

# スラブ軌道における突起代替装置の開発

藪中 嘉彦\*      高橋 貴蔵\*  
 湧上 翔太\*      長沼 光\*

## Development of the Alternative Device of the Projection of a Slab Track

Yoshihiko YABUNAKA      Takatada TAKAHASHI  
 Shota FUCHIGAMI      Hikaru NAGANUMA

The projection of a slab track is a component which restrains the horizontal displacement of the track-slab. In recent years, damage to the projection, the factor of which is considered the corrosion of reinforcing bars has been reported, and in some cases, re-construction is required. However, not only technically but in terms of working hours, it is difficult to re-construct an existing projection in commercial lines. Then, we developed an alternative device which has a function equivalent to the existing projection and can be constructed easily in commercial lines. Moreover, the horizontal loading test to this alternative device was carried out, and it has been confirmed that the device has enough strength as against the design load of the projection.

キーワード：軌道スラブ，突起，コンクリート道床，水平載荷試験

### 1. はじめに

スラブ軌道は、1975年に山陽新幹線の岡山 - 博多間で本格的に採用され、それ以降に建設された新幹線の8割以上に採用されている軌道構造であり、在来線の一部でも用いられている。スラブ軌道の突起コンクリート(以下「突起」とする)は、軌道スラブの水平変位を拘束するRC製の部材である。

近年、一部の区間において内部鉄筋の腐食が要因と考えられる突起の損傷等が報告されており、早急に補修が必要とされる箇所も存在する。しかし、突起は軌道の中心に位置しているため、営業線において抜本的な補修や再施工を行うことが非常に困難となっている。そこで、筆者らは営業線においても簡易に敷設可能で、かつ既設の突起と同等の機能を有する代替装置の開発を行っている。本研究では、軌道スラブの隅角部において、水平変位を拘束する装置を開発するとともに、線区によって異なる軌道スラブの敷設状況に対応した取付方法を検討した。そして、開発した拘束構造に対して水平載荷試験を実施し、耐力を検証した。

道スラブ隅角部に設置し、軌道スラブの水平変位を拘束するものである。同装置の固定は、高架橋等の下部構造物にアンカーボルトで締結することを基本としている。同装置と軌道スラブとの間には可変パッドを挿入し、同装置の固定後に樹脂をてん充することにより、不陸が生じることを防ぐ。また、図2に示すように軌道スラブ下面と同装置との間には合成ゴム等の弾性材を挿入し、列車走行時に生じる上下方向の荷重に対しては、弾性的に支持する構造としている。

