

曲線内軌の中きしみ割れ発生メカニズムの検討と転動疲労試験機による再現試験

鉄道総研 正会員 ○辻江 正裕
 鉄道総研 西村 英典
 鉄道総研 松井 元英

1. 背景・目的

国内在来線の一部の曲線区間において、内軌頭頂面に「中きしみ割れ」と呼ばれる形態の損傷（図1）が確認されている。しかし中きしみ割れについては、発生状況や発生メカニズムが明らかとなっていない。そこで本研究では、中きしみ割れの発生状況を明らかにするとともに、その発生箇所における車輪／レール接触解析、ならびに転動疲労試験機で車輪／レール接触状態を模擬し、中きしみ割れの再現試験を行った。

2. 中きしみ割れの発生状況調査

さまざまな曲線区間について現地調査を実施し、中きしみ割れの発生状況を調査した。中きしみ割れ発生箇所は、振り車両が多く走行する線区（以下、「振り線区」とする）に集中していたことから、比較として、振り車両が走行しない線区（以下、「非振り線区」とする）についても調査した。発生状況について、曲線半径ならびに振り線区／非振り線区で分類した結果を表1に示す。



図1 中きしみ割れの外観

表1 中きしみ割れ発生状況

曲線半径 [m]	振り線区	非振り線区
400	○ (18 / 18)	× (0 / 4)
600	○ (47 / 47)	× (0 / 14)
800	△ (6 / 7)	× (0 / 3)
1000	× (0 / 2)	× (0 / 2)
1200	× (0 / 2)	× (0 / 2)
1600以上	× (0 / 3)	× (0 / 3)

○：すべての箇所が発生 △：一部で発生
 ×：発生なし （発生箇所数／調査箇所数）

表2 解析条件

解析条件	Case1	Case2
曲線半径 [m]	600	1200
カント [mm]	100	55
スラック [mm]	0	
縦断勾配 [%]	10（下り勾配）	水平
車両形式	振り車両	
走行速度 [km/h]	115	

3. 車輪／レール接触解析

中きしみ割れの発生要因を検討する上で、車輪／レール接触状態を明らかにすることは非常に重要である。そこで、中きしみ割れの発生が確認される曲線区間をモデルとして、車輪／レール接触解析を実施した。

表1に示すように中きしみ割れの発生箇所は振り線区の半径400～800mの曲線区間に限定されることから、振り車両における車輪／レール接触状態について検討した。解析条件を表2に示す。

先行研究¹⁾より、中きしみ割れ発生箇所においては、列車進行方向の接線力が内軌の頭頂面に作用している。そこで、曲線内軌の車輪／レール接触部における輪重ならびに縦クリープ率について検討した。なお、本研究における車輪／レール接触解析は、マルチボディダイナミクスツールである Simpack を活用し、実際に中きしみ割れ発生箇所を通過する振り車両のモデルを用いて行った。

キーワード 中きしみ割れ、車輪・レール高速接触疲労試験装置、車輪・レール接触解析、Simpack

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38（公財）鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7291

車両が曲線区間を通過する際に、台車前軸における左右の車輪からレールに載荷する輪重、ならびに内軌の車輪／レール接触部に発生する縦クリープ率の解析結果を、図 2 ならびに図 3 に示す。

