

レール折損時における応急処置後の徐行速度向上に関する研究

軌道技術研究部 軌道構造
主任研究員 片岡宏夫

1. はじめに

レール折損時は列車の徐行運転を伴うため、列車遅延・運休の原因となっている。レール応急処置を施した場合の列車の徐行運転速度は経験的に決められており、その根拠はかならずしも明確ではない。鉄道総研では、図1に示す安田式横裂用レール応急処置器（以下、「応急処置器」という。）を対象として検討を行い、70km/h までの徐行速度向上に伴う部材の強度および走行安全性を評価した¹⁾。また、その結果を参考にして補強継目板を取り付けた場合の安全性を評価したので²⁾、ここでその概要を紹介する。

なお、本研究では、評価対象を、徐行運転による列車の遅延および運休の影響が大きいロングレール区間で曲線半径 500m 以上の軌道とし、応急処置を施した後に折損部を1日通過する軸数を想定した。レール開口量は、ロングレールの破断時の開口限度の 70mm とした。

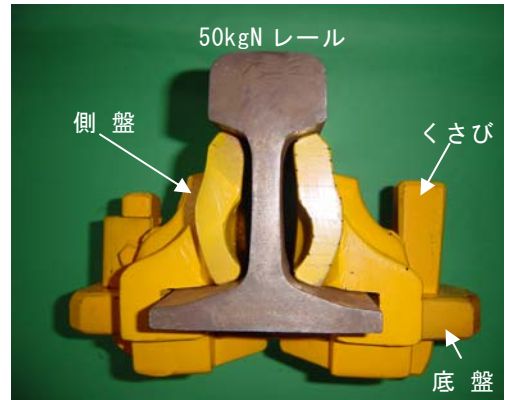


図1 安田式横裂用レール応急処置器

2. 応急処置器を取り付けた場合の検討

2.1 応急処置器の部材強度評価法

応急処置器の材質は FCD450-10 である。70mm の開口部を設けた試験軌きょうの静的载荷試験を行った結果、応急処置器の応力は取り付け時に塑性域に達しており、塑性域における応力の変動に対する評価が必要となった¹⁾。

そこで、応急処置器取り付け時の応力を図2に示すように FCD のひずみ-応力曲線³⁾より推定した。FCD450 の引張強度と時間強度を用いて耐久限度線図を作成し、応急処置器の各測点に発生した応力変動の最大値と取り付け時の応力を含めた平均応力を耐久限度線図上にプロットして照査し、強度の評価を行うこととした。許容限度は、折損部を1日通過する軸数を約2万軸と想定し、安全余裕として3倍の約6万軸通過するものとして、 10^5 回時間強度とした。

