

日本の煉瓦造構造物の文化遺産的価値の評価

田中 邦熙¹

¹正会員 (財)日本城郭協会 評議員 (〒192-0371 東京都八王子市南陽台2-33-16)

E-mail: hoj_34427_tnk@yahoo.co.jp

本報告は、煉瓦及びその関連品に関する歴史・種類・製造法などを既往の文献・ネット資料（ウィキペディアなど）を用いて整理した結果を取りまとめたものである。古代文明各地の原始的煉瓦は相互の影響関係ははっきりせず、同時発生的な別個の文明伝承や地域差なども加わって、エジプト・ローマ・ヨーロッパ各地の赤煉瓦や中国の磚のように、独自に発展し広がった。日本の煉瓦は、古代に中国の磚が伝えられたが組積構造に用いられることは無く、主に屋根瓦として発達し、明治に近代化のシンボルとして多用された。煉瓦造構造物を歴史的文化遺産として修復・利活用する為には、歴史的価値は勿論工学的な解析・位置づけを明確にすることが望まれる。

Key Words: 赤煉瓦, 日干しレンガ, ホフマン窯, 磚

1. まえがき

最近文化遺産としての煉瓦造構造物が注目されている。煉瓦とは、一般に酸化鉄を含む粘土に砂・石灰などを混ぜて練り、長方体などに成形し、乾燥して窯で焼いた赤煉瓦を言う。日本国内にも多くの煉瓦造構造物が残されているが、それらの歴史的文化遺産的価値および工学的評価は必ずしも明確ではない。本報告は煉瓦及びその関連品に関する既往の文献・ネット資料などを整理し、その特徴・文化財的価値・工学的価値・修復利活用の問題点などを検討した結果を取りまとめたものである。

なお煉瓦とは、明治時代西洋から入って来た土を焼いた赤い建材を言うが、火で焼いて造るという意味の「煉」と「瓦」の字を組み合わせで造った新しい日本語である。従って日干しレンガなどには、煉瓦と言う漢字を用いることはできない。

2. 煉瓦の歴史

(1) 世界のレンガ・煉瓦の歴史

メソポタミア文明発祥のチグリス・ユーフラテス河流域では、BC4000年に日干しレンガが生まれ、約1000年間使用された。BC3000年以降に焼成煉瓦が発明されて、大型構造物の内部は日干しレンガとし、外壁に仕上げ材として焼成煉瓦が用いられた。BC1600年以後1000年間には、金型を使って表面に細工した焼成煉瓦が造られた。

BC700年以後に湿式法による焼成煉瓦が造られ、モニュメントなどに多用された。エジプトにおける煉瓦建造物築造は、メソポタミアより後である。BC5000年頃に文明が開化し、土を固めて干しただけの日干しレンガや石材を用い、神殿・王宮・都市住宅などが建てられた。BC2650年頃から1000年間には、約60基のピラミッドが造営されたが、ピラミッドの原型は日干しレンガで造られたマスタバ墳という台形の墓であり、それが石積みに発展したものである。インダス川流域ではBC2600年頃文明が始まり、首都の役割を果たしていたとされるモヘンジョ・ダロやハラッパーの道路や家は焼成煉瓦で造られていた。黄河流域ではBC5000年頃より文明が芽生え、BC1600年頃成立した殷（商）では、広大な宮殿や王墓は日干しレンガで造られた。BC1600年頃西周時代には黄土に水を加えて練り混ぜて800℃程度の低温で焼成した黒色の磚と言われる焼成煉瓦が造られた。磚は古来より積み上げて建造物の壁体にする組積構造や、建築の基壇・床材（敷き瓦）として用いられた。また磚造アーチボルト建築も発達した。磚は粘土を低温焼成したもののだが形から見ると一辺が約40cm、厚さ7～8cm程度の正方形の方磚と、それを半載した条磚に分けられる。また空心磚と言われる中が空洞の大きな磚も存在し、漢代の墳墓等に用いられた。唐代以後釉薬を用いて発色させた瑠璃釉磚が出現した。これは唐三彩の技法であり、発色材に鉛を加えて緑・褐・白・藍色に発色させたものである。北京の故宮の九龍壁や基壇その他美術工芸品・画像磚・磚仏・墳墓・仏塔などに多用されている。世界遺産の平

遙古城などでは、街全体に磚を用いて城壁・城門・建築などが造られている。

その後春秋戦国・秦時代に盛んに造られた長城には、縦 30cm、横 50cm、奥行き 70cm 程度の日干しレンガが用いられた。版築工法で造られた城壁などは固定した 2 枚の板の間に黄土を投入し、水を加えて突き棒で突き固めて天日乾燥されたもので、日干しレンガの一種と言える。

ヨーロッパの煉瓦生産技術は、ローマより伝えられた。ヨーロッパ煉瓦は赤色で、石灰やモルタルなどの接着剤を載せる凹みがあるのが特徴である。ヨーロッパでは煉瓦は古代から多くの建物に用いられたが、教会・宮殿・公共建築など本格的な建物の場合、構造が煉瓦造であつても表面を漆喰や石で仕上げるが多かった。赤煉瓦のままの建物は古風なものか、工場・倉庫など簡素なものであつた。

