論文　継目部材の長寿命化に関する検討

田中　俊史[1]・楠田　将之[2]・立野　晃基[3]

[1]正会員　西日本旅客鉄道株式会社　施設部　施設技術室（〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田 2-4-24）
E-mail: toshifumi-tanaka@westjr.co.jp (Corresponding Author)

[2]正会員　西日本旅客鉄道株式会社　施設部　施設技術室（〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田 2-4-24）
E-mail: masanobu-kusuda@westjr.co.jp

[3]正会員　西日本旅客鉄道株式会社　近畿統括本部　福知山保線区（〒620-8504 福知山市駅前町 415）
E-mail: kouki-tateno02@westjr.co.jp

軌道弱点箇所である継目部は，ロングレール化による継目部除去を含め様々な対策が実施されてきた．将来の労働力不足や昨今の鉄道会社を取り巻く社会情勢を鑑み，持続可能な鉄道システムを考えるとロングレール化できない継目部が想定していた以上に残るであろうことが予想され，継目部の重要度が増してきている．本研究では，まず継目部材損傷箇所を分析し，軌道構造や管理状況の傾向を把握した．次に継目板ボルトの締結トルクや継目板の設置状態を条件とした試験を実施し，継目部材に発生する応力との関係性を確認した．また，得られた知見から継目板の疲労寿命を数値解析により検討したので報告する．

Key Words: *rail joint, fish plate, tensile stress, fatigue life, S-N curve*

1. はじめに

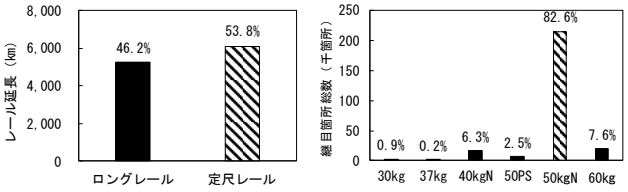
軌道の弱点箇所のひとつに継目部がある．継目部は過去から様々な対策[1)]が実施されており，抜本的な対策としてロングレール化による継目部除去が実施されてきた．一方で，将来の労働力不足や昨今の鉄道会社を取り巻く社会情勢を鑑み，持続可能な鉄道システムを考えるとロングレール化できない継目部が想定していた以上に残るであろうことが予想され，今以上に継目部の重要度が増してきている．現時点においても継目部材の損傷により輸送障害に繋がる事象が発生しており，ハード面およびソフト面における継目部の管理体制の強化による長寿命化が急務となっている．

そこで，まずは近年発生した継目部材損傷のデータを収集および分析し，軌道構造，継目部の構造，軌道管理状況による継目部材損傷の発生傾向を把握した．次に継目板ボルトの締結トルクや継目板の設置状態を設定条件とした組立確認試験および鉛直載荷試験を実施し，継目部材に発生する応力との関係性を確認した．また，得られた知見を活用して営業線の実態に即した軌道条件において列車荷重による変動輪重およびまくらぎの支持状態と継目板の疲労寿命の関係を数値解析により検討したので報告する．

2. 継目部材損傷箇所の分析

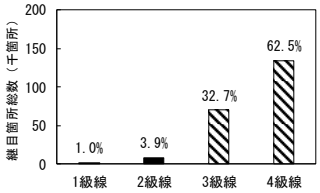
(1) 現状分析

図-1 に JR 西日本管内の本線における定尺レール区間とロングレール区間の割合，定尺レール区間のレール種別の割合および50kgNレールの線路等級の割合を示す．構造強化を目的にロングレール化を進めているものの半数以上の区間が定尺レール区間であること，そのうちレール種別は50kgNレールが8割以上であること，定尺レール区間は上級線よりも中下級線である 3 級線および 4



(a) 定尺レール区間の割合

(b) レール種別の割合



(c) 50kgNレールにおける線路等級別の割合

図-1 定尺レール区間の現状

級線の割合が大部分を占めることがわかる．以上のことから本報告では50 kgNレールに敷設された継目箇所に絞って検討を進めていく．

(2) 継目部材損傷箇所の分析

継目部材損傷箇所の特性を把握することを目的に**表-1**に示す継目部材損傷箇所の詳細なデータを 2022 年度から収集し，継目部材の損傷の要因と考えられる以下の項目について分析した．なお，同年度 12 月までに発生した 50 kgN レール区間における継目板ボルト損傷約 350 箇所を対象とし，継目板については損傷数が少なかったため対象外とした．

a) 継目板ボルト損傷位置および損傷部位

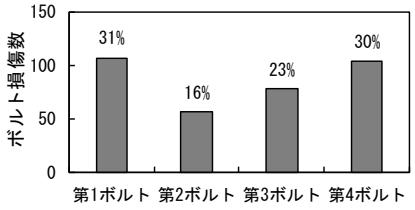
図-2に継目板ボルトの損傷位置と損傷部位の割合を示す．継目中心に近い第 2，3 ボルトよりも継目板端部である第 1，4 ボルトでの損傷が多い結果となった．また第 1，4 ボルトと第 2，3 ボルトをグループとし，継目板ボルトの損傷部位（首下部，円筒部，ネジ部）の割合を確認したところ，全体的にネジ部での損傷が半数以上の割合を占めていたが，第 1，4 ボルトでは 7 割弱がネジ部による損傷であった．