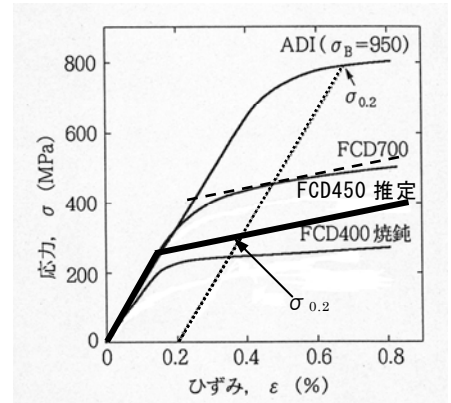


図2 FCD のひずみ-応力曲線³⁾

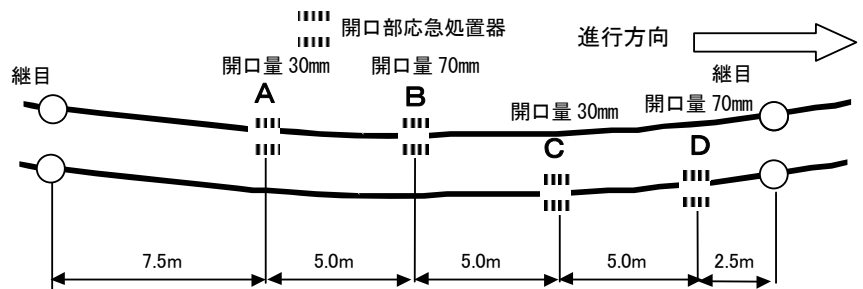


図3 走行試験の軌道概要

2.2 103系電車による走行試験

走行安全性および部材強度を確認するため、図3に示す曲線半径500m相当の実軌道においてレール折損部を模擬した開口部を設定し、103系電車（4両編成）の走行試験を西日本旅客鉄道株式会社と共同で行った。速度は10～70km/hまで10km/h毎とし、空車および積車状態にて走行した。試験結果を評価するにあたり、表1に示す軌道および応急処置器の条件を前提とした。測定項目は、輪重、横圧、レール頭部左右食違い量、レール頭部左右変位、レール応力、締結ばね応力および応急処置器応力（図4）である。

試験の結果、表2に示すように、脱線係数および輪重減少率は目安値以下であり、レール変位、応急処置器および軌道部材の強度はすべて許容限度値内であった。本試験の軌道条件で103系電車の70km/h以下の速度では、走行安全性、軌道部材の強度に関して問題はないと考えられる。

2.3 機関車走行時の評価

実軌道では様々な車種が開口部を通過することが想定されるため、103系電車に比べ輪重の重いEF66機関車が走行した場合の、速度70km/hまでの走行安全性および軌道部材の強度評価を行った。EF66機関車が開口部を走行する際に発生する輪重および横圧は、開口の無い状態の輪重と横圧の推定値に走行試験結果より推定した割増荷重を加算したものとした。

2.3.1 走行安全性の評価

走行安全性の評価指標は輪重減少率とした。なお、走行試験結果から脱線係数の大きい箇所でもその作用時間はごく短かったため、脱線係数の検討は省略した。

曲線半径500mの軌道にてEF66機関車が通過した場合について輪重減少率を推定した結果、図5に示すように最大0.65と推定され目安値0.8を下回り、走行安全性に問題はないと考えられる。

表1 前提条件

軌道	<ul style="list-style-type: none"> ○ 著大な軌道変位がないこと ○ 応急処置器取り付け後、軌道が同じ状態を維持していること ○ 損傷が連続していないこと ○ 損傷の範囲が70mmを超えていないこと
応急処置器	<ul style="list-style-type: none"> ○ レール折損時の使用履歴のない応急処置器を使用すること

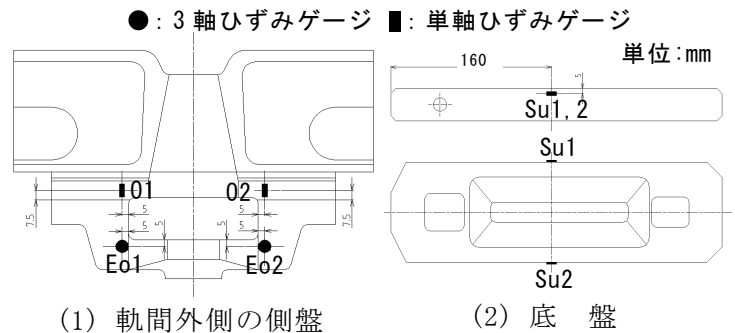


図4 応急処置器の測点箇所

表2 試験結果および照査結果

項目		目安値または許容限度値	最大値または照査結果	
車上側	脱線係数 Q/P	0.95	0.91	
	輪重減少率	0.80	0.58	
地上側	レール頭部変位	左右食違い量	4.0mm / 1.4mm	
		左右変位	7.0mm ⁴⁾ / 2.7mm	
	発生応力	応急処置器	耐久限度線図による	10 ⁵ 回時間強度内
		締結ばね	耐久限度線図による	第2破壊限度内
	レール	355 N/mm ²	86 N/mm ²	

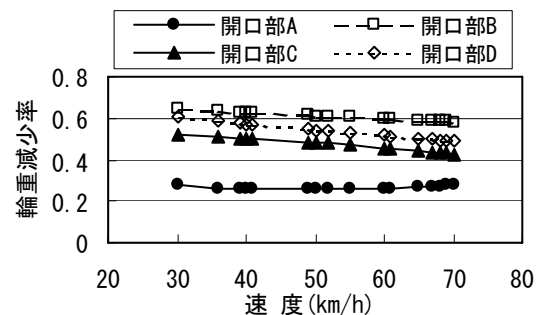


図5 速度と輪重減少率 (EF66)

