

ソイルコンクリートの品質に関する考察

三股・治山研究グループ

I はじめに(試験の目的)

南木曾災害で知られた当署の治山工事は、脆弱な風化花崗岩との斗いであった。多くの先輩は絶えまなく崩れようとする山腹を固定して、緑を再現することに汗を流してきた。そうした中で「PNC板積工」は省力的な簡易工作物として定着化されつつあり、51年度においては当署の山腹工事費の約5割強を占める重要な工作物である。

そのPNC板積工の強度をさらに高めるため、花崗岩地帯の特色である「絶えまなく生産されるマナ」を利用しての「ソイルコンクリート」は、一石二鳥の効果を狙って多用されてきたが、その推移は図-1のとおりである。そして今後においても施工地の奥地化、省力化、さらに経費の節減等の観点から、ますます重要視されるものと思われる。

しかし、一方では、

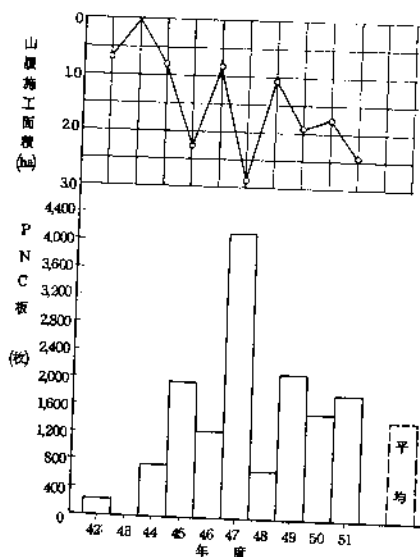
1. ソイルコンクリートは、治山工作物の材料として使用されてまだ日が浅いこと。
 2. 骨材が現地採取のため、均一性に欠けること。
 3. ソイルコンクリート使用可能地が花崗岩地帯に限られていること。
- 等の事由により、その強度等についての資料が不足していたのが実情である。

そこで51年度私達は、ソイルコンクリートの基礎的な部分について、少なくとも与川地区、ひいては花崗岩地帯全般に適用しうる資料が得られればと、数種の試験を行ってみた。その結果一応の確信をもって述べる集約は次の3点である。

- (1) 与川団地の花崗岩地帯では現地採取の骨材で、ソイルコンクリートの期待強度60kg/cm²は満足できた。
 - (2) ソイルコンクリートにおいても一般のコンクリートと同様に圧縮強度は、材令、セメント量等の間に相関関係がみられ「圧縮強度換算図」の作成を行った。
 - (3) 本試験結果からセメント量の減少、床堀排土の利用等の面で経済的なメリットが認められた。
- (注) ソイルコンクリートについて

現地の土(ソイル)に、期待しようとする強度に応じたセメント量と水を加え練り混ぜてきたコンクリートであり、本来道路関係の分野で路盤改良等の土の安定処理の問題として開発され

図-1 PNC板の推移状況及びPNC板積工を基礎とした山腹施工面積



てきたものである。三股署では42年頃から治山構造物の材料として使用されるようになった。

II 試験の方法

1. 試験材料

現地及び試験室で用いた資料の土は、図-2のとおり木曾川左岸と川流域の奥市沢及び赤なき沢周辺の花崗岩風化堆積土である。

地質は、奥市沢が伊奈川型・赤なき沢は伊奈川、木曾駒型である。供試土の試験結果を示すと、図-3及び表-1のとおりである。これによると両者とも、比重、平均粒径等の物理的性質が似通っており、土の適性試験を行ったところ表-2のとおりほとんど変わらない。また材料の良否による試験用として採取した粘土は、同流域上山沢周辺によく見られる風化残積土で、赤褐色を呈した含水比の大きい土である。

