

軌道スラブへの埋込栓設置方法に関する検討

○ [土] 松本 剛明 [土] 堀 雄一郎 (東日本旅客鉄道株式会社)

[土] 村上 祐治 (株式会社間組) [土] 久 修 (化工建設株式会社)

Examination on the insert setting method to track slab

○Takeaki Matsumoto, Yuichiro Hori, (East Japan Railway Company)

Yuji Murakami, (Hazama Corporation) Osamu Hisashi, (Kako Corporation)

In October, 2004, the Shinkansen train was derailed by Niigata Chuetsu earthquake. One of the causes of damage after the derailment is breakage of rail fastenings. To take measures against Shinkansen train derailment we developed "Rail rollover prevention device". Even if all of rail fastenings are broken, the devices can prevent rail rollover or large lateral displacement. The rail with that device leads the derailed rolling stock forward, without large lateral deviation.

In this paper, examination on the insert of the "Rail rollover prevention device" setting method to track slab and development of the resin injection machine are reported.

キーワード：レール転倒防止装置，軌道スラブ，樹脂

Key Words：Rail rollover prevention device, track slab, resin

1. はじめに

2011 年 3 月に発生した東日本大震災では当社の線路設備等も甚大な被害を受けた。当社では、2004 年 10 月に発生した新潟県中越地震以降、新幹線地震脱線対策の一環としてレール転倒防止装置（写真-1）を開発・導入してきた。すでに開発したスラブ軌道用レール転倒防止装置については 2009 年度より敷設工事を進めているほか、2010 年度に開業した東北新幹線八戸～新青森間についても 2011 年度に着工しているが、今回の大震災は地震対策の重要性を再認識させられるものであった。

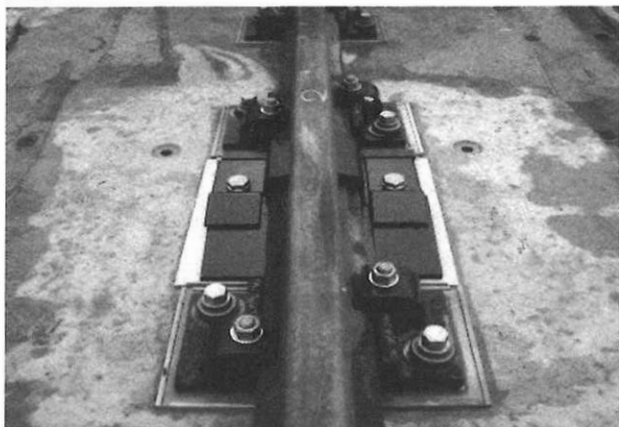


写真-1 レール転倒防止装置の一例

このスラブ軌道用レール転倒防止装置を既設の軌道スラブに敷設するためには図-1 および写真-2 に示すような埋込栓（強化ポリアミド製）を後施工アンカーとして取付ける必要があり、現在は埋込栓取付け工程の大部分を手作業で行っている。

今回、スラブ軌道へレール転倒防止装置を敷設する作業の効率向上およびコストダウンを図ることを目的として、埋込栓取付け時に固着材として用いている樹脂材料の混合および注入が可能な施工機械を開発した。本稿では機械施工に適用する樹脂の検討および施工機械の開発概要について報告する。

