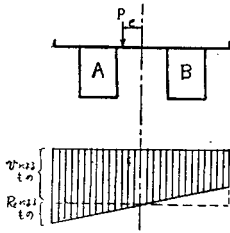


る5階線型常微分方程式が得られる。

ここで、 $m_{zi} = m_i = \text{const.}$  とおき、5個の独立な境

図-10 桁Aのeに対する曲げモーメント影響線



界条件を満足させれば、 $\phi$  及び  $\psi$  を求めることができる。次に、図-10における主桁Aの曲げモーメントを  $M_z$  とすれば

$$M_z = -EJ_b \left( \frac{b}{2} \frac{d^2 \phi}{dz^2} - \frac{b-a}{2} \frac{d^2 \psi}{dz^2} + \frac{d^2 v}{dz^2} \right) \dots \dots \dots (6)$$

$v$  は2箱桁が共同して働らくものと考えたときの桁のタワミである。

前に求めた  $\phi$  及び  $\psi$  を(6)式に代入すれば、たとえば桁Aのeに対する影響線は図-10のようにな

る。ただし本文中の図-5は、対傾構などの存在を考慮して2箱桁を結ぶ全断面が変形しないものとして計算したものである。

註) なお、ここに述べた方法は一種の近似計算であるが実用上十分な精度を有することは確かめられている。また厳密には箱断面に対しては、 $C_b$  及び  $EC_w$  の値も従来の理論値よりいくぶん修正されねばならないが、これらについては別の機会に説明したいと思う。

参考文献

- 1) 小西一郎：箱桁橋梁、橋梁工学の最近の動向、土木学会関西支部(昭.29.3)
- 2) 平井 敦：「鋼橋I」p. 36(技報堂)
- 3) 小西一郎・山田善一：既設鋼道路橋の振動減衰について、土木学会誌第38巻第10号(昭.28.10)
- 4) 文献 2) p. 33
- 5) ブライヒ：「鋼橋の理論と計算」p. 586
- 6) 奥村敏恵：熔接組立材の挫屈に関する研究(第1報) 熔接学会誌, 21巻10号(昭.27.10)

## 上椎葉アーチダムの堤体内部の諸実測に関する基礎的コンクリート試験

正員 君 島 博 次\*

### BASIC TESTS ON CONCRETE IN CONNECTION WITH THE MEASUREMENT PROGRAM OF THE INTERIOR BEHAVIOR OF KAMISHIIBA ARCH DAM.

(JSCE Aug. 1955)

*Hirotsugu Kimisima, C.E. Member*

**Synopsis** A first high arch dam (110m) has been completed in Japan by Kyūshū Electric Power Co. Inc., and intensive measurement program, by using Carlson meters is under going, to investigate adquacy of design assumptions, to indicate conditions during its construction and to obtain instructive data for futur works.

For stresses and strains analysis, it is necessary to know the basic properties of concrete.

The author picked up a few experiments and their results in this report and introduced: (1) properties of raw materials and concrete mixture, (2) Instant and sustained modulus fo elasticity, (3) Poisson's Ratio of concrte.

**要旨** 上椎葉アーチダムの堤体内部の応力等の諸実測に関連して基礎的な材料力学的試験としてコンクリートの瞬間弾性係数、持続弾性係数及びポアソン比を

〔I〕 コンクリートの概略性質

(1) コンクリートの試験結果と使用材料の概略説明  
セメントは日本セメントKK佐伯工場、小野田セメントKK津久見工場、宇部セメントKK宇部工場の中層熟セメントを用いた。この仕様の一部及び各ロットごとの試験結果の一例は表-1のとおりである。骨材は当地産の硬砂岩を最大骨材 150mm 以下 4種の粗骨材とロッドミルによる人工砂1種に粉砕、フィル分けて使用した。石質は非常に軟かく、未風化のもの

はショア硬度で約80前後、圧縮強度は2000 kg/cm<sup>2</sup>程度、弾性係数 0.7×10<sup>4</sup> kg/cm<sup>2</sup>程度であつた。

打設コンクリートは混合水の15%程度のフレークアイス混入及び1"パイプ埋設によるパイプ冷却により温度上昇を抑制している。代表的配合を表-2に、また夏季・冬季及び春季打設コンクリートの諸性質を表-3に示してある。

〔II〕 マスコンクリートの瞬間弾性係数

(1) 概説 表題のマスの意味はダムコンクリートのように大きな構造物では、ごく表層以外は実用上コンクリート含水量の変化がなく、従つてこの実測では含水量変化を防止して弾性係数を求めたものであり、特に瞬間の文字を付したのは、実在のダムでは荷重は大部分持続してかかるのでクリープを生じ、決して実用

\* 九州電力上椎葉水力発電所建設所

表一 上椎葉ダム用セメント試験成績表

1. 化学成分					
項	目	単位	試験結果	規格	記事
強熱減量 (Ig. loss)		%	0.84	<2.0	
不溶解残分 (Ins. Res.)		%	0.31	<0.75	
珪酸 ( SiO <sub>2</sub> )		%	23.65	—	
礬土 ( Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		%	4.61	—	
酸化第二鉄 ( Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		%	3.89	—	
石灰 ( CaO )		%	63.95	—	
苦土 ( MgO )		%	1.22	<3.0	
無水硫酸 ( SO <sub>3</sub> )		%	1.10	<2.0	
珪酸三石灰 (3CaO·SiO <sub>2</sub> )		%	39.5	<50	
珪酸二石灰 (2CaO·SiO <sub>2</sub> )		%	38.1	—	
礬土酸三石灰 (3CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		%	5.6	<7.5	
水和熱 (Heat of Hydration)	7日 (7 days)	cal/gr	62.5	<70	
	28日 (28 days)	cal/gr	74.6	<80	
2. 物理試験					
比重 (Specific Gravity)			3.21	JIS	
粉末度 (Fineness) Wagner Turbidimeter		cm/gr	1890	>1.700	
安定度 (Soundness): Autoclave Expansion		%	0.01	<0.5	
凝結時間 (Time of Setting) 温度 (Temperature)		°C	20.5	JIS	
始発時間 (Initial Setting)		hr-m	2-24	JIS	
終結時間 (Final setting)		hr-m	4-15	JIS	
圧縮強度 (Compressive Strength)					
3日 (3 days) 温度 (Temp)	20.1°C	kg/cm <sup>2</sup>	98	>(40)	
7日 (7 days) "	20.2°C	kg/cm <sup>2</sup>	176	>90	
28日 (28 days) "	20.3°C	kg/cm <sup>2</sup>	290	>220	
91日 (91 days) "	°C	kg/cm <sup>2</sup>		>320	
曲げ強度 (Bending Strength)					
3日 (3 days) "	20.1°C	kg/cm <sup>2</sup>	24.5	JIS	
7日 (7 days) "	20.2°C	kg/cm <sup>2</sup>	38.0	JIS	
28日 (28 days) "	20.3°C	kg/cm <sup>2</sup>	55.8	JIS	
91日 (91 days) "	°C	kg/cm <sup>2</sup>		JIS	

