U.D.C. 621.888.6:621.314.21:628.517.2

変圧器防音固定装置用ゴム マットの開発

Rubber Pads for Noise Reduction and Fastening of Transformers

丹羽信昭* Niwa Nobuaki
片岡 武** Kataoka Takeshi
永妻勝義*** Nagatsuma Katsuyoshi
坂本 勝**** Sakamoto Masaru

アパートやマンションなどの借用電気室内部の変圧器は，地震に対する安全対策とともに，夜間に変圧器励磁音が電気室周囲の居住人の耳につくという特殊性があって，耐震固定装置に防音対策を備えるように要望されている。

変圧器をゴム マットで支持すれば防音効果の出る見通しで，防音ゴム マットの開発と効果確認の試験を行なった。防音ゴム マットは横穴，下面突起付で4.5mm鉄板を内蔵し，長さを変えるだけで10～100kVA変圧器に使用できる独自なものを開発した。その結果，対策前に居室でかすかに聞こえた変圧器励磁音の音圧レベルは，5～10dB低下してほとんど聞こえなくなった。その他，防振特性，耐震性及び施工作業性についても確認したが，良好な結果を得た。

1 緒 言

電力会社はアパート，マンションなど，住宅用ビルディングの電力供給のために一部屋を借りて電気室にし，その内部に小形変圧器などを設置している。この変圧器の地震に対する安全性を増すため，変圧器ケースを固定する方法が検討されている。一方，電気室付近の居住人から，周囲が静かになった夜間に変圧器の励磁音が耳につくため，防音対策を施してほしいという要望が最近高まっている。そこで耐震固定装置に合わせた防音対策の検討を，東京電力株式会社と日立製作所及び日立電線株式会社とが共同で着手した。

変圧器からの騒音伝搬経路は**図1**に示すように考えられる。対象とした100kVA以下の小形変圧器は，変圧器ケースから直接でる音は小さく，電気室のドアを閉めてしまえば，外ではほとんど聞こえなくなる程度のものであった。問題の騒音は，むしろ変圧器の振動が床に伝わり，床，天井などの構造部材が振れて音を発生していると考えられた。そこで，変圧器と床の間にゴム マットを入れて振動を絶縁すれば十分防音効果があると考え，防音ゴム マットの開発を始めた。

電気室に設置される各メーカーの変圧器の外観形状は様々であるが，防振設計上必要な変圧器重量を定格容量で整理すると，**図2**のように1本の直線で示された。定格容量が同じならば，各メーカーの変圧器の重量はほぼ等しく，メーカーごとの防振設計が不要なことを示している。しかし，防音ゴム マットを取り付ける箇所となる床面に接する変圧器底部分は，円形フランジ，だ円形フランジ，分割されたフランジ及びみぞ形鋼などメーカー，定格容量によって多種多様である。このため，防音ゴム マットは変圧器の底に合わせてボルト止めすることは断念して，変圧器を上に載せる板状のものを試作検討することにした。

