国立西洋美術館本館保存免震レトロフィット

—施工の計画と概要—

大木典雄 —*1 望月茂喜 —*2 伊藤昭浩 —*3
阿部文昭 —*4 小川 修 —*5 保坂陽之助 —*6
秋山 稔 —*7 持田泰秀 —*8

キーワード:

既存建物, 保存再生, 免震レトロフィット, 基礎免震

Keywords:

Existing building, Preservation, Seismic isolation retrofit, Baseisolation

SEISMIC ISOLATION RETROFIT TO PRESERVE THE NATIONAL MUSEUM OF WESTERN ART

—Planning of the construction and its outline—

Norio OOKI —*1 Sigeki MOCHIZUKI —*2 Akihiro ITO —*3
Fumiaki ABE —*4 Osamu OGAWA —*5 Younosuke HOSAKA —*6
Minoru AKIYAMA —*7 Yasuhide MOCHIDA —*8

The seismic isolation retrofit of the main building of the National Museum of Western Art required excavating the foundation ground under the existent building and installing isolation devices beneath the existing footings. Before the installation of isolation devices, it was necessary to construct piles beneath the existing footings in order to support the weight of the building temporarily during excavation process. The piles were made of steel pipe segments, and were driven by oil jacks utilizing the weight of the building for reaction force. During the retrofitting process, the subsidence of the building supported by the piles were monitored and controlled to avoid causing damage to the superstructure.

1. はじめに

免震レトロフィット工事は、米国において、十数件の実績が報告されている。一方、日本においては、近年注目を集め数件の施工事例が報告されているが実績は少ない。このような状況のなかで、コルビュジェのオリジナルデザインを保存する、国立西洋美術館本館の免震レトロフィットにあたり、慎重な検討が行われ無事に工事が完了した。

本報告では、施工計画と、施工上の主な留意点等について述べる。

2. 工事概要

既存建物の基礎構造は、関東ローム層を支持地盤とする直接基礎である。施工での主な課題は、既存基礎下部に新たな免震層を構築し、免震部材を設置することである。図-1に工事断面を示し、表-1,2に建物概要、工事工程を示す。

既存建物の地下断面形状は、地下なしの部分と地下1階の部分とを有する。さらに、地下なしの部分に地下階を増築する部分も計画されている。このため、新たな免震層は1階基礎下部と地下1階基礎下部にまたがる複雑な形状となる。したがって、根切り工事と同様に複雑となる。根切り残土量は約 8500 m³である。

課題の解決のため、基礎下部の根切りに先立ち「仮受け」の工程を計画した。既存の建物を仮に支持する「仮受け」には鋼管杭を採用した。この杭は、建物重量を反力とする圧入工法で施工するものである。

仮受け用の鋼管杭を施工した後は、計画のレベルまで根切り、引き続き「仮受け」の状態では免震層の構築、免震部材の設置、さらに

図-1 工事断面

- *1 建設省関東地方建設局営繕部 営繕監督室長
(〒100-0004 東京都千代田区大手町1-3-1)
- *2 建設省関東地方建設局営繕部 営繕監督室 営繕監督官
- *3 建設省関東地方建設局営繕部 建築第一課 構造係長
- *4 ㈱横山建築構造設計事務所 設計室長
- *5 清水建設㈱東京支店 工事長
- *6 清水建設㈱建築本部技術部 副部長
- *7 清水建設㈱建築本部技術部 主査
- *8 清水建設㈱設計本部構造設計部1部

- *1 Manager, Supervision Section, Government Buildings Dept., Kanto Regional Construction Bureau, Ministry of Construction
- *2 Supervisor, Supervision Section, Government Buildings Dept., Kanto Regional Construction Bureau, Ministry of Construction
- *3 Assistant Manager, 1st. Building Div., Government Buildings Dept., Kanto Regional Construction Bureau, Ministry of Construction
- *4 Chief Engineer, Yokoyama Consulting Engineers
- *5 General Manager, The National Museum of Western Art Retrofit Project, Tokyo Branch, Shimizu Corporation
- *6 Deputy General Manager, Construction Technology Dept., Shimizu Corporation
- *7 Manager, Construction Technology Dept., Shimizu Corporation
- *8 Senior Engineer, Structural Design Dept., Shimizu Corporation

地下階の構築を行った。既存1階・地下1階基礎下部の施工手順計画を図-2に示す。

工事期間中に、既存建物に有害な変位を与えないこと、また作業中の安全確保の管理を行うために、傾斜と沈下についての計測を行った。傾斜の管理は、1階の柱の四隅に設置した固定型傾斜計を用い、沈下の管理には、2階床上に水盛式沈下計を用いた。図-3に測定器の配置計画を示す。沈下量に対する管理値は、 $\pm 3.0\text{mm}$ （スパンに対して1/2000）とした。

