

でも荒川と隅田川に囲まれた江東デルタ地区は、地盤沈下によるゼロメートル地帯であり、軟弱地盤に住宅、工場が密集し、石油などの危険物が大量に散在し、車の渋滞などからみて大地震による災害規模が極めて大きく、特に火災の危険性が高いと考えられている。

東京都はこうした江東地区の状況を踏まえ、昭和44年11月に「江東再開発基本構想」を策定した。これが防災6拠点構想といわれるもので、図1に示す白鬚(東、西)地区、四ツ木地区、亀戸・大島・小松川地区、木場地区、両国地区及び中央地区の6地区に災害時には避難広場となる防災拠点を建設するとともに、避難路などの整備を行なうものである。これらが完成すると、この地区に居住する約70万人の都民が、30分以内にこれらの防災拠点へ避難できることになる。

2.2 白鬚東地区防災拠点と防災性能強化対策

東京都は白鬚東地区を防災6拠点構想のモデル地区として、「東京都市計画白鬚東地区市街地再開発事業」を、昭和47年9月に計画決定した。

白鬚東地区は図1に示すように、背後に隅田川を控えた約38haの地区で、道路に面して高さ約40mの連続した高層住棟を配置し、これを防火壁として、その内側に約9haの避難広場(平常は公園として利用する)を設ける。このうち、早期着工住棟として、図2に示す第一ブロックと改良ブロックとが完成した。

防火壁としての役割をなす住棟の防災性能強化については、関東大震災級の地震でも防災上の機能が維持できるように配慮されている。その主な内容としては、

- (1) 火災時の熱、気流を考慮して、建物を前面市街地から50m以上離し、高さを40mとする。
- (2) 窓やすきまに防火シャッターを取り付け、更にこのシャッターを熱から守るためにドレンチャー設備(水幕)を設けることにより住棟及び避難広場を防御する。
- (3) 防災設備及び避難生活のために、自家用発電機設備を設ける。
- (4) 耐震性能の目標設定に当たって、地動を設定するために地盤調査と過去の地震動調査を行ない、大地震(震度階6、地動400Gal)に対しても崩壊しないものとする。

また、防災拠点住棟の設備に対しても、特に被震後の機能を重視して耐震性能を設定した。その結果、重要度の高い防災性能機器のうち、動力制御盤、配電盤、空調機、防災用エ

レベーターなどに対して耐震試験を行なって、その性能を確認することにした。

3 防災用エレベーターの所要性能と耐震設計方針

今回納入した防災用エレベーターは、前項で述べた早期着工住棟向けの2台で、その主な仕様を表1に示す。

防災用エレベーターは、通常は一般の人荷用エレベーターとして使用されるが、地震時には防災活動のための運転を行なう。また、被震後の避難生活のための機能を維持する必要がある、そのために耐震性能を強化した。表2に防災用エレベーターの耐震設計の概要を示す。特に、地動(0.25Gのとき)の約5倍の地震動(1.25G)の影響を受けるエレベーター機械室の各機器(巻上機、受電制御盤、フロアコントローラ、調速機)については耐震試験を行ない、地震時での動作及び強度を確認した。

また、ガイドレールの強度については、設置階の床応答加速度の最大値(地動0.25Gのとき、10~14階で1G)に対して、かご又はつり合いおもりがレールから外れないようにレールサイズ及びレールの取付ピッチを選定した。

地震時の防災運転に対しては、3台の地震感知器をエレベーター機械室床に設置し、それぞれの設定値を150Gal、250Gal、400Galとして地震管制運転を行なう。その運転動作を要約すると、

- (1) 機械室振動150Galを検出すると、最寄階に着床し、乗客にかごの外へ出てもらう。
- (2) 機械室振動150Gal以上250Gal未満では特定の人が運転す

表1 防災用エレベーターの主な仕様 通常は人荷用として使用し、被災時には防災用エレベーターとして使用する。

項 目	仕 様
形 式	AC-2SP-PF(人荷用)
速 度	60m/min
積 載 量	1,100kg(15人乗り)
運 転 方 式	シグナル・コレクティブ
停 止 箇 所	1~14階
行 程	38.13m
特 殊 仕 様	地震・火災管制運転付、耐震特別仕様

表2 防災用エレベーターの耐震設計の概要 防災拠点としての性能強化の方針に合わせて、エレベーター各部の耐震性能を強化した。

項 目	内 容
1.機械室設置品の耐震性	補強構造とし、耐震試験実施
2.かご及びおもり側ガイドレールの耐震強度	建物の最大応答加速度(1G)に対し、レールの応力及びたわみを計算 レールサイズ: 24kgレール ブラケットピッチ: かご側2m, おもり側2.5m(タイブラケット付)
3.ロープ、フロアコントローラテープの振れ止め	(1)巻上機及びプーリ部に外れ止め (2)10mピッチで振れ止め設置
4.テールコードの引っかかり防止	レールブラケット部分に保護ワイヤ張り
5.ガイドシューの外れ止め	レールのかかり代40mm以上
6.地震管制運転 (地震感知器をエレベーター機械室に設置)	(1)機械室振動150Gal検出により、最寄階停止 (2)400Gal検出により緊急停止 注: 150~400Galは防災運転として使用



