

## 新幹線位置補正用地上子の高速化対応の基礎研究

New Shinkansen Position Correcting Ground Coil for Further Speed Increases



橋本 直樹\*



林 貴文\*\*



藪部 正和\*



加藤 尚志\*

We are developing a new ground coil that can handle future speed increases of the Shinkansen. In order to cope with speed increases, it is necessary to expand the response distance of the ground coil. Also, in winter, the ground coil may be damaged by falling snow blocks from running Shinkansen trains. And we are concerned that damage to the ground coil may increase with faster-running Shinkansen trains. Therefore, in this research, we are investigated measures to expand the response distance of ground coil and measures against by which we can avoid snow damage. As a result of this research, it was proved that the supply of external power is effective for expanding the response distance, and the change of the position of the ground coil on the countermeasure against snow damage was effective.

●キーワード：技術革新（高速化）、トランスポンダ、位置補正用地上子、次期新幹線システム

### 1. はじめに

新幹線は列車自身の位置情報を認識して走行しており、その位置情報の補正の為にトランスポンダ地上子を約3kmに1個の間隔で駅間に設置している。現状の位置補正用地上子（以下、現行地上子）の対応速度は仕様上350km/h以下となっており、新幹線のさらなる高速化を目指すにあたって、対応速度を向上させる必要がある。

また、冬期は高速走行列車からの落雪により地上子が破損する事例があることから、地上子の前方を防護する等の雪害対策を実施している。しかしながら、破損を完全に防ぐことはできておらず、雪害に強い地上子が求められている。

本研究では、350km/h超の新幹線の高速化に対応し、かつ雪害に強い地上子を開発するための基礎研究を実施した。

### 2. 現行地上子について

図1に現行地上子の外形図、表1に主な仕様を示す。現行地上子の対応可能な速度は350km/h以下となっており、地上子は常に4電文以上を車上子に送信できるように設計されている。

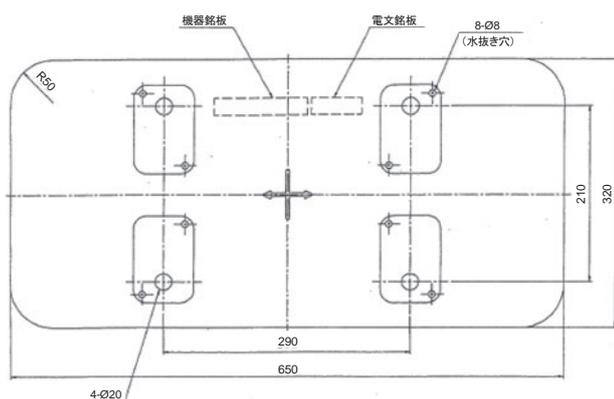


図1 現行地上子（外形図）

表1 地上子-車上子間伝送仕様

| 項目         |             | 仕様             |                                |
|------------|-------------|----------------|--------------------------------|
| 伝送手順       |             | HDLC準拠         |                                |
| 使用周波数      | 地上子→車上子（情報） | 1708±32kHz     | データ1: 1676kHz<br>データ0: 1740kHz |
|            | 車上子→地上子（電力） | 757kHz         |                                |
| 電文長        | 地上子→車上子（情報） | 80(48)bit以上    | ( )内は情報部                       |
| 変調方式（伝送速度） | 地上子→車上子（情報） | FSK (64kbit/s) |                                |
|            | 車上子→地上子（電力） | 無変調            |                                |

#### 2.1 地上子の取付位置

図2に現行地上子の取付位置を示す。レール頭頂面と車上子の距離は225mm、地上子上面はレール頭頂面から0mm～10mmの範囲となっている。そのため、地上子と車上子の距離は最大で235mmである。