表-1 建物概要（新築時）

所在地	東京都台東区上野公園
竣工	1959年5月
延べ面積	3,995.67 m ²
階数	地上3階，地下1階，塔屋1階
構造	鉄筋コンクリート造

表-2 工事工程

	平成8年												9年												10年		
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
準備工事	準備																										
解体工事	土間												ラップル														
土工事													1次														
躯体工事													2,3次														
仮受け工事													増築、免震ビット														
免震部材設置工事													撤去														
設備、仕上げ工事													設置

図-3 測定機器の配置計画図

図-2 既存1階・地下1階基礎下部の施工手順計画図

3. 施工計画

3.1 仮受け

本工事では、鋼管杭の圧入工法を「仮受け」工程に計画した。鋼管杭の圧入工法を選定した主な理由は、①鋼管杭の圧入工法は、数々のアンダーピニング工事で用いられ、実績があり信頼性の高い工法であること、②地盤は地表面から、関東ローム層(N=2)/本郷砂層(N=20)/東京層(N=30)であり、地下水位は、GL-18.0mの東京層にある。この地盤条件から、GL-18.0mの東京層を支持層とする、圧入工法による杭が施工可能であること、③複雑な形状の根切りを安全に効率良く実施できること、④「仮受け」状態での地下階増築があり、深い根切りが必要であったこと、⑤圧入工法の長所として、振動と騒音がないこと、重機を必要としないことである。

3.2 免震部材の設置

既存建物が「仮受け」された状態で免震層を構築した後、免震部材を設置する工程となる。図-4に示すように、新築の免震構造建築物と同様な免震部材周りの設計である。新築工事との差異は、免震階が先にできあがっている状況下にあることである。

既存建物の基礎下端と、新たに構築する免震部材の上部の躯体の接触面に、コンクリートの逆さ打ち継ぎ目が生じる。したがって、施工では、逆さ打ち継ぎ目の処理が必要となる。本工事では、免震部材の上部の躯体を、高流動コンクリートを用いた圧入打設で対応した。

この施工法の採用にあたり、事前に施工試験を行った。施工試験は、逆さ打ち継ぎ目の処理に一般的に用いられる、グラウトによる方法と、高流動コンクリートによる方法の2種類で行った。打ち継ぎ目の空隙率とせん断試験の結果と施工性から、高流動コンクリートによる施工法に決定した。

図-4 免震部材設置断面図

4. 鋼管杭の施工と管理

この鋼管杭は、「仮受け」工程で必要となる仮設の杭であるが、保存する建物に有害な変位を与えないことと、工事の安全管理の上から、最も重要な管理を要するものである。また、杭の配置計画は、施工性を大きく左右する要因でもある。写-1に仮受け状況を示す。

「仮受け」工程を経ることは、工事完了までの既存建物の支持状況が変化することである。すなわち、当初の直接基礎（地盤）から、杭基礎（仮受け用鋼管杭）へ、さらに完了時の免震部材を介した直接基礎（地盤）へと変わる。各支持状況に荷重を移行するさいには、沈下等の変位が各ステップ毎に増大することが予測される。この変位を抑制するために荷重移行の各段階で対策を施す必要がある。

以下に、鋼管杭の施工と管理について述べる。

4.1 配置計画と部材

柱1本あたり平均約240tの荷重に対し、4本の鋼管杭で支持をする計画とした。杭1本の必要支持力は、約60tである。独立基礎については、四隅に配置し、布基礎については、布状に配置した。配置計画を図-5に示す。鋼管部材は、直径355.6mm、厚さ7.9mmである。また、GL-18.0m以深の砂層を支持地盤としている。

図-5 1階基礎下部の鋼管杭配置図

4.2 施工方法

杭圧入の姿図を図-6に示す。基礎梁下に油圧ジャッキ（100t 2台）を設置し、既存建物をジャッキの反力にして鋼管を圧入する。基礎下端から作業床となる根切り底面までの寸法（約1.5～2.0m）により、長さ1.0mの鋼管を順次地盤に圧入する杭を計画した。

圧入は、油圧ジャッキのストロークと同一長さの20cm調整ピースを杭頭にはさんで行う。4個の調整ピースを20cm毎に圧入した時点で、杭体となる長さ1.0mの鋼管を杭頭にのせ溶接により接合する。これらの作業を順次繰り返す施工方法である。

4.3 圧入力と支持力の管理

建物の自重と強度を反力として杭を圧入する工法のため、杭施工時の圧入力を管理する必要がある。圧入力は、建物が浮き上がらない荷重であること、補強された基礎梁の強度を上回らない荷重であること、支持力を確保できる荷重であることが要求される。

本工事での杭1本あたりの設計支持力は、90tである。これは、必要支持力に対して1.5倍の安全率を見込んで設定された値である。圧入荷重は、設計支持力の2倍である180tとした。杭施工時の最大圧入力となる180tを基準に、杭の圧入の順序、反力となる躯体の

