

ソイルコンクリートの研究 I

大手 桂 二*

KEIJI OHTE: Studies of Plastic Soil-Concrete I

要旨 近年の骨材潤濁状態にかんがみ、現場で容易に入手できる材料でコンクリートが作りえないものかという見方から、二三の土について試験を行なった。その結果、1) 土自体個々の性質をもっているため、結合材としてのセメントの作用が十分発揮されない面がある。それで多くの土についてその物理的、化学的性質について確かめる必要がある。2) 本試験の範囲内ではセメント量の増加につれてソイルコンクリートの強度は増大する。3) フライアッシュセメントは、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントほどの強度は望めない。4) ソイルコンクリートの曲げ強度と圧縮強度との関係は

$$\sigma_b = 1.1\sigma_c^{0.69} \quad (11.5\text{kg/cm}^2 \leq \sigma_c \leq 163.0\text{kg/cm}^2)$$

なる実験式で近似される。5) ソイルコンクリートの材令28日における圧縮強度は、水セメント比説あるいは空隙説のいずれかで推定が可能である。ことがわかった。

I. はじめに

近年の骨材需要の急激な増大は、表1にみられるように、いちじるしいものがある。

表1 骨材需要状況(通産省調べ)

年次	砂利(1000 ton)	砕石(1000 ton)
昭和31年	70,219	5,500
〃 32年	77,387	7,060
〃 33年	79,367	7,403
〃 34年	91,008	11,651
〃 35年	128,808	14,950
〃 36年	152,000	20,500
〃 37年	165,600	24,600

河川砂利の乱掘によって、従来の河川構造物に被害もでることになり、全国主要河川ではほとんど採取禁止にならざるをえない状況である。かかる骨材資源潤濁の現象は、われわれ治山砂防現場においても等閑視できない状況に直面しているのである。

従来から道路工学の分野での土の安定処理の問題として用いられている、ソイルセメントに関しては、幾多の土質工学的研究がなされ、土の粒度と安定処理の問題¹⁾、締め固めの問題²⁾、含有有機物のソイルセメントの強さに対する影響^{3,4)}などが解明されつつあるが、プラスチックソイルセメントについては、ソイ

ルセメントの施工にさいして、最適条件で実施できぬ場合、たとえば施工断面が小で十分な締め固めができない場合に、セメント量を約4%だけ増加して、モルタルのやわらかさになるように必要な水量を加えて用いる。とのみ記載^{5,6)}されて、ほとんど研究がなされていない現状である。しかし、佐藤政徳⁷⁾および森山徹也⁸⁾などは、それぞれ治山の現場において、日頃のたゆまぬ努力の結晶を治山研究会において発表されている。すなわち、前者は熊本県阿蘇山山腹の土を用いて詳細な試験を行ない、後者は兵庫県赤穂郡上郡町での溪床に流下堆積した崩土を用いて、谷止工を施工され、いずれも貴重な資料として評価しなければならないと考えられる。

筆者は、以上の諸氏の御研究を多としながらも、なお骨材事情の悪化、さらには労務問題の深刻化などに対処すべく、治山砂防現場で容易にかつ安全に施工しうるようなソイルコンクリートが作りえないものか、もっと単純に掘りとった土にセメントを混入するだけでコンクリートにはなりえないものだろうかという見方から本研究を始めたものである。

コンクリートは、セメント、水、細骨材および粗骨材より成るもので、この骨材に当る部分を現場で容易に入手できる土で代用させることが可能かどうかというのである。土には種々様々な土があり、これらとコンクリート用骨材と明確に分けられる点といえば、粒度

* 京都府立大学農学部砂防工学研究室

Laboratory of Sabō Engineering, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Kyoto, Japan.

昭和43年7月30日受理

であってコンクリート骨材用フルイの最小目盛である 0.15mm の通過にある制限を設けているのが土木学会標準示方書の標準粒度である。したがってこれらの標準から外れる骨材に対しては、はっきりと使用してはならないとはいわずに、その骨材の使用には責任技術者の許可があればよいことになっている。ゆえにこゝで試みようとする土を骨材と考えて——ほとんどの場合 0.15 mm フルイ通過量が標準粒度より多いのであるが——この細粒部分(主としてシルト、粘土)を有効に使ってゆけばこの問題は解けるのではないかと考えるのである。一方同じ標準示方書の骨材における有害物質の規定の中に粘土塊に対する制限がなされている。これらの粘土塊は普通の状態では、それ自身で団粒構造をなしたり、塊状に存在し、通常のコンクリートの練り混ぜ作業では容易に分散せず塊のまま、コンクリートの中に入り込み、コンクリートに害をおよぼす原因となるのである。したがって、この塊をうまく分散させることができれば、同じ有害物質の規定の中で碎石粉は有害物質と認められていないように、コンクリート骨材として十分に使用できるのではないかと考えるのである。というのは、現場でえられる土は多くの場合、シルト、粘土を多量に含むものと覚悟しなければならぬ、これらの土粒子を一つ一つの粒子に分散させることができれば、これらの粒子間の結合をセメントの水和作用で受け持たせれば申し分ない訳である。

