



小林 潔司

一般社団法人 日本アセットマネジメント協会 会長

デジタルアセットマネジメントとは

1. はじめに

老朽化が進むインフラを適切に管理する方法論としてアセットマネジメントが重要な役割を果たすことが知られている。目視点検等を通じて膨大な点検データが蓄積されてきた。さらに、ビッグデータを用いた統計的劣化予測技術、ベンチマーク分析、プロファイリング手法の開発やISO 55001によるマネジメント基準の策定によりアセットマネジメントの方法論ができあがった。

一方、センサー等を用いた常時モニタリング技術や時系列解析の開発も進んでいる。ドローンやレーザーを用いた計測技術、3次元CAD技術の発展により、サイバー空間でインフラをモデル化したデジタルツインの実現が現実味を帯びてきた。都市空間や建築物・インフラのデジタルツインが構築されている。BIM/CIMもその1つである。

BIM/CIMは、計画、調査、設計段階から3次元モデルを導入し、その後の施工、維持管理の各段階も含めて一連の建設生産・管理システムの効率化・高度化をめざしている。たしかに、BIM/CIMの導入により、これまで2次元上の図面を3次元上に展開することにより、対象物の姿をわかりやすく表現できるようになった。しかし、このような技術によりインフラの設計・計画・施工・マネジメントの方法論が変わったということは寡聞にして知らない。

デジタル時代の新しいアセットマネジメント（デジタルアセットマネジメントと呼ぶ）に関する研究や実践はほとんど蓄積されていないのが現状である。デジタルアセットマネジメントに関する研究や実務への適用は、緒についたばかりであるが、本号ではデジタルアセットマネジメントが目指すべき方向性について、この分野で先端的な研究や実践を推進する

論者により、デジタルアセットマネジメントの将来について、いくつかの試論を展開することとする。

2. デジタルツイン

現実社会の対象物と同じもの（双子）をサイバー空間上に作り上げる。それをデジタルツインと呼ぶ。もはや、日本列島の実寸大の双子をサイバー空間上に再現することが可能になった。もともとデジタルツインは製造業の世界で生まれた考え方である。製造業の分野における定義によれば、デジタルツインとは、「物理空間にある製品の稼働状況、環境情報などをリアルタイムで収集する一方、サイバー空間上に構築された製品モデルを用いてシミュレーションを実施することで、設計の改善や環境に応じた動作指示、故障予測などを可能にするソリューション」であるとされる。

製造業のデジタルツインと異なり、インフラ施設は極めて複雑であり、完全な計測情報を獲得することは不可能である。インフラの施工時にさまざまな不確実性が介入する。さらに、時間の経過に伴っ

て、インフラの劣化が進展する。このような劣化事象の詳細を完全に把握することは不可能であるといってもよい。このため、「サイバー空間で構築したデジタルツインが、インフラのどのような姿を表現しているのか」という「そもそも論」自体が問題になってくる。

デジタルツインの用途に応じて、デジタルツインが表現するインフラの姿が異なってくる。例えば、1) 設計図に表現されたインフラのあるべき姿、2) 施工により実現したインフラの現実的な姿、3) 劣化を経て変位や変形が生じた現状のありのままのインフラの姿、4) 大規模修繕等によりどこまで回復するのかわかる修繕後のインフラの姿等、さまざまなデジタルツインが存在しうる。したがって、サイバー空間上に単一の3次元表現されたデジタルツインを構築すれば事足りるというものではない。目的に応じて、さまざまなデジタルツインが表現され、それらの関連性を制御できるようなフレキシブルなサイバー空間の構成が必要になる。

