

レール損傷時用 応急継目板の開発



手代木 卓也*



小西 俊之**



奥村 悠樹***

レール損傷が発生した際には「応急処置器」を用いてレールを一時的に繋いで仮復旧を行う。この応急処置器は軌道の構造に応じて多くの形式が存在することや、重量が大きく取扱いが困難であるなどいくつかの課題を有していた。こうした課題を解消するため、従来の応急処置器に代わる新しい復旧方法として、軽量で取扱いの容易な「レール損傷時用応急継目板」を試作して各種の検討や試験を行った。この結果、走行安全性、部材強度の面でレール損傷が発生した際の応急復旧の手段としての実用性が確認でき、さらに復旧後の徐行速度を従来よりも向上することが可能となった。この開発により、レール損傷が発生した際の復旧時間の短縮と、復旧後の輸送への影響の軽減を実現することが期待される。

●キーワード：レール損傷、応急処置器、継目板

1. はじめに

レール損傷の発生時に使用する応急処置器には、軌道の構造や損傷の形態に応じて20種類以上の形式が存在する。そのため、レール損傷現場の軌道構造を想定したうえで携行した応急処置器が発生したレール損傷に対応できず、再度、異なる形式の応急処置器の運搬が必要となり、処置が遅れて大きな輸送障害を引き起こすという事象が懸念されていた。このほかにも従来の応急処置器は重量が大きく取扱いが困難であるなど種々の課題を有している。

そこで、こうした課題を解消するためレール損傷に対する新しい復旧方法を考案し、「レール損傷時用応急継目板」(以下、「応急継目板」という。)を開発した。本稿では、応急継目板の開発の概要と各種の性能確認試験の結果を報告する。

2. 復旧方法の検討

2.1 開発コンセプトの検討

図1に従来の応急処置器の例を示す。これらの応急処置器は、以下のような課題を有している。

- (1) 形式が多数で、損傷箇所にあわせた応急処置器を選択、運搬する必要がある。
- (2) 重量が大きく特殊な構造であり、事前の取扱い訓練が必要である。
- (3) 復旧後も徐行(15km/hまたは45km/h)が必要である。
また、近年発生したレール損傷を集計すると、以下のことが特徴としてあげられる。
 - (1) 横裂損傷^{*1}が大多数である(図2)。
 - (2) 溶接部の損傷は毎年発生している。

- (3) 50kgNレール、60kgレールで全体の約8割を占める。

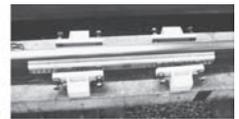
※1 横裂損傷とは、レールに発生したき裂が成長してレールが切断されてしまうことをいう。



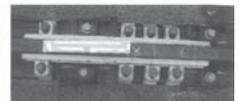
a) 一般用(安田式)



b) 舗装軌道用



c) 省力化軌道用



d) 直4軌道用

図1 60kgレール用応急処置器の例

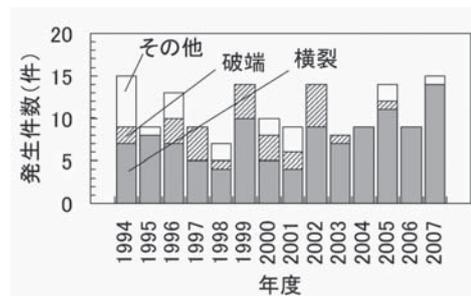


図2 近年のレール損傷の発生状況

以上を踏まえて、次の3点をコンセプトとして応急復旧方法の検討を行った。

- (1) 全軌道構造対応

軌道の構造を問わずに横裂損傷に対応できる形式とする。レール種別は首都圏と地方幹線への対応を考慮して、50kgNレールと60kgレール共用とする。また、レール溶接部にも取付け可能な構造とする。

- (2) 部材が少なく軽量

シンプルかつ軽量で、運搬と取り付けが容易な構造とする。

(3) 徐行速度の改善

徐行速度を現在よりも向上させる。

2.2 構造の検討

基本構造の検討段階では、接着剤や磁石を使用する方式やレール締結装置を活用する方式なども検討したが、作業性や汎用性の観点から継目板による方法を採用することとした。

応急継目板の設計にあたっては、レール溶接部に取付け可能な形状とすること、および取扱いを容易にするために軽量の材質とすることを考慮した。図3に、試作したFRP製の応急継目板を示す。この応急継目板は、専用の治具を使用することにより、50kgNレール、60kgレール両方に共用することが可能である。



