である。さうして若き人達のため、協會雑誌が同情もし、便宜を與ふるならば、彼等は益元氣よく業界のために働き得るであらう。

研究は創造なり、創造は生命なり、若き生命の生長は世の進歩なり。(7, 1, 8)

報

文

回轉窯の内壁温度と内張煉瓦に就て

吉井豊藤丸

About Heat Loss and Lining Brick of a Rotary Kiln.

Toyofujimaru Yoshii

Abstract.

Discussing about kiln shell temperature, I arrived at the subject of lining brick. It is not my object to obtain inner surface temperatures of the lining at all. But it necessitate to check for my previous heat loss calculation and to research of lining brick.

It is better to measure to know inner surface temperature of the lining immediately of course, but it must be very difficult, I am sure.

In calculating of inner surface temperature, I admitted assumptions more or less, so I can not guarantee absolute accuracy of the results. However as it nearly agree to the results obtained by "Farbpyrometer" immediately among of many authorities figures-4.46%, 4.88%, 5.78%, 6.89%, 7.00%, 7.7%, 8.57%, 11.06~13.85%, 14.24~15.84%, 15.07%, 15.38%, and 30% heat loss of total heat requirements of the rotary kiln-to my figure for some 4.4~5.0%, as far as relating to the kiln tested a great confidence I have.

緒言

曩に筆者はセメント回轉窯のセルの温度を測定してセルから逃げる熱量を算出したことあり（著者・本誌 No. 461. P. 230~233 及著者、Rock. Prod., Vol. XXXV No. 4, P. 50~53 参照）今其結果に基づいて内張煉瓦内壁の温度をもとめ一には前研究を反面から證明し一には更に進んで煉瓦自体を研究せんとするにある。

I. 煉瓦内面温度の計算

先セルの熱膨脹より測定せる P_1 の温度から煉瓦内壁の温度をもとめんに

$$\begin{array}{ccc} \text{外圍 } 5^{\circ}\text{C} & & \text{外圍 } 15^{\circ}\text{C} \\ & \downarrow & \downarrow \\ P_1 \text{ のセル温度} & = 343.2^{\circ}\text{C} + 3.7^{\circ}\text{C} & = 346.9^{\circ}\text{C} \end{array}$$

故に外圍 15°C に於ける熱損失は

$$Q_r \text{ (輻射によるもの)} \rightarrow 17955$$

$$\begin{array}{ccc} Q_c \text{ (對流)} & \text{〃} & \rightarrow 23713 \\ \text{合 計} & & = 41668 \text{ B.T.U./hr/ft.run.} \end{array}$$

次に熱傳導に關する式 (2) 及第 1 表より窯内壁温度を算出せんに

$$Q = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 \dots \Delta t_n}{\frac{L_1}{K_1 A_1} + \frac{L_2}{K_2 A_2} + \frac{L_3}{K_3 A_3} \dots \frac{L_n}{K_n A_n}} \dots \dots \dots (1)$$

或は

$$\Sigma \Delta t = Q \Sigma \frac{L}{KA} \dots \dots \dots (2)$$

第 1 表

	セ ル	空 気	斷熱煉瓦 I	シヤモット煉瓦
熱傳導度(K) B.T. U/hr/ft ² /F°	40	0.194	0.128	0.583
平均傳熱面積(A) ft ²	31.64	31.41	30.76	{ a 28.53 b 29.85
厚さ (L) ft	0.073	0.005	0.208	0.50

備考、a: 斷熱煉瓦を使用せる場合

b: 斷熱煉瓦を使用せざる場合

煉瓦及斷熱煉瓦とセルの間には煉瓦の不整形及モルタルの剝脫等の爲平均 0.005ft の空隙あるものと假定し空氣の熱傳導率は條件によつて一定ならざれどもここにはマシナリーズ・ハンドブック (Machinery's Hand book. The industrial press. New york.) に従ひ煉瓦の 1/3 の傳導度あるものと見なす。

第 1 表の値を (2) 式にあてはむれば

$$\Sigma \frac{L}{KA} = \frac{0.073}{40 \times 31.64} + \frac{0.005}{0.194 \times 31.41} + \frac{0.50}{0.583 \times 29.85} = 0.02965$$

$$\therefore \Sigma \Delta t = 41668 \times 0.02965 = 1235.5^\circ \text{F} = 686.4^\circ \text{C}$$

$$\therefore \text{煉瓦内壁温度は } 686.4 + 346.9 \text{ (セル温)} = 1033.3^\circ \text{C} \text{ となる}$$