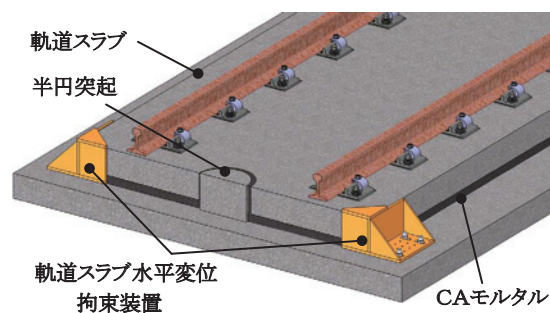


図1 軌道スラブ水平変位拘束装置の概要

### 2. 軌道スラブ水平変位拘束装置の概要

図1に軌道スラブ水平変位拘束装置(以下「拘束装置」とする)の概要を示す。同装置は溶接加工した鋼材を軌

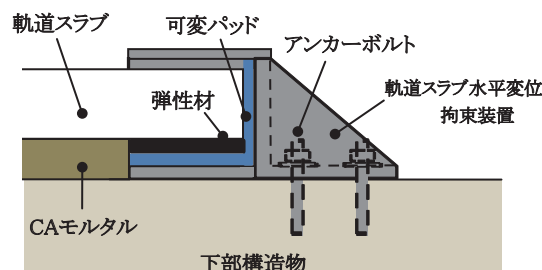


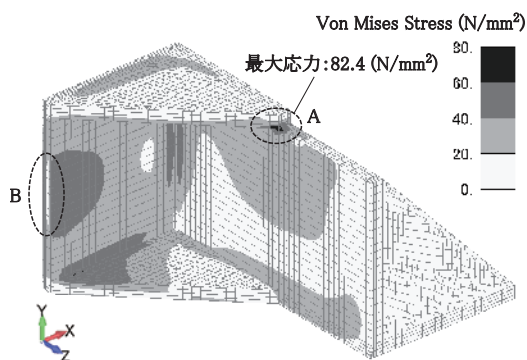
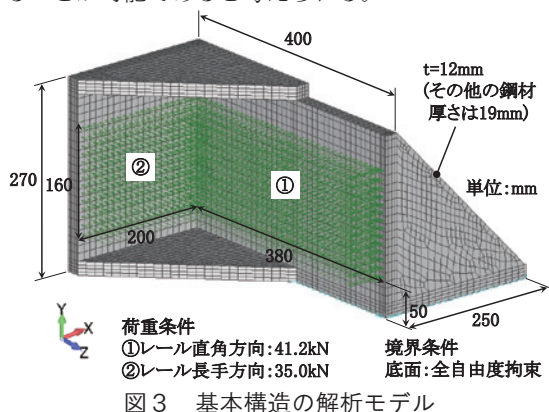
図2 拘束装置の概要(断面図)

\* 軌道技術研究部 軌道・路盤研究室

### 3. 拘束装置本体の基本構造

拘束装置本体の基本構造を決定するため、有限要素法を用いた三次元静的弾性解析を行い、突起の設計荷重に対する本装置の強度・変形特性を確認した<sup>1)</sup>。図3に解析モデルを示す。本解析では装置本体の部材としての耐力を評価することを目的とし、締結部（アンカーボルト、下部構造物）はモデル化していない。荷重条件として、同装置と軌道スラブの接触範囲に対し、レール直角方向に41.2kN、レール長手方向に35.0kNを作用させた。なお、解析に用いた荷重は、同装置を軌道スラブ隅角部に設置することを考慮し、レール長手方向については、同装置2基が荷重を受け持つことから、突起の設計荷重の50%とし、レール直角方向については、突起の設計荷重と同値とした。また、境界条件については、同装置の底面（軌道スラブ下に位置する三角形部分は除く）における節点の全自由度を拘束した。同装置の鋼材の弾性係数は210kN/mm<sup>2</sup>、ポアソン比は0.3とした。

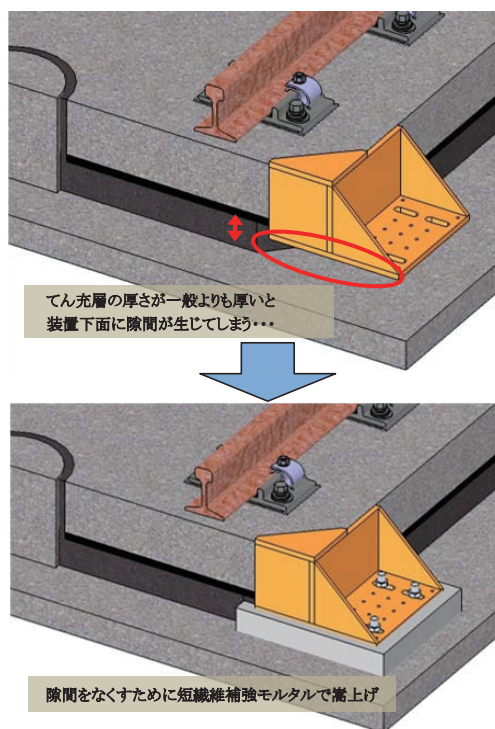
解析によって得られたミーゼス応力の分布を図4に示す。同図に示すA点で応力値が最も大きく、82.4N/mm<sup>2</sup>であった。これは、同装置に用いた鋼材（SS400）の降伏強度の35%程度であり、部材として十分な強度を有していることを確認した。また、B点において最大変位を示し、Z方向への変位が0.25mm程度であった。よって、本解析により検討した構造において、突起の設計荷重に対し、微小な変位量で軌道スラブの水平変位を拘束することが可能であると考えられる。



