

劣化メカニズムに基づく通信設備のリスク推定の取り組み

インフラ設備の老朽化問題を解決するにあたっては、今後一斉に老朽化する大量の設備に対して優先順位を付けて、長期的かつ効率的な保全計画を立案することが必要です。NTT先端集積デバイス研究所では優先順位付けの指標としてリスクの概念を導入し、通信設備のように多様な設置環境にあるインフラ設備に対応できるリスク推定技術を研究しています。本稿では、通信設備の1つである下部支線アンカを対象とした研究を紹介します。

みねた しんご そとま まさひろ おおき しょうた
峯田 真悟 / 外間 正浩 / 大木 翔太
 みずぬま まもる ひがし やすひろ おか そういち
水沼 守 / 東 康弘 / 岡 宗一
 さわだ たかし
澤田 孝

NTT先端集積デバイス研究所

設備保全におけるリスク推定の必要性

道路や上下水道、電力や通信など、私たちの生活や産業の基盤となる社会インフラは、高度経済成長期以降に集中的に整備されており、今後一斉に老朽化します。その一方で、設備の維持管理に割ける費用や保全にかかわる人員は減少傾向にあります。このため、将来的にはインフラの維持管理を十分に行うことができず、安心・安全の担保が困難になると危惧されています。

NTTグループの保有する通信設備も同様の問題を抱えています。通信設備は種類も多く、数も膨大です。加えて、これら設備は市街地だけでなく、山岳地や海岸付近、温泉地や寒冷地、さらに地中や海中に至るまで多様な環境にさらされており、劣化の形態や進行速度もさまざまです。こうした特徴を持つ通信設備の保全には、点検による劣化の現状把握や将来予測を踏まえたうえで、いつ、どの設備に、どういった措置を施すべきかという優先順位を付け、長期的かつ効率的な計画を立案することが重要になります。NTT先端集積デバイス研究所では設備の保全計画に役立つ優先順位付けの指標とし

てリスクの概念を導入し、リスクを推定する技術を研究しています。本稿では、リスク推定の動向について述べ、通信設備の1つである地中鋼構造物の下部支線アンカを対象とした取り組みを紹介します。

リスク推定の動向

リスクを基準にした設備保全の効率化は、主に石油プラント業界で先行して進められています。これらは、従来時間を基準とした保全(Time-Based Maintenance)に対して、リスクを基準として検査や保全を行うという意味で、Risk-based Inspection/Risk-based Maintenance (RBI/RBM) と呼ばれています。

RBI/RBMにおいて、リスクは以下のように定義されます。

リスク＝「故障や破損の起こりやすさ」×「発生した場合の影響度」

算出結果を基に、「故障や破損の起こりやすさ」と「発生した場合の影響度」を2軸にとったリスクマトリックスとして表示します(図1)。これにより、対象設備がリスクマトリックスのどこに位置するかでリスクの相対的な大小関係が色の濃淡等で可視化されるとともに、そのリスクを許容するか

否かや、対処方針の判断の支援に用いることができます。

RBI/RBMについては、米国石油学会(API)⁽¹⁾や米国機械学会(ASME)⁽²⁾等によってガイドラインが示されています。また日本においても、2010年に日本高圧力技術協会から圧力設備などの産業用設備を対象としたガイドラインが発行されました⁽³⁾。しかしながら、これらのガイドラインは、拠点集約型で、かつ比較的設備の使用環境や劣化メカニズムに関する知見・データの蓄積があるプラント設備に対するものであり、通信設備のように広域分散型で設置環境が多様なインフラ設備への適用は困難です。このため、既往のRBI/RBMに関するガイドライン等を

