理への活用方策: タイヤによる路面性状状態判定技術の路面管

理、プローブデータの活用方策について議論。 ③診断データの業務や現場への活用方策:

医工連携によるデータ利活用の取組事例を紹 トンネル遠隔レーザー計測やドローンによる橋 介、点検・診断データの現場活用方策を議論。 ④土砂災害対策における情報通信技術の活用: IoT、ビッグデータ、AI(人工知能)の活用事例を

紹介、災害対策での情報通信技術活用を議論。 ⑤下水道管路の維持管理における現状と課題 下水道管路調査の机上スクリーニングや調査 機器の高度化、現場活用方策について考える。

平成29年度の開催実績

①点群データの整備と活用技術について:

MMSによる路面や占用物の3次元データの取 得、活用例(i-DREAMs)を紹介、活用策を議論。 ②海外における情報通信技術の活用について: インフラ事情や、IOTの渋滞対策事例を紹介。 ③インフラの点検・診断手法について:

梁点検事例を紹介し、点検・診断手法を議論。 ④多種多様な計測データ利活用に向けた取組:

学習によるインフラ施設の管理について議論。 ⑤自動走行技術の社会に与える影響:

自動走行システムの技術開発の動向と今後 の展開。

平成30年度の開催実績

 ①洪水対策における情報通信技術の活用: 河川技術におけるsociety5.0の具現化、自治体 の災害時における情報通信技術について議論。 ②クラウドサービスとAI技術の発展と活用事例 AI/クラウドサービスと活用事例について議論。 ③構造物点検の効率化/高度化に向けた新技術 球殻UAVによる橋梁点検技術とひび割れ自動 検知技術を紹介し、新技術について議論。 ④社会人を対象とした人材育成について: センサ技術からの画像/音響/信号データの機械 産官学連携による技術者育成とデータ関連人 材の育成の取組を紹介し、人材育成を議論。 ⑤地球観測衛星画像と衛星変位測量について 衛星画像の概要と衛星変位測量の活用事例を

紹介し、インフラ管理への活用について議論。

RIAII © 2018

25 31

催月

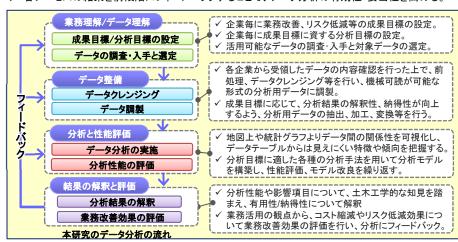
催月

講座研究の概要

インフラ維持管理に適用可能なデータ分析の手順を設計し、企業毎の目標を設定しデータ分析研究を実施。

<データ分析の手順>

- ◆ データ分析は、業務やデータの特徴を理解する「業務理解/データ理解」、「データ整備」、データから有用な知識を抽出し情報工学観点からの評価を行う「分析と性能評価」、業務活用や土木工学的な観点からの「結果の解釈と評価」の4つのプロセスにより実施する。
- ◆ 各プロセスの結果を前段階にフィードバックすることで、データ分析の有効性・妥当性を高める。



<業務理解/データ理解に基づく成果目標・分析目標の設定>

- ◆ 企業の現状課題とニーズ、利用可能なデータ等の条件を踏まえ、成果目標、分析目標を設定する。
- ◆ 分析対象構造物の共通性、類似性より地下構造物グループと橋梁・道床グループに分け、企業間の情報交換や比較・分析を行った。

表 企業毎の成果目標・分析目標設定

企業	成果目標	分析目標	対象	WG	
A社	モデル判別結果を活用することで、審議資料 省略や会議体の時間短縮、リスク低減を図る	詳細点検要否を判別するモデルを構築し、詳細点検要 否の確からしさと判別に影響するデータ項目を把握	シールド 洞道	地	
B社	点検周期適正化(点検間隔の延伸)により業 務コストの縮減を図る	摩耗の速い設備を判別するモデルを構築し、摩耗遅速 に合わせた点検周期設定のための鉄蓋の分類を評価	マンホー ル鉄蓋	下構造	
	精密点検の実施優先順位を設定し、とう道の崩落リスク低減やコスト削減を図る	危険空洞の有無を判別するモデルを構築し、判別性能 の評価や危険空洞に対する影響項目を抽出	とう道	物グル	
C社	区間の健全性に応じた打音点検等の順序・周期によるメリハリを付け、実業務の効率向上	上床のはく離・はく落を判別するモデルを構築し、発生 頻度の高い要注意区間を抽出	トンネル 上床	ププ	
D社	第三者被害が懸念されるRC床版のハンチ部について、点検計画最適化や点検時の損傷見落とし防止を図る	RC床版ハンチ部の損傷状態を推定するモデルを構築し、損傷に影響すると思われる構造諸元などを抽出	橋梁-RC 床版	橋梁・	
E社	床版の健全度について、推定値の活用による 判定業務の効率化及びリスク低減による判定 の高度化	RC床版の健全度を推定するモデルを構築し、劣化機構ごとの推定性能や影響項目を評価	橋梁-RC 上部工	道床グ	
F社	客観的なデータを参考に精度の高い補修計画 の立案を行い変状発生のリスク低減を図る	道床補修箇所を判別するモデルを構築し、路線ごとの 判別性能や補修に対する影響項目を評価	道床	ループ	

<データ分析/実施の方法>

- ◆ 基礎的な可視化手段も含め、インフラ管理分野で有効と思われる傾向分析手法を「統計的傾向分析」、「時間的傾向分析」、「地理的傾向分析」の3種に類型化した。
- ◆ 多変量解析等を中心とした推定だけでなく、データの構造を分析するルール抽出もインフラ維持管理分野では有効であると考え、「ルール抽出」と「推定」双方の分析手法について類型化した。

表 データ分析手法の類型化例

表 データ分析手法の類型化例							
	区分	分析の目的	目白	内変数	説明変数(独立変数)		
	(従属変数		属変数)	量的	質的	質/量混合*	
6+=L	値を把握				·表可視化(個々の)値を把握),・統計量算出(代表値を把握)
秋高T	的傾向分析	データ分布を把握		なし	•散布図,	・ヒストグラム(度数分布を	把握)
地理	的傾向分析	空間分布を把握	<i>'</i>	aL.	·路線傾向把握(路線上の) 分布を把握),・地図可視(l	ン(地理的分布を把握)
時間	的傾向分析	時間変遷を把握			·時間	傾向把握(時間変遷を把握	2)
			あり	質的			·損傷予測寄与分析
	ルール抽出 (探索的 データ分析) (仮説 データ分析) 要 類似性評	データの相関/ 共起を調べる			·相関図 ·相関係数 ·因子分析	・クロス集計 ・アソシエーション分析 ・ベイジアンネットワーク	·統合多重相関分析
(データの相違を 調べる (仮説検証)	;	なし	・t検定(対応の無い2変数) ・F検定(2変数) ・分散分析(3変数以上)	・カイニ乗検定(2変数間 /3変数以上)	
		データ削減(縮退/ 要約)			·主成分分析(PCA)		
		類似性評価 /クラスタ リング			・クラスター分析 ・数量化Ⅳ類	·数量化Ⅲ類	
	推定	量の推定 (回帰)		量的	•重回帰分析	・数量化Ⅰ類	•統合回帰分析
	(多変量解析/ 機械学習)	質の推定 (判別/識別)	あり	質的	・判別分析 ・決定木分析 ・SVM	・数量化 Ⅱ 類 ・アソシエーション分析	·bias補正混合判別予測

<解釈/評価の方法>

- ◆ 2つの値(クラス)への判別結果の正答/誤答の評価においては、混同行列を用いる。
- ◆ その上で、混同行列の各セルの値から求 まる性能評価指標(右表)により性能を評 価する。業務応用の目的に合わせて、適 切な指標を選択し、評価を行う。

表 混同行列(Confusion Matrix)

		推定や判別の結果			
		正と推定 (P:Positive)	負と推定 (N:Negative)		
×	正例	TP:True Positive	FN:False Negative		
	(P:Positive)	(Pと推定して正解)	(Nと推定して <mark>不正解</mark>)		
値	負例	FP:False Positive	TN:True Negative		
	(N:Negative)	(Pと推定して <mark>不正解</mark>)	(Nと推定して正解)		

表 判別における性能評価指標の例 (混同行列に含まれる項目を用いて算出)

分析手法	評価指標	算出方法	説明(直観的理解)
	発見率	TP/ (TP+FN)	変状ありをどれだけ 取りこぼさず見つけ られるかを評価
bias補正混 合判別予測、	回避率	TN/ (FP+TN)	変状なしをどれだけ 正しく見つけ、無駄 な点検を回避できる かを評価
統合回帰分 析	平均 含有率	発見率と回避 率の平均値	取りこぼしの無さと、 無駄な点検を回避す る効率性とのバラン ス
	精度	TP/ (TP+FP)	変状ありの正答率
損傷予測寄 与分析	影響度	データ分析実 施の概要を参 照	各説明変数項目の 目的変数に及ぼす 影響の度合

データの品質を調べ、データ分析の目的に応じたデータ調製を行い、分析に適したデータセットを準備する。

<「データクレンジング」と「データ調製」>

- ◆ データクレンジング: データ分析の信頼性や精度向上のため、データに含まれるエラーを修正する操作。また、データエラーを排除することで、データ自体の機械可読性も向上する。
- ◆ **データ調製**: 成果目標や分析目標に応じて分析用入力データを適切に整形することで、分析結果の精度や解釈性を向上させる。適用する分析手法に応じたデータ形式等の整形を行う。

#	データクレンジング	データ調製	
目的	・データの可読性を向上させる。 ・データの課題を修正し、データ分析結果の信頼性や分析性能の向上を狙う。	・成果目標に応じ、分析結果として得たいデータ形式等をコントロールし、結果の解釈性を向上させる。 ・選定した分析手法や分析の目的等に応じて、適切な形式に合致させ、分析性能の向上を狙う。	
手順	分析対象データの選定 データクレンジング作業 データ可視化 データエラーの検出 ブレンジン グ後データ	成果目標 (分析結果に対する要求を含む) 分析目標(分析手法の選定) データ調製作業 データ項目の選定 データ値の操作/変換 データーブルの操作/統合 不要行の削除	

<データクレンジングの例>

◆ インフラ維持管理におけるデータは、実務者による手動での登録も多く、値に実務上の暗黙知が 存在する場合や、所定の形式と異なる値の登録、値の表現の揺れなどの課題が顕著である。可 視化手法等を駆使しデータエラーを検出し、業務を理解した上でのエラーの修正が必要である。

データエ ラー項目	インフラ維持管理における 具体例	課題	データエラーの 検出手法(例)	データエラーの 修正・対応手法(例)
データの外 れ値/異常 値	▶「経過年」のデータ項目に 「0」などの外れ値(値域外なら異常値)が存在。	平均値などの統計量や、分析結果にも影響大。	✓ データ値のグラフ目視✓ 最大・最小等の基本統計 量の確認	✓ データ内容を確認した上で特異値を修正。修正困難の場合には、値や変数の除外を検討。
データの欠 損	▶「防水対策有無」の項目 に空欄が有る(空欄以外 の値は、0または1)。	現場での暗黙の 合意で「空欄」に する場合がある。	✓ MSエクセルの「フィルタ機 能」の活用	✓ データ管理上の暗黙の合意(空欄=防水工有)を調べ、空欄を代替値で修正 ✓ 他の台帳等を調べ欠損値を再登録
データ型/ 形式	工事の竣工情報として、 西暦or和暦、年月日or年 が混在している。	記録する各ファイ ルにおいて、記入 方法が統一され ていない。	✓ MSエクセルの「変換機 能」の活用	√分析用に統合する際に、西暦表示に統 一させることで、文字の混在も除外した。
複数の値 が共存	▶「段差cm_9」など、一つの セルに複数の値が登録。	• 数値データとして 扱えず分析に不 適。	✓ 数値計算ソフトウェアのプログラム処理の活用	✓ データ量的データと質的データに記載 内容を分解し、分析目標に有効な説明 変数を抽出。
表記ゆれ/ 表現の不 整合	▶ 事務所毎、システム毎の表記の差異(黒埼橋と黒崎橋)や建設時と供用後の名称の差異が存在。 >大・小文字(a/A)、半角・全角(IC/IC、(1)/(1))等	同じ意味を持つ値 が別の値として扱 われることで、分 析性能及び分析 結果の解釈性が 低下。	✓ MSエクセルの「重複除 去」「フィルタ機能」の活用 ✓ 複数のデータテーブルを 統合する作業時に対応す る項目が無い値として発 見される。	✓表記のゆれを吸収するため、表記同士の対応を定義する辞書データを作成。 ✓値の変換により値の揺れを解消するか、あるいは、値の読み出しの都度、辞書を参照し値の読み替えを行いながらデータを運用する。

<データの品質を評価する視点と主なデータ課題例>

◆ データの品質(データクオリティ)を評価する視点

	# 項目名(英語表現)		説明	
1 完全性(Completeness) データ値の欠損の有無、		完全性(Completeness)	データ値の欠損の有無、登録率(充填率)に関する視点。	
	2	正確度(Accuracy)	データの値が表現対象の実状態とどれだけ近いかを示す視点。	
3 整合性/一貫性(Consistency) データ値の整合性や一貫性があるかどうか		整合性/一貫性(Consistency)	データ値の整合性や一貫性があるかどうか。	
	4	適時性(Timeliness)	データ値が古すぎて、実態と異なっていないかどうか。	
	5	唯一性(Uniqueness)	唯一性が担保されるべきデータが重複していないか。	
6 精度/再現性(Precision) 記録		精度/再現性(Precision)	記録されたデータの再現性やバラツキについての視点。	
	7	有用性(Usability)	データや管理システムが必要な時に利用できるか、データの可用性に関する視点。	

◆ 主なデータ課題例

データ課題名	インフラ維持管理におけるデータエラー具体例				
データの欠損/外れ値 値が空欄(データ欠損)。他の値に比べ明らかに異なる値(特異値/外れ値)。 データの意味合いが混在 判定基準の仕様変更等により、値の表現が混在(8判定, A3判定等)している。					
					データ型/形式
スケール/単位	小数点の抜け/位置の誤り。単位が異なる(cmとmm)。				
データ配置 値が隣の列や別の列にズレて登録されている。					
表記ゆれ/表現の不整合	埼と崎、ICとIC、AとA、(1)と(1)、半角と全角スペース、等。				
データ省略表記	木村古舘橋→古舘橋				
複数の値が共存	カンマ区切り(A, B)や、範囲指定(078~090)等、一つのセルに複数の値が存在。				
重量データレコード 重複を許さない橋梁諸元データレコードが、同じ橋について複数登録されている。					
自由文での記録 損傷の規模や程度、現場での所感等の補足情報が、自由文で入力されている。					
データの機械可読性	点検記録や図面が、紙の台帳やPDF、画像データで管理されている。				

<データ調製の例>

◆ データ調製の例として、現場や工学知見に合う説明変数選定、業務における管理単位に合わせた値のカテゴリ化や集計、複数の台帳データテーブルの統合等があるが、いずれも、分析結果の業務における活用方法を想定して、分析の目的に応じたデータの調整を行うことが重要である。

データ調製 項目	目的	実施例
データ項目 の選定	分析性能や解釈性の向上ユニーク数、データ量の削減による分析負荷の低減	データテーブルから次のような項目を削除する:「分析目的に合致しないデータ項目」「完全性の低い(空欄率が高い)」「値がデータレコード毎に固有でユニーク数が多すぎる」「重複する項目」。
ダミー変数化	• 質的データを数値に変換し、 分析ツールで扱える形式にす る。	>「補修有り」という値(質的データ)を1や0の数値(量的データ)に変換する。
数値の変換	・ 分析や解釈に適した形式に数 値を変換する	▶「建設年度」を建設時からの「経過年」に変換し、新たな変数を作成する。▶「線形半径」データは、直線区間では無限大となるため値が登録されていないが、数値を逆数に変換することで「直線」を0で表現し、分析で扱えるようにする。
データ値 のカテゴリ化	 似たような値をグループ化して 分析性能や解釈性を向上する。 	分析に対して値の表現が細かく分かれすぎている場合などに、分析の粒度にあわせて複数の値をグループ化して変数の種類(アイテム数)を減らす。「張出し部(右)」と「張出し部(左)」をどちらも同じ「張出し部」に変換する。
集計単位 の調製	 データを把握する集計単位を解釈に合う粒度に変更する。 集計単位の異なるデータテーブルを統合する。 	▶ 路線に沿って連続的に存在する変状について、5m毎に発生件数を集計する。▶ データ取得、記録単位の異なるデータテーブル間で、片方のデータテーブルの集計単位に合わせ、他方のデータテーブルの値を集計する。
データテーブル の操作/統合	異なるデータセットを統合して 分析する。	 ▶ 複数あるデータテーブルを統合し、単一の分析用データテーブルを作成する。 ▶「位置情報(キロ程)」、「台帳番号」、「橋梁名・橋脚番号」など、データテーブル間に共通する変数を見出し、それをキーにレコード同士を対応付ける。

対象構造物や業務毎にデータの形式や特性が異なるため、データの意味や分析の意図をふまえた個別の対応が必要。

<データクレンジングの具体例①>

◆対象課題

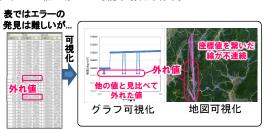
データ値が空欄になっている。あるいは、外れ値が存在する。

◆データエラー検出と修正の例

- データテーブル(表)の活用は、最も基本的と言えるデータエラーの検出手法である。データエラーの混入傾向を把握し、エラー修正の処理(ソフトウェアプログラム等)を作成し対応する事も可能。
- ▶ エラー検出作業においては、表計算ソフトウェアの「フィルタ機能」等の活用も有効である。
- あるいは、データ値をグラフ等で可視化することによる外れ値検出も有効である。図bでは、座標値に外れ値が混入した例を示しており、グラフや地図上への値のプロットによる外れ値の明確化を行った例である。このような外れ値については、両端の隣り合うデータ(最近傍データ)の値を用いて値を補間(2つの値の間の値を算出)することで値の修正が可能な場合も有る。

外れ値の発見 橋梁名 建設年 経過 点接時 センサ 年数 矢候 A # 会社名 管理事務所名 A社 A事務所 A橋 2000 /15 / 精 2.0 2 「空欄」 A事務所 A橋 2000 15 晴 1.5 A事務 所 a橋 2000 /15 | 晴 3 A± 1.5 4 A A事務所 0 25 晴 2.2 A₹t 1990 25 雨 1.0 6 A?± B事務所 C橋 1995 2.0 雨 1.0 Δ2+ D橋 1995 20 空欄 [空欄] R事務所

図a 表によるデータエラーの検出



図b グラフや地図可視化によるデータエラーの検出

<データ調製の具体例①>

◆調製の目的

➤ データ値の種類が多すぎる場合に、複数の値を一つにまとめカテゴリ化を行う。業務知識を反映して適切にカテゴリ化することにより、分析精度の向上や、結果の解釈性の向上も見込める。

◆調製の手順と効果

- ▶ 元値に対し、新たな値で代替する。値の変換表を準備し、変換作業を適用する。
- ▶ 下左図の例では、変状のある部位の名称について、分析に際して、分割単位が細かすぎる値をカテゴリ化している。これにより、データ値のユニーク数を減らし、結果の解釈性を向上させる。
- ▶ 下右図の例では、設計年データから、同じ設計を示す値毎にカテゴリ化している。これにより、設計年としての連続した数値情報だけでは得られない設計基準の変化情報を持つデータとする。



図a 質的データのカテゴリ化イメージ(1) ~部位名称のパラツキを減らす~



図b 量的データのカテゴリ化イメージ(2) ~設計年次情報を元に、設計内容に応じてカテゴリ化~

<データクレンジングの具体例②>

◆対象課題

空欄の発見

- ▶ 複数のテーブルデータを対応付ける際に、同じ意味の値に対して、複数の異なる表現が存在した。
- 異なる管理主体(自治体の差異、事務所の差異など)により情報の表現形式が異なる場合があり、個々の台帳やシステム毎のデータ値の揺れの解消は、データクレンジングの重要な課題である。
- ▶ 値の自由入力を許可しているデータ項目では、値の揺れは、さらに顕著な課題となる。

◆データエラー検出と修正の例

- ➤ データの基本的なユニークリストを、諸元やマスタ等から作成し、これを基本辞書とする。基本辞書に合致するデータを除外し、該当しないデータ値を抽出しデータ値のユニークリストを作成し、値を具体に目視し調べる。
- ▶ また、値の揺れを解消するだけでなく、値の揺れが混入する要因を考察し、改善を検討する。

表 データ値の揺れに対するクレンジング用データ値辞書例

変状種類						
#	データ値	値の揺れ(パリエーション)	値の ユニーク数			
1	ひび割れ	ひび割れ, ひびわれ, 06: ひび割れ	3			
2	土砂詰ま り	土砂詰まり、土砂詰り、 24: 土砂詰まり	3			
3	漏水	漏水, 19:漏水	2			
4	剥落	は〈落, 剥落	2			

