



沈黙のリスク、崩れゆく基盤（後編） —最新技術動向と次世代の展望

前編では、インフラ老朽化問題について、我が国の制度の推移、予算・政策の方向性、そして過去に起きた代表的な事故事例を通じて、現場が抱える構造劣化リスクの深刻さについて述べてきました。道路の陥没、橋梁の落橋、トンネル壁の剥落等の事故は、さまざまな複合因子を介して引き起こされており、全国各地でいつ発生しても不思議ではないほど、劣化の予兆が表面化している状況を確認しました。後編では、インフラ老朽化に対応するための最新技術動向を中心に据え、検査・検知・復旧・予防の観点から、現在、研究・適用されている主要な技術を紹介します。そして最後に、全編を踏まえ次世代につながる社会インフラのあり方について考えます。

キーワード：#社会インフラ、#老朽化対応、#検知・復旧技術



インフラ老朽化に対応する最新技術動向

■点検・検査技術の高度化

(1) ドローン・3Dスキャナによる非接触点検

ドローンを活用した非接触点検は、橋梁やトンネル、鉄塔、ダムなどの構造物を安全かつ迅速に点検できる技術として急速に発展しています。ドローンにはGPS・IMU（慣性計測装置）、高分解能力カメラ（可視光・赤外線併用）や小型LiDARセンサが搭載され、自律飛行または遠隔操作により構造物周囲を撮影することができます。撮影により得られた画像とレーザ照射データから点群（3次元座標群）が生成され、これにより、ひび・浮き・剥離の形状をミリメートル精度でとらえることが可能になりました。赤外線撮影を併用すると、表面温度の不連続性から裏面空隙や浮き部を推定することもでき、点群データ解析によっては断面変位やねじれモードも識別できるようになるなど、高度な技術の進化が実用レベルで進んでいます。

(2) AI画像解析技術

AI（人工知能）を活用したひび割れや錆の自動検出も、深層学習（ディープラーニング）の発展により、実際の現場環境でも運用可能なレベルになってきています。これらの技術は、国土交通省の「点検支援技

術性能力タログ」⁽¹⁾にも複数登録されており、公共事業での導入が進みつつあります。このカタログでは、AIによる画像解析を用いた点検支援技術として、株式会社ブイイングの「ひびみつけ」、パナソニックホールディングスの「AI損傷判定システム」などが掲載されており、いずれも国管理施設や自治体橋梁を対象とした実証試験を経て、性能が確認されています。

実運用下での精度に関しては、国内外の研究機関が行った橋梁やトンネル覆工のフィールド実験でも、80～95%程度の検出精度が報告されています。代表的なものとして、G. Liらによる『Pixel-level bridge crack detection using deep fusion network』⁽²⁾では、実際の橋梁撮影データを使ったピクセルレベルのひび割れ抽出で認識精度98.6%を記録しています。さらに、UAV（無人飛行機）を用いた、風・照度・撮影角度の変動を含む実環境での橋梁・舗装点検を対象とした研究として、A. Altafらによる『Deployable Deep Learning Models for Crack Detection』⁽³⁾があり、検出精度90.5%を達成しています。

国内の自治体では、石川県七尾市が実施した小規模橋梁点検実証（2024年）⁽⁴⁾で、AIによる健全度判定の正答率92.9%、劣化要因判定正答率96.4%という結果が公表されています。このように、AI画像解析技術は実環境下で90%前後の精度が実証される