図3 応急継目板

3. 評価方法

3.1 評価の考え方

過去に実施された安田式応急処置器（以下「安田式」という。）に対する実車走行試験では、レール開口量が70mmの場合でも曲線半径が500m以上の箇所であれば、70km/hでの走行が可能であることが確認されている¹⁾。そのため、応急継目板の性能が安田式と同等以上であれば、応急継目板を使用した場合も同様に70km/hの走行が可能であると判断できる。そこで、安田式の性能との相対比較を行うことで応急継目板の評価を実施することとした。以下に具体的な評価項目と評価方法を示す。

3.2 評価項目

(1) 走行安全性

静的載荷試験を実施して、応急継目板または安田式を取り付けた軌道に一定の荷重を載荷し、レール左右変位量、食い違い量、レール上下変位量、レール応力の値を比較した。

(2) 部材強度

応急継目板の材質と形状から算出される強度は、想定される列車荷重に対して十分に余裕があるが、過密線区では一日あたりの列車通過数も多いことから、疲労の評価するための疲労試験を実施することとした。

4. 静的載荷試験

走行安全性について安田式と応急継目板を比較するため、静的載荷試験を実施した。

4.1 試験の概要

図4に試験軌道の状況を示す。鉄道総研が所有するレール締結装置3軸疲労試験機の架台上に5mの片側軌きょうを配置し、中央部に70mmのレール開口部を設けたものである。マクラギは所定のばね定数（30MN/m）となるよう弾性材を用いて架台上に固定している。

表1に荷重条件を示す。この荷重条件は、実際に発生する荷重を想定したものではなく、安田式との性能比較を行うために便宜的に取り決めたものである。応急継目板を固定するボルトは、全4穴を締結した場合と、開口部から遠い2本のみとした場合の2ケースを比較した。また、荷重条件「荷3」については、50kgNレールと60kgレールの比較を行った。



図4 試験軌道の状況

表1 荷重条件

荷重条件	荷重 (kN)	載荷角度 (deg)	備考
荷1	75.0	90.0	Q/P 0.0
荷2	84.0	63.2	Q/P 0.5
荷3	96.0	51.4	Q/P 0.8

4.2 結果と考察

(1) 試験結果

50kgNレール、60kgレールともに、変位量は応急継目板の方が安田式よりも小さかった。また、その他の測定項目でも安田式と同等以上の性能を有することが確認された。図5、6に50kgNレールの試験結果の一例を示す。

(2) 考察

試験結果から、応急継目板を取り付けた箇所は、レール開口量が70mmの場合でも曲線半径が500m以上の箇所であれば、70km/hでの走行安全性に問題はないと判断できる。

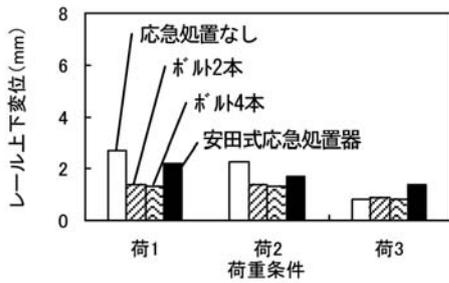


図5 レール上下変位量の比較 (50kgNレール)

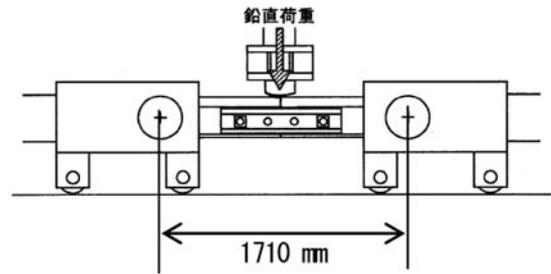


図8 試験の概要図

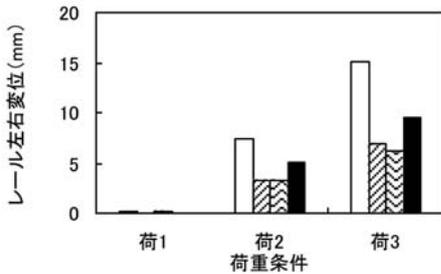


図6 レール左右変位量の比較 (50kgNレール)