(2) 日本の瓦から煉瓦への歴史

中国の瓦が 588 年百済から仏教とともに伝来し、平瓦を並べジョイント上に丸瓦を並べた本瓦葺が飛鳥寺で初めて使用された。現存最古の瓦は飛鳥時代の元興寺の極楽坊本堂と禅室に葺かれている。中国の磚は土色や黒色で、組積みされたが、日本では寺院の基壇や床仕上げ材に使用され、建築の壁体が磚で積まれることはなかった。奈良・平安時代には瓦は寺院・宮殿の他官衙にも用いられ、地方でも国府や国分寺などの国家権力を象徴する建物にも用いられた。各地には瓦屋と言われた瓦を生産・供給する役所が設けられ、寺院や役所に納入した。

近世になると、それまでは仮設建物が多かった城郭建造物にも瓦が用いられるようになった。1674 (宝永 4) 年瓦職人西村半兵衛が丸瓦を必要としない棧 (方形で横断面が波形) 瓦を開発し、瓦使用量が減り、建物強度にも好影響を与えた。また火事対策の瓦の使用が推奨され、一般にも普及した。明治には洋瓦の開発輸入が始まり、棧瓦を改良した引掛棧瓦が開発された。

日本の瓦産地は三州 (愛知県)・石州 (島根県)・淡路 (淡路島) が三大産地で、他にも数多くある。

1850 (嘉永 3) 年佐賀藩において大砲鑄造のため、日本人だけで反射炉建設用の耐火白煉瓦が製造された。赤煉瓦より製造が困難であるのにより早く製造された。1857 (安政 4) 年長崎において長崎飽ノ浦鋳鉄所建設に使用するため、日本国産初の赤煉瓦をハー・ハルデス (蘭) の指導により地元の瓦屋が焼成した。ハルデス煉瓦は現在の標準的なものより、厚さは 2 cm ほど薄く、長さは 2 cm ほど長く、幅は 4 mm ほど広い扁平なもので 蒔蕨煉瓦と呼ばれていた。1865 (慶応元) 年国産 1 号赤煉瓦が長崎でオランダ系技術により焼成され、第 2 号はモリス (英) により九州で製造、第 3 号はフランスチームにより横須賀製鉄所で製造された。このフランスチームは横

須賀製鉄所完成後富岡製糸場へ移動、1871 (明治 4) 年赤煉瓦を焼成した。煉瓦の積み方は、明治初期まではフランドル (フランス) 積みで、長崎造船所、富岡製糸所などが造られたが、以降はイギリス積みが主流となり、東京駅などが造られた。

1869 (明治 2) 年ウオートルス (英) は大阪造幣寮建設のため、嶋野で地元の瓦屋に工事用煉瓦を製造させた。1872 (明治 5) 年には東京小菅にホフマン窯を 3 基築き、銀座街用煉瓦を焼成し始めた。この窯は日本初の松薪を燃料とした。1887 (明治 20) 年近代的煉瓦機械製大量生産工場が渋沢栄一により設立された。渋沢の故郷深谷は瓦の産地で粘土があり、利根川の水運や鉄道利用が可能であつたことによる。官庁集中計画のため招聘されたベックマン (独) の建議により創業されたものである。本社は東京、工場は埼玉県深谷にあり、素地成形機・コール式乾燥室 (煉瓦窯上部に発生する余熱を利用するもの)・ホフマン窯などが設置された。

1891 (明治 24) 年の濃尾地震以後、地震に対する煉瓦造強化策として、目地材はそれまでの漆喰 (石灰など) 目地からセメントモルタル目地へ替える、壁体に鉄材を埋め込むなどの努力がなされた。また煉瓦数段ごとに帯鉄を水平に配置し、壁の角部の交差点には太い縦鉄筋を配置した 碇聯鉄構法 (碇固定法) が採用され、これは今日の鉄筋コンクリート構造と同じである。

関東大震災時の浅草の 12 階建て凌雲閣が崩落し、煉瓦構造物の被害が大きかったので以後煉瓦は小規模建築のみとなり、鉄筋コンクリートが主流となった。

3. 煉瓦の種類

(1) 日干しレンガ

火で焼かない日干しレンガを、メソポタミアではアドベ、中国では土坯子 (トウピーズ) という。地震に弱いという欠点があるが、見かけ以上に耐候性に優れ、集中豪雨や長雨に晒されない限り理想的建材である。アフリカの降水量の少ない地方では、古くから日干しレンガが用いられ、モロッコのアイット＝ベン＝ハドウの集落やマリ共和国のジェンネの街並み等は世界遺産に登録されている。

(2) 焼成煉瓦

煉瓦を焼成する時空気を十分補給する酸化焼成では、粘土中の鉄が錆びて赤色を呈するが、酸欠状態の還元焼成では、酸化した鉄が還元し鉄の色の黒色が現れ、焼き過ぎ煉瓦になる。酸化焼成でも、その焼成温度が 700℃では土色、800℃で発色し始め 900℃でオレンジ色の素焼き状態になり、1000～1100℃以上で鮮やかな赤色～黒褐色

となる。オレンジ色の素焼き状態の煉瓦は、伝統的な屋根瓦焼成用の小型窯に薪を焚いて造られたが、赤色の煉瓦は石炭窯や 1858 年改良特許を得たホフマン窯で石炭に粉炭を加えて高温で焼成された。

