

1606 簡易型軌道検測装置を用いた軌道変位管理手法の検討

正 [土] ○清水 惇 正 [土] 矢澤 英治 (鉄道総合技術研究所)

A study for track geometry management method by using the compact track measuring device

Atsushi SHIMIZU, Eiji YAZAWA, Railway Technical Research Institute

Using data obtained by the compact track measuring device, we examined the track geometry management method compared with the conventional device. Measurement result of gauge and cross level using the compact track measuring device, error is small compared to conventional device and results were good. For measurement of longitudinal level and alignment, we found that by the appropriate band-pass filter processing, accuracy is improved. It is considered that by using the compact track measuring device, select the appropriate filter, it is possible to manage the track geometry with the same precision as the conventional device.

Keywords : track measuring device, management method, track irregularity, reproducibility, error of measurement

1. はじめに

現在、軌道変位の測定法には、軌道検測車によるもの、レール上を人力により移動させる検測装置を使うもの、軌間ゲージや糸を使う手検測が挙げられる。軌道検測車は広い範囲を短時間で測定することができるが、導入に莫大な費用を要し、臨機応変な運用は困難である。一方、手検測は導入コストは最小で済むが、連続的な測定には多くの労力がかかってしまう。そのため、多くの事業者ではレール上を人力で移動させる検測装置を使用しているが、この装置も比較的高価である。

そこで、筆者らはより安価な簡易型軌道検測装置の開発、試作および性能評価を行っている¹⁾。本稿では、開発した簡易型軌道検測装置によって取得したデータを用い、従来装置との比較を行って、この装置を用いた軌道変位管理手法を検討したので、その内容を報告する。

2. 簡易型軌道検測装置の概要

図 2.1 に試作した簡易型軌道検測装置の全体外観を、図 2.2 に検測機構部を示す。センサ（軌間、フランジウェー幅、高低、通り）は接触式を用い、装置の価格を抑えている。また、価格とは別のコンセプトとして、路面電車の併用軌道でも使用できることを考え、従来装置よりも小型、軽量で、急曲線 ($R=20m$ 以上) でも測定が可能なものとしている。

本装置では、軌間、水準、左右フランジウェー幅と $0.625m$ 弦の高低、通りを $2.5mm$ 毎に測定し、 25 点の移動平均によって $0.625m$ 毎のデータとして出力している。水準は、検測走行時の振動の影響を受けるため、さらに前後 $1.25m$ の $2.5m$ 間の移動平均処理を行う。 $0.625m$ 弦の高低、通りは倍長演算によって $5m$ 弦と $10m$ 弦に換算し、水準と同様に前後 $1.25m$ の $2.5m$ 間の移動平均処理を行い、出力している。出力されたデータは USB 接続により PC に収録され、波形表示、帳票表示が可能である。

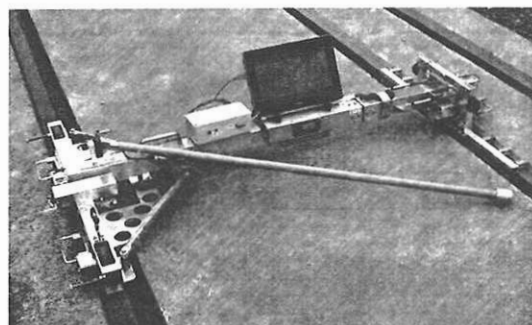


図 2.1 簡易型軌道検測装置

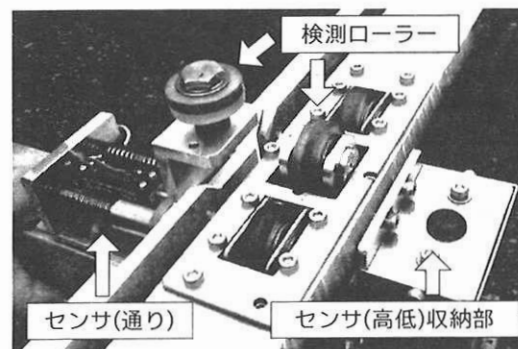


図 2.2 検測機構部 (天地逆)

3. 再現性の確認

試作した検測装置を用いて、鉄道総研の日野土木実験所にて再現性確認試験を行った。再現性の確認は、同じ区間を 3 回測定した際の各波形の差の標準偏差（再現性誤差）によって行った。