5. 疲労試験

応急継目板の耐久性を検証するため100万回の繰返し载荷試験を行った。

5.1 試験の概要

試験は、70mmの開口部を設けたレールに応急継目板を設置し、これをスパン1710mmで固定したものに、鉛直荷重を繰返し载荷する方法で実施した。継目ボルトは開口部から遠い2本のみを締結した。試験装置は、テクニカルセンターが所有する材料载荷試験機である。図7、8に試験装置と試験の概要図を示す。

測定項目は、鉛直载荷荷重、レール上下変位、および継目板底部中央のひずみの3項目である。

試験荷重は5~23kNの2Hzの正弦波とした。この荷重で応急継目板に生じるひずみは载荷初期で概ね1000~4200 μ m/mである。これは、輪重横圧推定式^{※2}により求めた電気機関車(軸重164.8kN)による輪重横圧を静的载荷した場合に、応急継目板に生じるひずみ(3163 μ m/m)が動的な振幅となるよう設定したものである。

※2 線路の線形、車両の諸元等を用いて発生する輪重と横圧を推定する式



図7 材料载荷試験機

5.2 結果と考察

(1) 試験結果

50kgNレールに対する試験結果では、载荷回数が5万回を超えたころから応急継目板にき裂が生じ、回数とともに徐々に進行する様子が確認されたが、急進性はなく100万回载荷後も折損にいたることはなかった。図9に载荷回数と鉛直変位、図10に载荷回数と継目板ひずみの関係を示す。载荷回数の増加とともに変位量が大きくなり、継目板ひずみが減少する傾向が確認された。図11に100万回载荷後の供試体を示す。なお、60kgレールについてもほぼ同様の結果であった。

(2) 考察

レール損傷が発生した箇所は、当日中にレール交換を実施することがほとんどである。そのため、応急継目板は最大でも1日間の使用であり、過密線区を想定しても通過する軸数は2万軸程度である。本試験においては、機関車走行に相当する载荷を100万回繰返ししたが、継目板の折損は見られなかったため、レール損傷時に使用する応急継目板として十分な部材強度、耐久性を有していると考えられる。

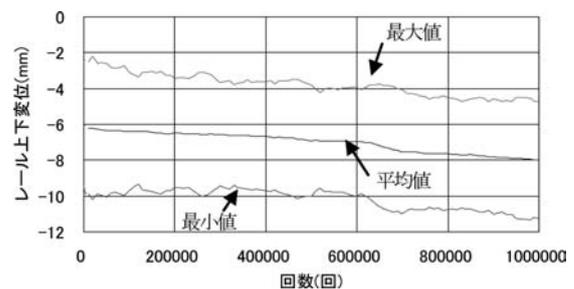


図9 载荷回数と変位の関係

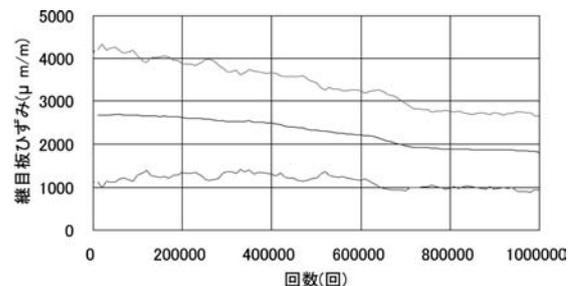


図10 载荷回数と継目板ひずみの関係

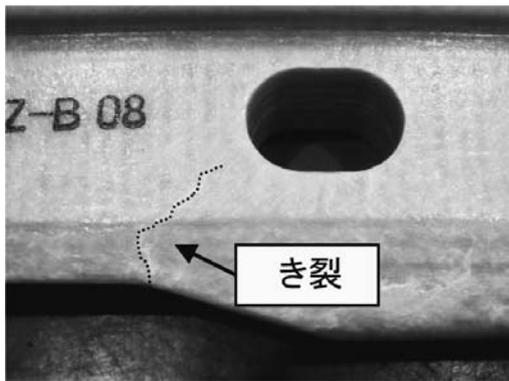


図11 100万回載荷後のき裂の状況

6. 適用範囲の拡大

安田式の実車走行試験は曲線半径500mの箇所で行われたため、安田式との単純な相対比較では半径500m未満での応急継目板の評価を行うことができない。そこで以下の手順により曲線半径500m未満での応急継目板の評価を行った。

