中間階および基礎における免震 レトロフィット工事

—中間階免震対応設備・外壁—

SEISMIC ISOLATION RETROFIT AT MID-STORY AND BASE

—Equipments and wall for mid-story isolation—

田中収司 —*1 大喜多一見 —*3 小山 実 —*5
森 正人 —*2 杉崎良一 —*4 福井克郎 —*6

Shuji TANAKA
Masahito MORI

Kazuaki OOKITA
Ryouichi SUGISAKI

Minoru KOYAMA
Katurou FUKUI

Mid-story seismic isolation method was adopted to a 16 storied SRC building whose seismic resistance capacity turned out to be very poor. The building is the training center of Taisei corporation which was built in 1964. On the eighth floor, columns were cut apart to install isolators. In addition, the vertical shafts like equipment piping, elevator and staircase was slitted horizontally as well as the interior and exterior walls. In case of great earthquakes, maximum 18cm horizontal relative displacement occurs on the isolation floor. Vertical shafts and walls should follow such amount of relative displacement. In this report actual details and performances are described on each system.

キーワード:

既存建築物, 免震レトロフィット, 中間階免震, スイベルジョイント, 免震対応外壁

Keywords:

Existing Building, Seismic isolation retrofit, Mid-story isolation, Swivel joint, Exterior wall for seismic isolation

1. はじめに

耐震診断の結果「耐震性に疑問あり」とされた建築物(大成建設湯河原研修クラブ本館、1964年竣工、16階建SRC造)の耐震改修に、中間階(8階)の柱を切断して免震装置を挿入する“中間階免震レトロフィット”が採用された。この構法では、設備配管、エレベータ、階段などの縦シャフトや内外壁も免震階で切断され、レベル2の大地震時には片振幅で約18cmという大きな層間変位が生ずるため、各部位の機能を維持するために、変位追従のための工夫が施された。

本報告では、中間階免震対応の設備配管・エレベータおよび外壁について、具体的な実施ディテールと性能について紹介する。

てであるため、当社技術研究所の3軸振動台により性能確認実験を行った。加振は次の3種類とした。

- (1)ホワイトノイズ加振(基本振動数特性把握)
- (2)正弦波加振(装置が最大強制変位に追従可能である事の確認)
- (3)地震波加振(神戸波, ELCENTRO波, 八戸波)

この時、配管内圧は10kgf/cm²、試験体は、鉛直方向の配管と水平方向の配管の2種類とした。

計測は、スイベル継手のジョイント部に加速度センサーをとりつけ、X, Y, Z方向の加速度を測定した(図1参照)。

振動台にセットした試験体を写真2に示す。

以上の実験により、正弦波一軸(X及びY軸)及び二軸加振(XY 0°, 90°, 180°), 実地震波による三軸加振いずれの場合とも許容最大

写真1 中間階免震用の配管に適用したスイベルジョイント

2. 設備配管の変位吸収措置

2.1 変位吸収措置

この建物では以下の部分において、設備配管に対し地震時の変位吸収措置を計画した。

- (1)本館8階の中間免震層
- (2)東館基礎下の免震層
- (3)本館～東館のエキスパンションジョイント部

そのうち、本館中間免震階(8階)を縦断する設備配管およびケーブルの種別毎の変位吸収措置を表1に示す。

備考欄に主たる選定理由を上げている。スイベル継手(写真1)を使用したものはコスト面からみても従来多く使用されてきた波形たわみ金属管継手と比較して遜色ない。なお、対応する最大変位量は、余裕を見込んで40cmとしている。

2.2 スイベル継手を使用した変位吸収装置の性能確認実験

スイベル継手による変位吸収装置を免震建物用に使用するの初め

*1 大成建設設計本部設備設計第一部 次長
(〒163-06 新宿区西新宿1-25-1)
*2 大成建設技術本部技術開発第一部 室長
*3 大成建設建築部技術計画部 室長
*4 大成建設営業推進本部耐震推進部 次長
*5 大成建設設計本部構造設計第一部 課長
*6 大成建設横浜支店 作業課長

*1 Engineer, Mechanical Engineer Dept., 1, Taisei Corporation

*2 General Manager, Technology Development Dept. 1, Taisei Corporation
*3 General Manager, Building Technology Dept., Taisei Corporation
*4 Engineer, Seismic Eng., Promotion, Taisei Corporation
*5 Engineer, Structural Engineering Dept. 1, Taisei Corporation
*6 Engineer, Yugawara-Training-Club Retrofit Project, Yokohama Branch, Taisei Corporation

変位に対して滑らかに動くことが明らかとなった。なお、正弦波の振動数は0.4～1.5Hz、変位は±18cm(0.4Hz)～±2cm(1.5Hz)の組み合わせとした。実験では、スィベル継手を組み合わせたアームは18cmの変位に対応するものとした。本建物ではアームを長くすることにより、40cmの変位にも対応できるようにした。