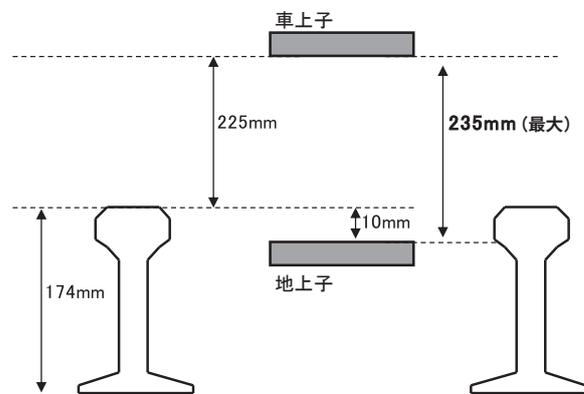


図2 現行地上子の取付位置

#### 2.2 地上子の応動距離

地上子は車上子からの電力波により電力の供給を受け、内部電圧が一定値以上になると車上側に電文を送信する。この送信開始から送信終了までの通信可能な範囲を「応動距離」と呼び、図3に概念図を示す。

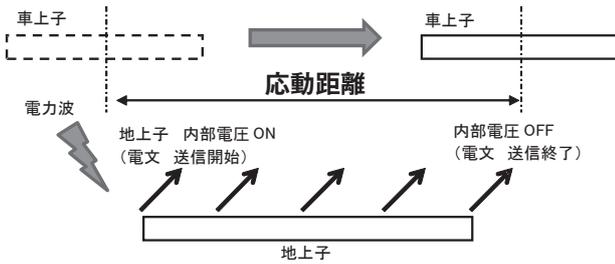


図3 応動距離

列車速度 (V mm/s) で必要となる地上子の応動距離は、以下の式により計算される。

応動距離

$$=V \times (5 \text{電文送信に必要な時間}) + 30\text{mm} \quad \cdots \text{式(1)}$$

- ・仕様上は4電文以上が必要だが、1電文の余裕を考慮して5電文としている
- ・30mmは地上子内部電圧が安定するまでの距離を加算している
- ・電文送信に要する時間の内訳は図4のとおりである  
(①立ち上がり時間、②電文送信時間(約1.4ms)×5電文、③電文間の時間×4)

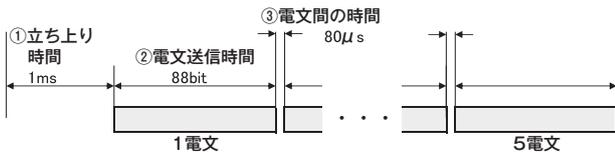


図4 電文送信に必要な時間の内訳

式(1)による応動距離の計算値を表2に示す。高速化の目標速度としては、ある程度の余裕を見込み400km/hに設定した(現在の最高速度は320km/h)。400km/hの高速化に対応するためには、計算上962mmの応動距離が必要であり、350km/h対応の現行仕様と比較して応動距離を114mm拡大する必要があることが判明した。

表2 地上子の応動距離(計算値)

| 速度             | 応動距離(計算値) |
|----------------|-----------|
| 350km/h(現行仕様)  | 848mm     |
| 400km/h(高速化対応) | 962mm     |

現行地上子の実力値を把握するため、応動距離の実測を行ったところ、表3のとおり応動距離の実測値は855mmであった。表2の350km/hに対応できる応動距離(計算値)と比較すると現行の仕様を満たしているが、400km/hの高速化対応(962mm)に対して不足することが明らかとなった。

表3 地上子の応動距離(実測値)

| 対応地上子        | 応動距離(実測値) |
|--------------|-----------|
| 350km/h(現行品) | 855mm     |

### 3. 高速化対応方法の検討

高速化に対応するためには応動距離の拡大が必要であり、その方法は現行地上子の仕様を踏襲する方法と新たな仕様を開発する方法に分けられる。

#### 3.1 現行仕様に基づく検討

通常、地上子は車上子からの電力波による電力の供給を受けることで発生する誘導起電力により動作していることから、地上子の応動距離は地上子の内部電圧が大きく影響している。このことから、電力波以外で内部電圧を発生させる仕組みができれば、電圧の安定時間を軽減でき、応動距離の拡大が可能となる。そこで、外部からの電源供給による応動距離の拡大について検討した。