図2 白鬚防災拠点の住棟 完成した早期着工住棟は、関東大震災級の地震に耐えるように耐震設計されている。

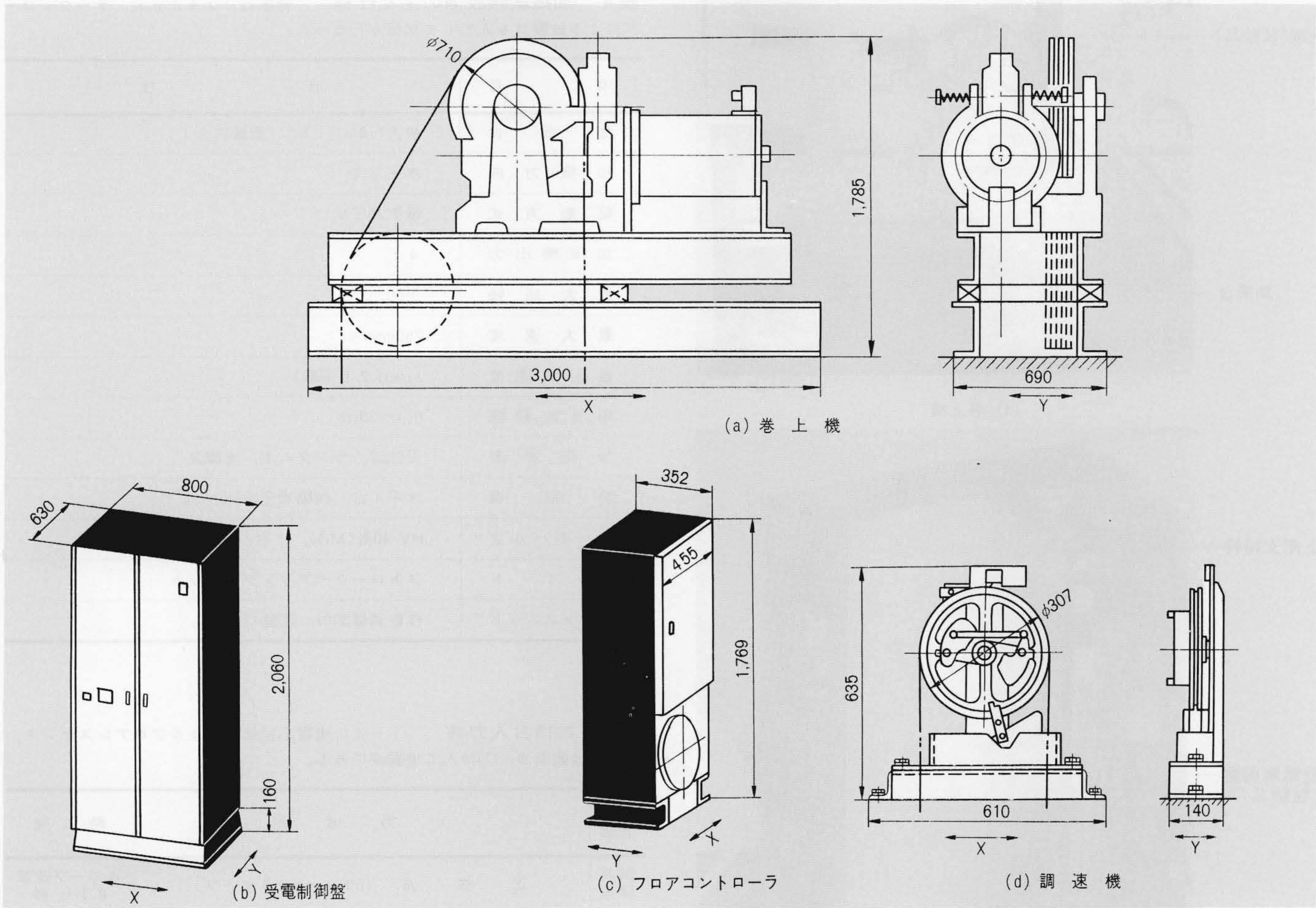


図3 各試験品の寸法形状 各試験品は表3に示す補強品である。

- る防災高速運転(速度60m/min)を行なう。
- (3) 機械室振動250Gal以上400Gal未満では特定の人が運転する防災低速運転(速度15m/min)を行なう。
- (4) 機械室振動400Gal以上を検出した場合はいかなる場合でも緊急停止とする。
- なお、一般のエレベーターで地震感知器を設ける場合は、機械室振動60Gal以上を検出すると最寄階に着床し、点検を行なうようにしているのが普通である²⁾。