図1に示すようにデジタルアセットマ

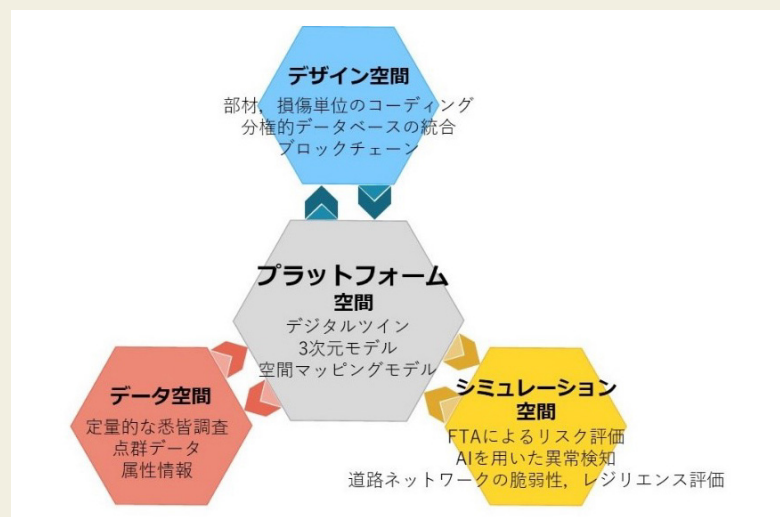


図1 サイバー空間の基本構成

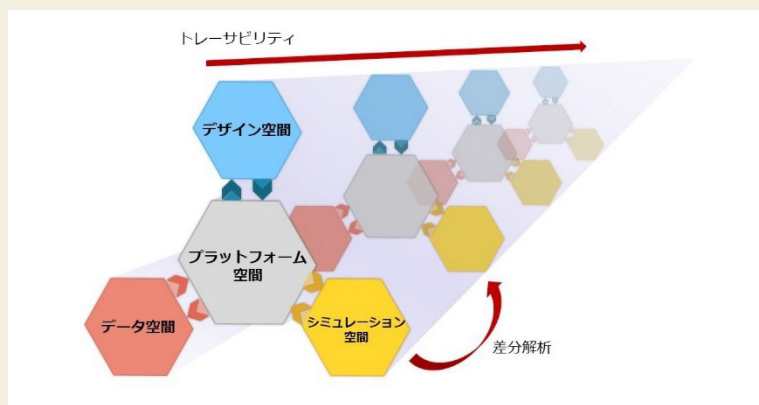


図2 4次元表現

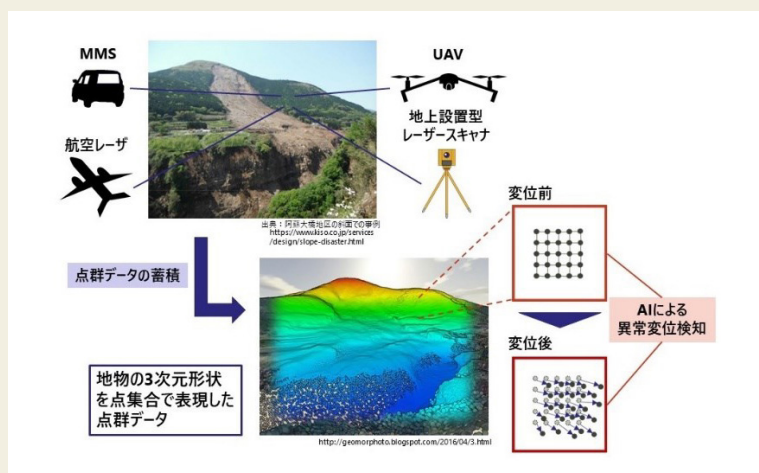


図3 点群データによる変位分析

ネジメントのためのサイバー空間構成は、アセットマネジメントに必要なデジタルツインを表現するプラットフォーム空間、インフラに関する設計情報を保管するデザイン空間、目視点検結果や点群データなどをマネジメントするデータ空間、インフラ管理のためのさまざまな検討やシミュレーションを実施するためのシミュレーション空間で構成される。プラットフォーム空間では、対象となるインフラがデジタルツインとして3次元表現される。デジタルツイン上には、必要な情報が記載されるとともに、データ空間上に保管されている情報がリンクされることによりデジタルツインはディレクトリーとしての機能を持つようになる。前述したデジタルツインの種類の中で、例えば設計時のインフラの姿が1つのベンチマークとしてサイバー空間のプラットフォームとして表現される。

時間とともにインフラの劣化が進展し、時間軸とを通じてインフラの性能が一定である保証はない。図2に示すように、

時間軸を通じて4次元空間上にデジタルアセットマネジメントシステムを構築することにより、インフラ性能や劣化過程のトレーサビリティを確保することができる。例えば、プラットフォーム空間上のデジタルツイン上に、インフラに出現した損傷や変状、その時間的進展を4次元的に表現することが可能である。

3. デジタルアセットマネジメントの価値

ICT技術やAI技術の発展により、インフラのモニタリングや計測結果の可視化技術は著しく進歩しつつある。デジタルアセットマネジメント時代においてもISO 55001に基づくアセットマネジメントの基本的な方法論が変化するわけではない。しかし、デジタルツイン技術を用いて、1) 想定外への対応、2) 網羅性の確保、3) 可能性の評価、4) 組織の変革という4つの点でアセットマネジメントの高度化をなしうと考える。デジタルツイン技術でなしうるアセットマネジ

メント技術の開発は緒に就いたばかりであるが、以下では著者らが開発した要素技術の一端を紹介したい。

(1) 想定外への対応

計測には、理論・経験に基づく計測とそれに基づかない計測の2種類がある。目視点検による方法は前者である。その品質は、点検者が有する理論・経験に依存する。デジタルアセットマネジメントにおいても目視点検の重要性に変わりない。しかし、目視点検は変状や損傷の検出に留まり、構造物の経年的変位を把握できない。一方、レーザー計測等は理論・経験に基づかないが逆に変化の状況をありのままに検出できる。

