

氏名（本籍）	中村 智哉（埼玉県）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	乙第81号
学位授与の日付	平成29年9月13日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	函体推進・けん引工法における軌道・地盤変位に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 小宮 一仁 (副査) 教授 内海 秀幸 教授 鈴木 誠 立命館大学 客員教授 小山 幸則 (公財) 鉄道総合技術研究所 主任研究員 津野 究

学位論文の要旨

函体推進・けん引工法における軌道・地盤変位に関する研究

鉄道は都市圏の社会活動を支える重要な社会資本であり、軌道に道路が平面交差している場合が多く、市街地の拡大や周辺の自動車・歩行者交通の増加、鉄道の運行本数増大などに伴い、踏切遮断に起因する多様な問題が社会問題化している。例えば、大都市圏を運行する鉄道路線の通勤ラッシュ時は、列車の運行本数がきわめて多く、踏切の遮断時間が長い。このため、わずかに開いている時間に急いで通行することによる転倒事故や高齢者および幼児連れの親子などの歩行者は踏切が開いている間に渡りきれない状況になるなど、安全性の確保が喫緊の課題となっている。

これらの抜本的な対策として、歩行者の安全確保、道路交通の渋滞解消、鉄道の輸送力強化、総合的な街づくりによる都市の再生、活性化などを目的として、現在国等からの補助を受け、鉄道を横断する立体交差事業が全国的に行われている。

連続立体交差は、多額の費用を必要とする大規模工事であるため、事業主体や鉄道事業者など関係各所との調整などが複雑であることから、踏切除去に関する工事事例は必然的に単独立体交差が多い。また、オーバースタックについては、構造物による日照時間の低下や視野が遮られることにより、景観を損なうなどの問題から、近年ではアンダーパスが採用される事例が増えている。

線路下にアンダーパスを構築する工事では、工事桁工法と呼ばれる開削工事の施工法が一般的に用いられてきた。この工法は、工事桁と呼ばれる鋼材で軌道を仮受けしたのち、その下を開削することで線路下横断構造物を構築する施工法である。しかしながら工事桁工法は、工事費が安

価である一方で軌道内での作業が多く、また工事期間中は列車徐行が必要とされ期間が長くなるため、鉄道利用者の利便性を損なうなどの短所があった。これらのことから、近年では供用中の列車運行を阻害せずに線路下直角方向へ横断構造物（トンネル）を構築できる多くの非開削線路下横断施工法（以下、非開削工法）が開発され適用されている。

主な線路下施工法については、図-1 に示すように、非開削工法は立坑内で製作または、工場で製作したトンネルBOX（以下、函体）を線路下横断部に推進または、けん引設置する「函体推進・けん引工法」と、横断部に小口径の矩形鋼管を推進または、けん引設置し、その部材を連結することで本設構造物とする、「エレメント推進・けん引工法」に大別される。

