

# PLG 方式地上コイルのケーブル配線施工性検証

高橋 紀之\* 鈴木 正夫\*

## Construction-related Inspection of Cable Wiring of Ground Coil Type of PLG

Noriyuki TAKAHASHI Masao SUZUKI

With respect to the superconducting maglev system, there is a ground coil (a PLG coil) to perform three functions of propulsion, levitation and guidance which the R.T.R.I has developed for construction cost reduction by way of reduction of the number of coils. On the other hand, for this coil type of PLG, it is necessary to constitute a guidance circuit by connecting facing coils with a high voltage cable, thus making cable connection complicated and intricate. Therefore we manufactured a guide way model in order to examine how to reduce the wiring. Then, in order to verify the construction easiness of this optimal wiring system obtained by this examination, we performed a test by an actual size model. As a result, we found the necessary area of the section of a duct line. Further we identified the necessary length of the connection cable, the appropriate wiring procedure and the effective wiring layout. Then, we got the prospect that the cable wiring of the PLG could be undertaken without a problem based on this test result.

キーワード：浮上式鉄道，地上コイル，ケーブル，PLG方式，施工性

### 1. はじめに

磁気浮上式鉄道において、軌道の全線に亘って敷設される地上コイルは、長期屋外使用が前提となるばかりではなく、膨大な数が対象となる。従って、地上コイルの開発においては、安定した性能と高い信頼性の確保と同時に、安価なコイル製作や施工にかかわるコストを低減することが求められている。

鉄道総研で開発を進めてきた、推進・浮上・案内の機能を一つに集約した地上コイル<sup>1)</sup> (combined Propulsion, Levitation and Guidance system, 以下、PLG方式地上コイル) は、コイル数の低減や取り付け構造の簡素化などによるコスト低減が見込める一方、高圧化されたヌルフラックスケーブルを敷設する必要があるなど、図1

に示すようにケーブル接続が複雑化する。このため、実際のケーブル敷設を検討するための施工性検証試験を行う必要がある。

PLG方式地上コイルは、これまでに一度図2に示すように、山梨実験線に敷設し、試験を行ったことがある。しかし、

- (1) 既設ガイドウェイに加工を施しての敷設であり、特殊条件であること
- (2) コイル敷設個数は左右で計4個と少なく、営業線レベルの連続敷設には対応していない

など、施工性検証には対応していない面が多々あった。

このため、実物大レベルでの施工性検証を行う前に、ケーブル敷設順序や長さなど、確認しておくべき項目が

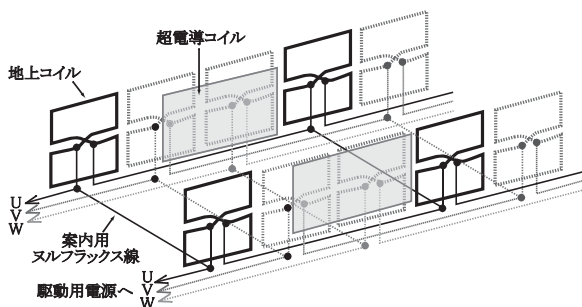


図1 PLG方式のケーブル構成

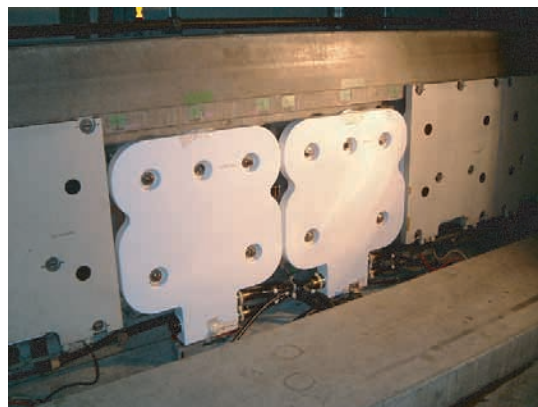


図2 PLGコイル試験状況 (山梨実験線)

\* 浮上式鉄道技術研究部 電磁路技術研究室

特集：浮上式鉄道技術と在来方式鉄道への応用

多くある。

ここでは、実物大での施工性検証に先立ち、ガイドウェイ模型を製作し、実際の配線の検討を行った後、実物大規模の模擬ガイドウェイによる施工性検証を行ったので、その概要・結果について報告する。

