

ソイルセメントの試験について

根 橋 直 人

On The Test of Soil Cement

Naoto NEHASHI

This report is described mainly about the test of compressive strength of soil-cement, using soil-cement as upper-subbase of asphalt-pavement.

1. ま え が き

アスファルト舗装の上層路盤として使用されるソイルセメントの圧縮強度その他の試験に関して述べる。

初めに文献¹⁾に依りソイルセメントの概略を説明する。道路の路盤材として天然土が使用される場合、本邦では特に粘土質が多いから猶更だが、そのままでは使用出来ないことがある。この際この土をいかにしたら使用出来るか、即ち土の安定処理法が従来種々考案され、その主なものを列挙すると次の通りである。

- 1) 粒度を調整する。(機械的方法)
- 2) 添加材を加える。(化学的方法)
- 3) 土の含水量を変え、土の性質を変化させる。(電気的又は熱的方法)

以上の中セメントを添加する法(之をソイルセメント工法と云う)はもっとも経済的で且つ効果的であると考えられ、近來世界的に広く利用されて来た。

併し反面幾許かの欠点もあり、その一例はセメントを過度に使用すれば強度は増進するが、収縮のためヘアークラックを生じ、更に進むと大きな開口部となり上層のアスファルト層にレフレクションクラックを惹起し破壊に至ることがある。但し一応ソイルセメントの考え方としては、初期のヘアークラックは当然起るものとし、又起っても構わないと云う想定がなされている。

ソイルセメントの圧縮強度はどの程度要求されるか、各国で相違するがドイツでは特に高く従来は $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 位までに大きくとったが、前述の通り強度の過大はヘアークラックの原因となり、失敗が多かったので近年は $40\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度迄におとしている。

日本では「アスファルト舗装要項²⁾(以下「要項」と云う)において次の値を基準としている。

重交通 (7,500台/日以上) ……	$30\text{kg}/\text{cm}^2$
中交通 (2,000~7,500台/日) ……	25 //
軽交通 (2,000台/日以下) ……	20 //

この圧縮強度と CBR との関係は、概ね経験的に次のように考えられている。

圧縮強さ	CBR
$10\text{kg}/\text{cm}^2$ ……	50~170
20 // ……	120~250
30 // ……	180~350

さて以上で大略の説明を終り、当試験について述べれば、経済的見地から入手し易い現地産の骨材を使い、圧縮強度を $25\text{kg}/\text{cm}^2$ 、セメント添加量を 6% を目標において製作可能かどうかを調べた。

ここに骨材粒度の調整法(骨材の合成粒度を予定粒度範囲内におさめること)を下記の二通りの方法により、両者の比較検討を行った。

〔A〕 計算法 …… 「要項」 P. 17 参照

〔B〕 図表法 …… 「//」 P. 48~P. 52 //

2. 試 験 方 法

i) 使用材料

セメント(C) …… 宇部普通ポルトランド
(比重 3.15)

細骨材(S) …… 川砂 (F.M=3.40)

粗骨材(G) …… 河川の切込砂利又はピリ
F.M=5.55 (切込)
F.M=5.49 (ピリ)
(25mm以下使用)

バインダー(B) …… 河川の細砂

表-1 および図-1 参照
(2mm以下使用)

表-1 バインダー（細砂）の粒度試験表

試 料	レキ分 %	砂 分 %	シルト分 %	粘 土 分 %	最 大 径 mm	均等係数	三角座標 上の記号	三角座標法 による分類
全 試 料	21	71	5	3	50.0	5.43		レキ混り 砂
2mm 以下	0	90	7	3	2.0	6.0	g	砂

