

レール探傷車の 探傷能力向上



瀧川 光伸* 本 卓也** 尾高 達男*

現行のレール探傷車は、レール折損事故防止に大いに貢献しているが、走行後の手検測による確認検査が必要であり、今回これら手検測を省略することを最終的な目的に探傷車自体の探傷能力向上を行った。今回の開発では、検出安定性の向上、探傷領域の拡大、検出対象傷の拡大等により探傷能力の向上を図ることができた。基地線での性能確認試験では、目標レベルの検出性能を確認することができた。営業線での最終性能確認試験では、検出性能の向上は確認されたものの、性能向上によってレール製造過程で発生する刻印や材質不均一による人工傷エコーを過剰検出することがあり、今後実用化に向けてはこの種の傷の判別が課題となる。さらに最終的な目標を達成するためには、レール損傷管理に関する検査体系の再構築も合わせて検討していく予定である。

キーワード：レール探傷車、レール損傷、タイヤ探触子、摺動探触子、タンデム探触子

1 はじめに

レール探傷車は、レールの損傷を早期に発見することによりレール折損事故を未然に防ぎ、当社の安全、安定輸送に大きく貢献している。しかし、レール探傷車の探傷性能上、走行後の手検測による確認検査が必要であり、膨大な検査コストを要している。そこで、これら探傷車走行後の確認検査をなくすことを最終目標に、現行の問題点に対する要素技術開発を行い、探傷能力向上を図ったレール探傷車を試作した。その試作車により基地線や営業線において性能確認試験を行ったので、その結果について報告する。

2 現行のレール探傷車の課題

現行のレール探傷車は在来線用と新幹線用の2種類があり、在来線用はタイヤ探触子、新幹線用は摺動探触子を使用している。それぞれの課題点としては以下の項目があげられる。

(1) 探傷領域

摺動探触子の場合、レールの頭部から底部まで、レールの中心軸を中心に $\pm 10\text{mm}$ の範囲の傷を対象に探傷しているため、この範囲からはずれた位置に傷があっても

検出することができない。

タイヤ探触子の場合、レール表面付近の水平裂は反射エコーに隠れてしまうため検出できない。

(2) 検出不可能な傷

在来線用の探傷車の場合、溶接部にある溶接材の溶け込み不足などの溶接欠陥は傷の面が平滑で垂直なため、反射された超音波が探触子の方向に戻ってこないため検出することができない。

両タイプの探傷車ともトンネル内や踏切でレール底部に発生する電食や腐蝕は、凹凸により超音波が乱反射されるため感度よく検出することができない。

(3) 探傷速度

探傷速度は、新幹線用の探傷車は最高40km/h、在来線用の探傷車は最高36km/hである。

(4) 探触子の位置制御

探触子がレール中心から外れたり、探触子の接触角度の傾きによりレール底部に超音波が入射しない場合、レール傷を検出することができない。

(5) 検出位置精度

検出位置情報はエンコーダー車輪の回転数と地上子からの信号検知により補正され算出されるが、運転条件により正しく車輪回転数が得られなかったり、地上子信号の誤検出により大幅な位置ずれが生じる可能性がある。

3 開発項目

今回の開発では、レール探傷車の探傷能力向上を図るため、以下の項目について検討を行った。

(1) 最適な探触子方式

レール表層付近の探傷ができる摺動探触子と継目部等の凹凸での検出安定性の高いタイヤ探触子の併用式とした。探触子の構成と配列を図1に示す。摺動の垂直探触子(0°)は、2MHzより高い5MHzの超音波を使用することができるため、より表層に近いレール傷を探傷することが可能となる。