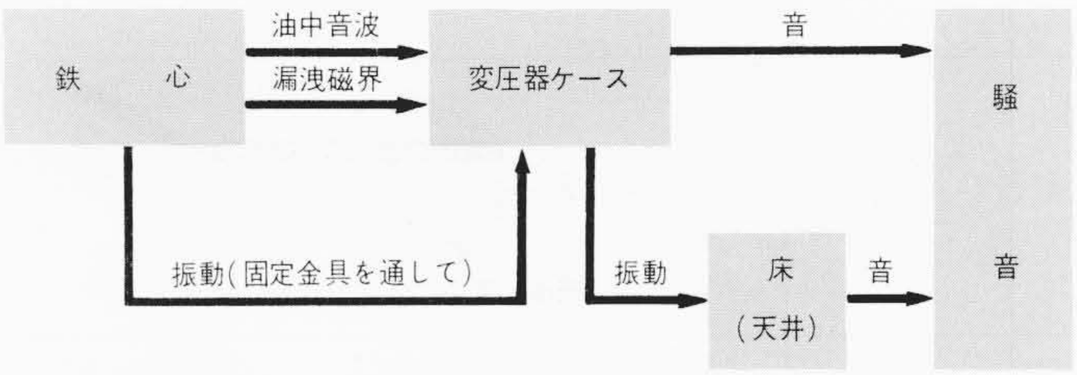

図1 変圧器の騒音伝搬経路 変圧器ケースの振動が床に伝わり，電気室周囲の居室で騒音となる。

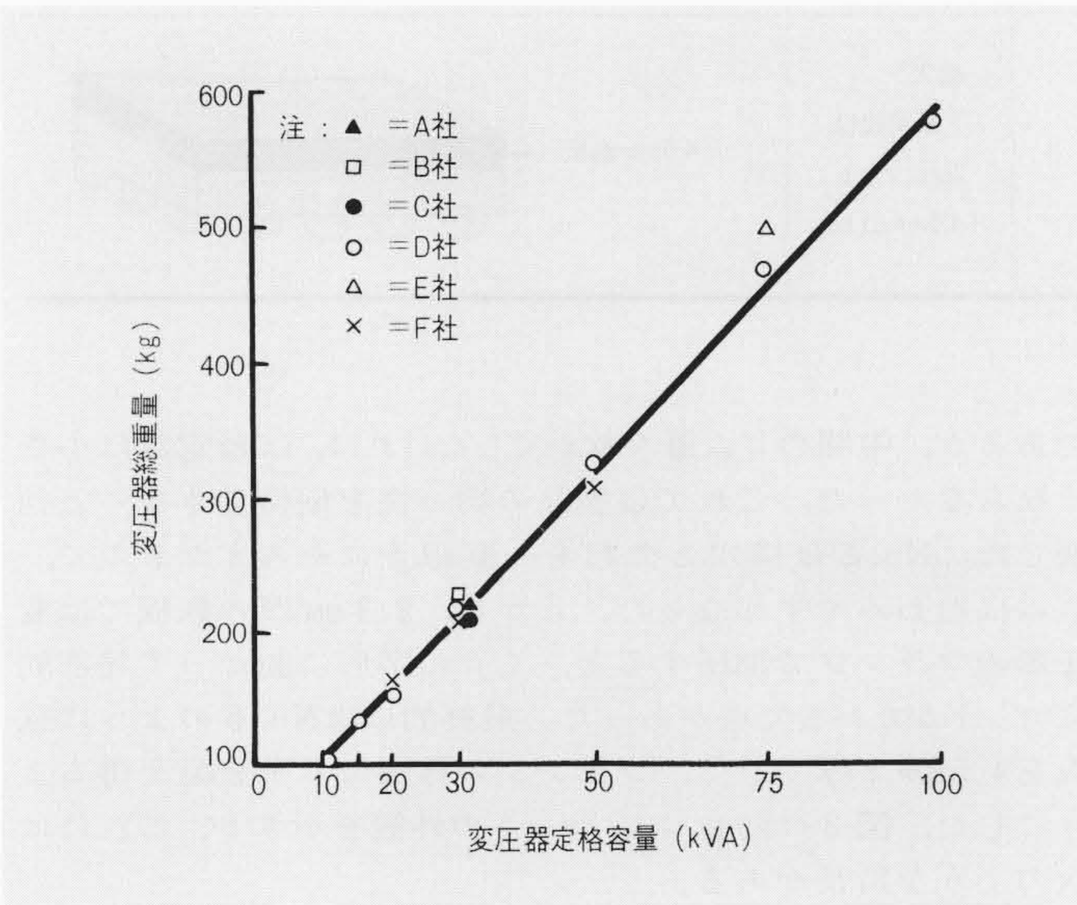

図2 変圧器定格容量と総重量 各メーカーの変圧器は定格容量が同じならば総重量がほぼ等しいため，防振設計は各社共通となった。

2 防音ゴム マット

試作検討した板状の防音ゴム マットは，**表1**に示す6種類であり，その特徴は次のようである。No.1はみぞ付の標準的なゴム マットであるが，変圧器底のフランジの線圧がかかると，刃物を押し付けたようになりゴムのちぎれるおそれがあった。No.2はNo.1の上部に鉄板を接着剤ではり付けたものであるが，荷重がかかると界面で滑ってしまい，たわみが大きくなる欠点があり，鉄板をモールドで一体化するのも困難な形状であった。No.3はゴムに横穴を空けてみたが，荷重を加えても予想外にたわみにくく，圧縮ばね定数を小さくするのが困難であった。No.4はゴム下面に円柱状突起を付けたもの