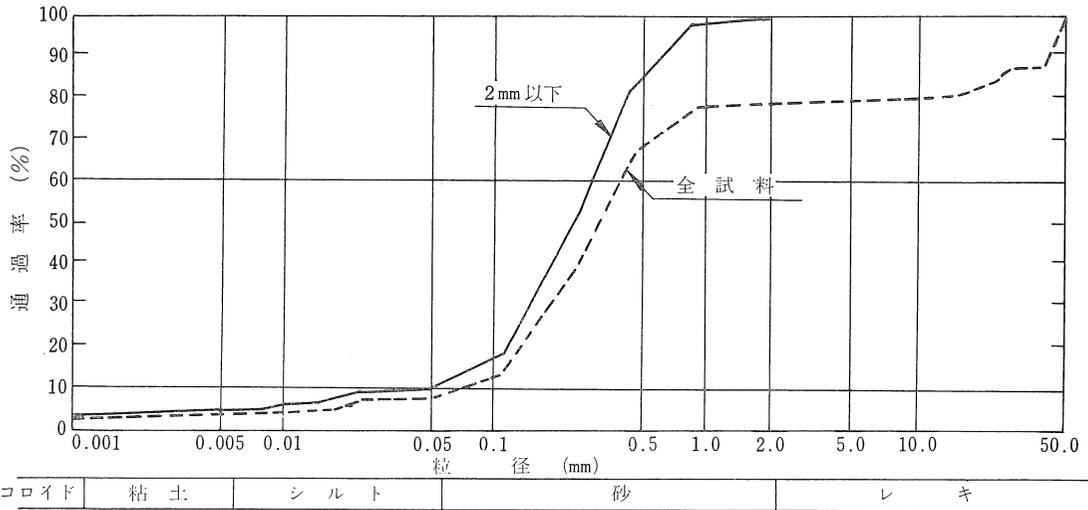


図-1 細砂の粒度曲線図

ii) 試験器具

混合はすべて手練り

試料の作製……JISA 1210 (突き固め試験)

用のモールド ($\phi 10 \times h 12.5\text{cm}$,

$V=1.000\text{cc}$), ランマー等

強度試験……アムスラー, 100t 耐圧試験機

注) 「要項」P. 27 に書いてある通り 最適含水量
を求める試験において, 含水量を変える毎に新
しい試料を作って試験した。

3. 試験結果

粒度調整法を二通りにしたから, 結果も別けて記述す
る。

〔A〕 計算法による場合

i) 使用材料

粗骨材には切込砂利を用いた。

ii) 計算表

次の5種の配合を試算した。

表-2 合成粒度計算表 (その1)

配	通過フルイ (mm)	G (切込砂利) 55%		S (砂) 30%		B (細砂) 15%		合成粒度 100%
		a	$d = \frac{55}{100}a$	b	$e = \frac{30}{100}b$	c	$f = \frac{15}{100}c$	
合 ①	25	100	55.0	100	30.0	100	15.0	100.0
	20	93	51.2	〃	〃	98	14.7	95.9
	10	73	40.2	〃	〃	95	14.3	84.5
	5	52	28.6	〃	〃	94	14.1	72.7
	2	24	13.2	70	21.0	〃	〃	48.3
	0.4	2	1.1	14	4.2	74	11.1	16.4
	0.074	0	0	1	0.3	13	2.0	2.3

表-3 合成粒度計算表 (その2)

配	通過フルイ (mm)	G (切込砂利) 60%		S (砂) 30%		B (細砂) 10%		合成粒度 100%
		a	$d = \frac{60}{100} a$	b	$e = \frac{30}{100} b$	c	$f = \frac{10}{100} c$	
合 (II)	25	100	60.0	100	30.0	100	10.0	100.0
	20	93	55.8	〃	〃	98	9.8	95.6
	10	73	43.8	〃	〃	95	9.5	83.3
	5	52	31.2	〃	〃	94	9.4	70.6
	2	24	14.4	70	21.0	〃	〃	44.8
	0.4	2	1.2	14	4.2	74	7.4	12.8
	0.074	0	0	1	0.3	13	1.3	1.6

表-4 同上 (その3)

配		50%		50%			100%
		a	$c = \frac{50}{100} a$	b	$d = \frac{50}{100} b$		
合 (III)	25	100	50.0	100	50.0		100.0
	20	93	46.5	〃	〃		96.5
	10	73	36.5	〃	〃		86.5
	5	52	26.0	〃	〃		76.0
	2	24	12.0	70	35.0		47.0
	0.4	2	1.0	14	7.0		8.0
	0.074	0	0	1	0.5		0.5

表-5 同上 (その4)