ゲージのエクステンソメーターで、瞬間弾性係数 (今後簡単のため  $E_i$  と記す) を求めた。

さらに  $E_i$  と強度との関係も求めてみた。というのも  $E_i$  は後述する持続弾性係数と異なり、構造力学的値は少ないが材料力学的意味の一つの指針として有意義なものであり、ことに無破壊強度試験法として大いに利用価値があるものと信ずる。

(2) 実験装置及び方法

a) 実際にダムに打設中の配合コンクリートをバッチャープラントで採取し、最大骨材 80 mm になるようにウェットスクリーンして 30×60 cm の供試体を、土木学会標準仕方書によりパイプレーターをかけて締め固め、中央にカールソンヒズミ計を埋込んで位置方向を確認しつつ供試体を作製した。同時に強度との関連性を求めるため 15×30 cm 供試体 18 個も同一

表一 2 代表的ダムコンクリート配合表

名称	150 mm A 配合		80 mm A 配合		B 配合		C 配合		モルタル		秤量精度	
配合番号	206A-1		176A-1		207B-1		303C		3GB-1		B配合のとき	
w/c(%)	51.5		53%		57.1%		65.8%		53%			
G/S	3.0		2.3		3.0		2.6		—			
	示	方	示	方	示	方	示	方	示	方		
	現	場	現	場	現	場	現	場	現	場		
単位	kg/m <sup>3</sup>	l/2.5 m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	l/2.5 m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	l/2.5 m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	l/2.5 m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	l/m <sup>3</sup>	%	
セメント	235	1300	250	1380	210	1160	190	1050	519	1140	0.86	
水	121	590	132	650	120	580	125	620	275	610	1.7	
砂	514	2830	607	3340	519	2840	574	3160	1390	3060		
利	1542	—	1396	—	1558	—	1492	—			1.4	
内	玉	463	2560	—	—	467	2580	404	2220			1.6
	大	463	2560	698	3860	467	2580	492	2720			1.6
	中	308	1710	419	2340	312	1740	298	1660			1.1
	小	308	1750	279	1580	312	1760	298	1700			1.1
A E 剤											0.1	

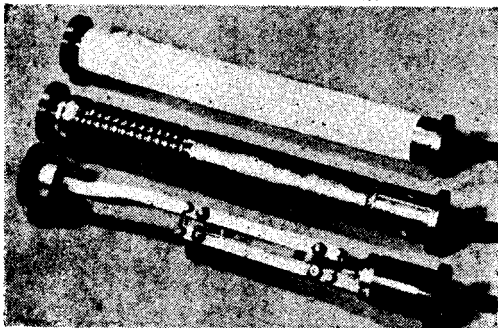
土も弾性的な変形を生じないから、これはのちに述べることにして、ここでは実用上弾性的変形を生ずると考えられる範囲、すなわちクリープを生じない短時間内に載荷及び除去して、応力とヒズミの実測した。なお念のためこの実験をチェックするためにバッチャープラントで各リフトごとの強度調査用に採取する 15×30 cm 供試体約 600 個についても、各種配合別、材令 28 日と 91 日について 1/1000 mm ダイヤル

コンクリートで作製し、標準養生を行い、各種材令のときに破壊強度を求めた。なお前記大型供試体は 24 時間約 19°C 前後の室内に放置してのち脱型、ただちに側面に急乾性塗料のラッカーを何度も繰返し吹付け塗装し、完全な防水性及び膜ができたのを確認してのち、この上に溶融パラフィン塗布し綿布で巻付け、さらに溶融パラフィンを塗布して念を押し、側面からの水分蒸発を無くした。上下面は側面に比し水分蒸発