2.3.2 軌道部材の強度評価

軌道部材の強度評価に際し、EF66 機関車の走行時に開口部に発生する輪重および横圧を推定した。走行試験結果より列車速度、開口部通過時の車上輪重および横圧の最大値を説明変数として各部材の変動応力の重回帰分析を行い、推定荷重を代入して変動応力を推定し、軌道部材の強度評価を行った。推定荷重は、曲線半径 500m の場合より厳しい条件である曲線半径 300m、通り変位 30mm の軌道を EF66 機関車が速度 70km/h で走行した場合に推定した輪重および横圧とした。

また、レール左右変位および食違い量は、静的載荷試験や走行試験において横圧と比例関係にあることが確認されたことから、推定横圧より変位量を推定した。

その結果を表 3 に、耐久限度線図による照査結果を図 6 に示す。各項目とも許容限度値内であった。また、応急処置器について推定変動応力に対する繰返し載荷試験を実施した結果、6 万回の繰返し載荷に対し損傷等の異状は確認されず、耐久性の問題はないと考えられる。

以上より、1 日間程度の列車の通過に対して強度上問題はないと考えられる。

表 3 照査結果

項目	許容限度値	EF66機関車走行時の推定結果
レール左右食違い量	4.0mm	2.2mm
レール頭部左右変位	7.0mm ⁴⁾	4.3mm
応急処置器	耐久限度線図による	10 ⁵ 回時間強度内
締結ばね	耐久限度線図による	第2破壊限度内
レール	355 N/mm ²	228 N/mm ²

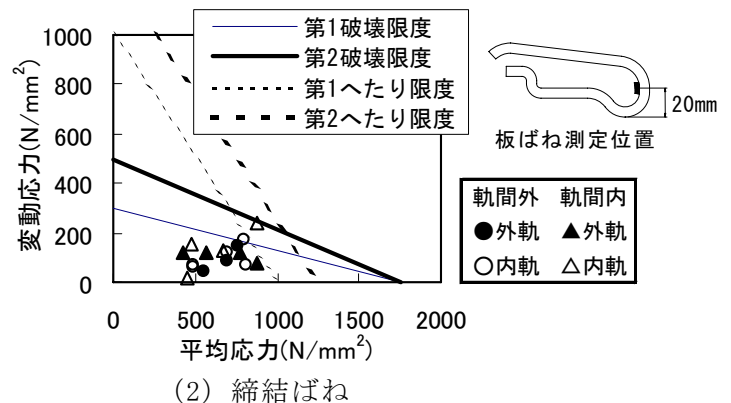
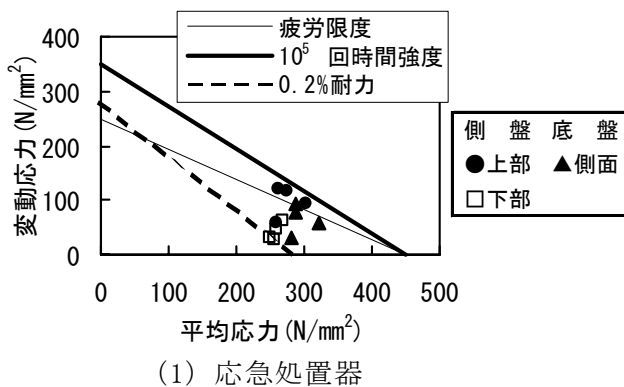


図 6 耐久限度線図による照査結果

3. 補強継目板を取り付けた場合の検討

補強継目板を取り付けた場合について、2章の結果を踏まえ、静的荷重に対する応答を応急処置器と相対比較することにより 70km/h までの徐行速度に対する評価を行った。

開口部を有する 50kgN および 60kg レールの静的載荷試験を実施した。図 7 に示す試験軌きょうの開口部のレール端部に載荷し、補強継目板を締結するボルト本数、開口量、レール開口部直近の板ばねの有無を変えて軌道部材に発生する応力および変位を測