表3 試験品の主な機能と補強点 各試験品は地震時に建物との共振がないように補強構造とした。

品名	主な機能	主な補強点
巻上機	電動機をウォーム歯車に直結して、綱車とロープとの摩擦駆動によりかごを昇降させ、ブレーキにより停止、保持する。	防振ゴムの変位による横振れと回転振れとを制限する振れ止めを設け、各部の剛性を高めた。
受電制御盤	速度制御、ドア開閉制御などに必要な接触器、リレー類が取り付けられ、エレベーターを制御する。	箱体、内部機器の取付パネルの剛性を高め、上部を建屋に支持する構造とした。
フロアコントローラ	かごを目的階に自動着床させるなどの電氣的制御や表示灯の点滅などを行なう。	本体下部の剛性を高め、上部を建屋に支持する構造とした。
調速機	過速度を検出して、スイッチを切り、供給電力を断ったり、かご非常止めを働かせて、かごを安全に停止させる。	各部の剛性を高めた。

4 エレベーター機械室設置品の耐震試験

住棟の地震応答解析によって、地動の約5倍の床応答を示すことが推測できる塔屋床に設置するエレベーター機械室設置品に対して、防災用エレベーターとして使用する限界、すなわち地震時管制運転の限界である塔屋床加速度400Galでの動作確認及び耐震性能として定めた最大塔屋床加速度1.25Gでの強度確認を目的として耐震試験を行なった。次にその概要について述べる。

4.1 試験品

各試験品の寸法形状を図3に示す。各試験品は耐震仕様に基づき、地震時に建物との共振がないように補強構造とした。各試験品の主な機能、補強点を表3に示す。これらの設置状態は下部をいずれも床にアンカーボルトで固定する。

