

トンネルの維持管理のための トレーサビリティシステムの開発に関する基礎的研究

A fundamental study about the development of the traceability system for maintenances of the tunnels

室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
(株) ジオスケープ 正員 須田 清隆 (Kiyotaka Suda)
室蘭工業大学大学院 ○学生員 堂守 真豪 (Shingou Domori)

1. はじめに

建設 CALS (Continuous Acquisition and Life-cycle Support) は、国土交通省が推進する電子政府の一環として策定されたフェーズ1からフェーズ4までのアクションプログラムで実現するものである。現段階ではフェーズ3まで実現されてきたが、フェーズ4で定義されている施工プロセスの見直しに踏み込んだ次世代 CALS は未だ実現されていないのが現状である。

建設 CALS の本来の目的は、従来の建設プロセスを分析 (BP: Business Process) して、複雑かつ多様なプロセスを単純化、統合化することで情報の流れを簡素化 (BPR: Business Process Reengineering) するとともに、建設活動で生産される情報の標準化と蓄積化、情報利用の共有化によって、生産効率を高めることである。

具体的には、GIS (Geographic Information System) や GPS (Global Positioning System) 等の高度情報通信技術を活用して、プロセスを構成する多数のカレントを簡素化し、かつカレント間の協働化を図って、従来の建設工程を大幅に見直すことである。

従来、トンネル工事の施工は地形や地質などの自然環境に大きく左右されるとともに、コンクリート施工時における品質管理、コンクリート養生での作業環境悪化や狭域空間での輻輳作業などの安全管理などに加えて、低炭素化社会に求められる環境配慮も必要になり、大量・多種・多様な情報の取得や管理のリアルタイム化や一元化が、品質保証、生産性向上、環境対策のためのキーポイントとなってきた。

そこで本研究は、実際のトンネル工事における品質管理の着眼点を事業者と施工者の立場をもって、施工段階の品質情報と供用後に必要になる品質情報を整理した上でトンネル事業をモデルとし、施工品質に必要な情報の収集から利用方法までを分析している。トンネル建設から維持更新までのプロセスで必要になる品質情報の評価と効果的な品質情報の利用環境として位置情報を持つ空間情報に品質情報を集約した高度情報化の有効性について検証するものである。その結果、従来の建設工程における施工情報の収集手法等の非効率性を改善とともに、地球環境時代に求められる情報化技術を活用した品質維持手法について提案するものである。

2. 情報化システムの変遷

1980 年後半には、空港造成工事における施工管理プログラムが開発され、企業者側が要求する品質管理基準

の日常報告としての労務、重機稼働、工事進捗図、週間報告としての数量管理、月例報告としての出来形管理を可能にし、作業別に施工情報の生成プロセスを分析した上で、施工情報の階層管理 (RDB) と品質管理基準の改善により、作業工程を短縮した施工現場の品質管理を可能としている。特に労務や重機稼働情報においては、企業者に報告する管理情報が生成する過程で、下請けから元請までの階層ごとの報告義務のある情報の生成プロセスを追跡分析したことにより、階層ごとの情報入力 of 二重作業を通信機能付ハンディコンピュータによる単一作業に改善 (コンカレント) と階層内での情報入力における共同作業 (コラボレーション) の実現により、図面や調書作成における作業時間を半減させる工夫が見られる。

1990 年前半には、大規模ダム建設事業において、原石山の採石工程 (施工プロセス) を分析した結果、地質と岩級と施工方法 (ベンチ掘削) に関係度の高い情報を評価 (ベンチ高、単位掘削量、歩留まり率) して、地山を3次元として捉え、一定のボリュームに加え、地質分類や歩留まり率などの属性をもった空間情報としての立方体群 (初期の3次元 GIS) を情報集積装置とする発想が生まれた。基準の体積を立方体に保有させ、施工数量の取り扱いを簡素化できたことで、施工管理における歩留まり率の向上とともに、最小掘削量による必要掘削量の確保を実現している。

その結果、1990 年後半の火力発電所造成工事では、初期の3次元 GIS に GPS や自動測距器を連携させて3次元形状データと地質情報を自動評価する CAD と GIS が融合した中期の3次元 GIS が開発され、形状管理や品質管理の自動化を図り、現場と企業者での情報共有を図ることで、現場での事務所作業の大幅削減を実現している。

