

ボゾランの品質試験について

構造研究室 技 術 員 伊 藤 洋 二
技術補助員 渡 辺 福 五 郎

要 旨

本稿は近年、道内においても土木工事に各種ボゾランが使用されるようになったので、これらボゾランについて一通りの基礎的な実験を行う必要があると考え、ここに数種類のボゾランの物理的ならびに化学的性状を試験し、さらにセメントに対するボゾランの置換率を変えたボゾラン、ポルトランドセメント混合物によるモルタル試験を行つて、置換率・材齢および強度の間の関係について得られた結果を報告するものである。

1. ま え が き

元来、ボゾランというものは、潜在水硬性を有するシリカ質の粉末で、その使用の歴史は2,000年の昔にさかのぼる。当時、石灰質材料として石灰岩を焼いたものを粉末等と混じて使用していた。それが、前世紀初め頃ポルトランドセメントが発明され、一時はほとんど顧みられないほどであつたが、最近新しくポルトランドセメントの混和材としてその効用が認められるようになり、その性質についての試験、研究も盛んに行われるようになってきた。

ボゾランの定義は、ASTM C 129によれば、「シリカまたはシリカとアルミナを主成分とする物質で、それ自身の水硬性はほとんど、あるいは全くないが、粉末として、水分の存在で常温でも石灰と化学的に反応して、膠着性を有する化合物を造る物質」ということになっている。

つまり、酸基成分を多量に含み、ポルトランドセメントが硬化に際して加水分解を行い遊離する石灰を有効に補足しようとするもので、その結果、ポルトランドセメントと混合して用いると

- 1) 海水のような塩類溶液や硫酸根など、侵食性の物質を含む土や水に対する抵抗性が增大する
- 2) 水和熱による発熱および発熱速度が減少する
- 3) 透水性が減少する
- 4) 長期強度、とくに曲げ強度が増大する
- 5) コンクリートのウォーカビリチおよびブリージング特性を改善する
- 6) アルカリ骨材反応を抑制する

などの利点を生ずる。しかし、反面欠点として

- 1) 初期強度が、特に低温度において低下する
- 2) 養生期間を延長しなければならない
- 3) ある場合には水セメント比を増大せしめ、乾燥収縮を増加し、凍結融解に対する抵抗性を減少する¹⁾

などが挙げられる。しかし、これらの特性はボゾランの品質によつて大幅に変動するものであるから、その品質も十分確認した上でなければ使用できず、また目的に応じて使用し得るボゾランは制限されるものである。

このように、ボゾランを使用するためには、その品質を十分知っておくことが必要であるが、現在のところまだその適確な判定法は確立されておらず、また、ボゾランと石灰質材料とが示す水和反応についても不明な点が多い、本文では、主として旧来の方法による若干の試験を行つて、現在使用されているボゾランの一般構造物用コンクリートの混和材としての性質について検討した。

2. 試 料

使用したポゾランは、天然ポゾラン 2 種、フライアッシュ 4 種の 6 種類で、天然ポゾラン (T, O) はいずれも水成岩または、変質水成岩を粉砕したものであり、フライアッシュはコットレルより採取したもの 2 種 (U, A)、サイクロンより採取したもの 2 種 (M, S, ただし S は粉砕) である。

凝結・所要水量比・圧縮強度比の各試験に際して混合して使用したセメントは、アサノ普通ポルトランドセメントでその物理試験結果は表—1 のとおりである。

表—1 使用セメントの物理試験

比重	比表面積 (ブレン 法) (cm^2/g)	凝 結					フ ロー 値	曲 げ 強 さ (kg/cm^2)					圧縮強さ (kg/cm^2)				
		室温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	水量 (%)	始発 (時分)	終結 (時分)		3 日	7 日	28日	91日	180 日	3 日	7 日	28日	91日	180日
3.14	3570	20.4	80	25.7	2~44	4~33	204	33.0	53.4	80.3	82.4	88.0	111	218	423	484	538

3. 試 験 方 法

(1) 全 分 析 炭酸アルカリで溶融した試料を塩酸に溶解し、蒸発乾固してシリカを分離したのち、JIS R 5202「セメント化学分析方法」に準じて行つた。

(2) 可溶分析²⁾ 10% 苛性ソーダおよび 5% 塩酸溶液で加熱して可溶分を溶解し、このときの可溶部分に塩酸を加えて蒸発乾固し、以後 (1) と同様の方法で分析した。

