大 日 本 窯 業 協 會 雜 誌

第 4 2 集 第 4 9 7 號

昭 和 9 年 5 月

報 文

伊太利の火山灰と火山灰セメント及び 火山灰ポルトランドセメント(其2)

永 井 彰 一 郎 ・ 吉 田 一 郎

Studies on Italian Puzzolana and Puzzolanic Portland
Cement, Part II.

By Shoichiro Nagai and Ichiro Yoshida

Abstract

In continuing the previous study, the authors reported in the present paper the results of further studies on Italian and Japanese puzzolanas and puzzolanic Portland cements. The brief summeries are abstracted from the original Japanese paper, as following:

(1) Three Italian puzzolanas, which were sent from Dr. C. Vittori, Società Anonima Italiana, Per la Produzione Calci e Cementi di Segni, Roma, Italiana, two Japanese puzzolanas, one siliceous earth (Keisan-Hakudo), one spent shale, and two blast furnace slags were compared on their specific gravities, chemical compositions, etc. The results are tabulated in the following tables.

Table 1. Results of Total Analysis

No. of Sample	Name of Sample	Loss on Ignition	Insoluble Residue	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
No. 38	Italian Puzzolana	8.48%	17.19%	45.15%	17.02%	11.42%	10.00%	2.12%	Tr
" 39	" "	6.30	62.32	52.81	18.63	10.19	7.54	Tr	Tr
" 40	" "	7.68	33.37	47.37	14.13	15.94	9.12	Tr	Tr
" 30	Japanese "	11.48	46.59	38.70	26.74	20.40	0.70	0.78	0.64
" 43	" "	10.95	48.10	43.03	24.65	19.35	1.05	0.69	Tr
" 32	Siliceous Earth	9.66	77.15	68.78	13.60	3.50	1.69	1.19	0.52
" 26	Spent Shale	1.06	85.75	61.76	22.01	10.39	2.42	1.32	0.78
" 23	Blast Furnace Slag	-1.12	1.40	32.51	15.52	1.38	43.59	3.05	2.42
" 25	" " "	-0.81	0.63	42.73	8.12	1.01	43.12	1.55	1.04

Table 2. Results of Specific Gravity and Soluble Analysis by
10%—NaOH and 5%—HCl Solutions

No. of Sample	Name of Sample	Insoluble Part	Soluble Part					Specific Gravity
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	
No. 38	Italian Puzzolana	16.34%	38.38%	14.83%	7.93%	7.60%	1.11%	2.57
" 39	" "	47.05	29.07	8.16	3.42	3.01	Tr	2.41
" 40	" "	25.45	33.88	10.85	7.59	4.52	Tr	2.28
" 30	Japanese "	23.95	28.16	20.15	13.60	0.51	0.57	2.27
" 43	" "	25.11	33.49	17.24	11.20	0.77	0.36	2.42
" 32	Siliceous Earth	46.75	32.50	6.90	2.18	0.76	0.31	2.35
" 23	Blast Furnace Slag	1.27	32.40	15.47	1.31	43.56	2.76	2.90
" 25	" " "	1.58	42.60	7.89	1.01	43.14	1.48	2.86

(2) These Italian and Japanese puzzolanic materials were mixed with Portland cement and ground intimately to various puzzolanic Portland cements. These samples were compared on their physical properties and chemical compositions, as shown in the following table 3.

(3) These samples of (1) puzzolanic Portland cements and (2) puzzolanic lime cements were compared on their hydraulic properties of mortar strength by the special testing method of compressive strength, which had been proposed by the present author (S. Nagai, Journ. Soc. Chem. Ind., Japan, 1929, **32**, 635, 641; 1930, **33**, 129; 1931, **34**, 290; Tonindustrie=Zeitung, 1929, **53**, 1048) and composed from small cylindrical testing piece (Dia. 2cm and Length 3cm), and used 1:3-cement sand mortar of high water-cement ratio ($w/c = 0.60-0.70$) or so-called plastic mortar for moulding. The results were obtained in the following table 3.

Tabl. 3. Results of Compressive Strengths by Plastic Mortar
Moulded to Small Cylindrical Test Pieces

No. of Sample	Name of Sample	Water Cement Ratio $\frac{w}{c}$ 100x	Compressive Strength (kg/cm ²)				Total
			3 Days	7 "	28 "	Comb. 28 "	
No. 1	Portland Cement	60%	97.2	177.2	263.0	317.3	854.7
" 44	Puzzolanic Portland Cement	60	85.6	138.2	244.2	303.9	771.9
" 45	" " "	60	77.5	105.8	163.0	184.2	530.5
" 46	" " "	60	76.6	118.6	223.0	237.2	655.4
" 47	" " "	60	44.1	89.2	167.6	196.2	497.1
" 48	" " "	60	40.0	84.5	153.9	162.7	441.1
" 40	Siliceous Earth "	60	81.0	142.3	251.3	241.8	716.4
" 50	Spent Shale "	65	66.2	107.8	200.6	168.0	642.6
" 51	Blast Furnace Slag Cement	60	95.1	184.4	336.0	263.6	879.1
" 52	Puzzolanic Lime Cement	70	....	17.6	42.4	24.7	....
" 53	" " "	65	....	4.6	29.6	10.7	....
" 54	" " "	65	....	24.9	78.8	63.7	....
" 55	" " "	65	....	24.6	61.0	36.7	....
" 56	" " "	70	....	11.5	44.4	19.6	....
" 57	Siliceous Earth "	70	....	6.1	50.2	24.9	....
" 58	Spent Shale "	70	....	1.9	9.4	5.9	....
" 59	Slag Cement "	60	....	83.9	126.6	145.8	....
" 67	" " "	60	....	7.4	29.4	23.0	....

(4) Again, these Italian and Japanese puzzolanic materials were mixed with slaked lime and ground intimately to puzzolanic lime cement. These cement samples were also compared on their physical properties and chemical compositions, as shown in the following table.