ついで問題となるのは、土はその産地、現場によってそれぞれ物理的性質から化学的性質に至るまで、全くおなじ性質の土というものを求めることは困難であ

るといっても過言ではない。このような複雑な状態にあるものをどのように整理整頓してゆき、それがソイルコンクリートとどのような相関関係があるのかといった問題、あるいは、セメントを使用する場合、セメントの水和作用を阻害するような物質が土の中に含まれている場合がしばしばおこりうる。たとえば、有機物質である。コンクリートの細骨材では示方書による標準色より濃い場合その骨材の使用にさいしては責任技術者の許可が要ると規定されている。土の場合にもこの条件を適用できるだろうが、もっと明確な基準が決められないものかどうか、などの未知の分野ばかりで何から手をつけてよいか、的をしぼれぬまゝに、とりあえずどんなコンクリートができるかと試みた結果を報告して御批判を賜りたいと感ずる次第である。

II. 試験の方法

i) 試験材料

試験に用いた土は、表2、表3および図1に示したように、建設省琵琶湖工事事務所管内信楽地区の花こう岩起源の風化残積土(以後信楽と呼ぶ)、建設省木津川砂防工事事務所管内名張地区のおなじく花こう岩起源の風化残積土(名張)および建設省松本砂防工事事務所管内焼岳地区の泥流堆積土(焼岳)の三種を用いた。

表2および図1から、名張だけがシルト分にとむ砂質ロームであって信楽、焼岳ともに以外にも細粒部の流亡した砂であった。表3にあげた土の化学的性質としては、セメントの水和作用に悪影響をおよぼすと考えられる、土中の含有有機物の量として、もっとも簡

表2 粒度試験結果

試料	比重	レキ分 %	砂分 %	シルト分 %	粘土分 %	60%径 mm	10%径 mm	均等係数	三角座標分類
信楽	2.59	52.8	42.2	5.0	—	3.5	0.2	17.5	砂
焼岳	2.69	9.0	84.0	3.0	4.0	0.46	0.12	3.8	砂
名張	2.75	15.0	61.0	16.5	7.5	0.52	0.009	57.7	砂質ローム

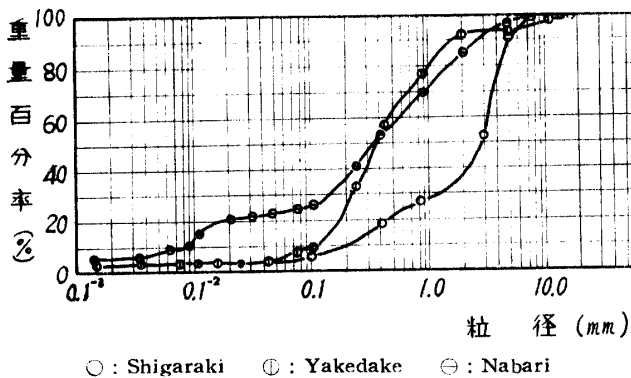


図1 供試土の粒度分布曲線

表3 二三の化学的性質

試料	有機物定量		置換度 γ_1	pH	
	C (%)	腐植 (%)		H ₂ O	1N-KCl
信楽	1.29	2.23	3.32	6.0	4.0
焼岳	1.28	2.20	0.71	6.0	6.2
名張	1.30	2.24	0.95	7.5	4.8

単に定量できるものとして炭素含有量および置換酸度 (y_1) および pH を測定した. 土中の有機物といっても, 前掲の Clare と Sherwood が行なった結果のように, 多種多様な形で存在し, 明確に定量するには, 時間的にも, 技術的にも困難がともなうので, 一応炭素含有量で代用してみたのである. その結果は表3のとおり三つの試料ともほとんど差を認めることができず, 1.28~1.30%, 有機物含有量にしても2.19~2.21%とほとんど有機物はないといった土であった. というのも, 信楽, 名張ではおよそ有機物とは縁のうすい13層以下の土であり, 焼岳は泥流堆積土でありながら焼岳の各掘沢が大正池に向ってフラッシュして細粒部がほとんど流亡してしまっているようなものであることから当然の結果といえる.

次に使用したセメントは, 市販のアサノセメント K.K. の普通ポルトランドセメント, および高灰セメント B種と四国電力製のフライアッシュを30%混入した, フライアッシュ混入セメントの三種類とした. それぞれの強度試験の結果を表4に示す. いずれも正常なセメントと認めることができる.

表4 セメントの試験結果

セメントの種類	σ_{28} 曲げ強度 (kg/cm ²)	σ_{28} 圧縮強度 (kg/cm ²)
普通ポルトランドセメント	73.4 (40以上)	383.3 (220以上)
高灰セメント (B種)	88.5 (38以上)	350.3 (210以上)
フライアッシュセメント (30%)	56.7 (38以上)	296.4 (210以上)

ii) 試験の手順

前記の各材料を用いて試験を行なうのであるが, まずセメント量をどう決定するか, 水の量をどれぐらいにするかによって大いにその性質がことなってくるので, 前者については, 現在使用しているソイルセメントのセメント量は空気中乾燥状態における土量に対する割合で決められているが, 本試験では水量をある程度正確に知っておきたいために, 絶乾状態における土

