昭和 18 年 4 月

報 文

結合粘土を異にするシャモット煉瓦の耐熱性に就て

山 内 俊 吉・加 藤 左 織

(Über die Wärmestossfestigkeit der Schamottesteine mit verschiedenen Bindetonen)

Von Toshiyoshi Yamauchi u. Saori Kato

緒 言

耐火物の物理的諸性質中耐熱性即ち温度の急變に耐へる性質が最も重要視せられる一要素であることは論を俟たない所であるがその耐熱性は原料の撰擇及調製、成形及焼成法其他の製造條件により決まる所の多くの物理的及化學的因子により左右されるものであるが故に其一因子を追究する事により其耐熱性を論ずる事は仲々困難である。就中本報に於て取扱はんとするシャモット煉瓦の耐熱性に關しては他の耐火物に比し一層其困難が伴ふものであつて従つて從來數多の研究者により、あらゆる角度より耐熱性の論議が試みられたが屢々矛盾に逢着する結果となつたものが多い。即ち M. C. Booze & S. M. Phelps (*Jour. Amer. Ceram. Soc.*, 1925, 8, 361) は其研究に於て耐火物の温度變化に對する抵抗性は其膨脹係數のみにより左右されない。比較的高い膨脹係數を示す煉瓦も屢々温度變化に對して強い抵抗性を示した。而して此は其煉瓦が同時に高い弾性を有する事に因ると述べ又 W. R. Morgan (*Jour. Amer. Ceram. Soc.*, 1931, 14, 913) は耐熱性の強弱は煉瓦の曲げ破壊係數の高低にあまり關係がない。多數の測定の結果一般に中位の係數を有する煉瓦が比較的良好な耐熱性を示す事を述べた如き其の例である。しかしシャモット煉瓦の耐熱性は先づ原料の撰擇により著しく影響を受け耐熱性を左右すべき大半の諸因子も其限界が略々決まるものである。依つて耐熱性に關する諸種の理論的考究は擬置き先づシャモット煉瓦の耐熱性に就て原料關係から考察を加へて行きたいと思ふ。

近來耐火物の物理的諸性質中機械的強度、熱傳導率、弾性率及び膨脹係數等は耐火物の耐熱性を支配する主なる因子なりとの考へられてゐる。之等の見界から著者等は弾性率及抗曲力を測定する事により其耐熱度を判定せんと試験研究中で可なり信頼が置ける様と思ふが今原料の調製、成形、焼成等の製造法を同一に行つた場合シャモット煉瓦の弾性率は特定のシャモットに對し結合粘土を變へる事により異なるは當然である。而して可及的に煉瓦の素地組織の均一性を圖り熱變化時に生ずる局部的歪を最小ならしめる點より考へればシャモットと結合粘土は同一原料を以て製造した煉瓦が耐熱性に

よいと考へられるがしかし結合粘土はシャモットと同一原料を使用し得ざる場合がある。耐酸煉瓦も其耐熱性が非常に重要視せられるものであるが嘗て非常に賞用せられ優秀な耐熱性を示す一外國製耐酸煉瓦は素地中に多量の石英微粒子を含み比較的高い熱膨脹を示すにも拘らず顯微鏡下に檢するに組織が極めて均一であつてシャモット粒、石英粒、結合粘土が頗る均等に分布してゐる。恐らく此は M. C. Booze 及 S. M. Phelps が述べてゐる如く煉瓦が高い弾性を示すと共に熱變化時に此等の三部分が熱的に非常に調和して大なる局部的歪を生じないためであらう。以上の事實より著者等は一定のシャモットに對し結合粘土を選擇配合する事により素地組織の均一性を圖りシャモットと結合粘土とを熱的に調和せしめ煉瓦の耐熱性を幾分にも向上せしめ得ると豫想した。故に先づ結合粘土の品質が製品の耐熱性にどれほどの影響があるかを見るため著者等が前に檢べた粘土中から 2, 3 のシャモットを選定し之等に化學成分及び物理的諸性質が非常に異なる數種の粘土を結合劑として配合し可及的に同一條件の下に煉瓦試験體を作製しその各々に就き化學分析及比重、氣孔率、熱膨脹、曲げ破壊強度、弾性率等の測定を行ふと共に數種の異なる温度にて急熱急冷を反復し其熱處理による曲げ破壊強度及弾性率の變化より各供試體の耐熱性の強弱を檢した。

