しあわせな建築

国立大学法人 東京工業大学 すずかけ台キャンパス G3棟

（第21回BELCA賞ベストリフォーム部門受賞）

東京工業大学　教授・奥山信一／教授・坂田弘安／教授・元結正次郎／名誉教授・和田章

1．はじめに

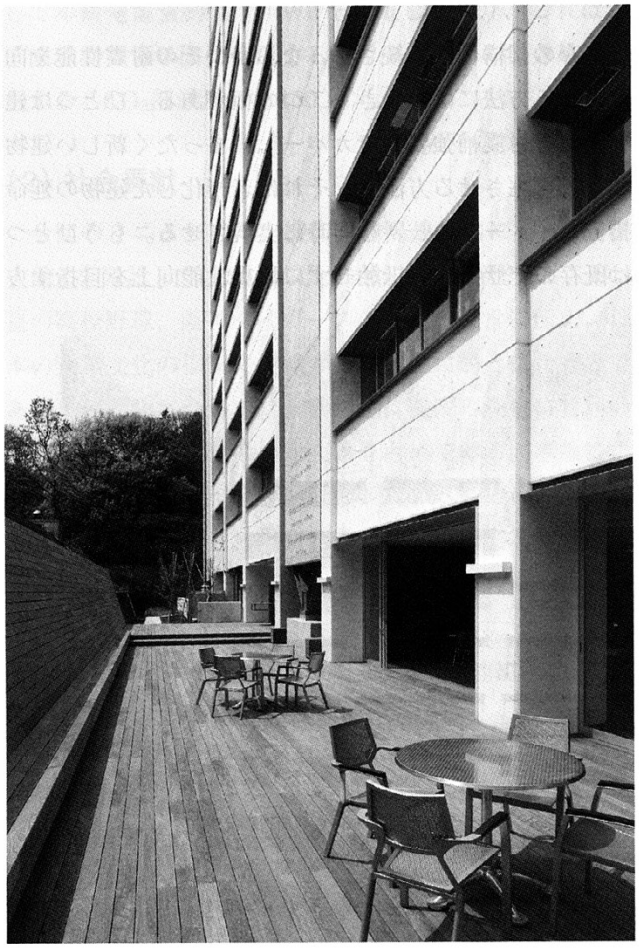
本建物は、1979年に東京工業大学すずかけ台キャンパスに竣工した、地下1階、地上11階建ての鉄骨鉄筋コンクリート構造の研究棟である。1968年の十勝沖地震を教訓として柱の主筋を拘束するフープは適度に入っているものの、新耐震基準（1981年）は満たしておらず、今回、耐震補強を主軸とした全面改修を施すことになった。

2．レトロフィットの方法

既存の架構体を存続させ、なおかつその耐震性能を向上させる方法には、大きく二つの極がある。ひとつは建物全体を耐震補強要素でカバーし、まったく新しい建物として再生させる方法で、それは老朽化した建物の延命措置とイメージの一新を同時に実現させる。もうひとつは既存のデザインに抵触せずに耐震性能向上を目指す方

本建物の正面からの外観

耐震改修に併せて拡張したエントランスホールのラウンジ



ラウンジから見るデッキテラス

法で、それは保存対象建築あるいはそれに相当するデザイン的価値を有すると判断した場合に限定される。しかし、今回は、最小の操作で耐震性能を向上させつつ、なおかつオリジナルデザインの特性を尊重する、第３の方法を試みた。

EVおよび階段室を内包した設備・動線シャフトが、緑の眺望を満喫させる横長水平連窓空間の積層であるメインボディを、主要外壁面より約３ｍセットバックして連結するという、形と機能の明快な構成を持ったモダニズムのキューブがオリジナルデザインの基調であった。高層研究棟の弱点である接地性の希薄化を補完する意味で、外部風景とのコミュニケーションを可能とする横長水平連層は有効であり、なおかつそれ自体が、静謐さを湛えるプロポーションを外観に付与していた。こうした印象が、既存開口部の形状とそこからの視界を一切阻害しない耐震改修案を模索する背景となった。

そこで、脚部をピンとした非自立型ロッキング壁を外壁面のセットバック部に設置するという方法を発案した。この耐震補強メカニズムは以前より構想していたもので、地盤面とはピン接合のため、それ自体では自立しない高強度の鉛直部材が既存ラーメン架構に寄り添うことで、地震時に発生する特定階への変形の集中を防ぎ、オリジナルの架構そのものに潜在的に内在する耐震性能を最大限発揮させることを可能とする。

