

# こう石コンクリートの実験的考察

加賀美一二三\*・長谷川 博\*・兼行 啓治\*\*・川添 昌彰\*

## On the Experimental Study of Granite Concrete

Hifumi KAGAMI, Hiroshi HASEGAWA, Keiji KANEYUKI  
and Masaaki KAWAZOE

### Abstract

It is necessary to reconsider the granite concrete for paved materials of road. So, the authors report a paper that they experimented on the object for research regard with dynamical properties: judgement of workability, pertinent proportion, compressive and tensile strength, abrasive ratio of granite concrete.

### 1. 緒 言

現下、モーターリゼーションの増加と交通体系の確立のために、道路工事は全国的に実施されているが、路面舗装においてはほとんどアスファルト舗装が主流をなしている。このアスファルト舗装の技術上の欠陥としては、路線急坂部、曲線部のスリップおよび温度上昇による波打現象などがあげられるので、アスファルト舗装の補助材として、こう石コンクリートを考察することにした。

こう石コンクリートとは、セメントと粗骨材に水を加えて練り混ぜてできあがったもので、いわゆる砂ぬきコンクリートである。

本報告は、こう石コンクリートに関する物理的、力学的諸性質を究明するために、9種の配合を決定し、ワーカビリティの判定、適正配合の範囲の選出および力学的性質など知るために、圧縮強度試験、引張強度試験、スリヘリ減量試験など行なったものである。

### 2. 使用材料

#### 2・1 セメントおよび混和材料

使用したセメントは、U社の普通ポルトランドセメント（比重=3.15）と、混和材料として同社のフライアッシュ（比重=2.07）を添加することにした。

#### 2・2 骨材（粗骨材）

使用粗骨材は、山陽町産の砕石を使用し、粒径の範囲は、一般の連続粒度のものが望ましいが、本実験的

研究のこう石コンクリートは、単粒な組合せとして、5~10mm, 10~15mm, 15~25mmと連続粒度の5~25mmの4組を考え、粒径による影響を考察することにした。Table 1に示すのは、この4組の物理試験結果である。

Table 1 Properties of coarse aggregate

Sign	Grading (mm)	Specific gravity	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Fineness modulus	Percentage of solid volume
I	5~10	2.64	1462	—	55
II	10~15	2.67	1507	—	56
III	15~25	2.67	1524	—	57
IV	5~25	2.65	1575	7.15	59

### 3. 実験内容

#### 3・1 圧縮、引張強度試験

圧縮、引張強度試験用供試体の製作は、 $\phi 10 \times h 20 \text{cm}$  供試体を用い、養生方法は、打込み後4~6時間経過した後キャッピングを行ない、1日たって脱型を行ない、水温  $20 \pm 1^\circ \text{C}$  の恒温恒湿室で水中養生を所定の材令まで行なった。

両強度試験は、同一条件の供試体を3個とし、材令14日で養生槽より取り出し重量を測定して、JIS-A-1108およびJIS-A-1113により実施したもので、本供試体の14日強度試験は、早期交通許可の根拠にもとづくものである。

\* 工業短期大学部土木工学科

\*\* 土木工学科

#### 4. 配合およびワーカビリティの測定について

##### 4.1 こう石コンクリートの試し練り

こう石コンクリートの配合設計は、強度、経済性よりも施工面を重視し、ペーストによって骨材の空隙を充填すればワーカブルで表面仕上げの容易なコンクリートと考え、各材料（1バッチ=10l、粒径=10~15mm、w/c=45%、水量=2.25kg、セメント量=5.00kg、粗骨材量=16.58kg）を計量し、試し練りを実施した。Fig. 1 は、このこう石コンクリートである。



Fig. 1 Granite concrete in case of trial mix

この試し練りの結果によれば

- (1) w/c=45%の場合は、ペーストと粗骨材が分離して流出の傾向となるので、w/cはさらに減少すべきものといえる。
- (2) セメント量については、超富配合コンクリートとなるもので、Fig. 1 をみるごとくペーストで空隙を充填しているとはいえない。
- (3) スランプの測定結果はほぼ17cm程度となったが、これは材料の分離、粗骨材の崩落によって大きくなったものであり、スランプ試験だけによるワーカビリティの判定は望ましくないと思われる。
- (4) フライアッシュ添加は、セメント量の節約、空隙の充填およびワーカビリティの改善になるものと考えられる。

##### 4.2 ワーカビリティの測定方法

こう石コンクリートのワーカビリティの測定は、スランプ試験、ボックスフロー試験およびコーンフロー試験によることとし、三方法の測定結果より比較検討を実施することにした。採用したボックスフロー、コーンフローの試験方法について説明すると、

###### (1) ボックスフロー試験

試験の方法は、Fig. 2 の容器の中に試料を3層に分けて各層25回均等に突固めて上面をならした後、仕切板を取り除いた後の試料の変化を、上面の

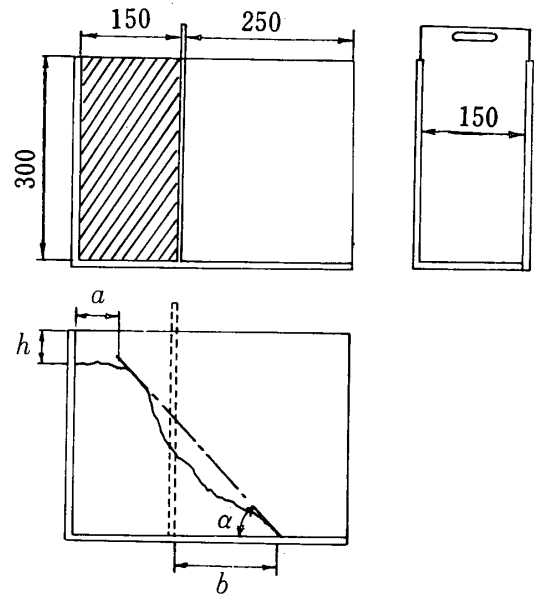


Fig. 2 Arrangement of box flow test

残り、a、上面からのさがり、h、下面の流出長さ、bを測定し傾斜角、 $\alpha$ を計算した。本試験の利点は、仕切板を取り去った後の試料の変化を傾斜角で測定でき、特にプラスチックなコンクリートの判定が容易と考えられる。

###### (2) コーンフロー試験

Fig. 3 に示す装置を用いてJISのフロー値試験と同様にコーンに試料を2層に分け、各層を15回均等に突固めコーンを鉛直上方に静かに取り去った直後の上面からのさがりhフローテーブルにひろがった直径の最長方向aとそれに直角な方向bを加えて平均した値をコーンフロー値とした。次にハンドルをまわし、15回落下運動を与えた後の変化を前と同様に測定したが、この場合は、試料に強制的変化を与えるので、粒径による変化状態、材料の分離抵抗など