## 2. 模型による事前確認

### 2.1 模型製作検討

#### 2.1.1 本体部の検討

実物大での検証では、検証できるパターンや範囲に限られる。また、予め模型により必要となるケーブル長さや施工手順等を検討したほうが効率よく検証効果が確認できるため、スケールダウンした模型による事前確認を行うこととした。縮尺については1/10とし、線路方向に12コイル分敷設できる長さとした。床板（走行路盤）については、斜め方向の配線も検討できるように、走行路盤と管路出口壁面に相当する部分は透明の部材とし、管路入口となる部分にφ15mmの穴を45mm間隔（地上コイルの半分の間隔）で開けた。側壁については、ビーム方式と呼ばれる、台座を介して側壁が固定されるタイプとし、台座部分のケーブル引き回しの検討が行えるように、左右2分割で1ビームあたり6コイルが取り付け構造とした。地上コイルはマグネットを使って側壁に取り付ける構造とし、側壁側を若干凹ませて所定位置に固定できるようにした。このコイルは裏表逆に取り付けることも可能である。これにより、コイル端子部の端子構成が左右逆のパターンも検証可能となり、より多くの施工パターンの検討が可能となった。模型全体のイメージを図3に示す。

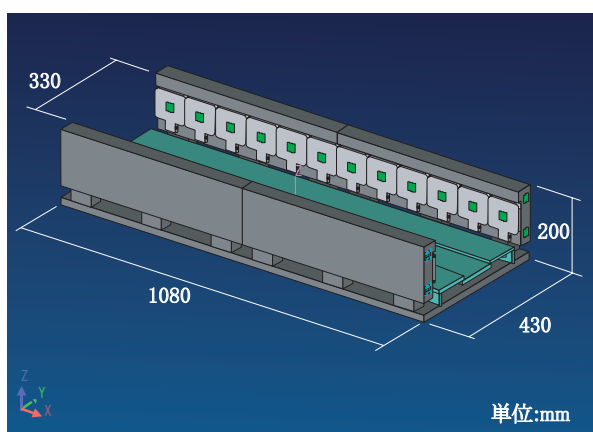


図3 模型の全体イメージ

#### 2.1.2 ケーブル部の検討

ケーブルに要求される内容として、ある程度の可とう性と簡単に折れないしなやかさ、縮尺に見合ったケーブル径があり、接続コネクタ部については脱着が容易であること、簡単には外れないことが求められる。これらの

要求される条件をもとに、1.25mm<sup>2</sup>LFV（鉛フリービニル）ケーブルにコネクタピンタイプを装着したものを採用することとした。ピンとケーブルには各色あるため、今回は3色を用意し、相ごとに色を分けて検証しやすくした。

### 2.2 模型による検討

製作した模型を用いて、以下のような検討を行った。

#### (1) 同一側壁内推進コイル接続ケーブル長さの検討

もっとも標準的となる同じ相の間を接続する方法である。図4に示すように実際の配線イメージで敷設した後、ケーブルを直線にして全長を測定した。この検討による長さは300mmとなった。

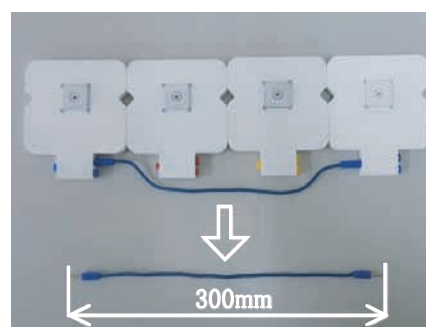


図4 接続ケーブル長さ検討

#### (2) マルフラックスケーブル長さの検討

図5に示すように、実際の配線イメージで敷設した後、ケーブルの全長を測定した。マルフラックス管路入口などで制約を受けるケーブルの可とう性については、治具を用いて、無理な曲げ半径にならないよう考慮した。この検討による長さは600mmとなった。

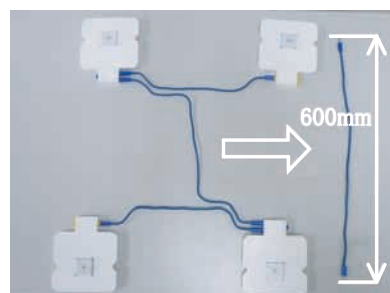


図5 マルフラックス長さ検討

#### (3) コイル下部分のケーブル引き回し検討

上記(1)のケーブルと(2)で検討したケーブルが組み合わさった場合、その構成はかなり複雑になる。実際のケーブル敷設を想定し、ケーブル同士の位置関係（奥か手前か、どこで交差するか）施工順序等を検討・確認した。ビーム方式の場合、先に上記(1)の施工を行った後、(2)の施工を行うことになるため、その順序に従った引き回しを行った。本模型を使った引き回し検討の様子を図6に示す。