(3) 比重試験 土木学会規準のフライアッシュ規格案によつた。

(4) 粉末度試験

i) ブレーン方法 土木学会規準のフライアッシュ規格案によつた。

ii) 網ふるい方法 網ふるいとして 297, 149, 105, 88, 74, 62, 53, 44 μ の各ふるいを用い、JIS R 5201 セメント物理試験方法に準じて行つた。

iii) 風ふるい方法 日本セメント技術協会型のものを用いた。

(5) メチレンブルーによる吸着試験 試料を 100 cc のエレンマイヤーフラスコに 1 g 採取し、メチレンブルーの 35 から 1,000 ppm までの数種類の濃度の溶液 25 cc を加えて 1 分間はげしく振とうしたのち、ただちにガラスフィルターで濾過し、最初の約 10 cc を捨て、その後の濾液について比色によりその濃度を測定した。比色には、色の濃すぎる場合は適当に (5~50 倍) 稀釈し、620 μ のフィルターを備えた光電光度計を使用した。濾液の濃度から 1 g 当りのメチレンブルー吸着量を算出した。

(6) 凝結試験 セメントの代りにポゾランの置換率を 5, 10, 20, 30, 50% としたセメント・ポゾラン混合物を用い、JIS R 5201 セメント物理試験方法に準じて凝結試験を行つた。

(7) 所要水量比および圧縮強度比 ポゾランの置換率が上記の試験 (6) と同じセメント・ポゾラン混合物を用い、土木学会規準に準じてフローを 200 ± 5 とし、所要水量比を求めた。また、それぞれその水量によつて、 $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ の供試体を作成し、1 日湿空養生ののち 20°C および 40°C の水中養生を行つて、3 日、7 日、28 日、91 日、180 日の各材齢で強度試験を実施して原セメントの各材齢のものとの比を算出した。

4. 試験結果および考察

(1) 全 分 析 分析値を表—2 に示す。これによれば、フライアッシュはすべて大体成分が類似して、主成分はシリカとアルミナであるが、天然ポゾランはシリカを主成分とするものとシリカおよびアルミナを主成分

とするものがある。シリカの含有量は、いずれも土木学会規準の規定に合格している。しかし、強熱減量は、天然ポゾラン O においてかなり大きい。これは水成岩を原料としているためであつて、フライアッシュの規格をそのまま適用することは不合理で、かえつて結合水の多いものの方が分解が進んだ可溶成分に富む岩石であるということもありうる。天然ポゾラン T の方は強熱減量が非常に小さいが、これは変成作用の影響もあるのではないかと推定される。

水分はいずれも 1% 以下で規格に合格している。

表—2 全 分 析 (単位%)

		湿 分	強熱減量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
フ ラ イ ア ッ シュ	S	0.14	1.77	58.45	26.91	5.03	3.14	0.91	0.38	—	—
	U	0.14	0.68	59.18	24.97	6.53	3.66	0.30	0.70	—	—
	A	0.13	1.54	56.31	25.10	4.55	7.25	2.18	0.50	1.13	1.39
天 然 ポ ゾ ラ ン	T	0.39	2.33	80.47	8.85	4.22	0.60	1.20	0.09	1.09	1.54
	O	0.22	9.98	50.32	15.16	5.84	12.82	1.91	0.77	1.77	1.76
土木学会フライ アッシュ規格案		< 1	< 5	> 40							

(2) 可溶分析 分析値は表—3 のとおりであるが、これはいずれも粉砕していないため、本質的な可溶成分と認めることはできない。しかし試料の処理条件に確立された規定がない現在、同一条件で処理したものの相互間には実質的意義があるものとする。したがつて、この条件では、反応表面積を考慮に入れても、試験した天然ポゾランよりはフライアッシュの方が反応性に富むものと云えるであろう。なお、フライアッシュの可溶分析結果は前回の報告²⁾に類似している。

表—3 可 溶 分 析 (単位%)

		不溶解分	可 溶 部 分					
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
フライアッシュ	A	55.28	20.49	9.69	2.81	6.35	0.63	0.48
天 然 ポ ゾ ラ ン	T	93.78	1.92	2.13		0.14	0.24	tp.
	O	63.63	5.10	3.05	4.05	9.25	1.63	0.10

(3) 物理的性状 比重および粉末度は表—4 に一括して示す。

i) 比重試験の結果、フライアッシュは 2.0 を若干上回る程度で、土木学会規準に辛うじて合格している。粉砕したものは 1 割程度大きい値を示しているが、これは粉砕によつて粒子の気孔率が減少したためと想像される。天然ポゾランのうち、O は比較的小さいが、T は良質の骨材ぐらいの比重を有している。このことは強熱減量とも関連を有するようである。

ii) 粉末度について、試料 M はブレン法による測定が困難であつた。すなわち、粒度が相当あらく、しかも測定の際に空隙率を小さくすることが不可能であつたため、マンメーターの液体の降下速度が大きき、正確な計時ができなかつたもので、おおよそ 2,000 以下、1,500 位と考えられる。