Table 4. Mixing Proportions, Physical Properties and Chemical Compositions of Italian and Japanese Puzzolanic Portland Cements and Puzzolanic Lime Cements

No. of Sample	Name of Sample	Mixing Proportions			Specific Gravity 4900M/cm ³	Fineness Sieve-Residue %	Loss on Ignition		SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	SO ₃ %	Free Lime %
		Portland Cement or Slaked Lime	Puzzolanic Material	Cement 100			Igni-Residue %	due %							
No. 1	Portland Cement		.....		3.11	2.8	1.14	0.26	21.50	5.51	2.80	65.12	1.69	1.41	1.37
" 44	Puzzolanic Portland Cement		Italian Puzzolana		2.89	2.0	3.81	7.12	31.20	10.11	6.31	44.64	0.97	0.67	0.76
" 45	"	"	No. 38 40	"	"	0.2	2.09	25.52	36.97	10.54	5.28	40.94	0.59	1.06	0.74
" 46	"	"	" 39 "	"	2.85	0.8	3.64	13.46	32.63	9.55	7.67	42.40	0.79	0.92	0.56
" 47	"	"	Japanese Puzzolana	"	2.75	4.4	5.32	18.33	28.93	13.78	10.54	39.16	0.81	0.87	0.74
" 48	"	"	" 30 "	"	2.93	3.6	4.02	18.64	30.32	13.43	10.66	39.61	0.86	0.70	0.59
" 49	Siliceous Earth "	"	" 43 "	"	2.84	0.4	4.13	31.54	39.64	10.32	3.43	39.44	1.21	1.03	0.43
" 50	Spent shale "	"	Spent Shale	"	2.67	1.4	1.12	33.86	37.50	12.13	6.50	39.56	1.23	1.20	0.59
" 51	Blast Furnace Slag Cement	"	Blast Furnace Slag	"	2.92	0.4	0.73	1.31	26.01	9.41	2.44	56.00	2.12	1.39	0.81
" 52	"	"	" 23 "	"	3.02	3.0	-0.22	2.01	29.32	7.45	2.54	54.71	1.38	1.01	0.75
" 53	"	"	" 25 "	"	3.02	8.6	13.28	14.06	32.05	11.06	8.15	30.15	1.78	Tr	15.91
" 54	"	"	Italian Puzzolana	"	2.47	0.2	11.34	45.83	38.97	12.91	5.68	27.29	Tr	Tr	16.19
" 55	"	"	No. 38 70	"	2.37	2.2	12.49	24.65	33.76	10.95	9.50	28.36	Tr	Tr	16.19
" 56	"	"	Japanese Puzzolana	"	2.44	16.0	15.71	30.30	28.10	18.55	14.04	21.82	0.68	0.61	14.94
" 57	Siliceous Earth Lime Cement	"	" 43 "	"	2.36	19.0	14.64	31.61	29.78	17.52	13.42	22.88	0.66	Tr	15.71
" 58	Spent Shale Lime Cement	"	Siliceous Earth	"	2.22	8.0	13.35	54.50	49.51	9.26	3.43	22.91	0.92	0.31	16.21
" 59	Slag Cement	"	Spent Shale	"	2.51	4.8	8.09	61.76	43.23	16.57	8.30	22.04	0.81	0.73	16.36
" 60	"	"	Blast Furnace Slag	"	2.67	0.6	7.25	1.12	22.23	10.18	1.22	53.69	1.52	1.42	18.41
" 61	"	"	" 23 "	"	2.65	9.4	6.81	0.34	29.54	5.26	0.80	53.25	1.31	0.97	17.77

(5) These samples of (1) puzzolanic Portland cements and (2) puzzolanic lime cements were also compared on their soundness or expansion in the course of hardening by the methods of Lechatelier's calliper and Bauschinger's apparatus. From the results, it was observed that puzzolanic Portland cements are better or have smaller expansion than puzzolanic lime cements.

In conclusion, the authors wish to express their hearty thanks to Prof. G. Malquori, Istituto Chimico, Roma Universita, Catania, Italiana and Dr. C. Vittori, Società Anonima Italiana, Per la Produzione Calci e Cementi di Segni, Roma, Italiana, for the kind sending of Italian puzzolanas and puzzolanic Portland cements.

(Institute of Silicate Industry, Department of Applied Chemistry, Faculty of Engineering, Tokio Imperial University, Tokio, Japan)

1. は し が き

曩に第一報に報告した點は伊太利の火山灰ポルトランドセメントの化學成分の試験と此の伊太利火山灰ポルトランドセメントに日本の各種類のセメント 5 種 (高爐セメント 3 種, ネオソリヂチット 1 種, ポルトランドセメント 1 種) を加へて著者 (永井) の考案研究に係る小型軟練モルタルに依る耐壓力の比較試験を行ひたる結果を示したものである。

本報には更に進んで伊太利の火山灰 3 種を得たるを以つて之に日本の火山灰質のもの 3 種を加へ其の化學成分に就て全分析及び可溶成分を分析して比較した。

次には是等各種の火山灰試料を取り之を次の如く 2 種の混合セメントを試製して比較した。即ち (a) 火山灰に石灰を加へたる火山灰石灰セメントと (b) ポルトランドセメント又は其の燒塊に火山灰を加へたる火山灰ポルトランドセメントにして、同一の石灰なり、ポルトランドセメントを用ゐる之に上記各種の火山灰を全く同一の條件の下に配合調製したる各種セメント試料に就て比較試験して是等各種の火山灰の混合材として有用なる水硬性に就て比較試験した。

著者は數年來各種の混合ポルトランドセメントに就ても多數の研究を重ねつゝあるものにして本研究と相共通するところ尠しとせず。混合ポルトランドセメント全般に關する點は之に譲ることとし本報には主として伊太利の火山灰及び之より誘導せらるる各種火山灰混合セメントに關するものばかりを集めて報告する。

2. 各種火山灰の比較

既に第一報に述べたる如く伊太利火山灰はローマ大學教授マルクォリ氏 (Prof. G. Malquori, Istituto Chimico, Roma Universita, Catania, Italiana) とヴィットリ氏 (Dr. C. Vittori, Società Anonima Italiana, Per la Produzione Calci e Cementi di Segni, Roma, Italiana) との好意に依つて送られもので其の産地名は次の通りである。

第 1 表 伊太利火山灰の産地名と比重

試料番號	産 地 名	比 重
No. 38	Segni-Roma	2.567
" 39	Bacoli-Neaples	2.413
" 40	Acquasanta-Roma	2.284

是に本邦産火山灰 2 種 (九州唐津火山灰, 淺間火山灰) 及び頁岩灰 1 種, 高爐鑛滓 1 種, 珪酸白土 1 種の合計 5 種を加へて伊太利火山灰 3 種との都合 8 種の火山灰質試料に就て其の化學分析を試験したる結果

