OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	デジタルツインを用いた非GNSS環境下の自動施工に関する研究
Author(s)	石田，仁
Citation	大阪大学，2025，博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/101672
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　石　田　　　仁　）	
論文題名	デジタルツインを用いた非GNSS環境下の自動施工に関する研究

論文内容の要旨

本論文は，建設工事における施工の自動化に関するもので，非GNSS (Global Navigation Satellite System)環境におけるデジタルツインを用いた施工の自動化手法を提案するものである．本論文は，以下に示す5章から構成される．

第1章では，研究の背景として，国内建設業の労働者不足に対する国土交通省の方策を挙げ，その中でGNSSの電波が受信できない建設現場では，高精度な位置情報が取得できないことによって，施工機械の自律的な移動や位置合わせが困難である点，自動施工を連続的かつ安全に実施するにあたって，現場状況の把握が必要である点を挙げた．また，研究の目的を，非GNSS環境下の自動施工の連続性の向上と，施工対象範囲の形状に応じた施工動作の自動作成，その周辺の有人，無人状態の管理による自動施工の効率化，安全性の確保であることを述べた．

第2章では，施工の遠隔化・自動化，複数の車両や施工機械の協調運転・協調作業，非GNSS環境下の自己位置推定手法に関する既往の研究をまとめ，非GNSS環境下における自動施工の実現と，デジタルツインを用いた自動施工の円滑化の観点において，本論文の新規性を示した．

第3章では，デジタルツインの構成を説明し，工種が入れ替わる中で施工の状況を把握し，自動施工を実施する方法論と，施工対象の地形形状が変化する中で自動施工を継続するための手法として，パラメトリックモデルを用いた施工形状の自動作成の方法論をまとめた．また，非GNSS環境下における位置推定手法と，工種が入れ替わる際の自律的な長距離移動の方法として，2D LiDAR (Light Detection And Ranging)によるSLAM (Simultaneous Localization And Mapping)を提案し，加えて山岳トンネル内でSLAMが使用できない場所が存在する点を指摘し，その場合の移動手法と．本研究で対象とする切羽コソク作業とインバート掘削について，人が介在せずに自動で施工位置に到達し，位置合わせを行う方法を述べた．

第4章では，第3章に記した方法論を実現場に適用し実証した．デジタルツインによる施工形状の自動作成については，設計モデルと施工中に取得した現況地形形状を用いて算出できることを解明した．山岳トンネル坑内の長距離の自律的な移動については，2D LiDARによるSLAMと障害物検知によって，施工位置に到達し，施工を開始できることを明らかにした．但し，セントル（移動型枠）等の特に狭い箇所を自動的に通過することはできないことを発見した．山岳トンネル坑内のLiDAR SLAMについては30～40 cm程度の位置推定誤差が生じることが判明したが，切羽のコソク作業については，切羽到達時に3D LiDARによる切羽形状計測に切り替え，切羽との相対位置で移動を行った．インバート掘削作業については，施工箇所に設置した標定点により正確な位置合わせに切り替えた．いずれも移動から作業に移る際にも支障が生じないことが明らかとなった．インバート掘削の自動施工の精度については有人運転に及ばず，仕上げ掘削や壁面部は有人運転が必要となったが，荒掘りについては自動化することで生産性向上に寄与することが判明した．デジタルツインにより現場状況を把握しながら自動施工を実施することにより，自律的な移動と施工位置合わせ，作業を継続するために必要な施工動作の自動更新を行うことができ，自動施工の連続性を向上することができることを示した．

第5章では，本論文の結論をまとめた．本論文で提案したデジタルツインによる自動施工の管理手法は，遠隔地からでありながら，人の目による従来の管理が実現でき，現在の現場の技術者にとっても自動施工を扱いやすいものとした．計画データの作成や出来形管理についても自動化することが可能となったことから，工種の切り替わりや施工場所の移動においても，無人化することが可能であることを示した．今後の課題として，自動施工の精度向上や，歩掛の向上，自動化する工種の拡大を進めるとともに，デジタルツインにより，現場状況の観測や事故予測など，現場全体の安全性向上を挙げた．