網ふるいを用いる方法で、土木学会規準では 88 μ 目のものを使用することになつてはいるが、試料 T を除く 5 種類についてはこれを行つていない。しかし、前後の大きさの目のふるいによる残分から、試料 M 以外の 4

種類は、明らかに 5% 以下である。

フライアッシュについて粉砕したものとしなないものとを比較してみると、ブレン値で類似のものでも、風ふるいによる粒度分布には相当相違があることがわかる。風ふるい試験によれば試料 S は、U にくらべて微粒部分が乏しいが、ブレン値がほとんど同じであることは、粒子の形状に関係しているものであろう。また、試料 S のブレン測定の際の空隙率が非常に大きいことは粒度範囲が狭いためと解せられる。

天然ボゾラン 2 種類を比較すると、粒度に非常な違いが見られる。このことは、本質的な反応性以外に可溶成分の相違している原因の一つに数えることができるのであろう。一般に、人工粉砕を必要とする天然ボゾランは高度の粉砕設備を有しているものでなければ製品の不均一性が考えられ、同じ物質でも、粒度の違いは、モルタルやコンクリートにかなりの影響を与えるものと思われる。

表-4 ポゾランの物理的性状

試 科		比重	粉 末 度													
			ブレン法		網ふるい法 (ふるい目 μ) 残分 %								風ふるい法 (μ) 残分 %			
			比表面積 (cm^2/g)	空隙率	295	149	104	88	74	61	53	44	40	30	20	15
フ ラ イ ア ッ シ ュ	M	2.00	—	—	1.7	5.5	11.0	—	16.0	25.5	31.0	41.3	63.0	84.8	97.2	98.8
	S	2.23	3460	0.55	—	0.1	0.6	—	1.7	5.1	6.3	10.2	20.2	38.4	58.0	74.2
	U	2.08	3430	0.44-0.47	—	0.1	0.7	—	2.1	5.7	8.2	11.1	19.6	30.0	42.4	52.8
	A	2.07	3170	0.41-0.45	—	0.1	0.7	—	1.9	4.0	5.6	7.9	14.6	29.8	46.4	60.6
天 然 ボゾラン	T	2.70	4090	0.47-0.48	0.8	10.3	22.6	24.7	29.9	37.1	41.0	44.9	45.6	51.0	57.4	64.6
	O	2.39	7860	0.47-0.54	—	0.1	0.3	—	0.7	1.6	2.2	3.5	12.0	21.8	31.2	39.6
フライアッ シュ 規格案		>2.0	>3000					<5								

(4) メチレンブルーによる吸着試験

一般に、固体表面における溶液中の溶質の吸着量は、固体表面および溶質粒子の性質 (荷電状態のような分子構造や結晶格子に関係したもの)、固体の表面積、溶液の pH および溶液中の溶質の濃度などに支配される。そして、温度が一定の場合ある濃度範囲内では、一般に、Freundlich の式が適用される。すなわち

$$x = kc^n$$

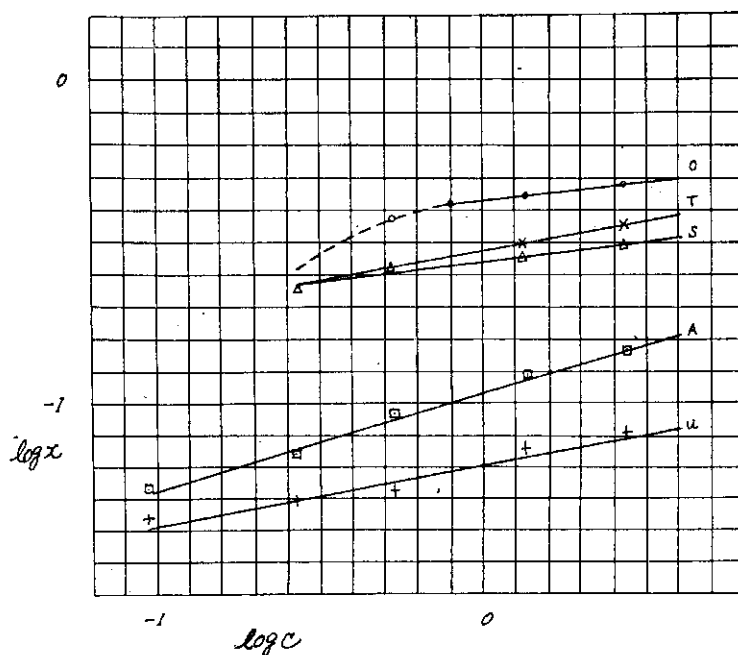
である。ここに、 x は吸着量 mol/g (吸着剤)、 c は溶液の濃度 (mol/l)、 k 、 n は常数である。