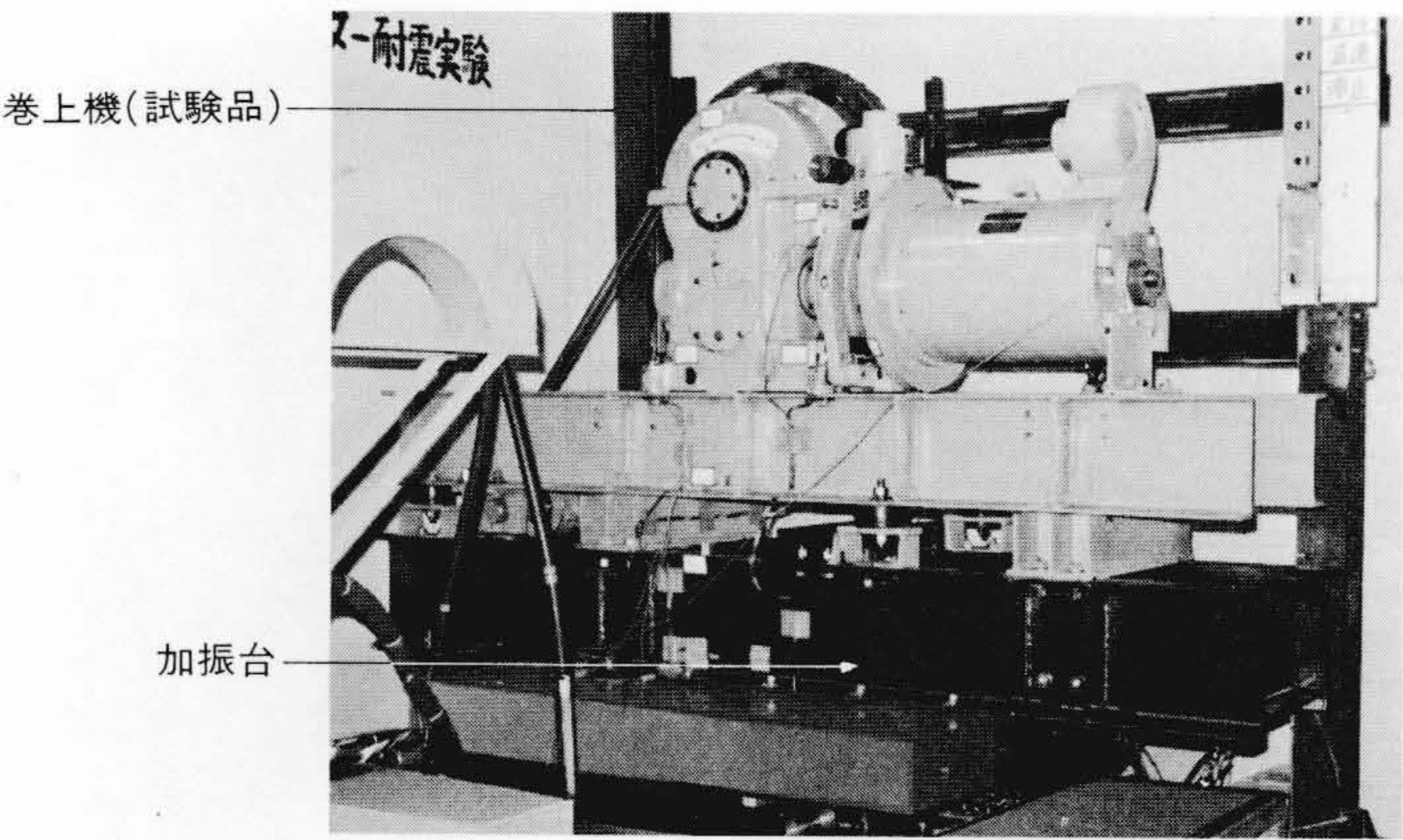
4.2 試験方法

4.2.1 耐震試験設備

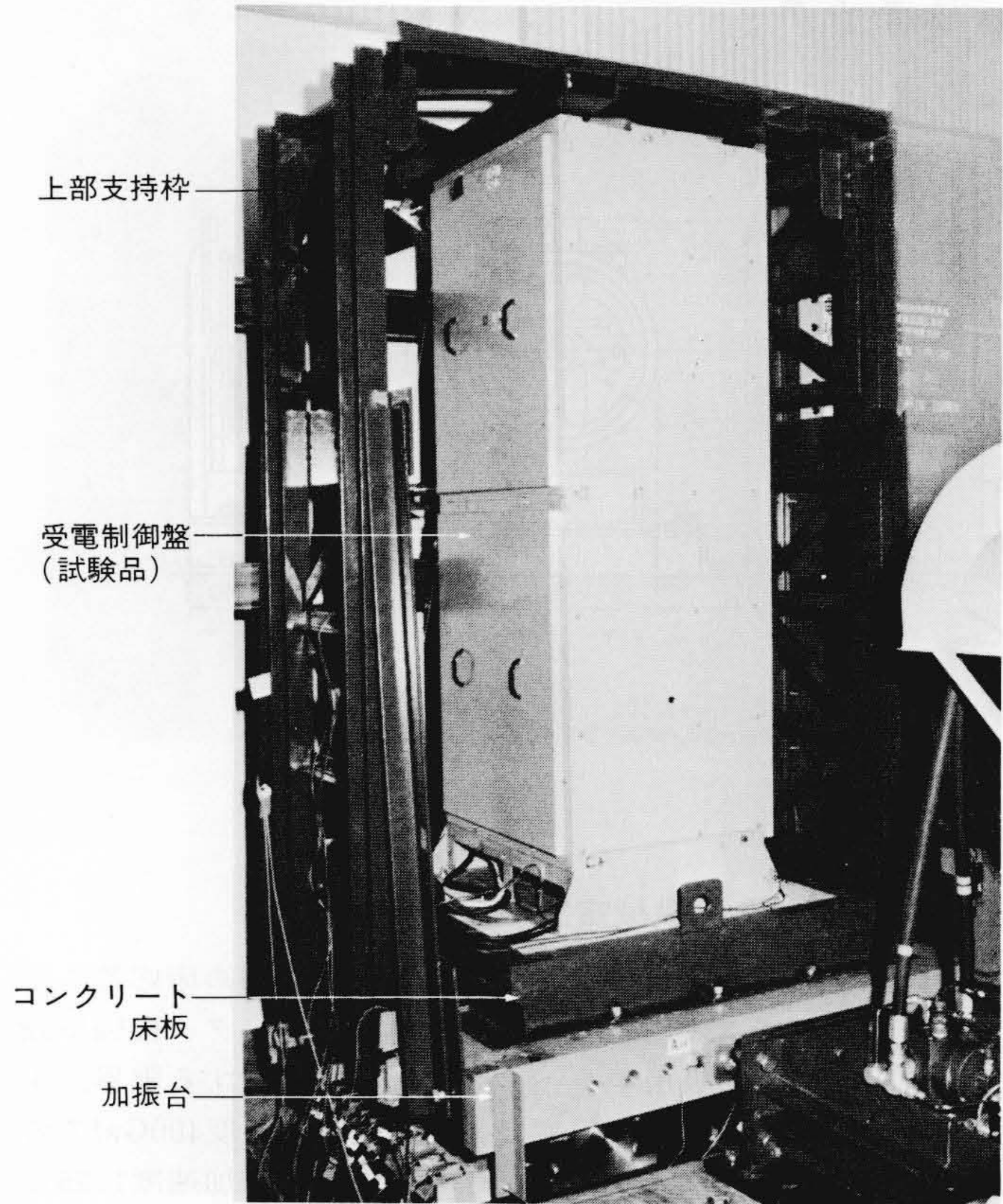
耐震試験設備は、電気油圧式による水平加振振動台を使用した。試験設備の主な仕様を表4に示す。また、図4に巻上機と受電制御盤の加振台への設置状態を示す。受電制御盤は、上部を建屋へ支持するため支持棒を使用した。

4.2.2 加振台への入力波形

加振台への入力波として、表5に示す7波形を使用した。すなわち、試験品の設置位置である塔屋床応答波(フロアレサポンス)及び建物の地震応答解析に用いた地上波で、このうち、エルセントロ波及び八戸港湾波は観測波であるが、白鬚波は株式会社日建設計が作成した人工地震波である。図5に最大加速度500Galでの波形例を示す。



(a) 巻上機



(b) 受電制御盤

図4 試験品の加振台への設置状態 (a)は巻上機で、加振台へボルトにより固定し、(b)は受電制御盤で、下部をコンクリート床板にアンカーボルトにより固定するとともに、上部を枠に支持した。