図-2 試験地位置図

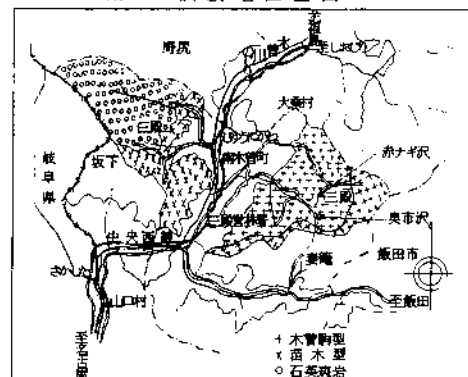


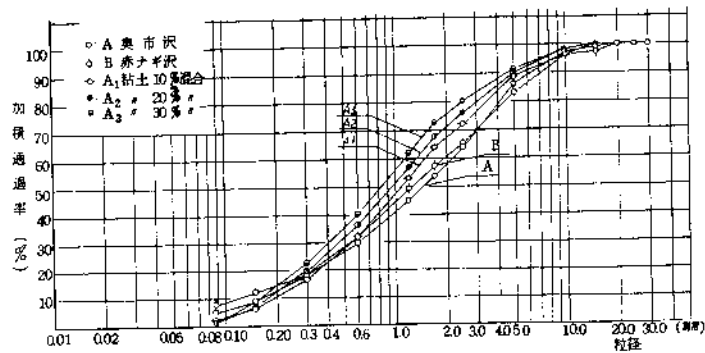
表-1 粒度試験結果

試料	比重	吸水量	レキ分(%)	砂分(%)	シルト粘土分(%)	平均粒径	均等係数	三角座表分類表
奥市沢	2.55	4.1	43.5	54.9	5.1	2.62	1.333	砂
赤なき沢	2.54	4.1	40.0	52.9	7.1	2.75	1.667	砂

表-2 土の適性試験結果

試料	立積(A)		立積(B)				立積 A+B=(C)	A/C×100 (%)	土性区分
	30'	1'	15'	30'	60'	120'			
奥市沢	69.11	70.06	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	9.87	SA
赤なき沢	63.84	65.37	66.39	66.39	66.39	66.39	66.39	9.85	SA

図-3 供試土の粒度分布曲線



2. 試験内容

工事現場においては、前記の材料を用いて表-3に示した配合にもつき所定の方法により練り上げ、打設日には各6本の供試体を作製し、現地で2日間の湿砂養生を行ったのち試験室で20°Cで土中の水中養生を行い、材令7日、14日、28日に各2本の計86本の強度試験を行った。

表-3 ソイルコンクリートの配合表

試験番号	粗骨材 最大寸法	スランブ cm	水セメント比 W/C	単 位 量			
				水 (kg)	セメント (kg)	ソイル (kg)	粘土 (kg)
* A	15	0	0.78	195.0	250	1839.6	
** B	15	0	0.78	195.0	250	1791.6	
*** A 225	15	0	0.78	175.5	225	1839.6	
A 212.5	15	0	0.78	165.8	212.5	1839.6	
A 200	15	0	0.78	156.0	200	1839.6	
A ₁ (10) % 10	15	0	0.78	195.0	250	1655.6	1840
A ₂ (20) % 20	15	0	0.78	195.0	250	1471.7	3679
A ₃ (30) % 30	10	0	0.78	195.0	250	1237.7	5519

* 奥市沢試料の現地、試験室練 ** 赤ナギ沢試料の現地、試験室練
*** 奥市沢の試料

つきに試験室では、現地での裏付けをするため同一配合により供試体を作製した。また材料の質をみるため前記の粘土分を単位重量に対し10%、20%、30%をそれぞれ混入した供試体を作製し、計27本を作製し21°C±3°Cの水中養生を行った。

また、セメント量の増減による圧縮強度への影響をみるため、設計基準量250kg/m³に対し、10% (225kg/m³)、15% (212.5kg/m³)、20% (200kg/m³)、それぞれ減じて各9本、計27本の供試体を作製した。

