

P.L.ネルヴィによるサンタ・マリア・デル・フィオーレ大聖堂のクーポラ調査

正会員 ○木村 智*

P. L. ネルヴィ ブルネレスキ クーポラ
フィレンツェ サンタ・マリア・デル・フィオーレ

ピエル・ルイジ・ネルヴィ(Pier Luigi Nervi,1891-1979)はイタリアの鉄筋コンクリートの建設技術の発展に貢献したエンジニア・アーキテクトである。そのネルヴィは1938年にオルヴィエートに飛行機格納庫を建設しているが、設計の過程で斜格子ヴォールト屋根に辿り着いている。それまでの作品ではフィレンツェ市立スタジアム(Stadio Comunale,1932)などのように片持ち梁を水平に並べた屋根構成としていたが、どういった経緯で斜格子ヴォールトに至ったのだろうか。本稿では飛行機格納庫の設計の最中にネルヴィが参加したフィレンツェにあるサンタ・マリア・デル・フィオーレ大聖堂のクーポラの調査を研究対象とする。青木はこの調査について、「構造解析と呼べるほどの作業はなされていない」と述べたが^{※1}、実際の調査はどういったものだったのだろうか。その内実をエツトレ・リナルディ社(Tipografia Ettore Rinaldi)から1939年に出版された調査報告書を用いて明らかにすることを試みる(図1)。

1. 調査の経緯

フィリッポ・ブルネレスキ(Filippo Brunelleschi,1377-1446)が建設を担当したこのクーポラの調査委員会は1934年に発足している^{※2}。1436年のクーポラ竣工後500年の記念事業の一環である。委員会の主なメンバーは6人であり、その中には委員長で議員のロドルフォ・サバティーニ(Rodolfo Sabatini)であり、それ以外のメンバーはトスカナ州歴史的建造物保護官のジョヴァンニ・ポッジ教授(Giovanni Poggi)、フィレンツェ市の建設部長のアレッサンドロ・ジュントーリ技師(Alessandro Giuntoli)、ピエル・ルイジ・ネルヴィ技師、そして建築家のブルネット・キアラモンティ(Brunetto Chiaramonti)がいる。この委員会の目的は以下の3点であった^{※2}。

- 1) 亀裂が生じた後、それ自身で新しい安定した均衡が再確立しているのか、または亀裂を招いた最初の原因はまだ存続しており均衡の状態がいまだに悪化しているのかを確認すること
- 2) 他の原因(地盤の振動および気温の変動に起因する日々の、あるいは季節的な弾性的変形)は、主原因を重くするような影響を与えているのか。もしそうならばどの程度か、またその除去や無害化はどのように可能かを調査すること

- 3) クーポラの静力学的状態に対して歴史的建造物の保存のための補強工事を必要とすることが判明した場合、いかなる適切な助言が可能かを明らかにすること

2. ネルヴィの調査報告内容

一連の調査に対するネルヴィの報告書の末尾に1937年4月26日という日付が付されている。杉綾積みのリブと水平アーチで構成された二重殻構造のクーポラ調査の報告書に示されたネルヴィの関心は、何世紀にも渡って顕著な亀裂を引き起こしている原因を特定することである。それを明らかにするために、クーポラの先端から地下室までの全体の調査を行なわれている。それにより、基礎の陥没が部分的にも起きていないことが確認されている。その結果からネルヴィはクーポラの亀裂がクーポラの迫元と躯体との接合部の疲弊であると予想している。また、その疲弊がスラストによるものと容易に考えられるが、ネルヴィはその仮説について以下3点から否定している^{※3}。

- 1) 最初の亀裂が起こったことにより、圧力に抵抗する八角リングの性能(ブルネレスキが巧みな直感で一連の切石を組み合わせることで増大しようとした性能)が失われたか、大幅に削減されたならば、必然的にこの動きが完全な崩壊まで加速されるはずである
- 2) 荷重つまり応力は現在と同じであったとしても、クーポラが完成直後でモルタルがまだ完全に硬化していないために、応力に対する壁の耐久力が明らかにより小さかった時に、なぜ亀裂が現れなかったのか。その理由が認められない