(1) 原料及其調製

シャモット用原料としては成可く異なる品質の物を用ふる考へから復州並粘土、長城粘土 A 及び長城粘土 E の 3 種の焼粉を選んだ。軟質粘土は鐵槌、硬質の物は粗碎機を以て豫め 3 cm 以下の塊に粉碎し耐火粘土製大型坩堝に入れ瓦斯燒成爐にて SK 15(1435°C)迄加熱し同過度に約 1 時間保つた。各原料の燒成物はロールミルにて粉碎し之を孔眼寸法 2.5 mm, 2.0 mm, 1.2 mm, 0.8 mm, 0.3 mm, 0.14 mm の篩を通し 2.5~2.0 mm, 2.0~1.2 mm, 1.2~0.8 mm, 0.8~0.3 mm, 0.3~0.14 mm, 0.14 mm 以下の 6 種の粒度部分に區別した。シャモット煉瓦の耐熱性はシャモットの粒度により著しく左右される故上記 3 種のシャモットは一樣に次の如き粒度組成になる様各篩別區分を調合した。

シャモットの粒度組成

2.5~2.0 mm, 2.0~1.2 mm, 1.2~0.8mm, 0.8~0.3mm, 0.3~0.14 mm, 0.4 mm 以下

10 % 10 % 10 % 20 % 30 % 20 %

一般に耐熱性を良好ならしめる目的には中間粒を減ずる事が行はれてゐるが小形試験體の成形に便ならしめる 様比較的微粒を多くし 假りに上記の如き粒度に定めて試験を行つた。

結合粘土の選定は耐熱性と結合粘土の性質との関係を明かにしたいといふ本實驗の目的に副ふ様成可く異種の原料を使用する考へから通常單味にては使用しないと思はれる物も使用した。而して其選定には化學成分のみならず著者等が曩に行つた生粘土の熱膨脹收縮測定（本誌，昭 17，4 月及 8 月）並に熱分析試験（本誌，昭 17，5 月及 9 月）等の結果をも参照し成可く系統の異なる物を選んだ。選定した原料は現在實用されてゐると否とにとらはれず夫々性質の異なると思はれた各種粘土群の代表として白樺木節，小名田木節，平田木節，木戸白木節，廣野木節の 5 種にした。之等は第 1 表に示す如く非常に化學成分の差異が認められると共に加熱變化の結果が全く異なる状態を示すものである。シャモット用原料並に結合粘土の化學成分及び其等の生粘土の加熱收縮，熱分析結果を示せば第 1 表の如くである。

即ち之等の結合粘土の特徴を示せば白樺木節は收縮が最も多く粘性に富み山木木節等に類する一般に木節と呼ばれるものであるが小名田木節は其に比しやゝ珪酸分多く收縮及 550°, 1000°C の反應が非常に低い。平田木節は灼熱減量が極めて多く 300°C の發熱が強い。點等より燃焼物質を多量に含むもので加熱收縮は更に少なくなつてゐる。次に木戸白木節は珪酸に非常に富み微細な石英粒を含む。此灼熱減量は最も少く又 300°C の發熱が認められない點より燃焼物質を含まない物である。收縮は極めて低い。之に反し廣野粘土はアルミナに最も富み 550°C, 1000°C の吸發熱も最も強く現はれてゐる。以上の如く之等 5 種の粘土は夫々異なる特徴を示すものであり平田木節及木戸白木節は單味使用がやゝ困難である様に思はれるが結合粘土の品質による耐熱性の差異を明瞭に知るため使用して見た。之等の粘土の外に赤津木節，品野木節等に就ても實驗を行つて見たが此等の結果は白樺木節と大差なく結合粘土による耐熱性の傾向を考へるのに却つて妨害になつたので棄却した。之等の結合粘土はロールミルにて粉砕後實驗用回轉粉砕機にかけ 400 mesh/cm²(0.3 mm) 篩を通過せしめた。

(2) 試験體の製作及び其諸性質

各試験體のシャモット及結合粘土の割合は 6:4 とし半乾式加壓により成形した。先づシャモットは噴霧器を以て豫め濕らし置き其上に生粘土を撒布し暫時手にて混和した後實驗用攪拌機にて充分混

和す。混和物は紙上に薄くひろげ再び噴霧器を以て加水し握りたる粘土塊面に指紋を認める程度となし後，手にてもみほぐし廣口瓶中に密閉し數日間貯へた。その水量は約 15% 内外であつた。貯藏した調合原料の一定量を秤取し鋼鐵型中に入れアムスラー式耐壓試験機を以て毎

