

E-ディフェンスによる電気通信機器の耐震性の検証 — 実物大の建物を用いた加振実験 —

Verification of Seismic Resistance of Telecommunications Equipment by E-Defense — Excitation Experiment Using a Full-Scale Building —

小野 俊次 中本 進士 牟田 潤 濱田 廣延
Toshitsugu Ono Shinji Nakamoto Jun Muta Hironobu Hamada

菅村 博文 大川 正晴
Hirofumi Sugamura Masaharu Okawa

技術論文

要 旨

当社は、一般社団法人建設電気技術協会が実物大建物の振動実験に参加し、「建物に設置した電気通信機器の加振実験」を実施した実験に参加した。実験には「E-ディフェンス」と呼ばれる世界最大規模の三次元震動台による加振装置が用いられた。加振実験の結果、電気通信機器および機器を建物に固定する「あと施工アンカーボルト」に損傷はなく、試験体の床や機器に生じた加速度の最大値はおおむね「電気通信設備工事共通仕様書」（令和3年版 国土交通省大臣官房技術調査課電気通信室）が定める基準値内であり、現行の電気通信機器の据付方法が妥当であることが確認できたので報告する。

Abstract

The Association of Electricity and Telecommunication Engineering for Land and Infrastructure participated in the excitation experiment of a full-scale building, and JRC participated in the experiment in which the “excitation experiment for telecommunications equipment installed in a building” was conducted. In the experiment, an excitation facility called “E-Defense”, which is the world’s largest three-dimensional shaking table was used. As a result of the excitation experiment, there was no damage to the “post-installed anchor bolt” that installs the telecommunications equipment to the building. The maximum values of acceleration generated on the floor and equipment of the test specimen were generally within the standard values specified in the “Construction Common Specifications for Telecommunication Facilities” (2021 edition, Electricity and Telecommunication Office, Engineering Affairs Division, Minister’s Secretariat, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism), since JRC could confirm that the current installation method of telecommunications equipment is appropriate, it will be reported.

1. まえがき

地震大国である我が国において、各種設備に係る耐震基準の規定および整備は社会的にも重要である。電気通信機器の据付設計および施工の耐震基準は「電気通信設備工事共通仕様書」に規定されており、この基準図書は震度7が観測された「平成7年兵庫県南部地震」、「平成19年新潟県中越沖地震」、「平成23年東北地方太平洋沖地震」などの被害調査結果をもとに逐次整備されてきた。大規模震災の発生が各地で予見される昨今においては耐震基準に対するより高度な妥当性検証の必要性が高まっている。

防災行政の基幹通信網である「多重無線通信システム」、「地域衛星通信ネットワーク」、「都道府県・市町村デジタル移動通信システム」などの通信インフラの高い耐震性の構築および保証は、防災減災機器の製品メーカーとしての社会的責務である。この取り組みの一環として、世界最大規模の加振装置を使った耐震実験を実施し、その結果を検証⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾したので、本稿において詳細を述べる。

2. 電気通信設備の耐震基準

建物に設置する電気通信機器の耐震基準について、電気通信設備工事共通仕様書では次のように規定している。

基準入力加速度を 3.92 m/s^2 とし、建物の設置階に対する床応答倍率 K 、機器応答倍率 A_{mh} により、各階に設置した機器の据付水平力を求める。

・据付設計水平力 F_{SH} は(1-1式)より求める。

$$F_{SH} = Z \times K_{SH} \times W_G \dots\dots\dots (1-1式)$$

ここで

$$K_{SH} = G_0 \times K \times I_i \times A_{mh} \dots\dots\dots (1-2式)$$

- ・ Z : 地震地域係数 (原則として1.0とする)
- ・ W_G : 機器質量
- ・ F_{SH} : 設備重心に作用する据付設計水平力 (N)
- ・ K_{SH} : 据付設計水平入力加速度 (m/s^2)
- ・ G_0 : 基準機器水平入力加速度 = (3.92 m/s^2)
(建物1階床に作用する水平有効加速度)
- ・ K : 建物の床応答倍率

(1階および地階：1.0, 中間階：1.8, 上層階・屋上：2.5)

- ・ i_i : 電気通信設備の重要度係数
(重要機器A：1.2, 重要機器B：1.0, 重要機器C：0.8)

- ・ A_{MH} : 電気通信設備の水平方向応答倍率

(一般に2.0以下の機器にあっては最大値の2.0を用いる)

本稿で述べる実験は、電気通信機器（以下「被試験機器」）を加振した際に機器に作用する加速度を測定し、上記のK（建物の床応答倍率）や A_{MH} （電気通信設備の水平方向応答倍率）などの耐震基準算出係数との整合性を検証して耐震据付設計および耐震据付施工の妥当性を確認することを主目的とした。