* 東京電力株式会社営業部地中配電課 ** 日立電線株式会社研究所 *** 日立電線株式会社 **** 日立製作所中条工場

表1　試作した防音ゴム マット　No. 1～No. 6まで試作して特性を検討した結果，最終的にはNo. 6を防音ゴム マットとして採用した。

No.	名　称	概　略　図
1	みぞ付 ゴム マット	
2	鉄板付 ゴム マット	鉄板 接着
3	横穴付 ゴム マット	横穴
4	下面突起付 ゴム マット	軟らかいゴム層 円柱状突起
5	横穴， 下面突起付 ゴム マット (2.3mm鉄板)	2.3mm鉄板
6	横穴， 下面突起付 ゴム マット (4.5mm鉄板)	4.5mm鉄板

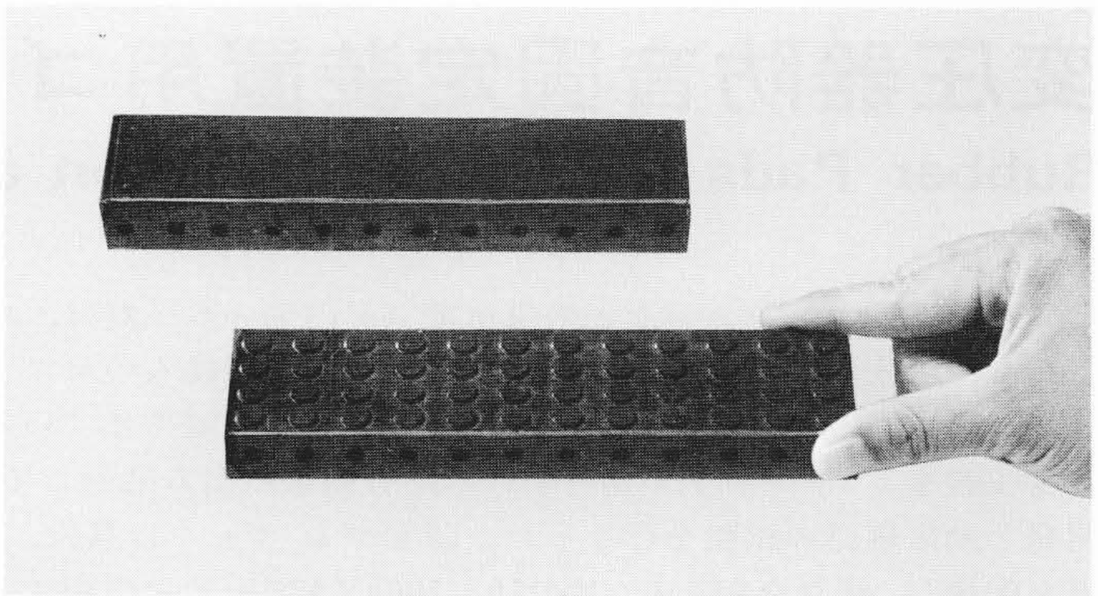

図3　防音ゴム マット　ゴムは円柱状突起と横穴の位置がそろっているためたわみやすく，また上部は鉄板付のため，変圧器底フランジの線圧にも耐え得る。

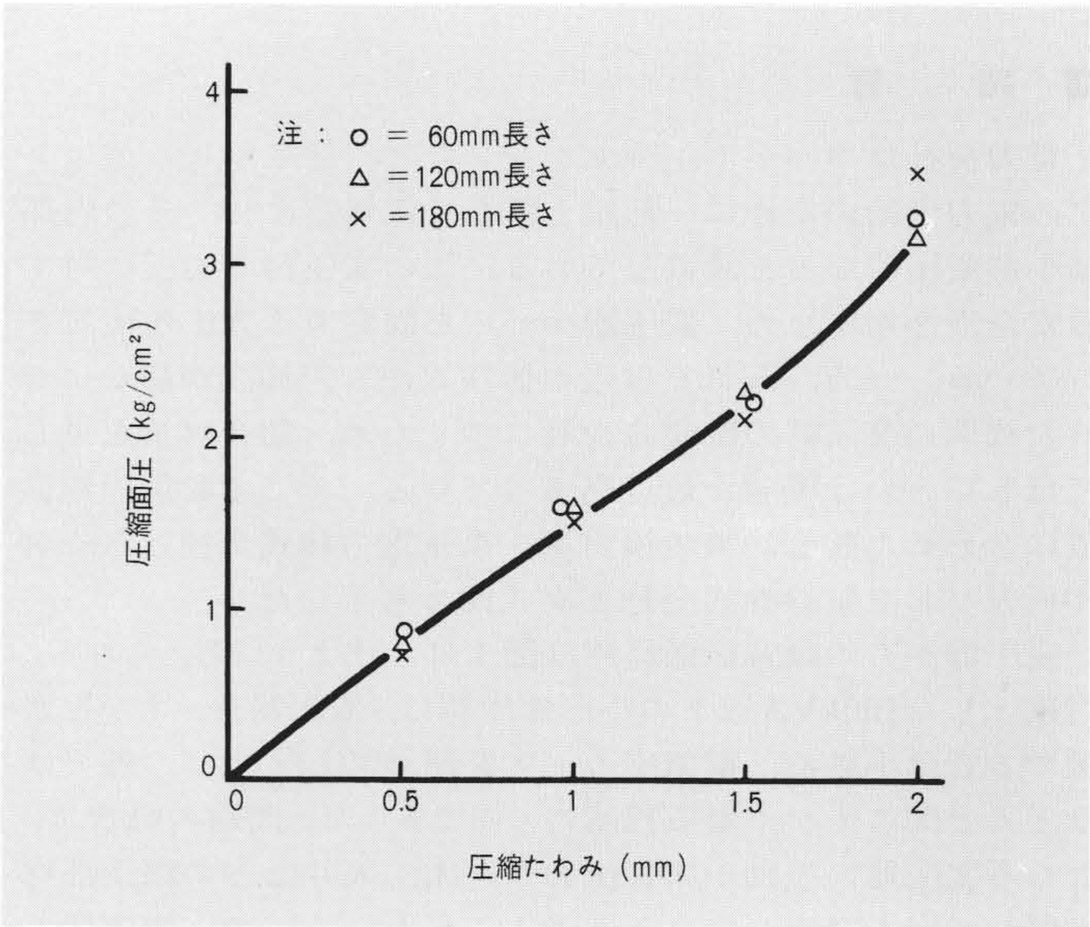

図4　防音ゴム マットの圧縮たわみ特性　防音ゴム マットの圧縮たわみを等しくするには，変圧器重量に比例させてマットを長くすればよい。

であるが，中間のゴム層を軟かくしなければ，ばね定数は小さくならなかった。これでは製品の均一性を期待できないと判断した。No. 5は横穴と突起を一直線上にそろえたもので，ゴムはたわみやすくなった。