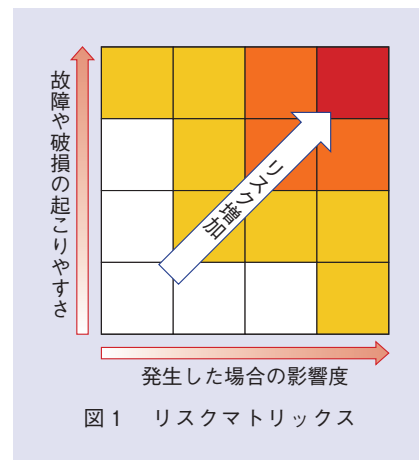


図1 リスクマトリックス

参考にしつつ、多様な設置環境にあるインフラ設備への対応が可能なリスク推定技術を構築する必要があります。

下部支線アンカのリスク推定

下部支線アンカの構造を図2に示します。下部支線アンカは、電柱を支持するために地中に打ち込まれる設備

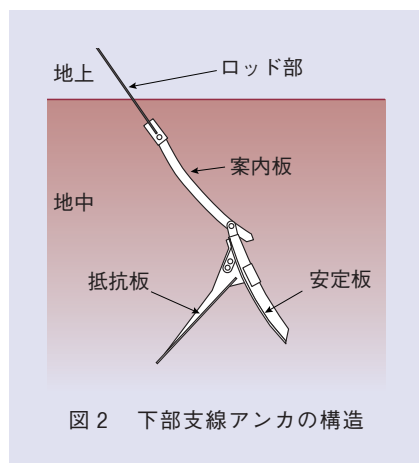


図2 下部支線アンカの構造

で、図中の抵抗板と安定板2枚の鋼板により耐力を確保しています。設備数は日本全国で1000万条以上に上るため、他のインフラ設備と同様に効率的な保全計画が不可欠です。

下部支線アンカのリスク推定では、前述の「故障や破損の起こりやすさ」を「アンカの劣化の程度(劣化度)」に、「発生した場合の影響度」を「アンカが浮上り・引抜けした場合の影響度」と考えることができ、単純化して記述すると次のようになります。

$$\text{リスク} = \text{「劣化度」} \times \text{「影響度」}$$

右側の劣化度は、設置環境によって進み方が異なります。そのためリスク推定には設置環境に応じた劣化度の予測が必要です。しかしながら、地中は直接目視点検できない特異な環境であるため、劣化度の現状把握が困難であり、さらに過去の蓄積データもないた

め統計的に劣化度を予測することもできません。下部支線アンカのような地中鋼構造物を対象としたリスク推定でもっとも難しい点は、まさにここにあり、データがない中でいかにして劣化度を予測するかが課題といえます。私たちはこの課題を解決するため、下部支線アンカの劣化メカニズムを材料科学の視点から解明し、理論モデルを構築することで劣化度を予測しようと試みています。

土壌腐食メカニズムの解明に向けて

下部支線アンカの劣化は主に土壌腐食によって進行します。土壌腐食は、鋼などの金属が土壌と接触する界面で錆を生じながら、徐々に金属部分の厚みが減る(減肉する)現象です(図3)。関東地域に40年以上埋設された下部支線アンカの外観写真を図4に示しま

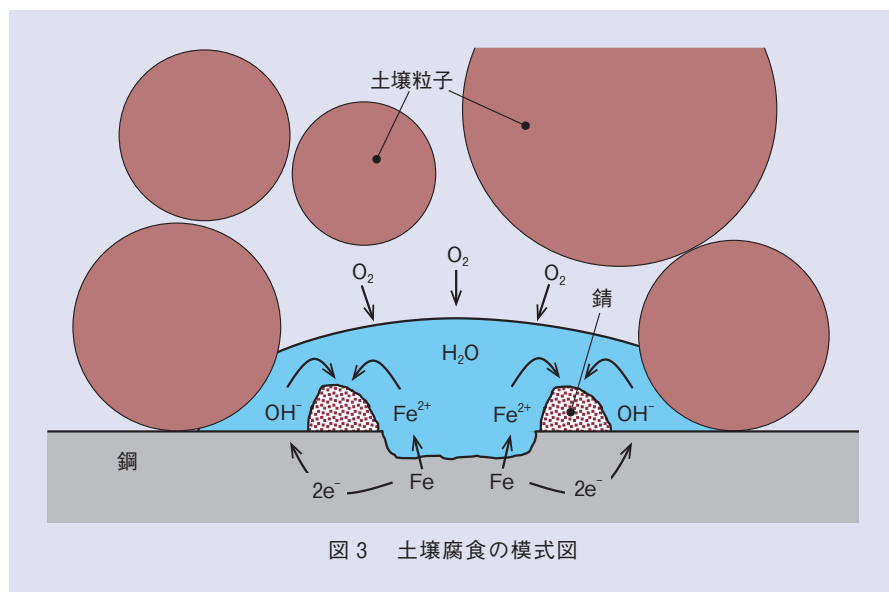


図3 土壌腐食の模式図



図4 経年劣化した下部支線アンカの外観

す。表面は赤茶けた錆で覆われています。この錆のみを酸性溶液で除去したのち鋼板の厚みを計測すると、敷設時と比べて減肉していることが確認されました。このように土壌腐食によって鋼板が減肉すると、それに応じてアンカの耐力が低下します。つまり下部支線アンカの劣化度を予測することは、土壌腐食による鋼板の減肉量を予測することに相当します。

