



ル・コルビュジエの

想いを受け継ぐ

日本初の免震レトロフィットが支えたもの



国土交通省 関東地方整備局

# 「無限発展美術館」のデザイン



ル・コルビュジェの  
想い

第2次世界大戦後の日仏国交回復を象徴し、西洋美術の変遷を学術的に日本人々に伝える新美術館として、国立西洋美術館本館は、建築家ル・コルビュジェにより設計され、昭和34年に竣工しました。

ル・コルビュジェは「近代建築運動」という顕著な普遍的な価値を有する概念を広め、20世紀における世界中の建築に大きな影響を与えた建築家です。国立西洋美術館本館は、ル・コルビュジェが構想した「無限発展美術館」のコンセプトがいくつも実現された美術館です。また、ピロティ、モデュール（人体寸法と黄金比を基にした美しい空間の寸法体系）など、ル・コルビュジェの設計要素が随所に見られます。



建物中心のホール

建物をピロティの上にのせることにより、建物中心のホールへ到達することを可能にし、美術館の核となる中央のホールに至ります



四角い螺旋状の空間

中央ホールを出発し、螺旋状の展示室をぐるりとめぐります。展示室には見通しのある空間が広がります。

所在地	: 東京都台東区上野公園7-7
敷地面積	: 9,288㎡
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
新築当時	
建築面積	: 1,587㎡
延べ面積	: 3,996㎡
設計	: ル・コルビュジェ
実施設計・監理	: 坂倉準三、前川國男、吉阪隆正、横山不学（構造）、文部省管理局教育施設部工営課（当時）
施工（建築工事）	: 清水建設株式会社
竣工	: 1959年5月

施設概要



# かけがえのない空間を守るために

オリジナル  
デザインの  
継承

来館者の  
安全

歴史的・文化的  
建造物の保存

美術品の  
保護

美術館の  
機能性

平成7年に阪神・淡路大震災があり、数多くの建物や美術品が被害を受けました。

国立西洋美術館本館は、当時、必要な耐震性能の半分以下の性能しかない状態であったため、早急に耐震改修をする必要がありました。

当時の耐震補強技術としては、強度を増すために耐震壁を追加する方法や、粘り強さを増すために柱・梁の補強を行う方法が一般的でした。

しかし、耐震壁を追加したり、柱や梁を補強して太くすると、ル・コルブジエの考えた空間構成が損なわれてしまいます。

耐震改修の  
必要性



## 国立西洋美術館本館等改修検討委員会

委員長：東京大学生産技術研究所教授 岡田恒男  
 委員：東京大学教授 鈴木博之  
 東京芸術大学教授 藤木忠善  
 建設省建築研究所第3研究部長 山内泰之  
 坂倉建築研究所長 阪田誠造  
 前川建築設計事務所長 田中清雄  
 国立西洋美術館長 高階秀爾  
 建設省関東地方建設局管轄部長 清水正輝  
 幹事：建設省建築研究所 上之菌隆志  
 (肩書は当時)

免震先進技術への  
チャレンジ

そこで、建設省関東地方建設局（現：国土交通省関東地方整備局）では、「国立西洋美術館本館等改修検討委員会」（委員長：岡田恒男 東京大学生産技術研究所教授（当時））を設置し、改修方法の検討を行いました。

文化的価値を持つ建築を保存活用するには、「真実性（オーセンティシティ）」を保持することが重要です。

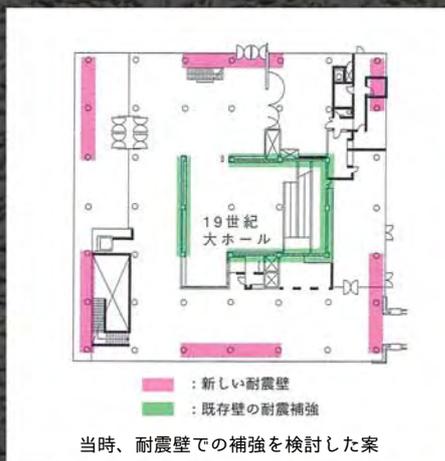
検討委員会と建設省関東地方建設局では文化的価値と耐震安全性を両立する方法として、日本初の「免震レトロフィット」※を採用しました。この決定により、「ル・コルブジエの想い」とともに国立西洋美術館を今も支えているのです。