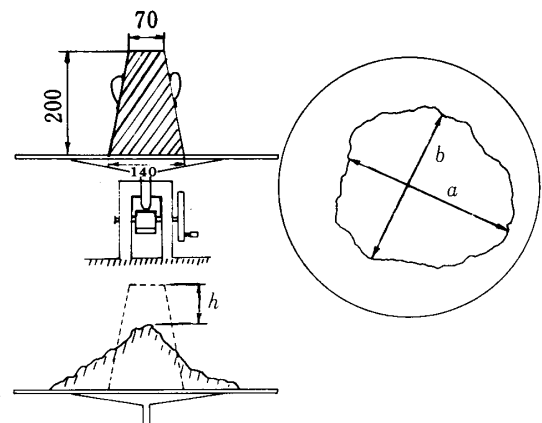


Fig. 3 Arrangement of cone flow test

が示されるものと考えられる。

4・3 水セメント比の決定

こう石コンクリートのワーカビリティにおよぼすペーストの影響を知るために、JIS-R-5201の規格のフロー試験を行ない水セメント比の使用範囲を決定することにし、普通ポルトランドセメントおよびフライアッシュをセメント量の20%添加した場合の2種類について行った。Fig. 4は、ペーストのフロー試験結果である。

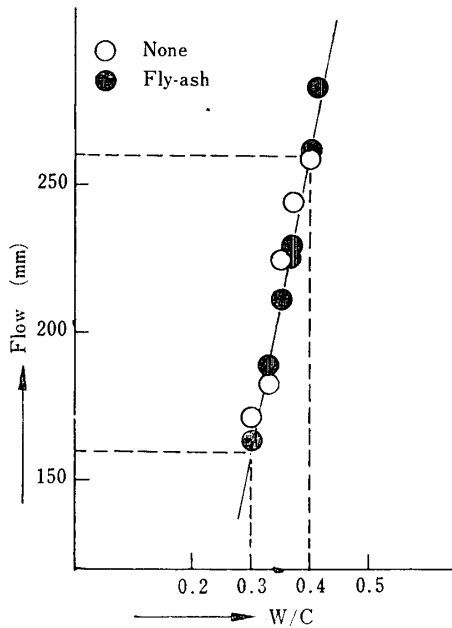


Fig. 4 Resultants of flow test

Fig. 4より、普通ポルトランドセメントとフライアッシュ添加の場合の両者の相違は認められず、本試験の結果、フロー値の範囲は160~260の間が適切と考え、水セメント比の使用可能範囲を30~40%が望ましいとした。

4・4 セメント量の決定

前述の試し練りのごとく、セメント量が少ないと空隙が大となり、施工性の悪いコンクリートとなり、セメント量を多くすると、ワーカブルで強度も大となるが経済性が問題となる。この関係は、ペースト粗骨材容積比 P/A (P:ペーストの容積, A:粗骨材の容積)によって影響を受けるものであり、強度、施工性および経済性の観点より、P/Aの決定は十分に考慮しなければならない。

4・5 こう石コンクリートの配合計算

予備実験にもとずき、本実験のワーカビリティおよび力学的性質を究明するために、w/c=32%, 36%, 40%やP/A=40%, 60%, 80%の各3段階とフライアッシュを20%添加した場合について配合計算を行ない、Table 2に、その計算結果を示した。Table 3は、昭和6年に道路研究会および内務省土木局が刊行している「膠石舗装標準示方書」の値を換算した配合である。

Table 2 Calculation of proportion of granite concrete (kg/m<sup>3</sup>)

W/C (%)	P/A (%)	Unit weight (plain)			Unit weight (Fly-ash)			
		C	W	A	C	W	A	F
32	40	448.1	143.4	1907.1	353.9	141.7	1882.8	88.5
	60	588.2	188.3	1668.7	462.6	185.3	1640.8	115.7
	80	697.2	223.1	1483.3	546.8	218.7	1454.3	136.8
36	40	421.6	151.9	1907.1	333.2	150.1	1884.1	83.3
	60	553.5	199.3	1668.7	434.9	196.3	1643.2	109.0
	80	656.1	236.2	1483.3	515.2	231.8	1455.9	128.8
40	40	398.1	159.3	1907.1	314.9	157.5	1885.5	78.7
	60	522.7	209.1	1668.7	411.9	206.0	1644.0	103.0
	80	619.5	247.8	1483.3	487.0	243.5	1457.5	121.7

Table 3 Reduced values of granite concrete proportion.

	C/A	W/C	Unit weight		
			C	W	A
Japan association of road	0.5	27	440.6	118.9	1509.6
	0.5	33	429.2	141.7	1470.6
Civil Eng. Office of Department of Home Affairs, Japan	0.5	30	434.9	130.3	1490.1
	0.5	35	425.6	148.9	1458.2

5. こう石コンクリートのワーカビリチー

5・1 スランプ試験の結果について

スランプ試験の結果を図示すると Fig. 5 となり、この結果によればスランプ 15~20cm の非常に軟らかいグループと、0 cm 付近のグループに分かれる。道路舗装には後者のものが適切なコンクリート配合と考えられ、これは P/A=60%~80% と w/c=32%~34% 程度の配合となる。P/A=40 ではスランプが 15~20 cm の間にあるが、これは w/c によって影響を受けなくセメント量の不足によって空隙が大となり、崩落現象を起したものである。P/A=60% および 80% になるとセメント量が空隙に充填し、w/c によってスランプの影響が顕著になっている。図中にフライアッシュ添加コンクリートも同様の傾向を示している。なお Fig. 5, (a), (b), はその測定状況を示したものである。