表5 因子と水準の総括表

因子	水準		
A. 土の種類	A ₁ : 信楽	A ₂ : 焼岳	A ₃ : 名張
B. セメントの種類	B ₁ : P.C.	B ₂ : 高灰(B種)	B ₃ : P.C.+F.A.
C. セメント量	C ₁ : 10%	C ₂ : 15%	C ₃ : 20%
D. 水の量(フロー値)	D ₁ : 180mm	D ₂ : 190mm	D ₃ : 200mm
E. 練り混ぜ時間	E ₁ : 4min.	E ₂ : 6min.	E ₃ : 8min.
F. 締め固め回数	F ₁ : 10回	F ₂ : 15回	F ₃ : 20回

量に対する重量%で表わし, その量はソイルセメントの量よりやや多く10, 15, 20%と, 後にのべる多量の水量からくる強度の減少を補なう意味で用いることとした. ついで水の量としては, 前にものべたごとく, 土粒子の細粒部の分散がどの程度行なわれるかが, 本試験でのキポイントであるとの観点から, 一番手近かにえられる分散剤としては水よりほかはないので, 多量に用いてどろどろ練りの状態にしてどのような結果がえられるか, といってもそこにはある程度の目安というものがなければということから, モルタルフロー試験を行ない, そのフロー値が, 180, 190, 200 になるように徐々に水量を加えていくことにより使用した水量を求めた. その他, 前記のセメントの種類3種, と材料の練り混ぜ時間, 締め固め回数等を要因にとって試験を行なった. 以上の各因子と水準を表5に示す.

表5における因子水準を L₂₇型直交表にしたがってわりつけを行ない, それぞれの各実験ナンバーごとに配合計算を行ない, さらにそれぞれの試験の手順にしたがって, 供試体(4×4×16cm)を各6本づつ作成し 21°±3°C の標準水中養生を行ない. 材令7日, 28日, 90日に各2本の強度試験を行ない資料とした. その結果を表6に示す. なお90日強度は割愛させていただく.

さらに供試体作成時に型枠にソイルコンクリートを詰め終わったのちその重量を測定しソイルコンクリートの単位容積重量を求めそれらから空隙比, 空隙セメント比, セメント空隙比, およびセメント水比等を求めてみたのが表7である.

なお強度試験にさいして使用した試験器は, 曲げ試験については, 円井製作所製ミハリエス二重テコ式抗折試験器を用い. 圧縮試験は丸東製作所製 100ton 圧縮曲げ材料試験器(最小目盛 10kg)を用いて行なった.

III. 結果の検討

i) 各因子と圧縮強度

表5にあげた因子と水準によって試験を行ない, 表6による材令7日および28日の強度について分散分析を行なった結果を表8に示す.

この結果, 圧縮強度に関しては, やはり当然のこととはいえ, 土の種類, セメントの種類およびセメント量の3因子について有意な差が現われており, 土の種類といってもそれぞれの物理的性質, あるいは化学的性質が強度にどのような影響をおよぼすかはまだ未解決であって明確な結論は下せないのであるが, 表3に

表6 強度試験結果

Number	7-days Strength (Kg/cm ²)						28-days Strength (Kg/cm ²)					
	Bend. St.		Comp. St.				Bend. St.		Comp. St.			
1	7.9	8.0	16	18	14	18	15.9	15.8	74	74	66	68
2	14.0	13.6	28	34	33	38	23.1	23.8	88	88	103	103
3	17.1	17.3	56	43	36	55	33.3	30.3	126	135	131	146
4	4.7	4.7	22	11	15	11	7.5	7.5	40	35	38	41
5	9.4	11.7	26	29	28	26	13.5	12.1	57	66	61	58
6	19.7	17.1	79	63	75	69	24.5	28.1	119	124	141	122
7	5.6	5.6	25	24	23	24	9.3	8.3	50	39	39	41
8	10.8	10.5	31	43	39	38	18.2	21.0	78	73	97	92
9	13.8	12.9	48	48	52	49	22.0	23.5	108	94	83	70
10	6.6	6.3	20	22	19	20	8.8	9.1	24	25	32	35
11	12.9	11.5	35	40	37	29	19.9	17.4	73	65	81	63
12	19.9	20.4	69	61	70	57	27.9	27.4	150	134	154	123
13	7.0	6.6	24	24	25	26	9.0	10.3	53	47	34	28
14	12.6	14.0	48	48	48	54	25.9	26.9	66	83	71	76
15	17.1	22.0	89	79	83	87	37.9	45.1	156	135	113	134
16	5.9	6.6	11	11	11	11	7.4	7.9	19	16	13	16
17	10.1	9.1	33	31	22	25	17.3	14.8	38	31	45	46
18	17.6	16.9	55	63	48	48	25.2	24.6	103	86	95	77
19	7.0	6.6	13	11	14	12	10.4	10.2	15	16	17	16
20	21.8	24.1	64	47	70	53	37.1	38.5	120	91	97	89
21	22.5	26.2	81	82	99	106	42.1	53.1	102	90	171	155
22	19.1	23.0	106	108	119	98	23.1	19.4	64	50	41	63
23	22.2	21.5	83	85	55	66	38.9	36.9	111	112	115	127
24	21.1	20.6	86	76	83	88	44.0	38.6	88	122	124	128
25	6.1	6.1	28	31	30	31	10.2	8.1	14	14	14	9
26	6.8	7.7	13	12	16	14	13.9	15.1	29	30	36	30
27	11.2	10.1	24	19	27	23	20.2	21.5	52	59	56	59