### 4. アンカーボルトで固定する方法の検討

#### 4.1 取付方法の概要

アンカーボルトで固定する方法は、図1および図2で示した基本的な取付方法であり、拘束装置を下部構造物にセメント系てん充材を用いて固着した4本のアンカーボルトで固定するものである。同装置は、標準的なてん充層の厚さ（50mm）を想定して基本構造を設計しているが、既設線の一部では、てん充層が標準よりも厚い箇所が存在する。これを踏まえ、本取付方法の検討の際には、図5に示すように同装置を短繊維補強モルタルで嵩上げすることも併せて検討を行った。例えば、厚さが160mmの軌道スラブに対しては、てん充層の厚さが80mm以上を目安に同装置の嵩上げが必要になる。なお、モルタルに短繊維補強タイプを採用した理由は、万が一ひび割れ等が生じた場合であっても、モルタル片の飛散防止効果が期待できるためである。



#### 4.2 アンカーボルトに関する検討

拘束装置を固定するアンカーボルトの仕様を検討するために、引抜試験及びトルク試験を実施した。試験状況を図6に示す。試験では、無筋のコンクリート版（設計基準強度24N/mm<sup>2</sup>）をハンマドリル（φ=24mm）で穿孔し、セメント系てん充材（住友大阪セメント社製セメフォースアンカー）で固着したアンカーボルト（M20、材質SCM435、ピッチ2.5）を、センターホールジャッキで引き抜いた際の荷重をロードセルで測定した。埋込深さと引抜耐力の関係を図7に示す。埋込深さ50mm

と60mmでは引抜耐力にあまり差が見られなかったものの、60mm以上の範囲では概ね比例関係にあり、埋込深さ90mmでの引抜耐力は117kN(3ケース平均)であった。次に、締結トルクと軸力の関係を確認するためにトルク試験を行った。引抜試験と同様の深さで固定したアンカーボルトに対し、付着切れが生じるまで締結トルクを導入した。軸力はアンカーボルト内に設置したひずみゲージで測定したひずみから換算し、トルクはトルク計で測定した。測定結果を図8に示す。各ケースの最大軸力は引抜耐力と概ね相関し、埋込深さ90mmでは締結トルク520Nmを越えても付着切れは生じなかった。

拘束装置は、アンカーボルトに60kN程度の軸力を導入し、固定することとしている<sup>1) 2)</sup>。引抜試験とトルク試験の結果を参考に、導入トルクと軸力のばらつきや、クリープ変形による初期の軸力低下の可能性を考慮すると、同装置の敷設時には、締結トルク350Nm程度で締結し、80kN程度の初期軸力を導入することが妥当であると考えられる。また、その際に埋込深さは90mm以上を確保した方が良い。

