

道路政策の質の向上に資する技術研究開発
成 果 報 告 レ ポ ー ト
No. 2022-4

研究テーマ

ICT と商用車プローブデータを活用した
AI による道路維持管理システム

研究代表者：	長崎大学教授	松田 浩
共同研究者：	長崎大学教授	奥松 俊博
	長崎大学准教授	古賀 掲維
	長崎大学准教授	山口 浩平
	長崎大学准教授	西川 貴文
	長崎大学准教授	杉本 知史
	長崎大学准教授	佐々木謙二
	長崎大学技術職員	出水 享

令和 6 年 5 月

新道路技術会議

目次 <原稿作成例>

研究概要（様式 3 を挿入）	1
第 1 章 序論	3
1. 1 経済活動を支える社会インフラの供給基盤を取り巻く社会的状況	3
1. 2 国土交通省における広域的・戦略的なインフラマネジメントの推進	5
1. 3 定期点検の効率化・合理化に向けた取組み	6
1. 4 道路インフラメンテナンスに関する技術分野の取組み	7
1. 5 商用車プローブデータ	10
1. 6 本研究の目的	11
第 2 章 舗装の維持管理	13
2. 1 舗装点検の必要性	13
2. 2 これからの舗装マネジメント	14
2. 3 xROAD を活用した次世代の舗装マネジメント	15
第 3 章 長崎県（一部福岡国道）の道路の現状	20
3. 1 長崎県内の道路舗装維持管理に関するアンケート調査	20
3. 2 iDRIMS による IRI データの計測と活用	21
3. 3 道路パトロール車を活用したスマートフォンによる舗装劣化データ収集	22
3. 4 長崎市道における FWD 調査	27
3. 5 道路舗装点検技術の定量的分析	28
第 4 章 研究開発環境の整備	30
4. 1 AI 開発・運用環境	31
4. 2 路面性状データ収集システム	32
第 5 章 研究成果	33
5. 1 AI を用いたひび割れ率の算定法	33
5. 2 AI を用いた路面損傷・道路上の物体の検出	40
5. 3 3 次元点群データの解析手法	45
5. 4 GPS・加速度データを用いた平坦性の評価	48
5. 5 商用車プローブデータの可視化	49
第 6 章 AI を用いた道路維持管理システム(AIRMS)	51
6. 1 AI を用いた道路維持管理システムの概要	51
6. 2 機能詳細	51
第 7 章 まとめ（今後の道路政策への展開）	55
7. 1 本研究のまとめ	55
7. 2 今後の展望	55
参考論文	XX

第1章 序論

1.1 経済活動を支える社会インフラの供給基盤を取り巻く社会的状況

経済活動を支える基盤としての社会インフラの現状と課題について、内閣府の平成25年度の年次経済財政報告から抜粋して掲載する。

人材や金融サービス同様、企業が生産や営業拠点を考える際に、社会インフラは重要な判断材料となる。社会インフラの範囲は広く多岐に渡るが、ここでは、生産基盤となる道路、港湾、空港といった交通インフラを採り上げる。これは、企業の立地選択には、生産基盤の提供する財・サービスのコストと品質の与える影響が大きいためである。こうした生産基盤となる社会インフラの整備を取り巻く我が国の状況としては、人口構造の変化や技術の変化、既存施設の老朽化への対応と我が国が直面している厳しい財政状況等や、巨大災害に適切に備えることなど、課題が多い。例えば、人口が減少すれば、社会インフラの利用頻度が低下し、当該インフラ整備の費用対効果が悪化する。また、産業構造の変化や技術の変化によって、必要となる社会インフラの内容、質、そして量も変化する。以下では、こうした認識の下、企業が必要とする社会インフラを提供していくための課題と対応について検討していく。

(1) 社会インフラ整備に関する最近の考え方

これまでの資本ストックの増加に伴い、他の状況に変わりがなければ、維持管理・更新費は増加を続ける見込みである。社会インフラの維持管理・更新に要する費用は、これまで過去の投資費用(新設、災害復旧費など)をベースに一定の仮定を置いて推計されており、その結果によると、高度経済成長期以降の投資分が将来の更新費を押し上げていく姿となっている。

今後の人口見通しや財政健全化に向けた取組を踏まえつつ、必要な社会資本ストックの整備に取り組む必要がある。こうした問題意識の下、経済財政諮問会議においては、「21世紀型社会資本整備に向けて」として、今後の社会資本整備について、民間議員

から示された考え方などを踏まえた議論が行われ、「経済財政運営と改革の基本方針～脱デフレ・経済再生～」に取りまとめられた。

その議論の内容などを踏まえつつ、社会インフラ整備に関する最近の考え方に共通するポイントを整理すると、第一は、「選択と集中」の徹底である。公共投資の実施における国と地方の役割分担をより明確にし、民需誘発効果や投資効率などを踏まえつつ、整備を行うことが重要との指摘である。国は、全国的な見地から必要とされる基礎的・広域的事業に集中し、国際競争力を強化するインフラ(ハブ空港・ハブ港湾など)や、民需誘発効果、投資効率の高い社会インフラを選択し、集中投資する。また、ICTを用いた社会インフラ自体の生産性向上の取組も重要となる。地方は、地域に密着した事業、地域の特色を生かした事業を行うが、その際も、コンパクトシティの形成など、地方における戦略の明確化や優先順位付けが求められる。

第二は、民間資金を一層活用することである。整備・運営の効率化や提供されるサービスの質的向上だけでなく、民間による社会インフラ整備・運営により、財政負担の軽減が見込める事業については、民間資金を積極的に活用することが重要である。

第三は、アセットマネジメント・リスクマネジメントの改善である。アセットマネジメントとは、社会インフラを資産ととらえ、中長期的な視点から、社会インフラのライフサイクル全体にわたって効率的かつ効果的に維持管理・運営することである。情報の整備・活用、長寿命化計画の策定、コスト面・安全面からの最適な維持管理手法の導入などの取組が求められる。また、大震災などを踏まえて、巨大災害からの国家のリスクマネジメント(ナショナル・レジリエンス)の観点からの脆弱性評価、ICT活用によるモニタリングなどを通じた効率的なアセットマネジメントを推進していく必要がある。

(2) 交通インフラの老朽化と維持管理

90年代までに交通インフラの整備に多くの投資が行われたが、ストックを利用し続けるには維持管

理・更新費用がかかる。今後、時間の経過と共に交通インフラは老朽化が進み、必要な予算額も増えていくことが見込まれる。

【老朽化した交通インフラが急速に増加する見込み】

先述した更新費の増加の背景には、過去に建設したストックの老朽化がある。

道路、港湾、空港それぞれの施設について、建設年度別の施設数を順にみると、道路（橋梁）の建設施設数は60年代後半から80年代前半頃に最も多く、市区町村による設置施設数が多い。道路（トンネル）については、60年代以降、設置施設数が年々増加しており、97年度にピークに達している。これは、都道府県・政令市による設置施設数が多い（図1.1①②）。

次に、2012年度末時点において、建設年度が把握されている施設の管理者別平均ストック年齢は、道

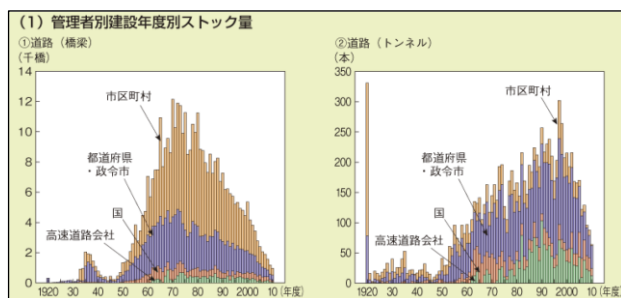


図1.1 管理者別建設年度別ストック量

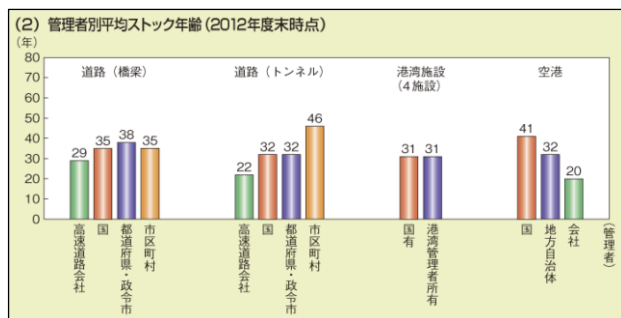


図1.2 管理者別平均ストック年齢

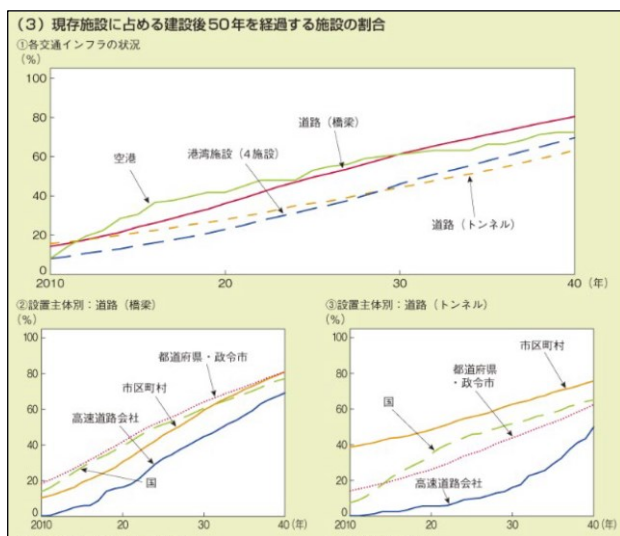


図1.3 現存交通インフラの老朽化の状況

路（橋梁）は都道府県・政令市の管理するストック年齢が38年、道路（トンネル）の場合は市区町村管理のストック年齢が46年となっている（図1.2）。

現存施設のうち建設後50年を経過した施設の割合（経過施設割合）を見ると、道路（橋梁）は、2013年度末の経過施設割合は18%であるが、70年代に整備された多くの道路（橋梁）が50年を経過する2030年度末には60%に急上昇する。道路（トンネル）についても、2013年度末の経過施設割合は20%であるが、2030年度末には45%に上昇する見込みである。

現存施設のうち建設後50年を経過した施設の割合を施設設置主体別に見ると、道路（橋梁）、道路（トンネル）いずれについても、施設設置主体を問わず経過施設割合が急速に高まっていくことが分かる（図1.3 ①～③）。

【厳しい財政状況下では、既存インフラの見直しや民間活力の活用も必要】

こうした老朽化が深刻化していく中、国や地方公共団体はどのように対応すべきだろう

か。地方公共団体に対するアンケート調査結果によると、今後、社会資本の維持管理・更新需要の増大への懸念としては、「財政負担や住民負担の増大」、「既存の社会資本の更新や改良の断念や遅れ」、「既存の社会資本の維持管理水準の低下」などが挙げられている（図1.4）。特に、都道府県において、維持管理・更新需要増大への懸念割合が高い。

懸念される内容への対応策として関心があることとしては、財源確保の他、長寿命化対策などの実施や既存社会資本の見直し（廃止、縮小、統合等）といった回答が多い（図1.5）。回答主体別では、市区町村は財源の確保には関心が高いが、長寿命化対策等の実施や民間活力の活用への関心が低い傾向がある。

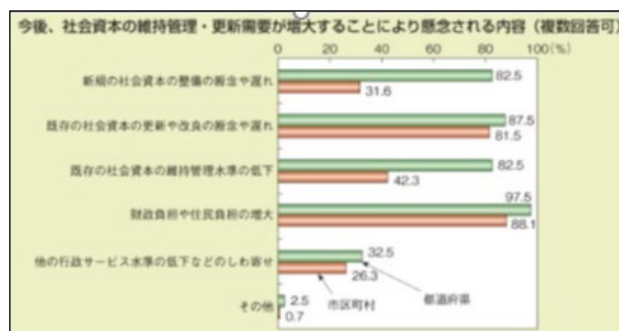


図1.4 社会資本の維持管理での懸念内容

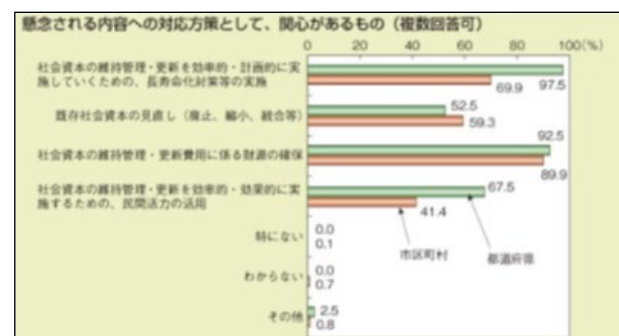


図1.5 懸念内容への対応策

また、別の地方公共団体へのアンケート調査の結果によると、施設管理者である地方公共団体に、中長期的な維持管理・更新に必要な費用の把握もままならないところが多く、都道府県及び政令市の約4割、その他の市町村の約7割の自治体が必要費用額を把握していない。また、費用を把握していない自治体の過半は、費用推計に必要なデータさえも蓄積しておらず、政令市の三分の二は予算が不足して費用の把握ができないと回答している(図1.6)。

財政健全化という課題がある一方で、質を維持しつつ、公共サービスを提供していくためには、こうした資産の適切な管理は不可欠である。また、将来にわたって適切なアセットマネジメントを実現するためには、将来の社会インフラ需要を見込んだ「選択と集中」が求められる。その際、PPP/PFI事業や指定管理者制度の活用により、効率的な維持管理・更新を進めていくことも必要である。

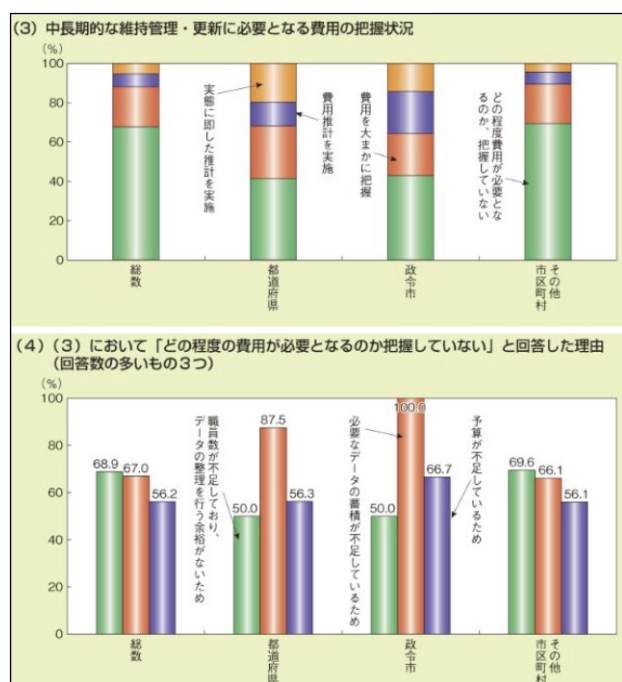


図1.6 インフラ維持管理更新に関する自治体の意識

人口減少や少子高齢化といった構造変化によって交通需要量が減少する中、現在の交通インフラを維持した場合、交通インフラの単位コストは大都市圏では下がるものもあるが、地方圏では高まる懸念がある。交通インフラ利用効率を高い水準に維持できるよう、道路については、コンパクトシティ形成や交流人口の増加等の地域ごとのまちづくりと道路管理の整合性を高めていくことが一層求められる。

1.2 国土交通省における広域的・戦略的なインフラマネジメントの推進

(1) インフラメンテナンスを取り巻く状況

笹子トンネルの事故(2012.12)以降、国内ではインフラメンテナンスに幅広い業種が関心を持って取

り組んでいる。2015年末のインフラメンテナンスに関心のある企業・団体との意見交換会では、異業種との技術交流、新たなビジネスモデルの検討、表彰制度の創設などを求める意見も出てきた。国内の状況は、図1.7に示すように、産学官で連携して進められている。2012年の産学官の学には岐阜大学と長崎大学が、産官共通の高度な知識を持った総合技術者の養成開始との記述もある。

国内のインフラメンテナンスの市場規模は約5兆円(日本のGDPの約1%)に対し、世界に目を転じると、インフラ老朽化や需要拡大への対応に約200兆円の市場があり、これは世界の自動車市場規模を上回る(2012年自動車市場約175兆円)と算定されている(図1.8)。

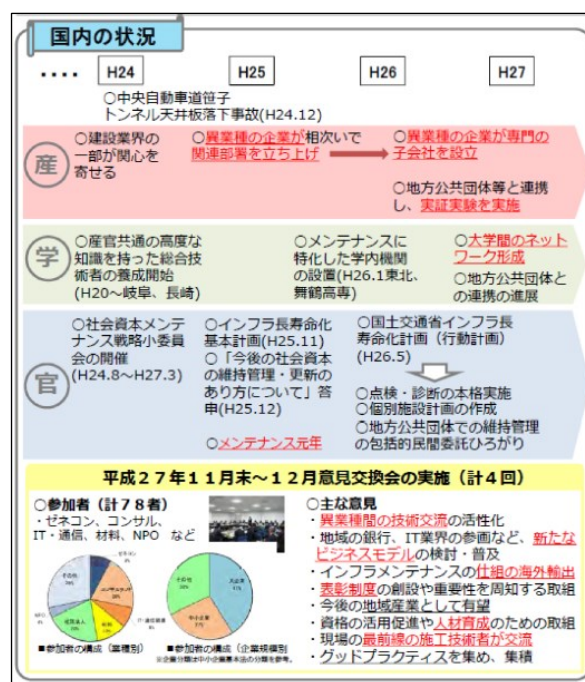


図1.7 国内の状況

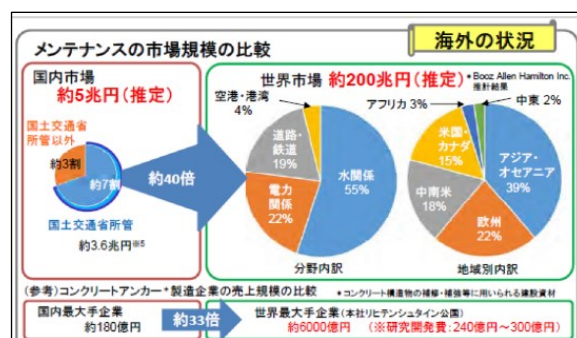


図1.8 海外の状況

さらに、国土交通省では、インフラメンテナンス国民会議の設立に向けて、

- ・幅広い業種からの新規参入を促進し、メンテナンス技術の分野での生産性革命をおこす。
- ・国民会議が伴走するコンサルタントの役割を担い、技術開発を促進するオープン・イノベーションの

導入、自主的な勉強会・交流会の活動を支援する公認フォーラム制度等の導入、海外展開等を通して、ビジネスを最大化。

- ・インフラメンテナンス大賞の創設等により、メンテナンス分野の取組を周知し、国民へのメンテナンスの理念の普及を図る。

という項目を目標として取り組まれた。そこでは、以下のように、5つの戦略を提示し戦略的に推進されている。

- 戦略1 インフラメンテナンス分野における技術開発の生産性革命
- 戦略2 ビジネスチャンスの創出（公認フォーラム制度導入）
- 戦略3 200兆円巨大海外市場への挑戦（インフラメンテナンスの海外展開）
- 戦略4 メンテナンス技術の限界突破（技術コンペの実施）
- 戦略5 メンテナンスのメジャー化（表彰制度創設）

(2) 社会資本メンテナンス戦略小委員会による広域的・戦略的なインフラマネジメント

社会資本メンテナンス戦略小委員会は、笹子トンネル天井板崩落事故の4か月前である、2012年7月に社会資本整備審議会の下に設置され、広域的・戦略的なインフラマネジメントを推進してきた。議論の中で、的確な維持管理に向けて体制や予算等の見通しを持つことが出来ず、社会資本の管理責任を果たせなくなるおそれのある市町村也未だ多いことが想定された。したがって、笹子トンネル事故から10年を迎える2022年9月に、現在の施策の進捗状況等を把握し、これまでの取組のレビューを行うとともに、今後の取組の方向性について検討およびとりまとめが行われた。そして、総力戦で取り組むべき次世代の「地域インフラ群再生戦略マネジメント」の案が作成されている。

1.3 定期点検の効率化・合理化に向けた取組み

2019年10月10日「第11回道路技術小委員会」では、道路施設の定期点検の更なる効率化・合理化に向けて、道路橋を対象として議論されている。

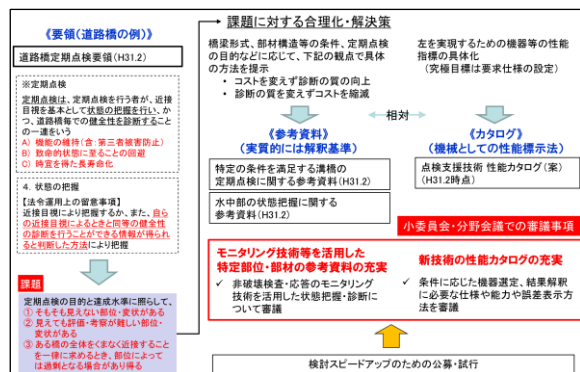


図1.9 定期点検のさらなる効率化・合理化

定期点検の目的と達成水準に照らして、①そもそも見えない部位・変状がある、②見えても評価・考察が難しい部位・変状がある、③ある橋の全体をくまなく近接することを一律に求めるとき、部位によっては過剰となる場合があり得る、等の課題が出された（図1.9）。

それに対して、モニタリング技術等を活用した特定部位・部材の参考資料の充実を図るために、非破壊検査・応答のモニタリング技術を活用した状態把握・診断について審議がなされた。また、新技術の性能カタログの充実に関しては、条件に応じた機器選定、結果解釈に必要な仕様や能力や誤差表示方法について審議がなされた。さらに、近接目視によらない点検方法の開発に関する事項について審議がなされている。そこでは、図1.10に示すように、将来においては、AIを活用した点検・診断技術の開発、計測・モニタリング技術の検証を進め、近接目視によらない点検方法をベストミックスすることの方針を提示されている。

2020年6月10日「第12回道路技術小委員会」では、第11回の小委員会（R01.10）における、＜定期点検の更なる効率化・合理化に向けた取組＞、＜点検技術者の質の確保＞、＜新材料・新工法の導入＞、及び＜維持管理・アセットマネジメントのためのデータの活用・整備＞について審議された意見に対して、審議・報告事項が示された。

＜定期点検の更なる効率化・合理化に向けた取組＞については、公募した技術のカタログ、定期点検参考資料、点検支援新技術のレベル分けについての審議がなされている。橋梁を対象とした定期点検の技術において、画像計測技術、非破壊検査技術、計測・モニタリング技術、データ収集・通信技術に分類し、橋梁60技術、トンネル17技術、その他3技術、合計80技術が掲載されている。

定期点検で活用する技術のレベル分けに関しては、1巡目点検では近接目視が前提であったが、2巡目点検では、画像計測技術、非破壊検査技術を用いて人が定性的に把握するLevel_1、任意のタイミングで状態把握、「どこか」が「壊れた」ことを把握するための計測・モニタリング技術 Level_2、状態の把握、健全性の診断のための情報を定量的に把握するための計測・モニタリング技術 Level_3、さらに、診断

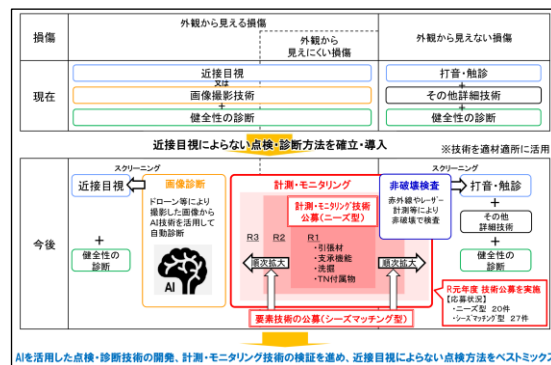


図1.10 近接目視によらない点検方法の開発

の定量化のための計測・モニタリング技術 Level_4, というように、定期点検で活用する技術レベルを4段階に分けている(図1.11)。

Level_1~Level_3 の技術レベルは、監視、状態の把握の支援、診断の支援は、人が判断するが、Level_4 の技術レベルは診断の定量化は機械が計測することが目標とされている(図1.12)。

診断の定量化に向けての技術開発については、図1.13に示すように提示されている。これはサイバー空間とフィジカル空間に送る技術を融合したデジタルツイン技術である。

さらに、図1.14に示すように、橋梁を例として、維持管理・アセットマネジメントのためのデータの活用・整備に関して、必要なデータ項目を明確化し一元的に管理・活用することで、計画的なメンテナンスを支援することが提示された。

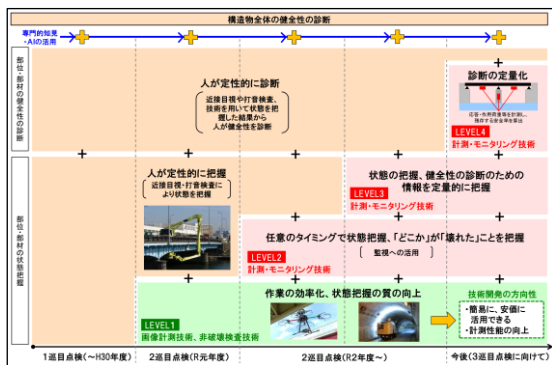


図1.11 定期点検で活用する技術のレベル分け

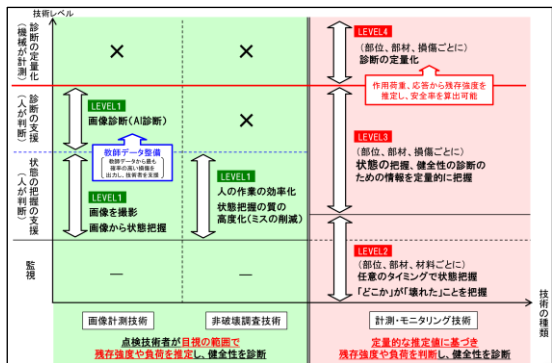


図1.12 定期点検で活用する技術の区分

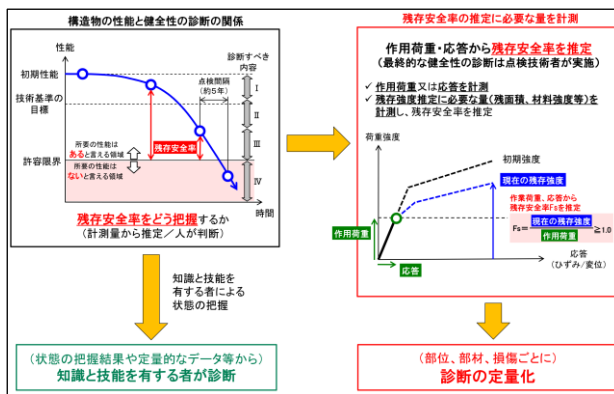


図1.13 定期点検で活用する技術の区分

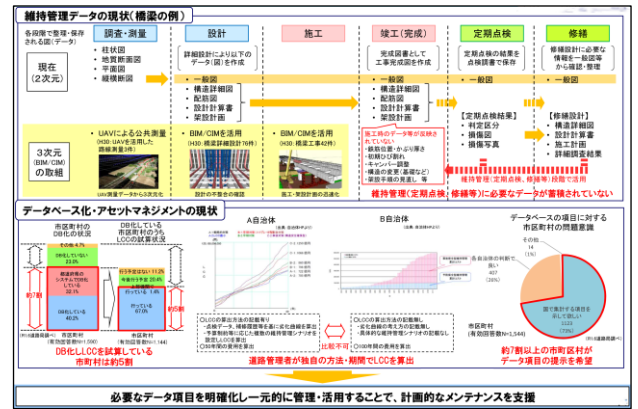


図1.14 定期点検で活用する技術の区分

1.4 道路インフラメンテナンスに関する技術分野の取組み

第15回道路技術小委員会(2021.10.25)における「技術分野の取組み」に関して、舗装の点検状況、点検支援技術性能カタログ拡充、道路施設点検データベースの整備と新技術活用について以下に示す。本研究テーマを企画・立案・推進するのに参考にした。

(1) 舗装の点検状況

舗装の点検については、1巡目を2017年度より開始しており、2021年度が最終年度である。

図1.40 は直轄のデータである。右側の表には、修繕が必要な延長が約6000kmある。それに対して、修繕の着手済みが15%ということで、橋やトンネルに比べて舗装は、修繕の措置になかなか手がついていないという実態である。

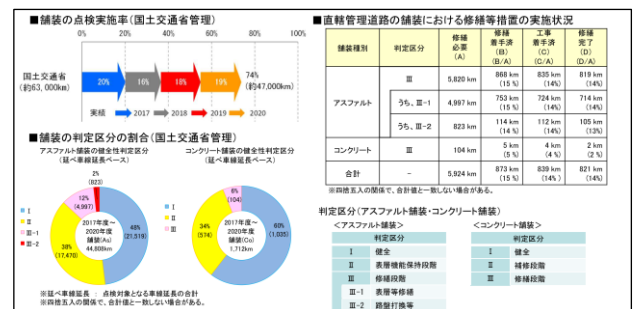


図1.15 直轄国道における舗装の措置の実施状況

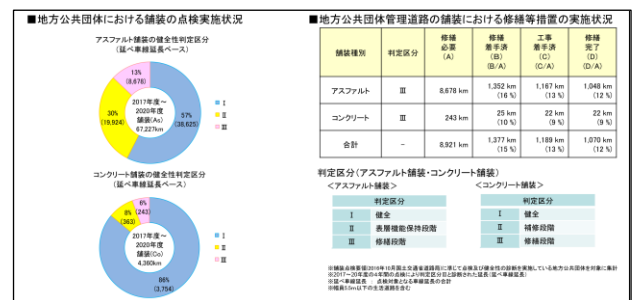


図1.16 地方公共団体管理道路の舗装措置実施状況

図1.16は地方自治体の舗装の点検状況である。地方公共団体に対しては、2016年度に点検要領が技術的助言として示されており、それに則り点検の実施状況の情報が収集されている。集まったデータが、左側のドーナツの中に記載されているが、アスファルト舗装が67,000km、コンクリート舗装が4,000kmのデータが集まっている。右側の表が地方公共団体管理道路の舗装における修繕等措置の実施状況を示すもので、修繕が必要な状況が9,000km、修繕着手済が15%となっている。

図1.17に示すように、舗装の点検は全国で約半分の自治体で行われているが、半分の自治体では行われていない。自治体の点検が実はあまりなされていない分かる。点検を行っている自治体においても、国の点検要領に準じて、判定区分をⅠ、Ⅱ、Ⅲとしっかり分けたりしているところというのが、3分の1しかないというのが現状である。

図1.18に舗装の損傷事例を示す。アスファルト舗装の判定区分Ⅲ（修繕段階）は、損傷レベル大で、ひび割れやわだち掘れ、縦断凹凸等が生じており、表層あるいは路盤を含めた舗装打ち換え等の修繕措置が必要な状態である。

コンクリート舗装の判定区分Ⅲ（修繕段階）は、損傷レベル大で、コンクリート版において版中央付近又はその前後に横断ひび割れが全幅員にわたっていて、一枚の版として輪荷重を支える機能が失われている可能性が高いと考えられる状態、または、目地部に段差が生じたりコンクリート版の隅角部に角欠けへの進展が想定されるひび割れが生じているなど、コンクリート版と路盤の間に隙間が存在する可能性が高いと考えられる状態である。図1.19は舗装点検の現状を示している。