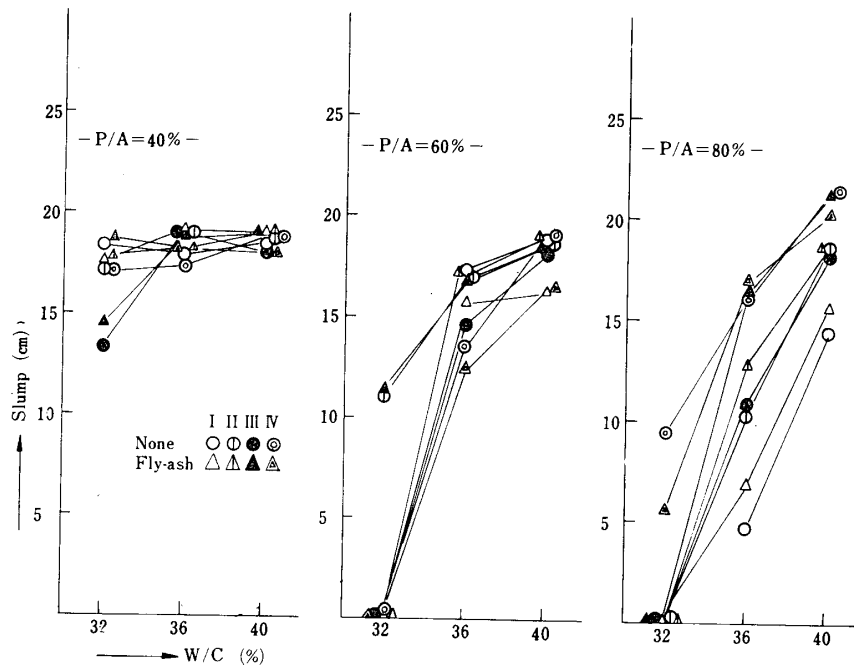


Fig. 5 Relation between w/c and slump

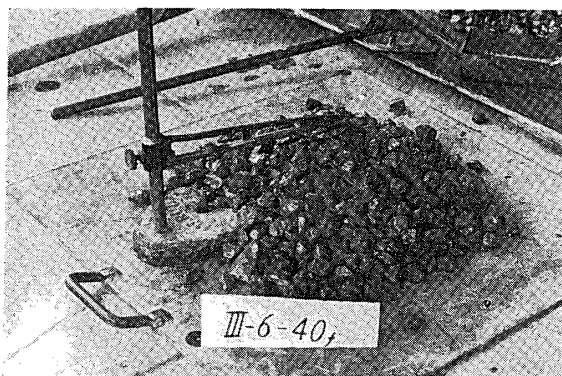


Fig. 5 (a) Slump in case of P/A=40%



Fig. 5 (b) Slump in case of P/A=80%

5・2 ボックスフロー試験の結果について

Fig. 6 は、ボックスフロー試験の測定値より傾斜

角を計算し 図示したもので、これによれば、傾斜角 90° の場合は硬練りで仕切板を取り去ってもそのまま

の型を保っている。軟らかくなると崩れや流出現象を伴ない傾斜角は小となる。プラスチックなコンクリートになると型を保ちながら徐々に仕切板を取り去った面がふくらみ、傾斜角は90°以上になる。以上の結果によれば、P/A=40%では傾斜角が35°~50°で崩落に

よって大となり、P/A=60%および80%ではw/c=32%と36%の間に90°と90°以上が存在するが、w/c=40%になると流出現象を起し、傾斜角は小となっている。Fig. 7, (a), (b), (c)は、ボックスフロー試験の測定状態である。

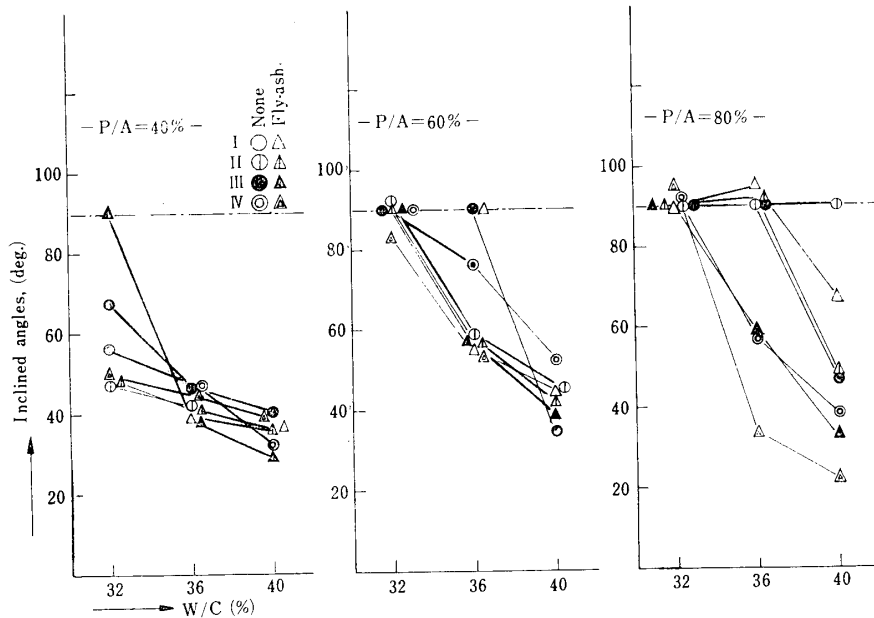


Fig. 6 Relation between w/c and inclined angles

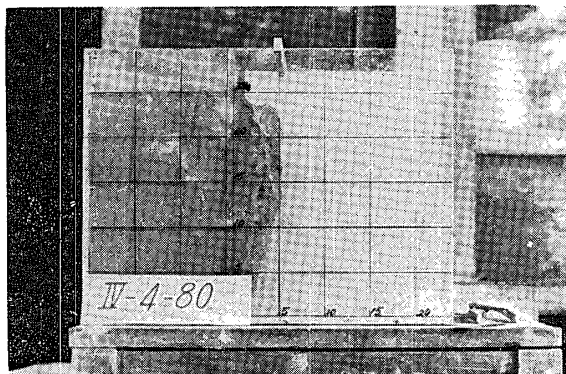


Fig. 7 (a) Inclined angle in case of w/c=32% (P/A=80%)

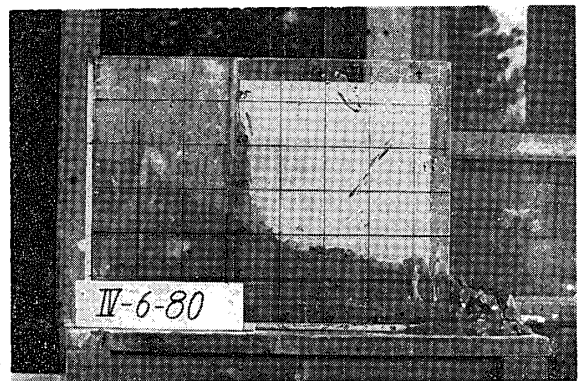


Fig. 7 (c) Inclined angle in case of w/c=40% (P/A=80%)

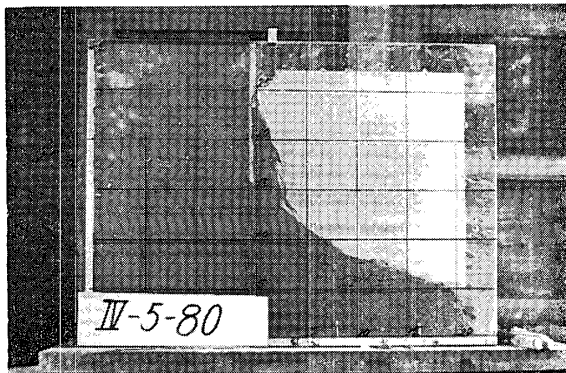


Fig. 7 (b) Inclined angle in case of w/c =36% (P/A=80%)

### 5.3 コーンフロー試験の結果について

コーンフロー試験によって測定した上面からのさがり、hの結果を Fig. 8 に示した。この傾向はスランプ試験の場合とほぼ同様である。コーンフロー値について Fig. 9 より説明すると、P/A=40%ではw/cに関係なく25~29cmになる。P/A=60%ではw/cの関係が僅かながらあられ、P/A=80%になるとw/cによって大きく変化している。コーンを取り去った直後と15回落下運動を与えた後のコーンフロー値との差を Fig. 10 に示したが、これより材料の分離に抵抗す