又、多数回の繰り返し変位による耐久性実験も行なった。(XY方向0.5Hz±10cm, 加振時間60分, 繰返回数1800回)

継手部に用いたNBRパッキンについては、テフロンコーティングしたものとしいないものを比較した。テフロンコーティングしないものは、わずかな水洩れが生じたが、テフロンコーティングしたものでは水漏れは全く生じなかった。このため本建物では、テフロンコーティングのNBRパッキンを採用した。

また、配管系の共振振動数は10Hz以上となっており、免震建物の振動数(0.5～0.3Hz)と共振しないことが確認された。

3. 中間階免震対応エレベータ

3.1 中間階免震対応エレベータの必要性

中間階免震では、免震階の上下に生ずる層間変位によってエレベータ昇降路がずれ、ガイドレールが大きく屈曲し、レールが許容応力を超えると共にかごも通過できなくなるため、従来のエレベータをそのまま適用することはできない。

また、免震階を境に低層部用と高層部用のエレベータを別々に設置し、2本のエレベータを乗り継ぐ方式は、利便性の悪さ、所用空間の増大、設備費用の高騰等が問題となる。

そこで、地震を受けてエレベータ昇降路がずれても、全ての階を

1本の昇降路で運行できるエレベータが必要となる。この研究開発は、株式会社日立製作所と共同で行った。

3.2 中間階免震対応エレベータの技術

今回、湯河原研修クラブに採用した中間階免震対応エレベータの概要を図2に示す。

図1 スィベル継手試験体および測定点

写真2 振動台上の試験体

表1 管・線種別変位吸収措置

種別	材質	対処法	備考
給水管、冷却水管	SGP	スィベル継手, 組合せ継手, SGPカニゼンメッキ, テフロンコーティングNBRパッキン	納まり上のスペース重視
温泉給湯管	CU	スィベル継手, 組合せ継手, ステンレス鋼管	納まり上のスペース重視
冷温水管	SGP	スィベル継手, 組合せ継手, SGPカニゼンメッキ, テフロンパッキン	納まり上のスペース重視
消火管	SGP	波形たわみ金属管継手×2本をL形使用	(財)日本消防設備安全センター認定
排水管	SGP	ゴム製可撓継手	内圧がないため縦使い
電力ケーブル	CVT	ケーブルの余長で変位吸収	ケーブルの許容曲率半径の確保に留意
電話・通信ケーブル	弱電ケーブル	ケーブルの余長で変位吸収	ケーブルの許容曲率半径の確保に留意

本エレベータは、免震階の上下に生ずる層間変位を3階分に分散して、レールの曲がりを緩やかにし、レールに生ずる応力を緩和すると共にかごがスムーズに通過できるようにしたエレベータであり、免震階近傍におけるかごのガイド方法およびかごと乗り場との取り合いに関して以下の技術を開発した。

- (1) 昇降路の連続性を確保するため、フレキシブルな昇降路としてかご状の変位分散枠を免震階を挟んで3階にわたって設置する。

変位分散枠は、最上部と最下部を昇降路内躯体に固定する。

- (2) ガイドレールを変位分散枠に取付け、ガイドレールの弾性変形により層間変位に対応させる。これを上方、下方のガイドレールと連結することによりガイドレールとしての連続性を保つ。

- (3) 階床戸と三方枠は変位分散枠に取付け、乗り場とかごの隙間は変位追従機能を持つ乗降口で連絡する。

上記技術の採用により、例えば、免震階の上下で20cmの層間変位が生じて、3階分の高さ(9m)の変位分散枠でこれに対応するためガイドレールの曲がりは緩やかになり、レールに生ずる応力が許容範囲におさまると共にかごもスムーズに通過できるようになる。また、変位追従機能を持つ乗降口により乗降中の安全も十分確保できる。

3.3 安全性

- 1) 耐震性：本エレベータは、レベル1相当(免震階での層間変位10cmを想定)の地震までは、地震後、支障なく運転復帰できる。レベル2相当(免震階での層間変位20cmを想定)の地震では、変位分散枠の一部が塑性化するが、安全上なら問題はなく、地震後の部分的な補修・交換で運転復帰が可能である。

- 2) 乗客の安全性：かごは、レベル2相当の地震時のいかなる挙動に対しても、大きな衝撃や変形を受けず、乗客の安全は十分確保される。

- 3) 安全対策：更に十分な安全性を確保するため、以下の対策を実施している。

・地震管制運転：地震のP波(縦波)による初期微動の到着から、S波(横波)による主要動の到着の間にエレベータを停止させる地震管制運転方式を採用し、昇降中でのかごの脱レールを確実に回避する。P波感知後、かごは1.5秒以内に停止するが、制動 加速度の平均値は0.2G以下であり、乗客の安全は確保される。