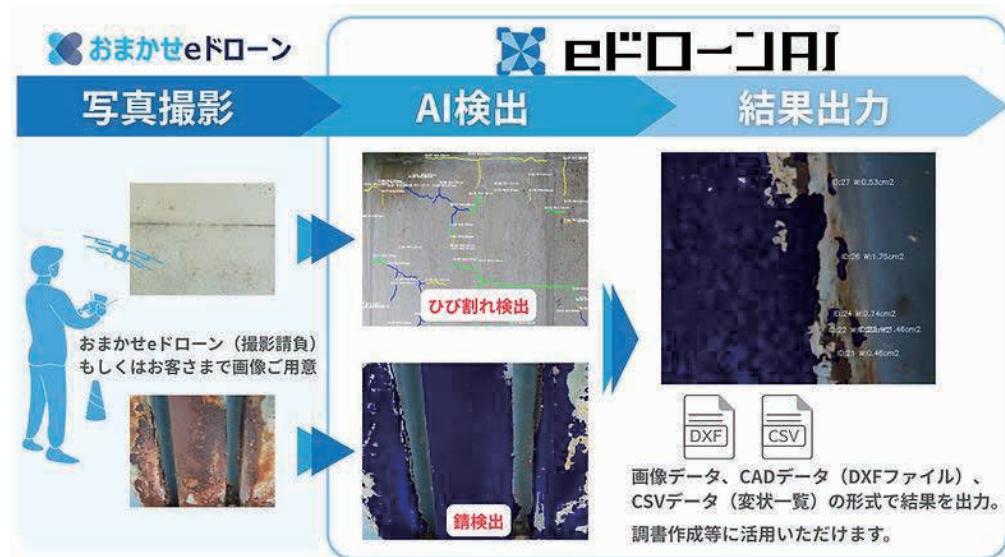
段階にあり、国の技術評価制度においても有効な補助技術と位置付けられつつあります。

NTTグループにおいても、NTTアクセスマルチサービスシステム研究所を中心とした複数の研究所でさまざまな関連技術に関する研究が行われていますが、NTT e-Drone Technologyにおいて、ドローンによる測距とAI画像解析を組み合わせたサービスとして実用化もされています。サービス概要は以下のとおりです（図1）。

- ・飛行計画の作成：GPS・障害物データをもとに自律飛行ルートを設計
- ・撮影・スキャン：可視カメラ・赤外線カメラ・LiDARで構造物を多角的に撮影
- ・データ補正：取得データを点群化し、座標補正・ノイズ除去
- ・AI解析：損傷部（ひび、錆、剥離）をAIが自動認識し、補修優先順位の自動付与が可能
- ・CIM連携：解析結果を3Dモデルに統合し、劣化箇所を色別で可視化

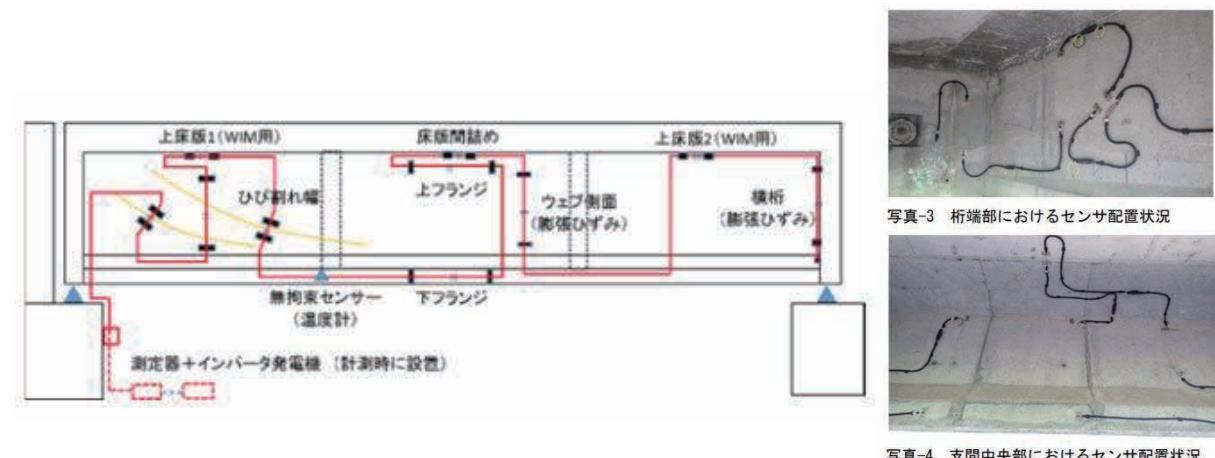
(3) 光ファイバセンシング（FBG等）

光ファイバセンサは、構造物内部の歪みや温度を高精度で長期間計測できる技術として、橋梁やトンネルなど実構造物への導入が進んでいます。特にFBG（Fiber Bragg Grating）センサは、光の反射波長変化を利用して微小な歪みを検出でき、電



出典：NTT e-Drone Technology HP (<https://www.nttedt.co.jp/>)