使用したボゾランの吸着量は図-1 に示すとおりで、溶液中の溶質の量が吸着量より約 20 % 以上大きい濃度範囲では大体直線となり、上記の式をかなり良く満足するものとなつた。最小自乗法によつて k および n の値を計算すると表-5 のようになる。もし「 k の値が固体の比表面積および被吸着物の粒子の大きさなど、主として長さの単位に関する性質の量的関係に支配され、 n の値が両者の表面の荷電状態のような吸引力に係る量に影響される」と仮定すると、フライアッシュ A、U と、人工的に粉砕した試料 S、T、O との間の相違がはつきりする。すなわち、人工的に粉砕した試料は、比表面積が大きい。また n の値は化学成分乃至構造に係るものと考えられ、固体表面とメチレンブルーのコロイド粒子間の結合力を暗示しているものであろう。フライアッシュの試料は、比表面積は人工粉砕物にくらべかなり小さいが、含有される活性炭の吸着力が強く、したがつて k の値は小さく n の値が大きくなり、しかも強熱減量が大きく、炭素含有量が幾分多いと推定される試料 A の方が n の値は大きい。

吸着試験の実際的意義は、コンクリートにボゾランを混入した場合に AE 剤の消費量と関係がある²⁾と予想

されることにある。

上記の実験結果をブレン法による比表面積値と比較してみると、ブレン法では測定できない粒子表面の複雑な凹凸が吸着試験によつて現われていると解することができるであろう。つまり、フライアッシュの粒子はかなりの空隙を含んだ状態で溶融された球状となつていて、粉碎した破片は天然ボゾランの粉碎物に比べて粒子の大きさに対する比表面積の値は大きい。この空隙をもつた状態であるということは、フライアッシュが粉碎されると比重が大きくなるという事実からも推定される。



図—1 ポゾランによるメチレンブルーの吸着等温線

表 — 5		
	k	n
S	0.28	0.12
U	0.065	0.19
A	0.11	0.31
T	0.30	0.18
O	0.43	0.10

(5) 凝 結 試 験

i) 標準軟度に要する水量 天然ボゾランは置換率の増加に対して水量にほとんど変化がなく、試料 O においては 20% 置換までセメント単味のものよりも少なく、10% 付近で最少となる。試料 T は幾分ではあるが置換率とともに増加している。これに反してフライアッシュ A では著しく水量が増大している。この理由として、粒度組成の違いによる混合物の空隙率の影響が考えられる。しかし、試料 O および A について、セメントと各種比率で混合したものについて密充填の場合の空隙率を測定した結果は、表—6 のように大きな差異は認められなかった。

表—6 ポゾラン・セメント混合物の空隙率

混入率 (%)	A	O	混入率 (%)	A	O
0	0.389	0.389	30	0.397	0.394
5	0.413	0.400	40	0.390	0.379
10	0.410	0.398	50	0.389	0.377
20	0.395	0.391	100	0.338	0.310

ii) 凝結時間 例外を除いてすべて延長している。天然ポゾランは i) の場合と同様大きな影響は与えていないが、フライアッシュでは始発終結とも、2~3 倍の時間が消費されている。これは一部は水量にも関係があるに相違ないが、セメントについて水量を変化せしめて凝結試験を行つた結果 (表—7 参照) と比較するとかなり上回っており、水量以外の影響があるものと思われる。

表—7 凝結時間に及ぼす水量の影響、温度 20.9°C
湿度 88.6%，標準軟度を 100 とする

水量 (%)	水量比	始 発	終 結
25.8	95	72.2 (2時56分)	77.4 (4時43分)
27.2	100	100	100
28.6	105	102	94
29.9	110	111	110
32.6	120	133	118
35.4	130	141	129

(6) 所要水量および強度比

i) 所要水量比 フローを一定としたモルタルに必要な水量はペーストの場合と相当異なつた傾向を示している。すなわち表—8において、50%置換の例についてみると、ペーストでは大きな増加をしていない天然ポゾラン T が 10% 増加し、逆にペーストで 20% 増加したフライアッシュ A は、6% 強減少している。このことは、コンクリートにおいても水量の減少が期待できる。天然ポゾランについてもコンクリートにした場合にはペーストのときの水量変化よりも、モルタルについてのそれに類似した傾向を示すことが予想される。

表—8 ポゾランの混入がペーストの凝結におよぼす影響ならびに標準軟度
モルタルに要する水量—置換率 0% に対する百分率 (括弧内は測定値)