る要素を考えると、 $w/c=32\%$ において差が大きくなったが、これは硬練りのためコーンを取り去った直後は原型であったものが、15回の落下運動による崩れのためである。 $w/c=36\%$ と $40\%$ では直後に崩れ、15回

落下を与えても2~4cm程度のみの変化であった。

Fig. 11 (a), (b)は、コーンフロー試験の測定状態を示した。

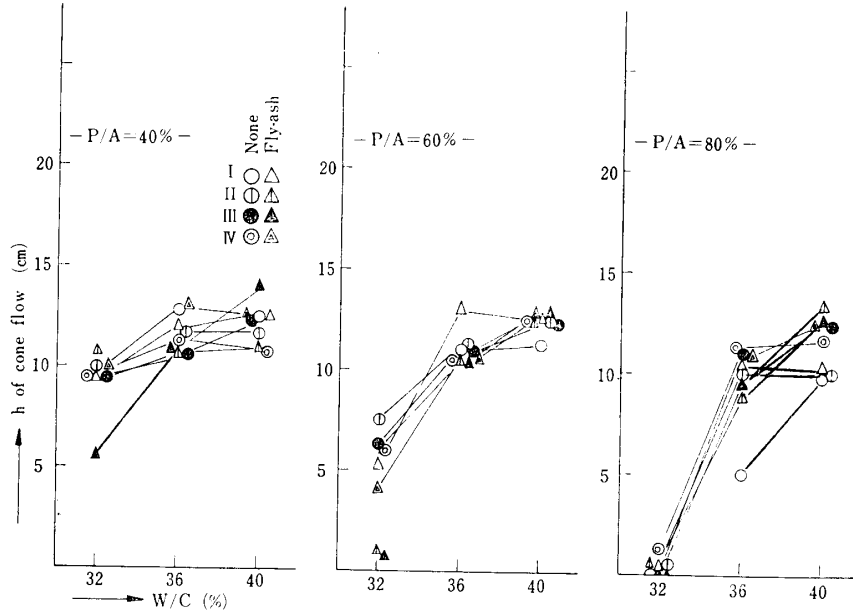


Fig. 8 Relation between  $w/c$  and  $h$  of cone flow

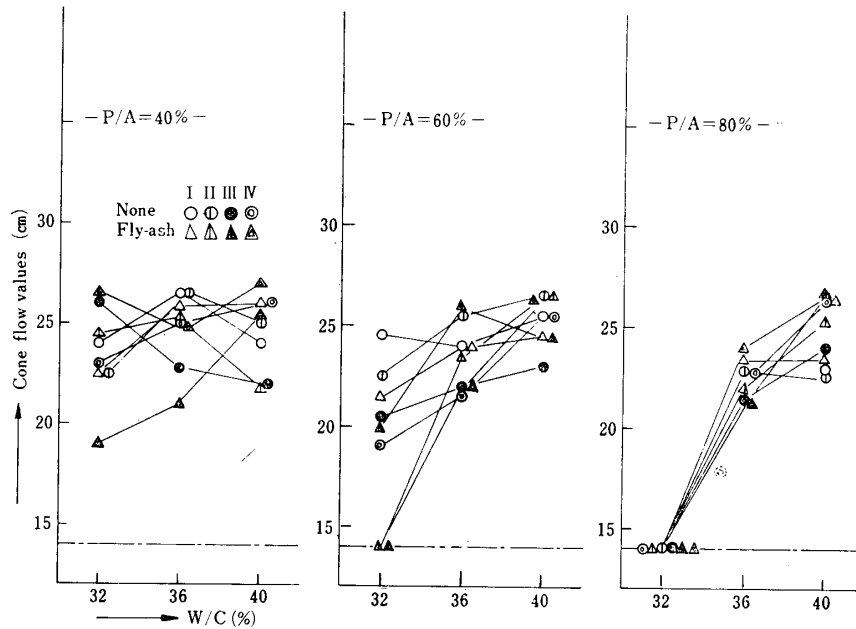


Fig. 9 Relation between  $w/c$  and diameter of cone flow (Soon after)

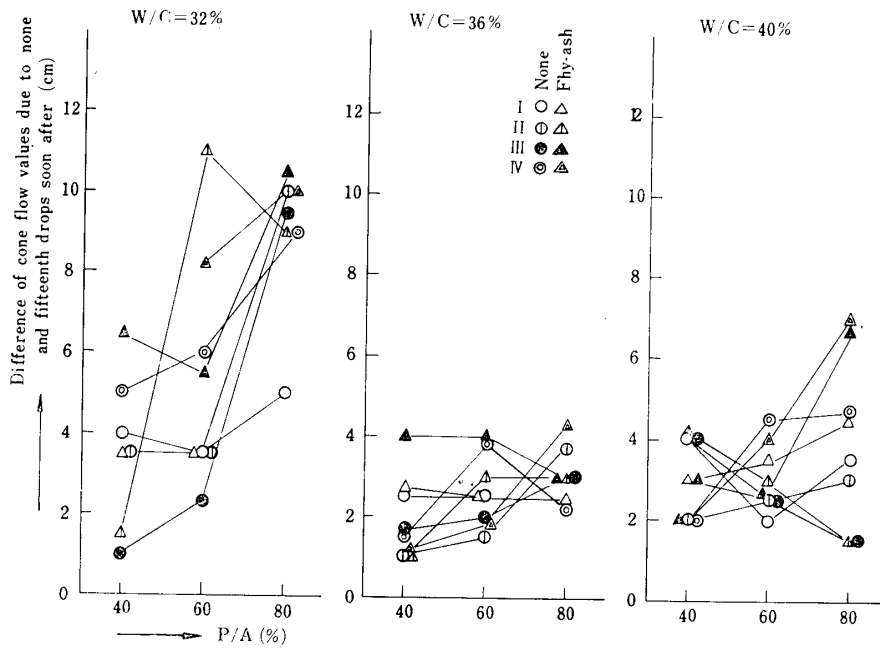


Fig. 10 Relation between P/A and difference of cone flow values due to none and fifteenth drops soon after