３．心棒効果としてのロッキング壁

地震時に建物が自らの性能を十分に引き出すためには各構造要素が団結して地震力に抵抗することが肝要であり、「心棒」は各層の動きを制御することによって全層が相互に協力し合い地震力に抵抗する機構を提供する。本耐震補強設計における６本の壁体による心棒効果を解析的に検討した結果が図Ａと図Ｂである。これらは補強前後の状態において３種類の地震力を受けた場合の各層の最大変形（層間変形角）を比較したものである。補強前には、ある層（地震波Ⅱでは２層、地震波Ⅲでは９層）の変形のみが大きくなっているのに対して、補強後には全層にわたって滑らかで小さな変形となっている。このことは、壁体が一部の層の変形（損傷）の進展を拘束することで、各層が協力し合い地震力に抵抗する機構が形成されていることを意味する。

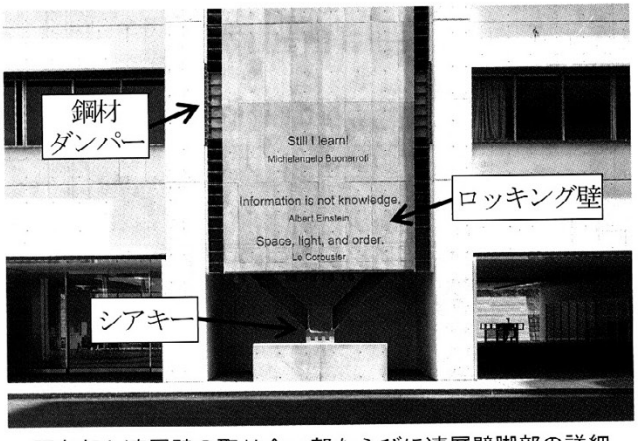
4. 構造エレメント

本耐震補強設計では、心棒効果をもつ構造エレメント（ロッキング壁）としてコンクリート製連層壁を採用した。地震時におけるロッキング壁のひび割れは剛性を著しく低下させ、心棒効果に要求される剛性の保持という観点から望ましくない。このために、壁体をプレストレスト・コンクリート構造とすると共に、壁脚部には壁体がピン支持となるように井桁状の鋳鋼品をかみ合わせたシアキーを採用した。

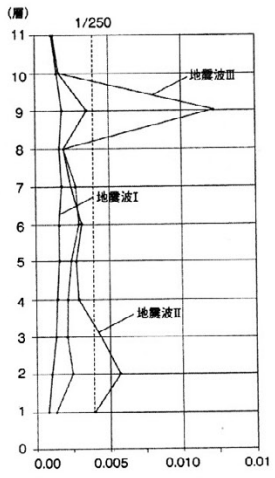
ロッキング壁の両サイドに取り付くダンパーは既存部と壁体間に生じる鉛直変位差を利用して建物に入力されるエネルギーを吸収する。ダンパーの仕様については、詳細解析によって決定すると共に、実験によってその妥当性を検証した。地震後の交換を可能とするため、ダンパー設置部は脱着可能なディテールとしている。

なお、既存部とロッキング壁間の地震時水平力の授受は、各階に設置された水平トラスを介して行われる。この水平トラスは、構造的に不可欠な要素であるが、そこにグレーチングを敷き詰めることで、改修前には各室の窓台に散乱していた空調室外機を集約するスペースとして利用している。竣工時に導入されたセントラル空調システムが研究室単位での活動に対応しきれず、時代の趨勢とともにパッケージエアコンが個別に設置され、建物の美観を大きく阻害する要因となっていたからである。ロッキング壁の背後は基本的に閉じた煙突状の空間である。ここに縦10層にわたって空調室外機を積層させることは、熱交換的に困難な条件であった。今回は、ロッキング壁と既存柱との間に設置された鋼製ダンパー部からフレッシュエアを引き込み、排気は煙突状空間の中央に向かって吹き出し、そのまま屋上まで上昇させるという簡便な方式で、ショートサーキットを生じさせない密