3. 実験

3.1 実験施設の概要

加振実験は、兵庫県三木市にある実大三次元震動破壊実験施設（通称「E-ディフェンス」）において実施した。震動台に構築した鉄筋コンクリート造5階建ての建物（以下「試験体」）に被試験機器を設置し、試験体を加振した際の被試験機器の挙動と課題の検証が実験の目的である。

E-ディフェンスに設置した試験体の様子を図1に示す。

試験体は幅12 m×奥行6 m×高さ17.6 m、質量約460トンに達する巨大な構造物で、被試験機器に対するこのような大規模かつリアルな試験は、設計や施工の妥当性の検証のみならず、想定外のリスク抽出も含む貴重なデータの取得も可能な試験体として製作された。

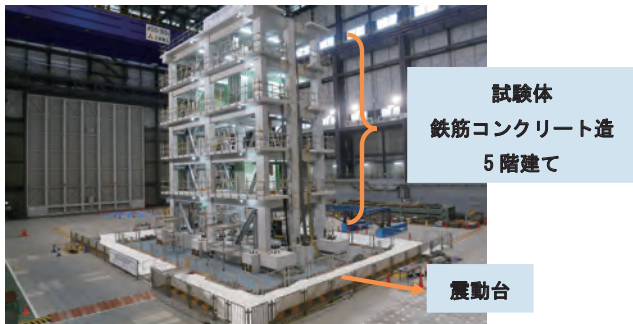


図1 E-ディフェンスに設置した試験体
Fig.1 Test specimen installed in E-Defense

3.2 被試験機器の概要と設置

被試験機器は、仕様や機能に応じた固定方法により試験体に設置する必要がある。被試験機器の名称、寸法、質量、固定方法、設置階を表1に、設置状況を図2に示す。

表1 試験体に設置した被試験機器の概要

Table 1 Outline of the equipment under test installed on the test specimen

被試験機器	寸法 (W×D×H) (mm)	質量 (kg)	固定方法	設置階
多重無線通信装置	520×250×2300	150	上下固定	1階・5階
サーバラック	700×1117×2000	329	下部固定	1階・5階
19インチラック	700×700×2000	287	下部固定	5階
標準ラック	570×630×1750	186	下部固定	5階
天吊モニタ	1050×80×700	36	天井吊り	1階
監視・記録カメラ	280×87×101	0.8×8台	床に固定	1階・5階
LED灯具	1200×89×76	3/灯	天井直付け	各階4灯

設置階が異なる同一機器の振動特性を比較して建物の振動特性を把握し、耐震据付施工の妥当性を検証した。



1階 サーバラック, 多重無線通信装置



1階 天吊モニタ（画像の飛散防止措置後）



5階 多重無線通信装置, 標準ラック, 19インチラック, サーバラック

図2 各階に設置した被試験機器

Fig.2 Equipment under test installed on each floor

3.3 計測方法の概要

各機器の筐体に加速度計, 変位計 (加振による機器の変位量を計測), アンカーボルト軸力計 (機器を固定するアンカーボルトに掛かる力を計測) を設置して計測を行った。加速度計および変位計は筐体の複数部位に設置した。試験体への被試験機器の固定方法および各機器への計測器の設置部位を図3に示す。

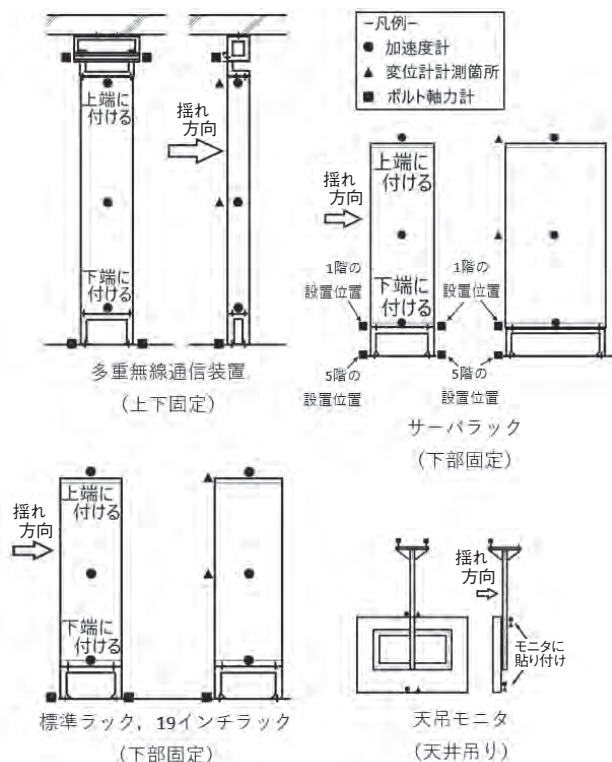


図3 被試験機器の固定方法および計測器の設置部位
Fig.3 Fixing methods for equipment under test and installation positions for measuring instruments