表4 加振試験設備の主な仕様 発振器による正弦波，データレコーダによる地震波を入力して加振を行なった。

項 目	仕 様
加 振 台	最大1.8m×1.8m，重量約2 t
加 振 方 向	水平方向
駆 動 方 式	電気油圧式
加 振 機 出 力	4 t
最 大 振 幅	±60mm
最 大 速 度	250mm/s
最 大 加 速 度	1.0G(2 t 搭載)
周 波 数 範 囲	0.1～30Hz
加 振 波 形	正弦波，ランダム波，地震波
加 振 機	水平1台，作動油圧210kg/cm ²
サーボバルブ	HV-40形(MB)，1台/加振機
ガ イ ド	ストロークベアリング4セット
ポンプユニット	作動油量300l，流量43l/min

表5 加振台入力波 ①～④に地震応答解析によるフロアレスポンス，⑤，⑥は観測波，⑦は人工地震波である。

項試 目験	入 力 波 形	時 間
試共 験振	正 弦 波 (30Hz→1Hzスweep)	スweep速度 0.1Hz/秒
強 度 保 証 試 験	①エルセントロ波による塔屋床X方向応答波形	10秒
	②エルセントロ波による塔屋床Y方向応答波形	30秒
	③八戸港湾による塔屋床X方向応答波形	20秒
	④八戸港湾波による塔屋床Y方向応答波形	40秒
	⑤エルセントロ波1940年	30秒
	⑥八戸港湾波1968年	40秒
	⑦白鬚波	15秒
確強 認度 試限 験界	正弦波 (共振周波数 $f_r < 20\text{Hz}$ のとき $f_r \text{ Hz}$ $f_r \geq 20\text{Hz}$ のとき 10Hz)	20秒

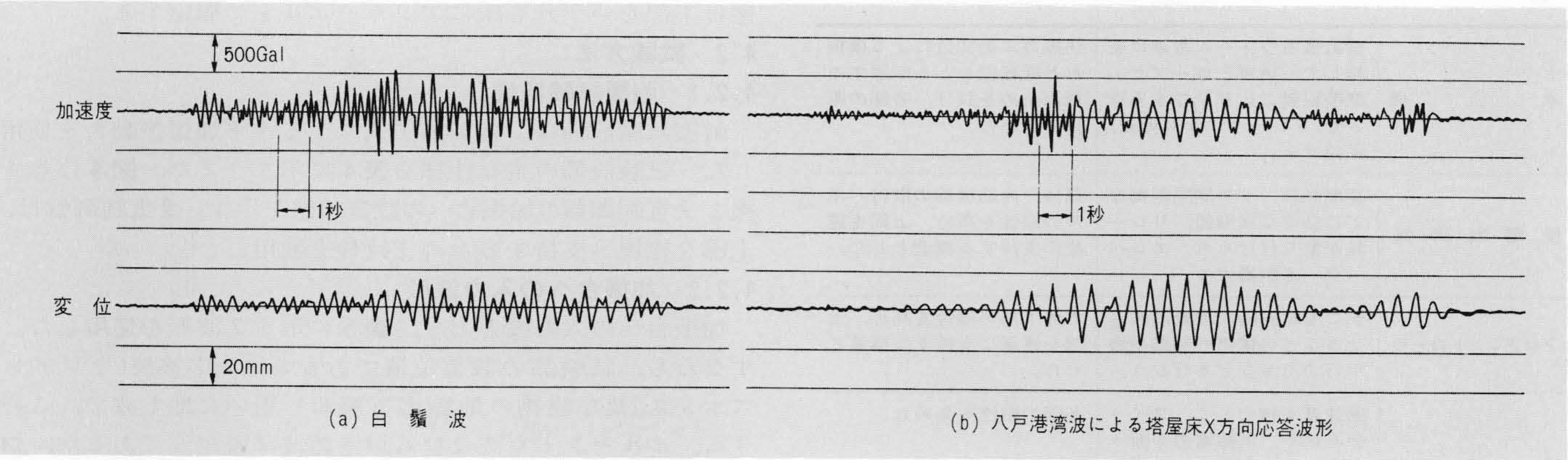


図5 加振台への入力波形の例 (a)は白鬚波(人工地震波)，(b)は地震応答解析によるフロアレスポンスの波形の一例で，最大加速度500Galの場合を示す。

4.3 試験項目

4.3.1 共振試験(試験品停止状態)

入力は、加速度100Galの正弦波とし、周波数を30Hzから1Hzまで連続的に変化させて(スイープ速度0.1Hz/秒)、周波数範囲内の共振周波数(f_r)及び加速度応答倍率(β_r)を求めた。さらに、共振曲線から $1/\sqrt{2}$ 法により減衰定数を求めた。

4.3.2 強度保証試験(試験品運転状態)

入力は表5に示す地震波とし、試験品の動作確認及び強度確認を行なった。各地震波の最大加速度は、防災用エレベーターの地震管制運転限界400Galに対して500Galとした。なお、地震波は試験品の設置位置である塔屋床応答波を使用して入力し、このときの各試験品の加速度応答倍率(β_e)を求めた。更に参考として地上波についても入力した。