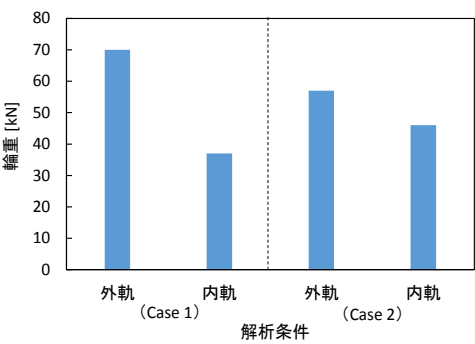


図 2 解析結果（輪重）

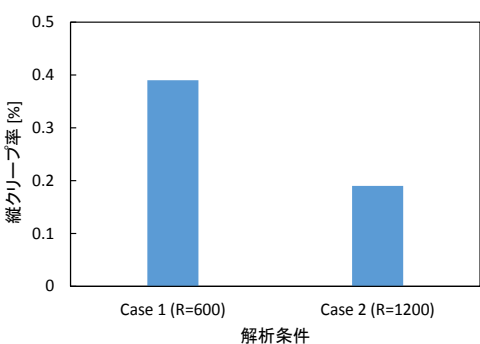


図 3 解析結果（縦クリープ率）

図 2 に示すように、外軌側で高い値の輪重が載荷していることが確認できる。これは軌道条件が曲線区間であることに加え、車両モデルが振り車両であるため、車体重心が曲線外方へと移動した影響と考えられる。曲線半径 1200m の Case2 では、外軌と内軌の左右輪重比がおよそ 6:4 であるのに対し、曲線半径 600m の Case1 では、内軌側に 37kN（接触面圧：800MPa）の輪重が載荷し、また外軌と内軌の左右輪重比はおよそ 7:3 であった。一方、内軌側の車輪／レール接触部に発生する縦クリープ率については、図 3 に示すように曲線半径の短い Case1 で約 0.4%の縦クリープ率が発生している結果となった。また Case2 における結果と比べると、その値は 2 倍程度であることが確認できた。これらの結果より、半径 600m の曲線区間を走行した振り車両の内軌側の車輪／レール接触部において発生した著大な縦クリープが、中きしみ割れの発生につながった可能性が考えられる。

4. 転動疲労試験機による再現試験

前章で記載した車輪／レール接触状態によって、中きしみ割れが発生することを確認するため、転動疲労試験機により中きしみ割れの再現試験を実施した。試験輪の接触条件は、前章で記載した振り車両が半径 600m の曲線区間を通過する際の車輪／レール接触状態（接触面圧、縦クリープ率）をもとに、表 3 に示す通りとした。そして一定の転動回数まで試験輪を転動させた後、磁粉探傷を行って中きしみ割れの発生状況を調査した。なお本試験においては、き裂の発生を促進させるために、試験輪接触部に水を滴下した条件で試験輪を転動させた。200 万回転動後におけるレール試験輪の表面で実施した磁粉探傷の結果を、図 4 に示す。

図 4 より、レール試験輪の表面において、長さ数 mm のき裂が複数箇所で見られることが確認できる。これらの結果より、振り車両が半径 600m の曲線区間を通過する際の車輪／レール接触状態により、中きしみ割れが発生することを確認した。

5. まとめ

本研究では、現地調査により、中きしみ割れの発生状況を明らかにした。さらに車輪／レール接触解析により、中きしみ割れの発生が想定される振り車両が半径 600m の曲線区間を通過する際の車輪／レール接触状態を明らかにした。そして、その車輪／レール接触状態を転動疲労試験機により模擬することで、中きしみ割れの発生を再現した。

参考文献

1) 辻江正裕，木村成克，陳樺：中きしみ割れ発生箇所の現地調査と発生レール分析，第 73 回土木学会年次学術講演会講演概要集

表 3 再現試験条件

	レール試験輪	車輪試験輪
試験輪径 [mm]	φ 350	φ 500
断面形状	JIS 60kg	修正円弧踏面
接触荷重 [kN] (接触面圧 [MPa])	20.8 (800)	
すべり率	0.39 (レール輪＞車輪)	
環境	水潤滑	

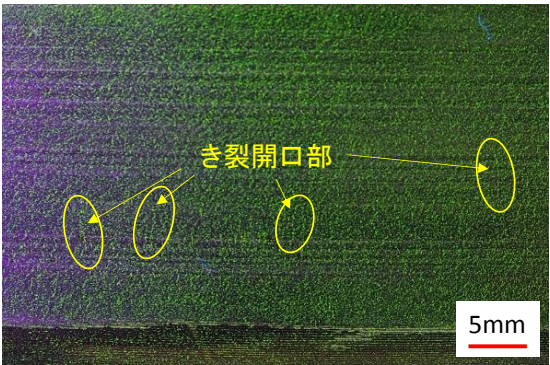


図 4 中きしみ割れの再現例