第 2 表 供試煉瓦の化學成分

系統名	符號	シャモット	結合粘土	化 學 成 分							
				SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	其他 %	SiO ₂ / Al ₂ O ₃ 分子比	
F	FF	復州粘土	復州粘土	48.21	47.46	2.63	1.05	0.65	—	1.73	
	FS	"	白樺木節	50.87	45.25	2.41	0.69	0.53	0.25	1.91	
	FO	"	小名田木節	52.88	43.04	2.33	1.01	0.45	0.29	2.09	
系統	FT	"	平田木節	45.87	49.00	2.24	0.89	1.05	0.94	1.59	
	FK	"	木戸白木節	56.76	40.26	1.73	0.73	0.47	0.05	2.39	
	FN	"	廣野木節	50.39	46.22	1.91	0.86	0.45	0.18	1.85	
	AS	長城粘土 A	白樺木節	28.83	67.38	1.83	1.52	0.31	1.51	0.73	
	AO	"	小名田木節	30.84	65.17	1.75	0.76	0.22	1.54	0.80	
系統	AT	"	平田木節	23.84	71.13	1.66	0.36	0.82	2.19	0.57	
	AK	"	木戸白木節	34.72	62.39	1.15	0.19	0.24	1.30	0.95	
	AK	"	廣野木節	28.35	68.34	1.32	0.32	0.22	1.43	0.70	
E系統	EE	長城粘土 E	長城粘土 E	50.84	47.16	1.24	0.30	0.33	0.13	1.83	
	ES	"	白樺木節	52.45	45.07	1.8	0.24	0.34	0.33	1.16	
	EO	"	小名田木節	54.46	42.86	1.50	0.56	0.25	0.37	1.27	
	ET	"	平田木節	47.46	48.82	1.41	0.44	0.86	1.01	0.97	
	EK	"	木戸白木節	58.33	40.08	0.0	0.28	0.28	0.13	1.46	
	EN	"	廣野木節	51.97	46.04	1.07	0.41	0.26	0.26	1.13	

第 3 表 供試煉瓦の物理的諸性質

	符號	燒成 收縮 %	吸水 率 %	氣孔 率 %	見掛 比重	當比 重	耐壓 強度 kg/cm ²	曲げ破 壊強度 kg/cm ²	常溫彈 性率 kg/mm ²
F 系	FF	0.77	10.88	19.41	2.72	2.10	355	73	1438
	ES	2.33	8.07	15.64	2.57	1.98	523	89	1650
	FO	2.41	7.53	14.25	2.59	2.03	618	84	1774
	FT	0.53	13.27	25.21	2.23	1.84	196	33	1032
	FK	0.27	12.15	23.69	2.40	1.89	229	47	1160
統	FN	1.02	11.23	20.71	2.51	2.20	244	59	1389
	AS	1.85	9.39	17.50	2.60	2.13	410	63	1516
	AO	1.18	10.82	19.44	2.44	2.07	313	58	1390
	AT	0.57	12.83	24.01	2.03	1.84	190	32	987
	AK	0.34	11.44	22.28	2.24	1.92	245	57	1312
A 系	AN	0.98	10.34	19.45	2.37	1.96	220	42	1237
	EE	0.62	11.36	21.13	2.62	2.22	389	65	1366
	ES	1.81	8.53	15.66	2.41	2.03	403	72	1419
	EO	1.43	9.66	17.32	2.47	2.10	450	75	1527
	ET	0.62	13.05	25.75	2.12	1.88	186	42	1138
E 系	EK	0.32	12.50	23.55	2.22	1.92	317	46	1265
	EN	0.82	10.69	20.33	2.40	2.05	326	58	1326
統									

第 1 表 シャモット及結合粘土原料の化學成分並に加熱時の諸變化

原料名	灼熱 減量 %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	其他%	耐火度 (SK)	加熱による收縮		生粘土の熱分析結果 (ガル バの振れの讀み)		
									1200°C の收縮率 %	永久收縮 率 %	300°C 附 近の發熱	550°C 附 近の吸熱	1000°C 附 近の發熱
復州並粘土	15.57	41.03	40.39	2.24	0.89	0.56	—	34	2.64	3.09	+43	—	—
灼熱物	—	48.21	47.46	2.63	1.05	0.65	—	—	—	—	—	—	—
長城粘土 A	14.34	9.83	72.25	1.42	0.14	0.23	1.79	39	1.63	2.48	—	—457	+ 12
灼熱物	—	11.48	84.34	1.66	0.16	0.27	2.09	—	—	—	—	—	—
長城粘土 E	13.47	43.99	40.81	1.07	0.26	0.29	0.11	34	5.72	7.12	+49	—204	+354
灼熱物	—	50.84	47.16	1.24	0.30	0.33	0.13	—	—	—	—	—	—
白樺木節	14.34	47.29	36.15	1.79	0.12	0.31	0.55	33	20.83	21.72	+18	—261	+204
小名田木節	18.05	49.08	29.84	1.55	0.78	0.11	0.59	34	12.47	13.10	+40	+173	+ 58
平田木節	46.93	22.49	27.23	0.88	0.35	0.88	1.24	32	8.43	8.94	+749	—141	+204
木戸白木節	9.60	62.90	26.64	0.35	0.22	0.18	0.11	33	2.40	2.90	0	—205	+639
廣野木節	13.75	46.28	38.25	0.71	0.49	0.16	0.39	32	9.58	10.61	+50	—542	+583