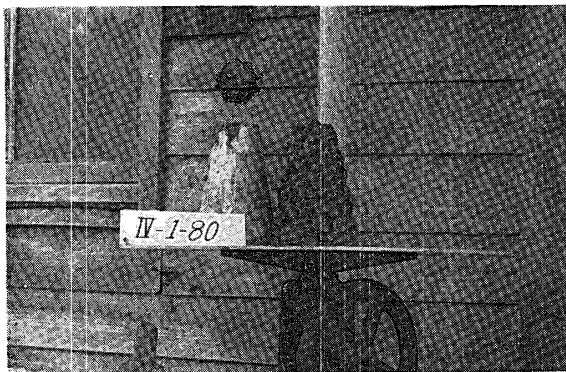


Fig. 11 (a) Cone flow in case of P/A=80%

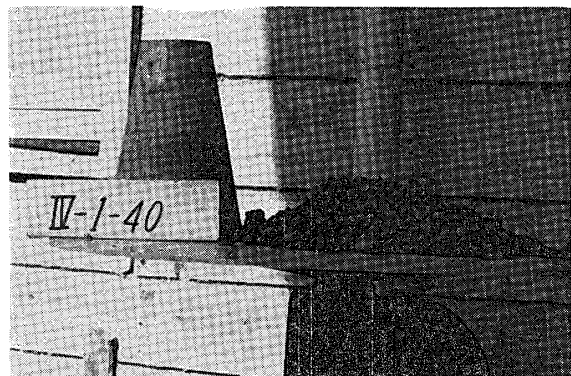


Fig. 11 (b) Cone flow in case of P/A=40%

6. 空気量の測定結果

空気量の測定は、JIS-A-1128を採用した。測定結果は Table 4 に示すとおりで、P/A=40%は空気量が

15%以上となり、空気室圧力方法では測定不可能となった。P/A=60%では、粒径Ⅲ→Ⅱ→Ⅰ→Ⅳの順に小さくなり、w/c によっても少し影響があるようである。

Table 4 Measured values of air of each granite concrete.

P/A (%)	w/c (%)	Plain (no admixture) concrete				Fly-ash concrete			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
60	32	—	11.0	13.0	3.9	9.4	9.4	10.0	2.3
	36	—	6.9	10.0	1.3	4.3	6.9	8.1	1.7
	40	9.6	7.0	4.0	1.7	8.4	5.0	4.4	1.7
80	32	—	1.3	1.3	0.8	1.8	1.7	1.1	1.0
	36	—	1.2	1.4	0.8	1.7	1.5	1.1	1.3
	40	1.9	1.1	1.5	1.5	2.5	1.5	1.6	1.3

る。P/A=80%になるとセメント量が多くなり、骨材の空隙がペーストで飽和されて空気量は、1~2%だった。

7. こう石コンクリートの力学的性質

7.1 圧縮強度試験の結果について

Fig. 12は圧縮強度と c/w の関係を示したもので、P/Aの一定のものは、ほぼ直線関係にあり、リースの Cement water ratio theory の傾向は立証されており、この直線の傾きは、骨材の種別によって異なる

同時に、セメント量が増加するにつれて大きくなる。

セメント量の増加と圧縮強度の関係を Fig. 13 で示しているが、同一 w/c において P/A が増すにつれて大きくなり、この傾向は硬練りの場合に著しくなり、P/Aの小さい貧配合コンクリートの強度は、w/cの影響が小さくむしろ他の要素、例へば空隙などにより支配されるものと思われる。強度の上昇効果については w/c が小さいものほどよく、w/c が大きい36% および 40%に対しては P/A=80%の 富配合にしてもあまり効果はなく、P/Aは60%程度で十分であると思われる。

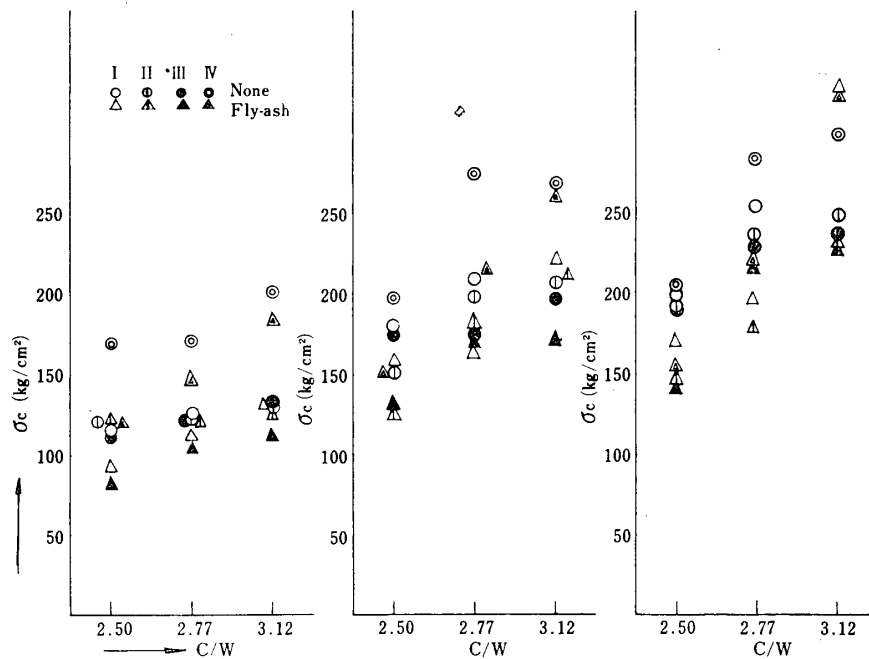


Fig. 12 Relation between c/w and  $\sigma_c$

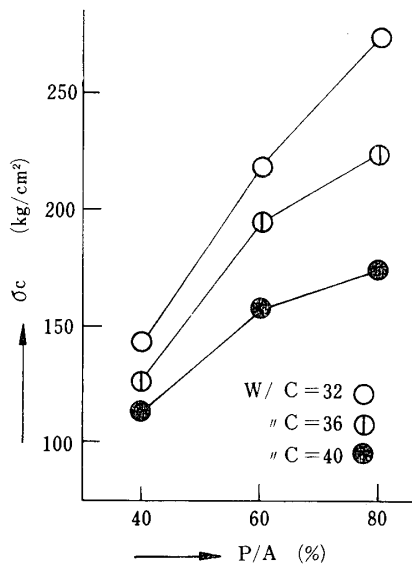


Fig. 13 Relation between P/A and  $\sigma_c$

圧縮強度と粗骨材の粒径との関係を示すと Fig. 14 のとおりで、比較すると、w/c および P/A には関係なく、各種コンクリートとも連続粒径IVがもっとも大きい圧縮強度を示し、単粒粗骨材では、その粒径が小さいものほどよく I→II→IIIの順であった。

本実験において、圧縮強度に影響すると思われる諸要因をあげ、試験結果と合致する項目をしらべてみると Table 5 のとおりである。この結果圧縮強度におよぼす骨材粒径の影響は 4 組の骨材を用いた場合、生コンクリートの施工性の良否によって左右されたものと考えられる。



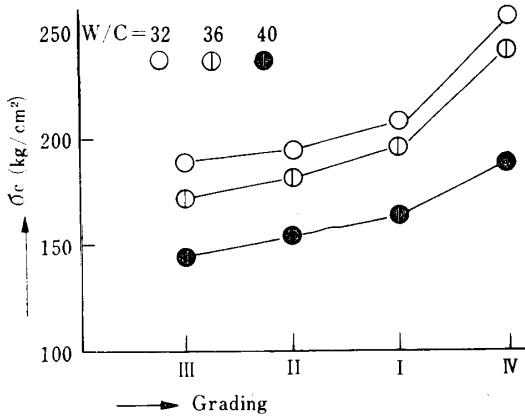


Fig. 14 Relation between grading and compressive strength

Table 5 Relation between each elements and grading of coarse aggregate.