図1 おまかせ e ドローンおよび e ドローンAIサービス概要



出典：コンクリート工学年次論文集2017 「FBG光ファイバーを用いた橋梁モニタリング技術の実橋検証」

図2 橋梁へのファイバーセンサ設置イメージ

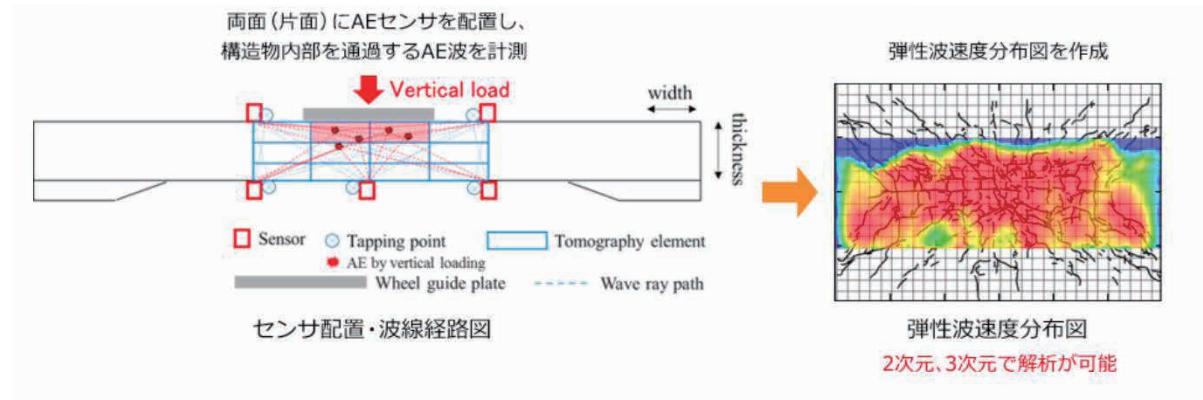
磁ノイズに強く、安定した計測が可能です（図2）。

日本では、実橋梁にFBGを埋設し、2年以上の実環境モニタリングで信号可用率が90%以上を維持した長期観測研究が行われており⁽⁵⁾、温度補正後も波長ドリフトが小さく安定していたことが報告されています。鋼橋での実橋試験でも、FBGが長期

間±5 $\mu\epsilon$ (マイクロストレン) 以内の精度で動作し、常時歪み監視が可能であることが確認されています⁽⁶⁾。海外では、エーレンド橋（デンマーク・スウェーデン間）でFBGを用いた常時監視を実施し、5年間の観測データで温度補正後の誤差が±5 $\mu\epsilon$ 以内に収まる高安定性を示した事例があります⁽⁷⁾。

これらの実証により、FBGセンサは実構造物のモニタリングで実用化が進み、長期健全度評価における信頼性の高い手段として位置付けられています。

(4) アコースティック・エミッション（AE）による損傷検知
アコースティック・エミッション（AE）は、コンクリート内部の微小破壊やひび割れ発



出典: 株式会社IHI検査計測 HP <https://www.iic-hq.co.jp/services/S-02-06/>
本技術はインフラ先端技術産学共同研究部門(ITIL)で研究開発されたものとなります

図3 AEセンサによるコンクリート損傷検知イメージ

生に伴って生じる弾性波を検出する技術で、目視では確認できない微細なひびの発生を早期に検出でき、損傷の発生・進展をリアルタイムに把握できるため、構造ヘルスモニタリング技術として注目されています(図3)。

ケーブル橋を対象とした実橋モニタリングでは、UHPC床版(超高性能繊維補強コンクリートを用いた薄型、高耐久な道路橋床版)に設置したAEセンサによる計測結果から、AE信号発生頻度とひび割れ進展の関係を定量的に解析し、両者に強い相関があることが報告されています⁽⁸⁾。ヨーロッパ各国で実施された橋梁モニタリングでも、AEエネルギーと疲労指標の間に相関関係が確認され、構造健全度の定量評価に活用可能であるとされています⁽⁹⁾。

このように、AE技術は実環境においても高感度での損傷検出が可能であり、予防保全型のコンクリート監視手法として有効性が実証されています。

■新素材、予防保全の高度化

(1) 超高性能繊維補強コンクリート(UHPC)