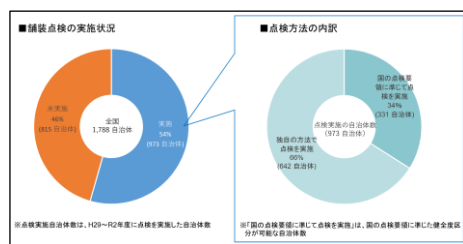


図1.17 地方公共団体の舗装点検状況（R2末時点）



図1.18 舗装の損傷事例

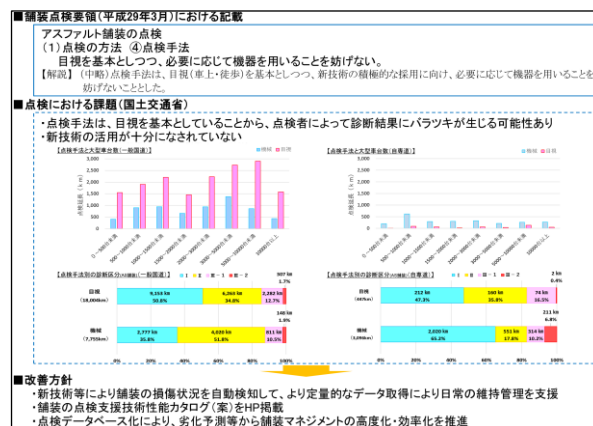


図1.19 舗装点検の現状

2018年に、国交省の新技术促進のNETISでテーマを設定し、募集した結果、いろいろな試験法が出てきている。道路の舗装点検要領については、点検の方法は目視を基本としつつ、必要に応じて機器を用いることを妨げないとなっており、目視点検を基本にしている。

直轄国道においても、一般道では目視点検が多い。自専道は機械を使うことが多い。目視区間と機械区間で点検結果に関しては、特にⅠ判定、Ⅱ判定のところでは、機械と目視で結構差が出ている。直轄においても目視なので、判定Ⅰ、Ⅱ、Ⅲは分かるが、例えば、ひび割れやわだち掘れがどれぐらいなのか、定量的には把握できていない。新技术等により舗装の損傷状況を自動検知して、より定量的なデータの取得を行ない、その点検を自動的に行うような新しい技術を、カタログのほうに掲載し、それらのデータをデータベース化して、劣化予測をして、舗装マネジメントの高度化・効率化を推進していこうという流れが改善方針に記載されている。これが、本研究でも目標とするところである。

その試験結果は図1.20のように公表されている。車両からひび割れ、わだち等を自動的に把握するもの、下段はそれをスマホで簡単に実施するものとか提案されているが、なかなかまだ使われていないというのがほとんどである。これを普及させていきたいと言及されている。



図1.20 舗装点検の新技术の事例

(2) 道路施設の点検DBの整備と新技術活用

メンテナンス年報で、毎年、データをホームページ等で公表しているが、図1.21に示すように、より視覚的にも分かりやすくしようということで、損傷マップというものを2021年の夏に公表している。

ⅢまたはⅣ判定になっている橋やトンネルがどこにあるのか、それが、措置の着手状況が、措置済みなのか、着手済みなのか、まだ未着手なのかということの色分けで掲載されている。併せて道路の線は道路交通センサスのデータを掲載しているもので、大型車交通量データを重ねて見ることができるというものである。

図1.22は、それらのデータを県別、市町村別のデータに整理し、判定区分Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ状況、Ⅲ・Ⅳ判定になったものについての措置の着手状況を、市町村ごとのデータが見られるように、ホームページで公開している。

道路メンテナンス年報という形で、いろいろデータの公開を進められており、より分かりやすくしていくことで、道路管理者だけでなく、一般の道路利用者のに現状を知ってもらい、メンテナンスが非常に大事であるということを周知していく観点で、このような取組がなされている。

図1.23はxROAD（道路データプラットフォーム）の構成を示している。道路局では、道路関係の様々なデータを、基礎データである地図データ、MMS（モバイルマッピングシステム）、LP（レーザープロファイラー）、道路基盤地図情報、DRM（Digital Rights Management、デジタル著作権管理）、国土地理院地

図、等々、を地理データに重ね合わせて載せられるようにするとともに、右側の各データを相互に繋いで、アプリケーションを開発し、道路施策検討や現場管理に活用してもらうということをイメージして取り組んでいる。これらについては、APIも公開し、また、一部データも民間開放することによって、オープンイノベーションを促進していくような構想が描かれている。その中で、赤く丸で囲ってある、道路構造物の諸元や点検結果については、定期点検でトンネル及び橋梁については2巡目に入っていて多くのデータが蓄積されているが、道路管理者ごとに様々な仕様になっている。

したがって、具体的に図1.24に示すように、道路施設の点検データベースの整備と新技術活用について検討されている。昨今、デジタル化やAI技術が進展しているが、様々な仕様によってデータが統一的に使えないので、そのような環境を整備する必要がある。そこで、点検・診断データをデータベース化して、APIで共有することで、一元的に処理・解析が可能な環境を構築する計画である。このデータベースについては、可能な限り公開し、各研究機関や民間企業等に、AI技術の開発など活用してもらうことで技術開発を促進していく予定である。

図1.25は、点検から修繕計画作成までの施設データベースの活用（案）を示している。

青色のところは、今、整備しようとしているデータベースである。このデータベースを整備すれば、重複入力を排除でき、また、各点検から診断、修繕の段階で、赤枠で囲ってある、



図1.50 全国道路構造物情報マップ（損傷マップ）

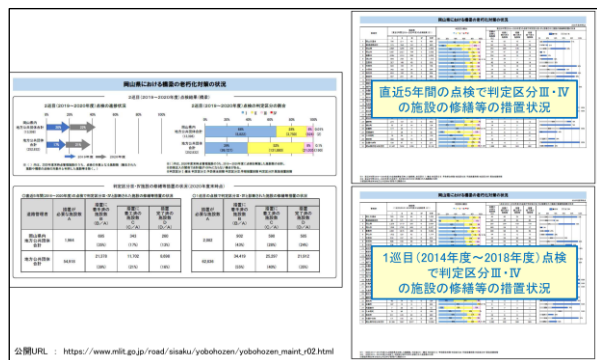


図1.51 各都道府県における老朽化対策状況

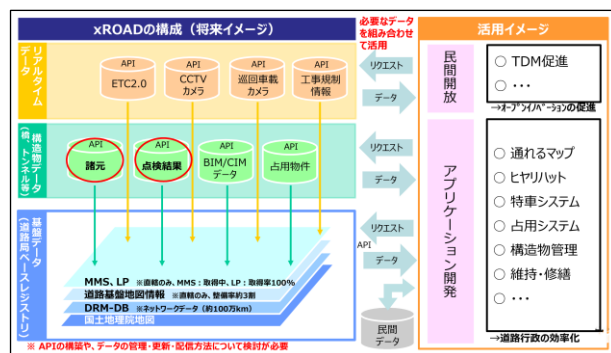


図1.23 xROADの構成

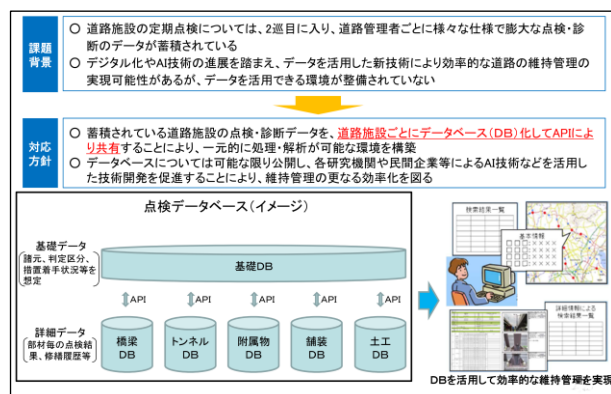


図1.24 道路施設の点検DBの整備と新技術活用

新技術活用によるアプリケーションを導入することで業務の効率化・高度化につながる事が考えられる。例えば、現地点検の段階では、過去の点検データや類似損傷を検索できるシステムを、現地のタブレットから見て参照できるとか、診断については、画像AIで診断結果を支援するシステム、修繕については、劣化を予測して修繕費用を推計するシステム、これ以外にも様々なシステムを構築して、アプリケーションを民間に開発してもらって、道路管理の高度化・効率化を目指したい。

図1.26 は、画像認識AIによる直轄管理橋のデータベース活用事例である。例えば、左上の点検結果（赤枠）の写真を画像認識AIに入れ込むと、自動的にデータベースから、同じような損傷とAIが判断した画像一覧が出力され、その中から見たいデータの画像をプロットすると、そのデータベースに繋がって、データベース中の点検結果、診断結果、補修結果、等々を取り出して、確認したい写真の参考になることが想定されている。

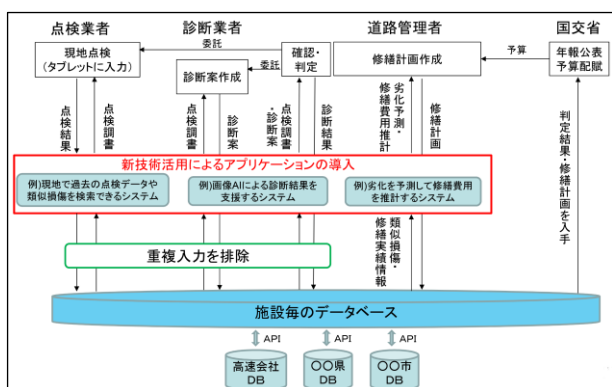


図1.25 点検～修繕計画作成の施設DBの活用(案)



図1.26 画像認識AIによる直轄管理橋のデータベース活用事例

1.5 商用車プローブデータ

(1) 商用車プローブデータとは

民間企業（株）富士通交通・道路データサービス、以後、FTRDと略）が蓄積している、全国の緑ナンバートラック100万台のうち約23.4万台（23%）を占める大型車交通量データである。日本全国の幹線道路を通行する貨物商用車（事業用トラック）の走行

データから抽出・蓄積したプローブデータを交通現象解析向け用途に提供されるものである。本研究では、株式会社トランスロンが提供する商用車プローブデータサービスを使用した。以下に、商用車プローブデータの特長、概要、活用用途等を示す。

(2) 特長

- ・走行貨物商用車からリアルタイムに挙動情報収集：富士通製の運行記録計（ネットワーク型デジタルタコグラフ）を装着して日本全国の幹線道路を走行する貨物商用車から、リアルタイムに1秒毎の挙動情報を収集・蓄積。概要図を図1.61に示す。
- ・データ収集の規模と継続：「全国の幹線道路の利用状況」、「物流の走行経路」、「詳細な運転挙動」をデータベース化。2012年から継続してデータを収集・蓄積している。
- ・運行データは富士通データセンターで管理：運送事業者に関する秘密情報を秘匿化・抽象化した上で、交通安全と道路基盤の安定の用途に活用。運行データは富士通のデータセンターで管理している。

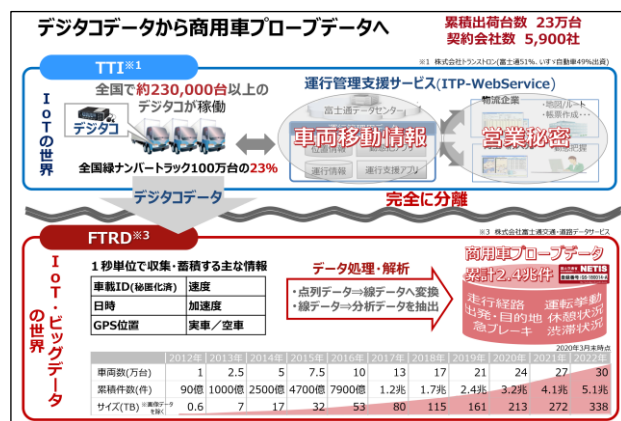


図1.27 デジタコデータから商用車プローブデータへ

(3) 概要

図1.28に商用車プローブデータの概要を示す。

商用車の安全運行対策や道路計画の支援を目的としたサービスで、商用車21万台（2022年8月現在）（全国緑ナンバートラック93万台の約23%）のプローブデータを分析した結果を提供している。経路・OD分析、SA/PA利用分析などの効果的、かつ効率的な道路計画に役立つサービスを提供するものである（図1.29）。

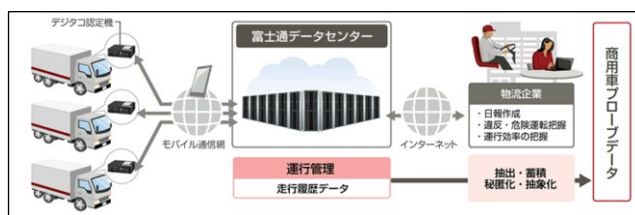


図1.28 大型商用車プローブデータの概要

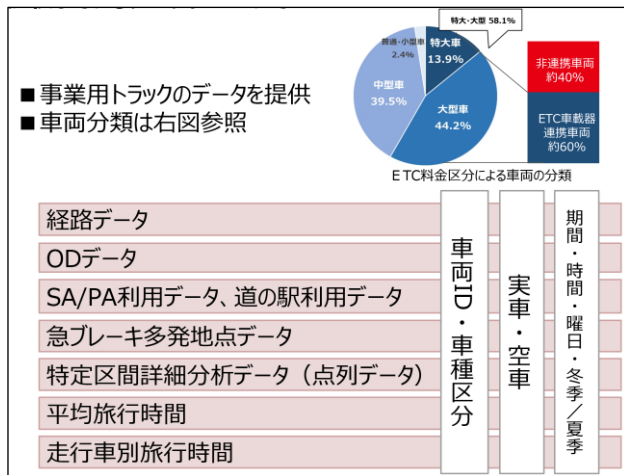


図1.29 提供しているデータ種

1.6 本研究の目的

(1) 研究目的

長崎大学では2014年頃から、民間企業（株）富士通交通・道路データサービス、以後、“FTRD”と略）と共同研究を進め、スマートフォンに搭載された加速度センサーにより車両走行時の振動を計測する技術を用いたデータ収集スキームを構築すると同時に、計測された車両走行時の振動データから舗装の健全度を評価する技術開発を行ってきた（道路パトロール支援サービス、以後、“道パト”と略）。その結果、車両や速度の依存性などの種々の影響があるものの、振動データから舗装健全度を評価することが可能であることを確認した。また、車両振動加速度の時系列データを統計的学習理論に基づいたパターン認識技術を適用することにより、道路のひび割れ/ポットホール/マンホールを判別することも可能となった。さらに、ドライブレコーダーの映像と路面平坦性を連動させて表示する技術も構築し、ひび割れ率と轍掘をスマートフォンやドライブレコーダーから取得されるデジタル画像から認識可能なシステム開発に取り組んできた。

さらに、FTRDは全国の緑ナンバートラック230万台のうち約90万台(25%)を占める大型車交通量データ(商用車プローブデータ)も蓄積してきている。これと道パトによる舗装面の異常情報（網目状ひび割れくぼみ、大幅直線状ひび割れ、車輪走行位置のピット状くぼみ、部分補修部位の再劣化、ひび割れからの泥水滲出、滞水+ひび割れくぼみ等）を重ね合わせることで、高速道路や国道で問題となっている道路橋RC床版の土砂化の早期発見に有効であると考えられる。

本研究開発では、インフラメンテナンスは長年の経験と熟練の技術の継承という概念を基に、路面の状態をスマートフォンやドライブレコーダー等のICT機器で正確に記録し、AIを用いて自動化された点検・診断支援を行う。得られた診断結果から、過去

の維持管理情報・工事履歴情報など複数の統計情報に加えて、路面に最もダメージを与える大型交通量情報（商用車プローブデータ）を用いて、蓄積されたデータベース及びビッグデータから道路舗装の維持管理計画を策定支援する人間の目や手作業を介さない完全自動な技術を開発する。また、修繕・措置支援では最適工法をAI等を用いて導き出し、地域の道路、区間に適した長寿命化可能な工事設計を策定する。道路管理者が業務を効果的・効率的に実施するための空間・時間・重要情報の重ね合わせによる一元的可視化手法を開発するとともに、今後持続可能なDX時代のAIを活用した次世代型維持管理計画策定手法の構築を目的とする。

(2) 研究期間内に何をどこまで明らかにしようとするのか

本研究においては、ドライブレコーダーで取得される動画から得たデジタル画像を用いて、

- (a) 画像分類AIを用いたひび割れ率の算定法、
- (b) 物体検出AIを用いた道路構造物の検出法、
- (c) SfMと3DセグメンテーションAIを用いた道路上物体の検出法

を開発する。さらに、上記手法で得られるデータと、

- (d) 道パト
- (e) 商用車プローブデータ、
- (f) 道路管理者から得られるデータを空間・時間・重要情報

等々の重ね合わせによる一元的可視化手法を開発し、次世代型維持管理計画策定手法を構築する。目標とする空間・時間・重要情報等は具体的には下記の事項である。

分野1：ひび割れによる陥没発生要因解析と対策
⇒ (a)(d) の利用

舗装のひび割れは雨水侵入の原因となり、陥没発生要因とも成り得る。また舗装直下に空洞がある場合は、ひび割れ発生原因となりやはり陥没発生へと繋がる。ひび割れと陥没の因果関係を明らかにし、陥没要因を特定するための技術を確認する。

分野2：ポットホール発生要因解析と対策
⇒ (a)(d)(e) の利用

ポットホールは、車両の乗り心地や利便性低下のみならず、交通事故発生要因とも成り得るためその発生予兆を捉えることは重要である。データ収集及びポットホール発生箇所の過去データ分析を行うことで、ポットホール発生要因を明らかにし、またその分析手法を確認する。

分野3：物体検出AIを用いた区画線等の維持管理
⇒ (b)(d) の利用

道路管理者は中央線、外側線等の区画線を維持管理しているが、道路管理台帳等が適切に管理されておらず、現場での区画線確認も多く労力を要するため、管理が非常に煩雑になっている。AIを活用した区画線自動検知技術を実装することで、区画線の

維持管理効率化を図る。

分野4：道路標識、路地樹木等の道路物体検出

⇒ (c)(d) の利用

2 台のドラレコから得られる異なる視点の画像に SfM (Structure from Motion) を用いて、3 次元点群データを取得し、点群をアノテーション(注釈) し教師データを作成する。教師データを用いて、3D セグメンテーションAI(以下、3D AI) を構築する。3D AI を用いて3 次元点群データを解析し、道路上の物体(樹木や標識など) を認識させる。

分野5：重交通道路における舗装劣化と交通量・制動との因果関係 ⇒ (d)(e) の利用

舗装の劣化と交通量及び車両速度に因果関係があると報告されているが、本研究では商用車プローブデータ活用してそれらの因果関係を明らかにする。

分野6：舗装工事情報の重ね合わせ

⇒ (d)(f) の利用

舗装の維持工事、及び電気・ガス・水道等の工事に伴う舗装工事(道路占用工事) は日常的に行われている。本研究では工事情報管理の課題及び各埋設物状況把握について解決するための技術を確立する。

分野7：国土交通省舗装点検要領(国道版) 舗装点検記録様式の簡易作成 ⇒ (d)(f) の利用

平成29年3月に国土交通省より公開された舗装点検要領(国道版) では、舗装点検記録様式A 及びB が提示された。これらの効率的な作成手法を確立、実装しその効果を実証する。

分野8：適切な措置・修繕工事AIの策定

⇒ (d)(e)(f) の利用

メンテナンスサイクルで措置を実施するにあたり、過去の施工時の蓄積データや維持管理情報、交通情報などを基に性能指標に則った舗装工事の策定をする。

分野9：一元的可視化手法確立

⇒ (a)～(f) の利用

以上、8分野の事項において取り扱う情報を俯瞰して、道路管理者が業務を効果的・効率的に実施するための空間・時間・重要情報の重ね合わせによる一元的可視化手法を確立する。

(3) 本研究の学術的な特色・独創的な点及び予想される結果と意義等

【本研究の学術的な特色・独創的な点】

- ◇ 2 台のドライブレコーダーから得られる異なる視点の画像に SfM を用いて、3 次元点群データを取得し、点群をアノテーション(注釈) し教師データを作成する。教師データを用いて、3D セグメンテーションAI(以下、3D AI) を構築する。3D AIを用いて3 次元点群データを解析し、

道路上の物体(樹木や標識など) を自動認識させる。

- ◇ AI を用いて、情報の取捨選択や集約、図形的及び配色の工夫を行って、空間・時間・重要情報等の重ね合わせによる一元的可視化手法を開発する。この観点での研究は他には無い独創的なものである。
- ◇ 道路管理者へのヒアリングを基に現場の課題を抽出・集約し、その結果を基に技術開発を行う点を重視している。机上の想定ではなく現場で苦労している道路管理者の意見を反映することで、より現実的かつ効果的な、実態に即した技術の開発が可能である。

【予想される結果と意義】

道路管理者においては技術者減少が進行する中で、本技術により多くの情報を効率的に把握できるようになることから、道路維持管理業務の生産性が高まり、コストも削減できる。さらに、道パトによる路面のひび割れやくぼみや泥水など舗装面の異常を365日24時間捉えることにより、高速道路等で問題となっている道路橋RC床版の土砂化予兆の検知も期待できる。

【研究成果による道路政策への貢献】

- ◇ スマートフォンを用いたデータ収集ではGPS との連携計測が可能であり、G 空間情報として舗装健全度評価の「見える化」が可能となる。ほかのG 空間情報と連携も容易であるためETC2.0 や道路プローブデータ等と連携した維持管理スキームの構築も可能となる。
- ◇ 地域全体の道路を、その地域の多数の専門技術者でない技能者によるスキームにより継続的に「見える化」することで、メンテナンスサイクルを持続的に回す仕組みが構築され、予防保全による舗装の長寿命化とライフサイクルコストの低減を図ることが可能となる。
- ◇ 研究背景と目的で提示した9 研究単独の成果でも、それぞれ技術開発を行うことで道路維持管理の効率化・コスト削減、および道路利用者の利便性向上の成果が得られる。空間・時間・重要情報の重ね合わせによる一元的可視化を行うことで、さらなる成果が期待できる。
- ◇ 道路管理者の課題に即した大掛かりでない手軽な技術開発となるため実効性も高い。
- ◇ 元的可視化手法は国土交通データプラットフォームを用いた実証実験への参画貢献可能である。長崎大学、長崎県は国土交通データプラットフォーム会員である。

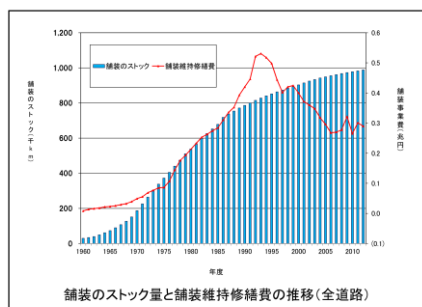
第2章 舗装の維持管理

2.1 舗装点検の必要性

(1) 舗装のストック量と舗装点検の実施状況

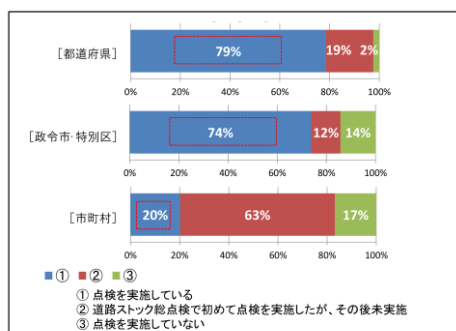
図2.1に舗装のストック量と舗装維持修繕費の推移を示す。舗装の維持修繕費用は20年前と比較して大幅に減少し、今後、ますます進む財政制約の中で舗装の修繕に回す予算も厳しくなることが予想される。橋梁等と同様に、舗装もメンテナンスサイクルを確立し、予防保全型の管理を行うことで、舗装の長寿命化・ライフサイクルコスト（LCC）削減を目指すことがありべき姿である。そのためには、舗装の適切な点検と予防保全型管理体制を構築して推進する必要がある。

図2.2に舗装点検実施状況の現状を示す。都道府県の約8割、市町村の約2割で舗装の点検を実施しているが、統一的な点検、適切な予防保全・修繕は不十分である。



※道路統計年報より

図2.1 舗装のストック量と舗装維持修繕費の推移



※地方公共団体へのアンケート結果より(H28.4道路局調べ)

図2.2 舗装点検実施状況の現状

(2) 舗装の予防保全型管理とは

舗装の予防保全を橋梁の場合と対比して図2.3に示す。鋼桁橋等の予防保全は鋼材の防食のため適時修繕（再塗装）が必要となるのと同じように、舗装の予防保全は路盤の損傷を防ぐため、表層・基層の適時修繕（切削オーバーレイ）が必要となる。

図2.4に舗装の予防保全型管理を示す。舗装損傷のメカニズムを示す。表層や基層の損傷箇所（ひび割れ等）から路盤に雨水等が浸透することにより路盤の支持力が低下し、路盤の変形に起因する沈下など、舗装構造全体の損傷につながる。

表層だけの修繕の場合と路盤も含め修繕した場合との比較すると、路盤まで損傷した場合は、表層だけの修繕の場合の費用は3倍以上、工事期間は4倍になる。したがって、点検、診断による表層の適時適切な修繕が必要で、路盤が損傷し早期劣化している場合は路盤からの修繕を実施する必要がある。これが路盤の損傷を防ぐ予防保全型管理である。

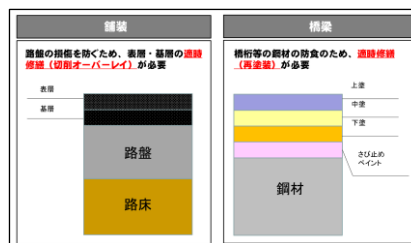


図2.3 舗装構造と予防保全

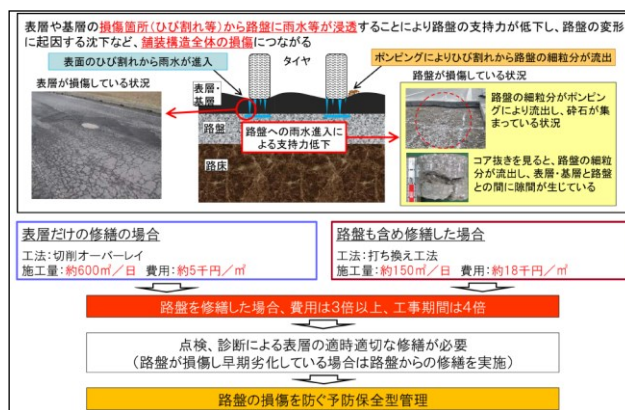


図2.4 舗装損傷のメカニズムと予防保全型管理

(3) 舗装における大型車の影響

図2.5は、舗装の損傷要因のうち、舗装における大型車の影響について示したものである。舗装へのダメージは、軸重の4乗で影響する。例えば、20トン車の場合、その軸重は乗用車の20倍であるが、舗装へダメージは16万倍となる。

図2.6に示すグラフは、アスファルト舗装では大型車交通量が多いほど損傷が早く進行することを示すものである。

一方、生活道路等は、大型車交通量が少ないため、占用工事の掘り返し等が無ければ長期間（30～40年）経過しても健全である場合が多い（図2.7）。

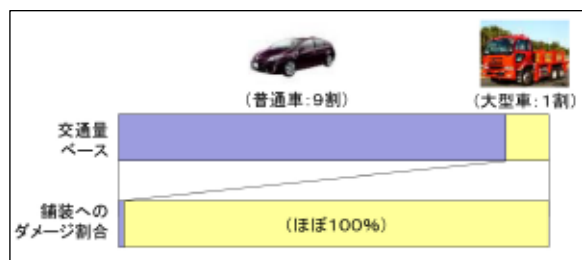


図2.5 舗装における大型車の影響

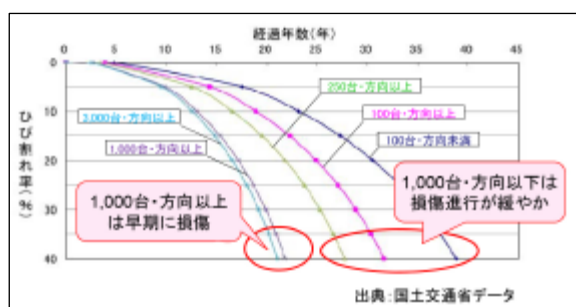


図2.6 As舗装における大型車混入量と損傷の関係



図2.7 長期間経過しても健全な生活道路の事例

(4) 舗装点検の方針

舗装点検要領は、図2.8に示すような舗装点検の方針に基づいて策定されている。

- ・LCC 縮減のためには、表層等の適時修繕により路盤以下の層を健全に保つことが重要
- ・舗装は重交通の多寡により劣化に大きな差
- ・道路を4つに分類しメリハリをつけた管理（各管理者が分類設定）

以上の状況を踏まえつつ、かつ、舗装は重交通量により劣化進展に大きな差があるということ、さらに、走行速度に応じて求められるサービスレベルが

異なることを踏まえた管理をしていく必要がある。

具体的には、まず、大型車の交通量で損傷の進行が早い道路、損傷の進行が緩やかな道路というように大まかに分けられる。さらに、損傷の進行が早い道路の中で、高速走行などが求められる高規格幹線道路にはそれに見合った管理が求められる。また、損傷の進行が緩やかな道路の中で、特に生活道路は、先述したように、40年も長くもつので、それに応じた管理をしていくということである。ちなみに、損傷の進行が早い道路、損傷の進行が緩やかな道路というのは、大型車の交通量としては1車線当たり1,000台位の交通量を目安にして想定されている。

このうち、損傷の進行が早い道路については、健全性を比較できるように、ひび割れ率、わだち掘れ量、IRIの取得を基本とすることで、これらを踏まえた点検要領というのを策定して、まずは、そのメンテナンスサイクルの確立に向けてスタートということが今回の要領のポイントになっている。

特性	分類	主な道路等 (イメージ)	マネジメントのあり方
・高規格幹線道路等 (高速走行など求められるサービス水準が高い道路)	A	高規格幹線道路等	・表層等の適時修繕による路盤以下の層の保護を目的に、点検を実施 ・走行性、快適性を重視した路面管理の実施
・損傷の進行が早い道路等 (例えば、大型車交通量が多い道路)	B	主要幹線道路等	・表層等の適時修繕による路盤以下の層の保護を目的に、点検を実施 ・修繕サイクルを長くしていくため、早期劣化箇所の原因把握と適切な措置 ^{※2} や、使用目標年数を意識した管理の実施 ・走行性、快適性を考慮した路面管理の実施
・損傷の進行が緩やかな道路等 (例えば、大型車交通量が少ない道路)	C	一般幹線道路等	・基本的に長寿命であることから、各道路管理者が点検サイクルを定めて適切に管理
・生活道路等 (損傷の進行が極めて遅く占用工事等の影響が抑えられ長寿命)	D	生活道路等	・巡視の機会を通じた路面管理

※2：点検後の道路劣化は各道路管理者が決定
※3：舗装の劣化率、劣化率の目安

これを踏まえ、舗装の健全性を簡便・効率的に統一のデータで評価する点検要領を策定

図2.8 舗装点検の方針

2.2 これからの舗装マネジメント

(1) 道路技術小委員会舗装分野会議での審議

社会資本整備審議会道路分科会の第6回道路技術小委員会（2016年9月13日）において、舗装分野会議の報告がなされた。舗装点検要領の策定にあたり、「舗装分野会議」において専門的見地から検討されている。この委員会の論点としては、①これからの舗装マネジメント、②舗装の損傷速度などに応じたメリハリのある点検手法の設定、③長寿命化を踏まえた、適時適切な修繕による路盤の保護、などについて、審議が行われている。このうち、舗装点検要領の検討では、以下のような意見がなされた。

【舗装分野会議における主な意見】

- ・独自に先進的な取り組みを実施している地方公共団体の活動の妨げにならないようにすべき。
- ・舗装の損傷進行の度合いなどに応じた道路の区分（分類A～D）は各道路管理者が分類すべき。
- ・巡視の際にも舗装の状態を把握できる場合もあることから、特に点検間隔が長期となる場合には、巡視の機会を得た路面情報により補完すべき。
- ・舗装は、これまで点検要領がなかったことから、

地方公共団体の中で点検の実施について温度差が大きかった。まずは速やかに点検要領を策定し、今後の点検等の実績に応じて、適宜点検要領をレベルアップさせていくことが重要ではないか。以上の意見も踏まえ舗装点検要領は作成されている。