秒 2.5 kg/cm² の加圧速度を以て 200 kg/cm² の成形壓にて直径 3cm, 高さ 3 cm の圓棒 (耐壓強度測定用) 及び直径 2 cm 高さ 2.5 cm の圓棒 (吸水率, 氣孔率測定用), 各々 5 個宛, 12×2×1 cm の短冊形 (弾性率, 曲げ破壊強度測定用) 10 個宛並に 6×0.7×0.7 cm 角棒 (膨脹測定用) 2 本宛成形した。成形體は室内にて氣乾せしめた後匣鉢中に納め石炭窯にて SK 15 番に焼成した。シャモット及粘土の組合せ及び焼成品の化學成分は第 2 表に示す如く亦其等の物理的諸性質は第 3 表の如くである。

第 2 表より明かなる如くシャモットと粘土の組合せは 5 種の本節生粘土を復州, 長城 A, 長城 E の各シャモットに對しいづれも 40% 宛配合し其他に復州及び長城 E シャモットに對しては其等の生粘土を同様 40% 配合した, 長城 A シャモットに對しても其生粘土微粉を調合して成形を試みたが成形が甚だ困難であると共に辛うじて成形した數個の試験體も焼成後の焼締り少なく弾性率, 曲げ破壊強度等の測定が不可能であつたため試験を中止した。焼成品の化學成分を見るに復州シャモット及び長城 E シャモットの二系統の成分は可なり類似してゐるが長城 A シャモット系統の各試験體は Al₂O₃ に富み SiO₂/Al₂O₃ 比が非常に低い。第 3 表の各物理的諸性質中吸水率及氣孔率は標準規格に據つて行ひ, 弾性率及び曲げ破壊強度は短冊形供試體の両面をカーボランダム微砂にて平滑になし著者 (山内) の考案になる装置により行つた。弾性率は 0.5 kg, 1.0 kg, 1.5 kg, 2.0 kg の荷重時の平均を以てした。曲げ破壊強度は 3 個, 耐壓強度は 5 個の供試體の平均値である。其等の結果を通覽するにシャモット種別に見ると復州シャモット系統が最も焼成收縮が大で吸水率, 氣孔率は最小であり焼締りが最も進んでゐる。従つて諸強度及び弾性率が比較的高い, 長城 A シャモット系統は最も焼締り弱く吸水率, 氣孔率が大であると共に強度及弾性率が低い結果となつてゐる。結合粘土の種別による差異は各系統を通じ白樺木節, 小名田木節使用の物が最も焼締り強く吸水率, 氣孔率が最小で強度及弾性率が最大となつてゐる。其に反し平田木節及木戸白粘土を結合劑とした物は焼締り弱く特に平田木節使用の物は最も吸水率, 氣孔率高く強度及弾性率が最低であつた。

(3) 各供試體の熱膨脹測定

シャモット煉瓦のみならず一般耐火物の耐熱性を支配する因子には色々あるが機械的強度, 熱傳導率, 弾性率及び線膨脹係數等は特に重視される性質である。従つて耐熱性を見る方法としては急熱急冷による機械的強度, 弾性率等の低下を見る方法, 割れ又は剥裂状態を見る方法等色々の提案がある。故に本實驗に於ては各供試體に就き熱膨脹を測定し次に急熱急冷による弾性率及曲げ破壊強度の低下をしらべて耐熱性を推定することにした。測定法は次の如く行つた。供試體は他の試験體と同一條件により製作した前記の 6×0.7×0.7 cm の角棒をカーボランダム微砂にて稜角及び長さを削り落し直径 0.7 cm 長さ 5 cm の圓棒となし本多式全膨脹計により測定した。加熱速度は毎分 5°C の割合とし 1000°C 迄の讀みを取つた。其結果は次の第 4 表及第 1~3 圖に示す如くである。第 4 表中にある 300°C, 500°C, 700°C, 900°C の各膨脹率値は次に述べる急熱急冷試験に於ける處理温度であり其等の温度にて急熱急冷する事による弾性率及曲げ破壊強度の變化並に煉瓦自體の耐熱性の強弱を考察するに便ならしめる様其等の温度の膨脹率を附記した。

即ち第 4 表並に第 1~3 圖より明かなる如く, 熱膨脹率は各シャモットに對する結合粘土の種類により可なり差異を認める。1000°C 迄の平均膨脹係數は煉瓦の珪酸含有量特に結合粘土の化學成分により影響を受け珪酸を多く含む木戸白木節を結合劑にした煉瓦はいづ

