

3611 光切断法を用いたホーム限界測定装置の開発

Development of construction gauge measurement system for platform that uses optical cutting method

正〔土〕〇木村元哉（JR西日本） 正〔土〕山田裕一（JR西日本）

正〔土〕 泉並良二（JR西日本）

Motoya KIMURA, West Japan Railway Co. 2-4-24, Shibata, Kita-ku, Osaka

Yuichi YAMADA

Ryoji IZUNAMI

In order to manage the construction gauge of the platform of a railway now, construction gauge measurement ruler is usually used. However, this method is holding some problems that should be improved. For example, measurement takes a great labor for measurement by human power. Then, to measure more efficiently from now on is desired.

This time, development of the construction gauge measurement equipment adapting the optical cutting method was tried. This equipment measures a construction gauge, running by non-contacting. It checked whether accuracy would be affected according to verification of the measurement accuracy of this equipment, and a railway track situation and the structure of equipment.

Keyword: Construction gauge, Optical cutting method, Laser beam, Platform, Non-contact

1. はじめに

鉄道の建築限界 (Fig. 1) は車両通過の空間を確保するために定められており、構造物を建築限界から外方の余裕を持った位置に設置することは安全側といえる。しかし、プラットホームの場合は余裕すなわち車両との間隔が広すぎればお客様が隙間に足を落とす事故になりかねない、このためプラットホーム上端における標準的な車両限界と建築限界の水平方向離隔の差は、Fig. 2 のとおり、車両の動揺を考慮した 50mm と非常に小さい。プラットホームは建築限界管理上、最も制約が大きな構造物のひとつといえる。

現在、プラットフォームの建築限界管理は、軌道中心からの水平方向離れ（以下、離れという）、およびレール頭面からホーム上面までの高さ（以下、高さという）を建築限界測定用の定規（Fig. 3）を用いて測定している。この測定定規は軽量であり、誰もが容易に取り扱うことができるため、広く用いられている。しかし、一方で限界定規による測定には、次のような短所がある。

