

線路下横断工事における安全性の検証

Verification of safety in construction of underpass structure of railway

清水 満¹・齋藤 貴²・末松 史朗²・鈴木 尊²・桑原 清³

Mitsuru Shimizu, Takashi Saito, Shiro Suematsu,

Takashi Suzuki and Kiyoshi Kuwabara

¹フェロー会員 東日本旅客鉄道(株) 建設工事事務 構造技術センター (〒151-8578 東京都渋谷区代々木2-2-2)

²正会員 東日本旅客鉄道(株) 建設工事事務 構造技術センター (〒151-8578 東京都渋谷区代々木2-2-2)

E-mail:suzukitakashi@jreast.co.jp

³正会員 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 工事管理室(〒151-8512 東京都渋谷区代々木2-2-6)

In construction of underpass structure beneath railway, it often influences the railway. The JES method developed to cancel this danger can reduce the influence to the railway track, and there are a lot of results. However, three big transportation troubles had occurred recently, so we would verify the safety of the JES method.

The following two examinations were done. The obstacle thing measures examination and another one is the concrete placing in element examinations. Moreover, it thought about process of the JES method with high possibility of influencing the railway track, and measures were shown clearly respectively.

As a result, The safety of the JES method has improved more than before.

Key Words : *underpass structure, JES method, verification of safety*

1. はじめに

線路下に道路などの横断構造物を構築する工法として、線路上から土を掘削して構造物を構築する開削工法と、列車走行に与える影響をできる限り少なくするため、横から土を掘削して構造物を構築する非開削工法がある。このうち従来の非開削工法では、軌道防護工を一旦地中に構築し、その防護工の下で本体構造物を構築する工法や、あるいは防護工を押し出しながら本体構造物に置き換える工法がとられていた。この場合、防護工の下を掘削する段階や防護工を押し出す段階等において、路盤陥没や軌道変状等のトラブルが多く発生していた。このため、軌道に与える影響の少ない、新たな線路下横断工法の開発が求められていた。

上記のような問題点を解決するために開発したのが、JES工法 (Jointed Element Structure Method) である。JES工法は、防護工をそのまま本体とすることにより、線路下で行う作業を最小限にし、また本体構

造物が完成してから内部を掘削することにより、仮設状態での掘削を不要とするなど、線路下横断工事の安全性を高めることを目的に開発された。

このため、従来の工法と比較して、軌道変状のリスクが大幅に軽減された工法であり、平成11年以降これまでに50件以上の施工実績を重ね、陥没等の輸送障害に繋がる事故は大幅に減少した。しかしながら、軌道変状のリスクが全く無くなった訳ではなく、最近になり、軌道変状による大きな輸送障害が3件連続して発生した。そこで、これらの軌道変状事例を参考に、JES工法の安全性を検証した。

2. JES工法の概要

JES工法は、けん引または推進するエレメントの軸直角方向に力を伝達することができる継手部を有するコの字形の鋼製エレメントを用い、線路下に非開削で箱形ラーメン形状や円形状の構造物を、延長に

