

IV-301

転動接触疲労試験結果について

鉄道総合技術研究所 ○正会員 石田 誠
正会員 阿部則次

1. はじめに

現在、新幹線および在来線において図1に示す転動接触疲労損傷の一つであるレールシェリング（以下、シェリング）の発生により、多大な保守費が必要とされている。ここでは、シェリングの再現とレールの寿命あるいは交換周期を延伸する対策を検討するために、大型試験装置を使用して行われた転動接触疲労試験の結果から転動接触疲労と残留応力の関係について報告する。

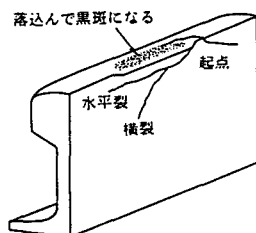


図1 シェリングの外観と内部き裂

2. 転動接触疲労試験

転動接触疲労試験は、レール・車輪高速接触疲労試験装置（図2参照）を使用して行われた。レールおよび車輪試験片の材料は、それぞれ新幹線に実際に使用されているものとし、またそれらの接触部の断面は60レールのR600と新幹線の円錐車輪の踏面勾配1/40と同様にした。しかし、その接触面積はレール試験片が直線ではなく円筒形状であることと、車輪試験片の径が実物の約1/2であることから実物より小さい。また、車輪試験片は実物と同様な鍛造・切削により作製され、リムクエンチにより焼き入れが行われたが、一方、レール試験片は実物が圧延で製造されるのと異なり車輪試験片と同様な鍛造・切削により作製された。

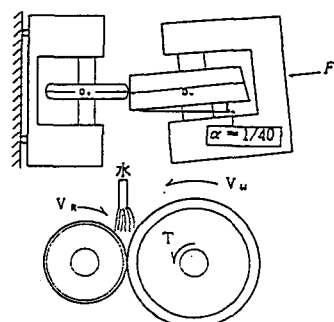


図2 試験装置の試験片接触部

2.1 試験条件

(1) 輪重

新幹線の設計輪重である85kNに、輪重変動を考慮して75kNおよび170kNの場合を想定し、実際の試験荷重としては最大ヘルツ接触圧が実物の場合と等しくなる15.6kN、13.7kNおよび31.0kNとした。

(2) 回転方向接線力

新幹線の車両は一部の編成を除き全輪が駆動輪であるので、走行抵抗値から平均的な回転方向接線力（以下、接線力）を推定できる。平均的という意味は、一編成（16両なら64軸）の平均のことであり、各軸のばらつきは考慮されていない。これまでの研究成果から、速度200km/hで明かり区間を走行した場合、（走行抵抗値（＝接線力）／輪重）で表される接線力係数は0.01程度である。試験における接線力はこの値を参考に、車両の力行状態を再現するように車輪側の周速度をレール側のものより大きくし、接線力係数が0.00～0.02の範囲となるような接線力を設定するための試験トルクを求め、すべての試験をトルク制御で行った。なお、試験におけるトルク制御による接線力のばらつきは、実際の場合の各軸のばらつきに相当すると考えられるが、今後それらのばらつきの大きさを明らかにする必要がある。

(3) 接触角

新幹線においては、レールがタイプレートあるいはコンクリートまくらぎに1/40傾けて敷設されている。試験においてもレール試験片と車輪試験片を同様に1/40傾けて試験荷重を負荷した。ただし、車輪の踏面勾配と半径および接触角で決まるスピンに関しては、試験片の半径が実物の約1/2であるので試験の方が実際の場合より大きい。

(4) 試験速度（試験片の周速度）

新幹線における最近の速度向上は目ざましいが、シェリングが問題となってきた相当の期間は210km/h走行

であったので、試験においては初期設定を 200km/h とした。ただし、試験装置保護の目的から軸箱振動加速度が8G（G:重力加速度）を超えないように試験速度を小さくした。