(2) 契約制度や点検の技術開発

図2.9は、ハードだけではなく、例えば入札契約制度面とか、あるいは、もっと簡易にできる点検の技術や研究開発等が進んでいるので、これから点検、記録をして、得られる知見を活用、改良、そして、制度を改良し、技術開発、研究開発を推進していくことによって、より効率的な管理を目指していくという側面もこの全体のマネジメントの中にある。

以上が、これからの舗装マネジメントということで、こうした取り組みを進めるためにも、まずは点検要領を策定してスタートすることとなった。

(3) 管理者別の舗装管理状況

図2.10は、諸外国の状況、地方公共団体、高速道路会社の修繕の目安を掲載されている。ひび割れ率、わだち掘れ、IRI は、こういうところも参考にしながら指標としてデータをとっていく必要がある。

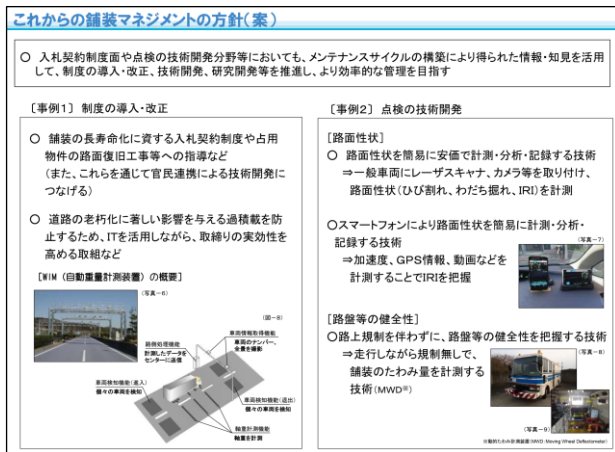


図2.9 契約制度や点検の技術開発

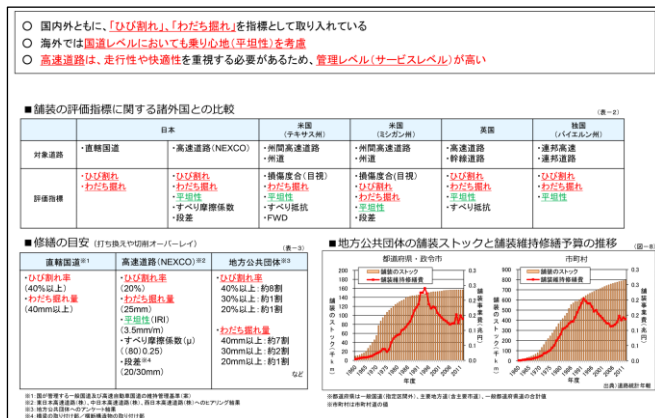


図2.10 管理者別の舗装管理状況

2.3 xROAD を活用した次世代の舗装マネジメント

国土交通省道路局の道路技術懇談会は、第1回が2019年12月18日に開催され、これまでに12回開催された(第12回、2024年3月13日開催)。そこでは、新技術導入の課題を踏まえ、安全、高品質、低コストな道路サービスの提供、道路事業関係者のプロセスの改善、産業の活性化を目的に、新技術導入を推進していくため、以下に示す事項について議論・助言がなされている。

- 1) 新技術導入促進方針(案)について
 - ・今後の道路分野における新技術導入の全体方針について他に検討すべき課題や留意点は何か
 - ・毎年度の新技術導入計画について、取り組む技術に対するリクワイヤメントの抽出にあたって他に検討すべき課題や留意点は何か(ニーズやリクワイヤメントの抽出手法)
- 2) 新技術導入のための体制強化について
 - ・技術導入方法の検討や技術公募、技術基準への適合性を確認する第三者機関等の公募方針
 - ・第三者機関等の公募結果の審査(選定)
- 3) 新技術導入のフォローアップについて

道路技術懇談会の委員名簿を表2.1に示す。東北大学の久田真先生はじめ、第3期SIPの推進役を務めておられる先生方が参加されるとともに、道路整備に関する多くの関係団体が参画している。

本節では、第9回道路技術懇談会の議事、「xROADを活用した次世代の舗装マネジメント」からの配布資料を抜粋する。このような技術開発が将来求められるべき開発技術と考えて、本研究も推進している。

表2.1 道路技術懇談会の委員名簿

○久田真	東北大学大学院工学研究科 教授
永谷圭司	東京大学大学院工学系研究科 特任教授
長井宏平	北海道大学大学院 教授
全邦釘	東京大学大学院工学系研究科 准教授
今井龍一	法政大学デザイン工学部 教授

(1) xROAD活用した次世代舗装マネジメント

xROADを活用した次世代の舗装マネジメントの目的を以下に示す。

- ◇ 舗装の長寿命化を図り予防保全を実現するためには、定期点検結果に基づき、適切に舗装の状態を診断し、ライフサイクルコストを考慮した最適な設計による修繕を実施していくことが必要である。
- ◇ このような舗装マネジメントの効率的な実現には、点検、計画、設計、施工から品質管理までのあらゆる場面において、デジタル技術(DX)を積極的に活用することや、必要な技術力を有する技術者を官民ともに育成・活用していくことが求められる。
- ◇ 特に、xROADにより入手したデータを分析・活用し、舗装マネジメントを効率的に推進すると

ともに、舗装技術のさらなる進展につなげていくことが必要である。

- ✧ また、予防保全の実現や新技術・新材料の活用を通じ、2050年カーボンニュートラルにも貢献することから、技術基準類の改定を含めた制度整備を進めるものとする。
- ✧ 以上の方針を「xROAD を活用した次世代の舗装マネジメント1.0」として示し、当面、直轄国道において進めていくこととしつつ、マネジメントの進捗や技術の進展等に合わせ、逐次バージョンアップを図るものとする。

(2) 舗装の定期点検

【舗装は「ひび割れ」が原因で劣化する】

図 2.11 に舗装の劣化メカニズムを示す。

- ✧ 舗装を長期間もたせるためには、路盤や路床の支持力が確保されていることが重要。
- ✧ しかしながら、舗装はひび割れ率が 40%を超えた状態で放置すると、降雨時に路盤から細粒分が流出し劣化する。
 - 路盤が痛んだ状態では、何度切削オーバーレイしても表層はすぐに劣化する⇒お金の無駄遣い
 - このため、ひび割れが 40% に達しているものは、路盤の支持力を確認し、悪い場合には路盤を含め修繕する必要がある
 - また、ひび割れが 40%に達しているものの、路盤の支持力がまだ確保されているものについては、切削オーバーレイ等の表層の修繕を行って、雨水の侵入を防止する措置が求められる
- ✧ また、近年、xROAD のデータを用いた分析で、路盤の下路床の支持力を適切に評価して、舗装設計を行うことの重要性が確認されており、軟弱地盤等の土地の成り立ちや早期劣化の度合いを踏まえて、路床（地盤）の改良から検討する必要がある。

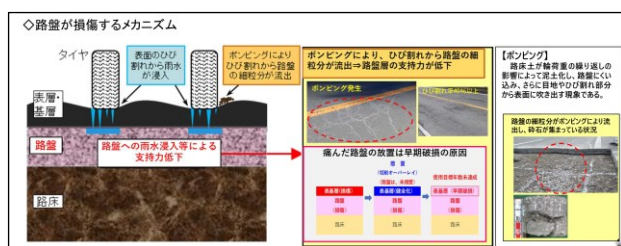


図 2.11 舗装の劣化メカニズム

【舗装にとって安全・安心、乗り心地も重要な要素】

図 2.12 に、舗装にとって安全・安心、乗り心地も重要な要素であるわだち掘れと IRI、及び判定区分Ⅲのイメージ図を示す。

- ✧ 安全・安心の指標としてわだち掘れ量を設定。ドライバーは、わだち掘れ量が 40mm 超えると不安を感じる。
- ✧ 一方、乗り心地の指標としては IRI を設定。IRI は世界標準の指標であり、国際比較が可能。

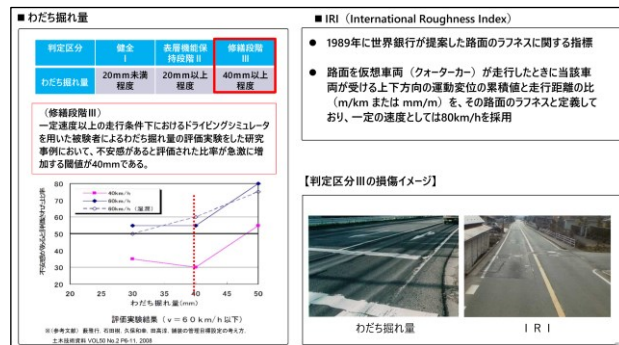


図 2.12 安全・安心、乗り心地も舗装の重要要素

【舗装の定期点検における項目と診断区分】

図 2.13 に、舗装の定期点検における項目と診断区分を示す。

- ✧ 舗装の定期点検は 平成 29 年度から開始。その際、舗装に求められる、長寿命、安全・安心、乗り心地の観点から重要な指標である、ひび割れ率、わだち掘れ量、IRI を点検項目として設定。
- ✧ 判定区分は、健全（Ⅰ）、表層機能保持段階（Ⅱ）、修繕段階（Ⅲ-1、Ⅲ-2）を設定。
- ✧ ひび割れ率、わだち掘れ量、IRI のいずれかの管理基準のうち、最も損傷レベルの大きいものを当該区間の診断区分としている。
例：ひび割れ率Ⅲ-1、わだち掘れⅡ、IRI Ⅰ
⇒ 当該区間の診断結果はⅢ-1
- ✧ 修繕段階のⅢ-1、Ⅲ-2の違いは、路盤・路床の支持力が確保されているか否かで決まる。その判定については、現状は、使用目標年数に比して表層が早期劣化する箇所を路盤・路床が悪い（Ⅲ-2）とみなす簡易な方法を採用。
- ✧ なお、使用目標年数とは、早期の劣化区間を把握し、これを排除することなどにより、全体として舗装を長寿命化することを目的として、各道路管理者が設定するものである。

舗装点検要領での健全性の診断		直轄国道の判定基準	
区分	状態	区分	ひび割れ率
Ⅰ 健全	損傷レベル小：管理基準に照らし、劣化の程度が小さく、舗装表面が健全な状態である	Ⅰ 健全	20%未満
Ⅱ 表層機能保持段階	損傷レベル中：管理基準に照らし、劣化の程度が中程度である	Ⅱ 表層機能保持段階	20%以上
Ⅲ 修繕段階	損傷レベル大：管理基準に照らし、それを超過している又は早期の超過が予測される状態	Ⅲ 修繕段階	40%以上
Ⅲ-1：表層等修繕	表層の使用年数が使用目標年数を超える場合（路盤以下の層が健全であると想定される場合）		
Ⅲ-2：路盤打換等	表層の使用年数が使用目標年数未満である場合（路盤以下の層が損傷していると想定される場合）		

図 2.13 舗装の定期点検における項目と診断区分

【道路の分類に応じた点検内容】

図 2.14 に道路の分類に応じた点検内容を示す。

- ✧ 舗装の定期点検の対象道路は、全国の道路法上の道路である。
- ✧ 全国の道路は約 120 万 km（車線延長：約 130 万 km）あり、地球 30 周以上にあたるため、これら全てを一律に点検することは非効率。このため、全国の道路を 4 つに分類し、それぞれに応じた点検を実施すればよいこととしている。
- ✧ このなかで、特に、大型車交通量の多い道路（分

類B以上)は損傷の進行が早いいため、5年に1回以上の点検を行うこととしている。

(参考) 舗装の損傷進行は軸重の4乗に比例

- ✧ また、高速道路(分類A)は、高速走行など求められるサービス水準等を考慮して、健全、表層機能保持段階、修繕段階の判定健全性の診断区分の判定の閾値を厳しく設定している場合があるほか、分類C・Dの道路は修繕段階でⅢ-1とⅢ-2の区分を設けていない。

特性	分類	主な道路(イメージ)	点検精度	健全性の診断 ^{※1}	累積延長 ^{※2}
高速道路、等 高速走行など求められるサービスの水準が高い道路	A	高速道路	道路管理者が5年に1回以上適切に実施	Ⅰ：健全 (損傷レベルが小) Ⅱ：表層機能保持段階 (損傷レベルが中) Ⅲ-1：修繕段階 (損傷レベルが大)	計：約41,900km (高速管理：約33,600km) (道管管理：約5,000km) (地方管理：約3,300km)
舗装の進行が早い道路、等 例えば大型交通量が多い道路	B	主要幹線道路		Ⅰ：健全 (損傷レベルが小) Ⅱ：表層機能保持段階 (損傷レベルが中) Ⅲ-1：修繕段階 (損傷レベルが大)	計：約185,800km (道管管理：約54,300km) (地方管理：約131,500km)
舗装の進行が早い道路、等 例えば大型交通量が少ない道路	C	主要幹線道路	更新時期や地域特性等に応じて道路管理者が適切に系統計画を作成する	Ⅰ：健全 (損傷レベルが小) Ⅱ：表層機能保持段階 (損傷レベルが中) Ⅲ-1：修繕段階 (損傷レベルが大)	計：約240,000km
生活道路、等 舗装の進行が早い道路、等 例えば大型交通量が少ない道路	D	生活道路		Ⅰ：健全 (損傷レベルが小) Ⅱ：表層機能保持段階 (損傷レベルが中) Ⅲ-1：修繕段階 (損傷レベルが大)	計：約750,000km
合計					計：約1,300,000km

図 2.14 道路の分類に応じた点検内容

【AI・ICT等を活用した効率的な点検へ】

図 2.15 に、今後、AI・ICT等を活用した効率的な点検への取組みとして、カタログ掲載技術と MWD(移動たわみ測定装置)の例を示す。

- ✧ 現在、舗装点検は目視点検が多いが、今後はAI・ICTを活用した機器により行う方向へ転換。
- ✧ 令和4年度に、ひび割れ率、わだち掘れ量、IRIを計測する機器の性能評価を行い、コストを含めカタログ化して公表。
- ✧ 令和5年度より、国の舗装点検ではカタログの中で一定水準以上の技術の使用を原則化。
- 点検データは、「見える化アプリ」へ容易に取り込めるように設定する予定
- ✧ 今後も定期的に機器の性能評価を行い、良いものは国が率先して使用していくことで、民間の技術開発を促していく。
- ✧ また、路盤が傷んでいるかどうかの判定については、本来、FWD調査を実施すべきだが、同調査は交通規制等を伴うため、現実的な方法として、これまで使用目標年数による「みなし判定」を主たる方法としてきたところ。
- ✧ 「みなし判定」には誤差もあることから、今後、走行しながら調査が可能な機器(移動式たわみ測定装置(MWD))を開発していく予定。



図 2.15 AI・ICT等を活用した効率的な点検

(3) xROAD データの分析と舗装マネジメント

【xROADによる次世代の舗装マネジメント】

図 2.16 に、xROADによる次世代の舗装マネジメントシステムを示す。

- ✧ 舗装の定期点検結果は、xROADの中で道路施設点検データベースに収められ、直轄の点検結果は公開済み
- ✧ また、xROADではベースレジストリの一つとして、大縮尺地図の道路基盤地図や道路台帳附図についても公開予定。今後、これらのデータを用いた次世代の舗装マネジメントを実現。

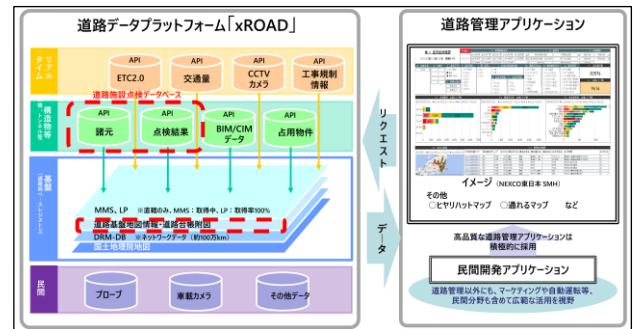


図 2.16 xROADによる次世代の舗装マネジメント

【xROAD データ見える化による早期予防保全型のメンテナンスへ移行】

図 2.17 に、xROAD データの見える化による予防保全型メンテナンスへの移行のイメージ図を示す。

- ✧ xROADの道路基盤地図等に点検結果を重ね合わせることで、舗装の状態把握や修繕の優先順位の抽出が容易となる。
- ✧ 次世代の舗装マネジメントの一環として、国ではこれらが可能となる「見える化アプリ」を開発し、まずは直轄において、修繕が必要な箇所に絞って対策が行われていることのチェックを実施していくほか、修繕の年次計画、予算配分、毎月の工事進捗管理にも同アプリを活用し、できるだけ早期に予防保全型のメンテナンスに移行することを目指す。



図 2.17 xROAD データの見える化による予防保全型メンテナンスへの移行

【xROAD データの分析による知見を対策に活用】

図 2.18 に xROAD データの分析によって得られた知見をマネジメントの対策に活かす事例を示す。

- ◇ xROAD のデータを用いて、舗装が特に早期劣化する箇所を分析した結果、土地の成り立ち（軟弱地盤など）との関係性が高いことが判明しており、路盤の下路床の支持力を適切に評価して、舗装設計を行うことの重要性が確認された。（参考）国道 357 号（湾岸道路）の路床は 1 m の厚さで地盤改良されており、東日本大震災の液状化時にも舗装の損傷は確認されていない。
- ◇ 今後とも、xROAD のデータ分析を通じて得られた知見を対策に活かすことによって、次世代の舗装マネジメントを確立する。



図 2.18 xROAD データの分析の知見を対策に活用

【舗装の修繕設計段階での検討の充実】

xROAD で得られた知見を対策に活かすためには、舗装の修繕設計段階での検討の充実が必要である。

図 2.19 にそのための関連図書を示す。

- ◇ xROAD で得られた知見を対策に活かすためには、修繕設計段階での検討の充実が必要であり、段階的にコンサルタントへ発注を増やしていく。
- ◇ これまで舗装修繕に関する体系的な手引書がなかったことから、R5.3 に日本道路協会から「アスファルト舗装の詳細調査・修繕設計便覧」が発刊された。今後は本手引書に沿って十分な修繕設計を行った上で対策工事を実施していくこととする。
- ◇ また、「アスファルト舗装の詳細調査・修繕設計便覧」においては、舗装修繕設計段階での FWD 等による詳細調査により、一定水準以下の支持力不足が確認され、かつ路床に問題がある場合は路床の改良が手法として位置づけられており、その一環として、当面、直轄においては、定期点検でⅢ判定とされた箇所について、土地の成り立ちが軟弱地盤等であり、かつ過去の修繕間隔が短い（例えば、使用目標年数の半分以上で繰り返し修繕）箇所については、路床の状態を確認し、路床改良などそれに応じた措置を講ずる。
- ◇ このほか、修繕設計段階において、新技術・新材料の採用、Co 舗装・As 舗装の選択などの検討を行い、ライフサイクルコストを最小化するような舗装設計を実施していくことが重要。
- ◇ こうした最適な舗装修繕設計を積み重ねていくことで、舗装の使用目標年数の長期化を目指す。（現在は、Ⅲの平均年：17.4 年、通常の修繕サイクル(ⅢI-1):21.4 年、早期劣化区間(Ⅲ-2):8.6 年）

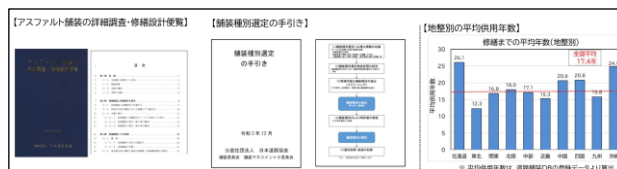


図 2.19 舗装の修繕設計段階での検討の充実

	従 来	今 後
点検・診断	● 表層の状態は目視で点検。 ● 表層がⅢ判定のものについて、使用目標年数に比して表層が早期劣化する箇所は路盤・路床が脆いとしⅢ-2判定とする簡易な方法を採用。	● 表層の状態について、AI-ICTを活用した点検技術を使用し効率化。 ● 地中の路盤・路床の状態を、路面から簡易に調査できる移動式たわみ測定装置（MWD）を開発し、正確性を高める。
マネジメント	● Ⅲ判定をターゲットにして修繕を行っているが、予防保全段階には至っていない。 ● データに基づく、劣化要因等の分析が必ずしも十分ではなかった。	● xROADデータの見える化アプリを開発し、まずは直轄において、修繕が必要な箇所に対して対策が行われていることのチェックや修繕の年次計画を立てて実施。これにより早期の予防保全段階への移行を目指す。 ● また、xROADのデータ分析を通じて、舗装の劣化要因等の分析を進め、適宜、マネジメントに反映していくサイクルを構築。
修繕設計	● 十分な検討と設計が行われていない。	● 修繕設計段階での検討を充実させるため、まずは直轄から、段階的にコンサルへ発注を増やしていく。（コンサルの育成） ● 調査や設計は、「アスファルト舗装の詳細調査・修繕設計便覧」等によって実施。 ● なお、定期点検でⅢ判定とされた箇所について、当面、直轄においては、土地の成り立ちが軟弱地盤等であり、かつ過去の修繕間隔が短い（使用目標年数の半分以上で繰り返し修繕）箇所についても、路床の状態を確認し、路床改良などそれに応じた措置を講ずる。 ● このほか、新技術・新材料の採用、Co舗装・As舗装の選択などの検討を行い、ライフサイクルコストを最小化するような舗装設計を実施。

図 2.20 舗装マネジメントに関する従来と今後の違い

【舗装マネジメントに関する従来と今後の主な違い】

図 2.20 に舗装マネジメント等に関する従来と今後の主な違いを示す。

(4) 舗装技術の向上、ライフサイクルコストの低減、カーボンニュートラルへの貢献

【xROAD データを用いた舗装技術の向上】

図 2.21 に xROAD データを用いた舗装技術の研究開発と舗装の新技術導入促進に関する主な取組みを示す。

- ◇ 点検データのほか、交通データや土地の成り立ちに関する情報等、xROAD のデータを用いた分析により、劣化メカニズムの更なる研究が進み、舗装の新技術・新材料の開発につながることを期待。
- ◇ 国の新技術導入促進計画でこれを評価し、現場実装に繋げていく（長寿命舗装技術など）。



図 2.21 xROAD データを用いた舗装技術の向上

【工事発注前の検討の充実】

図 2.22 に、工事発注前の検討の充実の必要性を理解するために、LCC の算定例を示す。

◇ 現状は、舗装の修繕工事においては、十分な修繕

設計が行われないまま工事を実施。

- ◇ 今後は、新技術・新材料の採用、ライフサイクルコスト(Co 舗装, As 舗装など)の比較を含めて工事発注前の検討(修繕設計)を充実させる必要。



図 2.22 工事発注前の検討の充実

【工事段階での品質確保の高度化】

図 2.23 に、工事段階での品質確保の高度化の事例として、アスファルト舗装工事における長期保証制度、および現場の省力化を図る技術の導入検討の実施例を示す。

- ◇ 従前から舗装の新設工事発注で行われている長期保証制度の継続するとともに、今後、センサー等を活用した品質管理の高度化(品質管理基準の見直し)を検討する。

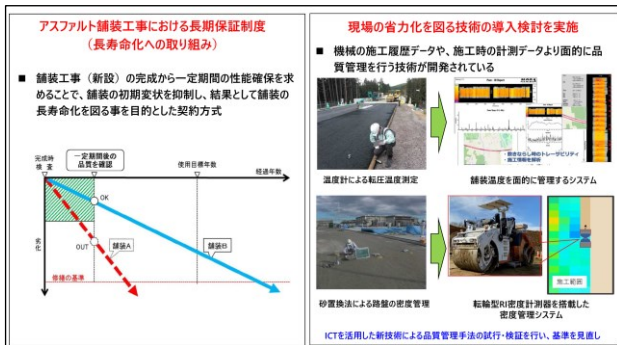


図 2.23 工事段階での品質確保の高度化

【カーボンニュートラルへの貢献】

図 2.24 に道路舗装のカーボンニュートラルへの貢献のイメージを示す。舗装の使用年数の長期化は、修繕サイクルの長期化等を通じてカーボンニュートラルにもつながるものであり、CO₂ 削減量の定量化を進める。

(5) 舗装の技術基準（省令）の改定

新技術・新材料の採用、ライフサイクルコストを意識した舗装マネジメントへの転換を図るため、舗装の技術基準（省令）について、令和 5 年度中に改定方針を示す予定。図 2.25 に、現行基準の性能指標の課題を示す。

【現状に合わなくなっている点】

- ◇ 新技術・新材料の性能確認のハードルが高いため、長寿命舗装など付加価値のある舗装の導入が進

みにくい。

- ◇ 施工直後の基準値を満足することが優先される傾向にあり、長期間のライフサイクルコストに基づき複数の舗装設計が比較されることが少ない。

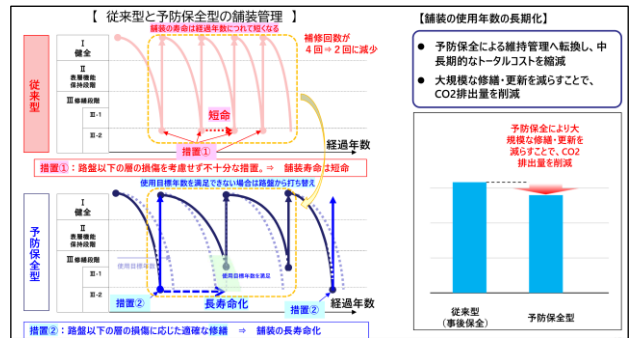


図 2.24 カーボンニュートラルへの貢献

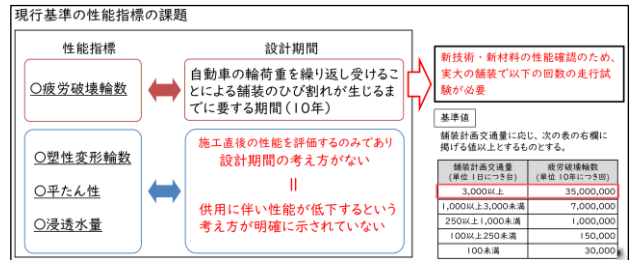


図 2.25 舗装の技術基準（省令）の改定

(6) 技術者の育成

【官民における技術者の育成】

図 2.26 に舗装修繕設計や新技術の活用を適切に行うための人材育成のイメージ図を示す。

- ・ 舗装修繕設計や新技術の活用を適切に行うためには、舗装に詳しい職員及び専門家（コンサルタント）の育成もあわせて実施していく必要がある。
- ・ コンサルタントに関しては、まずは国の舗装修繕設計業務の発注において、国土交通省登録資格など舗装設計に関する資格を要件とすることで、民間における技術者の育成を図っていく。

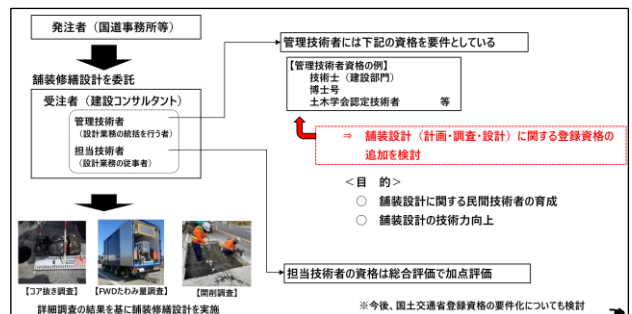


図 2.26 官民における技術者の育成

第3章 長崎県（一部福岡国道）の道路の現状

3.1 長崎県内の道路舗装維持管理に関するアンケート調査

(1) 長崎県内8道路管理者へのヒアリング調査

本研究開発では、令和4年度に、道路管理者へのアンケート調査を実施し、現場の課題を抽出・集約し、その結果をもとにして技術開発を行うことを重視することで、より現実的かつ効果的な、実態に即した技術の開発を目指すこととした。

対象道路管理者は、国土交通省長崎河川国道事務所、長崎県、長崎市、諫早市、大村市、西海市、時津町、長与町である。表3.1に道路舗装維持管理に関するアンケート調査内容を示す。

表3.1 道路舗装維持管理アンケート調査

I	道路舗装維持管理全体に関する事項
1	道路舗装維持管理全体の費用（年間）
2	道路舗装維持管理に携わる人数
3	道路舗装補修工事が多い場所
4	道路舗装補修工事の履歴記録
5	道路舗装維持管理の課題と問題点
II	道路舗装の点検に関する事項
1	道路舗装点検の実施（未実施の場合は理由）
2	道路舗装点検要領（マニュアル等）の有無
3	道路舗装点検の手法及び機器利用
4	道路舗装点検の頻度
5	道路舗装の診断基準の有無
6	道路のクラス分け（1, 2 級など）
7	点検や補修工事の優先順位の有無

アンケート結果は、全体を通して、予算不足と人員不足が課題であることが分かった。予算面においては、どの道路管理者においても、もう少し予算があれば補修したい箇所に着手できるという内容だった。市町レベルでは、住民からの補修案件も比較的多いため、自治体が計画した路面補修予算が縮小される場合もある。

こうした予算不足の課題の一つが路面性状調査費用である。MCIを用いた路面性状調査費用は、約5～7万円/kmであり、管理路線総延長が長い自治体にとっては非常に負担が大きい。国の支援や緊急時の協

力を得るためには、国土交通省道路局の舗装点検要領に準じた日常管理・点検補修や、路面性状調査を行わなければならない。また、調査は5年毎を基準としているが、調査結果が5年前とほぼ変化してない路線もあれば、大きく損傷が進展した路線もあり、様々である。高コストの割には、効率的ともいえないのが現状である。

人員面に関しては、日常点検は職員のみでは管理が困難で、非正規雇用者や外部業者の協力により実施している。路面性状調査においても、独自の路面性状調査車両を持つ自治体はなく、調査は外部発注する 경우가多く、予算不足はなくなる。

また、舗装工事の多発箇所は、交通量が多い路線、特に大型車交通量が多い箇所に多発している。

表3.2に道路管理者が抱えている課題等を示す。

表3.2 道路管理者が抱えている課題等

道路管理者	課題・改善内容
長崎河川国道	予算不足、4-5億円/年必要
長崎県土木部	点検・補修の予算確保が必要
長崎市	路面性状調査費用が逼迫問題
諫早市	管理路線距離が膨大、市民情報に依存、
大村市	交付金・補助金の活用難、予算不足
西海市	基礎データなしで状態不明路線あり、記録のICT化が必要
時津町	町民とのミスマッチ
長与町	予算・マンパワー不足、工事台帳のICT化

(2) 長崎県内21市町道路舗装維持管理の現況

令和5年度に、長崎県内の21市町の道路舗装維持管理の現況調査を行った。アンケート項目を表3.3に示す。

表3.3 アンケート調査項目

Q1	実施している点検方法(定量的点検の実施状況)
Q2	点検の頻度(実施している点検方法の頻度)
Q3	定量的点検を実施している車道延長
Q4	道路舗装点検技術の1回あたりにかかる費用
Q5	道路舗装点検に際した問題点

特徴的なアンケート結果として、道路舗装点検における点検方法の回答結果について表3.4に示す。

巡視パトロールによる目視点検や住民からの通報

による点検は、ほぼすべての自治体が実施している。定量的点検を実施している自治体は約5割で、多くが路面性状測定車による点検で、2市のみ簡易的な道路舗装点検技術を使用している。路面性状測定車による点検を実施している自治体は、5年に1回の頻度で点検しており、その費用は約100～500万円である。簡易的点検技術を用いている自治体は、数か月に1回の頻度で行っており、費用は約100万円以下である。

舗装点検においては、予算不足と人員不足が現状の大きな問題点であることが分かった。また、定量的点検を実施していない自治体の8割が予算不足であった。

アンケート結果より、定量的な点検の実施の有無によりグループ分けを行い、道路維持管理の流れや現状の問題点の具体例に関して、4市2町にヒアリングを行った。ヒアリング調査の結果から得られた、道路点検の際の問題点を表3.5に整理する。