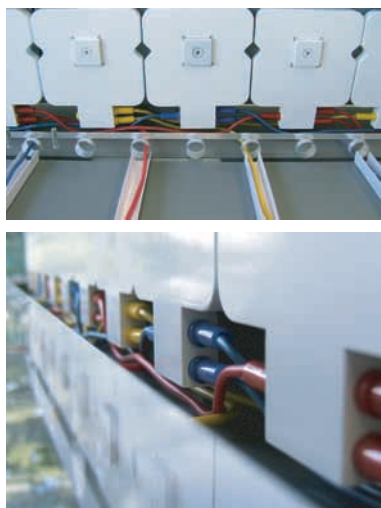
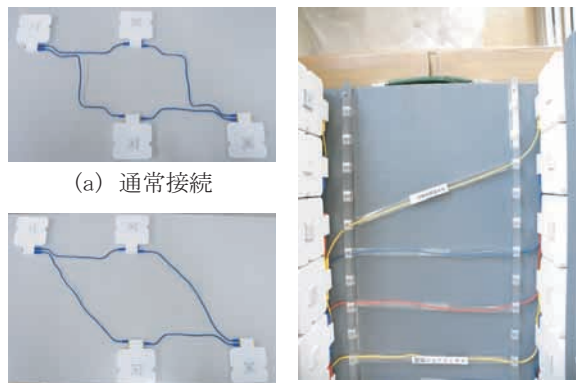


図6 接続ケーブル長さ検討

(4) 斜め管路を使った場合のケーブル配線検討

ヌルフラックス線を短くする方法として、図7 (b) に示すような管路を斜めに配置する方法がある。これは、管路出口でのケーブルの曲げ半径の制約を受けにくくするメリットもある。一方で、走行路下の管路部分が長くなり、ケーブルを引き出す際の施工性に問題が生じる可能性もある。本模型では、図7 (c) のようにその配線を行い、イメージの把握を行った。



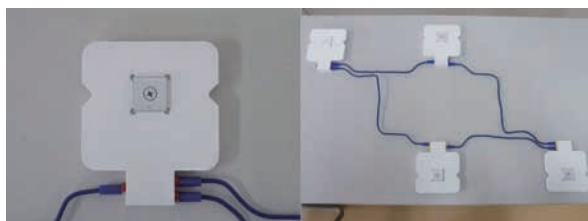
(a) 通常接続 (b) 斜め接続 (c) 引き回し検討  
図7 斜め配線検討

(5) 左右対象コイルを用いた場合の配線検討

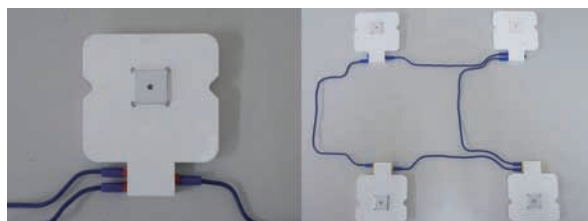
現状の同一種類のコイルで配線を構成する図8 (a) に対し、図8 (b) に示すように、走行路両側で端子部分が左右対称のコイルを製作し取り付けられた場合、ヌルフラックス回路をコンパクトにまとめることができる。本模型では、その配線を行い、イメージの把握を行った。

(6) セクション終端の検討

セクション終端は、通常のパターンと異なり、ガイドウェイ外に引き出す配線となるため、管路や引き回しなどを別途検討する必要がある。ここでは、図9に示すように、外部から供給される各相のケーブルのガイドウェイ外への引き出し・引き回し方法を確認した。



(a) 通常タイプ



(b) 左右対称タイプ

図8 左右対象コイルと接続検討



図9 ガイドウェイ外引き出しのパターン

3. 模擬ガイドウェイの製作

実物大模擬側壁については、ビーム方式と呼ばれる台座を介して側壁を固定するタイプを参考とし、コイル間寸法や走行路間幅、コイル取付位置などは実仕様と等価としている。外観を図10に示す。全長約8m、全幅約4mで、地上コイルが片側あたり8個並べられる。構造は鉄筋コンクリート製だが模擬側壁のため実際の車両反力は考慮せず、使用した鉄筋も普通鋼としている。走行路盤は平滑面とし、路盤下にヌルフラックス管路を地上コイルと同じ0.9mピッチで凹凸の付いたFEP管（波付硬質合成樹脂電線管）を埋設している。開口部は図11に示すように開口部にRを設けたベルマウスタイプ（A）のほか、大きさの違う2種類のラップ形状（小：B、大：C）とした。地上コイルは片側に各6個ずつ取り付けられた。開口部B、Cの形状寸法を図12に示す。