は次の第 2 表の通りである。尙之に比重をも併記して比較参考に供した。

第 2 表 各種火山灰質試料の化學成分と比重

番 號	種 別	灼熱 減量 %	不溶解 殘 渣 %	珪酸 %	礬土 %	酸化鐵 %	石灰 %	苦土 %	無水 硫酸	比重
No. 38	伊太利火山灰	8.48	17.19	45.15	17.02	11.42	10.00	2.12	痕跡	2.57
" 39	" "	6.30	62.32	52.81	18.63	10.19	7.54	痕跡	痕跡	2.41
" 40	" "	7.68	33.37	47.37	14.13	15.94	9.12	痕跡	跡痕	2.28
" 30	唐 津 火 山 灰	11.48	46.59	38.70	26.74	20.40	0.70	0.78	0.64	2.27
" 43	淺 間 火 山 灰	10.95	48.10	43.03	24.65	19.35	1.05	0.69	痕跡	2.42
" 32	珪酸白土(松山)	9.66	77.15	68.78	13.60	3.50	1.69	1.19	0.52	2.35
" 26	撫 順 頁 岩 灰	1.06	85.75	61.76	22.01	10.39	2.42	1.32	0.78	2.63
" 23	水碎高爐鐵滓(I)	-1.12	1.40	32.51	15.52	1.38	43.59	3.05	2.42	2.90
" 25	" " (II)	-0.81	0.03	42.73	8.12	1.01	43.12	1.55	1.04	2.86

即ち此の表に依つて見る如くに伊太利火山灰は其の化學成分は割合によく類似して居るが本邦火山灰は産地に依つて著しく困り殊に九州産のものの中でも唐津地方のものは玄武土質のもので大分、宮崎地方のものは安山岩質のもので伊豆火山灰、淺間火山灰などに類し、更に東北地方より北海道方面のものは凝灰岩質のもので珪酸白土は之に類するものである様に略 3 種に類別し得るものである。従つて其の化學成分は上表の通り相當に廣い範圍に差があるものであるから茲にも是等を各 1 種宛取つて試料にしたわけである。尙撫順頁岩灰は別報「混合ポルトランドセメントの研究」第 10 報に使用したものであつて、水碎した高爐鐵滓と共に半ば人工的の火山灰 (Artificial puzzolana) と稱すべきもので上記の天然火山灰質と比較したわけである。鐵滓には此の外酸化滿俺 (MnO) が約 1~2% 含まれて居る。

更に注目すべきことは上記の第 2 表の中の不溶解殘渣はセメントの分析法と同様で鹽酸液で處理したあとに残るものであるから稍獨逸のトラスの分析に於ける不溶分の定量法に似て居るものである。然るに此の鹽酸法は鹽酸の濃度が稍高いため時に依ると可溶性珪酸の一部分を不溶性となすから不溶解殘渣が多くなる恐れがある。従つて著者は此の缺點を避けるために苛性曹達法を用ゐて分析を行つた。此の方法は著者が絶えず多くのセメント混合材に就て行つて居る方法で別報「混合ポルトランドセメントの研究」には絶えず此の方法を用ゐて其の混合材の適否を批判した。其の詳細は「混合ポルトランドセメントの研究」第 10 報 (本誌, 昭和 9 年, 42, 273) に譲ることとし、其の主旨は最初 10% 苛性曹達液を以つて可溶性珪酸、可溶性礬土などの酸基成分を溶解し、水洗して後 5% 鹽酸液で石灰其の他の可溶性分を溶かし、水洗した後乾燥灼熱して不溶解殘渣とし、前記 10% 苛性曹達液、水洗液、5% 鹽酸液、水洗液等の合計を酸性にして蒸發乾涸し珪酸以下の可溶性分の全部を定量する。此の方法に依れば不溶解分は鹽酸液法よりも少くなり、可溶部分が多くなつて來てセメント混合材としての有効部分の判定に便利である。此の方法に依つて上記の伊太利火山灰 3 種、本邦品 5 種に就て試験した結果は次の第 3 表の通りである。

第 3 表 各種火山灰質試料の化學成分 (可溶分析)

番 號	種 別	不溶 部分	可 流 部 分				
			珪酸	礬土	酸化鐵	石灰	苦土 %
No. 38	伊太利火山灰	16.34%	33.48%	14.83%	7.93%	7.60%	1.11
" 39	" "	47.05	29.07	8.16	3.42	3.01	痕跡
" 40	" "	25.45	38.88	10.85	7.59	4.52	"
" 30	唐 津 火 山 灰	23.95	28.16	20.15	13.60	0.51	0.57
" 43	淺 間 火 山 灰	25.11	33.49	17.24	11.20	0.77	0.36

〃	32	珪酸白土(松山)	46.75	32.50	6.90	2.18	0.76	0.31
〃	26	撫順頁岩灰	51.10	35.18	6.93	3.48	0.86	0.46
〃	23	水砕高爐鑛滓(I)	1.27	32.40	15.47	1.31	43.56	2.76
〃	25	〃 〃 〃 (II)	1.58	42.60	7.89	1.02	43.14	1.48

此の結果に就て見る如く高爐鑛滓は殆んど可溶性であるため他と比較は出来ないが、火山灰、珪酸白土、頁岩灰などを比較すると殆んど相等しい結果を示して居る。即ち不溶部分は火山灰に於ては最も少く約 25% 位のものもあるが中には 45% 以上のものもあつて珪酸白土、頁岩灰の約 50% のものに類する。可溶部分に於て火山灰は總じて鑛土の可溶性のものが多いのに對して珪酸白土、頁岩灰は鑛土は少く、珪酸ばかり多い。此の點が混合材として火山灰が不適當で、珪酸白土、頁岩灰の方に有利なことが起因して居る。即ち此の可溶性鑛土の多い火山灰はポルトランドセメントに加へて凝結の不調を來すこと、此の鑛土とセメントから遊離する石灰との間に生成する鑛土酸石灰鹽水和物が硬化性は持つて居るが水に可溶性であるが爲めに起因する硬化物の耐水性を低下する等の點である。

3. 火山灰ポルトランドセメントの試製と其の品位

上掲 8 種の火山灰質混合材の優劣を比較するには其の化學分析を全分析及び可溶分析に依つて比較試験すること前節の如く行ふ外に之を實際にポルトランドセメント又は其の燒塊に混合粉碎して混合ポルトランドセメントを調製して之に就て試験することも一つの比較試験の方法である。此の意味に於て本節には市販のポルトランドセメントを取り之に火山灰を混合して混合ポルトランドセメント試料を得其の硬化強度を比較試験することにした。