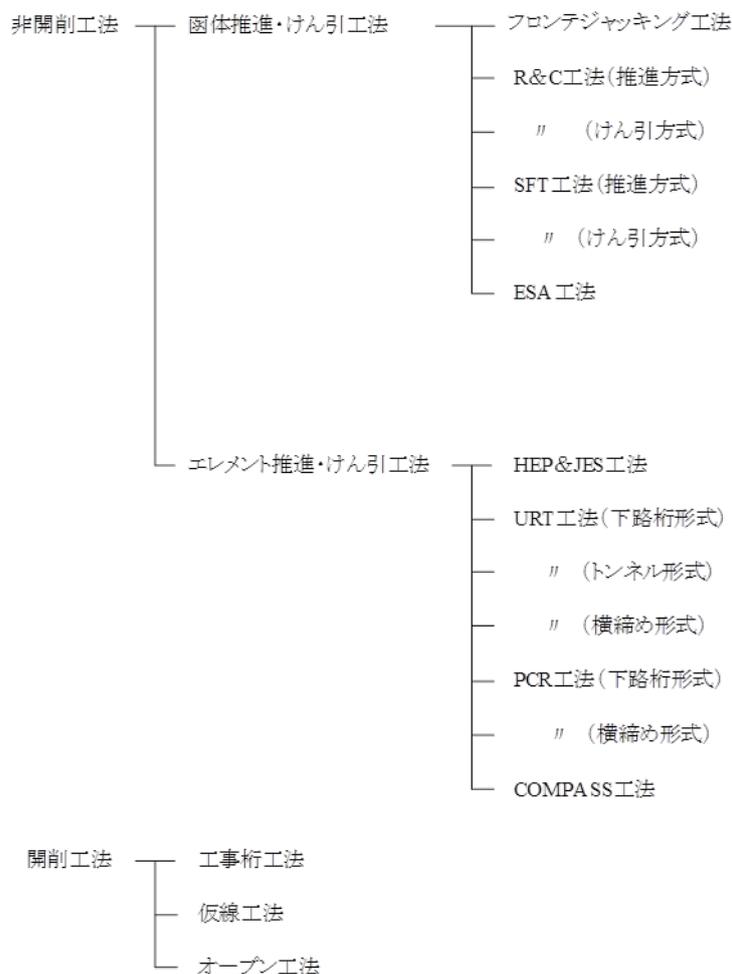


図-1 線路下横断施工法の分類

線路下での非開削工事は、接続する交差点までの取付道路計画の制約条件や、取付部の延長を短くすることで工事費を削減できるなどの理由から、小さい土被りで施工する事例が多く、施工時の軌道および、地盤変位が避けられないといった課題がある。

線路下横断施工法は、社会問題化している軌道と道路の平面交差に起因する諸問題を解決するための有効な方法であるが、小さい土被りで施工する事例が多いことから、施工時の軌道・地盤変位が発生することが避けられない。そこで本研究では、この地盤変位を抑制するために、非開

削工法において小土被りでの施工実績が多い代表的な施工法である函体推進・けん引工法をとりあげ、函体推進・けん引時における箱形ルーフと上部地盤の相互作用のメカニズムを実現象に則して検討し、箱形ルーフの出来形形状による地盤への影響を把握する。つづいて、施工時の地盤への影響を正確に予測する手法および、地盤への影響を回避する方法を構築することを目的とする。

本論文は、「第1章 序論」から「第6章 結論」までの6つの章で構成しており、以下に各章の概要を示す。

第1章は序論であり、研究の背景、本論文の目的および既往の研究について述べた。

第2章では、これまで中だるみした箱形ルーフ形状により地盤変位が発生することが経験的に知られていたが、そのメカニズムについては明らかにされていない。このことから、縮尺 1/8 スケールの実験装置を製作し、箱形ルーフ管の中だるみが上部地盤に及ぼす影響の考察を行い、経験的知見との比較を通して、地表面変位抑制のメカニズムを解明した。

第3章では、第2章での実験結果から鉛直方向の地盤変位のメカニズムは、箱形ルーフの剛体移動によるものであることが分かった。そこで鋼管上面の形状をモデル化し、函体推進直前の箱形ルーフの出来形形状を把握することで事前の地盤変位予測が可能となる簡易な計算手法を考案する。また、予測法に基づいた解析結果と第2章での実験結果との比較から地盤変位予測式の妥当性を評価した。

第4章では、鋼管の上面形状が傾斜角を維持した状態で水平方向に移動することで地盤変位が発生することに着目し、第2章で使用した実験装置を使用して新たな模型実験を実施した。ここでは、鋼管端部での高さ調整により鋼管の傾斜を緩和して推進することで、鉛直方向の地盤変位を抑制する効果を検証するとともに、考案した地盤変位予測法が鋼管の姿勢制御した場合で数値解析結果と計測値との比較により、鋼管端部での高さ調整を実施した際の地盤変位予測法の妥当性を評価した。

第5章では、函体推進工法の実現場において考案した地盤変位予測法による地盤変位のシミュレーションを行い、箱形ルーフ形状に合わせた端部での高さ調整（支点操作）による推進ステップごとの逐次的な対策を実施することで、地盤変位の抑制効果を検証した。

第6章では、「結論」として本研究で得られた結論を総括した。

審査結果の要旨

鉄道は都市圏の社会活動を支える重要な社会資本であるが、軌道に道路が平面交差している場合も多く、市街地の拡大や周辺の自動車・歩行者交通の増加、鉄道の運行本数増大などに伴い、踏切遮断に起因する多様な問題が社会問題化している。これらの抜本的な対策として、道路交通の渋滞解消、歩行者の安全確保、総合的な街づくりによる都市の再生、活性化などを目的として、現在鉄道を横断する線路下横断工事が多く実施されている。線路下横断工事は、小さい土被りで施工する事例が多いことから、施工時に軌道・地盤変位が発生することが避けられない。そこで工事を安全に行うためには、線路下横断工事に伴う地盤変位の発生メカニズムを解明し、地盤変位を最小に抑える施工法を開発する必要がある。本研究は、非開削工法において小土被りでの施工実績が多い代表的な施工法である R&C 工法をとりあげ、函体推進・けん引時における箱形ルーフと上部地盤の相互作用のメカニズムを明らかにした。さらに、施工時の地盤への影響を精度よく予測する手法および、地盤変位を抑制できる施工法を開発した。