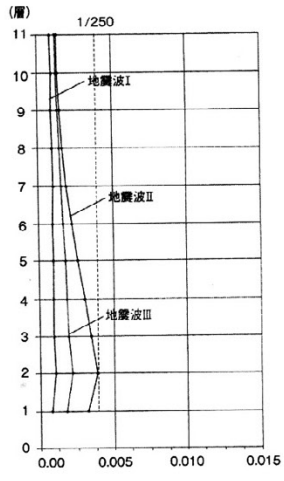
北東側から見た本建物（短辺方向に耐震壁を増築）



既存部と連層壁の取り合い部ならびに連層壁脚部の詳細

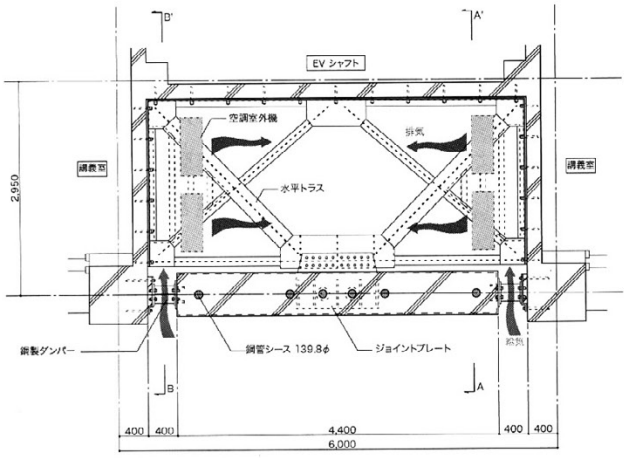


図A　補強前の層間変形角



図B　補強後の層間変形角

閉型空調室外機設置スペースの課題を解決している。構造形式と空調設備方式との直裁な連動は、今回の耐震改修設計の一つのテーマでもあった。

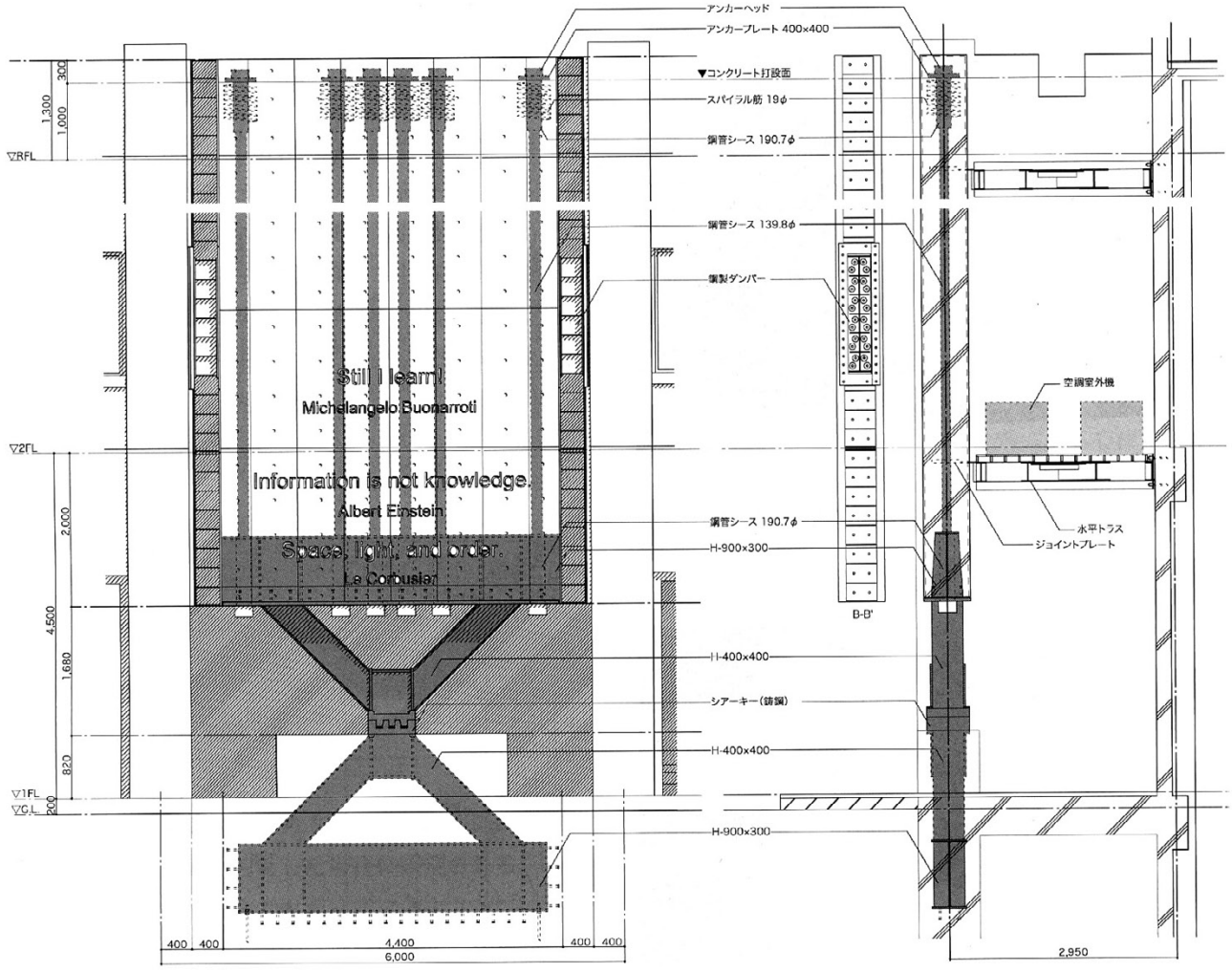


ロッキング壁の平面図

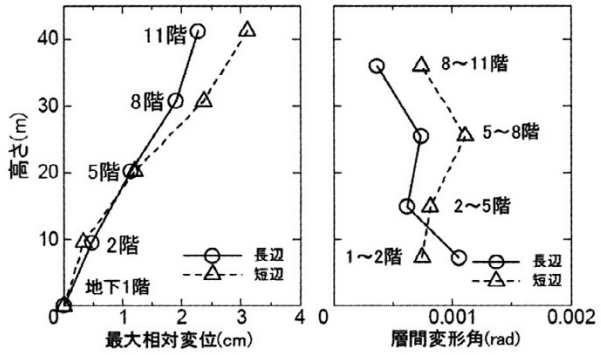
5．2011年東北地方太平洋沖地震での観測とシミュレーションの比較

2011年3月11日に発生したM9.0の東北地方太平洋沖地震（以下、本震）では、すずかけ台キャンパス内で震度5弱程度の揺れが観測された。この地震による本建物の構造的被害はみあたらなかったが、建物上階では本棚が移動したり、本が落下した。

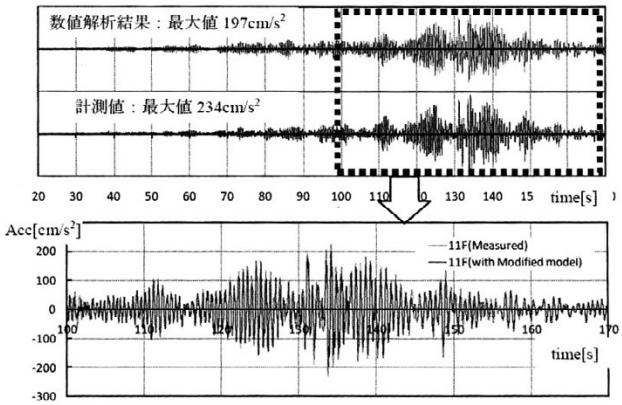
本建物では補強前から地下1階と地上11階で地震観測を行っており、補強後からはさらに地上2、5、8階でも観測を行っていた。本震で観測した加速度記録の2階積分により、地下1階に対する各階の相対変位を求めると、図Cの「長辺」で示したようになった。特定層に変形が集中せずに、最大層間変形角も0.001rad程度に



ロッキング壁の立面図と断面図