・変位管制運転：強風時の層間変位を変位計により直接計測し、運転を規制する。

・脱レール防止強化：二重、三重の安全対策として、レベル2よりも大きな地震時の脱レールを防止するため、かごおよびカウンターウエイトの外れ止めのかかり代の増大および個数の増加、タイバンド(レール間隔保持材)の設置等を行っている。

3.4 エレベータ仕様

今回採用した中間階免震対応エレベータの仕様を以下に記す。

- ・定格積載量 : 800kg 12人乗り
- ・定格速度 : 90m/分
- ・停止箇所 : 15箇所(2~16階)
- ・特記仕様 : 地震管制運転装置および変位管制運転装置

3.5 実証実験

本エレベータの安全性を確認するため、実物の変位分散枠の上半分を模擬した高さ2層分のモデルを使い、静的に強制変位を与え実証実験を行った(写真3)。変位分散枠およびレールについては、ほぼ解析どおりの結果が得られ、かつ、かご枠のスムーズな移動も確認され、本エレベータの安全性を確認することができた。

写真3 中間階免震対応エレベーター実験状況

図2 中間階免震対応エレベーターの概要

4 外壁免震スリット

4.1 設計クライテリア

この建物の外装材の設計条件はレベル1の地震に対しては機能上支障の無い事、レベル2の地震に対しては外壁が脱落しない事である。設計変位量としては、レベル1で±10cm、レベル2で±20cmとした。

水密性については、平常時はもちろんレベル1の地震により±10cmの変位を生じた状態において100kg/cm²の風圧力を受けても漏水しないものとした。なお、外壁の免震用水平スリットの位置は設計GL+27mであるので、設計用風圧力は219 kg/cm²であるが、風と水の同時性を考慮して前記の風圧力を設定した。

耐火性能については延焼の恐れが無い部位であるが、一般性を考えて1時間耐火仕様とした。

4.2 免震対応仕様

上記設計クライテリアに示された要求性能を満足する外壁を開発した。図3にその断面性状を示す。屋外側は、CRゴム製のレインバリアーを設け、その内側にはシリコン製の耐火ガスケットを二重に設けている。レインバリアーと外側耐火ガスケットとの間の空間は屋外と等圧になっており、止水性が高い。また、耐火ガスケットを二重にすることで1時間耐火の性能が確保されている。地震時には、このスリット部分の上下で相対変位が生ずるが、最大20cmの相対変位が生じてもレインバリアーおよび耐火ガスケットは、静的な実験では変位が回復すると破損することなく、元の状態に復元した。

なお、枠ジョイントには耐火シールを使用した。

4.3 水密試験

水密性能を確認するため、枠ジョイント部を含んだ1m×1mのサイズの試験体を製作し、風圧をかけて散水試験を行った。試験体は図3の仕様の試験体1と図3の下部金物枠を屋外側へ10cm変位させた試験体2の2種類とした。試験方法はJIS A 1414（建築用構成材（パネル）及びその構造部分の性能試験方法）に準じて行なった。水密保持期待最大風圧を5分間予備加圧し、その後、試験体全面に一樣に毎分4 l/m²の水量を噴霧しながら下記の脈動風圧

を加えて漏水の有無を調べた。表2に各試験体に加えた脈動風圧と試験結果を示す。いずれのケースでも漏水は見られず、当外壁の水密性能が確認された。

表2 各試験体に加えた脈動風圧と試験結果

脈動風圧	試験体1	試験体2
25 kg/m ² ～75 kg/m ²	漏水無し	漏水無し
50 kg/m ² ～150 kg/m ²	漏水無し	漏水無し
125 kg/m ² ～275 kg/m ²	漏水無し	試験せず

4.4 耐火試験

耐火性能を確認する為、枠ジョイント部を含む50cm×50cmの試験体を製作し、小型耐火炉を用いて加熱試験を行い、裏面温度を計測した。試験方法はJIS A 1304（建築構造部分の耐火試験方法）に準じて、屋外側及び屋内側より1時間加熱試験を行なった。

試験結果は表3に示す通りで、当外壁は、1時間耐火の性能を有していることが確認された。

表3 耐火試験結果

試験内容	屋外側加熱	屋内側加熱
状況	火気貫通無し 残存火気無し	火気貫通無し 残存火気無し
最高裏面温度	103°C	97°C

5 謝辞

免震対応外壁の試作及び試験に御協力頂いた不二サッシ（株）末永部長、タケチ工業ゴム（株）大塚課長を始めとする皆様に厚く御礼申し上げます。

図3 中間免震対応外壁断面図

図4 中間免震対応外壁断面図（変位時）

[1997年6月18日原稿受理 1997年9月1日採用決定]