第 4 表 供試煉瓦の線膨脹測定結果

符號	各温度に於ける膨脹率				20°~1000°C 間平均膨脹 係數
	300°C%	500°C%	700°C%	900°C%	
F 系統	FF 0.14	0.22	0.34	0.43	4.9×10 ⁻⁶
	FS 0.19	0.30	0.44	0.57	6.3
	FO 0.16	0.27	0.43	0.52	5.9
	FT 0.31	0.46	0.65	0.84	9.6
	FK 0.26	0.39	0.60	0.76	8.7
	FN 0.19	0.31	0.45	0.56	6.9
A 系統	AS 0.19	0.28	0.39	0.47	5.2×10 ⁻⁶
	AO 0.20	0.31	0.46	0.58	6.4
	AT 0.25	0.42	0.54	0.72	8.0
	AK 0.22	0.35	0.52	0.67	7.7
	AN 0.16	0.26	0.39	0.49	5.7
	EE 0.15	0.23	0.35	0.42	4.7×10 ⁻⁶
E 系統	ES 0.18	0.27	0.41	0.53	6.0
	EO 0.22	0.34	0.51	0.67	7.4
	ET 0.36	0.42	0.62	0.82	8.9
	EK 0.26	0.41	0.57	0.74	8.5
	EN 0.21	0.32	0.48	0.61	6.9

第 1 圖 F 系統の膨脹曲線

第 2 圖 A 系統の膨脹曲線

れも高い膨脹を示した。

(4) 急熱急冷試験

次に各試験體の耐熱性を檢する目的の下に急熱急冷試験を行ひ熱衝擊による弾性率並に曲げ破壊強度の變化を求めた。耐熱性の比較試験に當つては一般に時間及費用の節約の點より實際より苛酷な條件の下に行はれるのが普通であるが熱衝擊法として急冷より急熱の方が適切である事が述べられ種々の方法が報告されて居り又急冷の方法に對しても急冷時の蒸氣發生を考慮して冷水急冷法よりも空氣噴射による空氣冷却法が採用されてゐる。しかし冷水急冷法は空氣冷却法よりもより苛酷であつて實際著者等も試験體の數種に就て空氣冷却法を試みたが本實驗の供試體の如く比較的類似した物にあつては數回の急冷によつても殆ど各試験體間の耐熱性の差異

が明瞭に認められなかつた。又本研究の目的であるパルプ蒸解罐用耐酸煉瓦が常に冷水急冷を受ける點より考へ空氣冷却法又は急熱法を採用しなかつた。急熱急冷温度は 300°C, 500°C, 700°C, 900°C の 4 通りとし操作は次の様に行つた。各供試煉瓦の短冊形體をニクロム線にて作つた枠中に立て所要温度に上げた電氣爐中に素早や

第3圖 E 膨系統の脹の曲線

壊強度の測定を行つた。其結果は第5表及び第6表に示す如くであ

く吊し入れ急熱する。少しく下がりとる爐の温度が所要温度に復した後尙 10 分間爐中に保持し次に速かに取出し約 10°C の冷水が流動しつつある器の中に浸し急冷せしめた。流水中に 10 分間保つた後取出し 105°~110°C の電気乾燥器中で 1 時間乾かし冷後再び上記の急熱急冷を反復したかくして都合 3 回急熱急冷を行つた試験體に就て弾性率並に曲げ破壊

第4圖 急熱急冷による弾性率の變化 (F 系統)

第5表 急熱急冷による供試煉瓦の弾性率低下

煉瓦 符 號		彈 性 率 (kg/mm ²) 急 熱 急 冷 溫 度					低 下 率 (%) 急 熱 急 冷 溫 度			
		常 溫	500°C	500°C	700°C	900°C	300°C	500°C	700°C	900°C
F 系 統	FF	1438	1251	1122	978	892	13	22	32	38
	FS	1650	1469	1419	908	875	11	14	45	47
	FO	1774	1632	1508	958	834	8	15	46	53
	FT	1032	949	908	691	392	8	12	33	62
	FK	1160	789	719	580	487	32	38	50	58
	FN	1389	1211	1052	875	764	13	24	37	45
A 系 統	AS	1516	1198	1137	1031	955	21	25	32	37
	AO	1390	1293	1223	1168	1070	7	12	16	23
	AT	987	948	849	622	533	4	14	37	46
	AK	1312	1141	1076	931	892	13	18	29	32
	AN	1237	1002	903	854	767	19	27	31	38
E 系 統	EE	1366	1202	1079	929	915	12	21	32	33
	ES	1419	1107	1064	880	809	22	25	38	43
	EO	1527	1115	1099	886	840	27	28	42	45
	ET	1138	1036	967	660	467	9	15	42	59
	EK	1265	949	923	620	544	25	27	51	57
	EN	1326	1021	902	835	636	23	32	37	52

