

構造物現況形状データと設計データを用いた 品質確保と施工支援に関する技術の開発

遠藤 健¹・池野谷尚史²・倉爪亮³

¹東急建設(株) 技術研究所 メカトログループ (〒252-0244 神奈川県相模原市中央区田名3062-1)

²東急建設(株) 土木総本部 土木技術部 トンネルグループ (〒150-8340 東京都渋谷区渋谷1-16-14)

³九州大学 大学院 システム情報科学研究院 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744番地)

トンネル内空面を計測の対象とした移動式計測法を提案し、台車型の三次元形状計測装置を試作した。一方、取得した出来形の座標変換、三次元設計データの取得表示、さらに出来形情報と設計情報の即時比較照合を可能とするリアルタイム照合ソフトの開発を行った。両者を連携したシステム化によって、速度重視型の連続計測と精度重視型のステップ計測により実際のトンネルにおいてフィールドテストを実施した結果、三次元形状計測装置においてはデータ品質や計測時間の短縮など移動式計測法の有効性を示し、リアルタイム照合ソフトにおいては精度、即時性において所定の成果を得ることができた。

キーワード 建設ICT, 情報化施工, 三次元形状, 出来形計測

1. はじめに

近年、ICT（情報通信技術）を用いて高品質で高効率な施工を実現する情報化施工¹⁾が国策として推進され、公共工事における三次元データを活用した施工や施工管理の事例が多く報告されてきている。またCADソフト等も比較的安価ながら三次元設計機能を標準装備しているものが市場に出ており、三次元形状データを活用するための施工環境が徐々に整い始めている。一般に土木構造物は二次元の図面データを用いて施工および施工管理が行われているが、成果物が三次元の建造物である以上、三次元情報による設計データを基にした施工管理・品質管理が行われるのが合理的である。

今回、構造物の施工中の出来形確認における省力化、時短を目的として、三次元設計データに現況の三次元出来形データを突き合わせ、差異を即時に求め、その結果を分かりやすく表示するシステム（リアルタイム照合システム）の開発を提案した。なお、対象となる構造物はトンネルを選定した。理由は構造物としてのスケールが長大で形状の全数管理が困難であるという技術的課題が明確であること、一方、構造物としての形状が比較的単純で研究の対象として取り組みやすいためである。

図1は、トンネル構造物を対象としたリアルタイム照合システムの概念図である。対象となる構造物の三次元設計データは汎用CAD等により予め構築しておき、計

測した出来形データを設計の三次元データと逐次比較照合し、差異を展開図や断面図として表示する機能を持つ。

本稿では開発した三次元形状計測装置、およびリアルタイム照合ソフト、並びにこれらをシステム化し実施したフィールドテストについて報告する。

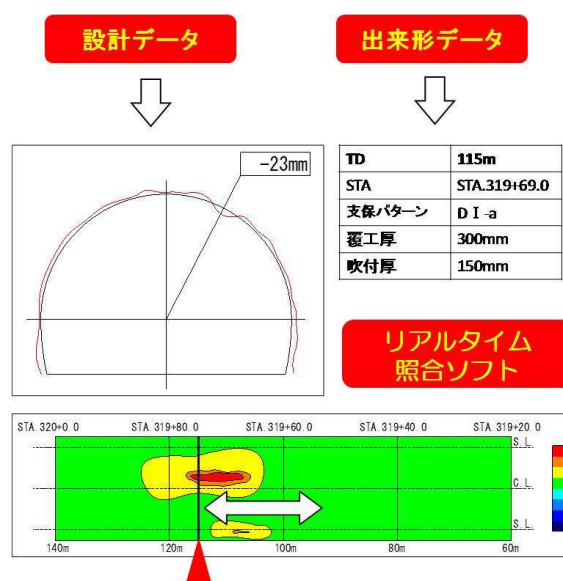


図-1 リアルタイム照合システムの概念図

2. 三次元形状計測装置の開発

図2は試作した三次元形状計測装置の外観と機器構成である。外部に設置した自動追尾トータルステーションの追尾機能によって台車上の全周プリズムの位置を常時計測する。同時に台車上の三軸姿勢センサで計測中の姿勢を常時取得し、逐次座標変換することで、レーザレンジファインダで得た照射点までの距離と角度から計測対象の三次元座標を求める。他に情報処理・表示のためのPC、電源装置等を備える。

