

応急復旧用インピーダンスボンドの開発

Development of the assembly impedance bond



野口 隆文*



鈴木 雅彦*



加藤 尚志*

This paper shows the outlines and future development of “the assembly impedance bond (following, ZB)” which is comprised of some parts. ZB is part of the track circuit, which is used for detecting a train. So, we have to quickly recover the track circuit failure caused by trouble of ZB, but ZB is heavy. We developed the assembly ZB in order to carry fast and to exchange quickly. As a result, we aim to quickly recover the track circuit. We produced the assembly ZB experimentally and will carry out various examinations for practical use in future.

●キーワード：軌道回路、帰線電流、応急復旧

1. はじめに

インピーダンスボンド（以下、ZB）とは、列車検知を行う軌道回路を構成する設備である。ZBは閉そく境界などに設置しており、列車検知用の信号電流と帰線電流を区分する装置である。よって、ZB故障が発生すると、列車検知が行えず、信号機に進行を現示できなくなり、大きな輸送障害につながってしまう。

ZB故障を回復するためには、装置交換を行う必要がある。しかし、ZBは鉄心やコイルで構成されており、非常に重い。そのため、通常ZBの運搬には機力を使用するが、人力で運搬を行う場合は多大な時間を必要とする。そのため、故障復旧時間が長くなり、輸送障害への影響が大きくなることがある。

2. ZBの故障事例

2013年の夏、首都圏で軌道回路故障が発生した。故障復旧のため交換用のZBを故障発生箇所近傍まで運搬することはできたが、移動が困難な沿線まで運搬するには作業員の増援が必要であった。そのため、故障発生箇所近傍から実際の故障箇所までの運搬に約2時間程度を要し、故障復旧ならびに運転再開に長時間を要してしまった。

上記の故障事例を鑑み、ZB故障時の運転再開を早期に行う方法を検討した。

検討の一つ目は、ZBを軽量化して運搬を容易にすることである。しかし、ZBのコイルや鉄心などは、成熟した技術により製造されているため、劇的な軽量化は難しい。

そこで次に検討したのが、応急的なZBに交換して故障を仮回復し、運転を再開させ夜間の最終列車終了後に、応急的なZBを正規品に取替え本復旧を行うという方法である。この応急復旧を行うZBに関するコンセプトは以下のとおりである。

1. 軽量であること

移動が困難な場所での運搬を可能にするには、軽量である必要がある。そこで、ZBを部品ごとに分解して運搬することとし、各部品の重量を30kg以下とした。

2. 組立が容易であること

早期に交換作業を終えるためには、分解した部品の組立は容易でなければならない。そこで、組立が容易な構造とすると共に、締め付け部分の構造のシンプル化を行うこととした。

3. 降雨に耐えられること

応急的なZBの使用は屋外であるため、降雨にも耐えられる必要がある。しかし、ZBの機能・性能が維持できるのであれば、防水性を有する必要は無いとした。

以上のコンセプトを基に、「組立型インピーダンスボンド」を開発することとした。

3. 組立型インピーダンスボンドの開発

3.1 ZBとは

ZBは閉そく境界などの絶縁部分で、列車を検知する装置である軌道回路によって送信される信号電流と電車電流（帰線電流）を区分する装置である。ZBにより、信号電流は絶縁で区切られた部分のみに流れ、帰線電流は絶縁を超えて隣の閉そく区間に流れる。（図1）

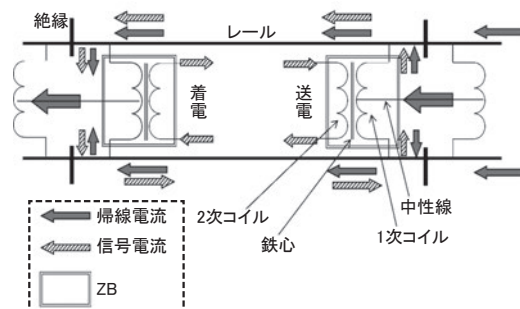


図1 帰線電流と信号電流

ZBは軌道回路の種類や帰線電流の許容量などの違いによりさまざまな形式があるが、一般的にZBは重く、その重量は数百kgである。(図2)

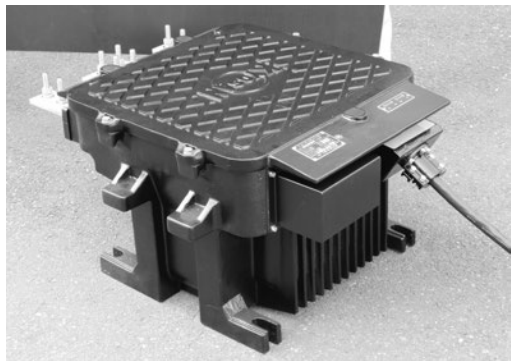


図2 インピーダンスボンド (ZB)