しかし，2.3mm厚の鉄板では変圧器のフランジで加圧すると，「く」の字形に曲がって局部的にマットがたわむ欠点があった。最終的にはNo. 6のように鉄板を4.5mmと厚くして，フランジの線圧にも十分耐え得るようにした。**図3**に防音ゴム マットの外観を示すが，これには次のような特長がある。

(1)　ばね定数が小さく，たわみやすい。
(2)　高さが低い。
(3)　床に凹凸があっても水平設置できる。
(4)　フランジの線圧に耐え得る。
(5)　各メーカーの変圧器に共用できる。
(6)　片手で取り扱うことができる。

防音ゴム マットの長さを変えて，面圧と圧縮たわみとの関係を求め**図4**に示した。圧縮面圧－圧縮たわみ特性は1本の曲線で表わされ，マットの長さはばね定数に影響しないので，防振設計上は変圧器重量に比例させてマットの長さを変えるだけでよい[1]。実用時には，**表2**に示すように変圧器定格容量を区分けして，防音ゴム マットの長さは60mm，120mm及び180mmの3種類にした。変圧器を支持したときの防音ゴム マットの圧縮ひずみは約6％で，ゴムは耐候性の良いクロロプレン配合とし，長期間の使用にも十分耐え得るものとした[2]。

3　防音固定装置

変圧器が地震で水平移動するのを防止する固定金具と，防音ゴム マットから成る防音固定装置の取付状況を**図5，6**に示した。コの字形金具による固定法は変圧器底にフランジが付いている場合，平板による固定法は底にみぞ形鋼が付いている場合に使用する。これらの金具を通して，変圧器の振動