4. 実験結果

4.1 加振実験結果

震動台の加振強度を告示波 (平成12年建設省告示1461号による) に対し, 耐震試験における標準的な設定値である60~150%とし, 延べ7回 (1回につき約1分間加振) 実施された。

1階と5階の床応答加速度の計測値は以下のとおりである。

- ・1階: 3.5~7.0 m/s²
- ・5階: 5.0~13.6 m/s²

実験結果の概要は以下のとおりである。

- ・全ての被試験機器において損傷や開扉などの挙動は生じなかった
- ・アンカーボルトや被試験機器の架台の損傷および機器固定ボルトやアンカーボルトの緩みは生じなかった
- ・監視・記録用CCTVカメラの映像乱れおよび各階の室内照明用LED灯具のチラツキは生じなかった

4.2 現行耐震基準値と加振実験結果の比較

(1) 建物の床応答倍率

建物の床応答倍率とは, 加振実験による1階の床応答加速度に対する各階の床応答加速度の比率 (1階に対する上層階の揺れの度合い) である。実験により得たこの値を, 現行の耐震基準値と比較した。この結果, 最大値は耐震基準値内であることが確認され, 現行の耐震基準値が妥当であることが示された。床応答倍率の現行耐震基準値と実験結果を表2に示す。

表2 建物の床応答倍率の現行耐震基準値と実験結果

Table 2 Current seismic resistance standard values and experimental results of the floor response magnification for building

区分	被試験機器の設置階	現行基準値	実験結果
上層階, 屋上	5階	2.5	1.9~2.5
中間階	2階~4階	1.8	1.2~1.9
1階および地階	1階	1	1

(2) 電気通信設備の水平方向応答倍率 (機器応答倍率)

電気通信設備の水平方向応答倍率 (機器応答倍率) は, 加振実験による各階の床応答加速度と, その階に設置した被試験機器の上部および中部における最大加速度との比率 (床に対する機器の揺れの度合い) である。実験により得たこの値を, 現行の耐震基準値と比較した。この結果, 耐震基準値が規定されていない天吊モニタを除き, おおむね耐震基準値内であることが確認され, 現行の耐震基準値が妥当であることが示された。天吊モニタは1点吊り (1本のポールにより天井に固定する方法) であるが, これを3点吊りの方法とすることで機器応答倍率を低減させる効果が期待できる。機器応答倍率の現行耐震基準値と実験結果を表3に示す。

表3 機器応答倍率の現行耐震基準値と実験結果

Table 3 Current seismic resistance standard values and experimental results of the equipment response magnification

被試験機器	現行基準値	設置階	実験結果
多重無線通信装置	2.0 (機器設置 架台含む) 機器区分無し	5階	1.1~1.3
		1階	1.4~1.7
サーバラック		5階	2.1~2.7
		1階	—*
19インチラック		5階	1.4~2.1
標準ラック		5階	1.6~2.1
天吊モニタ	規定なし	1階	5.1~9.6

* 計測センサ不具合により計測できず。

4.3 多重無線通信装置を被試験機器とした時の実験結果

被試験機器として、多重無線通信装置を1階と5階に設置した。設置の際、一般的には機器上部に振れ止め金具を装着し、室内壁面に固定されているストラクチャ(梁)にボルトで固定するが、本実験における試験体にはストラクチャが存在しないことから、設置階の天井にあと施工アンカーボルトで固定した「ストラクチャ代替架台」へ振れ止め金具を装着した。試験体への多重無線通信装置の設置要領(天井への固定)および振れ止め金具を図4に示す。

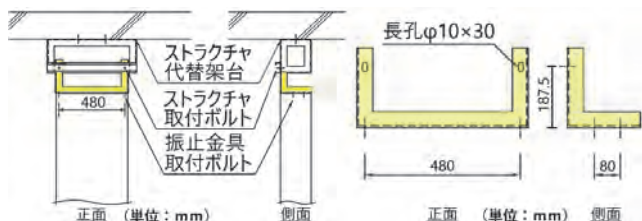


図4 試験体への多重無線通信装置の設置要領(天井への固定)および振れ止め金具

Fig.4 Installation procedure of multiplex radio communication equipment on the test specimen (fixing to the ceiling), and anti-sway brackets