図5に検証に用いた装置構成を示す。外部より5Vの電圧(地上子内部電圧相当)を常時供給し、応動距離の測定を行った。

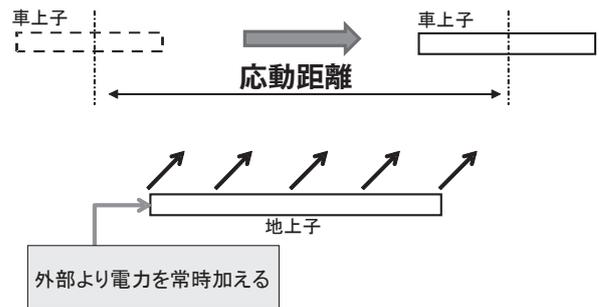


図5 外部電源による応動距離

表4に供給電圧5Vにおける応動距離の実測値を示す。外部から電圧5Vを供給することにより応動距離は1017mmとなり、現行品に比べて162mm応動距離を拡大させることができた。

表4 供給電圧と応動距離

| 供給電圧             | 応動距離(実測値) |
|------------------|-----------|
| なし(現行仕様)         | 855mm     |
| DC 5V(外部電源・常時動作) | 1017mm    |

#### 3.2 新たな仕様に基づく検討

表5に新たな仕様による高速化対応の項目を示す。地上子、車上子のサイズアップにより応動距離の拡大が考えられるが、設置方法や設置位置の検討が必要となる。また、伝送方式や電文内容の変更し式(1)の各定数を変えることにより必要な応動距離を短くできるが、車上側の改修が伴うため工期やコストの増加を考慮する必要がある。

表5 高速化対応の検討

| 項目           | 改修範囲             | 内容  |
|--------------|------------------|---|
| 地上子のサイズアップ   | 地上子              | 応動距離を拡大するために地上子のサイズを変更する                                  |
| 車上子のサイズアップ   | 車上子              | 応動距離を拡大するために車上子のサイズを変更する                                  |
| 伝送方式、伝送速度の変更 | 地上子・車上子          | 現状のFSK変調、64kbpsを変更し、伝送速度を上げる(電文フォーマットは変更しない)              |
| 電文内容、電文長の変更  | 地上子・車上子・車上データベース | 電文フォーマットを見直し、電文長を短くする(地上子からは最小限の情報を送り、車上側にキロ程等のデータベースを構築) |

## 4. 雪害対策の検討

列車の台車部分等に雪が付着したまま走行した場合、振動や温度変化等によって走行中に付着した雪塊が落下することがある。新幹線では、高速走行している列車からの落雪により、設備が破損・飛散する事例が数多く発生している。

図6に、落雪により破損した地上子の例を示す。この例では地上子の一部が破損しているが、場合によっては、地上子、取付金具の全てが破損することもある。

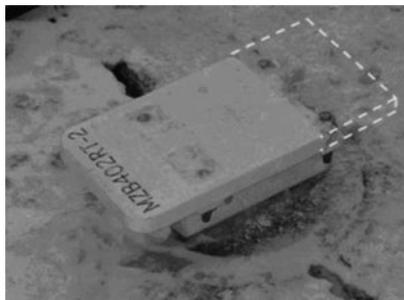


図6 落雪により破損した地上子

### 4.1 現行対策

図7にスラブ軌道における現行の雪害対策を示す。列車進行方向から落雪が衝突すると想定し、衝突面に三角形の防護物を取り付け、落雪が地上子に衝突する影響を軽減する仕組みである。

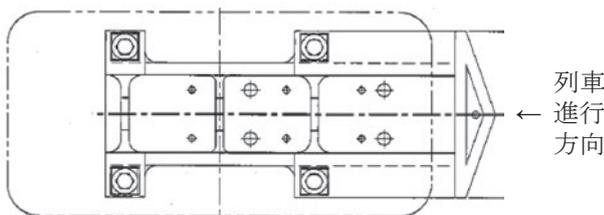


図7 雪害対策 (スラブ軌道)

図8にバラスト軌道における現行の雪害対策を示す。スラブ軌道と同様に列車進行方向から落雪が衝突すると想定し、地上子の前にゴム製のブロックを取り付け、落雪が地上子に衝突する影響を軽減する仕組みである。