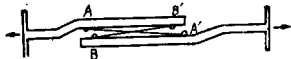
表-3

配合	A 配合			B 配合			C 配合			
	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	
	単位: kg/cm <sup>2</sup>									
6	セメント	254	240	247			200	189	193	
	水	135	124	129			55	116	124	
	W/C	54.1	51.1	52.0			31.8	60.2	65.5	
	G/S	2.35	2.20	2.30			2.80	2.57	2.64	
	スラック%	8.0	3.0	5.7			7.2	3.6	5.4	
	空気量%	5.5	3.3	4.7			5.0	3.7	4.1	
	V/C	2.5	2.1	2.3			3.20	2.58	2.80	
	単位重量	2370	2291	2345			2372	2242	2320	
	7日	192	99	145			124	76	102	
	28日	366	217	284			279	146	208	
	91日	454	350	403			350	246	317	
	打設温	7日						169	145	163
28日							519	297	307	
打設温	19.6	14.5	16.0				19.5	17.0	16.4	
年のF.M.										
弾性係数	28日	0.42	0.26	0.33			0.32	0.22	0.28	
91日	0.49	0.33	0.38				0.41	0.28	0.31	
7	セメント	254	242	249	209	211	210	173	189	191
水	137	128	131	133	114	121	129	115	123	
W/C	57.5	51.2	52.0	63.2	54.8	57.5	68.0	60.5	64.5	
G/S	2.40	2.20	2.30	3.04	2.82	2.90	2.84	2.10	2.50	
スラック%	7.0	3.9	4.9	7.0	2.5	4.7	7.5	2.2	4.3	
空気量%	5.5	3.0	4.0	4.6	3.0	3.7	5.0	3.7	4.2	
V/C	2.48	2.10	2.25	2.82	2.71	2.43	3.00	2.53	2.74	
単位重量	2385	2248	2342	2377	2317	2350	2340	2278	2314	
7日	204	110	150	179	114	145	126	76	104	
28日	336	251	298	316	257	286	310	162	227	
91日	474	342	400	447	344	390	366	261	371	
打設温	7日	172	153	163						
28日	313	291	304							
打設温	20.0	17.6	18.8	17.5	17.5	18.0	20.5	17	18.5	
年のF.M.	2.89	2.69	2.77							
弾性係数	28日	0.44	0.23	0.32	0.35	0.28	0.32	0.40	0.19	0.29
91日	0.51	0.32	0.40	0.37	0.30	0.35	0.46	0.25	0.36	
8	セメント	257	232	246	237	210	221			
水	129	114	126	134	110	122				
W/C	58.6	47.9	51.2	60.9	51.3	55.6				
G/S	3.18	2.91	3.00	3.14	2.79	2.99				
スラック%	8.0	4.0	6.6	8.9	5.7	6.6				
空気量%	5.2	3.0	4.0	5.2	2.6	4.0				
V/C	2.41	1.84	2.15	2.48	2.02	2.35				
単位重量	2414	2315	2361	2412	2313	2360				
7日	195	97	137	170	91	130				
28日	362	224	274	304	181	244				
91日	448	328	392	435	302	356				
打設温	7日	150	141	147	158	125	145			
28日	306	268	283	329	263	290				
打設温	12.5	3.0	7.9	12.0	3.0	8.0				
年のF.M.	2.97	2.78	2.85	3.01	2.79	2.90				
弾性係数	28日									
91日	0.52	0.31	0.41	0.44	0.27	0.38				
9	セメント	254	241	246	227	207	213	209	185	193
水	141	115	130	132	109	121	136	112	122	
W/C	57.8	46.8	52.9	62.8	51.0	57.2	73.3	56.7	63.5	
G/S	2.41	2.28	2.32	3.02	2.73	2.91	2.98	2.66	2.77	
スラック%	9.2	2.2	5.5	9.2	1.5	5.9	8.0	2.2	5.3	
空気量%	5.2	3.2	4.5	5.1	2.9	4.1	5.3	3.0	4.3	
V/C	2.40	1.94	2.13	2.67	2.10	2.41	3.20	2.35	2.73	
単位重量	2400	2287	2342	2372	2307	2349	2381	2304	2342	
7日	188	114	151	162	98	129	122	87	99	
28日	299	230	279	315	242	260	241	147	198	
91日	451	312	377	421	318	372	346	230	291	
打設温	7日	172	143	160	179	144	161	126	165	
28日	309	297	302	313	290	298	316	293	293	
打設温	16.0	9.5	13.0	15.0	9.8	12.6	16.0	9.5	13.2	
年のF.M.	2.92	2.61	2.76				2.87	2.68	2.75	
弾性係数	28日	0.40	0.26	0.35	0.41	0.28	0.34	0.45	0.22	0.30
91日	0.47	0.29	0.38	0.39	0.35	0.37	0.49	0.26	0.34	

図-1 カールソンヒズミ計



機構略図

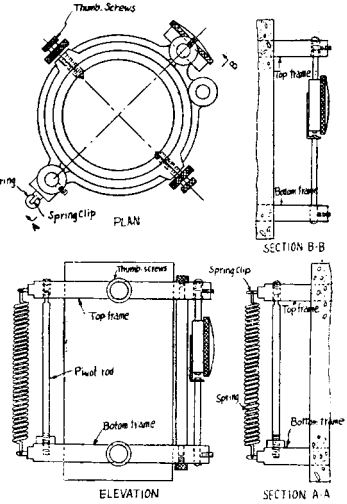


も少なく、完全被覆不可能であるので、薄いラッカー皮膜を作つてのち湿布でカバーして常時湿砂を置き、湿潤に保ちつつ恒温室に保存してある。各所要の材令になつたらアムスラー強度試験機にかけて同時に荷重とヒズミを読み取り  $E_i$  を求めた。同時に前記供試体 (15×30 cm) も破壊して強度を調べることにした。

b) 小型供試体 (15×30 cm) によるもの

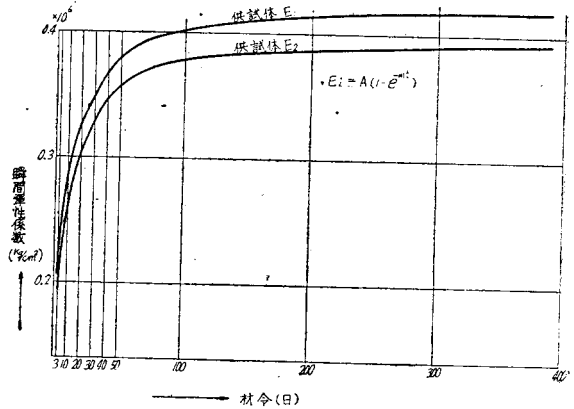
の破壊強度を求める前にこれよりはるかに低い応力のうちで、材令 28 日及び 91 日における  $E_i$  を米国開拓局の方法でやはりアムスラー加圧強度試験機にかけて  $E_i$  を求めた。エキス

図-2 縦方向変形測定装置



テンソメーターは 図-2 に示す。  
a) 試験結果: 大型供試体 2 個の各種材令すなわち 3, 7, 14, 28, 60, 91 日, 6 か月, 1 年における  $E_i$  の増加は 図-3 とおりである。

図-3 各種材令における瞬間弾性係数の変化



b) この  $E_i$  とコンクリート強度との関係は 図-4 のとおりである。

c) 昭和 29 年 1 月中旬から 7 月中旬まで半年の間にダムに打設したすべてのコンクリートについて採取した各種配合別の供試体 10 づつ平均強度と平均  $E_i$

図-4 瞬間弾性係数と強度との関係  
(大型供試体による)