図3は計測法のイメージである。左上の連続計測法は台車を移動して計測する速度重視型で、右下のステップ計測法は台車を停止させて計測する精度重視型である。

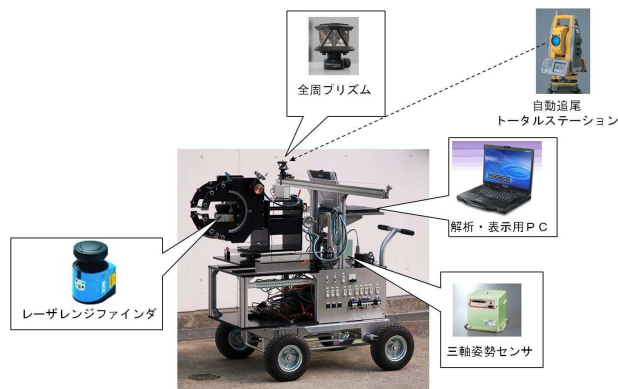


図-2 三次元形状計測装置の外観と機器構成

3. リアルタイム照合ソフトの開発

リアルタイム照合ソフトは、①三次元形状計測装置の各センサ制御、②センサ取得情報の座標変換と表示、③設計データの読み込み、④設計データと計測データの照合計算などの機能を果たす統合的なソフトウェアである。

図4はリアルタイム照合ソフトの構成図である。ソフト内では、「インターフェース」及び「プラグイン」と名付けた中間ライブラリの介在により同一のコードで多様な計測器類を制御することが可能である。これによって計測器の変更時には、計測器に応じたプラグインのみを用意することで対応できるよう拡張性を持たせた。

図5はリアルタイム照合ソフトのGUIである。鳥瞰図①は設計および計測データを三次元表示する画面である。展開図②は照合結果を差異の大きさに応じて着色し表示する。展開図内の任意の位置にマーカーを置くと、マーカー位置における計測データの断面が断面図③に表示される。またGUI下部④には各計測器のボタン類、メッセージボックスが配置されている。

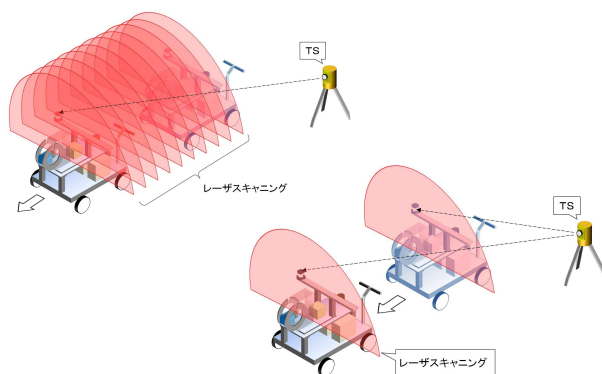


図-3 計測法のイメージ
(左上：連続計測法，右下：ステップ計測法)

4. 構造物の三次元設計データ

リアルタイム照合システムが計測時に必要な設計情報は構造物の仕上がり形状を表す面または点の情報である。本研究では、対象構造物の三次元CADデータがすでに用意されているケースを想定し、まずトンネル仕上がり面の三次元設計データを用意した。ただし、CADのデータ形式を直接利用することは困難なため、CADの三次元データを一度中間ファイル形式（以下LandXML形式）に変換し、これを保管し、必要に応じシステム側で読み込むこととした。なお、LandXML形式の採用理由は現行の情報化施工（マシンコントロール/マシンガイダンスなど）²⁾にこのファイル形式が採用されていることに準じたものである。

設計データをLandXML形式へ変換するまでの手順を以

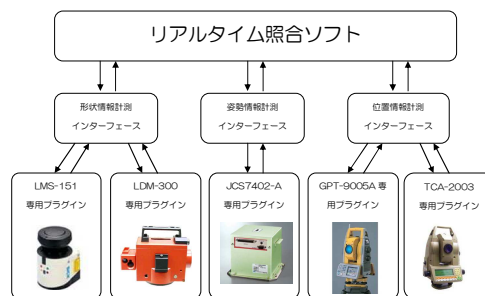


図-4 リアルタイム照合ソフトの構成

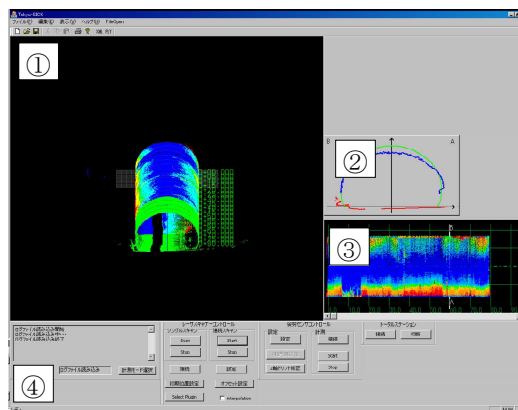


図-5 リアルタイム照合ソフトのGUI

下に記す。初めに三次元CADを用いてトンネルの線形や横断の形状を三次元で作図する。次にCADの付属機能を用いて作図したデータを不整三角網（以下TIN）化する。最後に同じくCADの機能を用いてより汎用的なデータ形式であるLandXML形式にエクスポートした。TIN化する際、オリジナルの設計情報はそのまま反映されず（例えば曲線は多角形表示となる）、大きくは点の位置と、点で構成する平面の情報になる。今回の設計では、曲線を多角形表示する際に、曲線の弧と多角形の折れ線の最大離隔が実長で1mm以下となるように点の配置に留意した。