また、各試験品の動作を確認するため、次の測定を行なった。

(1) 巻上機

- (a) 駆動綱車(電動機)の回転速度を測定する。
- (b) ブレーキの起動及び釈放動作を行ない、ブレーキ電流を記録する。

表6 強度限界確認試験の加振条件 共振試験により得られた共振周波数(f_r)、応答倍率(β_r)、強度保証試験により得られた応答倍率(β_e)より定めた。

共振周波数	加振周波数	入力加速度
$f_r < 20\text{Hz}$ のとき	共振周波数 (f_r Hz)	① $1,000 \times \beta_e / \beta_r$ (Gal)
		② $1,250 \times \beta_e / \beta_r$ (Gal)
		③ $1,500 \times \beta_e / \beta_r$ (Gal)
$f_r \geq 20\text{Hz}$ のとき	10Hz	① 1,000Gal
		② 1,250Gal
		③ 1,500Gal

表7 耐震試験結果概要一覧表 加振終了後、各試験品について動作試験を行ない、異常のないことを確認した。なお、共振試験での共振周波数の括弧内は標準品の場合を示す。

試験品	加振方向	共振試験			強度保証試験			強度限界確認試験		
		共振周波数 (f_r Hz) 括弧内は標準品	最大応答 倍率(β_r)	減衰定数 (%)	最大応答 倍率(β_e)	最大応力 (kg/cm ²)	動作確認	入力条件	最大応答 倍率(β)	最大応力 (kg/cm ²)
巻上機	Y	9.7 (4.6)	8.5	10.1	2.54	60	回転速度、ブレーキの動作など異常なし	9.6Hz 450Gal	9.68	150
受電制御盤	X	22.3 (13.4)	3.5	12.3	1.33	25	接触器、リレー類の動作は正常で、シーケンス動作に異常なし	10Hz 1,500Gal	1.44	80
	Y	21.8 (24.3)	4.8	10.6	1.32	10		10Hz 1,250Gal	1.43	50
フロアコントローラ	X	26.3 (9.1)	14.6	8.5	1.31	5	作動状態、各摺動接触子の通電状態などの動作に異常なし	10Hz 1,500Gal	1.50	20
	Y	28.5 (10.3)	6.8	8.9	1.19	20		10Hz 1,500Gal	1.52	90
調速機	X	$f_r > 30$ ($f_r > 30$)	—	—	1.13	70	動作状況、動作速度の変化などの動作に異常なし	10Hz 1,500Gal	1.50	175
	Y	35.5 (22.2)	10.1	11.2	1.23	75		10Hz 1,500Gal	1.80	330

(2) 受電制御盤

シーケンス動作を行ない、リレー類の投入、しゃ断の状態を回路電流により記録する。

(3) フロアコントローラ

固定接触子と可動接触子との接触電流を通電電流により記録する。

(4) 調速機

(a) 定格速度で、電気接点の接触状態を通電電流により記録する。

(b) 加振時での動作速度を測定する。

4.3.3 強度限界確認試験(試験品停止状態)

入力は表5に示す正弦波とし、試験品の強度確認を行なった。表6に加振条件を示す。加振時間は20秒とし、加振終了後、各試験品の動作確認を行なった。

4.4 耐震試験の結果

表7に耐震試験の結果をまとめて示す。加振条件は4.3項に述べたとおりで、強度保証試験、強度限界確認試験での結果は、最大入力500Gal及び1,500Gal相当の場合を示す。

4.4.1 共振試験の結果

各試験品の共振周波数(f_r)、加速度応答倍率(β_r)及び減衰定数を表7に示す。共振周波数について標準品と比較するといずれも高くなっており、補強効果が明らかである。

巻上機は建屋への振動絶縁のため防振ゴムで支持しているので、比較的低振動数で共振を示し、図6の共振曲線に示すように二次、三次の共振も見られる。しかし、補強構造として水平動を拘束する振れ止めを設けたことにより、一次共振周波数は9.6Hzとなり、建物の三次固有振動数8.4Hzより大きく共振することはないといえる。

受電制御盤、フロアコントローラでは、箱体自体の共振が全体の振動性状を支配しているが、図7の受電制御盤の共振曲線に示すように内部機器の取付部応答倍率が大きく、このような箱体の内部の耐震性についても十分注意する必要がある。また、箱体の上部を支持することにより、共振周波数を高くでき、有効な補強手段である。