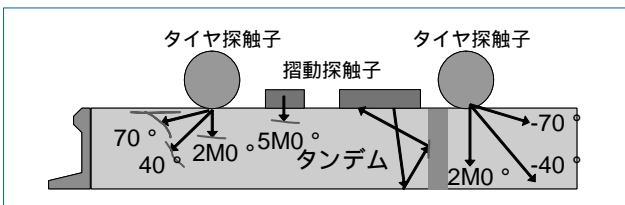


図1：探触子の構成と配列

(2) レール頭部探傷領域の確保

タイヤ探触子を採用することで、70°探触子によりレール頭部の約80%の領域を探傷することができる。

(3) レール腹部垂直傷の検出

新たに開発したタンデム探触子を図2に示す。従来の底部傷用のタンデム探触子の超音波特性(横波と縦波)を変更し、探触子を広げずに腹部付近を探傷することができる。

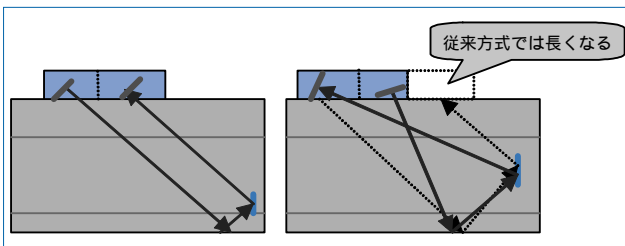


図2：開発したタンデム探触子

(4) レール底部の電食・腐食の検出

レール底部における感度を上げる距離振幅補正回路(DAC)を利用した底部の電食検知の試みを行った。

4 試験用レール探傷車の主要諸元

今回開発した試験用レール探傷車を図3、主要諸元を表1示す。



図3：試験用レール探傷車

表1：試験用探傷車の主要諸元

外形寸法	全長	5440mm
	全幅	2540mm
	全高	2666mm
自重		約3700kg
水タンク容量		500リットル
走行形式		牽引式
測定速度		最大45km/h
回送速度		最大50km/h
測定条件	軌間	1435mm
	レール	50N, 60kg
	最小曲線半径	150m

5 性能確認試験

開発した試験用レール探傷車の性能確認試験を新幹線の保守基地線と営業線で実施した。

5.1 保守基地線での試験

5.1.1 試験区間

試験は片側レール約20m区間に図4に示す各種人工傷、図5に示す実際に営業線で発生した自然傷のあるレールを敷設した。

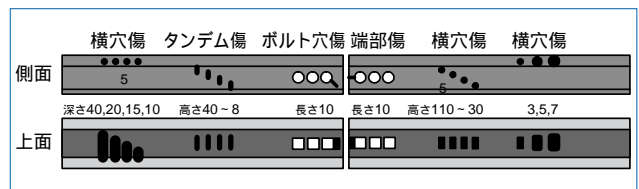


図4：人工傷レールの損傷配置

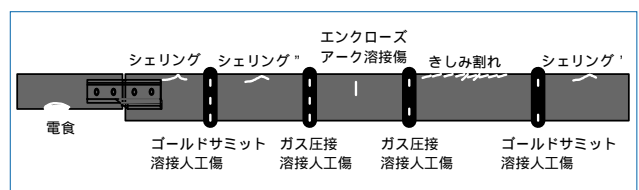


図5：自然傷レールの損傷配置

5.1.2 試験結果

(1) レール傷の検出

代表的な探傷結果を図6に示す。これはBスコープ画像といい、横軸がレール長手方向、縦軸が上下方向のレール切断画像を表している。ただし、傷を模式的に表したものであるので、実際の傷形状とは異なっている。