3.2 ZBの原理

図1を用いてZBの原理を説明する。ZBには、レールに接続された1次側コイルと軌道回路の送信や受信機器に接続された2次側コイルの2つの巻線があり、2つのコイルの間は鉄心により結合されている。隣り合うZBの間は、中性線により両方のZBの1次側コイルの中性点で結ばれている。列車で使用された帰線電流(図1実線矢印)はレールからZBの1次コイルの中性点に流れ、中性線を経由して、隣のZBの1次コイルの中性点に流れた後、左右両方のレールに流れる。中性点では左右両方のレールに向かうコイルに発生する磁束が打ち消し合い、2次コイル側には電圧は誘起しない。しかし、信号電流(図1斜線矢印)は、左右の一方のレールから1次コイルを経由して、もう一方のレールに流れるため、2次コイル側に電圧が誘起される。このような原理により、ZBは信号電流と帰線電流を区分している。

3.3 ZBの内部インピーダンス

ZBを含む軌道回路は、以下のような構成で電気的な回路を構成している。

1. 送電機器
2. 送電ZB (2次コイル→鉄心→1次コイル)
3. レール
4. 着電ZB (1次コイル→鉄心→2次コイル)
5. 着電機器 (軌道リレーなど)

軌道回路は電気回路であるため、各機器のインピーダンスは決まっている。ZBの内部インピーダンスは、内蔵する上下2つに分かれている鉄心の距離(ギャップ)で決まる。通常、ギャップに絶縁紙を挿入することにより、正確な内部インピーダンスの調整を行っている。(図3)

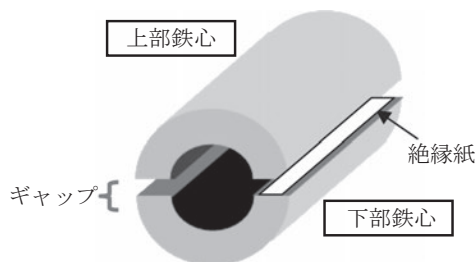


図3 鉄心

3.4 ZBの発熱対策

ZBには大電流である帰線が流れるため、発熱する。そこでZBには発熱対策が施されている。昔はコイルや鉄心の周囲をオイルで満たしていたが、最近はメンテナンスレス化のためオイルの代替品として充填剤を使用して放熱を行っている。

3.5 組立型ZB開発上の課題

各部品が人力で運べる程度であり、現地で容易に組立が可能なZBを開発することで運搬時間を短縮し、早期のZB故障回復をめざす。開発上の課題は下記のとおりである。

- ・上下鉄心間のギャップ調整
- ・発熱対策
- ・組立誤差の解消
- ・耐振動性
- ・作業性の向上

次節にて、各課題とその解決法について説明する。

4. 開発概要

本開発において重要な点は、人力にて運搬可能な点である。そのため、各部品の最大重量を30kg以下にすることを目標とした。また、分解した各部品を現地で容易に組立てることができなければならない。図4に組立型ZBの各部品構成を、図5に組立後の状態を示す。以下で開発過程での課題克服内容を説明する。