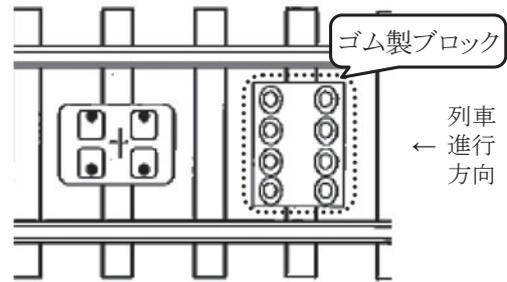


図8 雪害対策 (バラスト軌道)

### 4.2 高速化に伴う対策の強化

現行の雪害対策は一定の効果を挙げている。しかしながら、高速走行時の落雪は、防護物や防護ブロックを破壊するほどの威力があり、地上子の破損を完全に防げていない。今後、新幹線の高速化に伴い、運動エネルギーは速度の2乗に比例することから、さらに被害が拡大する恐れがある。

そこで今回検討した雪害対策は、前方を防護するのではなく、強大なエネルギーを持つ落雪との衝突を可能な限り回避する方針とした。図9に新しい雪害対策のイメージを示す。落雪との衝突を避けるために、地上子の取付位置を下げ、雪と衝突する確率を下げるものである。

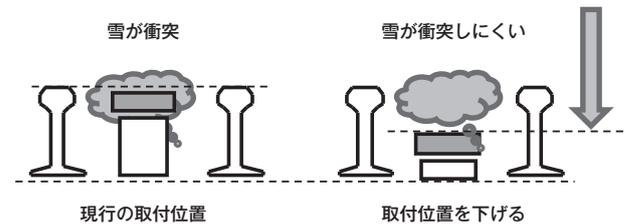


図9 新しい雪害対策のイメージ

## 5. スラブの影響調査

新幹線の大部分はスラブ軌道であり、地上子の取付位置を下げた場合、スラブ内の鉄筋により地上子-車上子間の無線伝送に悪影響が生じる可能性が考えられたため、実際のスラブを用いて影響を調査した。

### 5.1 スラブ試験の方法

スラブ試験はスラブの種類 (AF-57、A-51C、A-55M、AF-55Cの4種類) と場所を変えながら以下の2種類の方法で測定を実施した。測定箇所は図10に示す6箇所であり、スラブ部分だけではなく、スラブ突起部や枠型スラブの穴あき部の中心でも測定を実施した。

- ①車上子の位置を固定し、地上子をスラブに近づけながら測定
- ②車上子と地上子の間隔を235mmに固定した状態で、スラブに近づけながら測定

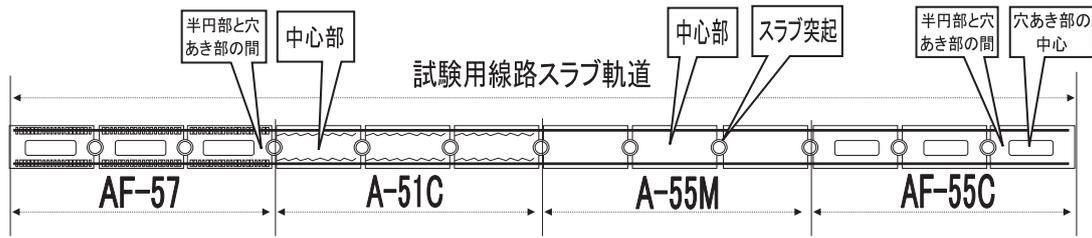


図10 測定箇所

## 5.2 スラブ試験の結果

代表的スラブであるA-55Mにおける測定結果を以下に示す。A-55Mのスラブ突起部とスラブ中心部において、車上子の位置を固定し地上子の位置をスラブに近づけた時の誘起電圧の値をグラフにしたものが図11である。スラブ突起部と比較してスラブ中心部の電圧が低くなっている。