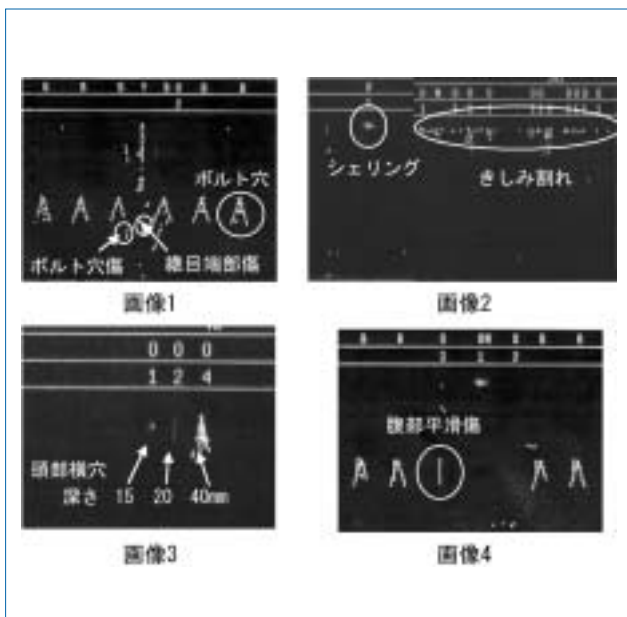


図6：探傷結果（Bスコープ画像）

まず、継目部においては、安定した継目ボルト穴、ボルト穴傷、レール端部傷が検出されている。（画像1）

表面損傷については、シェリング、きしみ割れ（画像2）がはっきりと検出されている。

レール頭部については、レール側面から15mm以上の傷について検出されている。（画像3）

レール腹部の平滑傷は、今回開発した新タンデム探触子によりはっきりと検出することができている。

(2) 探傷速度の影響

探傷速度の検出への影響を見るため、モーターカー牽引により5～30km/hの探傷を2回実施した。シェリング、きしみ割れ、タンデム欠陥、継目とボルト穴付近、腹部横穴欠陥及び頭部横穴欠陥について検証を行ったが、今回の速度領域では検出への影響は認められなかった。

(3) 電食、腐蝕の検出

レール底部の電食・腐食の検出について、40°探触子に対する距離振幅補正回路（DAC）のOn/Off効果を検

証した。

DACの感度傾斜は、レール頭部から底部にかけて+6dBとなるよう設定した。探傷比較結果を図7に示す。

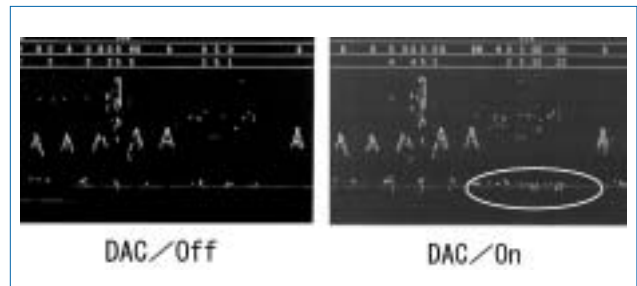


図7：DACのOn/Off時の探傷画面比較

図7より、底部の感度を上げるにつれ、底部電食がエコーとして現れてきているが、同時に、底部付近にノイズが増えてきていることがわかる。これは、0°探触子のエコー漏れ込み分が現れていると考えられた。

(4) 探触子ならいの影響

探触子のならい位置による検出影響を確認するため、探触子の位置を2mmずつ横移動して腹部横穴欠陥について検証をした。その結果、ならい幅位置許容範囲は約4mmということが検証できた。

(5) 検出精度

探傷速度5、10、15、20、25、30km/hでそれぞれ2回測定を行った。

再現性

探傷結果を表2に示す。自然欠陥領域において溶接部の欠陥ランクにばらつきがあるが、シェリング及びきしみ割れ等はランクの変動を別にすれば、ほぼ再現よく検知されている。

