

## 映像による軌道監視手法の基本性能確認試験

J R 東日本 東京工事事務所 正会員 内藤 圭祐  
 J R 東日本 東京工事事務所 正会員 桑原 清  
 J R 東日本 東京工事事務所 正会員 戸塚 淳也  
 (株)コスモプランニング 正会員 掛橋 孝夫

### 1. はじめに

線路下に道路などの横断構造物を構築する鉄道工事において、地盤の掘削作業等を行う場合は、列車運行の安全性を確保するために軌道の自動計測を行っている。しかし、軌道の計測性能（計測頻度・精度など）を従来よりも向上する場合、計測費用は高価になる恐れがある。また、軌道を計測する場合においては、軌道整備の支障とならないような計測機器にすることが望ましい。このような観点から、本報告では、市販されているカメラを用いた新たな軌道監視手法を考案し、その基本性能を確認するために実施した試験結果を報告する。

### 2. キャリブレーション精度の検証

今回は、計測用とカメラ自体のブレ補正用の2台のカメラセットにより計測することを考えており、そのために2台のカメラの相対的な位置関係を厳密に求める必要がある。そこで2台のカメラを同期して撮影した3次元座標が既知な基準点をもとに写真解析の標定処理で算出を行い、キャリブレーション精度の検証を行った。

試験のパラメータとしてカメラ2台のセッティング方法、基準点の数、画素数を組み合わせて試験を行った。カメラのセッティング方法は正面及び斜め45度に設置した2ケース、基準点は6, 12, 24点の3ケース、画素数は1,200万画素, 600万画素, 200万画素, 120万画素, 40万画素の5ケースを行った。

キャリブレーション精度の試験結果より、1200万画素～200万画素程度あれば計測に使用することが可能と思われる（表-1にキャリブレーション精度の例を示す）。

しかし、低解像度の120万画素, 40万画素の場合、また、PALレンズを用いた場合はキャリブレーションの時点で精度が2mmを超えていることから計測時には更に精度が悪くなると推測されるので、計測には適さないと考えられる。

### 3. ブレ補正処理の検証

軌道監視を行う実際の現場では、周辺事情により計測カメラが振動して撮影画像にブレが生じる可能性がある。ブレは軌道の静的変位の計測精度を非常に悪くする原因になるため、ブレを適切に補正する必要があり、不動点を用いたブレ補正処理方法を検証する。

試験現場に不動点、計測ターゲットおよび2台のデジタルカメラを強固に固定した三脚を設置し撮影する。不動点はブレ補正処理の精度向上を目的として複数点を3次元的に配置してトータルステーションにより3次元測量する。ブレ補正処理の精度は補正方法、不動点の数、画素数により異なると思われるので、いくつかの条件で試験を行った。試験のシステム構成イメージは図-2の通りである。

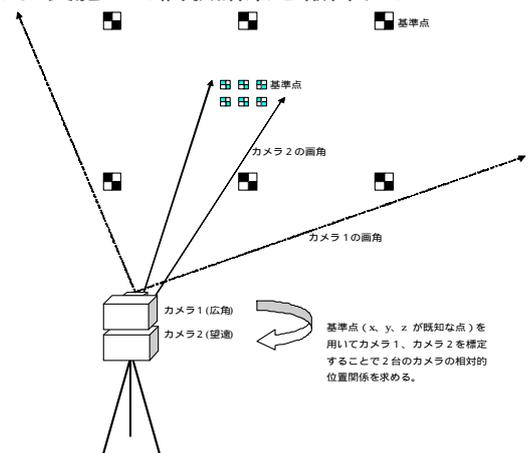


図-1 キャリブレーションの概念

表-1 キャリブレーション精度の例

(基準点 12 点, 600 万画素)[単位: mm]

	x	y	z
望遠(正面)広角(正面)	0.69	0.76	0.93
望遠(左)広角(正面)	0.58	0.82	0.82
望遠(右)広角(正面)	1.09	0.99	0.77
望遠(上)広角(正面)	0.89	1.09	1.10
望遠(下)広角(正面)	0.89	0.85	0.60
望遠(正面)広角(45度斜め)	0.95	0.58	1.02
望遠(左)広角(45度斜め)	0.98	0.98	0.69
望遠(右)広角(45度斜め)	0.88	0.97	0.72
望遠(上)広角(45度斜め)	1.02	0.85	0.88
望遠(下)広角(45度斜め)	0.60	0.84	0.81
望遠(正面)PALレンズ	7.63	5.41	6.96
望遠(左)PALレンズ	3.40	4.94	3.17
望遠(右)PALレンズ	4.60	7.37	7.02
望遠(上)PALレンズ	4.88	5.95	8.90
望遠(下)PALレンズ	4.02	8.85	8.94

キーワード 軌道計測, 映像, 鉄道工事

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木2-2-6 TEL: 03-3379-4353 FAX: 03-3372-7980

試験項目としてキャリブレーションの標定精度を基に,不動点は6,12点の2ケース,撮影方向は横方向に4ケース,縦方向に4ケース,斜め45度の方向に4ケース,広角レンズを装着したカメラを正面及び斜め45度に設置した2ケース,画素数は1,200万画素,600万画素,200万画素の3ケースの試験を行った.