図10 施工性検証用模擬側壁

特集：浮上式鉄道技術と在来方式鉄道への応用

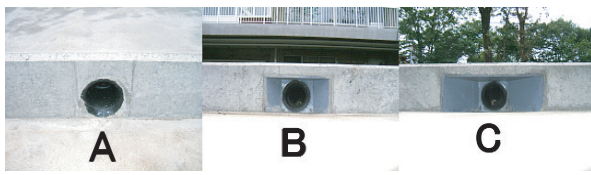


図 11 管路開口部形状 (3種類)

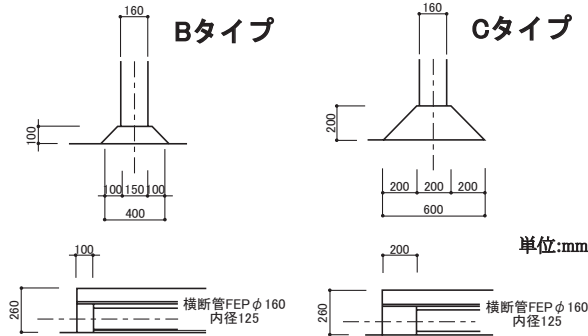


図 12 開口部形状寸法

4. 模擬ガイドウェイによるケーブル敷設施工性確認<sup>2)</sup>

4.1 ケーブル長さ検討

コイル間接続ケーブル長さは、①相間標準渡りケーブル (線路方向・図4参照)、②ヌルフラックス接続ケーブル (枕木方向・図5参照)、③その他 (アプローチケーブル、セクションエンドなどの特殊長さケーブル) に大別される。

ここでは、はじめに片側のみコネクタを組み込んだ長めの接続ケーブルを用意し、もう一端を敷設したコイルに接続し、もう一端が接続される位置を確認し、ケーブル長さを決定した。ヌルフラックスケーブルは配線時に必要となる曲げ半径 (最小曲げ半径 360mm) を考慮した。この結果、相間渡り標準ケーブル長は 2700mm、ヌルフラックスケーブル長は 5700mm となった。

4.2 ケーブル敷設施工性確認

4.1 項で検討した長さのケーブル 8 本 (相間用 6 本、ヌルフラックス用 2 本) と既製品ケーブル 7 本を加えた 15 本を用いて、実際にケーブル接続を行い、ケーブル敷設の施工性確認を行った。施工パターンはセクション境界特殊接続 (パターン A)、セクション内通常接続 (パターン B) について行った。

4.2.1 パターン A

パターン A のケーブル接続図を図 13 に示す。はじめに相間用ケーブルを接続し、その後ヌルフラックスケーブルを接続した。なお、既製ケーブルは長さが合っていないため、片側のみコネクタ接続を行い、もう片方は敷設・引き回しは行ったがコネクタ接続は行っていない。

相間用ケーブル接続後の状況を図 14 (a) に、ヌルフ

ラックス接続後の状況を図 14 (b) に示す。いずれのケーブルも、ほぼ想定された位置となり、両端の接続にも問題はなかった。

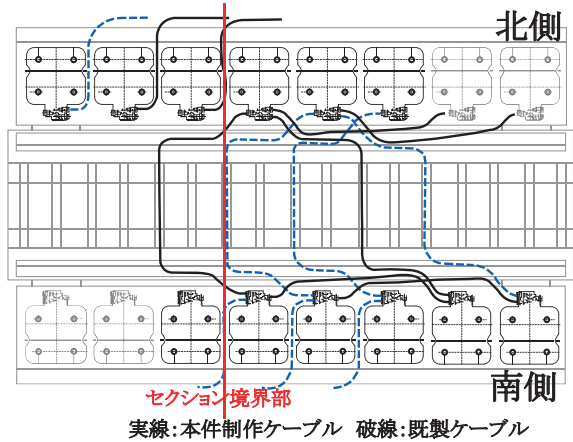


図 13 パターン A 接続図



図 14 ケーブル接続状況 (パターン A)