同様にして P₂ …… P₁₇ 迄に就て計算すれば第 2 表の如し。

第 2 表

P	Q _r B.T. U/hr/ft.run.	Q _c "	Q(合計) "	$\Sigma \frac{L}{KA}$	Δt F° C°	セル温度 (C°) (外圍内 15°C)	内壁温度 (C°)
P ₁	17955	23713	41668	0.02965	1235.5 686.4	346.9	1033.3
P ₂	28034	30132	58166	"	1724.6 958.1	417.-	1375.1
P ₃	12608	19363	31971	"	947.9 526.6	297.2	823.8
P ₄	11215	18154	29369	0.02971	872.6 484.8	280.1	764.9
P ₅	13348	20023	33371	0.02965	989.5 549.7	304.9	854.6
P ₆	9786	16617	26403	"	782.8 434.9	264.7	699.6
P ₇	4990	10663	15653	0.08385	1312.5 729.2	190.1	919.3
P ₈	5331	11169	16500	"	1383.5 768.6	196.7	965.3
P ₉	4418	9779	14197	"	1190.4 661.3	178.4	839.7
P ₁₀	4172	9340	13512	"	1133.0 629.4	172.5	801.9
P ₁₁	3877	8889	12766	"	1070.4 594.7	166.4	761.1
P ₁₂	3622	8451	12073	"	1012.3 562.4	160.4	722.8
P ₁₃	3305	7910	11215	0.08391	941.1 522.8	151.4	674.2
P ₁₄	3504	8242	11746	0.08385	984.9 547.2	157.5	704.7
P ₁₅	3245	7774	11019	"	923.9 513.3	151.0	664.3
P ₁₆	2979	7278	10257	"	860.0 477.8	144.0	621.8
P ₁₇	6164	12333	18497	0.02965	548.4 304.7	211.7	516.4

附記 ○ P₁~P₆ 及 P₁₇ はシヤモット煉瓦のみ使用

○ $P_7 \sim P_{16}$ はシャモット煉瓦と断熱煉瓦併用

○ P_3, P_4 及 P_{13} はタイヤーの前後に位しタイヤーを通して基礎へ熱逃げる爲幾分ひくゝあらはれたるものと考へらるし P_4, P_{13} は二重セルの上にて測定したるものなり。

此窯は新に煉瓦をまき替たる直後故煉瓦の厚さを一律に 6in として計算したれども實際に於ては P_1 より P_7 迄の間は 10in $\sim$ 1in 厚のコーチング (coating) あり、煉瓦も P_2 に於ては平均 2 1/2 in, P_3 に於ては 4in. 位にへり居たる故これらコーチングの厚さ及其熱傳導率が正確に知れざる以上窯内壁の温度を算出すること能はず。此點に關して著者は尙研究中なれどもコーチングの成分性質により甚しく相違ありよくやかれたる重きものは熱傳導度大にして未焼の輕きもの程熱傳導度小にしてシャモット煉瓦と同程度乃至 1/7 位の範圍内にあるものの如し。

今試に P_1, P_2 について窯の常態を基礎として計算すれば第 3 表の如し。

第 3 表

P	シャモット煉瓦の厚さ (in)	コーチングの厚さ (in)	窯内壁の温度 (C°) (計算上より)	窯内壁温度 (C°) (ファルブパイロメーターにて)
P_1	6	1	1150	ca. 1200
P_2	2 1/2	5 1/2	1425	ca. 1450

備考：コーチングの熱傳導率をシャモット煉瓦と同一と假定して計算す

第 1 圖

上の結果は稍低きかの感あれどもファルブパイロメーターにて測定せしものとほぼ一致す。

次に口元より約 16 尺の所最高温にしてパイロメーターにて測定すれば内壁の温度は約 1500°C なり。

$P_3 \sim P_7$ の間はコーチングの剝落常なく且コーチングのボロシチー (porosity) も區々にしてしかも此部分には複雑なる吸熱及發熱反應を伴ふべきが故に窯の内壁温度を計算すること困難なれば便宜上 P_1, P_2, P_m 及 P_8 を結べばカーブ C (第 1 圖) は熱損失より逆算推定したる窯内壁温度にしてパイロメーターによるよりは稍低き様なれども窯内壁温度の傾向を察知するを得べし。尙第 1 圖のデカボニゼーションカーブ D (decarbonization curve) より見るも P_6 の點に於て窯内原料が急に分解するところを見れば P_6 の内壁温度は石灰石の分解點 805°C 以上なることを推察しうるが故にこの點より見るもよく符合す。