以上の要領で多重無線通信装置を設置し、「床の応答加速度」「機器の応答加速度」「機器の水平変位量」を計測した。計測した各々のデータを地震発生時に生じる応答加速度や変位量と比較して両者の近似性を確認し、実験結果の信頼性を検証した。

耐震据付施工において応答加速度と水平変位量の設定値が過小設計となっていないことを本実験により検証し、本実験の結果を設計および施工に反映させることは、電気通信機器の稼働を大規模地震災害発生時においても継続する上で重要である。

(1) 床の応答加速度

床の応答加速度とは、地震により各階に生じる揺れの度合い(加速度)である。

試験体を告示波の100%、125%、150%の強度レベルで加振した時の床応答加速度(ピーク値)を表4に示す。

表4 建物床と天井の応答加速度

Table 4 Response acceleration of building floors and ceilings

被計測階		1階			5階		
告示波に対する入力強度		100%	125%	150%	100%	125%	150%
加速度(m/s ²)	天井	7.72	7.66	8.55	11.21	13.63	17.5
	床	5.36	6.66	8.79	10.84	13.34	13.63

(2) 被試験機器の応答加速度と水平変位量

機器の応答加速度とは、地震により機器に生じる揺れの度合い(加速度)であり、水平変位量とは、地震の揺れにより基点から水平方向に機器が移動した距離である。

多重無線通信装置を被試験機器として計測した応答加速度と水平変位量(ピーク値)を表5に示す。

表5 多重無線通信装置の応答加速度, 水平変位量(1階, 5階)

Table 5 Response acceleration and horizontal displacement of multiplex radio communication equipment (1st and 5th floors)

被計測階		1階			5階		
告示波に対する入力強度		100%	125%	150%	100%	125%	150%
加速度(m/s ²)	上	8.86	9.95	12.15	11.68	15.91	17.82
	中	6.86	8.11	9.86	10.8	14.23	16.47
	下	5.53	6.76	8.92	10.4	12.55	13.28
水平変位量(mm)	上	4.59	6.54	9.17	1.97	2.29	1.7
	中	12.77	22.81	28.43	2.58	7.52	12.37

被試験機器の応答加速度と水平変位量の関係を図5に示す。図5は、被試験機器の中間部および下部の点に対しては各階の床を基点とした被試験機器の水平変位量を、上部の点に対しては天井からの水平変位量をそれぞれ示す。

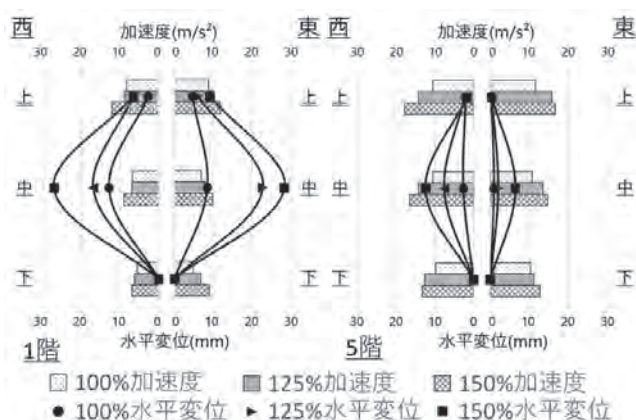


図5 被試験機器の応答加速度と水平変位量の関係
Fig. 5 Relationship between response acceleration and horizontal displacement of equipment under test

以上の実験の結果は、耐震据付施工の妥当性に対する従来の検証実験（被試験機器を加振台の上に鋼材で上下を拘束した状態で実施）の結果と遜色のないものであり、検証結果として信頼性が高いことを示している。

従来の実験の様子を図6に、従来の実験における被試験機器の挙動を図7にそれぞれ示す。



図6 従来の実験の様子
Fig.6 View of conventional experiment

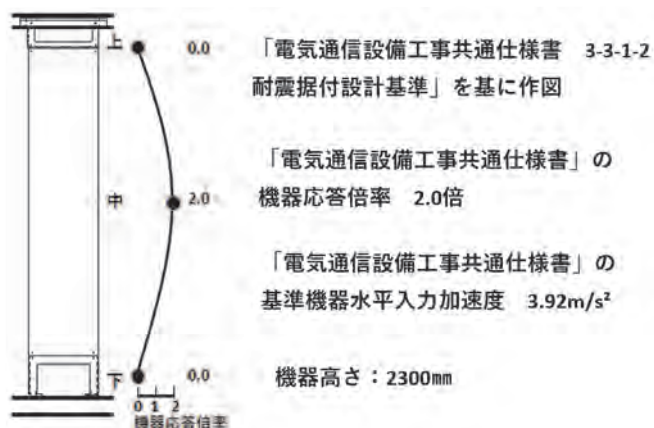


図7 従来の実験における被試験機器の挙動
Fig.7 Behavior of equipment under test in conventional experiments

