

南北線の漏電による全線運休事故に関する

調査結果報告書

平成 30 年 11 月 13 日

仙台市交通局

高速鉄道事故等調査委員会



## 目次

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| はじめに .....                    | 1  |
| 第1編 鉄道施設編 .....               | 2  |
| 1. 事故の状況 .....                | 3  |
| (1) 事故現場の特性 .....             | 3  |
| (2) 事故当日の状況 .....             | 8  |
| (3) き電ケーブル復旧までの経過 .....       | 10 |
| 2. 事故の原因に関する調査 .....          | 18 |
| (1) 調査の方針 .....               | 18 |
| (2) 管理的要因についての調査 .....        | 18 |
| (3) 物理的要因についての調査 .....        | 20 |
| 3. 調査結果のまとめ .....             | 25 |
| (1) ケーブル損傷に至った原因 .....        | 25 |
| (2) 事故発生 of 要因 .....          | 25 |
| (3) 施設管理上の問題点 .....           | 25 |
| 4. 学識経験者からの意見聴取 .....         | 26 |
| (1) 事故当日の対応及び改善案について .....    | 26 |
| (2) 東京地下鉄株式会社の対応例について .....   | 26 |
| (3) その他のご意見 .....             | 26 |
| (4) 仙台市交通局の見解と今後の対応について ..... | 26 |
| 5. 再発防止策 .....                | 27 |
| (1) 鉄道施設に関する再発防止策 .....       | 27 |
| (2) 施設管理体制に関する再発防止策 .....     | 27 |
| (3) 改善措置 .....                | 28 |
| 6. 類似構造箇所への展開 .....           | 30 |
| (1) 他の擁壁盛土区間の調査 .....         | 30 |
| 7. 委員会からの提言 .....             | 32 |
| (1) 今後のき電ケーブル更新に向けての提言 .....  | 32 |
| (2) 今後検討すべき事項について .....       | 33 |

|      |                       |    |
|------|-----------------------|----|
| 第2編  | 情報伝達編                 | 34 |
| 1.   | 情報伝達における問題点           | 35 |
|      | (1) 問題点の整理            | 35 |
|      | (2) 鉄道部門内各部署の問題点と原因   | 35 |
|      | (3) 現行の異常時対応マニュアルとの比較 | 37 |
| 2.   | 問題解決のための方向性           | 38 |
|      | (1) 情報の一元管理           | 38 |
|      | (2) 体制確保と業務           | 39 |
| 3    | 委員会からの提言              | 40 |
| おわりに |                       | 41 |

## はじめに

平成 30 年 4 月 18 日に仙台市高速鉄道南北線において発生した「南北線の漏電による全線運休事故」では、長時間にわたる全線運休によりお客様には、多大なご迷惑とご不便をおかけいたしましたこと心よりお詫び申し上げます。

本件事故はお客様に多大なご迷惑をおかけした事案ではありますが、仙台市交通局では、より一層の安定輸送を目指す上で貴重な事案と捉えており、高速鉄道事故等調査委員会を設置し、徹底的な事故原因の究明と再発防止策の検討を進めてまいりました。

本報告書においては、平成 30 年 5 月 9 日から 4 回にわたり審議を重ねた成果として、事実経過、事故原因、問題点の究明、再発防止策をとりまとめており、事故の再発防止は無論のこと、この成果を今後の安定輸送の向上につなげてまいります。

最後に本件事故の審議にあたり貴重なご意見をいただきました学識経験者各位に深く感謝申し上げます。

### 高速鉄道事故等調査委員会

|     |        |                  |
|-----|--------|------------------|
| 委員長 | 森 研一郎  | (理事 (地下鉄担当))     |
| 委員  | 岩間 文貴  | (次長)             |
| 委員  | 山口 智   | (総務部長)           |
| 委員  | 高橋 篤   | (鉄道管理部長)         |
|     |        | (安全統括管理者 (高速鉄道)) |
| 委員  | 笠松 直生  | (鉄道技術部長)         |
| 委員  | 下山田 健二 | (総務課長)           |
| 委員  | 浅野 真晴  | (財務課長)           |
| 委員  | 三浦 孝行  | (営業課長)           |
| 委員  | 佐藤 雅憲  | (駅務サービス課長)       |
| 委員  | 石井 亮   | (運転課長)           |
|     |        | (運転管理者)          |
| 委員  | 文屋 義晴  | (総合指令所長)         |
| 委員  | 佐々木 和宏 | (施設課長)           |
| 委員  | 郷内 浩之  | (車両課長)           |
| 委員  | 黒須 潔   | (電気課長)           |
| 委員  | 千葉 秀之  | (富沢管理事務所長)       |
| 委員  | 吉川 正行  | (荒井管理事務所長)       |

## 第1編 鉄道施設編

### ○調査における基本姿勢

一般に事故発生における原因の調査では、事実確認の上原因を究明し、対策案をとりまとめ報告するものである。

しかし、本件事故においては、漏電の直接的な原因であるケーブルトラフの沈下という事象が引き続き進行する恐れがあるため、原因究明と再発防止策の検証、更には現場での対策実施を並行して進めることとした。

したがって、本報告では対策の実施状況も併せてとりまとめることとしたものである。

## 1. 事故の状況

### (1) 事故現場の特性

事故発生日時 : 平成 30 年 4 月 18 日 17 時 16 分頃

事故発生場所 : 宮城県仙台市泉区八乙女中央 5 丁目 13 番地付近

仙台市高速鉄道南北線 八乙女駅～黒松駅間

(キロ程 0km644m 南行線八乙女 16 号鋼管柱付近)

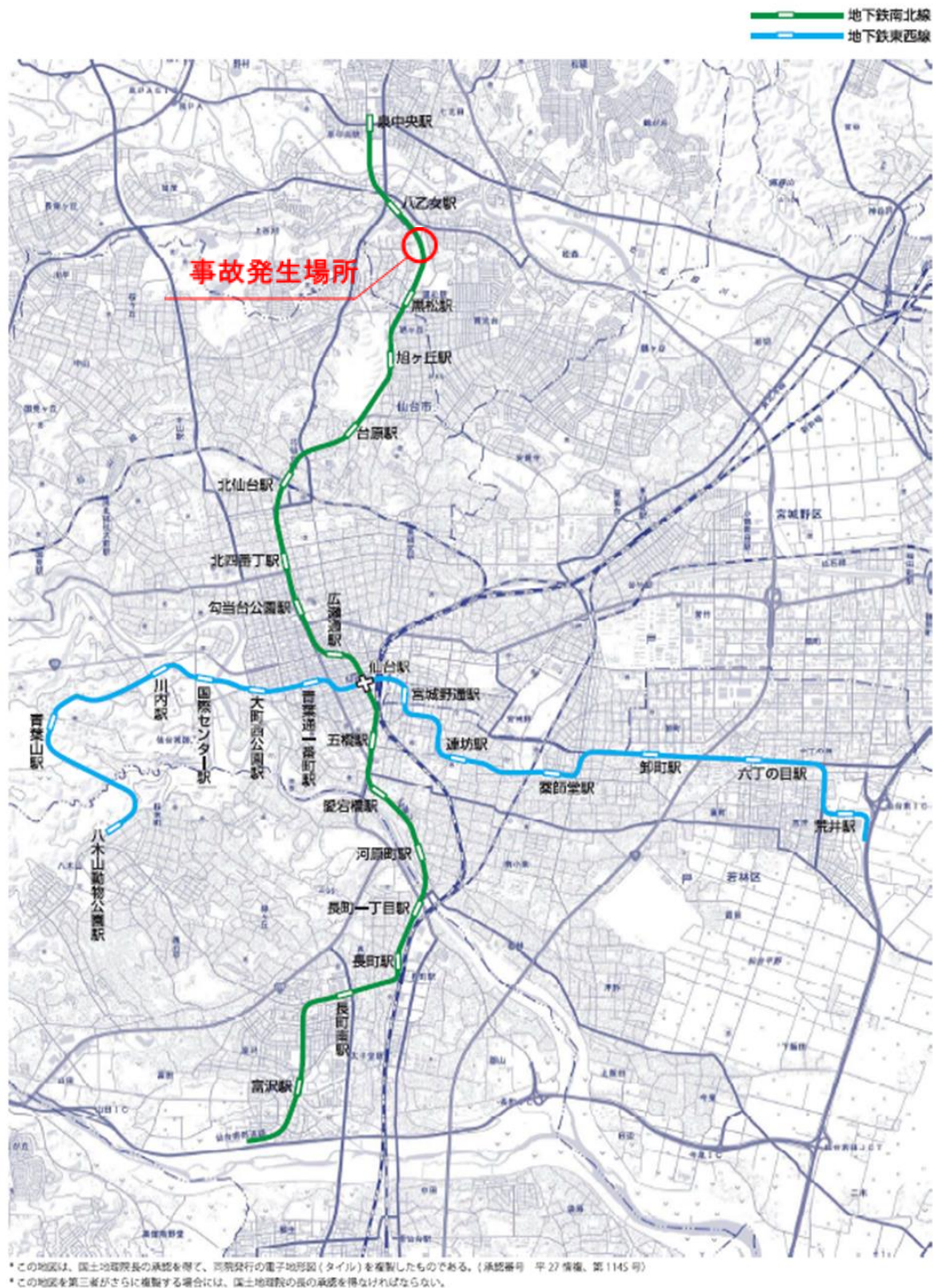


図-1 事故現場位置図(広域)





図ー2 事故現場位置図（詳細）

#### 1) 事故現場における電気施設の特性

##### ①き電ケーブル※1 敷設時期及び線種

- ・設置 昭和 61 年（1986 年） 約 31 年経過
- ・種別 交流用ケーブル
- 3.3kV CV400mm<sup>2</sup>（単心架橋ポリエチレンケーブル）

##### ②電柱の構造

- ・鋼管柱 管径φ267.4 高さ 7.5m

八乙女変電所から電車のパンタグラフへ電気を供給する架線に対し 20 本のき電ケーブルが敷設されている。

今回の事故箇所側には、き電ケーブル 3 本を用いて架線に電力が供給されており、うち 1 本が損傷した。

表ー1 き電ケーブル敷設状況

| 経路                  | 本数   | 敷設              |
|---------------------|------|-----------------|
| 八乙女変電所～架線           | 8 本  | 昭和 61 年(1986 年) |
| 八乙女変電所～ダイオードセクション※2 | 12 本 | 平成 19 年(2007 年) |
| ダイオードセクション～架線       |      | (更新)            |

※1 き電ケーブル ： 変電所より送り出された電力を、電車に供給するためのケーブル

※2 ダイオードセクション ： 電車線のき電を区分している部分（セクション）における電気事故を防ぐため、電気を一方方向にしか流さない半導体素子のダイオードを用いて接続したセクションのこと。



き電ケーブルは、北行線（泉中央駅行き）の軌道に並行して敷設されている電力用ケーブルトラフから軌道の下を横断し、南行線（富沢駅行き）の軌道と並行して敷設されている弱電用ケーブルトラフ底版内を配管し交差した後、電柱へバンド留めされた電線管を通して架線へ到達していた。（図-3、4 参照）

なお、き電ケーブルが軌道の下を横断する箇所は他にも存在するが、擁壁盛土区間での軌道下横断は当該箇所のみである。

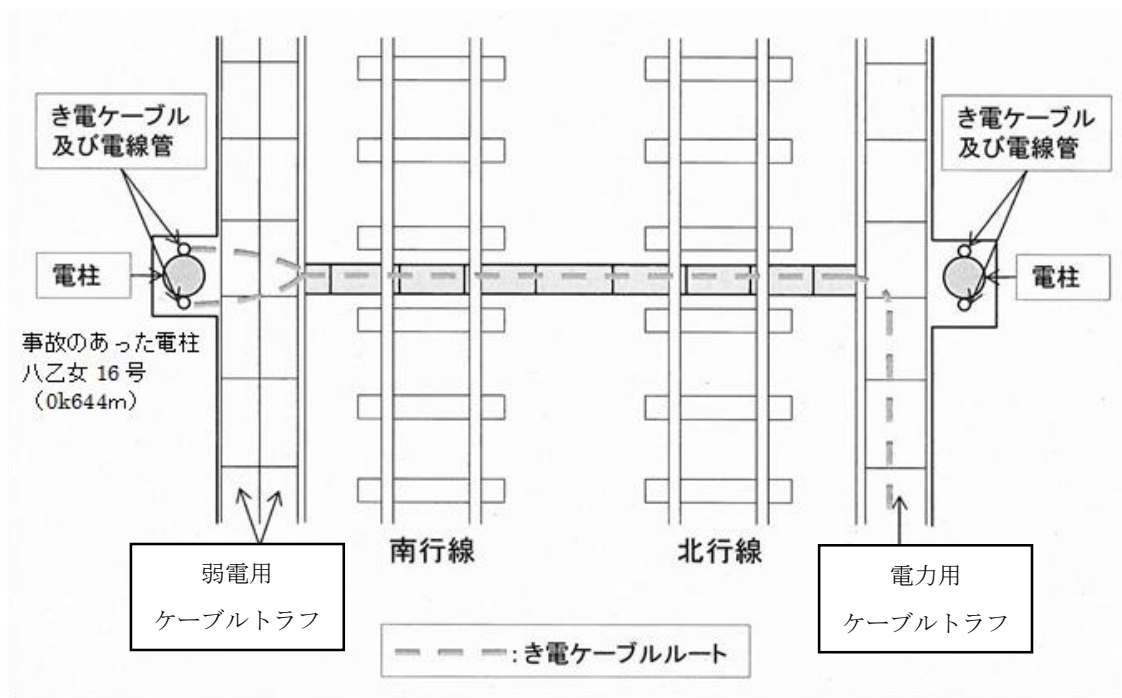


図-3 事故箇所き電ケーブル敷設状況平面図

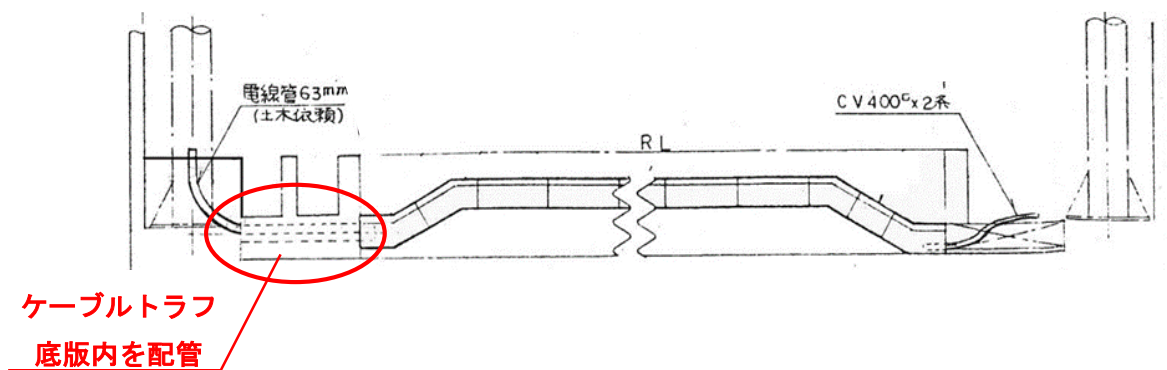


図-4 事故箇所き電ケーブル敷設状況横断面図

## 2) 事故現場における土木施設の特徴

事故区間は、高架部分から黒松トンネルへと移行する地上区間である。

この区間は、南北線開業へ向けて昭和 59 年に建設されており、構造は擁壁盛土構造（逆 T 型擁壁を両端に配置し、その間を盛土したもの）で、盛土の上部に軌道を敷設している。