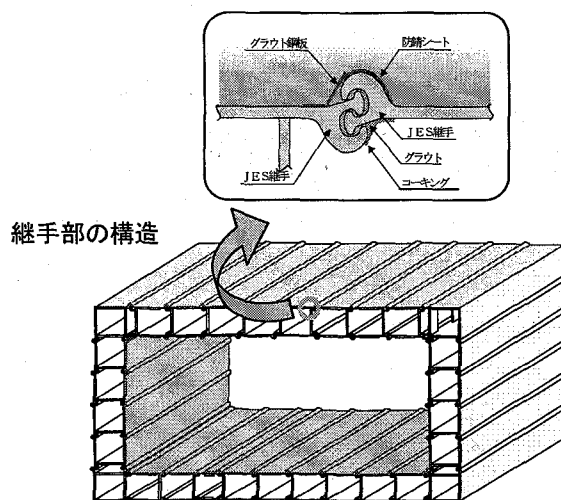


図1 JES工法の概要

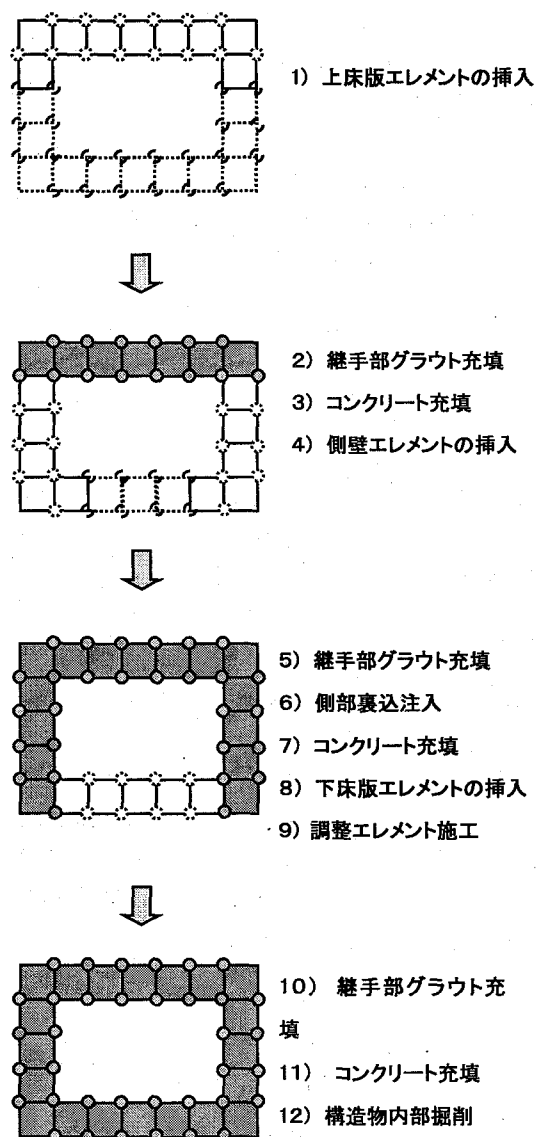


図2 JES工法の施工順序

制約されずに構築できる工法である。JES工法の概要を図1に示す。

JES工法の基本的な施工手順は、継手を嵌合しながらエレメントを順次挿入し、上床版・側壁部・下床版を構築するものである。上床版・側壁部・下床版と構築される毎に、エレメント内部にコンクリートを充填して構造体として機能させるものとなっている。エレメントで囲まれた後、内部を掘削し、線路下横断構造物を完成させることになる。JES工法の施工順序を図2に示す。

3. 軌道変状の発生事例

JES工法は、軌道下に小さなエレメントを順次挿入する工法のため、大きな軌道変状が発生する可能性は極めて低い。また、軌道に影響を与える可能性のある上床版エレメントの施工についても、線路閉鎖作業および軌道整備を行うことを前提とすることが多いため、軌道への影響は最小限に抑えられる。したがって、工法に起因する輸送障害事故は今まで発生しておらず、次に示すような3件の列車運行に影響を与える軌道変状は、初めてのできごとであった。

(1) 埋め戻し不良による軌道変状

本事例における軌道変状は、上床版エレメントの施工中（線路閉鎖間合い）に発生した。当該現場の上床エレメントの施工位置は盛土であり、盛土内にはたくさんの支障物（レンガ片や石積み土留め等）が確認されていた。このため、事前に支障物を撤去し、埋め戻し時には軌道防護を兼ねて路盤改良を行った。その後、施工上の手戻りが生じ、改良体の一部を取り壊して再構築を行ったが、これが原因となって軌道変状が発生した。変状概要図を図3に、発生事象を以下に示す。