	坦时性 //						
#	データ値	値の揺れ(パリエーション)	値のユニーク数				
1	地方主要道	地方主要道, 主要地方道	2				
2	一般都道府 県道	一般都道府県道, 一般県 道, 県道	3				
3	一級市道	市道1級, 1級市道, 1級市 道, 一級市道	4				
4	町道その他	町道その他、その他町道、 その他の町道	3				

<データ調製の具体例②>

◆調製の目的

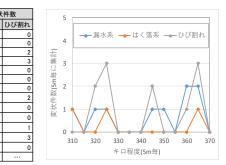
▶ 元データでは、変状発見箇所毎に、変状位置(キロ程)と変状情報が記録されている。路線上の変 状発生傾向として、実業務の管理単位である5m毎の変状発生状況を把握する。

◆調製の手順と効果

▶ 下図aの左表の元値に対して、変状位置のキロ程情報を元に5m毎の変状件数を集計し図a右表とする。データ調製の結果により、実業務の管理単位に見合った5mピッチの値によりグラフ化(下図b)が可能となるとともに、変状種類毎の件数を加味した分析が可能となる。

#	凡例	例 変状位置 (キロ程)		#	5m毎の	5mあたりの変状件数			
	NOTE IN SURE IN AREA			"	" キロ程	漏水系	はく落系	ひび害	
1	漏水•漏水痕	310.30			210				
2	はく離・はく落	312.63		-	310				
3	ひび割れ1mm未満	320.72		4	315	0	0		
4	ひび割れ1mm未満	321.81	.	5	320	1	0		
5	漏水 · 漏水痕	322.80		6	325	1	1		
6	ひび割れ1mm以上	326.81		7	330	0	0		
7	漏水 · 漏水痕	326.85	値を	8	335	0	0		
8	ひび割れ1mm未満	327.91		9	340	0	0		
9	はく離・はく落	327.93	5m毎に	10	345	1	0		
10	ひび割れ1mm以上	328.81	件数で	11	350	1	0		
11	漏水•漏水痕	347.50	まとめる	12	355	0	0		
12	ひび割れ1mm未満	348.56	0.200	-					
13	ひび割れ1mm未満	349.81		13	360	2	0		
14	漏水•漏水痕	350.80		14	365	2	1		
15	ひび割れ1mm以上	361.81		15	370	0	0		

図a 点検記録の変状データを5m区間毎に 件数を集計しカテゴリ化を実施(イメージ)



図b 5m区間毎の集計結果を グラフ上で確認(イメージ)

傾向分析により、劣化の分布や周囲環境との関係などの特性を把握し、さらなる分析や結果の解釈に繋げる。

<統計的傾向分析>

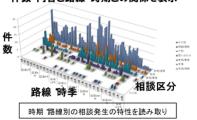
- ◆ 統計的傾向分析とは、統計量をグラフなどで表示することにより、データが有する全体的な傾向を 把握する分析手法である。(社会連携講座で定義)
- ◆ データの全体的な傾向を可視化することで、データの分散や 集中箇所等を把握し詳細な分析のための方向付けを行う。
- ◆ 具体事例①: データのヒストグラム(出現頻度分布)を描き、 頻出事案の傾向を探る(右図a)。
- ◆ 具体事例②:注目する条件(例えば路線・時季・時間)毎に、 値の平均・分散を算出し、データ出現の集中する個所を 把握する(右下図b)。

図a ヒストグラムの例(経過年数毎の度数)

表 統計量の具体例

統計量の例	説明
平均值	データの総和をデータ数で割った値。
中央値	データを大小順に並べ中央に位置する値。
最頻値	出現頻度の最も高いデータ。
分散/標準偏差	データのバラツキを示す数値。
最大/最小値	データの最大値/最小値。
範囲	データの最大値と最小値との差分。
尖度/歪度	データ分布の尖り度合い/非対称性を示す値。

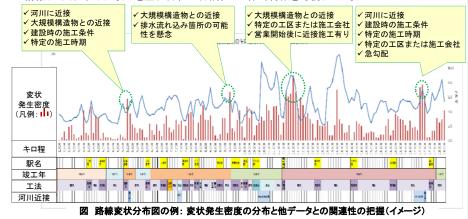




図b 時期・路線別の道路に係る相談件数

<路線変状分布>

- ◆ 変状等のデータを路線方向にグラフ描画することで、路線に沿ったデータ分布に基づき、変状や 補修実績等の集中箇所や特異箇所を直感的に把握できる。
- ◆ 下図の例では、変状集中箇所を抽出し業務知識に照らした気づきを得るため、路線方向での 100m単位の変状発生密度分布と、保有データの中から選定した変状発生の要因の可能性のある 情報(工法、河川下等)とを重ね合わせ、路線の全体的特徴を可視化した。



<時間的傾向分析>

- ◆ 不良ランクの劣化傾向のグラフ描画
- ▶ 2003年、2006年、2009年、2012年の4年分の点検データを対象として、年毎の構造物の「不良ランク」値をグラフにプロットした。不良ランクの変遷を直線近似することで、不良ランクの経時的変遷についての遅速傾向の把握を試行。
- ◆ 時間的変遷パタンの分類
- ➤ A~Eの不良ランクの変遷を非線形なパタンとしてとらえ、パタンの発生件数を調査した。下表の結果から、不良ランクがDまたはEに進展している例は、変遷パタンB-D(件数23件で表中6位)、C-D(件数5件で表中10位)、C-C-D-D/C-D-D-D/C-E-E-E(いずれも件数2件で表中15位)であった。そのうち、点検間隔である3年の間に2段階進展している例は、変遷パタンB-DとC-E-E-Eであった。

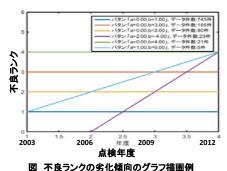
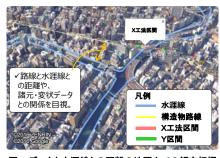


表 不良ランクの時間変遷パタンの例(上位10位迄)

2 1 2 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7								
発生頻度 順位	変遷パタン	発生 件数	D/Eに 進展	2段階 進展				
1	A-A-A-A	617						
2	C-C	183						
3	A-A	110						
4	В-В	48						
5	B-B-B-B	28						
6	B-D	23	0	0				
7	A-A-A	18						
8	D-D	17						
9	С-В	8						
10	C-D	5	0					

<地理的傾向分析>

- ◆ データの地理的分布傾向の把握のため、対象データに座標等の位置情報を付与し、地図上にプロットし、視覚的な確認を行う手法。例えば、地下構造物等に於いて、河川等の地上環境との関係などを把握し、詳細なデータ分析のための方向付けを行う。
- ◆ 構造物や平面的な分析だけでなく、標高や地下深さ等、3次元的な関連性を分析する事も有効。
- ◆ 具体事例①:点検結果の変状データと水涯線データとを地図上に重畳表示し、両データの分布に 基づく地理的な相関傾向を把握する(図a)。
- ▶ 具体事例②: データの出現頻度値を路線に沿って求め、地図上に表示(ヒストグラムの地図表示) し、データ出現の集中する場所を把握(図b)。



図a データと水涯線との距離の地図上での傾向把握



図b 路線毎の相談発生件数を地図上に表示し俯瞰

データに対する統計や確率に基づいた分析結果に対する考察を通じ、業務活用の方向性を発見する。

< 主成分分析>

- ◆ 主成分分析は、データの分散最大化を基準として、データの特徴を説明する合成特徴(主成分)を 求める。多次元のデータ項目間の相関を排除し、少数個の無相関な合成変数に次元の縮退(少な い次元に要約)する目的でもよく用いられる。
- ◆ 主成分分析では、分析対象データを特徴付ける成分(n個の説明変数の複合ベクトルで表現され る)を主成分として取り出すことが可能である。

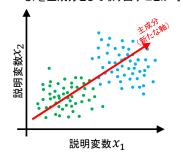


図2変数の合成による新たな主成分軸

多次元な説明変数を持つデータ群を、少な い次元でデータ群の特徴をとらえたい。その ような場合に、主成分分析を用いれば、いく つかの変数をひとまとめにした(複合的な) 新たな次元(軸)が得られる。

インフラ維持管理への適用例 変状発生経験のあるデータを対象とした主成分分析を実施。得られ た主成分毎の変数の寄与率を確認することで、主成分の変数構成を 調べ、主成分に解釈を与えた。解釈の際には、例えば、第一主成分 は「丁法+塩害」など、複数の変数の合成として考察を行った。 感潮河川 離隔距離 線形半径. 防水層施工 区間種別 主成分の 変数構成 100mあたり 工事日数 - FE 10 第2主成分 第1主成分 第3主成分 主成分の 解釈

図 クラスタ毎の変数構成調査による解釈

工法+塩害

軌道設計+竣工年

線形勾配+工事日数

<ベイジアンネットワーク>

- ◆ 複数の変数間の依存関係をベイジアンネットワークモデル(BNモデル)により、可視化する分析手 法。BNモデルは、「条件」と「結果」の間の関係性を「ネットワーク図」と「条件付き確率」という形で 可視化したもの。 インフラ維持管理への適用例
- ◆ 今回の分析では、点検データおよ び関連データにおける各種諸元 を「条件」として、点検結果による 不良有無や損傷評価ランクを「結 果」とした場合に、『入手したい 「結果」に繋がる「条件」』や『ある 「条件」から発生する「結果」』を確 率として、予測する。



点検データや諸元データを説明変数とし、ベイジアンネットワークモデル による可視化を行い、説明変数間の依存関係を調査した。

目的変数(不良経験有無)が変動した場合の説明変数の分布割 合の変動を調べ、B Nモデル構築における影響度の高い説明変数を

確率推論結果におけ	上蓋不良経	倹がある場合	※不良経動	ぬりで多か	ったものの	数値
値手推論和来におけ る説明変数の変化	<u>に</u> 、ない場合 かった項目	と比較して多	初期割合	不良経験あり①	不良経験 なし②	1)-2)
1) 鉄蓋種類補正		が多い	11.03%	33.91%	9.73%	24.18%
2) 支社名		が多い	13.75%	27.74%	12.96%	14.78%
3) 鉄菱形		が多い	67.16%	75.58%	66.65%	8.93%
4) 県域		が多い	3.29%	12.58%	2,79%	9.79%
5) 首部構造		が多い	20.64%	24.67%	20.43%	4.24%
6) 道路種別1		が多い	31.45%	34.21%	31.26%	2.95%
7) MH建設年規格		が多い	62.05%	63.51%	61.97%	1.54%
8) 占有位置		が多い	48.29%	49.45%	48.25%	1.20%
9 首部長集計		が多い	26.98%	27.71%	26.92%	0.79%
10 MH形		が多い	75.79%	76.58%	75.75%	0.83%

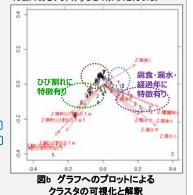
<クラスター分析(クラスタリング)>

◆ 対象とするデータを説明変数としてデータレコード同士の類似性を調べ、部分集合(クラスタ)に分 割する手法。分割により得られた部分集合は、クラスタと呼ばれる。

インフラ維持管理への適用例

クラスタ毎の説明変数の構成を表により確認することで、分析により 得られた個々のクラスタの特徴を把握し、クラスタの解釈を行った。 下図の例では、トンネルのはく離はく落発生区間を対象とした分析 において、例えば、「CL5のクラスタは潜函工法でコールドジョイント の多い区間」である事や「CL7のクラスタは構造変化点を多く含み 漏水系変状が多い区間」である事などが抽出された。

変状(クラスタ内平均値) 図a 説明変数構成の確認によるクラスターの解釈 個々のデータをクラスタラベルを付記し、グラフ にプロットした。その結果より、「ひび割れに特 徴のあるクラスタ」や「腐食/漏水/経過年に 特徴のあるクラスタ」などの解釈を行った。

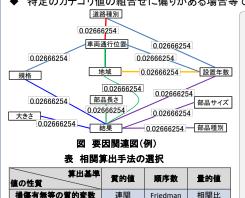


<統合多重相関分析[†]>

- ◆ 質的データと量的データが混在するデータに対して、データ相互の関連性を比較することを目的と した分析手法。膨大なデータ項目とデータ量から、目的変数に対する説明変数の相関を算出する 他、説明変数間に生じる相関も算出が可能である。
- ◆ 関連性があるデータ項目同士を結んだネットワーク図により可視化が可能である。(図)
- 値の性質により、相関の算出手法を選択し、相関算出手法間の相関値換算を行う。(表)
- ◆ 特定のカテゴリ値の組合せに偏りがある場合等では、結果の信頼性低下に注意が必要である。

データ項目

1 高架下条件



Friedman

順位相関

順位相関

インフラ維持管理への適用例

データ種別 寄与

質的 0.455

高速道路橋床版の損傷有無に対する説明変数との関 連について、統合多重相関分析により寄与を調べた。

2 点種別	質的	0.376
3 点検名	質的	0.363
4 上部工形式	質的	0.299
5 床版種類	質的	0.166
6 路線名	質的	0.161
7 親切適用基準	質的	0.114
# データ項目	データ種別	寄与
# データ項目 1 年度	データ種別量的	寄与 0.086
1 年度	量的	0.086
1 年度 2 橋梁経過年数	量的 量的	0.086 0.015
1 年度 2 橋梁経過年数 3 主析最大高さ	量的 量的 量的	0.086 0.015 0.014
1 年度 2 橋梁経過年数 3 主析最大高さ 4 累積大型車交通量[千台]	量的 量的 量的 量的	0.086 0.015 0.014 0.014
1 年度 2 橋梁経過年数 3 主析最大高さ 4 累積大型車交通量[千台] 5 主析最小高さ	量的 量的 量的 量的 量的	0.086 0.015 0.014 0.014 0.014

損傷ランク等の量的変数

推定や判別においては、手法によって分析性能や結果の示し方が異なる。目的に応じて、最適な手法を選択して分析を行う。

<重回帰分析>

- ◆ 一つの変量を複数の変量の式で説明する分析手法。対象データが量的データの場合に適用し、 将来状態の予測等を行うことができる。
- ◆ 判別分析は2値分類問題に適用するが、重回帰分析では、分析目標が2値ではなく連続した変数 の場合に適用が可能。

複数の説明変数 $x_i(i = 1, 2, ..., N)$ を入力 変数とする回帰式により、目的変数ンを 求める。

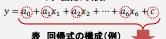
回帰式:
$$y = a_0 + \sum_{j=1}^{N} a_j x_j$$
, $j = 1, 2, ..., N$
= $a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + ... + a_N x_N + c$

- y: 目的変数
- x_i : 説明変数
- a: 回帰係数(データ毎の寄与に関与)
- c: 定数
- 図 回帰分析(単回帰/重回帰分析)のイメージ

インフラ維持管理への適用例

トンネル上床のはく離・はく落変状発生について、諸元デー タや過去の変状データを説明変数とし、重回帰分析により、 回帰式を得た。質的変数は、全て数値に変換しており、 回帰係数により、変数毎の寄与を大まかに把握できる。

式 同帰式(例)



回帰式の構成(例)
----------	---

入力(説明変数)			
記号	記号	値	
<i>x</i> ₁	a_1	0.010	
x2	a ₂	0.013	
<i>x</i> ₃	a_3	0.013	
<i>x</i> ₄	a_4	-0.061	
<i>x</i> ₅	a_5	-0.022	
<i>x</i> ₆	a_6	0.052	
_	c(定数)	0.130	
	x ₁ x ₂ x ₃ x ₄ x ₅	x1 a1 x2 a2 x3 a3 x4 a4 x5 a5 x6 a6	

<統合回帰分析(健全度値非線形最適化)[†]>

- ◆ 推定(一つの変数を複数の変数から推定/予測/説明/判別する)を目的とした分析であり、目的変 数を量的データ、説明変数を量的データと質的データの混合データにて行う手法である。
- ◆ 損傷のランク【1,2,3,4,5・】を推定する分析の場合に適用が可能。
- ◆ 量的データと質的データとが混合したデーセットを対象とした推定を行うが、量的データについて は重回帰分析、質的データについては数量化理論I類を適用する。

①目的変数となる健全度値(I·I·II·II·IV·V)を1~m (5<m≦100)の値に変換(非線形変換)

健全度値

変換値(例)

Ex: (I~V) (1,3,7,19,42) (1,5,9,21,55).. 組合せ数 100-1 C

②健全度値の整数化(I~V)は、4つの手法にて検証

- 整数化4手法: 1)切り上げ:推定値を直近の変換値に切り上げ
- 2) データ数配分: 予測値のデータ数割合が学習データの割合しなるように配分
- 3) 尤度最大: 学習データの健全度毎の分布から尤度最大の健全度を予測
- 4)修正尤度最大:(3)における健全度分布をデータ割合で修正
- ③健全度非線形値の全ての組合せ×4手法=15.057.504通りで 予測手法を適用し予測を試行

⑤平均含有率最大の組合せにて最適化 含有率最大の組合せを採用)

例えば、推定健全度値ⅢとⅣの境目が補修の判断に使用し、 する場合は、「▼以上」「Ⅲ以下」の平均含有率の最大の組み合わ せを用いる。

図 統合回帰分析の実施手順

インフラ維持管理への適用例

現場技術者の損傷ランクの判定結果の評価確認や補 修対策優先度の補助、健全度低下要因抽出に基づく 点検要領改訂に活用。

整数化前健全度値の序列を活用し 対策優先度の立案/決定の補助

径間 径間 上 劣化 健全 整數前(自)(至)下 機構 度 推定値
 A1
 P1
 上
 疲労
 皿
 3.86

 A1
 P1
 下
 疲労
 皿
 3.42
 P1 A2 上疲労 Ⅲ 3.33 健全度判定業務の評価チェック

健全度(推定値)

0 1,624 185

推定値によ る優先度

整数化前

п ш и v 0 282 損傷見落と 0 1,178 1,214 0 163 150 3 0 316 し確認 0 1 0 5

<損傷予測寄与分析[†]>

- ◆ 質的データと量的データが混在する説明変数と、目的変数との関連性を比較することを目的とした 分析手法である。
- ◆ 説明変数を用いて目的変数を予測する判別分析結果を用いて説明変数毎の寄与度を算出する。 説明変数は質的データと量的データの異なる性質が混在しているため、判別分析として量的値 については正準判別分析、質的値については数量化理論Ⅱ類を用いる。
- ◆ データ全体の中で必要なデータ項目が抽出できる 点や、量的データ項目と質的データ項目間の 寄与度を比較できる点、さらにデータ全体の寄与 がわかるなどの長所を持つ。だだし、単独としては 関連性が高いデータ項目であっても、予測が他の データ項目の組合せで代替できる場合、寄与度が 低く算出される場合がある点に留意が必要。
- ◆ 寄与算出
- ▶ 判別分析:各データの線形結合(判別間数)の値 (判別スコア)の正負で結果を判定(予測)する。
- ▶ 判別関数のデータに対応する項の変動の大きさが 判別スコアへの影響力となる。
- 量的値の場合:項=判別係数×データ
- 質的値の場合:項=質的値に相当する判別係数
- ▶ 寄与三判別係数×データの標準偏差(量的値)。
- ▶ 寄与三データ値毎の判別係数をデータ値と見做し た場合の標準偏差(質的値)。

インフラ維持管理への適用例

道路橋床版のは〈落変状発生に対し、損傷予測寄 与分析を用いて変数毎の寄与度を調査。

順位	データ項目名 寄与度		データ項目の タイプ
1	路線名	0.921278	質的
2	床版補強要因	0.474730	質的
3	その他補強形式	0.464178	質的
4	基層使用材料	0.260823	質的
5	配力筋径	0.233276	質的
6	本線ランプ区分	0.137033	質的
7	主桁平均間隔	0.118105	量的
8	主鉄筋間隔	0.102575	量的
9	主桁本数	0.083775	量的
10	設計荷重	0.046254	質的
11	主桁平均高さ	0.039610	量的
12	主桁径間数	0.038548	量的
13	配力筋間隔	0.036050	量的

 ⟨bias補正混合判別予測† >

◆ bias補正混合判別予測手法は、対象とするデータレコードを2つのクラスに分類する判別分析手法 である。特に、質的データと量的データが混合しており、なおかつ正解値の分布に偏りのある不均 衡データに有効な分析手法である。

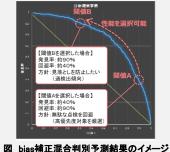
21

- ◆ 量的データと質的データとが混合したデーセットを対象とした判別分析を行うが、量的データにつ いては正準判別分析、質的データについては数量化理論Ⅱ類を適用する。
- ◆ 目的変数となる変状有無等のデータ件数に偏り (変状無≫変状有)がある場合には、予測の正解 率最大化を最適化基準とすると、全て「変状無」 と判別するモデルが最適解となる場合がある。 しかし、このモデルは業務での活用が見込めな いため、変状有無を判別する「厳しさ」を閾値と して設定し予測結果を補正(bias補正)する。
- ◆ 分析により得られる「事後確率」の値に対し、判 別を行うための閾値にbias補正を適用すること で予測結果が変化する。
- ◆ bias補正により判別内容を調節できるが、発見 率や回避率等の指標等により評価を行い、業務 に適した補正値を獲得する。
- ◆ 事後確率の降順でデータを整列した結果は、点 検優先度として用いることができる。
- ◆ <損傷予測寄与分析>を用いて説明変数の寄 与を算出できる。