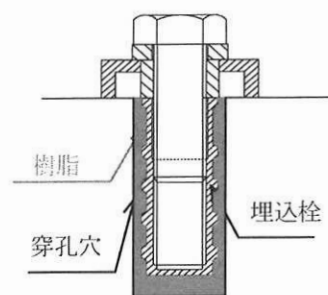


図-1 埋込栓断面イメージ

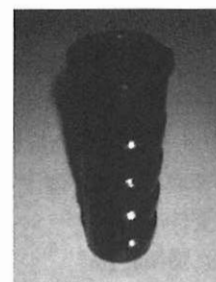


写真-2 埋込栓

2. 現在の施工方法と開発目標

2.1 現在の施工方法・開発方針

軌道スラブにレール転倒防止装置を敷設する手順は概ね図-2に示すとおりである。このうちスラブ穿孔については既存の技術を活用して専用機械を開発し、その後も複数穴同時穿孔を可能とするなど施工会社を主体とした機械開発が進められている。その一方で穿孔穴に埋込栓を設置する作業は固着材として用いる樹脂の混合を含めて主に手作業で実施している。そこで、本開発では、施工効率の向上および施工費のコストダウンを目的として埋込栓を穿孔穴に固着させる樹脂（充填材）の計量・混合および注入作業の機械化を図ることとした。

2.2 開発目標

本開発において使用する樹脂を含めた機械の仕様・性能に関する目標は以下のとおりとした。

(1) 施工速度 (2倍)

従来の作業実績において、作業従事員 6 名、実作業時間 3 時間程度の 1 晩の施工で埋込栓の設置数量は約 100 穴程度であるが、樹脂の計量・混合・注入の半自動化を図り、同等の編成人員で 1 晩 200 穴以上の施工数量を確保する。

(2) 適用範囲 (-10℃～30℃)

関東から東北までが営業エリアである当社管内全域での通年施工を想定する。

(3) 重量 (50kg以下)

人力 (2 名程度) で運搬可能とする。

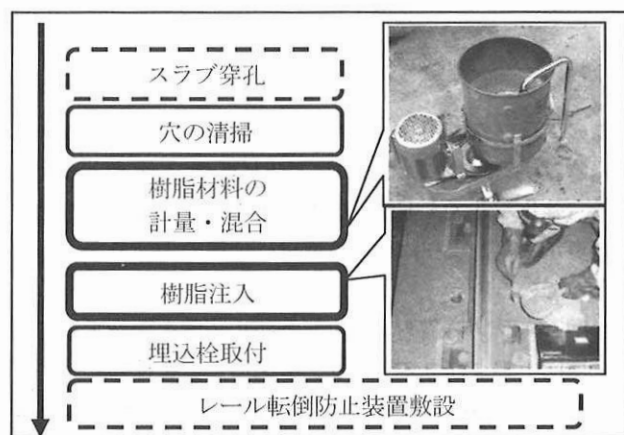


図-2 現在の施工方法

3. 機械化に適用する樹脂材料の検討

3.1 樹脂材料の選定基準

従来、レール転倒防止装置用埋込栓の設置に使用してきた樹脂は主剤・硬化剤・骨材から成る 3 成分材料であった。樹脂の軽量・混合・注入を機械化するに当たっては混合後の均一性および攪拌部の摩損防止を図るため骨材を含まない 2 成分材料を選定することとし、以下の項目を樹脂選定の要件とした。

(1) 適用範囲

粘性・可使時間等について、-10℃～30℃の環境下での取扱いが容易であること。

(2) 引抜耐力

選定した樹脂材料を用いて軌道スラブに設置した埋込栓の 72 時間後の引抜耐力試験において、コンクリートと樹脂の界面における付着破壊が発生せず、軌道スラブのコーン破壊となる引抜強度（目安値 150kN）を有すること。

3.2 選定した樹脂の概要

以上の選定基準に基づき、埋込栓の機械化施工に適用する樹脂として選定した製品の概要を表-1に示す。なお、樹脂材料の特性を考慮し、温度域によって 2 種類の樹脂を使い分けることで広範な温度域で適用可能とした。

表-1 選定した樹脂の概要

項目	常温用樹脂	低温用樹脂
使用温度域	5℃～30℃	-10℃～5℃
概要	エポキシ系樹脂であり、主剤と硬化剤の混合比は質量比で 7:3	不飽和ポリエステル系樹脂であり、主剤と硬化剤の混合比は質量比で 5:5
可使時間	20 分以上	15 分以上
粘度	主剤	70,000 mPa・s
	硬化剤	9,750 mPa・s
	混合物※	13,600 mPa・s
記事	12,880 mPa・s	10,500 mPa・s
	粘度は 20℃時	粘度は -10℃時