土壌腐食に関しては、ガスや水道管といった地中埋設管の腐食が問題視され、主に国外で検討されてきました。土壌の腐食性に関する規格も米国国家規格協会（ANSI: American National Standards Institute）によって定められています⁽⁴⁾。ANSI規格は、土壌の腐食性を評価するのに有効であるため、日本でもよく用いられています。しかし、得られた評価点と腐食性の関係が定性的表現にとどまることが指摘されており⁽⁵⁾、定量的要素が不可欠な劣化度の予測には必ずしも適したものとはいえません。土壌腐食の分野はいまだ研究的課題も多く残されており、定量的知見が体系化されているとは言えない状況にあります。これは土壌環境が、腐食に影響する外的要因（環境因子）を多く擁し、それらが相互作用する複雑な環境であるためといわれています⁽⁵⁾。

こうした状況にあって、土壌腐食による鋼板の減肉量を予測するためには、次の3つの取り組みが不可欠である、と私たちは考えています。

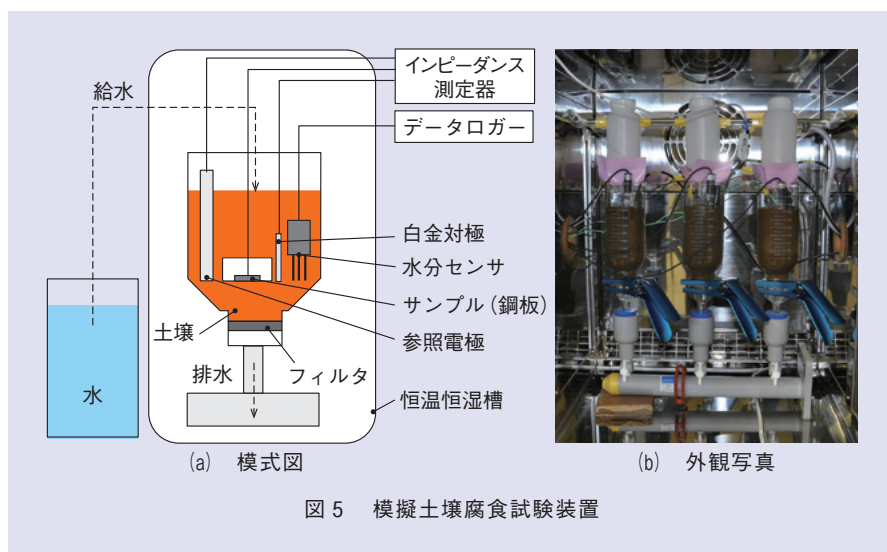


図5 模擬土壌腐食試験装置

- ① 土壌腐食に対して支配的に寄与する環境因子を明らかにすること
- ② 環境因子が腐食速度に及ぼす影響を定量的に明らかにすること
- ③ 実際の土壌における環境因子の情報を得る手段を確立すること

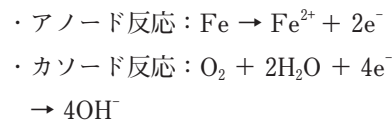
これらの取り組みを進めることで、環境因子の情報から腐食速度を求め、埋設後から任意の期間経過した鋼板の減肉量を理論的に算出することが可能になります。私たちは①～③に則した具体的取り組みとして、実験室内に構築した模擬土壌中での電気化学試験や、屋外土壌でのモニタリング試験を実施しています。以下にこれらの概要について述べます。

模擬土壌中での電気化学試験

環境因子の情報から腐食速度を求める理論モデルを構築するため、実験室内に土壌環境を模擬し、鋼板の腐食速

度を電気化学的に測定する試験装置を作製しました。試験装置の模式図と外観写真を図5に示します。本装置は、恒温槽内で土壌温度を制御しながら、降雨を模擬した給水と排水のタイミングを制御することが可能です。