Items	Relative order	Relative items	Judgement
Compressive strength	IV I II III	—	Workability
Easy compaction	IV I II III	○	
Segregated trouble of cement paste	IV I II III	○	
Order of air void	IV I II III	○	
Workability	IV I II III	○	
Max. size of coarse aggregate	IV III II I	—	
Percentage of absolute volume	IV III II I	—	
Film thickness of cement paste	III II IV I	—	

7・2 引張強度試験の結果について

引張強度と c/w の関係を示すと Fig. 15 となり、P/A=40%と60%の場合は顕著な変化の傾向を示さないが、P/A=80%の場合は、ほぼ傾斜の直線の関係が成立し、常識的傾向が認められた。前述の  $\sigma_c$ -c/w では、一般的原則が成立したわけであるが、 $\sigma_t$  の場合、異なった理由は引張応力に関してはその内部応力状態からコンクリートの密実性が一層密接な働きをなし、本実験のごとき空隙の大なる供試体では、この影響が大きく作用したと思われる。

Fig. 16 は、P/A と引張強度の関係を示したものであり、 $\sigma_t$  は w/c よりも P/A により支配される要素が大きく P/A=40%ではセメント量が不足し、空隙を充填し所要の強度を得るためにはP/A=60±10%程度が望ましく、こう石コンクリートはその性質の大部分をセメントペーストで分担することになるが、施工上の経済的立場からセメント量の許容範囲は限定され、したがって強度性状、施工性および経済性の三点について技術的考慮を払うことが必要である。

Fig. 16を一般化し、セメントペースト率P/V (P:ペーストの容積、V:コンクリートの容積) であらわすと、Fig. 17のように三つの折線となる。第1折点が単位セメント量 37°/V (P/A=60%) となり、セメント使用量に対する  $\sigma_t$  の効率がよく、セメントの有効使用範囲と考えられ、これ以上は経済性から望ましくない。P/V=37°/V程度でワーカビリティを増し、強度の増大をはかることが望まれる。

粒径の影響は、Fig. 18に示すように、連続粒径がよいこと、単粒粗骨材ではその粒径の小さいほどよい

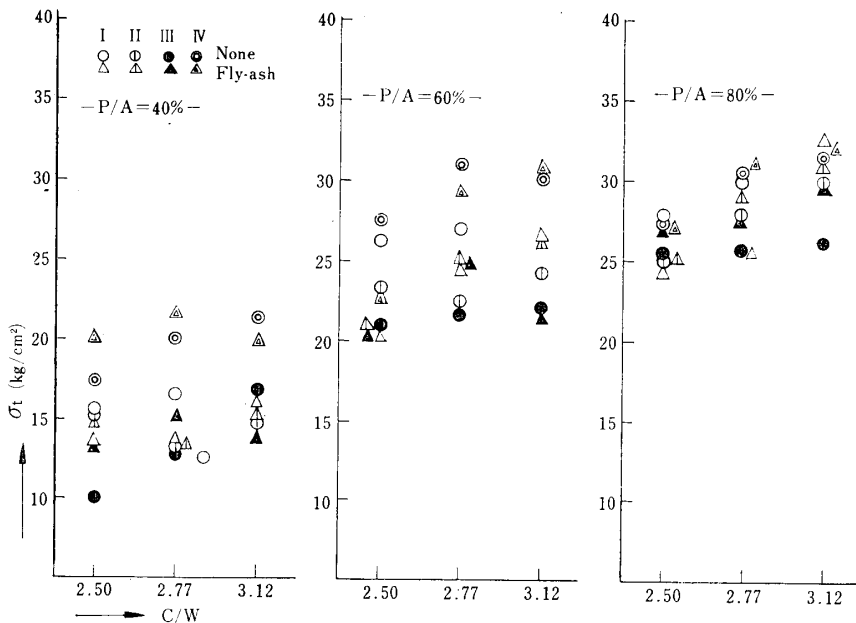


Fig. 15 Relation between c/w and  $\sigma_t$

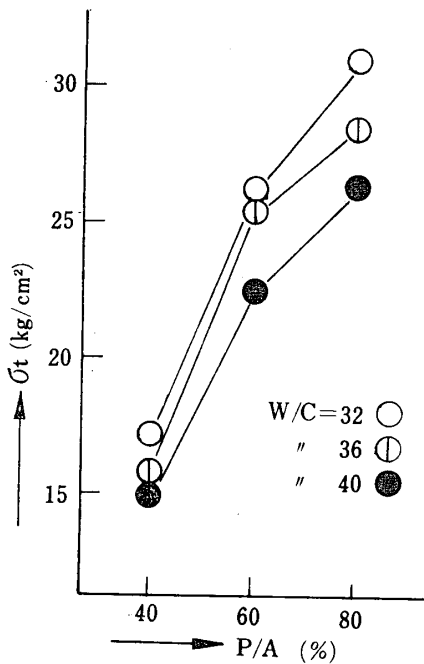


Fig. 16 Relation between P/A and  $\sigma_t$

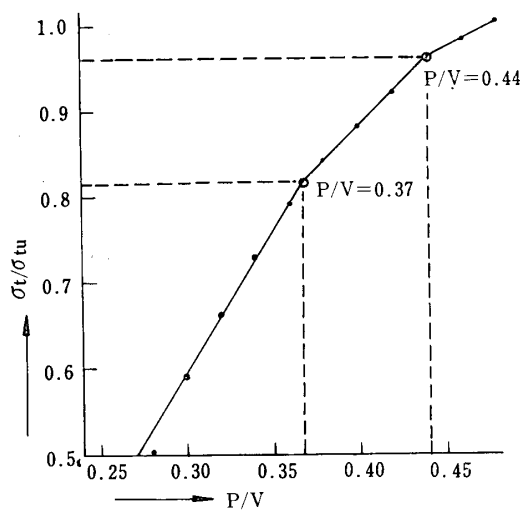


Fig. 17 Relation between P/V and  $\sigma_t/\sigma_{tu}$

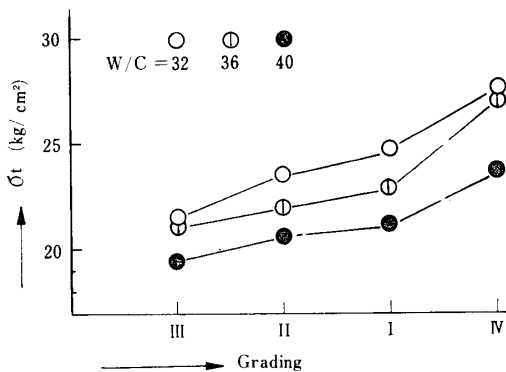


Fig. 18 Relation between grading and tensile strength

ことなど圧縮強度の場合とすべて同様である。この関係を空隙率から考えると、粗骨材が単粒であるときは、たとへ供試体内の空隙率が同じであっても、その最大寸法が大きくなるほど空隙1個当りの体積は大きくなり、これが弱点となったものと思われる。連続粒径IVの骨材は4組の骨材中その最大寸法も大であるが、小、中、大粒を均等量混入しているため空隙率、配列状態が改善されて、むしろ粗骨材の最大寸法が大きいたことが効果を発揮したと考えられる。