因に窯内の焰及瓦斯主流の温度は内壁温度よりも焼成圈内に於て約 150°C 窯の奥部に於て約 300°C 高きも

のと考へらる。

II. 内張煉瓦の熱膨脹に就て

休轉後室内煉瓦を仔細に檢すれば燒成圈の煉瓦の表面及目地はとけて隣接煉瓦と互によく密着し居るを見る。

次に奥部の斷熱煉瓦を使用せる部分の内 $P_8 \sim P_{15}$ の間に於て煉瓦が甚しく所謂スポーリング (Spalling) をなし居るを見る。

今其原因に就て考察するに煉瓦の品質形狀及窯内原料の影響によること勿論なれども主なる原因は煉瓦の熱膨脹によるものと考へらる。今試に (2) 式に従ひ P_{11} 點に就てシャモット煉瓦及斷熱煉瓦の中間各層の温度をもとめ次に其温度より熱による膨脹を算出すれば其結果は第2圖第3圖及第4表の如し。

第2圖 窯のセル及煉瓦各層の温度

第3圖 P_{11} に於ける回轉窯切斷面

即第4圖の如くセルののびよりも煉瓦の延は大にして煉瓦は内側の方がよけいに膨脹する爲煉瓦内面に於て一種のストラクチュラル・スポーリングを起し煉瓦の壽命を甚しく縮める。故に煉瓦の設計及舗装にあつては深甚の考慮を拂ふ要あり。

第 4 表

層	温度(C°)	各層圓周の 長さ(ft)	線膨脹係數/C°	シヤモット煉瓦の輪 及セルの膨脹(ft)	備 考
a	760.0	× 26.95	× 0.0000058	= 0.1188	シヤモット煉瓦
b	722.9	× 27.48	× "	= 0.1152	
c	683.5	× 28.01	× "	= 0.1115	
d	650.8	× 28.53	× "	= 0.1077	
e	615.7	× 29.05	× "	= 0.1037	
f	581.3	× 29.58	× "	= 0.0997	
g	547.5	× 30.10	× "	= 0.0956	セル
k	166.6	× 31.64	× 0.0000117	= 0.0617	

次に煉瓦とセルの膨脹收縮による現象（斷熱煉瓦は考慮せず）を力學的に考察して見れば下の（第5圖）如し。

第4圖 セルと煉瓦の膨脹比較

第5圖
煉瓦及セルの内力

$$P \cdot D = 2ft = 2FT > 2ST \dots\dots\dots (3)$$

P : 單位面積の斷熱煉瓦の上に働く壓力

D : 斷熱煉瓦輪の内徑

f : セル内に起る内力

t : セルの厚さ

F : シヤモット煉瓦内に起る内力

T : シヤモット煉瓦の厚さ

S : 煉瓦の許容耐壓力 而して

$$f_{\max} = 42000 \text{ lb/in}^2$$

$$S_{\max} = 2673 \text{ lb/in}^2$$

なる故シヤモット煉瓦は其壓力に耐得ずして漸次一種のスポーリングを起し

$$ft = FT' \angle ST' \dots\dots\dots (4)$$

の状態に達して底止す。(T なる煉瓦がかけて平均厚さ T' となりたるものとす)

次に斷熱煉瓦が煉瓦とセルの間にはさまれて壓縮される力 P は上の關係より次式の如き關係を生ず。

$$P_{\max} = \frac{2ST}{D} = \frac{2 \times 2673 \times 6}{9.58 \times 12} = 279 \text{ lb/in}^2 = 19.6 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots (5)$$

然るに實際に從來設計される煉瓦は常溫に於てはよけれども一旦窯に點火したる場合には内面がよけいに膨脹して互に突張り合ひ煉瓦の形狀性質によつて差はあれども普通内側の約半分の厚さの所からはがれて後平衡状態に達するが故に常時は約 1/2 P_{max} の力にて斷熱煉瓦は壓縮され居るものと考へらるゝ故次の如き關係あり。

$$19.6 \text{ kg/cm}^2 \geq \max P_{\text{mean}} \div 19.6/2 \text{ kg/cm}^2.$$

然るに著者が實測したる結果によれば斷熱煉瓦は次の如き耐壓力あり。

斷熱煉瓦種類	I	II	III
耐壓力(kg/cm ²)	3.11	4.15	16.18

僅に斷熱煉瓦 III のみはやや安定なれども其他の斷熱煉瓦は悉碎けるわけなり。さりとて耐壓力の強きものは一般に密度大なるが故に斷熱效果は遞減するものにして要は耐壓力強く保温效果の大なる斷熱物の出現に待つのみ。