土壌腐食は以下の2つの化学反応が鋼板上の同一平面内で進行しています。

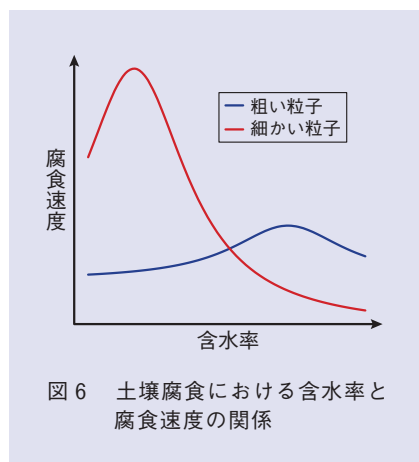


腐食速度は、腐食反応の起こりやすさの指標である反応抵抗を測定し、その逆数を取ることで評価できます。土壌環境はさまざまな抵抗成分（土壌や水の電気抵抗など）が混在することから、本試験では、周波数帯によって反応抵抗のみを分離することが可能な交流インピーダンス法を用いました。

土壌環境は、固相である土壌粒子と、土壌粒子間の空隙内に存在する水と空

気の3相から構成されます。上記の反応式から分かるように、土壌腐食が進行するには水と空気（酸素）が必要です。そのため、土壌中での鋼板表面の濡れや、水と空気の割合（含水率）は腐食速度に対して強く影響していると考えられます。そこで私たちは、鋼板表面の濡れと、水と空気の割合を決める、「土壌の粒子径分布」と「含水率」が土壌腐食の支配的な環境因子であると仮説を立て、これに着目した実験を進めています。粗い粒子と細かい粒子から成る2種類の土壌について、それぞれ異なる含水率ごとに腐食速度を評価した結果、図6のような興味深いデータが得られました。腐食速度が含水率に対して単調に変化するわけではなく、ある含水率で腐食速度が極大値を持つことが分かります。また、腐食速度が極大となる含水率は、土壌の粒子径分布に依存して大きく異なることが見出されました。

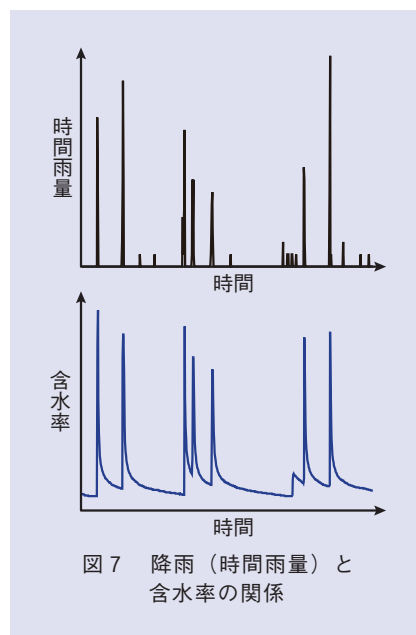
この結果は、土壌の水分が多いほど



腐食性が高い（腐食速度が大きい）という従来の定性的な考え方が必ずしも正しくないことを示唆しています。私たちは、従来の評価規格等で土壌腐食の進行を予測することが難しい要因の1つに、含水率に対する腐食速度の非線形性があるのではないかと考えています。逆にいえば、土壌の粒子径分布ごとに含水率と腐食速度の関係を明らかにすることで、含水率と土壌の粒子径分布から腐食速度を求め、ひいては腐食量を算出することができると考えられます。今後は、土壌粒子径および含水率と腐食速度の定量的関係を明らかにするために、詳細な検討を進めていく予定です。

屋外土壌でのモニタリング試験

前述の③に則した取り組みとして、



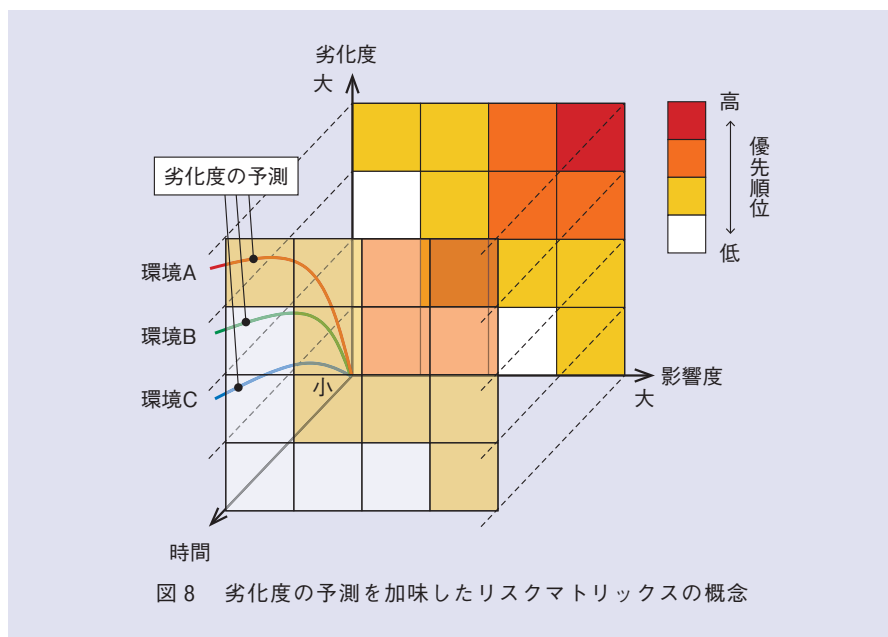
実際の土壌環境を調査するため、環境因子のモニタリング試験を実施しました。試験地の土壌は一般的な関東ロームです。下部支線アンカは地表からおよそ1.5 m程度の深さまで埋まっているため、本試験では2 m弱の深さの穴を掘り、そこに各種センサを埋設して埋め戻し、環境因子の経時変化を測定しました。