III 試験結果の考察

1. 現地及び試験室の資料の検討

表-4・1、表-4・2に示した材令7日、14日、28日の強度を、ヒストグラムで示したのが図-4である。

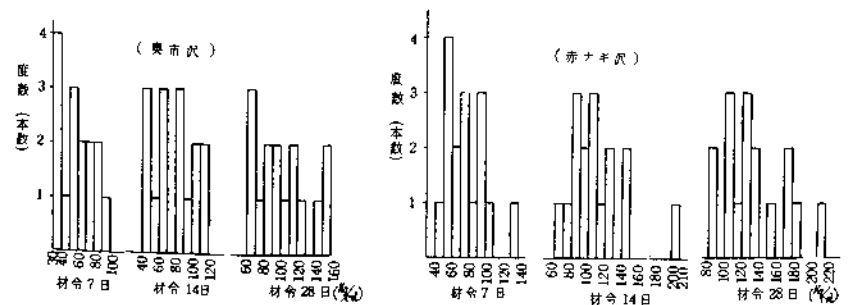
表-4・1

No.	圧縮強度試験結果 kg/cm ² (奥市沢)					
	材令 7日		材令 14日		材令 28日	
1	38.2	35.7	50.9	45.8	64.9	66.2
2	53.5	52.2	62.4	70.0	100.6	85.3
3	91.7	91.7	110.8	122.2	159.2	157.9
4	66.2	78.9	107.0	100.6	118.4	128.6
5	85.3	84.0	96.8	112.0	141.3	151.5
6	59.8	61.1	81.5	96.8	100.6	101.9
7	75.1	68.8	100.6	94.2	101.9	124.8
8	57.3	61.1	85.3	81.5	98.0	98.0
9	36.7	36.9	42.0	43.3	63.7	62.4
10	47.1	50.9	66.2	63.7	80.2	80.2
11	52.2	50.9	62.4	59.8	82.8	80.2
12	33.1	44.6	67.5	42.0	70.0	72.6
13	82.8	91.7	108.2	115.9	149.0	152.8
14	39.5	31.8	43.3	43.3	63.7	63.7
15	67.5	70.0	84.0	91.7	121.0	114.6

表-4・2

No.	圧縮強度試験結果 kg/cm ² (赤ナギ沢)					
	材令 7日		材令 14日		材令 28日	
1	56.0	44.6	80.4	87.9	89.1	86.6
2	64.9	48.4	112.0	107.0	119.7	122.2
3	57.3	59.8	73.8	82.8	101.9	100.6
4	105.7	96.8	119.7	137.5	149.0	197.4
5	112.0	165.5	183.3	222.8	203.7	230.5
6	40.7	40.7	72.6	64.9	76.4	90.4
7	39.5	104.4	115.9	113.3	121.0	122.2
8	68.8	122.2	136.2	159.2	154.1	154.1
9	103.1	94.2	127.3	152.8	171.9	188.4
10	62.4	59.8	82.8	87.9	101.9	110.8
11	81.5	80.2	100.6	99.3	140.1	135.0
12	64.9	78.9	90.4	95.5	140.1	135.0
13	87.9	95.5	126.1	133.7	165.5	185.9
14	66.2	67.5	95.5	99.3	101.9	112.0
15	59.8	54.7	90.4	75.1	119.7	115.9
16	75.1	71.3	94.2	112.0	126.1	124.8

図-4 供試体のヒストグラム



これによれば、どの材令とも強度の大きい方に裾を引く非対称分布の傾向を示している。一般に降雨量や洪水流量等の水分量は、対数変換を行うことで正規分布に近い形状となることが知られている。このことから各強度を対数確率紙にプロットしたのが、図-5である。各点ともほぼ直線上に並んだので対数正規分布にしたがうとみなせる。

これにより、各強度の平均値、標準偏差、変動係数の概数値を求めた。その結果赤なき沢の資料が若干よいが、相対的には両地区ともかなり似通ったバラッキをもった資料といえる。

つきに強度のバラッキが供試体重量とどんな関係にあるかをみるため、材令7日と28日の資料を片対数紙にプロットしたのが図-6である。供試体の重量に比例して強度も大きくなる傾向を示した。このことは供試体作製時のソイルコンクリートの締め固め密度によるものと考えられる。

