

論文

[2024] RC柱の振動実験における平面内変位計測システムの開発に関する研究

正会員○長谷川智明（株式会社熊谷組）

正会員 丸山 久一（長岡技術科学大学工学部）

清水 敬二（長岡技術科学大学工学部）

正会員 橋本 親典（長岡技術科学大学工学部）

1. まえがき

RC柱の2軸曲げ振動特性に関する動的載荷実験としてAviles・高橋らの行った振動台を用いた実例^[1]がある。これは動的載荷実験を行う上で最も問題となる変位の測定方法として、ビデオとデジタルイザを用いた平面内変位計測システム^{[2][3]}を適用し、平面内を刻一刻変化する供試体質点の変位測定を可能にしている。しかし、この計測システムではビデオの映像からデジタルイザを用いて座標を計測するのに、各時間きざみごとに逐一行わねばならず、多大な処理時間を要する結果となっている。また、測定時にブラウン管の曲率、視点の位置、デジタルイザの読み取り誤差(±0.64mm)など、測定精度を悪くする要因も多い。

本研究は、座標データの自動取り込みが可能なビデオトラッカを用いた新しい平面内変位計測システムを開発し、動的な平面内変位の計測を精度よく行うことを可能にすると共に、このシステムの精度の検証を中心として、その適用性を検討することを目的として行ったものである。

2. 平面内変位計測システム

本計測システムで用いるビデオトラッカは、ビデオカメラあるいはビデオデッキなどの映像に写された目標物を自動追跡し、その画面上における座標値を最高1/30sec間隔で測定することのできる装置である。この装置は目標点を2値化して追跡するため、計測に当たって目標点は白あるいは黒で他とはっきり区別できるようにしておかなければならない。また、座標値はdot単位なので、これを長さの単位に直すための処理も必要となる。

ビデオトラッカを用いた変位計測システムの概要を図-1に示す。図-1(a)でビデオトラッカの有効範囲内に目標点が十分入るようにセッティングした上で実験時の映像をビデオに録画し

図-1(b)で再生した映像をビデオトラッカで処理してコンピュータにデータを取り込むというものである。実験時にデータを取り込むことも可能であるが、再現性を持たせるためにビデオに録画をしている。

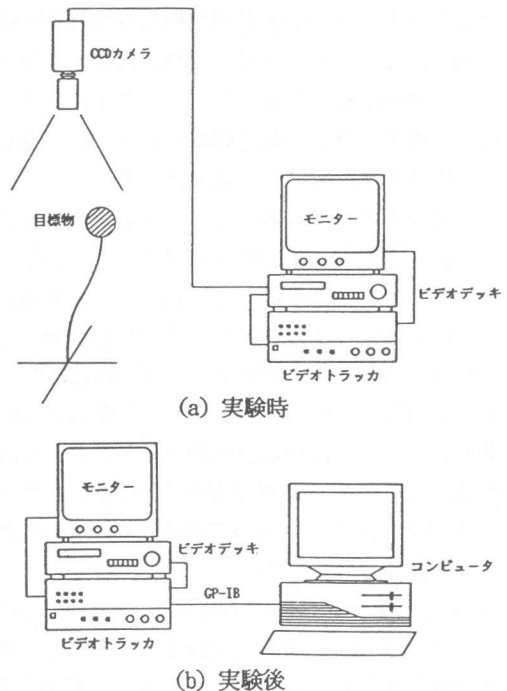


図-1 平面内変位計測システム

3. 精度の検証

(1) 静的精度検査

ビデオトラックの有効範囲内に入る映像の大きさによって、測定値の精度が左右されるものと思われる。また、この計測システムではカメラを用いるためレンズの収差による計測誤差の有無も問題となる。もし、収差の影響が大きければ、基準の長さに対し、ビデオ画面の中央部と周辺部でその長さを写し出すのに必要な画素(ドット)数が異なり、異なる長さとして検出してしまふ。従って、基準長を測る際のビデオ画面の位置、および基準長そのものの大きさを種々に変えることによって収差の程度が把握できる。また、この基準長と対応する画素数は、画面に写し出された映像のスケールを決める係数となる。また、画面上のX-Y座標軸と実構造の変位に関する主軸を一致させるためにX,Y方向の基準長が必要となる。これらを検証するために静的な精度検査を行った。