先づ市販のポルトランドセメントを取り、之に火山灰の配合割合は別報「混合ポルトランドセメントの研究」に於ける各種のセメント試料調製に倣ひ、他方では第一報に於ける伊太利火山灰ポルトランドセメント 6 種の化學分析結果とより見るに殆んどセメント 50~70 分と火山灰 50~30 分との混合の程度にてセメント及び火山灰の化學成分、性状に依りて最適なる割合がある筈であるが之を詳しく行ふことは徒らに繁雜を重ねるものであるから、茲には便宜上セメント 60 分と火山灰 40 分との配合のものに定め、之で以つて充分各火山灰の優劣、適否を知るを得た。

次に此セメント及び火山灰の配合の方法はセメントが既に微粉碎されて 4900 目篩殘渣以下なるを以つて火山灰を別に微粉碎して之も 4900 目篩殘渣以下となして之を加へ尙念のため其の均密な混合と併せて尙幾分の粉碎を望むために試験室用のポットミルに入れて一定時間軽く粉碎と配合とを行はしめた。混合セメントは本來ならば其粉末度が普通のセメントよりも充分なるべきものであることは別報「混合ポルトランドセメントの研究」中にも屢々論じたところであるから上記の様にセメントと火山灰とを別々に充分粉碎したものであつても之を單に混合するだけでなく同時に幾分の粉碎が伴はれてセメント粒子と火山灰の粒子とが均密に粉碎と同時にすりつけ合つた様にされて居れば一層適當なものであるから上記の様な方法を取つたのである。普通の高爐セメントの製造の様に燒塊と水砕鑛滓とを混合して初めから粉碎するとき此の均密な混合粉碎が一層よく行はれるものであるから一般に此の方法がとられる。

火山灰は多量の灼熱減量があつて粉碎に於ても微粉碎が行ひ難いものであるから上記の様に混合粉碎したものの粉末度を測定して見ても意外に 4900 目篩殘渣があることがあるが之は必ずしも粉碎が不充分とばかりは云へぬもので火山灰などを用ゐるときは避け難いものであり火山灰などの特性であるから 4900 目篩殘渣で略一致した粉末度とすることの不自然なことを思ひ上記の様に主として混合、粉碎の操作を一定して試料を

調製することにした。以上の意味で火山灰を用いた混合セメントは粉末度が常に粗いのは第 1 報伊太利の火山灰ポルトランドセメントに於ても既に充分認められたところである。

次の第 4 表は此の方法に依つて調製した 8 種の混合ポルトランドセメントと其の原料の普通のポルトランドセメントの粉末度, 比重, 化學成分を示したものである。

第 4 表 各種の試製火山灰ポルトランドセメントの比重, 粉末度, 化學成分の比較

番號	品 種 別	配 合 割 合		比重	粉末度 4900目 篩殘渣	灼熱 減量	不溶 殘渣	珪酸	礬土	酸化鐵	石灰	苦土	無水 硫酸	
		ポルト ランドセ メント	火 山 灰											
No. 1	ポルトランドセ メント	100	—	3.11	2.8%	1.14%	0.26%	21.50	5.51%	2.80%	65.12%	1.69%	1.41%	
〃 44	火山灰ポルトラ ンドセメント	60	伊太利 火山灰	(No.38) 40	2.89	2.0	3.81	7.12	31.20	10.11	6.31	44.64	0.97	0.67
〃 45	〃	60	〃	(No.39) 40	2.85	0.2	2.09	25.52	36.97	10.54	5.28	40.94	0.59	1.06
〃 46	〃	60	〃	(No.40) 40	2.75	0.8	3.64	13.46	32.63	9.55	7.67	42.40	0.79	0.92
〃 47	〃	60	唐津火 山灰	(No.30) 40	2.93	4.4	5.32	18.33	28.93	13.78	10.54	39.16	0.81	0.87
〃 48	〃	60	淺間火 山灰	(No.43) 40	2.84	3.6	4.02	18.64	30.32	13.43	10.66	39.61	0.86	0.70
〃 49	珪酸白土ポルト ランドセメント	60	珪酸白 土	(No.32) 40	2.67	0.4	4.13	31.54	39.64	10.32	3.43	39.44	1.21	1.03
〃 50	頁岩灰 〃 〃	60	撫順頁 岩灰	(No.26) 40	2.92	1.4	1.12	33.86	37.50	12.13	6.50	39.56	1.23	1.20
〃 51	高爐セメント	60	高爐鐵 滓	(No.23) 40	3.02	0.4	0.73	1.31	26.01	9.41	2.44	56.00	2.12	1.39
〃 66	〃 〃 〃	60	高爐鐵 滓	(No.25) 40	3.02	3.0	-0.22	2.01	29.32	7.45	2.54	54.71	1.33	1.01

即ち此の結果で見ると伊太利火山灰 3 種の成分が第 2 表の様に相當に異つて居るから No. 44, No. 45, No. 46 の相互に差異があることと, 日本の唐津, 淺間火山灰とも異つて居るから No. 47, No. 48, と異つて居る。更に No. 49 の珪酸白土を用いたもの, No. 50 の頁岩灰を用いたもの, No. 51 の鐵滓を用いたものは各々獨特の成分のものであることは云ふこともない。尙此の高爐セメント酸化滿俺 (MnO) を 1~2% を含んで居る。

次に是等 8 種の混合セメントと之に用いたポルトランドセメントとを其の強度試験に依つて比較するために著者の考案研究になる小型軟練モルタルに依る強度試験を行つた。其の詳細な試験方法は別報「混合ポルトランドセメントの研究」第 9 報に譲ることとし茲には唯セメント 1 分, 九味浦珪砂 1 分, 標準砂 2 分の配合にて水セメント比約 60~70% の軟練モルタルに依つて徑 2cm, 高さ 3cm の圓壩形試験片を成形し之に依つて小型耐壓力試験をする方法を採用したもので此の結果は次の第 5 表の通りで之は第一報の伊太利の火山灰ポルトランドセメントの小型耐壓力とも比較が出来, 更に別報「混合ポルトランドセメントの研究」第 9 報以下の小型耐壓力, 或は別報「セメントの軟練モルタル試験法」中の小型耐壓力とも一樣に比較することが出来る。尙規格に制定された硬練モルタルを用いた外仕事を與へて成形した試験片に依る耐壓及び抗張試験を行はなかつたのは一つは伊太利火山灰試料が少量であつたことと他の一つの理由は是等の混合ポルトランドセメントの硬化強度を比較するには現行規格にある硬練モルタルで外仕事を加へて成形した試験片では極めて不合理な結果しか得られなくて正當に比較が出来ないから最も合理的であり且つ自然的な軟練モルタル法に依ることとし此の小型圓壩形試験片に依る方法は著者が此の數年間各種の研究試験に行ひ來つて充分の結果を擧げて居るから之を採用することが最も便利であり好都合であり且つ信ずべき結果を得られる自信があるからであつ