超高性能繊維補強コンクリート(UHPC: Ultra-High Performance Concrete)は、従来コンクリートを大幅に上回る強度と耐久性を持ち、橋梁床版や桁端部などの補修・オーバーレイ材として世界的に導入が進

ています。高密度なマトリクスと短纖維補強により、塩害・凍結融解・疲労劣化に対して高い抵抗性を示します。

日本では、兵庫県の加与川橋で世界初の鉄道用橋梁としてUHPCが採用され、薄肉スラブ化(鉄筋コンクリート造の床や屋根の構造体を薄く造ること)による軽量化と高耐久性が実証されています⁽¹⁰⁾。また、東京国際空港(羽田空港)滑走路補修ではUFCスラブ約2.2万m³が施工され、従来コンクリート比で重量を56%削減、施工後10年以上再劣化が確認されていません⁽¹⁰⁾。

米国では、連邦高速道路局(FHWA)の「Bridge Deck Overlay Program」で複数橋梁にUHPCを適用し、施工後10年間で再劣化率1%未満という結果が報告されています⁽¹¹⁾。

これらの実績から、UHPCは長期性能が定量的に実証された高耐久補修材として、橋梁補修・維持管理分野における予防保全の標準技術の1つとなりつつあります。

(2) 自己治癒コンクリート

コンクリート内部で発生した微細ひび割れを自ら閉塞・修復する「自己治癒コンクリート(Self-Healing Concrete)」は、維持管理負担を軽減する次世代材料として研究・実証が進んでいます。自己治癒機構には、①未反応セメントや混和材が再水和してひびを埋める化学的自己治癒型、②ひび

発生時にカプセルから修復剤を放出するマイクロカプセル型、③微生物の代謝により炭酸カルシウムを析出してひびを封鎖する微生物(バクテリア)型の3種類があります。

オランダのデルフト工科大学では、微生物型自己治癒コンクリートを橋梁部材に適用し、2年間の屋外暴露試験で幅1.0mmのひびが完全閉塞し、透水係数が10分の1以下に低下したことが確認されています⁽¹²⁾。また、欧州共同研究プロジェクト「HEALCON(EU FP7)」では、自己治癒材を用いた部材試験で耐凍害性能が50%向上し、塩化物の浸透が低減する結果が報告されています⁽¹³⁾。

日本国内でも、建設技術研究所と山口大学などの共同研究により、微生物型自己治癒コンクリートを用いた橋梁部材の現場適用試験が行われ、ひび幅0.5mm以下の閉塞効果が実環境下で確認されています⁽¹⁴⁾。これらの研究は、補修回数の低減やライフサイクルコストの縮減に寄与する材料技術として、今後の実用化が期待されています。

(3) 予防保全とデータ活用

老朽化対策を「壊れてから直す」事後保全から、「壊れる前に防ぐ」予防保全へ転換するためには、点検結果や維持管理データを継続的に活用する仕組みの整備が重要

です。

国土交通省は、橋梁・トンネルなどの構造物点検で活用可能な技術を体系的に整理した「点検支援技術性能能力タログ」を運用しており、国が定めた標準項目に対して性能値を提示し、国管理施設等で検証された結果を基に技術を掲載しています⁽¹⁵⁾。2025年4月には、橋梁・トンネル分野に加えて舗装や道路巡視への対象拡大、活用の原則化などが示され、地方自治体を含む管理者が客観的な技術情報を基に点検方法を選定できる環境が整備されつつあります。

また、国土技術政策総合研究所（NIIJIM）では、デジタル技術を活用した維持管理の高度化に関する研究を推進しています。研究テーマには、AIによる劣化進行解析、点検画像データの自動分類、3次元モデル（CIM）やBIMを活用した維持管理情報の連携などが含まれており、国のインフラDX政策と連携して技術開発と普及が進められています。

これらの取り組みにより、従来は人手中心で行われてきた点検・診断のプロセスが、データ駆動型で継続的に分析・最適化できる仕組みへと変化しつつあります。今後は、各自治体や管理者がこれらの公的仕組みを活用し、AIやモニタリングデータを統合した予防保全型の維持管理体制を構築することが期待されます。

■今後の方針性

近年、AIやセンサ、新素材などの技術革新は、インフラ維持管理のあり方を根本から変えつつあります。それらは単なる「効率化の道具」ではなく、安全性と経済性を両立し、社会全体のリスクを体系的に下げるための基盤技術へと進化しており、今後の方向性は以下の3つの軸で整理することができます。