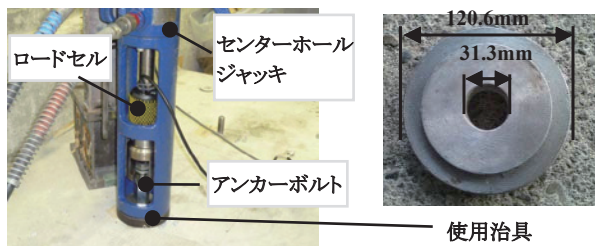


図6 引抜試験の状況

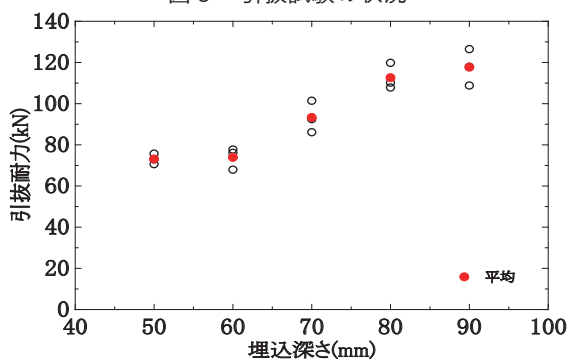


図7 埋込深さー引抜耐力

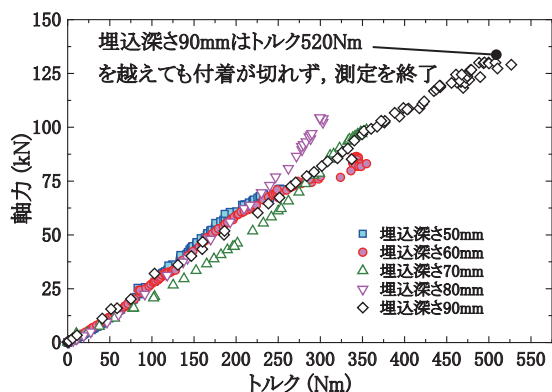


図8 トルクー軸力

### 4.3 水平荷重試験

提案した取付方法を踏まえ、水平荷重試験を実施した。図9に試験状況を示す。試験では、拘束装置を短繊維補強モルタルで100mm嵩上げし、セメント系充填材(住友大阪セメント社製セメフォースアンカー)で無筋のコンクリート版(設計基準強度24N/mm<sup>2</sup>)に固着させた4本のアンカーボルト(M20, 材質SCM435, ピッチ2.5)で固定したうえで、荷重鋼板を介して油圧ジャッキにより水平荷重を荷重した。既往の実験<sup>1) 2)</sup>では、アンカーボルトの埋込深さを160mmとし、60kNを目標に軸力を導入しているが、今回の実験では、前節で検討した結果を基に、埋込深さを90mmとした。また、導入軸力についても50kNとし、より厳しい条件下で評価することとした。短繊維補強モルタルとして、超速硬性無収縮モルタル(電気化学工業社製ハイプレタスコンTYPE-1)を採用し、実用場面での施工性を考慮してモルタル体積に対して0.5%のPVA短繊維(クラレ社製パワロンREC15×12)を添加した。なお、試験はモルタルの材齢7日目に行った。荷重試験は、1つの供試体に対して表1に示す手順で荷重方向および荷重荷重を変化させて実施し、荷重時には荷重と除荷を繰り返して荷重を増加させた。

試験結果を図10および図11に示す。拘束装置1基が受け持つ荷重は、突起の設計荷重から、レール長手方向は35.0kN、直角方向は41.2kNとしている。また、常時における軌道スラブ水平方向目違いの限界の目安は2.0mmであることを参考に<sup>3)</sup>、拘束装置の許容変位量は2.0mmとした。両ケースにおいて、設計荷重荷重時の

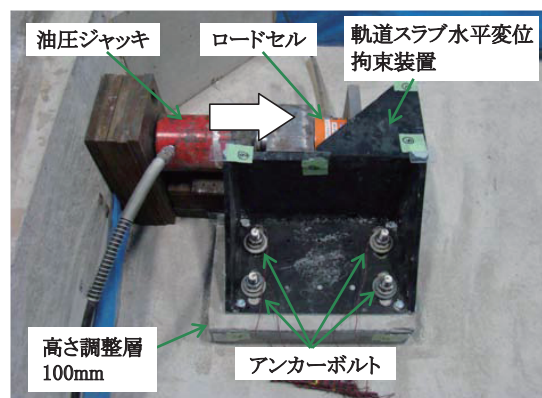


図9 水平荷重試験状況

表1 荷重試験の手順

順序	荷重方向	目標荷重荷重 (kN)
①	レール長手方向	35.0 (設計荷重)
②	レール直角方向	41.2 (設計荷重)
③	斜め方向 (45°)	54.1 (設計荷重)
④	レール長手方向	52.5 (設計荷重×1.5)
⑤	レール直角方向	61.8 (設計荷重×1.5)
⑥	斜め方向 (45°)	81.2 (設計荷重×1.5)
⑦	レール長手方向	70.0 (設計荷重×2.0)
⑧	レール直角方向	82.4 (設計荷重×2.0)
⑨	斜め方向 (45°)	108.2 (設計荷重×2.0)

特集：軌道技術

変位量は許容値を満足した。また、設計荷重以内では、除荷時の残留変位はほとんどなく、拘束装置及び取付部の変形は弾性範囲内であることを確認した。これらの結果から、本拘束構造は、突起の設計荷重以上の耐力を有していることを確認した。

