

## 新しい土質試験システムⅡ

## —自動計測・自動データ処理—

Newly Developed Soil Testing System II

— Automatic Data Acquisitions —

龍岡文夫\*・山田真一\*・大河内保彦\*

Fumio TATSUOKA・Shinichi YAMADA and Yasuhiko OKOCHI

## 3. 自動計測装置

## 3.1 変換器(荷重, 圧力, 変位用)

荷重は通常のひずみゲージ式のものを用いて、問題はない。ただ、動的三軸試験の場合は、軽量なものほど、慣性力が小さくなり軸荷重に対する影響が小さくなるからよい。間隙水圧計として望まれることは、受圧面積が、小さく圧力変動に対して、受圧面の変位が極小であることである。一般的に供試体と間隙水圧計間のチューブと間隙水圧計等の全体の体積変化を小さく抑えるためには、飽和度の上昇が不可欠であり、その意味で背圧を大きくする方がよい。現在筆者らは、間隙水圧の変化  $1\text{kgf/cm}^2$  に対するチューブの膨張と圧力変換器の変位による見かけの体積変化が供試体の体積ひずみに換算して、 $5 \times 10^{-5}$  (0.005%) 以下になるようにしている。

通常のダイヤルゲージの中に、カンチレバーを組み込み、ひずみゲージをこれに貼りつけて、変位をひずみゲージの抵抗変化として測定する変位変換器(カンチレバー型ひずみゲージ式変位計)が市販されているが、特に微小な変位 ( $5\mu$ 以下)を測定するのではない限り、静的な変位をこれで測定してよいと思われる。この種のもので、ダイヤルゲージを用いない方式もある。動的な変位は、インダクタンスタイプのもが適している。ただし、これは交流アンプを用いる必要がある。ほかに、褶動抵抗型変位計があり、安価である割には精度は悪くないので、静的試験に十分に用いる。また、極微小の変位の測定用には、非接触型変位計がよく用いられるが、高価であるのが欠点である。若干直線性は落ちるが、磁気抵抗変化型変位計(ポテンシオメーター)は、安価であり、増幅器なしで直流電源とデジタルボルトメーターのみで、割と精度高い測定が可能である。

最近の変換器の性能の度合から考えて、荷重・圧力・変位の測定精度は、変換器自身の精度よりも、試験機自体の精度に左右されやすいようである。荷重について言えば軸受部の摩擦、圧力について言えばキャリブレーションに用いたブルドンゲージの精度、また、非排水条件

\* 東京大学生産技術研究所 第5部

においては供試体と圧力変換器を結んでいるパイプの膨張性、変位について言えば測定点と供試体間の変位と、測定基準点の固定度等である。特に、最小目盛が  $0.1\text{kgf/cm}^2$  以上のブルドンゲージの精度は、悪いものと思っていた方がよい。最小目盛  $0.01\text{kgf/cm}^2$  以下 (0.1級) のブルドンゲージで圧力変換器のキャリブレーションを頻繁に行う必要がある。

以上のことは、特に目新しいことではないが、供試体の体積変化の自動測定法として新しいきわめて精度の高い方法を開発した。飽和した供試体の場合、供試体からの水の出入りの量を測定すればよいわけであるが、通常は、ビューレットの中の水位変化の目読によってこれを行っている。これを自動化する方法として、従来用いられていた方法は筆者の知る限り、1) ビューレット内の水位面を、光電管を用いて感知し、水位面の変化とともに光電管を機械的に追跡するようにしたもの、2) 供試体からの水の重量変化を測定する方法、3) 供試体からの水を密閉式の高さ変化自由のペロフラム付シリンダーの中に入れ、そのシリンダーの高さ変化を測定する方法、4) ビューレットの中に線抵抗を入れ、水位変化による抵抗の変化を測定する方法等があった。これらの方法はいずれも複雑で、不安定であり、精度が高いとは言えない方法であった。今回、開発した方法の原理はきわめて単純である。図8に示すように、ビューレット内の水位高の変化を、圧力の変化として測定するものである。ただし、供試体の中の水圧(背圧  $\sigma_{BP}$ )は、たとえば  $2\text{kgf/cm}^2$  と一般に高い一方、ビューレット内の水位高はせいぜい  $20\text{cm}$ 、すなわち  $0.020\text{kgf/cm}^2$  であり、少なくとも  $0.1\text{mm}$  の水位変化が測定できなければ、十分な精度が出ない。そこで、きわめて精度が高い静電容量型の差圧計(富士電機社製)を用いた。これを用いると、図8に示すA面の圧力  $\sigma_{BP} + h\rho_w$  とB面の圧力  $\sigma_{BP}$  の差  $h\rho_w$  が直接測定できる。基準圧  $\sigma_{BP}$  が  $0$  から  $10\text{kgf/cm}^2$  の範囲で差圧  $h\rho_w$  の測定レンジが  $25\text{cmH}_2\text{O}$  ( $0.025\text{kgf/cm}^2$ ) である差圧計を用いると、 $0.025\text{kgf/cm}^2$  が  $4\text{V}$  の出力となる。(測定レンジが  $2.5\text{cm/H}_2\text{O}$ ,  $1\text{cm/H}_2\text{O}$  のモデルもある。)この場合、 $1\text{mV}$  が  $0.0625\text{mmH}_2\text{O}$  に相当するので、仮

