

◇コラム4 煉瓦を使用した鉄道構造物（大仏鉄道遺産関連）

1 組積法

煉瓦を使用した構造物は、図1に示す“オナマ”と呼ばれる標準寸法の煉瓦を基本とし、“七五” “羊羹”などの端物を適宜使用して構成されている。これらの組み合わせ方を組積法と称し、これまでにイギリス積み、フランス積み、長手積み、小口積みなど様々な方法が工夫されてきた。その選択は、構造部材として強度的に優れていることや、建設時における施工の難易、完成後の美観に優れていることなどを考慮して決定されたと考えられる。

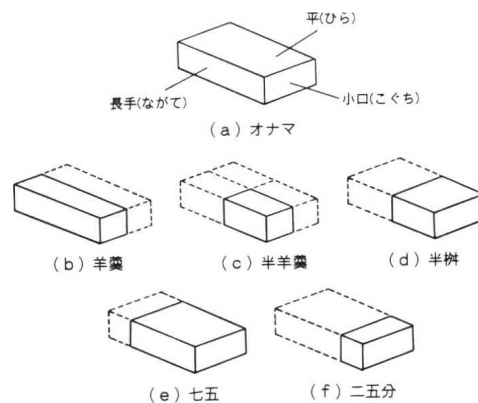


図-1 煉瓦の形

2 煉瓦の組積法とその特徴

煉瓦の組積法のうち、その代表的なものについて特徴を整理すると、下記となる。

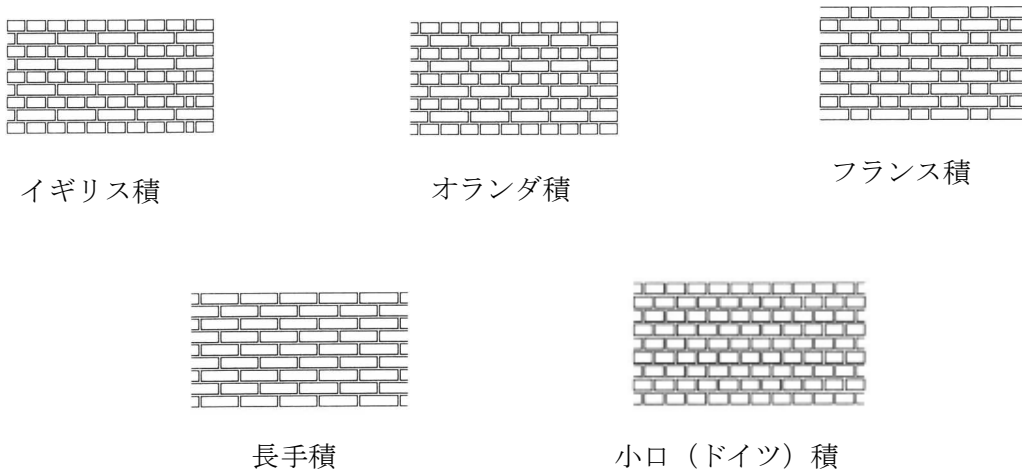


図-2 煉瓦の組積法

(1) イギリス積み(English Bond)

小口のみ^の層と長手のみ^の層が交互に積層する積法で、芋目地ができにくい^{ため}強度的に優れ、また1層ごとに煉瓦の方向が同じで端物をほとんど用いないことから施工性も良いとされたため、多くの構造物で採用された。厳密なイギリス積みは図2のように端部の仕上げに“羊糞”を用いるが、実際の構造物における適用例は^{まれ}稀れで、“七五”により長さを調整したオランダ積み(Dutch Bond)やその変形による場合が多い。しかし、隅石の存在などにより端部の仕上げが必ずしも明らかでない場合もあるため、一般にはオランダ積みを含めてイギリス積みと総称される。

(2) フランス積み(Flemish Bond)

同じ層で小口と長手が交互に並ぶ組積法で、内部に芋目地が生ずる場合があり、また施工にあたっては煉瓦の向きを1個ごとに変えなければならないため施工能率が悪く、端物を多く必要とすることから、イギリス積み^に比べると実用的でない^とされていた。しかし、美観に優れているため、主として化粧積みとして用いられた。解説書では端部の仕上げはイギリス積みと同様に“羊糞”を挟む図が描かれているが、実際には“七五”等を用いて調整する場合が多い。

(3) 長手積み(Stretcher Bond)

長手層のみにより構成される最も単純な組積法で、断面方向ではすべて芋目地となってしまうため、構造部材の積み方としては適当ではないとされた組積法である。ただし、トンネルやアーチ橋のアーチ部分は別で、曲率を持つ部分に煉瓦を積まなければならないことから長手積みが一般的に用いられ、端部は粗迫持によって仕上げられる。

(4) 小口積み(Header Bond)