### 7.3 セメント空隙比について

セメント空隙比  $c/v$  ( $c$ :セメントの容積,  $v$ :空隙の容積) と圧縮強度ならびに引張強度の関係も示すと Fig. 19, 20のとおりである。これによれば  $\sigma_c$ ,  $\sigma_t$  ともに  $c/v=2.0$ までは直線関数が認められ、コンクリートの強度に対し大きな影響があることがわかる。この傾向は  $\sigma_c$ ,  $\sigma_t$  の両者の場合も、そして骨材粒径の如何をとわず同様である。ゆえに、この領域においては、コンクリートの強度は  $w/c$  よりも  $c/v$  によって決定づけられたものと考えられる。 $w/c$  はエブラムス、リースが提唱しているごとく、ワーカブルな普通コンクリートの範囲において成立するもので、したがってこう石コンクリートの場合は  $w/c$  よりも  $c/v$  の要因が大きく影響し、タルボットのセメント空隙比理論によることが適切であり、これが立証できたものとする。

$c/v=2.0$ における  $\sigma_t$  の値は粒径種別によって異なるが  $c/v=2.0$ 以上になると、 $\sigma_c-c/v$ ,  $\sigma_t-c/v$  線はいずれも図示のごとく横軸にはほぼ平行な直線となる。この  $c/v=2.0$ の位置は  $w/c$  と  $c/v$  の適用に関する境界点と考えられる。

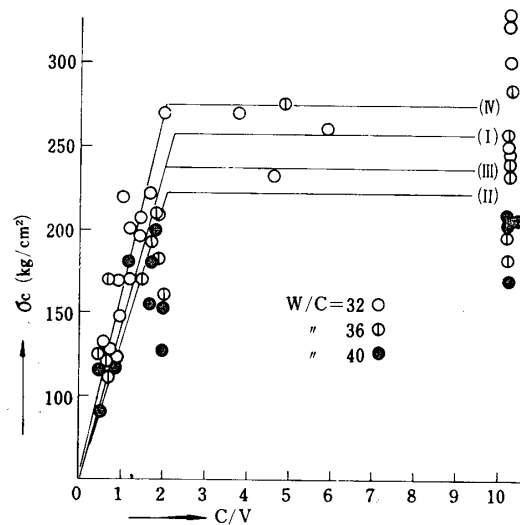


Fig. 19 Relation between  $c/v$  and  $\sigma_c$

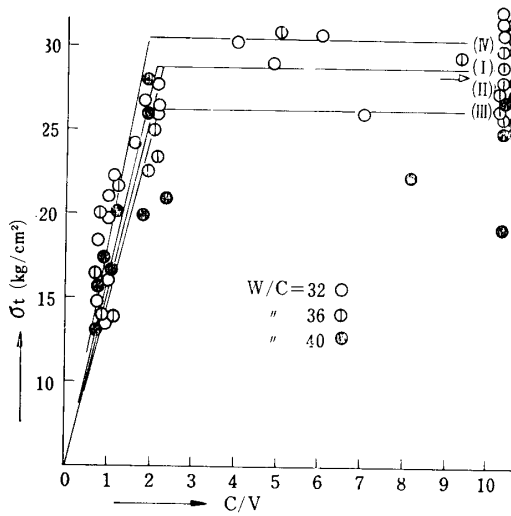


Fig. 20 Relation between  $c/v$  and  $\sigma_t$

8. スリヘリ試験の結果について

Fig. 21 は、 $w/c$  とスリヘリ減量の関係を示したもので、引張強度試験の場合と同様に、その影響は小さい。粒径、 $P/A$  とスリヘリ減量の関係を Fig. 22 に示したが、これはかなりの相違が認められる。すなわち粒径については I と IV がよくどちらもほぼ 40% 以下であり、II と III は大部分が 40% 以上であり、なかでも III がもっとも大きくそのほとんどが、80~100% に達した。スリヘリ減量に対しては、粗骨材が単粒でその粒径が大きくなると全く期待できないと同時に強度性状 ( $\sigma_c$ ,  $\sigma_t$ ) に対するより以上に悪影響をおよぼす結果となった。

フライアッシュを添加した場合は無添加に比べて、骨材 I を除き他の場合は僅少なから小さくなっており 20% 混入は適当とみなされる。

空隙率とスリヘリ減量の関係を Fig. 23 に示した

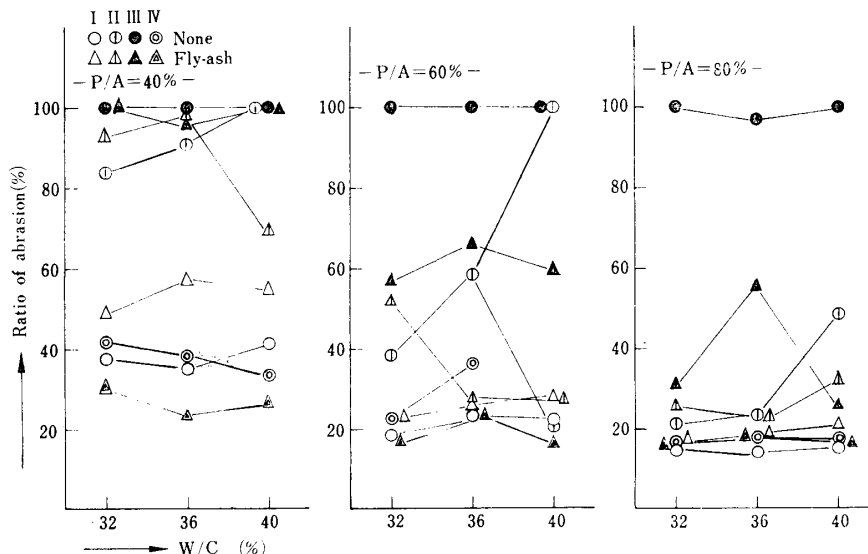


Fig. 21 Relation between  $w/c$  and ratio of abrasion

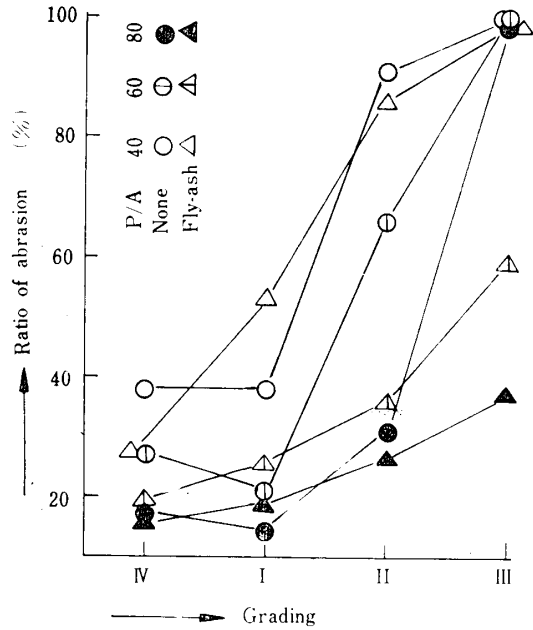


Fig. 22 Relation between grading and ratio of abrasion

が、I と IV、II と III でほぼ同一の傾向を示し、空隙率が同じであっても、I と IV に対し、II と III のスリヘリ減量が多いことは、単粒で粒径の大きい骨材は施工性が悪く、粗骨材間のコンクリートの組成上の特性が劣ることによって生じるものと考えられる。