※混合物とは主剤および硬化剤を混合したもの

3.3 引抜耐力試験

次いで、選定した樹脂を用いて軌道スラブを模したコンクリートブロックに埋込栓を固着させ、引抜耐力を確認した。その結果、20℃環境下で試験した常温用樹脂および 10℃環境下で試験した低温用樹脂ともに試験時の破壊形態はコンクリートブロックのコーン破壊であり、所定の引抜耐力を確保できることを確認した。

4. 施工機械の開発

従来、3 成分の樹脂材料を混合する際には、主剤、硬化剤、骨材を計量してバッチ混合していた。しかしこの方法では樹脂の可使時間の制約から一定延長施工量に分けて混合する必要がある上、混合した樹脂をその都度別容器に移し替える必要があった。以上のことを踏まえ、機械の構造については、以下の方針で開発した。

(1) 計量

樹脂は主剤および硬化剤の 2 成分であり、所定の質量比で混合する必要があるため、主剤および硬化剤を所定の混合比で圧送することができるポンプを使用することとする。また、図-3に示すようにシリンダー内の負圧により主剤・硬化剤をシリンダー内部に吸引することで計量が不要な構造とした。

(2) 混合

可使時間を考慮し、レール転倒防止装置用埋込栓 1 穴注入分（約 180cc）ごとに混合する。なお、連続施工することを考慮し、攪拌時間 8 秒で確実に混合できる攪拌装置とする。

(3) 注入

機械の動作は主剤・硬化剤をシリンダー内部から混合部へ、また、混合部で攪拌した樹脂を吐出口へ圧送するためのピストンの前進・後退および、混合部の攪拌装置の回転のみとする。

以上の検討結果から写真・3に示す施工機械を製作した。このうち写真・4に示すシリンダー・ピストン部については常温用樹脂および低温用樹脂により混合比率が異なるため、樹脂により使い分けることとした。