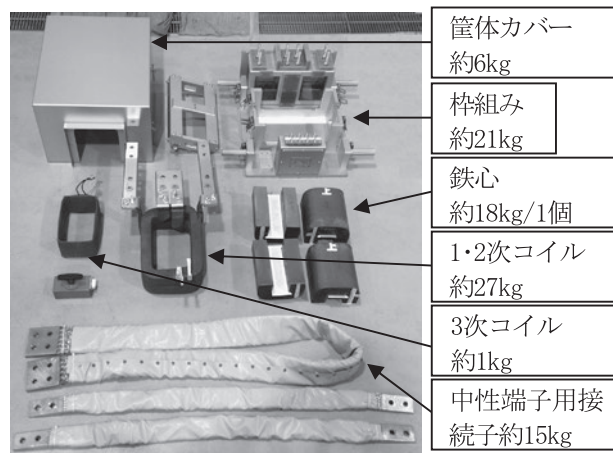


図4 ZBの各構成部品



図5 組立後

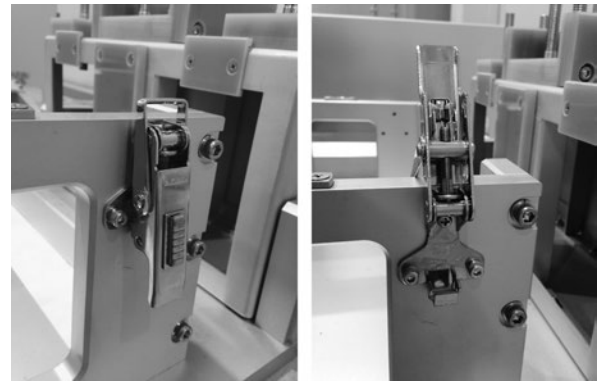


図7 アジャストファスナ締め代

4.1 上下鉄心間のギャップ調整

3.3節で説明したとおり、ZBの内部インピーダンスは軌道回路にとってたいへん重要である。上下鉄心間のギャップ調整には正確性が求められるため、通常はメーカーの工場内で調整されるため、正確性が確保されている。しかし、ZBを組立型にした場合、従来のZBと同じ構造であれば沿線などの現地で調整を行う必要がある。

本研究では、「アジャストファスナの採用」と「工場内でのギャップ事前調整」により現地でのZB組立を実現した。実現方法の詳細について図6を用いて説明する。

まず、組立型ZBの各部品を工場内で組立てる（図6-a）。この時、アジャストファスナにより上下鉄心間には圧縮荷重が発生する。次に、所望する内部インピーダンスが得られる圧縮荷重を生むため、アジャストファスナの締代を調整する（図6-b、図7）。調整が済んだ組立型ZBを部品ごとに分解し、工場から出荷する（図6-c,d）。人力にて各部品を運び、再度組立てる（図6-e）。この際、アジャストファスナにより工場内で調整された圧縮荷重が容易に再現されるため、現場で内部インピーダンスの再調整などをしなくても工場内で行われた鉄心間のギャップの事前調整が済んだ状態を容易に再現することができる。

なお、試作品の組立時間は、未経験者が行っても10分未満であった（2人で施工した場合）。

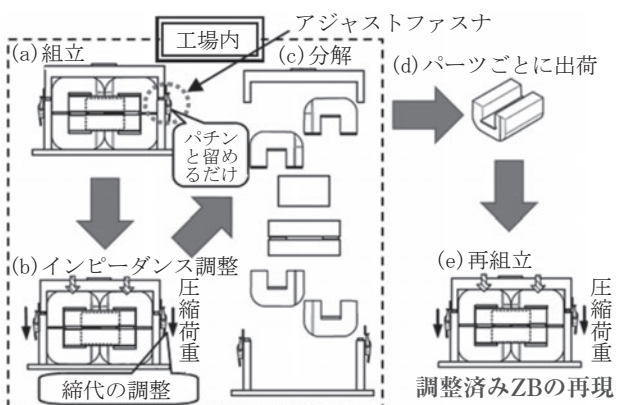


図6 組立型ZBの製作過程

4.2 発熱への対応

現在普及が進んでいるオイルレスZBでは、金属ケース内に鉄心と1次コイルや2次コイルなどの内装部材が収納されている。金属ケースと内装部材との隙間には絶縁と放熱のため樹脂が流し込まれており両者を冷却固定している。本研究の目的は早期の応急復旧であるため、作業に時間を要する樹脂固定は行っていない。そのため、「JIS E 3018 インピーダンスボンド-性能試験方法」にある温度上昇試験を満足しない可能性がある。しかしこの温度上昇は、実際の帰線電流の流れ方を考慮すると、実用上差し支え無い範囲であると思われる。今後、「JIS E 3018 インピーダンスボンド-性能試験方法」にある温度上昇試験を行い、ZBの温度上昇を確認する。

なお、温度が上昇した状態で長期間使用すると劣化のおそれがあるため、使用時間は48時間以内とした。

4.3 組立誤差の解消

3.3節で説明したとおり、上下鉄心間のギャップは軌道回路を構成するうえでたいへん重要である。

4.1節で説明したアジャストファスナを採用したことにより「パチン」と留めるだけの単純作業で上下鉄心間のギャップを一定にすることができるため、人による組立誤差が少なくなる。

4.4 耐振動性

ZBは沿線に設置するため、耐振動については「JIS E 3014 鉄道信号保安部品-振動試験方法」にある2種（1G）の基準を満たす必要がある。組立型ZBが破損しないことのほか、上下鉄心間のギャップが振動で変動しないことも必要である。

この問題を解決するうえでも前節同様、アジャストファスナが有効である。強力な圧縮荷重で振動による鉄心のガタツキを抑えている。また、アジャストファスナにはロックが付いているため、急な振動でも外れないようになっている。