6.1 走行安全性に関する検討

静的載荷試験および走行試験ともに、レール左右変位量、食い違い量は横圧と比例関係にあることが分かっている。そこで、輪重横圧推定式によって求めた横圧を用いて走行試験結果を換算（比例計算）することにより急曲線部でのレール左右変位量、食い違い量を推定した。表2にその計算条件を示す。この計算は安田式の場合であるが、静的載荷試験において応急継目板が安田式よりも変位が小さいことが確認されているので、応急継目板の場合はさらに小さな値となる。

表3に計算結果を示す。走行試験結果を参考にして、横圧にはレールが開口していることによる割増し分として30kNを一律に加えている。この結果、レール左右変位量は最大でも4.7mm、食い違い量は2.4mmであり走行安全性上の目安値（それぞれ7.0mm、4.0mm）を満足することが確認された。ただし、開口量が70mmに達している場合の脱線係数などに関する知見がないため、最大レール開口量を普通継目板と同様の20mm以下に限定することで走行安全性を満足しているものと判断した。

表2 計算条件

項目	値	備考
車両形式	EF66	静止軸重164.8kN
カント	105mm	
軌道変位	30mm	角折れを考慮
応急処置形式	安田式応急処置器	
速度	基本の速度 γ	最大70km/h

表3 計算結果

曲線半径 (m)	速度 (km/h)	横圧 (kN)		計算結果 (mm)	
		輪重横圧推定式(A)	(A) + 30	左右変位量	食い違い量
500	70	48.1	78.1	4.1	2.1
300	70	52.6	82.6	4.3	2.2
250	70	55.2	85.2	4.5	2.3
225	70	56.5	86.5	4.5	2.3
200	70	57.7	87.7	4.6	2.4
175	65	57.6	87.6	4.6	2.4
150	60	57.9	87.9	4.6	2.4
125	55	58.6	88.6	4.6	2.4
100	50	59.3	89.3	4.7	2.4

6.2 部材強度に関する検討

5章の疲労試験は最大の荷重を想定して実施していることから、曲線半径500m未満の箇所においても十分な部材強度と耐久性を有していると判断できる。

6.3 考察

以上の検討から、曲線半径が500m未満の区間でも開口量を20mm以内に限定すれば、曲線半径による制限速度を超えない範囲で最大70km/hでの走行が可能であると判断できる。

7. まとめ

従来の安田式応急処置器の徐行速度は、開口量や曲線半径に関わらず一律45km/hとされていたが、今回の検討結果から応急継目板を使用した場合の徐行速度を表4のとおり向上することが可能となった。

表4 徐行速度（在来線）

開口量 (mm)	徐行速度
0～20	70km/h以下※
20～70	45km/h以下

※前後のレール締結ができない場合は、45km/h以下

8. おわりに

応急継目板の導入により、これまで数多く存在した応急処置器が統一され、軽量化と取扱いの簡素化が実現できた。また、一部徐行速度を見直したことにより、徐行による復旧後の列車ダイヤへの影響を小さくすることが可能となった。以上より、レール損傷が発生した際の復旧時間が短縮され、輸送の安定性の向上が期待される。

参考文献

- 1) 片岡宏夫他：レール折損時における応急処置後の列車徐行速度向上の可能性、鉄道総研報告、vol.23、No.10、2009年10月
- 2) 溝口敦司他：レール折損時応急処置器取り付け後の徐行速度向上、新線路Vol.59 No.1、鉄道現業社、2005年11月
- 3) 西宮裕騎他：レール折損時の補強継目板の使用、新線路Vol.63 No.4、鉄道現業社、2009年4月