本試験では,キャリブレーション時の標定計算方法を用いて,広角レンズを標定した結果を望遠レンズ装着の計測用カメラのブレ情報として与えることで撮影時におけるブレを補正している.ブレ補正処理精度の一例を表-2に示す.

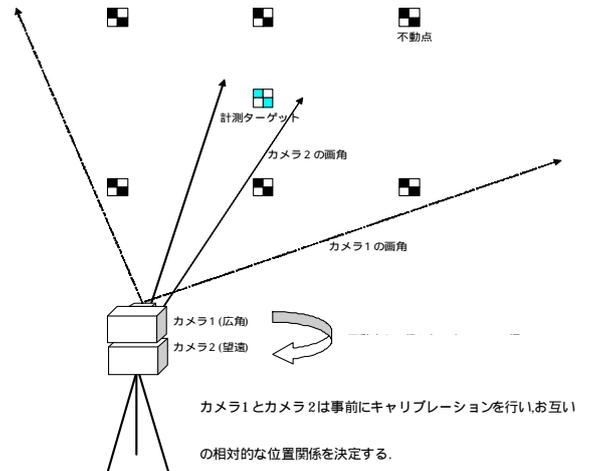


図-2 ブレ補正処理の概念

表-2 ブレ補正処理精度の例(不動点6点,600万画素)[単位:mm]

計測用カメラ(望遠)	傾き補正用カメラ(広角)	レンズ	計測距離	横方向				縦方向				斜め方向			
				①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④
正面	正面	85mm	3.2m	-1.4	0.0	-1.3	-1.0	-0.8	0.7	-0.5	-1.1	0.2	-0.1	-1.1	0.2
正面	正面	50mm	3.2m	0.3	0.6	-1.5	1.2	0.0	-0.7	0.9	-1.3	-0.8	1.2	-1.7	-1.3
正面	正面	35mm	3.2m	0.3	0.5		0.8	0.1	1.2		0.1	1.0	-1.0		1.5
正面	斜め(45度)	85mm	3.2m	-0.4	0.4		-0.8	-0.7	-0.6		0.7	-0.7	-0.7		-0.2
正面	PALレンズ	85mm	3.2m	-1.0	-4.0		-14.0	-3.9	-8.2		-0.9	-11.0	-3.9		-5.5
正面	正面	85mm	5.3m	0.5	1.3		0.7	0.4	-1.2		1.1	-1.5	-0.4		0.5
正面	斜め(45度)	85mm	5.3m	-1.2	-1.7		0.2	-0.3	0.8		-0.3	-0.8	-2.9		-2.5
正面	PALレンズ	85mm	5.3m	-10.5	-0.3		-12.6	4.2	10.7		-17.9	-5.8	4.5		-8.6

4. 計測精度の検証

2台のカメラによる標定処理とブレ補正処理で得られる軌道の静的変位の計測精度を検証する.試験はブレ補正処理の試験で使用した計測ターゲットを用いて行った.計測ターゲットとカメラの距離を実際の現場で使用されると思われる5m,10m,20mに設定し,撮影方向は横方向に4ケース,縦方向に4ケース,斜め45度の方向に4ケースとし,広角レンズを装着したカメラを正面及び斜め45度に設置した2ケース,画素数は1,200万画素,600万画素,200万画素の3ケースの試験項目を設定した.なお,基準となる不動点はキャリブレーション試験結果及びブレ補正処理試験結果から,6点とそれ以上の点で精度に差が見られなかったことから6点とした.

表-3 計測精度の例 [単位:mm](太字は,±2mmの範囲)

表-3に計測精度の例を示す.計測精度の試験結果より,軌道監視に必要な距離5m~20mに対応するには600万画素以上のカメラの場合で十分な精度で計測することが可能と考えられる.5mの近距離であれば望遠撮影必要という条件付きではあるが200万画素でも十分な精度が得られた.このことから,安価に販売されている200万画素のカメラを用いることでコストを抑えた軌道監視装置を作成することも可能と考えられる.