※レトロフィット：新しい改良を組み込むためになされるデザイン、構造、装置などの変更、改善



免震を使わなかったらこんな空間になっていたかもしれない

当時の検討をもとに、耐震壁を追加した場合のイメージ（2016年7月作成）



耐震壁によりピロティと前庭の連続性が失われます（上図の拡大）

# 日本初の免震レトロフィット

免震構法は新築時に用いることが一般的で、既存建築の改修に応用した例は、当時、アメリカで数件見られる程度で、日本における免震レトロフィットは初の試みでした。

そのため、設計や工事にあたってはこれまで経験したことのない数々の課題に挑戦し、解決していく必要がありました。

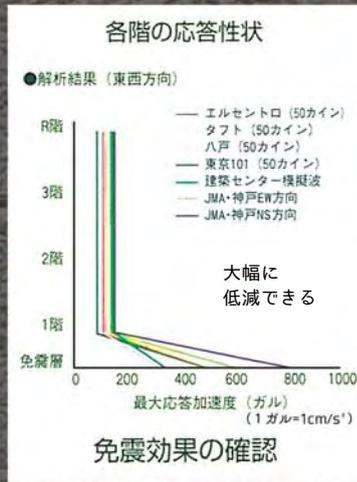
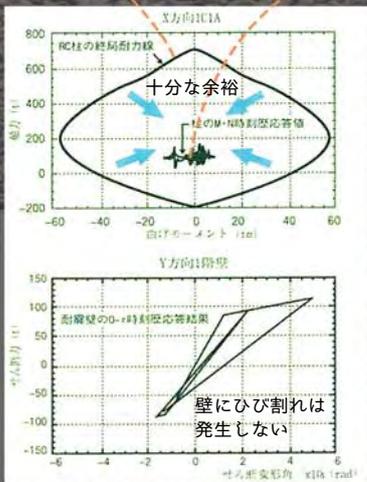
モデュールが損なわれないようにするには、柱・梁・壁の構造部材に手を加えないことが重要です。さらに、国立西洋美術館本館は中央に吹き抜けがあり、部分的に地下があるなど複雑な構造をしています。



改修への応用は  
未経験

コンクリート柱の耐力

地震が起きたときに柱に発生する力

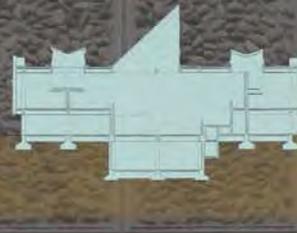
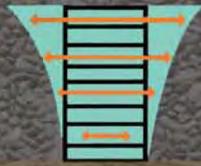


免震レトロフィット改修

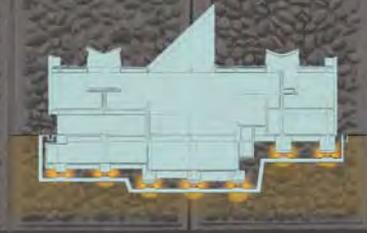
設計・監理：関東地方建設局営繕部（当時）  
株式会社前川建築設計事務所  
株式会社横山建築構造設計事務所

施工（建築工事）：清水建設株式会社  
工期：1996年5月  
～1998年3月

在来建物  
激しく揺れる建物

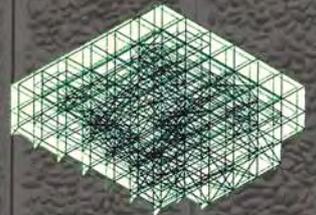


免震建物  
ゆっくり揺れる、壊れない建物



免震装置が地震力を受け流し、ゆっくり揺れる地震に強い建物となる

高度な3次元  
構造設計



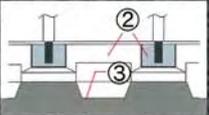
そのため、国立西洋美術館本館では、一般的に超高層建築の設計で使用される各階床位置に質量を集約した質点系振動解析に加え、各々の部材の安全性を確認するため、高度な3次元構造設計を行いました。国立西洋美術館本館では建物の全ての構造部材について3次元でモデル化し、きめ細やかに耐震安全性を確認したのです。

解析の結果、免震構法により地震による建物の応答加速度が大幅に低減されることが確かめられ、美術品への影響も抑えることが可能となりました。実際、平成23年に発生した東日本大震災において、国立西洋美術館の敷地は最大加速度 $265\text{cm/s}^2$ の揺れを受けました。しかし、免震装置が揺れを吸収したことで、建物内の揺れは最大加速度 $100\text{cm/s}^2$ に抑えられ、ほとんど被害がありませんでした。