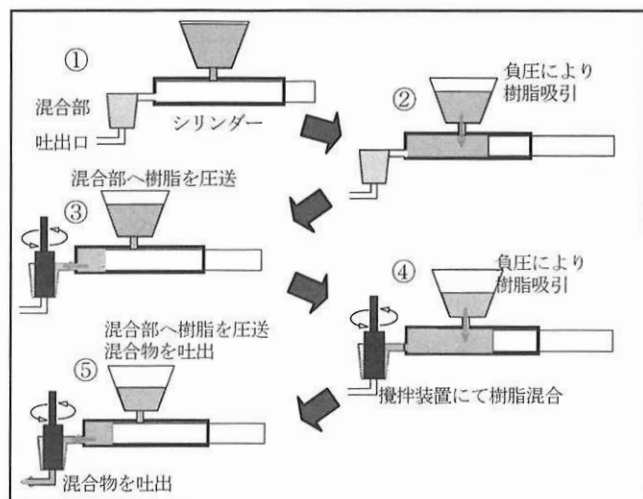


図-3 計量・混合・注入の半自動化

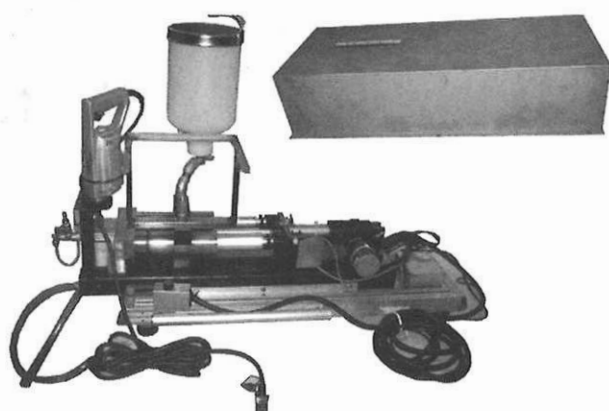


写真-3 開発した施工機械

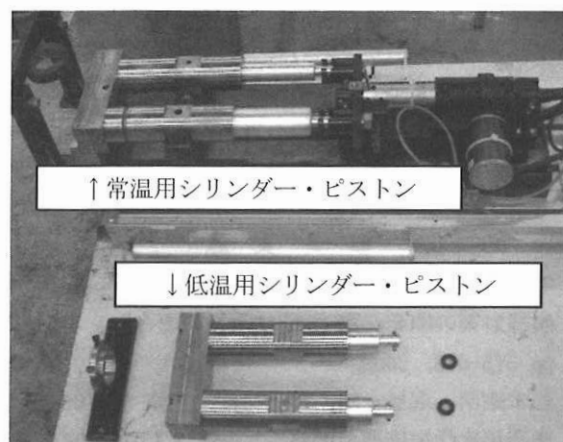


写真-4 シリンダー・ピストンの組合せ

5. 室内性能確認試験

試作した施工機械を用いて主剤および硬化剤を混合した場合、所定の品質が確保できているかを確認するため室内試験を実施した。室内試験では試作した機械により混合した樹脂について、混合状態や変形特性を確認するために実施した圧縮強度試験と、軌道スラブに埋込栓を取り付けた際の引抜耐力試験を実施した。

なお、試験に当たっては軌道スラブを搬入可能な大型環境試験室を用いて常温用樹脂は 20℃、低温用樹脂は -10℃ の環境下で樹脂の混合・注入、養生および引抜試験を実施した。

5.1 圧縮強度試験

施工機械による混合の均一性を確認するため連続して混合・吐出した5バッチ分の樹脂を用いて写真-5に示すようにモールドにて供試体を作成し、圧縮強度を確認した。

常温用樹脂および低温用樹脂に関する圧縮強度試験結果を表-2に示す。ここで、圧縮強度試験はバッチごとに5つの供試体により実施し、その平均値と標準偏差から、常温用・低温用ともに十分な圧縮強度（軌道スラブの設計圧縮強度 40N/mm² 以上）を有しておりかつ均一であることを確認した。このことから施工機械による樹脂混合が良好に実施できることを確認した。

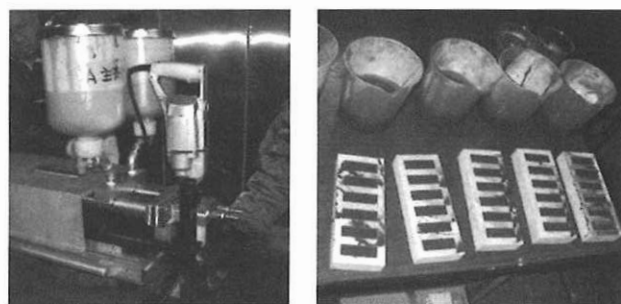


写真-5 圧縮強度試験片の作成状況

表-2 圧縮試験結果

バッチ no.	常温用		低温用	
	平均値 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	平均値 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)
1	78.5	0.5	110.6	5.0
2	80.4	0.4	117.4	3.2
3	81.3	2.6	120.9	3.0
4	81.9	0.3	122.0	2.7
5	82.2	1.0	120.5	3.4

5.2 引抜耐力試験

施工機械により混合した樹脂を用いて施工した埋込栓の引抜耐力を確認した。試験に先立ち、あらかじめ所定の寸法の穴（Φ52mm、深さ 130mm）を軌道スラブに穿孔しておき、施工機械を用いて樹脂を注入後、埋込栓を固着させた。引抜耐力確認試験の状況を写真-6に示す。試験条件は次の2とおりである。