図6および図7に示す従来の実験では、地震発生時における試験体の床と天井の揺れは同じ（両者間の変位量はゼロ）との前提で被試験機器の挙動を検証していたが、本実験の結果、試験体の床と天井の間に生じる層間変位を加味する必要性が認められた。本実験では、従来の実験において再現が困難であった層間変位を再現し、地震発生時における被試験機器の実際の挙動に近似する貴重なデータを取得することができた。本実験により得た層間変位量を従来の実験により得ていた被試験機器の変位量に補正值として加え、地震発生時における被試験機器の挙動を検証した。

層間変位の補正前後の実験結果を図8に示す。

層間変位を補正した結果、地震発生時に被試験機器がV字状に変位していることが判明した。

従来の実験の結果においては被試験機器には圧縮力および引張力は生じないものと認識されていたが、本実験により、建物内においては層間変位の影響を受けること、筐体にV字状に圧縮力および引張力が生じることが示された。被試験機器に生じる圧縮力および引張力は、筐体の破損や基板の脱落、ボルトやねじの破断落下を招き、基板や充電部の短絡事故の原因となる可能性が明らかとなった。現実に、平成23年東北地方太平洋沖地震においても防災行政無線システムにおいて落下したねじにより基板がショートし機能停止した事故も発生している。

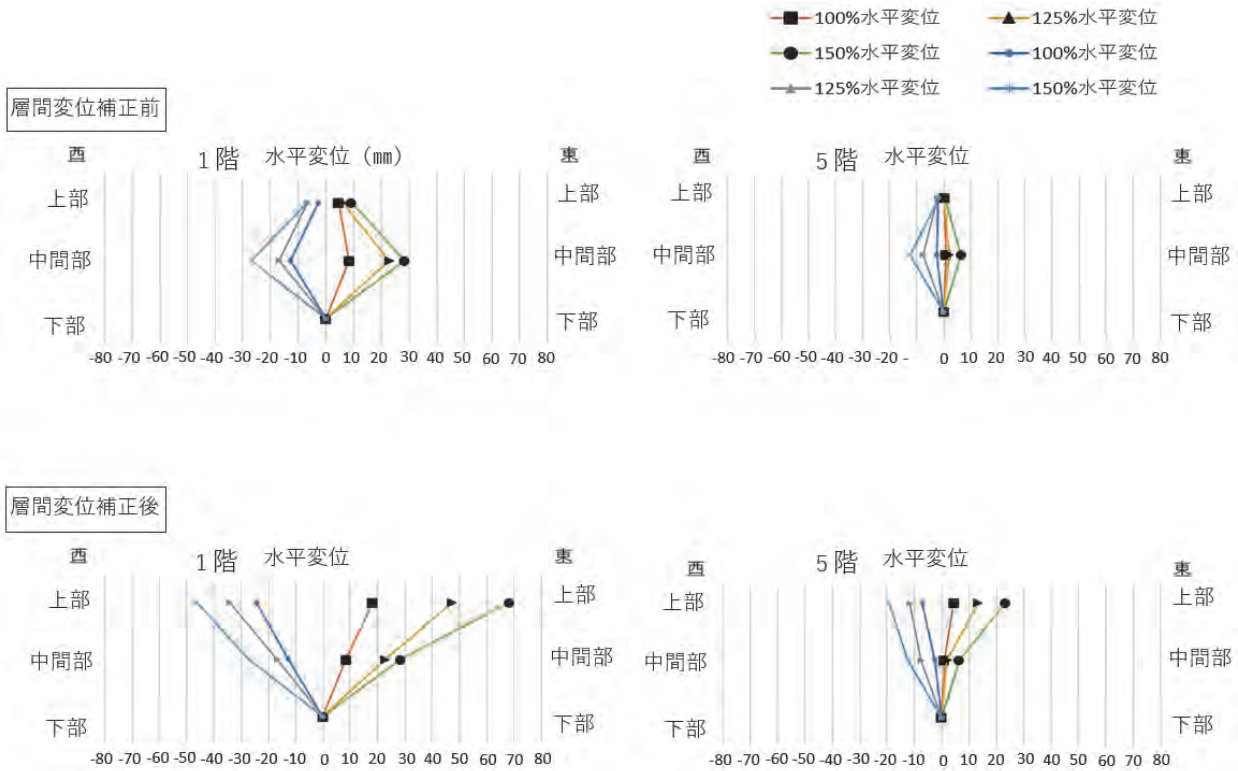


図8 層間変位補正前後の挙動実験結果

Fig.8 Experimental results on behavior before and after interlayer displacement correction