表3.4 道路舗装点検での実施点検方法

実施点検方法		団体数		
		全体	内訳	
			市	町
巡視パトロールによる目視点検		12	6	4
定期パトロールによる目視点検		3	2	1
住民からの通報		11	6	3
道路舗装点検技術	全体	6	3	2
	路面性状測定車	5	3	2
	iDRIMS	1	1	0
	内訳			
	道路パトロール支援サービス	1	1	0

表3.5 道路舗装点検における課題

項 目	問 題 点
予算不足	点検予算不足、技術導入ができない
人員不足	直営点検実施職員の不足
データ不足	道路基礎的・舗装構造情報の不足
記録媒体	紙媒体による記録（低共有性）
健全度指標	目視評価・指標値間の判定のズレ

3.2 iDRIMSによるIRIデータの計測と活用

(1) 路上性状計測システムiDRIMSの概要

iDRIMS は走行車両の加速度および角速度から、ハーフカーモデルに基づくカルマンフィルタにより路面プロファイルを推定し、IRI を算出するシステムである。iDRIMS の概念図を図3.1に示す。iDRIMS はスマートフォン1つで簡易に路面の定量的評価を可能とする。1回あたりのコストが低く、頻繁に計測を行うことができる。また、ハンブ試験を行うことで計測車両を問わない。

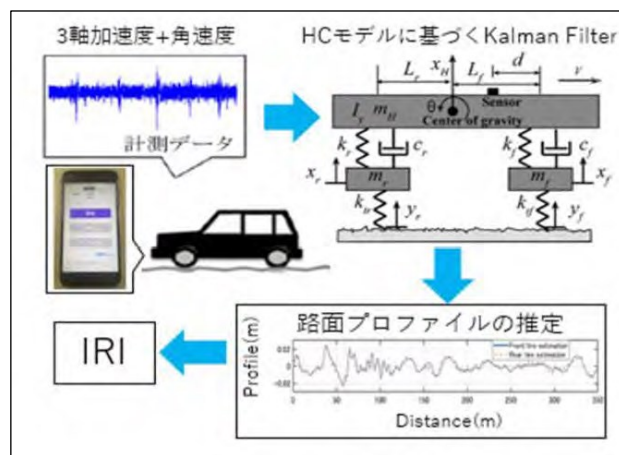


図3.1 iDRIMS の概念図

(2) 長崎市道の計測

市道は距離が短く、局所的な損傷が多いという特徴がある。この局所的な損傷を把握するため、IRI 算出の評価距離を狭い範囲に設定することで可能になるのではないかと仮説のもと分析を行った。また、補修区間とそうではない区間の違いに着目して計測を実施した。

長崎市管理の道路状況を調査するため、補修区間を含む路線ごとの計測と、異なる路線における補修区間のみ計測を行った。計測は2回実施し、1回目は1回目は補修区間を含む路線全体の計測を行い、2回目は補修区間のみの計測を行った。路線全体の計測路線は上下線合わせて22路線、補修区間の計測箇所は合計で39カ所である。計測路線のIRIデータを図3.2に色分けで示す。IRI 評価に対する路面状態は表3.6に示す通りである。

評価距離20mとしIRIを算出したところ、補修区間と直近5年で未補修区間では、ともに $4 < \text{IRI} < 7$ の箇所が多くみられた。一方、補修区間では、続いて $2 < \text{IRI} < 4$ の箇所が多くみられ、比較的IRIが低い状

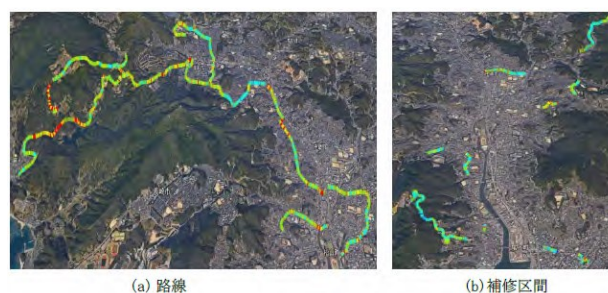


図3.2 平坦性（IRI）の計測結果

表3.6 平坦性評価値IRIに対する路面状態の割合

IRI	色	補修箇所	未補修箇所	路面の状態
0<IRI<2	青	2%	0%	高速道路に用いられるほどに舗装された路面
2<IRI<4	水色	36%	9%	比較的新しく舗装された路面
4<IRI<7	緑	41%	43%	古い舗装の表面に損傷が見られる路面
7<IRI<10	黄色	14%	29%	大半にくぼみがあり、損傷した舗装状態の路面
10<IRI	赤	7%	19%	非常に荒れた路面

態であるが、未補修区間では、次に、 $7 < \text{IRI} < 10$ の箇所が多くなっている。5年以内の補修ということで、舗装状態は維持できており、それに対して未補修路線では、舗装状態が悪い可能性がある。

◇ 補修情報と IRI の関係

直近5年に補修が行われた箇所とそうでない区間における IRI 評価を行い、補修の有無による違いに着目し、実際の舗装状態との比較を行った。今回計測した補修区間では、舗装の損傷がほとんど進行していないため、IRI に影響する要因として道路構造物の影響を受けやすい傾向を見出した。また、補修が行われていない区間で IRI が高くなる地点では、道路構造物のほかにひび割れなどの局所的な損傷の影響を受けることが分かった。そのため、局所的な損傷を IRI で評価するには、道路構造物の位置情報を用いた計測が必要となる。

◇ 評価距離に関する考察

IRI 評価の際に評価距離を 20m と 10m に設定し、IRI が 8mm/m を超える地点の路面変状の把握を行った。評価距離を小さくすることで、より詳細な路面状況の確認ができたが、過剰検知の可能性がある、市道管理には 20m 評価が好ましいことが考えられる。また、市街地や住宅地では、マンホールや横断ひび割れの発生が確認され、山間部では、半分以上で亀甲状ひび割れが確認された。市街地などで IRI 評価を行う際には、道路構造物の影響をより考慮する必要がある。

(3) 国道維持管理情報と IRI データの活用

IRI は一般的に 100m や 200m で評価されるため、高速道路や高規格道路などを路線ごとに管理するのに適している。本項では、国道において iDRIMS を用いて計測し、補修履歴による局所損傷発生箇所を調査し、IRI との関係性について分析した。

国道 34 号、57 号では、日常的な巡回パトロールが実施されており、道路状況の異常を発見次第、適宜対応している。ポットホールなどの局所的な損傷における補修履歴を調査し、損傷発生箇所を把握した。舗装損傷例を図 3.3 に示す。また、損傷の発生箇所を図 3.4 に示す。

補修履歴や巡回パトロールのルートを参照し、長崎県内国道 34 号、57 号の一部の計測を行い、100m 評価の IRI で分析した。計測結果を図 3.5 に示す。全計測路線の IRI 評価に対する路面状態の頻度を表 3.7 に示す。計測路線を 20m 評価の IRI で分析したところ、国道 34 号、57 号では、 $2 < \text{IRI} < 4$ の区間が一番多く、その次に $4 < \text{IRI} < 7$ の区間が多く、全体の割合からしても比較的きれいな舗装状態を維持している区間が過半数を超える結果となった。また、国道 34 号は交通量が多い都市部を通過していることもあり、所々補修が行われている箇所が多くみられ、平均値、最大値がともに国道 57 号より大きな値を示している。

国道の維持管理情報の補修履歴から得られた補修が集中する箇所において、IRI が高くなる傾向にあり、損傷の発生頻度と IRI との間に関係性が見られた。発生頻度と IRI 値を指標化することで補修箇所の優先順位の策定資料としての活用が期待できる。また、長崎県内における国道の IRI の計測データを取得することができたため、将来の経時の変化を考慮して分析する際の基礎データの取得になった。



(a)国道 34 号 (b)国道 57 号

図 3.3 ポットホールの補修箇所



図 3.4 損傷発生箇所

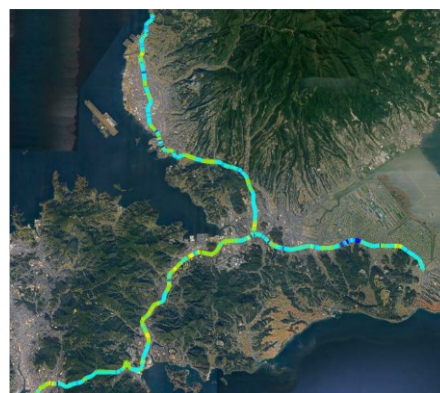


図 3.5 国道 34 号、57 号の計測結果

表 3.7 IRI 評価に対する路面状態の頻度

IRI	色	割合	路面の状態
$0 < \text{IRI} < 2$	青	4%	高速道路に用いられるほどに舗装された路面
$2 < \text{IRI} < 4$	水色	39%	比較的新しく舗装された路面
$4 < \text{IRI} < 7$	緑	35%	古い舗装の表面に損傷が見られる路面
$7 < \text{IRI} < 10$	黄色	8%	大半にくぼみがあり、損傷した舗装状態の路面
$10 < \text{IRI}$	赤	0%	非常に荒れた路面

3.3 道路パトロール車を活用したスマートフォンによる舗装劣化データ収集

九州地方整備局下の福岡国道事務所および長崎河川国道事務所管内を対象として、安価で簡易な IoT

およびクラウド技術などを活用して路面性状データの一つである平坦性の収集を行うとともに、道路維持管理業務の高度化に資する基礎データを得ることを目的として、2022年度に実施した福岡国道事務所および長崎河川国道事務所管内における、ICTを活用したスマートフォンのデータ計測について報告をする。

(1) 道路維持管理における課題

道路維持管理における課題には、舗装の劣化状況の把握と修繕計画の立案が挙げられる。

舗装の劣化状況の把握に関しては、市販のスマートフォンを使用して、現場への作業負荷をかけずに日常パトロールにおける車両走行の中で劣化データを自動収集して損傷レベルを判断することが、運用面も含めて現場の道路維持管理業務の効率化に活用できるかを評価する。

修繕計画の立案に関しては、約4ヵ月間のデータ収集ではあるが、平坦性のデータを収集しその評価結果を整理する。さらに舗装劣化に影響を与える一要因であると考えられる大型車走行量・急ブレーキ回数データを収集し、路面の劣化状況との関係性を分析することで今後の舗装修繕計画の立案に活用可能性も合わせて評価する。

(2) 道パトによる路面性状の評価方法

加速度センサー内蔵スマートフォンを道路パトロール車に搭載し、日常点検時の車両走行で発生する鉛直方向加速度から平坦性を算出する。平坦性は、複数回の走行データを統計処理し算出し、調査区間延長は舗装台帳の調査区間延長に合せて算出する。

本調査は計測をするために走行するのではなく、日常パトロールのついでに路面の走行性能を測定できることから、パトロール実施者に作業負荷がかからないことを特徴とする。スマートフォンの加速度センサーによって収集した情報を基に舗装の平坦性を算出するが、スマートフォンを設置した車両の状態や走行速度等による揺れ発生のためばらつきを考慮するために、同一路線の複数回走行を実施し、統計処理にて平坦性を算出する。道路パトロールは一般に同一路線を一定期間内に複数回走行するため、複数回走行データの入手に際しパトロール実施者の負担は少ない。

具体的には、スマートフォンで測定した上下加速度の大きな地点を抽出して点数化する。上下加速度が大きい地点は、車両の揺れが大きく平坦性が良くないという考え方に基づいている。その際、前後および左右の加速度も用いて、速度変化やカーブによる上下加速度の変動を補正している。複数回の測定による点数を基にあらかじめ定めた20m、100m等の区間ごとの点数平均を算出したものを、平たん性を表す指数であるDII（Deterioration Information Index、劣化情報指数）と定義している。

DIIは、準指標であるIRI（International Roughness Index）値と一定の相関を持つことを確認している。IRI測定方法クラス1（水準測量）にて測定したIRIと、IRI測定方法クラス3（加速度等による計測）と同等の考え方であるDII値を比較し、以下の換算式(3.1)を作成している。

$$IRI = 0.6298 \times DII + 1.85 \quad (3.1)$$

IRIのクラス分類については表3.8に示す。

表 3.8 IRI のクラス分類

分類	路面凹凸測定法	IRI 算出方法
1	水準測量	間隔 250 mm 以下の水準測量で横断プロファイル測定し、QC シミュレーションにより IRI を算出
2	横断プロファイル測定装置	任意の横断プロファイル測定装置で横断プロファイル測定し、QC シミュレーションにより IRI を算出
3	応答型道路ラフネス測定システム	応答型道路ラフネス測定システムで任意尺度のラフネス指数を測定し、相関式により IRI に変換
4	調査員の体感や黙示	パトロールカー乗車調査員の体感や目視により IRI を推測

【平たん性の評価の考え方】

平たん性の評価指数として用いたDII値は独自指標であるが、舗装点検要領の「アスファルトの舗装の診断区分」と照らし合わせると図3.6となる。DII値が小さい場合に損傷レベルが小さく、値が大きい場合に損傷レベルが大きくなり、特にDII値9以上がアスファルト舗装の「区分Ⅲ（修繕段階）：損傷レベル大」に該当する。DII値とIRIおよび参考としてMCI値との関係も合わせて示す。

データは日常点検の車両走行を通じて、自動収集した。分析対象路線約350km区間（上下線合計）の平坦性について、2020年10月～11月の計40日間、169回の走行（三出張所合算）により、全路線の平坦性データを自動収集している。なお、本研究ではパトロール車両が第一車線のみを走行することからデータ収集も第一車線のみを対象としているが、車線ごとに走行可能である場合は、全車線のデータ収集および評価も可能である。

アスファルトの舗装の診断区分 出典：国土交通省「舗装点検要領」（平成28年10月）			DII値	IRI	【参考】 MCI換算
区分	状態				
I	健全	損傷レベル小： 管理基準に照らし、劣化の程度が小さく、舗装表面が健全な状態である。	～2.9	～2.9	5～
II	劣化機能 保持段階	損傷レベル中： 管理基準に照らし、劣化の程度が中程度である。	3～ 8.9	3～ 7.9	3～ 4.9
III	修繕段階	損傷レベル大： 管理基準に照らし、それを超過している又は早期の調査が予見される状態である。	9～	8～	～2.9

図 3.6 DII とアスファルト舗装診断区分、および IRI 値、MCI 換算値

(3) 福岡国道での平たん性調査

【福岡維持出張所管内】

福岡維持出張所管内の路線評価結果を図3.7に示す。

図 3.8 は国道 3 号上り 73kp 付近が最多の劣化区間を示した。特に国道 3 号上りで IRI3 評価のうち 3 割がこの路線区間に集中している。その他、同じ東区の 66-67kp 付近の平山～下原区間、79kp 付近の南バイパスの半道橋付近、77kp ゆめタウン付近。南下すると、太宰府インター付近の 86kp、水木～都府楼前の 88kp～89kp 間、日本経済大の 91kp～92kp 間も劣化が見られた。

同じく、図 3.9 の国道 3 号下り線についても 77kp 付近のゆめタウン、及び 80kp 付近の東光の下りは上りにみられなかった劣化が顕著であった。福岡維持出張所管内で 3 号と同じく代表されるのが、図 3.10 の国道 201 号である。福岡市内から飯塚方面に走るバイパスである。2kp 付近より 4kp 辺りまでの緩やかなカーブの出入口付近に劣化が発生している。

さらに、図 3.11 に示す八木山峠に向かう城戸南蔵院から八木山峠の飯塚市境までの 14kp～18kp はヘアピンカーブもあり、ブレーキによる路面の劣化と思われる特徴的な連続したダメージが見られる。

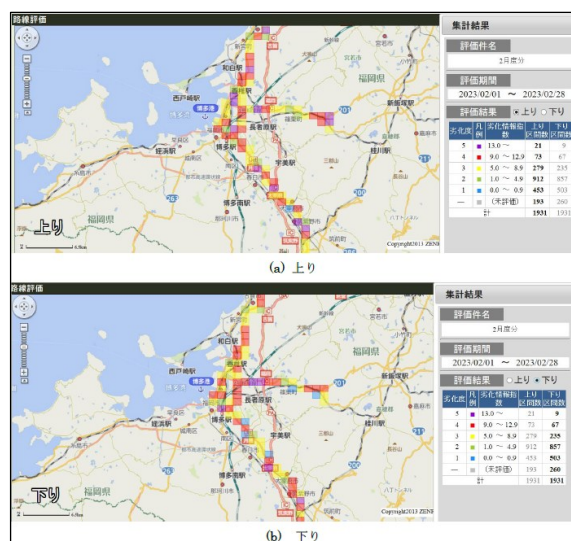


図 3.7 福岡維持出張所管内の路線評価結果



図 3.8 名島



図 3.9 国道 3 号下り千代



図 3.10 国道 201 号 (粕谷)



図 3.11 国道 201 号 (篠栗)

【福岡西維持出張所管内】

福岡西維持出張所管内の路線評価結果を図 3.12 に示す。

起点の博多区堅粕から通称国体道路と呼ばれる国道 202 号線。西鉄バスが何台も連なる大型車両の行き交う交通量の多い路線である。それを西に直進すると図 3.13 の 10kp 付近～12kp までの間にかかなりの割合で劣化が連続しているという特徴がある。

国道 202 号の下りについては、図 3.14 にあるように、さらに上り以上に市街地へ行くほど劣化箇所が多く見られた。

今宿道路に入ると、図 3.15 の深江から今宿道路 28kp 付近から 33kp 辺りまで劣化が散見される。

さらに西に進むと図 3.16 の二丈浜玉道路においても終点まで断続的に劣化箇所が顕著であった。二丈浜玉道路は以前有料道路であったが、無料になってからはそれ以前と比較して交通量が 2 倍に増えているという。無料に伴う大型車両通行の増加も路面劣化の一因と考えられる。

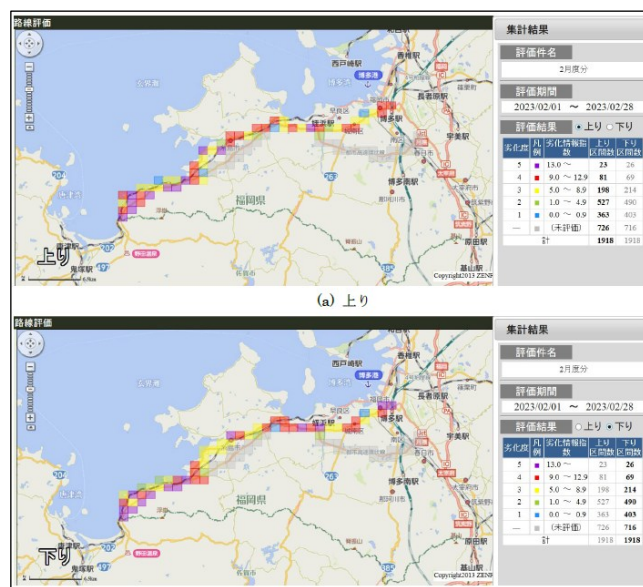


図 3.12 福岡西維持出張所管内の路線評価結果



図 3.13 国体道路～国道 202 号



図 3.14 国道 202 号下り



図 3.18 国道 3, 209, 210 号



図 3.19 国道 3 号(八女)



図 3.15 国道 202 号深江



図 3.16 二丈浜玉道路

【久留米維持出張所管内】

久留米維持出張所管内の路線評価結果を図 3.17 に示す。

筑後川を越えた図 3.18 の起点から 3 つの路線、国道 210 号、国道 3 号、国道 209 号が放射状に市街地へ広がる。その路線はいずれも路面の劣化が著しいのが認められる。特に図 3.19 の八女まで延びる国道 3 号 128kp 付近には劣化が集中している。

図 3.20 の国道 210 号と浮羽バイパスは並走している。国道 210 号 15kp 付近、及び 18kp-19kp では劣化の連続が見られる。一方の浮羽バイパスについても一部を除き 20-21kp, 23kp-27kp と全体的に劣化が進行している。

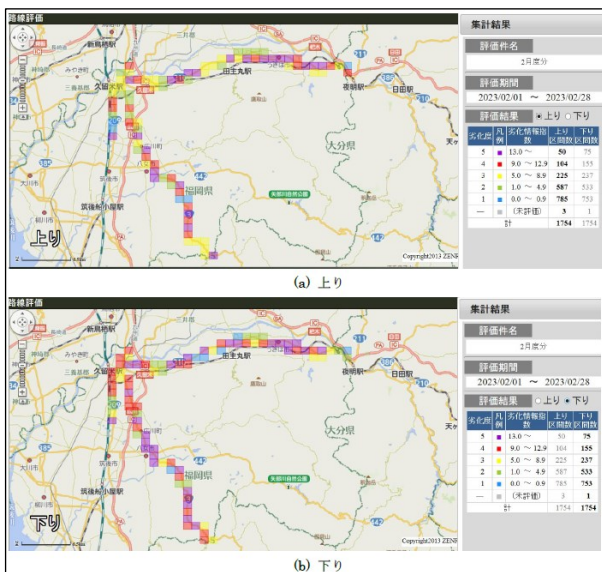


図 3.17 久留米維持出張所管内の路線評価結果



図 3.20 国道 210 号と浮羽バイパス

【久留米維持出張所瀬高庁舎管内】

久留米維持出張所瀬高庁舎管内の路線評価結果を図 3.21 に示す。瀬高庁舎の特徴は数値だけで見ると全体的に健全度を保っている。劣化があるのは図 3.22 の国道 209 号 14kp-16kp の市街地で中心地と区間に一部見られる程度である。管内全体としては今後は劣化予備軍の区間も把握しつつも日常パトロールでこのようなセンサーをうまく使って予防保全に取り組まれることが期待される。

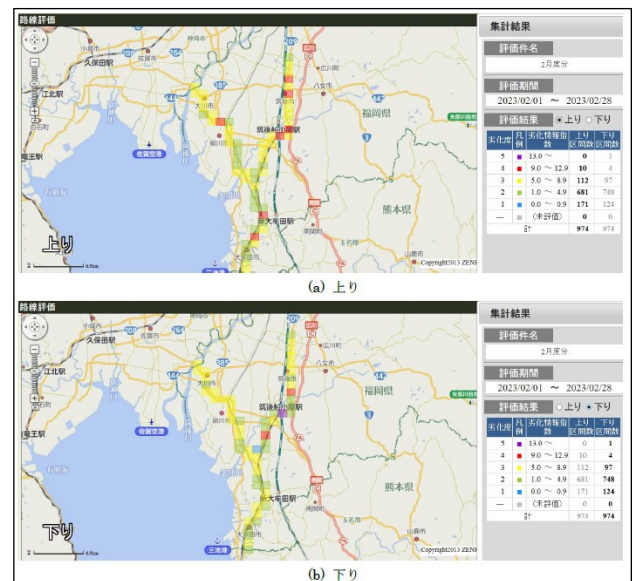


図 3.21 久留米瀬高庁舎管内の路線評価結果

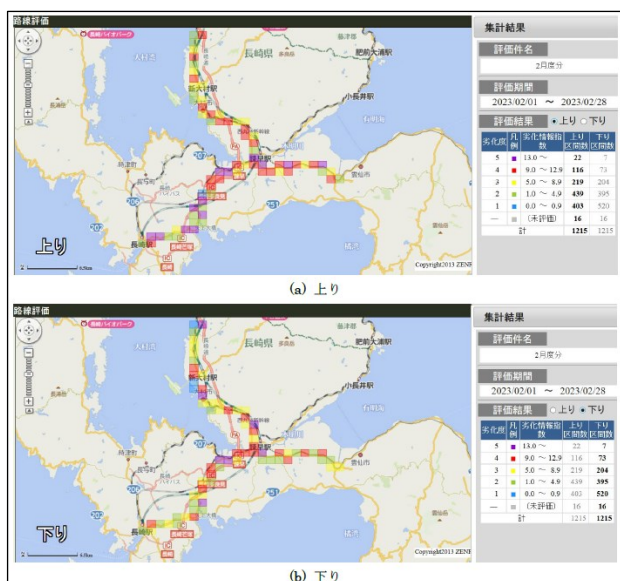


図 3.22 国道 209 号 (筑後市)

福岡国道事務所平坦性の評価損傷大区間数を表 3.9 に示す。損傷大の数値のみで見ると久留米維持出張所においては九州道などの高速から流入してくる大型車の通行によるより劣化の進行の早いと考えられる。

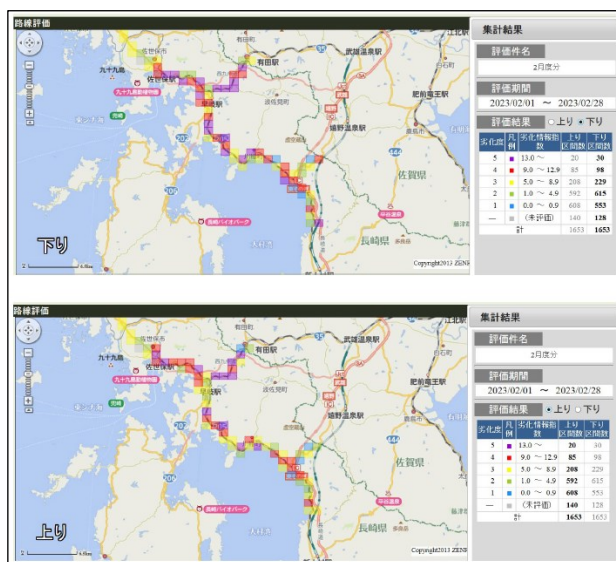
	福岡	福岡西	久留米	瀬高
損傷大区間数	74	88	128	6

諫早市から長崎空港を有する大村市の国道 34 号と図 3.25 の諫早市から雲仙市へ続く国道 57 号も劣化の進行が見られる．この点においては長崎河川国道管内で最も交通量の多い路線で，IRI についての評価 3 ということも 3 出張所管内で最大の数値である．



A map of the Changshu area in Jiangsu Province, China. The map shows the city of Changshu (常熟市) and its surrounding areas. Key locations marked include Suzhou (苏州市), Wuxi (无锡市), and Yangzhou (扬州市). The map also shows the Yangtze River (长江) and the Grand Canal (京杭大运河). The Changshu Railway Station (常熟站) is highlighted in red, and the location of the Changshu Railway Station is marked with a red dot. The map includes a scale bar and a north arrow.

海岸線を走る 205 号は 2km ごとに劣化が見られる。図 3.28 にあるように、大塔から東彼杵までの海岸線に続く国道 205 号は大塔より小串郷間で路面の劣化が顕著に見られる。小串郡より大村に向かう海岸線は整備された区間もあるが、海岸線に沿ったカーブによる加速、減速が発生しているのか、局所的に劣化地点が見受けられる。佐世保国道維持出張所が管理する路線に国道 497 号があるが、こちらについては上り下りともに舗装面は健全であった。

[illegible]

26

【小浜維持出張所管内】

小浜維持出張所管内の路線評価結果を図 3.29 に示す。

小浜維持出張所は国道 57 号 1 路線ではあるが、182kp-185kp、200kp-204kp 及び 211kp-213kp の健全な区間を除き、管理路線全体的に劣化は進行している。特に図 3.30 の 213kp-214kp の雲仙市役所周辺は劣化が集中している。キャンプ施設も整備されて季節ごとに賑わいを感じさせるが、幾重にも曲がりくねって続く坂道が続くカーブ毎にブレーキなどによると思われる、局所的に強い劣化が数値的に見られた。

【長崎河川国道の平坦性の評価（損傷大の場合）】

損傷大の数値のみで見ると大村出張所においては空港や高速から流入してくる物流車両や観光バス等の大型車の通行によるより劣化の進行が早いと考えられる。

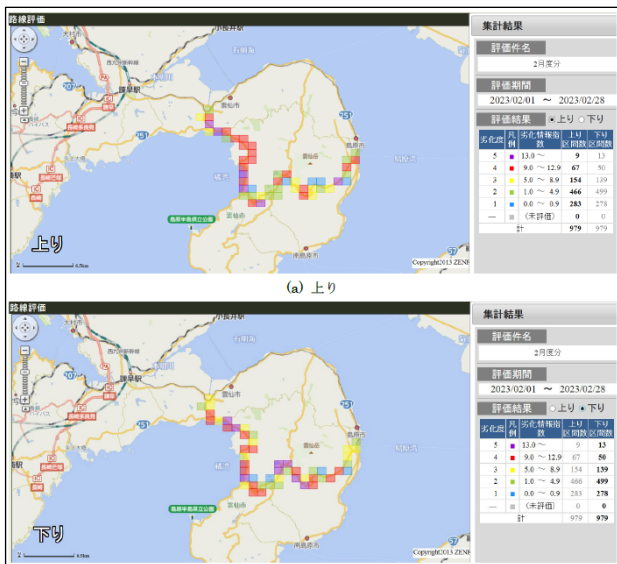


図 3.29 小浜維持出張所管内の路線評価結果



図 3.30 国道 57 号（雲仙市役所）

3.4 長崎市道における FWD 調査

(1) FWD 調査方法

2023 年 7 月に、長崎市が管理する道路において、舗装たわみ量調査(FWD 調査) が実施され、補修工法の検討が行われた。本項では、そのうちの（路線

名）白木町矢の平線（長崎市彦見町）の 660m 区間において 20m ピッチで実施された、舗装たわみ量調査（FWD 調査）について報告する。

【FWD 装置の概要】

FWD (Falling Weight Deflectometer) は、舗装の支持力を評価するためのデータを取得する装置の一つである。この装置は車載式になっており、測定時には路面上に載荷板を置き、その上に錘を落下させて路面に衝撃荷重 (49kN 輪荷重) を加えることができる。この時に生じる路面のたわみ量を 10 個のセンサによって計測し、路面のたわみ形状を求める。FWD 装置の概要を図 3.31 に示す。

同図に示すように載荷点直下のたわみ量を D_0 、載荷点より 20cm 離れた位置のたわみ量を D_{20} 、30cm 離れた位置を D_{30} 、以下、 D_{45} 、 D_{60} 、 D_{75} 、 D_{90} 、 D_{120} 、 D_{150} 、 D_{200} としている。各センサのたわみ量より求められた路面のたわみ形状を基に、たわみ量と多層弾性構造計算の逆解析演算からアスファルト混合物層、路盤、路床各層の弾性係数を求め、各層の材料の強度や支持力の良否の判定から舗装各層の評価を行うことができる。

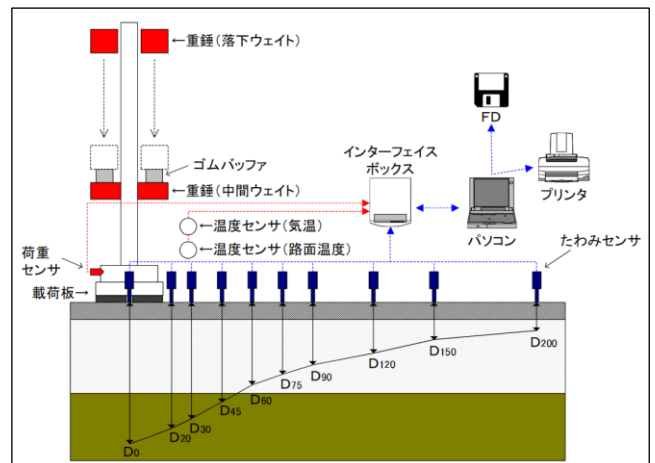


図 3.31 FWD の模式図

(2) 白木町矢の平線の FWD 調査

【構造評価】

FWD 測定から得られた D_0 (20℃補正) たわみお FWD の測定位置図を図 3.32 に示す。たわみの変化点により 1 区間と 1 地点で解析を実施した。調査区間における D_0 たわみは、一部区間を除いて 0.9mm 以下であるので、支持力が保持されていると考えられる。（交通量区分 N4 において健全な支持力と判断できる D_0 たわみ量の目安値 0.9mm 以下）。FWD 測定から得られた D_0 たわみより各層の弾性係数の推定値を表 3.10 に示す。全体的に、良好と判断される目標値を下回る結果となった。