Fig. 24, 25 は、スリヘリ減量と圧縮、引張強度の関係を示したもので、スリヘリ減量は強度の大きいほど、また、セメント量の多いほど小さくなる。図示のロサンゼルス摩耗値は圧縮強度よりも引張強度に対し、密接な関係にあるといえる。エプラムスは鋼球で衝撃を加えて、コンクリート表面のスリヘリを測定し、 $\sigma_c$  とスリヘリ減量の関係として図示の曲線を与えている。コンクリートの性質、試験方法が異なるの

で直接比較することはできないが、参考値として考えると、曲線の性質は、ほぼ類似したものといえる。

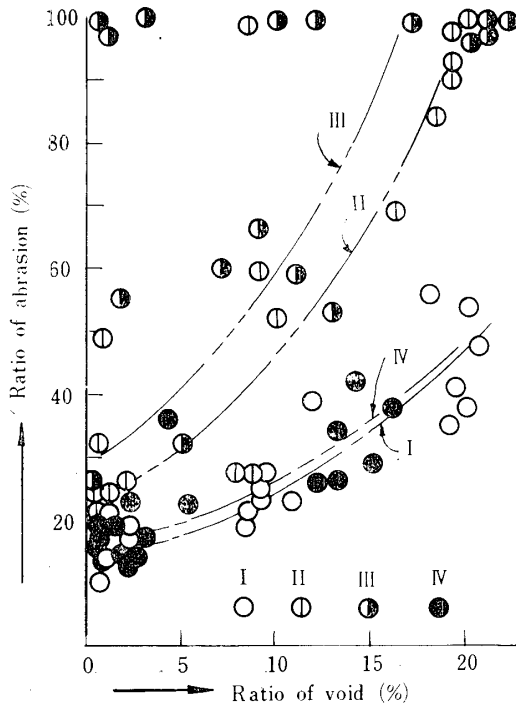


Fig. 23 Relation between ratio of void and abrasion

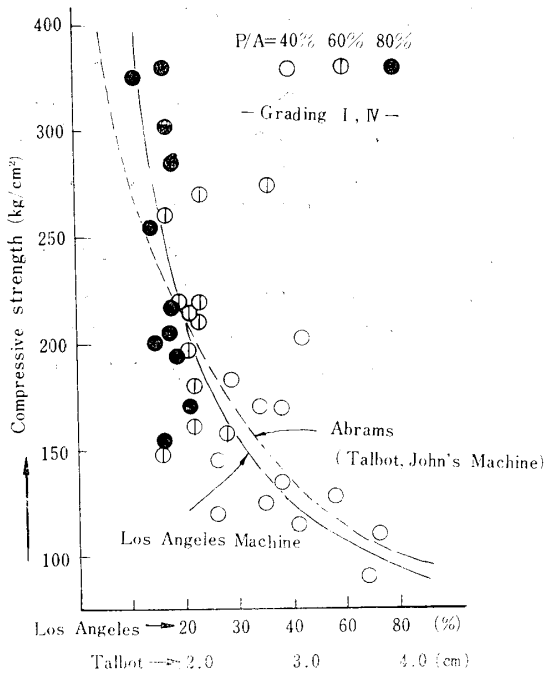


Fig. 24 Relation between ratio of abrasion and compressive strength

9. 結 言

こう石コンクリートのワーカビリチーについては、三方法により測定を行なったが、通常のコンクリートのワーカビリチーといえるものは非常に少く、こう石コンクリートのワーカビリチーは、材料の分離が起ら

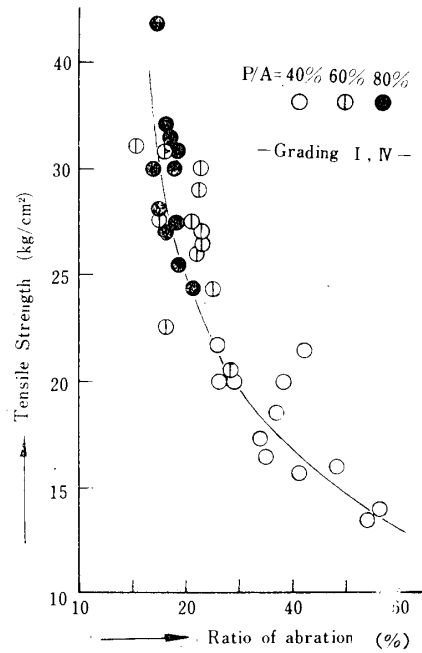


Fig. 25 Relation between ratio of abrasion and tensile strength

ず、かつ仕上げの容易なスランプ0~2 cm、傾斜角90°程度のものが望ましいと考えられる。適正な配合設計の範囲は、w/c=30~34%でP/A=50~70%程度となる。粒径については連続粒度のIVと単粒粗骨材のIがよい結果を示した。混和材料の添加は、使用目的によって適切な種別を選べばワーカビリチー、強度性状の改善になり経済的にも望ましい。

圧縮強度、引張強度、ロサンゼルス磨耗値について実験した結果、w/cより、ペースト粗骨材比(P/A)、セメント空隙比(c/v)、骨材粒径などその施工性に関係する諸要素の影響が大であった。強度性状からは、w/c=28~34%、P/A=50~70%程度が適当であり、粒径に関しては今後さらに究明したい。c/v-σ<sub>c</sub>, σ<sub>t</sub>の関係より、c/v=2.0において変位点が認められ、これはw/cとc/vの適用に関する境界点とみなされ、タルボットのセメント空隙比理論を立証すると同時に、境界点以上のコンクリートのw/cを小さくすれば大なる強度を得ることが可能であることを示している。スリヘリ試験の結果、w/c、P/A、粒径の影響など前記とほぼ同様であって、ロサンゼルス試験機を使用した場合の値は、引張強度と密接な関係があるといえる。

参 考 文 献

- 1) 道路研究会：膠石舗装標準示方書，(1931)
- 2) 内務省土木局：膠石舗装標準示方書，(1931)
- 3) 小野竹之助：コンクリート工学，森北出版，(1968) P. 284