a)再構築した改良体は他の部分に比較し強度が弱く、路盤改良体は平面的に強度が不均一な小ブロック

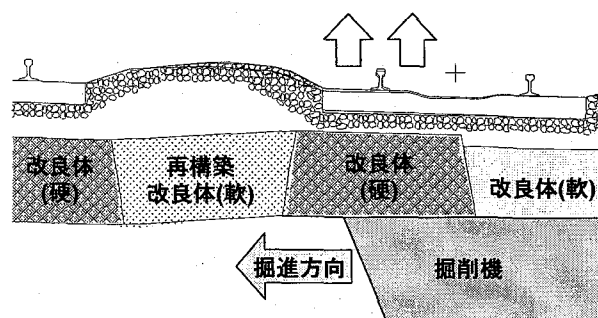


図3 埋め戻し不良による軌道変状概要図

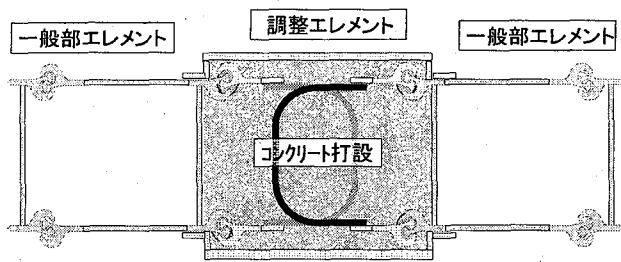


図4 調整エレメント概要図

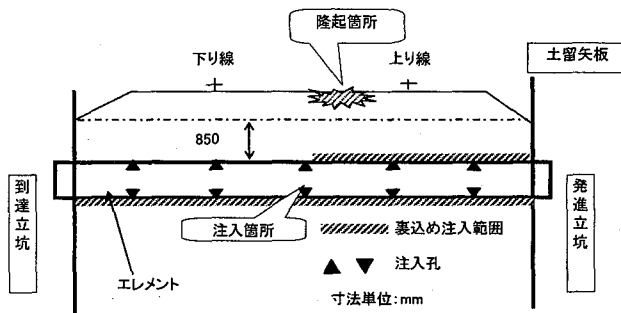


図5 裏込注入による軌道変状概要図

状となっていた。

- b)掘進時に、オーガー掘削機の構造上、土砂取り込みが不足した状態で推進を続けた結果、前面の土砂を押し、上方の固い小ブロックの改良体を押し上げながら推進し、軌道が隆起した。
- c)隆起量が大きかったため（約40mm）、線路閉鎖時間内に適切な軌道整備を行うことができなかった。

(2) エレメント内コンクリート打設時の軌道変状

本事例における軌道変状は、上床版調整エレメント内部へのコンクリート打設作業中（列車運行時間帯）に発生した。調整エレメント（図4）とは、矩形断面の閉合箇所を用いられるもので、通常の場合は下床版に配置され、一般部エレメントを含めてエレメント内へのコンクリート打設作業は、列車を走らせながら行っている。当該箇所通常の場合と異なった点は、施工上の制約条件から調整エレメントが上床版に配置されていた点である。調整エレメントは、エレメント間の施工誤差を吸収するために用いられるものであるため、一般部のエレメントとは異なり、上下のカバープレートが固定されていない。したがって、エレメント内部へのコンクリート打設時にカバープレートが上方に押し上げられ（最大で約115mm）、路盤および軌道を隆起させた。

(3) 裏込注入時の軌道変状

本事例における軌道変状は、上床版エレメントの

裏込注入時（列車運行時間帯）に発生した。エレメントを地盤に挿入する線路下横断工法の場合、挿入時の掘削状況によってエレメント背面と地盤の間に空隙が発生する。したがって、エレメント挿入後にはエレメント背面の空隙確認を行い、必要により裏込注入を実施しなければならない。

今回は、上床版エレメント挿入後、エレメント背面に発生した空隙を充填するために実施した裏込注入時に軌道変状が発生した。現場は土被りが浅く（850mm）、また注入圧が高かったために軌道を隆起（14mm）させることとなった。軌道変状の概要図を図5に示す。

4. 施工時の着目点

JES工法において、施工手順毎に想定される軌道変状リスクを洗い出し、そのリスクの危険度の高さや発生の可能性を検証した。その際には、軌道変状の発生事例を参考にし、以下の3点について、軌道変状の恐れが高い施工内容として着目した。

(1) 路盤内支障物への対応方法

エレメント挿入時に支障する埋設物等への対応は、事前に撤去する場合や掘進途中で撤去する場合など、支障物の位置や大きさ、硬さ等により様々である。軌道に最も近接する上床版の施工時には、支障物の撤去方法や撤去後の埋め戻し方法によっては、軌道変状を発生させる可能性が高い。

(2) 上床エレメント内コンクリート打設方法

上床版に位置するエレメントの内部にコンクリートを打設する際に、過度な圧力で打設を行った場合や、上下のカバープレートが固定されていない調整エレメントが上床版に位置する場合には、エレメントが変形し軌道変状を発生させる可能性が高い。