(5) 潤滑

これまでの研究成果において、シェリングの発生・成長に水の影響が指摘されていることから、水潤滑で20個、それとの比較を目的に乾燥状態で2個の試験を行った。

2.2 試験結果および考察

22個の試験のうち残留応力を測定した15個の試験条件およびその結果を表1に示す。

表1 試験条件および試験結果

(1) 塑性流動

レール試験片の転動面には、主に車輪試験片の踏面勾配によるスピンによって生じた塑性流動がよく観察され、これは新幹線で実際に使用されたレールのものとよく似ていた。このことから、試験における力学的条件が実際の場合のものと同程度であると考えられる。

(2) 疲労き裂およびはく離

き裂およびその後のはく離は、周速度が車輪試験片より小さい従動側のレール試験片で水潤滑の場合のみに発生した。このことは、これまでに得られている知見と一致するものである。き裂は累積通トンにして $2.0 \sim 12.8 \times 10^7$ トンにおいて発生し、はく離は $3.4 \sim 15.6 \times 10^7$ トンにおいて発生した。これは、実際のシェリングが 15.0×10^7 トン程度から発生し始めるというこれまでの知見との比較から、スピン、潤滑等の試験条件が実際の場合より厳しいことが影響していると考えられるが、明かではない。

(3) 回転方向残留応力

はく離発生後の試験片回転方向の圧縮残留応力は90~200MPaであり、このことはこれまでに報告された実際の場合が200MPa程度であることとよく一致する。ただし、レール試験片と実際のレールの作製方法の違いから、使用前の初期残留応力は試験片が圧縮で50MPa程度であるのに対して、実物は引張で200MPa程度と異なっている。水潤滑で行った20個の試験片のうち最初のはく離発生直後に残留応力を測定した9個のデータを用いて行った、はく離発生時期

レール試験片 No.	平均輪重 (kN)	平均トルク (N・m)	平均接線力 (kN)	潤滑条件	残留応力 (MPa)	はく離発生時期 ($\times 10^4$ 回)
4	31.04	79.14	0.3163	水潤滑	-115	919.9
5	31.08	82.03	0.3279	水潤滑	-195	489.9
6	31.10	27.00	0.1086	水潤滑	-156	250.0
9	30.98	23.28	0.0938	乾燥	-222	発生なし
11	15.59	1.14	0.0046	水潤滑	-92	871.6
12	15.60	15.59	0.0629	水潤滑	-113	465.0
14	15.58	30.17	0.1214	水潤滑	-113	900.0
16	15.56	60.95	0.2458	水潤滑	-162	500.0
17	15.52	60.70	0.2444	水潤滑	-154	き裂のみ発生
18	15.60	1.00	0.0040	水潤滑	-92	700.0
20	13.74	81.23	0.3289	水潤滑	-174	300.0
21	13.70	16.45	0.0332	水潤滑	-114	565.0
22	13.68	-1.21	-0.0024	水潤滑	-130	800.0
27	15.54	14.3	0.0576	水潤滑	-119	700.0
28	15.60	78.4	0.316	水潤滑	-171	600.0

表2 重回帰分析結果

$Y = f(X_1, X_2, X_3)$				
Y	はく離発生時期 ($\times 10^4$ 回)			決定係数 0.844
X 1	平均輪重 (kN)			重相関係数 0.919
X 2	平均トルク (N・m)			修正重相関 0.866
X 3	残留応力 (MPa)			
平方和	283149.81	自由度 3	分散 94383.271	分散比 9.03
残差	52258.184	5	10451.636	
計	335408	8		
偏回帰係数	-5.450	標準係数 -0.211	t 値 -1.032	
X 1	5.615	0.951	3.394	
X 2	7.343	1.321	4.937	
定数項	1512.2			

データは、表1の試験片No.4,5,6,11,16,18,21,27,28を使用。

に対する試験条件および残留応力の重回帰分析結果（表2参照）は、重相関係数が0.92と良い結果が得られ、その中で特に残留応力の影響が最も大きかった。なお、初期残留応力の影響については今後の課題である。

3. 結論

転動接触疲労試験結果から、設定した力学的条件が実際の場合と同程度であることおよびはく離という疲労現象に対して残留応力の影響が大きいことが明らかになった。