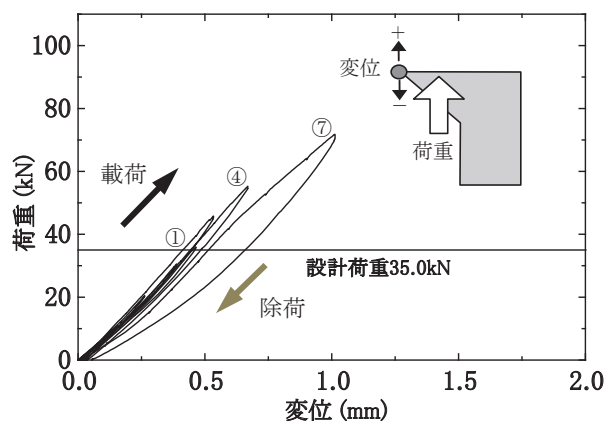


図10 荷重－変位（レール長手方向）

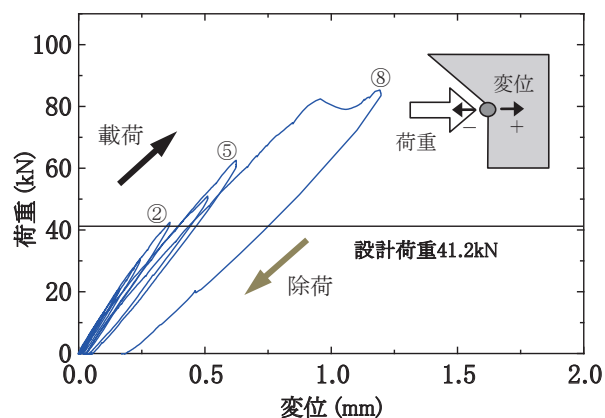


図11 荷重－変位（レール直角方向）

## 5. コンクリート道床に接続する方法の検討

### 5.1 取付方法の概要

図12に示すように、下部構造物がアンカーボルトを埋め込むことができないPC桁等であり、かつコンクリート道床の厚さが薄い等の理由により、必要なアンカーボルトの埋込深さが得られない場合には、前述した「アンカーボルトで固定する方法」では、拘束装置を固定することができない。そこで、このような敷設状況の箇所を対象とした、アンカーボルトを使用しない取付方法を検討した（図13参照）。本取付方法の設置手順は、以下の通りである。

- ① 既設のコンクリート道床を一部はつり取り、鉄筋を露出させる。
- ② 露出させたレール直角方向の鉄筋をフレア溶接等により延長し、レール長手方向の鉄筋を配筋する。
- ③ 拘束装置を据え付け、本装置に加工したタップ穴に定着用のボルト（M10）を挿入し、モルタルの打込

みを行う。

本取付方法は、アンカーボルトを使用しないため、軸力により装置を下方に押さえつけることができない。このため、前述した「アンカーボルトで固定する方法」と比較し、荷重作用時に浮き上がりによる転倒モードが生じやすい。これを考慮し、後述する「5.2 水平荷重試験」では基本構造での検討に加えて拘束装置下面の定着部の寸法をレール直角方向に拡大したケースも検討することとした。