第6表 急熱急冷による曲げ破壊強度の低下率

符 號		曲げ破壊強度 (kg/cm ²) 急熱急冷溫度					低下率 (%) 急熱急冷溫度			
		常 溫	300℃	500℃	700℃	900℃	300℃	500℃	700℃	900℃
F 系 統	FF	73	75	68	60	56	0	7	18	23
	FS	89	78	82	70	62	12	8	21	30
	FO	84	81	70	64	55	4	17	24	35
	FT	33	36	29	20	16	0	12	39	52
	FK	47	35	36	28	25	26	23	40	47
	FN	59	62	51	48	42	0	14	19	29
A 系 統	AS	63	59	55	43	38	6	13	32	40
	AO	58	57	60	53	50	2	0	9	14
	AT	32	33	30	25	19	0	6	22	41
	AK	57	55	54	59	43	4	5	0	25
	AN	42	39	37	33	27	7	12	21	36
E 系 統	EE	65	63	67	55	52	3	0	15	20
	ES	72	76	63	65	53	0	13	10	26
	EO	75	68	62	63	55	9	17	16	27
	ET	42	39	41	33	23	7	2	21	45
	EK	46	36	35	30	29	22	24	35	37
	EN	58	50	46	42	39	14	21	28	33

る。弾性率及曲げ破壊強度の低下率は熱処理を行はな原の試験體の値に對する差の百分率である。又熱衝撃による耐壓強度の低下率も求めて見たが誤差が多く整備した結果が得られなかつたので省略した。

又各試料の耐熱性の傾向を比較對照するため第5表の急熱急冷による弾性率の變化狀態を圖示すれば第4~6圖の如くである。

以上行つた實驗結果に對する考察は後に述べる事とし最後に Heindl 氏等による耐熱抵抗度の式にて各供試體の耐熱抵抗度を算出し其結果と實際行つた以上の急熱急冷試験結果と比較對照し更に検討を加へて見た。シャモット煉瓦及匣鉢のスポーリングに對する抵抗に就て R. A. Heindl & L. E. Mong (*Jour. Amer. Ceram. Soc.*, 1929, 12, 457) は曲げ破壊強度 (M), 弾性率 (E), 線膨脹係數 (α), 氣孔率 (P) より次の式を與へ

$$R = M / (E\alpha P)$$

又 R. A. Heindl & W. L. Pendergust (*Jour. Amer. Ceram. Soc.*, 1929, 12, 640) は生調合原料中に於けるシャモットの量 (G) を考へに入れ

$$R = MG / (E\alpha)$$

〔但し α は 20°~250°C 間の線膨脹係數〕なる式を與へた。此等の諸式が實際行つた煉瓦の急熱急冷試験結果と合ふものかどうかは頗る疑問であるが此等二式を用ひ各供試體の抵抗度 R を算出し弾性率及曲げ破壊強度の低下率より推定した各供試體の耐熱性の強弱と對照して見た。各系統別に算出した結果及弾性率の低下より推定した耐熱性の順位を強いものより數字を以て示せば第7表の如くである。

即ち以上の結果より見るに此の二式より求めた各供試體間の耐熱性の強弱の順位はただ

第5圖 急熱急冷による弾性率の變化 (A 系統)

第6圖 急熱急冷による弾性率の變化 (E 系統)

第7表 供試煉瓦の耐熱度 (R) の計算値

		M kg/ cm ²	E kg/ mm ²	α $\times 10^{-6}$	P %	G %	$\frac{M}{E\alpha P}$ $\times 10^{-5}$	$\frac{MG}{E\alpha}$ $\times 10^{-3}$	弾性率の 變化より 推定した 耐熱性の 順位
F 系 統	FF	73	1438	4.9	19.41	60	534	622	1
	FS	89	1650	6.3	15.64	"	547	514	3
	FO	84	1774	5.9	14.25	"	563	482	4
	FT	33	1032	9.6	25.21	"	132	200	6
	FK	47	1160	8.7	23.69	"	197	279	5
A 系 統	FN	59	1389	6.9	20.71	"	297	369	2
	AS	63	1516	5.2	17.50	60	457	480	3
	AO	58	1390	6.4	19.44	"	335	391	1
	AT	32	987	8.0	24.01	"	169	243	5
	AK	57	1312	7.7	22.28	"	253	339	2
E 系 統	AN	42	1237	5.7	19.45	"	306	357	4
	EE	65	1366	4.7	21.13	60	479	607	1
	ES	72	1419	6.0	15.66	"	540	507	2
	EO	75	1527	7.4	17.32	"	383	398	3
	ET	42	1138	8.9	25.75	"	161	249	6
統	EK	46	1265	8.5	23.55	"	182	257	5
	EN	58	1326	6.9	20.33	"	312	380	4

(上表中 M : 曲げ破壊強度, α : $20^{\circ}\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 間の平均線膨脹係
数 E : 弾性率 G : シャモット量(%), P : 氣孔率)

長城 A シャモット系統に於てのみ一致するが他の二系統に於ては殆ど一致しない様である。此の二式のいづれが實際に當嵌るかは尙考慮を要するが、一方著者等が熱衝撃による弾性率及曲げ破壊強度の低下率より推定した結果を此二式よりの結果と比較すれば氣孔率