計測用カメラ(望遠)	傾き補正用カメラ(広角)	レンズ	計測距離	横方向				縦方向				斜め方向			
				①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④
正面	正面	85mm	5m	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.1</b>	-0.6	0.3	-0.5	-0.2	0.0	-0.5	<b>0.4</b>	-0.2
正面	正面	50mm	5m	<b>0.5</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.8</b>	<b>-1.9</b>	0.8	-0.8	-1.5	1.0	-1.5	-1.9	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>
正面	正面	35mm	5m	<b>-1.9</b>	<b>-0.3</b>	<b>-0.5</b>	<b>1.0</b>	<b>0.6</b>	<b>-0.9</b>	<b>0.4</b>	<b>-0.3</b>	<b>0.6</b>	<b>-1.7</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.4</b>
正面	正面	85mm	10m	<b>0.2</b>	<b>-1.0</b>	<b>-1.2</b>	<b>-0.8</b>	-0.8	-1.4	-1.2	-1.7	-0.1	-0.5	-1.3	-0.6
正面	正面	50mm	10m	<b>-0.1</b>	<b>-2.0</b>	<b>0.5</b>	-2.4	-1.8	-0.5	-0.8	0.6	1.0	0.9	-0.5	0.9
正面	正面	35mm	10m	<b>0.6</b>	<b>-1.0</b>	<b>0.4</b>	<b>1.3</b>	-0.9	-1.1	0.8	-3.2	<b>0.3</b>	<b>0.7</b>	<b>-0.3</b>	-2.2
正面	正面	85mm	20m	<b>-0.3</b>	<b>1.4</b>	<b>1.0</b>	<b>-1.8</b>	-1.6	1.3	-1.4	-0.5	-1.5	-1.6	-1.3	-0.1
正面	正面	50mm	20m	-2.4	-2.1	<b>-1.4</b>	<b>-0.5</b>	-0.1	-1.1	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>-0.3</b>	<b>-1.1</b>	<b>0.2</b>	-0.7
正面	正面	35mm	20m	-3.6	-3.3	<b>0.0</b>	3.2	-1.3	3.2	3.4	2.9	2.6	-4.2	-3.7	<b>0.8</b>
600万画素による計測精度															
計測用カメラ(望遠)	傾き補正用カメラ(広角)	レンズ	計測距離	横方向				縦方向				斜め方向			
				①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④
正面	正面	85mm	5m	<b>-0.9</b>	<b>-0.9</b>	<b>1.0</b>	<b>0.8</b>	-1.4	-1.7	-1.2	-2.3	-0.1	-1.1	<b>0.3</b>	-1.6
正面	正面	50mm	5m	<b>1.5</b>	<b>1.6</b>	<b>0.5</b>	<b>-0.5</b>	0.6	-0.5	-0.2	-2.0	-1.3	-1.1	-1.2	<b>0.3</b>
正面	正面	35mm	5m	<b>1.7</b>	<b>0.4</b>	<b>-0.3</b>	-3.8	<b>1.8</b>	-2.2	<b>1.7</b>	<b>-0.8</b>	-2.1	<b>1.3</b>	-3.0	<b>-0.9</b>
正面	正面	85mm	10m	<b>-1.5</b>	<b>0.9</b>	<b>-1.3</b>	-2.4	-1.6	-2.5	<b>-0.7</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.6</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.7</b>	<b>1.9</b>
正面	正面	50mm	10m	-2.4	2.3	<b>-2.0</b>	2.1	<b>1.5</b>	<b>1.6</b>	<b>0.8</b>	-2.1	-4.7	3.0	2.3	<b>0.1</b>
正面	正面	35mm	10m	-2.4	2.3	<b>-1.4</b>	<b>-1.6</b>	2.8	-5.3	-3.4	<b>-2.0</b>	4.1	2.3	<b>-0.6</b>	3.5
正面	正面	85mm	20m	<b>-1.2</b>	3.5	-5.5	<b>-0.8</b>	<b>-1.7</b>	<b>-1.7</b>	-6.1	-6.0	<b>1.7</b>	-3.5	<b>0.5</b>	<b>0.3</b>
正面	正面	50mm	20m	-4.3	-2.6	<b>-1.7</b>	-8.9	-2.9	2.4	5.8	-11.2	<b>0.0</b>	-2.4	-9.2	5.9
正面	正面	35mm	20m	-3.3	6.4	<b>-2.0</b>	2.5	-6.9	4.6	-14.5	-2.1	-12.2	-2.9	2.8	-9.2
200万画素による計測精度															

5. まとめと今後について

今回の基本性能確認試験の結果,現行の機材の組合せ等により目標とする計測精度(1~2mm)を持つシステム構築が可能な範囲であることが確認できた.今後は施工現場における実証実験等を実施することにより,映像による軌道監視手法の検討を深度化していきたい.