また、軌道と並行してケーブルトラフ※<sup>3</sup>が敷設されており、軌道側には、軌道上に降った雨水を流すための側溝が両側に敷設されている。

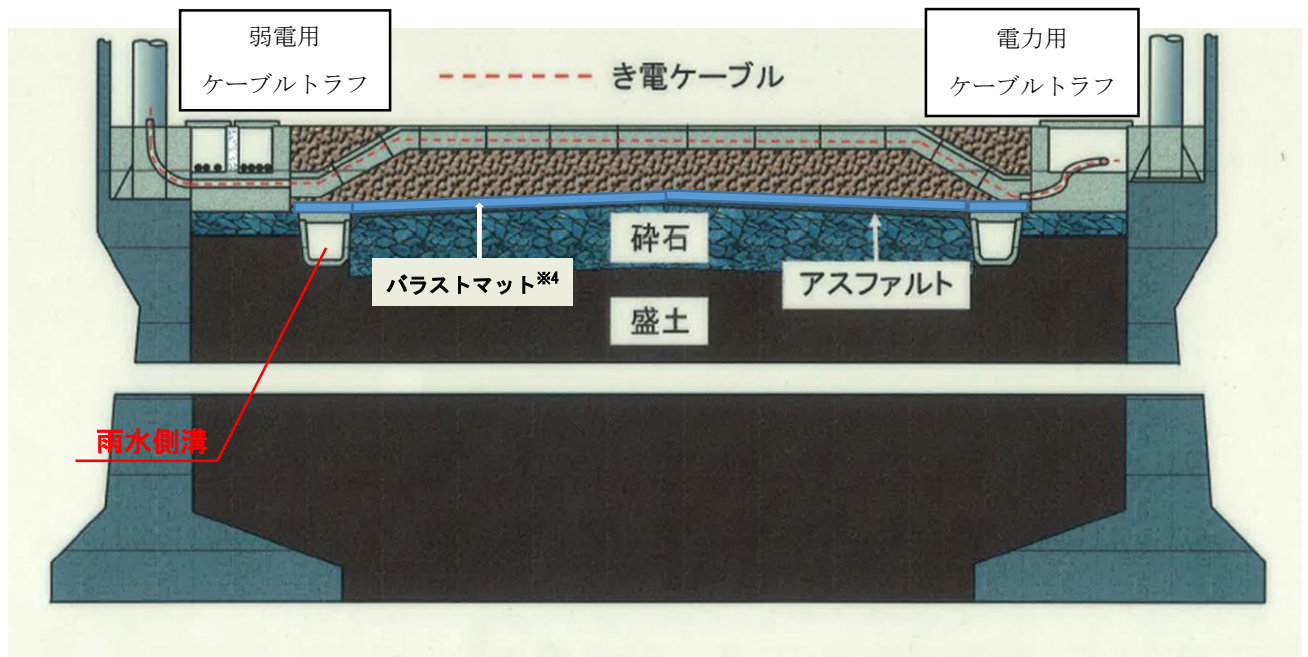


図-5 擁壁盛土部 構造断面図

※3 ケーブルトラフ : 主に鉄道路線に沿って敷設され、通信・信号・配電・送電などの各種ケーブルを格納する側溝。

※4 パラストマット : 道床バラストの細粒化の防止及び騒音・振動対策のために敷き込むゴムマット。  
(1 枚当たり 1.8 m × 1 m)

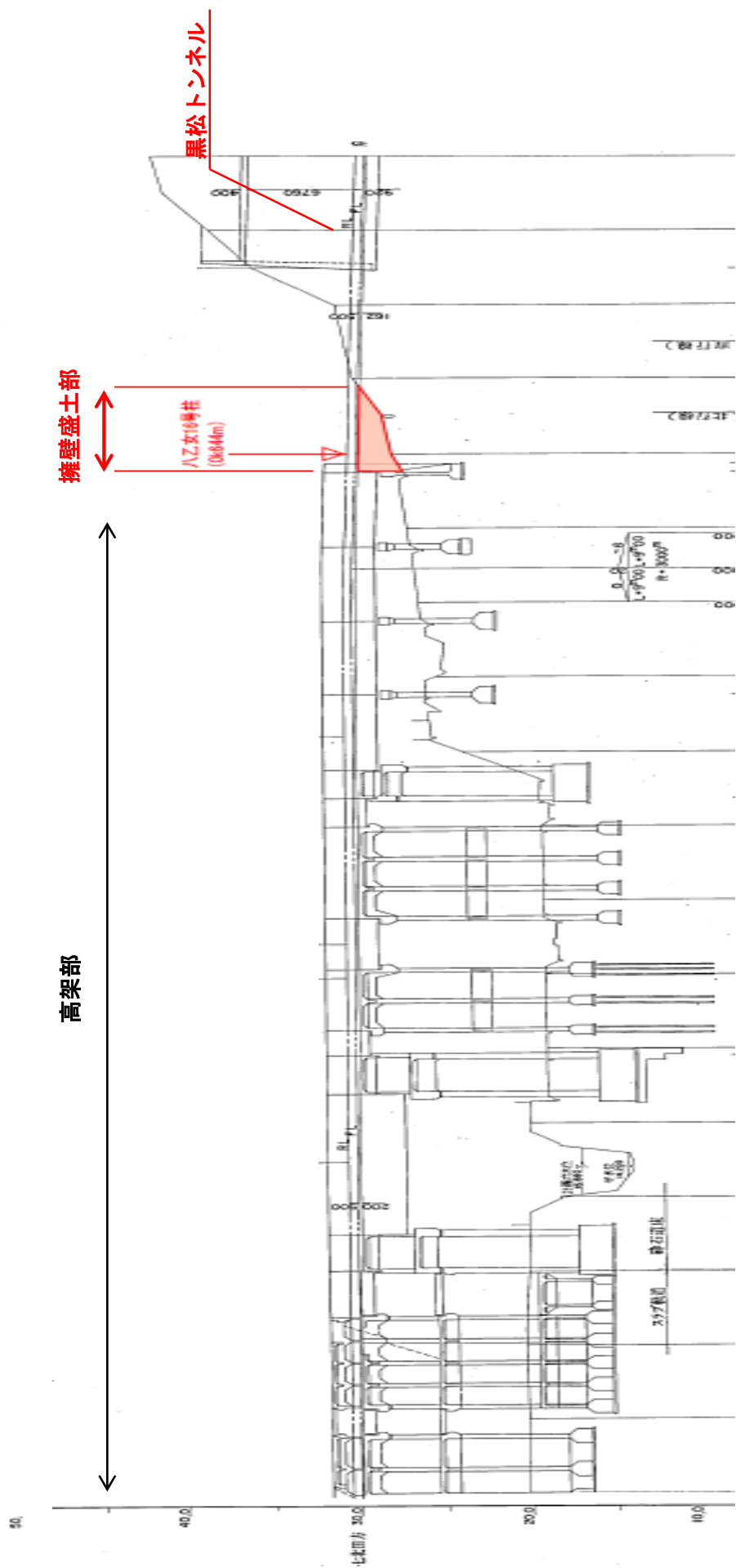


図-6 事故区間線路縦断面図

(2) 事故当日の状況

1) 事故発生から応急復旧までの経過

表-2 事故発生時からの経緯

| 時刻    | 鉄道管理部対応状況                                                                                                              | 鉄道技術部対応状況                                                                                              |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 17:16 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・八乙女駅～車庫間南・北行線き電停止</li> <li>土樋・長町南変電所停電（愛宕橋駅～検車庫配電室停電）</li> </ul>               |                                                                                                        |
| 17:29 | 八乙女消防署から勾当台管区へ地下鉄高架より発火の情報。駅務サービス課、八乙女駅、指令所へ通報。                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・八乙女駅～黒松駅間南行線架線から発煙との情報が指令電話より入る</li> </ul>                     |
| 17:29 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・長町南駅～富沢駅間南行線に列車が停止していることを運転指令にて確認</li> </ul>                                   |                                                                                                        |
| 17:35 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・当該列車のお客様について、駅間避難誘導準備を指令</li> <li>・仙台管区において、駅務助役 3 名に対し富沢駅に急行するよう指示</li> </ul> |                                                                                                        |
| 17:38 |                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・八乙女駅に八乙女消防隊到着し、事故現場に向かう</li> </ul>                             |
| 17:40 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・駅務サービス課から東日本旅客鉄道(株)に対し、北仙台駅～長町駅間の代替輸送を依頼</li> </ul>                            |                                                                                                        |
| 17:42 |                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・駅舎系統の交流電源復旧 駅照明回復</li> </ul>                                   |
| 17:45 |                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・消防隊が八乙女駅～黒松駅間に入る</li> </ul>                                    |
| 17:48 |                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・長町南駅～富沢駅間南行線に停止している列車の移動のため、き電投入を行うことから、駅間避難誘導を一旦中止</li> </ul> |
| 17:53 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・長町南駅～富沢駅間南行線に停止している列車に運転再開を指令</li> </ul>                                       |                                                                                                        |
| 17:54 |                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・長町南駅～車庫間き電開始</li> </ul>                                        |
| 17:56 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・当該列車が富沢駅に到着</li> <li>お客様の避難完了（約 70 名）</li> </ul>                               |                                                                                                        |
| 18:10 |                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・電気課職員が事故現場に到着</li> </ul>                                       |
| 18:17 |                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・復旧方法検討開始</li> </ul>                                            |
| 18:20 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・本日中の復旧は難しいと判断</li> <li>・営業課にて駅、マスコミ、HP に情報を提供</li> </ul>                       |                                                                                                        |

|       |                                    |                                               |
|-------|------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 18:25 | ・市営バス振替輸送開始                        |                                               |
| 18:28 |                                    | ・保守業者 A 社 1 班 現場に向かう                          |
| 18:30 | ・各駅からけが人なしの報告が営業課に入る               |                                               |
| 18:40 |                                    | ・保守業者 A 社 2 班 現場に向かう                          |
| 19:52 |                                    | ・保守業者 B 社 現場に向かう                              |
|       |                                    | ・架線からの損傷ケーブルの取り外しを完了                          |
| 20:20 | 損傷ケーブルの取り外し完了                      | ・八乙女変電所において損傷ケーブルの取り外し完了                      |
| 21:29 |                                    | ・損傷ケーブルの絶縁不良、非損傷ケーブルの絶縁を確認                    |
| 22:13 |                                    | ・電気課において、き電ケーブル 1 本での通常運転可能を確認し、鉄道技術部長と指令所に報告 |
| 22:22 | 応急復旧作業完了                           | ・現場班より、予定の作業を終了しき電可能との連絡を電気課が受理               |
| 22:35 |                                    | ・各駅き電投入準備（EV、ES の停止）完了                        |
| 22:50 | ・23:30 からの運行再開を決定                  | ・試験送電実施、結果良好                                  |
| 22:52 |                                    | き電を順次投入                                       |
| 22:53 | ・駅務サービス課から駅で待機していた運転士に対して、出庫点検開始指示 | ・全線き電開始                                       |
| 22:55 | ・運転再開時刻 23:30 を指令                  |                                               |
| 23:10 |                                    | ・車両及び各駅ホームドア点検開始                              |
| 23:25 |                                    | ・点検完了                                         |
| 23:30 | ・ <u>南行線より順次運転再開</u>               |                                               |
| 0:32  |                                    | ・終業処理及びき電停止                                   |

運 休 104 本 (南行 52 本 北行 52 本)