配		80%		20%			100%
		a	$c = \frac{80}{100} a$	b	$d = \frac{20}{100} b$		
合 (IV)	25	100	80.0	100	20.0		100.0
	20	93	74.4	〃	〃		94.4
	10	73	58.4	〃	〃		78.4
	5	52	41.6	〃	〃		61.6
	2	24	19.2	70	14.0		33.2
	0.4	2	1.6	14	2.8		4.4
	0.074	0	0	1	0.2		0.2

表-6 同上 (その5)

配		70%		30%			100%
		a	$c = \frac{70}{100} a$	b	$d = \frac{30}{100} b$		
合 (V)	25	100	70.0	100	30.0		100.0
	20	93	65.1	〃	〃		95.1
	10	73	51.1	〃	〃		81.1
	5	52	36.4	〃	〃		66.4
	2	24	16.8	70	21.0		37.8
	0.4	2	1.4	14	4.2		5.6
	0.074	0	0	1	0.3		0.3

以上を図示すると 図-2 の通りである。

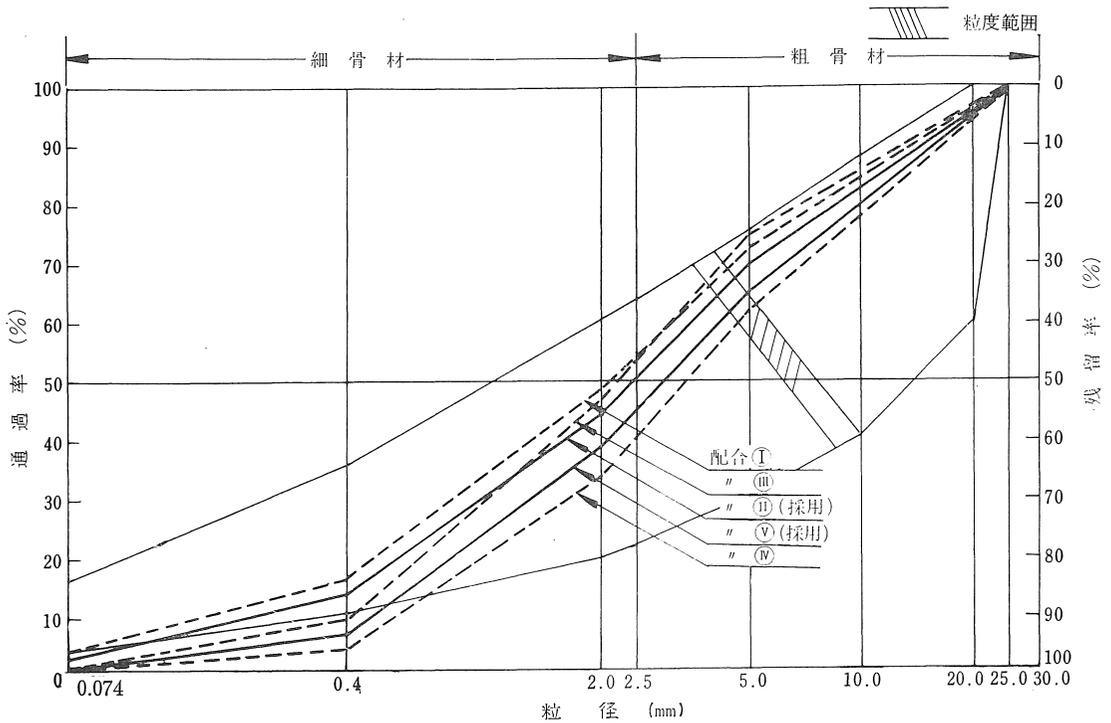


図-2 計算法による各種配合の粒度曲線図

上記の中 ⅡとⅤを採用し、各々より求めたソイルセメント配合表等は次の通り。

表-7 ソイルセメントの配合表 (%)

配合	C	G	S	B	計
Ⅱ	6	56	10	28	100
Ⅴ	6	66	28	—	100

表-8 1バッチ (供試体3個) 当計量表(kg)