さらに、材令と圧縮強度の関係について述べると、材令が進むにつれて圧縮強度の伸びがどう変化するかをみるため、現地資料と試験室の結果をプロットすると、図-7で示すとおりいづれも材令が進むにつれて直線的に順調な強度の伸びを示し、各資料とも材令7日で期待強度の60kg/cm²に達している。

また、表-4・3の試験室で行った両地区(A:奥市沢、B:赤なき沢)の結果は、奥市沢の強度とよく

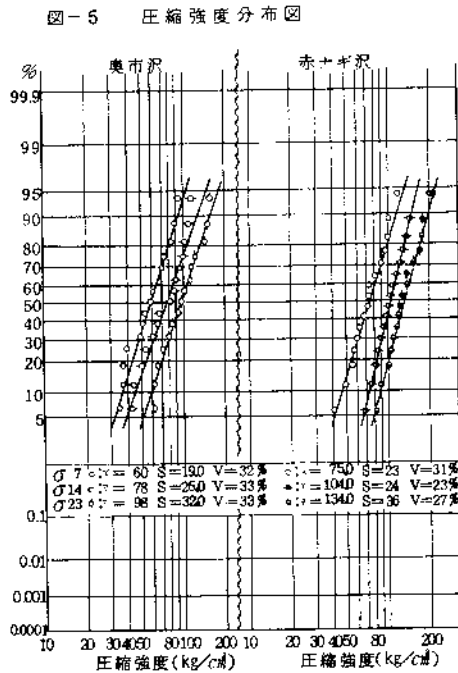


図-6 材令7日(σ7)及び28日(σ28)圧縮強度と供試体重量の関係

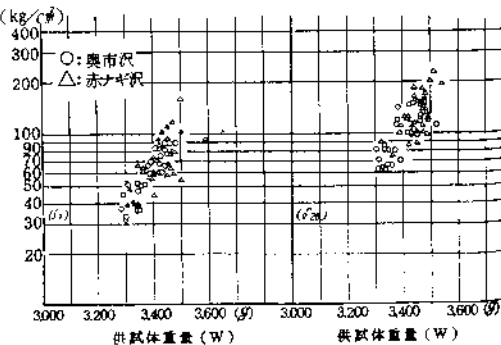


表-4・3 圧縮強度試験結果 (試験室)

試料	骨材土(%)	水セメント比(%)	単位セメント比(kg/m ³)	材令 7日			材令 14日			材令 28日		
				σ	S	V	σ	S	V	σ	S	V
A		78	250	64.9	59.8	58.6	95.4	80.2	82.8	107.2	108.2	107.0
B		"	250	59.8	59.8	56.0	75.1	85.3	76.4	101.9	103.1	101.9
A-225		"	225	54.7	56.0	54.7	82.8	85.3	67.5	95.5	96.8	109.5
A-125		"	212.5	49.7	53.5	53.5	73.8	62.4	75.1	92.9	92.9	99.3
A-200		"	200	44.7	42.0	47.1	64.9	62.4	54.7	76.4	78.9	76.4
A ₁	10	"	250	76.4	76.4	73.8	95.5	89.1	96.8	119.7	121.0	110.8
A ₂	20	"	250	56.0	66.2	54.7	76.4	73.8	64.9	85.3	85.3	86.6
A ₃	30	"	250	47.1	44.6	43.3	58.6	58.6	64.9	66.2	64.9	63.7

一致しており十分現地の裏付けとなった。

しかし、赤なき沢の現地結果は非常に強度が高く、奥市沢に対して1.3倍程度の伸び率を示した。この原因は材料の変動あるいは、計量の誤差、練りませ、その他の施行条件の差等によるものでなく、試験室で行った結果から見て水セメント比(W/C)の影響によるものではないかと考えられる。

すなわち奥市沢の試料は練上りの状態でワーカビリーチーがまったくみられず、多少パサパサした感じであったのに対し、赤なき沢の場合はワーカビリーチーが作業に適した状態であった。このことから判断して水セメント比と圧縮強度との関係は、一般のコンクリートでの水セメント比説と一致しないことがわかった。