図3に示すように、複数時間断面の計測結果を比較することにより、目視点検では認知できない構造物の経年的変位を検出できる。過去に生じたことのない想定外の事象や災害により発生した異常の検知に重要な役割を果たすことになる。インフラの維持補修だけでなく、防災マネジメントも含めてデジタルアセットマネジメントを実施するためには、継続的に点群データを計測しておくことが重要である。

点群データはそのままでは点の集合で、構造物として識別されない。さらに、2つの時間の間で、構造物に発生した変位を認知するためには、点群と構造物を対応させるためのターゲットシステムを整備することが必要となる。さらに、構造物に発生した変位を検出するためには、2つの時間断面におけるターゲットの座標値の差分を評価することが必要である。

計測した差分は相対的な評価値にすぎず、差分値を変位として解釈するためには、評価の基準となる座標値を決定しておくことが必要となる。先に述べたデジタルツインが表現するインフラの姿の多様性に対応して、点群データにも多様な性質がある。点群データが有する座標値としては、1) 設計上の座標値 (as designed value)、2) 現状の座標値 (as is value)、3) 管理上の目標となる座標値 (ought to be value) 等が考えられる。MMSで計測される座標値は現状の座標値にすぎない。もちろん、異なる時間断面で計測した現状の座標値を用いて差分を計算することができるが、それを変位

として評価するためには、設計上の座標値、もしくは目標となる座標値との乖離情報を用いて差分値に管理上の意味を検討することが不可欠となる。

(2) 網羅性の確保

アセットマネジメントは、構造物全体を対象としたマネジメントでなければならない。マネジメントの網羅性が必要となる。点検台帳に基づく情報管理では、点検結果を部材・部位ごとに集約し、それぞれを単位とする劣化診断や補修戦略が検討されることが多い。予防修繕においては、個別の変状・損傷の特性や構造物全体の状況を判断して優先度を判定せざるを得ない。これに対して、デジタルツインを用いれば、バーチャル空間上に3D表現された対象物上に、個別の変状・損傷や変位の情報を直接記述できるという利点がある。

現在、3次元的に表現されたBIM/CIM空間上に空間的場所と対応づけ、点検結果や設計図書等のデータ群をリンクさせることにより、BIM/CIM表現された3次元プラットフォームをディレクトリーとして用いる試みが展開されている。このような3次元プラットフォーム化されたデータベース構造を有効化するためには、性能評価の対象となる構造物要素の基本単位に着目して、コード番号体系を用いて多様なインフラの構造物要素の全体構造をデジタル的に表現するとともに、損傷や変状、変位のタイプや種類、その重大度に関するデジタル化を実施し、アセットマネジメントの目的に応じて3次元プラットフォーム上に蓄積された情報をソーティング・集計化する方法をシステム化することが望ましい。

アセットマネジメントに関わる多様な管理者や技術者が、3次元プラットフォーム空間を利用することを考えれば、3次元プラットフォームと利用者の間の双方向のコミュニケーションを達成するような関係性を構築することが必要となる。たとえば、点検技術者が、個人の経験や知見を用いて見出した発見的情報を、作業用の3次元プラットフォームに書き込めるような方法論が有効であろう。対象物の中で目視点検できない箇所が存在すれば、センサーや非破壊試験等、目視点検に替わる方法を検討する必要がある。

デジタルアセットマネジメントでは対象物の中で、代替的方法により点検すべき箇所を3次元プラットフォーム上に可視化することができる。

(3) 可能性への対応

インフラの中で計測が容易ではない部材・部位が存在する。そのような箇所も含めて重点的にモニタリングすべき箇所を事前に選択することが必要である。デジタルアセットマネジメントでは、起こりえることをシミュレーションにより分析することが可能となる。図4はフォールトツリーを用いて部材・部位の損傷が構造物全体に及ぼす影響を分析した結果を示している。仮想的に部材・部位に損傷が発生したことを想定し、その損傷が構造物全体に及ぼす影響をシミュレーションしておく。このような分析を通じて、重点的にモニタリングすべき部材・部位を特定できる。構造安全上、クリティカルな部材・部位が存在する場合、目視点検が容易でなくても、非破壊検査など代替的な方法によるモニタリングが必要

となる。シミュレーション空間では、可能性のあるリスクを検出し、それをマネジメントプロセスに反映させることが可能となる。

(4) 組織の変革

デジタルトランスフォーメーション(DX)の必要性が叫ばれている。DXを達成するためには組織を変革し、組織を越えた情報の共有化が不可欠である。小規模なシステムを試行的に導入し、フィードバックを通じて漸次発展させていくというアジャイルなアプローチが必要である。