4.2.2 パターン B

一部の相間ケーブル接続はそのままとしてパターン A からパターン B への配線変更を行った。ヌルフラックス接続で、配線経路が異なるケーブルについては、一旦管路からケーブルを抜き、改めて引き回しと接続を行った。パターン B の接続図を図 15 に示す。

作業を行うにあたり、パターン A に比べ、ケーブル同士が交錯する箇所が多いため、作業中一時的にケーブルの曲げ半径が小さくなることがあった。(瞬時の過大曲げ施工は特に問題はない)

なお、実施工時においては、相間ケーブルはヤード等で予め接続が行われ、後に現地でヌルフラックス接続を

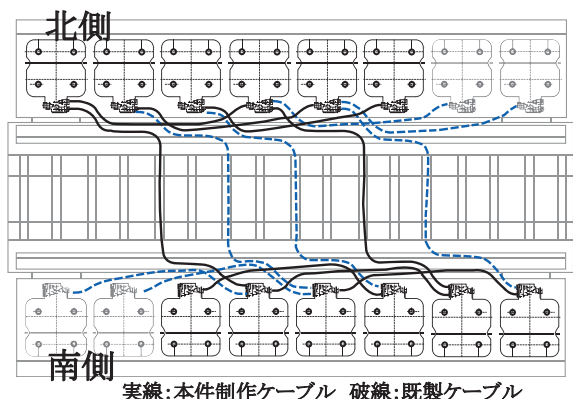


図 15 パターン B 接続図

行うことが想定されるため、ここでは南側の接続については図16 (b) に示すような、コネクタ上側にヌルフラックス接続、下側に相間接続とし、比較検討を行った（その他の箇所は図16 (a) に示すように上下接続が逆になる）。その結果、相間ケーブルとヌルフラックスケーブルとがコネクタ近傍で交錯する箇所が多くなり、配線に難があり、クリート固定箇所・方法に更なる検討が必要であることがわかった。

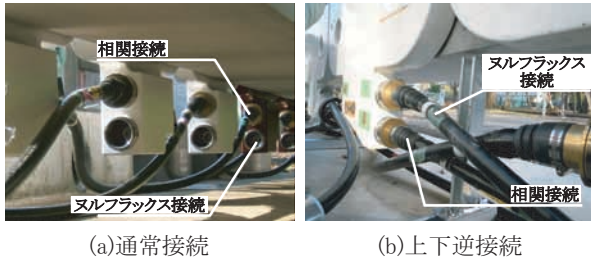


図16 コイル接続部検証

#### 4.3 ケーブルクリート固定

接続ケーブルをある程度の間隔で固定することは、ケーブルの振動を抑制し、コネクタ部への過度な負荷を与えないためにも重要である。このためケーブルクリートの固定についても各種方式を適用して検討を行った。

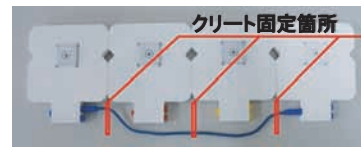
ケーブルの固定間隔については、山梨実験線を参考に、最大でもコイルピッチである900mmを標準とし、それより短い間隔になるよう検討した。基本的にはコイル間とヌルフラックス開口部からおよそ45度ケーブルが曲がった地点とした。相間接続用のクリート位置を図17 (a) に、ヌルフラックス線のクリート位置を図17 (b) に示す。コイル間の固定は、路盤からスタンドを立てて、リング状の金具で固定する方法とし、図18 に示すような一括での緊縛固定やケーブル毎にクリート固定するなど数種類の方式について取付確認を行い、いずれの方法であっても概ね所定の位置で固定が可能であった。なお、これらに使用される部材は、調達容易性とコスト低減を考慮し、全て電工材として市販されている部材を使用した。

#### 4.4 施工性検証における確認内容

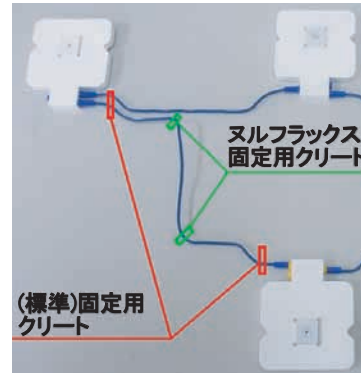
今回の施工性検証における検討結果をまとめた。

##### (1) ヌルフラックス管路開口部

図19 に示すように、作業性向上とケーブル曲げ半径の制約から開口部を大きく広げたが、結果的にはベルマウスと呼ばれる縁にRの付いた開口部でも、十分な作業性と曲げ半径を確保できた。ケーブルの曲げ状況を見ると、どの開口部形状でも、曲げ半径に大きな違いは認められないことがわかる。但し、次項(2)に示す内径のFEP管を使うことで、開口部である程度の角度をもって引き出すことができるので、内径の小さい管路を使う場合には曲げ半径の検討が必要となる。