配合	C	G	S	B	計
Ⅱ	0.42	3.92	0.70	1.96	7.00
Ⅴ	0.42	4.62	1.96	—	7.00

iii) 結果

イ) 最適含水量 (o. m. c) および最大一軸圧縮強度 (Max. q_u) について

ⅡとⅤの場合につき、各含水量を5~10%の間に換え、乾燥密度(γ_d)と一軸圧縮強度(q_u)を求めたのが表-9、10 および 図-3、4 である。

表-9 計算法による試験結果 (配合Ⅱ)

供試体番号	含水量 (外割) %	乾燥密度 (γ_d) g/c.c.	一軸圧縮強度 (q_u) kg/cm^2	同左平均値 kg/cm^2
1	5	1,854	21.8	20.9
2			21.6	
3			19.3	
1	7	1,873	35.7	34.6
2			31.7	
3			36.5	
1	9	1,940	33.1	33.2
2			33.3	
3			33.2	
1	11	1,917	22.5	23.8
2			23.0	
3			25.9	
1	13	1,886	13.0	12.3
2			12.2	
3			11.7	

表-10 同上 (配合⑤)

供試体番号	含水量 (外割) %	乾燥密度 (γ_d) g/c.c.	一軸圧縮強度 (q_u) kg/cm ²	同平均値 kg/cm ²
A~3	5	1,888	22.8 23.6 20.9	22.4
B~3	6	1,902	33.5 35.3 37.6	35.5
C~3	7	1,919	40.8 35.5 39.0	38.4
D~3	8	1,931	38.2 35.6 37.5	37.1
E~3	9	1,923	34.3 35.8 32.6	34.2
F~3	10	1,964	23.2 24.0 23.8	23.7
G~3	11	1,967	16.9 16.4 16.8	16.7
H~7	12	1,939	13.6 12.7 12.8	13.0

注) 表-9, 10においては何れも次項を適用

- 養生法…… 6日湿砂, 1日水中
- 所要強度…… $\sigma_r = 25 \text{ kg/cm}^2$
- セメント添加量…… 6%

配合②では

$$\text{Max. } q_u = 36.0 \text{ kg/cm}^2, \text{ o.m.c} = 8.0\%$$

配合⑤では

$$\text{Max. } q_u = 38.4 \text{ kg/cm}^2, \text{ o.m.c} = 7.0\%$$

であり、両者は大差ない。含水量が6~9%の間ではすべて圧縮強度は所要値を上廻るので強度に関しては自信が持たれた。

注) 上記 o.m.c を求めるとき、 γ_d-w 曲線中の最高点をとるのが普通だが、ソイルセメントの場合は q_u-w 曲線中の最高点をとることがある。

(「要項」P. 27 参照)