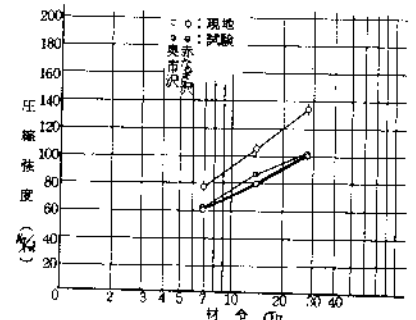
2. 材料の良否とセメント量による資料の検討

(1) セメント量の増減による強度への影響

図-8はセメント量の差による材令と圧縮強度への影響をプロットしたものであるが、各試験値とも図-7と同様直線的な強度の増加傾向を示し28日において期待強度60kg/cm²を超えている。すなわちソイルコンクリートにおいても一般のコンクリートと同様に、セメント量は強度に対して多大の影響をおよぼす因子であると考えられる。さらにこれを単位セメント量の増減による強度傾向を見るためプロットしたものが図-9である。やはり単位セメント量が大きくなるほど強度も増加することがわかったが、その傾向はゆるやかな上昇カーブで示された。

しかし、材令28日強度でみた場合、225kg/m³から250kg/m³の間の伸びはほとんど認めら

図-7 圧縮強度と材令との関係



られない。従って本試験の結果では、

セメント量200 kg/㎡から250 kg/㎡の範囲では、さほど大きな強度差はなく、現在施工中の現場付近の粒度の土であれば、セメント量200 kg/㎡まで下げて

も期待強度60 kg

/cm²を満足することがわかった。

図-8 セメント量による圧縮強度と材令との関係

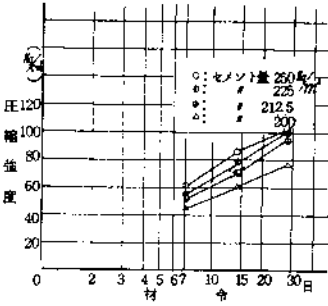
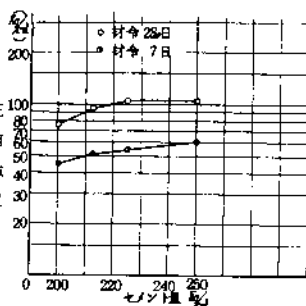


図-9 圧縮強度とセメント量との関係



(2) 粘土分の増減による圧縮強度への影響

図-10は、粘土混入量による圧縮強度と材令との関係をプロットしたものであるが、粘土分10%混入資料は材令14日から28日強度の伸びが大きく、粘土分を含まない図-8の強度より高い値を示した。また粘土分20%混入資料は平均した伸びを示しているが、直線の勾配は弱い傾向にある。

つぎに粘土分30%混入資料は材令14日から28日にかけて折線となり、強度の伸びは低下している。

以上のことから、粘土分30%混入のものを除いては良好な値を示しているので、十分長期強度において期待をもてるものと判断できる。

これをさらに粘土分の増加にしたがって強度にどのような影響をおよぼすかを資料によりプロットしてみると図-11のとおりである。材令7日と28日では粘土混入量を増すと強度は直線的に低下しておりこれら粘土分の量が強度に大きく影響することがわかった。従って試験の範囲から粘土分を30%程度以上含んだ土は、材令28日の期待強度60 kg/cm²を満足することはむずかしく、骨材として使用することはできないことがわかった。

図-10 粘土混入量による圧縮強度と材令との関係

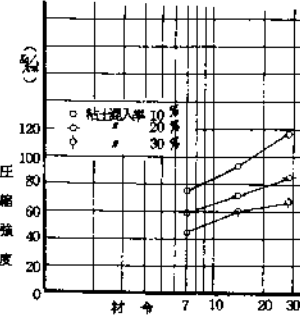
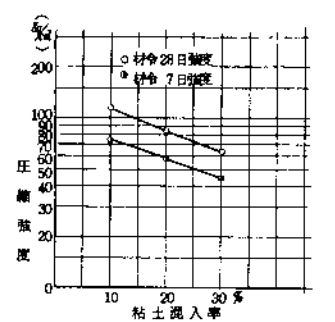