3. 情報化技術の課題

本来、情報化施工は企業の差別化技術として、大手ゼネコンをはじめ中堅ゼネコンまで競って開発がされてきた中、国土交通省も建設 CAD、建設 CALS の推進を進めてきたが、現状では他の工業分野に比べ土木分野では、情報化技術が積極的に活用されていないのが現状である。その要因として考えられるのが、土木が扱う水や土等の素材は、不確かな事が多く、施工過程でその性質が変化することから、土木の特殊性として標準化が難しい業種であることと考えられる。また、土木に関わる業者のす

そ野が広く、分かりやすい品質管理基準の必要性から単純化が求められ、複雑な3次元の土木構造物を製造する場合でも、品質管理における形状管理を2次元で管理している。情報化、電子化を積極的に導入して生産効率を高める上で、設計・製造を一連の3次元管理を実施している自動車等の製造メーカーとの大きな違いと考え、土木の情報化技術の課題は、品質管理基準や契約方法等の制度的要因と置き換えることができると考えられる。

4. 事業者と施工者の品質意識の比較

土木事業の品質管理の実態や課題を評価するために、トンネル事業を対象にして事業者（国土交通省北海道開発局室蘭建設部）と施工者（在札ゼネコン）にヒアリングを実施した。ヒアリングの結果を以下に要約している。

ヒアリング調査結果から、施工者側は要求される施工品質としての品質管理の効率化を意識しているのに対して、事業者側は供用後の問題意識が高く、施工情報や品質管理情報が、品質情報としてコンクリートのひび割れ等に対する要因や原因に追跡・検証が容易にできる情報環境の整備への要求が強いことが確認できる。

4.1 維持更新時における品質面で問題となる事象

事業者が維持更新時における品質面で問題となる事象を以下に示す。

- 1) クラックの定期検査では経年的な観察と前年度の対する情報管理の継承が重要になる。
- 2) 遊離石灰の影響では、機能低下や安全性の損失が問題となる。

表－1 トンネル供用時における問題となる事象

問題事象		課題の抽出	改善要求項目
事業者 (北海道開発局浦河工事事務所・ 寒地土木研究所)	施工者 (参考)		
クラック	補修コンクリートの落下	構造機能の損失していく過程に時間を要するので、経過の観察が重要である。破壊や崩落の予防としての点検では点検者に対して影響または考慮する情報（周辺地盤や設計情報（安全率の余裕））の提供方法が課題になる。	・地質情報履歴 ・ひび割れの位置 ・状態の経過情報
覆工コンクリートは、施工品質的に設計通りの施工になっていることは大前提と考えており、信頼関係を裏付ける説明方法（見える化）に期待	吹付けコンクリートの表面が凸凹しているため生じる覆工コンクリートの巻厚のばらつき	施工者側の意識に経済性と効率性を求める姿勢が強い傾向があり、現場の不確かさが大きいところは効率性の追求で、品質面の問題を引き起こす懸念が大きい。時間経過の早さに合った管理方法が求められる。また、巻厚など実際の測定が不可能なものについては、施工者側の品質保証としての評価手法が求められる。	・施工者の施工進捗情報 ・計測管理 ・見える化手法
地下水変更や凍上等による地山の盤ぶくれ	凍上等の影響による盤ぶくれ	地山の安定化への配慮としての設計思想の認識が重要であり、従前の設計思想や地盤条件等、安全性の判断に必要な体系的化した情報の提供方法が必要である。	・荷重別安全率に対する寄与率施工状況情報