ロ) 含水量を一定 (8%) にして、セメント量を変えた場合の試験

含水量を o.m.c 付近に一定して、セメント量を5, 6, 7%と変えて行った結果が、表-11, 図-5である。このときは配合②について行った。

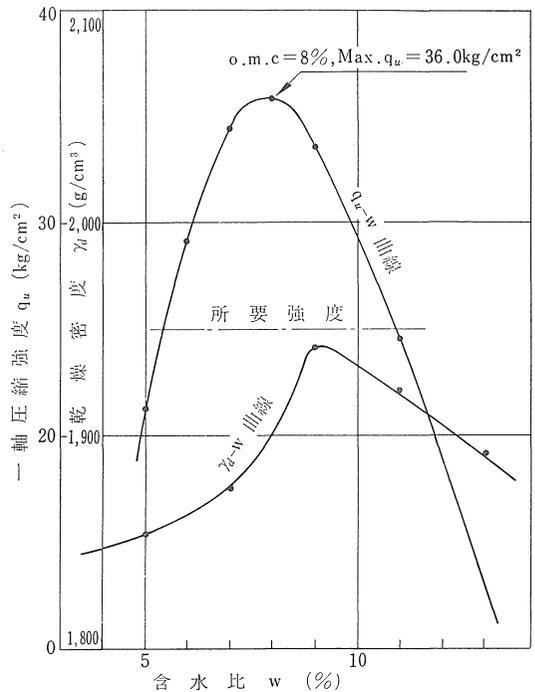


図-3 計算法による試験結果〔配合②〕

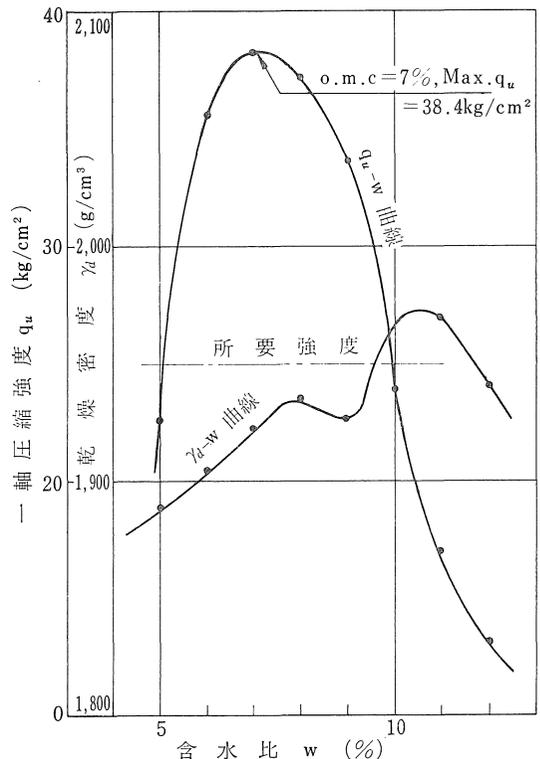


図-4 計算法による試験結果〔配合⑤〕

表-11 含水量一定 (8%) でセメント量を変えた場合の試験結果 (配合 (Ⅱ))

供試体番号	セメント添加量 %	乾燥密度 (γ_d) %	一軸圧縮強度 (q_u) kg/cm^2	同左平均値 kg/cm^2	養生法
A ~	1 2 3	5	22.2 23.4 21.6	22.4	湿 砂
	4 5 6		25.9 24.8 24.6		
B ~	1 2 3	6	33.7 33.6 31.4	32.9	湿 砂
	4 5 6		33.3 32.4 31.0		
C ~	1 2 3	7	35.5 37.2 38.6	37.1	湿 砂
	4 5 6		42.0 42.1 40.5		

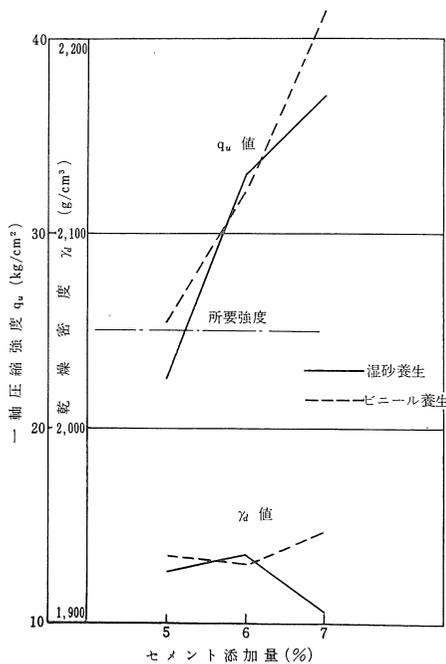


図-5 含水量一定, セメント量変化の場合の試験結果 [配合 (Ⅱ)]

セメント量7%なら $40kg/cm^2$ を超える値が得られたが, やや不経済に思われ, 6%で充分である。養生法の比較として湿砂養生とビニール袋養生を行ったが, 後者が幾分良いようだ。これは後者が温度が一定している利点に反して, 前者は初

め水をかけ過ぎるとセメントが洗い流される心配があったり, 温度や湿度が一定に保たれにくいと云う欠点があるためだろう。何れにしても「要項」に規定されたパラフィンワックスでシールする方法と大差ない効果が得られるものと思う。

〔B〕 図表法による場合

i) 使用材料

粗骨材には切込砂利とビリの二通りを使った。

ii) 方法

図-6, 7 の通りに作図する。

作図について説明すると,

- イ) 先づ所要骨材粒度範囲を決め, それから予定粒度を算出するが, それを次表に示す。

表-12 予定粒度

	通過フルイ	所要骨材粒度範囲	予定粒度
	25 mm	100	100
フルイ通過率 %	20	60~100	80
	10	40~ 87	64
	5	30~ 75	53
	2	20~ 60	40
	0.4	10~ 35	23
	0.074	5~ 15	10