小口層のみにより構成される積み方で、長手積みと同様、構造部材に用いる積み方としては不適切とされたが、美観上に優れているため、化粧積みとして用いられた。別名ドイツ積みとも称される。

3 組積法の変遷

近代建築の分野では、1877年(明治10年)中期を境にフランス積からイギリス積に移行したとされる。しかし、鉄道構造物ではフランス積み煉瓦の適用は明治20年代～30年代初頭が大半を占め、明治10年代は2例に過ぎず、明治30年代半ば以降は適用例が確認されていない。明治20年代は、いわゆる官設鉄道(国の鉄道)に対して民間資本による私設鉄道の建設が称揚された時期にあたり官設鉄道にほぼ準じながらも独自の規格によるバラエティに富んだ構造物が設計・施工されるようになった。こうした“規制緩和”を背景としてフランス積みのような従来の枠にとられない構造も適用されるようになったと考えられ、鉄道技術にとって明治20年代は多様化の時代と位置付けることができる。

この間、1891年(明治24年)に濃尾地震が発生し、煉瓦構造物の耐震性が問題となるが、これによって破れ目地ができるため強度的に劣るとされたフランス積みが衰退した形跡は認められない。しかし、地震の少ないとされる西日本地域にフランス積みが多く見られ、東日本地域に少ないという傾向は、耐震性をある程度考慮して煉瓦の組積法を選択していたのではないかと解釈される。

明治30年代で鉄道におけるフランス積み煉瓦が途絶してしまう理由は明らかではないが、鉄道建設の伸びが営業距離数の上で、1889年(明治21年)からの10年間に比べ、1899年(31年)から1909年(41年)の10年間は約7割に鈍化している。経済恐慌や戦争の影響も考えられ、また煉瓦に関する示方書や技術基準の整備に伴って、イギリス積みを基本とすることが定着したためと推察される。

4 見学した建造物の組積法(推定)

加茂駅から赤橋まで 1898年(明治31年)

旧加茂駅駅舎＝イギリス積

観音寺橋台＝イギリス積(切石積)

観音寺小橋台＝イギリス積(切石積)

鹿背山橋台＝イギリス積(切石積)

赤橋＝イギリス積(切石積)

奈良^な阪^ら水道計器室＝フランス積 1922年(大正11年)

5 煉瓦積構造物の強度

コンクリート技術の発展に伴い、土木分野においては、煉瓦積構造物は、ほぼコンクリート構造物に取って代わられたと言える。煉瓦は材料特性より、圧縮材としての使用に限定される。そのため明治時代の鉄道構造物では、建築物を除くとアーチ橋、トンネル、橋台が多い。

明治時代に作られた煉瓦構造物は文化財に指定されているものが多数あるが、安全、防災面から耐震性の評価が必要になり、現在も煉瓦構造物の耐震評価の研究が行われている。例えば、煉瓦壁体の耐震性評価の基本強度は、

- (1) 鉛直荷重に対しては煉瓦造壁体の鉛直方向の圧縮強度が必要になる。
- (2) 地震時の構面外水平力に対しては構面外曲げ強度とせん断強度が必要になる。その時の壁体の変形・応力状態は図-3のようになる。図-3(a)のようにRC架構がない場合に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。また図-3(b)のようにRC架構がある場合には、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、壁体内に斜めの面内圧縮力が生じその水平成分が抵抗する。この水平成分を評価するためには、壁体の鉛直方向の圧縮強度、水平目地モルタルのすべり強度特性が必要となる。

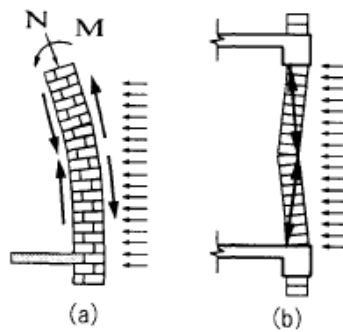


図-3 構面外水平力を受ける時の壁体の変形・応力状態

(3) 地震時の構面内水平力に対する検討では、せん断破壊が支配的になるため、壁体のせん断力が必要になる。

せん断破壊の形式としては、壁の補強筋がほとんどない場合には図-4に示すように3種類の破壊モードに分類される。RC 架構が存在しない場合には壁体に斜め引張りひび割れが発生し破壊する形式 A となる。RC 架構が存在する場合には壁体の斜め引張りひび割れが左右の柱に進展して破壊する形式 B と、煉瓦壁の中央高さの水平モルタルで水平滑りが生じ、左右の柱が曲げ降伏またはせん断破壊する形式 C に分かれる。