b) 継目板の種別

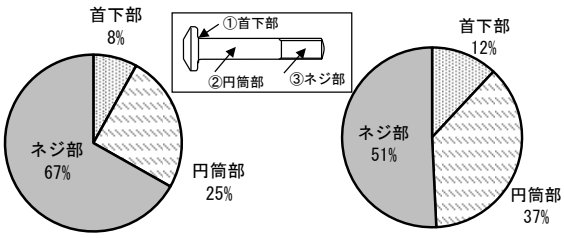
図-3に継目板の種別（普通継目板，継目落ち用継目板，段違い用継目板）による継目板ボルトの損傷率を示す．

表-1 継目部材損傷箇所の詳細なデータ

発生場所情報	発見日時，線区，キロ程
軌道構造情報	レール種別，継目板種別，
	敷設からの経年
	累積通過トン数
損傷状況	損傷位置，損傷部位



(a) 損傷位置の割合



(b) 第1,4ボルトの部位　　(c) 第2,3ボルトの部位

図-2 継目板ボルトの損傷位置および損傷部位

損傷率とは各継目板が敷設された箇所での継目板ボルトの損傷数を各継目板が敷設された継目箇所数（**図-3**右軸）で除した値である．段違い用継目板敷設箇所は普通継目板敷設箇所と比べて継目板ボルトの損傷率は 3 倍以上であることがわかる．

c) 敷設年数と年間通過トン数

図-4および**図-5**に継目板の敷設年数別および累積通過トン数別の継目板ボルトの損傷率を示す．なお，累積通過トン数はレールの敷設年月から推定した値である．継目板箇所数で除した損傷率でみると敷設年数および累積通過トン数別で顕著な違いは認められなかった．

d) 軌道管理状況

収集したデータの中で特に損傷本数が多かった線区に着目し，軌道検測車で得られる軸箱上下加速度（片振幅，600 Hz のローパスフィルター）および 10 m 弦高低

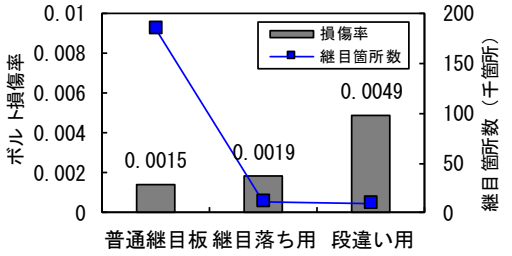


図-3 継目板種別による継目板ボルトの損傷率

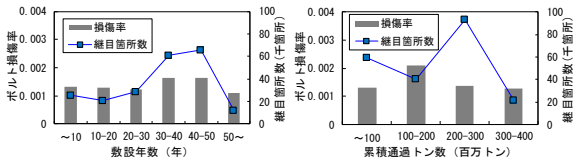
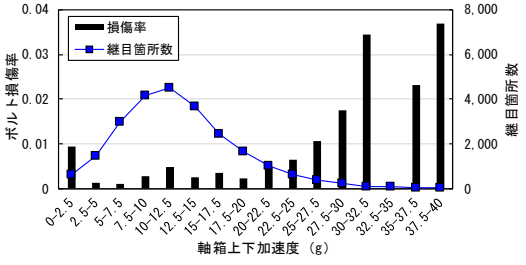
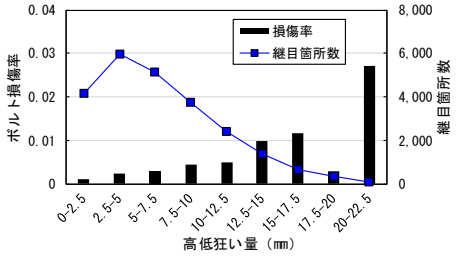


図-4 敷設年数別　　**図-5** 累積通過トン数別



(a) 軸箱上下加速度



(b) 高低狂い量

図-6 軌道管理状況による継目板ボルトの損傷率

狂い量（動的値）と継目板ボルト損傷の関係性について確認した．対象としたボルト損傷数は90本である．**図-6**に軌道管理状況におけるボルト損傷率を示す．横軸は当該線区の各項目の分布を，縦軸のボルト損傷率は各分布区分で発生したボルト損傷数を当該線区の分布区分に該当する継目箇所数（**図-6**右軸）で除した値とした．軸箱上下加速度で25 g以上，高低狂い量で15 mm以上の箇所でボルト損傷率が高くなる傾向が認められる．

3. 継目部材の応答確認試験

継目部材損傷箇所の分析により継目部材の損傷率が高くなるパラメータをいくつか確認したが，部材の損傷のメカニズムを把握する上では作用を受けた際の部材の応答値の確認が重要となる．部材の応答値は継目板の組立状態によって影響を受けることが示唆されている[2]ことから，50 kgNレールに普通継目板を組み立て，**図-7**に示す相対する継目板が成す角度（以下，「継目板平行度」という．）と継目板ボルトの締結トルクを条件とした場合における組み立て時および鉛直方向に荷重を載荷した時の各部材に発生する応答値を確認した．