本来、本変位計測システムの精度を調べるためには、精度が明確な他の測定方法で測定した計測値と本システムによる計測値を比較することが望ましい。しかし、平面内変位であるため、変位計によって計測することはできない。そこで、本計測システムで、正確な距離が既知な2つの目標点間の距離を計測し、計測値と実際の値を比較することにした。

図-2のように計測容器盤に49カ所に目標点を設け、各目標点間のX方向、Y方向の距離を最確値と測定値で比較することにした。なお、ここでいう最確値は各目標点間の距離をノギスを用いてそれぞれ3回ずつ測定し、その値を平均して求めた。また、誤差は各目標点間の距離に関して、最確値と測定値の差を最確値で割りパーセントで示すこととした。

誤差の生ずる要因を考慮して、次に示すような項目に着目して検査を行った。

- ①目標点～カメラ間の距離と誤差の関係
- ②ビデオトラックの有効範囲内に写される映像の大小と誤差の関係
- ③基準長 L_x 、 L_y の長さおよび設定位置と誤差の関係

また、検査を行うに当たって、使用するパラメータは以下のように取り扱うこととした。

L：目標点～カメラ間の距離であり、目標点を設けた計測容器盤からカメラのレンズ先端部までの距離を実測した値を用いる。

α ：映像の大小を表すパラメータであり、ビデオトラックの有効範囲内の1dotに対する実際の長さで表す。この値は、本来、X方向とY方向について得られるが、ほとんど同じ値となるので、一つの値のみで表すこととする。

L_x 、 L_y ：スケールの変換も含めた座標変換のための係数行列を決定するのに必要な基準長。

この条件の下に、計測を行った結果を表-3.1~3.6に示す。Lおよび α に関する全データを用いた場合の結果として、表-1は検定長を50mmとしたときの誤差の平均値であり、表-2は検定長を100mmとしたときの誤差の平均値である。これらの結果をdot単位に換算したものを表-3、4に示す。

表-5はLおよび α に関する全データのうち、基準長 L_x 、 L_y の長さを100、200、300mmとして測定した場合のそれぞれの誤差の平均値を示している。表-6は基準長の長さを100mmとし、Lおよび α と基準長の位置を変化

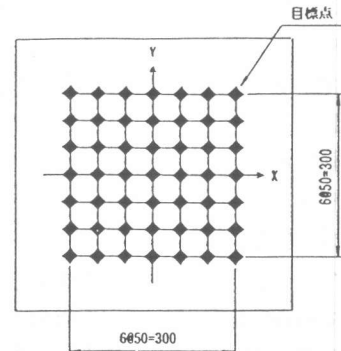


図-2 静的精度検査用基準板

表-1 全データによる平均誤差 (検定長 : 50mm)

α (mm/dot)	誤差 e (%)				
	L (m)				
	1.23	2.00	3.00	4.00	5.00
1.00	0.98	0.85	0.69	0.77	0.80
1.25	-	1.07	0.78	0.92	0.91
1.50	-	-	1.22	1.18	1.27
1.75	-	-	1.46	1.51	1.55
2.00	-	-	1.19	0.97	1.35

表-2 全データによる平均誤差 (検定長 : 100mm)

α (mm/dot)	誤差 e (%)				
	L (m)				
	1.23	2.00	3.00	4.00	5.00
1.00	0.65	0.41	0.42	0.46	0.39
1.25	-	0.60	0.46	0.57	0.49
1.50	-	-	0.59	0.71	0.51
1.75	-	-	0.78	0.82	0.87
2.00	-	-	0.72	0.57	0.79