最大遲延 375 分

影響人數 69, 500 人

(旅客対応) 17時40分に東日本旅客鉄道㈱へ代替輸送を依頼。

市バスによる振替輸送を実施。

仙台⇄泉中央（初便 18 時 42 分） 21 便

仙台⇄長町南（初便 18 時 25 分） 11 便

(翌日対応) 19時23分より翌朝の振替輸送の手配開始

バス会社 11 社 20 台手配

地下鉄運転再開後、各バス会社に対してキャンセルの連絡。

### (3) き電ケーブル復旧までの経過

1) 交通局による緊急点検及び仙台市消防局との現場検証

### ①緊急点検

4月19日夜 ・八乙女16号柱以外に接続されている、八乙女変電所からの他のき電ケーブル18本の絶縁状態について調査を行い、異常がないことを確認した。

4月20日夜 ・き電ケーブルが電柱より立ち上がって架線に接続されている箇所（富沢駅～車庫間）で使用されているケーブル19本の絶縁状態について調査を行い、異常がないことを確認した。

## ②仙台市消防局立会い

4月24日夜

- ・漏電の原因と思われる電線管及びケーブルを切断し回収した。
- ・地上部のケーブルに外観上の異常は見られなかったことから、地下部でケーブルが損傷し、一度目の地絡はケーブルのシース※<sup>5</sup>を伝わり電柱上部で、二度目の地絡は電線管を伝わり、電線管を留めるバンド部分で電線管の被覆の絶縁破壊が生じて起きたものと推測した。(図-7 参照)

※5 電線の絶縁部内の銅箔層（銅シース）で電磁誘導による外部への影響を防ぐため、電線の絶縁部内に導電層を設けている。

5月10日夜 ・ケーブルトラフの一部を除去し、トラフ下に埋もれているケーブルを切断し回収した。

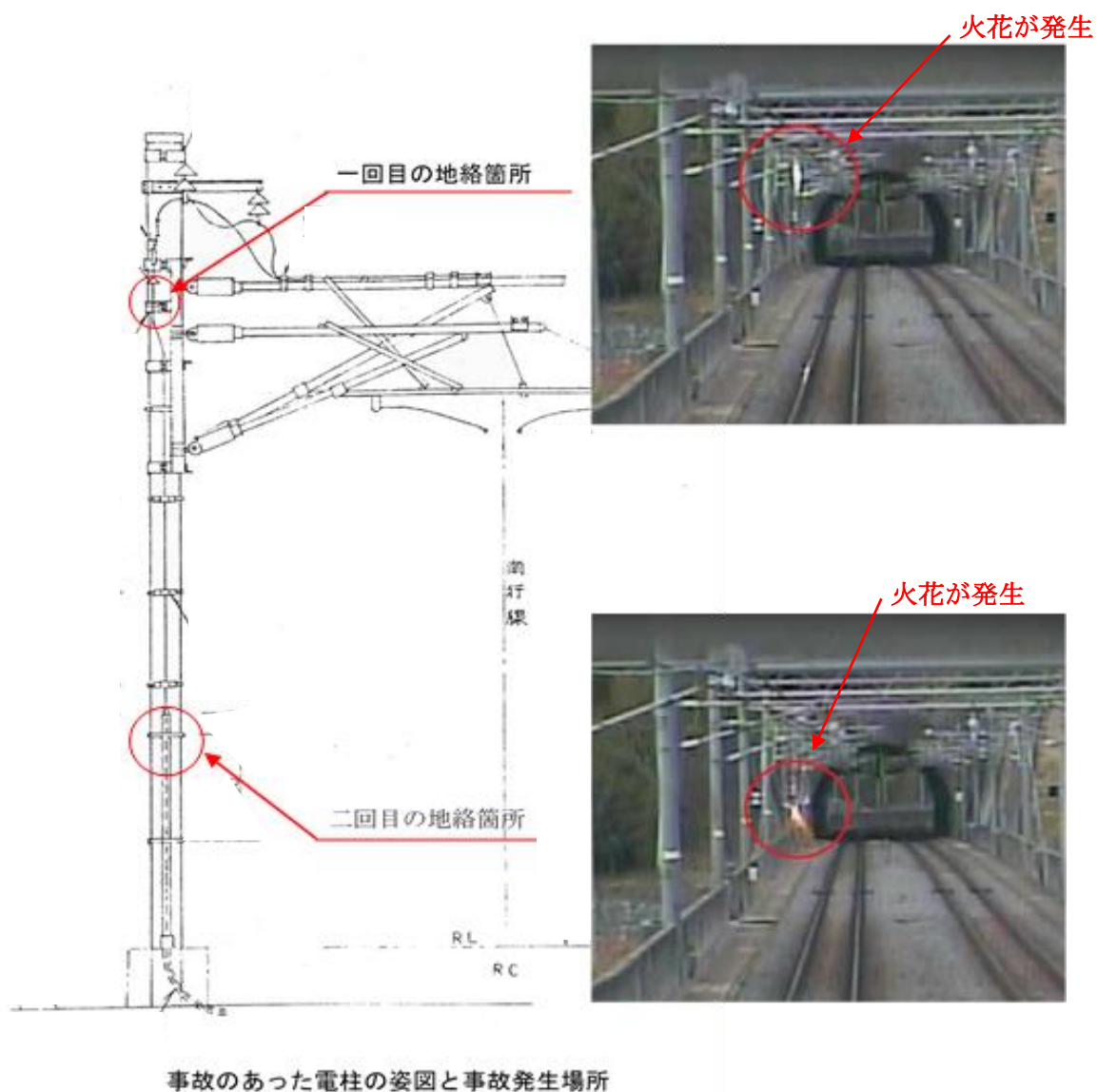
・電線管が破断しており、ケーブルは導体、絶縁体、シース等が露出していた。(図-9 参照)

### ③仙台市消防局との合同調査

- 5月14日 仙台市消防局との合同調査において確認した事実は以下のとおり。
- ・ ケーブルから漏電した場所はケーブルトラフの下の1カ所であること。
  - ・ 出火場所は、以下の3箇所である見込みが高いこと。
    - i 架線直近の電柱上部のき電ケーブルを留める金具付近  
(図-9 留め金具 (A))
    - ii 電線管を固定する高欄の高さ付近のバンド (図-9 バンド (B))
    - iii 鋼管柱下の弱電用ケーブルトラフ底版内に配管された箇所
  - ・ ケーブルトラフ底版内の配管から回収したケーブルにはつぶれた跡があり、また当該箇所においてはケーブル内部の導体(銅線)に金属が溶けた痕跡も確認されたこと。
  - ・ 事故が発生した鋼管柱付近の弱電用ケーブルトラフが6cm沈下していたこと。

以上のことから、弱電用ケーブルトラフの沈下により、ケーブルトラフ底版と電柱基礎部との間でせん断的なズレが生じ、き電ケーブルが押しつぶされ、徐々にケーブルトラフの重みに耐えられなくなったことにより、さらに折れ曲がり損傷したことが今回の漏電・出火の原因と推測された。(図-9 参照)



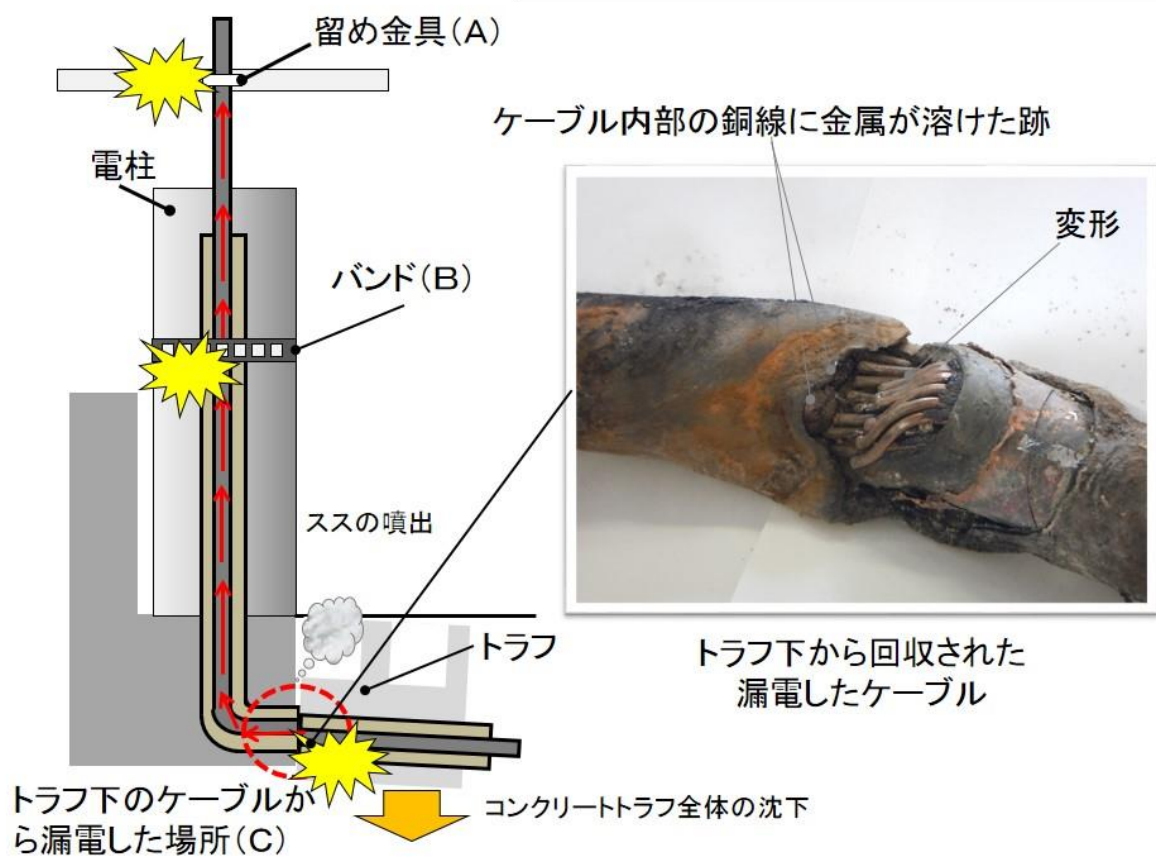


図－7 地絡発生状況（4月24日の検証時）

※4月24日の消防局立合いの際は、上図の2回の地絡と推測されていたが、後の調査により、地面からの発煙が確認され、地絡は3回発生していたことが判明した。（図－9 参照）



図－8 弱電用ケーブル状況



図－9 き電ケーブル損傷状況

## 2) 復旧作業の経過

### ①復旧方針

今回の漏電・出火の原因が、「き電ケーブルを弱電用ケーブルトラフ底版内で交差して配管しているところで、当該ケーブルに弱電用ケーブルトラフの荷重が作用する状態であったこと」と推測されたことから、「弱電用ケーブルトラフの荷重が作用しないようき電ケーブルを配置すること」を復旧方針とした。

### ②作業経過

仙台市消防局との合同調査（5月14日）において原因究明がなされたことから、復旧方針に基づき、復旧方法の検討、復旧資材の手配を開始し、6月7日の営業終了後から復旧作業を実施した。

6月8日未明      復旧用ケーブル2本を事故ルートと隣接ルートへ敷設した。  
事故ルートのケーブルを変電所側ケーブルと接続した。  
(図-10 ステップ1)

6月12日未明      事故ルートのケーブルを架線へ接続した。  
隣接ルートのケーブルを変電所側ケーブルと接続した。  
(図-10 ステップ2)  
12日の初電から、き電ケーブル2本での送電を開始した。

6月21日未明      鋼管柱用補強バンドにて、鋼管柱事故部分を補強した。  
隣接ルートのケーブルを架線に接続し復旧した。  
(図-10 ステップ3)  
21日初電から、き電ケーブル3本での送電を開始した。(復旧完了)