- ロ) 予定粒度を図中にプロットし, これが対角線となるように作図する。即ち例えば20mm目のときの通過率が80%なら, 80%通過率の横軸と対角線の交点から垂線を下しその足を横軸上にとって, その位置を20mm目としたらよい。

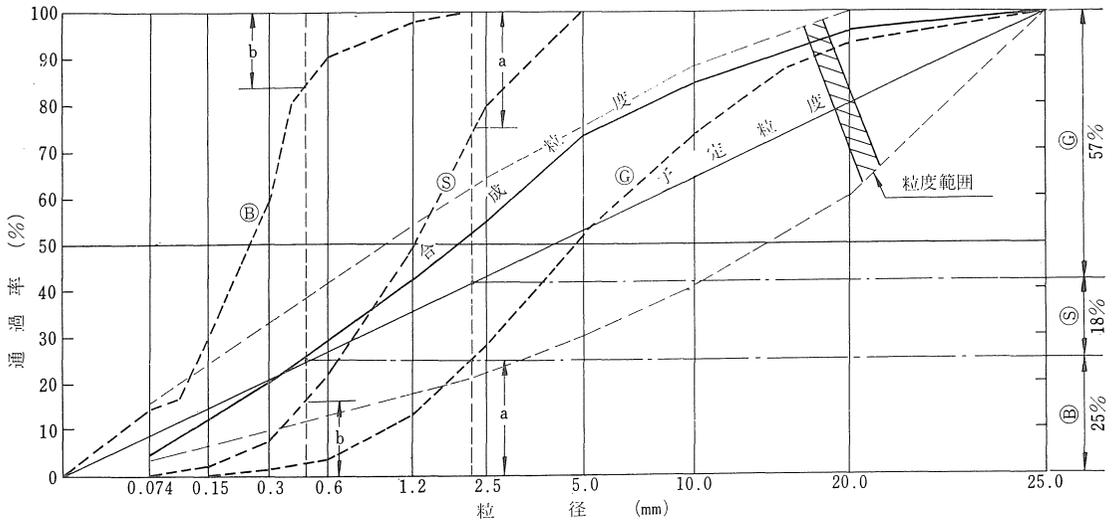


図-6 図表法による骨材配合率の決定 (切込砂利)

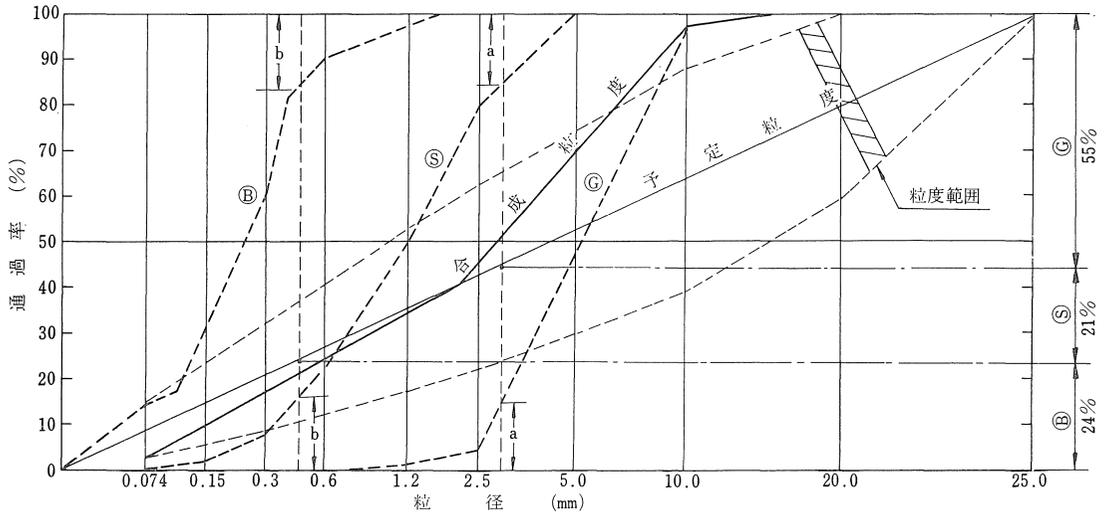


図-7 図表法による骨材配合率の決定 (ピリ)

