

陶器瓦用トンネル窯の実態について

永柳辰一

榊原 満

Investigation on Tunnel Kilns for Glazed Roofing-tiles

by

Tatsuichi NAGAYANAGI, and Mitsuru SAKAKIBARA

碧南市、高浜市を中心とした三河地区における陶器瓦用トンネル窯を対象として実態調査を実施し、その結果にもとづいて、JIS R0301—1971に準じた熱勘定を行なった。これによれば、陶器瓦用トンネル窯の熱効率率は32～60%と極めて高い数値を示し、棚板を含んだ焼成速度 (t/h) が大きければ大きいほど、棚板を含んだ熱効率 (%) も大きくなる傾向が認められた。

また、出熱を項目別にみると、排ガスの顕熱その他不明損熱が最も大きく、次いで放射伝導熱、粘土の分解熱が大きな割合を占めている。

1. ま え が き

近年、エネルギーコストの上昇にともなって、省エネルギー対策が各方面で真剣に検討されている。三河地区の陶器瓦工業はトンネル窯による陶器瓦の製造を行っており、エネルギー多消費型産業の1つとして熱の有効利用を図り省エネルギーの実をあげることが重要な課題となっている。しかしながら、トンネル窯の熱的データに関する報告は、耐火れんが用あるいはタイル用トンネル窯についてはいくつかなされているが^{1), 2)} 陶器瓦用トンネル窯については余り見当たらない。³⁾

そこで本報告では陶器瓦用トンネル窯の熱的データを的確に把握するため熱勘定も含めた実態調査を実施し、その結果にもとづいて熱効率の向上、熱の有効利用等を図る方策について検討を加えた。

2. 調 査 方 法

調査は、JIS R0301—1971「陶磁器および耐火れんが焼成用トンネルがまの熱勘定方式」の中の「かまに関する記録」および「測定事項」にもとづいて作成した調査表により、16基のトンネル窯について行なった。

この中には、瓦との比較の意味で植木鉢、煉瓦焼成用トンネル窯も1つずつ調査対象として入っている。

なお、熱勘定を行なうにあたっては、結晶水分の割合を焼成品の4%、焼成品の粘土分を瓦用配合土の分析結果から50%とした。また、熱勘定表の出熱の項目の中の焼成品、棚板および台車の持ち去る熱については、便宜上、持ち去る熱と持ち込む熱の差とし、入熱の項目の焼成品、棚板および台車の持ち込む熱は削除した。同じく出熱の項目の中の冷却用空気の持ち去る熱、不完全燃焼による損失熱は不明損熱の項目に含めた。

3. 調 査 結 果

3.1 トンネル窯の現状

表1に実態調査の結果を示す。これをもとに三河地区におけるトンネル窯の現状をみると、焼成温度は1060～1120℃でいぶし瓦に較べると少し高くなっている。

燃料はほとんどが重油であるが、公害対策のため、LSAもしくはLSB重油を用いている。台車の積載方式は表2に示すように、3行2段のものが59.4%、2行2段のものが31.7%を占めており、この両方で全体の91.1%と他を断然引きはなしている。しかし、最近ではトンネル窯の大型化にともなって4行2段の方式がぼつぼつ出始めており、今後はこの方式の窯が増えていくものと思われる。図1にトンネル窯の温度分布曲線の1例を示す。窯の長さは95mで、台車の積載方式は4行2段である。この窯の場合で言えば、焼成温度は1100℃で、この温度に達するのは焼成帯の終り近くの位置である。炉内温度は、この地点から冷却帯の入口にかけて急激に低下して700℃位になり、以後、冷却帯の出口まではゆっくりとした下降を示す。窯から出したばかりの製品、棚板および台車の温度はそれぞれ240、230および220℃で、これは窯出し温度としては高い方に属する。炉内圧は、予熱帯においては0.5～2mmAqの負圧であるが、焼成帯に入ると若干の負圧と

表2 台車の積載方式

積載方式	窯数	割合 (%)
2行1段	1	0.5
2行2段	64	31.7
2行3段	3	1.5
3行2段	120	59.4
3行3段	6	3.0
4行1段	3	1.5
4行2段	5	2.4
計	202	100