【舗装構造解析結果】

舗装各層の評価は目標等値換算厚 T_A と残存等値換算厚 (T_{A0}) の比較により行う。残存等値換算厚は弾性係数と等値換算係数の関係式から舗装各層の残存

等値換算係数 a から求め、各層の厚さを基に算出した。解析結果を表 3.11 に示す。本路線では区間 1 および地点 1 で、残存等値換算厚 T_{A0} が目標等値換算厚 T_A を不足するため、舗装の構造的補修が必要である。

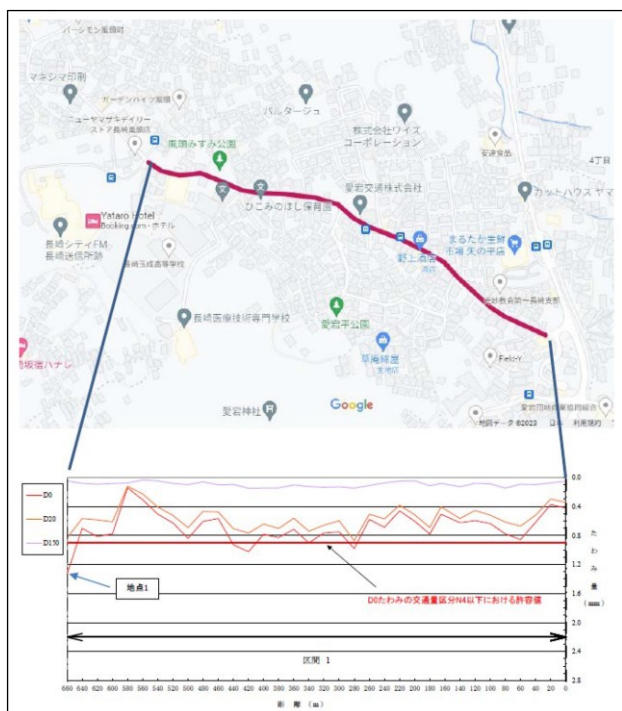


図 3.32 たわみ縦断面図

表 3.10 各層の弾性係数の推定値

解析区間	材料	層厚 (cm)	弾性係数 (MPa)	ランク
区間 1	アスファルト混合物	10	1900	低下している
	粒度調整砕石	12	150	低下している
	クラッシャーラン	20	100	低下している
	路床	∞	65	
地点 1	アスファルト混合物	10	590	低下している
	粒度調整砕石	12	80	低下している
	クラッシャーラン	20	50	低下している
	路床	∞	100	

表 3.11 残存等値換算厚

区間 1	アスファルト混合物	10	1900	0.66	6.60
	粒度調整砕石	12	150	0.26	3.12
	クラッシャーラン	20	100	0.22	4.40
	舗装厚合計	42			14.12
	残存等値換算厚 T_{A0} (cm)	14.12	設計値 CBR=6, 設計交通量=N4		
	目標等値換算厚 T_A (cm)	16.0	1.88cm T_A が不足している		
地点 1	アスファルト混合物	10	590	0.43	4.30
	粒度調整砕石	12	80	0.21	2.52
	クラッシャーラン	20	50	0.17	3.40
	舗装厚合計	42			10.22
	残存等値換算厚 T_{A0} (cm)	10.22	設計値 CBR=8, 設計交通量=N4		
	目標等値換算厚 T_A (cm)	14.0	3.78cm T_A が不足している		

【舗装補修工法の検討】

区間 1(0m~660m)では、残存等値換算厚 T_{A0} が目標等値換算厚 T_A を満たさないため、舗装の構造的補修が提示された。補修工法案を表 3.12 に舗装補修

断面案を図 3.33 に示す。補修工法 1 はアスファルト混合物 5cm の切削オーバーレイであるが、それだけでは目標等値換算厚 T_A を満たさない。補修工法 2 はアスファルト混合物 10cm の混合物の打換えて、目標等値換算厚 T_A を満足する。

表 3.12 舗装補修工法案

解析区間	区間 1 0~660m												
	既設舗装						補修工法 1 切削オーバーレイ			補修工法 2 アスファルト混合物の打換え			
補修工法	材料	厚さ	a	a×h	材料	厚さ	a	a×h	材料	厚さ	a	a×h	
	既設アスコン	10	0.66	6.6	新設アスコン	5	1.00	5	新設アスコン	10	1.00	10	
舗装構造断面	粒度調整砕石	12	0.26	3.12	既設アスコン	5	0.66	3.3	粒度調整砕石	12	0.26	3.12	
	クラッシャーラン	20	0.22	4.4	粒度調整砕石	12	0.26	3.12	クラッシャーラン	20	0.22	4.4	
	目標等価換算厚 T _A				16.00				16.00				
補修後等価換算厚 T _A				14.12				15.82				17.52	
施工性									○ アスコン 2 層				
環境負荷									○ アスコン 10cm				
道路の管理性									○				

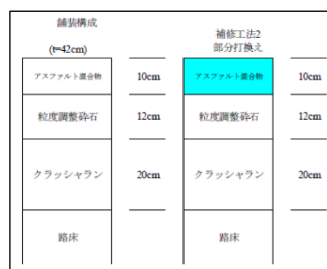


図 3.33 舗装補修断面案

3.5 道路舗装点検技術の定量的分析

iDRIMS は東京大学で開発された、加速度計を自動車の搭載して、道路面のプロファイルを計測する機器である。本研究の共同研究者である西川貴文准教授は iDRIMS 開発の共同研究者であり、2010 年頃から iDRIMS のハードやソフトの面での研究開発に携わっている。

加速度計による IRI の計測精度について、図 3.34 に DRIMS とプロファイラとの比較試験を示す。DRIMS とプロファイラによるプロファイル推定 (0.02~0.5cycle/m) した結果、DRIMS はプロファイラと一致したプロファイル推定を行うことができることを確認できる。

iDRIMS を用いて 2022 年に IRI 計測を実施した路線と同路線の IRI を計測し、2 時点における IRI の計測結果を比較分析した (図 3.35)。舗装健全度区分 III (IRI=8mm/m 以上) に達している箇所が増加している。約 2400m 地点では健全度区分 I (IRI=3mm/m 以下) に低下しているが、その地点の路面状態を確認すると全体補修が行われていたことが判明した。

iDRIMS を用いて経時的に道路舗装の点検により、路面劣化地点の IRI 上昇が把握できることがわかる。

iDRIMS で計測された IRI と路面性状測定車で計測された IRI および MCI の比較分析を行った。路面性状測定車による計測結果は xROAD のデータを用いた。それぞれの計測結果を図 3.36 および図 3.37 に示す。相関分析結果は IRI, MCI とともに大きな相関は見ら

れなかった。

FWD 調査で計測された路面舗装全体の支持力を示す D0 たわみ量と iDRIMS で計測された IRI の比較分析結果を図 3.42 に示す。FWD 調査による計測結果は長崎市が 2023 年に行った調査結果のデータである。相関分析結果では大きな相関は見られなかった。

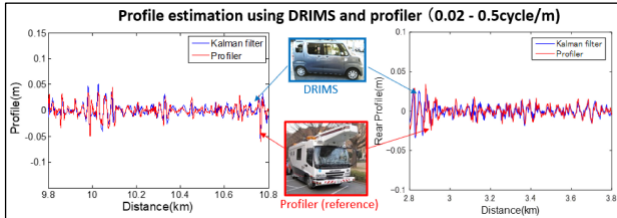


図 3.38 DRIMS とプロファイラとの比較試験

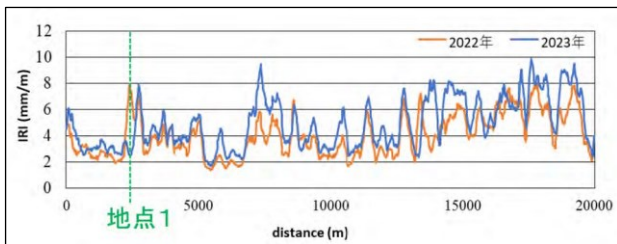
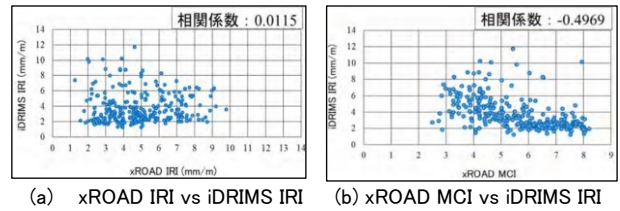


図 3.39 2 期間の IRI 値の比較



(a) xROAD IRI vs iDRIMS IRI (b) xROAD MCI vs iDRIMS IRI

図 3.40 xROAD の IRI, MCI と iDRIMS の IRI の比較

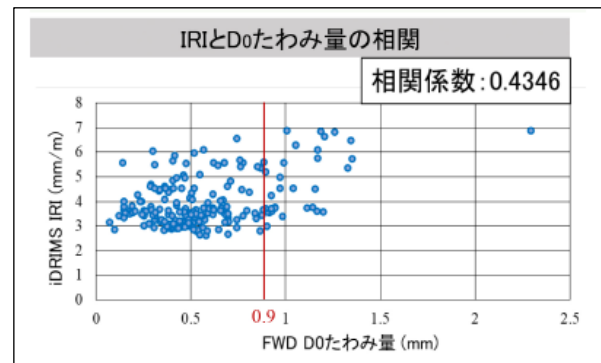


図 3.41 FWD D0 たわみ量と iDRIMS の IRI の比較

第4章 研究開発環境の整備

本事業における研究開発を円滑に実施するためには、本事業において重要な位置を占める AIの開発・運用環境を構築するとともに、AIの教師データの基礎データとなる道路の動画や各種センサーデータを取得するシステムの構築が必須である。

本章では、本事業で整備した路面性状データ収集システムおよび AI開発・運用環境について詳述する。

4.1 AI開発・運用環境

(1) AI開発用サーバーについて

AIの開発を効率的に実施するためには、高速なCPU、GPUと大容量のメモリを搭載したサーバーが必要となる。特に、GPUの性能はAIの訓練時間に直結するため、できるだけ高速なGPUを複数搭載していることが望ましい。また、GPUの搭載メモリ容量によって、利用できるAIモデルが制限されるため、GPUのメモリ容量は大きいほど望ましいと言える。

本事業では、令和4年度にAI開発用として、高速なCPUを2基、GPU(メモリ80GB)を4基、メモリを512GB搭載したAIサーバーを準備した。なお、ストレージはAI処理の高速化を期待して All-Flash(SSD)構成としている。

図4.1は、本事業で準備したAI開発用サーバー(DELL社製PowerEdge XE8545)の外観写真、図4.2は内蔵GPUの写真である。

表4.1はAI開発用サーバーのスペック、表4.2は内蔵GPUのスペックである。



図4.1 DELL PowerEdge XE8545



図4.2 NVIDIA A100 SMX

表4.1 AI開発用サーバーのスペック

項目	仕様
CPU	AMD EPYC 7763(2.45GHz/64C/128T) x 2
メモリ	512GB(DDR4-3200/RDIMM)
GPU	NVIDIA A100 SMX4 80GB(500W) x 4
電源	2,400W/200V(2+2冗長構成) x 4
温度条件	吸気温度25℃以下

表4.2 内蔵GPUのスペック

項目	仕様
FP64	9.7 TFLOPS
FP64(Tensorコア)	19.5 TFLOPS
FP32	19.5 TFLOPS
Tensor Float 32(TF32)	156 TFLOPS
BFLOAT16 Tensorコア	312 TFLOPS
FP16 Tensor コア	312 TFLOPS
メモリ帯域	2,039 GB/s
相互接続帯域	600 GB/s

(2) AIシステム用サーバーについて

本事業では、研究開発成果を実装し、Webブラウザから活用できるようにした「AIを用いた道路維持管理システム」(略称：AIRMS、第6章で詳述)を構築している。AIRMSは、サーバー上でAI推論を実行する機能を有しており、高速かつ安定した運用には、優れた推論処理能力を有するサーバーが必要である。また、(1)項のAI開発用サーバーは、AI訓練時に非常に高負荷となるため、AIシステム用サーバーは独立したサーバーである必要がある。

本事業では、令和5年度にAIシステム用サーバーとして、高速なCPUを2基、GPU(メモリ80GB)を2基、メモリを512GB搭載した AIシステム用サーバーを準備した。

図4.3は、本事業で準備したAIサーバー(DELL社製 PowerEdge R750xa)の外観写真, 図4.4は内蔵GPUの写真である.



図4.3 DELL PowerEdge R750xa



図4.4 NVIDIA H100 PCI-E

表4.3はAIシステム用サーバーのスペック, 表4.4は内蔵GPUのスペックである.

表4.3 AIシステム用サーバーのスペック

項目	仕様
CPU	Intel Xeon Gold 6326(2.9GHz/16C/32T) x 2
メモリ	512GB(DDR4-3200/RDIMM)
GPU	NVIDIA H100 PCI-E 80GB(300W) x 2
電源	2,400W/200V(冗長構成) x 2

表4.4 内蔵GPUのスペック

項目	仕様
FP64	24.0 TFLOPS
FP64(Tensorコア)	48.0 TFLOPS
FP32	48.0 TFLOPS
Tensor Float 32(TF32)	400 TFLOPS
BFLOAT16 Tensorコア	800 TFLOPS
FP16 Tensorコア	800 TFLOPS
FP8 Tensorコア	1,600 TFLOPS
INT8 Tensorコア	1,600 TFLOPS
メモリ帯域	2TB/s

(3) サーバーの設置環境

表4.1の電源, 温度条件欄に示すとおり, AI開発用サーバーの運用条件は, 電源が2,400W(200V)の4系統, 吸気温度が25℃と極めて厳しく, 研究室等での運用が困難であることから, 両サーバーともに本学のデータセンターに設置して運用を行った. 本学のデータセンターは以下のような環境が用意されたものとなっている.

空調設備	ラック鍵管理システム
自家発電装置	温度監視
自動消火装置	ドア開閉監視
監視カメラ	消費電力監視
入退室管理システム	

(4) 高速ネットワーク環境

AIの訓練時の教師データや, 訓練で得られた重みデータ, 結果データは非常に大きなサイズとなるため, 作業を行うワークステーションや, データの保管を行うNASとの間に高速なネットワーク環境を準備する必要がある. 本事業では, 本学の学内ネットワークを利用し, 研究室とデータセンター間を10Gbps(一部, 2.5Gbps, 1Gbps)のネットワーク回線で接続した.

図4.5は, ネットワーク接続の概略図である.

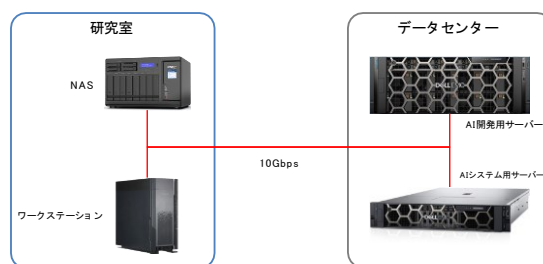


図4.5 ネットワーク接続概略図

(5) サーバー環境の構築

本項では, サーバーの構築手順の概略について説明する.

① OSのインストール

本事業では, サーバーのOSとして, Ubuntu Server 22.04 LTSを用いた. 各サーバーは, KVM(Keyboard, Video, Mouse)未接続のため, USBメモリにOSイメージを入れ, インストール作業はDELL社のiDRAC(Integrated Dell Remote Access Controller)経由で行った. iDRACは, DELL社製のサーバーに搭載されたリモートサーバー管理機能である.

② NVIDIAドライバーのインストール

次に, ホストOSでGPUが利用できるように, UbuntuにNVIDIAのドライバーをインストールする. `ubuntu-drivers` コマンドで提供されているドライバでは, GPUを認識しない場合があるので, 本事業ではNVIDIAのサイトから最新のドライバーをダウンロードしてインストールした.

インストール後は再起動し, `nvidia-smi` コマンドでGPUが正しく認識されているか確認を行った.

③ Dockerのインストール

本事業では, AI開発においても, システム(AIRMS)運用においても, Dockerコンテナ内で動作させるため, サーバーにDockerをインストールした.

Dockerインストール後は, 以下のコマンドを実行し, Dockerの動作確認を行った.

```
sudo docker run hello-world
```

④ NVIDIA Container Toolkitのインストール

続いて, Dockerコンテナ内でもGPUを利用できるよう, NVIDIA Container Toolkitのインストールを行った.

NVIDIA Container Toolkitのインストール後は, 以下のコマンドを実行し, DockerコンテナでGPUが

正しく認識されているか確認を行った。なお、コマンドは紙面の都合上折り返しているの、改行は半角スペースに変更する必要がある。

```
sudo docker run -rm -gpus all
nvidia/cuda:11.0.3-base-ubuntu20.04
nvidia-smi
```

⑤ Dockerイメージの作成と起動

紙面の都合上、詳細についてはここでは割愛するが、**Dockerfile**, **docker-compose.yml**を作成し、**Docker**イメージを作成する。必要に応じて作成したイメージを起動し、**AI**の開発やシステム(**AIRMS**)の運用を行う。

4.2 路面性状データ収集システム

各種AIで利用するデータを安価かつ簡便な方法で取得するため、ドライブレコーダー2台とGPS・加速度ロガーからなる路面性状データ収集システムを構築した。

表4.5は、路面性状データ収集システムの構成である。

表4.5 路面性状データ収集システムの構成

機器	メーカー・型番	個数
ドライブレコーダー	VANTRUE・X4S, VANTRUE・Windshield GPS Mount	各2
GPS・加速度ロガー	Aaronia・GPSロガー	1
モバイルバッテリー	Anker・PowerCore Essential 20000, Anker・PowerCore 13000	1

本システムは、モバイルバッテリーや内蔵バッテリーで動作可能となっており、計測車への設置方法の自由度が高いことも特徴となっている。次項以降、それぞれの機器の詳細について説明する。

(1) ドライブレコーダー

本システムのドライブレコーダーは、画質およびUSB電源対応などを考慮し、VANTRUE社のX4Sを採用した。また、SfM(Structure from Motion)を利用した3次元点群データ作成を想定し、ドライブレコーダーは2台構成としている。

図4.7は、ドライブレコーダーの外観、表4.6はドライブレコーダーのスペックである。



図4.7 ドライブレコーダーの外観

表4.6 ドライブレコーダーのスペック

項目	スペック
イメージセンサ	OmniVision OS08A10 (1/1.8")
解像度	3,840×2,160(4K)@28FPS 2,560×1,440(2.5K)@28/55FPS
焦点距離	3.04±0.2mm

本ドライブレコーダー(VANTRUE X4S)のGPSデータは、MP4コンテナのストリームとしては記録されず、MP4コンテナの動画ストリームの各フレームに保存されている。MP4コンテナからGPS情報を抽出するには、専用のプログラムを作成するか、VANTRUE X4Sに対応したアプリを利用する必要がある。VANTRUE X4Sに対応したアプリとしては、Dashcam Viewer(Ver.3.9.1以上)などがある。

(2) GPS・加速度ロガー

本システムでは、路面の平坦性を評価するため、加速度やジャイロセンサーのデータを使用する。GPSによる位置情報と同時に、加速度、ジャイロセンサーのデータを取得するため、本システムでは、Aaronia社(ドイツ)のGPS Loggerを採用した。

図4.8は、GPS・加速度ロガーの外観、表4.7はGPS・加速度ロガーのスペックである。

表4.7 GPS・加速度ロガーのスペック

項目	スペック
センサー(6種類)	GPS, 加速度, 3Dジャイロ, 3D傾斜, デジタルコンパス, 高度
データレート	最大35ログ/秒 GPSは1ログ/秒



(a) GPS Logger(コネクタ側)



(b) GPS Logger(利用例)

図4.8 GPS・加速度ロガーの外観

なお、本GPS・加速度ロガーでは、各センサーのデータは拡張NMEA形式で、マイクロSDカードに記録される。拡張NMEA形式の詳細については、Aaronia社のウェブサイト参照されたい。

第5章 研究成果

5.1 AIを用いたひび割れ率の算定法

本節では、MCIの3つの路面性状値のうち、ひび割れ率の算定について着目し、ドライブレコーダーやアクションカメラといった一般的な機器と画像処理および深層学習を組み合わせることで、MCIに準じた安価かつ高精度にひび割れ率算定手法を構築する。

(1) 舗装の維持管理指数 (MCI)

MCIは、舗装の供用性を「ひび割れ率」、「わだち掘れ量」および「平たん性」という路面性状値によって定量的に評価するものである。舗装の劣化形態は様々なものがあり、例えばひび割れ卓越型の劣化形態や、わだち掘れ卓越型の劣化形態が存在する。「ひび割れ率」や「わだち掘れ量」といった単独指標では、それら劣化形態の異なる舗装の比較が困難である。そこで、昭和56年に建設省土木研究所が、道路局、地方建設局(いずれも当時)とともに、維持修繕判断を行う総合的な指標として開発したものがMCIである。MCIは、道路管理者の視点から異なる劣化形態の路面を見比べ、劣化の程度を点数により評価したのに対し、路面性状の主要指標である「ひび割れ率」、「わだち掘れ量」および「平たん性」という路面性状値で重回帰分析することにより求められたものであり、以下の式(5.1)のうち、最小値をもってMCIとすることとしている。

$$\begin{aligned} MCI &= 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2} \\ MCI_0 &= 10 - 1.51C^{0.3} - 0.30D^{0.7} \\ MCI_1 &= 10 - 2.23C^{0.3} \\ MCI_2 &= 10 - 0.54D^{0.7} \end{aligned} \quad (5.1)$$

ここに、 C はひび割れ率(%), D はわだち掘れ量(mm), σ は平たん性(mm)である。

式(5.1)からわかるように、MCIの最大値は10である。MCIの値が3以下の場合には早急な補修が必要であり、4以下の場合には補修が必要、5以下の場合には補修が望ましい管理基準となる。

MCIにおけるひび割れ率の算定では、各マス目

0.5m×0.5m(面積0.25m²) について、表5.1のようにひび割れ面積を判断することとなっている。MCIにおけるひび割れ率は、算定する区間の総ひび割れ面積を総面積で割り100をかけたものとなるので、以下の式(5.2)のようになる。

$$\text{ひび割れ率}(\%) = \frac{\text{総ひび割れ面積}}{\text{総面積}} \times 100 \quad (5.2)$$

図5.1は舗装面のひび割れ・パッチングの例である。マス目のサイズは0.5m×0.5mであり、マス目の面積は0.25m²である。この例について、表5.1を用いてひび割れ面積を計算したものが表5.2である。

表5.2の計算結果に式(5.2)を用いると、図5.1の区間のひび割れ率は式(5.3)のように求まる。

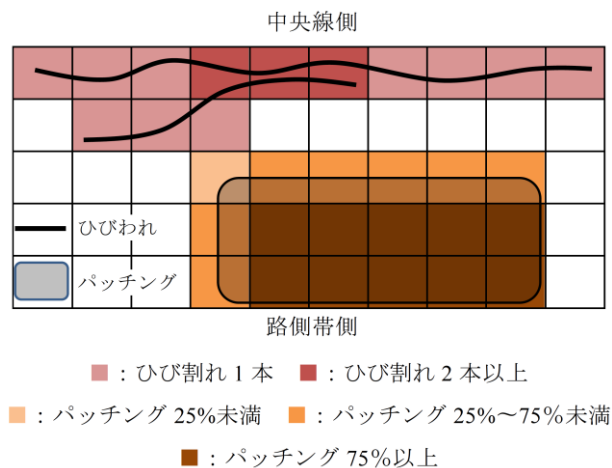


図5.1 舗装面のひび割れ・パッチングの例

$$\text{ひび割れ率}(\%) = \frac{5.625}{0.25 \times 50} \times 100 = 45(\%) \quad (5.3)$$

以降、MCIで用いられている手法で求められたひび割れ率を正解と考え、深層学習を用いてMCIの手

法により近いひび割れ率の算定手法を開発する。

表5.1 MCIにおけるひび割れ面積

状態	ひび割れ面積
線状ひび割れが1本だけある	0.15m ²
線状ひび割れが2本以上ある	0.25m ²
パッチングの占める面積が0%以上25%未満	0m ²
パッチングの占める面積が25%以上75%未満	0.125m ²
パッチングの占める面積が75%以上	0.25m ²

表5.2 ひび割れ面積の計算

マス目の種類	マス目数	ひび割れ面積
ひび割れ1本	10	1.5m ²
ひび割れ2本以上	3	0.75m ²
パッチング(25%未満)	1	0m ²
パッチング(25%以上75%未満)	7	0.875m ²
パッチング(75%以上)	10	2.5m ²
総ひび割れ面積	-	5.625m ²

(2) 利用するAIモデル

本節で開発するひび割れ率の算定手法では、次の手順によってひび割れ率を求める。

- ① 各マス目画像を、ひび割れなし、ひび割れあり（ひび割れ1本もしくはひび割れ2本以上）、その他に分類する
- ② ひび割れなしに分類された画像については、パッチング箇所を抽出し面積を算出する
- ③ ひび割れ分類結果、パッチング面積の算出結果をもとにひび割れ面積を算出し集計することでひび割れ率を求める

AIモデルとしては手順①では画像分類(Image Classification)のAIモデル、手順②ではセマンティックセグメンテーション(Semantic Segmentation)のAIモデルを用いる。図5.2、図5.3はそれぞれ画像分類AIモデル、セマンティックセグメンテーションAIモデルの概念図である。画像分類モデルの推論処理では、画像全体についてどのクラスに属しているかを推論する。セマンティックセグメンテーションモデルの推論処理では画像の各画素がどのクラスに属しているかを推論する。

画像分類、セマンティックセグメンテーションのAIモデルは、畳み込みニューラルネットワーク(CNN: Convolutional Neural Network)を用いたものが主流となっている。図5.4は、畳み込みニューラルネットワークで利用される畳み込み処理の概要である。畳み込み処理では、図5.4に示すように、画像に対して小さなカーネル(フィルター)行列を移動

させながら、各要素の積の和を計算する処理や、最大値、平均値を計算する処理が行われる。畳み込みニューラルネットワーク(CNN)では、このカーネルの各係数が学習対象の一つとなる。

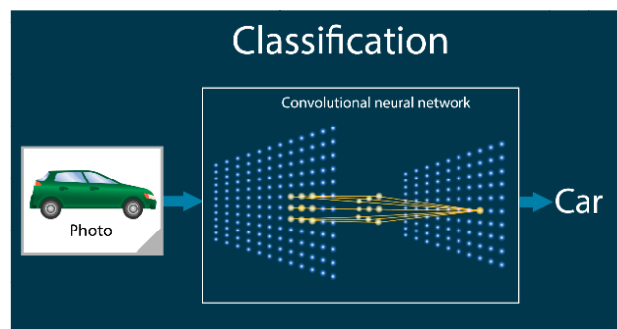


図5.2 画像分類AIモデルの概念図

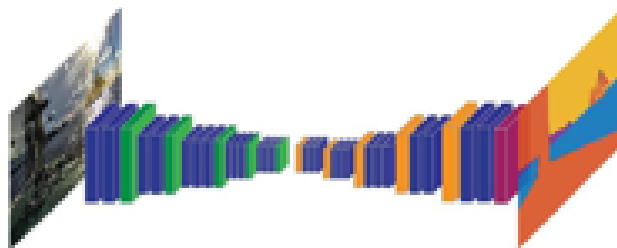


図5.3 画像セグメンテーションAIモデルの概念図

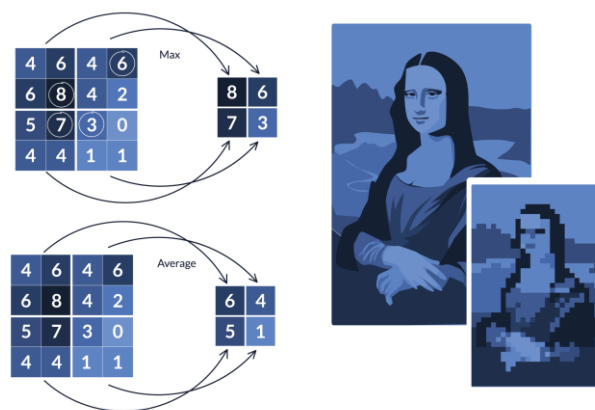


図5.4 畳み込み処理の概要

ひび割れ画像分類(手順①)とパッチング箇所検出(手順②)では、それぞれ教師データの作成手順、AIモデルの訓練および結果の整理方法が異なるため、それぞれ順に説明する。

(3) ひび割れ画像分類について

本研究では、画像分類AIモデルとしてResNet101を採用した。図5.5にResNet101モデルのネットワーク構造を示す。

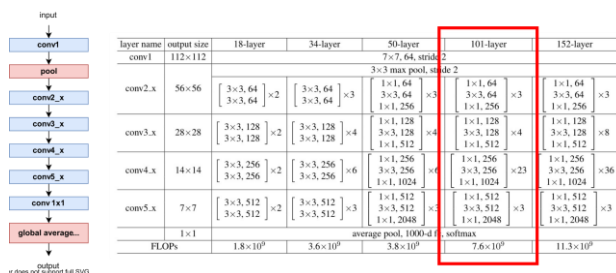


図5.5 ResNet101モデルのネットワーク構造

① 教師データの作成

本項では画像分類AIモデル用の教師データの作成手順について述べる。画像分類AIモデルの教師データの作成手順は次に示す通りである。

- 1) 路面動画の取得
- 2) フレームの抽出
- 3) レンズ補正
- 4) フレーム画像の射影変換
- 5) フレーム画像の分割
- 6) タイル画像の分類
- 7) データセットの作成

以降、それぞれの手順について詳述する。

1) 路面動画の取得

本研究では、フロントウィンドウに設置したドライブレコーダーおよびGoPro Hero 10を用いて路面動画を撮影した。GoProは撮影モードによってはレンズ補正が不要であるというメリットがあるが、熱暴走しやすいため、熱暴走を防ぐため外部バッテリー動作とし、さらにFANで冷却を行った。図5.6はGoProの設置状況である。

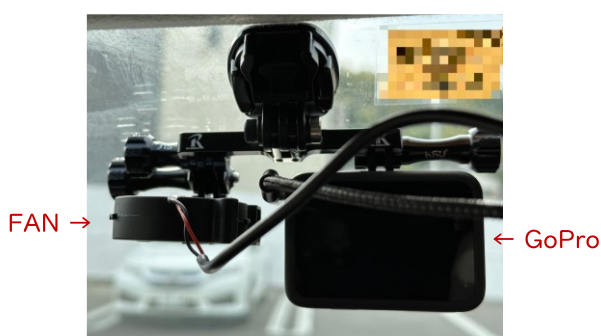


図5.6 GoProの設置状況

2) フレームの抽出

動画からのフレームの抽出においては、1フレーム当りの移動距離を考慮し、取り出すフレーム間隔を決定する必要がある。例えば、時速50km/hで走行しながら30fpsで撮影した動画の場合、移動距離は式(5.4)のように計算される。

$$50\text{km/h} \times 1\text{km} / 3,600\text{秒} / 30\text{fps} \doteq 0.46\text{m/frame} \quad (5.4)$$

また、動画のフレームレートが30fpsの場合に、1フレーム当りの移動距離をマスの1辺の長さ0.5mに合わせる場合の速度は、式(5.5)で求められる。

$$0.5\text{m} \times 30\text{fps} \times 3,600\text{秒} / 1000\text{m} \doteq 54\text{km/h} \quad (5.5)$$

なお、教師データ用を作成する場合は、フレーム画像間におけるマスの重複は考慮しなくてよいため、全フレームを抽出した。

3) レンズ補正

ドライブレコーダーでは広角レンズが用いられているため、撮影した動画には広角レンズ特有のひずみが生じている。本研究では、広角レンズのひずみを除去するために、チェスボードを用いてレンズ補正を実施した。本研究で用いたドライブレコーダーのレンズは、近距離でフォーカスが合いにくかったため、最終的に4,000枚以上の画像から、チェスボードのコーナーを検出できる画像を64枚探して補正に利用した。図5.7は補正に用いたチェスボードである。



