【論文】

UDC : 72.03 : 69.002(42)

日本建築学会計画系論文報告集
第 361 号・昭和 61 年 3 月

建築材料生産，加工の機械化—煉瓦（上）

英国近代建築産業成立期の生産技術 I—3

正会員 佐 藤 彰*

前々報 (No. 354) の石材加工，前報 (No. 355) の木材加工に引続き，本報では煉瓦生産技術の発展を，当時の文献等によってあとづける⁰⁾。

煉瓦の伝統的製法は¹⁾，土質とも関係して地域により差があるが，大要は次の如くである。秋に粘土を採掘して砕き，冬期の間，風化させる (wethering)。春に至って寝かせておいた粘土を掘り返し，水を加えて適當の可塑性をもつまで木製のすきを用いたり，足で踏んだりして（この際小石などの異物を取りのぞく）練る (tempering)。これを成形職人が作業台上で木もしくは金属の型枠を用いて煉瓦に形どる。こうしてできた煉瓦素地を乾燥場に運び，隙間をあけて積み，覆をかけて放置し自然乾燥をまつ。乾いた素地をクランプ (clamp) と称する野焼きに近い方式によって焼成し，煉瓦ができあがる。こうした煉瓦製造は，一定の技能を要する成形職人を中心とする 5 人前後の集団を単位になされるが，多くは家族労働を基盤としている。生産が季節に支配されるほか，土練りなどは特に年少者にとっては苛酷な労働であった²⁾。

このような伝統的製法を改良しようとする先駆的な試みは，以前にもなされはしたが³⁾，19 世紀に至って広く取り組まれるようになった。煉瓦ないし瓦の製造に関する特許許可件数は，1791～1819 年 22 件，1820 年代 15 件，1830 年代 39 件，1840 年代 66 件にのぼり，1856 年の時点で 230 の特許が存在した。改良の試みは，技能労働に頼る成形工程に集中している⁴⁾。

(1) 成形機械

1839 年版の Ure の事典は，1825 年の Messrs. Lyne and Stainford の成形機 (図—1)⁵⁾，1835 年のパーミンガムの Edward Jones の成形機 (図—2)⁶⁾ などを紹介している。事典は，後者を「たいへん有効」であると記しているが，そもそも実用に堪えるほどのものであったか否か不明である。一般に，手抜きの方法を機械に移し替えただけの装置は失敗に帰した⁷⁾。こうした中で，the Marquis of Tweeddale の創案になり，煉瓦製造業者の Hunt によって改良を加えられた成形機は，実用化が確

認できる (図—3)。ホッパーに搬入した粘土を，間隙において平行に配置した 2 つのシリンダーの間で圧延するというのがその基本的機構である⁸⁾。蒸気機関を動力とする Tweeddale の創案を Hunt は手動式に切りかえたが，非熟練工 2 人と少年工 3 人で 1 時間に 1 200 箇の成

図—1

図—2

図—3

* 名古屋大学 助手
(昭和 60 年 1 月 7 日原稿受理)

図—4

形能力をもつと述べている⁹⁾。しかし、この種の機構は以後、発展をみない。成形機の発達に大きく寄与したのは、次の2つの発明である。

一つは、1841年にWilliam Irvingが開発したワイヤー切断法である。瓦の場合（図—4）、型板を用いて大きな直方体の土塊を成形したのち、これを一挙に16枚に分割する。Irvingは、職人1人と少年工3人で、1日5000枚の素地が生産でき、熟練すれば9600枚に達しようとして述べている¹⁰⁾。Irving自身の機械の消長はさだかでないが、以後の湿式の煉瓦素地の連続成形機械において、緊張したワイヤーによる切断方式は全面的に採用されることになる¹¹⁾。