表1 トンネル窯の実態調査結果

工場名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
トンネル窯の長さ(m)	95	80	73	93	82	68	60	94	43	96	86	93	61	71	46	37
台車の積載方式(……行……段)	4-2	3-2	3-2	4-2	3-2	3-2	3-2	3-2	2-2	3-3	4-2	3-2	3-2	4-1	赤煉瓦	植木鉢
焼成量(トン/日)	52.3	33.1	25.3	38.6	35.8	19.3	27.7	27.1	10.4	26.6	30.2	28.8	17.8	20.6	37.8	9.0
燃料使用量(トン/日)	3.40	2.37	1.83	3.56	3.00	1.80	2.60	2.70	1.00	2.50	2.80	3.06	2.00	2.63	2.02	0.97
製品トン当りの燃料費(円)	2,580	2,720	2,880	3,350	3,320	3,520	3,640	3,780	3,640	3,720	5,380	4,020	4,440	4,860	1,930	4,210
焼成の最高温度(℃)	1,100	1,100	1,090	1,080	1,080	1,060	1,090	1,100	1,060	1,080	1,085	1,120	1,085	1,090	1,130	1,100
焼成時間(時間)	23	19	26	31	23	29	20	25	18	36	28	24	26	17	24	26
空気過剰係数	2.5	2.4	1.8	2.6	1.6	1.7	2.4	2.7	4.0	1.9	1.6	2.1	1.9	1.8	1.5	2.2
燃料の種類(重油)	LSB	LSA	LSA	LSA	LSA	LSA	LSA	LSA	LSB	LSB	LPG	LSB	LSA	LSA	LSB	LSA
入	99.7	99.8	100	99.7	99.8	100	100	100	99.7	100	100	99.7	100	99.8	100	100
燃料の燃焼熱	0.3	0.2	0	0.3	0.2	0	0	0	0.3	0	0	0.3	0	0.2	0	0
熱	6.8	4.0	2.8	1.9	1.5	1.3	3.9	2.1	3.8	2.1	2.5	4.2	1.0	1.3	3.3	0.6
熱	3.1	3.6	2.7	1.0	1.2	0.9	2.0	1.8	1.6	2.0	2.5	2.3	0.7	1.6	—	0.2
熱	9.5	3.6	2.3	1.7	3.1	3.1	4.1	3.4	2.5	2.0	4.5	5.6	2.8	8.0	1.4	1.0
熱	19.4	17.6	17.5	15.0	15.2	13.7	13.6	12.8	13.2	13.4	12.7	11.9	11.4	10.8	24.5	11.8
熱	7.3	6.9	5.6	5.5	4.7	5.2	4.5	0.6	5.5	4.4	4.7	2.1	3.3	3.4	13.1	4.8
熱	16.3	24.6	10.9	13.5	8.6	10.6	13.5	10.4	42.7	18.5	9.1	20.4	17.1	26.8	8.2	7.7
熱	37.6	39.7	58.2	61.4	65.7	65.2	58.4	68.9	30.7	57.6	64.0	53.5	63.7	48.1	49.5	73.9
熱	2.8	2.6	1.7	2.1	1.4	2.0	1.3	2.5	2.5	1.3	1.9	2.1	0.5	1.0	7.2	2.3
熱	5.0	4.5	4.5	3.8	3.9	3.5	3.5	3.3	3.3	3.4	3.3	3.1	2.9	2.7	6.3	3.1
熱	19.4	17.6	17.5	15.0	15.2	13.7	13.6	12.8	13.2	13.4	12.7	11.9	11.4	10.8	24.5	11.8
熱	32.1	29.3	28.9	24.1	14.5	21.7	22.4	21.4	20.7	21.6	21.0	20.3	18.4	17.5	41.9	19.6
熱	15.4	25.0	30.6	16.2	17.4	16.7	18.6	20.6	10.8	18.8	21.8	12.2	10.7	19.0	—	5.5
熱	59.5	54.1	52.6	45.2	45.0	40.9	40.8	40.1	39.8	39.7	38.9	37.5	33.2	32.1	80.0	36.8
熱	75.0	79.2	83.2	61.4	62.5	57.6	59.4	60.7	50.6	58.6	60.6	49.8	43.9	51.1	0	42.3