図-8に継目板および継目板ボルトの応力測定位置を示す．片側の継目板に対して損傷の起点となることが多い中心部に多くひずみゲージを貼付しT1～T12までの12箇所，各継目板ボルトは組み立て時にレール中心とひずみゲージ中心が一致するようにボルト頭部顎下部から49 mm位置のボルト軸部円周上に時計回りに90°間隔でA～Dまでの4箇所とし，引張応力を正とした．また，すべての試験において中央部に設ける遊間量は6 mmとし，継目板ボルトを締め付ける際は不乾燥性防錆油を塗油した．なお，レールと継目板を組み立て，ひずみゲージを貼付した側の継目板に向かって左側のレールを起点方レール，右側のレールを終点方レールと呼び，起点方から順に第1ボルトと呼ぶ．また，組立確認試験で得られた応力を初期応力，鉛直載荷試験で得られた応力を変動応力と呼ぶ．

(1) 組立確認試験

a) 試験方法

表-2の条件のもと，レールに継目板を設置し継目板ボルトを締め付けた際の継目板および継目板ボルトの初期応力を測定した．継目板平行度を設定する際は，レールと継目板との間にシムを設置し継目板の腹部に取り付けた角度計により角度を合わせながら締結後の継目板の角度が試験条件となるように実施した．平行度の測定は第1，2ボルト間および第3，4ボルト間とした．組立確認試験の状況を**図-9**に示す．

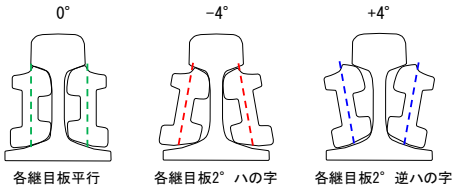
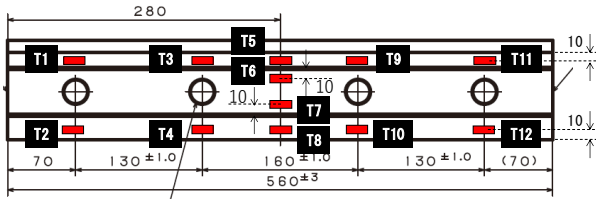
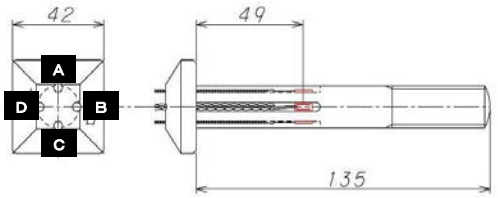


図-7 継目板平行度の模式図



(a) 継目板



(b) 継目板ボルト

図-8 応力測定位置

表-2 組立確認試験の試験条件

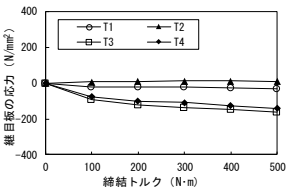
試番	締結トルク	継目板平行度
1-1	100，200，300，400，500 N·m	0°（平行）
1-2		−4°（ハの字）
1-3		+4°（逆ハの字）



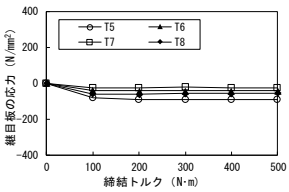
図-9 組立確認試験の状況

b) 試験結果

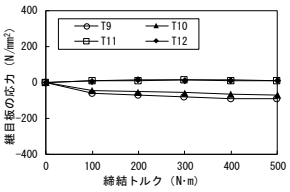
図-10および**図-11**に継目板平行度が0°の場合における締結トルクと各初期応力の関係および締結トルク500 N·mにおける各初期応力のコンター図を示す．継目板については，締結トルクの増加に伴い発生する初期応力はある程度一定の値に収束すること，継目板中央付近には圧縮応力が，継目板の端部にはわずかに引張応力が発生することを確認した．締結トルク500 N·m時で圧縮応力の最大値は161.9 N/mm^2，引張応力の最大値は10.7 N/mm^{2}であった．継目板ボルトについては，第1ボルトから第4ボルトまでほとんど同じような初期応力状態を示し，締結トルクと継目板ボルト初期応力は比例関係にあることを確認した．締結トルク500 N·m時で引張応力の最大値は第4ボルトのボルト上面で788.0 N/mm^{2}であっ