今後、「JIS E 3014 鉄道信号保安部品-振動試験方法」

にある2種 (1G) の試験を行い、ZBの破損の有無や内部インピーダンスの変化を確認する。

4.5 作業性の向上

アジャストファスナ以外に、作業性を向上させるため2つの対策をおこなった。1つ目は、柔軟性の高い中性線 (図8) を用意したことである。1つのZBが故障したとしても、通常中性線で結ばれた片方のZBは故障していないため、故障したZBを交換した後に片方のZBと中性線を接続する必要がある。通常中性線は銅板であるため、両方のZBの高さを正確に調整して中性線側の銅板とZB側の銅板が均一に接するように施工しなければならない (図9)。接触の仕方が悪いと発熱し、劣化や故障の原因となるためである。ZB交換時には故障したものを取除き、新しいものを設置した上で、交換しない片方のZBとの高さを正確に調整する必要があった。本開発にて、柔軟性の高い中性線を用意することで、故障したZBの撤去や高さ調整が不要となり、交換作業時間の短縮が期待できる。



図8 中性線

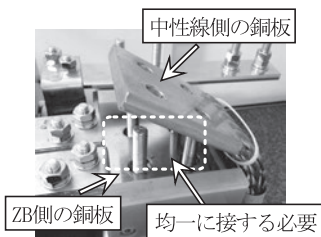


図9 銅板とZBの接続

2つ目は、鉄心運搬用の把持ハンドル付きマグネットスタンド (図10) を用意したことである。鉄心は3ガタが無いように組立てる必要があるため、鉄心収容部は鉄心の寸法とほぼ同じ大きさのため鉄心を手に持って収容部に置くことが難しい。そこで、把持ハンドル付きマグネットで鉄心上部を固定して鉄心を収容部に降ろすことで、容易に収容部に設置することが可能となった。

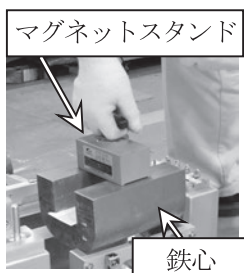


図10 鉄心の持ち方

5. まとめ

運搬時間や作業時間を短縮し、故障の早期回復をめざすという目的は、本研究において人力で運べる部品を現地で組立て応急復旧可能なZBを開発することで実現できたと考える。特徴は以下の4点である。また、組立図を図11に示す。

- ・各部品の重量を30kg以下とし、軽量化を実現した (総重量約130kg)
- ・現地で容易に組立が可能 (2人で10分以内)
- ・防水性は無いものの、浸水しても機能・性能が維持できる構造とした (今後、試験で検証予定)
- ・応急復旧用のため使用時間は48時間以内

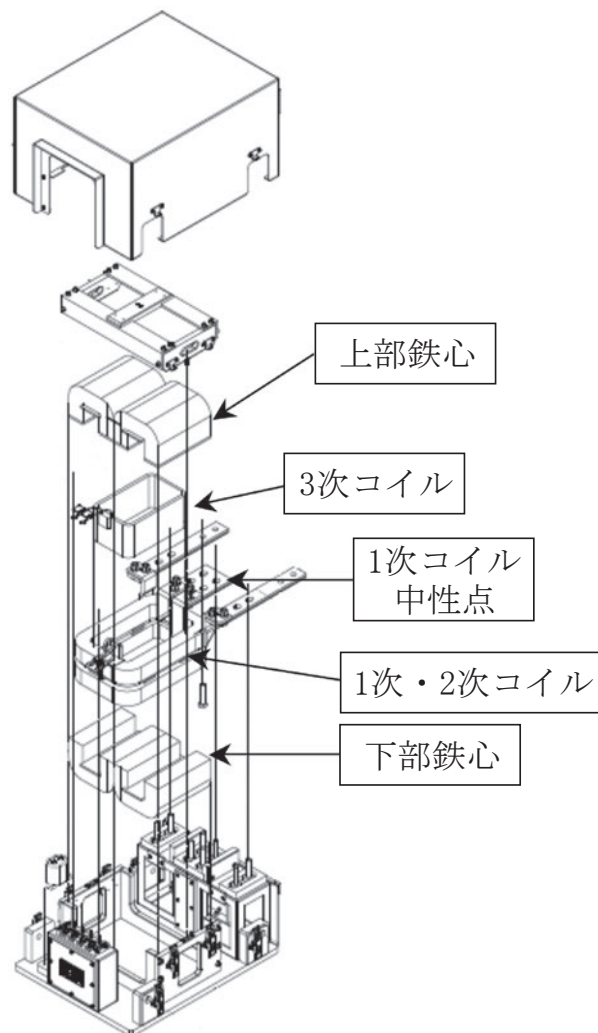


図11 組立図

今後、組立型ZBについて、「JIS E 3018 インピーダンスボンド-性能試験方法」にある各種試験やフィールド試験を行い、実用化をめざしたい。

参考文献

- 1) 鉄道技術者のための電気概論 信号シリーズ9 軌道回路 日本鉄道電気技術協会