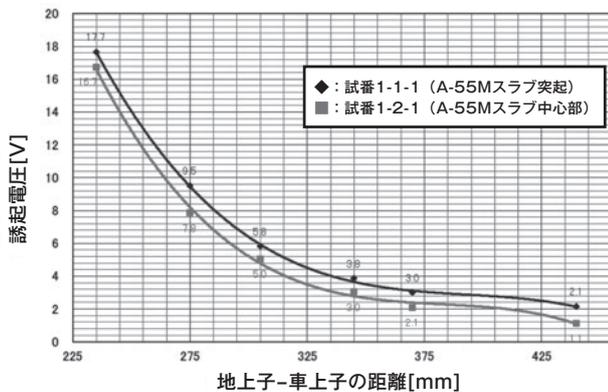


図11 車上子の位置を固定した場合の誘起電圧

A-55Mのスラブ突起部とスラブ中心部において、車上子と地上子の間隔を235mmに固定した状態でスラブに近づけた時の誘起電圧の値をグラフにしたものが図12である。間隔が一定であるため周囲の影響が無ければ測定結果は一定の値を示すはずであるが、特にスラブ中心部においてはスラブに近づくと誘起電圧の値が顕著に低下していることから、特にスラブの中心部ではスラブの影響を受けているものと考えられる。なお、この傾向はスラブの種類によらず同様の結果であった。

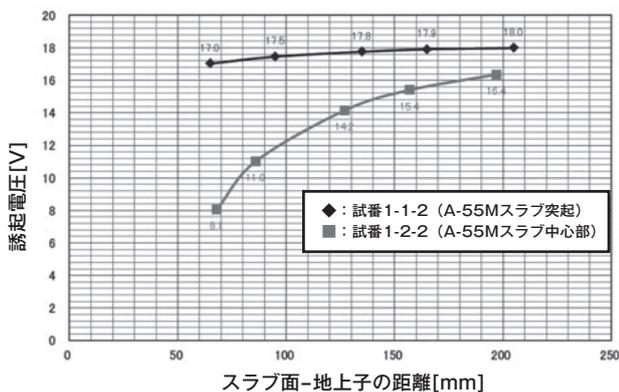


図12 間隔を固定した場合の誘起電圧

スラブの種類によりコンクリートの被りの厚さが異なることから、試験結果を鉄筋と地上子間の距離を横軸にしてグラフ化したものが図13である。スラブ中心部では鉄筋との距離が近づくにつれて急激に誘起電圧が落ち込んでいる。スラブ突起部に取り付けた場合と同じ誘起電圧になるのは鉄筋との距離を260mm以上離れた場合であり、スラブ中心部の場合、取付位置を下げる余裕は殆ど無いことが判明した。一方、スラブ突起部の場合は、鉄筋との距離が175mm付近まで顕著な誘起電圧の低下がみられず、取付位置を下げられる余地のあることが判明した。

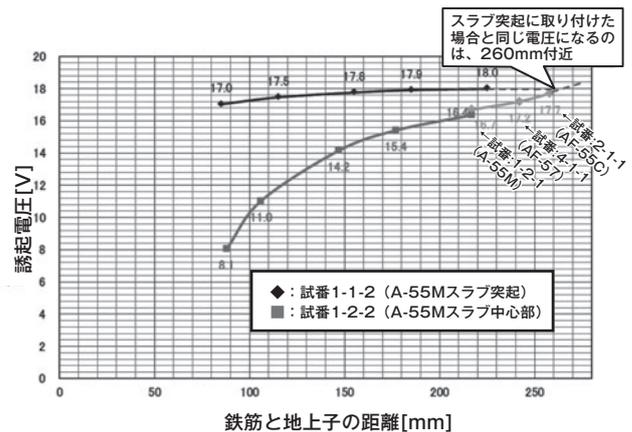


図13 鉄筋と地上子上面間の距離との誘起電圧

## 6. おわりに

本研究では、新幹線位置補正用地上子について、高速化に対応させるための方法と雪害対策のための方法について検討を行った。検討の結果、高速化に対応させるためには外部から電力を供給するか、地上子のサイズや通信方式の変更を行うことによって対応できる可能性があることが示された。また、雪害対策として取付位置を現行より下げることによる影響を調査した結果、スラブ中央部ではスラブ内の鉄筋の影響が大きく、下げることは困難であるが、スラブ突起上であれば下げても影響が少ないことが判明した。

今後は、これらの検討・調査結果をふまえ、高速化に対応する新たな位置補正用地上子の試作を行うとともに、取付位置の検討の深度化を図っていく予定である。