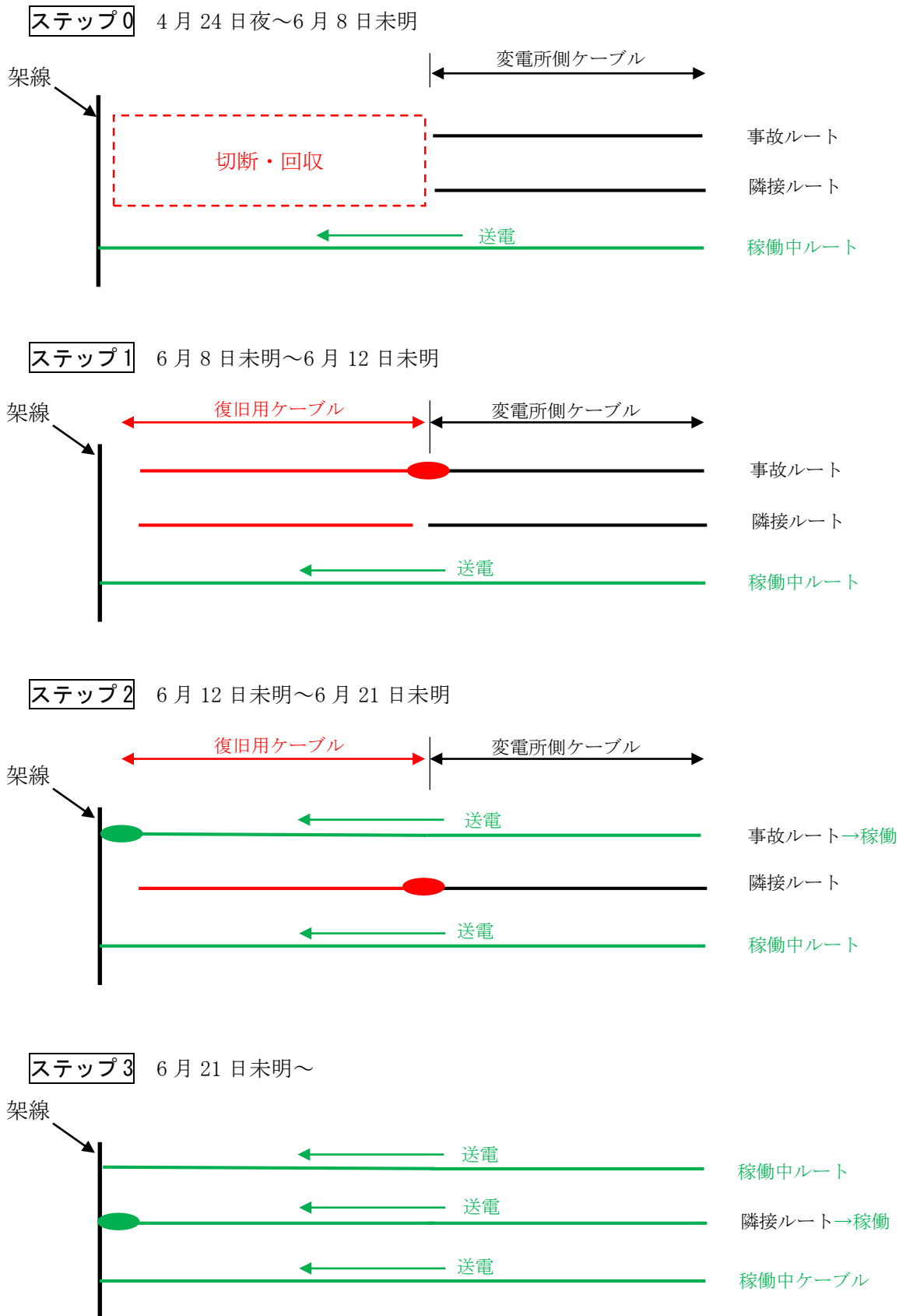
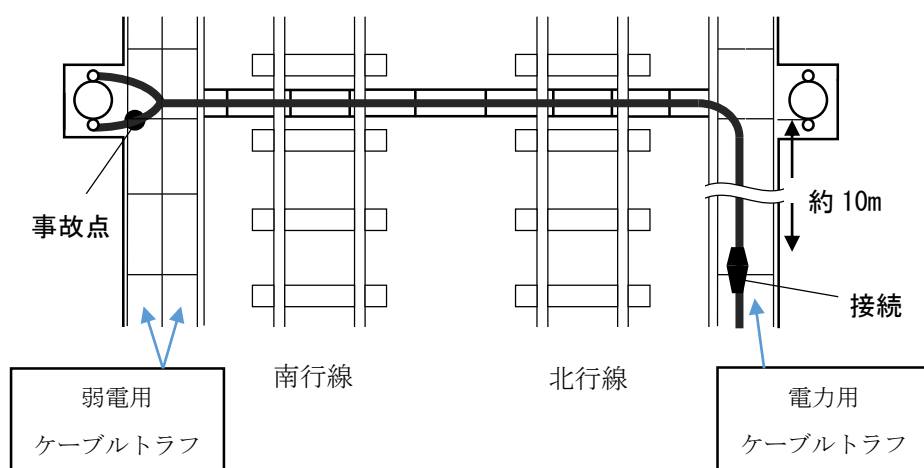


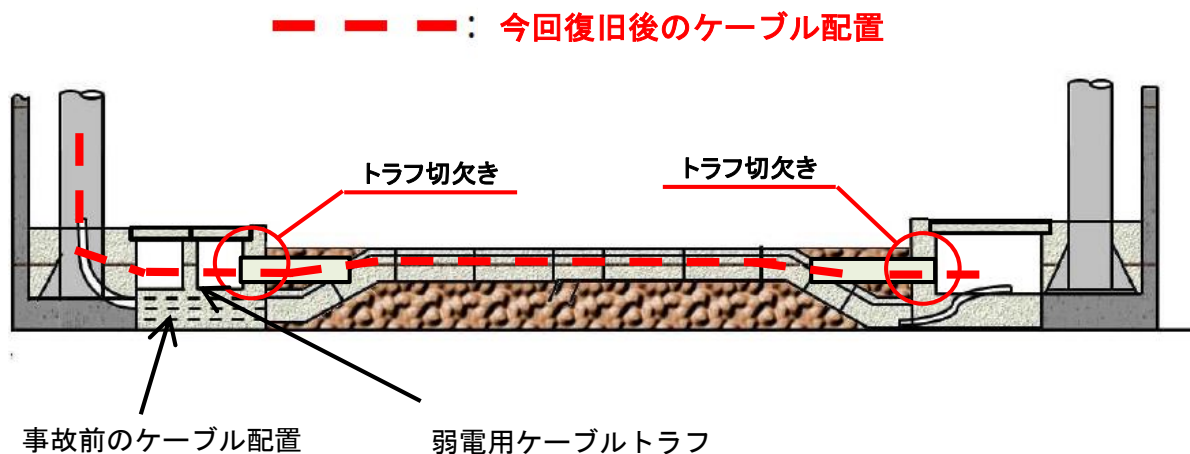
図-10 き電ケーブル復旧作業ステップ図

### 3) ケーブル復旧の状況

沈下したケーブルトラフの上部をき電ケーブルが通過できるよう既設の弱電用ケーブルトラフ（南行線側）及び電力用ケーブルトラフ（北行線側）の上部を切断（切欠き）し、き電ケーブルの横断箇所から約 10m 変電所寄りの場所で、復旧用ケーブルと変電所側ケーブルを接続し復旧した。



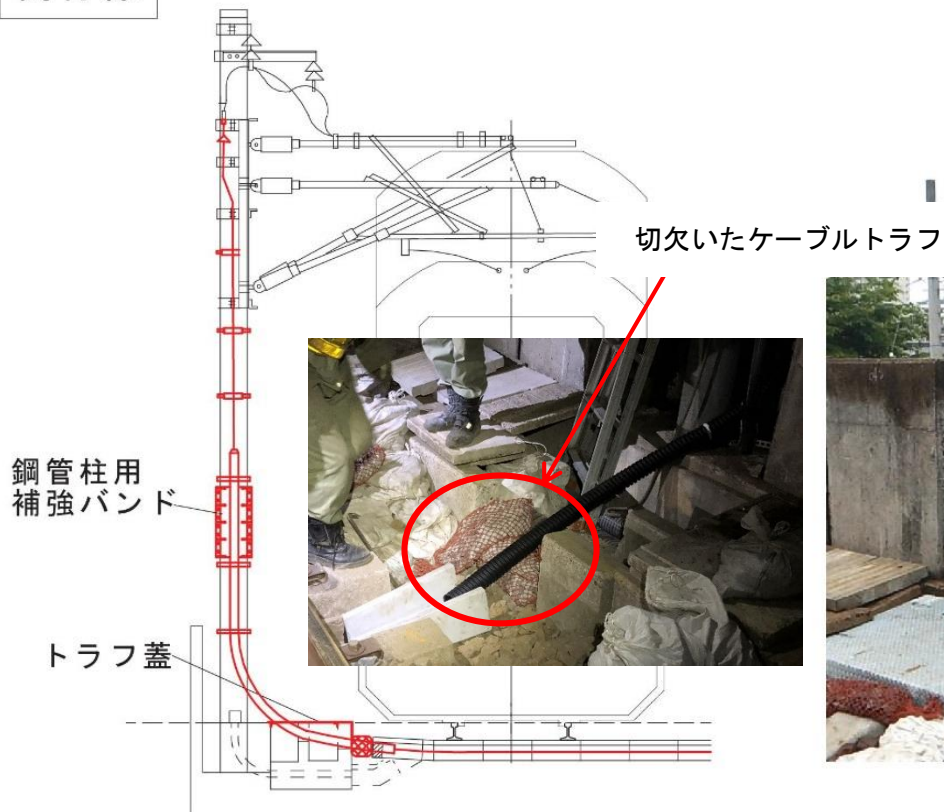
図－11 き電ケーブル復旧平面図



図－12 き電ケーブル配置断面図



南行線



北行線

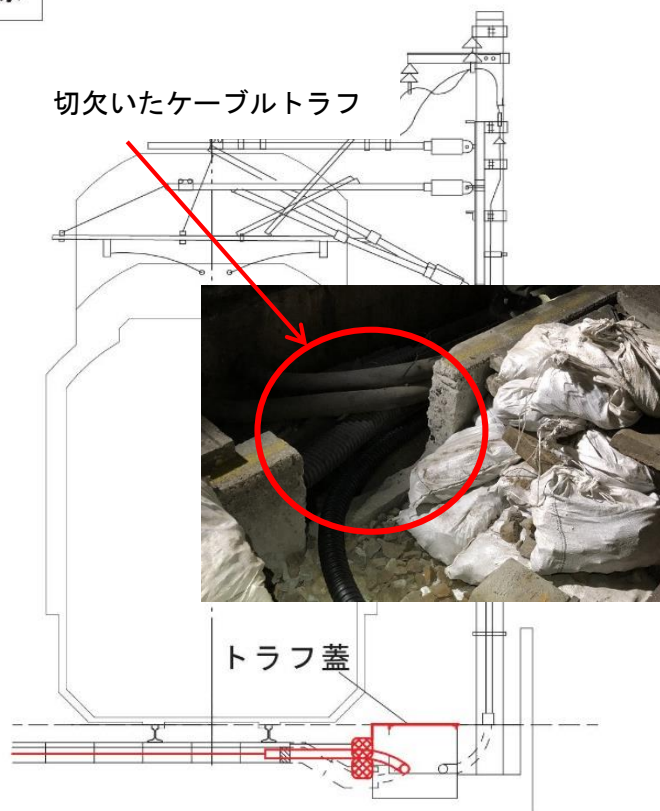


図-13 き電ケーブル復旧後の状況

## 2. 事故の原因に関する調査

### (1) 調査の方針

今回の漏電・出火の原因を調査するにあたっては、想定される盛土の沈下に伴うき電ケーブルの損傷や、き電ケーブル自体の老朽化による劣化といった物理的な要因と共に、施設の設置状況や東日本大震災後の維持管理状況などの管理的な要因についても調査を実施した。

### (2) 管理的要因についての調査

#### 1) ケーブルトラフ設置時の状況

##### ①ケーブルトラフの施工区分

ケーブルトラフを含む電路設備（信号設備、電力線設備等）の詳細設計を仙台市交通局が行い、その成果に基づいて、工事の積算から施工及び施工管理までを日本鉄道建設公団（建設当時の名称、現在は（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構）が実施した。

##### ②ケーブル等の電車線路敷設

日本鉄道建設公団がケーブルトラフを設置した後に、仙台市交通局が電車線設備工事（昭和 50 年 9 月～昭和 61 年 12 月）においてケーブルを敷設した。

#### 2) 事故以前の維持管理状況

##### ①電気施設の点検状況

年 1 回の頻度で、き電ケーブルの目視点検及び漏洩電流測定<sup>※6</sup>を行っていた。

直近の点検結果は以下のとおりである。

平成 29 年 7 月 12 日 目視点検 異常なし

平成 30 年 1 月 15 日 漏洩電流測定 異常なし

※6 漏洩電流測定 : ケーブルは絶縁体に覆われており外部に電流を漏らさないようにしているが、絶縁体の内部や表面を通じ、微量な電流が大地に流れている。この電流は、ケーブルの絶縁性能の低下や損傷により大きくなるため、定期的に測定しケーブルの健全性を確認している。

##### ②土木施設の点検状況

2 年に 1 回の頻度で実施する通常全般検査<sup>※7</sup>において、構造物の劣化状況を検査していたが、ケーブルトラフについては電気課が所管する施設と認識していたことから、点検検査は行っていなかった。また、軌道については、週に 1 回または月に 4 回の頻度で点検を実施し、健全性を確認していた。

※7 通常全般検査 : 土木構造物の状態を把握し、健全度の判定を行うことを目的として実施する検査

### 3) 東日本大震災後の状況

#### ①営業再開前の状況（平成 23 年 3 月頃）

- ・東日本大震災時の調査において、今回事故現場付近のケーブルトラフが一部沈下していることが発見されていた。当時の沈下範囲は線路の延長方向で 2～3m 程度であり、ケーブルトラフの蓋が脱落していた。当該状況については、地下鉄の災害復旧の全体会議に報告されていたが、営業再開に向けて被害が大きかった八乙女駅舎や高架橋の復旧が優先され、当該箇所については、沈下に対する対応は行わず、歩行通路確保のために蓋の復旧のみを実施した。
- ・ケーブルトラフの沈下箇所付近は、バラスト碎石が動くことによる軌道への影響が懸念されたが、その後の復旧工事で、軌道整備と道床の突固め・バラスト碎石補充を行うことで、列車走行には影響はないと判断された。

#### ②営業再開以降

- ・今回事故付近のケーブルトラフがさらに沈下している状況を施設課及び電気課で確認していたが、定期的に行っている軌道検査結果では、列車走行に影響を与えるような問題は出ていなかった。

### 4) 施設維持管理に対する各管理者の認識

#### ①事故 1 年前からの状況

- ・電気課は施設課に対して、当該区間のケーブルトラフの蓋が脱落しており、応急的に蓋の向きを変えて設置している旨を写真と口頭で報告を行った。（平成 29 年 4 月頃）
- ・電気課の報告を受け、施設課が現場を確認した結果、ケーブルトラフの沈下を確認した。（平成 29 年 4 月 12 日）
- ・ケーブルトラフ沈下の原因として、土木構造物（擁壁）の変位も想定されたことから、施設課では擁壁の傾き（動き）を測定したが、傾きは確認されなかった。（平成 29 年 9 月 28 日までに計 5 回実施）
- ・ケーブルトラフの沈下を復旧する場合、碎石の掘削等の作業が必要となるため、施設課が試掘を行い状況を確認した。その結果、ケーブルトラフを下から持ち上げて原形に復旧することは困難であり、2 次製品への交換か、再度現場での打ち直しが必要であることが分かった。
- ・点検通路としての機能は果たしていたため、電気課、施設課のいずれも復旧作業は実施しなかった。（平成 29 年 8 月頃）