中国では古代以来黒い瓦が発達していたが、これを素材として磚と呼ばれる薄い煉瓦が高度に発達し、磚で 7 階建ての塔を造るほどの技術を持っていた。

(3) 瓦 (=粘土瓦)

瓦＝粘土瓦は天辺が水平であり、また鬼瓦・瓦当の文様は芸術品と言える。釉薬を使用する瓦と釉薬を使用せず素焼きの無釉薬瓦に分けられる。日本で稼働中の瓦窯はトンネル窯である。瓦の用途は屋根建材が主であるが、海鼠壁・練塀（瓦や石を粘土で接着して固める）・寺院基壇・雨落ちなどにも用いられる。セメント瓦はセメント 1＋砂 3 のモルタルで造られるが、割れやすい欠点がある。アスベスト配合瓦は危険である。厚型スレート瓦はスレートとも言い、セメント 1＋砂 2 で造られる。グラスファイバーを配合した複合素材もある。石瓦は寒冷地用であるが重い・複雑な形状で製造困難・雨漏りし易い・緩勾配には不適などの欠点がある。丸岡城天守屋根は凝灰岩であるが、粘板岩のものもある。

(4) タイル

鉄筋コンクリート建築が出現すると、外装のみに従来の厚い赤煉瓦を積んでいたが、薄くても問題ないことに気づき、タイルの発明となった。煉瓦風のタイルには様々な種類があり、洋風の雰囲気を出すために木造や鉄筋コンクリート造の表面に貼り、仕上げ材として多用された。

(5) 耐火煉瓦＝シャモット（粘土質）煉瓦

耐火煉瓦は水蒸気爆発や冬季には霜などのためひび割れる可能性もあるので、十分乾燥して使用しなければならない。シャモット煉瓦を積む時は耐火煉瓦専用の粘土状の粉状のものと練った状態のものがある。また温度が加えられて焼結するヒートセットタイプと空気に触れて固化するエアセットタイプがある。

シャモット（粘土質）煉瓦の化学成分は SiO_2 （ケイ酸）・ Al_2O_3 （アルミナ）・若干の Fe_2O_3 （酸化鉄）であり、アルミナ成分が増すと耐火度は増し、弱酸性から中性を示し、安定した性質を持つ。識別は番手で行う。

SK26, 28, 30 — 管理不十分で信頼度にばらつき
SK32 1300℃～ SK34 1450℃ 通常の粘土質耐火煉瓦
SK36, SK38, SK40 1600℃ 高アルミナ質耐火煉瓦

耐火煉瓦＝粘土質耐火煉瓦（Fireclay brick）には、クロム煉瓦・マグネシア煉瓦・けい石煉瓦・粘土質耐火煉瓦・高アルミ質煉瓦などがある。

4. 煉瓦の製造

(1) 煉瓦の原料

原土は 屋根瓦に用いる通常の粘土に粘性を抑えまた、粘土だけでは収縮率が大きすぎ製品にばらつきが生じるので、砂類や作土（表土）を加えて用いる。通常の粘土と言っても近江の八幡瓦に用いられた湖岸堆積粘土（田んぼの土）の粒度は、工場ごとに粗砂（2～0.85mm）7～16%，細砂（0.85～0.25mm）21～33%，微砂（0.25～0.075mm）28～68%，粘土（0.075mm以下）4～35%と相当大きな差がある。各メーカーでは頁岩や山土や杯土（陶磁器の素地を造る土）や瓦シャモット（耐火粘土を 1300～1400℃に加熱後砕いて細粒にしたもの）をブレンドして用いている。

(2) 養生・成形

原土の養生は手抜き成形法では足で混練作業、機械成形法では粘土と細砂とを同時に投入粉碎し混練する。手抜き成形煉瓦は表面が平滑だが、機械成形煉瓦は煉瓦の厚さに合わせてピアノ線で切断するので、素地の表面に細かな皺が連続して現われ、縮細状となる。

煉瓦の寸法は 職人が持ち易い大きさで慣習または規格により統一され、国・地域・時代によって違い、アメリカでは 203×102×57 mm、イギリスでは 215×112.5×75 mm、日本では 210×100×60 mm のものが使われている。

日本の煉瓦の寸法は、当初は特注の寸法に応じて製造していたが、明治後半には大量見込み生産時代となり、1905（明治 38）年には、寸尺単位で規定された並形・東京形・作業局形・山陽新形・山陽形の 5 種類に整理され、その後全国統一された。寸尺を cm に置き換え、女子人夫の手の大きさから現状より小さく cm 単位で、端数の無い 10cm 幅が定められた。そして目地の幅を 1 cm と定めたので、長さは 21 cm となった。厚さは 6 cm より薄いと焼成後変形し、これより厚いと焼成が困難となるので、6 cm に決定した。この寸法は関東大震災後の 1925（大正 14）年の日本標準規格（JSE）第 8 号で採用され、戦後の日本工業規格（JIS）R1250 にも踏襲された。