表2　変圧器定格容量と防音ゴム マット長さ　変圧器の定格容量に合わせて，長さを変えた防音ゴム マット4個を使用する。

定格容量(kVA)＼項　目	マットの長さ(mm)	防音ゴム マット形番
10，15，20，30	60	A-60
50	120	A-120
75，100	180	A-180

が床に伝達することも考えられたので，コの字形金具のつばにはゴム スリーブを，平板止めのボルトにはゴム ブッシュをかぶせて防音対策を施した。

4　特性試験とその結果

防音固定装置を取り付けた変圧器について，防音，防振特性，耐震特性及びその施工作業性を確認する試験を行なった。その試験結果の一部を次に紹介する。

4.1　防音，防振特性

コンクリート ビルディングの4階の部屋に変圧器を設置して，その直下の3階の部屋で測定した騒音を**図7**に示した。防音ゴム マットなしの場合には，変圧器励磁音である電源周波数50Hzの2倍の100Hzに音圧レベルはピークを持って約58dBに達している。しかし，防音ゴム マットで変圧器を床から浮かせることによって100Hzの音圧レベルは約10dB低下してほとんど聞こえなくなった。**図8**は防音ゴム マットの有無による防音効果を明確にするため，$\frac{1}{3}$オクターブ バンド中心周波数100Hzの成分だけを取り出して，変圧器電源スイッチのオン，オフを繰り返してみた。防音ゴム マットなしのときは，スイッチを入れるごとに5～10dB音圧レベルが大きくなる。防音ゴム マットを取り付けると，音圧レベルはスイッチを入れても変化はなく，耳にも暗騒音と区別できなくなった。