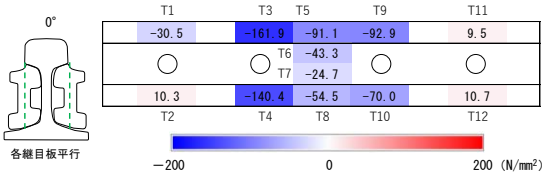
(a) 測点 T1～T4



(b) 測点 T5～T8

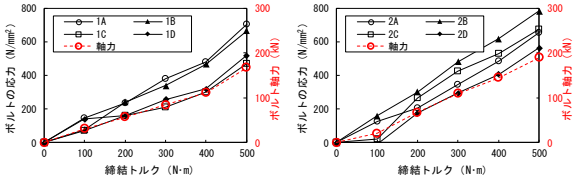


(c) 測点 T9～T12



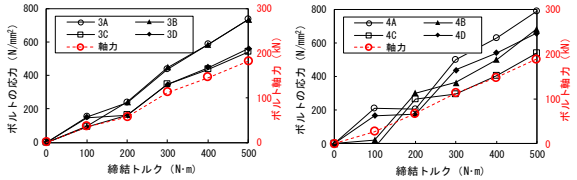
(d) 締結トルク 500 N・m 時の初期応力

図-10 継目板平行度 0° の試験結果（継目板）



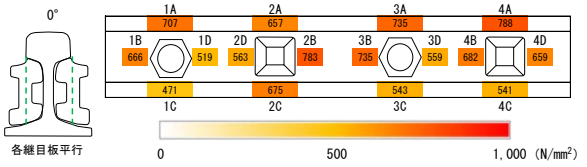
(a) 第 1 ボルト

(b) 第 2 ボルト



(c) 第 3 ボルト

(d) 第 4 ボルト

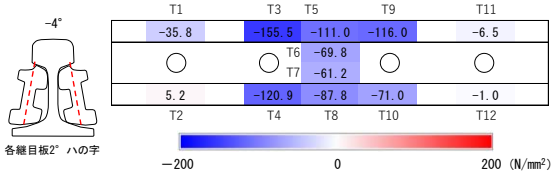


(e) 締結トルク 500N・m 時の初期応力

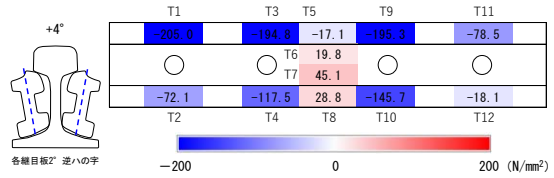
図-11 継目板平行度 0° の試験結果（継目板ボルト）

た．また，測点 A から測点 D の値を平均し継目板ボルトの断面積（283.5 mm²）を乗じてボルト軸力を算出した（**図-11(a)～(d)**の右軸）．第 1 ボルトから第 4 ボルトまでのボルト軸力の平均値は締結トルク 500 N･m 時で 182.2 kN であった．

図-12 および**図-13** に継目板の平行度を変化させた場合における締結トルクと各初期応力の関係および締結トルク 500 N･m における各初期応力のコンター図を示す．継目板については，継目板平行度－4° の場合は平行度 0° の状況と同様に継目板中央付近には圧縮応力が発生していたが，継目板平行度＋4° の場合は継目板ボルト付近には圧縮応力が，継目板中央付近には引張応力が発生していた．締結トルクと継目板ボルト初期応力について，第 2 ボルトの結果を示す．なお，他のボルトでも同様の傾向であることを確認している．継目板平行度－4° においては，締結トルク 100 N･m まではボルトの上面に圧縮応力が，ボルトの下面に引張応力が発生しており，締結トルクが増加することによっておおむねその応力差を維持したまま応力が引張側に増加していくことを

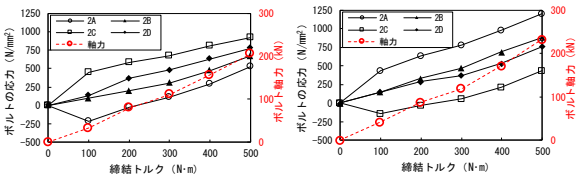


(a) 継目板平行度－4°



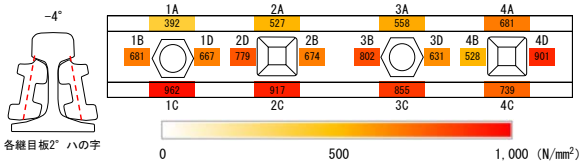
(b) 継目板平行度＋4°

図-12 締結トルク 500N・m 時の初期応力（継目板）

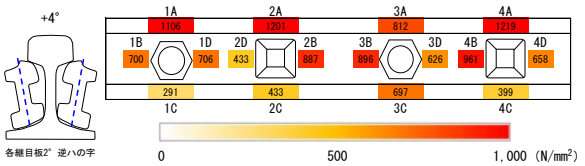


(a) 継目板平行度－4°（第 2 ボルト）

(b) 継目板平行度＋4°（第 2 ボルト）



(c) 締結トルク 500N･m 時の初期応力(継目板平行度－4°)



(d) 締結トルク 500N･m 時の初期応力(継目板平行度＋4°)