(3) 煉瓦の焼成

a) 野焼き法

積み上げた煉瓦素地に草木を被せて直火で焼く最も簡単な焼成方法で、今日でも東南アジアなどで行われている。きちんとした窯を築かず、焼成温度も低く焼きむらも生じ易いので、良質な煉瓦を得ることは難しい。温度が低いので色合いは肌色に近い。

b) だるま窯

江戸時代以前からある屋根瓦焼成用の小型窯で、中央に瓦 800～900 枚程度詰められ、その両脇に一段低い焚口

があり、正面から見るとだるまの形に似ている。今日でも黒色のいぶし瓦を焼くのに使われる。内部を完全に密封し、窯内部を酸欠（＝還元）状態にし、さらに松葉でいぶす。3日間程度で黒瓦が焼かれる。このだるま瓦窯で煉瓦を焼いた事例は多い。

c) 登り窯

関西では1870（明治3）年阪神間鉄道建設用煉瓦焼成に、日本最初の登り窯が使用された。東京では明治13～14年小菅の登り窯による煉瓦焼成が最初である。今日でも時々使用される福島県喜多方市に現存する旧樋口窯登り窯は、直接点火しなくても余熱で素焼きができる。この工場では重油バーナーで加熱し、1200℃もの高温になり、上葉もかけるが、本来の登り窯では薪材を燃料にし、焼成温度は700～800℃なので、色合いはみかん色となる。燃料の薪は松に含まれる樹脂（やに）が有効で、針葉樹は燃焼個所だけでなく、窯全体を熱くする作用がある。

d) ホフマン窯（＝輪環窯・リングキルン）

登り窯を平地で長くし、部分的に曲げて最後尾の房を最初の房と連結したもので、一度点火すると火は順次隣の房へ移るので、一周した火を消さずに炊き続けることができる。1854年フルマンが特許を得た窯に、フリードリヒ・ホフマンが改良して1858年特許を得た。1951（昭和26）年ホフマン窯は全国に50基存在していた。しかし今日では2基が残るのみで、稼働している窯は無い。ホフマン窯は一度火をつけると夜間でも投炭を続ける。粉炭は重油より安価だが重労働であり、今日では自動化された台車が窯の中を移動し、重油を燃料とするトンネル窯に代わった。

(4) 煉瓦の積み方

横目地は当然水平方向に一本通るが、縦目地は上の重さを下方の煉瓦に分散するジグザグ状の破り目地が理想的であり、縦方向の目地が真直ぐ通っている芋目地は好ましくない。さらに煉瓦の表面だけでなく奥行き方向にも芋目地で接していると、煉瓦一枚の厚さで壁全体が剥がれる恐れがあるので、奥方向にも芋目地を避ける必要がある。フランドル（＝フランス）積みは煉瓦の長手と小口が順に積まれ意匠的に華やかな図柄が現れる。しかし壁の内部で芋目地になってしまうことがある。我が国では1886（明治19）年までで姿を消し、その後イギリス積みが主流となった。煉瓦の長手ばかりが現れる段と小口だけが現れる段とが一段おきに積まれる方法で、その他に全ての列に長手だけが見える長手積みや、全ての列に小口だけ見える小口積みがある。

(5) 型枠ブロック

煉瓦を焼くためには多くの薪が必要であり、無計画な森林伐採から砂漠化に至る環境破壊の大きな原因であ

った。しかしコンクリート造には木材の型枠が必要であり、打ち込み型枠としてコンクリートブロックを利用し取り外さずに躯体として一体化する型枠ブロック工法も確立し、煉瓦もこのように使用されることもある。

5. 煉瓦の品質

煉瓦の品質は、JIS R 1250 2011 日本れんが協会（JBA）のものがある。1951年制定後過去7回改正され、前回は2000年改正であった。粘土を原料とする焼成普通煉瓦Nおよび化粧煉瓦Fに関するJISの要点は次の通りである。

引用規格 JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験法

JIS B 7516 金属製直尺

	吸水率 %	圧縮強さ N/mm ²	
2種	15以下	15.0以上	150 kgf/cm ²
3種	13以下	20.0以上	200
4種	10以下	30.0以上	300

煉瓦1丁（210×100）4種では30N×21000 mm²＝64 ton、3種でも32 tonにもなり、驚くほど大きい。基準寸法は210×100×60 mmで全形と言うが、各辺を1/2、1/4、3/4など分数倍したようかん、半ようかん、半ます、さいころなどがある。また焼成煉瓦の一般的性質は、文献1)によると、次に示す程度である。

性質	単位	物性値
嵩比重		2.11～2.18
真比重		2.58
空隙率	%	15.5～18.0
吸水率	%	5.3～5.9
曲げ強度	kg/cm ²	136～162
圧縮強度	kg/cm ²	430～930
引っ張り強度	kg/cm ²	52～79
曲げ弾性率	kg/cm ²	86,000～103,000

比重や吸水率などには大きなバラツキは無いが、強度に関しては、小さいものでも430 kg/cm²と今日の一般的セメントコンクリートよりはるかに大きい。煉瓦の一般的化学組成は、文献1)、2)によると次のとおりである。