図 3.1 に各軌道変位波形例を示す。また、測定精度の検証結果を表 3.1 に示す。

軌間、水準変位では 3 回の測定波形が重なり、極めて

よい一致を見せており、誤差も0.5mm以下で、精度は良好であると言える。高低、通り変位では、0.625m弦での値では0.1mm以下であり精度は高いが、10m弦通り換算値では2mmを超える大きな誤差となっている。10m弦換算通りの波形をみると、局所的な（波長の短い）凹凸についてはほぼ同様の傾向であるが、ゼロ点がドリフトするような、5mm程度のずれが長く続く区間があることがわかる。この誤差が大きくなる原因として、0.625m弦から5m弦、10m弦への換算を倍長演算により行っていることが考えられる。この演算により、10m弦換算では誤差が最大256倍に拡大することになるため、0.625m弦では0.01mmの誤差が、10m弦に換算すると最大2.56mmの誤差となってしまう。そのため、レールと検測ローラーの接触状態がわずかに変化した際に、その影響が現れるものと考えられる。

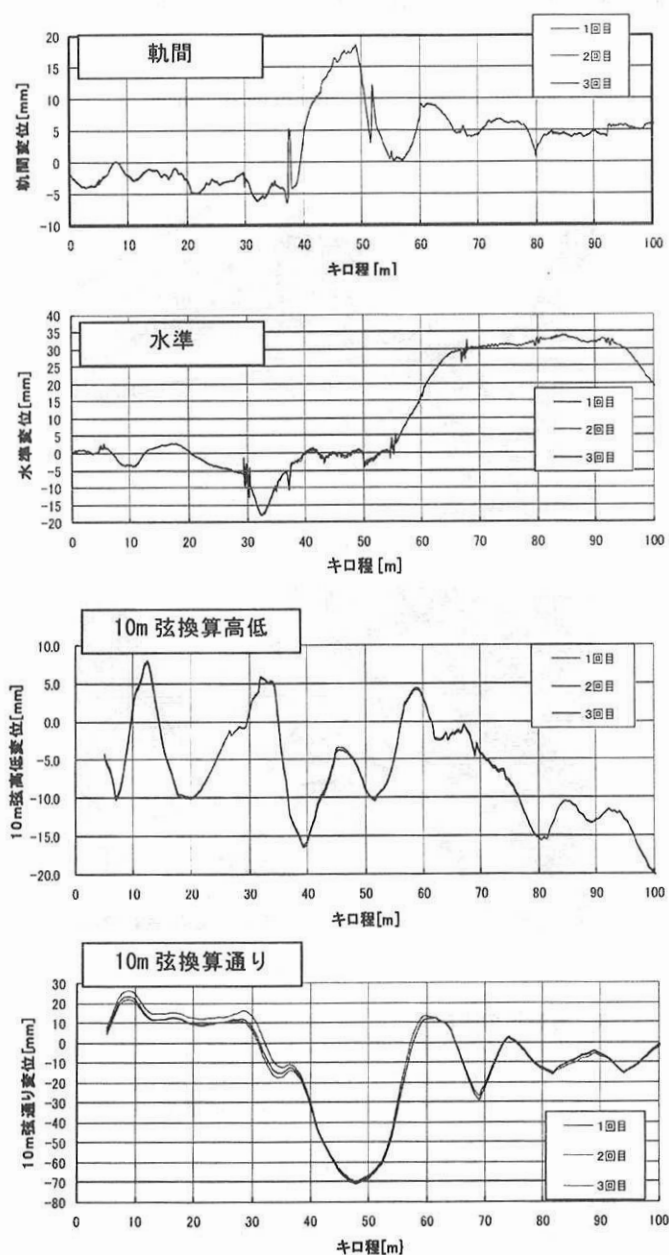


図 3.1 各軌道変位波形例

表 3.1 測定精度の検証結果（再現性）

		再現性誤差 [mm]
軌間		0.38
水準		0.44
高低	0.625m弦	0.01
	5m弦換算	0.13
	10m弦換算	0.39
通り	0.625m弦	0.03
	5m弦換算	0.68
	10m弦換算	2.45

4. 従来装置との比較

次に従来の検測装置との比較として、同じ区間を両装置で測定し、その差を評価した。図 4.1 に検測波形を示す。また、それぞれの波形の差の標準偏差の一覧を表 4.1 に示す。なお、簡易型軌道検測装置の水準は測定時に変位量が 100mm までしか記録できなかったため、100mm を超えた区間は取り除いて評価を行った。本問題については、ソフトウェアの改良により、現在は 100mm を超えても記録が可能となっている。