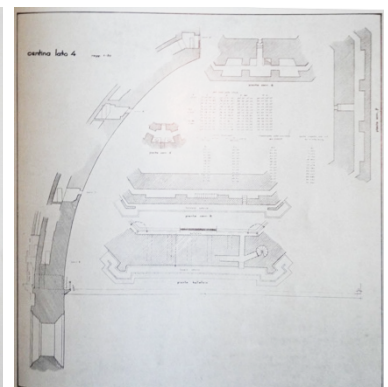


図1『調査と研究』表紙 図2 サンタ・マリア・デル・フィオーレ大聖堂部分断面図

3) なぜいくつかの大理石は以前に観察した時まで、また現在でも明らかに圧縮により発生した破損を示しているのか。それを説明することができない。この破損は亀裂がある瞬間に塞がろうと試みたかのようであり、構造的安定性に起因する拡大傾向と全く矛盾する

それにより委員会は亀裂の主な原因が熱に起因するものであるという新たな仮説を提示している。その仮説を確認するためにクーポラの各部位に機器を設置して、変形の大きさを測定している(図2,図3)。1935年9月から測定が開始されている。10月から亀裂の拡大が進み、計測開始から2mm程度亀裂が広がっている。しかし、1936年5月から気温の上昇に伴って、計測開始時の亀裂の大きさより縮小するという結果を得ている。委員会はその結果から温度変化と亀裂の大きさの変動に関連があるという結論を導いている。

また、委員会は安全性を計算で確認することも検討している。しかし、委員会はこのクーポラが不静定構造物で計算が複雑になるため構造計算を断念している。その代わりにネルヴィは模型実験での解析を提案している。その模型実験では、亀裂がある状態とない状態の屋根架構内の応力を測定することが検討されている。

そして、ネルヴィは亀裂の動きが熱であるということに対して、更なる確証を得なければいけないという前提で、以下のような措置を提案している^{※4}。

- 1) 鉄か鉄筋コンクリート製のリングをクーポラの躯体に設置すること
- 2) クーポラ外部の開口部すべてを二重ガラスとすること
- 3) 内部を断熱材で覆うこと

さらに、ネルヴィはその状態で測定を少なくとも1年間、または2年間継続して行う必要があると述べている。

最後に委員会は大型車両、とくに路面電車の通過によって発生する振動の影響について一連の調査を行なっている。その調査のためにクーポラを支える躯体の基礎部分に路面の振動を測定する機器が設置されている。その測定値だけでは、振動が躯体内部で減衰してクーポラの迫元まで到達しないとは言いきることはできない。しかし、委員会は亀裂がさらに拡大する重大な要因にはならないという見解を示している。

3. まとめ

本稿ではネルヴィが記したクーポラの調査報告書の内容を主に分析した。ネルヴィの報告には構造計算などは

なく、亀裂の大きさの増減を約1年間測定した結果から判断した所見を示したに過ぎなかった。しかし、オルヴィエートの格納庫を設計している最中にこのクーポラを構成するリブの杉綾積みを実際に観察していたことは確認できた。この斜めに積む構法は、ネルヴィがオルヴィエートの飛行機格納庫の斜格子ヴォールトの屋根構成に影響を与えているだろう。また、不静定構造物である構造体を解析する方法として、計算に頼らず模型実験により検討するネルヴィの構造解析に関する方針が明らかになった。クーポラの調査では実際に実現されなかったが、模型実験を導入するきっかけとなるダヌッソ教授との交流がこの調査と関係していると思われる。二人の設計協力がクーポラ調査の以前か、この調査時から開始していることが確認された。以上により、ネルヴィがオルヴィエートの飛行機格納庫の設計の過程でクーポラ調査を行なっており、格納庫の屋根架構を斜格子リブヴォールトにする外的要因の一つと思われる要素が明らかになった。

今後は格納庫の計画案を含めた飛行機格納庫の設計過程と今回分析したクーポラ調査の結果を合わせて考察して、ネルヴィの設計理念について考察を深めたい。



図3 サンタ・マリア・デル・フィオーレ大聖堂のクーポラの亀裂

出典

※1 青木孝義, サンタ・マリア・デル・フィオーレ大聖堂のドームのレンガ造水平アーチの構造的役割について, 長崎大学工学部研究報告, 第22巻第39号, 1992.7, p.172. クーポラ(cupola)はイタリア語でドームのことである。

※2 Rodolfo Sabatini, Opera di Santa Maria del Fiore di Firenze, in Rilievi e studi sulla cupola del Brunelleschi, 1939, p.29.

※3 Pier Luigi Nervi, Considerazioni sulle lesioni della Cupola di S.Maria del Fiore e sulle probabili cause di esse., in Rilievi e studi sulla cupola del Brunelleschi, 1939, p.45.

※4 Ibid., p.48.

図版出典

図1 Rilievi e studi sulla cupola del Brunelleschi, 1939 に掲載

図2 Ibid.

図3 Ibid.