もう一つは、粘土を圧搾し、口型を通じて所要の断面に成形する法である。ハンティンドンシャーのアールジー（Arlsey）で窯業を営み、自らも技術開発を手がけたR. Bertは、「手工に替えて機械を煉瓦生産に適用するにおいて、長足の改良、進歩を画したのは1842年である。この年、ピストンその他の手段によって、口型から粘土を押し出す機械が現われた」と回想している。BertはJohn Ainslieの機械を指しているものと思われる¹²⁾。1842年、ロンドンで展示された機械は図—5のようなものである。右上のホッパーに練りあげた粘土を投入する。粘土は2つの平行なローラーの間で摺りつぶされ、その下のシリンダー内に至る。シリンダー内では水平軸のまわりを、二重螺旋のスクリューが回転し、粘土を左方に押しやる。粘土は口型によって所要の断面に整えられ、布製のベルト・コンヴェヤー上を流れる。この流れの速度にあわせて適当な傾きをもつ面内を移動する水平に張ったワイヤーが、素地を垂直に切断する。機

図—5

械の概要はかくの如くで、任意な断面の素地の連続生産を可能としているが、これは今世紀まで広く用いられる横置スクリュー湿式の成形機と、原理的に同じである¹³⁾。以後はこの機構への改良の積みかさねである。例えば、この機構では、粘土の流れが不均一で、口型の近傍ではその抵抗によって流れが遅く、中心部では早くなる。これは、隅部がきれいに成形できないという結果を招く。Thomas Cubittがテムズ・バンクの煉瓦工場で用いたAinslieの機械では、口型にオイルを注ぎ、流れを円滑にしている¹⁴⁾。また、水で口型の縁を湿す法もあった¹⁵⁾。Bertは、口型内に舌ないし核を設けて抵抗を均等化し、穿孔煉瓦を作る法を生み出した¹⁶⁾。さらにドーセット・スクエアのAtlas Worksという機械メーカーのHenry Claytonは、1852年、口型の縁をローラーで構成することを発案した¹⁷⁾。

以上、1820年代から1850年代にかけての成形機の発達を略述したが、湿式成形機の基本機構は、この時期にはほぼ確立したとみてよいと思われる。

ついでに、乾式成形機にも一言触れておく。乾式成形は、乾燥状態の原料を粉碎して篩い、型に入れ、強大な圧力を加えて成形するもので、素地の乾燥の手間がいらず、そのまま窯で焼成できるという利点をもつ。この方式では、ボストンのWoodworth & Mowerのものが1852年頃知られ、1時間あたり3000筒という当時としては驚異的な生産速度を唱っていた¹⁸⁾。イギリス国内でも既に1840年、バーミンガムのRichard Prossorによって原理的には開発され、1840年代初頭、注目を集めたが、原料、設備費用等の問題から普及をみなかった¹⁹⁾。乾燥の不要な半乾式製法がイギリスで脚光を浴びるのは、19世紀第4四半期以降である²⁰⁾。

（2）成形前の工程の機械、設備

1843年に、土木学会会員のFrederick Walter Simmsは、機械の採用に否定的な意見を表明しているが、その主な根拠は、機械は単に成形工程の節用をもたらすだけで、成形工程は煉瓦生産費用の小部分（約1/8）を占めるにすぎないというものであった²¹⁾。この指摘は一面の妥当性をもつ。けれども、成形以外の工程でも機械や設

図—6

図-7

図-8

図-9

備の改革が試みられつつあったことを見落してはならない。Samuel は、伝統的製法では、人(場合によっては馬)が粘土を踏み、小石などの異物を拾いあげて土練と精選をおこなったとする(図-6、これは製鋼用ろつばを造る粘土を捏ねる様を描いたもの)²²⁾。しかし粘土の精選のためには、平行な対のローラーから成る粉碎機(rolling mill, 図-7)がこの頃普及しはじめている。1842年のAinslieの成形機の一部に採りいれられているものは、2つのローラーを互いに異った速度で回転させ、粉碎能力を高めている。図は馬力にたよるものであるが、粉碎には大きな力を要するため廃れ、一般には蒸気機関で動かすようになる²³⁾。また、同一の水平軸にとりつけた一對の回転石の下で、鍋状の容器を、垂直軸を中心にあわす方式の粉碎機も登場する(図-8)²⁴⁾。更に精選の度を高めるためには、ウォシュ・ミルを用いることができる(図-9)。これは円環状の煉瓦でできた槽に、多量の水を加えて泥状にした粘土をいれ、馬力ないし蒸気動力で回転する馬鍬で攪拌し、異物を沈澱させ、上層部を溝またはポンプによって粘土溜めに導く装置であ