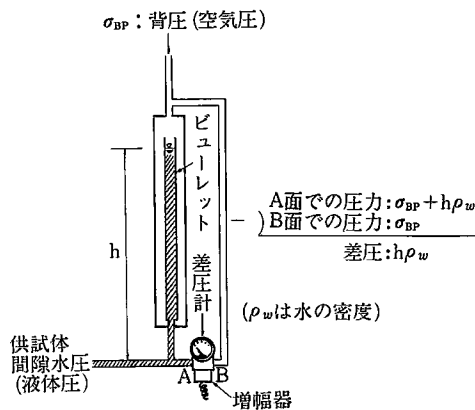


図8 差圧計による供試体体積変化の自動測定法

に内面積  $0.5 \text{ cm}^2$  のビューレット(これは相当太い方である)を用いても、 $1 \text{ mV}$  が  $0.003 \text{ cc}$  に相当する。これは十分すぎるほどの分解能である。さらに内面積の小さいビューレットを用いれば、さらに測定感度は上がる。また、この差圧計のヒステリシスは、きわめて小さく基準圧の変化による同一の差圧に対する出力の変化はほとんどない。また受圧面の剛性が、きわめて高い。ほかに各種のひずみゲージ式の差圧計が市販されているが、精度の高い自動体積測定用として用いるものはないようである。

3.2 増幅器

センサー(変換器)は、前述の高精度差圧計のように増幅器が内蔵されているもの(静電容量型のため、内蔵式としなければならない)を除いて、ひずみゲージ式のものはずべて増幅器を必要とする。これには、ブリッジ印加電源が交流か直流かで二種に分けられる。表1におのおのの特徴を示す。

計測装置の自動化を進める場合に問題となるのは、増幅器がすべての変換器に必要なことによるコスト負担で

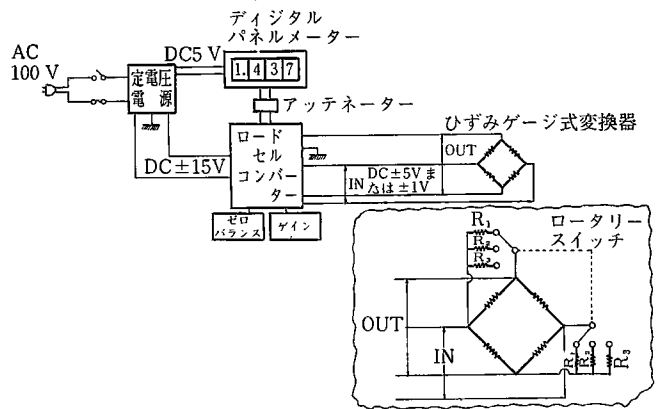


図9 直流増幅器配線図

ある。著者らは、ユニパルス社製のロードセルコンバータというモジュールおよびユニエル電子社製のデジタルパネルメータを用いて、デジタル表示の直流ブリッジ方式ストレインアンプを製作した。このアンプは、ゼロドリフトゲインドリフトともに極めて優秀であり、しかも、費用は、市販の直流ストレインアンプの1/3以下である。本ストレインアンプの構成を図9に示す。なお、ひずみゲージ式変換器には、ゲージ抵抗が大別して  $120 \Omega$  のものと  $350 \Omega$  の2種類ある。一般に推奨ブリッジ電圧は、前者が、 $2 \sim 4 \text{ V}$ 、後者が  $6 \sim 10 \text{ V}$  であり、 $120 \Omega$  系にはブリッジ電圧  $2 \text{ V}$  のもの、 $350 \Omega$  系には、 $10 \text{ V}$  のものを用いている。