Q_I : 焼成品1トン当りの有効熱 (Kcal) W_b : 焼成品1トン当りの燃料の使用量 (kg)
 Q_{II} : 燃料の低発熱量 (Kcal/kg) Q_{II} : 棚板を含んだ場合の焼成品1トン当りの有効熱 (Kcal)

註) ※はガス窯

陶器瓦用トンネル窯の実態について

なり、焼成帯を2/3いったところでわずかに正圧となる。そして焼成帯から冷却帯に入ったところで0mmAqとなり、冷却帯に入ってしまったら0.5mmAq位の正圧に変わる。焼成帯において炉内圧が正圧になる位置と、炉内温度が最高になる位置とはおよそ一致している。次に炉内ガスの分析結果をみると、炭酸ガス濃度は焼成帯の出口から入口の方にかけて上昇し、焼成帯の入口近辺で最高濃度に達する。焼成帯の入口から予熱帯に入るにつれて次第に濃度は下がるが、途中からは一定となる。

3. 2 熱勘定

熱効率、焼成品のみの場合が32～60%、棚板を含めた場合が44～83%で極めて高い数値を示している。

出熱を項目別にみると排ガスの顕熱その他不明損熱が最も大きく30～69%を占める。次いで放射伝導熱と粘土の分解熱の2つが大きく、それぞれ9～43%および11～20%を占める。ただし、放射伝導熱は有効炉内寸法をもとに算出したものである。その他の項目のものはいずれも10%以下で比較的小さい。例えば焼成品、棚板および台車の持ち去る熱の合計は4.6～19.4%で平均では9%程度である。図2に棚板を含んだ焼成速度(x)と棚板を含んだ熱効率(y)の関係を示す。

これによれば、瓦の焼成速度は棚板も含めて1～3 t/hで、焼成速度を大きくすればするほど熱効率も大きくなる傾向が現われており、回帰直線yは、

$$y = 11.2x + 37.8$$

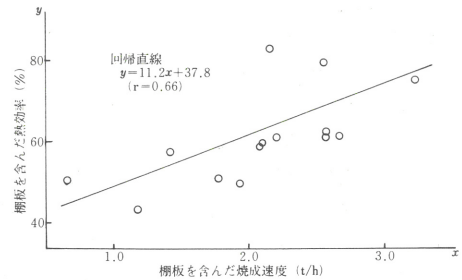


図2 棚板を含んだ焼成速度と棚板を含んだ熱効率の関係

で表わされ、相関係数rは

$$r = 0.66$$

となる。従って、熱効率の向上を図るには焼成速度を大きくするとともに、棚板を含んだ熱効率に占める棚板の有効熱の割合を小さくすることが必要である。そのためには、製品に対する棚板の割合(現状では製品1に対し重量比で棚板0.4～1.1)を小さくすることが有力である。

3. 3 空気過剰係数

空気過剰係数は、1.6～4.0と窯によりかなりの開きがある。トンネル窯は構造上空気の侵入を防ぐことが難しくなっており、また釉薬に対する焼成雰囲気の問題もあって、一概に空気過剰係数を小さくすることが得策とは言えないが、必要以上の空気を加熱することは燃料の無駄使いにもつながることから、適切な空気過剰係数による焼成を考えなければならない。