図5.7 チェスボード

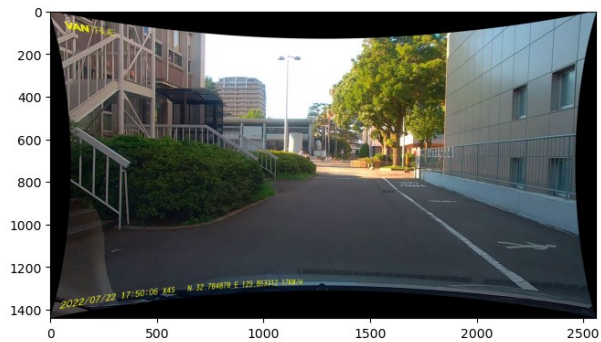
なお、レンズ補正には、OpenCV ライブラリの以下の関数を用いた。

- findChessboardCorners
- cornerSubPix
- calibrateCamera
- getOptimalNewCameraMatrix
- undistort

図5.8はレンズ補正処理の流れである。図5.8 (a)のレンズ補正前では、建物の外壁が歪んでいるのが確認できる。図5.8 (b)のレンズ補正後では、歪みが補正されているが、画像周辺に黒い部分が表示されている。この黒い部分を省くようにクロップすることで、図5.8 (c)のような画像が得られる。



(a) 補正前



(b) 補正後



(c) クロップ後

図5.8 レンズ補正の流れ(クロップ後)

4) フレーム画像の射影変換

動画から取りだした画像は、レンズ補正を行っても、斜め上方より路面を見た状態で台形型に歪んでおり、正確に0.5m四方のマスを切り出すのは困難である。本研究では、この台形歪みを取り除くため、動画の撮影開始時に0.5m四方の白いアクリル板をキャリブレーション用に映しこみ、その頂点を用いて射影変換を実施した。

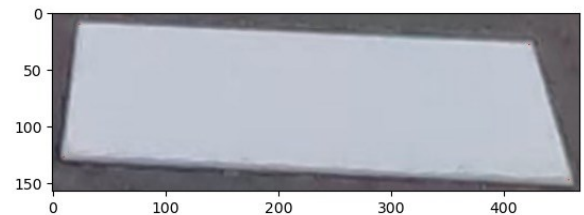
アクリル板の頂点の検出は、アクリル板の4隅に、1×1ピクセルの赤い点を打っておき、その座標を検出して補正に利用した。台形歪みの補正には、OpenCVライブラリの以下の関数を利用している。

- `getPerspectiveTransform`
- `warpPerspective`

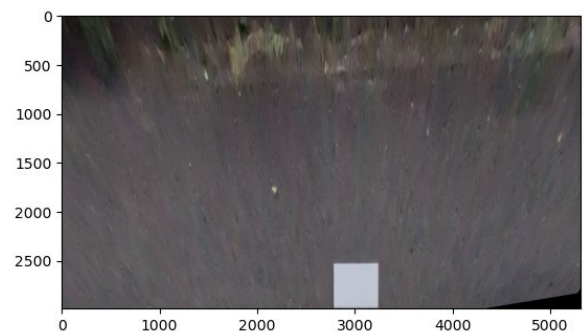
図5.9は、台形歪みの補正の流れである。



(a) 補正前



(b) 拡大図



(c) 補正後

図5.9 台形歪みの補正の流れ

5) フレーム画像の分割

ひび割れ面積算出に用いる画像を、キャリブレーションボードを中心に左右のマス目から切り出す。以降、この切り出した画像をタイル画像と呼ぶ。

図5.10は切り出し部分を赤枠で示した画像である。図5.10の場合、キャリブレーションボードの左右3枚ずつを切り出しており、切り出した幅は計3.5mとなっている。

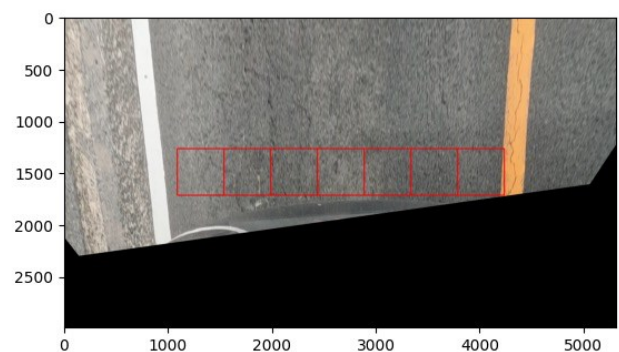


図5.10 タイル画像の切り出し

6) タイル画像の分類

分割した画像について、目視で表5.3に示すクラスに分類を行った。

表5.3 ひび割れ率算定の分類クラス

クラス	説明
01_p0	線状ひび割れなし
02_h1	線状ひび割れ 1 本
03_h2	線状ひび割れ 2 本以上
04_manhole	マンホール
05_joint	ジョイント
06_line	白線
07_speed	速度表示
08_shadow	影

7) データセットの作成

各クラス1,000枚の画像を準備し、訓練:検証:テスト= 7:2:1としたデータセットを作成した。

② 画像分類AIの訓練

1) 開発環境

本研究におけるAIの開発環境を表5.4に示す。なお、開発用のハードウェアとしては、第4章で説明した AI開発用サーバーを用いている。

表5.4 AI開発環境

プログラミング言語	Python
機械学習フレームワーク	PyTorch
AI モデル	ResNet101(Torchvision)

2) 訓練パラメーター

AI訓練時のパラメータを表5.5に、図5.11に学習率を示す。横軸はエポック数である。AIモデルは、Torchvisionに実装されている事前学習済みのもの(ImageNetの1000クラス分類用データセット)を重み初期値としたファインチューニングを採用した。正規化に使用した平均および標準偏差は事前学習時に設定された値である。

表5.5 訓練パラメータ

最適化手法	SGD
バッチサイズ	32
学習率	Warm upありコサインアニーリング (最大値 $1.0e-3$)
転移学習	あり
正規化	事前学習時の平均、標準偏差で正規化

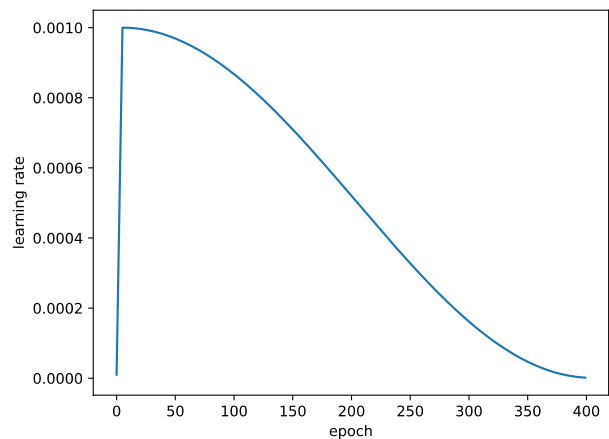


図5.11 学習率

3) 訓練結果

図5.12, 5.13にAI訓練時の正答率(Accuracy)および損失(Loss)の収束状況を示す。横軸はエポック数である。グラフ中、凡例のtrainは訓練フェーズ、validは検証フェーズを示している。検証フェーズで185エポックの正答率がもっとも高かったことから、以降の解析では185エポックの重みを用いた。

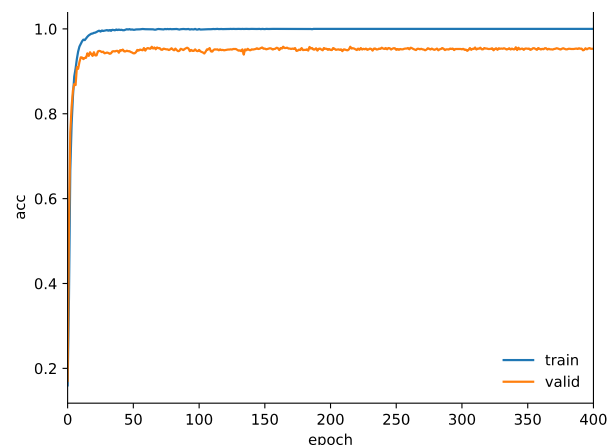


図5.12 正答率の収束状況

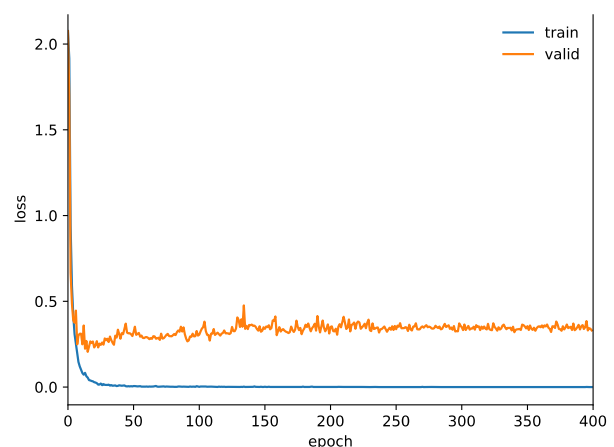


図5.13 損失の収束状況

表5.6は、テスト用データを用いて推論を行った結果のクラス毎の正答率を示したものである。

表5.6 テスト用データの正答率

クラス名	正答率 (%)
01_p0	94.0
02_h1	92.0
03_h2	86.0
04_manhole	99.0
05_joint	99.0
06_line	98.0
07_speed	99.0
08_shadow	100.0
平均	95.9

4) 混同行列

表5.7に、テスト用データについて予測を行った結果の混同行列(Confusion Matrix)を示す。混同行列は、各クラスの推論状況を把握するために用いられるデータとなっており、混同行列を確認することで、あるクラスを他のどのクラスと間違えて推論しているのかを確認することができる。なお、ページ幅の都合上、表頭にはクラス番号のみ示している。

表5.7 混同行列

予測値 正解	01	02	03	04	05	06	07	08
01_p0	94	3	1	1	0	0	0	1
02_h1	1	92	7	0	0	0	0	0
03_h2	1	12	86	0	0	0	0	1
04_manhole	1	0	0	99	0	0	0	0
05_joint	0	1	0	0	99	0	0	0
06_line	0	0	0	0	1	98	1	0
07_speed	0	0	0	0	0	1	99	0
08_shadow	0	0	0	0	0	0	0	100

(4) パッチング箇所の検出について

パッチング箇所の検出には、セマンティックセグメンテーションモデルであるDeepLabV3³⁸⁾を採用した。図5.14はDeepLabV3モデルのネットワーク構造である。

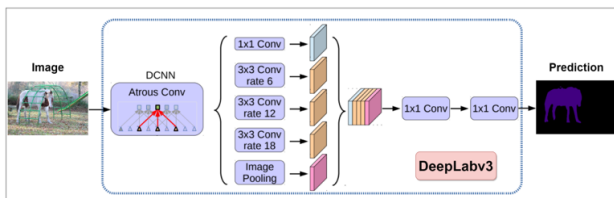


図5.14 DeepLabV3 モデルのネットワーク構造

① セマンティックセグメンテーション用教師データの作成

本項では、セマンティックセグメンテーションAIモデル用の教師データの作成手順について述べる。セマンティックセグメンテーションAIモデルの教師データの作成手順は次に示す通りである。

- 1) 路面動画の取得
- 2) フレームの抽出
- 3) レンズ補正
- 4) フレーム画像の射影変換
- 5) フレーム画像の切り出し
- 6) パッチング箇所のアノテーション
- 7) データセットの作成

以降、それぞれの手順について詳述する。ただし、1)~4)の手順については、画像分類AIモデルと同じ手順となっているため省略する。

5) フレーム画像の切り出し

パッチング領域の検出は前節の画像分類で作成したタイル画像サイズ(0.5m×0.5m)でも可能であるが、タイル画像全領域がパッチングの場合、健全な舗装面と区別がつかない場合がある。本研究では、パッチング箇所を精度よく検出するためにキャリブレーションボードを中心に左右3マス分、上方向1マス分の領域を検出対象領域とした。図5.15に検出領域を示す。

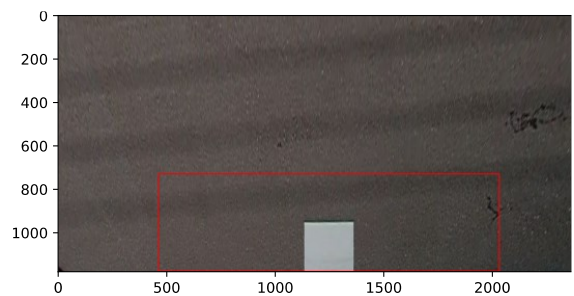
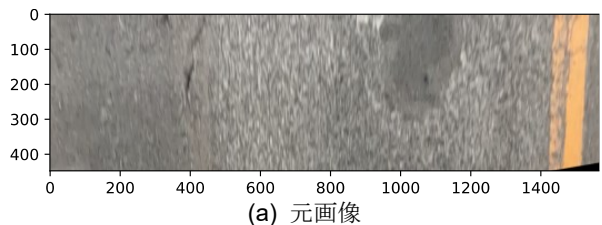


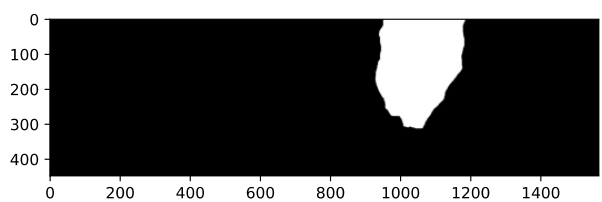
図5.15 検出領域

6) パッチング箇所のアノテーション

前項の5)で切り出した画像について、背景領域とパッチング箇所をラベリングした画像を作成した。ラベリングは一般的なペイントソフトを用いて行った。図5.16にアノテーション画像例を示す。例ではパッチング箇所を白色、背景を黒色で描画している。



(a) 元画像



(b) アノテーション画像

図5.16 アノテーション画像例

7) データセットの作成

全203枚の画像データを準備し、訓練:検証:テスト=7:2:1としたデータセットを作成した。

② セマンティックセグメンテーションAIの訓練

1) 開発環境

本研究におけるAIの開発環境を表5.8に示す。なお、開発用のハードウェアとしては、第4章で説明したAIサーバーを用いている。

表5.8 AI開発環境

プログラミング言語	Python
機械学習フレームワーク	PyTorch
AI モデル	DeepLabV3 (Torchvision)

2) 訓練パラメーター

AI訓練時のパラメータを表5.9に示す。図5.17に学習率を示す。横軸はエポック数である。AIモデルの重み初期値は、Torchvisionに実装されている事前学習済みのもの(COCOデータセットでPascal VOCで対象の20クラスを学習)を設定した。正規化に使用した平均および標準偏差は事前学習時に設定された値である。

表5.9 訓練パラメータ

最適化手法	SGD
バッチサイズ	16
学習率	Warm upありコサインアニーリング (最大値 $1.0e^{-3}$)
転移学習	あり
正規化	事前学習時の平均、標準偏差で正規化

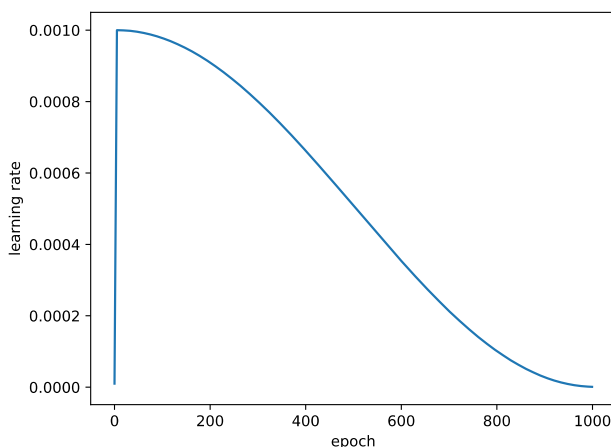


図5.17 学習率

3) データ拡張

本研究では訓練データのデータ拡張方法として、水平反転処理と上下反転処理を採用した。AIモデルの学習時にそれぞれの処理をランダム(発生確率50%)に適用した。

4) 訓練結果

図5.18, 5.19にAI訓練時のIoU(Intersection over Union)および損失(Loss)の収束状況を示す。横軸はエポック数である。グラフ中、凡例のtrainは訓練フェーズ、validは検証フェーズを示している。精度評価に用いたIoUはセグメンテーションタスクにおける精度評価指標の一つであり、正解と推論結果の重なる割合を示す。検証フェーズで950エポックのIoUが最も高かったことから、以降の解析では950エポックの重みを用いた。

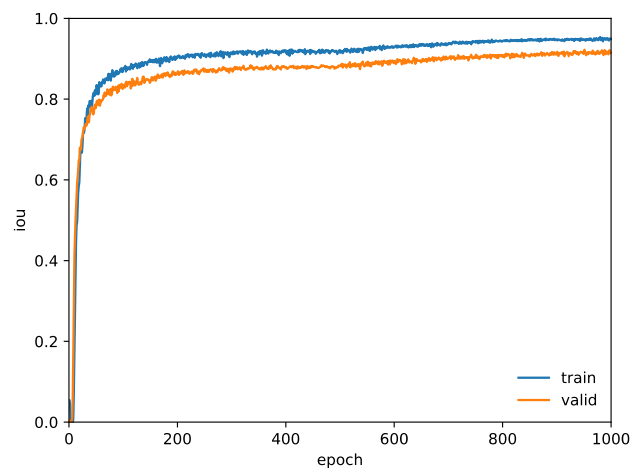


図5.18 IoUの収束状況

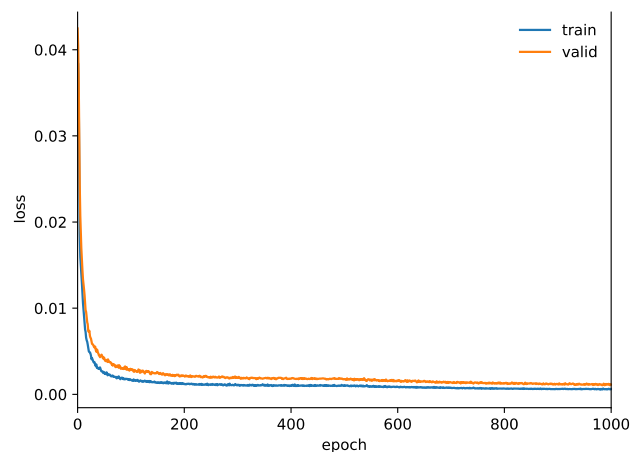


図5.19 損失の収束状況

5) 解析結果

図5.20に、本研究で構築したAIモデルを用いて路面上のパッチング箇所を検出した例を示す。

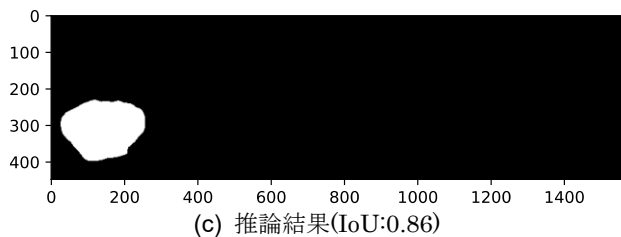
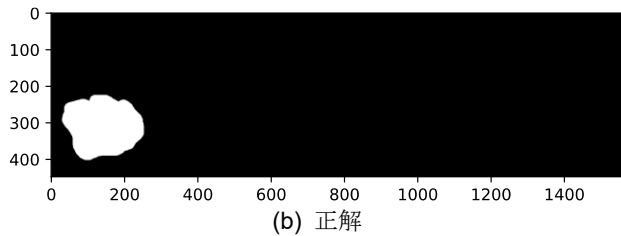
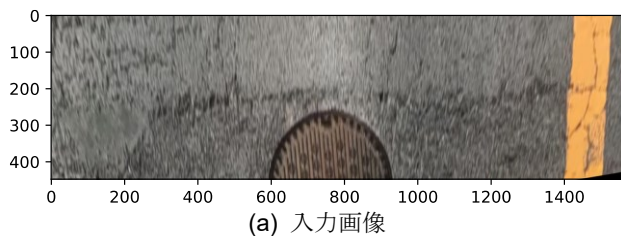


図5.20 解析結果

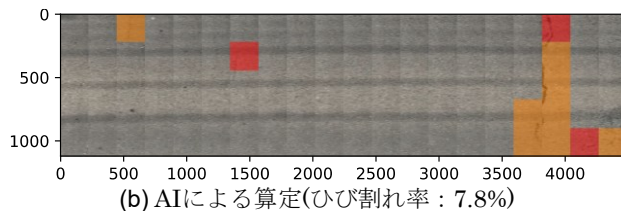
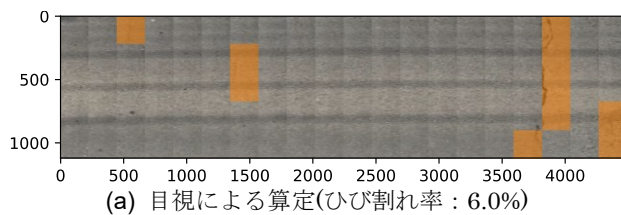


図5.21 ひび割れ率の算定結果1

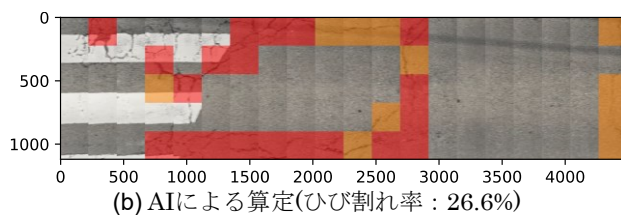
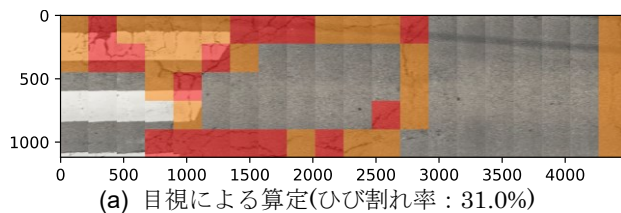


図5.22 ひび割れ率の算定結果2

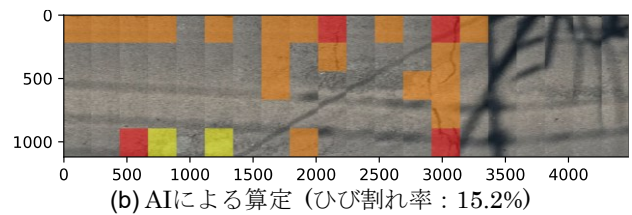
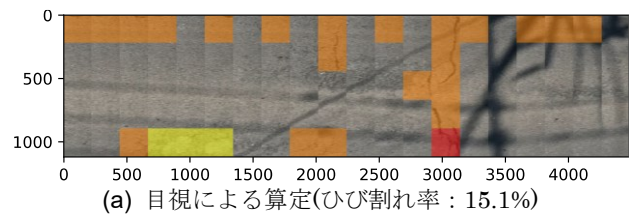


図5.23 ひび割れ率の算定結果3

(5) ひび割れ率の算出

図5.21~5.23に、に本研究で構築したAIモデルを用いて一定区間のひび割れ率を算定した結果および、同区間における目視判定によるひび割れ率の算定結果(正解)を示す。図中の色がついた部分はひび割れ面積を示しており、色とひび割れ面積の対応は表5.10に示す通りである。AIモデルは目視判定とほぼ同程度にひび割れ箇所を検出できている。

表5.10 色とひび割れ面積の対応

ひび割れ面積(m ²)	配色
0	■
0.125	■
0.15	■
0.25	■

5.2 AIを用いた路面損傷・道路上の物体の検出

本節では、ドライブレコーダーやアクションカメラ等で撮影した動画から、路面の損傷や道路上の物体について、種類、位置と大きさ(矩形領域)を検出する手法の構築について述べる。

(1) 利用するAIモデル

本節で開発する路面の損傷や道路上の物体の検出手法では、損傷や物体を種類、位置、大きさで検出することから、AIモデルとしては物体検出(Object Detection)のAIモデルを用いる。図5.24は、物体検出AIモデルの概念図である。物体検出モデルの推論処理では、画像内の矩形領域についてどのクラスに属しているかを推論する。

(2) 物体検出タスクについて

物体検出タスクとは、次に示すように1枚の画像の中から複数の物体のクラス(種類)と位置を検出する画像認識タスクである。図5.25は物体検出タスクの例である。

- ・ 入力データ：画像
- ・ 出力データ：
 1. 物体を含む矩形領域の位置とサイズ
 2. 物体のクラスを示すラベル情報
 3. 検出結果の信頼度

本研究では、物体検出AIモデルとしてFaster R-CNNを採用した。

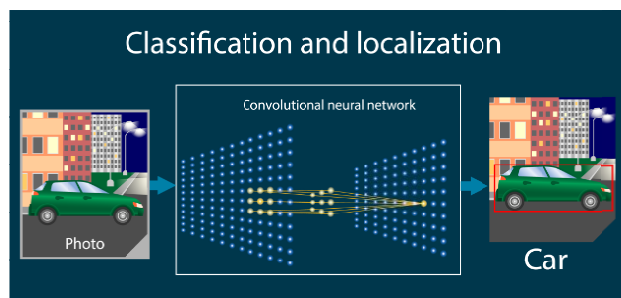


図5.24 物体検出AIモデルの概念図

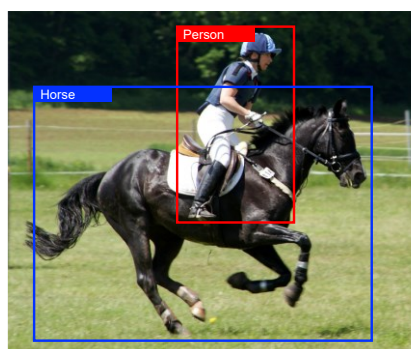


図5.25 物体検出タスクの例

(3) Faster R-CNN について

Faster R-CNNモデルの構造を図5.26に示す。Faster R-CNNは、画像からの特徴量(feature map)を抽出するネットワーク、抽出された特徴マップから画像に映り込む物体の候補領域を抽出するネットワーク(RPN)および、画像から抽出された特徴量とRPNからの提案領域の出力から提案領域に存在する物体のクラスと位置を出力するネットワークで構成されている。

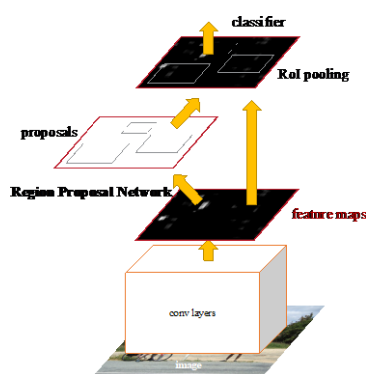


図5.26 Faster R-CNN のモデル構造模式図

① 特徴量抽出ネットワークについて

特徴量抽出ネットワークには、画像分類AIモデルの特徴抽出層が利用できる。本研究ではTorchvisionのFaster R-CNNモジュールに実装されている、ResNet50と特徴ピラミッドネットワーク(Feature Pyramid Netowrk:FPN)を組み合わせたネットワークを採用した。ResNet50のネットワーク構成については、前節を参照のこと。FPNの模式図を図5.27に示す。FPNは物体検出やセグメンテーションなどの画像認識タスクで用いられるネットワークであり、CNNによる特徴抽出の過程で得られる様々なスケールの特徴マップをアップサンプリングとスキップ接続によって集約することで、画像内の物体のスケールに対し頑健な特徴を抽出することができる。

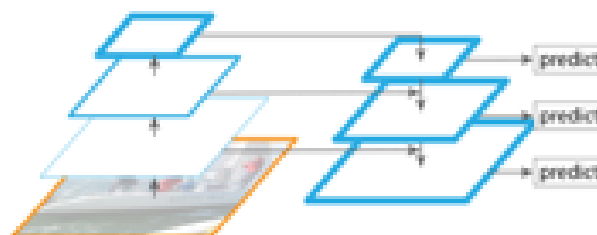


図5.27 FPNの模式図

② 領域提案ネットワーク(RPN)について

領域提案ネットワーク(Reion Proposal Network: RPN)は、特徴抽出ネットワークからの特徴マップに対しアンカーという基準点および各アンカーに対応したアンカーボックスを設定する。一般的には縦横比が1:1, 2:1, 1:2等を設定する(図5.28中央参照)。アンカーボックス毎にその領域に映り込むものが物体らしさを表すスコア(objectness)およびアンカーボックスからのオフセット量(アンカー位置からの縦、横方向の変位量とアンカーボックスの高さ、幅の変位量)を計算する。アンカーボックスの数は膨大になるため、objectnessスコアの高いもの(=より物体らしいもの)を提案領域として採用する。

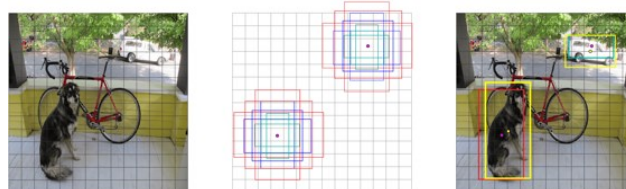


図5.28 アンカーとアンカーボックスの模式図

Faster R-CNNでは、特徴抽出ネットワークによって出力されたfeature mapとRPNから出力された提案領域の出力を、関心領域プーリング(ROIプーリング)によってさまざまなサイズ、形状の領域を一定サイズに統一する処理がなされ、画像中の物体のクラスおよび位置が出力される。

(4) 教師データの作成

本研究では、教師データの作成を以下のような手順で行った。本項では、それぞれの手順について説明する。

- 1) 路面動画の取得
- 2) フレームの抽出
- 3) レンズ補正
- 4) フレーム画像の射影変換
- 5) アノテーション
- 6) ディレクトリ構造の変換
- 7) データセットの作成

1)~3)については、前節のひび割れ率の算定手法と同じ手順となっているため省略する。

4) フレーム画像の射影変換

直線区間の画像で車線の4点を基準点として指定し、車線を真上から見るように射影変換を行う。図5.29に、射影変換の流れを示す。

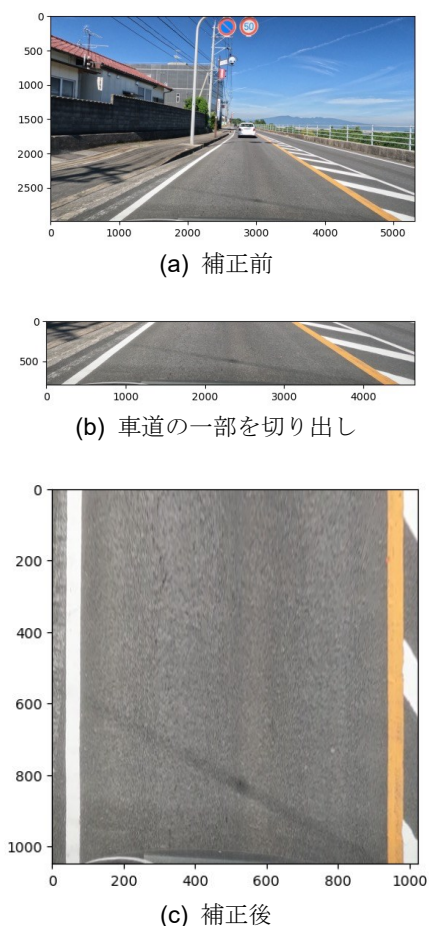


図5.29 射影変換の流れ

5) アノテーション

物体検出タスクの教師データは、画像、アノテーションデータとなる。アノテーションデータは以下を含む必要がある。

- ・ ラベル名
- ・ 矩形領域の座標値

一般に、アノテーションデータは、XML形式やJSON形式の構造化されたデータ構造で作成されることが多い。XML形式やJSON形式のアノテーションデータを手動で作成するのは、煩雑な作業となるため、labelImg³⁹⁾などのアノテーション用のツールが利用されることが多い。図5.30は、labelImgを用いたアノテーション処理の例である。

表5.11は、本研究で物体検出の対象としたクラスである。

本研究では、路面動画から抽出した画像を精査し、777枚の画像に対してアノテーションを行った。表5.12は、アノテーションに含まれる各クラスのバウンディングボックス(Bbox)数である。