本増幅器にはキャリブレーション用の回路は付属していない。このため、キャリブレーションを行うには若干の工夫が必要である。本増幅器では図9に示したようにブリッジの対面側に並列に高精度抵抗を入れる方式とした。この方式は、キャリブレーションを常に一定の状態(たとえば無負荷時)に行う必要があり、その点では若干不便と言える。

表1 直流ブリッジ方式と交流ブリッジ方式の比較

	直流ブリッジ方式	交流ブリッジ方式
長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>ゲインドリフトが小さい。</li> <li>Cバランスが不要であり、ケーブル延長に有利。</li> <li>高速応答が可能。</li> <li>直線性がよい。</li> <li>2次較正がやりやすい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ゼロドリフトが小さい。</li> <li>外部ノイズに比較的強い。</li> <li>比較的安価(市販の場合)。</li> <li>インダクタンスタイプのセンサーに使える。</li> </ul>
短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>ゼロドリフトが大きい。</li> <li>外部ノイズにやや弱い。</li> <li>やや高価(市販の場合)。</li> <li>インダクタンスタイプのセンサーには使えない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ゲインドリフトが大きい。</li> <li>Cバランスが必要で、ケーブル延長に不利。</li> <li>応答性がある。</li> <li>直線性に劣る。</li> <li>2次較正がやりにくい。</li> </ul>

研究速報

図10 三軸圧縮試験結果プリントアウトの1例

TC-CD-52

1980.7.30

\*\*\* CONSOLIDATION STAGE \*\*\*

BACK PRESSURE= .5 (KGF/CM\*\*2)

SIGMA A'	SIGMA R'	K	EA	EV	ER	E
(KGF/CM**2)	(KGF/CM**2)		(%)	(%)	(%)	
0.45976	0.45000	1.00051	0.00000	0.00000	0.00000	0.66848
0.99864	1.00000	1.00136	0.03970	0.03987	0.02508	0.66698