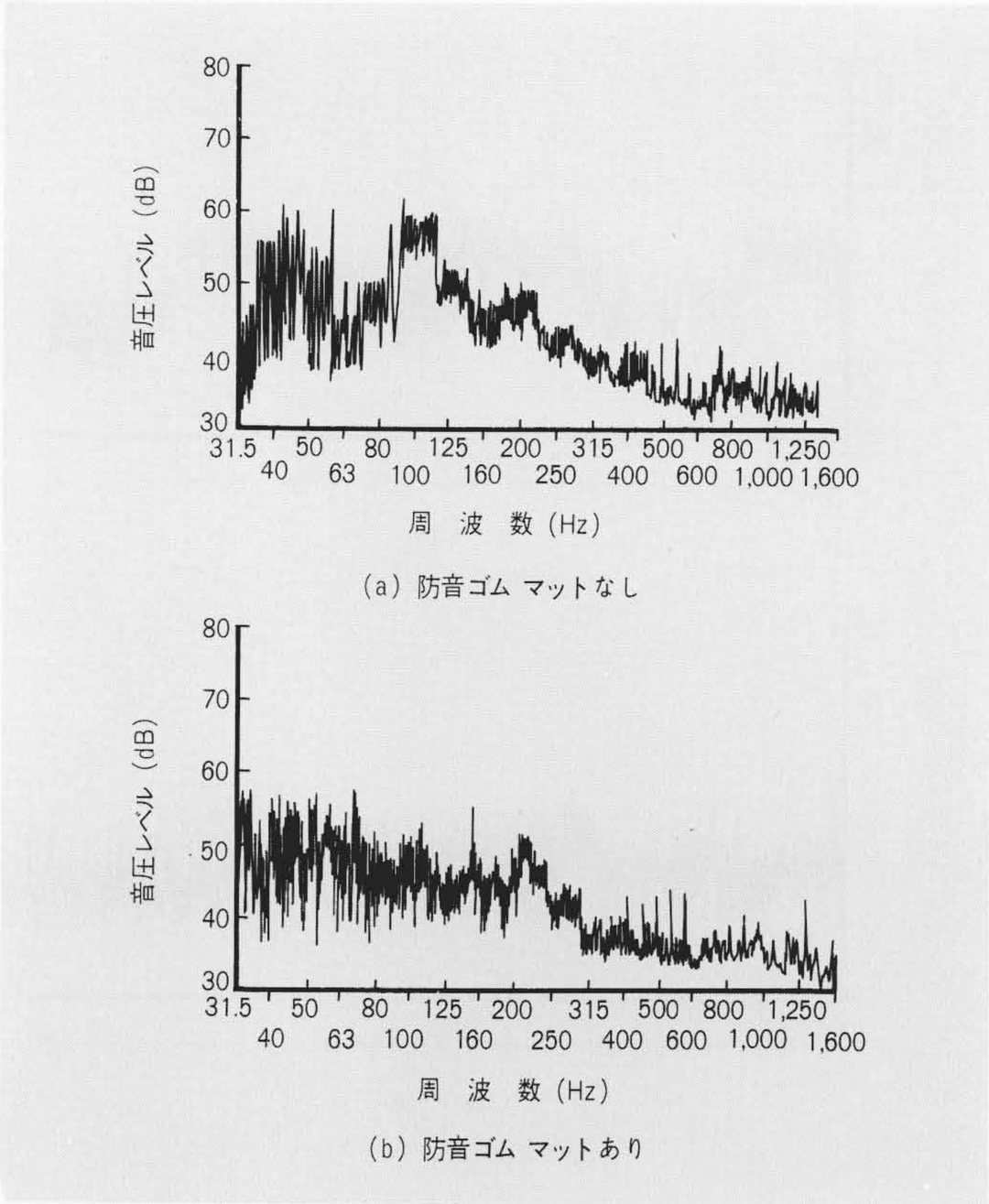

図7　変圧器通電中の電気室直下の居室騒音　図（a）は防音ゴム マットなしのときの，変圧器音で，100Hzに音圧レベルのピーク値がある。また，図（b）は防音ゴム マットありのとき，ピークは消えて変圧器音は聞こえなくなった。