図-11 圧縮強度と粘土混入率との関係



このことは、ソイルコンクリート標準示方書の「土の適性調査のための試験」で示されている分類表と一致するものである。

IV 材令7日の圧縮強度から材令28日の圧縮強度の推定式の検討

一般にコンクリートの材令28日圧縮強度推定式は、材令7日あるいはセメント水比(C/W)を変数とした一次式としてあらわされている。図-12は現地資料である材令28日の圧縮強度と材令7日の圧縮強度との関係をプロットしたものである。この関係を求めると $r=0.973$ と高い相関を示したのでこの推定式を求めると次のとおりである。

直線式

$$\sigma_{28} = 9.661 + 1.596 \sigma_7 \dots\dots (1)$$

また指数式としては

$$\sigma_{28} = 2.262 \sigma_7^{0.938} \dots\dots (2)$$

V 圧縮強度換算図の作成

前記IVで、材令7日の圧縮強度から材令28日の圧縮強度を推定する式について検討したが、ここでは今回得られた資料231本(粘土分資料27本は除いた)について、各材令との関係で満足できる強度換算式について検討してみた。

奥市沢、赤なぎ沢の強度については前述のとおり1.3倍の強度の差があることから、単に両者を平均してもよい結果は得られそうにもない。しかし強度の伸長についてみた場合には両者とも同じ傾きを示していることから、各々の試験ごとの材令14日、材令28日に対する材令7日の圧縮強度比を計算すると表-5のとおりであり、その平均値は下表のとおりである。

場所	比	σ_{14}/σ_7	σ_{28}/σ_7
奥市沢		1.304	1.705
赤なぎ沢		1.474	1.793

図-12 材令28日圧縮強度と材令7日圧縮強度との関係

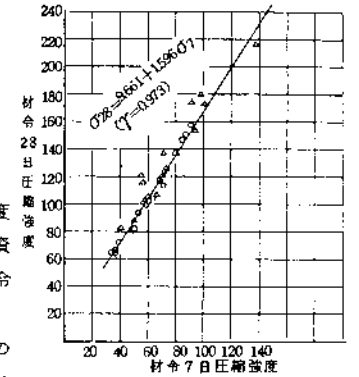
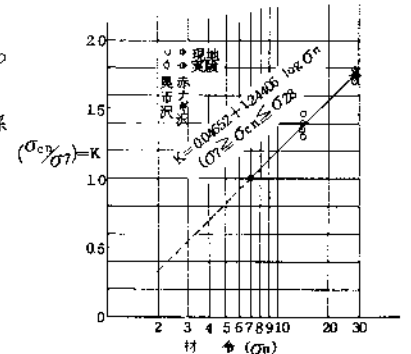


図-13 圧縮強度比 $K = (\sigma_{cn}/\sigma_7)$ と材令との関係



両者の圧縮強度比とも、その差がほとんどないことがわかった。

これらの値をプロットすると図-13のとおり直線関係が認められ、回帰を求めると次式が得られた。

$$K = -0.0465 + 1.2441 \log \sigma_{cn} \dots\dots (3)$$

$$\therefore K = (\sigma_{cn}/\sigma_7)$$

σ_{cn} : 任意の材令の圧縮強度 (kg/cm²)

σ_7 : 材令7日の圧縮強度 (kg/cm²)