破壊形式 A と B の壁体の平均的なせん断強度を評価するために煉瓦の引張強度特性、煉瓦と目地モルタルと引張接着強度特性が必要となる。また、破壊形式 C の場合には煉瓦と目地モルタルのすべり強度特性が必要になる。以上のことから、既存煉瓦造建築物の耐震診断時に調査すべき基本強度としては、壁体の平均的な圧縮強度、煉瓦とモルタルの引張接着強度特性とすべり強度特性が必要になる。

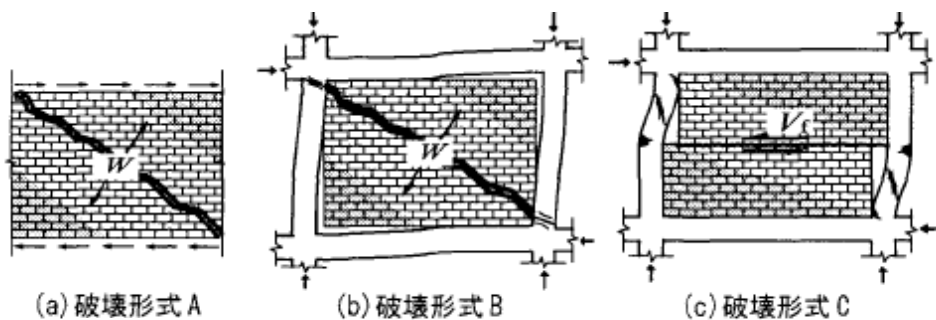


図-4 構面内水平力を受ける時の壁体のせん断破壊形式

6 煉瓦積橋台の内部

大仏鉄道の残された橋台は石積か煉瓦積であり、5.で述べたように現在の強度計算では十分な耐力があるのか、疑問を持った見学者もいた。内部構造がどのようになっているのか残された現物で確認することはできないが、推定する根拠が二つ残っている。

ひとつは、東武鉄道東上線、旧入間川橋梁左岸に1916年（大正5年）建設の煉瓦式橋台が残っている。地上への突出高3.6m、幅7.8m、奥行き4.0mの巨大な煉瓦構造物である。煉瓦の組積法はイギリス積みである。天端には花崗岩で造られた笠石が設けられている。橋台は一種の擁壁（土留め壁）なので、背面には裏込めの土が盛られる。本構造物は裏込め土が除去されているので、壁背面の構造がよくわかる。煉瓦は自重と裏込土の重量で土圧に対抗し、構造的に安定するように階段状に積み重ねられている（根積みと呼ばれる）。



図-5 煉瓦式橋台の内部構造

いまひとつは、大仏鉄道の奈良市佐保川内に残る旧橋脚基礎部分である。現在は川砂に覆われて常時見ることはできないが写真で確認できる。内部まで煉瓦が丁寧に積み重ねられている。

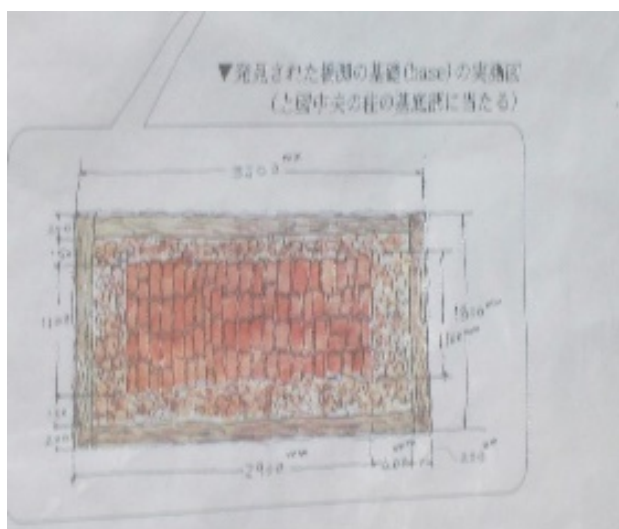


図-6 大仏鉄道の旧佐保川橋脚基礎跡 2007年確認

参考文献

- 1) 小野田滋・清水慶一・久保田稔男：鉄道構造物におけるフランス積み煉瓦の地域性とその特徴、Bull. Natn. Sci. Mus. Tokyo, Ser. E, 19, pp.1-15, December 22, 1996

- 2) 劉 可・塩屋 晋一：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, 2003
- 3)本の万華鏡, 32 鉄道が変えたモノ, コト 2022.10, <https://ndl.go.jp/kaleido/entry/32/3.html#anchor1>
- 4) 気まぐれ旅写真館, 鉄道橋その2, 旧入間川橋梁,
ukadasoft2.sakura.ne.jp/bridges/tetudou/toujyou2/index2.html
- 5) 大仏鉄道佐保川橋脚跡 : http://www.kinet-tv.ne.jp/~sakura_2/nara-1.html#pagetop 佐保川遊山会
<https://ameblo.jp/sahoyamayuzankai/image-11711402953-12759665749.html>

(文責： 祝 賢治 清水文夫)