(1) 導入の体系化

新技術を現場に根付かせるには、モデル事業で効果を検証し、その成果を設計・点検基準に反映することで信頼性を確保することが必要です。今後は、実装・評価・改善を一体化した「導入段階マネジメント」

を制度的に整え、成功事例を標準仕様へ昇華させるプロセスの体系化が求められます。

(2) 制度連携と評価の高度化

技術の普及には制度面でのサポートが不可欠です。国土交通省が運用する点検支援技術性能能力タログは、技術性能を公的に検証し、客観的な比較・選定を可能にする仕組みとして機能しており、さらなる活用が期待されます。また、新たな技術に対応した法規制の適切な改正も求められます。

(3) 複合化とシェアリングへの転換

老朽化が多様化する現代では、単一技術では対応しきれず、複合的アプローチにより、劣化の早期発見、最小限の介入、長期的な安定性を同時に実現することが求められます。また、維持管理のデジタル化による情報共有の推進とともに、技術者不足を補う取り組みとして、保守・保全に関する業務を業界を越えてシェアリングする動きが始まっています。官民連携（PPP/PFI）の推進の中で、維持管理業務の包括委託も広がってきており、官民が連携した業務シェアリングも、重要な取り組みになると想定されます。

次世代に向けた持続可能なインフラ維持の戦略と社会の選択

前編でみてきたように、日本の社会インフラは、高度経済成長期に整備された構造物が一斉に更新期を迎え、維持管理のあり方が国家的課題となっています。

2012年の笹子トンネル天井板崩落事故は、点検制度と安全管理の転換点となり、政府は橋梁・トンネルの5年ごとの近接目視点検を義務化し、「事後保全から予防保全へ」という基本方針を確立しました。さらに、「インフラ長寿命化基本計画」（2013年）および「公共施設等総合管理計画」（2014年）により、全国の自治体で長寿命化計画を策定する体制が整いました。こうして制度面は大きく前進ましたが、現場では依然として財源・人材・地域間格差といった課題に直面しています。

海外の事例も、日本が学ぶべき重要な示唆を与えています。

米国ではミネアポリスI-35W橋崩落事故（2007年）を契機に、連邦政府が全国統一の橋梁点検制度を整備し、その教訓から2021年に成立した「インフラ投資・雇用法（IIJA）」は、橋梁・道路・通信・電力などを一体的に更新する国家的プロジェクトであり、財源の恒久化と技術革新の制度化を同時に進めています。

欧州でも、イタリア・ジェノバ橋崩落事故（2018年）を機に、民間事業者への監督強化と安全データ公開制度が導入されました。フランスやドイツでは「国家更新計画」に基づく優先度に応じたインフラ政策が展開され、中央政府が財源と情報を統合管理する仕組みを整えています。

いずれの国も、国家レベルでの責任と透明性の確立が、持続的な維持管理の前提となっており、日本においても確立が急務であると考えます。

■制度と技術の融合

国土交通省が整備した「点検支援技術性能能力タログ」は、点検支援技術を検証し、性能を公表する仕組みであり、技術導入を客観的かつ透明に進める基盤となっています。後編で紹介した技術はほんの一部で、さまざまな技術が開発されており、実用化も進んでいますが、これまでのやり方を基本とした法規制も多く、制度面でのサポートも重要な検討課題となっています。

■社会構造の変化と新たな課題

これまでの日本の社会インフラは、山間部から離島まで、ユニバーサルサービスを基本として整備が進められてきました。しかしながら、国土交通省の『国土の長期展望』⁽¹⁵⁾によれば、2050年には全国の居住地域の約半数で人口が2015年比50%以上減少すると見込まれており、地方部を中心に人口が急速に減少し、維持管理に必要な人員・財源の確保が困難になることが想定されます。こうした人口構造の変化は、これまでと同様にすべてのインフラを同水準で維持することが現実的に難しくなることを意味