た。

第 5 表 各種の試製火山灰ポルトランドセメントの小型軟練モルタルに依る耐壓強度

番 號	品 種 別	水セ メン ト比	小型軟練モルタルの耐壓力 (18/cm ²)					強 度 比 率			
			3 日	7 日	28 日	聯結 28日	合 計	$\frac{C_7}{C_3}$	$\frac{C_{28}}{C_3}$	$\frac{C_{28}}{C_7}$	聯結 $\frac{C_{28}}{C_{28}}$
No. 1	ポルトランドセメント	60	97.2	177.2	263.0	317.3	854.7	1.82	2.71	1.48	1.21
// 44	火山灰ポルトランドセメント	60	85.6	138.2	244.2	303.9	771.9	1.61	2.85	1.77	1.24
// 45	// // //	60	77.5	105.8	163.0	184.2	530.5	1.37	2.10	1.54	1.13
// 46	// // //	60	76.6	118.6	223.0	237.2	655.4	1.55	2.91	1.88	1.06
// 47	// // //	60	44.1	89.2	167.6	196.2	497.1	2.02	3.80	1.88	1.17
// 48	// // //	60	40.0	84.5	153.9	162.7	441.1	2.11	3.85	1.82	1.06
// 49	珪酸白土 //	60	81.0	142.3	251.3	241.8	716.4	1.76	3.10	1.77	0.96
// 50	頁 岩 灰 //	65	66.2	107.8	200.6	168.0	642.6	1.63	3.03	1.86	0.84
// 51	高 爐 セ メ ン ト	60	95.1	184.4	336.0	263.6	879.1	1.94	3.53	1.82	0.79

即ち此の結果に依つて見る如く高爐セメントはポルトランドセメントに劣らざる結果を示し、伊太利火山灰を以つて作れる火山灰ポルトランドセメントの中には相當に強いものを得我が唐津及び淺間火山灰を用ゐたものよりも優良である。珪酸白土、頁岩灰を用ゐた混合ポルトランドセメントは火山灰を用ゐたものよりも優良である。尙強度の比率即ち C_7/C_3 (7 日強度と 3 日強度の比)、以下各種の強度の比率を見るに C_{28}/C_3 、 C_{28}/C_7 の様に材齡の差のあるものの比率が珪酸白土、頁岩灰、高爐鐵滓の様な混合セメント程大なることは是等の混合セメントが混合材の添加に依つてセメントの短期の強度の發生には害されるが材齡と共に強度の増進が大であることを特徴として居ることをよく示してゐる。

4. 石灰火山灰セメントの試製と其の品位

伊太利に於ては前記の火山灰ポルトランドセメント即ちポルトランドセメント又は其の燒塊と火山灰とを混合粉碎して得らるるものの外、火山灰と石灰とを配合して火山灰石灰セメントが製造使用せられる。伊太利より得た本報研究試料の 6 種の中 3 種宛此の火山灰石灰セメント及び火山灰ポルトランドセメントなるべしと考へたが後節の遊離石灰の定量結果其の他で見ると全部火山灰ポルトランドセメントで望む火山灰石灰セメントを得られなかつたから茲に伊太利火山灰 3 種と日本の火山灰、其の他 5 種合計 8 種の試料を用ゐて石灰混合セメントを試製して其の性狀の比較試験を行つて見た。

火山灰石灰混合セメントの火山灰と石灰との配合は火山灰の成分、性狀に依つて異なるもので一定して居らないから各火山灰に就て最も適當な割合を求めらるべきであらふ。然し伊太利火山灰の試料が不充分であつたのと、一般に火山灰石灰混合セメントの配合の割合は大體火山灰 70 分、石灰 30 分位のもの (拙著「珪酸鹽工業」昭和 6 年、第 193 頁以下参照) であるから火山灰の 2500~4900 目篩通過程度 of 粉末と消石灰の 1600~2500 目篩通過程度 of 粉末 (九州恒見石灰石を 1000°C に煅燒し消化したるもの) とを 7:3 の割合に配合して一定時間ポットミルにて混合と粉碎とを續けて同一操作に依つて次の 8 種の火山灰石灰混合セメント試料を得た。其の化學成分比重等を示さう。

第 6 表 各種の試製火山灰石灰セメントの比重, 粉末度, 化學成分の比較

番 號	品 種 別	配 合 割 合			比重	粉末度 4900目 篩殘渣 %	灼熱 減量 %	不溶 解減 渣 %	珪酸 %	礬土 %	酸化鐵 %	石灰 %	苦土 %	無水 硫酸 %
		石灰	火 山 灰	灰										
No. 52	火山灰石灰セメント	30	伊太利火山灰	(No. 35) 70	2.47	8.6	13.28	14.06	32.05	11.06	8.15	30.15	1.78	痕跡
" 53	"	30	"	(No. 39) 70	2.37	0.2	11.34	45.83	38.97	12.91	5.68	27.29	痕跡	"
" 54	"	30	"	(No. 40) 70	2.43	2.2	12.49	24.65	33.76	10.95	9.50	28.36	"	"
" 55	"	30	唐津火山灰	(No. 30) 70	2.44	16.0	15.71	30.30	28.10	18.55	14.04	21.82	0.68	0.61
" 56	"	30	淺間火山灰	(No. 43) 70	2.36	19.0	14.64	31.61	29.78	17.52	13.42	22.88	0.66	痕跡
" 57	珪酸白土石灰セメント	30	珪酸白土	(No. 32) 70	2.22	8.0	13.35	54.50	49.51	9.26	2.43	22.91	0.92	0.31
" 58	頁岩灰	30	撫順頁岩灰	(No. 26) 70	2.51	4.8	8.09	61.76	43.23	16.57	8.30	22.04	0.81	0.73
" 59	鑛 滓(I)	30	高爐鑛滓(I)	(No. 23) 70	2.67	0.6	7.25	1.12	22.23	10.18	1.22	53.69	1.52	1.42
" 67	" (II)	30	" (II)	(No. 25) 70	2.65	9.4	6.81	0.34	29.54	5.26	0.80	53.25	1.31	0.97