インフラ維持管理への適用例

9

道床変状の推定において、変状有りのデータレコード の割合が1%未満であり、偏りのあるデータであったた め、bias補正混合判別予測による分析を行った。



所定の分析性能が確保されるよう分析モデルの設計を実施し、業務活用の範囲の検討のために、性能を多角的に比較。

<データ分析/実施の方法>

- ◆ 基礎的な可視化手段も含め、インフラ管理分野で有効と思われる傾向分析手法を「統計的傾向分析」、「時間的傾向分析」、「地理的傾向分析」の3種に類型化した。
- ◆ 多変量解析等を中心とした推定だけでなく、データの構造を分析するルール抽出もインフラ維持管理分野では有効であると考え、「ルール抽出」と「推定」双方の分析手法について類型化した。

表 データ分析手法の類型化例

表 ナータ分析手法の類型化例									
区分	分析の目的		勺変数		説明変数(独立変数)				
巨刀	分析の目的	(従属	【変数)	量的	質的	質/量混合*			
休乱机械内八七	値を把握			·表可視化(個々の	・ 0値を把握),・統計量算出(代表値を把握)			
統計的傾向分析	データ分布を把握		ha I	•散布図,	・ヒストグラム(度数分布を	把握)			
地理的傾向分析	空間分布を把握	/	はし	·路線傾向把握(路線上の)分布を把握),・地図可視(比(地理的分布を把握)			
時間的傾向分析	時間変遷を把握			・時間	傾向把握(時間変遷を把排	E)			
		あり	質的			·損傷予測寄与分析			
	データの相関/ 共起を調べる			·相関図 ·相関係数 ·因子分析	・クロス集計 ・アソシエーション分析 ・ベイジアンネットワーク	·統合多重相関分析			
ルール抽出 (探索的 データ分析)	データの相違を 調べる (仮説検証)	t	はし	・t検定(対応の無い2変数) ・F検定(2変数) ・分散分析(3変数以上)	・カイニ乗検定(2変数間 /3変数以上)				
	データ削減(縮退/ 要約)			·主成分分析(PCA)					
	類似性評価/クラスタ			・クラスター分析 ・数量化Ⅳ類	·数量化Ⅲ類				
推定	量の推定 (回帰)		量的	・重回帰分析	・数量化Ⅰ類	•統合回帰分析			
(多変量解析/ 機械学習)	質の推定 (判別/識別)	あり	質的	·判別分析 ·決定木分析 ·SVM	・数量化 Ⅱ 類 ・アソシエーション分析	·bias補正混合判別予測			

<解釈/評価の方法>

- ◆ 2つの値(クラス)への判別結果の正答/誤答の評価においては、混同行列を用いる。
- ◆ その上で、混同行列の各セルの値から求 まる性能評価指標(右表)により性能を評 価する。業務応用の目的に合わせて、適 切な指標を選択し、評価を行う。

表 混同行列(Confusion Matrix)

		推定や判	推定や判別の結果				
		正と推定 (P:Positive) 負と推定 (N:Negative)					
Į	正例 (P:Positive)	TP:True Positive (Pと推定して正解)	FN:False Negative (Nと推定して <mark>不正解</mark>)				
値	負例 (N:Negative)	FP:False Positive (Pと推定して <mark>不正解</mark>)	TN:True Negative (Nと推定して正解)				

表 判別における性能評価指標の例 (混同行列に含まれる項目を用いて算出)

分析手法	評価指標	算出方法	説明(直観的理解)
	発見率	TP/ (TP+FN)	変状ありをどれだけ 取りこぼさず見つけ られるかを評価
bias補正混 合判別予測、 統合回帰分	回避率	TN/ (FP+TN)	変状なしをどれだけ 正しく見つけ、無駄 な点検を回避できる かを評価
析	平均 発見率と回避 含有率 率の平均値		取りこぼしの無さと、 無駄な点検を回避す る効率性とのバラン ス
	精度	TP/ (TP+FP)	変状ありの正答率。
損傷予測寄 与分析	影響度	データ分析実 施の概要を参 照	各説明変数項目 の目的変数に及 ぼす影響の度合

<分析手法の一覧>

- ◆ 各企業の分析目標は、各種諸元・点検結果等の情報から損傷や劣化の有無を判別すること、その 損傷や劣化に対する各種諸元・点検結果の影響度を求めること、に大別される。
- ◆ 目的変数として質的or量的データの判別、説明変数として質的/量的データ混在であることから、使用した分析モデルは、bias補正混合判別予測、損傷予測寄与分析、統合回帰分析が主である。

長 分析手法の一覧

	衣 方領于法の一見								
			分析	斤手法の分類		使用する			
対象	分析概要	区分	分析目的	目的 変数	説明 変数	分析モデル			
シールド 洞道	詳細点検要否判別モデルを構築し、詳細点検要否 の確からしさと要否判別に及ぼす説明変数の影響 度を把握	判別	2値判別 影響度	質的データ	質/量混 合	bias補正混合判別予測、 損傷予測寄与分析			
	早期摩耗の鉄蓋を判別することを目的として、bias 補正混合判別分析を適用。あわせて、磨耗への影 響度を把握	判別	2値判別 影響度	質的データ	質/量混 合	bias補正混合判別予測、 損傷予測寄与分析			
トンネ ル上床	上床はく離・はく離有無の判別を行い判別結果の 路線分布を把握する。はく離はく落への影響度が 高い変数を抽出	判別	2値判別 影響度	質的データ	量的デー タ	数量化/標準化線形判別 分析			
RC床版	RC床版のハンチ部に損傷が生じている橋梁の判別予測を実施	判別	2値判別 影響度	質的データ	質/量混 合	bias補正混合判別予測、 損傷予測寄与分析			
RC床版	RC床版を対象に径間単位の健全度(I~V)を統合回帰分析により推定し、推定性能の検証と推定に係る影響項目を把握	推定	量的デー タの推定 影響度	量的データ	質/量混 合	統合回帰分析			
道床	道床補修候補箇所の判別を行い、道床補修有無 に及ぼす説明変数の影響度を把握	判別	2値判別 影響度	質的データ	質/量混 合	bias補正混合判別予測、 損傷予測寄与分析			

<分析手法の一覧>

- ◆ Closed/Cross validationにより、所定の分析性能が確保されるよう分析モデルの設計(学習データの設定、判別データの設定、分析モデルの選択)を検討し、有効な分析手法を構築する。
- ◆ 業務活用の範囲の把握することを目的として、様々なデータセットを用いて分析を実施し、多角的な性能比較(対象の路線/管理局、使用データの年度、特徴に応じたデータ分割/統合)を実施。

表 分析性能の評価手法の一覧

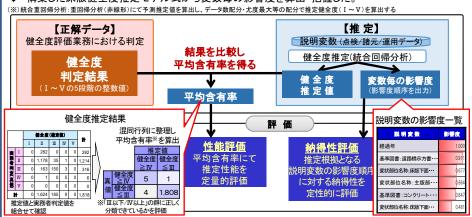
Ī	対象	分析性	能の評価手法(データ区分、実施概要)	分析モデルの性能比較 (概要)
	シ ー ルド 洞道	Closed validation	シールド洞道の諸元/点検データと詳細点検要否 判定結果から判別モデルを構築し、判別結果を要 否判定実績と比較。	点検データが追加更新されることを想定し、学習データに直近の 判定結果を加え、データの更新による詳細点検要否判別モデル の性能を把握する。
	マン ホール 鉄蓋	Cross validation (5 fold)	全国の鉄蓋データセットからランダムに4/5を 抽出して判別モデルを構築し、残りの1/5でテ ストを行い、汎化能力を検証	全国の鉄蓋データを用いて、平均含有率最大点と業務活用を考慮した閾値の2つの場面において、発見率と回避率の関係を検証する。
		Cross validation (5 fold)	対象区間をランダムに5分割し、そのうちの4 区間のデータで判別モデルを作成し、除外した1区間で判別結果と上床のは〈離・は〈落 データとを比較。	判別モデルの対象範囲や他路線への適用可能性を確認するため、路線間の分析性能の比較や、路線内における判別モデル分割による分析性能の変化を把握。
	RC床版	Cross validation (3 fold)	径間単位データセットからランダムに2/3を抽出し判別モデルを構築し、残りの1/3でテストを行い、汎化能力を検証。	業務に活用する判別モデルの対象範囲を検証するために、管理局(3局)ごとに、損傷の有無の判別分析を実施し、管理局間の判別性能や損傷に影響する特徴を比較。
	RC床版	Closed validation	諸元/運用/設計基準/点検データからRC床 版の径間毎の健全度推定モデルの構築し、 分析性能や影響度を検証する。	健全度評価業務に適合した推定モデルを構築するため、『疲労/ 塩害/その他』の劣化機構毎の健全度推定モデルを構築し比較 検証する。
	道床	Closed validation	判別性能や説明変数の影響度について、年 度間の比較を実施し、判別モデルの安定性を 評価。	業務に活用する判別モデルの対象範囲や学習に使用する対象 路線等を検証するために、路線間の分析性能の比較や、判別モ デルの複数路線の統合による分析性能の変化を把握する。

1-7 分析性能の評価の事例

特徴に応じたデータ分割/統合や、複数路線による検証により、分析モデルの業務活用の範囲を把握。

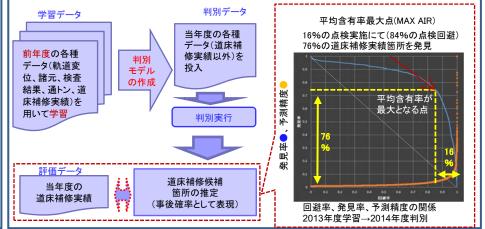
< 床版健全度推定モデルの構築>

- ◆ 床版の健全度を推定するため、過年度の健全度(目的変数)、点検データ、諸元データ、環境デー タ等(説明変数)を用いて、統合回帰分析(健全度値非線形最適化)(※)で健全度判定結果を「Ⅲ 以下」と「Ⅳ以上」の判別結果が平均含有率最大となる(床版健全度推定モデル)を構築し、床版の 健全度I~Vの推定値と実際の判定結果とを比較・評価した。
- ◆ 構築した床版健全度推定モデル式から変数毎の影響度を算出・把握した。



<道床補修判別モデルの構築>

◆ 道床補修の必要性の有無を判定するため、前年度の補修実績(目的変数)、軌道変位、緒元、検 香結果等のデータ(説明変数)を用いて、Bias補正混合判別予測で平均含有率最大となるモデル (道床補修判別モデル)を構築し、道床補修"要"の確からしさ(事後確率値)をもとに、道床補修候 補箇所の推定を行い、当年度に道床補修を行った実績と比較した。



< 劣化機構毎の健全度推定モデルを構築し性能を比較>

- ◆ 健全度評価業務のモデル化の検証として、実業務に合わせて劣化機構『疲労』『塩害』『その他』毎 の推定を実施し、モデル間の推定性能と説明変数の影響度を比較検証した。
- ◆ 推定性能は平均含有率で『疲労』では91.6%、『塩害』では97.8%、『その他』では100%の性能を 確保。影響度は各々の劣化機構と関連のあると考えられる項目が高影響となることを確認した。



8 床板下面.継目部.鉄筋の露出.腐食.A2

<路線比較および路線統合等による道床補修判別モデルの判別性能の変化を分析>

- ◆ 判別モデルの業務活用範囲の検討を目的として、路線間や事業所間の判別性能を比較した。
- 都市路線に対し、地方路線では、判別性能が低下した。
- ◆ 単独路線かつ同一管理事業所内の判別性能に対し、複数路線混在型では判別性能の低下は確 認されないが、学習と判別データとで管理事業所が異なるケースでは、判別性能が低下した。

分析ケース	単	独路線かつ同一	複数路線混在	同一路線 管理事業所間		
路線名(都市路 線or地方路線)	都市A (13km)	都市B (32km)	都市B (20km)	地方C (78km)	都市A+B (13+32km)	都市B (32+20km)
管理事業所名	а	а	b	С	а	a•b
分析対象年	2012~2015	2013~2016	2014~2016	2015~2016	2013~2014	2015~2016
学習データ	前年のAa	前年のBa	前年のBb	前年のCc	前年の(A+B)a	当年のBa
判別データ	当年のAa	当年のBa	当年のBb	当年のCc	当年の(A+B)a	当年のBb
判別性能(平均 含有率最大)	72~77%	83~85%	75%	69%	80%	73%
考察	データ数による半あるが、一定程度 都市路線に対し1 量化できていなし	を の性能は確保	生能が低く、説明		複数路線混在の 判別結果は、A路 線とB路線の判別 結果の中間的な値 となっている	同一事業所内の判別 性能に対し性能が低 下している。学習デー タと判別データ間にお いて技術者判断が異 なっている可能性あり

8 床版 健全性に影響を与える補係有無

土木工学的な知見を踏まえ、有用性/納得性について解釈

<分析結果の解釈>

- ◆ 構築されたモデルを業務に適用するには、研究で得られた分析性能が業務上有効であることに加えて、各種の業務場面においてもモデルの安定性や汎用性が求められる。(有用性)
- ✓ 各企業における利用場面、業務内容などを想定し、路線別、劣化要因別、部位別等の複数ケースにおいて分析を実施し、モデルの有用性を評価した。
- ◆ 構築されたモデルが現場に受入れられるには、分析性能だけでなく、説明変数の内容や影響度が、 工学的な知見や現場技術者の感覚と整合しているかも重要である(納得性)。
- ✓ 選択された説明変数や影響度と現場の感覚とを比較・評価し妥当性を確認した。

表 分析結果の解釈の視点の一覧

分類	視点	視点の概要	業務活用に向けた 今後の対応
	分析結果 (発見率・回 避率等)の 有効性	・発見率90%、回避率90%等、評価指標が同じ値であっても、業務活用の方法に応じて評価が異なる。 ・業務の代替、点検優先順位付け、判断の補助データとして活用等の方法に応じて、リスク重視、コスト重視など評価の視点は異なる。	性能評価・データ特性を踏まえ
有用性	判別モデル の安定性	・データ分析に使用するデータは、点検結果や補修実績など時間とともにデータが蓄積・更新されるものが多い。 ・直近のデータを追加した場合に、判別結果及び説明変数が大きく変化せず、モデルの安定性が確保されることが重要。	・分析手法の見直 ・対象データの拡充、データ調製方法の変更 ・分析性能に応じた現場活用の
	判別モデル の汎用性	・データ分析対象となる施設や地域的な広がりが異なる場合、それぞれ対象毎に分析手法を構築し判別性能を比較、検証。 ・構造特性や劣化特性が類似する事象をまとめるなど、分析対象となる範囲を適切に設定することで、当該対象範囲に対して性能が高く汎用性のある判別モデルを構築できる可能性がある。	方法を検討
納得	工学的な知 見との整合	・データ分析モデルから得られる各説明変数の影響度や判別結果を可視化し、 構造力学や劣化メカニズム等の工学的な知見と整合しているかどうか評価。	・納得性の評価を踏まえた分析 手法の見直し・深堀
性	現場技術者 の感覚との 整合	・データ分析モデルから得られる各説明変数の影響度や判別結果を可視化し、現場での環境条件や劣化傾向、現場技術者の暗黙的な知見、と整合しているかどうかを評価。	・データ調製方法の変更 ・分析結果の可視化、現場担当者による評価の反映

表 分析結果の解釈の一覧

対象物	有用性	納得性
シール ド洞道	発見率100%となったことから、判別結果の「業務への有用性」と して判断スピート向上/判断結果への安心感に繋がることを確認	「鉄筋腐食」は技術者の判定に高影響を及ぼす項目であり、納得感が得られた。「漏水」 は変数間の相関こよ影響度は漏が生じる結構特性を説明、納得を得た。
とう道	実務に活用可能な優先順位付けが可能となったが、 更なる維持管理の効率化に向けて判別モデルの更 なる精度向上を目指す。	空洞調査を実施した9とう道について、理想順位と推定順位の関係にある程度の相関が確認され、判別モデル式が有効であったと評価。
マン ホール 鉄蓋	十分な効果があったものの、更なる維持管理の効率 化に向けて、点検周期の延長及び点検稼働の省力 化を検討する。	摩耗要因である車両適過との相関を抽出しており、摩耗カニズムや経験に合致する 納得性の高い説明変数となった。
トンネ ル上 床	条件により対象を絞ることで、変状発生の傾向が揃い、判別結果が向上したと考察。	路線毎に、環境(地質,河川離隔距離)や工事当初の状況(工事日数、 民地下)等の要因を考察し、一定の納得感を確認。
RC床 版	RC床版ハンチ部の損傷の可能性がある橋梁(径間) を予測し、点検業務の活用に概ね寄与できる。	影響度の高い説明変数は、供用期間や損傷に関する説明変数であり保 全担当者が認識している影響項目と一致しており納得性が得られた。
RC床 版	劣化機構毎にモデル化したことによって性能が向上し、業務に 有用なモデルの構築に繋がった。	影響項目は劣化機構毎の劣化メカニズムに適合する項目が高影響となり、納得感が得られた。
道床	判別モデルの汎用性・安定性は確保されたが、業務 活用のためには精度の改善が必要。	影響の高い説明変数は道床補修の可否を判断上重要な項目であり、説 明変数の影響度結果は、現場の感覚と概ね合致。

コスト縮減やリスク低減効果等の業務改善効果を評価

<業務改善効果の評価>

- ◆ データ分析の結果を現場業務等に展開した場合の業務改善効果は、時間縮減、コスト縮減、リスク低減等の定量的なものと技術力の向上等の定性的なものが考えられる。
- ◆ 時間短縮・コスト縮減は、対象業務における会議資料や作業手順の簡素化、点検周期の見直し により、リスク低減は、点検時の注意喚起、点検作業の実施順の改善により、達成できる。

表 業務改善効果の評価の視点の一覧

業務	改善効果	業務改善効果の概要
	作業速度 の向上	分析結果を活用することによって、これまでと比べて資料作成等の作業速度が向上し、その結果、 作業に要する時間が縮減される。
時間 縮減	対象の 絞り込み	分析結果から点検対象を1次スクリーニング等により絞り込み、2次点検を行うことで、すべて点 検を実施する工程に対し、業務時間が短縮される。
	優先順位の設 定	分析結果から得られた事後確率値をもとに優先順位を設定することで、所定の目標数に到達する 期間が短縮される。
	無駄な業務の 回避	劣化が進んでいない対象物の確認作業を回避することで、不用なコストを削減できる
コスト 削減	実施頻度の削 減	点検周期等の延伸により点検頻度を下げることができ、業務の委託費等の軽減によりコストが縮 減される。
	業務の 簡素化	分析結果から導出された影響度や現場での要注意事項を参考に、現場での点検箇所や記録する 内容にメリハリをつけ、業務を簡素化する。
リスク	見落とし防止	分析結果を各種業務の補助資料として活用することで、注意喚起や再確認により、損傷等の見逃 し防止によるリスク低減が図られる。
低減	早期発見	分析結果を用いて、損傷が多いと判別される箇所から優先的に点検することで、損傷を早期に発 見し措置することで、リスク低減が図られる。
技術力向	データの 可視化	傾向分析や影響度の分析など、データ分析の結果を可視化することで、現場の状況を客観的な データとして理解できる。
上	知見の共有	熟達者が暗黙的に判断していた内容を客観的なデータで表すことで、判断の根拠などを共有でき る。マニュアル等に反映して業務を高度化する。

表 業務改善効果の評価結果の一覧

対象物	作業速度		業務改善効果の概要
シールド	時間縮減	作業速度 の向上	モデル判別結果を判定資料に加えることによる資料削減と会議時間短縮。
洞道	リスク 低減	見落とし 防止	一次点検結果にて要否判別対象外とした箇所に対しモデル判別を実施することで、潜在的に詳細点検"要"となる可能性のある箇所の見落としを防止。
とう道	リスク 低減	早期 発見	精密点検の実施優先順位を設定することで、危険空洞の早期発見、早期解消を図り、とう道 の崩落リスクを低減する。
とう追	コスト削減	無駄な業 務の回避	判別モデルから得られた判定(推定空洞数=0)のとう道について、空洞調査を経過観察(詳細点検はせずに定期点検時の観察のみ)とすることで、コスト削減。
マンホー ル鉄蓋	コスト削減	実施頻度 の削減	摩耗しにくいものは、現行の点検周期から延伸することで、年間点検数換算で1.8万個の点 検対象の削減が可能となり、コスト削減の効果は、0.9億円/年が見込まれる。
トンネル 上床	時間縮減	対象の 絞り込み	判別モデルによる結果が「悪くない」区間からの順位付けにより、「打音点検対象外区間」を 設定することで、点検に要する時間や工期が短縮し、作業時間低減に寄与する。
RC床版	リスク 低減	見落とし 防止	従来点検と可視化資料を用いた点検の試行実証を比較した結果、可視化資料を用いた場合により多くの損傷の発見でき見落とし防止によるリスク低減に貢献。
RC床版	リスク 低減	見落とし 防止	推定結果が「IV以上」の箇所に対し、実務者判定が「II以下」の箇所を再確認をすることで、 潜在的に健全度が低下している箇所の実務者の見落としを防止することに貢献。
RU床版	時間縮減	対象の 絞り込み	推定結果が補修の対象/候補でない「I以下」の箇所に対して、健全度評価資料で時間がかかるバネル判定作業の省略をすることで、全体の9割程度の作業を削減できる。
道床	リスク 低減	早期発見	bias補正による事後確率値から算定した優先順位付けにより、道床交換の施工時期の適正 化が図られ、早期に補修すべき箇所の計画的な実施によりリスクを低減する