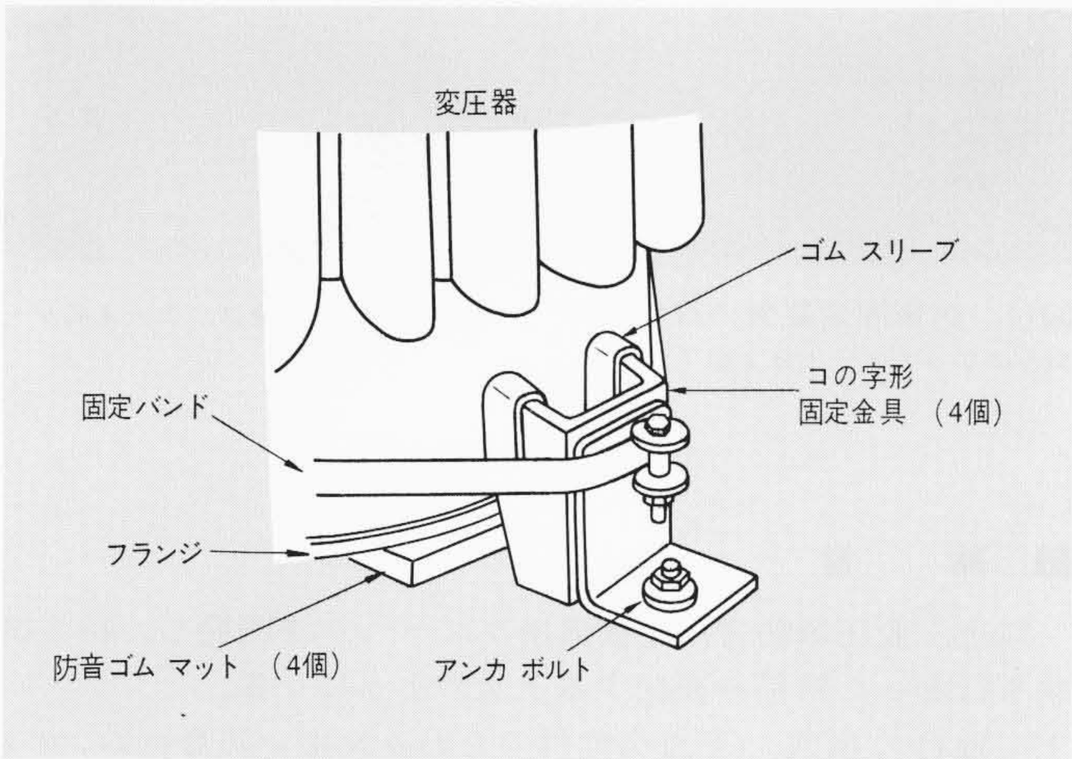

図5　コの字形金具による防音固定装置　変圧器底にフランジが付いているときの防音固定装置を示す。防音ゴム マット，コの字形金具各4個を対称に取り付ける。

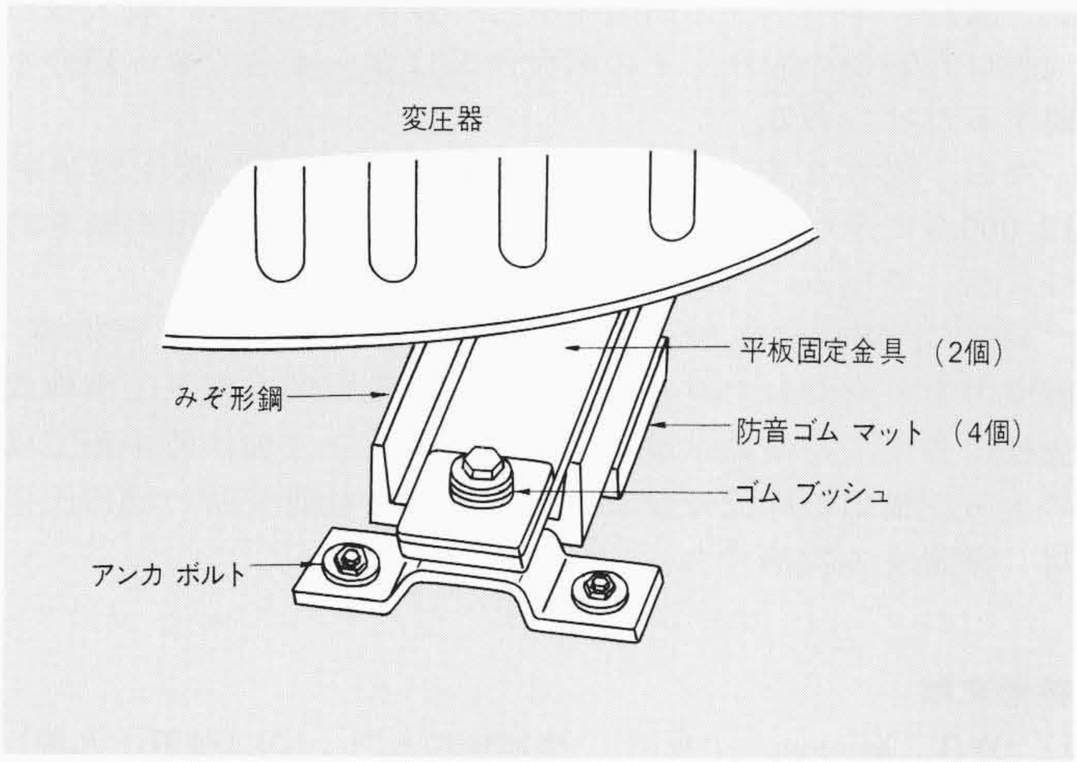

図6　平板金具による防音固定装置　変圧器底にみぞ形鋼が付いているときの防音固定装置を示す。平板を通した2本のみぞ形鋼を，4個の防音ゴム マットで支持する。

次に防音ゴム マットの防振効果を確認した。変圧器を設置したコンクリート床の加速度の測定結果を**図9**に示す防音ゴム マットなしのときは，変圧器を置いた部屋の床，すなわち下の部屋の天井は全面が振動している。このため下の部屋では変圧器励磁音が聞こえたと推定される。また，防音ゴム マットを入れると振動絶縁されたため，床面の振動がほとんどなくなり，下の部屋では騒音が聞こえなくなったと考える。以上の防振，防音試験は，模擬電気室のほかに，実際の14階建アパートの借用電気室でも実施して，同等の効果があることを確認している。

4.2　耐震特性

図10に示すように，30kVA，50kVA，100kVAの各変圧器をコンクリート床板に防音ゴム マットと固定金具で取り付けて，コンクリート床板を水平加振させた結果，変圧器の共振点は，100kVAでは6.0Hz，50kVAでは9.4Hzと測定された。これらの共振周波数で，振動加速度0.5 Gまで加振した耐震試験の結果，変圧器の揺れと防音ゴム マットに若干のずれは生じたが，変圧器底部分を固定金具で押さえてあるため，変圧器の移動，転倒は生じなかった。この結果，過去最大級の地震程度[3]では問題がないものと判定した。