図-10

る²⁵⁾。いつ頃登場したものかは不明であるが、ともかく1830年にロンドンでウォシュ・ミルが暴徒(incendiarists)によって焼打ちされるという事件が起きている²⁶⁾。

粘土を捏ねる機械としては、土練機が存在する(図-10)。これは鉄や木の桶に粘土を投入し、ナイフやスクリュウをとりつけた軸を回転して土を刻み捏ね、練りあがった土を下方の口からとり出す仕組になっている²⁷⁾。これも古くは馬力(場合によっては水力)で動かしているが、やがて蒸気機関で動かすものへと移行する²⁸⁾。

(3) 成形後の工程の機械、設備

以上は成形前の工程に用いる機械の概要であるが、成形後の工程では、主に次の2つの設備の発明、改良がおこなわれる。1つは、人工乾燥設備である。Simmsは1840年冬から1841年夏にかけておこなった煉瓦製造で、炉を備えた乾燥小屋を設け、粘土でできた床の下から熱を加えている。熱の均等化のために、床の厚さを炉の付近での9 in. から煙突の付近での2 in. へと漸減させ、小屋内部の温度は50~70°F(約10~21°C)であった。人工乾燥にしては低い温度であるが、ともかく冬の煉瓦生産を可能にした²⁹⁾。Simmsが以上について土木学会で報告を行なった1843年にAinslieも、人工で加熱した部屋に素地を積んだ台車を軌道で導きいれ、乾燥させることを発案している³⁰⁾。Bertの考案した乾燥室は、緩く傾斜したトンネル状をなし、コークスの燃焼熱を煙道で導いて暖めるものである(コークスが高価な地方では低い方の床下に蒸気罐を設け、ここを起点として床に蒸気パイプをめぐる)。高い方の入口から順次搬入された素地を載せた台がローラー上を低い方へと移動し、低い方の出口から搬出される。この設備は連続運転できるようになっており、各台の搬入から搬出までに要する時間はおよそ24時間である。Humphrey Chamberlainはこれらについて建設費、燃料費、運転費などのコスト高を指摘し、1845年頃から、焼成用窯の廃熱を煙道で乾燥室に導くことを試みはじめたと述べている³¹⁾。

先に述べたclampと称される野焼きに近い方式では、煉瓦の焼成に、早くて20~30日、通常はそれ以上を要する³²⁾。不良品を減らすうえでも、窯を用いる方が有利である。地方により差はあるが、一般的な窯はスコッチ・

図-11

図-12

キルン (Scotch Kiln) と呼ばれる。1839 年版の Ure の事典によれば、窯は一辺 10~13 ft 程度の箱形をなす。四面の壁を築き、下部は必要な数の焚口を設けて燃焼室とし、浅いアーチの火格子に類するものを架け、この上に素地を隙間をあけて積み、上面を煉瓦くずなどで覆う。一回の焼成に積む素地の数は 20 000 箇ぐらいである。2~3 日弱火を加えて素地を乾ききらせてのち、強火で 2 日ほど焼く³³⁾。これに対して、アルパートンに築かれた Ainslie Brick and Tile Machine Company の火炎を上から下に導く特許窯が 1849 年に紹介されている (図-11)。既存の窯に較べ燃料を 3/4 節約でき、焼成は 26~