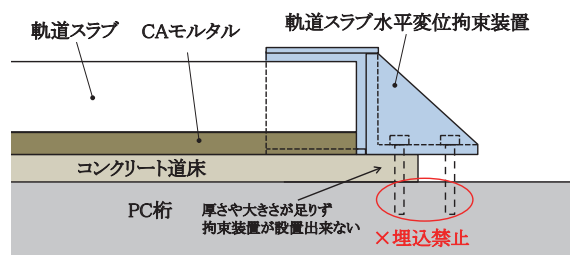


図12 アンカーボルトが使用できない箇所

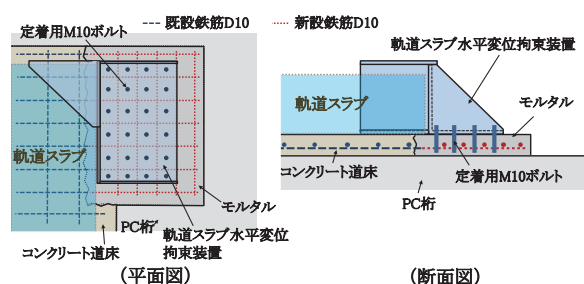


図13 コンクリート道床に接続する方法

### 5.2 水平荷重試験

提案した取付方法を踏まえ、水平荷重試験を実施した。本試験では、拘束装置本体を基本構造の寸法としたCASE1を実施後に改善点等を検討し、拘束装置下面の定着部の寸法を、レール直角方向に1.8倍程度拡大したCASE2を実施している。図14に試験状況を、図15および図16に供試体寸法等を示す。供試体の作製は、コンクリート道床を模擬したコンクリートブロック（設計基準強度24N/mm<sup>2</sup>）部分を作製し、その後に拘束装置を据えてモルタルの打込みを行うという手順で作製した。また、評価にあたりモルタル下部の付着力は期待しないため、モルタル下部にはポリエチレンシートを敷き、さらにコンクリートブロックとモルタルの境界面には離型剤を塗布した。コンクリートブロックの配筋間隔や厚さ等については、営業線での現地調査結果を参考にしており、鉄筋はSD295AのD10とした。モルタルには、前述の4.3と同様に超速硬性無収縮モルタル（電気化学工業社製ハイプレタスコンTYPE-1）を使用し、試験時の材齢は7日目とした。定着用のボルト（M10、ピッチ1.5）の材質はS45Cとした。また、本取付方法を営業線で施工する際には溶接等により鉄筋を延長する可能性があるが、試験では母材強度で評価す

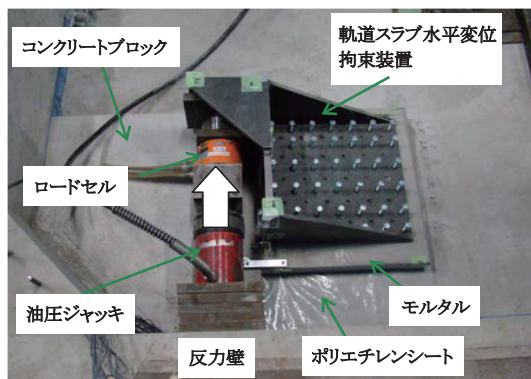


図 14 水平載荷試験状況 (CASE2)

ることとし、溶接加工は行っていない。なお、事前検討時にフレア溶接加工した D10 鉄筋の引張試験を行い、破断は溶接部ではなく母材部で生じ、引張強度を満足することを確認している。荷重方法及び設計荷重等の考え方は前述の「4.3 水平載荷試験」と同様であり、荷重試験は 1 つの供試体に対して表 2 及び表 3 に示す手順で実施した。

試験結果を図 17～図 20 に示す。両ケースにおいて、設計荷重載荷時の変位量は許容値を満足した。また、レール長手方向荷重では、設計荷重以内で除荷時の残留変位はほとんどなく、両ケースとも変形は弾性範囲内であることを確認した。レール直角方向荷重について、図 19 および図 20 の破線で囲む範囲内でグラフの傾きが小さくなり、直後の除荷では、わずかながら残留変位が生じた。そして、その後の荷重では、残留変位は徐々に増大した。傾きに変化が生じた際の荷重値は、CASE1 が約 31kN であり、CASE2 では約 38kN であった。この範囲内では、両ケースともに荷重変動量に対して鉄筋のひずみが急増していた (CASE1 :  $7\mu \rightarrow 133\mu$ , CASE2 :  $9\mu \rightarrow 175\mu$ )。なお、設計荷重載荷時における鉄筋のひずみの最大値は CASE1 が  $133\mu$ , CASE2 が  $152\mu$  程度であり、鉄筋の降伏強度に対しては、余裕があることを確認している。

以上の実験結果から、本拘束構造の設計荷重に対する変位量は、許容範囲内であることを確認した。しかし、レール直角方向荷重時には、拘束装置の寸法を拡大した CASE2 であっても、わずかな残留変位が生じる結果となった。このため、本拘束構造を設計荷重以内において、弾性変形の範囲内とするためには、隅角部に設置する本拘束装置に加え、軌道スラブ中央部付近にレール直角方向の荷重を分担する補助部材 (図 21 参照) を設置することが必要であると考えられる。