ハ) 各使用骨材の粒度曲線をプロットする。(G, S, B曲線)

ソイルセメントの配合表等を作れば表-13~表-18の通りである。

ニ) 各骨材の配合百分率の決定

先づSとGについて決める場合は、両曲線が両端重なっているのので、それらと上又は下の横軸との間 (aの長さ) を等しくなるような位置に垂直線を引く。之と対角線の交点が、SとGの配合率を示す。次にBとSについても同様な方法で、bの長さをとってBとSの配合率を決める。以上によって求めた骨材配合率を使い、合成粒度表、ソ

表-13 図表法による合成粒度表

(切込砂利)

通過フルイ <i>mm</i>	G 57%		S 18%		B 25%		合 成 粒 度 100%
	<i>a</i>	$d = \frac{57}{100}a$	<i>b</i>	$e = \frac{18}{100}b$	<i>c</i>	$f = \frac{25}{100}c$	
25	100	57	100	18	100	25	100
20	93	53	〃	〃	〃	〃	96
10	73	41.6	〃	〃	〃	〃	84.6
5	52	29.6	〃	〃	〃	〃	72.6
2	22	12.5	68	12.2	〃	〃	49.7
0.4	2	1.1	12	2.2	80	20	23.3
0.074	0	0	0	0	14	3.5	3.5

表-14 ソイルセメント配合表 % (切込砂利)

C	G	S	B	計
6	53.6	16.9	23.5	100

表-15 1 バッチ (供試体 3 個) 当計量表 *kg* (切込砂利)

C	G	S	B	計
0.420	3.752	1.183	1.645	7.000

表-16 図表法による合成粒度表

(ピリ)

通過フルイ <i>mm</i>	G 55%		S 21%		B 24%		合 成 粒 度 100%
	<i>a</i>	$d = \frac{55}{100}a$	<i>b</i>	$e = \frac{21}{100}b$	<i>c</i>	$f = \frac{24}{100}c$	
25	100	55	100	21	100	24	100
20	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
10	97	53.3	〃	〃	〃	〃	98.3
5	48	26.4	〃	〃	〃	〃	71.4
2	3	1.7	68	14.3	〃	〃	40.0
0.4	0	0	12	2.5	80	16.8	19.3
0.074	0	0	0	0	14	2.9	2.9

表-17 ソイルセメント配合表 % (ピリ)

C	G	S	B	計
6	51.7	19.7	22.6	100

表-18 1 バッチ (供試体 3 個) 当計量表 *kg* (ピリ)

C	G	S	B	計
0.420	3.619	1.379	1.582	7.000

iii) 結 果

a) o.m.c および Max. q_u について

試験結果は表-19, 図-8, 9 の通り.

表-19 図表法による試験結果

骨材種類	供試体番号	含水量(外割) %	乾燥密度 (γ_d) g/cc	一軸圧縮強度 (q_u) kg/cm ²	同左平均値 kg/cm ²
切込砂利	A~3	6	1,861	33.2 30.9 30.9	31.7
	B~3	7	1,881	34.9 35.1 36.3	35.4
	C~3	8	1,891	32.8 33.2 33.1	33.0
	D~3	9	1,902	32.2 33.9 35.4	33.8
ビリ	E~3	6	1,873	33.9 38.7 37.0	36.5
	F~3	7	1,893	39.9 43.9 39.4	41.1
	G~3	8	1,908	33.9 38.8 40.2	37.6
	H~3	9	1,937	33.4 35.9 33.5	34.3