表－2 トンネル施工時における品質的課題

問題事象		課題の抽出	改善要求項目
事業者 (北海道開発局浦河工事事務所・ 寒地土木研究所)	施工者 (参考)		
吹付けコンクリートの品質	吹付けコンクリートの強度不足	吹き付けコンクリートの場合、施工状態とともに技能工の能力にも左右されることから、材料消費量や吹き付け時間などの管理と施工会社や技能者別の実態把握が必要になる。	・作業員記録 ・施工経過情報
アルカリ骨材等の材料検査	アルカリ骨材を使用した剥離・剥落	生コン購入等の工事の場合、生コン会社の使用している材料管理まで実施の必要性がある。施工会社とともに、関係会社の品質に対する保障を求めている。地域的特性も事業者には不安要因。産地が変わった場合は、試験成績表を再提出させている。	・空間情報管理 ・材料履歴情報
供試体を現場と試験室での強度比較	エアースランプ、圧縮強度、シュミットハンマー試験	品質管理情報は、大量に発生してくるため、通常は管理が困難な可能性がある。大量の情報を簡単に確認でき、保全できる仕組みが必要になる。事業者は提出された書類で未記入の場合は、その意場で聞き取りを実施している様に、品質情報には厳格に対応している。	・品質情報履歴
移動式セントルの機械誤差	打設中の移動式セントルの移動	機械捜査情報の管理方法に対する公開が必要である。	・機械稼働記録 ・位置情報履歴
塩害対策	塩害や凍結融解等	鉄筋や鋼材、採石等の管理において塩害の影響を受ける可能性に対して工作物とともに材料の管理にも配慮を求めている。	・使用材料情報

3) 漏水による影響では、大規模な崩落などの予兆確認を容易にする情報管理方法が必要になる。

4.2 トンネル供用時における問題となる事象

トンネル供用時における問題事象や課題の抽出、改善要求項目について表-1に示す。

4.3 トンネル施工時における品質的課題

トンネル施工時における問題事象や課題の抽出、改善要求項目について表-2に示す。

5. 空間情報（空間 GIS）

5.1 空間情報（空間 GIS）のコンセプト

本研究は、事業者側が求める維持更新での必要になる品質情報を施工者側の効率性を損ねることなく収集・蓄積・利用できる情報環境づくりとして、従来の二次元での品質管理の範囲で、事業者側が使いやすい空間情報等