#### ②ケーブルトラフの所管についての認識

ケーブルトラフの所管については、それが土木構造物なのか電気設備なのかといった認識の違いがそれぞれの部署間にあった。



### (3) 物理的要因についての調査

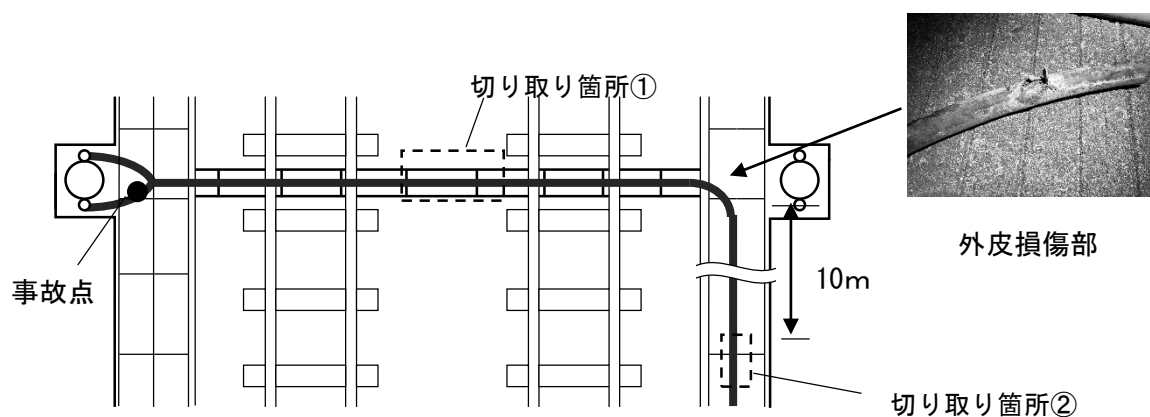
#### 1) 電気設備に関する調査（ケーブルの劣化調査）

##### ①調査の目的

損傷したケーブルは、設置より約 31 年経過しているため、ケーブル自体の老朽化によって損傷した可能性も考えられたことから劣化調査を実施した。

##### ②調査方法

切り取ったケーブル（試料①、試料②）をケーブルメーカー（住友電気工業(株)）に送付し、絶縁抵抗測定、遮へい層（金属シース）導通測定及び外観・解体調査を実施した。



図－14 試料切り取り箇所

##### ③調査結果

調査の結果、絶縁抵抗測定、遮へい層（金属シース）導通測定の結果は全て良好であり、経年によるケーブル自体の劣化は確認されなかった。

なお、事故点及び外皮が損傷していた付近の試料①において金属シースに黒色の錆が確認されたが、これは経年劣化によるものではなく、損傷箇所から水分が入りこんだことにより発生した錆と考えられた。

## 2) 土木構造物に関する調査

### ①ケーブルトラフ沈下調査

#### i) 調査方法

測量によりケーブルトラフの上面高さの設計値を基準として変位を調査した。

#### ii) 調査結果

南行線 0k635m～0k651m（延長 16m）の区間において、設計値と比べ最大で 9.3cm ケーブルトラフが沈下方向に変位していることを確認した。事故のあった八乙女 16 号柱（0k644m）前のケーブルトラフでは 9cm であった。

北行線では、0k636m～0k649m（延長 13m）の区間において、設計値と比べ最大で 4.9cm ケーブルトラフが沈下方向に変位していることを確認した。八乙女 16 号柱（0k644m）前のケーブルトラフでは、3.7cm であった。

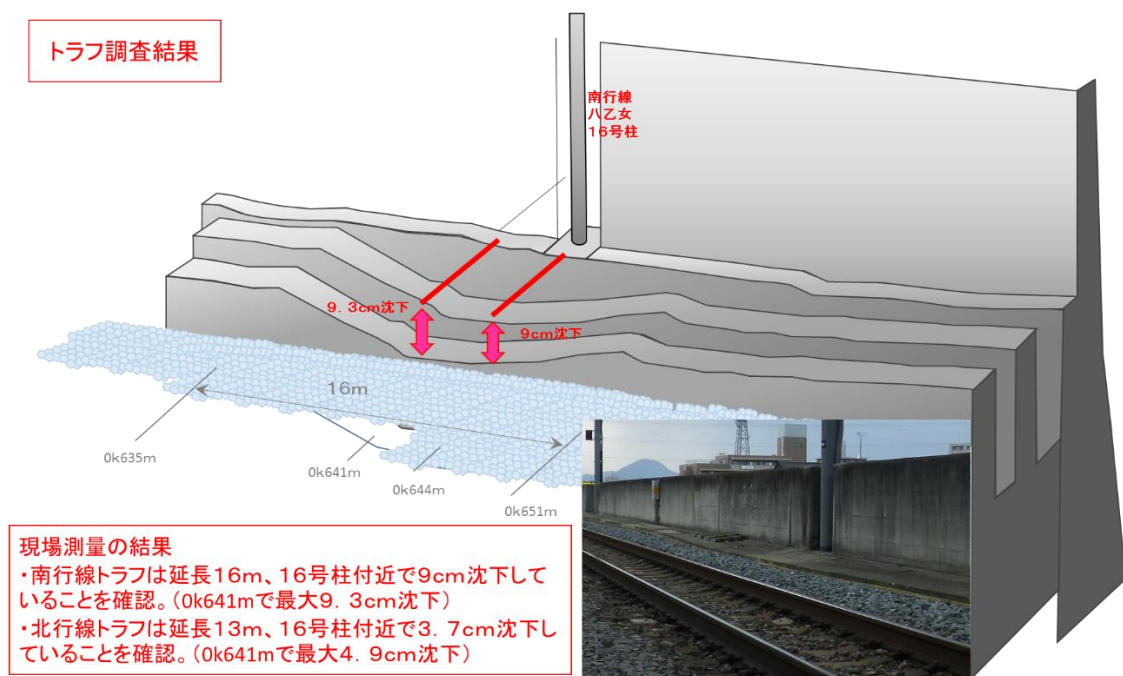


図-15 ケーブルトラフ沈下調査概要図

## ②ケーブルトラフ隙間調査

### i) 調査方法

- ・擁壁との水平方向の隙間については、ケーブルトラフの蓋を開け、金尺で隙間を測定した。
- ・底版下の鉛直方向の隙間については、コアボーリングマシンによりケーブルトラフ底版を削孔し、削孔深とコアの長さにより隙間の有無を確認した。

### ii) 調査結果

- ・擁壁との隙間については、南行線側において確認された。隙間のある区間は、沈下方向に変位している区間と同一の 0k635m～0k651m（延長 16m）で、隙間幅は最大幅 1.7 cmであった。これは、ケーブルトラフが沈下の際に前面（軌道側）に傾いたため生じたものと推測される。なお、北行線ケーブルトラフと擁壁の間に隙間は確認されなかった。
- ・底版下の隙間については、南行線、北行線共に 3cm の隙間が確認された。砕石基礎と盛土が沈下したため、3cm の隙間が出来たものと推察され、今後もこのままの状態で放置するとケーブルトラフの沈下は更に進行するものと考えられた。なお、軌道下の側溝基礎及び舗装路盤についても確認を行なったが、隙間は確認されなかった。

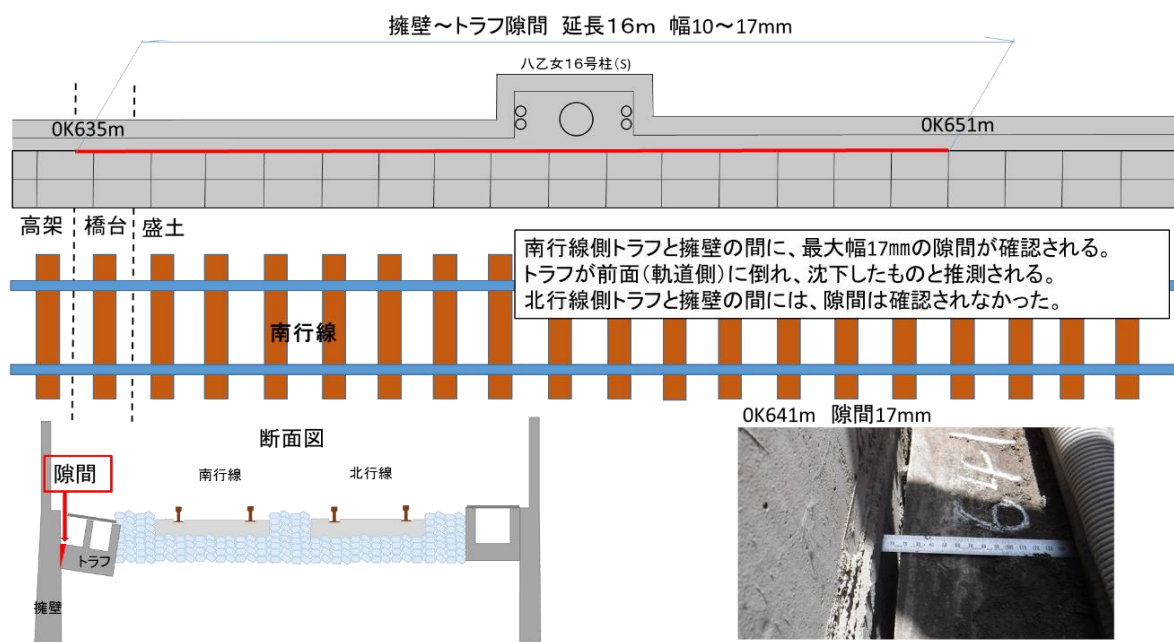


図-16 ケーブルトラフ・擁壁間隙間調査概要図

トラフ基礎の状況を確認するため、トラフ底版を削孔し状況を確認した。  
 トラフと基礎の間に3cmの隙間を確認した。  
 軌道内の側溝下及び舗装下には、隙間は確認されなかった。

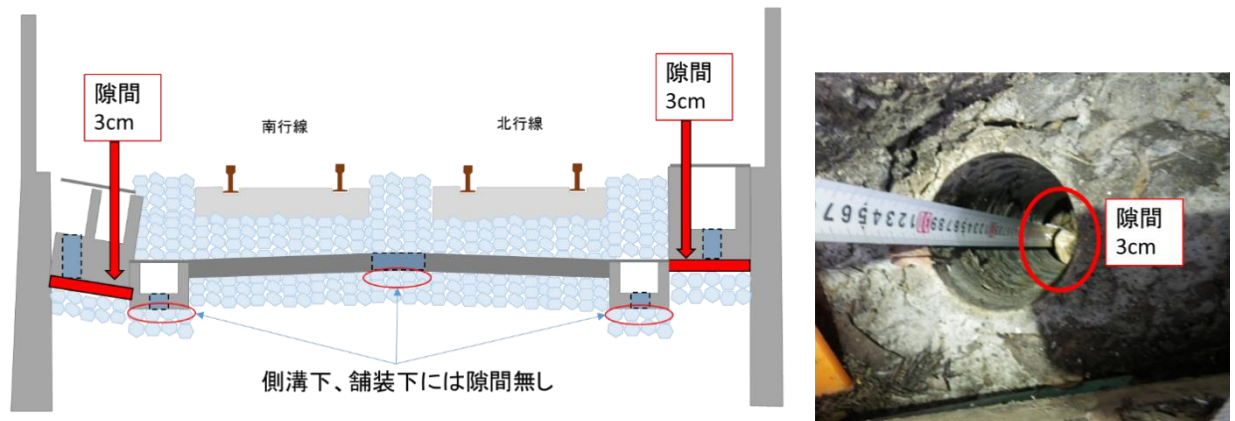


図-17 ケーブルトラフ底版下隙間調査概要図

### ③盛土内空洞調査

#### i) 調査方法

盛土内に空洞がある可能性が考えられたため、簡易貫入試験により、空洞の有無を確認した。

#### ii) 調査の結果

盛土内に空洞は確認されなかった。

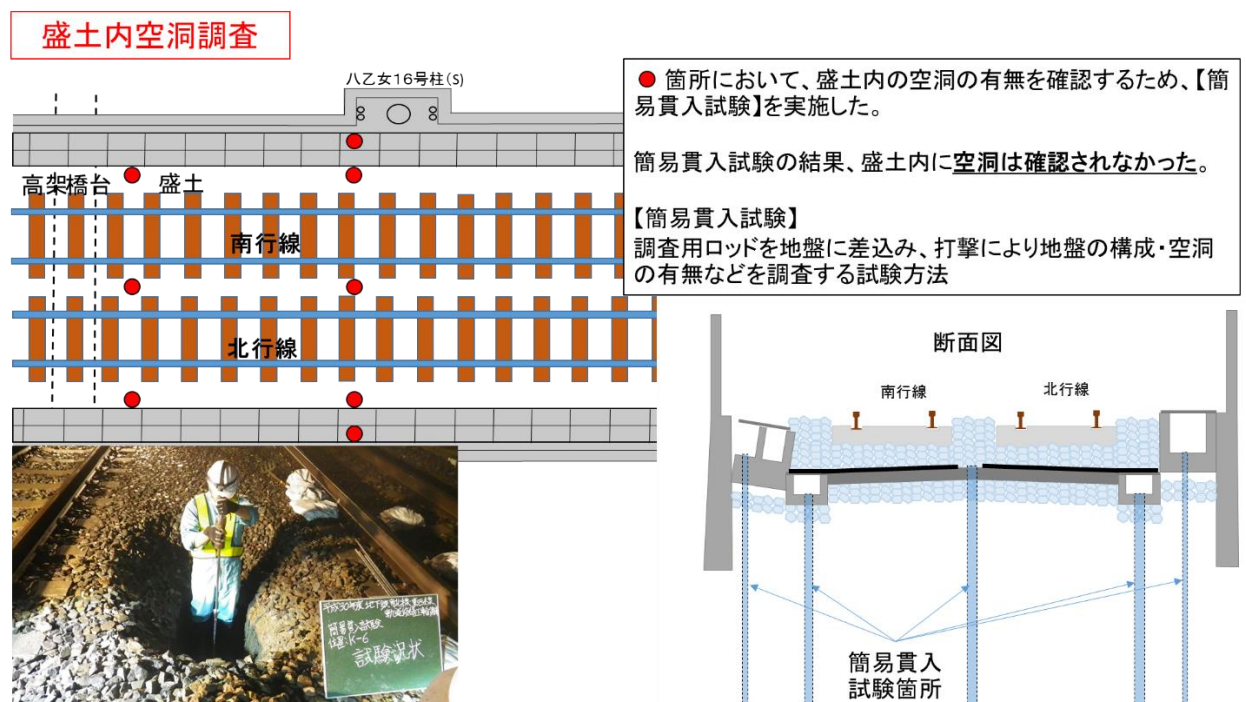


図-18 盛土内空洞調査概要図

#### ④南北線土木工事竣工書類調査

南北線建設時の竣工書類を調査した結果、施工不良は確認されなかった。施工時の状況写真からは、盛土部中央の転圧は大型重機で行なっているものの、盛土部端部となる擁壁直近（ケーブルトラフ下を含む）には大型重機が近づくことが出来ず、ケーブルトラフ下の盛土の入念な転圧は困難であったと考えられる。