図-13 継目板平行度－4° および＋4° の試験結果（継目板ボルト）

確認した．締結トルク 500 N･m 時におけるボルト上面と下面の応力差は第 1 ボルトから第 4 ボルトまでの平均値で 328.9 N/mm^2 であり，引張応力の最大値は第 1 ボルトのボルト下面で 961.9 N/mm^2 であった．これらのことからボルト上下方向に曲げ応力が発生していたことがわかる．継目板平行度＋4° においては，おおむね継目板平行度－4° と逆の挙動を示しており，締結トルク 500 N･m 時におけるボルト上面と下面の応力差は第 1 ボルトから第 4 ボルトまでの平均値で 629.8 N/mm^2 であり，引張応力の最大値は第 4 ボルトのボルト上面で 1219.5 N/mm^2 であった．

c) 考察

継目板に角度がつくことで継目板ボルトに曲げモーメント M_B が作用する．曲げモーメント M_B による付加応力 σ は継目板の角度を θ とすると，

$$\sigma = \frac{EI\theta}{LZ} \quad (1)$$

と表される [2]．ここで，E：ボルトのヤング率，I：ボルトの断面二次モーメント，L：ボルトのグリップ長さ，Z：ボルトの断面係数である．**表-3** に式(1)で得られた理論値と継目板平行度－4° および＋4° の場合の締結トルク 500 N･m 時における第 1 ボルトから第 4 ボルトまでのボルト上面と下面の応力差から算出した曲げ応力および平均値を示す．継目板平行度＋4° では第 3 ボルトを除き理論値とおおむね一致していた．第 3 ボルトについては測点 A～D において応力差が小さくなっていたことからボルトがわずかに回転して締結されていた可能性がある。また，平行度－4° では測定値が低い結果となったが第 1 ボルトから順に曲げ応力が小さくなっており部材の公差や組立状況により長手方向一律に平行度が設定できていなかった可能性がある．

また，継目板ボルトの母材である SCr440 の降伏点 [3] は 919 N/mm^2 であり，締結トルク 500 N･m かつ継目板の平行度が悪い場合は継目板ボルトに引張強度を超過する応力が発生し，継目板ボルト損傷に大きな影響を及ぼしている可能性があることが示唆される．

表-3 継目板ボルトの曲げ応力の比較

継目板ボルト	曲げ応力（N/mm^2）		
	平行度 －4°	平行度 ＋4°	式(1)による理論値
第 1	569.5	815.6	697.1
第 2	390.8	767.8	
第 3	297.2	115.4	
第 4	58.0	820.2	
平均	328.9	629.8	

表-4 鉛直載荷試験の試験条件

試番	締結トルク	継目板平行度
2-1	100 N･m	0° (平行)
2-2		－4° (ハの字)
2-3		＋4° (逆ハの字)
2-4	300 N･m	0° (平行)
2-5		－4° (ハの字)
2-6		＋4° (逆ハの字)
2-7	500 N･m	0° (平行)
2-12		－4° (ハの字)
2-13		＋4° (逆ハの字)

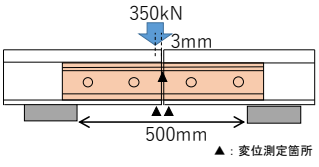


図-14 鉛直載荷試験の模式図

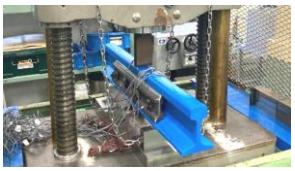


図-15 鉛直載荷試験の状況

(2) 鉛直載荷試験

a) 試験方法

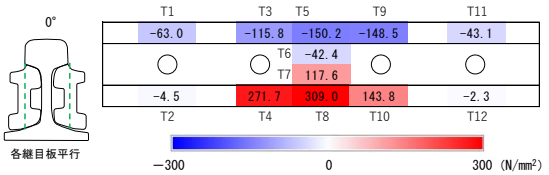
表-4 の条件のもと，レールに継目板を設置した供試体を万能試験機に据え付け，**図-14** のとおり支点間隔を 500 mm とし，起点方レール端部に鉛直荷重 350 kN を載荷した時の継目板および継目板ボルトに発生する変動応力を測定した．その際，継目板および起点方，終点方レール端部の変位も合わせて測定した．**図-15** に鉛直載荷試験の状況を示す．

b) 試験結果

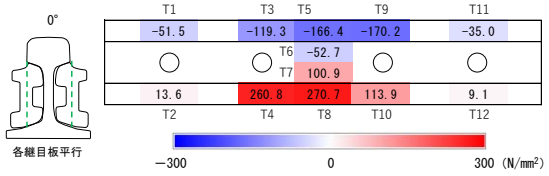
図-16 および**図-17** に継目板平行度が 0° の場合における締結トルク 100，300，500 N･m の鉛直荷重 350 kN 時の各変動応力のコンター図を示す．継目板については，鉛直荷重が作用されると継目板上部に圧縮応力が，継目板中央下部に引張応力が発生することを確認した．引張応力が大きく発生する継目板中央下部（測定位置 T4，T7，T8，T10）の平均値は締結トルク 100，300，500 N･m の場合でそれぞれ，210.5，186.6，179.1 N/mm^2 であり締結トルクの増加に伴い変動応力は小さくなることを確認した．継目板ボルトについては，鉛直荷重が作用されると継目板ボルト全体に引張応力が発生することを確認した．各ボルトの各測点に発生した変動応力の平均値は締結トルク 100，300，500 N･m の場合でそれぞれ，56.3，18.0，15.2 N/mm^2 であり，締結トルクが 300 N･m 以上では極端に変動応力は小さくなった．

c) 考察

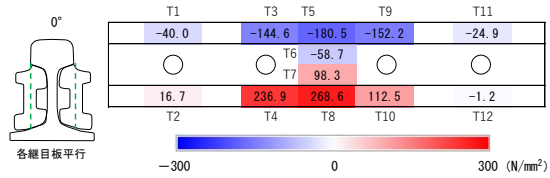
継目板ボルト締結時の初期応力に加えてレール頭頂面に荷重がかかることによって発生する変動応力が継目部材の損傷に影響を与えていると考えられる．継目板ボル