# 免震工事のすすめ方 - 前半



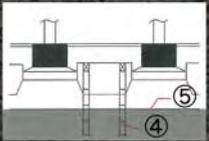
①既存の床を撤去します。



②基礎周辺を掘削します。



③既存の基礎梁を補強します。



④手動油圧ジャッキで鋼管杭を圧入し、建物を仮受けします。



リモートコントロールで掘削する機械

⑤さらに基礎下部を掘削します。



すでに建っている建物の地下を改修するのは簡単ではありません。

まず、既存床の一部を撤去し、基礎のまわりを掘り、地下に作業スペースをつくります。基礎下に免震装置を取り付ける際に建物を一時的に支えるため、その下に鋼管杭を新たに設けます。168本もの杭で建物を地面から支える状態になります。建物側にも大きな力がかかるので、既存の基礎梁も補強しなければなりません。その状態で、基礎の下をさらに掘削し、免震装置を取付けます。

最後に、鋼管杭を切断して撤去すれば完了です。

## 地下改修工事のむずかしさ

通常の杭の工事では、杭を差し込むための穴は地上からスクリーを回転させて掘ります。しかし、今回は床下の工事のため機械を置く十分なスペースがありません。そのため、輪切りにした鋼管杭を床下で継ぎ足しながらジャッキで圧力をかけて順次地中に押し込みました。杭に上からジャッキで順次地中に押し込むのですが、高い圧力をかけた反動でジャッキが浮き上がらないよう、上から強固な支えが必要となります。今回は、支えに建物自体の重さを利用し、コンパクトに杭の工事を行うことが可能となりました。

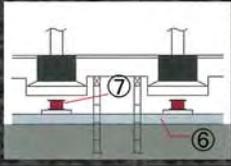
## 建物を傾かせない

建物が傾くと構造部材に有害なひび割れが発生するおそれがあります。そのため、今回は、傾斜計、沈下計で測定しながら、1/1000の傾きに安全率2.0を設定し、1スパン(約7m)あたり3mm以内の沈下誤差に収めるよう工事の管理をしました。

## 工事中の地震対策

工事中に地震が発生する可能性がないわけではありません。基礎が地面と切り離されている時に、地震が発生して建物がずれ落ちることのないよう、その四隅に拘束用の強固な仮設部材を設置しました。

# 免震工事のすすめ方 - 後半



⑥ 免震装置を支える床のコンクリートを打設します。

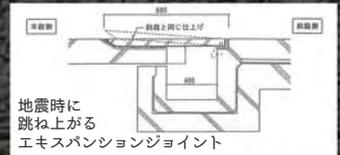


免震化した建物が地震で揺れても、周囲の地面とぶつからないよう建物の周囲には十分な隙間をとる必要があります。その隙間には、普段は人が安全に通行できるよう、上部をパネル（エキスパンションジョイント）でふさがなければなりません。

段違いに2枚のパネルを重ねるのであれば簡単ですが、今回はバリアフリーに配慮するとともに、前庭とピロティの連続的なつながりを断ち切らないようにフラットなものとすることが求められました。

2年近くの時間をかけて、様々な地震に対応できるよう実験を重ね、40cmもの変位に対応できるフラットなエキスパンションジョイントパネルを新たに開発しました。

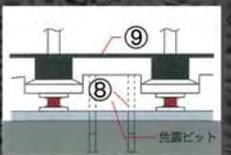
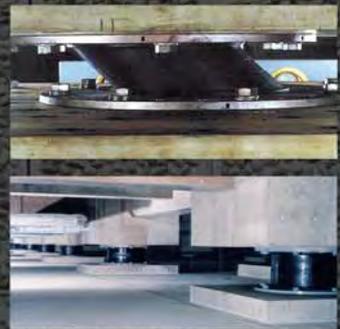
地震の揺れを受け流す



⑦ 免震装置を取り付けます。



免震装置



⑧ 鋼管杭を切断して撤去します。



国立西洋美術館本館の床下では、地面との間で計49台の高減衰積層ゴムによる免震装置が建物を下から支えています。免震装置1台あたり、約140~300tの建物の重さがかかります。

免震装置には直径650mmと600mmの2種類のサイズのものがあり、それぞれ厚さ5.5mmのゴムを36層、5mmのゴムを40層、鋼板と交互に重ねあわせたミルフィーユのような構造となっています。

地震により建物が横方向に40cmずれてゴムの層が斜めに変形した状態でも、建物の自重と地震による大きな力を安全に支えられるようになっています。

⑨ ①で撤去した床をつくります。