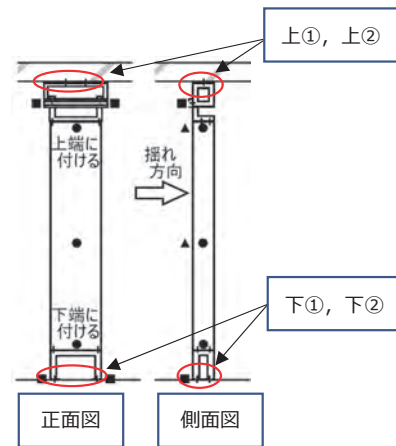
(3) アンカーボルトに加わる軸力

被試験機器を固定するアンカーボルトには軸力（ボルトを引き延ばそうとする力）が加わる。アンカーボルトの締め付け時に初期導入軸力が加わり、軸力は加振実験中に変動する。このため、初期導入軸力と加振実験により変動する軸力の合成値を軸力の最大値として算出する。被試験機器（多重無線通信装置）を固定するアンカーボルトに加わる軸力の最大値を表6に示す。

表6 被試験機器（多重無線通信装置）を固定するアンカーボルトに加わる軸力の最大値

Table 6 Maximum value of axial force applied to anchor bolts fixing the equipment under test (multiplex radio communication equipment)

被計測階		1階			5階		
告示波に対する入力強度		100 %	125 %	150 %	100 %	125 %	150 %
ボルト軸力 (kN)	上①	19.67	19.62	19.62	23.01	26.96	27.54
	上②	19.54	19.54	19.53	20.65	20.7	21.44
	下①	19.82	20.38	20.88	19.84	20.15	20.53
	下②	19.54	19.56	19.63	20.22	19.97	19.79



1階に設置した被試験機器のボルト軸力は約19.5～20.9 kNであり、加速度の大小による変化はほとんど見られない。5階に設置した被試験機器についてもおおむね同様であった。

(4) 上下方向の変位に起因する試験体損傷の回避効果

既述したとおり、ストラクチャ代替架台と振れ止め金具の接合ボルトが上下にスライドする構造とし上下方向の変位を吸収する。加振後にボルトが1～3 mm動いた軌跡が示され、試験体の損傷回避効果が推察される。ストラクチャ代替架台と振れ止め金具の接合部を図9に示す。

以上の実験の結果、多重無線通信装置のように被試験機器がスリムな形状の場合には、設置を上下固定方式とすることで機器筐体の変形およびアンカーボルトの軸力変動量

を抑制できることが判明した。地震の揺れによる電気通信機器の筐体の変形は、内部構造の物理的損傷を誘発し、機器の機能停止、フレーム変形による基盤の損傷脱落などの致命的なダメージの原因となる。またアンカーボルトの軸力変動量の増大は、試験体からのアンカーボルト脱落の原因となり、機器の転倒リスクを高める。本実験は、被試験機器の設置方法を上下固定式とすることにより、地震発生時における上記の危険性が回避できることを実証した。



図9 ストラクチャ代替架台と振れ止め金具の接合部
Fig.9 Joint between structure alternative frame and anti-sway bracket

5. あと施工アンカーボルト

5.1 試験体に使用するアンカーボルトの要件⁽⁴⁾

「あと施工アンカーボルト（以下「アンカーボルト）」は、コンクリートの床や壁に機器を固定する際に使用する。アンカーボルトは、本実験において求められる以下の要件を満たす。

- ・建物本体の母材コンクリートにひび割れ（コーン状破壊）を発生させないこと
- ・実験による母材コンクリートからアンカーボルトの抜け出しを起こさないこと
- ・母材コンクリートがコーン状破壊を生じる前にアンカーボルトのみで地震エネルギーを吸収すること
- ・実験によりアンカーボルトの破断（せん断破壊）を生じないこと

「コーン状破壊」および「せん断破壊」のイメージを図10に示す。

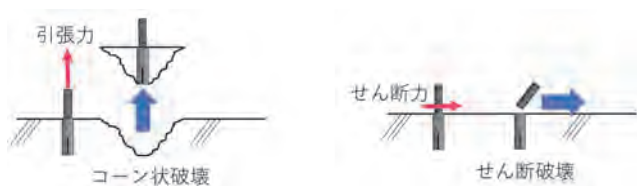


図10 「コーン状破壊」および「せん断破壊」のイメージ
Fig.10 Image of “cone shaped fracture” and “shear fracture”