28 時間で済み、通常 5~20 % にのぼる不良品がこれではほとんど生じない等々の利点が挙げられている。特に注目すべきは、この窯を複数 (2~4 基) 連結して熱を順次送り、乾燥、生焼きに用いることによって、効率がさらに高まると唱っている点である。この考えは、輪窯にあと一步のところまで近づいていると言える³⁴⁾。同じ頃、Chamberlain も Robert Scrivener の改良した類似の窯を築いているが、この場合は床の各所にも炎管を設け、これらを適宜開閉して窯内の温度を調節できるようにしている。Chamberlain も複数の窯を連結することを考えており、搬入、搬出も含めて一回の焼成に要する日数は 6 日で、既存の窯に較べて 50 % の燃料を節減している³⁵⁾。土製品の焼成に大きな進歩をもたらしたのは、言うまでもなく Friedrich Hoffmann (1818~1900) が 1856 年に発明、1858 年に特許を取得した輪窯で、従来の窯が素地の搬入—焼成—冷却—搬出という工程を一回ごとに繰返すのに対し、開閉可能なパーティションで区分された円環状の窯の中で火を順次送る方式を採り、連続運転と廃熱の効率的利用とによって燃料の消費を飛躍的に少くした。少くとも 1860 年代前半にはイギリスにも登場し、煉瓦の焼成設備はここに一応の完成をみる (図-12)³⁶⁾。

まとめ

以上のように、素地の成形のみならず、その前後の各工程についても機械化や設備の合理化が試みられ、結果として、乾式製法を除く近代の煉瓦製造技術の大部分は、19 世紀中葉までに基本的に開発されていたと言えよう。

註

- 1) 研究の目的、位置づけ、方法、全体構成等について、詳しくは前々報まえがき (『建築材料生産、加工の機械化—石材』, 『日本建築学会計画系論文報告集』No. 345, 1985. 8, pp. 97-9) 参照。
- 2) 煉瓦の伝統的製法については、Andrew Ure, *A Dictionary of Arts, Manufacture and Mine*, 1839 (以下 Ure, 1839 ed. と略記), p. 184, Edward Dobson, *A Rudimentary Treatise on the Manufacture of Bricks and Tiles*, 1850 (以下 Dobson, 1850 ed.), Part I, pp. 24-42, *Journal of Society of Arts* (以下 J.S.A.), 1855, pp. 491-2 など。
- 3) このようなことも関わって、煉瓦製造職人は一般に性が粗暴であるとされ、社会的に低く見られることが多かった。Builder, 1843, p. 195, J.S.A., 1855-6, p. 493, p. 500, R.N. Price, 'The Other Face of Respectability, Violence in the Manchester Brickmaking Trade 1859-1870,' *Past and Present*, No. 66 (Feb. 1975) (以下 Price, 'The Other Face'), p. 110。
- 4) 古くは、1619 年に粘土加工機械関係の最初の特許が認められ (Jack Bowyer, *History of Building*, Crosby Lockwood Staples (London), 1973, p. 80), 1741 年, William Bailey はローラーによって、また 1798 年, Francis Farquharson はプレスによって粘土を固める法を案出したことが知られる。Kenneth Hudson, *Building Materials* (Industrial Archaeology ser.) Longman,