- ・測定速度が遅く、作業時間がかかる。
- ・人手によりデータの記録・整理を行っており、時間がかかるうえ、誤記入などデータに誤りが多くなる。

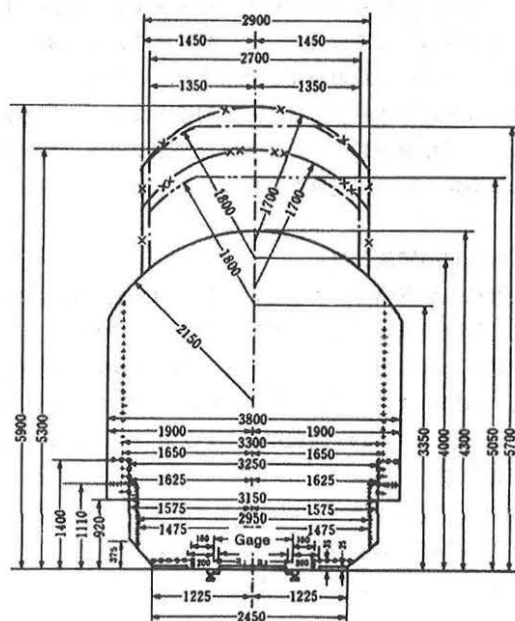


Fig.1 Construction gauge

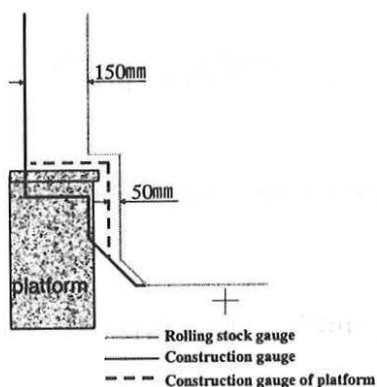


Fig.2 Construction gauge of the platform

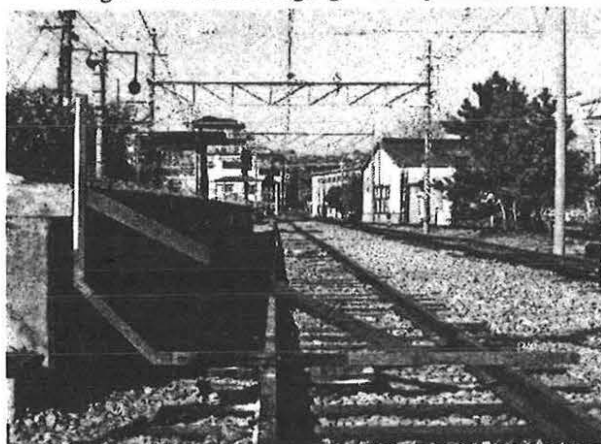


Fig.3 Construction gauge measurement ruler

- ・測定時に作業員が無理な体勢を取るため、厳しい労働条件となる。
- ・測定間隔が5～10mであるため中間部の限界抵触箇所見落としの危険性がある

そこで、現行の測定精度を落とさず、測定間隔を1m以下と縮小させて限界抵触箇所の見落としを少なくし、しかも測定効率を向上させることを目的として、光切断法によりホームの建築限界を測定する装置の開発を目指すこととした。

本稿では装置を開発するにあたり問題となる測定精度の確保について、試作機を製作しさまざまな測定条件別で試験することにより測定手法の精度確認を行なったので報告する。

2. 測定定規の精度確認

光切断法の装置開発に先立ち、現状の建築限界測定定規による測定の精度を確認するため試験測定を行なった。

試験測定は実際のプラットフォームにおいて測定定規を用いて行った。Table 1 のとおり、試験は2回行いそれぞれ11測点に対し、12回もしくは11回測定し、132サンプルおよび121サンプルを得た。

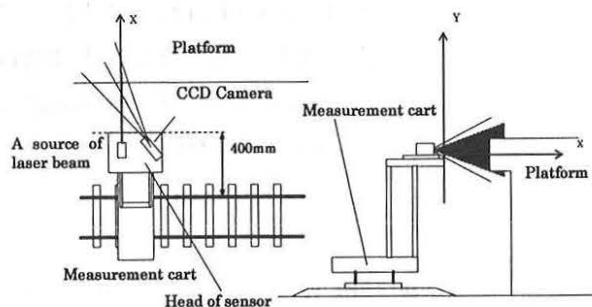
1回目は11測点の高さ・離れの真値を調べる目的で、3人の測定者が慎重に4回ずつ測定したものである。

2回目は11人の測定者に試験目的を伝えずに、11測点を1回だけ測定してもらった。

これら2回の測定に対し、それぞれ各測点毎の平均値と測定値との差を算出した。差の標準偏差をTable 1に示す。離れ、高さとも1回目の方がばらつきは少なかった。原因として、測定目的の違いが挙げられるが、使用した定規の違い、すなわち

Table 1 Measurement test of the ruler

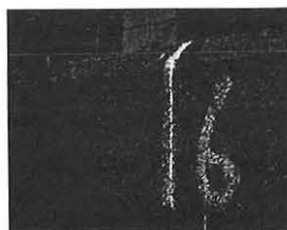
	1回目	2回目
測点数	11箇所	11箇所
測定回数	12回	11回
サンプル数	132測定	121測定
各測定点の平均値 との差の標準偏差	離れ 高さ	0.44mm 1.88mm 0.57mm 2.18mm
測定定規の種類	木製	アルミ製