σ_n : σ_{cn} に対する材令

表-5

材令14日、28日の圧縮強度と材令7日圧縮強度比

材令	$\bar{\sigma}_7$	$\bar{\sigma}_{14}$	$\bar{\sigma}_{14}/\bar{\sigma}_7$	$\bar{\sigma}_{28}$	$\bar{\sigma}_{28}/\bar{\sigma}_7$	備考
1	37.0	48.4	1.31	65.6	1.77	奥市沢
2	52.9	66.2	1.25	93.0	1.76	
3	91.7	116.5	1.27	158.6	1.73	
4	72.6	103.8	1.43	123.5	1.70	
5	84.7	104.4	1.23	146.4	1.73	
6	60.5	89.2	1.47	101.3	1.67	
7	72.0	97.4	1.35	113.4	1.58	
8	59.2	83.4	1.41	98.0	1.65	
9	36.9	42.7	1.16	63.1	1.71	
10	49.0	65.0	1.33	80.2	1.64	
11	51.6	61.1	1.18	81.5	1.58	
12	38.9	54.8	1.40	71.3	1.83	
13	87.9	112.1	1.28	150.9	1.73	
14	35.7	43.3	1.21	63.7	1.78	
15	68.8	87.9	1.28	117.8	1.71	
計			1.956		2.557	
平均			1.304		1.705	
1	50.3	84.2	1.67	87.9	1.75	赤ナギ沢
2	56.7	109.5	1.93	121.0	2.13	
3	58.6	78.3	1.34	101.3	1.73	
4	101.3	128.6	1.27	173.2	1.71	
5	138.8	203.1	1.46	217.1	1.56	
6	40.7	68.8	1.69	83.4	2.05	
7	72.0	114.6	1.59	121.6	1.69	
8	95.5	147.7	1.55	154.1	1.61	
9	98.7	140.1	1.42	180.2	1.83	
10	61.1	85.4	1.40	106.4	1.74	
11	80.9	100.0	1.24	137.6	1.70	
12	71.9	93.0	1.29	137.6	1.91	
13	91.7	129.9	1.42	175.5	1.91	
14	66.9	97.4	1.46	107.0	1.60	
15	57.3	82.8	1.45	117.8	2.06	
16	73.2	103.1	1.41	125.0	1.71	
計			2.359		2.869	
平均			1.474		1.793	

これに試験室の結果をプロットすると直線によくあてはまり、(3)式の適合のよさがわかった。(3)式は σ_7 の圧縮強度を既知として、これに各材令に相当するKの値を乗ずると、任意の材令の圧縮強度 σ_{cn} が求められる。

参考までに表-6に換算係数Kの値を示した。

表-6 ソイルコンクリート強度換算表

材令(日)	係数(K)	材令(日)	係数(K)
3	0.5470	16	1.4515
4	0.7025	17	1.4842
5	0.8230	18	1.5151
6	0.9215	19	1.5443
7	1.0000	20	1.5720
8	1.0770	21	1.5984
9	1.1406	22	1.6235
10	1.1975	23	1.6476
11	1.2490	24	1.6705
12	1.2960	25	1.6926
13	1.3392	26	1.7138
14	1.3793	27	1.7342
15	1.4166	28	1.7538

※ 材令7日強度に推定しようとする材令に見合う係数を乗じて強度を算出する。
例えば、材令7日強度 37.0 kg/cm^2 から材令14日強度を推定すると次のようになる。
 $37.0 \times 1.3793 = 51.0 \text{ kg/cm}^2$

また、表-7に実測値と求められた推定式を用いて計算した結果を示した。その結果指数式(2)の偏差平方和が最小で適合が最もよく、実測値に近い値が出た。

V 経済性について

以上各種の試験結果を総合し、これらの経済性について検討を加えた結果、PNC板積工1㎡当りの経済比較をすると、図-14のとおりとなる。これから判断すると粘土混入率25%まで含んだ土の場合、すなわち現地での床堀りの排土等を利用すれば、奥市沢、赤ナギ沢の平均で17%（金額では1㎡当り2,300円）の経済性が得られた。

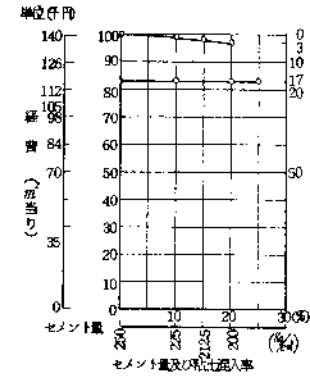
また、セメント量のみを減量による経済性はそれほど大きくなく、単位セメント量を 200 kg/m^2 にした場合でも3%程度であることがわかった。