次に窯は又長手に對してものびちぢみしてしかもそれがセルと煉瓦と相伴はざるが故にここにも前同様煉瓦内側に於て一種のスポーリングを起すものなり。

即第 6 圖に於て $ft = FT > ST$ の關係を生じスポーリングを起して $FT' \angle ST'$ の状態に到達して釣合ふ。

而して以上の現象は窯の點火當初セルがまだ冷い時煉瓦内面が急激に熱せらるる場合に於て特に甚し。

第 6 圖 回轉窯の縦斷面

結 論

以上窯のセルの溫度を論じて耐火煉瓦の問題に及べり。窯内壁の溫度をもとむるは筆者本來の目的にはあらざりしもセルの熱損失量をチェックし煉瓦を論ぜんとして茲に及ぶ。もとより内壁溫度を知るには直接測定するに如かざるもこれ又甚難事なり。著者が算出せる内壁溫度は多少のアツサンプションを施したるものなるが故に絶對正確を保し難きも大體パイロメーターにて直接測定せる結果と一致するを以て從來諸家によつてセルの熱損失が全使用熱量の—4.46%, 4.88%, 5.78%, 6.89% (濕式), 7.00% (濕式), 7.7%, 8.57%, 11.06~13.85% (濕式), 14.24~15.84% (乾式), 15.07%, 15.38%, 30%, 一等諸説區々たる中に著者のもとめたる 5% 前後といふ。

値に對しては確信を有するものである。

最後に諸家の與へたるあるものを基礎として窯の内壁溫度を算出する時はセメント回轉窯に於ては到底考へ得ざる不當に高い溫度を得ることを附言して讀者各位の御注意を促すものである。(昭和 7, 9, 5. 受理)

- (1) Richards. }
 (2) Helbig. } Eckel "Cement Lime & Plasters" p. 443
 (10) Carpenter }
 (11) Newbery. }
- (3) Martin "Chemical Engineering & Thermo dynamics applied to the Cement Rotary Kiln"
- (4) W. Gillbert "cement & cement manu" Vol III No. 11. 1930.
- (5). (7) Jakob Koch "Zement" No. 14. 1930
- (6) Dr. Paul Jochum "Der Drehrohrofen als modernster Brennapparate"
- (8) (9) Dr.-Ing. Hans Bussmeyer "wärmewirtschaft in der Zement-industrie" 1931.
- (12) Prof. Landis Meade's "Portland Cement" p. 174.

 講

 演

陶 磁 器 輸 出 貿 易 に 就 い て

瀧 藤 治 三 郎

本稿は昨年十一月十三日名古屋市に於ける東海支部總會の講演あり。

私は只今御紹介を得ました瀧藤でございます。私は生涯を殆んど捧げて海外貿易にあたつて居りまして殊に過去三十年間は、自ら第一線に立つて海外に飛び歩いてをつたものであります。不幸にしてこの一二年病氣に罹りまして、第一線から退いて、只今は別に何といふことも致しませずまごまご致してをります。随つて今日此處に立ちましてお話致ししても、或は時代遅れになつて、皆様の方がずつと進んだ極く最近のことを御承知であることゝ存じます。然し古きをたずね、新らしきを知るといふこともありますからまた、私共がずつと昔にやつてきましたことを、一つの追想談としてお話すれば、或は御参考になる處もあるかと存じます。先般松村さんがお出で下さいまして、今度の窯業協會の總會に、何か一つ喋つてくれんか、何時も同じやうな人で同じやうなことを喋つては、幾ら立派なことを言つても、これでは面白味がないから、變つた顔で變つた話をして貰ひたい。といふ話でありましたが、私は斯ういふ處へきてお話した経験ありませんし、甚だ話も下手でありますから一應お斷りしたんでありますけれども、よく考へてみると、自分も相當に經驗をしてゐるのであります。世の中のことは總て循環的に廻つて、歩くものであつて種々工夫を凝らしても矢張り元へ戻つてくるのであります。皆様は講演會の度毎に、種々立派なお話を聞かれて所謂山海の珍味で満腹してをられても、家に歸つて麥飯のお茶漬をやつてもそこにまたあつさりした味を見出さるゝ如く、世の中の事は何でも循環してをりますから、立派な講演の後に、私の麥茶漬式のあつさりしたのもよいかと存じました、話は下手乍らもどんなことを喋るか知れませぬが宜しうございます、とお引受けした次第であります。