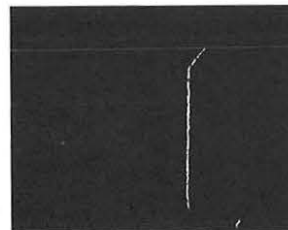
(a)Plan view

(b)Side view

Fig.4 Position of laser beam and CCD camera



(a)Picture by CCD camera



(b)Adjusted picture

Fig.5 Pictures used for measurement

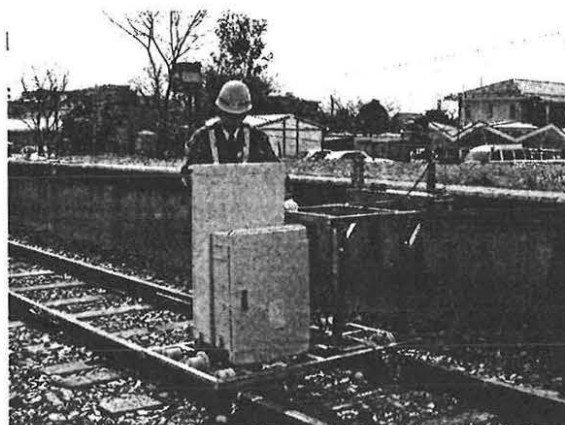


Fig.6 Measurement equipment

2 回目には、軽量だがたわみ易いアルミ製定規を使用した影響も考えられる。

3. 測定手法と測定原理

(1)光切断法の特徴

測定手法の検討を行なった結果、非接触で移動しながら連続的にホームの断面形状を得ることが出来るという利点から、光切断法を応用した画像処理方式により試験を行なうこととした。光切断法とは、スリット状の光を被写体に照射し、斜め方向から観測したとき、被写体の形状に対応した反射光の画像が得ら

れ、三角測量の原理で、二次元の画像から三次元の被写体の形状を求める手法である。以下に測定原理について示す。

(2)測定原理について

- ① スリット状のレーザ光源をホームに対して垂直に当て、CCD カメラをレーザ光に対して斜め方向から見るように配置する。(Fig. 4)
- ② このとき CCD カメラで撮影される画像のレーザ光がホームの輪郭線としてあらわれる。(Fig. 5(a))
- ③ 画像中のレーザ光の部分を検出し (Fig. 5(b))、検出した中で最も離れの小さい場所、および、最も高さの高い位置の抽出を行なう。
- ④ レーザ光源と CCD カメラの相対位置およびそれぞれのなす角度は既知のため、撮影された画像上の位置座標から実際の空間の位置を算定することができ、センサヘッドから対象物までの相対位置が得られる。ただし、実際にはカメラの角度に非常に敏感であるので、あらかじめ空間上の座標が既知の点を測定し、キャリブレーションを行うことにより精度を確保している。

(3)測定方法

①装置概要

測定装置は以下のパーツで構成され、外観は Fig. 6 のとおりである。

- ・ 測定台車部: レール上を走行することが出来るよう車輪を取り付けた下部フレーム
- ・ フレーム: 台車上でセンサヘッド部の高さを確保し、支持するフレーム
- ・ センサヘッド: ホーム前面およびホームの上端部が捉えられるようにレーザ光源と CCD カメラを載せた部分
- ・ 制御盤: 制御用パネルコンピュータ等を格納したボックス
- ・ 電源ボックス: バッテリー等を格納したボックス

また、装置は測定の際に人力運搬が可能となるように分解組み立てできるものとした。

以上の装置により、人による手押しを行なう事により走行しながらの連続測定を可能とした。

②測定方法

測定項目はホームの高さと離れである。まず、撮影された画像の処理を行い、画像中の離れ P_u 、高さ P_v を求める。これを実空間の値に変換し、離れ P_x 、高さ P_y を求める。これにレールからセンサヘッドまでの距離 H 、

V 、軌間の半分 $G/2$ を加えることにより、軌道中心からの離れとレール頭面からの高さを算出する。(Fig. 7)

本装置は装置を走行させながら、車輪に設置した距離計で進行距離を検知し、それをトリガとして、ある一定の距離ごとに自動測定を行なうことができる。

4. 試験概要

(1)事前準備 (カメラキャリブレーション)

試験実施に先立ち、カメラキャリブレーションを実施した。これは、実空間での位置が分かっている離れ・高さ方向に各 5mm ピッチの格子点を撮影し、画像中の位置 (u,v) と実空間上

