

## レール直角方向の相対変位によるスラブ軌道の締結装置の破壊過程

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○成田 颯次 正会員 徳永 宗正 正会員 中田 裕喜  
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 池田 学 (株) 安部日鋼工業 正会員 盛田 慶

## 1. はじめに

地震時に橋りょう境界部に発生する目違い(橋りょう境界部の相対変位)により、軌道部材が破壊した場合、走行安全性を確保することは困難である。しかしながら、軌道部材、特にレール締結装置のレール直角方向の損傷過程に関する知見は極めて少ない。そこで、スラブ軌道で用いられるレール締結装置のレール直角方向の損傷過程を把握することを目的とし、締結装置の水平載荷試験、締結装置の荷重変位関係の定式化を行った。

## 2. 試験概要

図1に、締結装置の載荷試験の概要を示す。供試体諸元は一般的な新幹線用を対象としてスラブ軌道、直結8型レール締結装置を想定した<sup>1)</sup>。

載荷試験では、部材の基本的な損傷過程を把握するため、締結装置を構成する部材であるタイプレート(SS400)、埋込栓用ボルト(SCr440)、軌道スラブ(PC)のいずれかが破壊するまで漸増載荷を行った。埋込栓用ボルトの緊締トルクは、標準の場合(緊締(標準))と、経年劣化により軸力が低下した場合(緊締(劣化))を想定し、緊締(標準)は350 N・m、緊締(劣化)は210 N・mに設定した<sup>1)</sup>。計測項目は、レール頭部、レール底部、タイプレート底面、軌道スラブの変位とした。

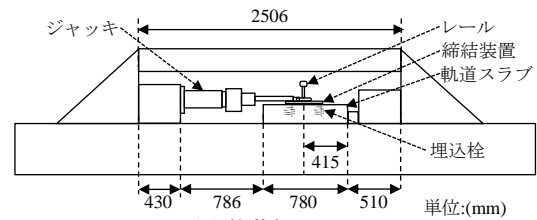
## 3. 試験結果

図2に、静的漸増載荷試験により得られた測定値毎の荷重変位関係を示す。図(a)~(c)の横軸は軌道スラブに対するレール底部の相対変位、(d)の横軸は軌道スラブの絶対変位、縦軸は油圧ジャッキにより加えられた載荷荷重を示す。

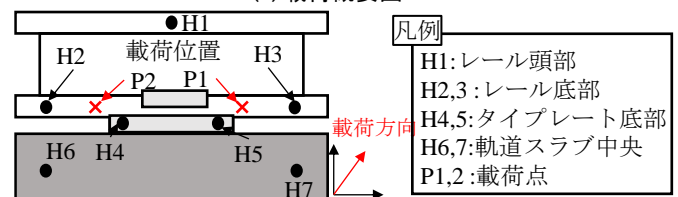
締結装置の破壊過程は、①緊締(標準)の場合、載荷荷重50kNに到達して以降、タイプレートが滑り出し(以下、「初期滑動過程」)、②レール底部の相対変位が埋込栓用ボルトと複数の座金の遊間である5mmに達するまで、埋込栓用ボルトは座金等に段階的に接触する(以下、「座金接触過程」)。その後、③レール底部の相対変位が図3のタイプレートと埋込栓用ボルトとの遊

キーワード 締結装置、破壊過程、スラブ軌道、埋込栓のせん断耐力

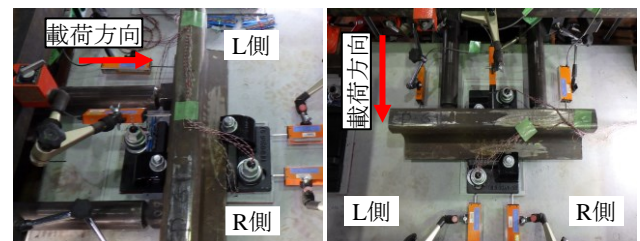
連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2丁目8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7290