表-7

材令28

圧縮強度の実測値と計算値の比較表

No	実測値(A)	(1)式 計算値(B)	偏差平方 (A-B) ²	(2)式 計算値(C)	偏差平方 (A-C) ²	(3)式 計算値(D)	偏差平方 (A-D) ²
1	65.6	68.7	9.61	66.8	1.44	64.9	0.49
2	93.0	94.1	1.21	93.5	0.25	92.8	0.04
3	158.6	156.0	6.76	156.6	4.00	160.8	4.84
4	123.5	125.5	4.00	125.8	5.29	127.3	14.44
5	146.4	144.8	2.56	145.4	1.00	148.6	4.84
6	101.3	106.2	24.01	106.0	22.09	106.1	23.04
7	113.4	124.6	125.44	124.8	129.96	126.3	166.41
8	98.0	104.1	37.21	103.9	34.81	103.8	33.64
9	63.1	68.6	30.25	66.7	12.96	64.7	2.56
10	80.2	87.9	59.29	87.0	46.24	85.9	32.49
11	81.5	92.0	110.25	91.3	96.04	90.5	81.00
12	71.3	71.7	0.16	70.1	1.44	86.2	9.61
13	150.3	149.0	3.61	149.5	1.96	153.1	4.84
14	63.7	66.6	8.41	64.6	0.81	62.6	1.21
15	117.8	119.5	2.89	119.6	3.24	120.7	8.41
16	87.9	89.9	4.00	89.2	1.69	88.2	0.09
17	121.0	100.7	432.64	99.8	444.94	79.5	462.25
18	101.3	103.2	3.61	102.9	2.56	102.8	2.25
19	173.2	171.3	3.61	171.9	1.69	177.7	20.25
20	217.1	231.2	198.81	231.0	193.21	243.5	696.96
21	83.4	74.6	77.44	73.1	106.08	71.4	14.400
22	121.6	124.6	9.00	124.8	10.42	126.3	2.209
23	154.1	162.1	64.00	162.7	73.96	167.5	179.56
24	180.2	167.2	169.00	167.8	153.76	173.1	50.41
25	106.4	107.2	0.64	107.0	0.36	107.2	0.64
26	137.6	138.8	1.44	139.2	2.56	141.9	18.49
27	137.6	124.4	174.24	124.7	166.41	126.1	132.25
28	175.5	156.0	380.25	156.6	357.21	160.8	216.09
29	107.0	116.4	88.36	116.5	90.25	117.3	106.09
30	117.8	101.1	278.89	100.8	289.00	100.5	299.29
31	125.0	126.5	2.25	126.8	3.24	128.4	11.56
計			2,313.84		2,263.20		2,750.13
					最 小		

図-1.4 セメント量及び粘度混入率による
PNC板積工の経済比較

VII あとがき

以上各種の試験を行った結果、はじめに述べた集約のとおりであるが、今回の試験は現行の設計基準にもとづいて強度と材令の関係を検討したが、セメント水比(C/W)からの検討は全然ふれることができなかった。セメント水比はコンクリートと同じ強度、耐久性あるいは作業性等に重要な因子であると考えられるので、今後も試験研究を積極的に進める必要があると思われる。

また、今回の試験についても、いまだ十分な結果とはいえないので、これらをもみまえ、より確実な試験データを集め、当初の目的に添うべく努力したいと思います。

皆様のご指導をお願いします。

◇

助 言

粘土の混入率から、現地でソイルが使用できることに確信を得たこと及び強度換算表の作成等今後十分活用できるとと思われる。さらに水、セメント比の関係、E B剤の使用等を検討されたい。

なお、PNC板を使用した場合の裏込のソイルコンクリートの設計基準強度は、局全体の問題として検討したい。