SiO ₂	60～70	%	Al ₂ O ₃	15～25	%
Fe ₂ O ₃	3～5	%	Na ₂ O, K ₂ O	1～2	%
CaO	微量				

主成分のケイ酸・アルミナ含有量が粘土により10%程度もの差があるが、煉瓦の品質にどのような影響があるのか不明。

6. 文化遺産としての煉瓦造建造物の評価

(1) 煉瓦造の代表的建造物

煉瓦造の代表的建造物と言われるものの概要を示す。

a) 北海道庁旧本庁舎

1888（明治21）年竣工、1969（昭和21）年重要文化財指定、北海道開拓関係資料展示・保存の文書館として公開、煉瓦造地上2階地下1階、アメリカ風ネオバロック様式、明治期を代表する建物。

b) 函館中華会館

当初は洋風に建てられたが、1907年の大火で焼失、現存建物は1910（明治43）年再築された。清朝末期の純中国洋式の建築として日本に現存する唯一の建物。在函華商が三国時代に活躍した関羽（関帝）を祀る聖所として、中国から大工・彫刻師・漆工などを招き、煉瓦・祭壇・什器などの資材も中国から取り寄せて建てた総煉瓦造1階建て建築。登録有形文化財。

c) 赤レンガ郷土館（秋田市立赤れんが郷土館）

1912（明治45）年に建てられた旧秋田銀行本店で、現在は資料館、2階まで吹き抜け、国重要文化財。

d) 文翔館（山形県旧県庁舎および県会議事堂）

1877（明治10）年県庁舎、1883（明治16）年県会議事堂が建設されたが、1911（明治44）年の山形大火により焼失。現在の建物は1916（大正5）年再建。1984（昭和59）年国重要文化財指定。1986（昭和61）年から復元工事が行われ、鉄骨造バットレスによる補強などを行い、1995（平成7）年完成。山形県郷土館（文翔館）として公開された。旧県庁舎は煉瓦造りの3階建て、イギリス・ルネサンス様式を基調とし、外壁は花崗岩の石貼り、屋根は玄昌石のスレート、旧県会議事堂は煉瓦造2階建て、内部はかまぼこ型のボルト天井。大正初期の洋風建築の特徴を伝える文化財。

e) 横利根閘門

1900（明治33）年に始まった利根川改修工事の一部として、霞ヶ浦と利根川を連絡する横利根川合流口に造られた閘門で、914（大正3）年着工、1921（大正10）年完成。1994（平成6）年修復復元および門扉開閉の自動化工事が行われ、2000（平成12）年近代化遺産として重要文化財に指定。煉瓦と石組みによるパナマ式閘門としては日本で最後に建造された。土木技術史上煉瓦造閘門の到達点を示す遺構である。

f) 富岡製糸場

1872（明治5）年、ポール・ブリューナ（仏）指導のもと設置された官営模範器械製糸場。東繭倉庫は木骨煉瓦造で、西洋煉瓦積み技術と木で骨組みを組む日本の建築方法を組み合わせて建てられた。煉瓦は日本人瓦職人が窯を築いて焼き上げたもので、目地には下仁田の石灰で造った漆喰が使用された。

g)（国立国会図書館支部）上野図書館

1908（明治41）年から1929（昭和4）年にかけて築造。鉄骨補強の煉瓦積み、仕上げは白タイル。

h) 赤坂離宮

東京元赤坂の迎賓館は1909（明治42）年に建設された。第二次世界大戦後、赤坂離宮の敷地や建物は皇室から国に移管され、国立国会図書館（1948～61）などに使用された。1967（昭和42）年旧赤坂離宮を改修し、迎賓館にすることが決定、1974（昭和49）年完成。2009（平成18）年、旧東宮御所（迎賓館赤坂離宮）として、明治以後の文化財として初の国宝に指定された。構造は石造および鉄骨煉瓦造、外装仕上げは花崗岩貼り。

i) 東京駅

1889（明治22）年、官設鉄道の新橋駅と、私鉄日本鉄道の上野駅とを結ぶ高架鉄道の建設が立案され、1896（明治29）年新線の途中に中央停車場を建設することが決定、1914（大正3）年開業、東京駅と命名。1945（昭和20）年、東京大空襲で大火災発生、煉瓦造壁とコンクリート造床の構造体は残ったが、鉄骨造の屋根は焼け落ち、内装も大半が失われた。1947（昭和22）年にかけて修復工事を実施、3階部分の内外壁は取り除き2階建てに変更した。2006（平成18）年から復元工事が開始され、鉄骨鉄筋コンクリート壁で躯体を増築し、建築当初の3階建てに復元。地下1・2階を増築し、免震装置を設置した。復元した3階の躯体は鉄筋コンクリート造で、外壁には当初と同じ仕様の厚さ15mmの化粧煉瓦を貼った。2階以下は既存の構造煉瓦および厚さ15mmと45mmの化粧煉瓦を貼った。（下駄っ歯積み）

j) 立教大学

立教大学は、日本聖公会系のキリスト教主義学校である。大阪で宣教師をしていたチャニング・ムーア・ウィリアムズが、1874（明治7）年上京し、築地に設立した私塾「立教学校」に始まる。関東大震災により築地校舎を失うが、1918（大正7）年校舎を現在の池袋に移転。池袋キャンパスは葛を絡ませた赤煉瓦の外観が特徴で、本館（モリス館）・第一食堂・2号館・3号館・図書館旧館・チャペルは東京都選定歴史的建造物である。

k) 横浜市開港記念会館

関内地区にある歴史的建造物。1909（明治42）年、横浜開港50周年を記念して建設され、現在も横浜市中区公会堂として利用されている。大正期の公会堂建築の代表作の一つであり、辰野式フリークラシックと呼ばれる。関東大震災後構造補強された。

l) 横浜赤レンガ倉庫（新港埠頭保税倉庫）

2号館は1911（明治44）年、1号館は1913（大正2）年に竣工、保税倉庫としての役目は1989（平成元）年に終わり放置されていたが、付近一帯は赤レンガパークとして整備された。2007年経済産業省により、近代化産業遺産として認定された。煉瓦倉庫は全長150m、背面に鉄骨造ベランダを持ち、日本初のエレベータや避雷針・消火栓を備える。組積造技術の最高レベルの建築とされ