表7 空げき量空げきセメント比, セメント空間比およびセメント水比の計算値

Number	V(%)	V/C	C/V+C	C/W	Number	V(%)	V/C	C/V+C	C/W
1	40.0	87.6	0.102	0.322	15	39.5	42.7	0.190	0.639
2	39.2	58.5	0.146	0.512	16	39.1	72.0	0.122	0.348
3	37.7	42.7	0.190	0.683	17	37.0	45.6	0.180	0.533
4	39.9	84.4	0.106	0.355	18	35.0	32.7	0.234	0.715
5	39.1	56.5	0.150	0.524	19	42.9	95.2	0.095	0.250
6	37.4	41.1	0.196	0.739	20	45.6	73.7	0.119	0.373
7	38.8	72.4	0.121	0.371	21	42.2	50.0	0.107	0.529
8	36.1	46.2	0.178	0.539	22	42.1	89.2	0.101	0.283
9	35.9	35.7	0.219	0.717	23	40.6	58.4	0.146	0.396
10	40.3	85.5	0.105	0.313	24	41.3	46.9	0.176	0.531
11	39.4	56.0	0.152	0.515	25	44.5	90.8	0.099	0.260
12	39.8	44.5	0.184	0.675	26	42.1	56.4	0.148	0.352
13	36.5	69.8	0.125	0.381	27	41.1	43.2	0.188	0.491
14	40.5	57.1	0.133	0.469					

表8 強度試験の分散分析表

Factor	7-days Bending Strength				7-days Compressive St.			
	ss	df	ms	$\rho(\%)$	ss	df	me	$\rho(\%)$
A	190.93	2	* 95.47	7.79	6936	2	3468	5.45
B	340.79	2	**170.39	15.03	15790	2	* 7895	16.60
C	905.36	2	**452.68	42.27	22076	2	*11038	24.40
D	80.60	2	40.30	2.48	3658	2	1829	1.37
E	49.09	2	24.55	0.95	2475	2	1373	0.22
F	34.44	2	17.22	0.25	1494	2	747	—
A × B	278.60	4	* 69.65	12.00	13072	4	3628	9.94
A × C	64.11	4	16.03	1.68	3446	4	862	—
e ₁	87.97	6	14.99	—	7698	6	1283	—
T'	2031.89	26	—	—	76915	26	—	—
e ₂	40.34	27	1.49	—	2939	27	109	—
T	2076.23	53	—	—	79854	53	—	—

*: 危険率5%で有意 ** : 危険率1%で有意

Factor	28-days Bend. St.				28-days Comp. St.			
	ss	df	ms	$\rho(\%)$	ss	df	ms	$\rho(\%)$
A	591	2	295	—	3424	2	* 1712	1.6
B	1	2	—	—	28899	2	**14450	15.0
C	1348	2	674	—	113198	2	**56599	61.8
D	284	2	142	—	3254	2	1627	1.6
E	1114	2	557	—	3611	2	1806	1.8
F	1116	2	558	—	6	2	3	—
A × B	4049	4	1012	—	11415	4	2854	5.9
A × C	2896	4	724	—	1850	4	463	0.9
e ₁	4557	6	759	—	5495	6	916	—
T'	14955	26	—	—	171152	26	—	—
e ₂	192	27	71	—	11461	27	424	—
T	15147	53	—	—	182613	53	—	—

あげた炭素含有量なり pH といってもそれほどセメントの水和作用に重大な影響をおよぼしたとは考えられず、したがって強度に差が出たとすると物理的性質すなわち、比重なり、粒度分布なりのちがいが強度に差の出た原因とみなせるのではないかと考えられるのである。しかし、これらの性質は、それぞれの現場での個有のもので本試験のように、たった3個の試料からでは、これと強度との関係を論ずるのは早計で、この点もっと多くの試料によって、データを積み重ねてのちに検討してみたい。つぎにセメントの種類に有意差なのでたのは、高炉セメントの強度が材令7日および28日のような早期材令で普通ポルトランドセメントとそれほど差異は認められないが、フライアッシュ混入

セメントと他のセメントとの差が有意と現われたものと解釈したいのである。またセメント量については、セメントの結合材としての働きがその濃度の差によって現われたものとみなすことができ、この試験の範囲内では、ほぼ直線的にセメント量の増加にしたがって圧縮強度も曲げ強度も増加するという結果がえられた。これらの結果を図2および図3に示す。

本試験の場合、試料の土の含水量の変動をさけるために、さきのにべた各試験ナンバーごとにあらかじめ、信楽、焼岳、名張の三種とも同じ含水量であるように、試験に必要量だけ計量してビニル袋に保存し、試験ナンバーごとにとり出して所要のセメント量をその土の絶乾重量に対する割合いで混合して練り混ぜるようにした。したがって、セメント量は、土の種類によって含水量がことなっているため多少の差が生じ、単位セメント量に概算すると、信楽に対しては、10%、15%、20%についてそれぞれ 144kg/m³、210kg/m³、および 280kg/m³ となり、焼岳に対しては、同様に 150kg/m³、220kg/m³、および 285kg/m³、名張に対しては、140kg/m³、205kg/m³、および 265kg/m³ といった値になる。この結果からみれば予期以上の強度が出てくれたと考えられる。というのは、前記佐藤が阿蘇山腹の土をそのまま利用せずに砂で粒度調整を行ない、しかもその重量に対する45% (単位セメント量にして約 400kg/m³) のセメント量で、材令28日強度が90kg/cm²