\*\*\* SHEAR STAGE \*\*\*

SIGMA A'	SIGMA R'	Q	1/K	Q/P'	EA	EV	GAMMA
(KGF/CM**2)	(KGF/CM**2)	(KGF/CM**2)			(%)	(%)	(%)
1.45480	1.00000	0.45480	1.45480	0.39493	0.06620	0.03748	0.08056
2.06342	1.00000	1.06342	2.06342	0.78511	0.13244	0.07497	0.16116
2.42320	1.00000	1.42320	2.42320	0.95527	0.19873	0.08997	0.25311
2.75987	1.00000	1.75987	2.75987	1.10919	0.26506	0.10498	0.34510
3.05130	1.00000	2.05130	3.05130	1.21828	0.33143	0.10498	0.44466
3.25253	1.00000	2.25253	3.25253	1.28654	0.39785	0.09748	0.54904
3.40957	1.00000	2.40957	3.40957	1.33597	0.46432	0.08997	0.65149
3.58688	1.00000	2.58688	3.58688	1.38908	0.53092	0.09247	0.75500
3.72028	1.00000	2.72028	3.72028	1.42655	0.59737	0.06747	0.86233
3.94224	1.00000	2.94224	3.94224	1.48542	0.70055	0.02245	1.08462
4.14137	1.00000	3.14137	4.14137	1.53453	0.85393	-0.02252	1.30715
4.29585	1.00000	3.29585	4.29585	1.57049	0.99748	-0.08248	1.53745
4.40534	1.00000	3.40533	4.40534	1.59492	1.13121	-0.14239	1.76801
4.53701	1.00000	3.53701	4.53701	1.62322	1.26511	-0.20227	1.99880
4.64669	1.00000	3.64669	4.64669	1.64594	1.39920	-0.27708	2.23733
4.75679	1.00000	3.75679	4.75679	1.66801	1.53346	-0.36578	2.48358
4.84388	1.00000	3.84388	4.84388	1.68495	1.66790	-0.44145	2.72259
4.90883	1.00000	3.90883	4.90883	1.69732	1.80253	-0.52355	2.96557
4.99602	1.00000	3.99602	4.99602	1.71355	1.93734	-0.60558	3.20879
5.14784	1.00000	4.14784	5.14784	1.74088	2.27481	-0.83654	3.63049
5.27572	1.00000	4.27572	5.27572	1.75318	2.61343	-1.05954	4.44991
5.40695	1.00000	4.40695	5.40695	1.78493	2.95319	-1.31913	5.08935
5.51439	1.00000	4.51439	5.51439	1.80230	3.29412	-1.57065	5.72550
5.55467	1.00000	4.55467	5.55467	1.80868	3.63621	-1.81416	6.36139
5.61809	1.00000	4.61809	5.61809	1.81850	3.97947	-2.07916	7.00679
5.68058	1.00000	4.68058	5.68058	1.82823	4.32392	-2.32877	7.65027
5.61094	1.00000	4.61094	5.61094	1.81749	4.66956	-2.59241	8.30055
5.62912	1.00000	4.62912	5.62912	1.82031	5.01640	-2.84075	8.94497
5.64759	1.00000	4.64759	5.64759	1.82316	5.36444	-3.09577	9.59454
5.68775	1.00000	4.68775	5.68775	1.82931	5.71370	-3.34286	10.24200
5.68366	1.00000	4.68366	5.68366	1.82883	6.06418	-3.58935	10.89099
5.67954	1.00000	4.67954	5.67954	1.82805	6.41590	-3.83523	11.54150
5.67503	1.00000	4.67503	5.67503	1.82737	6.76886	-4.07329	12.18990
5.66977	1.00000	4.66977	5.66977	1.82556	7.12307	-4.29639	12.83282
5.64286	1.00000	4.64286	5.64286	1.82243	7.47853	-4.52618	13.48090
5.61598	1.00000	4.61598	5.61598	1.81827	7.83527	-4.75544	14.13060
5.58839	1.00000	4.58839	5.58839	1.81398	8.19328	-4.96988	14.77492
5.45056	1.00000	4.45056	5.45056	1.79224	8.55258	-5.16950	15.41370
5.42317	1.00000	4.42317	5.42317	1.78758	8.91317	-5.39315	16.06130
5.37325	1.00000	4.37325	5.37325	1.77937	9.27527	-5.58205	16.70362
5.34491	1.00000	4.34491	5.34491	1.77466	9.63929	-5.77346	17.34420
5.31591	1.00000	4.31591	5.31591	1.76980	10.00290	-5.95035	17.97940
5.26521	1.00000	4.26521	5.26521	1.76122	10.36870	-6.12693	18.61653
5.21463	1.00000	4.21463	5.21463	1.75254	10.73590	-6.30320	19.25550
5.16317	1.00000	4.16317	5.16317	1.74357	11.10450	-6.45824	19.89570
5.09022	1.00000	4.09022	5.09022	1.73055	11.47440	-6.61264	20.51790
4.99527	1.00000	3.99527	4.99527	1.71342	11.84570	-6.75298	21.14510
4.94309	1.00000	3.94309	4.94309	1.70375	12.21840	-6.87910	21.76720
4.84750	1.00000	3.84750	4.84750	1.68565	12.59250	-6.99107	22.38430
4.73058	1.00000	3.73058	4.73058	1.66282	12.96802	-7.09592	22.99590
4.65544	1.00000	3.65544	4.65544	1.64772	13.34490	-7.16574	23.60200
4.58038	1.00000	3.58038	4.58038	1.63250	13.72320	-7.22855	24.19910
4.50570	1.00000	3.50570	4.50570	1.61650	14.10300	-7.29131	24.80010
4.45199	1.00000	3.45199	4.45199	1.60508	14.48420	-7.34005	25.39630
4.41936	1.00000	3.41936	4.41936	1.59799	14.86590	-7.38189	25.99120
4.36612	1.00000	3.36612	4.36612	1.58527	15.25100	-7.43063	26.59180
4.33382	1.00000	3.33382	4.33382	1.57926	15.63650	-7.47238	27.19110
4.30166	1.00000	3.30166	4.30166	1.57180	15.02370	-7.51412	27.79270
4.22827	1.00000	3.22827	4.22827	1.55498	16.41240	-7.55260	28.40000

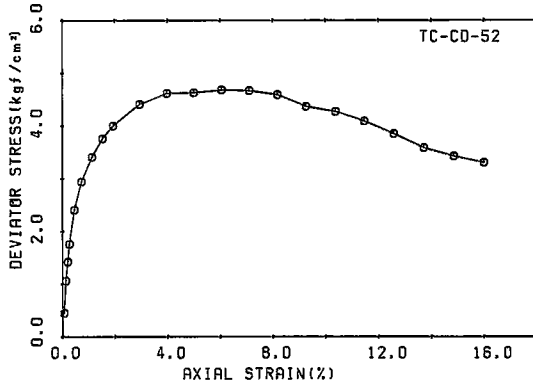


図11 三軸圧縮試験結果図化例一偏差応力  $\sigma_1 - \sigma_3$  ~ 軸ひずみ  $\epsilon_a$  関係一(豊浦砂,  $D_r = 96.6\%$ ,  $\bar{\sigma}_c = 98 \text{ kN/m}^2 (1 \text{ kgf/cm}^2)$ )