表-3 誤差のドット表示 (検定長 : 50mm)

α (mm/dot)	dot/50mm (dot)	誤差 (dot)				
		L (m)				
		1.23	2.00	3.00	4.00	5.00
1.00	50.00	0.49	0.43	0.35	0.39	0.40
1.25	40.00	-	0.43	0.32	0.37	0.37
1.50	33.33	-	-	0.41	0.39	0.42
1.75	28.57	-	-	0.42	0.43	0.44
2.00	25.00	-	-	0.30	0.24	0.34

表-4 誤差のドット表示 (検定長 : 100mm)

α (mm/dot)	dot/100mm (dot)	誤差 (dot)				
		L (m)				
		1.23	2.00	3.00	4.00	5.00
1.00	100.00	0.65	0.41	0.42	0.46	0.39
1.25	80.00	-	0.48	0.37	0.46	0.39
1.50	66.67	-	-	0.39	0.47	0.34
1.75	57.14	-	-	0.46	0.47	0.49
2.00	50.00	-	-	0.36	0.29	0.40

表-5 Lx, Lyの長さに対する平均誤差 (検定長 : 50mm)

α (mm/dot)	Lx, Ly (mm)	誤差 e (%)				
		L (m)				
		1.23	2.00	3.00	4.00	5.00
1.00	100	1.08	0.86	0.71	0.70	0.77
	200	0.93	0.86	0.72	0.90	0.83
	300	0.92	0.85	0.65	0.72	0.78
1.25	100	-	1.09	0.90	1.00	0.98
	200	-	1.07	0.74	0.90	0.87
	300	-	1.06	0.71	0.85	0.89
1.50	100	-	-	1.22	1.23	1.30
	200	-	-	1.24	1.15	1.22
	300	-	-	1.20	1.17	1.30
1.75	100	-	-	1.42	1.66	1.76
	200	-	-	1.57	1.51	1.51
	300	-	-	1.38	1.38	1.37
2.00	100	-	-	1.39	0.89	1.57
	200	-	-	1.24	0.95	1.32
	300	-	-	0.94	1.07	1.16

させた場合の誤差の平均値を示している。

表-1と表-2を比較すると、検定長が100mmのときの誤差の値は、50mmのときの約半分になっていること認められる。しかし、表-3, 4のdot単位に換算した値と比較すると、検定長が変化しても誤差は約0.4dotで一定となっていることが分かる。つまり、距離の測定に関して、ビデオトラックの座標系におけるdot単位の誤差の値は常に一定であり、撮像の大きさが一定ならば、測定の対象となる実際の距離が長いほど測定の精度が良くなると考えられる。

表-6 L_x, L_y の設定位置に対する平均誤差 (検定長: 50mm)

α (mm/dot)	位置	誤差 e (%)		
		L (m)		
		1.23	3.00	5.00
1.00	左上	0.94	0.85	0.92
	左下	0.77	0.85	0.89
	中央	1.08	0.71	0.77
	右上	0.78	0.78	0.91
	右下	0.71	0.92	0.98
1.50	左上	-	1.26	-
	左下	-	1.47	-
	中央	-	1.22	-
	右上	-	1.43	-
	右下	-	1.34	-
2.00	左上	-	1.26	-
	左下	-	0.81	-
	中央	-	1.39	-
	右上	-	0.76	-
	右下	-	0.85	-

表-5に基準長 L_x, L_y の長さが平均誤差に及ぼす影響を示す。全般的傾向としては基準長が長いほど平均誤差は小さくなるようであるが、その差は、小さく、ほとんど影響がないと考えられる。

また、表-6から基準長を画面のどの位置に設定しても、誤差の値はあまり変化しないことが認められる。収差が生じやすい距離の短いときに、画面中央部と周辺部で誤差の値にやや差があるが、それほど大きなものではない。