(3) エレメント背面裏込注入方法

上床版エレメント背面の空隙に裏込注入を実施する際に、過度な圧力で注入を行った場合、その圧力で軌道を隆起させる可能性が高い。

以上の3点のうち、(1)と(2)について、どのような施工を行うと軌道変状が発生する可能性があるのかを確認するため、次のような施工試験を実施した。また(3)については、その他の施工手順も含めて、軌道変状リスクの洗い出しと対処方法を検証した。

5. 路盤内支障物対策試験

(1) 試験概要

この試験は、路盤内に支障物が存在した場合の対処方法により、軌道変状が発生する可能性の有無について確認するために実施した。

支障物への対応は、事前に支障物を撤去し、その後埋め戻す方法を想定した。埋め戻し材は強度の異なるものを使用し、異なる強度が混在した不均一な箇所をエレメント掘進させ、路盤の動きを観察することとした。試験手順は次の通りである。

- エレメントの掘進位置を、予め次のような状態に置換えた。
- 置換えには透水性スラグモルタルを用い、その配合により高強度（一軸圧縮強度 20N/mm^2 以上）のものと弱強度（同 0.2N/mm^2 以上）のものを混在させた。
- 強度の異なる置換え材が混在する箇所において、オーガー掘削機によるエレメント掘進作業を実施した。
- エレメント掘進時の路盤の動きおよび、エレメントの推進力の測定を実施した。

(2) 試験結果

支障物撤去後の埋め戻しには、高強度と弱強度の材料を混在させて使用したため、それぞれがブロック状の塊となり、不均一な路盤状態となった。そのような路盤内にエレメントを掘進させた状況を、以下に示す。

- 刃口が高強度のブロック片に到達した。
- 高強度のブロック片の後方には、弱強度のブロック片が存在した。
- 掘削機を掘進させるが、弱強度のブロック片が後方に存在するため反力が確保できなかった。



写真1 路盤内支障物対策試験ひび割れ発生状況

d)高強度のブロック片は、反力が確保できなかったため、刃口の推進に伴い押し出されてしまった。
なお、このときのエレメント推進力は $1,400\text{kN}$ 程度であり、ほぼ計画推進力内に収まっていた。

e)押し込まれた高強度のブロック片は上部の路盤を動かし、隆起に至った。隆起量は、 42mm であり、路盤にひび割れが発生した（写真1）。

(3) 今後の対策

今後の対策として、不均一な埋め戻し材に起因する軌道変状を防止するため、支障物撤去後の埋め戻しの際には、埋め戻し材の品質管理が確実にできる材料（山砂等）を使用することを基本とした。また、軌道変状対策としての路盤改良は、分岐器下等の軌道整備基準値の厳しい箇所を除き、実施しないこととした。

6. エレメント内コンクリート打設試験

(1) 試験概要

この試験は、エレメント内部にコンクリートを打設する際にエレメント内部の圧力変動を測定し、エレメント構造や施工方法の問題点を確認するために実施した。試験は調整エレメントを想定し、エレメント内部に鉄筋かごを配置することとした。これは、エレメント内に鉄筋が存在することでコンクリートの流動性が悪くなり、打設圧力が一般部エレメントと比較して高くなると考えたからである。試験は実物大のエレメントを製作し、実験場にて実施した。試験手順は次の通りである。

- エレメントを模した角型鋼管内（断面寸法 $850 \times 850\text{mm}$ ）に、調整エレメントを想定した鉄筋かごを設置した。
- 鋼管長は 28.5m （事例箇所と同等）とし、実施工と同様の手順により、角型鋼管内に高流動コンクリートを打設した。打設速度は $25\text{m}^3/\text{h}$ 、計画打設量は約 20m^3 とした。
- 打設時に鋼管内部で発生する圧力を測定した。測定位置は、打設口、 5m 間隔の点（4箇所）、到達部の6箇所とした。

(2) 試験結果

コンクリート打設中の圧力変動を図6に示す。また、打設状況を写真2に示す。コンクリート打設中に鋼管内部に発生する圧力は十分小さなものであり、最大でも 0.12MPa （ 1.2kgf/cm^2 ）であった。しかし、コン