再現性の確認時と同様に、全線を通して、軌間、水準変位の波形は従来装置での検測波形とほぼ一致していることがわかる。両装置の差の標準偏差は軌間で 0.75mm、水準で 0.85mm であり、十分な精度を有していると言える。高低変位、通り変位については、5m 弦高低変位では標準偏差は 1mm 以下だが、10m 弦換算では大きくなり、通り変位では数値が更に大きくなっている。この原因も、前節の再現性に関する考察において述べたものと同様に倍長演算による影響であると考えられる。

今回測定した区間には、踏切や著大な角折れ部が含まれ、短い区間で大きな変位があり、従来装置でも正確な測定ができていない可能性があるため、それらを除いた一般区間（キロ程 150M～250M）での比較も行った。従来装置との差の標準偏差は表 4.1 右欄の数値となった。すべての項目で標準偏差は小さくなっていることがわかる。高低変位については 10m 弦換算値でも 1mm を下まわり、十分な精度を有していると言える。通り変位については 5m 弦換算値で 1mm 以下、10m 弦換算値で 1.7mm となり、誤差は小さくなっている。

表 4.1 測定精度の検証結果（従来装置との比較）

		差の標準偏差 [mm]	
		全線	一般区間
軌間		0.750	0.559
水準		0.849	0.448
高低	5m弦換算	0.577	0.395
	10m弦換算	1.670	0.888
通り	5m弦換算	1.717	0.711
	10m弦換算	5.368	1.691