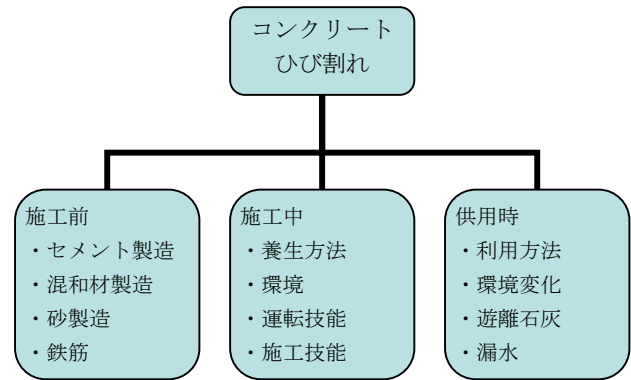


図-1 ひび割れ要因図

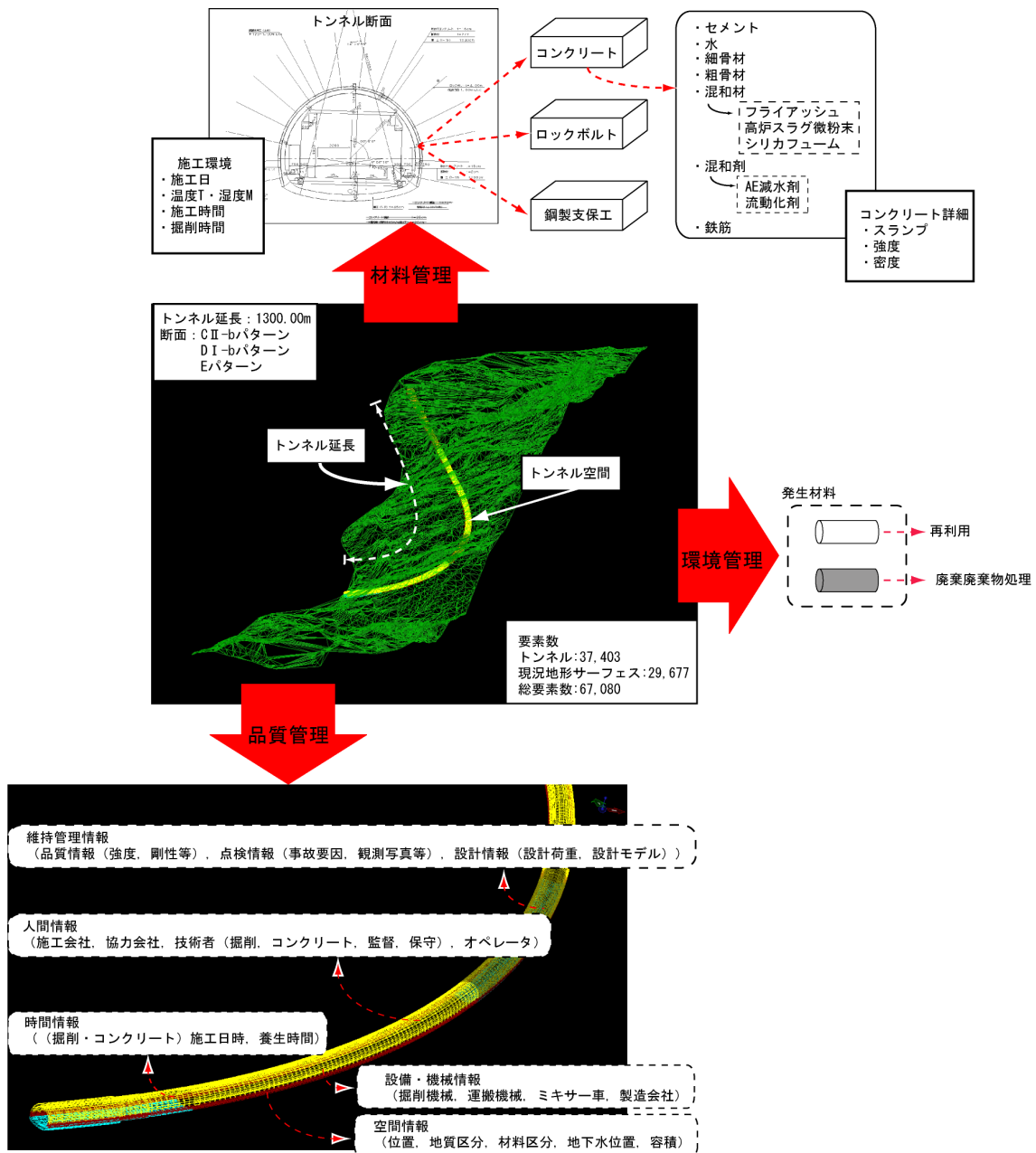


図-2 空間 GIS のイメージ

の活用方法である空間 GIS の可能性を検証するものである。

空間 GIS の特徴は、土木構造物の施工管理システムとして従来の設計情報である図面や書類の 2 次元情報によって品質管理されていたものを最初から 3 次元性の高い形状要素による品質管理基準を組み込んだことである。

本来、土木構造物は 3 次元性が高い性質を持っているのにも関わらず情報システムにおいては、空間情報としてあるべき施工情報が平面情報として代用されており情報システム上、施工情報の一元化や共有化を困難にしている原因となっていた。

そこで空間 GIS は、情報を形状と位置が定義されている立方体に、施工情報を集約するための一元化と通信技術とネットワークを活用し、施工者側にとっては工事現場の事象を実時間で評価できる仕組みづくりにより、技術者判断の迅速化と施工管理の精密化および技術情報の共有化・継承化を期待している。

5.2 空間情報のシステム概念

トンネル建設に対する業務分析を行った上で、供用時での機能維持に必要な品質情報を整理するために、維持管理面での品質的不具合要因をヒアリング等で確認した。不具合に関係する品質情報について建設前、建設中、建設後、供用中の建設過程で発生する品質的不具合の具体的事象（ひび割れ、水漏れ、強度不足等）についての品質情報との関係付けを行った。