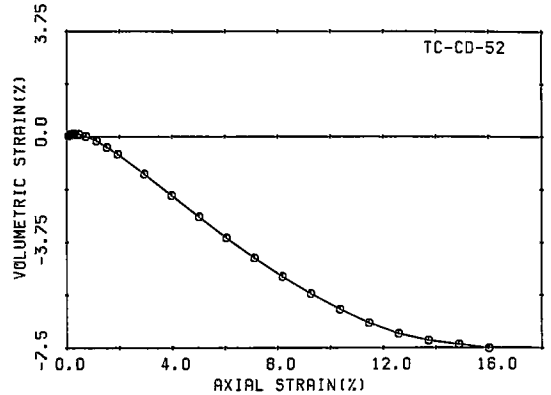


図12 三軸圧縮試験結果図化例一体積ひずみ  $v$  ~ 軸ひずみ  $\epsilon_a$  関係一(豊浦砂,  $D_r = 96.6\%$ ,  $\bar{\sigma}_c = 98 \text{ kN/m}^2 (1 \text{ kgf/cm}^2)$ )

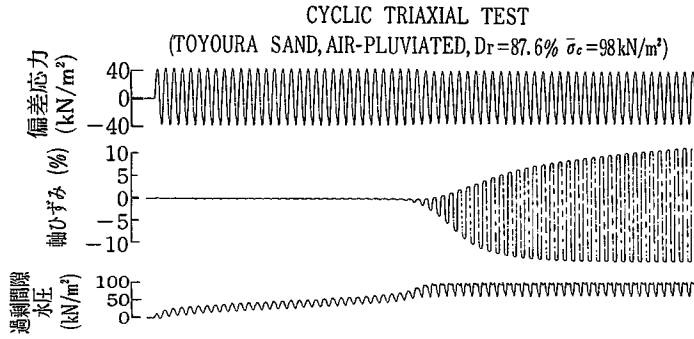


図13 動的三軸試験結果の1例 (豊浦砂,  $D_r = 87.6\%$ ,  $\bar{\sigma}_c = 98 \text{ kN/m}^2 (1 \text{ kgf/cm}^2)$ )

3-3. データ収録および処理(図2\* 参照)

3-3-1. 静的試験

静的試験のデータ収録はマイクロコンピュータを用いて行う。当研究室で用いているのは、TEAC製のPS-80であり、A/Dコンバータボードを内蔵している。このA/Dボードは、マルチプレックスキャナを内蔵しており、16 CHのサンプリングを行うことができる。

なお、チャンネル間のスキャン時間は、120  $\mu\text{sec}$ でありこの偏差は、静的試験のようなゆっくりした試験では全く問題がない。

A/Dコンバータの入力電圧は約5Vであるため、必要に応じてアンプの出力にアッテネッタを入れて、その範囲内に収める必要がある。なお、A/Dは12bitであり、分解能は2.5mVである。12bitのデータを16bitの整数型の変数に割り当て、サンプリングを行う。マイコンのRAMは16Kであるので、プログラムの余裕を除いては8000個のデータを収録できる(実際には、1000個程度のデータ数で土質試験には十分である)。

\*新しい土質試験システムI

—三軸試験機本体の設計・製作—

龍岡 文夫・佐藤 剛司

サンプリングしたデータは、各種の補正計算をプログラム内で行い、応力状態、ひずみ状態を計算し、デジタルカセットテープに記録する。

データのプリントアウトおよび図化はこの記録したテープを用いてRAMを48Kに拡張した専用のマイコンで行う。以上のブロックダイアグラムを図2\*プリントアウト結果を図10に、図11, 12に図化の結果を示す。

3-3-2. 動的試験

現在は、図2\*に示すように、一度アナログマグネットテープに収録したものをを用いて、X-Yレコーダーをアナログ電圧で作動させて図13のように作図している。この方式だと、そのまま論文に用いるほどの鮮明な図面を得ることができる。また、テープに記録したものをA/D変換した後、マイクロコンピュータを用いて各種の解析を行うことも可能である。

4. あとがき

我々が、現在使用しているシステムは、とても完成されたというのではなく、あちこちに改良の余地を残している。さらに改良・改善された段階で、また、報告をしたいと思っている。(1980年10月22日受理)