 / 盤はく裕米) むすさしい 位200区間)

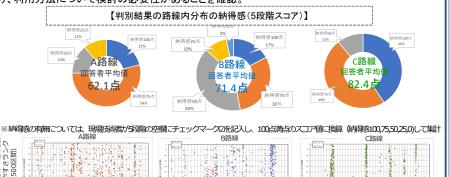
現場技術者に対するアンケート・ヒアリングにより有用性/納得性を確認した上で、分析結果を現場の実業務へ適用し、業務改善効果を検証

分布が特定区間に集中

現場感覚に合致し有用

<アンケートに基づく判別結果に対する有用性評価>

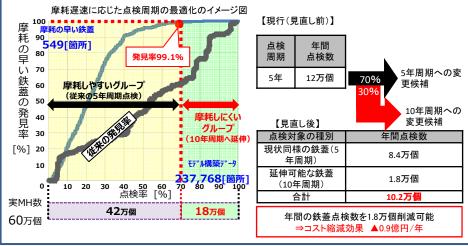
- ◆ キロ程に沿って『判別モデルによる浮き・はく離の起こりやい区間』の判別結果を事後確率が高い 順に表示したところ、判別結果が集中している区間は現場経験に照らして変状が多いと認識してい る区間であり、B路線やC路線では現場への適用可能性があることを確認した。
- ◆ 一方、A路線のように分散している場合には、どこが悪いのかわかりづらいという意見が得られてお り、利用方法について検討の必要性があることを確認。



判別結果の路線分布

<分析結果を活用したグループ分け(摩耗遅速)による年間点検業務コストを縮減>

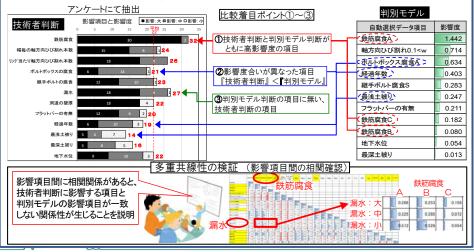
- ◆ 点検データの70%相当で、摩耗の早い鉄蓋の99%を発見できるため、点検対象の30%は点検周期 を延伸(点検コストを縮減)することが可能になる。
- ◆ 現行の5年周期の年間点検鉄蓋数12万個に対し、点検周期見直しにより10.2万個(1.8万個削減)ま で削減でき、業務コスト換算として、0.9億円/年の削減を期待。



< 技術者ヒアリングによる判別モデルの納得性評価>

分布が路線全体に分散

- ◆ 技術者が詳細点検要否判別時に影響のある項目をアンケートにて抽出、判別モデルの影響項目 との比較着目ポイントをまとめ、技術者と影響項目について議論しモデルの理解と納得性を確認。
- ◆ モデルによる判別の根拠となる影響項目に対しては、統計特性である多重共線性について説明し、 項目間の相関関係を検証し影響関係を把握することで納得感が得られることを確認した。



<現場点検業務の見落とし防止によるリスク低減>

- ◆ 判別結果の損傷の確からしさ値を地図上に可視化し、現場点検業務の準備時/点検時/教育に活 用し、点検時の見落とし防止を図る。
- ◆ 従来点検と可視化資料を用いた点検を比較し、可視化資料を用いた場合の損傷の発見数、緊急 対応が必要な損傷、新規損傷の発見数を把握する。

業務活用手順 ①地図上への可視化を行う。 可視化イメージ図 ②可視化資料を用い、現場で点検業務 を実施する。 高速の号線の 〇〇橋のハンチ部に損傷が の〇〇橋は

■情報提供の有無による損傷発見数の把握

【従来点検と可視化資料を用いた場合の緊急対応が必要な損傷、 計画的に対応する損傷の発見数を評価】

従来の点検結果(可視化資料の情報なし)

点検		パン数 以上)	新規損	傷発見			損傷	[個数(箇	i所)			A1ラン ク損傷
スパン数	損傷スパン数	損傷発 見割合	損傷スパン数	損傷 発見 割合	A1	В0	B1	B2	О	D	計	発見割合
44	35	79.5%	22	55.0%	0	7	12	100	61	11	191	0%

可視化資料の情報を用いた点検結果

点検		(パン数 以上)	新規排	傷発見	損傷個数(箇所)							
スパン数	損傷スパン数	損傷発 見割合	損傷スパン数	損傷 発見 割合	A1	В0	В1	B2	С	D	at a	ク損傷 発見割 合
103	79	76.7%	65	63.1%	5	2	35	220	74	33	369	1.4%
				_							_	_

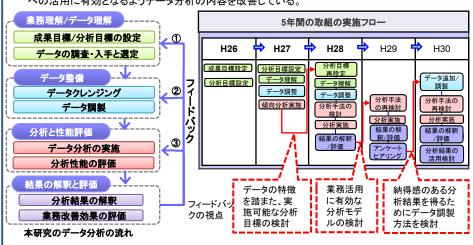
新規損傷発見割合、A1ランク損 傷の発見割合が増加

損傷発見数の割合(%)=緊急対応が必要な損傷:A1ランク以上/点検数 新規損傷発見の割合(%)=新規損傷/点検数

社会連携講座第Ⅱ期では、「結果の解釈と評価」の結果を「分析目標」、「データ調製」、「分析手法」へフィードバック

<データ分析へのフィードバックの概要>

- ◆ 「分析と性能評価」、「結果の解釈と評価」の結果を、分析目標、データ整備、分析手法等へフィード バックして内容を改善することで、予測モデルや分析結果の有効性・妥当性を高めた。
- ◆ 社会連携講座第Ⅱ期では、5年間の取組にわたり、このフィードバックを何度も繰り返し、現場業務 への活用に有効となるようデータ分析の内容を改善している。



<データ分析へのフィードバックの実施一覧>

- ◆ フィードバックの事例は今後データ分析を行う上で参考となるため、代表的な事例を整理する。
- ◆ 整理にあたっては、フィードバック先①分析目標の改善、②データ調製の改善、③分析手法の改善、 ごとに分類し、代表的な事例の概要を記載した。

表 データ分析内容への各フィードバックの内容

対象	分類	改善概要						
道床	1,2	・データ分析の分析目標の改善 (劣化事象を判別⇒技術者判断の判別へと変遷) ・分析目標に合わせたデータ調製の改善を実施						
シール ド洞道	1,3	・成果目標を見直し、併せて分析手法を変更 (傾向分析⇒詳細点検要否判別分析へと変遷)						
マンホール 鉄蓋	1,2,3	・データ制約、分析性能を踏まえた分析目標の変更 ・計測結果の修正に伴うデータセットの再調製 ・データ制約から目的変数と分析手法を変更						
トンネル 上床	3	・ルール抽出の結果より得られたデータの特徴を踏まえ、判別モデルを構築し、 はく離・はく落発生の有無を判別 (ルール抽出:主成分/クラスター⇒推定:判別分析)						
RC床版	1,3	・ハンチ部損傷判別モデルの「水切り部」への横展開から、同モデルの実務 導入に目標を見直し、「分析性能の評価」、「結果の解釈と評価」を充実						
RC床版	2	・実業務に合わせデータセットを劣化機構毎に分割 ・影響項目の納得感向上に向けた変数の調製 (疑似相関の変数削除、設計基準データ追加)						

- < ①分析目標の改善: 『摩耗の無し・遅い』から『摩耗の早い』に変更> マンホール鉄蓋
- ◆ 課題:点検周期延伸の候補となる説明変数(値)を定めることを目的に、「摩耗の生じていない」また は「摩耗が遅い」の傾向を示す説明変数(値)を求めることを分析目標として、摩耗無し期間(経過 年)に着目して摩耗遅速と説明変数(値)との関係を整理したが、点検周期の適正化に資する理論 構築、モデル化には至らなかった。
- ◆ 改善点:目的変数の考え方を変更し、安全性に配慮することを最優先として、未然に事故を防ぐこと を目的に、摩耗の速い説明変数(値)を求める分析に転換した。
- ◆ 改善効果:経過年代別傾向分析の結果で摩耗有りの実績をもつ変数においても、危険基準と更改 基準を参考にした年間摩耗量を設定することで、点検周期を5年から10年に延伸が可能となる様な 変数の判別につながった。

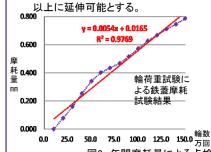
(nn)

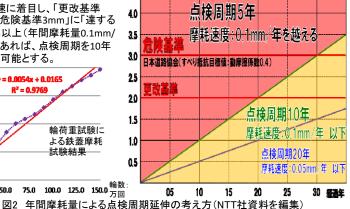
- 摩耗の無し・遅いに着目した分析(H29)
- 摩耗の「生じていない」または「遅い」 を目的変数として分析したが、摩耗有 りと判断された年代においても、摩耗 がゆっくりと生じている様な鉄蓋の場 合には、更改基準に達しているか否 かで、点検周期の延伸の候補となり 得る。
- 摩耗の場合は、輪荷重試験結果の様 に、劣化の性質上、徐々に進行(線形 的劣化)するものと想定される。
- よって、経過年代別傾向分析では、劣 化の有無により劣化の発生していな い変数を抽出したため、更改基準に 至るまでの猶予について、年間当たり 摩耗量(mm/年)の指標を組み込み、 点検周期の延伸が期待される期間に ついて精査することが望まれる。



図1 各変数グループにおける可能性のイメーシ

- 摩耗の早いに着目した分析(H30)
- 摩耗の遅速に着目し、「更改基準 2mm」から「危険基準3mm」に「達する 期間が10年以上(年間摩耗量0.1mm/ 年以下)」であれば、点検周期を10年





Research Initiative for Advanced Infrastructure with ICT

床版 分割

桁

フィードバックを繰り返し実施し、現場業務への活用に有効となるようデータ分析の内容を改善

< ②データ調製の改善:実業務に合わせデータセットを劣化機構毎に分割しモデル構築> RC床版

- ◆ 課題: 健全度評価業務のモデル化を検討する中で、対象の橋梁部位を「床版」から、評価資料作成。 に労力のかかる「RC床版」に絞って推定モデルを構築したが性能が向上が低下した。
- ◆ 改善点:実務者へ健全度評価手順についてヒアリングを実施、実業務に合わせてデータセットを劣 化機構『疲労』『塩害』『その他』に分割し、推定モデルを構築した。
- ◆ 改善効果:各々の推定モデルの性能(平均含有率)が向上し、業務活用の検討に繋がった。
- 健全度評価実務者へのヒアリング結果

PC床版

中空床版

コンクリート橋

鋼 橋

健全度評価実務者との 今後の対応 意見交換内容 (平成29年度研究計画への反映) 健全度評価については、劣化機構毎の基準で実施しており、 ✔ 劣化機構情報については、「主たる劣化 橋梁の環境で決まり、変化するものではない。 機構」として管理されているデータより、 主な3種(疲労/塩害/その他)を設定し 劣化機構は、「疲労(RC床版のみ)、凍結防止剤による塩害、 モデルを構築/試行する。 その他(中性化)」の3種類が主である。 【健全度推定モデルの対象橋梁部位の変遷】 平成27年度 ___ 平成28年度 平成29年度 実務者との意見交換 推定モデル 二/ 推定モデル 推定モデル 結果から業務手順に データセット分割 合わせて、劣化機構 RC床版 劣化機構『疲 労』 毎に分割しモデルを

対象部位を健全度評価の

資料作成に時間のかかる

「RC床版」に絞る

劣化機構『塩 害』

劣化機構『その他』

橋梁部材の劣化を、原因や環境条件による傾向毎にまとめたもの

◎『疲労』・・・・輪荷重の繰返し作用による床版のひび割れや 陥没等の損傷傾向 ◎『塩害』・・・・塩化物イオンの影響で床版のコンクリート中の

鋼材の腐食発生による損傷傾向

【参考】劣化機構について

構築

■ 健全度推定モデルの性能向上

✔ 健全度推定モデルの性能評価については、補修の対象となる『N以上』と健全度『Ⅲ以下』の 2群に正しく分類できているかを視点とした平均含有率にて評価。



- ✓ 平成27年度から平成28年度の研究では、分析対象部位を『床版』から『RC床版』に絞って 実施したが、モデルの推定性能向上が図れなかった。
- ✓ 平成28年度から平成29年度の研究では、健全度評価の実務をヒアリングにて確認し、業務 手順に合わせデータセットを劣化機構毎に分割したことでモデルの推定性能の向上を達成し、 業務のモデル化/活用の検討に繋がった。

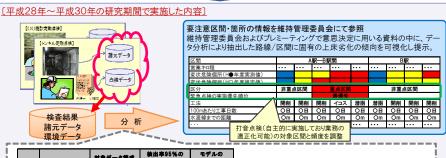
- < ③分析手法の変更:業務活用に向けた分析手法の再検討> トンネル上床
- ◆ 課題:平成27年度までは、空間的傾向把握や主成分分析/クラスター分析により、トンネル上床の はく離はく落の発生要因とデータの特徴を理解したが、直接的な業務活用に至らなかった。
- 改善点:主成分+クラスター分析結果より得られた変状発生との関連性やデータの特徴等を加味 し、上床のはく離・はく落発生有無の判別モデルを構築し、打音点検区間選定への活用を提案。
- 改善効果: 打音点検が不要と思われる区間の選定に資する路線別の判別モデルを構築し、点検 のメリハリが可能となることを提案。またデータの分割により判別性能が向上することを確認した。



⇒路線や変状箇所と河川との近接箇所の変状状 況, 変状への影響要因(水分, 塩分)に関連す ると思われる水涯線の距離等を確認・検討

元や環境等を把握

⇒回帰分析結果より、特定の諸元や環境変数がはく離はく落こ 影響を与える可能性が示唆された。



B#	モデル	対象デー	- 夕構成	検出率95%の 判別モデル性能	モデルの 全般的な性能	
•	2,70	##	正答率	精度 (Precision)	AUROC	
A路線	A路線全体	5,562	21.3%	23.7%	11.0%	1
	B路線全体	5,526	37.5%	41.1%	74.5%	
B路線	B路線(K駅以西)	3,532	36.1%	38.8%	0.4%	1
	B路線(K駅以東)	1,694	40.3%	47.0%	84 1%	ϻ
C路線	C路線全体	6,728	36.6%	43.1%	80.7%	
D路線	D路線全体	4,874	46.7%	52.1%	78.3%	2
	E路線全体	7,296	17.9%	21.0%	73.7%	
E路線	E路線(Y駅以西)	3,494	12.7%	14.7%	74.4%	₩
	E路線(Y駅以東)	3,802	22.7%	26.1%	70.8%	(3)
	5路線統合	29,294				
	5路線(シールト")	1,880	55.7%	68.2%	88.8%	-
E Pit sid	5路線(潜函)	918	37.2%	38.6%	68.8%	
5路線	5路線(開削)	24,296	25.6%	29.7%	7/3.2%	
	5路線(開削SRC)	1,734	73.6%	79.6%	77.9%	
	5路線(ルーフシールト")	82	31.7%	59.2%	88.0%	1

【5路線を対象とし、判別分析を実施】

- ①B路線のK駅以東、
- ②E路線のY駅以西.
- ③5路線統合のシールド区間
- など、特定の条件を対象にモデル構築をし た場合に、判別性能が向上することを確

⇒実業務へ適用する場合には、変状発生の 傾向が似涌っている条件によりモデル分割 をすることの有用性を検証

平成26~28年度の研究によって得られた成果・知見を活用し、平成29~30年度にて企業の実情に応じた重要テーマに関する実証的な研究を実施

<① 研究によって得られた知見の整理と横展開>

◆ 研究で得られたモデル・知識体系を他の路線、施設等に横展開し有効性を確認するとともに、業務への適用を目指してモデル・知識体系の汎用化を進める。

	データ分析関係	対象	R
A社	 シールド洞道−172区間を対象に、洞道構造諸元/点検データを基に、詳細点検の要否を判別するモデルを構築 詳細点検が必要な区間を100%で抽出する性能を確保 毎年学習データを追加する運用を想定した検証(モデル更新)の結果、年度による判定基準変更が説明変数の影響度の変化に表れたが、発見率100%の判別性能は確保できた 	洞道	
B社	 ▶ 全国-253,310件を対象に、定期点検及び諸元データ等を基に、摩耗の早い鉄蓋の判別モデルを作成 ▶ 点検実施率70%で早期摩耗鉄蓋の99%を発見でき、鉄蓋の点検周期の設定に有効な結果を得た ▶ 早期摩耗要因とされるこれまでの知見を間接的に表す結果を示し、摩耗がエス、ムや現場経験に合致した判別モデルを構築 	マン ホール 鉄蓋	地下構造物
DT1	 ▶ 東日本-89とう道を対象に、各種点検及び諸元データ等を基に、危険空洞判別モデルを作成 ▶ 全とう道の約5割を点検し、全危険空洞数の約8割を発見することが可能な判別モデルを構築 ▶ 従来手法による危険空洞数の発見率43%を上回る結果を示し、現場担当から点検優先順位付けに有効との評価を得た 	とう道	物グループ
C社	 ▶ 5路線-29,294区間を対象に、諸元・変状・地質・環境データを用い、上床浮き・はく離の判別を行うモデルを構築 ▶ 判別に影響する項目として、上床漏水等の全路線に共通する変数や、地質構造等の路線毎に特徴を表す変数を抽出 ▶ 判別結果の劣化区間を路線に沿って可視化した路線分布や、判別に影響の大きい変数等は、現場技術者の知見に整合 	トンネル	
D社	 ▶ 24路線-9,954橋を対象に、構造諸元及び点検データを基に、 壁高欄のハンチ部の剝落等の損傷を推定 ▶ 損傷の有無を80数%の発見率で判別、分析データでの影響項目と保全担当者が認識している損傷への影響項目が合致 ▶ RC床版ハンチ部の損傷予測により、損傷に寄与すると考えられる構造諸元の抽出を実施 	橋梁	橋梁
E社	 ▶ 橋梁484橋-3,154径間を対象に、点検管理、橋梁台帳等のデータを基に、RC床版の健全度を推定 ▶ 健全度IV以上か否かを91.6%(疲労)、97.8%(塩害)、100%(その他)で判別、影響項目は劣化メカニズムとの一致を確認 ▶ 推定結果を健全度評価業務に活用し、評価資料作成の省略による業務効率化や見落とし防止を期待 	橋梁	・道床グル-
F社	 ▶ 都市路線32km-約55,000区間を対象に、変位、諸元、補修実績データを基に、道床補修候補箇所を判別 ▶ 前年度データで構築したモデルに当年度データを適用し補修候補箇所を推定した結果、補修実績箇所と約8割合致、3年分のデータですべて同等の精度を実現 ▶ 客観的なデータによる道床補修候補箇所の選定に有効 	道床	プ