モニタリングした含水率の経時変化を降水量（時間雨量）とともに図7に示します。降水量は試験地にもっとも近い気象観測所の公表データを使用しています。含水率の増減は降雨とよく連動しており、降雨に合わせて急激に増加し、雨が止むと、毎回ほぼ同じように水がはけて減少していく、という一定のサイクルが繰り返されることが分かりました。

このことは、土壌ごとに水はけ速度が分かれば、気象情報を基にして、ある程度の精度で含水率が算出できることを示唆しています。減肉量の予測には、含水率のほかに、土壌の粒子径分布や種類の情報が必要ですが、これについては、国や地方自治体等によって調査された土壌分類図を基に推定したいと考えています。

今後の展開

本稿では地中に埋設された通信設備である下部支線アンカを対象として、リスク推定に向けた取り組みを紹介しました。最後に、私たちがめざすリスクマトリックスの概念を図8に示しま

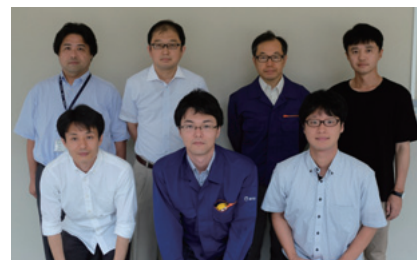


す。この図では、劣化度、影響度の2つの軸とともに時間軸が描かれており、図1と同様に優先順位の高低が色の濃淡で示されています。前述したように、設置環境によって劣化の進み方は異なることから、時間軸に沿って優先順位の高低も変化します。時間が経過した後の劣化度の予測に関しては、今後も土壤腐食のメカニズム解明を通じ、気象や土壤分類図など外部の公表データのみから予測を可能にする理論モデルの具体化に取り組みます。影響度については、下部支線アンカの場合、アンカが引き抜け、電柱が倒壊したときに周囲へ及ぼす影響と考えることができます。影響度の評価については、私たちの研究グループですでに評価法を確立していることから今後は適用に向けた検討を行っていきます⁽⁶⁾。

このようにして作成したリスクマトリックスを基に、効率的な保全計画の立案に資する優先順位付けの指標の構築をめざしていきます。

■参考文献

- (1) American Petroleum Institute : “API RP 581 Risk Based Inspection Technology Second Edition,” 2008.
- (2) The American Society of Mechanical Engineers : “Risk-Based Inspection-Development of Guidelines : General Document : Volume 1,” 1991.
- (3) 日本高圧力技術協会 : “HPIS Z 106 リスクベースメンテナンス,” 2010.
- (4) ANSI/AWWA : “C105/A21.5-99: American National Standard for Polyethylene Encasement for Ductile-Iron Pipe Systems,” 2000.
- (5) 角田・秋庭 : “土壌の腐食性を評価するための視点,” 防食技術, Vol.36, No.3, pp.168-177, 1987.
- (6) 外間・杉山・澤田 : “通信設備におけるリスク評価方法の検討事例,” 化学工学, Vol.81, No.2, 2017.



(後列左から) 澤田 孝/ 東 康弘/
水沼 守/ 岡 宗一
(前列左から) 外間 正浩/ 峯田 真悟/
大木 翔太

インフラの老朽化は通信設備だけに限らず日本全体が抱える課題です。社会の安心・安全とより良い未来のために役立つ技術を生み出すべく、今後も研究に邁進していきます。

◆問い合わせ先

NTT先端集積デバイス研究所
研究推進担当
TEL 046-240-2022
FAX 046-240-4328
E-mail sende-kensui@lab.ntt.co.jp