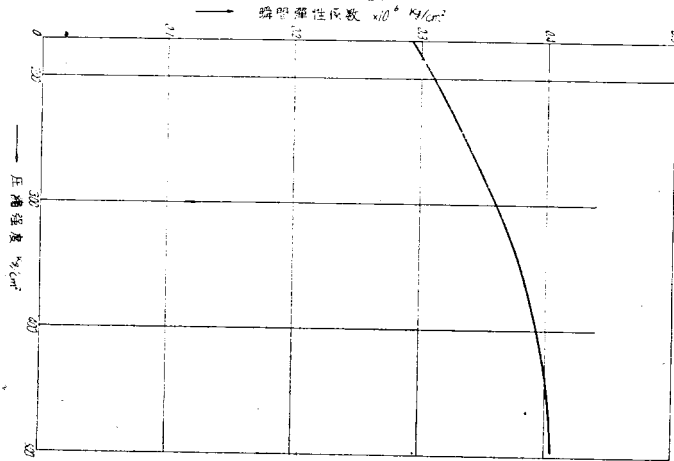
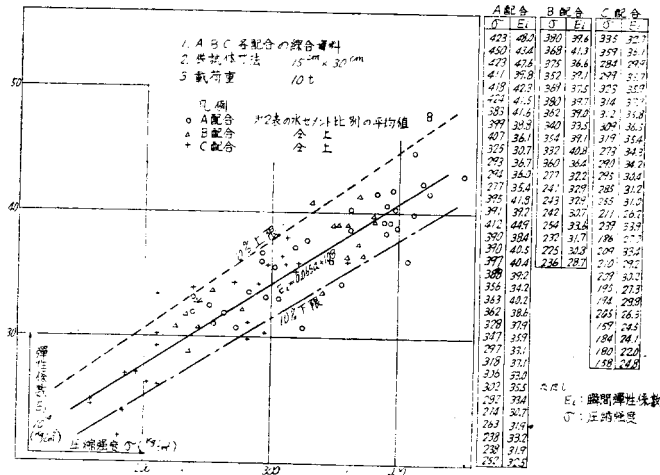


図-5 圧縮強度-弾性係数の関係



との関係は 図-5 に示してある。

(4) 所見

a) ヒズミの範囲が供試体に無害と考えられる  $200 \times 10^{-6}$  程度を生ぜしめた場合でも、カールソンヒズミ計のように精密な計器で測ると (精度  $3.7 \times 10^{-6}$  のヒズミまで測れる)、応力-ヒズミの関係はわづかではあるが直線的でなく、3~5 回の繰返し測定 の平均値を取っている間にわづかのヒステレシスを残して 0 点に戻らなかった。

b) 大型供試体の  $E_i$  は材令とともに案外いつまでも増加するが、実用上はほぼ半年で大部分の増加が終っている。カーブを見るとセメントの断熱発熱曲線、すなわち  $E_i = A(1 - e^{-mt})$  に依っているようである。強度との関係は、材令が増すにつれて強度増進の方が大きい。

c) 小型供試体によるものは強度  $E_i$  の偏差がかなりあるので、10個づつの平均値を取って図表にプロットした。こうしないと全面に点が飛散してまとまりがなくなつた。この場合の強度と  $E_i$  の関係を直線で表わし  $\pm 10\%$  の限界を設けるとほとんどの諸点はこの中にはいつた。

d) w/c 別供試体サイズ、従つて最大骨材別の影響はまだ調べていない。本実験の大型供試体は最初から w/c を一定にした方がよいが、そうするとそのコンクリートはダム打設のものと同なつたコンクリートを特にするようになるので、あえてウェットスクリーンしたわけである。

e) 種々の塗料塗布による水密性はほぼ完全と思うが、実際はまだ調べていないし、恒温室も不完全で夏と冬では若干の温度差を生じている。

【III】 マスコンクリートの持続弾性係数

(1) 概説 コンクリート構造物にある荷重を加えると、ある一定の弾性ヒズミを生ずると同時に、もちろん十分弾性限度内の荷重であつてもこれを持続してかけて置くと徐々にヒズミは増大してゆき、長期間には想像以上の大きなヒズミ、ある場合には初めの弾性ヒズミの 1~4 倍も

大きなヒズミを生ずるものである。次にこの荷重を除去すると、ほぼ最初のカーブと同じで符号のみが逆のヒズミを生じて変形は回復するが、その一部は無限大の時間を与えないかぎり完全に復元しない。この現象をクリープと称し、コンクリートの性質、環境、載荷始めの材令、荷重の持続時及び発生応力の大きさ、等によつてほぼクリープヒズミの大きさが決まってくる。そこで構造物の応力を測定ヒズミから計算するには、瞬間弾性係数を用いては多くの場合無意味であつて、クリープヒズミを考慮に入れた弾性係数、すなわち持続弾性係数 (今後簡単のため  $E_s$  と記す) を用いねばならない。

ところがこの  $E_s$  は数学的取扱いをしようとする前記の種々の要因が混入してきてはなはだ困難であ

り、実用的には不可能である。そこで少々精度は落ちるとしても（実際はかえつて精度は上昇するかも知れないが）、大過無くクリープを考慮に入れた  $E_i$  すなわち  $E_s$  を決めて応力を計算するには、実験室で現用コンクリートをマスコンクリートの環境に合うようにしてクリープヒズミを求め、これから  $E_s$  を計算するのが最も簡便かつ確実である。米国開拓局もこの方法をすすめているし、装置も種々工夫され改良されている。もちろん上記のマスコンクリートの環境に近づけるということは、工費、装置、時間等の関係で種々の制約を受け、なかなか困難なことであり、精度上からも完全とは云いきれないが、一応の精度で  $E_s$  を求めることは、ダム の 構造力学上の測定解析にもぜひ必要なことである。

実験の目的、経過を理解しやすくするため、クリープについて一言したい。

マスコンクリートのクリープは、実験的には一応密封供試体に、所要の温度と方向、大きさの持続荷重をかけて測ることができるもので、一般のハリや密封しない供試体の実験では、含水量の変化を生じてダムの  $E_s$  としては全然無意味なものとなる。この意味から米国開拓局では、かなりこの種の実験が行われているが、わが国では行われていない。まづマスコンクリートのクリープの性格はこれらの実験研究の結果次の性質を有することが判明している。すなわち

a) コンクリートのクリープは結晶構造の破壊や滑動を含まない遅延性の弾性変形であつて、金属や粘性固体の塑性フローとは異なる。

b) 普通の作用応力の範囲では、クリープは応力に比例するが、応力が破壊強度に近づくとき急激に増大する。

c) コンクリートの変化しゆく性質の、材令の影響を取入れるならば、すべてのクリープは回復性のものである。

d) クリープは (+)(-) の符号とは実用上無関係で、そのときの応力の符号 (+)(-) のいづれかに比例する。

e) クリープには重累の法則が適用される。

f) クリープに対し材令は二重作用をなす。すなわちクリープヒズミは載荷始めの材令に逆比例し、載荷の継続時間に比例する。

g) シャスターダムでは下記の3次元の曲面がクリープヒズミを表わす式としてよく一致した。

$$\epsilon = 1/E_i + f(K) \log_e(t+1)$$

ここに  $\epsilon$  : 全ヒズミ/単位荷重,  $f(K)$  : 載荷始め材令の函数,  $E_i$  : 瞬間弾性係数,  $t$  : 載荷継続日数