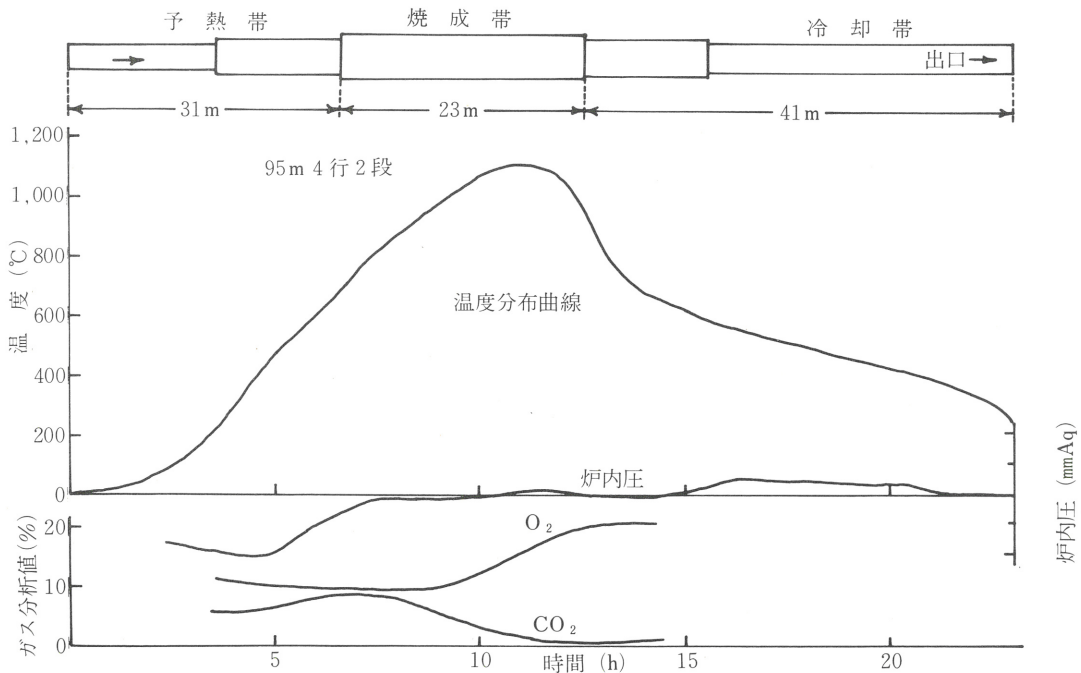


図1 トンネル窯の温度分布曲線

3. 4 熱の利用状況

トンネル窯から出る熱で利用可能なものとしては、窯表面からの放射伝導熱と冷却帯の熱の2つが考えられる。放射伝導熱については、トンネル窯の上に乾燥室を設け瓦生地乾燥に利用している。冷却帯の熱も相当な部分が放射伝導熱に変わっているが、直接的な利用としては、冷却帯から取り出した熱を熱風の形で乾燥室に吹き込んだり、あるいは予熱帯へ打ち込んだりするものがある。最近高性能のトンネル窯があいついで設置されているが、たいていの場合焼成能力が瓦生地の乾燥能力を上回っており、乾燥能力を強化することが重要な課題となっている。そのためには、乾燥から焼成までを一連の工程と考え、放射伝導熱と冷却帯の熱をバランスよく利用して、窯の焼成能力に合った乾燥ができるような設計とすることが必要である。

4. ま と め

実態調査により、陶器瓦用トンネル窯は32~60%という高い熱効率を持つことがわかった、しかし熱効率の向上あるいは熱の有効利用等により省エネルギーを図るうえでは改善すべき点も多く、そのためには次のような方策が考えられる。

- (1) 焼成速度を大きくすることにより熱効率の向上

が期待できるので焼成速度はなるべく大きくすることを考える。

- (2) 製品に対する棚板の割合は重量比で0.4~1.1と大きな値を示しており、有効熱中に占める棚板の加熱に要する熱の割合も大きい。従って棚板の軽量化や比熱の小さい棚板の開発を図る必要があり、場合によっては比熱の小さな耐熱金属の使用も面白い。

- (3) ガス分析による燃焼管理を行ない、適切な空気過剰係数による燃焼に努める。

- (4) 窯を新設する場合には、熱効率や焼成能力だけにとらわれず、能力の不足しがちな乾燥の面にも十分配慮して、乾燥から焼成までを一連の工程と考え、その中における熱エネルギーの最も効率的な利用を考える。

参考文献

- (1) 小林乙弥; 熱管理と公害 Vol.28, No.12, 1976 P 67~70
- (2) 成瀬庸一, 木村健作; 熱管理と公害 Vol.28, No.7, 1976, P 81~87
- (3) 小島謙二ほか; 三陶会報第7号 昭和41年5月 P 2~13