の位置 (X,Y) の対応関係を表すキャリブレーションデータを取得するものである。キャリブレーション画像の一例を Fig. 8 に示す。このデータを使用して、画像処理にて検出したホームの離れや高さの画像中の座標を実空間での位置に変換した。

(2)試験方法

試験は、光切断法の手法自体による誤差と分解式フレームの組立て誤差、および測定台車が走行することにより生じると考えられる誤差とを区別するため、台車を固定した状態での測定試験、固定状態でフレーム組みばらしを繰り返しながらの測定試験、および走行状態での測定試験の 3 種類について行なった。

5. 精度検証試験結果

(1)室内固定精度試験

本測定手法自体の測定精度を照査するため、試験を行なった。試験は室内の防振台上に測定装置とホームを模したターゲットを設置し両者とも固定状態で測定を行なうものである。

ターゲットの配置は離れ方向 5 パターン、高さ方向 3 パターンを設定した。同一のターゲット配置に対して、3 回ターゲットの置きなおしを行い、ターゲット置きなおし 1 回あたり 4 回測定を行なった。

つまり、測定回数は、

$$5 \text{ パターン} \times 3 \text{ パターン} \times 3 \text{ 回置きなおし} \times 4 \text{ 回測定} = 180 \text{ 測定}$$

である。

以上の測定手順で、フレームを 920mm ホーム用に組んだ場合と 1100mm ホーム用に組んだ場合の 2 ケースの試験を実施

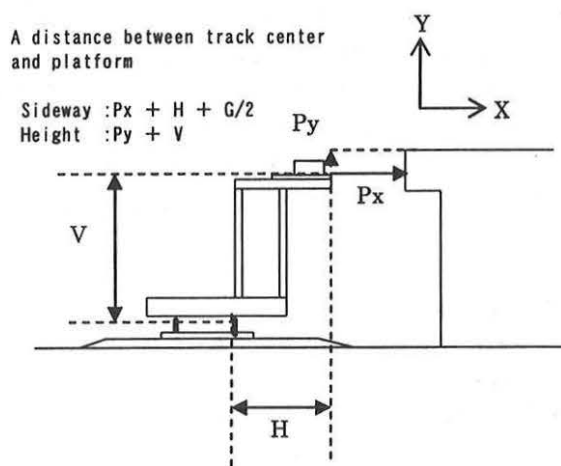


Fig.7 Relations between a measured value and equipment size

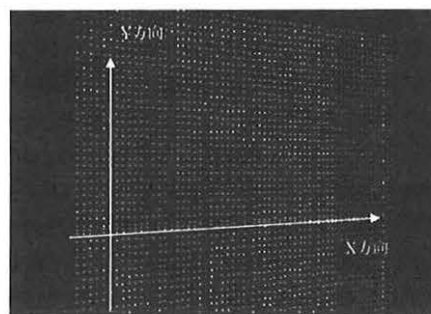


Fig.8 A picture used for calibration

Table 2 Test result

試験の種類		測定値	差の平均 (mm)	標準偏差 σ (mm)
室内固定 精度試験	920mmホーム 用	離れ	-0.3	0.09
		高さ	0.3	0.02
	1100mmホーム 用	離れ	-0.1	0.14
		高さ	0.7	0.03
組立て精度試験		離れ	-0.1	0.19
		高さ	0.0	0.25
現地固定試験		離れ	-0.3	0.71
		高さ	1.3	0.86
現地走行試験		離れ	0.3	0.47
		高さ	1.2	1.27

した。

結果を Table 2 に示す。表中「差の平均」とはターゲット設置位置を鋼尺（現地固定試験および現地走行試験においては建築限界測定定規）にて測定した基準値と測定値との平均値を示す。「標準偏差 σ 」は、ターゲット置きなおし毎の 4 回測定に対し、平均値と各測定の差を算出し、180 測定分を集約して差の標準偏差を算出したものである。なお Table 2 には後述の各試験の結果も併せて記入している。

これにより、ばらつきの大きなものでも $\sigma=0.14\text{mm}$ （離れ測定、1100mm ホームの場合）と全体的に非常に小さく、本測定手法自体の精度が高いことが分かった。