(a) 締結トルク 100N・m 時の変動応力

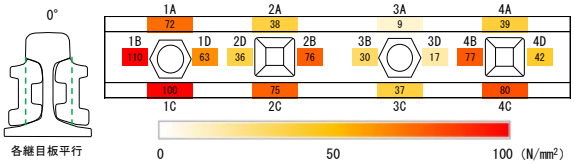


(b) 締結トルク 300N・m 時の変動応力

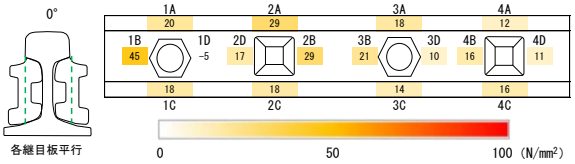


(c) 締結トルク 500N・m 時の変動応力

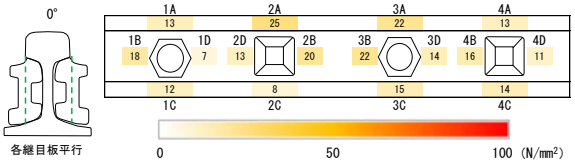
図-16 継目板平行度 0° の試験結果（継目板）



(a) 締結トルク 100N・m 時の変動応力



(b) 締結トルク 300N・m 時の変動応力



(c) 締結トルク 500N・m 時の変動応力

図-17 継目板平行度 0° の試験結果（継目板ボルト）

トの締結トルクが 100 N·m の場合は，締結トルクが 300 N·m および 500 N·m の場合と比べると継目板や継目板ボルトの変動応力が大きくなることを確認した．特に継目板ボルトにおいてこの傾向は顕著であり，これは，締結トルクが 100 N·m のように継目板ボルトに緩みが発生したような状況だとレールと継目板との一体化が損なわれたためだと考えられる．また，継目板平行度が悪くなることでも変動応力が大きくなることから適切な組立方法



図-18 軌道モデル

表-5 主な解析条件

項目	値
レールの断面二次モーメント	19,600,000 mm^4
継目部（レール＋継目板）の換算断面二次モーメント	3,511,551 mm^4
まくらぎ間隔（かけ継目）	A 間隔：380 mm B 間隔：693 mm C 間隔：830 mm
軌道パッドばね定数	110 MN/m
道床ばね定数	30 MN/m

や保守管理が必要となる．

ここで，本鉛直載荷試験の状況を支持間隔 500 mm，中心集中荷重 350 kN の両端支持の単純梁と仮定し，**表-4** の試番 2-7 の試験条件で得られたレール変位から継目部の断面二次モーメントを求めた．得られた断面二次モーメントを**図-18** に示す軌道モデルの継目部に適用し**表-5** の条件で有限要素法による線形静解析を実施した．本モデルにおいて，鉛直載荷試験の状況を模擬した両端支持の単純梁による曲げモーメントに相当する荷重は 404.7 kN であり，これが今回の鉛直荷重 350 kN の試験結果に相当する静止輪重であると推定した．

4. 継目板の疲労寿命に関する検討

鉛直載荷試験で得られた継目板の応力を用いて継目板の疲労寿命に関する検討を実施した．

(1) S-N 曲線

継目板の疲労寿命を算出するため，継目板の材質である S45C の破壊確率 50%の S-N 曲線を定めた．S-N 曲線の傾きは疲労強度に関するデータ [3]から算出し，折れ点である 215 万回時間強度については鉄道構造物等設計標準[4]に記載される疲労限度 328 N/mm^2 を適用した．検討に用いる S-N 曲線を**図-19** に示す．なお，本検討では疲労限度以下の応力による損傷も考慮する修正 Miner 則を適用した．

(2) 継目板に発生する曲げ応力

検討する列車は静止輪重 77.2 kN の機関車と 51.8 kN の電車とした．静止輪重と継目板の変動応力は比例関係に

あるとの仮定のもと**表-4**の試番2-7で得られた継目板の最大変動応力から各列車の静止輪重が作用した時に継目板に発生する応力を求め，それぞれ51.2，34.4 N/mm^{2}とした．