## 6. 結論

営業線におけるスラブ軌道の突起代替装置として、軌道スラブ水平変位拘束装置を開発し、軌道スラブの敷設状況に応じた取付方法を検討した結果を以下に記す。

(a) FEM 解析および水平載荷試験の結果から、開発した

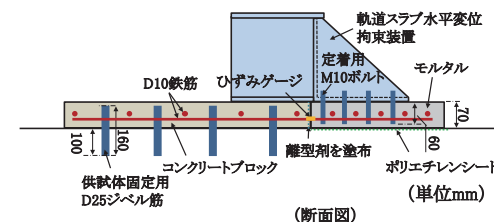
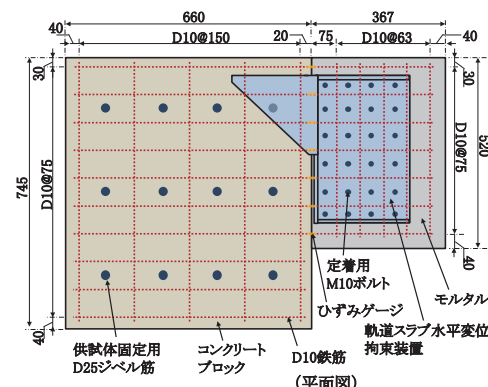


図 15 供試体の寸法等 (CASE1)

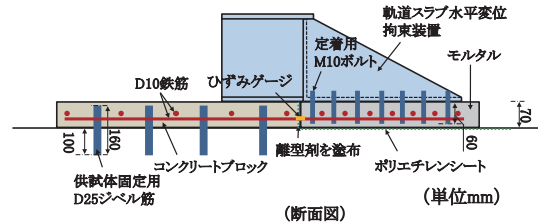
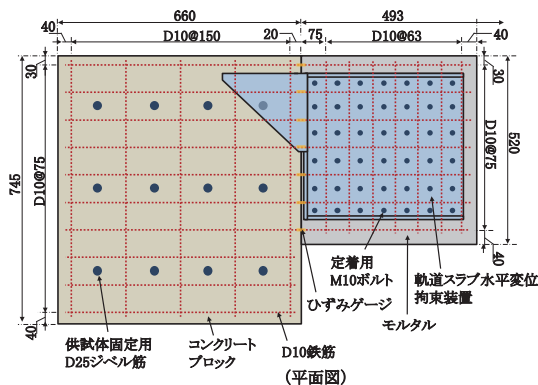


図 16 供試体の寸法等 (CASE2)

表 2 載荷試験の手順 (CASE1)

順序	荷重方向	目標載荷荷重 (kN)
①	レール長手方向	35.0 (設計荷重)
②	レール直角方向	41.2 (設計荷重)
※ 46kN でモルタルがひび割れ終了		

表 3 載荷試験の手順 (CASE2)

順序	荷重方向	目標載荷荷重 (kN)
①	レール長手方向	35.0 (設計荷重)
②	レール直角方向	41.2 (設計荷重)
③	斜め方向 (45°)	54.1 (設計荷重)
④	レール長手方向	52.5 (設計荷重 × 1.5)
⑤	レール直角方向	61.8 (設計荷重 × 1.5)
⑥	斜め方向 (45°)	81.2 (設計荷重 × 1.5)
⑦	レール長手方向	70.0 (設計荷重 × 2.0)
⑧	レール直角方向	82.4 (設計荷重 × 2.0)
※ 途中 78kN で破壊し終了		

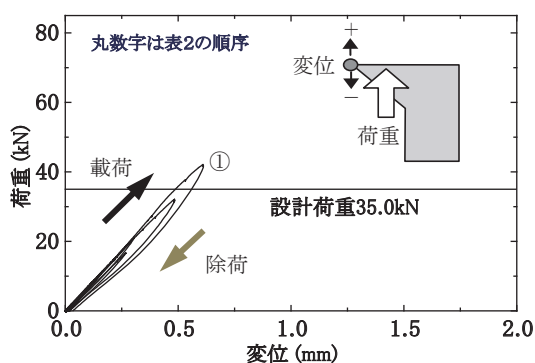


図 17 荷重—変位 (CASE1 レール長手方向)

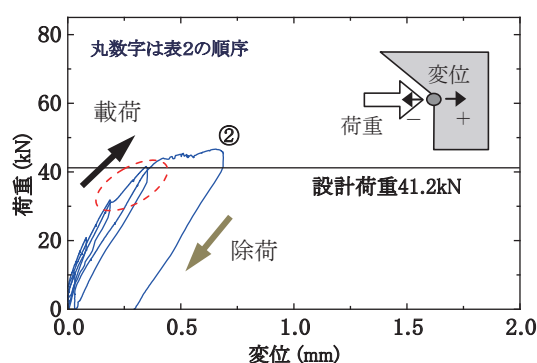


図 19 荷重—変位 (CASE1 レール直角方向)