#### ⑤バラストマットの状況調査

##### i) 調査方法

軌道側部のバラストを掘削し、軌道下のバラストマットの状況を調査した。

##### ii) 調査結果

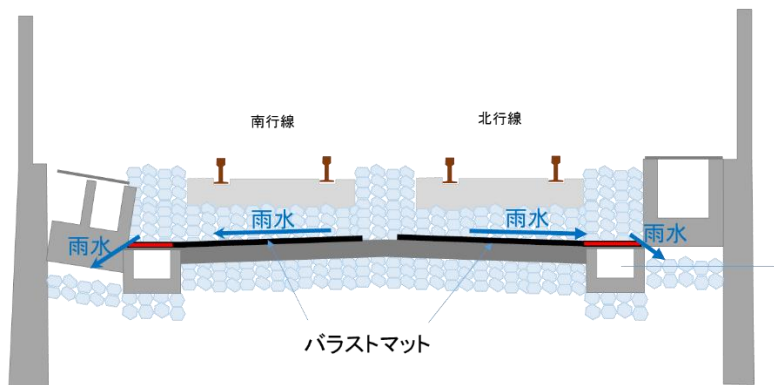
バラストマットが側溝上部まで敷設されており、雨水が側溝に流れにくい構造となっていた。このため、降雨時にはケーブルトラフと側溝の間から盛土内に雨水が流入し、土が流れ出た可能性が考えられる。

また、南北線建設時の竣工書類から施工状況の写真を確認したところ、施工当時からバラストマットは側溝上部まで敷設されていたことが確認できた。

軌道下の状況を調査した結果、バラストマットが側溝を塞いでいるため雨水が側溝には入らない構造となっていた。このため、降雨時にはトラフと側溝の間から、盛土内に雨水が流れ込む構造となっている。

##### 【バラストマット】

道床バラストの細粒化の防止及び、騒音・振動対策のために敷き込むゴム製マット。



図－19 バラストマット状況調査概要図

### 3. 調査結果のまとめ

#### (1) ケーブル損傷に至った原因

漏電の原因になったき電ケーブルは、ケーブルトラフの沈下により電柱の基礎部とケーブルトラフ底板との間でせん断的なズレが生じて押しつぶされ、徐々にケーブルトラフの重みに耐えられなくなり、さらに折れ曲がり損傷したことによって、一気に漏電したことが事故の主たる原因と認められる。

なお、ケーブルトラフの沈下は、東日本大震災にて盛土が揺さぶられ、沈下したことでケーブルトラフ下に隙間を生じたことが一つ目の原因と推測される。

(地下鉄南北線建設当時の資料からも、擁壁直近の盛土部分の入念な盛土転圧は困難であったことが推測される。)

また、ケーブルトラフに隣接して敷設してある雨水側溝の上部にバラストマットが敷設されていたことにより、雨水が側溝へ流入せず、ケーブルトラフ下へ侵入にしたことによって、土が流出しケーブルトラフ下に隙間を生じたことがもう一つの原因と推測される。

#### (2) 事故発生の要因

本事故が発生した要因は以下のとおりである。

- 1) 事故の原因となった、き電ケーブルの敷設場所が擁壁盛土区間であったこと。
- 2) き電ケーブルが、線路に並行して敷設してある弱電用ケーブルトラフ底板内を配管し交差しており、ケーブルトラフが沈下した場合に影響を受ける構造であったこと。
- 3) 地震動による盛土の沈下により、ケーブルトラフが徐々に沈下したこと並びにバラストマットが雨水側溝上部に敷設されていたため、バラストマットを介し、雨水が盛土内に侵入したことで盛土の流出を誘引したこと。

#### (3) 施設管理上の問題点

事故発生に至るまで、ケーブルトラフ沈下への対策が執られなかった問題の要因は以下のとおりである。

- 1) 当該区間の構造物に関する情報が共有されておらず、「擁壁盛土区間に設置されたケーブルトラフは沈下する可能性がある」というリスクに対する認識が不足していたこと。
- 2) 擁壁盛土区間において、「き電ケーブルがケーブルトラフの下を横断している」という情報が共有されておらず、また、このような構造にリスクがあるという認識も不足していたこと。
- 3) 東日本大震災以後から事故発生前までの間、ケーブルトラフの変状がき電ケーブルへ及ぼす影響が認識されず、き電ケーブルの敷設状況に対する点検が行われずにいたこと。
- 4) 電気部門と土木部門の双方において、ケーブルトラフ所管に関する認識にズレがあったこと。
- 5) 電気部門と土木部門の双方において、ケーブルトラフの変状に対する情報確認の不足があったこと。



## 4. 学識経験者からの意見聴取

事故発生時から仮復旧までの対応状況について、学識経験者※8 より以下の意見を頂いた。

(1) 事故当日の対応及び改善案について

- 1) 初動は良かったが、架空電車線の絶縁抵抗の測定は行わなくても良かったのではないかな。
- 2) 原因調査に関しては妥当である。
- 3) 作業時間は著しく長いとは言えないが、復旧時間を短くする必要があるのではないかな。

(2) 東京地下鉄株式会社の対応例について

- 1) 基本的に事故点を切り離し、運転を再開している。
- 2) 支障区間を最小限とした折り返し運転を実施することになっている。
- 3) 早期復旧のため、遠隔で断路器を操作できる設備を導入している。また、早期復旧に関する様々な訓練を行っている。
- 4) 今回のケースのような場合では、ぎりぎりの区間を復電させ、運輸指令が折り返し運転を指令する。なお、指令所では、「常に等時隔運転を心がけ、列車輻輳による駅間停止列車を防止し、最大限の運転区間を確保し、最小限の支障時間を目指す」ことを意識している。

(3) その他のご意見

- 1) 事前に片線による給電時の間引き運転の方法などを明らかにしておくことなどが有効ではないかな。
- 2) ケーブルを並行布設している場合は、隣接ケーブルの損傷を前提とした仮復旧を検討してはどうか。
- 3) 架空電車線の絶縁抵抗測定は困難なので、別の方法を検討しておく方が良いのではないかな。
- 4) 隣接変電所から片送りした場合の間引き運転等を検討しておく方が良いのではないかな。
- 5) 遮蔽の無いケーブルを使うことによるメリットもあるが、デメリットもある。
- 6) 「鉄道事業は都市活動を支える重要なインフラなので、安全な範囲でできる限り輸送を継続するのが基本となるべき」という専門家の意見もある。

(4) 今後の対応について

- 1) 事故当日の対応については概ね評価を得られたが、更なる改善の余地があるものと考えている。
- 2) 折り返し運行や間引き運行にあたっては、必要な課題（運行区間の安全確認、運行ダイヤの作成、列車及び駅舎に給電する電源の確保）を整理していくこと。
- 3) 復旧時の作業の迅速化については、作業手順の見直しや関係業者との協力体制強化などの対策について検討していくこと。

※8 東京地下鉄株式会社ほか1法人



## 5. 再発防止策

### （１）鉄道施設に関する再発防止策

#### １）き電ケーブルの復旧

き電ケーブルを復旧する際、既設の信号・通信用ケーブルトラフを上越しするルートとし、既設ケーブルトラフの上部を切断し、復旧用ケーブルを敷設し復旧した。（図－12，13 参照）

#### ２）鋼管柱に対する措置

き電ケーブルを地表からカテナリー線へ導く鋼管柱については、鋼管柱用補強バンドにて、事故による損傷箇所を補強した。（図－13 参照）

### （２）施設管理体制に関する再発防止策

#### １）ケーブルトラフの所管は電気課とし、電気課が点検した結果、修繕等が必要な場合には電気課から富沢管理事務所※へ修繕を依頼することを明確にした。

※平成 30 年 4 月の組織改正により、旧施設課から土木施設の所管を継承した。

### (3) 改善措置

#### 1) ケーブルトラフ沈下に関する措置

##### ① ケーブルトラフ下の隙間への充填

ケーブルトラフの下に隙間を確認した箇所へモルタルを充填することで、沈下の進行を防止した。

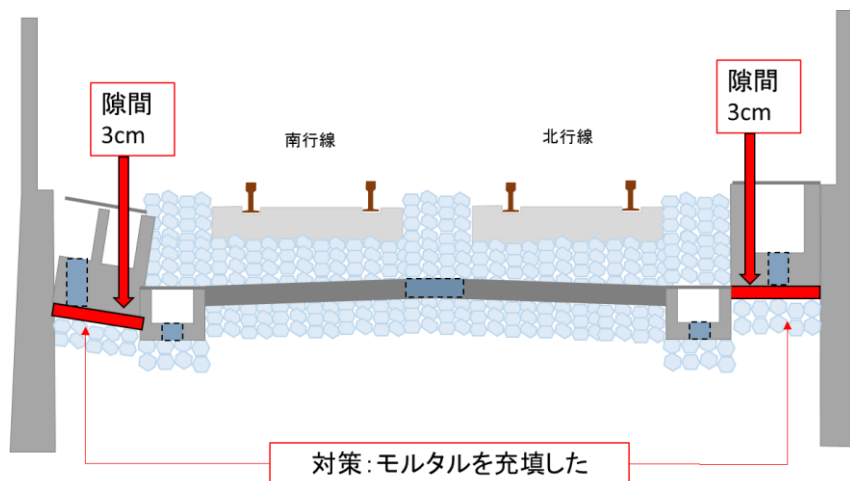


図-20 ケーブルトラフ下充填概要図

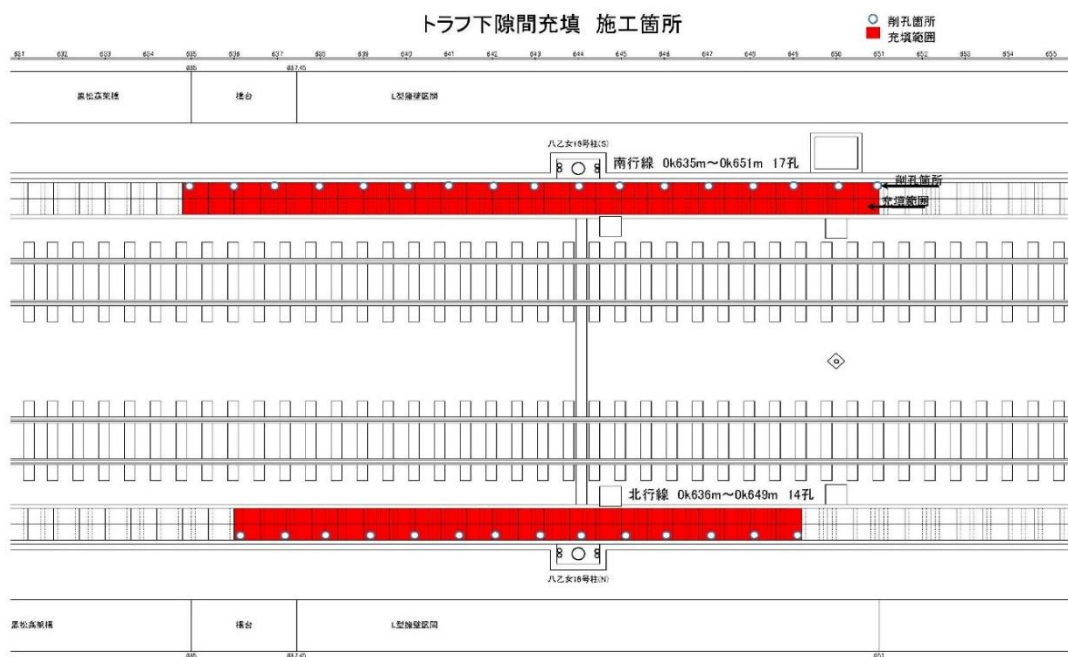


図-21 ケーブルトラフ下充填位置平面図

## ②バラストマットの撤去

バラストマットは、列車の振動や騒音の低減等を目的として道床バラストと路盤の間に敷設されている。ケーブルトラフ下に隙間が見られる箇所周辺のバラストマットは、一部で雨水排水用側溝の上部にも敷設されているが確認されたことから、側溝の機能を阻害している部分の撤去を行うこととした。