種 別	置 換 率 (%)	室 温 (°C)	湿 度 (%)	水 量	始 発	終 結	フロー一定 (200) のモルタル水量
T	0	20.4	100	(26.4%) 100	(3時58分) 100	(5時22分) 100	(63.8%) 100
	5			102	101	102	103.3
	10			102	108	101	101.8
	20			102	99	102	104.5
	30			103	105	105	105.4
	50			104	110	109	110.0

種 類	置 換 率 (%)	室 温 (°C)	温 度 (%)	水 量	始 発	終 結	フロー一定 (200)のモル タル 水量
O	0	21.8	98	(28.6%) 100	(2時21分) 100	(3時44分) 100	(64.4%) 100
	5			97	138	120	101.5
	10			96	130	118	98.5
	20			98	134	122	100.9
	30			102	143	127	100.0
	50			104	149	131	101.5
A	0	20.8	90	(25.8%) 100	(2時54分) 100	(4時43分) 100	(62.5%) 100
	5			101	106	104	100.3
	10			102	111	111	99.6
	20			105	117	118	96.9
	30			115	194	180	95.4
	50			120	302	225	93.8
規格 (案)	30						< 105

ii) モルタルの強度比

a) まず強度試験値は、表—9 のとおりで、セメントの規格と比べてみると、天然ポゾラン T は 50% 置換のものでは全材齢不合格となり、O では圧縮のみ 7 日以後不合格である。フライアッシュ A では 7 日の曲げと 28 日の圧縮強さがわずかに規格値に達していない。

b) 強度比は図—2 に示す。土木学会規準のフライアッシュ 規格案 (30% 置換の場合、40°C 養生で 7 日 55 以上、28 日 90 以上) に比較すると、天然ポゾラン T では 7 日 (52.7) 28 日 (54.6) とともに不合格であり、O では 7 日 (62.9) は合格 28 日 (64.1) が不合格、フライアッシュ A のみ 7 日 (71.1) 28 日 (109.9) とともに合格している。

c) 養生温度の影響は、天然ポゾランにおいては、全般的に大きな影響を認めることができないが、試料 O の置換率の大きいものについて圧縮強度が幾分高温に有利となつている。フライアッシュでは 40°C 養生は 20°C 養生よりはるかにまさり、特に置換率の大きい長期材齢 (28 日以降) の曲げ強度に著るしい。これは明らかにポゾランの化学的反応性に由来するものであつて天然ポゾラン T では可溶成分の影響がほとんど認められず、O では長期強度に若干その効果が認められるが、フライアッシュ A にははるかに及ばない。この点、可溶分析結果からみて、可溶性シリカの量に支配されているものと考えることができる。

d) ポゾラン混入モルタルは、混入率を増すと、一般に脆度係数が減少する傾向がある。しかし、曲げ強さに余り影響を与えないで圧縮強さだけ弱められるものと、圧縮強さに影響が小さくて曲げ強さを増大するものがあるから、脆度係数を重視することは危険である。

5. む す び

- (1) この試験に用いたポゾランの珪酸含有量はすべて 50% 以上であつた。
- (2) フライアッシュは粉碎によつて比重が増加するが、これは気泡を含んだ粒子が存在するためと推定される。
- (3) 天然ポゾランは、可溶成分に乏しいが、粉末度が大きく、充填材として若干をコンクリートに混用すること