そこでもし上記のような仮定と方程式でクリープヒズミを含めた全ヒズミが求められるものとすれば、クリープは、応力の大きさに比例するし、かつ簡単に  $E_i$  が求められるから  $f(K)$  が明瞭なかぎり数式的に求められることになる。一方実験的には各種の載荷始め材令例えば 3日, 7日, ……91日, 半年, 1年等のコンクリートについて、各種の荷重持続日数、例えば 3日, 7日, ……91日, 半年, 1年等の期間の単位荷重による総ヒズミを実験して求めると、この総ヒズミは  $(1/E_i + \text{クリープヒズミ})$  となり、考えるある期間の  $E_s$  は  $1/(1/E_i + \text{クリープヒズミ})$  となるから、この期間のみは  $E_s$  一定として各期間ごとに  $E_s$  の平均値を求めればよく、一定でなければ、実用上一定とみなされるまでいくらでも期間を短縮して、その期間ごとの  $E_s$  が求められることになる。一般に材令が若いうちはクリープヒズミが大きいので、期間を小さくとり、91日以後は大きくとつてもさしつかえない。

そこで筆者は実験的に総ヒズミ、及び  $E_s$  を求めると同時に、これを一般化して面倒で長期間を要する実験を省くために、実験式より前記シャスターダム の 方程式に類似した式を想定して、最小2乗法にもついで方程式を決定してみた。なお同時に実用上便利なように、補助カーブと表をつけたから、利用しようと思えばこれらを用いて、任意の載荷始め材令、継続期間の持続荷重のうちの  $E_s$  を求めることができる。

(2) 実験装置及び方法 インターポレーションの不正を除くためには、なるべく多数の供試体を作り、種々の材令で荷重をかけ始めたいが、高価な装置のため5個の供試体を作ることにして、載荷始めの材令は3日, 7日, 28日, 91日, 半年とした。次に極力大型の供試体が望ましいが、一方においては発生応力を破壊強度の  $1/3 \sim 1/5$  程度までなるべく大きく与えるために、加圧装置が直径の2乗に比例して大規模となるので制限を受け、当所では  $20 \times 40$  cm の供試体サイズを用いることにした。供試体用コンクリートは実際ダムに使用しているそのままが好ましいので、バッテリープラントにおいて打設中のB級コンクリートを横取りし、60 mm のフルイでウェットスクリーンして、これを特製型枠に標準仕様書によつて填充した。同時に強度対照用に  $15 \times 30$  cm 供試体も8個作製し、後者は標準養生を行つた。これらのコンクリートの性質は表-4のとおりである。

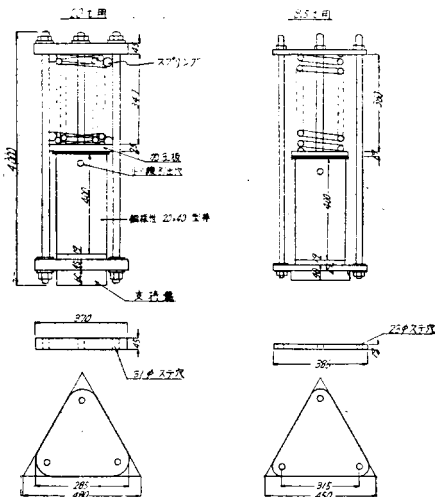
なお前記特製型枠とは、本供試体は、マスコンクリートの特性たる含水量の変化を無くするため、長期にわたり完全密封を施さねばならないので、あらかじめ正確に作製しておいた0.2 mm厚さの銅板容器であつ

表-4

打設ブロック	BL 6	モル強度	7日	150	
標高	EL 404~406	圧縮	28日	292	
配合番号	207 B-1	タダ	91日	483	
最大骨材	150 mm	モル強度	7日	35.2	
	セメント	210 kg	圧縮	28日	57.9
	水	120 kg	タダ	91日	73.0
	w/c	571	打設温度 °C	6.5	
示方配合	G/S	3.0	混合水温 °C	2.0	
	セメント	214	氷混入量 %	8.0	
パンチ記録	水	119	セメント温度 °C	12.8	
	w/c	55.8	骨材温度 °C	7.0	
変気量 %	G/S	2.97	砂の F.M.	2.57	
	ランプ cm	6.8 cm	瞬間弾性係数	$0.416 \times 10^6$	
洗分	重量	2359.7	91日 (kg/cm <sup>2</sup> )	$0.403 \times 10^6$	
	析出	56.2	平均値	$0.41 \times 10^6$	
コンクリート強度	圧縮	100	表面水量	6.2	
	強度	28日	小砂利	3.5	
		91日	中砂利	1.0	

て直径 20 cm, 高さ 40 cm の円形供試体ができるようにこしらえたものである。この供試体を 24 時間及び約 15°C の室内に放置し、ついで上面にキャッピングをしたただちに同一材料の銅蓋をかぶせ、四周を厳重にハンダ付して水分の蒸発を絶無にする。もちろん供試体中心には、鉛直にカールソンヒズミ計を埋設し、あらかじめ設けてある側面のロート状小孔よりリード線を引出した。この小孔の間隙部にはグリースを十分に塗布し、さらに上から溶融ピッチを塗り盛り上げ、この部分からの水分蒸発を防止する。養生は加圧装置の関係で水中養生ができないので、既述の恒温室に静置し、所定の期日がくれば順次加圧機にかけること

図-6 クリープ試験装置



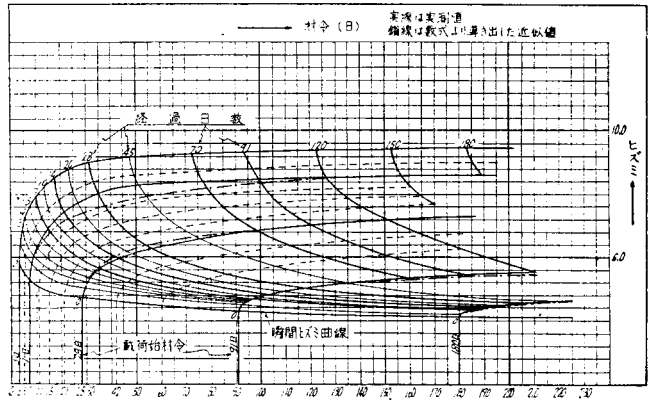
にした。

加圧装置は、供試体軸に平行で鉛直な一様荷重を長期間保たせることが必要であるから、これを満足する仕様を決めて設計をした。図-6 にこの略図を示してある。次に直径 20 cm の供試体に、破壊強度の 1/3 ~ 1/5 程度の大きな応力を与える、永久ヒズミの極力小さい強固なスプリングと頑丈な保持金具を要し、しかもときどき加圧試験機にかけて、荷重のチェックができる範囲の大きさや重量に制限されねばならない。このために 20 t 加圧機は特殊鋼の支柱と三重のスプリングが入用になった。