誤検出率

誤検出率を以下のように定義する。

$$\text{誤検出率} = \frac{\text{雑エコーを欠陥と判定した数}}{\text{雑エコーと実際の傷の総数}} \times 100\%$$

表 2：探傷結果の判定ランク

傷の種類	記号	5km/h		10km/h		15km/h		20km/h		25km/h		30km/h		
		1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	
自然傷	底部電痕	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	ソリ	C	O5	O2	O2	O4	O5	O3	O5	O5	O4	O2	O2	O1
	コーナソリ	GS1	B	O5	O1	-	-	-	O1	O1	-	O5	-	O4
	ソリ	C	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1
	入込接	GP1	O5	-	-	-	-	-	-	O1	O3	O3	O3	O1
	工形溶接	EA	O4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B
	入込接	GP2	O3	-	-	O3	-	-	-	-	O3	-	-	B
	きしみ割れ	K	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1
	コーナソリ	GS2	O1	-	-	-	-	-	O1	-	O5	-	-	O4
	ソリ	C	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O2	O1	O2
人工傷	継目傷	J1	Y,H5	Y	Y	Y	O5	Y,H5	Y	Y	Y	Y,H5	Y	Y
	頭部 50D40	TS1	O5	O4	O5	O5	O5	O5	O4	O5	O5	O5	O5	O5
	頭部 50D20	TS2	O2	O2	O2	O2	O1	O1	-	-	O1	O2	-	O2
	頭部 50D15	TS3	O1	O1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O1
	頭部 50D10	TS4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	クワ計H80	T80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	クワ計H60	T60	O5	O3	O4	O3	-	-	O5	O5	O5	O5	O5	O5
	クワ計H40	T40	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O2	O3	-	O2
	ボルト穴傷	B	H5	H5	H5	H5	H5	H5	H5	H5	H5	H5	H5	O2
	継目傷	J2	Y	Y	Y	Y	Y	Y,H5	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	頭部 SH110	F110	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	頭部 SH90	F90	D	M	M	M	M	M	M	M	M	D	M	D
	頭部 SH70	F70	M	M	M	M	M	M	M	M	M	D	M	M
	頭部 SH50	F50	O5	O5	O5	O5	O5	O5	O5	O5	O5	O5	O5	O5
	頭部 SH30	F30	O4	O5	O5	O4	O3	O3	O3	O5	O4	O5	O4	O4
頭部 3	T3	O2	O2	O2	O2	O3	O2	O2	O2	O3	O3	O2	O3	
頭部 5	T5	O4	O4	O4	O4	O3	O3	O3	O3	O3	O4	O2	O3	
頭部 7	T7	O5	O5	O5	O5	O3	O5	O5	O4	O5	O4	O3	O5	

その結果を表3に示す。人工欠陥領域では、12回の測定での総合誤検出率は3.6%となった。

表 3：誤検出率

	5km/h		10km/h		15km/h		20km/h		25km/h		30km/h		合計
	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	
欠陥検知総数	14	13	11	11	12	12	11	11	11	12	9	13	140
検知欠陥数	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	5
誤検出率(%)	7.1	7.1	0	0	8.3	8.3	0	0	0	8.3	0	0	3.6

見逃し率

見逃し率を以下のように定義する。

$$\text{見逃し率} = \frac{\text{未検知欠陥数}}{\text{人工欠陥総数}} \times 100 \%$$

その結果を表4に示す。人工欠陥領域では、12回の測定での総合見逃し率は3.5%となった。

表 4：見逃し率

	5km/h		10km/h		15km/h		20km/h		25km/h		30km/h		合計
	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	
欠陥検知総数	14	14	14	14	13	13	13	13	14	14	12	14	168
検知欠陥数	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	2	0	5
見逃し率(%)	0	0	0	0	7.1	7.1	7.1	7.1	0	0	0	0	3.5

5.2 営業線試験

5.2.1 試験内容

2000～2001年度に山形新幹線（奥羽本線）の下り線、福島～板谷間で走行試験を行った。試験方法としては、試作した探傷車を軌道モーターカーで牽引し、検測速度10～30km/hで探傷を行った。