これらのことは、レンズの収差が測定誤差に与える影響は、ほとんどないことを示している。

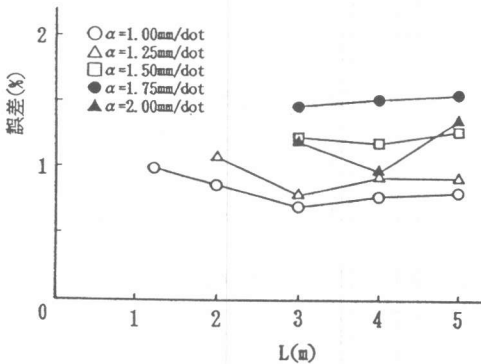


図-3 誤差-距離の関係

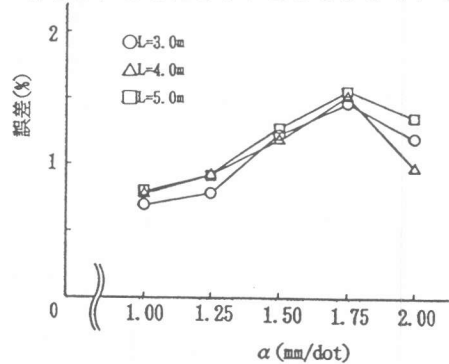


図-4 誤差-撮像の大きさの関係

図-3, 4は表-4の値をグラフ化したものである。図-3から、 α が一定なら、Lによって誤差はあまり変化しないといえる。収差が生じやすいと考えられる距離の短いところでは、誤差がやや大きくなっているが、あまり差はない。一方、図-4から、Lが一定であれば α の値が1.00 1.75mm/dotと大きくなるほど、つまりビデオトラックの有効範囲内に映される像が小さくなるほど誤差は大きくなることが認められる。ただし、 $\alpha=2.00$ mm/dotでは、どういいうわけか誤差が小さくなっている。

以上の結果から、レンズの収差による測定精度への影響は小さく、測定精度を良くするためには、できるだけ撮像を大きくし、測定の対象となる距離ができるだけ多くのdotに対応するようにした方がよいといえる。

(2) 動的精度検査

図-5に示すように、振動台に十分剛体とみなすことのできるH鋼を取付けてこれに目標点を設け、一定の振幅の正弦波で振動させ、ビデオトラッカで目標点の変位を計測した。1~8Hzの振動に対して、アクチュエータは、変位振幅が2.0mmになる設定した。ビデオトラッカで測定した目標点の振幅を表-7に示す。低周波の振動ではビデオトラッカによる測定値はアクチュエータの値とよく一致している。しかし、高周波になるに従ってビデオトラッカで測定した値の方が小さくなる傾向がある。これは周波数が大きくなると、ビデオトラッカで測定できる1周期当たりの測点数が減少するため、ピークの値が欠けてしまうものと考えられる。

動的な変位を計測する場合、目標物の振動数・振幅および撮像の大きさ、さらに目標点を追跡するビデオトラッカの窓の大きさによって、計測の精度や可否が左右される。これらは、互いに関連し合って、ビデオトラッカによる計測の限界を決定付けると考えられ、適用の対象となるもの毎に、よく検討しておく必要がある。

表-7 計測結果

アクチュエータの設定振幅 Y=2.00mm

振動数 (Hz)	1	2	3	4	5	6	7	8
測定値 (mm)	1.954	1.954	1.948	1.948	1.948	1.886	1.886	1.886

4. 振動実験への適用

本変位計測システムが、実際にRC柱の振動実験で有効であるかどうか確認するために、簡単な実験を行ってみた。供試体はRC柱模型であるが、対応する実RC柱は特に考慮しておらず、実際に変位がどの程度計測できるのか、あるいは一連の変位計測の流れに特に問題となる点はないかを調べることを目的とした。

実験の方法は、図-5に示した実験システムで供試体を振動させ、本変位計測システムで質点の変位を計測するというものである。今回は、4Hzの正弦波で振動させることとし、30sec毎に振幅を5mmずつ大きくしていった。