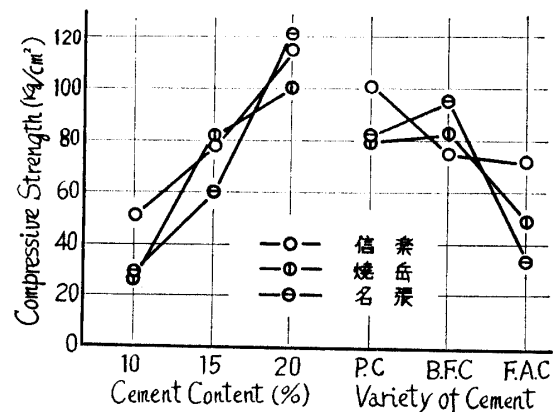


図2 圧縮強度とセメント量およびセメントの種類との関係

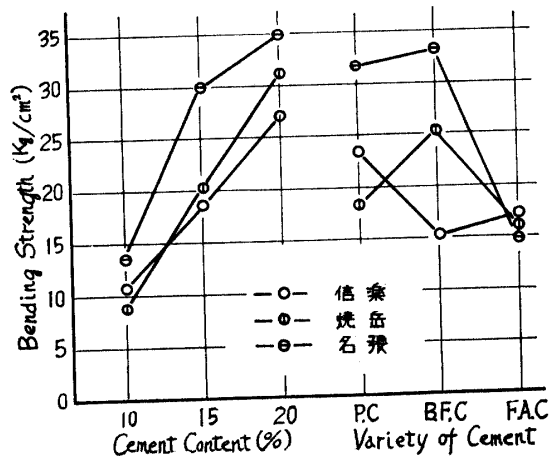
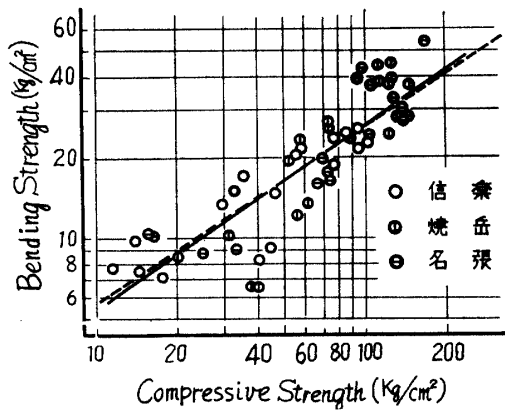


図3 曲げ強度とセメント量およびセメントの種類との関係

であったと報告されているのに比べると、本試験に使用した土ははるかに恵まれた条件にあると断定せざるをえないのである。

ii) 曲げ強度と圧縮強度

材令28日におけるソイルコンクリートの曲げ強度と圧縮強度との関係を両対数グラフにプロットしてみると、図4のようになる。



破線 笠井式 $\sigma_b = 1.2\sigma_c^{2/3}$
 実線 本実験式 $\sigma_b = 1.1\sigma_c^{0.69}$

図4 曲げ強度と圧縮強度との関係

この結果は、土木学会標準示方書のセメントの物理試験法 (JIS R5201) のモルタルの強度試験における、曲げ強度と圧縮強度との関係について、笠井⁹⁾が次式を提案されている。すなわち

$$\sigma_b = 1.2\sigma_c^{2/3} \dots\dots\dots(1)$$

こゝに σ_b : 曲げ強度 σ_c : 圧縮強度

図4のプロットから最小自乗法により実験式を求めてみると

$$\sigma_b = 1.1\sigma_c^{0.69} (11.5 \leq \sigma_c \leq 163.0) \dots\dots\dots(2)$$