5. フィールドテスト

(1) 模擬トンネルにおけるフィールドテスト

提案したシステムを用いた計測実験を（社）日本建設機械化協会施工技術総合研究所（CMI：静岡県富士市）内の模擬トンネルにて実施した。図6は模擬トンネルの外観である。



図-6 模擬トンネルの外観

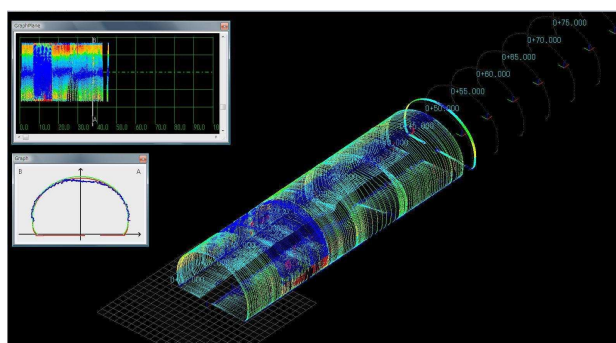


図-7 模擬トンネルの計測時のインターフェース画面

リアルタイム照合システムによる計測の結果、計測データの鳥瞰図・展開図・断面図が台車の移動に伴って逐次表示され、計測結果のリアルタイム評価が可能であることを確認した（図7参照）。

次に既存の出来形管理技術である光波距離計（以下、TS）と定置式3Dスキャナによる出来形計測を行った（図8参照）。図9はこれら既存技術とリアルタイム照合システムの計測結果の比較図である。また表1はTSの計測値を基準（出来形の真値に一番近いと仮定）として、定置式3Dスキャナとリアルタイム照合システムの計測値の平均値と標準偏差を導出したものである。



図-8 在来技術による出来形計測
(左：TS、右定置式3Dスキャナ)

延長80mの全線計測に要した時間は、定置式3Dスキャナが三箇所の盛替設置手間を含め135分であったのに対し、リアルタイム照合システムでは準備時間を含めて約10分であった。これらの結果から提案システムが既存技術に対して精度で大きく劣らず時短効果の大きいことが確認できた。

(2) 実現場におけるフィールドテスト

尾道・松江自動車道川尻トンネル工事（延長425mの二車線道路トンネル）の現場にてリアルタイム照合システムを用いた出来形計測実験を行った。図10はリアルタイム照合システムによる計測状況と計測データ、図11は比較用の定置式3Dスキャナによる計測状況と計測データである。延長425mを全線計測した結果、定置式3Dスキャナが8ヶ所の計測で計2日を要したのに対し、リアルタイム照合システムは計測で約15分程度を要し、準備を含めても30分以内であった。

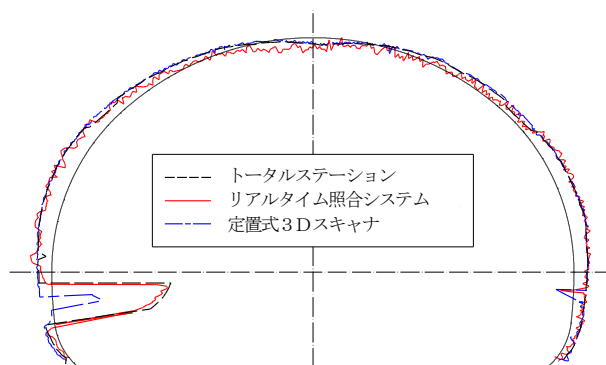


図-9 計測結果の比較（一例）
(差を10倍に拡大表示)