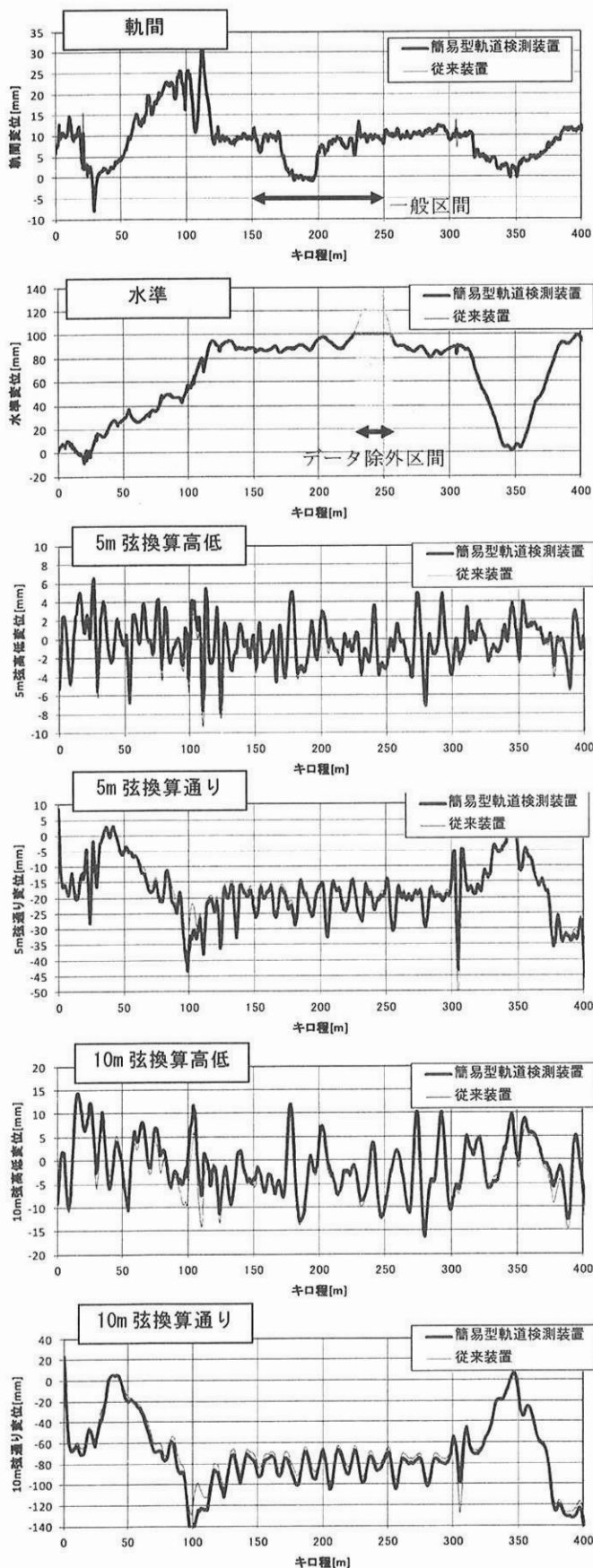


図 4.1 各軌道変位波形例（従来装置と比較）

5. データ処理手法の検討

上述したように、本装置は、軌間、水準変位は従来測定装置と同様の精度をもっていることが確認できたが、高低、通り変位では、倍長演算により換算弦長を大きくすると、一般区間では従来装置とほぼ同様の精度をもっているものの、全線を通しては誤差が大きくなる場合がある。今回の測定では、実際に5m弦や10m弦での測定を行っていないため、絶対的な変位量は未知である。しかしながら、再現性の確認でも倍長演算による誤差が確認できるため、簡易型軌道検測装置側の誤差成分が大きいと考えられる。この誤差を小さくするためには、0.625m弦での測定誤差を小さくすることが挙げられるが、より高精度な測定のためにセンサの性能を上げると、装置が高価となってしまう。

ところで、測定された軌道変位波形には、スラックやカント、縦断成分、曲線成分が含まれており、実際の管理上では、基準線除去として移動平均や平均成分の除去などを行っている。また、再現性の確認で見られた0点のドリフトのような長い波長をカットすることで、誤差が小さくなることが期待できる。

そこで、測定により得られた波形に対し、3種類のバンドパスフィルタを用いて基準線を除去し、結果を比較することとした。用いたバンドパスフィルタは、(a) 波長5m～50m、(b) 波長5m～25m、(c) 波長5m～10mを抜き出すものの3つである。図5.1、図5.2に、比較的誤差の大きかった10m弦換算高低変位、通り変位の測定波形に対し、バンドパスフィルタをかけた波形を示す。また表5.1に、高低、通り変位波形の差の標準偏差の一覧（区間別）を示す。

標準偏差はすべての項目で、バンドパスフィルタの帯域を小さくするに従い、誤差が小さくなることがわかる。10m弦高低では、(b) 波長5m～25mのバンドパスフィルタをかけることにより、全線を通じての誤差が約1mm以下となる。一般区間では、(a) 波長5m～50mのバンドパスフィルタでも1mm以下の誤差となった。10m弦通りでは、(c) 波長5m～10mのバンドパスフィルタで約1.5mmの誤差であったが、一般区間では1mm以下となり、実用上問題ない誤差であると考えられる。なお、再現性確認試験で得られたデータに同様のフィルタ処理を行うと、再現性誤差は5m弦換算、10m弦換算とも高低、通りで1mmを下まわることがわかった。

表 5.1 測定精度の検証結果（フィルタ・区間別）

			差の標準偏差 [mm]	
			全線	一般区間
高低	5m弦	(a) bpf : 5m～50m	0.472	0.378
		(b) bpf : 5m～25m	0.441	0.370
		(c) bpf : 5m～10m	0.333	0.291
	10m弦	(a) bpf : 5m～50m	1.251	0.886
		(b) bpf : 5m～25m	1.060	0.838
		(c) bpf : 5m～10m	0.480	0.413
通り	5m弦	(a) bpf : 5m～50m	1.426	0.662
		(b) bpf : 5m～25m	1.298	0.633
		(c) bpf : 5m～10m	0.936	0.465
	10m弦	(a) bpf : 5m～50m	3.987	1.613
		(b) bpf : 5m～25m	3.263	1.452
		(c) bpf : 5m～10m	1.502	0.769