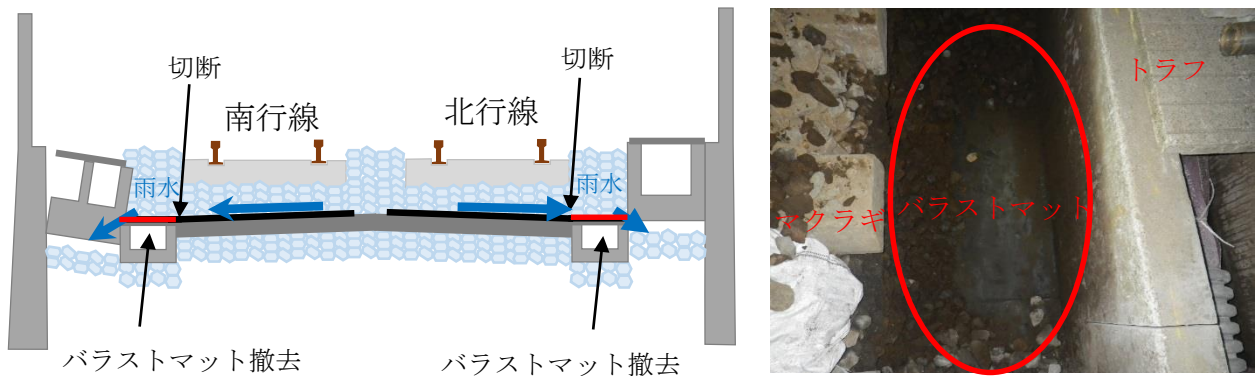


図-22 バラストマット撤去概要図

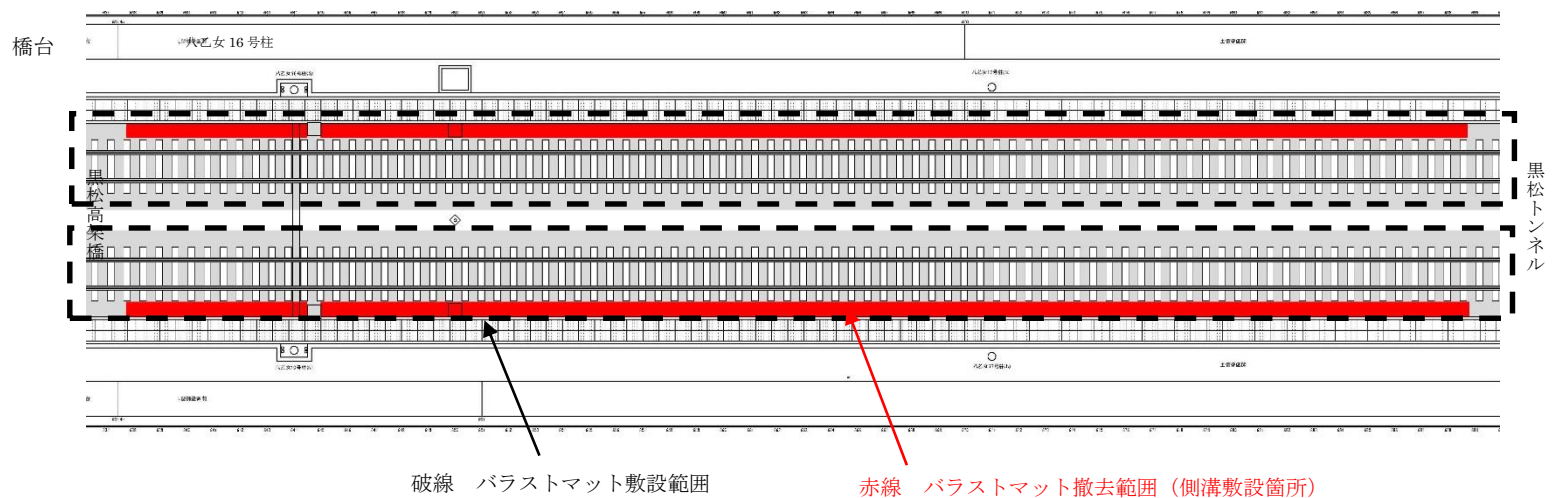


図-23 バラストマット撤去位置平面図

## 6. 類似構造箇所への展開

### (1) 他の擁壁盛土区間の調査

ケーブルトラフの沈下が当該事故の原因となったことから、き電ケーブルがケーブルトラフ底板内に配管されていない区間ではあるが、当該事故区間と同様の擁壁盛土区間（以下の3区間）においてケーブルトラフの沈下及び隙間の有無について調査を行った。その結果、ケーブルトラフ下に隙間が確認された黒松トンネル南側の一部区間については、沈下防止のためモルタルにより充填を行った。

#### ①黒松トンネル南側（0k790m～0k850m）



図-24 調査位置図 0k790m～0k850m 黒松トンネル南側

#### ②黒松駅北側（1k488m～1k500m）



図-25 調査位置図 1k488m～1k500m 黒松駅北側

③富沢車庫入口

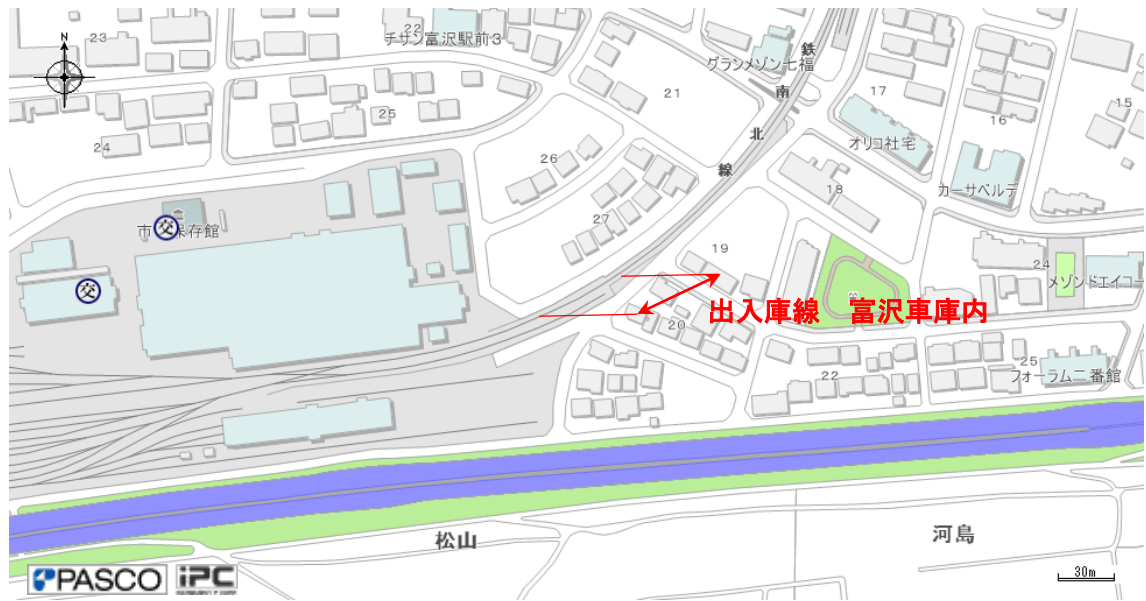


図-26 調査位置図 出入庫線 富沢車庫内

## 7. 委員会からの提言

今後講じるべき措置に関して以下のとおり提言する。

### (1) 今後のき電ケーブル更新に向けての提言

#### 1) 更新時におけるき電ケーブルの種類

南北線建設当時，直流用ケーブルは存在していたものの，公営地下鉄では交流用ケーブルを用いるのが一般的であり，南北線においても交流用ケーブルを使用している。

交流用ケーブルを直流で使用することは，漏電箇所の特定が難しくなることや，事故時にケーブル全体が焼損し影響範囲が拡大すること等などのデメリットがあることから，近年では金属シースの無い直流用ケーブルが一般的に使用されている。

以上の理由より，次回のき電ケーブル更新時には直流用ケーブルを適用することを提言する。

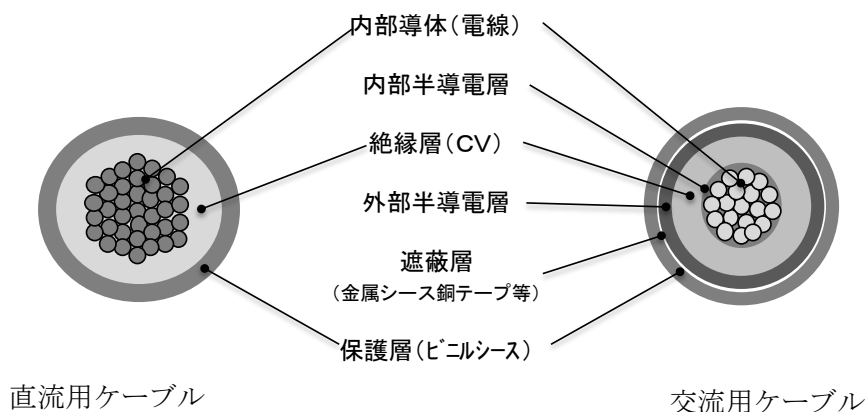


図-27 き電ケーブル断面比較図

#### 2) き電ケーブル更新時のルート

事故再発防止の観点から，き電ケーブルを更新する際にはケーブルの軌道横断方法を工夫する必要があり，今後，以下の方法について検討することを提言する。

表-3 き電ケーブル敷設ルート検討表

|     | 方法①：ビームにより横断 | 方法②：八乙女駅南端で横断 | 方法③：弱電トラフ内で横断 |
|-----|--------------|---------------|---------------|
| 概略図 |              |               |               |

#### 3) ケーブル更新時期

事故発生現場近傍のき電ケーブルを切り取り，メーカーにてケーブルを調査した結果，ケーブルの抵抗値等の測定値は良好であり，経年劣化は認められなかったことから，ケーブルの更新は，予定していた平成34年より前倒しする必要性はないものと判断する。

ただし、これまで行っている漏洩電流測定に加え、今後金属シースを用いた外皮の絶縁抵抗測定を毎年行い、結果に異常が見られる場合は、更新の順位や時期など、包括的に更新計画を見直すことを提言する。

(2) 今後検討すべき事項について

今後の地下鉄運営において、職員が自らの専門分野だけに限らず、他の専門分野にも視点を持ち、踏み込めるような意識改革を行うことが、今後の事故を防いでいくことに繋がると考えることから、今後検討すべき事項については以下のとおりとする。

1) 復旧時間の短縮に向けて

- ①各課が所管している異常時対応マニュアル等の見直しを行い、必要に応じて改訂をすること。
- ②復旧作業に関する手順の見直しを行い、研修や教育訓練により体制強化を図ること。

2) 早期の運転再開に向けて

- ①折り返し運行や間引き運行による早期運転再開に向け、必要な手続きや手順を整備すること。

3) 施設管理体制の強化に向けて

- ①施設管理部門の技術情報（構造物の形状・特性、設備の配置等）の共有や継承が不十分であったことから、研修・教育訓練の取り組みの充実を図ること。
- ②各施設管理部門の境界領域における保守業務の取組について、職員の意識改革を図ること。



## 第2編 情報伝達編

### ○調査における基本姿勢

本事故においては、交通局内の情報展開やお客様への情報提供の各場面において種々の問題が表面化した。それらの問題はバス、地下鉄の各部門内に関する問題ばかりではなく、総務部門を含めた交通局全体としての問題もあると認識される。

本委員会では鉄道各部門における情報伝達上の問題について調査対象とすることとし、交通局全体に係る問題については、別途調査検討を進めることとした。よって、本委員会の報告についても交通局全体の視点から再検証されるべきものと位置づけられる。

## 1. 情報伝達における問題点

### (1) 問題点の整理

#### 1) 情報の収集と発信

##### ①地下鉄利用者向けの情報

地下鉄運休後のお客様の情報収集のツールとして最も効果的なツールであったのが交通局のホームページ上への情報提供であったが、必要な情報をタイムリーに発信することが出来なかった。

また、直接お客様と接する部署（駅、案内センター）でも、情報提供に漏れや遅れが発生していた。

##### ②職員向けの情報

管理部門と現場それぞれに情報が流れ、情報の錯綜や停滞する事態が発生した。

#### 2) 体制確保

地震や大雨などの自然災害等発生時は、「仙台市交通局災害対策要綱」に基づき、被害発生状況に応じ、交通局としての非常配備体制が取られ、それぞれの役割分担により対応に当たることが規定されている。しかし、今回のような電気事故による全線運行停止の際の、非常配備体制の確保については、自然災害発生時に準ずるとの認識はあったものの、体制確保までには至らなかった。今回の事故の発生は、平日の夕方 5 時過ぎで、執務時間終了直後であったこともあり、事故後の情報収集や伝達に必要となる人員がまだ執務室内におり、事故後の様々な対応にあたる人員がすぐに確保できた。しかし、執務時間外や閉庁日に発生した事故であった場合、様々な対応にあたる人員をどのように確保するかは課題が浮き彫りとなった。

### (2) 鉄道部門内各部署の問題点と原因

#### 管理部門①【営業課】

##### 《問題点》

- ・ 本日の復旧は難しいと判断した後のHPへのアップまで 30 分を要している。
- ・ 運行再開決定のHPアップがない。

##### 《原因》

- ・ 係毎及び職員毎の役割分担が指示されず、職員各々が自主的に対応にあたったことから、HPの更新が遅れたり、アップが出来なかった。また、HPへアップする情報が何かということも把握されていなかったことから、アップが漏れてしまった。