(1) 常温用樹脂

常温環境で施工・養生×3 ケース

(2) 低温用樹脂

-10℃の環境試験室内にて施工・養生×3 ケース

いずれのケースも実際の施工を想定し、養生時間 72 時間での引抜耐力を確認した。その結果の一例を図-4 に示す。常温用樹脂および低温用樹脂のいずれについても引抜き時の破壊形態はコンクリートのコーン破壊であり、埋込栓がコンクリートに確実に固着されていることを示す結果であった。



写真-6 引抜試験状況

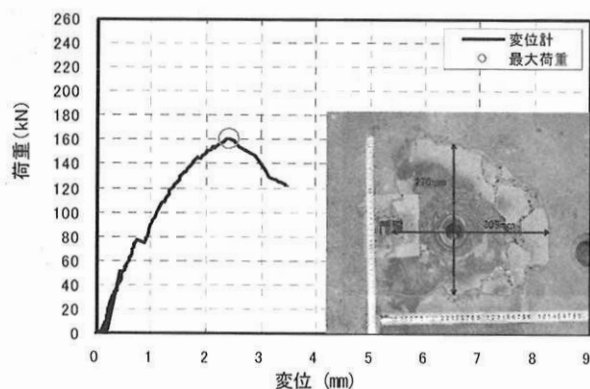


図-4 引抜耐力試験結果の一例

6. 試験線における施工試験

室内試験により、開発した機械を用いて混合・注入した樹脂の品質がレール転倒防止装置用埋込栓の敷設に適していることを確認することができた。

次に、機械を用いて施工した場合の施工効率を確認するため JR 東日本研究開発センター内に 60m 敷設されている実験線軌道 (写真-7) にて施工試験を実施した。実際の施工を再現するため事前に軌道スラブのレール転倒防止装置敷設位置を穿孔しておき、施工試験においては穿孔穴の清掃、樹脂の混合・注入、埋込栓の設置を実施した。施工試験の様子を写真-8 に示す。

実験線軌道における施工試験の結果、24 穴 (スラブ一枚につき 4 穴: 延長 30m) の施工に要した時間は 10 分 30 秒であり、1 晩の施工量に換算すると 300 穴以上となる。

このことから、樹脂の混合・注入および埋込栓の設置にかかる施工効率を手作業の 3 倍程度に向上することが可能であると試算している。



写真-7 実験線軌道

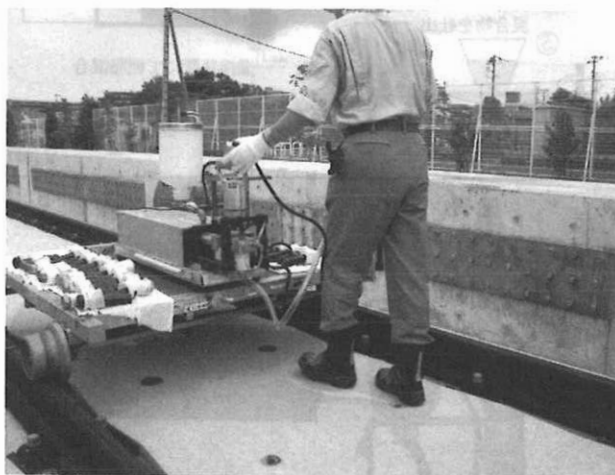


写真-8 施工試験状況

7. おわりに

今後はレール転倒防止装置の敷設工事を進めている営業線での試験施工などによりさらなる使い勝手の向上を図り、実用化へ向けた検証を進める。

また、今回の開発では養生時間を 72 時間としてレール転倒防止装置専用の樹脂で検討しているが、夜間の保守間合程度の時間で強度発現する樹脂を本開発品に適用できれば通常の埋込栓補修等への使用も可能と考えている。

参 考 文 献

- 1) 手代木卓也, 小西俊之, 野本耕一, 若月修: 新幹線地震脱線対策の開発, 第 16 回鉄道技術連合シンポジウム, pp. 515-518, 2009.
- 2) 松本剛明, 堀雄一郎, 村上祐治, 久修: 第 66 回土木学会年次学術講演会概要集, pp. 169-170, 2011.