<② 研究成果の業務への試行導入と評価・改善>

◆ 研究の成果を事業計画の立案、現場業務の支援、基準・ルールの見直し等に試行的 に導入し、業務改善効果を評価するとともに本格導入に向けた改善を行う。

	現場業務への試行実証	対象	ķ
A社	 詳細点検要否判別モデルの推定結果に対する、判定技術者へのアンケート調査を実施 詳細点検要否判別業務にモデルの判別結果を適用することで、判断スピードの向上と判断結果への安心感に繋がる 判別結果の事後確率値("点検要"の確率)から、点検実施優先順序の付与にも活用が可能 	洞道	地下
D 7 +	 ▶ 摩耗の早い鉄蓋の判別モデルを用いて、全国60万個の鉄蓋の点検周期設定の机上シミュレーションを実施 ▶ 現行の5年周期に対し、全鉄蓋の3割を10年の点検周期へ延伸できることを確認 ▶ 現行の年間点検数12万個に対し、点検周期の見直しで10.2万個(1.8万個削減)で、0.9億円/年の点検コスト縮減を期待 	マン ホール 鉄蓋	構造物グル
B社	 事前の危険空洞発生の確からしさ値と、精密点検結果との比較による評価で業務効果の検証を実施 2017年度のとう道空洞調査に判別式を用い、空洞の推定数と発見数に相関があることを確認(相関係数R²=0.839) 東エリアデータで構築された当判別式を、他地域適用(西エリアの一部)でも精度良。今後は対象地域を拡大し継続検証 	とう道	プ
C社	 ▶ 上床のはく離/はく落発生の判別分析結果の、説明変数や路線分布の技術者納得感を評価 ▶ 上床はく離・浮き発生の推定モデルの結果(上位約70%に変状の約95%)を参考に、検査のメリハリをつけることが可能 ▶ 可視化ツールを用い、打音点検区間の検討に利用 	トンネル	
D社	 ▶ H28判別結果の可視化を行い、現場実務者へ周知、注意喚起を行い、有効性をヒアリングを実施 ▶ RC床版ハンチ部の分析結果を地図上に可視化した資料を点検実施者に提示 ▶ 点検時における注意喚起がなされる等の意識の変化が見られ、損傷の見落とし防止に貢献 	橋梁	橋梁
E社	 ▶ 健全度推定モデルの推定結果を判定実務者に示し活用効果とモデルの納得性についてヒアリングを実施 ▶ 活用効果として、推定Ⅱ以下の箇所(全体の約9割)の資料作成を省略することで、業務効率化が達成し、推定Ⅳ以上に対し、判定Ⅲ以下の箇所の再確認によって見落とし防止が可能 ▶ モデル影響度は劣化の原因項目との合致により納得性を確認 	橋梁	・道床グル
F社	 道床補修判別モデルから得られた事後確率値を用いて計画を作成し、実際の業務等との比較検証により有用性を確認 事後確率値による道床補修の優先順の上位(全体の9%の区間)に道床補修実績が多く占める(全体の約7割) 道床補修候補箇所の優先順位付けに利用し、箇所選定や施工時期等、計画的な補修が可能 	道床	プ

	「業務一成	【果」マトリックス上に活用	方策を配置し、分析結果の	D活用方策・展開の方向を	整理
	成果イメージ(【雪	業務計画/運用】、【基準/ル-	ール/指標】、【技術的判断支	「援】、【機器/ツール】、【活用	月者/評価内容】)
【1】 現場 点検	現場業務の見直し(規程) 劣化傾向や重点部位、劣化要因等をふまえた、点検頻度や手順等、現場業務のルール見直しを行う。 状態に応じた点検間隔、記録簿の変更、項目見直し事例1 事例2 事例2 事例3	点検優先度の策定(運用) 劣化傾向や重点部位、劣化要 因等をふまええ、点検実施に 関する定量的な優先順位、優 先箇所を提示し点検実施計画 の策定につなげる。 点検優先度、計画最適化 事例1 事例2 事例5	人材育成の強化 (統計的根拠) 企業が保有する損傷事例集や 点検補修マニュアルや業務 ルールの記述内容に、データ の統計量から見た定量的/統計 的根拠を付記する。 手引き、統計ルール、統計的 根拠の補完 事例4	タブレット等ICTツールの現場活用 タブレット端末、音声入力、 HMD等、遠隔のDB参照など、 現場でICTを活用し現場での点 検業務負荷低減と質向上を支 援する。 新規ツールの活用、IoT	リアルタイム/状態監視 所望の事象の観測/記録/検出の ため、設置型センサや調査車 両により、継続的なデータの 蓄積と可視化を行う。 異常検知、温度、湿度、振動 計測、IoT
[2]	個別損傷の判別/推定 個別の損傷箇所の状況等について判別/推定を行う。過去や現状データから直接観測できていない箇所の変状状態の推定を行う。 劣化発生特性/影響・劣化要因、発生し易さ、し難さ	構造物総合評価指標/判定モデルを策定 構造物管理の実態に見合うスパン(連)単位等で、健全性評価に関する総合的な指標やモデルをデータ分析と工学的知見を元に構築する。 各種データによる評価指標/判定モデル/健全度評価	要因分析/データ構造理解 データ同士の相関やデータの 統計的特徴から群に類別する などにより、データの統計的 傾向から変状進行等の要因を 探索する。 劣化傾向、データ間の関連性/ 構造上重要な部位 事例4	知見の共有 熟達者の経験知反映のための 意見交換や分析結果検討会を 実施し解釈評価の幅を広げる。 判定会議、知識データベース 事例4	現業の形式化/明文化 熟達者の思考過程や判定会議での意思決定過程などをフロー等で可視化する。 熟達者の暗黙知、思考プロセス
【3】 措置 補修	現在状態の過去実績との相関/ 乖離分析 過去の実績値との相関や乖離 を分析し、補修等の対策計画 に反映する。例えば、潜在的 劣化の可能性がある構造物を 抽出し注意喚起を行う。 劣化予備軍、見落とし防止 事例7	対策優先度の選定の策定 損傷毎/構造物毎の指標等や他 の経営指標等をふまえ、補修 等の対策に関連する定量的な 優先度指標を提示し、対策計 画立案につなげる。 補修優先度、計画最適化、現 状可視化 事例7	経営・マネジメント・現場の参考指標の可視化構造物健全度評価、CS評価、リスク評価、CSRなどによる、統合的な対策優先度判定をLCC評価や予防保全等に活用。 KPIの検討、可視化 事例4	構造物健全度の将来予測(時間的推定)変状の経年進展予測や余寿命推定等、構造物や路線等単位で劣化の時間的変遷特性を把握する。	補修手法の選定/補修効果の評価 補修手法について、余寿命、補修コスト等を考慮し、LCCの観点から補修手法の選定や、補修効果測定を行う。 ライフサイクルコスト、効果測定
【4】 記録 可視 化	路線傾向把握 路線や軌道など線形構造物の 長手方向に沿ってデータの度 数分布可視化等を行い、線形 に沿ったデータの傾向を把握 する。 劣化集中箇所、劣化頻発・進 行箇所 事例7	地図可視化/GIS分析 地図上にデータを可視化し、 地理的傾向を把握する。また、 他の地物との距離等の地理的 関係をデータ化し、より詳細 なデータ分析に繋げる。 劣化集中箇所、劣化頻発・進 行箇所 事例5	時間傾向把握 構造物の状態変化等を年度や時刻に沿ってグラフ可視化を行い、時間軸に沿ったデータの傾向を把握する。 損傷種別の変化、劣化進行箇所	のpenDataの利用促進 維持管理データや、諸元や設備、運用等のデータに加え、環境データ等の広く一般に公開されているデータを活用して分析を高度化する。 オープンデータ、ビックデータ	技術的データの交換・開示・活用 技術者間で維持管理データや 諸元や設備、運用等のデータ をシェアし、新たなデータ活 用・応用と知識の交換を促進する。 シェアードデータ

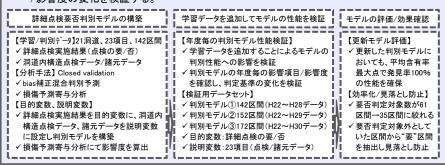
研究事例-1:洞道の詳細点検要否判別モデルの構築

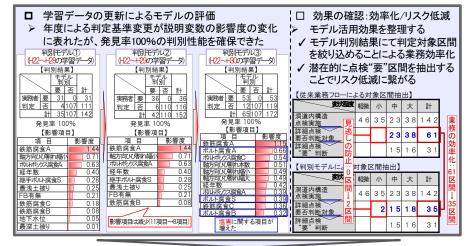
現状と課題

- 現在、詳細点検要否の1次選定で用いられる耐力評価は「軸方向ひび割れ」と「腐食程度」 から洞道の耐力を評価しており、洞道の劣化状態を表している指標とは言い難い。
- 耐力評価の結果から導出した詳細点検対象区間の半数近くは詳細点検を実施しておらず、 耐力評価と技術者の判断の間に差があり、業務上非効率となっているのではないか。

検討手順

- 点検/諸元データ及び詳細点検対象区間の結果をもとに詳細点検要否判別モデルを構築し、 詳細点検が必要な区間の判別を実施、業務活用の効果を検証する。
- 毎年学習データが追加される運用を想定しモデルを再構築、年度毎の判別性能と影響項目 /影響度の変化を検証する。





- モデル判別結果を要否判定会議の資料に加えることによる資料削減と会議時間短縮を図る。
- 潜在的に点検"要"となる可能性がある区間をモデルにて抽出し、判定対象区間の見落としを防ぐ。

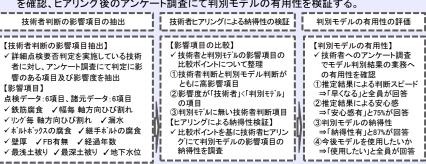
研究事例-1: 洞道の詳細点検要否判別モデルの試行実証

課題と目標

- 洞道の詳細点検要否は、業務拠点の異なる技術者間の判定の"ばらつき"を無くすことを目的に 月例会議による合議で判定しており、会議資料の削減等判定業務の効率化が求められている。
- 詳細点検の要否を判別する指標として、統計的データ分析に基づき定量的に要否判別を行う モデルを構築、モデルによる判別結果を活用し、業務の効率化及び高度化を図る。

検討手順(試行実証)

- 過年度構築した詳細点検要否判判別モデルの試行実証として、技術者判断における影響 項目をアンケート調査にて抽出し、判別モデルの影響項目との比較ポイントを整理。
- 比較ポイントをもとに技術者ヒアリングにて影響項目の差異を検証し、判別モデルの納得性 を確認、ヒアリング後のアンケート調査にて判別モデルの有用性を検証する。



□ モデルの有用性の評価 【技術者アンケート結果】 技術者判断 影響項目と影響度 ■影響:大 ■影響:中 □影響:小 【判断スピード】 【判断結果の安心感】 鉄筋度食 が当たり軸方向ひび割れ 安心感有 ポルトポックスの腐食 6 21 早くなる 6人(75%) 継手ポルトの腐食 23 27 漏水 【判別モデルの納得性】【モデルを使用したいか】 洞道の壁厚 4 22 フラットバーの有無 経過年数 6 10 3 19 4 最浅土被り 3 4 7 14 4 使用したい 納得性有 最深土被り 3 5 16 8人(100%)

□ 技術者と判別モデルの影響項目比較(納得性)検証 比較着目ポイント①~③



- □ 技術者へのアンケート・ヒアリング調査による有用性/納得性の検証結果
 - 有用性:アンケート調査にて、発見率100%の判別モデルによる判別結果であることから有用性 が得られ、判断スピード向上/判断結果への安心感に繋がることも確認
- 納得性:モデルで高影響の「鉄筋腐食」は、技術者が判定する際にも重要な項目であることから納 得性が得られた。モデルの項目に無い「漏水」は、説明変数間の相関によって影響度に 偏りが生じる統計特性(多重共線性)を説明することで納得を得た

- 分析活用に向け洞道諸元/点検/補修結果データを整備し、洞道DBの構築/改修を実施。
- 判別モデルにより算出した事後確率から優先度を抽出し、長期的な保全計画策定に繋げる。

研究事例-2:とう道の危険空洞判別モデルの構築

□ 現状と課題

- とう道の精密点検(空洞調査)は、①地下水位状況、②コンクリート充填方法、③劣化状況の3条件を考慮していたが、3条件の妥当性を説明するデータ及び根拠は明らかでなかった。
- > 実際の精密点検(空洞調査)の優先順位は、現場の状況を踏まえて、熟達者の経験に基づいて設定されるが、3条件の内容とは必ずしも一致していなかった。

■ 検討手順

- 精密点検情報やとう道劣化情報を使用して危険空洞の有無を推定する危険空洞判別モデルを構築し、対象区間ごとの危険空洞事後確率を算出し、「みなし危険空洞」を設定する。
- みなし危険空洞を多く有しているとう道を「崩落リスクの高いとう道」と定義し、崩落リスクの ___高いとう道から順に精密点検を実施するよう、精密点検の優先順位の設定方法を変更する。

危険空洞判別モデルを構築

選定

✓説明変数は自動選択によって9項目を

【判別用データ】89とう道、9項目、16498件

✓ 定期点検データ(劣化)

✓ とう道諸元データ(諸元)

【判別予測】Closed validation

✓ とう道の定期点検データを用いて、判

危険空洞有無の判別とリスク算定

✓ とう道の定期点検データを用いて、判別モデルによる危険空洞有無の判別を実施✓ 発見率:82.0%、見逃し率:7.1%

発見率:82.0%、見逃し率:7.1%【リスク算定と優先順位付け】

✓ モデルによって危険空洞有と判別された区間の数を基に、とう道の崩落リスクを算定し、点検の優先順位付けに活用

モデルの推定性能評価

【判別性能の検証】

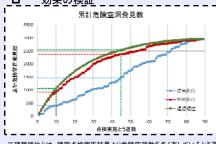
✓ 従来の3条件と比較
して、より熟達者に近い優先順位付け

√ 89とう道の半数を点 検した場合、従来の 3条件と比べ、危険 空洞発見数は約1.6 倍になりリスクが低減

□ 効果:精密点検の効率化、とう道崩落リスクの低減

- > 判別予測の結果を参照することで精密点検(空洞調査)によって危険空洞を発見する確率 が向上し、無駄な精密点検の回数が減少し業務の効率化が図られる。
- ▶ 危険空洞が多く存在しているとう道から優先的に精密点検を行うことで、危険空洞の早期解消が図られ、その結果、とう道崩落リスクの低減に繋がる。

□ 効果の検証



点検実施順序決定条件別の累計危険空洞発見数							
点検実施とう道数	10	45	89				
理想順位※	1,055	2,538(85.7%)	2,960				
②判別順位	931	2,341(79.0%)	2,960				
①従来順位	394	1,472(49.7%)	2,960				
2/1	2.36	1.59	1.0				

✓ 今回のデータでは、89とう道の半数を点検した場合、 従来の3条件による優先順位付け(①)と比べ、危険空 洞判別モデルを活用(②)することで、危険空洞を発見 する割合は②79.0%となり、①49.7%の約1.6倍になる。

※理想順位とは、精密点検実施結果より危険空洞数を多く有しているとう道毎に精密点検を実施した場合の理想的な順位を示す。

■ 活用方領

- 危険空洞判別モデルの結果を参考に、精密点検(空洞調査)の実施計画を作成する。
- ▶ 定期点検(5年周期)情報と精密点検情報を用いて危険空洞判別モデルの時点修正を行う。

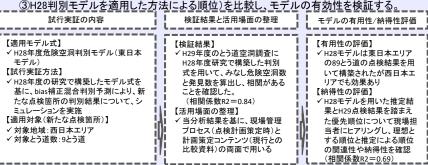
研究事例-2:とう道の危険空洞判別モデルの試行実証

□ 課題と目標

- 現行の空洞調査個所は、点検計画策定者が有スキル者の経験則を参考にプライオリティ付けを行ったものであり、実態の空洞発生状況との精度に課題があった。
- 新たに得られた精密点検結果に対して、H28危険空洞判別モデル(以降、H28モデルと略記)を用いた、みなし危険空洞数の推定結果を検証し、現場本運用に向けた有効性を評価する。

■ 検討手順

- H29年度に実施した精密点検結果を用いて、H28危険空洞判別モデルから危険空洞有無の事後確率を算出し、みなし危険空洞数を推計する。
- ▶ 3つの方法による優先順序(①H29点検結果を踏まえた理想順位、②現行方法による順位、 ③H28判別モデルを適用した方法による順位)を比較し、モデルの有効性を検証する。



活用場面と効果の検証

- 効果的な点検計画には、H28判別モデルを適用した方法により算出したみなし危険空洞数を 判断資料として、計画策定のプロセス(計画会議)において、優先順位を決定する。
- ▶ H28モデルを西日本地域に適用した場合にも、みなし危険空洞数と発見数の関係(相関係数 R²=0.84)、空洞理想順位と推定順位の関係(相関係数R²=0.69)が確認され、現場担当者からH28モデルが有効であると評価された。

【現行方法、推定結果、理想とする順位の状況一覧】

エリア	とう道名	亘長 (m)	優先付け(順位) 空洞数(個)					単位発見数(箇	
		調査	理想	現行	推定	推定	発見	所/m)	
Α	とう道1	1,926	1	3	1	141	127	0.066	
В	とう道2	891	2	7	2	65	21	0.024	
С	とう道3	571	3	5	6	4	14	0.025	
D	とう道4	678	4	6	3	53	13	0.019	
E	とう道5	272	5	2	5	18	5	0.018	
F	とう道6	343	6	8	4	21	2	0.006	
G	とう道7	893	7	1	8	0	2	0.002	
Н	とう道8	179	8	9	9	0	2	0.011	
I	とう道9	199	9	4	7	2	1	0.005	



■ 現在の取り組み状況

H28モデル(東日本地域版)でも、H29西日本の空洞調査に対して空洞傾向を推定可能と判断されており、H30からは全国に展開され運用中である。

研究事例-3:鉄蓋の早期摩耗判別モデルの構築

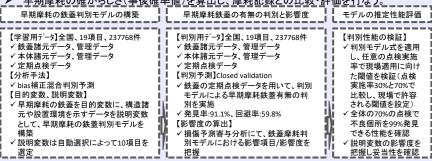
□ 現状と課題

- 社内規定では、車道設置マンホール鉄蓋については一律5年周期で点検実施することが定められているが、対象となる施設は全国に多数あり、また、点検時には車道上に保安施設(車両通行規制)が必要になるなど、コストとリスクの両面で業務負担が大きい。
- ▶ 諸元や設置環境に適した点検周期の延伸を図り業務負担の軽減を目指す。

□ 検討手順

> マンホール鉄蓋の早期摩耗を判別するため、摩耗記録(目的変数)、点検結果、構造諸元、 設置環境等のデータ(説明変数)を用いて、Bias補正混合判別予測で平均含有率最大となるモデル(鉄蓋摩耗判別モデル)を構築する。

- 早期摩耗の確からしさ(事後確率値)を算出し、摩耗記録との比較・評価を行なう。



□ 効果:鉄蓋点検周期の適正化

早期摩耗の鉄蓋判別モデルを用いて事後確率値を基に点検を実施する優先順位を設定 (摩耗の早いものから点検を開始)し、摩耗の遅い鉄蓋は、現行の一律5年周期から10年周期に見直すことで、点検検周期を適正化する。 平均含有率最大点での判別結果

効果の検証 劣化が早いの有無の判別予測結果 有(P) 無(N) 計 检查变状予测结果 +発見率91.1% 定期点検 有(P) 500 49 549 70%の占給 95448 分析性能評 による過去 無(N) 141771 237219 →回辦率59.8% 99%を発見 の損傷 価占(任音) 95948 81 141820 237768 分析に用いた説明変数(相関)一覧表 発見率約8割 機傷予測寄与分析により抽 出された影響度一覧表 首部長 10年 日本 首部構造 0.0420 施錠有無 経過年 鉄蓋種類 鉄蓋形 鉄蓋種類 0.3085 鉄蓋カラー区別 鉄蓋設置場所 0.1797 交通量 0.0185 構造種別 0.1140 道路種別 0.0154 設置区分 全施設数の7 全施設数の3割 **维萎段置場所** 官民区分 割を点検 0.0609 鉄蓋形 MHE 0.0087 (当モデル= (当モデル式 炼锭右册 문찬 では約17万件 では約7万件に 19 置区分 0.0065 Bias補正混合判別分 ▶首部長 0.0169 析により変数自動選択 構造種別 0.4 0.5 回流性 0.6

■ 活用方領

- ▶ 分析結果を活用したグループ分け(摩耗遅速)による年間点検業務コストを縮減する。
- ▶ 分析結果を活用して優先順位付けし、新たな仕組み(点検周期)を設定する。

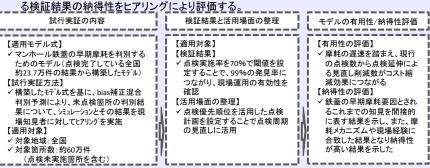
研究事例-3:鉄蓋の早期摩耗判別モデルの試行実証

□ 課題と目標

- 分析結果に十分な効果があったものの、更なる維持管理の効率化に向けて、点検周期の延長及び点検稼働の省力化を検討する。
- 点検時の計測データや施設管理時の構造諸元データを用いたモデルを基に、鉄蓋点検業務の点検周期の適正化(点検間隔の延伸)により業務コストの縮減を図る。

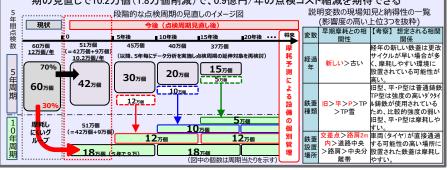
■ 検討手順

- 24万件のデータを基に構築した摩耗の早い鉄蓋の判別モデルの結果を全国60万件の鉄蓋 に当てはめてシミュレーションを実施し検証する。
- ⇒ 鉄蓋のモデル式を用た点検周期の見直し内容の妥当性と点検計画者による閾値設定による検証