5 個の供試体はおのおの 3日, 7日, 25日, 91日, 半年の材令において 4, 8, 16, 19, 21 t の荷重をかけたおのおの 12.7, 25.5, 50.4, 60.5, 66.8 kg/cm<sup>2</sup> の応力を発生させた。最初の 2 カ月間は毎月 2 回、その後は月 1 回程度加圧装置をそのまま試験機にかけて、スプリングの永久ヒズミによる応力緩和を防止するよう

図-7 単位持続荷重による総ヒズミ-材令曲線

(ただし総ヒズミ=弾性ヒズミ+クリープヒズミ, 単位荷重=1 kg/cm<sup>2</sup> の応力を生ずる荷重)



に荷重のチェックをする。今日のところ多くて 2 回程度も締付けるとほぼ一定の応力となっている。所定の応力を生じたときのヒズミと温度をヒズミ計で読み取り、これを単位荷重 1 kg/cm<sup>2</sup> によるヒズミに計算してカーブにプロットした。

### 3. 結果

前記の各種荷重開始材令における単位荷重 1 kg/cm<sup>2</sup> によるヒズミ 曲線を求めると 図-7 のようなカーブが得られた。次にこのヒズミ曲線よりクリープヒズミを考慮に入れた弾性係数として  $E_s$  を

$$E_s = 1 / (1/E_0 + \text{クリープヒズミ})$$

から計算すると総ヒズミ及び  $E_s$  は 表-5, 6 のようになる。

次にこの結果の一般化を計るために、数式で表わしてみることにする。

まづ総ヒズミは弾性ヒズミすなわち瞬間ヒズミとク

表-5 総累加ヒズミ表 (ただし単位持続荷重による総ヒズミ)

経過日数	3	5	7	11	15	21	28	42	60	91	180	360
瞬間値	4.83	4.32	4.07	3.79	3.63	3.50	3.42	3.27	3.10	2.83	2.72	
1	5.55	5.00	4.69	4.34	4.10	3.89	3.77	3.57	3.33	3.11	2.80	
2	5.82	5.21	4.85	4.53	4.28	4.05	3.89	3.66	3.42	3.16	2.83	
3	6.15	5.40	5.05	4.66	4.39	4.18	4.00	3.72	3.49	3.19	2.88	
4	6.65	5.75	5.37	4.98	4.69	4.39	4.17	3.87	3.53	3.22	2.90	
5	7.00	6.15	5.76	5.31	5.00	4.69	4.39	4.00	3.61	3.30	2.92	
7	7.40	6.62	6.13	5.67	5.28	4.90	4.54	4.10	3.70	3.35	2.94	
9	7.61	6.82	6.32	5.82	5.43	5.05	4.69	4.29	3.80	3.40	2.98	
12	7.92	7.09	6.62	6.08	5.68	5.28	4.83	4.43	3.81	3.50	3.03	
15	8.17	7.31	6.84	6.27	5.85	5.44	4.95	4.50	4.00	3.59	3.10	
19	8.42	7.55	7.11	6.49	6.02	5.60	5.09	4.61	4.19	3.65	3.14	
23	8.60	7.75	7.32	6.68	6.16	5.70	5.21	4.70	4.20	3.72	3.20	
28	8.72	7.99	7.52	6.85	6.31	5.80	5.34	4.81	4.30	3.80	3.22	
42	8.92	8.21	7.80	7.18	6.64	6.11	5.66	5.09	4.59	3.96	3.30	
60	8.99	8.31	7.91	7.39	6.87	6.33	5.90	5.32	4.81	4.11		
91	9.17	8.50	8.04	7.61	7.20	6.72	6.29	5.79	5.10	4.32		
120	9.24	8.65	8.14	7.70	7.34	7.00	6.50	5.88	5.36	4.46		
150	9.30	8.75	8.26	7.75	7.40							
180	9.38	8.80	8.38									

表-6 持続弾性係数表 (ただし  $E_s = \frac{1}{\frac{1}{E_i} + \text{クリープヒズミ}}$ )

経過日数	3	5	7	11	15	21	28	42	60	91	180	360
瞬間値	0.207	0.231	0.246	0.264	0.275	0.285	0.292	0.306	0.323	0.353	0.367	
1	0.180	0.200	0.213	0.230	0.244	0.257	0.265	0.280	0.300	0.321	0.357	
2	0.172	0.192	0.206	0.221	0.234	0.247	0.257	0.270	0.292	0.316	0.353	
3	0.163	0.185	0.198	0.214	0.228	0.239	0.250	0.269	0.287	0.313	0.347	
4	0.150	0.174	0.186	0.201	0.213	0.228	0.240	0.258	0.283	0.310	0.345	
5	0.143	0.163	0.173	0.188	0.200	0.213	0.228	0.250	0.277	0.303	0.342	
7	0.135	0.151	0.163	0.176	0.189	0.204	0.220	0.244	0.270	0.298	0.340	
9	0.131	0.146	0.158	0.172	0.184	0.198	0.213	0.233	0.263	0.294	0.355	
12	0.126	0.141	0.151	0.164	0.176	0.189	0.207	0.226	0.262	0.286	0.330	
15	0.122	0.137	0.146	0.159	0.171	0.184	0.202	0.222	0.250	0.278	0.323	
19	0.118	0.132	0.140	0.154	0.166	0.178	0.196	0.217	0.239	0.274	0.318	
23	0.116	0.129	0.136	0.149	0.162	0.175	0.192	0.213	0.238	0.269	0.312	
28	0.114	0.125	0.133	0.146	0.158	0.172	0.187	0.208	0.232	0.263	0.310	
42	0.112	0.122	0.128	0.139	0.150	0.163	0.177	0.196	0.218	0.252	0.303	
60	0.111	0.120	0.126	0.135	0.145	0.158	0.170	0.188	0.208	0.243		
91	0.109	0.117	0.124	0.131	0.139	0.149	0.159	0.172	0.196	0.231		
120	0.108	0.115	0.123	0.130	0.136	0.143	0.154	0.170	0.186	0.224		
150	0.107	0.114	0.121	0.129	0.135							
180	0.106	0.113	0.119									