る。煉瓦と煉瓦の間に鉄を入れる補強がなされていたので、関東大震災でも1号倉庫の30%が損壊したのみであった。

m) 猿島砲台（東京湾要塞）

猿島は横須賀市の沖合にあり現在は無人島であるが、明治には陸軍省・海軍省の所管となり、東京湾要塞の猿島砲台が築かれた。島内の岩壁を掘ってフランドル積み

n) 韭山反射炉

反射炉は18世紀から19世紀にかけて鉄の精錬に使われた。燃焼室と精錬を行う炉床が別室になっていて、燃焼室で発生した熱を天井や壁で反射させ、側方の炉床に集中させ、炉床で精錬を行う。鉄を均一に鋳造する技術を、伊豆韭山代官の江川英龍や佐賀藩の鍋島直正等がオランダの技術書を参考に研究した。1849年江川英龍が江戸の自宅に、伊豆韭山の反射炉の原型である小型反射炉を試作した。1850年佐賀藩鍋島直正が日本初の実証炉を建設、洋式砲の鋳造開始。1853年江川秀敏が佐賀藩の支援を得て伊豆韭山に反射炉建設。1857年水戸藩徳川斉昭がひたちなか市に反射炉2基完成。1857年薩摩藩が反射炉完成。

o) 石川県立歴史博物館

1909（明治42）年から1914（大正3）年に建てられた金沢陸軍兵器支廠の煉瓦造の兵器庫3棟であり、1990（平成2）年国重要文化財に指定された。

p) 大阪市中央公会堂

1911（明治44）年、岩本榮之助が公開堂建設費として寄付し、1913（大正2）年着工、1918（大正7）年完成。鉄骨煉瓦造3階・地下1階建て、意匠はネオ・ルネッサンス様式を基調とし、バロック的な壮大さを持つ日本有数の公会堂建築である。2002（平成14）年保存再生工事や耐震補強が行われ、国重要文化財に指定された。

q) 今村カトリック教会

福岡県大刀洗町今村地区は、江戸時代に隠れキリシタンが多く暮らしていた。九州地方で多くの教会堂建築を手がけた鉄川与助が設計施工、正面に六角形の双塔を持つロマネスク様式の赤煉瓦建築である。最初の聖堂が建てられたのは1881（明治14）年で、現在の教会堂は1912（明治45）年着工、1913（大正2）年竣工。福岡県指定有形文化財指定。

r) 江田島旧海軍兵学校

1869（明治2）年海軍操練所開設、海軍兵学校と改称し、1876（明治9）年東京築地へ移転、改称して海軍兵学校開設。1888（明治21）年広島県江田島町へ移転。1956（昭和31）年海上自衛隊の幹部候補生学校になる。

s) 碓氷トンネルなど

群馬県松井田町と長野県軽井沢町の境にある峠の鉄道トンネルなどで、11.2kmの間に18の橋梁と26のトンネ

ルからなる。1892年竣工、各種の地震対策などが講じられたが、1993（平成5）年碓氷峠鉄道施設として国重要文化財指定後廃止。煉瓦を多用し、1500万本とも言われ、建築のNo.1東京駅の833万本を超える。

t) 琵琶湖疎水

滋賀県大津市から京都市に通じる疎水運河。第1疎水は1890年完成。第2疎水は1912年完成。京都市の上水道・発電・灌漑用水および舟運などに使われた。多くの煉瓦が使われ、1450万本に達したと言われる。

u) その他

その他にも法務省旧本館誠之堂、聖ヨハネ教会、半田赤レンガ倉庫群、舞鶴赤レンガ倉庫群、同志社大学、泉布観水道記念館、築港赤レンガ倉庫、煉瓦倉庫レストラン街、兵庫県公館、神戸文学館、姫路市立美術館、海上自衛隊幹部候補生学校、門司赤煉瓦ブレイス、福岡市文学館、三菱一号館など数多く現存する。

（2）煉瓦構造に関する研究

a) 文献3

1926（大正15）年竣工の鉄筋コンクリートフラットスラブ構造の外装の一部の煉瓦の施工状況調査のため、現場引張り験・煉瓦単体および煉瓦+目地材複合材の室内試験を実施した。

その結果、煉瓦の下地との付着強度は、0.02 MPa（＝0.2kg/cm²）とかなり低いこと、煉瓦の圧縮強度 σ_v ＝20～30 MPa（＝204～306kg/cm²）、 σ_h ＝15～25 MPa（＝153～255kg/cm²）と、当時の煉瓦の圧縮強度とほぼ同程度であったこと、目地を含む圧縮強度は、10～20MPaで、煉瓦単体より低いこと等が判った。また時代別煉瓦の圧縮強度は、明治の煉瓦で7.5～27MPa、大正の煉瓦で18～30MPa、昭和の煉瓦で30～42.5MPaと、時代とともに増加していることが判ったとしている。

b) 文献4

明治43年に完成した東京・浜松間の煉瓦アーチ高架橋から、コアサンプルを採取し、圧縮・引張強度、弾性係数を求めた。

その結果、圧縮強度は24N/mm²（＝240kgf/cm²）以上、引張強度は1.0N/mm²（＝10.0kgf/cm²）程度、弾性係数はコンクリートに対し圧縮時で1/2程度、引張時で1/2～1/5程度、煉瓦の破壊時ひずみはコンクリートに比べ圧縮時で2倍、引張時で3倍程度であった。

c) 文献5

明治・大正・昭和初期に築造された鉄道構造物は、多くが70年以上経過しており、高架橋改築に伴い一部撤去される煉瓦アーチ高架橋から採取した供試体を用いて強度試験を行った。