此の結果を見るに比重は何れも 2.5 以下 (鑛滓石灰セメントのみ大) にして, 化學成分は鑛滓石灰セメントが特に異例である外は何れも略相似た成分のものである。即ち灼熱減量が 10~15%, 不溶解殘渣が 30~40%, 多きは 60% を越えるものがある。尙其の全成分を見ると珪酸が 30~40%, 中には 50%, 礬土は 10~18% 位, 酸化鐵も 5~10% 位で是等の酸基成分が合計 65~75% の多量であるのに對して, 石灰は 20~30% の少量である。而も此の石灰の大部分は後の第 8 表に示す様に遊離石灰 15~18% である。

斯様な化學成分の各種火山灰質の石灰混合セメントは此の遊離石灰と, 火山灰質中に可溶性酸基成分である可溶性珪酸及び礬土との間に珪酸石灰鹽水和物, 礬土酸石灰鹽水和物を生じ其の水硬性に依つて硬化するものであるから石灰の量は是等の可溶性珪酸及び 礬土の量と關係して 決定すべきもので 本節の水酸化石灰として 30%, 遊離石灰として 15~18% の量が果して適當であるか否かは後節に譲らふ。

次に是等 8 種の火山灰石灰セメントの硬化強度の比較試験を行ふことにした。¹ 普通從來の火山灰の比較試験には火山灰 7, 石灰 3, 標準砂 20 の硬練モルタルでセメントの規格試験と同様にして抗張力試験體を作り其の 4 週抗張力 10 kg/cm² (150 lb/in²), 時には 14~15 kg/cm², 稀には 2 週抗張力 10~12 kg/cm² を規定して居る (拙著「珪酸鹽工業」, 昭和 6 年, 第 194 頁)² 位の弱いものである。本節では更に之を軟練モルタルで行ふのであるから一層弱く (硬化が遅く) て 3 日強度などは測れないかと思れるから多くは 4 週耐壓力を試験し出来れば 1 週耐壓力をも見ることにした。其の結果は次の通りである。小型圓筒形耐壓力試験片をセメント 1 分に九味浦微砂 1 分, 標準砂 2 分即ち 1:1:2 の配合の 1:3- セメントモルタルで徑 2 cm, 高さ 3 cm の小型圓筒形試験片に依る軟練モルタルの強度試験で比較したものである。此の結果を見る時は No. 59

第 7 表 各種の試製火山灰石灰セメントの小型軟練モルタルに依る耐壓力

番 號	品 種 別	水セメント比	小型軟練モルタルの耐壓力(kg/cm ²)			強度指數	
			1 週	4 週	聯結 4 週	C ₂₈ C ₇	C ₂₈ 聯結 C ₂₈
No. 52	火山灰石灰セメント	70%	17.6	42.4	24.7	2.41	0.58
" 53	" " "	65	4.6	29.6	10.7	6.44	0.36
" 54	" " "	65	24.9	78.8	63.7	3.17	0.81
" 55	" " "	65	24.6	61.0	36.7	2.48	0.60
" 56	" " "	70	11.5	44.4	19.9	3.86	0.45
" 57	珪酸白土	70	6.1	50.2	24.9	8.23	0.50
" 58	頁岩灰	70	1.9	9.4	5.9	4.95	0.63

“ 59 鑛 滓 “ “ (I)	60	83.9	126.6	145.8	1.51	1.15
“ 67 “ “ “ (II)	60	7.4	29.4	23.0	3.97	0.78

の鑛滓石灰セメント最も硬化強度大に No. 52, No. 54 の伊太利火山灰の石灰混合セメント及び No. 55 の唐津火山灰の石灰混合セメント, No. 57 の珪酸白土の石灰混合セメントは強度大なるに對し No. 56 の淺間火山灰 No. 58 の頁岩灰の石灰混合セメントは硬化最も不良である。尙 28 日強度を見るに水中硬化強度に對し聯結硬化強度が著しく不良なるは 1 週間の水中硬化にては不足にて一層長い水中硬化を必要とすることを示すものである。

5. 火山灰セメント, 火山灰ポルトランドセメントの遊離石灰

火山灰ポルトランドセメントの中の全石灰は約 40~50% 前後で之は主として配合に用いたポルトランドセメント又は其の焼塊から來て居るもので火山灰自體の中には少い。従つて此の全石灰の中の遊離石灰はポルトランドセメント又は其の焼塊から來るの普通に焼成されたポルトランドセメント焼塊には遊離石灰は 1% を越すことは少いから之を約 50~70% 用いた火山灰ポルトランドセメント中の遊離石灰は普通 0.5~0.7% 位から多くならぬ筈である。事實次の試験結果を見ても此の推定は確實で多くは 0.3~0.5% 位である。

之に反して火山灰石灰セメントでは火山灰に 20~30% も石灰を加へること上述の通りであるから加へた石灰が消化石灰($\text{Ca}(\text{OH})_2$)であるから定量する遊離石灰(CaO)としても少くとも 15~22% 位以上の含有量の筈である。従つて火山灰石灰セメントと火山灰ポルトランドセメントとは其の化學成分の分析では或は區別がつかないにしても此の遊離石灰の定量に依つて明瞭に區別がつく筈である。此の方法で第一報に報告した 6 種の伊太利火山灰質のセメントが 6 種共火山灰ポルトランドセメントであるか、或は幾種かは火山灰石灰セメントであるかを明確に決定することが出来る筈である。尙本報で得た 8 種の火山灰ポルトランドセメントと同じく 8 種の火山灰石灰セメント中の遊離石灰をも同様に測定して比較することにした。其の結果は次表の通りである。之

第 8 表 火山灰石灰セメント, 火山灰ポルトランドセメント試料中の遊離石灰の定量結果

番號	品 種	遊離石灰	番號	品 種 ・ 名	遊離石灰
No. 8	伊太利火山灰ポルトランドセメント	0.32%	No. 50	頁岩灰ポルトランドセメント	0.59%
“ 9 “ “ “ “		0.39	“ 51 高 爐 セ メ ン ト		0.81
“ 10 “ “ “ “		0.33	“ 66 “ “ “		0.75
“ 11 “ “ “ “		0.50	“ 52 火山灰(伊太利)石灰セメント		15.91
“ 12 “ “ “ “		0.40	“ 53 “ “ “ “		16.19
“ 13 “ “ “ “		0.36	“ 54 “ “ “ “		16.19
“ 1 ポルトランドセメント		1.37	“ 55 火山灰(唐津) “ “		14.94
“ 44 火山灰(伊太利)ポルトランドセメント		0.76	“ 56 “ (淺間) “ “		15.71
“ 45 “ “ “ “		0.74	“ 57 珪酸白土 “ “		16.21
“ 46 “ “ “ “		0.56	“ 58 頁 岩 灰 “ “		16.36
“ 47 火山灰(唐津) “ “		0.74	“ 59 鑛 滓 “ “ (I)		18.41
“ 48 “ (淺間) “ “		0.59	“ 67 “ “ “ “ (II)		17.77
“ 49 珪酸白土 “ “		0.43			