#### 管理部門②【駅務サービス課】

##### 《問題点》

- ・ 代替輸送の運行開始を東西線管区に連絡しなかった。

##### 《原因》

- ・ 過去にあまり経験していなかった長時間に渡る運行停止に加え、南北と東西の 2 路線になっ

てから初めての事案でもあったため、事務処理がスムーズに進まなかったことや、情報の共有がうまく図られず、指示などが遅れてしまった。

#### 管理部門③【総合指令所】

##### 《問題点》

- ・本日中の運転再開についての情報が、運転士が駅で聞いた情報と電気課から得た情報で違いがあり、指令所内での情報が錯綜した。
- ・運転再開見込みの一斉同報（第2号）が、交通局として公式に運転再開見込みを発表する前に外部に出た。

##### 《原因》

- ・総合指令所として、公式な情報入手経路が確立されていなかった。
- ・一斉同報がマスコミにも流れることは把握していたが、交通局として外部に情報を流す優先順位までは意識していなかった。

#### 管理部門④【運転課】

##### 《問題点》

- ・「運転見合わせ」の情報が運転課まで届いていないこと、また、「本日中の運転再開困難」の情報が運転課に入るまでの時間が遅かった。

##### 《原因》

- ・情報伝達のルートが確立していないため、運転課として列車無線傍受などにより積極的に情報収集を行わないと情報が入ってこなかった。

#### 技術部門①【施設課】

##### 《問題点》

- ・運転再開に向けての情報伝達にあたり、誤った情報が外部に伝わるころだった。

##### 《原因》

- ・情報の伝達にあたって、真偽を確認しなかった。

#### 技術部門②【電気課】

##### 《問題点》

- ・原因が漏電で、直接の原因担当課であったことから、直接、総合指令所等と運転再開の可能性について打ち合わせを行ったため、情報の混乱を与えた可能性があった。

##### 《原因》

- ・情報伝達のルール（発信と受領）が確立されていないことが、指令所での混乱となった。

※車両課、富沢管理事務所、荒井管理事務所での問題点はなかった。

### (3) 現行の異常時対応マニュアルとの比較

情報伝達の検証の結果、情報の収集と発信に問題があり、情報の収集と発信を行う体制が確立されなかった点に原因があった。

さらには、地震や自然災害が発生した場合は、「仙台市交通局災害対策要綱」に基づき、非常配備体制が発令され、それぞれの役割に沿って業務を行うこととなるが、今回のような事故では、非常配備体制が発令がでない中での情報収集業務が始まったことにも、業務に混乱が生じた要因となっていた。

また、異常時対応マニュアルに準じ係員の対応を行おうと準備を始めたが、不慣れな業務への対応に苦慮し滞る場面もあった。

災害発生時に情報収集班となる営業課の「事故災害等異常時における営業課対応マニュアル」を確認し今回の検証結果と照らした結果、次の問題点が確認された。

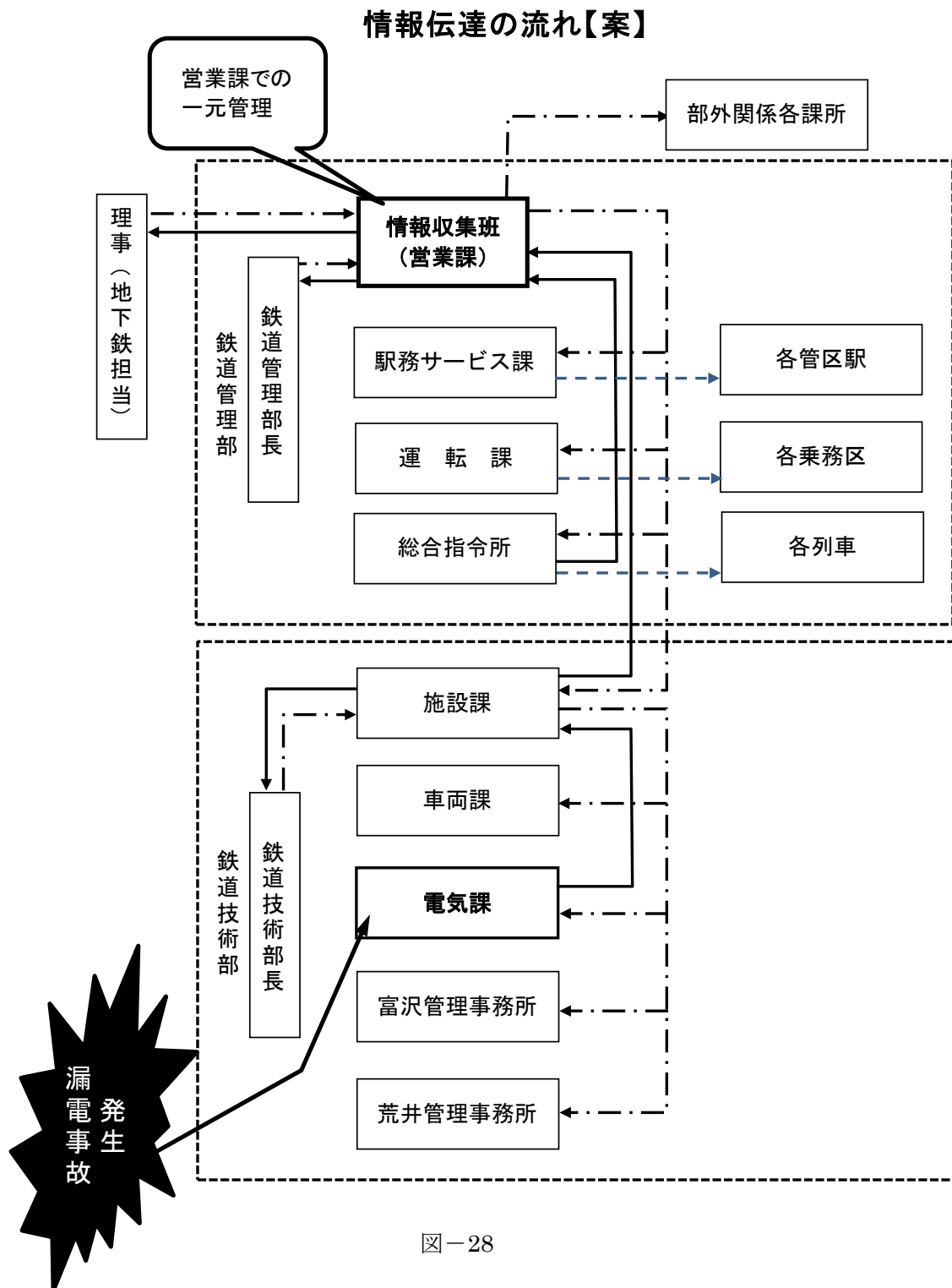
- ・マニュアルでは情報の収集先の記載があるものの、今回のような施設事故の場合の情報源は個別に収集するとの記載となっており、積極的に情報収集を行わないと情報が入ってこない状況であった。
- ・通常業務において、総合指令所や駅などの現場部門との連絡調整を主に行っている係が、非常時には情報収集の担当になることがスムーズな情報収集を行えると考えられるが、マニュアル上では、情報を整理し発信する担当となるなど、通常業務と非常時業務に乖離が生じる運用に苦慮した。

上記の点からも、営業課での異常時対応マニュアルの再整備は必要であると判断される。

## 2. 問題解決のための方向性

### (1) 情報の一元管理

今回の事故を受けての最大の問題点は、情報を一元管理できなかったため、情報の錯綜や停滞が発生した点にあることから、情報の収集と発信を一元管理するため、「仙台市交通局災害対策要綱」の中で定める情報連絡班を、災害に限らず立ち上げることを基本とする。



図－28

## (2) 体制確保と業務

情報の一元管理を行う情報連絡班は営業課内に立ち上げる。

情報連絡班を立ち上げるにあたっては、業務を停滞することなく確実に実行するために、一定の基準を設ける必要がある。

基準例: 運行停止が 30 分以上続くと思われる場合は災害対策本部と同様の事故対策本部を立ち上げ情報連絡班を設置し情報連絡体制を確立する。

### 1) 情報の一元化による業務

体制確保後に行う業務は以下の内容

- i. 情報収集による状況把握
- ii. ホームページへの情報アップと更新
- iii. 関係各課所への情報発信
- iv. 問い合わせ対応

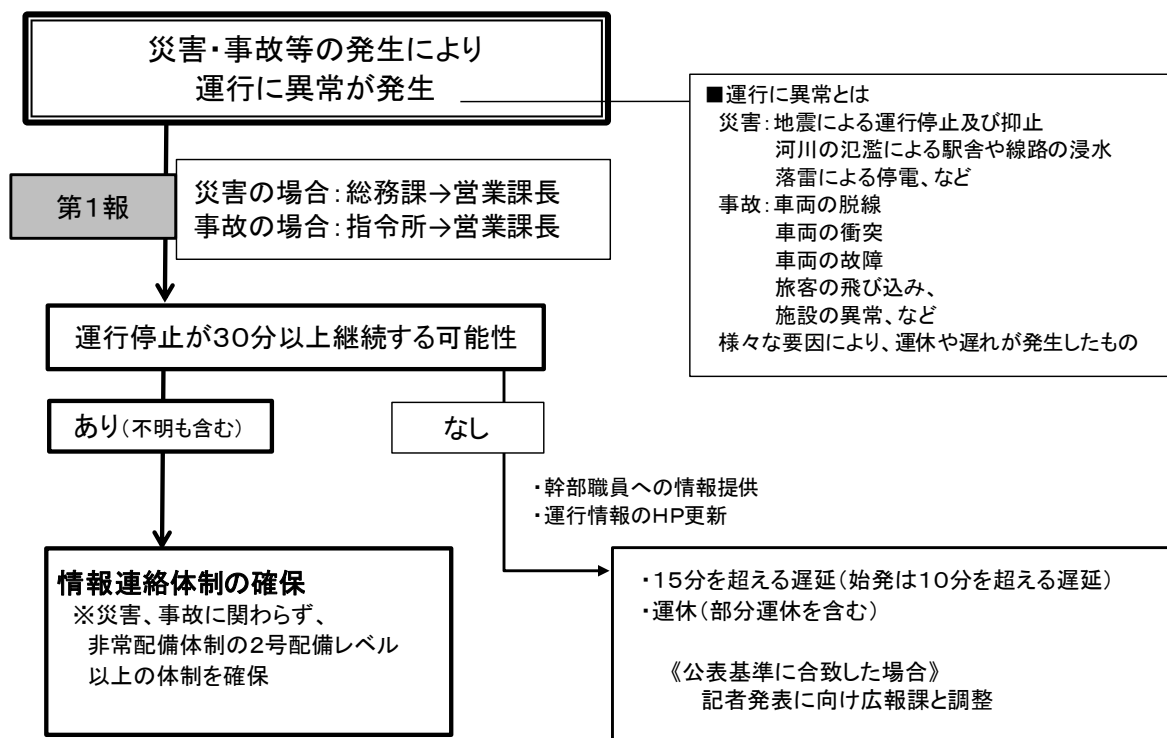
### 2) 体制確保のための必要人員

「仙台市交通局災害対策要綱」で定める非常時の体制には、警戒配備から 3 号配備まで 4 段階あるが、情報の一元管理のための上記 i ～ iv までの業務に対応するためには、2 号配備以上の人員を確保する必要がある。

### 3) 役割分担の明確化

体制確保後の情報収集・発信業務を遂行するにあたっては、非常時のみ行う業務を担当するのではなく、通常行っている業務内容に即した任務分担とすることで、業務が円滑に行われるため、通常業務に即した役割分担を基本とする。

## 体制確保までの流れ



図－29

### 3. 委員会からの提言

鉄道部門内での今後の対応については、以下の方向で検討することを提言する。

#### 1) マニュアルの再整備

情報の収集・発信を一元化するためには、情報伝達の流れとしては（P.38 図－28「情報伝達の流れ【案】」）が基本となる。この流れの更なる精査と、各課で所管する異常時対応マニュアルの再整備が必要となるため、今後、鉄道部内各課によるワーキンググループを立ち上げ検証を行い、各課の異常時対応マニュアルの再整備を行うこと。

#### 2) 訓練の実施

自然災害とは異なり、定期的に繰り返し発生する事象ではない今回のような事象に備え、情報伝達のやり方については、訓練を定期的に行うことで不測の事態に対する対応が可能となるため、情報伝達訓練を定期的を実施する体制を整えること。

なお、上記の検討においては、対応策に基づく訓練を行うことで、その効果や現実性を検証することが望まれる。

以上のように、今後の対応について提言したが、今回の事故のみならず情報伝達は、災害発生時などにおいても重要となる。

今回のように地下鉄が長時間にわたって運行を停止すると、バスへの振替輸送が行われる。振替輸送に関しては自動車部との情報の共有が重要となり、情報の収集・発信には、交通局全体としての対応策についても今後検討していく必要がある。また、訓練を通じて不測の事態に対し常に対応できるよう備えておくことも重要となる。



## おわりに

鉄道事業ではこれまでの多くの事故経験に対して様々な措置改善を重ねてきました。その努力により鉄道における事故は徐々に発生件数を減らしており、仙台市地下鉄においても同様であります。しかし、事故が減っていることが、即ち事故対応経験が減ることにもつながり、安定輸送の面からは弱点となっているという面も少なからずあるものと認識しています。

本件事故を調査・検討した結果としての本報告書は、事故対応経験の少ない現状においてはきわめて貴重なものであり、今後の一層の安定輸送に向け十分に活かされることを期待するものであります。

平成 30 年 11 月 13 日

委員長 理事（地下鉄担当） 森 研一郎