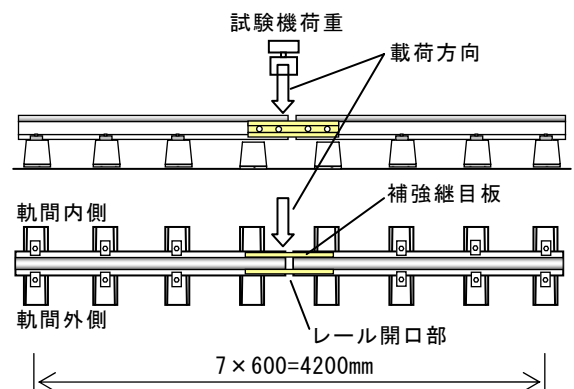


図 7 静的載荷試験の概要

定した。試験の状況を図 8 に示す。

試験結果の例として、レール左右変位についてみると、図 9 に示すように締結ボルト本数、開口量による違いはみられず、直近の締結の有無により差が生じている。

前章の応急処置器取り付け時の静的载荷試験結果と比較して、70km/h までの徐行速度に対する評価を行った結果を表 4 に示す。継目板の応力については、過去に実施した普通継目部の静的载荷試験結果を参考にした。

走行安定性については、レール左右変位の試験結果から補強継目板取付け時の軌道の剛性が応急処置器と同等以上であり、問題はないと考えられる。また、部材強度については締結装置の位置でレールの左右変位を拘束すれば問題はないと考えられる。

なお、開口量、ボルト本数が普通継目と同じであれば、営業速度で問題ない。ただし、損傷が連続している場合には最徐行が望ましい。

4. まとめ

以上により、安田式横裂用応急処置器もしくは補強継目板による応急処置を施した場合に、曲線半径 500m 以上のロングレール区間において徐行速度 70km/h で 1 日間列車が通過する場合、走行安全性および部材強度について問題はないと考えられる。ただし、事前に補強継目板を取付けた場合にはレール引張軸力により継目板ボルトが破断する可能性があるため、注意が必要となる。

本研究では、走行試験上の制約等もあり、70km/h までの確認を行った。曲線半径や軌道の条件によってはさらなる徐行速度の向上もありうるが、そのため

には走行試験による検証が必要である。最後に、本研究の走行試験に際し多大なご協力を頂いた西日本旅客鉄道株式会社に厚くお礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) 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、第 59 巻 11 号、2005.11
- 2) 西宮裕騎他：レール折損時の補強継目板の使用、新線路、第 63 巻 4 号、2009.4
- 3) 原田昭治、小林俊郎他：球状黒鉛鋳鉄の強度評価、アグネ技術センター、1999.12
- 4) 長藤敬晴、阿部則次他：防振形レール締結装置の開発、鉄道総研報告、第 9 巻 12 号、1995.12



図 8 静的载荷試験の状況

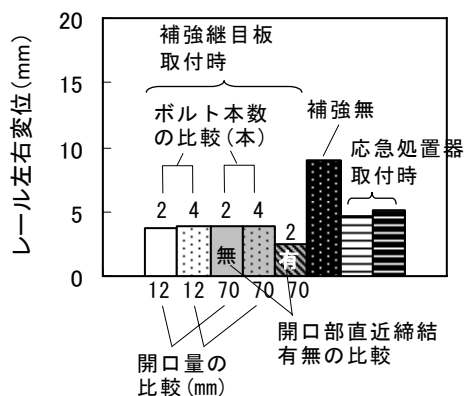


図 9 静的载荷試験結果の比較の例 (輪重 75kN, 横圧/輪重=0.5 の場合)

表 4 静的载荷試験結果の評価

評価項目		評価	備考
レール 頭部変位	左右食違い量	○	—
	左右変位	○	—
応力	レール	△	直近の締結がない場合、横圧作用時に応急処置器の試験結果を超過
	締結ばね	○	—
	継目板	△	直近の締結がある場合に、普通継目部の試験結果と同程度

○：本試験結果が応急処置器の試験結果と同程度もしくは下回る
△：条件付きで問題なし