本論文は以下の6つの章で構成されている。

第1章は序論であり、本論文の目的と構成および既往の研究について述べている。

第2章では、これまで中だるみした箱形ルーフ形状により地盤変位が発生することが経験的に知られていたが、そのメカニズムについては明らかにされていない問題点を解決するため、縮尺1/8スケールの実験装置を製作し、箱形ルーフ管の中だるみが上部地盤に及ぼす影響の考察を行い、経験的知見との比較を通して、地表面変位抑制のメカニズムを解明した。実験結果から、鉛直方向の地盤変位のメカニズムは箱形ルーフの剛体移動によるものであることが明らかになった。

第3章では、第2章で得られた知見に基づき、鋼管上面の形状をモデル化し、函体推進直前の箱形ルーフの出来形形状を把握することで事前の地盤変位予測が可能となる簡易な数値解析法を提案した。また、予測法に基づいた解析結果と第2章での実験結果との比較から提案した数値解析法の合理性を示した。

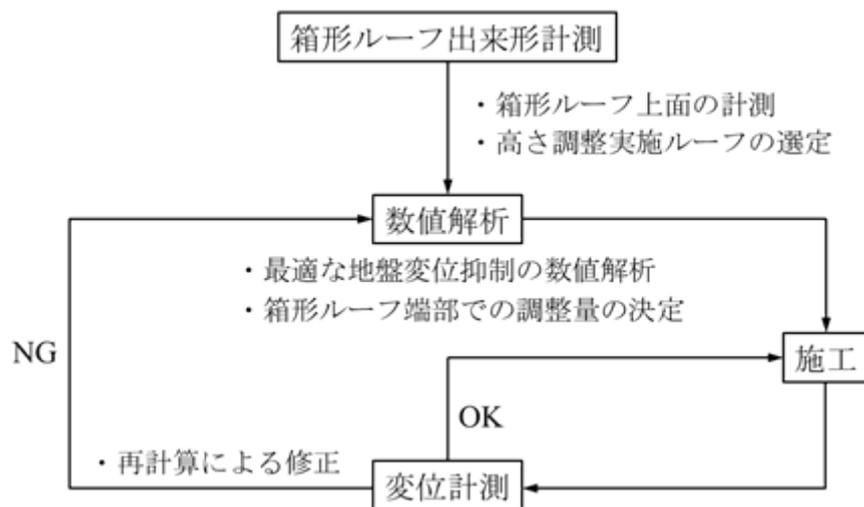
第4章では、鋼管の上面形状が傾斜角を維持した状態で水平方向に移動することで地盤変位が発生することに着目し、鋼管上面の傾斜角を水平に近づけることにより、鉛直変位の抑制を試みた。まず、鋼管端部での下方への高さ調整により鋼管の傾斜を緩和し、提案した数値解析法を用いて上部地盤の鉛直変位を予測した。また、解析結果に基づき明らかにした、鋼管の姿勢制御した場合の地盤変位と、数値解析と同じ制御を行った模型実験結果との比較から、数値解析によって、地盤変位抑制のための鋼管端部での高さ調整の仕方を、数値解析によって予め決めることが可能であることを示した。

第5章では、実際の函体推進工法の現場において、数値解析による地盤変位の予測と地盤変位計測を併用した、地盤変位抑制制御を行い、箱形ルーフ形状に合わせた端部での高さ調整（支点操作）による推進ステップごとの逐次的な対策を実施することで、地盤変位が抑制できることを

示した.

第6章は、結論であり、本研究で得られた知見を総括した.

本論文の研究成果は、線路下横断工事に伴う地盤変位の発生メカニズムの解明ならびに地盤変位の予測と低減に関して極めて重要な知見を与えている. また、これにより下図に示すような、①数値解析による予測、②地盤変位を抑制する制御、③変位計測（モニタリング）、④施工の妥当性の検証、⑤修正を組み合わせた最適化施工を可能とするものとして工学的価値が高い.



以上より、本論文は博士（工学）の学位請求論文として価値あるものと認める。