(3) 継目板発生応力に関する係数の検討

営業線に敷設された継目板に作用する輪重は，列車種別，列車速度，レール頭頂面の形状，レール段違いの有無など様々な影響を受ける．また，バラストの支持状態によって継目板に発生する応力も変化する[5]．そこで静止輪重により継目板に発生する応力に乗じる係数 α（$=\alpha_1\times\alpha_2\times\alpha_3\times\alpha_4(\times\alpha_5)$）を検討した．

a) 作用値による検討

輪重と軸箱上下加速度の間には相関の高い関係があり，動的な輪重は静止輪重とばね下質量の慣性力を加えたものと仮定すれば式(2)のように表せる[6]．

$$P = \kappa_1 P_0 + \kappa_2 M\beta \qquad (2)$$

ここで，P：動的輪重，P_0：静止輪重（機関車：77.2 kN，電車：51.8 kN），κ_1，κ_2：軌道構造による係数（κ_1：1.2，κ_2：0.7），M：ばね下質量（機関車：20.2 kN/輪，電車：7.4 kN/輪），β：上下軸箱加速度とする．軸箱上下加速度5 g ごとの動的輪重を算出し，それぞれの継目板応力に乗じる係数 α_1（$=P/P_0$）を求めた．また，軸箱上下加速度測定時の平均列車速度の速度衝撃率を1とし，各列車の最高速度における速度衝撃率の増加割合α_2を求めた．

b) 応答値による検討

バラストの支持状態の違いによるレールの曲げモーメントの比率が継目板の応答倍率と同じであると仮定し，有限要素法による有限間隔支持モデルにてバラスト支持状態と浮きまくらぎを想定した場合のレール曲げモーメントの比率α_3を求めた．解析条件を**表-6**に示す．なお，継目を含む中央5本分のまくらぎ下のばね定数を一般部の約3割と設定して浮きまくらぎを模擬した[7]．また，支え継目構造を検討する際の応答倍率として過去に解析値[4]で確認されている比率α_4を乗じることとした．また，文献[8]により4 mmの段違い用継目板は普通継目板と比較し1.45倍の継目板応力が発生することが示されている．普通継目板との比較としてさらに段違い用継目板による応答倍率α_5を乗じる場合も検討に加えた．**表-7**に継目板応力に乗じるそれぞれの係数を示す．

(4) 疲労寿命の結果

得られた継目板応力に検討した係数を乗じた値に対して継目板のS-N曲線を適用し，累積疲労損傷則に基づき損傷度を算出した．次に，列車の通過割合を機関車5%，電車95%と設定し，損傷度の和の逆数により継目板の疲労寿命を算出した．

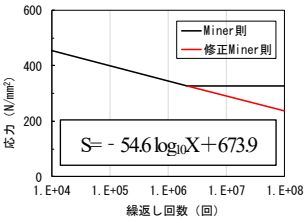


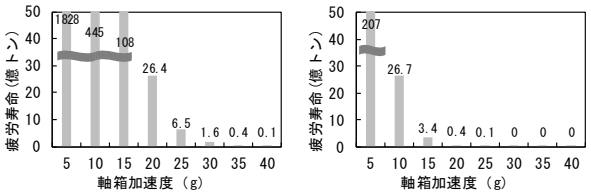
図-19 継目板のS-N曲線

表-6 主な解析条件

条件	荷重 kN	ばね定数MN/m	
		一般部	浮きまくらぎ
支え継ぎ（34本/25m） 50kgNレール：梁要素 ばね定数：ばね要素	75	23.6	7.5

表-7 継目板応力に乗じる係数

記号	項目	軸箱加速度(g)区分							
		5	10	15	20	25	30	35	40
α_1	軸箱加速度から推定した変動輪重係数	1.7	2.2	2.7	3.2	3.7	4.2	4.7	5.2
α_2	速度衝撃率を考慮した変動輪重係数	1.18							
α_3	軌道状態から推定した応答倍率	1.41							
α_4	支え継ぎによる変動輪重係数	1.17							
α_5	段違い継目板による係数	1.45							
α	普通継目板の寿命計算に用いた係数	3.3	4.3	5.2	6.2	7.2	8.2	9.1	10.1
	段違い用継目板の寿命計算に用いた係数	4.8	6.2	7.6	9.0	10.4	11.8	13.2	14.7



(a) 普通継目板　　(b) 段違い用継目板

図-20 継目板の疲労寿命結果

図-20に普通継目板および段違い用継目板の軸箱上下加速度の区分ごとの疲労寿命を示す．普通継目板の疲労寿命は軸箱上下加速度20 gで26.4億トン，25 gで6.5億トンであった．50 kgNレールの累積通過通トン数による交換基準が4億トンであることを考慮するとすると，おおむね軸箱上下加速度は25 gを上限に管理する必要があることが示唆された．また，段違い用継目板の場合は普通継目板と比べて疲労寿命が短くなる結果となった．過去[9]から異形継目板は累積通過通トン数1億トンから1.5億トン程度での交換が推奨されており，継目部の弱点箇所としてより適切な軌道状態を保つ必要があることがわかった．

5. まとめ

本研究では，近年発生した継目部材損傷のデータを分析し，軌道構造，継目部の構造，軌道管理状況による継

目部材損傷の発生傾向を把握した．また，各試験により継目部の組立条件と継目部材に発生する応力との関係性を確認し，列車荷重による変動輪重およびまくらぎの支持状態と継目板の疲労寿命の関係を数値解析により検討した．以下に得られた主な知見を示す.