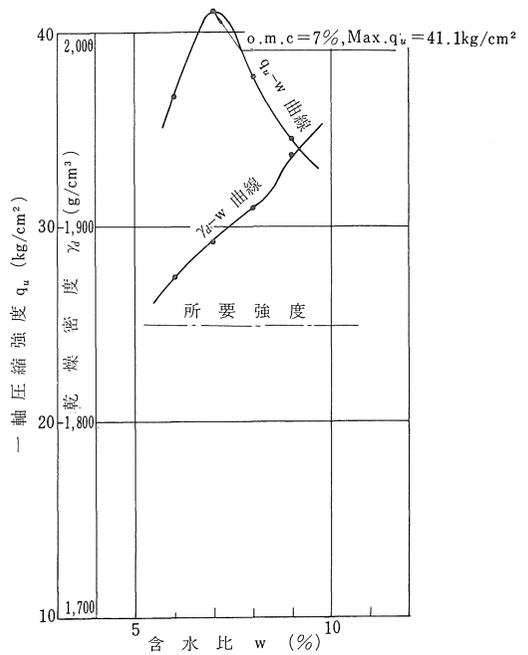


図-9 図表法による試験結果 (ビリ)

o.m.c は両者 7%, Max. q_u は切込砂利が 35.4kg/cm², ビリが 41.1kg/cm² である。 γ_d は大体 [A] と同じ位である。

強度について見ると、一寸意外なのはビリの方が大きく出たことである。之は私見だが、小さな供試体では強度に影響を与える因子としては、突き固めによる骨材間のかみ合わせより、むしろ骨材とセメントとの結合力つまりなじみが大きく作用するものと考えられる。従って現場で大量に打設する場合はローラーの転圧効果が大きいから、密度が大となり、骨材のかみ合わせ力が大きく働いて強度も増大すると推察される。即ち試験結果と反対の結果が出るだろうと思う。実際に現場試験をしてみなければはっきり言明は出来ない。ともあれ強度は [A] と同様、含水量が 6~10% の間ならば所要値を上廻ることが確かめられた。

[C] 総合的判断

[A], [B] は q_u も γ_d もほぼ同様の値なり傾向を示し、骨材調整法の如何による差は余り見られなかった。強度の最高値として 41kg/cm² を得たことは自信を強くした。そしてセメント添加量は 6% でも充分であり、o.m.c は 7~8% 位、 γ_d は 1.9 内外であり、何れも標準値に近いと思える。

4. 考 察

現場で容易に入手し得る骨材を用い、種々の条件を満

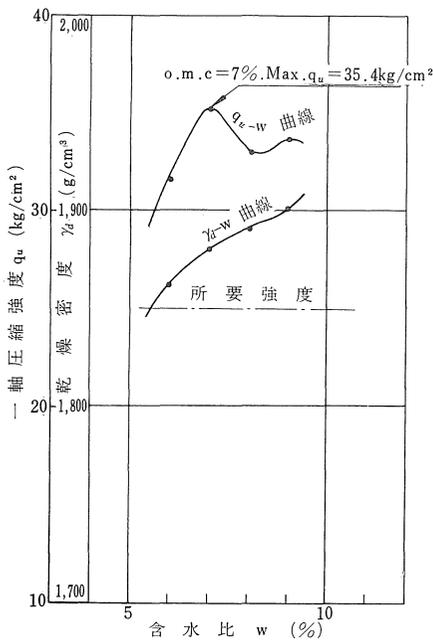


図-8 図表法による試験結果 (切込砂利)

足させる供試体が出来るかどうかの試験を行ったが、一応所期の目的は達せられたと思う。但しこの場合は骨材はすべて砂質で殆んどシルト。粘土分を含んでいないため、即ち極言すれば貧配合のコンクリートと考えられ、ソイルセメントの概念から逸脱しているようにも思える。

そこで普通の土、所謂真土を使つての試験を望んだが、丁度それに関し或る現場で真土を一定量加えた場合の試験をし、データを見せて貰ったがかなり良い結果で、当試験値より高強度だった。之を推察するに、或る量の微粒子が、最適含水量における転圧効果を最大ならしめ、密度や強度を増進せしめ得るものと考えられる。

最後に当試験により、経済的、効果的なソイルセメントが出来得ると云う自信が持てたことは、一つの収穫だったと信じている。之が現場施工に役立てば幸である。

引 用 文 献

- 1) 竹下春見：昭和38年・「コンクリートパンフレット第71号ソイルセメント」：日本セメント技術協会
- 2) 日本道路協会：昭和36年：「アスファルト舗装要項」：日本道路協会