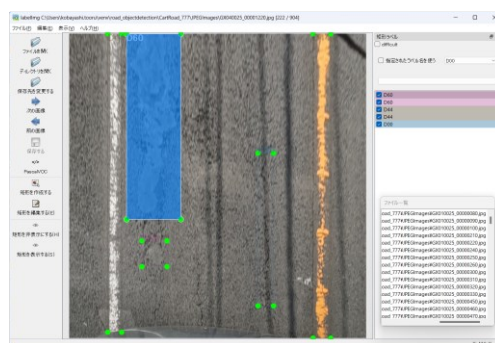


図5.30 labelImg を用いたアノテーション

表5.11 物体検出対象のクラス

クラス名	説明
D00	縦方向・車輪走行部（疲労ひび割れ）
D10	横方向・施行ジョイント部（施行継ぎ目のひび割れ）
D20	亀甲状ひび割れ
D40	ポットホール
D43	横断歩道の擦れ
D44	白線の擦れ
D50	マンホール等
D60	パッチング

表5.12 アノテーションのクラス数

クラス名	Bboxの数
D00	733
D10	548
D20	124
D40	18
D43	259
D44	855
D50	309
D60	144

6) ディレクトリ構造の変換

作成したアノテーションデータを、VOCデータセットに準拠するようディレクトリ構造を変換した。図5.31はVOCデータセットのディレクトリ構造の例である。

VOCデータセットでは、Annotationsに、XML形式で正解のバウンディングボックスとラベル情報を格納し、ImageSets¥Mainに、訓練、テストで利用するデータセット情報を格納、JPEGImagesに、画像データをJPEG形式で格納するようになっている。

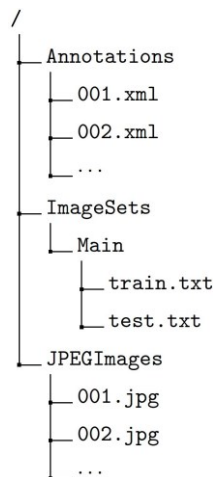


図5.35 VOCデータセットのディレクトリ構造

ルの学習時にそれぞれの処理をランダム(発生確率50%)に適用した。データ拡張処理を適用した画像例を図5.33に示す。

表5.14 訓練パラメータ

最適化手法	SGD
バッチサイズ	16
学習率	Warm upありコサインアニーリング (最大値1.0e-3)
転移学習	あり
正規化	事前学習時の平均, 標準偏差で正規化

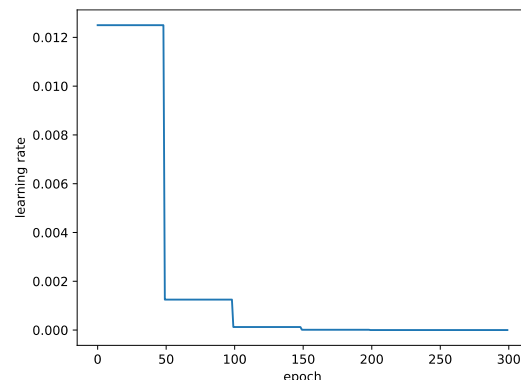


図5.32 エポック数と学習率

(5) AIの訓練

① 開発環境

本研究におけるAIの開発環境を表5.13に示す。なお、開発用のハードウェアとしては、第4章で説明したAI開発用サーバーを用いている。

表5.13 AI開発環境

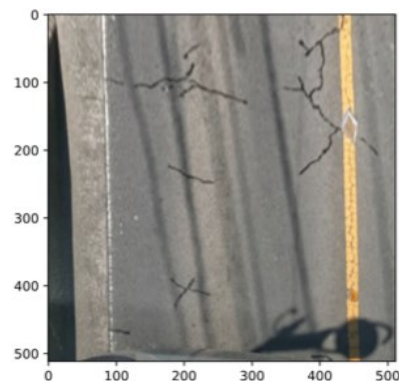
プログラミング言語	Python
機械学習フレームワーク	PyTorch
AI モデル	Faster R-CNN(Torchvision)

② 訓練パラメーター

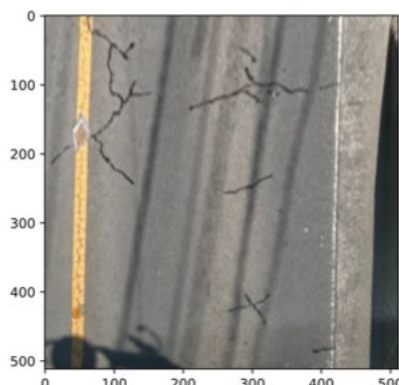
AI訓練時のパラメータを表5.14に示す。学習率は表5.14に示すようにエポック毎にスケジューリングした。図5.32にエポック毎の学習率を示す。AIモデルはTorchvisionに実装されているMS COCOデータセットで事前学習済みの重みを初期値としたファインチューニングを採用した。表中のJaccard係数(IoU)は、同じ物体を指し示すBboxが複数ある場合に、冗長なBboxかどうかを判断する基準である。

③ 学習データ拡張

本研究ではデータ拡張方法として、水平反転処理とスケール変換(0.1~2.0倍)処理を採用した。AIモデ



(a) データ拡張前



(b) データ拡張後

図5.33 データ拡張例

④ 訓練結果

図5.34にAI訓練時の損失(Loss)の収束状況を示す。

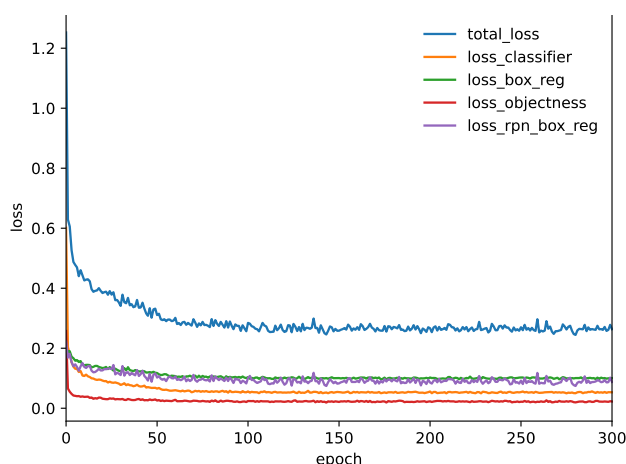


図5.34 損失の収束状況

本研究では、AIモデルの精度はmAP(mean Average Precision)によって評価した。mAPは以下の手順で算出される。本研究では、GitHub上で公開されているツール⁴⁰⁾を利用して算出した。

- 1) 正解Bboxと予測したBboxの重なり具合($\text{IoU} \geq 0.5$ を検出と判定)と予測Bboxの信頼度(confidence score)から各クラスの真陽性(TP), 偽陽性(FP), 偽陰性(FN)を算出する。
- 2) 各クラスのTP, FP, FNから適合率(Precision), 再現率(Recall)を算出しPrecision-Recall曲線(PR曲線)を作成する。
- 3) (2)で作成したPR曲線を積分し、Average Precision(AP)を算出する。
- 4) 各クラスのAPを平均(mean)する。

図5.35にテストデータにおけるエポック毎のmAPの推移を示す。エポック220でmAPの最大値は54.3%であった。表5.15にエポック220における各クラスのAPを示す。

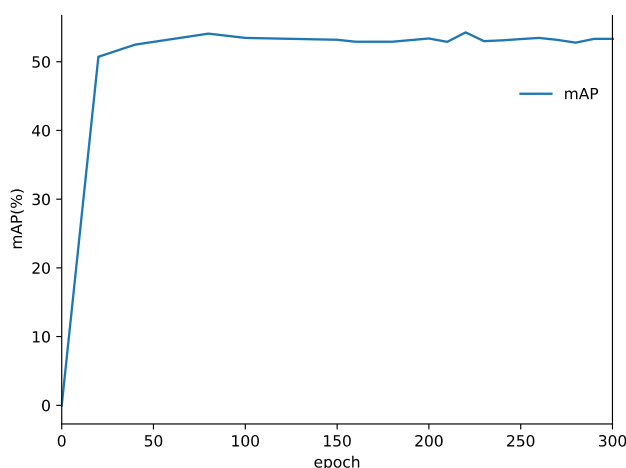


図5.35 検出精度(mAP)の推移

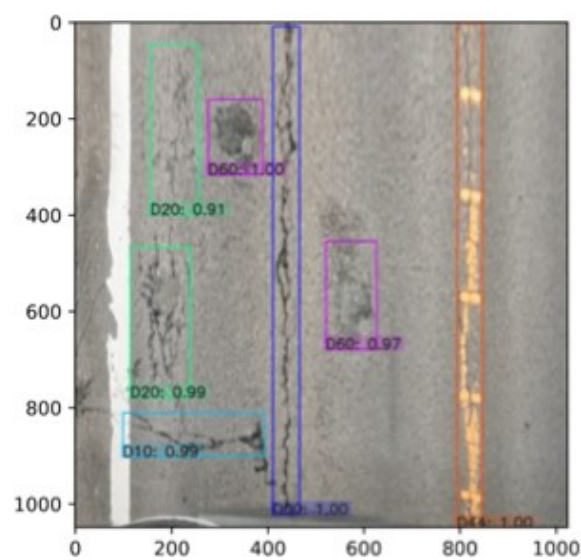
表5.15 各クラスのAP(@エポック220)

クラス名	AP(%)
D00	63
D10	46
D20	22
D40	14
D43	66
D44	63
D50	88
平均(mAP)	54

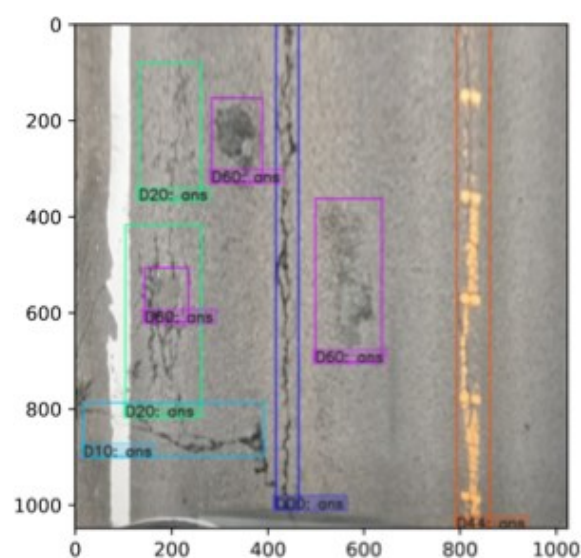
以降、エポック220におけるAIモデルの結果を示す。

⑤ 解析結果

図5.36に、本研究で構築したAIモデルを用いて路面上の損傷や物体を検出した例を示す。



(a) 推論結果



(b) 正解

図5.36 解析結果

5.3 3次元点群データの解析手法

近年、3次元計測機器や写真測量技術の進歩で高品質な3次元点群データが入手できるようになり、道路維持管理分野でも道路管理の効率化を図るため、3次元データの収集・活用が進んでいる。本節では、MMS(Mobile Mapping System)で計測された3次元点群データやSfM(Structure from Motion)で作成された3次元点群データの解析手法について検討する。

本研究で用いている3次元点群データは、九州地方整備局長崎河川国道事務所から提供いただいた長崎県内道路のMMSによる計測データである。本データは、LAS形式(拡張子:las)で保存されている。LAS形式は、LiDARで計測された3次元点群データを保存する業界標準フォーマットとなっている。

(1) MMSについて

MMSは、GNSS、レーザースキャナ、カメラなどの機器を搭載し、走行しながら3次元の道路の形状・データを高精度で効率的に取得する仕組みである。図5.37は、MMSの概要を示したものである。



図5.37 MMSの概要

(2) 3次元点群の解析環境

本研究では、3次元点群データの解析環境としてPythonおよび以下のライブラリを利用している。

- Open3D
- Laspy

3次元点群の処理および解析には、Open3Dを用いているが、Open3DはLAS形式を読み込むことができないため、事前にLaspyを用いて、Open3Dが処理できる形式に変換している。

(3) 平面検出およびクラスタリングを用いた点群の分離

本研究で扱う3次元点群データは、道路および周辺の物体を計測したものとなっているため、平面検出処理を行うと道路部分を分離することができる。元の点群から道路部分を取り除いた点群は、道路部分で連結していた物体が切り離された状態となっており、クラスタリング処理を行うことによって、各物体の点群を分離することができる。

図5.38は、今回解析対象とした点群の計測場所を地図で示したものである。

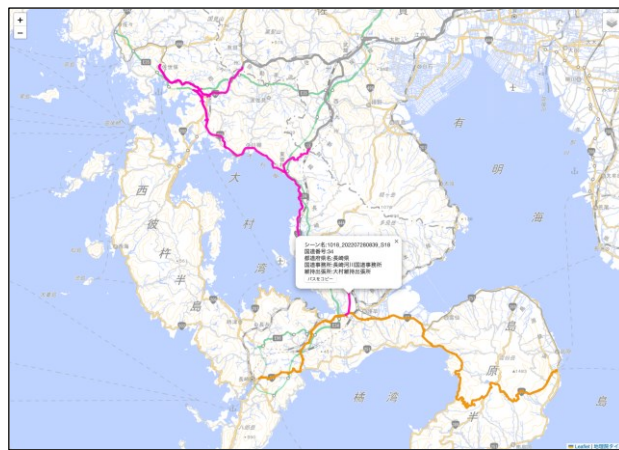
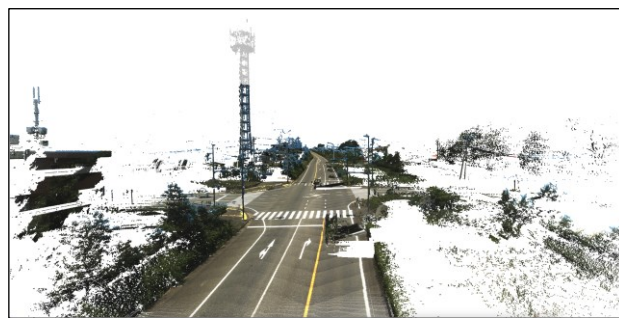


図5.38 MMSデータの計測場所

図5.39は、今回解析対象とした点群およびその一部を切り出した点群を可視化したものである。図5.39(a)の赤枠が切り出した部分となっている。



(a) 元の点群



(b) 切り出した点群

図5.39 点群の可視化の例

本研究では、以下の流れで点群の分離を行った。

- ① 点群の間引きおよびノイズ除去
- ② 平面検出および平面近傍の点群除去
- ③ クラスタリング

次項以降で、それぞれの手順について説明する。

① 点群の間引きおよびノイズ除去

MMSにより得られた点群データは、点群数が多く、以降の処理に時間がかかるため、点群の間引きおよびノイズ除去を行う。点群の間引きおよびノイズ除去には、Open3Dの以下の関数・メソッドを用いている。

- ・ `pcd.voxel_down_sample`
- ・ `remove_statistical_outlier`

図5.40は、点群の間引きおよびノイズ除去後の点群を可視化したものである。処理前の図5.39 (b)に比べて、点群の密度が減り、ノイズが除去されているのが確認できる。

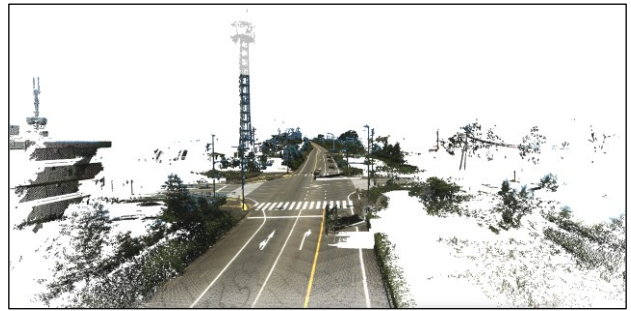


図5.40 間引きおよびノイズ除去後の点群

② 平面検出および平面近傍の点群除去

道路とそれ以外の物体の点群を分離することを目的として、平面検出を行う。平面検出には、Open3Dの以下の関数・メソッドを用いている。

- ・ `segment_plane`

図5.41は、検出した平面近傍の点群を赤で着色し、平面近傍以外の点群と重ねて可視化したものである。今回の解析対象では、点群の範囲が大きいので、一部平面として検出されていない道路もあるが、おおむね道路部分を検出できている。

図5.42は、道路以外の点群を可視化したものである。図5.42より、信号等の道路上物体が分離されているのが確認できる。

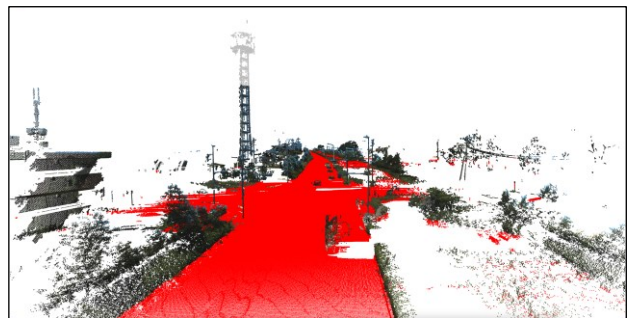


図5.41 平面検出結果の点群

③ クラスタリング

各物体の点群の分離を目的としてクラスタリングを行う。クラスタリングの手法としてはDBSCAN⁴¹⁾を用いることとし、Open3Dの以下の関数・メソッドを用いている。

- ・ `cluster_dbscan`

図5.43は、クラスタリング・色分けされた点群を可視化したものである。図5.43より、道路上にある信号や電柱、車などおおむね分離できているのが確認できる。このクラスタリングした点群の各クラスターについて、形状・色などの特長を解析することによって、各物体の種類を判別することが可能となる。



図5.42 道路以外の点群

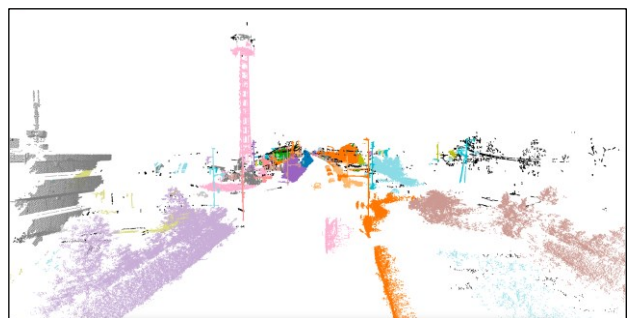


図5.43 平面検出結果の点群

(4) 3次元セマンティックセグメンテーションを用いた点群の解析

近年, 3次元点群への深層学習の適用が進み, 3次元点群を直接取り扱うことができるようになった. 本節では, RandLA-Net⁴²⁾を用いて, 3次元点群に対してセマンティックセグメンテーションを実施する方法について説明する.

RandLa-Netは, 大規模3次元点群データでセマンティックセグメンテーションを行うためのシンプルで効率的なモデルである. 図5.44はRandLA-Netのアーキテクチャである. RandLA-Netには, 次のような長所がある.

- ・ メモリ使用量が少なく, 計算効率が高いのでリアルタイムに使用できる
- ・ ランダムランプリングを用いて大規模点群を効率的に処理できる

一方, 次のような短所もある.

- ・ 小規模な点群では精度が著しく低下する
- ・ ランダムサンプリングモジュールは小規模な点群では効率が悪い
- ・ 小規模な点群でも高いfps(frame per rate)を得ることができるが, 精度とのトレードオフとなる

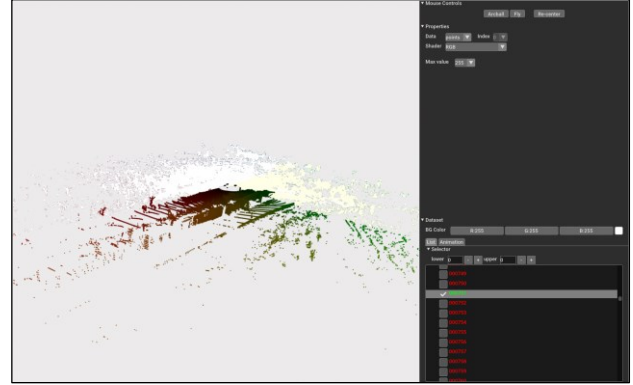
① データセット

本研究では, 検証用のデータセットとして, SemanticKITTI⁴³⁾を用いた. SemanticKITTIは, LiDARを用いた自動走行を目的とした実環境のデータセットである.

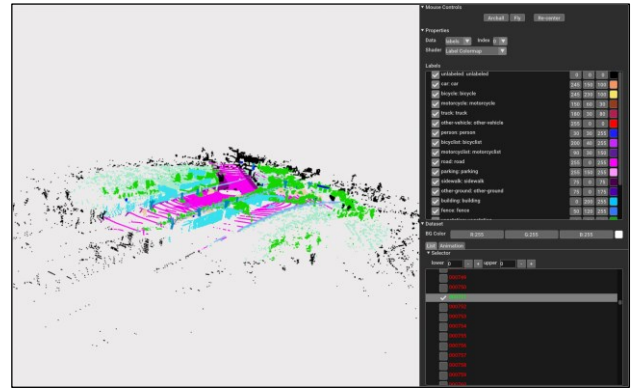
図5.45はSemanticKITTIの訓練用データセットの例である. 図5.45 (a)は点群のRGB表示, 図5.45 (b)はラベル毎に着色した表示となっている.

② 解析結果

図5.46は, RandLA-Netを用いて, SemanticKITTIのテストデータを解析した結果である. 図5.46 (b)の正解データと図5.46 (c)の推論結果を比較するとわかるように, 精度よく解析できていることが確認できる.



(a) RGB表示



(b) ラベル表示

図5.45 SemanticKITTIの訓練用データセット

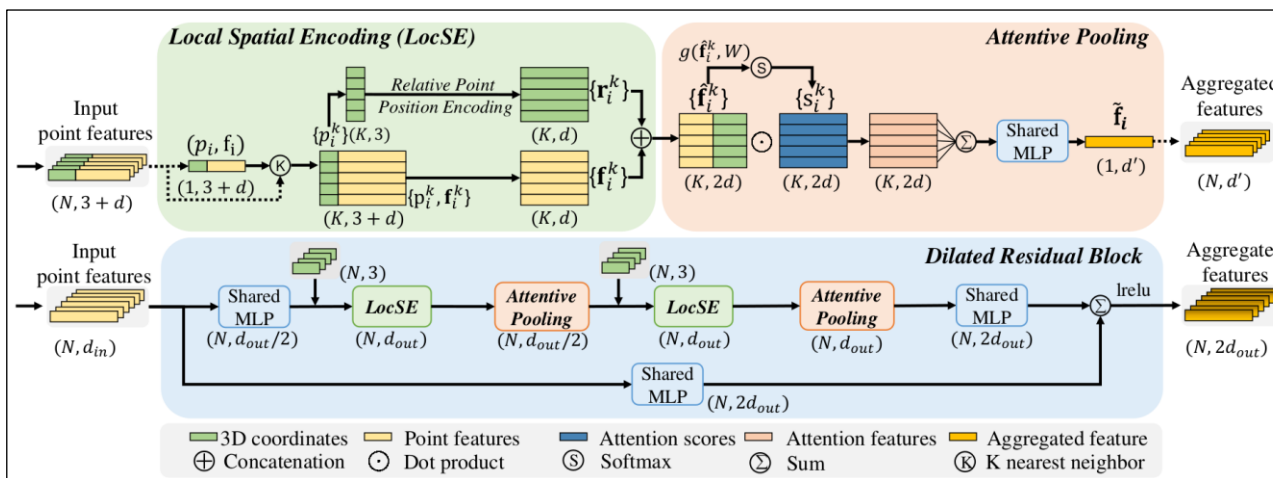
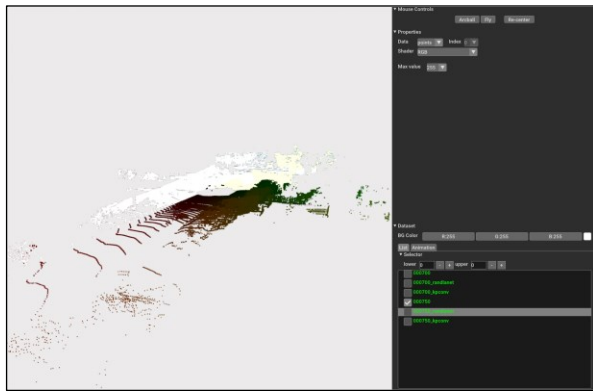
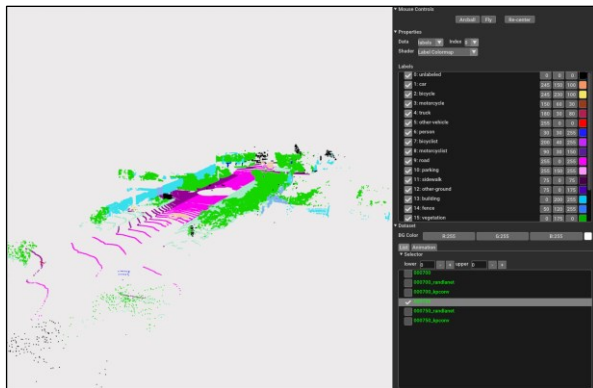


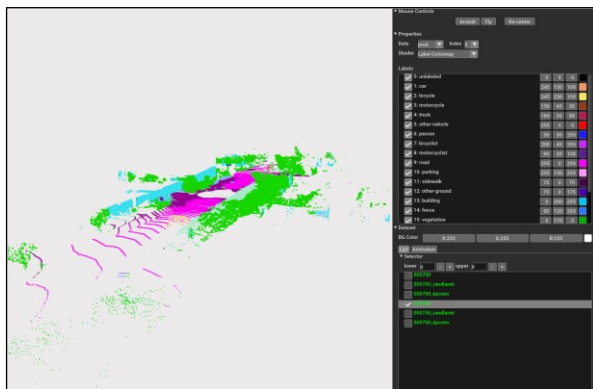
図5.44 RandLA-Netのアーキテクチャ



(a) 解析対象(RGB表示)



(b) 正解(ラベル表示)



(c) 推論結果(ラベル表示)

図5.46 解析結果

5.4 GPS・加速度データを用いた平たん性の評価

本研究では、車両に設置したGPS・加速度ログで車道を走行することで、加速度データを取得し、路面の平たん性への変換を試行した。なお、ログから取得した生データは、NMEAという形式で格納されているため、そのままでは内容の確認が困難である。また、今回使用したログ固有の問題として、

- GPS の位置情報を 1 秒間隔でしか記録できない
- 記録の開始時、終了時にセンサーデータの記録数にゆらぎがある

といった問題がある。以上のことから、ログのデータの可視化および平たん性値への換算のために、以下のような処理を行った。

- 1) GPS による位置情報が記録されている間隔間のセンサーデータの数を調べる
- 2) センサーデータの数に応じて、GPS の位置情報を補間

以上の処理を行って、NMEA形式のデータを可視化した結果が図5.47である。横軸は経過時間、縦軸の左側は鉛直方向（z方向）の加速度、右側が記録開始からの移動距離となっている。加速度単位はG、移動距離の単位はmである。なお、鉛直方向の加速度は重力加速度 $1G(=9.807m/s^2)$ を差し引いた値としている。また、本研究で取得したデータの経路が図5.48である。経路上の青のマーカーが走行開始地点、赤のマーカーが走行終了地点となっている。

次に、本研究で試行した、ログで取得した加速度データを用いた平たん性値の算出方法について説明する。平たん性値はで用いられている式(5.6)を用いて算出した。式(5.6)は一般車両の車軸に取り付けた加速度計で取得した加速度データと路面の平たん性について比較され、相関があることが確認されている⁴⁴⁾。式(5.6)では加速度の値を二乗平均平方根(Root Mean Square: RMS)に変換する必要がある。

$$\text{平たん性 (mm)} = 0.867 \times \text{RMS}(m/s^2) + 1.165 \quad (5.6)$$

また、本研究で取得した加速度データは、単位がGとなっているため、 $9.807(1G=9.807m/s^2)$ を乗じて、単位をSI単位系(m/s^2)に変換したのち $\text{RMS}(m/s^2)$ に変換する。変換した加速度を二乗したものを、一定区間ごとに平均し、平方根をとることでRMSに変換した。なお、本研究では平均をとる区間を1mごととした。図5.49は取得した加速度データから変換したRMSを用いて、式(5.6)から算出した平たん性を可視化したものである。縦軸の左側は平たん性、右側が始点からの移動距離、横軸は経過時間となっている。

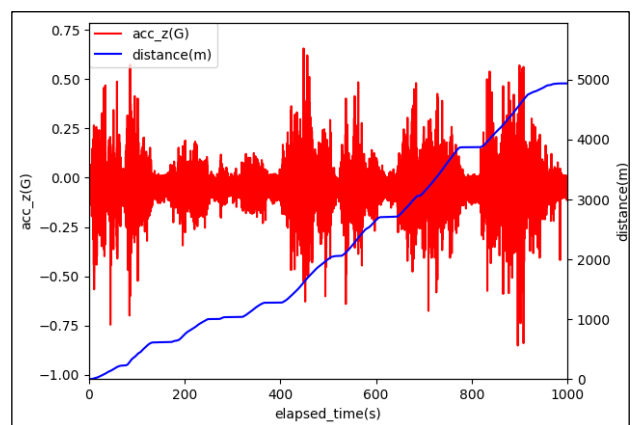


図5.47 ログから取得した加速度、移動距離データ



図5.48 対象路線

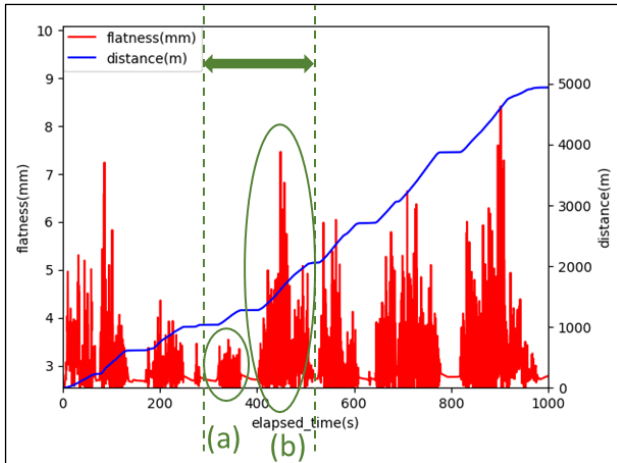


図5.49 加速度データから算出した平たん性

図5.49で移動距離に変化がない箇所は車両が停止している箇所であり、平たん性値はゼロ近傍で一定となっている。図5.50に図5.49の緑破線区間の平たん性を地図上に描画したものを示す。図5.49の緑丸(a), (b)が図5.50の緑丸(a), (b)の地点に対応している。地点(a)と地点(b)の平たん性値の分布をみると、幅員の比較的大きい交差点付近の地点(b)の方が大きな平たん性値が分布していることがわかる。

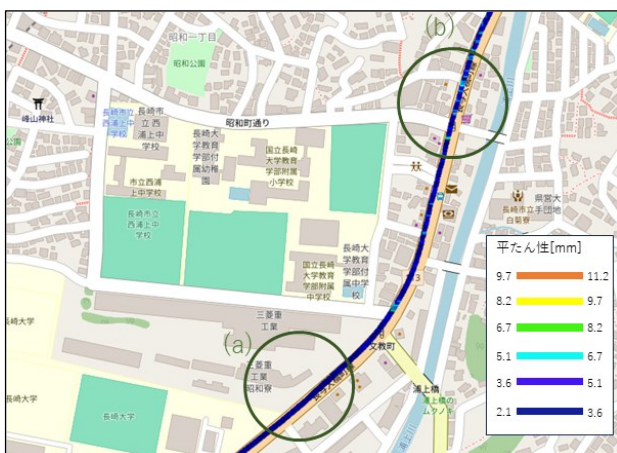


図5.50 の緑点線内の平たん性を地図上に描画

5.5 商用車プローブデータの可視化

本研究の対象とする商用車プローブデータは、急ブレーキイベント発生データ、平均旅行時間データからなる。次項以降にそれぞれのデータについて可視化例を示す。

(1) 急ブレーキイベントの可視化

急ブレーキイベント発生データは、データ件数が非常に多く、そのままでは可視化できないため、各イベントにおいて最大の加速度のデータのみ抜き出し、かつヒートマップ(heatmap)を用いて可視化を行った。図5.51は、長崎市近傍で発生した急ブレーキイベントを地図上にヒートマップで可視化したものである。図中、暖色部分ほど急ブレーキイベントの発生頻度が高いことを示している。なお、利用している地図と急ブレーキイベント発生データでは、利用している測地系が異なるため、地図に合わせて適宜測地系の変換を行っている。