表-1 TSを基準としたときの計測値の評価

計測機種	平均値(mm)	標準偏差(mm)
定置式3Dスキャナ	2.60	6.57
リアルタイム照合システム	-6.66	8.98

図12は、川尻トンネルの測点No. 965+20～No. 967+40（延長220mの区間）において、3Dスキャナとリアルタ

リアルタイム照合システムの計測結果を、測点位置の設計断面に対する差の平均値と標準偏差について分析したものである。図によると、差の平均値はいずれも設計に対し±20mm程度の中に分布していることが分かる。また標準偏差は3Dスキャナに対し、連続計測法はややばらつきが大きく、逆にステップ計測法はばらつきが少ない傾向にあった。3Dスキャナについては、測定断面の位置によって計測データの粗密の分布差が大きく、特に粗な部分における計測データの品質が測定値のばらつきに大きく影響したと思われる。またリアルタイム照合システムについては、連続計測法は移動式計測のため各センサのデータ取得誤差の影響が大きく出たと考えられ、ステップ計測法は台車停止状態での計測のため誤差の影響が少なかったものと考えられる。

6. おわりに

本研究ではトンネル内空面の出来形計測をテーマに、移動式計測機能を持つ三次元形状計測装置の開発、および設計情報と取得情報の比較表示を行うリアルタイム照合ソフトの開発に取組み、計測から確認までを実現する一手法を提示した。またフィールドテストを実施し、移動式計測法の有効性を示すとともに、精度と即時性において所定の成果が得られたことを確認した。

今後の課題として、より厳しい環境下でのフィールドテストの実施、システム操作性や信頼性の改善、設計データ作成後のデータ交換方式の検討、三次元データを有効活用した出来形確認手段の導入、他の構造物への展開などがあげられる。

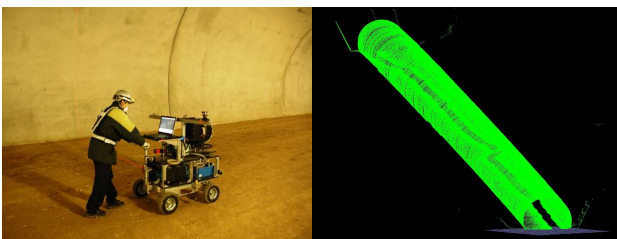


図-10 リアルタイム照合システムの計測状況と計測データ (右)



図-11 定置式3Dスキャナによる計測状況と計測データ (右)

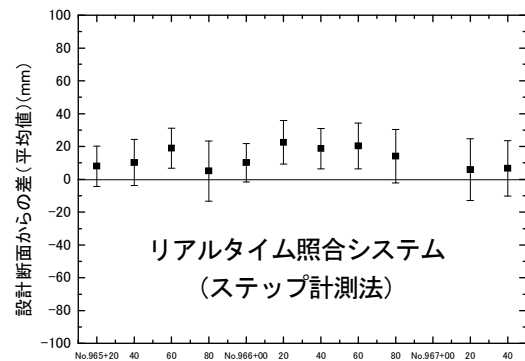
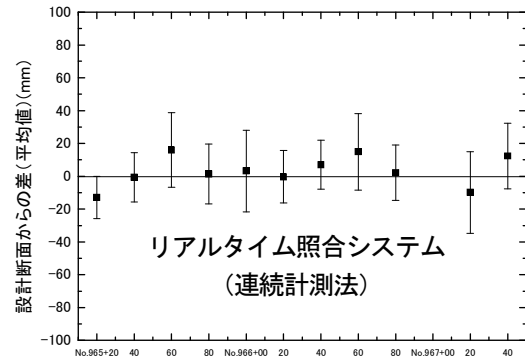
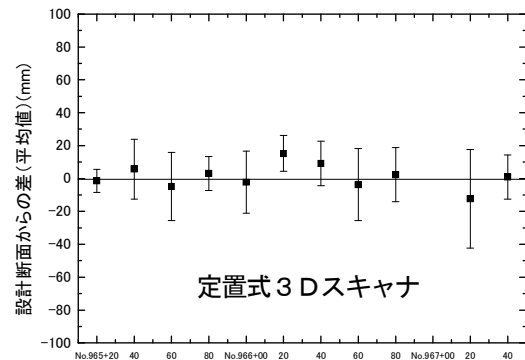


図-12 同一測点における3Dスキャナとリアルタイム計測システムの計測値の比較 (計測器設置点である測点 No. 967+00 を除く)

謝辞：本研究開発は平成21～22年度国土交通省建設技術研究開発助成制度（政策課題解決型）の補助金交付を受け実施した。協力いただいた関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省HP, 報道発表資料, 「情報化施工推進戦略」について, 2008.7
(<http://www.mlit.go.jp/common/000020669.pdf>)
- 2) 「ICTバックホウによる情報化施工要領(案)」, 建設ICT導入研究会/国土交通省中部地方整備局, 2009.3
(<http://www.cbr.mlit.go.jp/kensetsu-ict/model/pdf/BHyouryou.pdf>)