レールのころがり損傷に関する研究*

(第1報, 高速レール試験機の開発)

西田 新一**, 杉野 和男***
浦島 親行**, 栴本 弘毅***

Study on Contact Rolling Fatigue of Rails

(1st Report, Development of High Speed Rail Testing Machine)

by Shin-ichi NISHIDA, Kazuo SUGINO,
Chikayuki URASHIMA, and Hiroki MASUMOTO

The high speed rail testing machine was invented to simulate the Shinkansen traffic conditions, especially the contact rolling problems between rail and wheel, in a laboratory. Its main properties are as follows: This machine was principally consist of a circular rail and two wheels contact rolling internally. Test piece; actual rail* (for example, 12 m×2 pieces), parent metals and welds. Wheel; two actual wheels*, easily changeable system by of pressure, one way running direction*. Radial load; simple mechanism and large capacity by centrifugal force and oil pressure, easily variable loading system. Thrust load; vertical oscillation of rotor by oil pressure actuator. Driving system; wheel driving*. Pitch of rail sleepers; 580 mm*. Atmosphere; air, fresh water and sea water. *: the same condition as those of Shinkansen.

Key Words: Fatigue, Contact Rolling Fatigue, Rail Steels, Rail Testing Machine

1. 緒 言

周知のごとく、レールは鉄道にとって最も重要で不可欠な部材の一つと言える。かかるレールにもしばしば損傷が発生する。レール損傷には、頭部の摩耗・転がり疲労、腹部・底部の疲労などがあり、腐食環境がこのような損傷を促進する場合がある。国鉄在来線の場合、レール損傷の大半は破端で、ボルト穴、上首・下首切れ、ボルト穴と首切れ、などに区分され、いずれも欠陥や切欠きなどを起点にした疲労破壊である⁽¹⁾。

一方、新幹線の場合シェリングきずやきしみ割れと称される転がり損傷があるが⁽²⁾、その発生メカニズムなどについてほとんど明らかになっていない。ここでは高速度であることに加えて、工業上より重要性の高い新幹線の転がり疲労問題について言及する。

実際に使用されている車輪とレールとを、実験室的に高速度下で転がり接触させ、損傷を発生させた例はこれまで全く見当たらない。本報は、

(1) 高速度下で車輪とレールの転がり接触を実験

室的にシミュレートすること

(2) 損傷発生メカニズムの追求

(3) より信頼性の高いレール開発

を目的に、まず高速レール試験機の開発について述べる。

2. 高速レール試験機の仕様概要

高速レール試験機は、おもに新幹線における車輪とレールの転がり接触問題を実験室的に可能な限りシミュレートする目的で、その仕様概要を以下のごとく決めた(数字は最大値)。

(1) 輪重: 停止または低速時 98 kN, 高速時(遠心力併用) 294 kN, ラジアルストローク 100 mm.

(2) スラスト荷重: 49 kN, スラストストローク 100 mm

(3) 駆動: 車輪駆動および中心軸駆動

(4) 車輪: 周速度 260 km/h

(5) ブレーキ: 電磁ブレーキおよび油圧モータブレーキ

(6) 車輪の傾き: 対進行方向 0~±3°

(7) その他: 各種可視メータ, ブレーキプログラム, 走行距離表示装置, 散水装置, 安全装置(振動監視システムなどリミットスイッチ 24 点), 防護カバー,

* 昭和 59 年 11 月 29 日 第 929 回講演会において講演予定, 原稿受付 昭和 59 年 5 月 31 日.

** 正員, 新日本製鉄(株)八幡技術研究部 (〒805 北九州市八幡東区枝光町 1-1-1).

*** 新日本製鉄(株)中央研究本部.

図 1 高速レール試験機の機構

冷却ブロワなど

図1に試験機本体の構造を、図2にその外観を示す。また、車輪に加わる遠心力を図3に示す。

3. 高速レール試験機の特徴

3・1 転がり損傷発生に関与する因子 レールの転がり損傷発生に関与する因子として以下のようなも

のが考えられる。

(1) 外的因子：荷重（垂直力、接線力）、速度、駆動（車輪がフォロまたはドライブ）、ブレーキ（すべり率）、車輪の傾き、雰囲気（大気中または雨水）など。

(2) 内的因子：材料（化学成分、組織、機械的性質、残留応力）、欠陥（表面欠陥、介在物）など。

このように挙げるべき因子が多く、しかも転がり接

図2 高速レール試験機の外観

触面は時々刻々材質変化しているので、実際の車輪とレールの転がり接触を実験室的に完全に再現させることは不可能に近い。しかもレールの場合、製造工程で冷却速度の相違などからその横断面内でも材質が異なるので、板状の素材から切り出した試験片を使用したのではそれだけ実験の信頼性が落ちてくると考えられる。