に用いた遊離石灰定量法は無水アルコールの醋酸アムモニア液にて無水アルコール・グリセロール溶液中にて滴定して求める米國ラーチ及びボーグ兩氏法にて著者が絶えず各種の試験研究に使用しつゝあるものである。

此の結果に依れば伊太利の火山灰質セメント No. 8~No. 13 は何れも遊離石灰が 0.3~0.5% にて全部火山灰ポルトランドセメントなることを示し最初の推定通り明確に火山灰石灰セメントにあらざることを示せり。No. 1 のポルトランドセメントを 60% とし他の 40% を伊太利及び日本の火山灰其の他を用いたる No. 44~No. 51 の各種の火山灰ポルトランドセメントも之と大同小量の結果を示せり。然るに No. 52~59 の火山灰石

灰セメントは消石灰が 30% 加へられたが爲めに石灰 (CaO) の量は之に従つて多量 15~20% 近く含有せることも最初に豫想した通りである。

6. 混合セメントの安定度試験

伊太利の火山灰混合ポルトランドセメント 6 種、伊太利の火山灰及び日本の火山灰、珪酸白土、頁岩灰、高爐鑛滓より試製した各種の混合ポルトランドセメント及び石灰混合セメントの安定度試験するため普通のポルトランドセメントの安定度試験に日本の規格にある様な饅頭形體を作り其の龜裂の有無で見るやうな定性的の方法を排し、茲には英國のセメント規格にあるルシャテリー式膨脹計に依るもの及びバウシンガー式膨脹計に依るもの等を比較試験した。其の結果は次の第 9 表の通りである。

第 9 表 火山灰セメント火山灰ポルトランドセメント試料中の安定度の試験結果

番 號	種 別 名	水量	ルシャテリー式		バウシンガー式	
			煮沸 3 時間	浸水 28 日	煮沸 3 時間	浸水 28 日
No. 8	伊太利火山灰ポルトランドセメント	24	+0.2mm	+0.3mm	-0.03%	+0.05%
" 9	" " "	24	-0.1	-0.8	-0.05	+0.04
" 10	" " "	24	+0.1	-0.2	-0.06	+0.04
" 11	" " "	24	+0.1	+0.6	-0.07	+0.11
" 12	" " "	24	+0.4	+0.3	-0.05	+0.05
" 13	" " "	30	+0.2	-0.2	-0.12	+0.05
" 1	ポルトランドセメント	24	+0.4	+0.2	+0.05	-0.03
" 44	火山灰(伊太利)ポルトランドセメント	25	+0.4	+0.5	-0.02	+0.10
" 45	" " "	25	-0.3	+0.4	-0.04	+0.04
" 46	" " "	24	-0.1	+0.8	-0.05	+0.03
" 47	火山灰(唐津)	22	-0.4	+0.6	-0.04	+0.11
" 48	" (淺間)	24	+0.4	+0.8	-0.06	+0.12
" 49	珪酸白土	26	-0.2	+0.6	-0.06	+0.06
" 50	頁 岩 灰	24	+0.2	+0.4	-0.005	+0.04
" 51	高 爐 セ メ ン ト	26	0	-0.2	+0.03	+0.06
" 66	" " "	25	+2.1	+0.2	+0.07	+0.08
" 55	火山灰(伊太利)石灰セメント	26	+0.3	+0.6	—	—
" 53	" " "	26	+0.6	-0.1	—	—
" 54	" " "	26	-0.1	+0.9	—	—
" 55	火山灰(唐津)	28	+0.4	+0.3	-0.10	+0.11
" 56	" (淺間)	30	+0.1	+0.2	-0.05	+0.13
" 57	珪酸白土石灰セメント	24	+0.1	+0.2	+0.06	+0.23
" 58	頁 岩 灰	30	+0.3	-0.1	+0.02	+0.08
" 59	鑛 滓	26	+0.3	-0.1	+0.02	+0.06
" 67	" " "	25	+1.5	+0.1	+0.14	+0.24

此の結果に依れば No. 67 の鑛滓石灰セメントが特殊の鑛滓を使用したため稍膨脹率が大きい外は何れの火山灰石灰セメント又は火山灰ポルトランドセメント、或は他の珪酸白土、頁岩灰、鑛滓などを混合材に使用した石灰混合セメントも混合ポルトランドセメントも優良な成績を示して居てポルトランドセメントに比して何等の異常も遜色も此の膨脹試験に就ては認めない。

7. 總 括

本報は曩に第一報を以つて報告した伊太利火山灰ポルトランドセメントに関する試験研究の續報で其の要點を摘録すると次の通りである。

(1) 伊太利の各地産の代表的火山灰試料 3 種が手に入つたから、之に日本産火山灰 2 種、珪酸白土 1 種、

頁岩灰 1 種、高爐鑛滓 2 種の様にセメント混合材として使用し得べきもの數種を選んで比較對照のため其の化學成分に關して全分析及び可溶分析をなし併せて比重を比較したるに伊太利火山灰は本邦火山灰とよく類似して居る。

(2) 是等伊太利及び本邦の各種の火山灰質混合材 40 分をポルトランドセメント 60 分に加へ均等に混合粉碎したる各種火山灰混合ポルトランドセメントを試製し其の化學成分、比重等を測定して比較したるに何れも混合ポルトランドセメント獨特の比重の小なること、不溶解残渣多く、全珪酸多く、全礬土多く、全石灰少き點等を共通の性質とす。