なる関係がえられた、したがって本試験の場合、(1)式によく近似することから、普通の軟練りモルタルとみ

なしても差しつかえないのではないかということがわかった。

iii) 材令と圧縮強度

材令が進むにつれて圧縮強度の伸び方がどうであるかは、コンクリートにとっては重要な性質の一つである。

表6には、材令90日の強度は省略させていただいたが、この結果を加えて材令と圧縮強度との関係をプロットしてみると、図5および図6に示すとおりとなる。

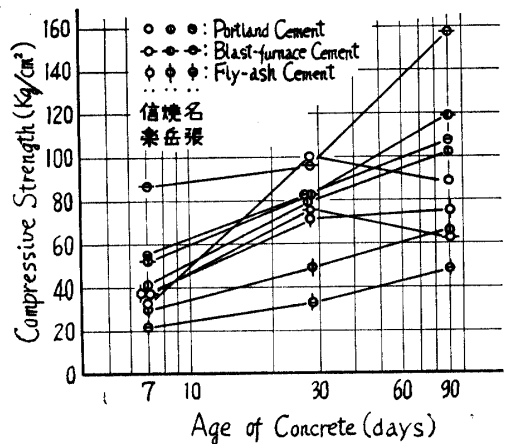


図5 セメントの種類による圧縮強度と材令との関係

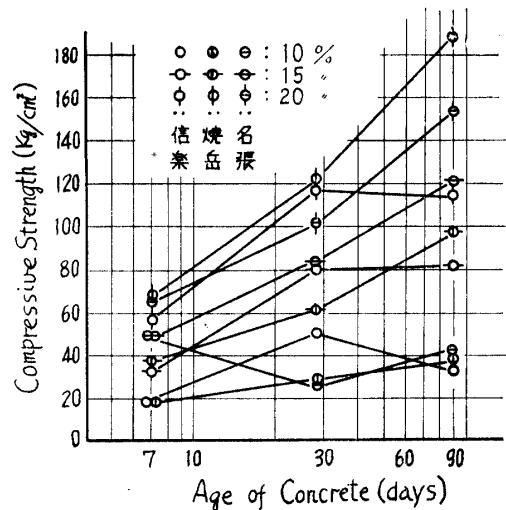


図6 セメント量による圧縮強度と材令との関係

図5では、各材料に対するセメントの種類による影響がうかがわれフライアッシュセメントは長期強度にいたるまで日立った強度の伸びは認められないが、注目をはくのは、高材セメントが材令28日から90日にかけて、いちぢるしい伸びを示していることである。

普通ポルトランドセメントについては順調な強度の増進を示している。ただ信楽の土を用いた結果だけが

90日強度で減少しているのは、供試体と材令60日以後実験室内に放置したため、乾燥の影響で水和反応が停止したためではないかと考えられ、またあるいは、今回は調べられなかった、土の鉱物組成が長期強度に影響をおよぼすのか、その原因は明らかにできないのであるが今後の研究に期待したいと考えている。

図6については、セメント量の差による材令の影響をプロットしたものである。この場合も信楽の土に関しては、90日強度が低下しているのは図5と同様であるが、セメント量10%はいずれの場合でも結果は思わしくなく、長期強度においても期待はもてない。これに反し15%, 20%は順調な強度の伸びを示しとくに20%ではいちじるしい増進の傾向を示している。したがって今後ソイルコンクリートの配合にさいしては、セメント量の下限を15%程度において進めて行けばよいのではないかと考えられる。また、フライアッシュセメントは、他の2種とは明らかな差が現われたことから、本試験のようなセメント量の範囲ではまだそのポゾラン反応を期待するまでのセメント量ではないのではないかと考えられ、今後なお検討を要する問題である。このことは筆者が過去において検討した貧配合コンクリートの結果¹⁰⁾とも同様な傾向を示し、単位セメント量のある程度以上の富配合にしないと、ポゾラン反応は望みえないのではないかと考えられる。

iv) 水セメント比説による圧縮強度の推定

本試験のように、どろどろ練りのコンクリートでは、とても普通に常識的に考えられる、水セメント比ではおおよびもつかぬ状態で、ほとんど分離寸前もしくは、多少分離をおこしていると考えられる状態であるので、ウォークアブルな範囲内での水セメント比と強度との関係という訳にはいかないが、一応表6および表7で得た結果から、圧縮強度を縦軸に、セメント水比を横軸にプロットしてみると図7のごとくなる。

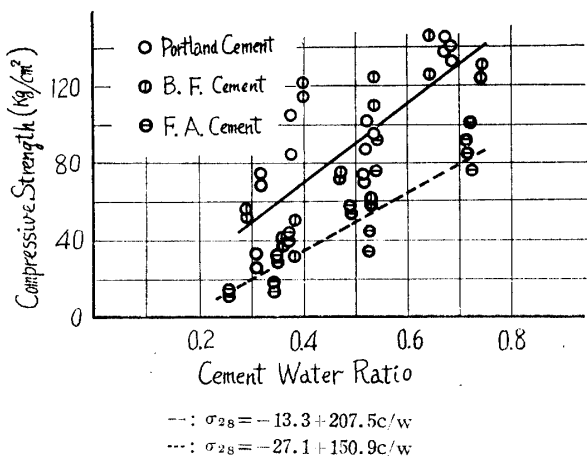


図7 圧縮強度とセメント水比との関係

これらのプロットについて前述のように、普通ポルトランドセメントと高炉セメントとは同一群のもののみなし、フライアッシュ混入セメントだけを別に考えてそれぞれの相関係数を求めてみると表9のごとくなる。

表9 各種の組合わせによる相関係数

	全試料	ポルトランドおよび高炉	フライアッシュセメント
σ ₂₈ とセメント水比	+0.698	0.768	0.700
σ ₂₈ と空隙セメント比	-0.648	-0.798	-0.659
σ ₂₈ とセメント空間比	0.524	0.707	0.664

表9よりポルトランドセメントおよび高炉セメント群について r=0.768 フライアッシュセメントについて r=0.700 がえられ、ともに有意であるため、両者それぞれについて、最小自乗法により実験式を求めてみると、次式がえられた。すなわち、

普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントに対し

$$\sigma_{28} = -13.3 + 207.5c/w \quad (0.250 \leq c/w \leq 0.739) \dots\dots\dots(3)$$

フライアッシュセメントに対し

$$\sigma_{28} = -27.1 + 150.9c/w \quad (0.260 \leq c/w \leq 0.717) \dots\dots\dots(4)$$

以上の結果については、あくまで本試験に用いた試料での範囲でいえることで、さらに粘土分の多くなった粘性土に対して、はたして成り立つかどうか、さらに、セメント水比が大になれば、すなわち水セメント比が小になれば、この直線がそのまま延長できるかどうか、をも今後の検討にまつより方法がないのであって、一応の結果として、あげておくにとどめる。

v) 空隙説による圧縮強度の推定

前項(iv)で、水セメント比説によって、多少無理なこじつけ方で、ソイルコンクリートの強度と推定してみたのであるが、あまりに水量が多すぎて、試験中の観察の結果でも、かなりのブリージング現象が生じていることから、一応の結果はえられたが、はなはだ自信が持てないので、これに代わる方法としては、空隙説よりなく、以下この方法によって検討を加えてみる。