(a)相間接続用クリート位置



(b)ヌルフラックス用クリート位置

図17 ケーブル固定箇所



(a)一括緊縛固定



(b)ケーブル毎単独固定



(c)ヌルフラックス線床面固定

図18 ケーブル固定状況

特集：浮上式鉄道技術と在来方式鉄道への応用

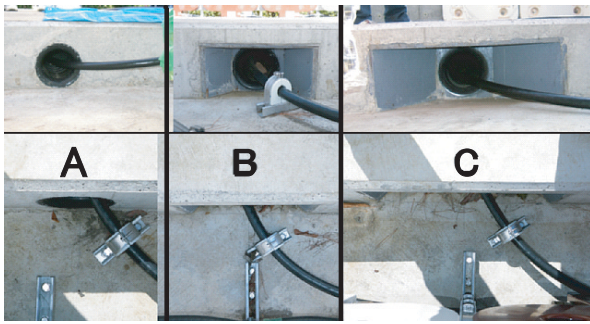


図19 ヌルフラックス線開口部敷設状況

(2) ヌルフラックス管路

今回は図20に示すような、外径160mm、内径125mmのリップ構造のFEP管を使用した。従来、ヌルフラックス管路はFRP製の直管（一部リップ構造の管路）を使用していたが、引き通しの際の抵抗が大きく、作業しにくい（力を加える必要がある）面があった。今回のタイプは素材が滑りやすいこと、かつリップ構造でケーブル表面と管路との接触が少ないため、抵抗が少なく非常に作業がし易くなることが確認できた。実際の敷設状況を図21に示す。PLG方式に限らず、リップ構造のFEP管路を用いることは作業性改善には有効かと思われる。



図20 ヌルフラックスケーブルと採用したFEP管



図21 ヌルフラックスケーブル敷設状況

(3) 接続ケーブル用引張治具

ヌルフラックス管路引き通しの際のコネクタ部の保護と引き出し作業改善のため、図22に示すような接続ケーブル用引張治具を製作・使用した。コネクタ部への装着は、コイル接続時と同じ方法として部品点数の削減と、作業内容の共通化により扱いやすいものとした。先端には穴を設け、ここにワイヤー等のメッセンジャーを設けることで、引き通し作業時に引張作業が容易にできるよう工夫し、実際の施工でも、上記の工夫が非常に有効に



図22 端子部保護カバーと使用状況

働くことを確認した。

5. まとめ

模擬側壁を用いて、主に接続ケーブルの配線手順、配線方法に主眼を置いたPLG方式地上コイルのケーブル配線施工性検証を行った。得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 接続ケーブルの必要長さ、ならびに配線手順と配線方法を確認した。
- (2) ビーム方式と呼ばれる、実施工を模擬したガイドウェイ構造の場合、大きな構造変更を伴わなくても接続ケーブルの敷設は可能であることを確認した。
- (3) ヌルフラックス管路について、 $\phi = 125\text{mm}$ のFEP管で十分な施工性を有していることを確認した。
- (4) ヌルフラックス管路の開口部について、ラッパ状の開口部にしなくてもベルマウスと呼ばれる周囲にR形状を用いた部材の適用で、十分な施工性とケーブルの曲げ半径を確保できることがわかった。
- (5) ケーブル敷設時に、コネクタ部の保護と引き出しを兼ねた保護金具が有効に機能することを確認した。
- (6) ケーブル固定位置についてクリート・固定部材等を用いて施工し、概ね適正と思われる箇所を確認した。
- (7) 本検証により、PLG方式を採用した場合にも現状のガイドウェイ構成から大幅な変更をしなくても施工が可能であることを確認した。

なお、本研究は国土交通省からの国庫補助を受けて実施した。

文献

- 1) 村井敏昭：推進・浮上・案内を兼用するリニア同期モータの特性，電気学会論文誌，Vol.114-D，No.7/8，pp.746～747，1994.7/8
- 2) 高橋紀之，鈴木正夫，饗庭雅之：PLG方式地上コイルのケーブル施工性検証，土木学会第66回年次学術講演会概要集，pp307～308，2011.9