補強、油圧ジャッキの選定を行った。これらの計画の妥当性は、現地での試験杭の結果から再検討するものとした。

試験杭での鉛直載荷試験の結果から、降伏点荷重 172t が得られ、長期許容支持力は、降伏点荷重の半分である 86t と判断し、当初の計画が有効であることを確認した。地盤条件が異なること等から、施工途中でさらに 3 箇所の試験を実施し計画との差異の有無を確認した。

杭施工時の管理については、以下のように定めた。

- ・圧入力は、地層により変化はあるが、180t を最大とする。
- ・打ち止め時には、0-180t の除荷再載荷を繰り返し、残留沈下量が 3 回連続で 3.0mm 以内となることを確認し、さらに、その後 110t で 10 分間荷重を保持し、沈下がないことを確認する。

写-1 鋼管杭による仮受け状況

図-6 杭施工要図

4.4 杭への荷重の移行

圧入施工された杭は、除荷したさいにリバウンドが生じる。つまり、この状態のまま、建物の荷重を杭に移行すると建物に沈下が生じる。この沈下を制御するために、施工した杭にプレロードを導入して沈下量の抑制を行った。

プレロードの荷重量は、建物の設計重量 (60t) で決めた。しかし、施工時には、ラップルコンクリートの撤去、躯体の構築等の工程により杭荷重は変化する。このために、杭の軸剛性を求め、許容変位量である 3.0mm 以内での施工の可否を検討した。

杭の軸剛性は、鉛直載荷試験の結果から、約 17 t/mm であった。各工程での荷重変化量は、最大で約 15t であるため、許容変位量の 3.0 mm を満足する値となった。

プレロード荷重の導入は、建物の基礎下と鋼管杭の間に設置 (図-7) するサポートジャッキと、油圧ジャッキで行う。油圧ジャッキを、サポートジャッキの間に設置して、所定のプレロード荷重まで加圧する。加圧して生じた杭の変位をサポートジャッキで拘束することによりプレロードの導入が完了する。

4.5 免震部材への荷重の移行

建物の荷重を杭に載せた「仮受け」の状態で免震部材を設置し、再びこの免震部材に建物の荷重を移行し完了する。

荷重移行のさいには、免震部材に偏りの無い面圧のかかる荷重を与えることが必要となる。このため、免震部材の四隅の杭を同時に除荷することにより免震部材への荷重移行を行った。

サポートジャッキの間に油圧ジャッキを再度設置し、プレロード

荷重と同じ荷重を加圧した後、サポートジャッキを解除して、油圧ジャッキに荷重を移行させる。その後、この油圧ジャッキの圧力を、四隅の 4 台同時に除荷しながら免震部材への荷重移行を行った。

図-7 プレロード説明図

5. 今後の改善点

本工事の施工は、既存建物基礎下での狭くかつ低頭の空間で実施される。この工事の経験から、今後下記の点について、改善に向けての取り組みが必要であると考えている。

- ・振動・粉じん等の作業の改善
- ・狭空間での重労働作業の改善
- ・重量物取扱い作業の改善

本工事では、既存基礎下の根切りには、直動式遠隔操作システム (ALD システム) を用いている。これにより、狭所空間の根切りを遠方からの機械操作により安全な状況で施工を行った。さらに成熟させたいと考えている。

6. まとめ

鋼管杭の圧入工法による「仮受け」を計画した、本免震レトロフィットは無事完了した。コンクリート打ち放し仕上げによる建物を、保存の目的に見合う、補修の必要のない精度で安全に施工することができた。

鋼管杭の圧入工法は既存の要素技術であるが、各工事条件に適した施工計画の立案と施工管理を十分に行うことにより、類似の免震レトロフィットでも適用できることを確信した。

謝辞

本論作成にあたって当時メンバーとして参加されていた、以下の諸氏 (当時の役職名) の御尽力と功績に、感謝の意を表します。
建設省関東地方建設局営繕部 構造係長 森廣 和幸氏

参考文献

- 1) 森廣和幸：国立西洋美術館本館のレトロフィットについて、第 50 回建設省技術研究会論文集, pp.107~112, 1996.11
- 2) 大木典雄, 伊藤昭浩：国立西洋美術館本館のレトロフィットの施工について、関東建設技術研究発表会論文集, pp.145~150, 1997.8
- 3) 森廣和幸, 中村康一, 小川修, 秋山稔, 持田泰秀：圧入鋼管杭の施工挙動に関する研究 (その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp.585~586, 1997.9
- 4) 間瀬敬己：アンダーピン工法, 鹿島出版会, 1995.10.30
- 5) 海老沼弘五, 伊藤昭浩, 中川龍吾, 阿部文昭, 中村康一, 持田泰秀, 秋山稔：国立西洋美術館本館免震レトロフィット, ビルディングレター, 日本建築センター, pp.1~8, 1997.12

[1998年3月30日原稿受理 1998年7月8日採用決定]