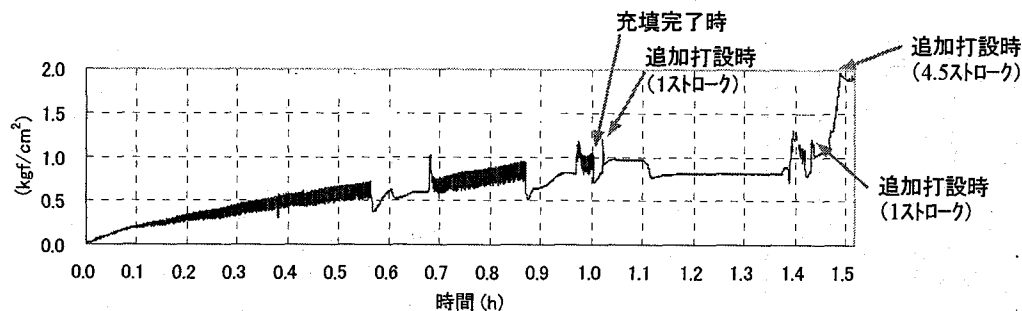


図6 圧力変動グラフ



写真2 エレメント内コンクリート打設状況

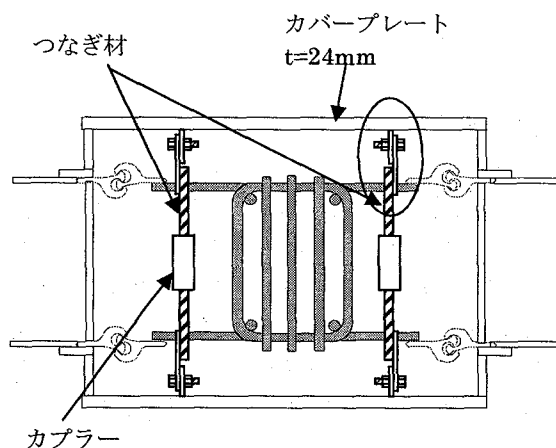


図7 調整エレメントカバープレート固定方法 (例)

クリート打設量が計画量に近づき、鋼管内にほぼ充填された状態において更にコンクリートを打設した際には、圧力値が0.2MPa (2.0kgf/cm²) 程度まで急激に上昇した。この値は、鋼管上部の土被り荷重が小さい場合、軌道を隆起させるのに十分な力となることが確認された。この場合、エレメントの上部が自由に動く構造(調整エレメントのカバープレート等)ではエレメントが変形し、軌道変状を発生させる可能性があることも確認された。また、鋼管内にコンクリートが充填された後も連続して打設を行っ

た場合、圧力値は際限なく上がる傾向が見られた。このことより、エレメント構造の如何に関わらずエレメントが変形し、軌道変状を発生させる可能性があることが確認された。

(3) 今後の対策

今後は、以下の3点を実施することとした。

- コンクリート打設の際には、打設口付近に圧力計を設置し、圧力値を管理すること。
- コンクリート打設量を管理し、計画打設量に近づいたら打設速度を落とす等の、施工上の配慮を確実に実施すること。
- 調整エレメントを上床版に設置する場合には、カバープレートが打設圧力で動かないように、確実に固定すること。固定方法の例を図7に示す。

7. 施工手順ごとの軌道変状リスクの洗い出し

JES工法には標準的な施工フローがある。施工フローの各工種に関して、従来から想定されていた軌道変状リスクに加えて、今回の3件の軌道変状事例、および施工に伴って多少の軌道隆起や沈下、陥没等を生じた過去の事例を整理し、さらには過去に発生事例はないものの各工種で発生が考えられる軌道変状リスクを改めて検討しなおして、JES工法の施工フローの各工種に内在するリスクを洗い出し、工種ごとの軌道変状リスクを次の通りに分類した(図8)。なお、それらのリスクへの対処方法を明確に示した。

(1) リスク分類について

a) リスクA：軌道変状リスク大

軌道変状事例(軌道隆起や沈下、陥没等を生じたもの)のあった工種や、軌道変状を生じるおそれが高いと想定される工種とした。

b) リスクB：軌道変状リスク中

軌道変状事例(長期間にわたり緩やかな軌道沈下を生じたもの)のあった工種や、土質や地下水、施