具体的には、ひび割れの要因を施工過程で層別化して、空間 GIS として認識できる施工単位としての形状要素に、ひび割れ要因を情報として集積させた（図-1）。

5.3 空間情報（空間 GIS）の実験的検証

図-2 には、空間情報管理のシステム機能イメージを示している。

輻輳する多数の工種・材料を効率良く運営・管理するために、関連する工種を大きな枠組みの中で系統付けながら簡素化させる技術である 3 次元 GIS を用いて、現況地形からトンネル掘削による発生材料の廃棄物処理内容の把握し、トンネル空間で使用するコンクリートやロックボルト等の使用材料の詳細な情報の把握を行い、トンネル構造物の形状（施工管理、維持管理情報）の情報を管理することにより、環境対策、品質保証、生産性向上につながると考える。

5.4 空間情報（空間 GIS）のプロトタイプ

図-3 には、空間 GIS のプロトタイプを示している。なお、データ処理装置としては、通常のパソコン

（Windows XP）を使用し、モデル化には CAD システム（MicroStation V8 XM Edition）を使用、データベース作成にはデータベースソフト（Microsoft Office Access 2007）を使用している。

データベースの項目としては、工事情報（工期、施工業者名、監督官氏名、生コンクリート会社名、天候等）やコンクリートの配合情報（スランプ量、空気量、水セメント比、細骨材率、塩化物量等）、ブロック情報（受入検査、圧縮強度試験結果、テストハンマー試験等）がある。

本研究では、ヒアリング調査結果から維持更新時に必要となるコンクリートのひび割れ情報や遊離石灰、漏水

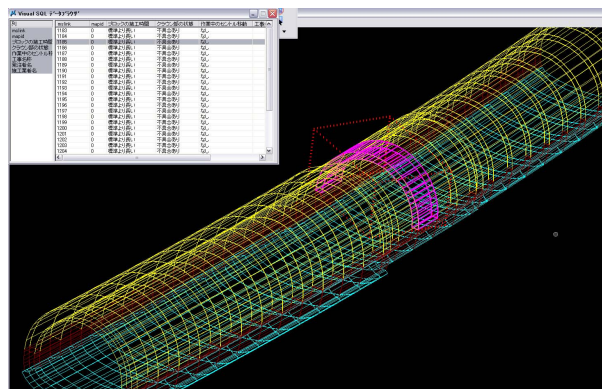


図-3 施工トレーサビリティのプロトタイプ

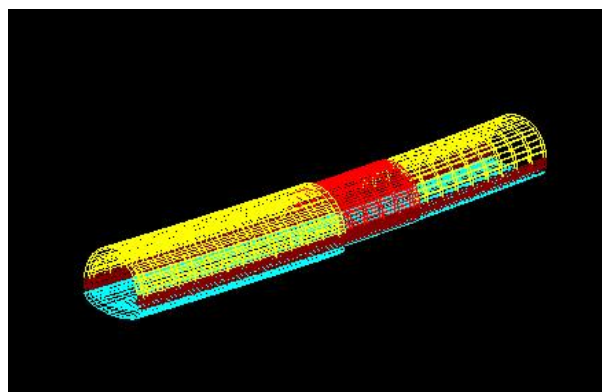


図-4 ひび割れ箇所識別表示

箇所を追加し、施工時の品質からは吹付けコンクリートの品質（材料消費量や吹付け時間等）、移動式セントルの機械誤差を情報として加えることとした。

このプロトタイプにより、図-4 で示すようにひび割れの異常が見られるブロックのクラウン部の識別を可能にした。

以上のことから、本システムを用いることにより、事業者側にとっては、供用後の維持管理で問題となる予防能力の向上や生産者責任として品質責任や環境責任を明確化するために、品質や環境などの負荷要因を追跡（トレーサビリティ）を容易にして維持管理に必要な予防予知能力の向上を期待している。

6. まとめ

本研究のまとめとして以下になる。

- 1) トンネル事業における品質管理項目とその要因を事業者、施工者でヒアリングにより品質管理意識の違いを評価した。
- 2) 空間上として三次元の形状要素に対する関連する品質管理項目に対する要因になる施工情報の集約の体系づけを整理できたことで、維持更新時での品質管理に必要な情報の追跡（トレーサビリティ）モデルを提案した。
- 3) 空間情報を取り扱う空間 GIS のプロトタイプを CAD システム（MicroStation V8 XM Edition）とデータベース（Microsoft Office Access 2007）を組み合わせて構築した。