図-8 クリープヒズミ図

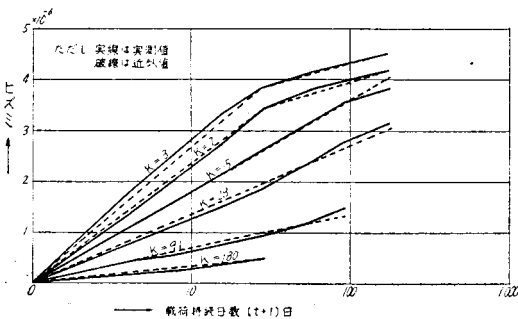
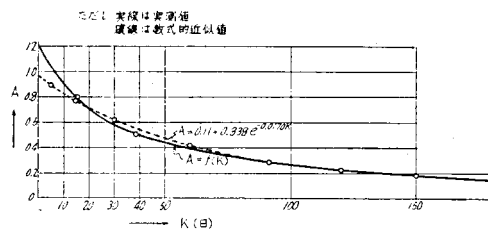


表-7

K	3日	7日	15日	28日	91日	180日
A	{ 1.16 0.35*	{ 1.02 0.23*	0.79	0.58	0.28	0.15

図-9  $A=f(K)$  曲線



リープヒズミ  $Q$  の和と考  
え、前者は問題でないので  
後者  $Q$  を解析することにする。  
クリープヒズミを表わ  
す式は昔から種々考えら  
れ、代数的・指数式・対数式、  
等あるが一応ここでは対数  
方程式を用いることとし、

$$Q = A \log_e(1+t)$$

と仮定してみる。

ここに

$Q$ : 単位荷重によるク  
リープヒズミ  $\times 10^6$

$A$ : 載荷始めの材令  $K$   
(日)により定まる係数

$t$ : 荷重の持続期間(日)

まづ測定したクリープヒ  
ズミをセミログの方眼紙に  
縦軸にヒズミを、横の  $\log$   
目盛に持続日数を取り、プ  
ロットすると 図-8 のよ  
うになった。これによると  
 $K=3, 7, 15$  日、…半年等に  
ついて、いずれもほぼ直線  
となっているので、これら  
の直線の勾配が前記クリー  
プ方程式の  $A$  に相当する場  
合である。この  $A$  を表示す  
ると次のようになる。ただ  
し 図-8 の破線を採用する  
なお次に、 $A=f(K)$  と  
考えて  $A$  を縦軸に、 $K$  を横  
軸に実測値からプロットす  
ると 図-9 のようになり

最小2乗法を用いて指数方程式で表わしてみると下式は近似的に一致する。

すなわち  $A=f(K)=0.11+0.84e^{-0.017K}$  となりこのカーブも 図-9 に併記しておいた。

従つて結局  $Q=(0.11+0.84e^{-0.017K})\log_e(1+t)$  が当所コンクリートのクリープカーブに近似している。

そこでこれを任意の  $K$  及び  $t$  に対して計算した値が 表-6 に記載してあるから これを利用すればクリープヒズミは簡単に求められる。

表-6 単位荷重によるクリープヒズミ  
(ただし種々の  $K$  および  $t$  について)

K (日)	t (日)	3	7	15	30	60	90	120	180
	$\log(1+t)$		1.39	2.08	2.77	3.43	4.11	4.51	4.80
A									
3	$\frac{1.16}{(0.35)}$	1.61	2.41	3.21	3.93	4.17	4.31	4.41	4.55
7	$\frac{1.02}{(0.23)}$	1.42	2.12	2.83	3.45	3.61	3.70	3.77	3.86
15	0.79	1.10	1.64	2.19	2.71	3.25	3.56	3.79	4.11
30	0.56	0.78	1.16	1.55	1.92	2.30	2.53	2.69	2.91
60	0.38	0.53	0.79	1.05	1.30	1.56	1.71	1.82	1.98
90	0.28	0.39	0.58	0.78	0.96	1.15	1.26	1.34	1.46
120	0.22	0.31	0.46	0.61	0.75	0.90	0.99	1.06	1.14
150	0.18	0.25	0.37	0.50	0.62	0.74	0.81	0.86	0.94
180	0.15	0.21	0.31	0.42	0.51	0.62	0.68	0.72	0.78

\*  $K=3.7; >28$  の場合  
 $Q=A_1 \log 29 + A_1' (\log(1+t) - \log 29)$   
 $\log 29=3.37$

$E_i$  または弾性的瞬間ヒズミは簡単に実験室で求められるから、総ヒズミは、総ヒズミ=弾性ヒズミ+ $Q$ となり、 $E_s$ は単位荷重のときの総ヒズミを求めさえすれば  $E_s=1/(\text{弾性ヒズミ}+Q)$  から簡単に求められ、面倒で時間のかかるクリープ実験を行わなくて済むことになる。なお 図-7 にこの方程式から計算したカーブも併記してある。

4. 所 見

a) 加圧機については、正確な作動状況、荷重の保持等が、チェックの結果予想以上に容易に正確にできた。

b) 水密容器も正確にできたが、ハンダづけ後の水密性の検査法がないのでこれを確認してはいない。しかしほぼ満足に目的を達していると推定される。

c) 養生法及び環境については水密性以外実際のダムとはかなり異なるというのは温度変化がダムで生ずると同じように保つことは当所ではできなかつたので、恒温室に置いたためセメントのゲル構造等で実際とは異なつたであろう。次に実際のダムは三軸応力を生じているが、これも装置の関係で当所では不可能であつたので、一軸応力だけにした。実際是三軸応力がときとともにいろいろの大きさに変わるであろうし、こ

れに類似させることは不可能であろうと思う。同時に三軸応力の際のクリープは、一軸の場合とははなはだしく異なるであろうとも考えられるので、この研究は今後の課題として残されている。

d) おもにセメントの性質によると思われるが、クリープヒズミはかなり大きく、しかも予想以上に長期にわたつても発生している。今後も観測を継続してゆくが、この方面の研究も望まれる。

e) 供試体は強度でも明らかとなっており、偏差がかなりあるので、わずかな個数の実験で結論を下すのは尚早であるが、一応の基準としてはこの結果も実験の精度値等より妥当なものと思ぜられる。