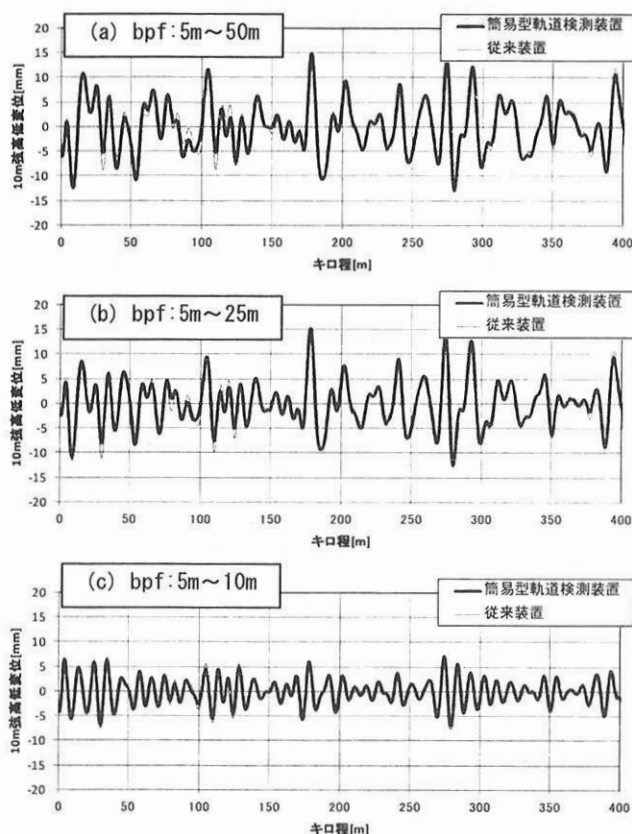


図 5.1 フィルタ別 10m 弦高低波形

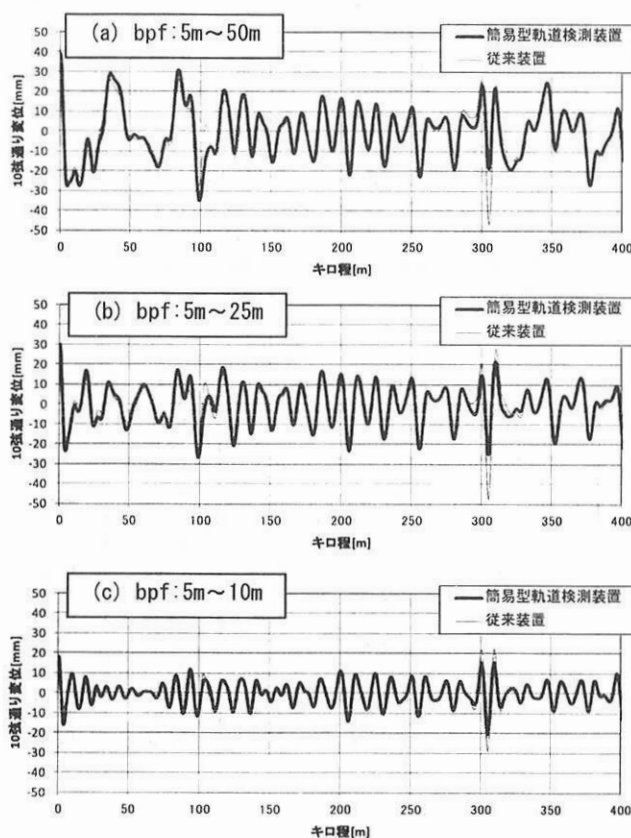


図 5.2 フィルタ別 10m 弦通り波形

今回用いたバンドパスフィルタでは、(a) 波長 5m~50m と (b) 波長 5m~25m で大きな差は見られなかったため、普通鉄道（在来線）での速度域においては、(a) 波長 5m~50m のバンドパスフィルタを用いることで、従来装置と同様に軌道変位管理が可能であると考えられる。また、路面電車のように最高速度が 40km/h に制限されたり、急曲線などでさらに速度が制限されるような区間では、(c) 波長 5m~10m のバンドパスフィルタを用いることで更に誤差が小さくなり、より精度の良い軌道変位管理が可能である。実際使用するフィルタの種類については、軌道上を走行する車両の速度に応じて適切なものを選ぶのが望ましい。

高低変位よりも通り変位において誤差が大きくなる傾向にある原因としては、再現性確認試験での考察と同様に、レールと検測ローラーの接触状態の変化が大きいのことが考えられる。この点に関しては、検測機構部の改良により、精度向上を図っていきたいと考えている。

6. 終わりに

開発した簡易型軌道検測装置によって取得したデータを用い、従来装置との比較を行って、この装置を用いた軌道変位管理手法を検討した。簡易型軌道検測装置での軌間、水準変位の測定結果は、従来の検測装置での測定結果と比較して誤差は小さく、検測結果は良好であった。

高低、通り変位については、適切なバンドパスフィルタ処理を行うことにより、再現性の精度が良好となることがわかった。また、従来装置との比較でも、フィルタ処理により誤差が小さくなることがわかった。

以上のことより、開発した簡易型軌道検測装置を使用して、適切なフィルタを選択することで、従来装置と同じ精度で軌道変位管理が可能であると考えられる。

今後は様々な条件での測定を続け、検測機構部の改良により精度向上を図り、簡易型軌道検測装置での軌道変位管理手法の確立を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 清水惇, 矢澤英治: 簡易型軌道検測装置の開発, 土木学会第 67 回年次講演会講演概要集, CD-ROM, 2012