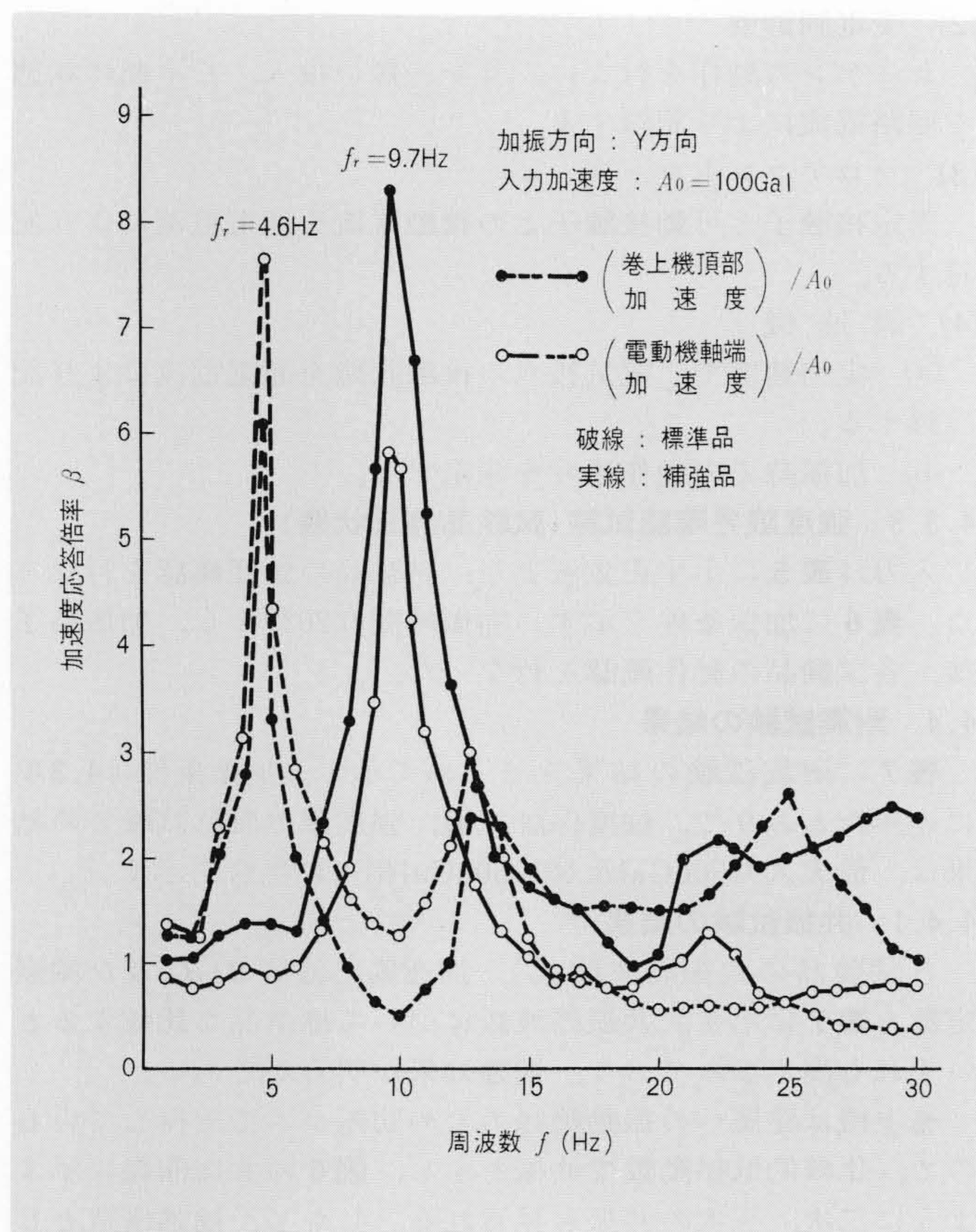


図6 巻上機の共振曲線 補強構造とすることにより、共振周波数を建物の三次固有振動数8.4Hzより高くできた。

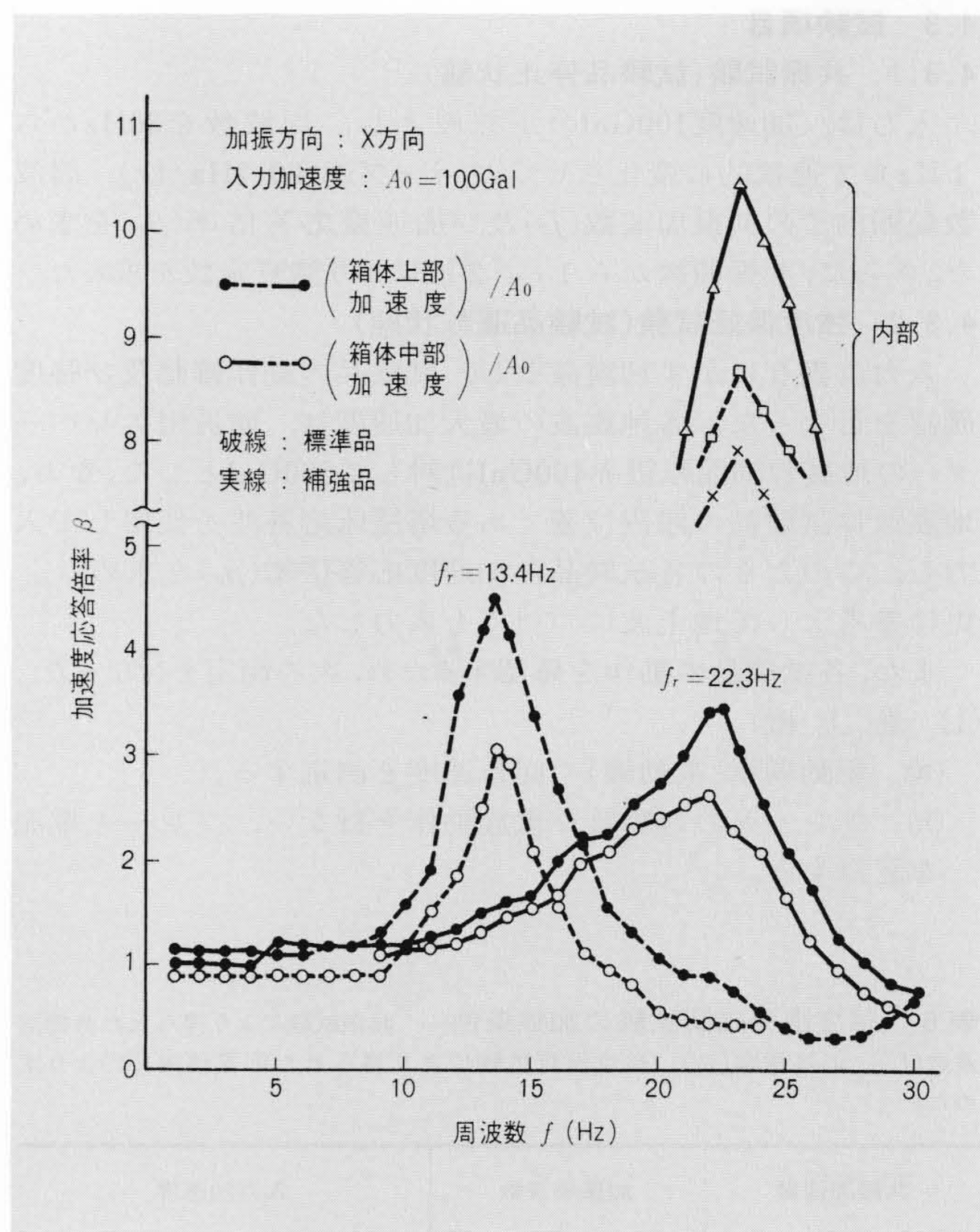


図7 受電制御盤の共振曲線 箱体の上部を支持することにより、共振周波数を高くできた。

調速機では、共振周波数は30Hz以上にあり、十分に剛であった。

4.4.2 強度保証試験及び強度限界確認試験の結果

(1) 動作確認の結果

強度保証試験で設備機能を確認するため、各試験品の動作時に地震波を入力し、次の試験を行なった。

- (a) 導通試験(電気回路)
- (b) 動作試験(リレー試験、ブレーキ動作)
- (c) 緊急停止試験(地震感知器連動試験)
- (d) 速度試験(巻上機、調速機の回転数)
- (e) 目視観察

また、強度限界確認試験の終了後でも上記の確認を行なったが、誤動作、不動作及び性能の差異などは認められなかった。

(2) 強度確認の結果

各試験品の強度を確認するため、表5に示す地震波を500Galまで、また、正弦波(振動数を10Hzとして)を最大1,500Galまでを加振台入力として加振した。巻上機については、共振周波数が9.6Hzであるため、表6により正弦波300Gal(塔屋床応答1.0G相当)、375Gal(塔屋床応答1.25G相当)、450Gal(塔屋床応答1.5G相当)を加振台入力として加振した。

この試験の結果、各試験品とも正弦波1,500Gal(振動数10Hz)で最大応答を示し、試験品の上部で約1.5倍(2.2G程度)を記録したが、試験品の変形及び溶接部のき裂などは認められなかった。巻上機では、共振周波数の正弦波450Gal加振時に、巻上機上部で9.68倍(4.4G)を記録した。このとき、巻上機本体の最大応力は150kg/cm²であり、異常は認められなかった。