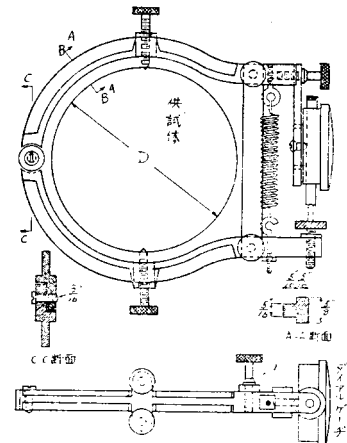
[IV] ダムコンクリートのポアソン比測定

(1) 概説 すべての弾性体の2次元的または3次元の変形応力を取扱う場合には、ポアソン比(今後簡単のため  $\mu$  と記す)の影響が関係してくることは明らかなことである。例えばアーチまたは片持バリのセン断力による変形を考えれば、セン断弾性係数を  $G$  としたとき  $G=E_c/2(1+\mu)$  (ただし  $E_c$  はコンクリートの弾性係数)として  $\mu$  が混入してくるし、ダムコンクリートの拘束応力を考えた場合でも、これはハリでないから、やはり応力には  $1/(1+\mu)$  または  $1/(1+2\mu)$  なる形で  $\mu$  が混入してくるのである。

しかるに  $\mu$  の知識に関しては案外乏しく、簡単にハンドブック等から  $\mu=0.16\sim 0.25$  程度を仮定しており、当アーチダムの計算も  $\mu=0.2$  として設計されている。そこで当所の諸材料を用いたコンクリートについて実測することにして、1/1000 mm 読みのダイヤルゲージ2個を用意し米国開拓局の方法を採用して、バッチャープラントで採取する強度調査用の  $15 \times 30$  cm 供試体約 300 個について  $\mu$  を算定した。

2) 実験装置 図-10 横方向変形測定装置

装置及方法 図-2, 図-10 のような装置を製作し、供試体に固定し、ネジの弛み“ガタ”の無いのを確認して荷重をかけ始め、2人で同時に縦横2方向の変形を読んで算定する。加圧試





験機はアムスラーの普通の強度試験用加圧機で、毎年1回検定を受けているものである。

(3) 結果 種々の材令・荷重・配合別の  $\mu$  の値は表-7 のとおりである。ただし個数とは測定した供試体総個数のことである。

表-7

荷重別 (t)	配合別	個数 (個)	材令 (7日)	個数 (個)	材令 (28日)	個数 (個)	材令 (91日)	個数 (個)	平均値
10	A	14	0.11	25	0.13	22	0.14	61	0.13
15	A	13	0.13	23	0.16	20	0.15	56	0.15
20	A	9	0.16	15	0.17	15	0.16	39	0.16
10	B			6	0.14	5	0.18	11	0.16
15	B			5	0.15	5	0.18	10	0.17
20	B			3	0.14	3	0.18	6	0.16
10	C	5	0.20	27	0.12	20	0.13	52	0.13
15	C	5	0.27	26	0.14	19	0.16	50	0.16
20	C			16	0.17	14	0.16	30	0.17
総平均		46	0.15	146	0.15	123	0.15	315	0.15

表-8

荷重別 (t)	配合別	個数 (個)	材令 (7日)	個数 (個)	材令 (28日)	個数 (個)	材令 (91日)	個数 (個)	平均値
20	A	9	0.16	15	0.17	15	0.16	39	0.16
"	B			3	0.14	3	0.18	6	0.16
"	C			16	0.17	14	0.16	30	0.17
総平均		9	0.16	34	0.17	32	0.16	75	0.16

荷重 10 t のときは明らかに精度が落ちるので特に

荷重 20 t のときの材令別・配合別  $\mu$  を抽出して表記すると表-8 のとおりである。

#### (4) 所 見

a) ダイアルゲージによるエクステンソメーターは自働記録ができず、刻々変化してゆく読みの不正確、完全な固定の困難等で精度上不十分な点が多い。

b) 従つて測定値にはかなり偏差が混入し、多数の平均値を取らないと不確実な点がある。

c) 結果をみると常に荷重 10 t の場合は  $\mu$  が小さいが、これはダイアルゲージの接触不完全等の影響が、荷重が小さい間は横方向変形量に大きく響き、従つて精度上特に落ちるのがわかつたので当所ではこれは省くことにした。

d) 荷重の大きい 20 t の場合は、精度上も針の動きが定常、円滑になり、優れていると信ぜられるので、特に抜きだして  $\mu$  の平均値を求めた。

e) 表-7, 8 の結果から見ると、配合別・材令別の差異は認められず、いずれも  $\mu=0.13\sim0.17$  の間(荷重 10 t の場合を除く)にある。

f) 表-8 によると  $\mu$  の総平均値は 0.16 であり偶然 Hiwasee Dam の実測値と一致した。

g) 結局当ダムコンクリートのポアソン比  $\mu$  は荷重 15 t と 20 t の場合の 191 個の平均値として 0.16 と決定した。

## 土の物理試験方法の規格に対する推計学的検討

准員 浅川 美利\*

### A STATISTICAL DISCUSSION FOR THE STANDARD OF PHYSICAL TEST OF SOIL

(JSCE Aug. 1955)

Mitoshi Asakawa, C.E. Assoc. Member

**Synopsis** In determining the physical constants of soil, the technical processes are provided by JIS, but method of pertinent sampling, size of samples and basis of confidence of observation values, etc. were not yet designated. The author made some discussions and modifications on these problems with statistical method.

**要旨** 土の物理的試験方法として JIS に規定されているのは、いわゆる実験についての技術的取扱及び試料準備の方法のみにとどまっている。しかし土の物理的常数値を決定するための規格として、技術的方法のみを指定しただけでは十分なものであるとはいえない。

たとえば (i) 標本の大きさの指定, (ii) 適切なサ

ンプルングの方法, (iii) 測定値のバラツキの処理, (iv) 測定値の信頼度の基準の設定, 等をどのように取扱えばよいかといった問題を検討し, これらの基準や管理の指定を施したものを規格条件として加えなければならない。

本研究は以上のような観点から、土の物理的試験方法の規格に付加的な修正を試みようとして着手したもので、その方法として推計学、特に管理図法を応用し

\* 日本大学大学院, 建設工学専攻生