(P) を考へに入れた前式即ち $R=M/(E\alpha P)$ の結果とは全然一致しないが第二の式即ち $R=MG/(E\alpha)$ の結果とは比較的一致するもので復州シャモット及び長城 A シャモットの二系統に於ては僅にその耐熱性の順位が異なるが長城 E シャモット系統とは完全に一致する。第二の式に於て G 即ちシャモット量は全供試體を通じ一定で 60% であるからその R は M, E, α の數値により變化する。しかし M 及び α は各供試體を通じ餘り大差なく最も著しい差異が認められるものは E であつて之より煉瓦の耐熱性を左右する最大因子は煉瓦自體の弾性である事が了解されるが實際測定して見るに弾性率の過大のもの又は過小のものは曲げ破壊強度 (M) も共に伴つて一層著しく増減する傾向があり、結局第二の式によると弾性率又は曲げ破壊強度の中位の煉瓦の耐熱抵抗 (R) が比較的大なる結果を示し前記の Morgn 等の説と一致する結果となつた。

(5) 實驗結果に対する考察

今日までの色々の研究結果から弾性率の低下曲げ破壊強度は耐熱性の大小を定量的に示す一つの方法として重視されてゐる。著者等も今茲に之等の見界を採用して實驗結果を考察してみたいと思ふ。實驗の結果熱衝撃による各試験體の弾性率の變化は比較的整つた結果が得られ之より 3 種のシャモットを使用した全供試體の耐熱性の傾向が容易に推察される、しかし曲げ破壊強度の測定では 300°C , 500°C の低温度にて急熱急冷した試験體の強度は僅かではあるが原試験體より却つて高くなる様な結果になつたものがあるが 700°C , 900°C の高温度の處理の物の強度は明かに熱衝撃により低下を來し其の低下率より見た各試験體の耐熱性の傾向は弾性率の場合と略々一致した。

シャモットの種類別に見た耐熱性の強弱順位は長城 A シャモット系統 (A 系統) 最も強く其弾性率の低下は 900°C の熱衝撃で僅に 23~46% である。次で長城 E シャモット系統 (E 系統) で、復州シャモット系統 (F 系統) は最も耐熱性が弱い様であり低下率は 38~62% を示した。

結合粘土の種類別による耐熱性の順位は各シャモット系統により一様でない。即ち (i) 復州シャモット系統 (F 系統) では結合粘土として復州並粘土、廣野木節、白樺木節、小名田木節、木戸白粘土、平田粘土の順にて耐熱性が弱くなるのに對し (ii) 長城 A シャモット系統 (A 系統) にては小名田、木戸白、白樺、廣野、平田の順で又 (iii) 長城 E シャモット系統 (E 系統) では長城 E 粘土、白樺、小名田、廣野、木戸白、平田の順に耐熱性が劣る。

之によつて見るに或るシャモットに對しては夫れと同種の生粘土を結合劑に使用した煉瓦が最も優秀な耐熱性を示すが異種の結合粘土を使用する場合には結合粘土の種類により著しく耐熱性が異なる。F 系統と E 系統の如くシャモットの品質がやゝ類似せるものにあつては結合粘土の種類による耐熱性の順位も大差がないが其等の系統と A 系統とは全然耐熱性の順序が異なり良好な耐熱性を示す結合粘土が全く異なる。たゞ各系統を通じ平田粘土のみは常に最も悪い耐熱性を示しかゝる粘土が結合粘土として不適當なる事が判る。今之等の耐熱性の差異を各系統別に更に整理して考察する事とする。

(1) 復州シャモット系統 (F 系統)

結果より考へるに此シャモットに對し良好な耐熱性を示す結合粘土は復州粘土及廣野木節であるが之等を結合材にした煉瓦は燒締りが適度で弾性率及び強度の値が中位である。而して急熱急冷による弾性率の變化曲線は處理温度の上昇に伴ひ滑めらかに次第に降下してゐる。白樺木節及び小名田木節を使用した煉瓦は共に燒締りが過

度であり諸強度及弾性率が非常に高い。熱衝撃によりいづれも弾性率は 500°C 迄は餘り低下しないが 700°C 處理にて著しく低下する。次に木戸白木節使用の物は焼締りは適度であるが耐熱性が比較的悪い。之は恐らく粘土中に微細な石英粒を含むためであらう。弾性率曲線に於ても 300°C 處理で已に急激な低下を示してゐる。最後に平田木節の物は最も耐熱性がよくないが此煉瓦は氣孔率が著しく大であり諸強度及弾性率が低い。弾性率の變化曲線に於ては低温度即ち 300°C 及 500°C の熱衝撃にては其低下率は極めて僅であるが 700°C 特に 900°C に於て著しく低下してゐる。故に平田木節の如く有機物を多量に含む粘土は煉瓦を多孔質ならしめ劇しい熱變化に對してはあまり安定でない事を示すものである。

(2) 長城 A シヤモット系統 (A 系統)