- 1972, p. 32.
- 4) Hermione Hobhouse, *Thomas Cubitt, Master Builder*, Macmillan, 1971, p. 308, *J.S.A.*, 1855-6, p. 492.
 - 5) 底部に開口のある中央(図は左半を省略)の土練機の下を、煉瓦型枠を載せた台車が往復する。粘土が土練機の直下で充填され、上下運動するピストンの下でプレスされる仕組みになっている。Ure, 1839 ed. pp. 186-7.
 - 6) 放射状に型枠用の穴を穿った円盤を台の上で回転させる。台は図のように傾斜面をなす。左上のホッパーで粘土を型枠に充填しローラーで上面を均す。円盤が回転するに従い、台上で支えられた型枠の底板がせりあがる。素地はホッパーと対称の位置で取りはずされる。 *ibid.*, pp. 188-9.
 - 7) *Builder*, Vol. I, 1843, p. 195, Edward Dobson (revised by Alfred B. Searle), *A Rudimentary Treatise on the Manufacture of Bricks and Tiles*, 12th, ed. 1911, (以下 Dobson, 1911 ed.) p. 184.
 - 8) Hobhouse は創案を 1836-7 年とする (Hobhouse, *op. cit.*, p. 308)。Hunt の改良は 1842 年頃と思われる。この機械は, *Builder*, Vol. I, 1843, p. 195, *Civil Engineer and Architect's Journal* (以下 *C.E. & A.J.*), Vol. VI, 1843, p. 202 などで紹介され、土木学会でも話題となったが (*Minutes of Proceeding of Institution of Civil Engineer* (以下 *M.P.I.C.E.*), Vol. II, 1843, pp. 147-152), 紹介図が稚拙で機構の細部は不分明である。少くとも Hunt の改良型では、圧延された粘土の切断を、次に述べるワイヤーでおこなっている。シリンドラーは鉄でできているが、E. A. Cowper は粘土の付着を妨ぐため mole-skin を巻いたと記憶している。*M.P.I.C.E.*, 1885-6, Part IV, p. 31.
 - 9) *M.P.I.C.E.*, Vol. II, 1843, p. 150. 成形速度に上限はなく、ただ素地の取りはずし速度によって制約されるとする記事もある。*C.E. & A.J.*, Vol. VI, 1843, p. 202.
 - 10) *C.E. & A.J.*, Vol. V, 1842, p. 8. Hudson, *op. cit.*, p. 32.
 - 11) Dobson, *A Rudimentary Treatise on the Manufacture of Bricks and Tiles*, 1868 (以下 Dobson, 1868 ed.), p. 197, 1911 ed. pp. 184-8, Marian Bowley, *Innovations in Building Materials*, (London) 1960, pp. 62-3.
 - 12) *J.S.A.*, Vol. IV, 1855-6, p. 497. ただし以下に紹介する機械の圧搾機構は、ピストンではなくスクリュウである。粘土中の気泡を除去するうえでスクリュウがピストンに勝っているという。*C.E. & A.J.*, Vol. XIV, 1851, p. 504. これに対して、スクリュウは粘土内に渦巻組織を生じさせ、不良であるとの批判もある。Dobson, 1868 ed. p. 33, *J.S.A.*, 1855-6, p. 499. 反批判については *ibid.*, p. 523. スクリューを用いた機械について、これより前、1840 年、James White が特許を得ているが、実用化のほどは明らかでない。*C.E. & A.J.*, Vol. III, 1840, pp. 184-6.
 - 13) *C.E. & A.J.*, Vol. V, 1842, p. 427. Ainslie の機械はこの当時蒸気力を用いている。*M.P.I.C.E.*, 1843, Vol. II, p. 148. なお Hobhouse は Ainslie の最初の機械は 1841 年特許のものであるとし、ローラーで圧搾する機械を紹介している。Hobhouse, *op. cit.*, pp. 313-4, Cf. *J.S.A.*, Vol. IV, 1855-6, p. 494.
 - 14) *Builder*, Vol. X, 1852, p. 385. なお, Hobhouse, *op. cit.*, p. 530, n. 94, *M.P.I.C.E.*, 1885-6, Part IV, p. 29.
 - 15) *J.S.A.*, Vol. IV, 1855-6, p. 495, p. 500, *M.P.I.C.E.*, 1885-6, Part IV, pp. 15-6.
 - 16) *J.S.A.*, Vol. IV, 1855-6, p. 498, Andrew Ure, *A Dictionary of Arts, Manufacture and Mine*, 1867 (以下 Ure, 1867 ed.) Vol. I, pp. 483-4. 1852 年以前に有孔煉瓦の生産をはじめている。*Builder*, 1852, p. 385.
 - 17) *J.S.A.*, Vol. IV, 1855-6, p. 497.