（1）継目部材損傷箇所の分析では，段違い用継目板敷設箇所の継目板ボルトの損傷率は普通継目板敷設箇所と比べて 3 倍以上であったこと，軸箱上下加速度および高低狂いとボルト損傷率は相関がみられ，軸箱上下加速度で 25g 以上，高低狂い量で 15mm 以上の箇所でボルト損傷率が高くなる傾向を確認した.

（2）継目部材の応答確認試験では，継目板ボルトの締結トルクが低い場合は，継目部材の変動応力が大きくなることを確認した．特に継目板ボルトにおいてこの傾向は顕著であり，これは，継目板ボルトに緩みが発生したような状況だとレールと継目板との一体化が損なわれたためだと考えられる．また，継目板平行度が悪くなることでも変動応力が大きくなることから適切な組立方法や保守管理が必要となる.

（3）継目板の疲労寿命に関する検討では，継目板の応力と疲労寿命の関係から軸箱上下加速度は 25g を上限に管理することが望ましいこと，段違い用継目板はより適切な軌道状態を保つ必要があることがわかった.

今後はこれらの得られた知見をもとに継目部材の損傷対策を進めていく．ハード対策として継目板ボルトのネジ部を中心とした耐久性向上の検討やソフト対策として特に異形継目板敷設箇所の軌道管理における整備目標値の提案などが考えられる.

謝辞：本稿で実施した継目部材の応答確認試験においては株式会社ミツテックに多大なるご協力を頂きました．ここに記して感謝の意を表します.

REFERENCES

1) 古川敦：地方交通線における軌道の保守，RRR，61 巻 3 号，pp. 22-25，2004. [Furukawa, A.: Track maintenance of local railway, *Railway Research Review*, Vol. 61, Issue 3, pp. 22-25, 2004.]
2) 山根寛史，若月修，片岡宏夫，本野貴志，中澤毅基：接着絶縁継目板ボルトの折損に関する考察，鉄道力学論文集，第 14 号，pp. 7-14，2010. [Yamane, H. , Wakatsuki, O. , Kataoka, H. , Motono, T. and Nakazawa, K.: Study on fatigue of fish bolts on glued-insulated joint, *Journal of Railway Dynamics*, Issue 14, pp. 7-14, 2010.]
3) 金材技研疲労データシート資料 5，pp. 66，科学技術庁金属材料研究所，1989. [Fatigue data sheet No.5 of Metal Technology Laboratory, *National Research Institute for Metals*, pp. 66, 1989.]
4) 国土交通省：鉄道構造物等設計標準・同解説　軌道構造，(公財)鉄道総合技術研究所編，pp. 228-231，2012.1 [MLIT : *Design Standaeds for Railway Structures and Commentary (Track Structures)*,RTRI, pp. 228-231, 2012.1]
5) 田中俊史，楠田将之：継目板の疲労寿命に関する一考察，土木学会第 77 回年次学術講演会，VI-410，2022. [Tanaka, T. and Kusuda, M.: A study of fatigue life of joint bar, *77th Annual Academic Lecture of the Japan Society of Civil Engineers*, VI-410, 2022.]
6) 須田征男，長門彰，徳岡研三，三浦重編：新しい線路，pp. 518，社団法人日本鉄道施設協会，1997. [Suda, M. , Nagato, A. , Tokuoka, K. and Miura, S.: *New Track*, *Japan Railway Civil Engineering Association*, pp. 518, 1997.]
7) 伊藤壱記，中村貴久，佐野禎：FWD を用いた軌道支持状態の評価に関する研究，日本鉄道施設協会誌，52 巻 2 号，pp. 60-63，2014. [Itou, K. , Nakamura, T. and Sano, T.: Study on evaluation of track support state using FWD, *The Journal of Japan Railway Civil Engineering Association*, Vol. 52, No.2, pp. 60-63, 2014.]
8) 高原崇，片岡宏夫，西田博貴：継目落ちに対応した段違い用異形継目板の開発，新線路，65巻 12 号，pp. 18-20，2011. [Takahara, T. , Kataoka, H. and Nishida, H.: Development of deformed fish plate, *New Track*, Vol. 65, No.12, pp. 18-20, 2011.]
9) 異形継目板の使用基準，新線路，43 巻 6 号，pp. 57，1988. [Usage criteria of deformed fish plate, *New Track*, Vol. 43, No.6, pp. 57, 1988.]

(Received March 31, 2023)
(Accepted June 9, 2023)

A STUDY ON EXTENDING THE SERVICE LIFE OF RAIL JOINT COMPONENTS

Toshifumi TANAKA, Masanobu KUSUDA and Koki TATENO

The rail joint, which is a weak point of the track has taken various measures such as welding rails. Considering the labor shortage, recent social situation of railways and sustainable railway system, it is expected that the rail joint cannot be welded more than we thought. So, it is important to maintain the rail joint properly.

In this research, we analyzed fish bolt breakage, and conducted to establish the relationship between the stress on the joint materials and loads in laboratory tests. And, the fatigue life of the fish plate calculated by numerical analysis using the value obtained.