(2) フレーム組立て測定試験

フレームの組立て誤差を照査するため、試験を行なった。試験場所は(1)と同様の室内の防振台上である。試験方法は、フレーム下部と計測対象のターゲットを固定したまま、上部フレームを分解し、組み立て直した後 5 回計測を行なう。以上の操作を 10 回繰り返し、標準偏差を算出し、分解組立てが測定精度に与える影響を確認した。以上 50 計測の平均値からの差の標準偏差 σ は $\sigma=0.19\text{mm}$ （離れ）、 $\sigma=0.25\text{mm}$ （高さ）となり（Table 2）、フレーム組立ての誤差は非常に小さいことが確認できた。

(3) 現地固定測定試験

上述の(1)、(2)の試験は室内試験であったが、これ以降、現地における走行試験について述べる。まず、屋外での測定が与える影響を確認するため、現地における固定試験を実施した。これはプラットホームに沿ったレール上に装置を設置し、走行台車を静止させた状態で試験を行なうものである。

試験手順は測点に移動後、装置を静止させて測定を行なうもので、11 測点について測定した。これを 12 回繰り返し、合計 132 測定を行なった。

Table 2 に試験結果より求めた差の平均と標準偏差を示す。なお、差の平均については、5. (1)でも述べたとおり、建築限界測定定規を用いて複数回測定して平均化したものを基準値とし、基準値と測定値の差の平均値を示したものであり、標準偏差は、測定定規の基準値と測定値との差の標準偏差である。

また、2. で述べたとおり、基準値すなわち建築限界測定定規にも誤差を含むことを勘案すると、バラツキが小さく精度の

良い測定を行なえていることがわかる。

(3) 走行測定試験

本試験はプラットホームに沿うレール上に設置した測定装置を走行させて行なった。

3. (3) ②で述べたとおり、本装置は走行中のある一定距離ごとに自動測定をする機能があり、本試験では 50cm 間隔に自動測定を行なうよう設定し、手押しにより 10m の間を走行させ、21 測点のデータを得た。この測定を 12 回繰り返し行なった。

なお、これまでに走行速度の違いによる測定値のばらつきの違いを調査しており、手押しによる 5km/h 程度以下の領域では、速度が遅いほど測定値のばらつきは小さく、精度が上がるということが分かっている。今回はこの結果に作業性等を勘案し、走行速度 3km/h で試験を実施した。

その結果を Table 2 に示す。(2)の現地固定測定と同様、基準値にも誤差を含むことを勘案すると、十分精度の良い測定を行なえていることがわかる。

また、今回の走行試験は、測定ピッチを 50cm に設定して実施した。その結果、画像処理など演算に遅れはなく、50cm 毎に確実に結果を出力することができた。3km/h 程度の手押しによる走行速度において、本手法では処理速度の面で 50cm ピッチの測定が十分可能であることが検証できた。

6. おわりに

今回の試験結果より次のことが分かった。

- (1)室内固定試験により、光切断法の手法自体の誤差は十分小さく、プラットホームの建築限界測定に光切断法を適用できることが分かった。
- (2)運搬を考慮した分割式フレームとしたが、分割・組立ての測定精度に与える影響は非常に小さい。
- (3)走行試験の結果、その精度は建築限界測定定規と比較しても遜色なく、実用上問題がないと考えられる。また、処理速度の面から 50cm 間隔での測定が可能であることが分かった。

以上のとおり、今回開発した光切断法による建築限界測定装置を用いると、歩行程度の測定速度の連続測定においても、精度よく建築限界を測定できることがわかった。

一方、今後の課題として、試作機のため重量があり、載線・離線に労力を要するため、軽量化を実現することがあげられる。

その他、曲線部における建築限界の拡大への対応など、ソフト面でも実用的な機能を充実させ、装置導入にむけて取組みを進める予定である。

《参考文献》

- 1) 小林ほか: 光切断法を用いたホーム限界測定システムの開発、第 58 回土木学会年次学術講演会概要集 VI-240, 2003.9