 - 18) 機械の価格は 1 400 l に達するという。*Builder*, Vol. X, 1852, p. 385, Hobhouse, *op. cit.*, p. 313, *Practical Mechanic's Journal* 3rd. ser. Vol. III, 1867-8, pp. 205-6.
 - 19) Prosser の製法では、250 ないし 300 t の圧力を水圧プレスを用いてかけることになっている。*C.E. & A.J.*, Vol. V, 1842, p. 139, *M.P.I.C.E.*, Vol. II, 1843, pp. 147-9, 151-2, *J.S.A.*, 1855-6, p. 521, Ure 1867 ed. Vol. III, pp. 902-5, Dobson, 1868 ed. pp. 32-3.
 - 20) Bowley, *Innovations*, p. 68, Hudson, *op. cit.*, pp. 33-4.
 - 21) *M.P.I.C.E.*, Vol. II, 1843, p. 148. 似たような説の紹介は *C.E. & A.J.*, Vol. IV, 1841, p. 341 (1/32 とする), Dobson, 1868 ed. p. 195 にも見られる。
 - 22) Raphael Samuel, 'Workshop of the World' *History Workshop Journal*, No. 3. Spring, 1977, p. 30.
 - 23) Dobson, 1911 ed. pp. 74-5, *J.S.A.*, Vol. IV, 1855-6, p. 493. 土質によっては、対のローラーを 2~3 段組合わせ、順次土粒を微細にする。
 - 24) Dobson, 1868 ed. pp. 214-5.
 - 25) Dobson, 1850 ed. Part II, pp. 5-12, 47-8.
 - 26) Hobhouse *op. cit.*, p. 530, n. 79.
 - 27) Dobson, 1911 ed. p. 180. なお, John Burnett, *A Social History of Housing, 1815-1970* (London), 1978 の図版に、土練機らしきものを描いた 1821 年の絵画が掲載されている。
 - 28) *J.S.A.*, Vol. IV, 1855-6, p. 492, p. 499.
 - 29) *M.P.I.C.E.*, Vol. II, 1843, p. 146. 乾燥時間は示されていない。
 - 30) Hobhouse, *op. cit.*, p. 314.
 - 31) *Builder*, Vol. X, 1852, p. 385. *J.S.A.* Vol. IV, 1855-6, p. 515, 521.
 - 32) Ure, 1839 ed. p. 185.
 - 33) Ure, 1839 ed. p. 185. Hudson, *op. cit.*, p. 33. Simms は 1 回に 30 000~40 000 箇焼いている。*M.P.I.C.E.*, Vol. II, 1843, p. 146.
 - 34) *C.E. & A.J.*, Vol. XII, 1849, p. 188. Ainslie は窯を 6~8 基連結した乾燥と焼成のシステムの特許を 1846 年に取得している。Hobhouse, *op. cit.*, p. 314, p. 530, n. 95.
 - 35) *J.S.A.*, Vol. IV, 1855-6, p. 518.
 - 36) Dobson, 1868 ed. pp. 236-44. 英国での最初の築造を 1862 年とする。Bowley, *Innovations*, p. 65.
- 図版出典
 図—1, Ure, 1839 ed. p. 186. 図—2, *ibid.*, p. 188. 図—3, *Builder*, Vol. I, 1843, p. 195. 図—4, *C.E. & A.J.*, Vol. V, 1842, p. 8. 図—5, *ibid.*, p. 427. 図—6, Samuel, *op. cit.*, p. 29. 図—7, Dobson, 1850 ed. Part I, p. 65. 図—8, Dobson, 1868 ed. p. 215. 図—9, Dobson, 1850 ed. Part II, p. 12. 図—10, Dobson, 1911 ed. pp. 78-9. 図—11, *C.E. & A.J.*, Vol. XII, 1849, p. 188. 図—12, Dobson, 1868 ed. pp. 237-8.

SYNOPSIS

UDC : 72.03 : 69.002(42)

A STUDY ON TECHNICAL IMPROVEMENT IN THE EARLY YEARS OF MODERN BRITISH BUILDING INDUSTRY

I-3 Brick-manufacture

by AKIRA SATO, Assistant of Nagoya Univ., Member of
A. I. J.

Before mid-19th century, many attempts were made to improve brickmaking. They were not confined in moulding but covered wide field from preparing clay to drying and burning. As a result, the basic part of the modern plastic brickmaking process was devised at this period.