(3) 是等各種の試製の火山灰質混合ポルトランドセメント試料の水硬性を比較するために著者が絶えず各種のセメント試料に就て適用しつゝある小型耐壓力試験片をセメント：九味浦珪砂：標準砂の配合割合が1:1:2、水セメント比が 60~65% の軟練モルタルを以つて成形したるものに就て強度試験の結果を比較試験したる結果是等火山灰質混合ポルトランドセメントは混合材 40% の如き多き混合のため短期の強度は大ならざるも材齡と共に強度の増進大なるため長期に於ては充分大なる強度を出し、殊に高爐セメントは強度大にしてポルトランドセメントを凌ぐに對し、伊太利及び日本の火山灰 5 種を混合したものは強度最も弱く、或は火山灰 40% の混和は多量に失し 30% 位とすべきものなるべし。

(4) 次に是等多數の火山灰質混合材 70 分に對し消石灰 30 分を混合し均密に粉碎したるもの所謂火山灰質石灰混合セメント試料を試製し其の化學成分及び比重等を比較試験したる結果に依れば比重は約 2.3~2.5 にして前項の火山灰混合ポルトランドセメントの 2.8~2.9 に比し約 20~30% 低く、化學成分に於て灼熱減量が 10~13% 以上、不溶解残渣が 20~30% 時には 40~50%、全珪酸が 30~40%、全礬土が 10~15%、全酸化鐵が 5~10%、全石灰が 20~30% なるは此の火山灰質石灰混合セメントの獨特の數値なり。唯鑛滓石灰セメントのみは混合材の鑛滓が他の混合材と異なるだけに其の石灰混合セメントも比重、化學成分上に他と懸け離れて異なる數値を示せり。

(5) 是等の石灰混合セメントの水硬性を比較試験せんがために前記の混合ポルトランドセメントの場合と同様にセメント：九味浦珪砂：標準砂の配合割合 1:1:2、水セメント比 60~70% の軟練モルタルの小型耐壓力試験片を成形して比較試験したるに其の耐壓強度は前掲の混合ポルトランドセメントに比して著しく不良なり。唯材齡 1 週より 4 週迄の強度増進は著しく大なれば長期材齡に於ては相當に大なる強度を呈すものと考へらる。

(6) 最後に以上多數の火山灰混合ポルトランドセメント及び火山灰石灰混合セメントの試料に就て其の遊離石灰を定量したるに前者の火山灰混合ポルトランドセメントの遊離石灰は何れも 0.5~0.7% 以下、後者の火山灰石灰混合セメントは遊離石灰 15~18% の多量を含み、此の一點に就ても兩種の混合セメントは明瞭に區別し得べし。第 1 報に於ける伊太利ヴェトリ氏より寄贈されたる火山灰混合セメント試料（本誌、昭和 9 年、42, 20）は遊離石灰 0.3~0.4% なること、其の化學成分が前節の試製の火山灰混合ポルトランドセメントと同様な點とより疑も無く混合ポルトランドセメント系の火山灰混合セメントなり。

(7) 更に進んで是等兩種の火山灰混合セメント試料の全部に就て其の硬化物の安定度試験のためルシヤテリー式及びバウシンガー式の膨脹率を煮沸及び浸水 28 日の兩試料に就て比較試験したるにルシヤテリー式膨脹又は收縮 1 mm 以上のものなく、又バウシンガー式膨脹收縮率 0.05% 以上のもの少く、唯火山灰石灰セメントの方は稍大なる數値 0.10% 名を越えるものあり。

(8) 以上第 1 報より第 2 報にかけて試験したる結果に依れば伊太利産火山灰は本邦産唐津、浅間、伊豆火山灰等によく類似し、之を 30~40% 混用したる火山灰混合ポルトランドセメントは伊太利より寄送されたるものも、伊太利火山灰と本邦ポルトランドセメントより試製したるものも或は本邦火山灰と本邦ポルトランドセメントより試製したるものも更に本邦産の各種火山灰質混合材とポルトランドセメントより試製したるものと比較して何れも大差なく普通に使用し得るセメントを得られることを明らかにしたるものにして、伊太利に於ては此の種の火山灰混合ポルトランドセメントが相當に廣く且つ多く使用せられつゝあり。

終に本試験には助手渡邊忠君の終始熱心なる助力に負ふところ多し。茲に謹んで感謝の意を表す。(東京帝國大學工學部應用化學科珪酸鹽化學研究室) (昭和 9 年 2 月受理)

混合ポルトランドセメントの研究 (第 10 報)

永井 彰一郎・吉田 一郎

Studies on Mixed Portland Cements, X

By Shoichiro Nagai and Ichiro Yoshida

On continuing the previous studies, the authors reported, in the present paper, the results of further studies on various points of mixed Portland cements. The brief summaries are abstracted from the original Japanese paper, as following:

(1) The admixtures, which were used in the present studies, have the following chemical compositions.

Table 1. Total Analysis of Admixtures

	Loss on Insol. Res.		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Others
	Ignition	to HCl							
Siliceous earth (1)	6.17%	79.01%	69.57%	14.05%	3.35%	1.61%	1.21%	tr	4.04%
" " (2)	7.30	66.50	83.81	4.70	1.05	2.46	0.36	tr	0.32
" " (3)	9.66	77.15	68.78	13.60	3.50	1.69	1.19	0.52	1.06
Pozzolana (Japan)	11.48	46.59	38.70	26.74	20.40	0.70	0.78	0.64	0.56
Spent Shale	1.06	85.75	61.76	22.01	10.39	2.42	1.32	0.78	0.24
Loamy Clay	12.57	41.19	40.17	22.42	19.15	1.32	0.86	tr	1.21
Blast Furnace Slag(1)	-1.25	2.37	32.21	16.17	1.49	45.61	2.15	1.62	MnO 1.20
" " " (2)	-1.12	1.40	32.51	15.52	1.38	43.59	3.05	2.42	" 2.52
" " " (3)	-0.81	0.63	42.73	9.12	1.01	43.12	1.55	1.04	" 2.25

Table 2. Soluble Analysis of Admixtures by Testing with
Solutions of 10% NaOH and 5% HCl

	Insoluble Part	Soluble Parts					Specific Gravity
		68.75%	5.28%	2.33%	1.68%	0.31%	
Siliceous Earth (1)	12.40%	68.75%	5.28%	2.33%	1.68%	0.31%	2.13
" " (2)	12.19	76.08	1.87	1.38	3.51	tr	2.23
" " (3)	46.75	32.50	6.90	2.18	0.76	0.31	2.35
Pozzolana (Japan)	23.95	28.16	20.15	13.60	0.51	0.59	2.27
Spent Shale	51.10	35.18	6.93	3.48	0.86	0.46	2.63
Loamy Clay	22.71	27.12	13.57	20.66	0.89	0.81	2.43