活用場面と効果の検証

- 点検計画策定時に、摩耗しにくいグループ(点検対象の30%)は点検周期を5年から10年に延伸する。(残りの70%は現行同様に点検周期は5年とする)
- コスト縮減の効果として、現行の年間点検数12万個(全国60万個÷5年間)に対し、点検周期の見直しで10.2万個(1.8万個削減)で、0.9億円/年の点検コスト縮減を期待できる



■ 今後の予定

写真点検の普及により、精度の高いデジタルデータを収集することで、摩耗推定モデルを 高度化し、点検周期の更なる延長に取り組む。

研究事例-3:上床はく離・はく落系変状有無の判別モデルの構築

課題と目標

- ▶ 省令に基づく検査以外に、自主的に実施している打音点検は、特に、上床部の打音点検では、 限られた作業時間の中で足場の準備等を要すなど業務負担が大きいため、実施頻度(4年に 一度)や実施対象区間の選定についての根拠付けが求められる。
- 列車の安全な運用のため、トンネル上床のはく離/はく落の発生傾向を明らかにし、区間の健 全性に応じた打音点検等の順序・周期によるメリハリを付け、実業務の効率向上を図る。

検討手順

- ▶ A~Eの5路線を対象に、点検・諸元・施工・環境のデータを用い、上床はく離・はく落系変状 有無の判別モデルを構築する。
- 路線固有の特徴や劣化の生じやすい路線/区間を抽出し、性能を評価するとともに、モデル 分割を行うことによって汎用性や有用性を確認する。

上床はく離・はく落有無判別モデルの構築 判別モデルの性能評価 判別モデルの性能向上検討 _____ _____ ------【学習用データ】5路線,72項目,29,294件 【路線個別の推定結果】性能評価 【構造特性の観点から検討】 ✓ 検査・点検データ(上床、側壁の変状) 【✓ データ5分割の交差検定により評価 ✓ シールド区間、開削SRC区間 ✓ 発見率を95%とした場合の上床のはく ✓ 構造諸元、施工、環境条件データ など特定の構造特性を反映し ✓ 地質データ(トンネル上/中/下) たモデルを構築。 離・はく落有無を判別する性能を発見 【分析手法】 率・回避率曲線の下部面積である ■ ✓ 対象データの分割により判別 ✓ 線形判別分析 AUROCで評価 性能が向上。 【目的変数、説明変数】 【5路線統合モデルの推定結果】 【【地域特性の観点から検討】 ✓ 上床のはく離・はく落の有無を目的変数 ✓ 路線個別のモデルと同様の手法にて ✓ 地域特性により現象が異なると とし、側壁の変状データ、構造諸元、施 性能評価を実施 想定される路線の駅でデータを 工、環境条件データを説明変数とした判 ✓ 統合モデルと路線個別モデルで性能 分割し、モデルを構築。 別予測モデルを構築 は大きく変わらない。 性能が向上/低下する区間有

- 上床はく離・はく落 有無判別モデルの構築および性能向上検討
- A~E個別路線毎の判別モデルの性能に差があるが、いずれも70%を超えており、5路線統合でも性能は大きく
- ▶ 地域特性によるモデル分割は、性能が向上する区間と低下する区間が存在。
- 一方、構造特性を反映したモデルは、シールド区間や開削SRC区間等、同様の構造区間に対象を限定するこ とで、変状発生の傾向がそろい、性能が向上した。

路線	モデル	対象デー	ータ構成	検出率95%の 判別モデル性能	モデルの 全般的な性能	モデル AUROC	A路線全体 71.0% 毎のモデル	B路線全体 74.5%	C路線全体 80.7%	D路線全体 78.3%	E路線全体 73.7%	5路線統合 76.2%
		裁数	正例率	精度 (Precision)	AUROC	自合本系	毋のモデバ	/ €5 #合称初	古モナル	CITITUEIA	人己(发化	15/411
	A路線全体	5,562		23.7%		(分割後)	【地域物	寺性によ	り区間	分割】		
B路線	B路線全体 B路線(K駅以西) B路線(K駅以車)	5.526 3,532 1,694	37.5% 36.1% 40.3%		70.4%	\	(K駅以	西:AUR	OC:74.5%	5⇒70.4% 5⇒84.1%		
	C路線全体	= 6,728	36.6%				(N別ハル	宋:AURI	JC:74.5%	→64.1%) INJ I	
	D路線全体	4,874	46.7%			(分割後)	【地域物	寺性によ	り区間	分割】		
	F路線全体 E路線(Y駅以西)	7,296 3,494		21.0%			(Y駅以	西:AUR	OC:73.7%	6⇒74.4%		
\vdash	E路線(Y駅以東) 5路線統合	3.802	22.7%	26.1%				東:AUR	OC:73.7%	6⇒70.8%)低下	
	5路線(シール*)	1.880	5 5.7%	68.2%	88.8%	(分割後		+441- 6		八中川		
5路線	5路線(潜函)	918	37.2%					特性によ				
	5路線(開削) 5路線(開削SRC)	24,296 1.734	25.6% 73.6%			4 (1) think				%⇒88.8% %⇒77.99		
	5路線(ルーフシールト)	82				(分割後	(開月	JSKC: AU	KUC:/6.2	%→//.95	%) □ 上	

- 判別モデルを用い、推定結果から打音点検非対象区間を設定することで業務効率化を図る。
- ▶ 上床のは〈離・は〈落が生じやすい区間やその区間で注意すべき情報(構造諸元や環境条 件等)を検査で利用するタブレットに表示し、点検地点での状況把握や注意喚起に役立てる。

研究事例-3:打音点検等業務への分析モデルの活用検証

課題と目標

- 省令に基づく検査以外に、自主的に実施している打音点検は、特に、上床部の打音点検では、 限られた作業時間の中で足場の準備等を要すなど業務負担が大きいため、実施頻度(4年に 一度)や実施対象区間の選定についての根拠付けが求められる。
- ▶ 列車の安全な運用のため、トンネル上床のはく離/はく落の発生傾向を明らかにし、区間の健 全性に応じた打音点検等の順序・周期によるメリハリを付け、実業務の効率向上を図る。

検討手順

- 主成分分析/クラスター分析により区間ごとの構造及び変状の特徴的な傾向を把握し、重回帰 分析により上床のはく離・はく落が生じやすい区間を「注意区間」として抽出する。
- ▶ 判別モデルを用い、推定結果が「悪くない」区間の順番に「打音点検非対象区間」とし、その 区間に含まれる変状の見逃し率等から適正な打音点検対象区間を検討する。

重回帰モデルによる注意区間の抽出 判別モデルによる打音点検対象区間設定の効果 ______ 【分析手法】 ■【判別モデルによる判別結果】打音点検対象外区間検討 ✓ 主成分/クラスター分析→重回帰分析 √判別結果による5m区間ごとの変状発生しやすさ順から「打 【分析結果、解釈】 音点検対象区間」を設定するシミュレーションを実施。 ✓ 上床はく離・はく落に関する特徴的な傾向(主成分)を抽 【判別結果活用による効果】 出:工法(イコス、潜函)、バラスト ▼ 打音点検対象区間を50%に低減(対象外区間率50%)する ■✓ 上床のはく離・はく落面積を目的変数に、上記の特徴を加 ■ ■ シミュレーションを実施。 味して、側壁の変状データ、諸元データ、環境条件データを説 👢 ✓ 点検対象区間:883区間 明変数とした重回帰モデルを構築 √ 点検対象外区間:883区間 【シミュレーション結果】 【注意区間の設定】 ■✓ 重回帰モデルで得られた注意区間(全体の約10%)に、はく ■✓ 打音点検対象区間を50%削減しながら、変状有り区間の 離はく落変状の30~40%が集中 見逃しは30%程度に抑えられる可能性がある。 ______

□ 重回帰モデルによる注意区間の抽出

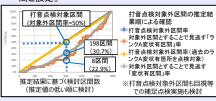
▶ A. B路線のデータで構築した重回帰モデルを用い、 上床のはく離・はく落が生じやすい区間を「注意区 間に位置づけ。

	133212230						
		注意区間	路線 全区間				
区間数	322	3,147					
A路線:	全区間に対する延長割合	10%	100%				
上床のはく離	面積の総和m²	118	396				
はく落糸変状 面積	A路線全区間に対する割合		100%				
区間数		284	3,025				
B路線:	全区間に対する延長割合	9%	100%				
上床のはく離	面積の総和m²	305	694				
はく落系変状 面積	B路線全区間に対する割合	44%	100%				
	A路線: 上床のはく離はく落系変状 面積 区間数 B路線: 上床のはく離はく落系変状	A路線全区間に対する延長割合 上床のはく離 はく落系変状 面積 路線全区間に対する割合 区間数 B路線全区間に対する延長割合 上床のはく離 はく落系変状	区間数 322 A路線全区間に対する延長割合 10% 上床のはく腱 面積の総和m² 118 はく落系変状 石路線全区間に対する割合 30% 区間数 284 日路線全区間に対する延長割合 9% 上床のはく腱 面積の総和m² 305 はく落系変状 の数のの質別に対する。				

- ▶重回帰モデルで得られた注意区間(全体の10%)に、 はく離はく落変状の30~40%(面積)が集中。
- >注意区間や構造及び変状の特徴を実務者に提示 することで、側壁点検等において周辺状況から上 床の変状に気づく可能性があり、はく離・はく落のリ スク低減に繋がると期待される。

□ 判別モデルによる打音点検対象区間設定

▶ B路線のデータで構築した判別モデルを用い、変状 発生の可能性が低い順番に打音点検の非対象区 間と設定。



- ▶仮に、50%の883区間を打音点検対象区間として選定 した場合、はく離はく落系変状がある645区間中447区 間(69.3%)の変状有区間を点検できる。(検出期待値 は向上:50% ⇒ 69.3%)
- ▶198区間(はく離はく落系変状がある645区間中の 30.7%) は見逃してしまう可能性があるが、統計的には 業務効率が向上。(見逃し期待値低減:50% ⇒ 30.7%)

- これまでの目標は継続し、4路線を新たに対象として路線固有/共通の特性の抽出を実施。
- 2020年度試行導入に向けて、分析手法の特徴を踏まえた現場での具体的な活用方法を設 定する。また、業務への導入効果の評価方法を設計し実施する予定。

研究事例-5:ハンチ部の損傷有無の判別予測

現状と課題

- 都市内高速の多くは高架橋形式を採用しており、コンクリート剥落等の落下物による第三者 被害の発生の防止が重要な課題である。
- ▶ コンクリートが剥落する事象の中でもRC床版のハンチ部からの剥落が多く、定期点検時の 見落とし防止や効率的な剥落防止対策の計画の策定が求められている。

検討手順

- ▶ 橋梁の構造諸元データ及び点検データから、RC床版のハンチ部の剥落等の損傷が生じる 可能性を推定するとともに、各データ項目の損傷への寄与度を明らかにする。
- ▶ これらの分析の結果から、ハンチ部に損傷が生じやすい橋梁の特徴(構造上、劣化状況等) を見出し、定期点検時の参考資料、補修計画策定時に参考とする。

ハンチ部の損傷の有無の判別予測 【判別用データ】24路線、34項目、9.954件 ✓基本台帳/上部工台帳(諸元) ✓床版台帳/舗装台帳(諸元) ✓ 点検補修台帳(損傷・変状データ) 【分析手法】bias補正混合判別予測 発見率:82.1%、回避率:77.2% 【目的変数、説明変数】 ハンチ部の損傷の有無を目的変数に、諸 元データ、損傷・変状データを説明変数と して、判別モデルを構築し分析を実施 説明変数は、24のデータ項目が自動選択 された

汎化性能の検証と損傷予測寄与分析 【データ】評価用:3.305件、学習用6.649件 ✓ 基本台帳/上部工台帳(諸元) ✓床版台帳/舗装台帳(諸元) ✓ 点検補修台帳(損傷・変状データ) 【検証法】Holdout Validation 判別用データを評価用と学習用にランダ ムに分けて、汎化性能の検証を実施 発見率:86.0%、回避率:72.6% 【損傷予測寄与分析】 寄与度を踏まえて、諸元データを詳細分 析し損傷橋の特徴を抽出するとともに熟 達者の知見に照らし、概ねの同意を得た。

分析結果の解釈 【判別モデルの有用性】 判別予測にて80数%の 予測精度を実現 汎化性能の検証にて同 レベルの精度を維持し、 汎用性の高さを確認 【判別モデルの納得性】 損傷予測寄与分析によ る損傷有無の影響度、 影響項目を保全担当者 の工学的知見に照らし、 妥当性を確認。

□ ハンチ部損傷判別モデルの有用性と納得性

- ▶ 有用性:RC床版ハンチ部の損傷の可能性がある橋梁(径間)を予測し、点検業務の活用に 概ね寄与できるとの意見。
- 納得性:影響度の高い説明変数は、供用期間や損傷に関する説明変数であり保全担当者 が認識している影響項目と一致しており納得性が得られた。

ハンデ部の損傷の利別予測の結果 ンチ部の事後確率による判別予測

ハンチ部の損傷の判別予測結果 〈精度評価〉 ホールドアウト法でも 高い精度を維持 668(82.1% ✓ 発見率:86.0% 7 053(77 2% 無 2.087(22.8% ✓ 回避率:72.6% 計 2,755(27.7%) 7,199(72.3%) 9,954(100.0%) 判別モデルの影響度と影響項目 を含ます 0.1/9 数数 事務 > 2.79(分 0.1/2 対策 立計学品 U.Sar 取り出版記: 0.161 回答名数 0.120

- ▶ データ分析モデルから得られる各説明変数の影響度や判別結果を可視化し、現場技術者の 暗黙的な知見と整合しているかを評価。
- ▶ データの蓄積等によりモデルの汎用性や推定精度を向上させ他の路線に展開、汎用化する。

研究事例-5:ハンチ部の損傷有無の判別予測モデルの試行実証

課題と目標

- RC床版のハンチ部のコンクリート剥落による第三者被害発生を抑制し、点検や補修の効 率化、高度化が課題となっている。
- 28年度のRC床版のハンチ部の分析結果を活用案の業務への導入を目標として、現場実 証により導入の可能性を図るとともに、導入に向けた課題を抽出する。

検討手順

- 平成29年度の試行実証を踏まえ、地理情報をベースとした既存システムでの実装を検証。
- 判別予測結果で得られた「損傷がある確からしさ」や過去の損傷数を地図上に可視化する。
- 可視化した資料により、点検時の損傷見落とし防止業務に活用し、新たな損傷箇所の発見、

現行業務への活用における改善案や課題をアンケートにより有用性を評価する。 分析結果の可視化 分析結果の現場活用・実証 業務改善効果の評価 l______ 【可視化資料の有用性】 【活用データ】9路線,33項目,4,568件 【点検時の損傷見落とし防止】 ✓ RC床版ハンチ部の判別予測結果 ✓ 点検実施者に対し、出力した可視化資 ✓ 新規損傷の発見数、 【既存システムでの実装】 料を点検業務で事前に確認したり携帯 緊急対応が必要な 既存システムへの可視化資料の導 し点検に利用してもらう。 損傷数の割合が増 入を見据え、データファイル形式や ✓ 従来点検と可視化資料を用いた場合 加し、見落とし防止 データ内容等要求事項や留意事項 の新規損傷や計画的に対応する損傷 に有用。 を確認。 の発見数割合(%)、緊急対応が必要な 【可視化資料の納得性】 【分析結果の可視化】 A1ランクの損傷の発見数の割合(%)を ✓点検準備時の資機材 ✓ 損傷有りの確からしさ値を指標でグ 定量的に把握。 の準備、構造物の損傷 ルーピングし、既存システムに取り込 ✓ 点検実施者に対し、点検準備、点検実 特性の把握、新人・中 み、橋梁の平面図に表現することで視 施時、業務支援、伝承について可視化 堅クラスの教育への活 覚的に損傷の確からしさを把握。 資料の効果をアンケート及びヒアリン 用に寄与。 グにより見落とし防止効果を把握。___

点検時の見落とし防止業務の改善効果の有用性評価

- アンケート結果: 『応急処置のスプレー等の資機材の準備に役立つ』、『床版厚が薄い路線 は損傷が多く、経験と合致』、『新人・中堅クラスの教育に良い』等の意見。
- 損傷発見数の把握: 点検時に可視化資料を用いた結果、緊急対応が必要な損傷数、新規 損傷発見数の割合が増加。

【可視化資料を活用した点検を実施】

①地図上への可視化。



②可視化資料を用い、損傷箇所を橋梁毎 に把握、現場で点検実施。

【従来点検と可視化資料を用いた場合の緊急対応が必要な損傷、 計画的に対応する損傷の発見数を評価】

従来の占給結里(可想化資料の情報なし)

点検		い(ン数 以上)	新規排	傷発見			搬	集個数(箇	听)			A1ランク
点検 スパン数	損傷スパン数	損傷発見割合	損傷スパン数	損傷 発見 割合	A1	В0	В1	B2	С	D	ŧ÷	損傷発 見割合
44	35	79.5%	22	55.0%	0	7	12	100	61	11	191	0%
可視化資料の情報を用いた点検結果												

損傷スパン数 (B2以上)		新規排	傷発見 (新規損(1ランク	損傷の	\supset	A1ランク	
スパン数	損傷スパン数	損傷発見割合	損傷ス パン数	損傷 発見 割合	Al		B1	B2	С	D	ät	損傷発 見割合
103	79	76.7%	65	63.1%	5	2	35	220	74	33	369	1.4%

損傷発見数の割合(%)=緊急対応が必要な損傷:A1ランク以上/点検数 新規損傷発見の割合(%)=新規損傷/点検数

- RC床版ハンチ部に損傷のある可能性の高い橋梁を地理情報をベースとするプラット フォームに実装し、橋梁の径間毎に着色表示し出力するなどの可視化を図る。
- 定期点検業務において、点検時の要点箇所の把握など損傷の見落とし防止として活用。

研究事例-6:床版・桁の健全度推定

現状と課題

- 現業における橋梁構造物の健全度判定は、高度な技術を要すことから、個人の暗黙知(現 場知見/工学知見)に頼る部分が多く、健全度判定における客観的な根拠に課題があった。
- 点検データだけでなく設計・諸元や運用等の多様なデータを活用した健全度判定が期待されてい るが、健全度推定モデルを現場に適用するには現場/工学的知見に照らした納得性が必要。

■ 検討手順

- 橋梁健全性に関与すると考えられる多種多様なデータ(点検管理/橋梁台帳/雪氷管理/設 計基準情報 等)を活用した、床版/桁の健全度値を実数値で推定するモデルを構築する。
- ▶ 評価資料作成に労力のかかるRC床版を対象に、実業務に合わせて、径間単位における劣 化機構毎の健全度推定モデルを構築し、推定性能の検証を実施する。

床版/桁の健全度推定 劣化機構毎のRC床版の健全度推定 モデルの推定性能評価 ______ 【学習/判別データ】3,562件(RC床版) 【健全度推定の性能検証】 【劣化機構毎にモデル分割】 推定健全度が「皿以下 ✓ 点検データ ✓ 諸元/運用/環境データ ✓ 健全度評価業務のモデル化の検証として ✓補修/対策データ ✓設計基準データ 実業務に合わせて、劣化機構「疲労」「塩 /Ⅳ以上」の群に正しく分 【分析手法】 害」「その他」毎にデータを分割し、モデルの 類されている率(平均含 統合回帰分析 Closed Validation 推定性能を検証 有率)にて、85%程度の 【変数/モデルの設定】 【学習/判別データ件数】 推定性能を確保 ✔ 床版/桁の健全度判定結果を目的変数に、 ✓ RC床版の劣化機構毎の3セットを設定 【劣化機構分割による性能】 諸元や点検データ等を説明変数に設定 (疲労:1,818件、塩害:555件、その他:781件) 実業務に合わせ劣化機 ✓構造形式毎に5つ(RC床版/PC床版/ 【目的変数、説明変数】 構毎にモデル分割したこ 中空床版/コンクリート橋の桁/鋼橋の桁)の ✓目的変数:健全度評価結果(I~V) とによって、推定性能が 健全度推定モデルを構築 ✓ 説明変数: 点検/諸元/運用/設計データ等 向上した

- □ 効果:モデル分割による性能向上とモデル活用による見落とし防止効果
- ▶ RC床版を対象とした推定モデルは、劣化機構毎に分割したことから橋梁の劣化特性が顕 著化し、各々のモデル推定性能(平均含有率)が向上した。
- ▶ 業務で「Ⅲ以下」と評価した橋梁のうち「Ⅳ以上」と推定された橋梁は、詳細情報の再確認 や補足点検の対象とすることで見落とし防止によるリスク低減を図る。
- □ 効果の検証

健全度推定性能評価結果



活用方策

- RC床版の健全度推定モデルによる推定値を健全度判定業務の補助/代替として活用。
- 健全度推定モデルの影響度の高い変数を参考に現場/工学的知見に数値的根拠を提示。