(a) 載荷概要図



(b) 測定位置



(c) 測定状況

図1 締結装置の載荷試験の概要

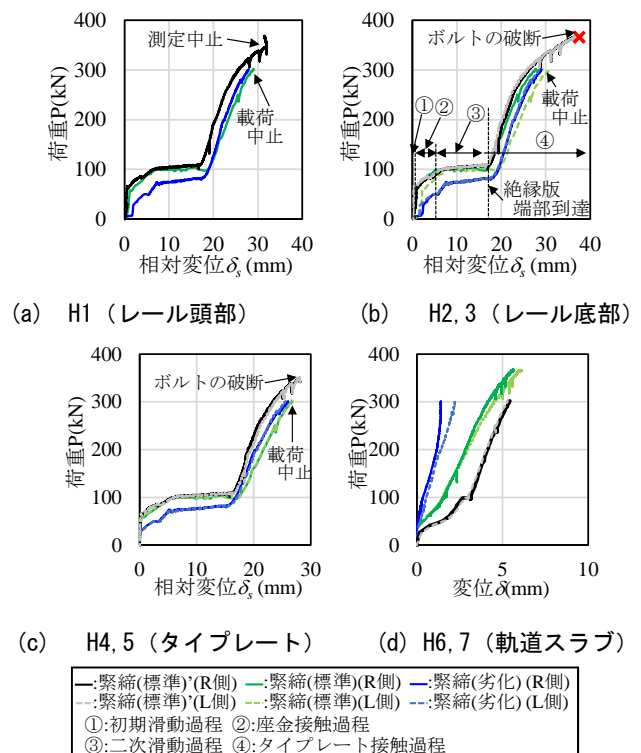


図2 測定位置毎の荷重変位関係(両側載荷)

間である16mmに達するまで、荷重は増加せず、タイププレートは滑動する（以下、「二次滑動過程」）。その後、④荷重の増加と共にレール底部の相対変位も増加し（以下、「タイププレート接触過程」）、最終的に埋込栓用ボルトがせん断破壊し（図4）、荷重を終了した。

図2(a)～(c)に、レール頭部、レール底部、タイププレートの荷重変位関係を示す。載荷直後、レールはタイププレートのリブと接触し、タイププレートと一体化し滑動するため、レール頭部・底部、タイププレートの荷重変位関係は類似している。埋込栓用ボルトの破断までの載荷荷重とせん断耐力を比較すると、埋込栓用ボルト（ $\phi=20\text{mm}$ ）2本分のせん断耐力の算定値は336kNであり、座金接触過程からの埋込栓用ボルトの破断までの載荷荷重は330kNであることから、せん断耐力に達して破壊したと考えられる。

緊縮トルクの違いを比較すると、緊縮（標準）動摩擦荷重は55kNであったが、緊縮（劣化）の動摩擦荷重は30kNと小さい傾向を示す。これは、緊縮トルクが埋込栓用ボルトの軸力に影響するためである。

図5に、埋込栓用ボルトのひずみ分布を示す。図から、埋込栓用ボルトの載荷位置から9mmの位置においては、曲げモーメントは僅かしか発生しないものの、底部においてひずみが顕著に増加する傾向にある。また、タイププレートの初期滑動過程である載荷荷重50kN以下ではひずみは発生しないものの、タイププレート接触過程である載荷荷重100kN以降でひずみが顕著に発生していることから、載荷荷重100kNの時に、タイププレートが埋込栓用ボルトに接触していると推察される。また、埋込栓用ボルトの降伏ひずみに達した時の載荷荷重から埋込栓用ボルトは載荷荷重200kNで深度30.5mmの位置で曲げ降伏に達し、その後せん断耐力に達して破断したと考えられる。

式(1)に、初期滑動、座金接触、二次滑動、タイププレート接触過程を考慮した締結装置の荷重変位関係を示す。

$$F = \mu_t N_t + \min(K_w(\delta - \delta_w), 5K_w) + K_t(\delta - \delta_t) \quad (1)$$