5.2.2 試験結果

今回の走行試験では、信頼性の観点からデータ数を増

やすため、自然欠陥のほかボルト穴等の人工欠陥も検証の対象としている。

探傷結果として、摺動探触子のみでは検出不可能であったゲージコーナーのきしみ割れの検出が確認できた。さらに、溶接内部の小さな欠陥についても検出することができた。

位置情報については、1km毎のデータデボを使用し補正することで、1m以下の誤差に抑えられることが確認できた。

(1) 誤検出率

探傷車が検出した傷の中で、欠陥以外のものを傷と判定した誤検出率は16.7%となった。その後の手探傷結果から図8に示すレール腹部のスタンプ凹凸、伸縮継目や摩耗による水膜切れによって反射エコーを多く検出していることがわかった。その他、レール顎エコー及びレール表面荒れを検出していた。今回の測定結果から、レール腹部のロールスタンプ及び伸縮継目箇所を既知データとして除けば、誤検出率は8.8%となる。

(2) 見逃し率

本来検出しなければならない傷を見逃した割合を表す見逃し率は6.3%となった。見逃したのものとしては、自然欠陥のほかボルト穴等の人工欠陥も含まれている。これらを見逃した主な理由としては、図8に示すような水膜切れが原因と考えられる。

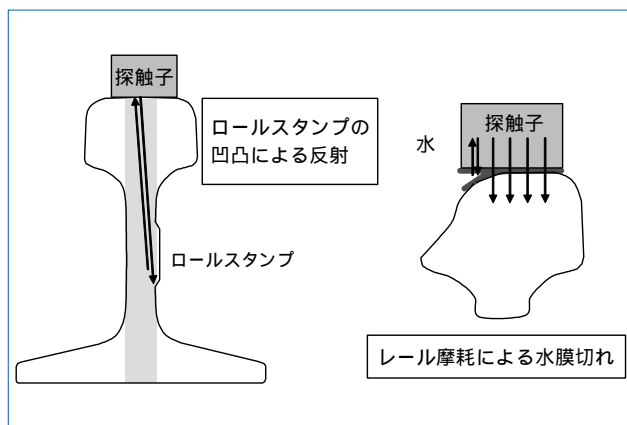


図 8：誤検出の原因

6 まとめ

基地線における性能確認試験により、誤検出率、見逃し率とも5%以下にすることができた。営業線における性能確認試験では、レール状態の影響により基地線での試験で得られた精度は得られなかったが、探傷装置の性能を示す誤検出率と見逃し率は約9%以下であり、ほぼ目標のレベルを達成させることができた。開発項目の詳細は以下のとおりである。

(1) タイヤ探触子と摺動探触子の複合化

タイヤ探触子の他に摺動探触子を採用したことで5MHz 0°の探触子とタンデムによる探傷が可能となり、レール頭部表層付近の傷や腹部付近に内在する傷の検出が可能となった。

(2) 底部腐食の検知

底部腐食の検知については、DAC回路により検知できることを確認することができたが、S/N比が問題になることが分かった。

(3) 探傷速度と探傷ピッチ

探傷速度の試験は30km/hまでしかできなかったが、速度による探傷精度への影響は確認されなかった。また、探傷ピッチについては、タイヤ探触子の採用により摺動式の2mmと比較して4mmとなったが、再現性では特に問題がなかった。

(4) 探触子の位置制御

探触子の位置制御については、電気的な動力を使用した制御機構が問題なく動作することを確認し、その制御に必要な“ならい”の許容幅を4mmとする必要があることを確認した。

(5) 検出位置精度

検出した傷の位置は、1km毎に設置されているデータポを使用し補正することで、実際のキ口程との誤差を1m以内に抑えられることが確認できた。

7 おわりに

今回の開発成果は次期レール探傷車に導入していく予定である。今後は、高性能なレール探傷車の導入による効率的なレール管理手法を再構築していく必要がある。そのためには、まずレール損傷進展のメカニズム解明が必要であり、現在、図9に示す当研究開発センターの材料載荷試験装置を使用して傷レールの損傷進展試験を進めている。



図9：材料載荷試験装置

これらの研究開発成果をもとに、最適な探傷周期、処置期限、処置方法を確立していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 本 卓也；レール探傷車の探傷能力向上の開発，新線路，第56巻,第5号,pp.27～29,2002.5