目地を含んだコアの圧縮強度は34N/mm²（＝340kgf/cm²）±10%バラツキであり、目地方向による強度差

はほとんど無かった。ポアソン比はコンクリートとほぼ同じの1/6、引張強度は $1.7 \sim 3.4 \text{ N/mm}^2 (=17 \sim 34 \text{ kgf/cm}^2)$ 程度であった。煉瓦単体の圧縮強度は $20.1 \sim 51.2 \text{ N/mm}^2 (=201 \sim 512 \text{ kgf/cm}^2)$ でバラツキが大きい、目地を含んだコアの強度とほぼ同一であり、煉瓦積みした時均一な強度を示すことが判った。

d) 文献6

煉瓦積み構造で重要な目地に注目し、目地材の種類を普通ポルトランドセメント：消石灰（市販品）：標準砂 $=1:0:3$ （＝JIS規格）、 $1:0:4$ 、 $1:1:3$ の3種類の供試体を作成して圧縮試験を行った。その結果、JIS規格のモルタルの圧縮強度は42.2 MPaで、砂を多くしたモルタル41.7 MPa、消石灰入りモルタル17.1 MPaより最も大きかった。石灰入りモルタルは強度・弾性係数とも最も低かった。弾性係数は砂の配合比率が多い方が剛性が大きかった。市販の焼成煉瓦の圧縮強度は、上に示したどのモルタル供試体より大きい。

e) 文献7

煉瓦目地材（モルタル）をセメント：砂 $=1:3$ のJIS規格とし、目地間の剥離強度試験とせん断強度試験を行った。

煉瓦と目地との付着強度は目地材の引張強度 $2.5 \text{ MPa}(=25 \text{ kg/cm}^2)$ の1/5程度であり、せん断強度は剥離強度 0.51 （ $=5.1 \text{ kg/cm}^2$ ）の6倍ほどであった。

f) 文献8

本研究は実存煉瓦造建造物から採取した小型コアサンプルの試験結果から、煉瓦造壁体自体の各種強度を評価する方法を開発することである。煉瓦造建造物は、壁体を煉瓦造とする壁式構造と、架構部を鉄筋コンクリート造とし壁体は煉瓦造とする組積構造に分けられる。地震時には、壁構造では曲げモーメントに対して壁体の自重と煉瓦と目地モルタル間の引張接着強度で抵抗し、水平力に対しては水平目地のすべり接着強度で抵抗する。組積構造では、梁と上階の自重により壁体の鉛直方向の変形が拘束され、壁体に斜めの面内圧縮力が生じその水平成分に抵抗しなければならない。この水平成分は壁体の鉛直方向の圧縮強度と水平目地モルタルのすべり強度特性を把握しなければならない。

今回の研究では、コア試験片・煉瓦二段積み試験片・煉瓦三段積み試験片を作成し、圧縮強度・引張接着強度・すべり強度試験などを行い、①コア試験片の強度試験結果に補正係数を用いると、実大壁体の圧縮強度と目地モルタルのすべり強度特性を推定できる。②煉瓦とモルタルの引張接着特性は、直接引張接着強度試験を行う必要があることが示された。

g) 文献9

我国の鉄道施設への煉瓦の使用は、明治から大正にかけての鉄道網の発展に伴い、石や煉瓦を材料とするトン

ネルや橋梁下部構造物へ多用された。

過去の地震被害事例調査によると、水平方向の切断・横ずれが多く、煉瓦や石材の剥離・崩落、橋脚の転倒・崩壊、橋脚のすみ・水平亀裂、支承部の破損などがある。橋脚の横ずれ・切断形態は、地表面から橋脚高さの1/4～1/5で水平に切断されて横ずれし、貧配合コンクリートの中詰めの打ち継ぎ面に起因していると考えられた。

組積造の数値解析には、鉄筋コンクリート構造の構成則を用い、組積構造を連続体と見なすFEM解析法を進化させた、目地を含む煉瓦積み構造の力学特性を疑似的連続体とした煉瓦構成則を用いるFEM解析法が有効であった。変形特性の正確な評価には、対象構造物ごとに要素試験を行い、煉瓦構成則を規定する軟化特性や構成パラメータを正確に設定する必要があるとしている。

h) 文献10

1903（明治36）年に供用開始された大日影トンネルは、「勝沼タイムトンネル100年構想」のもと、歴史的建造物散策路の一つとして整備されている。①外観観察・たたき調査—煉瓦葺工の30%で、目地やせが確認され、深さは30 mm～100 mmであった。目地やせが著しい所では、煉瓦の欠損や剥落が確認された。トンネル全長にわたり、SLの煤煙の亜硫酸ガスに含まれる硫酸イオンによる黒色付着物があり、20%で白色析出物が確認された。②煉瓦コアサンプルの室内試験—圧縮強度：当時の他の煉瓦積みトンネルと同程度の $4 \sim 7 \text{ N/mm}^2 (=40 \sim 70 \text{ kgf/cm}^2)$ であったが、当時としてもかなり小さい値である。目地モルタルの中性化試験—目地が十分充填された個所では20 mm程度だが、不十分な個所では200 mmに達していた。③煉瓦の剥落防止対策として、含浸性に優れ表面強度の向上が期待できる無色透明の含浸樹脂を適用することを提案した。