試験体は鉄筋コンクリート製の構造物であり、被試験機器の据付時および加振時にアンカーボルト打設箇所におけるコンクリートの損傷を回避する必要がある。

一般的な金属拡張系アンカーボルトの引張強度は「アンカーボルト（鋼材）そのものの降伏」「打設するコンクリートの破壊耐力（コーン状破壊耐力）」のいずれか小さい方の値とする。

図11に示す一般的なアンカーボルトは、試験体のコンクリートにコーン状破壊を及ぼす可能性が高いため今回の実験に適さない。



図11 一般的な金属拡張系アンカーボルト
Fig.11 General metal expansion anchor bolt

5.2 本実験において使用したアンカーボルト⁽⁵⁾⁽⁶⁾

本実験の環境におけるアンカーボルトの要件を満たすため、下記の仕様に合致するアンカーボルトを採用した。

- ・M16仕様のアンカーボルト並みのコーン状破壊耐力を有していること
- ・SNR材による内ねじ式ボルトで、かつボルトが変形した場合においても交換が容易であること

本実験において使用したアンカーボルトを図12に示す。

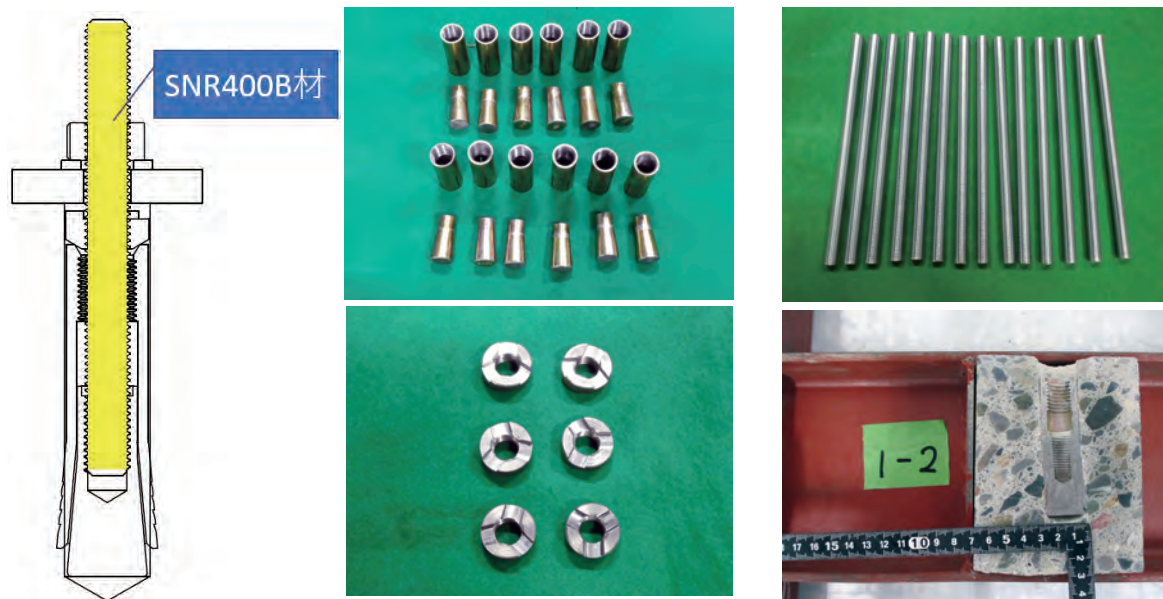


図12 本実験において使用したアンカーボルト
Fig.12 Anchor bolts used in this experiment

5.3 加振時の軸力の変化

1階および5階に設置した多重無線通信装置のアンカーボルトにおける加振時の軸力変化を図13に示す。

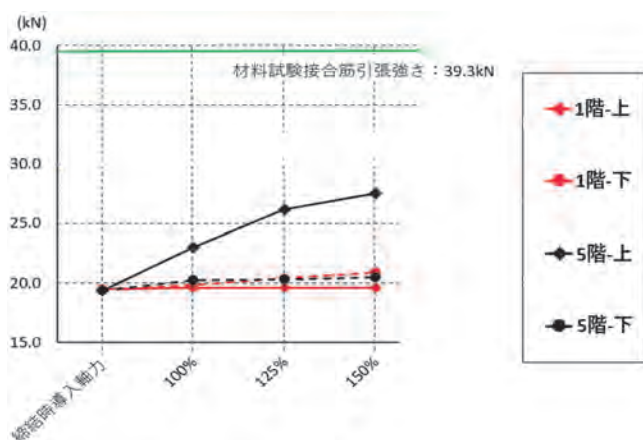


図13 1階および5階に設置した多重無線通信装置のアンカーボルトにおける加振時の軸力変化
Fig.13 Axial force change during excitation in anchor bolts of multiplex radio communication equipment installed on the 1st and 5th floors