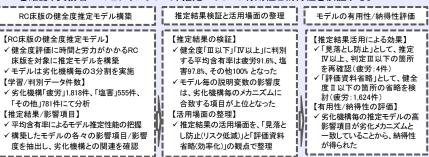
研究事例-6:RC床版の健全度推定モデル構築と活用

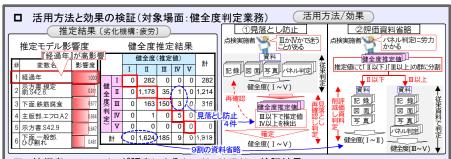
課題と目標

- 橋梁構造物の健全度判定は、点検記録・変状写真・点検要領等を参照し判定を行っており、 特に床版はパネル単位に細分化した評価を基に判定するため、時間と労力がかかっている。
- 統計的データ分析に基づき定量的に健全度判定を行う健全度推定モデルを構築し、推定値 の活用による判定業務の効率化及びリスク低減による判定の高度化を図る。

検討手順

- 健全度推定モデルの現場活用に向け、評価に時間がかかっているRC床版を対象に統合 回帰分析にて劣化機構毎、径間単位による推定モデルを構築する。
- ▶ 推定モデルを用いた健全度推定結果の活用場面を整理し、健全度判定業務に対する効果 を確認、実務者へのヒアリングにて、推定モデルの有用性と納得性を検証する。





- 技術者へのヒアリング調査による有用性/納得性の検証結果
- 有用性:①見落とし防止の活用方法では、『健全度ⅢとⅣは判断に迷うことがあるので、見落とし 防止となることは助かる』という意見を確認した。②評価資料省略の活用では、健全度 推定値Ⅱ以下である9割の件数の資料作成が省略できる効果が確認された。
- 納得性: 「経過年」が最も高影響であることは、輪荷重の繰返し作用による損傷が原因である 劣化機構『疲労』のメカニズムと合致することから、推定根拠として納得が得られた。

- 業務活用/導入に向け、全支社の橋梁データを対象として健全度推定モデルを構築する。
- BIソール等を用いて点検データ等の可視化を実施、路線/地域/点検事業所毎の傾向を把握する。

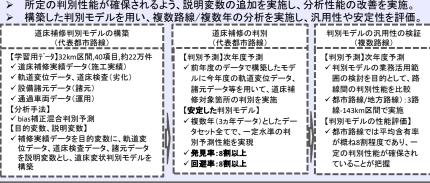
研究事例-7: 道床補修判別モデルの構築

現状と課題

- 現在の道床補修箇所の選定は、道床の検査結果や、列車動揺、軌道変位等の計測データ を使用し、それらの値と管理基準値との比較により、現場の状況に応じた補修を行っている。
- 実際の補修箇所は、計画上想定した補修時期を待たずに劣化が進行(悪化)する場合があ る等、突発的、事後的な対応も多く、必ずしも効率的な補修サイクルとなっていない。

検討手順

- ▶ 軌道変位データ、線路線形等の諸元データ、道床検査データ、道床補修実績データを用い て、対象区間で道床変状発生の確からしさを算定する道床補修判別モデルを構築する。
- 所定の判別性能が確保されるよう、説明変数の追加を実施し、分析性能の改善を実施。



道床補修判別モデル構築



道床補修判別モデルの汎用性

市路線Or地 方路線)	都市A (13km)	都市B (32km)	都市B (20km)	地方C (78km)
分析対象年	2012~ 2015	2013~ 2016	2014~ 2016	2015~ 2016
判別性能 (平均含有 率最大)	72~77%	83~85%	75%	69%
考察	お市路線に対し	ー定程度の性能 ▼ -地方路線の判別	は確保	
	市路線or地 方路線) 分析対象年 判別性能 (平均含有 率最大)	市路線の地 方路線) 分析対象年 2012~ 2015 判別性能 (平均含有 車最大) 考察	市路線の計	市路線の・地 方路線)

- 効果:効率的な補修計画と突発的対応の低減
- 道床変状事後確率値を参考に、優先して補修すべき箇所を設定することが可能となり、効 率的な道床補修計画の立案と突発的な道床状態の悪化の抑制(見逃し防止)に繋がる。
- ▶ 前年度のデータで構築した道床変状の道床変状判別モデルに当該年度のデータを適用し て道床変状の事後確率値を算出し、その値を参考に当該年度の道床補修計画を立案する。

- 道床変状判別モデルにおけるデータの影響度を分析し、現場点検時の注意点を明らかにする。
- データの蓄積等によりモデルの汎用性や推定精度を向上させ、業務活用を図る。

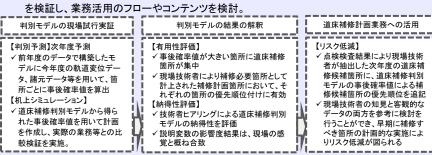
研究事例-7: 道床補修判別モデルの業務活用

課題と目標

- 道床補修について、現場担当者間で道床変状の評価にバラツキがあり、道床補修計画と補 修実績とにおいて箇所や数量に差異が多く、計画の修正作業に手間がかかっている。
- 統計的手法によって導き出された道床補修判別から得られた客観的なデータを参考に精度 の高い道床補修計画の立案を行い、業務のコストダウンや変状発生のリスク低減を図る。

検討手順

- 直近の実データや実施に使用されている道床補修計画を用い、構築した道床補修判別モデ ルの有用性や納得性の評価を技術者ヒアリングにより実施。
- 区間毎の変状発生の確からしさの値(事後確率値)の大小から道床補修計画箇所の優先順



- 現場技術者へのヒアリング結果(『』:現場技術者の意見、→:考察)
- 『目視で確認できる表面上の変状に対し、技術者判断により道床補修を行う傾向があるが、 一方、判別モデルは表面上の変状以外のデータ(軌道変位、諸元等)から道床補修箇所を 判別している。』 → 道床補修候補箇所の選定において技術者判断する際の参考データ
- ▶ 『従来の道床補修計画と判別モデルにより作成した計画が一致していないが、両方を組み 合わせると、より精度の高い計画が立案できる。』 → 補修対象箇所の見逃し防止に有効



今後の予定

講座研究で構築した道床補修判別モデルを現場で活用するとともに、(1)説明変数追加等 により判別モデルの精度改善、(2)他線区、他区所への展開を行う予定。

く参考資料>

社会連携講座の活動成果の概要 2009-2013 (抜粋)

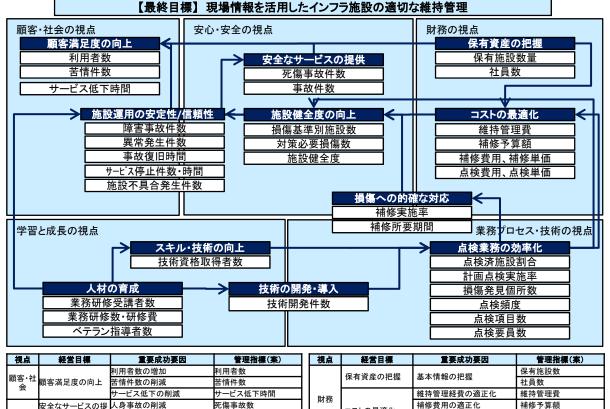
2014.4

経営目標と管理指標の関係性を整理することで、現場情報を経営・マネジメントに活用することが可能となる

補修費·補修単価 点検費·点核単組 点検費·点済施路率 損傷発頻度 点検項目数 点検項目数 点核項員数 技術開資格取得者数 技術所修立一系数

ベテラン指導者数

- ✓ インフラの維持管理では、一般的な「財務」、「顧客・社会」、「業務プロセス」、「学習と成長」の視点に「安全・安心」の視点を追加している。
- ✓ 管理指標をモニタリングすることで施策による効果が把握できる。また、複数の企業に共通する指標を用いれば各社間のベンチマークが可能となる。



視点	経営目標	重要成功要因	管理指標(案)	視点	経営目標	重要成功要因	
== ch +1		利用者数の増加	利用者数		保有資産の把握	基本情報の把握	
顧客·社	^{関各・在} 顧客満足度の向上 会	苦情件数の削減	苦情件数		体有貝座の花座	基本情報の批准	
		サービス低下の削減	サービス低下時間	財務		維持管理経費の適正化	
	安全なサービスの提	人身事故の削減	死傷事故数	知伤	コストの最適化	補修費用の適正化	
		事故件数の削減	事故件数		コヘトの取過化	補修費用の最適化	
		設備管理に伴う障害事故の防	障害事故件数			点検費用の最適化	
施設運用の		止	異常発生件数			点検計画の適正執行	
	言頼性	事故復旧の迅速化	事故復旧時間			点検計画の適正執行	
安心・安		サービス停止時間の削減	サービス停止件数・時間	業務プ	点検業務の効率化	損傷発見率の向上	
全		ゲーに入停止時间の削減	施設不具合発生件数	ロセ ス・技	は は は は は は は は は は は は は は は は は は は		
		#====================================	損傷基準別施設数	が		点検計画の適正化	
	施設健全度の向上	施設状態の正確な把握	対策必要損傷数	,,,		l i	
		施設健全度の向上	施設健全度		技術の開発・導入	技術開発の促進	
		计格叶相 计格士计算目序法	補修実施率		スキル・技術向上	資格取得者の増加	
	損傷への的唯な対心	補修時期、補修方法の最適化	補修所要期間	学習と		教育プログラムの有効活用	
				成長	人材の育成	研修の充実	
34) T	Trop マセリニ・ナフ・ジェン・	ファーマナーバ/会のエデュンホ	************************************			OJT教育の充実	

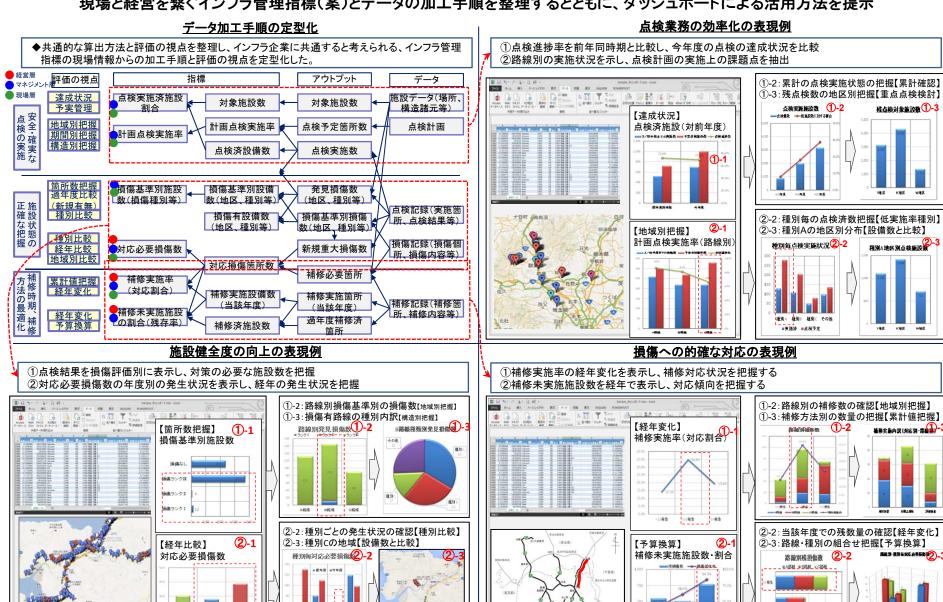
注)本研究で提示するバランス・スコアカード(参照モデル)及び管理指標(案)は、

社会連携講座参加企業等の公開情報、企業との意見交換等を通じて抽出された経営目標と評価指標を基に、データの活用状況等を考慮して、東京大学が作成したものである。

管理指標(案)	管理指標(案)の定義
顧客満足度の向上	日生11宗(木/砂龙戏
利用者数	サービスを利用している人数
苦情件数	利用者等からの苦情の件数
サービス低下時間	提供するサービスに支障が生じた時間
安全なサービスの提供	(延尺する) ころに文体が主じた時間
死傷事故数	利用者の死傷事故件数
事故件数	保有施設で発生した利用者が関係する事故件数
★ 単成件数 施設運用の安定性/信頼性	
障害事故件数	サービスに支障が生じる施設管理上の事故件数
異常発生件数	保有施設で発生した異常事態の件数
事故復旧時間	事故に伴うサービス停止から復旧までの時間
サービス停止件数・時間	サービスの停止件数と停止時間
施設不具合発生件数	サービスに影響する施設障害等の発生件数
施設健全度の向上	ᄝᄹᆙᄼᇓᄔᆡᆠᄔᆒᇝᇬᄱᅝᆉᄽᆒᇰᇭᇎᄣ
損傷基準別施設数	損傷が発生した施設の損傷基準別の箇所数
対策必要損傷数	補修等の対策が必要な損傷の数
施設健全度	重大損傷数等による対象施設の状態表示
損傷への的確な対応	
補修実施率	補修済み箇所数/補修が必要な損傷個所数
補修所要期間	対策必要損傷に対する補修実施までの期間
保有資産の把握	
保有施設数量	維持管理が必要な保有施設の数量
社員数	自社企業及び関連企業の社員数
コストの最適化	
維持管理費	施設の維持管理に要する費用(人件費、委託費等)
補修予算額	対象施設等に対し当該年度の補修に要する予算
補修費・補修単価	対象施設全体の補修費、1か所あたり補修費
点検費·点検単価	対象施設全体の点検費、1回あたり点検費
点検業務の効率化	
点検済施設割合	点検実施済み施設数/点検対象施設数
計画点検実施率	年間点検実施済み施設数/年間点検予定施設数
損傷発見箇所数	一定期間の点検で発見された損傷基準別の箇所数
点検頻度	対象施設に係る点検実施の間隔
点検項目数	対象施設に係る点検時の確認項目数
点検要員数	点検業務に従事する職能別、技能別の人数
技術の開発・導入	
技術開発件数	補修や点検業務の効率化に資する技術開発の件数
スキル・技術の向上	
技術資格取得者数	点検業務に有効な技術資格の取得者数
人材の育成	
業務研修受講者数	社内の業務研修の受講者数
業務研修コース数	社内の業務研修のプログラムの数
ベテラン指導者数	業務拠点毎のベテラン指導者数

RIAII © 2018

現場と経営を繋ぐインフラ管理指標(案)とデータの加工手順を整理するとともに、ダッシュボードによる活用方法を提示



<u>点検等現場業務の将来像(ver2014.3)</u>

- □ 点検業務の課題とICTを活用した改善の方向(ver2014.3)
 - 1) 点検員の現場作業の効率化と履歴管理(案)
 - 2) 構造物特性等を踏まえた点検業務の合理化(案)
 - 3)技術的判断の支援と技術伝承(案)
 - 4) 点検データ等の経営・マネジメントへの活用(案)
 - 5) オープンデータ活用による維持管理の高度化(案)

点検業務の手順に沿って業務課題とICTを活用した改善の方向を示し、業務場面に応じた将来像のコンセプトを提示 <業務内容> <現状·課題> <ICTを活用した改善の方向> 構造物の健全 ・ベテラン技術者減少により点検の効率化が急務 ・点検業務の課題を踏まえて、点検要領を見直し 点検方針 点検計 度等から点検方 定期点検と個別点検の役割の見直し 策定 針を策定 ・業務委託に関する手続きに時間を要する 画 過去の点検実 ・点検業務の実態に即した合理的な運用をルール化 点検計画 ・点検業務の実態が正確に把握できていない 策定 績から点検計画 策定 を策定 ・的確な計画作成には過去の資料が必要となる ・目視等が困難な個所の点検を計測機器に代替 ・費用対効果が得られない 要注意箇所 ・ ウンサ情報等の外部提供によりコストをシェア 常時計測 等の変化を 何をセンシングしてよいかわからない 監視 ・重要な状態変化を特定し 的を絞って兆候を察知 常時監視 ・図面と現地の照合に時間を要する ・位置情報を活用した点検箇所のナビゲーション 現場で損傷の 点検実施 箇所、状況等を ・技術レベルにより、点検漏れ、見落としがある 重要な損傷箇所の傾向を分析し着目点を明確化 記録 計測し記録 ・紙に記録するのが手間、狭い場所で記録しにくい ・個別点検用の機器を活用した簡易な点検方法 現場点検業 損傷・劣化レベ ·過去の類似事例(環境、判定等)の検索・比較 技術者の経験等によって評価にバラツキがある 仮評価 ル(緊急度等) ・熟達者は外延的な要因をも考慮して判断している ・ 遠隔にいるエキスパートからの助言 を仮評価 データの誤入力の可能性がある 測定値、写真、判定結果を自動的に記録、整理 測定値、写真、 記録•整理 判定結果を記 ・事務所でのデータ入力に時間がかかる ・現場入力端末と記録管理 DBとのシステム連携 録、整理 ・熟達者の判断理由等は詳細な記録が残らない ・測定値以外の各種情報(暗黙知)を自動的に入力 記録から損傷・ ・登録された点検データが有効に利用されていない ・財子の損傷事例、判定結果等の検索・比較等に 判定•登録 劣化レベルを判 よる技術支援 定 ・判定の参考となる情報の入手に手間がかかる ・点検結果と各種のデータを分析し、経営指標、マ 点検結果をとり 対応 点検結果 ・評価指標が確立しておらず標準的な水準が不明 まとめ、全体数 ネジメント指標として活用する 分析•整理 量を整理 分析の視点が企業ごとに異なる ·各企業の指標·数値を比較し運営の参考とする 心方針(結果) 対策の優先順位付けの参考となる指標を設定 斯検討· 点検結果の全 対応方針 ・点検結果だけで補修の優先順位が決まらない ・点検結果の全体像と関連情報を広域的に一覧表 体像から対応方 検討 ・総合的な観点から対応方針を判断する必要ある 針を検討 示する等方針検討に必要な情報を提供する ・車個DD等による過去の判定事例等の蓄積、類似 ・担当者の経験により判断にバラツキがある 損傷・劣化レベ 個別点検 事例の検索、情報流通の仕組みを構築する ・実質的に補修・補強に関する知識が必要 ル、個別点検の 別点検実施 筒所決定 ・データマイニング等により判断に必要な影響要因 必要性を判断 ・周辺環境を含め構造物全体の状況が把握し難い を抽出し、可視化する仕組みを作る 個別点検用の 個別点検 ・過去の点検・補修結果が十分活用されていない ・個別点検の分析に用いた点検結果を含む各種情 機器を用いて 実施・分析 報を自動的に記録し再利用可能な形式に整理 ・個別点検方法の適切な選定が難しい 点検を実施 ・熟達者の経験・知識の蓄積、社内外の情報流通 強補業修 ・個人の経験等に基づく知見が多く、伝承が難しい の基盤を構築し企業の枠を超えた人材育成を促進 補修補強 補修・補強の実 ・参考事例等の外部情報の収集に時間を要する 適合する補修技術の情報を収集 務補 内容決定 施内容を判断 補修作業・結果を自動的 こ記録 ・各部門で目的別にセンサ等を設置している ・センサ情報等を部門間で流通させ有効活用 外部環境変 管 維 常時計測 ・費用対効果が乏しい 化等を常時 ・おンサ情報等の外部提供によりコストをシェア 理持 計測 ・ビッグデータの分析により新しい情報価値を創出

将来像2:構造物特性を踏まえた点検方法 の合理化

<点検等現場業務の将来像>

〇構造物の弱点に合わせたセンサ等を活用し た計測方法の採用、運用の見直し等により、安 全性を確保しつつ点検作業を軽減する

✓ 構造物の劣化特性を踏まえた計測方法の改善

✓ 点検周期・運用手順等点検業務全般の効率化

将来像1:点検員の現場作業の効率化と履

○重要な損傷が発生しやすい部位、損傷種類 等の傾向を把握し、位置情報を活用した点検端 末等により現場作業の支援を行う。

✓ 情報端末による現場点検員の作業支援

✓ 点検員の損傷状態の判定業務等の支援

将来像4:点検データ等の経営・マネジメン トへの活用

○点検データを元に健全度評価、維持管理水 準等を設定し、経営・マネジメント・現場をつなげ る管理指標として活用する。

✓ 健全度評価指標とバランススコアカードの作成

✓ インフラ管理指標等による総合的な判断の支援

将来像3:技術的判断の支援と技術伝承

〇劣化に影響を与える要因等の技術的判断に おける熟達者の知見を体系的に蓄積し、外部情 報を含めて可視化できる環境を整備する

✓ 技術的判断を支援する情報の提供方法

✓ 熟達者の知識・ノウハウの蓄積と伝承

将来像5:オープンデータ活用による維持 管理の高度化

○企業が保有する計測データやオープンデータ を活用して、インフラの管理・運用に関する迅速 かつ的確な判断を支援する

✓ 非常時等における計測データの流通・活用

✓ オープンデータの活用と保有情報の相互利用

重要な損傷が発生しやすい部位、損傷種類等の傾向を把握し、現場での作業の改善提案を行う

基本的考え方

- ○点検員が実施している点検業務の流れに沿って、IC Tを活用して効率化された現場作業の将来像を描く。
- ・位置情報等を活用した支援端末により、作業の効率化 と点検漏れの防止、点検履歴の管理を行う
- 過去の点検結果の分析から得られる知見を反映した 損傷評価のバラツキの是正、点検記録内容の見直し