図C　東北地方太平洋沖地震時に観測された本建物の最大相対変位と層間変形角



図D　東北地方太平洋沖地震時の観測記録とシミュレーションの比較

収まり、連層壁が心棒効果を発揮していたことを確認した。

さらに、設計時に用いた振動解析モデルを用いて、本震での応答のシミュレーションを行った結果、最大応答値や応答波形を精度良く再現することができた（図D）。

6．おわりに

心棒的効果をもつ一般的な手法として連層耐震壁があり、多くの事例がある。しかし、壁が作られることを想定していない既存建物に11層分の連層壁を付加すると、壁脚部に生じる大きな力で基礎が壊れてしまったり、既存の柱がこの耐震壁のために壊れてしまったりする危険性がある。本建物において壁脚部をピン接合としたのは、基礎への負担を減らし、基礎工事をしない分のコスト軽減という効果もねらったものである。

ロッキング壁による耐震改修方法を適用するにあたり、本建物の場合はセットバックしたくびれ部分にロッキング壁を挿入したが、隣接する建物同士を繋いで、その部分に取り付けるなど、今後さまざまな展開が可能な方式であると考えている。

■建築概要

名　　称：国立大学法人 東京工業大学
　　すずかけ台キャンパス G3棟
所 在 地：神奈川県横浜市緑区長津田町4259
竣 工 年：1979年
用　　途：大学施設
建築面積：985,932㎡
延床面積：11,680,611㎡
構　　造：鉄骨鉄筋コンクリート造
階　　数：地下1階、地上11階、塔屋1階
設　　計：東京工業大学施設運営部＋綜企画設計＋
　　テクノ工営
施　　工：浅沼組／柿本商会／積田電業社