加振方向を供試体の強軸に対して60度とし、 α を0.4mm/dotとして計測を行った結果を図-6,7に示す。図-6は弾性域における変位履歴曲線、図-7はひび割れ発生後の基本的なループを示している

これら変位計測の一連の作業において、コンピュータのメモリ不足を除けば特に問題となる点はなく、本変位計測システムが動的な平面内変位計測に有効であることが確認できた。

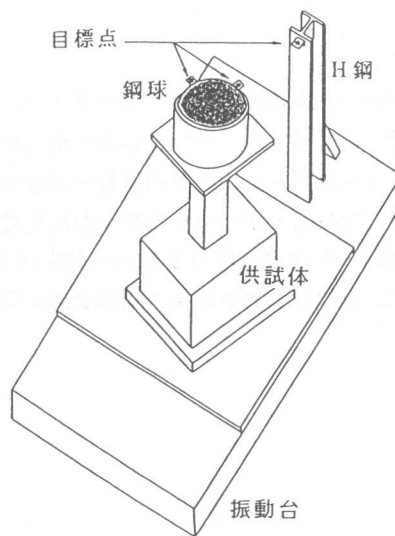


図-5 振動実験状況

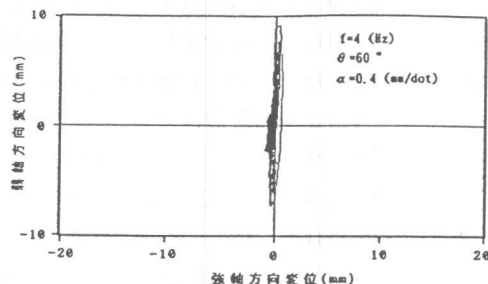


図-6 変位履歴曲線（弾性域）

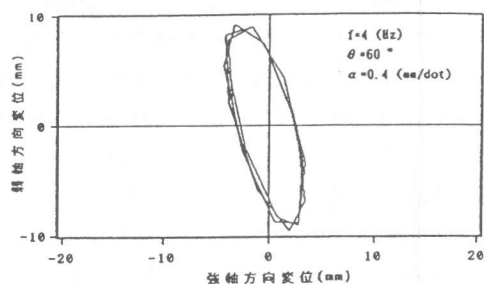


図-7 変位履歴曲線（塑性域）

5. 結論

本研究により以下の結論が得られた。

- ①計測の対象となるものを撮影する大きさが、誤差に与える影響が大きく、撮像を大きくするほど精度がよくなる。そのため、計測することができる範囲内で、目標物をできるだけ大きく撮影することが測定精度を向上させる上で重要となる。
- ②レンズの収差の影響は、極端に悪条件の場合を除き、小さい。つまり、ビデオトラックの座標系は映像に対して極めてフラットな特性をもっている。これにより、 L_x 、 L_y の長さ・設定位置をそれほど厳密に考慮する必要はない。
- ③本変位計測システムを適用することにより、動的な平面内変位の計測を容易に行うことができるようになった。従来のシステムに比べ、実験データを得ることが容易であるため、RC柱の振動実験において極めて有効であり、RC柱の動的な2軸曲げ・せん断性状の把握も可能となる。

【文献】

- [1] Aviles・高橋他：鉄筋コンクリート柱部材の2軸曲げ振動特性に及ぼす外力の入力角度の影響，第43回土木学会年次講演会講演概要集 第5部，昭和63年10月 pp.608～609
- [2] 橋本・堀口・丸山：管内流動中の粗骨材とモルタル相の速度ベクトル分布計測システムの開発，第42回土木学会年次講演会講演概要集 第5部，昭和62年9月 pp.562～563
- [3] 高橋・丸山他：RC柱部材の2軸曲げ振動実験における変位計測システムの開発に関する研究，第43回土木学会年次講演会講演概要集 第5部，昭和63年10月 pp.606～607