表—9 ポゾラン混入モルタルのフロー一定(200)とした場合の水量
(水, セメント + ポゾラン比), 強度, および脆度係数

ポ ゾ ラン	養 生 温 度	置 換 率 (%)	水 量 (%)	曲 げ 強 さ (kg/cm ²)					圧 縮 強 さ (kg/cm ²)					圧縮強さ/曲げ強さ				
				3 日	7 日	28 日	91 日	180 日	3 日	7 日	28 日	91 日	180 日	3 日	7 日	28 日	91 日	180 日
T	20°C	0	63.8	34.2	52.8	66.0	80.3	85.0	122	246	431	524	550	3.6	4.7	6.5	6.5	6.5
		5	66.0	26.0	41.6	61.3	70.9	71.4	101	173	312	405	387	3.9	4.2	5.1	5.7	5.4
		10	65.0	30.6	46.9	73.3	72.8	81.7	95	175	359	440	442	3.1	4.2	4.9	6.1	5.4
		20	66.7	28.2	40.9	59.7	69.3	68.8	82	194	285	360	361	2.9	4.2	4.8	5.2	5.3
		30	67.3	21.2	38.1	48.0	57.5	64.3	68	114	238	274	282	3.2	3.0	5.0	4.8	4.4
		50	70.2	11.0	18.9	29.5	31.1	34.9	30	61	103	120	126	2.7	3.2	3.5	3.9	3.6
	40°C	0		61.6	63.7	72.1	81.1	94.1	311	391	429	480	479	5.1	6.1	6.0	5.9	5.1
		5		51.7	56.8	62.4	68.7	72.2	228	293	328	313	370	4.4	5.2	5.3	4.6	5.1
		10		46.4	54.6	69.0	70.6	87.2	204	311	386	384	423	4.4	5.7	5.6	5.4	4.9
		20		39.5	49.9	57.9	65.2	75.0	176	268	296	342	334	4.5	5.4	5.1	5.2	4.5
		30		37.4	46.3	58.8	57.8	55.1	137	206	234	273	250	3.7	4.5	4.0	4.7	4.5
		50		19.9	28.3	31.7	37.0	41.1	64	97	107	130	132	3.2	3.4	3.4	3.5	3.2
O	20°C	0	64.4	37.0	54.1	76.6	86.0	80.3	139	225	426	501	471	3.9	4.8	6.4	6.7	6.4
		5	65.3	36.9	54.7	73.5	90.5	84.5	137	227	420	505	462	3.7	4.2	5.7	5.6	5.5
		10	63.5	36.5	57.2	72.2	87.8	84.2	146	246	405	517	433	4.0	4.3	5.6	5.9	5.2
		20	65.0	34.8	49.9	67.9	79.2	76.6	118	208	328	410	349	3.4	4.2	4.8	5.2	4.6
		30	64.4	27.6	44.0	59.4	76.2	70.6	92	170	262	304	291	3.3	3.9	4.4	4.0	4.1
		50	65.3	16.5	25.9	36.0	44.0	44.9	46	80	128	144	132	2.8	3.1	3.6	3.3	2.9
	40°C	0		54.5	67.2	74.5	85.9	86.7	293	361	424	451	410	6.1	6.4	5.9	6.5	5.9
		5		57.6	71.0	81.2	87.1	85.8	273	353	423	468	388	4.7	5.0	5.2	5.4	4.5
		10		53.4	70.4	77.6	89.2	83.5	246	349	416	451	407	4.6	5.0	5.4	5.1	4.9
		20		47.5	62.4	65.5	74.4	77.9	210	283	360	410	371	4.4	4.5	5.5	5.5	4.8
		30		37.7	53.3	56.9	67.3	70.5	155	227	272	303	301	4.1	4.3	4.8	4.5	4.3
		50		22.6	33.0	36.0	43.9	49.2	77	114	135	163	169	3.4	3.5	3.8	3.7	3.4
A	20°C	0	62.5	39.0	54.1	71.0	81.2	82.6	153	267	453	547	530	3.8	4.2	5.6	5.8	5.9
		5	62.7	36.9	50.4	74.5	83.4	84.4	148	275	440	560	581	4.0	5.5	5.9	6.6	6.9
		10	62.2	33.1	50.2	71.6	84.2	85.1	138	229	412	504	605	4.2	4.6	5.8	6.0	7.1
		20	60.6	30.3	42.0	67.8	81.4	87.0	104	201	359	479	574	3.4	4.8	5.3	5.9	6.6
		30	59.7	27.9	42.7	64.9	74.1	79.1	97	180	349	464	563	3.5	4.2	5.4	6.3	7.1
		50	58.7	17.6	24.0	45.2	54.2	56.4	52	98	194	308	441	3.0	4.1	4.1	5.7	7.8
	40°C	0		49.4	65.1	75.8	77.5	89.0	302	414	447	505	512	5.4	5.4	5.7	5.3	4.7
		5		54.3	71.3	80.7	85.4	93.5	270	389	475	513	576	5.0	5.5	5.9	6.0	6.2
		10		47.0	71.6	84.9	95.2	105.2	256	378	480	534	548	5.5	5.3	5.7	5.6	5.2
		20		45.5	61.0	98.1	118.5	—	232	353	507	552	532	5.1	5.8	5.2	4.7	—
		30		39.1	59.8	108.2	119.3	133.8	184	294	478	585	574	4.7	4.9	4.4	4.9	4.3
		50		28.5	50.2	88.3	119.3	120.5	110	256	461	576	493	3.9	5.1	5.2	4.8	4.1