1921年に Talbot¹¹⁾が空隙説を提唱したときの考え方の基準となるものは、細骨材とセメントの混合物に水を加えていく場合、空隙が最小になるときの水量を基準水量 (Basic Water Content) とし、この時の強度が、その配合での最高強度を示すとしている。この考え方は現在のソイルセメントにおける、最適含水比

による施工という点で相い通ずる点であると思われる。しかし現実に施工する場合には基準水量ではウォーカービリティがえられないために、水量を増して使って使用することになり、水量の増加につれて空隙が増え、したがって強度も低下してくるというのである。

本試験の場合、やはり用いた試料について、基準水量なり、最適含水比なりと測定しておいてからこの問題についてのべるのが本筋であるが、時間の制限等でやむなく、非常に大胆であるけれども、表6、表7からプロットしたものが、図8および図9である。

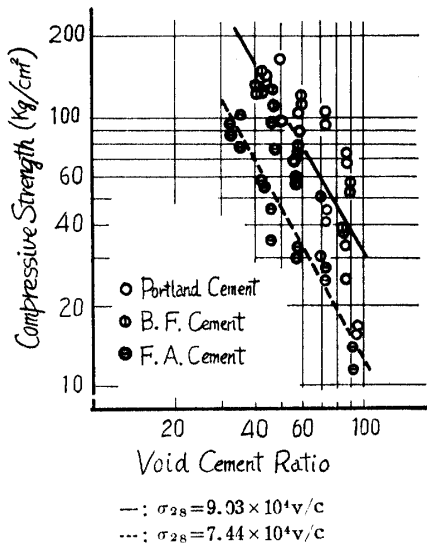


図8 圧縮強度と空けきセメント比との関係

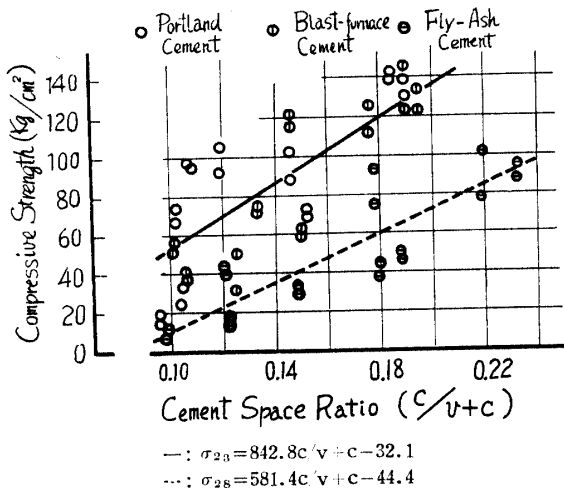


図9 圧縮強度とセメント空間比との関係

図8では、圧縮強度と空隙セメント比との関係を、図9では、圧縮強度とセメント空間比との関係を示したもので、前項(iv)と同様に、材令28日における圧縮強度と空隙セメント比、およびセメント空間比との間の相関係数を求めたのが、表9に示したごとくなり、いずれも有意となり、母相関係数ρを0としえない。したがって、セメント水比の場合と同様、セメント群によって分けて、普通ポルトランドセメントおよび高

灰セメント群に対して、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{28} &= 9.03 \times 10^4 v/c^{-1.73} \\ &(41.4 \leq v/c \leq 95.2) \\ \sigma_{28} &= -32.1 + 842.8c/v+c \\ &(0.095 \leq c/v+c \leq 0.196) \end{aligned} \right\} \dots\dots(5)$$

フライアッシュセメントに対しては

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{28} &= 7.44 \times 10^4 \cdot v/c^{-1.89} \\ &(32.7 \leq v/c \leq 90.8) \\ \sigma_{28} &= -44.4 + 581.4c/v+c \\ &(0.099 \leq c/v+c \leq 0.234) \end{aligned} \right\} \dots\dots(6)$$

がえられた。

以上にあげた、(3)(4)(5)および(6)式のいずれが適当かの判断は、本試験の資料からでは速断しかねるのであるが、一応、ソイルコンクリートにおいても材令28日の圧縮強度というものを、ほぼ曲線で近似しうることができるということが見出しただけでも成果があったと考えられる。

IV. 総括

以上一応の検討を加えてみたのであるが、現段階では使用する土のどの性質を調査すればよいかという点、まったくの手探ぐりの状態で十分なものとはいえず、土の物理的な性質としての、土粒子の比重、粒度はもちろんのこと、今回は全然ふれることができなかった、含水量の問題には今後は是非とも検討を加えるべき事項であると痛感している。このことはプラスチックなソイルコンクリートにおける単位水量の決定にさいして、必要不可欠の問題となりうると考える。