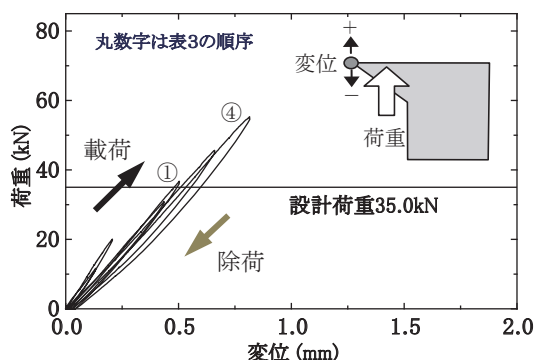


図 18 荷重—変位 (CASE2 レール長手方向)

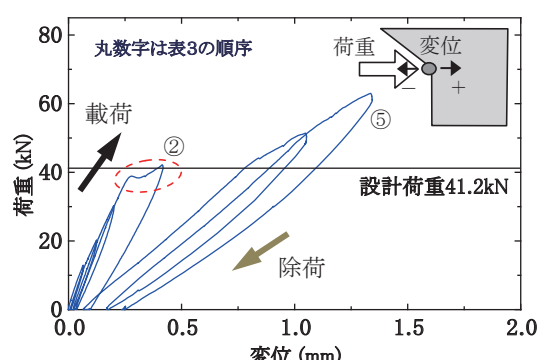


図 20 荷重—変位 (CASE2 レール直角方向)

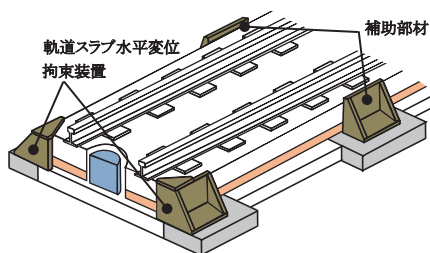


図 21 補助部材の設置例

軌道スラブ水平変位拘束装置本体は、突起の設計荷重に対して十分な強度を有していることを確認した。

- (b) 拘束装置の取付方法として、「アンカーボルトで固定する方法」と「コンクリート道床に接続する方法」の2種類を提案した。
- (c) 水平載荷試験の結果から、提案した「アンカーボルトで固定する方法」による拘束構造は、突起の設計荷重に対して十分な耐力を有し、設計荷重以内の範囲で弾性応答することを確認した。
- (d) 水平載荷試験の結果から、提案した「コンクリート道床に接続する方法」による拘束構造は、突起の設計荷重に対して変位量は許容範囲であったが、レール直角方向については、わずかな残留変位が生じるため、補助部材を設置し作用荷重を低減する必要がある。

## 7. おわりに

営業線において、施工が可能な突起代替装置を開発し、

様々な軌道スラブの敷設状況に対応した取付方法の検討を行った。なお、「アンカーボルトで固定する方法」については、営業線に試験敷設中である。試験敷設時の状況は、文献4および5を参照されたい。今後も検討を深度化し、本装置を突起損傷箇所の補修対策として、営業線スラブ軌道の補修マニュアルに追加すると共に、地震対策としての適用についても検討を進める予定である。

## 謝 辞

最後に、本装置の試験敷設にご協力いただいた西日本旅客鉄道株式会社施設部企画課軌道技術室、新幹線保線課および広島新幹線保線区の皆様に感謝の意を表す。

## 文 献

- 1) 淵上翔太, 高橋貴蔵, 村本勝己: 軌道スラブ水平変位拘束装置の水平耐力に関する検討, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012
- 2) 藪中嘉彦, 高橋貴蔵, 長沼光: 軌道スラブ水平変位拘束装置の取付構造に関する検討, 土木学会第68回年次学術講演会, 2013
- 3) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・解説 変位制限, 2006.2
- 4) 吉川秀平: スラブ軌道突起補修構造試験施工による工法検討, 土木学会第68回年次学術講演会, 2013
- 5) 吉川秀平: スラブ軌道の突起補修構造の試験敷設, 新線路, Vol.67, No.796, pp.31-34, 2013.7