長城 A 粘土の如くアルミナに富むシヤモットに對しては比較的珪酸に富む結合粘土が却つて良好な耐熱性を示す様な結果となつた。即ち小名田木節特に木戸白粘土は珪酸に富むが其等を結合材とした煉瓦は焼固が適度であり比較的高い熱膨脹を示すに拘らず熱衝撃による弾性率の低下は緩慢で如何なる處理温度でも急激な低下は認められなかつた。其に反し比較的アルミナに富む白樺木節及び特に廣野木節は此シヤモットに對し餘り良好な結果を示さない。次の平田木節に就ても同様な事を云ひ得るがこの廣野木節及平田木節を使用した煉瓦はいづれも強度及弾性率が非常に低く焼け締りが悪いがかかる煉瓦は前述の如く低温度の熱變化には比較的抵抗するが劇しい熱衝撃には却つて安定でない様に見受けられた。

(3) 長城 B シヤモット系統 (B 系統)

此シヤモット系統に對しては復州シヤモット系統に述べたと同様な事が言ひ得る。即ち此シヤモットに對しては長城 B 及白樺木節が最もよい耐熱性を示すが之等の煉瓦は焼締り適度で諸強度及弾性率が中位である。小名田木節使用の物は焼締りが過度で微細な毛狀龜裂が認められた。此系統に於ても平田木節が最も悪い耐熱性を示した。

(6) 總 括

(1) シヤモット煉瓦の基礎的研究特に著者等が現に行ひつゝある耐酸シヤモット煉瓦の研究に資する目的の下にシヤモット煉瓦の耐熱性を原料方面より検討して見た。

(2) シヤモット煉瓦の耐熱性に對する結合粘土の影響を見るために 3 種のシヤモットに對し品質の全く異なる數種の木節粘土を配合し同一條件の下に供試體を作り其耐熱性を熱衝撃による弾性率及び曲げ破壊強度の低下率より判斷した。尙結合粘土の選定には著者等が曩に行つた生粘土の加熱變化に關する諸研究の結果を參考とした。

(3) 實驗の結果一定のシヤモットに對し結合粘土を種々變へる事により製品煉瓦の物理的諸性質特に弾性率及び曲げ破壊強度が著しく異なると共に各供試體の耐熱度に大なる差異を生ずる。従つて結合粘土を選択配合する事により或程度耐熱性を向上せしめ得る。

(4) 化學的に考察すれば比較的珪酸質のシヤモットに對してはアルミナに富む結合粘土の方が多く反對にアルミナ質のシヤモットに對しては比較的珪酸に富む粘土を配した物が強い耐熱性を示す様な結果となつた。

(5) 物理的に考察すれば煉瓦の最初の弾性率又は曲げ破壊強度が餘り高いもの及び餘り低い物は耐熱性が弱く結局中位の物が優秀な結果となつた。衝撃温度と弾性率の關係より見れば焼締りの進んだ煉瓦は低温度處理より可なり著しい弾性率低下を示すが反對に非常に多孔質な煉瓦は低温度にては比較的強いが劇しい熱變化に對しては非常に不安定な傾向が見える。故に煉瓦の氣孔率より其耐熱性を判定する場合には往々誤りがあり之は Heindl 氏等の耐熱度の式による結果との比較検討に於ても認められた。最後に煉瓦の熱膨脹係數と耐熱性との間には明瞭な關係は見出し得なかつた。之は各供試體間の熱膨脹係數に大なる差異がなかつた爲めであらう。

本研究に對し御援助を賜りたる王子製紙株式會社に對し深甚なる謝意を表すと共に實驗の一部を擔當された藤田達雄君始め室員各位の勞を謝する次第である。(東京工業大學窯業學科)

會 告

耐 火 原 料 定 價 1 圓 送 料

本書は現滿鐵中央試験所技師關皓之氏が昭和 9~10 年頃大日本窯業協會雑誌に寄稿されたものを取纏め一括し、別刷刊行したものであるが著者は其後數年間の進歩を補充し、訂正の必要を認められて居るが目下公務多忙に付、訂正補充は後日に廻し茲に著者の許可を得て再び別刷刊行に附したものである。

目 次

I. 緒 言

II. 酸性耐火原料

- A. 酸性礬土珪酸鹽類
- B. 無水礬土珪酸鹽類
- C. 含水礬土類
- D. 無水礬土類
- E. 珪 酸 類

III. 鹽基性耐火原料

- A. 炭 酸 石 灰 類
- B. 炭 酸 苦 土 類
- C. 苦 土 珪 酸 鹽 類

IV. 中性耐火原料

V. 特殊耐火原料

以 上

社 團 大 日 本 窯 業 協 會

東京市京橋區銀座西 4 丁目 5 番地 6 銀座商館ビル

振替口座東京 21,133

電話京橋 (56) 5519