さらに、含有有機物がセメントの水和に影響をおよぼすのは、どの程度の含有量であるか、さいわい本試験の場合は、わずかであったため、それほど問題とはならなかったが、今後は必ず直面する問題となると思われる。したがって、これに対する対策があるのかどうか、また現場の土がどんな母材から生じた土であるかによっても、ソイルコンクリートにとっては、重要なことであると考えられる。すなわち、土粒子の鉱物組成がセメントの水和作用にどのような影響を与えるのか、今回のように、おなじ花こう岩起源といっても、信楽の土と、名張の土とでは、石英なり長石、雲母の類がどのように変質し、またその変質の程度もことなっていることが予想され、これがどう影響してくるのか、さらに焼岳の土は泥石流堆積物といっても、安山岩起源の砂であって、その現場現場のそれぞれによって、対象となる土の成立した過程なども予め調査しておかなければならないのではないかと考えられる。今後は、なるべく広い範囲にわたって、多種多様の土について試験を行なっていきたいと考えている。

以上、本試験を行なって、気付いた点、反省しなければならない点などをのべたのであるが、一応三種の土を用いて行なった結果をあげると、以下のごとくなる。

i) 土自身に個有の性質があつて、これがソイルコンクリートの性質に明らかに影響をおよぼすと考えられる。

ii) このコンクリートのコンシステンシーは、どろどろ練りの状態であり、ブリージングがはなはだしく、養生方法にはとくに留意しなければならない。

iii) フライアッシュ混入セメントは他の二種のセメントほどの強度は期待できない。すなわち、ポゾラン反応を期待するには、ある限度以上の単位セメント量が必要なのではないかと考えられる。

iv) 本試験の範囲内では、セメント量の増加にしたがつて、ソイルコンクリートの強度が増進することが認められた。

v) 曲げ強度と圧縮強度との関係は、その適用範囲はまだ少ないけれども、次式がえられた。

$$\sigma_b = 1.1\sigma_c^{0.69} \quad (11.5 \leq \sigma_c \leq 163.0)$$

vi) 水セメント比説、あるいは空隙説のいずれによるとしても、ソイルコンクリートの材令28日における圧縮強度を推定できるという糸口が見出された。

V. あとがき

未知の分野のこととして、何から手をつけてよいか、戸惑うことばかりの本試験について、終始有益なセッションを賜りました京都大学農学部、遠藤隆一先生、武居有恒先生および京都府立大学農学部、日置象一郎先生に深甚な謝意を表するとともに、本資料のとりまとめに絶大な御援助を賜りました、京都府技師、田村俊正氏に厚く御礼申し上げる次第である。

引用文献

- 1) H. F. Winterkorn: "The Science of Soil Stabilization" H. R. B. Bulletin 108, 1955, p. 58~66.
- 2) 河上房義: "土工の締固めの作業の当面する二、三の問題について", 土木学会誌. 41, No. 11, 1956, p. 5~9.
- 3) K. E. Clare and P. T. Sherwood: "The Effect of Organic Matter on the Setting of Soil-Cement Mixture" Jour. of Applied Chemistry 1954, 4, p. 625~630.
- 4) K. E. Clare and P. T. Sherwood: "Further Studies of the Effect of Organic Matter on the Setting of Soil-Cement Mixture" Jour. of Applied Chemistry 1956, 6, p. 317~324.
- 5) 三木五三郎, 山内豊聡: "土質安定の理論と実際" オーム社. p. 130~131.
- 6) 竹下春見: "ソイルセメント", コンクリートパンフレット71号, 196, p. 36.
- 7) 佐藤政徳: "プラスチックソイルコンクリートについて", 第二回治山研究会発表会論文集. 1963, p. 295~300.
- 8) 森山徹也: "ソイルコンクリートについて", 第五回治山研究会発表会論文集. 1966, p. 300~302.
- 9) 笠井康一: "セメント類の抗折強度と耐圧強度との関係について", セメント技術年報1947, p. 57.
- 10) 大手桂二, 矢沢昭夫, 遠藤隆一: "貧配合コンクリートの研究(第3報)フライアッシュの効果について", 新砂防69号, 1968. 投稿中.
- 11) A. N. Talbot: "A proposed Method of Estimating the Density and Strength of Concrete and of Proportioning the Materials by the Experimental and Analytical Consideration of the Voids in Mortar and Concrete" Proc. ASTM, 21 1921, p. 940~967.

Summary

We have been come into great request for aggregates year by year. Consequently, we ought to face the problem that we wish to apply the plastic-soil-concrete which utilize the soils getting easily each construction spots.

The auther have done several investigation for this problem by making use of soils, as shown in Table 2, 3 and Fig. 1, that is, the granite origin soil from Shigaraki and Nabari and the andesite origin soil from Yakedake,

The results are summerized as follows:

- 1) Owing to each soils have a specific character such as physical and chemical properties, the effect of cementation can not always demonstrate its function, suficiently. Consequently, it is necessary to have to examine for more various soils in physical and chemical properties.
- 2) Within the range of this report, the strength of soil-concrete in 28 days increase in proportion to increase the cement content,

- 3) The strength of soil-concrete making use of fly-ash cement can not so expect as portland cement and blast-furnace cement.
- 4) The relation between bending strength and compressive strength of soil-concrete in 28 days is approximated by following experimental equ-

ation :

$$\sigma_b = 1.1\sigma_c^{0.69} \quad (11.5 \leq \sigma_c \leq 163.0)$$

- 5) The compressive strength of soil-concrete in 28 days is able to presume upon either water cement ratio theory or void theory.