7. まとめ・考察

（1）煉瓦の歴史と将来

煉瓦は比較的単純な材料であるので、世界中に広く分布している。古代文明各地の原始的煉瓦には相互の影響関係がはっきりせず、同時発生的な個別の文化伝承の流れや地域差なども加わって独自に広まった。紀元後のローマからヨーロッパ諸地方へ伝えられた焼成赤煉瓦および中国の磚の歴史を見ると、それらは独自に高度なレベルまで進化した。その詳細およびその他の地方での煉瓦の歴史などははっきりしない。煉瓦造構造物は、その時代その地方の歴史・文化などを色濃く刻んでいる文化財であり、多くの人々に愛される適切な補修・維持管理のもとに、後世に伝えていく必要がある。

(2) 煉瓦の品質

煉瓦の材料である土は、あらゆる地点でその含有鉱物や構成分子などの理学的あるいは含水状態や粒度組成などの工学的成分が異なる。また焼成方法などの差によりどのような性能を有する製品になるのかと言ったことも定量的にはっきりしない。

粘性土を 1000℃以上で焼成すれば、赤煉瓦になる。今日では焼成されたレンガを品質区分する JIS 規格もあるが、煉瓦が開発されてからの長年月の間の品質管理はどのように為されてきたのかほとんど判らない。中国の磚も不明なことが多い。黄土を比較的低温の 800℃程度で焼成して造られたが、その色合いは赤でなく黒～灰である。黄土は粒度的には非常に細かいが一般の粘土とも構成鉱物も異なり粘性土とは言えない。焼成温度を 1000℃以上に上げると、どのような色合いのどのような性質を持つ煉瓦ができるか、そのような試行は無かったのか判らない。また地球上で焼成赤煉瓦や磚以外に、他のタイプの煉瓦が発達しなかったのかも判らない。焼成赤煉瓦であれ磚であれ、現存煉瓦構造物から採取したサンプルの圧縮強度などは今日の工学的要求強度と比較してもかなり大きい。また煉瓦のジョイントには過去は石灰などが用いられていたが、ジョイント部を含むコアサンプルの試験結果からも、その接着強度はモルタルジョイントよりはるかに大きい。最近はコンクリート構造物の劣化が著しいことが確認されているが、現存の煉瓦構造物は適切に補修すれば、今後も十分供用・保存していくことが出来ると考えられる。

(3) 窯業とセラミックス

煉瓦は、粘土などの鉱物に人工原料を添加して高熱で焼成して造られる窯業製品であり、この意味ではセメント・ガラス・陶磁器さらにセラミックスと同類である。セメント・ガラス・陶磁器はその製造に当たり、その分野で技術は高度に進歩した。これらはケイ酸塩の天然

原料を主原料とするが、セラミックスはさらに高度に技術開発され、ニューセラミックスやファインセラミックスなどの新素材開発へ繋がった。煉瓦に関しても今後さらに研究開発していく余地がある。

参考文献

- 1) 黄 登文 : レンガを原料とした複合材に関する研究, 日本建築学会関東支部, 第 43 回学術研究発表会, PP. 501~504, 1972.
- 2) 百武 秀 : 福岡地方の古い赤れんがの化学成分, 第 2 報～第 4 報, 福岡大学工学集報 第 77 号～79 号, 2006~2008.
- 3) 永井香織 : 歴史的建造物における煉瓦の物性調査, 日本大学生産工学部第 42 回学術講演会, PP. 117~118, 2009. 12
- 4) 木野淳一 et al. : 既設レンガ構造物から採取したコアの強度試験, 土木学会第 56 回年次学術講演会, PP. 222~223, 2001.10
- 5) 松田芳範 et al. : 既設レンガ部材の力学的性域について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 19 No.1, PP.541~546, 1997
- 6) 岸祐介 et al. : 歴史的レンガアーチ橋を構成する要素の圧縮強度に関する実験的研究, 歴史都市防災論文集 Vol.5, PP.193~200, 2011.7
- 7) 岸祐介 et al. : レンガ構造の剥離強度およびせん断強度に関する実験的検討,
- 8) 劉可 et al. : 既存煉瓦造建築物の壁体の強度試験法に関する研究, コンクリート工学年次論文集 Vol. 25 No.2, PP.1927~1932, 2003
- 9) 渡辺和明 et al. : 石・レンガ積み橋脚の耐震性に関する研究, 大成建設技術センター報 第 39 号, PP. 10-1~10-6, 2006
- 10) 佐崎洋平 : レンガ積みトンネルの健全度調査と対策検討, Civil Engineering Consultant, Vol.233, PP.44~47, 2006.10

(2013. 4. 5 受付)