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（　石田　仁　）
論文審査担当者	（職）　氏　名 主 査　教授　矢吹　信喜 副 査　教授　紀伊　雅敦 副 査　准教授　福田　知弘

論文審査の結果の要旨

本論文は，建設工事における施工の自動化に関するもので，非GNSS (Global Navigation Satellite System)環境におけるデジタルツインを用いた施工の自動化手法を提案している．本論文は，以下に示す5章から構成されている．

第1章では，研究の背景として，国内建設業の労働者不足に対する国土交通省の方策を挙げ，その中でGNSSの電波が受信できない建設現場では，高精度な位置情報が取得できないことによって，施工機械の自律的な移動や位置合わせが困難である点，自動施工を連続的かつ安全に実施するにあたって，現場状況の把握が必要である点を挙げている．また，研究の目的を，非GNSS環境下の自動施工の連続性の向上と，施工対象範囲の形状に応じた施工動作の自動作成，その周辺の有人，無人状態の管理による自動施工の効率化，安全性の確保であることを述べている．

第2章では，施工の遠隔化・自動化，複数の車両や施工機械の協調運転・協調作業，非GNSS環境下の自己位置推定手法に関する既往の研究をまとめ，非GNSS環境下における自動施工の実現と，デジタルツインを用いた自動施工の円滑化の観点において，本論文の新規性を示している．

第3章では，デジタルツインの構成を説明し，工種が入れ替わる中で施工の状況を把握し，自動施工を実施する方法論と，施工対象の地形形状が変化する中で自動施工を継続するための手法として，パラメトリックモデルを用いた施工形状の自動作成の方法論をまとめている．また，非GNSS環境下における位置推定手法と，工種が入れ替わる際の自律的な長距離移動の方法として，2D LiDAR (Light Detection And Ranging)によるSLAM (Simultaneous Localization And Mapping)を提案し，加えて山岳トンネル内でSLAMが使用できない場所が存在する点を指摘し，その場合の移動手法と．本研究で対象とする切羽コソク作業とインバート掘削について，人が介在せずに自動で施工位置に到達し，位置合わせを行う方法を述べている．

第4章では，第3章に記した方法論を実現場に適用し実証している．デジタルツインによる施工形状の自動作成については，設計モデルと施工中に取得した現況地形形状を用いて算出できることを解明している．山岳トンネル坑内の長距離の自律的な移動については，2D LiDARによるSLAMと障害物検知によって，施工位置に到達し，施工を開始できることを明らかにしている．但し，セントル（移動型枠）等の特に狭い箇所を自動的に通過することはできないことを発見している．山岳トンネル坑内のLiDAR SLAMについては30～40 cm程度の位置推定誤差が生じることが判明しているが，切羽のコソク作業については，切羽到達時に3D LiDARによる切羽形状計測に切り替え，切羽との相対位置で移動を行っている．インバート掘削作業については，施工箇所に設置した標定点により正確な位置合わせに切り替えている．いずれも移動から作業に移る際にも支障が生じないことを明らかにしている．インバート掘削の自動施工の精度については有人運転に及ばず，仕上げ掘削や壁面部は有人運転が必要となっているが，荒掘りについては自動化することで生産性向上に寄与することが判明している．デジタルツインにより現場状況を把握しながら自動施工を実施するこ

とにより，自律的な移動と施工位置合わせ，作業を継続するために必要な施工動作の自動更新を行うことができ，自動施工の連続性を向上することができることを示している．

第５章では，本論文の結論をまとめている．本論文で提案したデジタルツインによる自動施工の管理手法は，遠隔地からでありながら，人の目による従来の管理が実現でき，現在の現場の技術者にとっても自動施工を扱いやすいものとしている．計画データの作成や出来形管理についても自動化することが可能となったことから，工種の切り替わりや施工場所の移動においても，無人化することが可能であることを示している．今後の課題として，自動施工の精度向上や，歩掛の向上，自動化する工種の拡大を進めるとともに，デジタルツインにより，現場状況の観測や事故予測など，現場全体の安全性向上を挙げている．

以上のように、本論文は環境エネルギー工学の発展に寄与すること大である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。