3・2 試験片 試験片として実際のレールそのものを使用することにした。したがって実際の車輪を使用する必要がある。かかる条件で高速度を得るために、レール頭部を内側に円形に曲げ加工し、これに車輪を内接させる方法を考案した。今の場合、三ロールベンダーでレールを曲げ加工し、その内径を $\phi 6000$ mmと定めた。なお、レール曲げ加工の際、レール頭部形状に合せたロールを使用することにより、レール頭頂面の変形を少なくするように工夫した(図4)。また、

図3 車輪速度と遠心力による輪重の関係

図4 三ロールベンダーによるレールの曲げ加工

レール曲げ加工により残留応力分布はかなり変化するが、安全側の試験結果を与えるので、本研究の目的にそれほど支障をきたさないと考えられる(図5)。試験片は半円状のレール2本からなるので、溶接部は2箇所となる。本試験機の第1目的はレール母材部分の転がり損傷に関する問題を解決することにあるので、通常溶接部から破断しないように補強したうえで試験を行った。レールを保持する間隔は新幹線の場合と同じ580 mmとし、取付精度は半径方向に ± 0.1 mm以下を確保した。まくら木とレールとの間に軌道パットを挿入した。

3・3 車輪 車輪は2輪で1対とし、各々スイングアームの一端に取付けられている。この他端にはダイナミックバランスウエイトが取付けられ、車輪とはピンを介して釣り合うようになっている。このダイナミックバランスウエイトの重さを変えることによって、車輪を回転させるだけで、車輪からレールに遠心力で負荷することもできる。その例を図3に示す。横軸に車輪速度、縦軸に遠心力をとった場合で、変数はダイナミックバランスウエイトの重さである。例えば、車輪の周速度170 km/hで、ダイナミックバランスウ

図5 曲げレールの軸方向残留応力

エイトの重さを零とすると、車輪を回転させるだけで遠心力約 200 kN を得ることができる。このように輪重を加えるのに遠心力を活用しているのも、本試験機の特徴の一つである。

さらに、車輪周速度を変えずに輪重を調整したい場合、スイングアームとロータとの間に取付けられている油圧アクチュエータを使用する。すなわち、アクチュエータでスイングアームを引張れば輪重が増加する。このアクチュエータは復動式になっており、最大値は±98 kN である。また、このアクチュエータの油圧配管にはアキュムレータが取付けてあるので、車輪走行時のショックアブソーバの役目も兼ねていると考えている。

3・4 車輪駆動 車輪は DC モータでロータを回転させることにより、フォロで回転させることができるがフォロとドライブとではレールに及ぼす接触部の力学的条件が異なるので⁽³⁾、通常は新幹線と同じようにドライブで回転させる。そのため、車輪の下部に、車輪軸と直結して油圧モータを取付けた。油圧モータを採用した理由は、制御性は電気モータに比べ劣るが、コンパクトで堅ろうであるので、回転時の過大な遠心力に対し有利であるからである。油圧モータを回転させるための油圧源は、油圧室より回転ジョイントを経て、油圧モータに通じている。

かかる機構により、新幹線の場合と同じように一方向に高速下で、しかも車輪ドライブで、走行させることができる。

3・5 スラスト荷重 列車のだ行を想定したスラスト荷重は、ロータおよびその中心軸の下部に取付けたアクチュエータを稼動させることによって与えることができる。したがって、スラスト荷重を与える場合は回転系全体が上下に動くことになる。

3・6 その他 車輪の傾き：急曲線などの走行を

*1 新幹線と同じ条件。

想定して、車輪を進行方向に±3°傾けることができる。

雰囲気：通常は大気中で実験する。この場合本体は防護カバーで覆われているので、雰囲気温度が上昇する。これを防ぐために2台の冷却ブロワを設置している。また、大気中のみならず、試験レールの一部に淡水または海水なども散水することも可能である。

ブレーキ：DC モータによる電磁ブレーキおよび油圧による油圧モータブレーキを使用できる。

4. ま と め

実車輪と実レールとを、実験室的に高速度下で転がり接触させる高速レール試験機の開発に成功した。従来の転がり疲労試験機に比べ、本試験機のおもな特徴をまとめると以下のとおりである。

(1) 試験片(レール)*1：頭部を内側にして円形に曲げ加工した実レール(内径φ6000 mm)、溶接部2箇所、母材のみならず溶接部の試験も可能、まくら木間隔580 mm*1

(2) 車輪：上記試験片(レール)に内接、一方向高速走行*1、車輪駆動*1、油圧ばめ方式による車輪脱着、2輪負荷(試験期間1/2、バランスのとれた駆動)

(3) 輪重：遠心力と油圧力を併用、構造が簡単で大容量が得られる、荷重自在可変

(4) 雰囲気：大気中、淡水および海水使用可能

設計にあたり、(株)前川試験機製作所 鈴木課長ほか関係者各位のご協力を得た。ここに記し、心から感謝いたします。

文 献

- (1) 加藤, レール, (昭53), 271, 鉄道施設協会.
- (2) Masumoto, H., ほか4名, *ASTM Spec. Tech. Publ.*, 644 (1978), 233.
- (3) Lipson, C. and Juvinall, R. C. *Handbook of Stress and Strength*, (1963), 62, Macmillan.