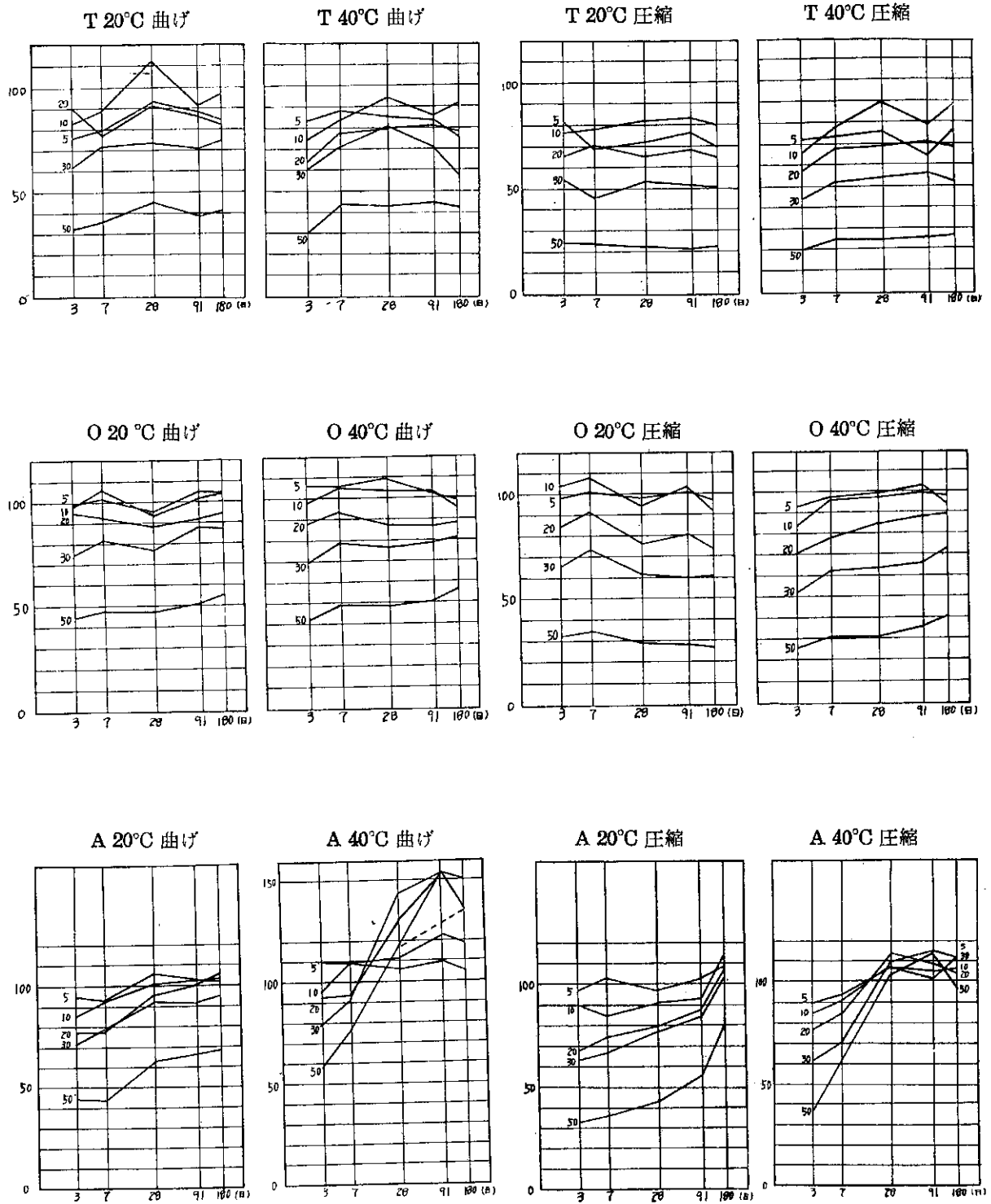


図-2 セメントモルタルを100としたときのポゾランモルタルの強度比
(図表内の数値は置換率)

は、透水性の改善を期待できよう。

- (4) メチレンブルーの吸着試験結果は、比表面積と炭素含有量とに大きな関係がある。
- (5) 凝結試験における水量・始発・終結の時間に対して、フライアッシュの混入は大きな影響を与えるが、天然ポゾランはほとんど影響を及ぼさない。
- (6) 水成岩を原料とした天然ポゾラン O および T、特に T は、本法による可溶成分に乏しく、モルタル、あるいはコンクリートに多量に混ざることは強度の点からは良くない。20°C 養生における強度比で 70% を規準とすれば、混入率は T で 10% 以下、O では 20% 以下とすべきであろう。
- (7) フライアッシュ A は、規格に合格しており、十分使用に耐えるものと考えられる。特に初期強度を必要としないマツシブなコンクリートでは、利用価値がある。ただし低温時には十分注意しなければならない。

注： Freundlich の定数 k が、比表面積に関係した量であるということは、次の解析から簡単に推定できる。ここで濃度は吸着量に比べて十分大であるか、あるいは吸着剤に対して溶液の量が十分大で、吸着による溶液の濃度変化を無視できるとし、固体表面の他の性質を変えないで比表面積だけが a 倍になった状態を考える。この場合、吸着量は比表面積に比例すると考えてよい。