しており、今後は地域特性や利用実態に応じたインフラの選択と集中、および生活機能の再配置を進める必要があります。

また、地震に加え、気候変動に伴う災害リスクの増大している状況を踏まえ、災害対応と維持管理を一体化したレジリエンス重視の戦略が求められます。被災した構造物を単に元に戻すのではなく、被害を繰り返さない設計・運用に改める「ビルド・バック・ベター (Build Back Better)」の理論に基づき、復旧を安全性と持続性を高める再構築の機会とすることが望まれます。

さらに、社会の多様化とデジタル化が進む中、市民の理解と参加も欠かせません。老朽施設の撤去や機能統合には住民の合意が不可欠であり、情報公開と説明責任を果たす仕組みづくりが重要となります。

■今後の方向性

今後、日本がめざすべきは、制度・技術・社会構造を連携させた「持続可能なインフラ戦略の確立」であり、以下の4つの方向性が重要となります。

(1) 制度と財源の持続的確保

- ・インフラの更新・撤去・統合を含む資産マネジメントを国が長期的視点で責任を持つ法制度の策定
- ・国と地方自治体の役割分担の明確化と、財政と人材確保策の一体的支援の実施

(2) 技術の社会実装と統合運用

- ・AI、センサ、新素材など新たな技術開発のサポートと設計基準や補修指針への組み込み
- ・データの横断的活用による予防保全型維持管理システムの制度化と定着

(3) 官民連携 (PPP/PFI) の推進

- ・人材・財源の制約を補うため、民間の技術力・ノウハウ・資金を積極的に活用し、シェアリングする官民連携の拡充
- ・包括的委託や成果連動型契約方式 (Performance-Based Contract) の導入による、公共部門の負担軽減と業務効率化の実施

(4) 地域間連携と広域管理

- ・複数自治体が連携し、道路・河川・上下水道などの関連インフラを「群」として統合管理する地域インフラ群再生戦略マネジメント（群マネ）の確立
- ・国・自治体・民間によるデータプラットフォームの共有化により、点検・補修・予算計画を連携管理する体制の確立

これらの施策を同時に推進することで、インフラを「老朽化に追われる負債」から「社会を支え続ける資産」へと転換することができると言えます。制度改革と技術革新、そして社会構造の変化を一体でとらえ、科学的根拠と社会的合意に基づく選択を重ねていくことこそ、次世代へ安全で持続可能な社会基盤を引き継ぐ唯一の道ではないでしょうか。

インフラはすべての人の社会生活に影響を与える基盤であり、今こそ、官民、そして私たち国民1人ひとりが危機感をもって、そのあり方を考える姿勢が求められています。

■参考文献

- (1) <https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/zenbun.html>
- (2) <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109347>
- (3) <https://doi.org/10.3390/buildings15183362>
- (4) https://www.jstage.jst.go.jp/article/jseicim/1/1/_337/_pdf
- (5) M. Nishio, et al.: "Quality Evaluation of Fiber-Optic Strain Data Acquired in Long-Term Bridge Monitoring," *Sensors and Materials*, Vol. 29, No. 2, 2017.
- (6) 玉置他: "FBG光ファイバーを用いた橋梁モニタリング技術の実橋検証," *コンクリート工学年次論文集*, Vol.39, No.2, 2017.
- (7) M. Winkler, et al.: "Structural Health Monitoring of the Øresund Bridge using Fiber Optic Sensors," *Journal of Bridge Engineering*, ASCE, 2019.
- (8) Z. Chai, et al.: "AE Monitoring of Crack Evolution on UHPC Deck Layer of a Long-Span Cable-Stayed Bridge," *Construction and Building Materials*, Vol. 414, 2024.
- (9) IABSE: "Strategic Consideration for AE Monitoring of Bridges,"

International Association for Bridge and Structural Engineering, 2023.

(10) H. Musha, et al.: "Innovative UFC Structures in Japan," *AFGC Symposium on Ultra-High Performance Concrete*, 2013.

(11) FHWA: "Bridge Deck Overlay Program Report," *Federal Highway Administration*, 2024.

(12) 建設技術研究所・山口大学: "自己治癒コンクリートを用いたひび割れ補修材の現場適用試験," *土木学会年次学術講演会 講演概要集*, 2023.

(13) https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_001920.html

(14) https://www.nirim.go.jp/japanese/organization/infradx_honbu/indexinfradx.htm

(15) <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001365995.pdf>



株式会社情報通信総合研究所
主席研究員 船本道子