$\delta$ はタイププレートと軌道スラブの相対変位を示す。 $K_w$ は座金接触時の剛性、 $K_t$ はタイププレート接触時の剛性を示す。実験から、 $K_w=12\text{kN/mm}^2$ 、 $K_t=24\text{kN/mm}$ 、 $\mu_t=0.3$ 、 $\delta_w=0.5\text{mm}$ 、 $\delta_t=16\text{mm}$ とした。図6に、式(1)と実験値を比較した結果を示す。図から、定式化した荷重変位関係は、初期滑動、座金接触、二次滑動、タイププレート接触過程を精度よく再現できることが確認できる。

#### 4. まとめ

1) 締結装置の破壊過程は、初期滑動、座金接触、二次滑動、タイププレート接触過程を経て埋込栓用六角ボルトがせん断耐力に達し破壊する。2) 上記過程を考慮した締結装置の荷重変位関係を定式化した結果、精度よく再現できることが確認できた。

参考文献 1) 国土交通省監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（変位制限），丸善，2012。

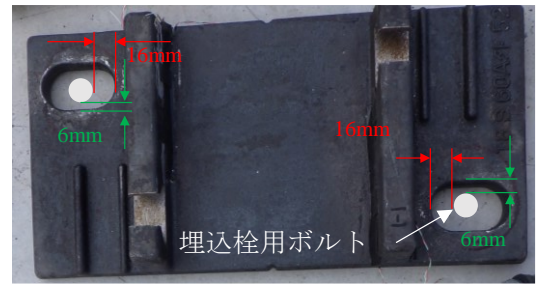
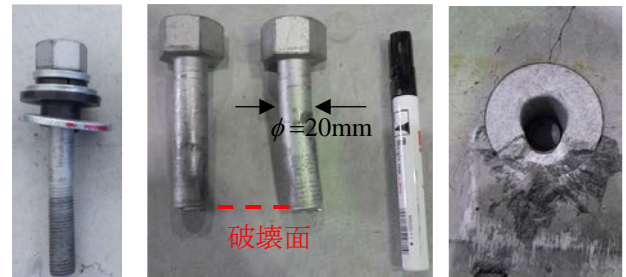


図3 タイプレートと埋込栓用ボルトの位置関係



(a) 破断前 (b) 破断後 (c) 軌道スラブ表面

図4 試験前後の埋込栓用ボルト形状

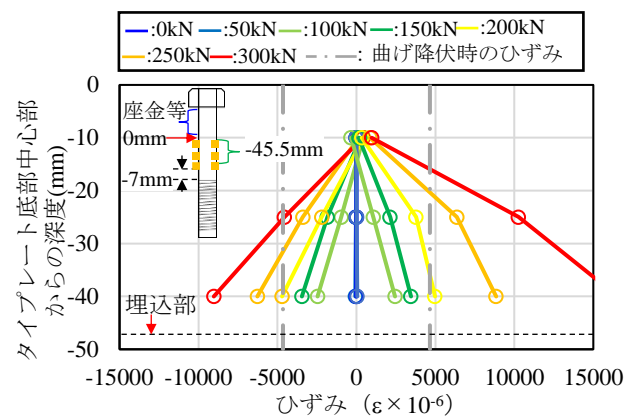


図5 埋込栓用ボルトのひずみ分布（緊縮（標準））

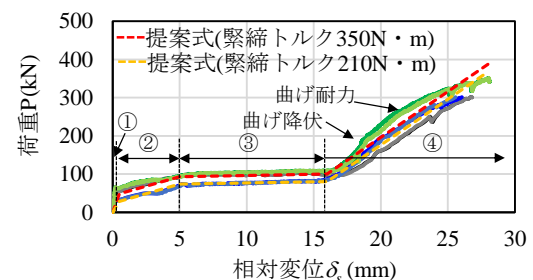


図6 締結装置の荷重変位関係のモデルの精度