採用したアンカーボルトの最大耐力は30.9kNであり、本実験においてアンカーボルトに加わった最大軸力 (27.5kN) と比べ十分に大きく、採用したアンカーボルトの安全性を確認した。

5.4 本実験において使用したアンカーボルトの評価

採用したアンカーボルトについて以下のとおり評価し、本実験の環境におけるアンカーボルトの要件を満たすことを確認した。

- ・加振実験によるアンカーボルトの抜け出しは生じなかった
- ・ボルト部の塑性変形により加振エネルギーを吸収し、試験体のコンクリートにおけるコーン状破壊は生じなかった
- ・加振実験終了後にボルトが容易に交換できること、またコンクリート中のアンカー本体が十分な残存耐力を有することを確認した

6. あとがき

実物大の建物に多重無線通信装置を実際に設置して実施した加振実験により、電気通信機器における現行の耐震据付設計および耐震据付施工の妥当性を実証した。また、電気通信機器の据付施工における耐震性が要求レベルを満たすことを確認した。さらに、本実験により耐震に関する多くのデータおよび知見を得た。

首都直下型地震をはじめとする大規模地震の発生が懸念される昨今、本実験の結果を電気通信機器の設計および施工に活かすことにより通信インフラの高い耐震性を構築し、保証することを当社の社会的責務と捉え、電気通信機器の更なる信頼性向上に取り組む。

謝辞

実験参加の機会を頂いた一般社団法人建設電気技術協会の皆様、実験に際してご協力いただいた岸本無線工業株式会社の皆様、株式会社トラストの皆様、およびS30プロジェクト関係者の皆様には数々のご指導を賜りました。また本

稿の作成に際し、一般社団法人建設電気技術協会嵯峨根技師長様に執筆の承諾ならびに建設電気技術集⁽⁷⁾として令和3年度建設電気技術研究発表会で発表する機会を賜りましたこと重ねて感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 嵯峨根義行, 中本進士, 勅使川原正臣, 太田勤, 関松太郎, 楠浩一, 迫田丈志: RC造建物の振動減衰性状評価方法の検討 その46試験体に設置した電気通信機器の耐震性の検証 日本建築学会大会学術大会学術講演梗概集 2021 pp951-952
- (2) 中本進士, 嵯峨根義行, 牟田潤, 勅使川原正臣, 太田勤, 関松太郎, 楠浩一, 迫田丈志: RC造建物の振動減衰性状評価方法の検討 その47多重無線通信装置据付時の耐震性について 日本建築学会大会学術大会学術講演梗概集 2021 pp953-954
- (3) 小幡幸一郎, 中本進士, 嵯峨根義行, 細川洋治, 勅使川原正臣, 太田勤, 関松太郎, 楠浩一, 迫田丈志: RC造建物の振動減衰性状評価方法の検討 その48電気通信機器据付け時に用いたあと施工アンカーの耐震性能の評価 日本建築学会大会学術大会学術講演梗概集 2021 pp955-956
- (4) 細川洋治, 谷口博司, 中本進士, 五條渉: 鉄筋コンクリート構造の技術的変遷第31回 あと施工アンカー, 日本建築センタービルディングレター2021.12 pp1-15
- (5) 細川洋治 他: 埋め込み深さが金属系あと施工アンカーの引張特性への及ぼす影響に関する実験的研究その2 日本建築学会大会学術大会学術講演梗概集 2006 pp491-492
- (6) 小幡幸一郎 他: 金属系拡張あと施工アンカーの点検管理機構に関する研究, コンクリート工学会年次学術論文集 42 2020 pp1237-1242
- (7) 嵯峨根義行, 中本進士, 小幡幸一郎 他: 試験体(建物)に設置した電気通信機器の実振動試験による耐震性の検証, 建設電気技術協会 建設電気技術2021技術集 pp14-21

用語一覧

E-ディフェンス: 防災科学研究所が所管する大型建造物の振動破壊実験を行う大規模実験施設(実大三次元震動破壊実験施設)

告示波: 平成12年に建設省が告示した地震による地盤の想定加速度

架台: 機器をコンクリート床や壁などに設置する際に用いる鋼製の台

ストラクチャ: 機器の筐体上部を固定するための鋼材の梁

層間変位: 地震や強風の外力により建物が変形し上下階の層間で生じる水平方向の異なる動き

S30プロジェクト:

建築基準法整備促進事業「鉄筋コンクリート造の限界耐力計算における応答変位の算定精度向上に向けた建築物の振動減衰性状の評価方法の検討」

事業主体は、堀江建築工学研究所、東京大学地震研究所、中部大学、名古屋大学大学院、山口大学大学院、国立防災科学技術研究所、国立建築研究所