データ/ICTの活用方法

- ①有効な点検データの抽出と効率的な記録方法への改
- 既存の点検データや構造物諸元データから損傷の 判断や評価に有効なデータを抽出し、効率的に記録 できるよう点検項目等の記録方法を改善する
- ②優先度の高い点検筒所の明確化とマニュアル等への 反映
- ・点検データ等の分析により、優先度の高い点検筒所 の特徴(損傷の発生条件,着目点等)を明らかにし、特 徴に応じた点検方法をマニュアル等に反映する
- ③ICT機器の導入による点検記録作業の簡略化と履歴 管理
- 点検支援端末により現場記録作業の簡素化、業務 内容のガイドを行う。点検記録DBによりデータを効率 的に蓄積し活用するとともに作業履歴を管理する
- ④業務上の制約条件下における効率的な点検実施計 画の設定
- ②で抽出した優先度の高い点検箇所と業務上の制 約条件を設定し、移動コスト最小等の目的に応じた最 適な点検実施計画を設定する

実現に向けた課題

- ○重要な損傷が発生し易い部位や損傷種類等、目視の 際に確認すべき点検着目点の明確化
- ○橋梁等の閉鎖空間における精度の高い位置認識と 実務への適用
- 〇スキルレベルによる損傷の見落とし、評価のバラツキ を抑えるための技術支援方策の確立
- ○点検業務における点検員の作業負担を増加させない 各種情報(ログ)の蓄積ルール・手法の確立

作業 ①点検の 実施

点検時には現在位置の正確な把握が難しいため、損傷を発見した 場合に位置把握のため図面と現場を照合している

現在

②損傷の 発見

新たな損傷の発見は、技術者の能力に依存している。正確な位置 の把握ができないため、損傷箇所を見落とすことがある。

③損傷の 仮評価

損傷評価は各企業の基準によって実施されており、仮評価の結果 は技術者のスキルによりバラツキを生じている。

4点検結 果の記録

点検現場は閉鎖空間で劣悪な環境であるため、現場での記録作業 の負担が大きい。事務所での再入力に時間がかかる

スキルレベルによって仮評価のバラツキがあるため、熟達者の経験

⑤判定の 支援 ⑥結果の

分析•活用

をもとに関係者の合議により評価を設定する。 熟達者の経験や知識を頼りに、現場での点検作業を計画している ため、最適な作業計画となっているか疑問である。

将来

点検者の位置認識が可能なシステム(位置センサ等)を用い、点検 着目点を含めた自動的な点検ルート/手順をガイドする

重要損傷が発生し易い部位・損傷種類を明らかにし、チェック方式と することで、健全状態の記録を含め点検漏れを防ぐ。

AR等のICT技術を活用し、過去の点検結果、評価結果の比較・参照 により、損傷レベルの正確な評価を支援する。

時間情報、センサによる正確な位置情報等、記録が必要な情報の 一部を自動的に取得が可能となり、作業が簡素化される。また、健 全な状態を含め点検履歴が管理される。

損傷写真・データについて、画像解析技術等により過去の判定事例 から推奨を提示し、評価のばらつきを是正する。

点検業務のログ(担当・時間・ルート等)を蓄積・分析することで、合 理的な点検計画を策定し作業員の負担を軽減する。

イメージ図





構造物の弱点、損傷傾向等に合わせた点検・計測方法を検討し、点検業務の改善提案を行う

基本的考え方

〇目視を中心に一律の点検頻度で実施している現在の 定期点検方法について、構造物特性を踏まえ、メリハリ をつけた点検方法の将来像を描く

- ・目視を中心とした定期点検において、センサ等を活用することにより点検方法(目視、点検間隔)を見直す
- 個別点検や常時監視との役割分担を視野に入れる

データ/ICTの活用方法

- ①構造物特性、損傷傾向等を踏まえた点検方法の効率 化
- ・構造物特性、部位、損傷傾向等を分析し構造物の弱点を抽出するとともに、損傷の発生頻度や重大性を考慮した、的確で効率的な点検方法を設定する
- ②センサー等による重要箇所の状態把握と計測データ の活用
- ・損傷の進行が速い箇所、点検が難しい箇所等にセンサーを設置して状態監視を行う。詳細点検や補修の判断における計測データの活用方法を開発し、実証運用することでICTの有効性と信頼性を検証する。
- ③点検・計測データの分析結果を踏まえた点検ルール の見直し
- ・計測データを含めたデータ分析により損傷傾向(部位、頻度、進行速度、環境条件等)を把握し、リスク管理・予防保全等の観点から計測データを活用した点検ルールを検討し、適用可能性を評価する。
- ④コンディションベースによる点検周期、点検方法の最 適化
- ・上記②、③の検討結果を踏まえて、全て一律の点検 基準・周期でなく、重要箇所へのセンサーの設置等を 含む、構造物や損傷の特性に合った適切な点検周 期・方法を設定する

実現に向けた課題

- 〇一番損傷が出やすい箇所や重要損傷の予兆の損傷 となる弱点部位の抽出
- 〇センサの設置方法(場所・方法等)及び費用の明確化 〇センサの技術的な理解(計測項目、費用、精度、信頼 性等)の向上
- 〇点検方法を見直しするための判断に必要な根拠(統計的裏付け、信頼性等)とオーソライズの方法

①常時 監視 構造物の異常を事前に察知するために、どの箇所をどのようにセンシングしてよいかわかっていない。

②目視の 補完 ③目視の

代替

4)運用

ルール

目視を基本として実施しており、亀裂などの長さ、腐食の広がり等、 各企業の損傷評価基準に基づき、評価を実施している。

目視点検結果により詳細な調査が必要と判断した場合に限り、必要 な器具を用いた詳細の調査を再度実施する。

点検頻度は一律であることから、重要な現象を見過ごすと次の点検 までに損傷が進捗してしまう恐れがある。一方、劣化の進行が遅い 箇所も同等のコストがかかっている。

⑤点検要 領改訂 定期点検は、目視を中心に実施することとし、点検方法・頻度等は、 構造物毎の特性によらず一律となっている。 構造物の特性(弱点等)に合わせたセンサを設置し、損傷を監視することで、構造物の重大損傷の兆候を察知する。

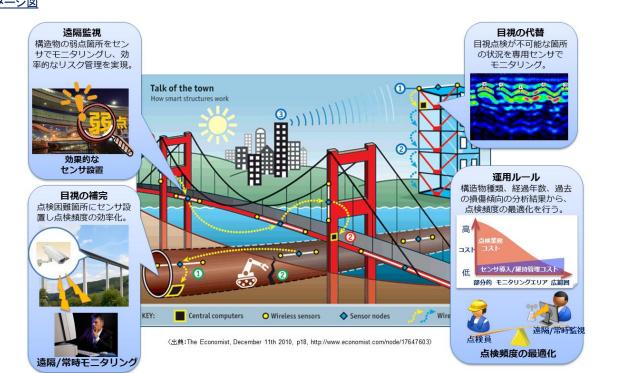
点検しにくい箇所(高所、閉所等)に目視を補完する<u>センサ等を設置</u> することで、目視による点検回数を減らす。

点検できない箇所(構造物の内部、化粧版裏等)に、目視より有効 な計測機器等による正確な情報収集に切り替える。

構造物の種類や経過年数等、過去の損傷傾向等の知見を反映し 損傷の進行度合いに応じてメリハリをつけ弾力的に運用する。

構造物の特性を反映することで、目視点検の一部をセンサ等による 情報収集へ代替、センサ等活用による目視点検間隔の見直し等、 構造物の特性に合わせて点検要領を見直す。

<u>イメージ図</u>



劣化要因の推定と対策の検討など、技術的判断を支援し技術を伝承する仕組みを提案する

基本的考え方

○マネジメント層が実施する技術的な判断支援に必要 な情報とその提供方法における将来像を描く。

・熟達者がどのような知見により判断を行っているかと いう情報(知見)の専門性に着目し、現状及び将来像を 整理

データ/ICTの活用方法

- ①点検データ等の分析結果を活用した技術資料の充実 ・点検データ分析から見出される知見、数値的裏付け、 代表事例等を体系的に整理するとともに、経験的な データ・知見を技術資料に反映して専門家間で共有し、 技術の伝承に活用する
- ②熟達者の暗黙知・思考プロセスの可視化と伝承方法 の体系化
- ・点検マニュアル、点検・補修記録等の情報と熟達者 の言動などから暗黙知、思考プロセスを可視化すると ともに、技術を習得するための学習・研修方法を体系 化し、OJTを诵じて評価・改善を行う
- ③損傷評価、補修方法等技術的判断を支援する仕組 みの構築
- ・損傷評価、補修方法等の判断に必要となる関連情 報を整理し、思考プロセスに応じて必要となる情報・ノ ウハウを定義するとともに、プロトタイプシステムの試 行を経て技術的判断を支援するシステムを構築する ④ナレッジ(マニュアル、事例等)を蓄積・流通する仕組 みの構築
- 各企業が保有するナレッジ(マニュアル、事例、ノウ ハウ等)を整理し、一定の条件下で企業間でナレッジ が蓄積・流通可能なルール、システムを整備する

実現に向けた課題

- ○現場データを用いた構造物の劣化に影響を及ぼす外 部からの影響要因の抽出
- 〇外延要因、事例及び知見等の蓄積・可視化による技 術の伝承
- ○企業内の個別システム間の情報連携<企業システ ムの関係性(データ内容、連携方法等)が不明なため、 様々なデータを利用した分析が困難>
- ○企業が保有する技術的な情報(事例, 基準, 人材等) の他機関への提供

支援方法

①関連情 報表示

熟達者の目視点検は、五感で感じた目視以外の何らかの情報を直 感的に把握して評価を行っている。

現在

②経験知 の蓄積

熟達者の知見・過去の経験は、個人の記憶としてとどめており、そ のノウハウ等が記録簿に記載されていない。

③要因分 析・表示

技術的判断は、技術者の保有する様々な外的要因や過去の事例 等を総合的に判断しているが、その思考過程は明らかでない。

4)事例: 知見

目視点検の結果により、個別点検を実施し、構造物の劣化状況を 詳細に把握することから、点検技術者は、実質的に補修・補強の必 要性の判断(仮説)が必要となる。

⑤専門 知識

高度な専門知識となる劣化予測、補修・補強の判断は、熟達者の経 験や知見以外にも、必要に応じ、外部の専門家の意見を求める。情 報収集に多くの時間が費やされている。

⑥マニュア ル等

技術的な知見をマニュアル等にまとめているが、必ずしも有効に使 われていない。技術伝承できる形式となっていない。

将来

構造物の劣化に影響を及ぼす地域特性や環境情報を、グラフ、地 図等で表示することで、判断支援情報として活用

熟達者の点検評価時の情報(位置、時間、天候、参考文献、判断理 由等)を蓄積・分析することで業務ノウハウを可視化・蓄積する

点検結果やセンシング情報等や外延要因を分析し、損傷や劣化の 傾向を明らかにすることで、技術者の思考過程を可視化する

構造物の劣化要因の把握に必要な情報を点検項目に追加するとと もに、関連する様々な事例情報を蓄積することで、類似事例等検索 が容易となる。関連する外部情報を取り入れる。

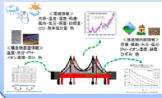
企業間での情報連携により、劣化予測精度の向上に必要な情報収 集や、適切な補修時期の判断に活用する。専門家の間で必要な情 報が流通する環境を整備する。

技術資料に現場データ等の情報を記載することで、立体的な技術 資料とする。技術伝承のための手法を確立する。

イメージ図

関連情報収集・表示

地理情報、環境情報、直接観測対象 とならない周囲のセンサデータを収 集し総合的データ分析を行う。



センサ情報と点検実績を分析し、 損傷/劣化の傾向を明らかにする ことで技術者の知見を可視化。 構造情報 施工情報 点検履歴

要因分析・表示

経験知の蓄積

構造物の劣化要因の把握に必要 な情報として、関連する情報を 点検項目に追加し、情報を蓄積。

整理項目	記載內容の特徵
点検頻度	・全ての企業において点検実施日極器 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
点検箇所	✓検対象の名称、位置情報を記載
指傷種類	✓直接箇所及び指傷種類類數
点模体制	ぐ点検支施会社名を記載
損傷計価改革 対策区分	/ 摄量
体部(929)	/写有张早生规2载

データマイニング

Data Data

事例・知見/専門知識

異なる企業間でのデータ連携により、 横断的/包括的なデータ分析を実施。 その結果により、劣化予測精度の向

上、補修時期の適切な判断を実現。

4 SEE CHEEK SEE SEE 13-310 X30-798 CANCELLERS SERVICES

点検データ等を活用し、経営層・マネジメント層・現場層をつなげる維持管理指標を新たに設定する

基本的考え方

- ○現場から収集したデータを経営・マネジメントに活用 するための管理手法における将来像を描く。
- ・ヒト・モノ・金の管理の視点から点検関連データの活用 方法を整理する。
- ・点検関連データ等を活用した経営・マネジメント・現場 層が一体となったインフラ管理の方法を構築する

データ/ICTの活用方法

- ①健全度や管理水準等のインフラ管理指標の体系化と 運用管理
- 現場と経営を繋ぐ、構造物の健全度、管理水準等を 示すインフラ管理指標をバランススコアカードの視点 から体系化し、試行運用、ベンチマーク等を行う。
- ②現場データ等を活用した構造物の健全度等の各種指 標の設定
- ・個々の損傷状態と構造物の諸元について、路線・地 区、環境等の視点との関係により、構造物等の所有 資産の健全度や技術的判断に関する指標を設定する
- ③点検結果と補修結果の関連性分析による補修判断 指標の設定
- ・点検データの損傷有無の推定と補修実施状況や方 法の関係性を把握することで、個別の損傷に対する 適切な補修実施が可能な判定指標を設定する
- ④点検・補修・環境データ等の可視化による補修計画 策定の支援
- ・点検データ、補修データ、環境データや運行情報及 び分析結果等を用いて補修優先度を検討するととも に、これらの情報を広域的に一覧表示することで、合 理的な補修計画の策定を支援する
- ⑤インフラ管理指標、環境情報等による総合的な判断の 支援
- 構造物健全度、インフラ管理指標、環境情報等をマ ネジメントの視点から関連性、一覧性をもって確認で きるシステムを整備する

実現に向けた課題

- ○1損傷単位の評価から構造物全体の評価を表す指標 の設定
- ○適切な維持管理水準の明確化
- ○企業の経営指標等の実態及びデータの使用方法
- ○各企業の経営指標情報の内容把握及び提供

管理手法

現在

将来

①オペレー ション管理

②構造物

管理

現在の点検では、 構造物の結果についての記録しか蓄積してお らず、点検業務(オペレーション)に関する記録(稼働、時間等)は 蓄積されていない。

現場の点検員は、点検記録簿に様々な点検結果を記録し、DBに 蓄積しているが、蓄積されているデータがどのように活用されて いるか、現場層に理解されにくい

現在の点検方法では、1損傷単位での評価を実施しており、構造 物全体がどのような状況か判断する指標は存在していない。

③資産 補修・補強の判断は、構造物の状況から判断されており、利用者 管理 サービス、投資計画など総合的な視点からは行われていない。

④ベンチ 構造物の状態を評価する指標は各社内の基準で管理されている マーク ため、適切な維持管理の水準が不明である。

> 点検結果だけでなく、様々な要因を考慮した上で補修計画を立 案する必要があるが、判断に利用可能な情報が限定されている

点検業務(オペレーション)全体を分析するデータ(稼働、時間、 費用等)を収集し、個別指標を整備・管理することで適切な点検 計画を策定する

点検データが各層の業務でどのように利用されているかを明ら かにするとともに、その結果が現場にフィードバックされる仕組み を構築する

センサデータを含めた現場からの情報を基に、構造物全体の状 態を評価する健全度評価指標により、経営的な視点から、補修 筒所・方法を選定する

バランス・スコアカードを作成することにより、経営・マネジメント・ 現場層が一体となったインフラ管理指標の体系が確立する

健全度評価指標により、インフラ管理水準を明確化し、企業間で のベンチマークを行う。

点検データに加え、補修データ、環境データ等を広域的に一覧表 示し、総合的な視点から合理的な補修計画を策定する

イメージ図

⑤補修

計画等

オペレーション管理

オペレーション実績データ(業務、時 間、費用等)を分析し、経営指標に基 づいた適切な点検計画の策定を行う。







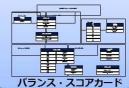
構造物管理

センサデータ/現場情報を元に、 構造物全体の状態を評価する 健全度評価指標を見積もり、 経営指標に基づいた補修箇所/ 方法を選定。



資産管理

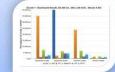
バランス・スコアカードを作成 することで、経営層/マネジメン ト層/現場層が一体となったイン フラ管理指標体系を確立する。



ベンチマーク

健全度評価指標により、インフ ラ管理水準を明確化し、企業間

でのベンチマークを行う。



オープンデータを活用し、インフラの維持管理業務における迅速かつ適切な判断を支援する

基本的考え方

○各企業が保有するデータに加え、オープンデータ^(*1)や他社が保有するセンサ情報等を活用することで、迅速・網羅的な状況把握と高度な分析・判断を実現する。

・非常時等に各社の計測データを流通可能な仕組みを構築し、社会全体の適切な初動対応を実現する。

・オープンデータの活用や保有データの相互利用により、 データ利用の効率化と維持管理の高度化を実現する。

(*1):オープンデータとは、データを単にインターネット上に公開するだけでなく、多様な情報流通を実現するため、コンピュータから読み込める形式で公開することをいう。

データ/ICTの活用方法

【システム及び要素技術】

①データ収集の効率化

・データボキャブラリ(*2)の定義、オープンデータAPIの設計/実装を行い、データ収集/アクセスの様式を共通化。

②データ活用の効率化

- ・情報流通プラットフォームの設計/実装を行い、データの管理、流通、活用が効率的に行える環境を整備。
- ・データカタログサイト/開発者サイト等を立ち上げ、一 定のルールの下にデータの相互利用を行い、データの 可視化やBIツール開発等を協力して実施する。

③業務応用の高度化

・自社データにオープンデータや他社の保有データを加えて、ビッグデータ分析を行い、予防保全など維持管理における高度な分析/判断を支援する。

④データ利用条件の整備

- ・情報流通プラットフォームのプロトタイプ、各社の保有 データのサンプルを用いた現場実証を実施する。
- ・CCライセンス(*3)等データオープンに向けた方針決定
- (*2):データ交換等を行うために必要な、データの仕様等を示す辞書のようなもの。
- (*3):CCライセンス(クリエイティブ・コモンズ・ライセンス)とは、データ流通についてのライセンス表示/再配布/営利利用を規定する著作権ルール。

実現に向けた課題

- ○情報流通の有効性(費用対効果等)の整理
- ○具体的なサービス・共有情報、適用場面の整理
- ○各種データボキャブラリの整理/標準化検討
- ○情報流通プラットフォームとしての技術要件の定義
- ○データ利用に係るライセンス整理、関係者の合意
- 〇データオープン化に係る管理体制整備

研究テーマ(想定)

〇オープンデータを活用した応用事例に関する研究

〇応用事例における効果の検証

情報の流れ

現在

将来

①データ収集

環境情報は、活用可能なデータが公共に向け、提供されている。

各団体が個別に点検実施し点検データ収集を行っている他、各団体 の自己負担でセンサやセンサデータ収集を行っている。

②データ活用

③業務応用

収集するデータの内容は各団体が設定し、収集したデータの蓄積/ 管理は、各団体により個別に行っている。

収集したデータのモニタリング/分析/可視化は、各企業・団体により 個別に開発・運用を行っている。

各団体が、それぞれ定めた一律の基準により個別にデータの分析/ 判断を行い、点検補修計画策定/予防保全を行っている。

各団体毎に、自社の保有データを活用した状況把握/判断等の業務 応用のノウハウを蓄積している。

各団体とも非常時の対応基準を保有しており、団体内のセンサ値等 のデータに基づく状況把握や安全確認対応等を行っている。 様々なデータ/データアクセス様式が標準化/共通化され、大規模なデータを対象とした効率の良いデータ提供/データ収集を実現。

各団体が保有しているデータを相互に利用し、管理負担を低減。

多様なデータを蓄積/管理する情報流通プラットフォームを構築し、関係団体間で容易にデータを管理・流通できる環境を構築する。

情報流通プラットフォームを活用し、オープンデータに企業情報を加えた幅広いデータによる迅速かつ的確な状況把握/分析/可視化を実現

大規模なデータの分析結果を業務応用し、緊急度/重要度、投資効率等を考慮した合理的な点検/補修/予防保全を実施。

他の団体の分析/維持管理事例を参照し、分析の幅を広げるとともに 得られた知見を他の団体等に提供する(ノウハウ展開)。

非常時には、蓄積したデータや、保有するリアルタイムなセンシング 情報を関係機関に提供し、社会全体の適切な初動対応を実現する。