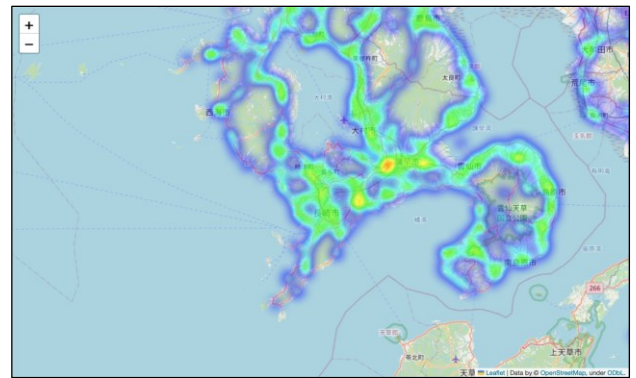


図5.51 急ブレーキイベントデータの可視化例

次に、道路管理者が保有する各種道路プロフィールデータとの重ね合わせについて述べる。図5.52は、道路の補修データより、ポットホールの補修箇所を抜き出し、地図上にプロットしたものである。

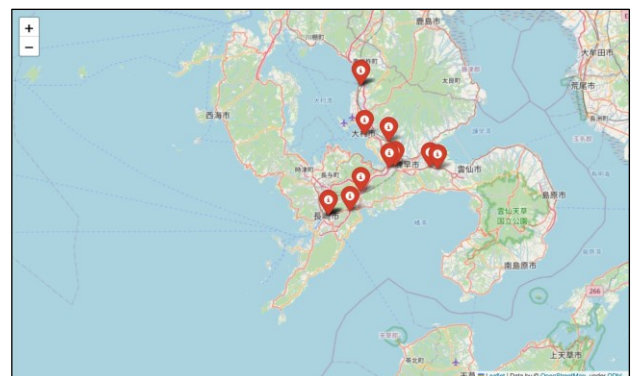


図5.52 道路補修データ(ポットホール)

図5.53は、図5.51の急ブレーキイベント発生データと図5.52の道路補修データを重ね合わせたものである。このような可視化を行うことで、各データ間の相関を把握することが可能となる。

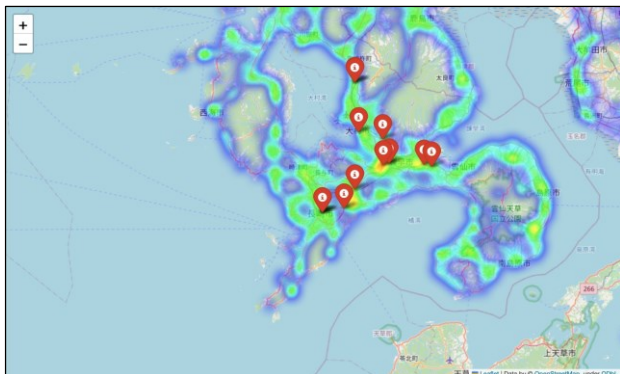


図5.53 データの重ね合わせの例(急ブレーキ + ポットホール)

(2) 平均旅行時間データの可視化

平均旅行時間データは、DRM(デジタル道路地図, Digital Road Map)で整理されているノード(道路上の点)およびリンク(2点のノードを結んだ道路区間)を用いて集計されており、リンクにおける単位時間あたりの車両の走行件数や通行した車両の旅行時間の平均値を取得したものである。

本研究では、平均旅行時間データに含まれるリンク毎の走行件数データを1日あたりの交通量データとして集計した。図5.54に交通量データを可視化した例を示す。なお、平均旅行時間データについても、利用している地図と、利用している測地系が異なるため、地図に合わせて適宜測地系を変換している。

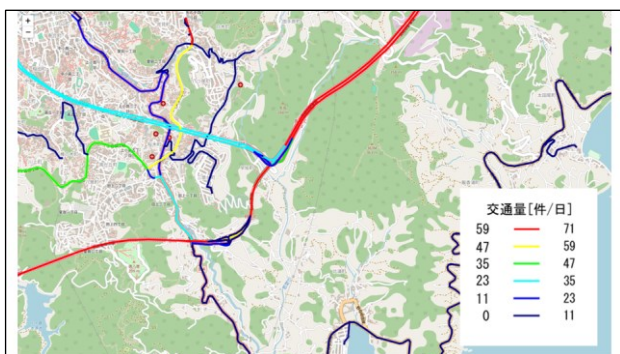
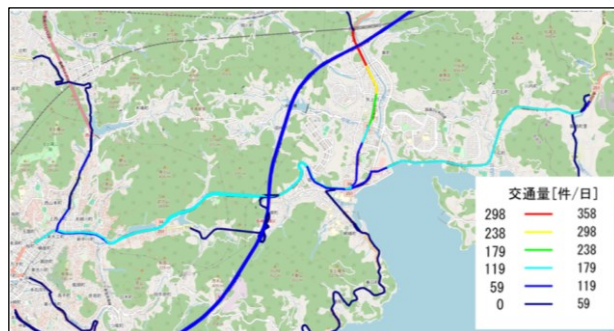
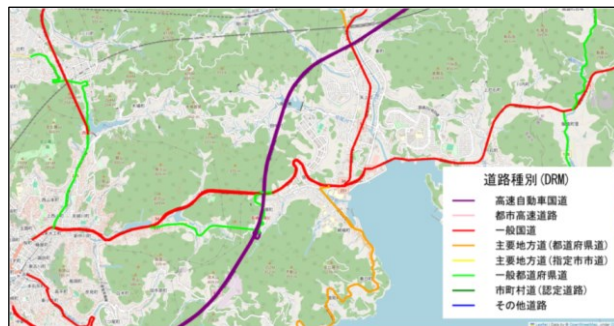


図5.54 交通量データの可視化例

次に、交通量データと道路の属性データの比較について述べる。DRMデータには、道路リンク毎に一般国道や一般都道府県道などの区分を示す道路種別データが格納されている。図5.55に、(a)交通量データおよび(b)道路種別データを描画した例を示す。このように、交通量データとその路線に対応するデータを比較することで、各データ間の相関を把握することが可能となる。



(a) 交通量データ



(b) 道路種別データ

図5.55 交通量データと道路種別データの比較

第 6 章 AIを用いた道路維持管理システム (AIRMS)

6.1 AI を用いた道路維持管理システムの概要

本研究で構築した「AIを用いた道路維持管理システム」(略称：AIRMS)では、ドライブレコーダーやGPS加速度ロガーなどのICT機器、および商用車プローブデータを活用し、収集したデータをアップロードすることで、地図上に道路の情報を表示することができる。また、ドライブレコーダーのデータを用いた表示では、AIによる舗装面のひび割れ率の算定や道路上の物体検出を行うことができる。

さらに、全国施設道路点検データベース (xROAD) のAPIキーを登録することで、舗装の点検結果についても本システム上に表示することができる。

また、xROADデータを含めた各データは、地図上やグラフ上で重ね合わせて表示することができ、道路管理者が業務を効果的かつ効率的に実施するための空間・時間・重要情報の重ね合わせを可能としている。

AIRMSでは、以下のデータを表示することが可能である。図6.1はAIRMSの操作画面である。

- デジタル道路地図(DRM)
- 加速度データに基づく平坦性算定値
- 商用車プローブデータ(交通量・急ブレーキ)
- 道路上物体の3次元点群データ
- 舗装面のひび割れ率
- 道路上の物体検出結果



図6.1 AIRMSの操作画面(管理者権限)

6.2 機能詳細

AIRMSには、主に以下のような機能がある。

- ① ユーザー管理機能
- ② データ管理機能
- ③ データ表示機能

本節では、データの表示機能について詳述する。以降、以下のデータの表示手順および表示例について説明する。

- デジタル道路地図(DRM)
- 加速度データに基づく平坦性算定値
- 商用車プローブデータ(交通量・急ブレーキ)
- 道路上物体の3次元点群データ
- 舗装面のひび割れ率
- 道路上の物体検出結果
- xROAD(舗装点検結果)

(1) デジタル道路地図(DRM)

AIRMSでは、デジタル道路地図(DRM)データをアップロードし、システム内の地図に表示させることができる。AIRMSでデジタル道路地図を表示させる手順は以下の通りである。

- 1) サイドバー内データセレクトボタンを押下し、サブメニューを展開する
- 2) デジタル道路地図のチェックボックスにチェックを入れる
- 3) 展開された道路種のチェックボックスのうち表示したいものにチェックを入れる
- 4) 表示可能な道路種
 - 高速自動車国道
 - 都市高速道路
 - 一般国道
 - 主要地方道 [都道府県道]
 - 主要地方道指定市道]
 - 一般都道府県道

- 指定市の一般市道
- 基本道路：その他道路
- 基本道路：未調査

- 5) 地図上に描画ボタンを押下、もしくは地図の移動拡大縮小を行う(ただし、ズームレベルが10以下の場合には表示されない)

デジタル道路地図の表示では、地図上に表示された線をクリックすることで、ポップアップ上にその地点の情報を表示できる(図6.2)。

なお、地図上に表示したデジタル道路地図を削除する場合は、デジタル道路地図のチェックを外して、地図上に描画ボタンを押下、もしくは地図の移動拡大縮小を行う。



図6.2 デジタル道路地図データ表示例

(2) 加速度データに基づく平坦性算定値

AIRMSでは、加速度データをアップロードし、システム内の地図に表示させることができる。AIRMSで加速度データを表示させる手順は以下の通りである。図6.3は加速度データから算定した平坦性データの表示例である。

- 1) 加速度計のチェックボックスにチェックを入れる
- 2) 展開されたラジオボタンで平坦性もしくは角速度(Yaw)を選択する
- 3) 表示させたいデータの取得期間を選択する



図6.3 平坦性データ表示例

(3) 商用車プローブデータ(交通量)

AIRMSでは、商用車プローブデータ(交通量)をアップロードし、システム内の地図に表示させることができる。AIRMSで交通量データを表示させる手順は以下の通りである。図6.4は交通量データの表示例である。

- 1) 交通量にチェックを入れる
- 2) 表示させたいデータの取得期間を選択する



図6.4 交通量データ表示例

(4) 商用車プローブデータ(急ブレーキ)

AIRMSでは、商用車プローブデータ(急ブレーキ)をアップロードし、システム内の地図に表示させることができる。AIRMSで急ブレーキデータを表示させる手順は以下の通りである。図6.5は急ブレーキデータの表示例である。

- 1) 急ブレーキにチェックを入れる
- 2) 表示させたいデータの取得期間を選択する。



図6.5 急ブレーキデータ表示例

(5) 3次元点群データ

AIRMSでは、3次元点群データを位置情報と紐付けてアップロードし、システム内で表示させることができる。AIRMSで3次元点群データを表示させる手順は以下の通りである。

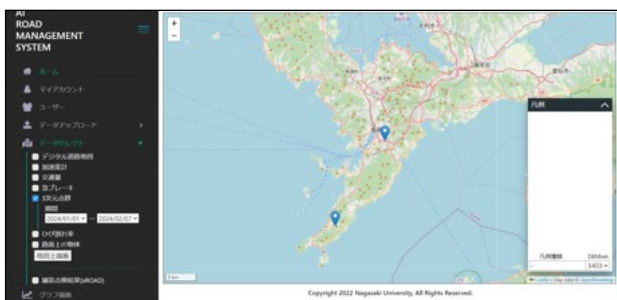
- 1) 3次元点群にチェックを入れる
- 2) 表示させたいデータの取得期間を選択する

図6.6は3次元点群データの表示例である。図6.6(a)に表示されたマーカーをクリックすることで、図6.6(b)のように、3次元点群データの情報をポップアップ表示できる。ポップアップウィンドウでは、以下の情報が表示される。

- 3D データ
- 名称
- データ取得日
- 緯度
- 経度
- 備考

なお、システム上での3次元点群データの操作は以下のようになっている。

- 回転：左クリックしながらドラッグ
- 移動：右クリックしながらドラッグ
- 拡大縮小：ホイール
- 注意点：読み込みに時間を要する



(a) マーカー表示



(b) ポップアップ表示

図6.6 3次元点群データ表示例

(6) 舗装面のひび割れ率

AIRMSでは、路面を撮影した動画(MP4形式)と位置情報データ(GPX形式)をアップロードすると、自動的にひび割れ率算定AIを用いた処理が行われる。なお、このAIによる処理はAIシステム用サーバーに

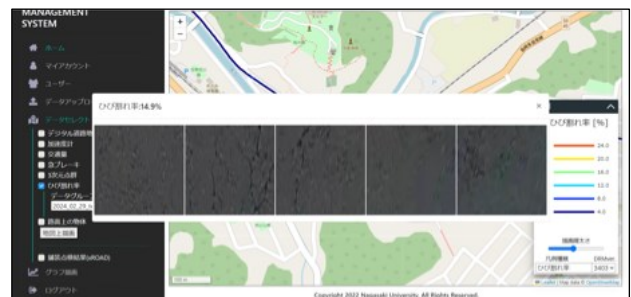
搭載されたGPUによって処理されるため、AIRMSを利用するPC側には高速はGPUを搭載する必要はない。ひび割れ率算定結果は、システム内で地図上に表示させることができる。AIRMSでひび割れ率データを表示させる手順は以下の通りである。

- 1) ひび割れ率にチェックを入れる
- 2) データグループを選択する

図6.7はひび割れ率データの表示例である。図6.7(a)に表示された線上の点をクリックすることで、図6.7(b)のように、その地点の舗装面の画像とひび割れ率を表示できる。



(a) 線分表示



(b) ポップアップ表示

図6.7 ひび割れ率データ表示例

(7) 道路上の物体検出結果

AIRMSでは、路面を撮影した動画(MP4形式)と位置情報データ(GPX形式)をアップロードすると、自動的に物体検出AIを用いた処理が行われる。なお、このAIによる処理はAIシステム用サーバーに搭載されたGPUによって処理されるため、AIRMSを利用するPC側には高速はGPUを搭載する必要はない。物体検出結果は、システム内で地図上に表示させることができる。AIRMSで物体検出結果を表示させる手順は以下の通りである。

- 1) 路面上の物体にチェックを入れる
- 2) データグループを選択する

図6.8は路面上の物体検出結果の表示例である。

図6.8 (a)に表示された線上の点をクリックすることで、図6.8 (b)のように、その地点の物体検出結果を表示できる。



(a) 線分表示



(b) ポップアップ表示

図6.8 路面上の物体検出結果表示例

- 整備局
- 事務所
- 出張所
- 路線番号
- 起点 KP
- 終点 KP
- 健全性コード
- 点検ひび割れ計測値
- 点検わだち掘れ計測値
- 点検 IRI 計測値
- 起点緯度
- 起点経度
- 終点緯度
- 終点経度
- 点検年月

さらに、ポップアップ上の画像ボタンを押下することで、画像がある場合に限り、図6.9 (b)のように点検結果の画像を表示することができる。



(a) ポップアップ表示

(8) xROADの舗装点検結果

AIRMSでは、全国施設道路点検データベース(xROAD)へAPIを用いてアクセスし、舗装点検結果を取得して地図および表形式で表示することができる。以降、それぞれの表示手順について説明する。

① 地図上に表示する場合

xROADより取得した舗装点検結果を地図上に表示する手順は以下の通りである。

- 1) 舗装点検結果(xROAD)にチェックを入れる
- 2) 道路管理者を選択する
- 3) 表示したい路線番号にチェックを入れ、点検結果描画ボタンを押下する

図6.9はxROADの舗装点検結果の地図上への表示例である。図6.9 (a)に示すように地図上に表示された線上の点をクリックすることによって、ポップアップ上にその地点の情報を表示することができる。表示できる情報は以下の通りである。



(c) 点検結果の画像

図6.9 舗装点検結果(xROAD)の地図上への表示例

② 表形式で表示する場合

xROADより取得した舗装点検結果を表形式で表示する手順は以下の通りである。

- 1) 舗装点検結果(xROAD)にチェックを入れる
- 2) 道路管理者を選択する
- 3) 表示したい路線番号にチェックを入れ、表出力ボタンを押下する

第7章 まとめ（今後の道路政策への展開）

7.1 本研究のまとめ

(1) 研究の背景や動機、目的および目標等

本研究開発では、インフラメンテナンスは長年の経験と熟練技術の継承という概念を基に、路面の状態をスマートフォンやドライブレコーダー等の ICT 機器で精確に記録し、AI を用いて自動化された点検・診断支援を行うシステム構築した。診断結果から、過去の維持管理・工事履歴など複数の統計情報に加えて、路面に最もダメージを与える大型交通量情報（商用車プローブデータ）を用いて、蓄積されたデータベース及びビッグデータから道路舗装維持管理計画策定を支援する人間の目や手作業を介さない完全自動技術の開発を目標とした。道路管理者が業務を効果的・効率的に実施するための空間・時間・重要情報の重ね合せによる一元的可視化手法を開発し、今後持続可能な DX 時代の AI による次世代型維持管理計画策定手法の構築を目的とした。

(2) 研究内容（研究の方法・項目等）

空間・時間・重要情報の重ね合せによる下記の一元管理する次世代型維持管理計画策定手法を構築する。

開発内容 1（デジタル画像の利活用）

- a) 画像分類 AI を用いたひび割れ率の算定法
- b) 物体検出 AI を用いた道路構造物の検出法
- c) SfM と 3D 分類法を用いた道路上物体の検出法

開発内容 2（一元的可視化手法の開発）

- d) ドラレコ・加速度計による舗装劣化データ
- e) 大型車交通量データ
- f) 道路管理者保有の各種道路プロファイルデータ

(3) 研究開発環境整備と研究成果

本研究を遂行するため、まず、AI 開発環境を整備し、道路劣化計測システムを開発し、以下の研究成果が得られた。

- ① AI を用いたひび割れ率の算定法
- ② AI を用いた路面損傷・道路上物体の検出
- ③ 3 次元点群データの解析手法

④ GPS・加速度データを用いた平坦性の評価

⑤ 商用車プローブデータの可視化

⑥ AI 道路維持管理システム (AIRMS) の開発

AIRMS では以下の機能を実装している。

- 1) 動画ファイルおよび位置情報データから、地図上にひび割れ率を表示
- 2) 速度データを加えて、地図上に道路の損傷を表示
- 3) 商用車プローブデータから、急ブレーキイベント及び交通量を表示
- 4) xROAD の API キー登録することで、舗装の点検結果を表示
- 5) 3 次元点群データを登録し表示

上記のデータの一部については、重ね合わせたグラフとして表示でき、道路の維持管理に役立てることができる。

7.2 今後の展望

(1) AIRMS の社会実装

本研究の開発内容 1 及び開発内容 2 により、分野 1～分野 8 における多種多様なデータを収集して、分野 9 の一元的可視化手法である AIRMS を、国道だけでなく、県道、市町村道にも社会実装する。

分野 1, 2, 5 および 6 は、相互に関係するもので、各分野で取得される情報を一元的に可視化することにより、ひび割れによる陥没発生やポットホール発生の要因解析と対策が可能となる。具体的には、MCI の指標であるひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性 (IRI) と MCI 値、道路巡回日誌から得られた補修データ等を重ね合わせることで、一元的な道路舗装維持管理が可能となる。健全度等は国道、県市町村道との基準を変更できるようなシステムを構築する。

(2) FWD・MWD たわみ量のデータの蓄積と走行荷重による弾性基礎上の梁問題への適用

2023 年度に長崎市道で実施された路面性状調査と FWD 調査において、IRI 値はプロファイル測定値

とほぼ一致するが、MCI や FWD 調査結果との相関がないことが確認された。

FWD たわみ量（形状や大きさ）は舗装各層の構造的な強弱により変化するので、FWD たわみ量を解析することにより、舗装各層の強度や路盤、路床構造の支持力などを推定することができ、舗装の健全度を直接的に判定することができる。

インフラメンテナンス特選講義「舗装のメンテナンス」においても、土木研究所戴雅行氏は、舗装を構造物として視ることの重要性を力説されている。

上記の 7.2(1)が舗装路面性状から、路盤や路床構造の健全性を間接的に評価するのに対して、FWD 調査は直接的な健全性評価手法であると言える。詳細調査の FWD 調査は、掘削調査やコア抜き調査よりも経済的であるが、交通車両の通行止めが不可欠であるなども課題もあり、現在、移動式たわみ測定装置（MWD : Moving Wheel Deflectometer）の開発が土木研究所等で進められている。

研究代表者らは、走行荷重による梁の欠陥位置の検出法を開発している。この技術を弾性基礎上の梁や床版問題に適用することにより、舗装の路盤、路床構造の特性を評価する方策を検討する計画を策定している（図 7.1）。MWD たわみ量と比較することにより簡易的に舗装性状の診断が可能となる。

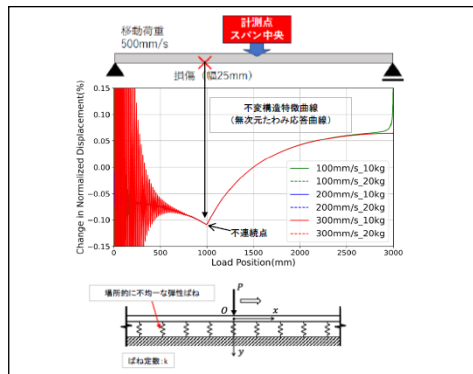


図 7.1 断面欠損梁の不変構造特徴曲線と弾性床土上の無限梁の問題

(3) xROADへの簡易なデータ入出力法の開発

令和 4 年度末の中間審査において、「R4 年度に xROAD の運用が開始されており、道路データプラットフォームが整えられつつある。このプラットフォームとの連携を視野に研究を進められるとよい。」とのコメントがあった。国土交通省道路分科会道路技術小委員会でも、「xROAD を活用した次世代舗装マネジメント」について審議・議論がなされている。

本研究開発において目指す方向も xROAD とほぼ同じであるので、さらに、xROAD との連携を図れるようなシステム開発を推進していく予定である。

現在、xROAD は国土技術研究センター（JICE）で運用されており、データの入出力は Excel での入出力が必要である。本研究では xROAD へのデータのアウトプットとインプットの簡易性を簡便性を考慮したアルゴリズムを検討しプログラムを作成した。

今後、さらに、実際の計測データを自動的に取得し、データプラットフォームに自動的にアップロードするシステム開発が、将来目指すべき課題である。

(4) 多様なインフラデータの AIRMS への導入

本研究開発においては、道路舗装、特にアスファルト舗装の維持管理に対する AIRMS を開発した。橋梁、トンネル、斜面等の道路施設の維持管理へも拡張する。その際、橋梁やトンネル台帳にある諸元や補修補強データだけでなく、3 次元点群データ、ひび割れ、はく離、鉄筋露出、水漏れ等の外観劣化情報、3 次元復元設計データ、さらには FEM 解析モデルや解析結果データ等も 導入する計画である。

下図は本研究開発とほぼ同じ時期に、国土交通省建設技術開発研究助成での研究成果審査会で使用した発表資料である。図 7.2 は「広域見える化」技術による全視野橋梁センシング、図 7.3 は全視野計測データを用いた中小スパン橋梁のデジタルツイン異常検知システムである。AIRMS を継続的に運用し、このようなデータを統合するとともに、格納したインフラデータを、国・県・市町村の管理道路における、日常的な維持管理および修繕の年次計画策定等に、使いたくなる、さらには使えるデータプラットフォームを構築することが最終目標である。

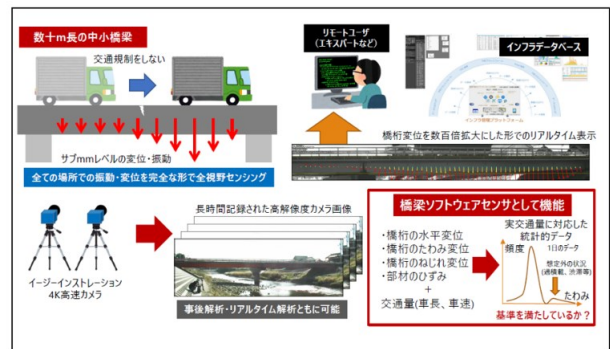


図 7.5 広域見える化技術による全視野橋梁センシング



図 7.6 中小橋梁のデジタルツイン異常検知システム

参考文献

- 1) 内閣府：『一経済の好循環の確立に向けて― 第3章 経済活動を支える基盤，第3節 社会インフラの供給基盤』，2013-07, url: https://www5.cao.go.jp/j-j/wp/wp-je13/index_pdf.html.
- 2) 国土交通省：『インフラメンテナンスを取り巻く状況』，2016-04, url: <https://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/special/reform/wg2/280415/shiryou1-5.pdf>.
- 3) 国土交通省：社会資本メンテナンス戦略小委員会(第3期第12回) 配布資料『社会資本メンテナンス戦略小委員会(H24～：第1～3期)における検討経緯』，2022-09, url: <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001512065.pdf>.
- 4) 国土交通省：社会資本整備審議会道路分科会道路技術小委員会『道路技術小委員会：過去の開催状況』，2024, url: https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s204_dourogijyutsu01_past.html.
- 5) 国土交通省：社会資本整備審議会『道路の老朽化対策』，2019, url: https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s204_dourogijyutsu01_past.html.
- 6) 国土交通省：社会資本整備審議会道路技術小委員会『定期点検の更なる効率化・合理化に向けた取組について』，2019-10, url: <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001312713.pdf>.
- 7) 国土交通省：社会資本整備審議会道路技術小委員会『定期点検の更なる効率化・合理化に向けた取組』，2020-06, url: <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001423191.pdf>.
- 8) 国土交通省：社会資本整備審議会道路技術小委員会『前回小委員会における主な意見』，2020-06, url: <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001423190.pdf>.
- 9) 国土交通省：社会資本整備審議会道路技術小委員会『道路メンテナンスを支える技術（資料3）』，2020-06, url: <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001423192.pdf>.
- 10) 国土交通省：社会資本整備審議会道路技術小委員会(第15回)『（資料5）技術分野の取組み，舗装の点検』，2021-10, url: <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001428666.pdf>.
- 11) 国土交通省：社会資本整備審議会道路技術小委員会(第15回)『【資料4】道路メンテナンス2巡目点検(2年目)の結果』，2021-10, url: <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001428665.pdf>.
- 12) 国土交通省：社会資本整備審議会道路技術小委員会(第15回)『（資料5）点検支援技術性能カタログ』，2021-10, url: <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001428666.pdf>.
- 13) 国土交通省：社会資本整備審議会道路技術小委員会(第15回)『商用車プローブデータサービス』，2021-10, url: <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001428666.pdf>.
- 14) 国土交通省：社会資本整備審議会道路技術小委員会『舗装点検要領について』，2016-10, url: https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo28_10.pdf.
- 15) 国土交通省：社会資本整備審議会道路技術小委員会(第6回)『【資料3-1】舗装分野会議報告』，2016-09, url: <https://www.mlit.go.jp/common/001146030.pdf>.
- 16) 国土交通省：社会資本整備審議会道路技術小委員会(第6回)『【資料3-2】これからの舗装マネジメント』，2016-09, url: <https://www.mlit.go.jp/common/001145725.pdf>.
- 17) 国土交通省：社会資本整備審議会道路技術小委員会(第6回)『【資料3-3】舗装点検要領の制定について』，2016-09, url: <https://www.mlit.go.jp/common/001145722.pdf>.
- 18) 日本道路協会：『舗装点検必携平成 29 年版』，日本道路協会，2017-09.

- 19) 藪雅行:『第3回:舗装のメンテナンス』, 2016-09, url: <https://www.youtube.com/watch?v=5h w9MXj18>.
- 20) 国土交通省道路局国道・技術課道路メンテナンス企画室:『xROAD を活用した次世代の舗装マネジメント(資料3)』, 2023-05, url: <https://www.mlit.go.jp/ road/ir/ir-council/dourogijutsu/pdf09/04.pdf>.
- 21) 藪雅行:『舗装メンテナンスサイクルの構築に向けた取り組み～路盤の保護を通じた舗装の長寿命化を目指して～』, 2017-10, url: <https://www.pwri.go.jp/jpn/ about/pr/event/2017/1019/pdf/kouen3.pdf>.
- 22) 市川辰旺:『ICT と商用車データを活用した AI による道路維持管理システムの開発』, 2023-03.
- 23) 常松朋泰:『地域の産官学連携による戦略的道路維持管理の確立に向けた点検技術活用に関する調査』, 2024-03.
- 24) 長崎大学:『第6章 道路淳会巡回を活用したスマートフォンによる舗装劣化データ収集』, 2023-03.
- 25) 東亜道路工業株式会社:『長崎市道 FWD 調査 調査報告書』, 2023-08.
- 26) 井上雄太, 西川貴文, 中村聖三, 奥松俊博:「市道の維持管理における高頻度取得される路面性状データの管理方法に関する検討」, 土木学会西部支部研究発表会, 64.6 (2021-03), pp. 625-626.
- 27) B. Zhao nad T. Nagayama, M. Toyoda, N. Makihata, M. Takahashi, and M. Ieiri: “Vehicle Model Calibration in the Frequency Domain and its Application to Large-Scale IRI Estimation”. In: Journal of Disaster Research 12.3 (2017), pp. 446–455. doi:10.20965/jdr.2017.p0446.
- 28) Liang-Chieh Chen, George Papandreou, Florian Schroff, and Hartwig Adam: Rethinking Atrous Convolution for Semantic Image Segmentation. 2017. doi:10.48550/ARXIV.1706.05587. url: <https://arxiv.org/abs/1706.05587>.
- 29) Tzutalin: LabelImg, 2015, url: <https://github.com/tzutalin/labelImg>.
- 30) Rafael Padilla, Wesley L. Passos, Thadeu L. B. Dias, Sergio L. Netto, and Ed- uardo A. B. da Silva: Open-Source Visual Interface for Object Detection Met- rics. url: https://github.com/rafaelpadilla/ review_object_detection_metrics.
- 31) Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, Jörg Sander, and Xiaowei Xu: “A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise”. In: Proc. of 2nd International Conference on Knowledge Discovery and. 1996, pp. 226–231.
- 32) Qingyong Hu, Bo Yang, Linhai Xie, Stefano Rosa, Yulan Guo, Zhihua Wang, Niki Trigoni, and Andrew Markham: “Learning Semantic Segmentation of Large-Scale Point Clouds With Random Sampling”. In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 44.11 (2022), pp. 8338–8354. doi: 10.1109/TPAMI.2021.3083288.
- 33) J. Behley, M. Garbade, A. Milioto, J. Quenzel, S. Behnke, C. Stachniss, and J. Gall: “SemanticKITTI: A Dataset for Semantic Scene Understanding of LiDAR Sequences”. In: Proc. of the IEEE/CVF International Conf. on Computer Vision (ICCV). 2019.
- 34) 渡邊一弘, 堀内智司, 久保和幸:「道路の性格・役割を踏まえた舗装の点検技術の開発」. In: 『土木技術 資料=Civil engineering journal: 土木技術 の総 合 情 報 誌』, 55.8(2013-08), pp.26 - 29. url: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1523951030457699968>.
- 35) 『日本デジタル道路地図協会 (DRM)』, url: <https://www.drm.jp/>.
- 36) 『全国道路施設点検データベース (xROAD)』, url: <https://road-structures- db.mlit.go.jp/>.

道路政策の質の向上に資する技術研究開発 成果報告レポート No.〇〇 ICTと商用車プローブデータを活用したAIによる
道路維持管理システム〇2024