5 結 言

東京都・白鬚防災拠点向けに納入した防災用エレベーターについて、その背景、耐震設計方針、及び耐震試験の概要を述べた。特に、地動の5倍の加速度の影響を受けるエレベーター機械室設置品(巻上機、受電制御盤、フロアコントローラ、調速機)に対して、共振試験、強度保証試験(地震波500Gal)、強度限界確認試験(正弦波1,500Gal)を行ない、動作及び強度の上で異常がなく、所要性能を満足することを確認できた。

防災用エレベーターは、防災運転機能のほかに、被災後も使用可能であるように耐震性を強化したものである。最近の伊豆大島近海地震、宮城県沖地震などでの建物や諸設備の被害状況をみると、被災後にエレベーターがいち早く機能を復旧することの必要性をあらためて認識することができるが、この防災用エレベーターの研究、試験により、建物の耐震設計方針に見合ったエレベーターを提供する上での多くの示唆を受けることができた。

終わりに、この防災用エレベーターの設計製作及び耐震試験の推進に当たり、終始懇切な御指導、御協力をいただいた東京都建設局、東京都江東再開発事務所の関係各位及び防災設備耐震性能調査委員会の委員各位、並びに株式会社日建設計の関係各位に対し、深く感謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 東京都、日建設計、白鬚東建設協力会：白鬚東第一地区市街地再開発事業施設建築物工事 都営住宅50H-3101(白鬚東)工事 計画説明書(昭50-10)
- 2) 日本エレベーター協会標準JEAS-405A：昇降機防災対策標準