したがって

$$x = mS$$

ここに S は比表面積、 m は溶液の濃度および固体表面の比表面積以外の性質によつて定まる定数である。

これを Freundlich の式に代入し、 c_1 および c_2 二つの状態における関係を比表面積がそれぞれ a 倍になった場合の関係とについて比べてみる。 a 倍になったときの k_1, n_1 の値を k_2, n_2 とする。

$$\begin{aligned} m_1 S &= k_1 c_1^{n_1}, \quad m_2 S = k_1 c_2^{n_1} \dots\dots\dots n_1 = \frac{\log m_2/m_1}{\log c_2/c_1} & k_1 &= \frac{m_1 S}{c_1^{n_1}} \\ m_1 a S &= k_2 c_1^{n_2}, \quad m_2 a S = k_2 c_2^{n_2} \dots\dots\dots n_2 = \frac{\log m_2/m_1}{\log c_2/c_1} & k_2 &= \frac{m_1 a S}{c_1^{n_2}} \end{aligned}$$

となり、 n の値は一定で、 $k_2 = ak_1$ となり、 k だけが a 倍となる。

ただし、 n の値が異なる物質については実際には n の値の影響をうけるので k の値だけを一概に比較することはできないと考えられる。

参 考 文 献

- 1) Willis T. Moran: "Admixtures for Concrete" Reported by ACI Committee 212; pp. 126~127, 139~143 Journal of ACI, Oct. 1954
- 2) 伊藤洋二: フライアッシュに用する基礎的研究 土木試験所月報第 23 号 1956. 6
- 3) 吉越盛次: 混和材としてのフライアッシュに関する研究 土木学会論文集第 31 号 1955. 11



写真-1 セメントの水和熱測定

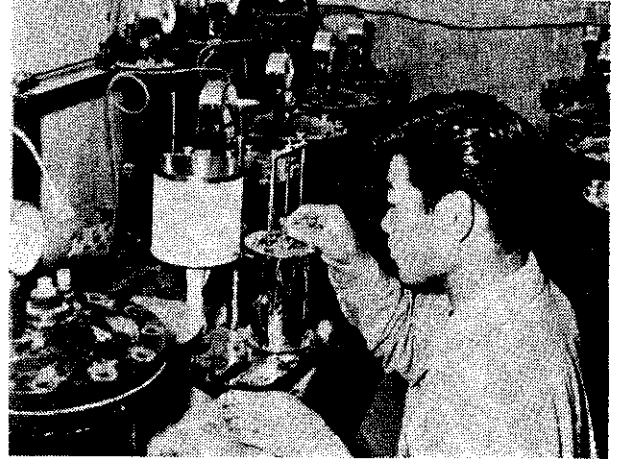


写真-2 コンクリートの透水試験

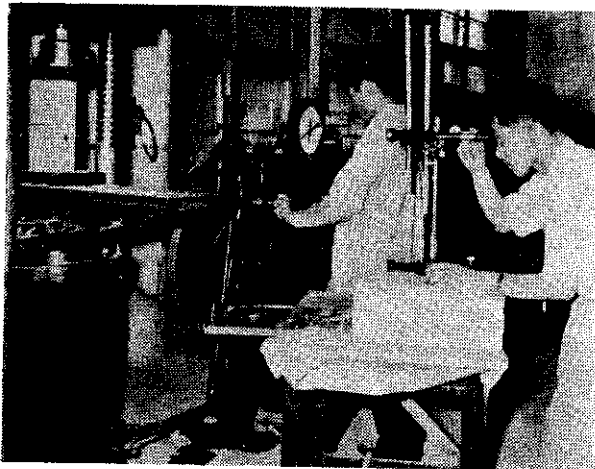


写真-3 ミラー・エクステンソメーター
による応力測定

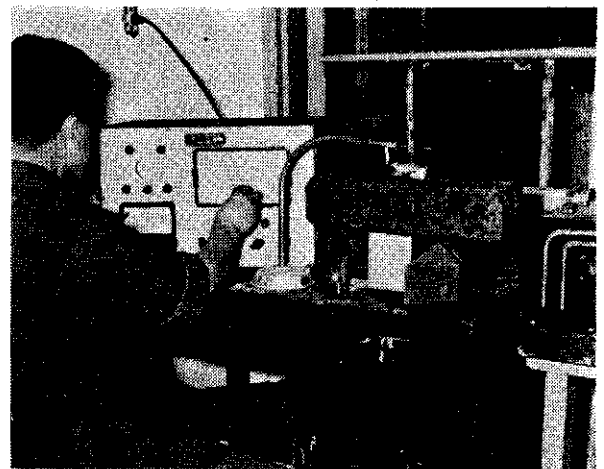


写真-4 コンクリートの動弾性係数測定