筆者らは点群データを用いて、日越の技術者によるベトナム橋梁のオンライン劣化診断を試みた。図5には、オンライン遠隔地診断の一場面を示している。中央のファシリテータを挟んで、向かって右側にベトナム技術者、左側に日本人技術者が配置され、画面上に点群データを用いて表現されたベトナムの老朽橋梁を診断している。このような試みでは、ファシリテータ自身がプロフェッショナルな点

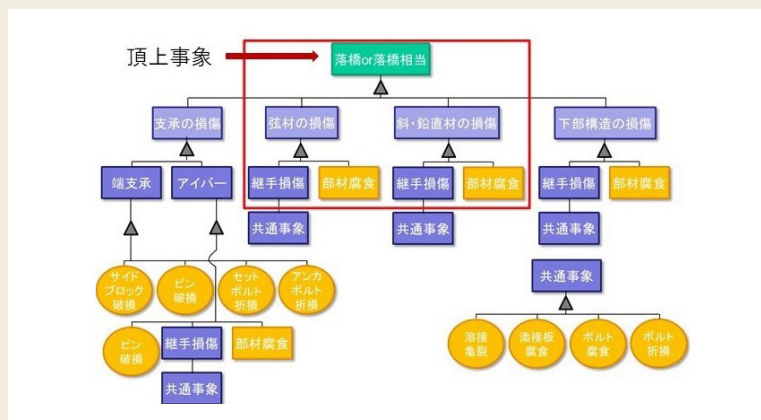


図4 フォールトツリー解



図5 日越技術者による劣化診断

検技術者であることが要請されるが、それと同時に点検診断の判断過程をシステム化しておくことが有用である。

図6には別のデジタルアセットマネジメントへの適用事例を示している。地盤沈下が進展しつつある空港で、現時点での空港舗装とあるべき空港舗装の差分を評価することにより、空港舗装の工事量を評価することができる。3次元プラットフォームでは、現状の舗装構造と修復後の舗装構造の3次元座標値が得られている。これらの数値情報を用いて自動化施工を実施することも夢ではない。新型コロナウイルス禍により、オンライン技術が世界的に普及する中で、デジタルアセットマネジメントの実現が加速化されたと考えていい。

4. おわりに

デジタル化社会において、インフラの計画、設計、施工、維持・管理の各ステージにおいて作成される情報が包括的に利用されるような環境づくりが求められている。デジタルアセットマネジメントは、このような情報フローの最後の部分を担う活動である。そこでは、計画、設計、施工の段階で作成された情報と維持・管理の段階で発生した情報を長期にわたっ

て活用し、アセットマネジメントの高度化を達成することが求められる。

情報はフローとして流れて役に立つ。しかし、インフラのライフサイクルを通じて発生する情報過程では、情報を作成する事業者と情報を利用する事業者が異なるという本質的な問題がある。情報を利用する主体にとって、いくら膨大な情報源が存在していても、役に立たない情報は、結果として役に立たない。情報フローの上流側の事業者がデータをデジタル化しない限り、デジタル化は進展しない。その一方で、あるべきデータの様式

やモード、コンテンツの内容や解像度は、データを利用する下流側のニーズにより規定される。このような上流・下流側のデジタル化のモチベーションや全体のデジタル化の進捗を管理することもデジタルアセットマネジメントの重要な課題であることを最後に指摘しておきたい。

こばやし きよし／京都大学名誉教授、同経営管理大学院特任教授、JAAM会長。京都大学・同大学院修了、工学博士。第106代土木学会会長。現在、内閣官房懇談会座長、国土交通省社会資本整備審議会、同交通政策審議会委員、日本学術会議会員、日本工学会フェロー等を務める。

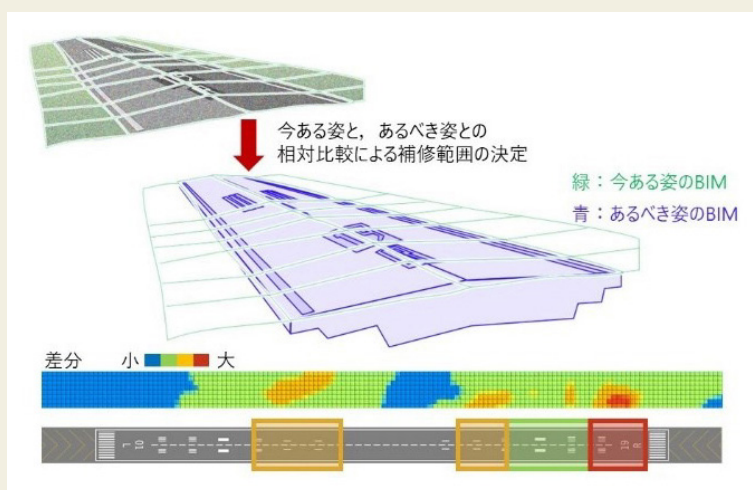


図6 空港舗装の自動化施工への適用