4.3　施工作業性

防音ゴム マットと固定装置の現地取付作業試験を，アパートの借用電気室で行なった。コンクリート床のアンカ ボルト

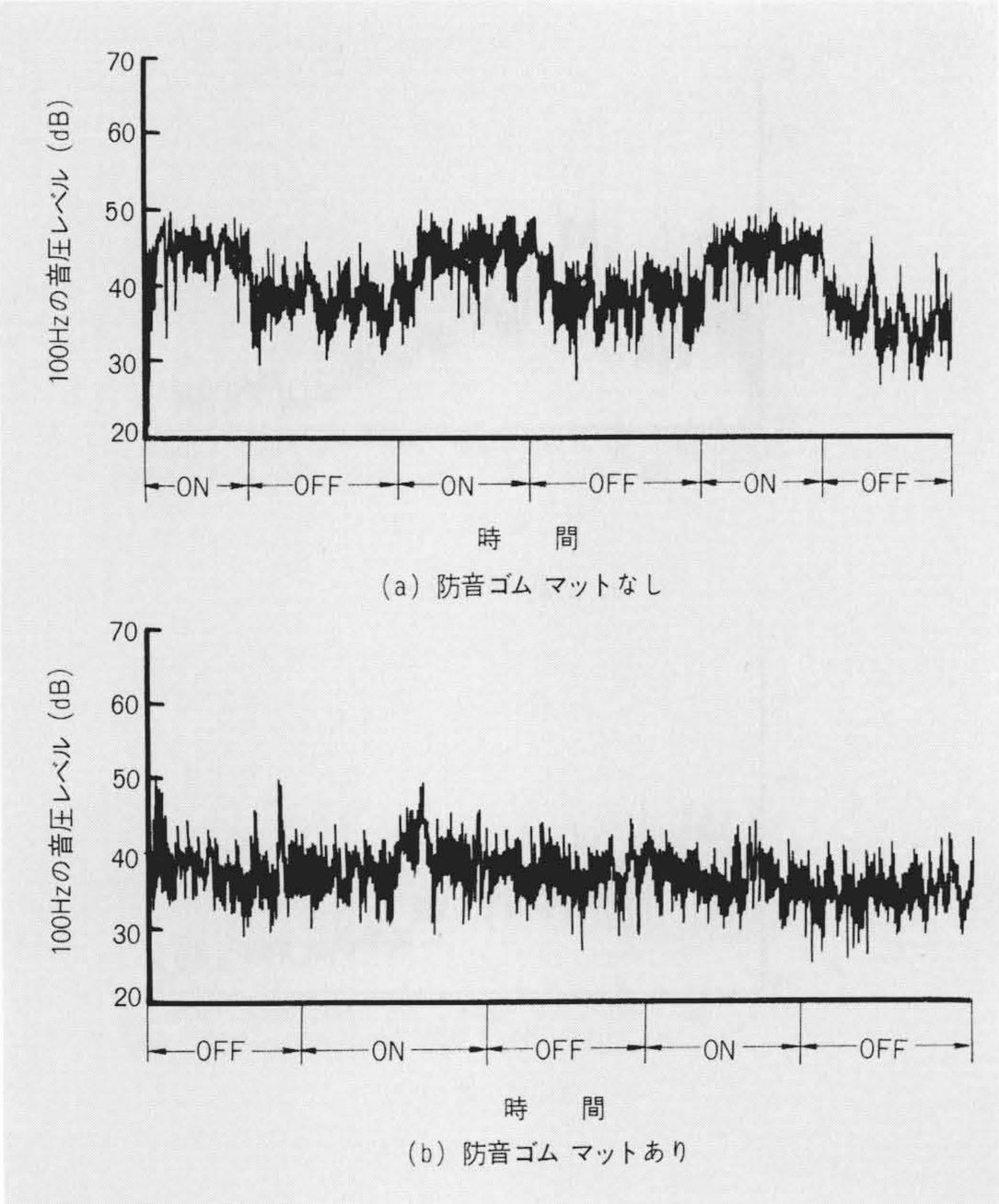

図8　変圧器電源 "ON""OFF" 時の電気室直下の居室騒音
図（a）の防音ゴム マットなしでは，電源スイッチを入れるごとに100Hzの音圧レベルは高くなるが，図（b）の防音ゴム マットありでは，暗騒音と区別できない。

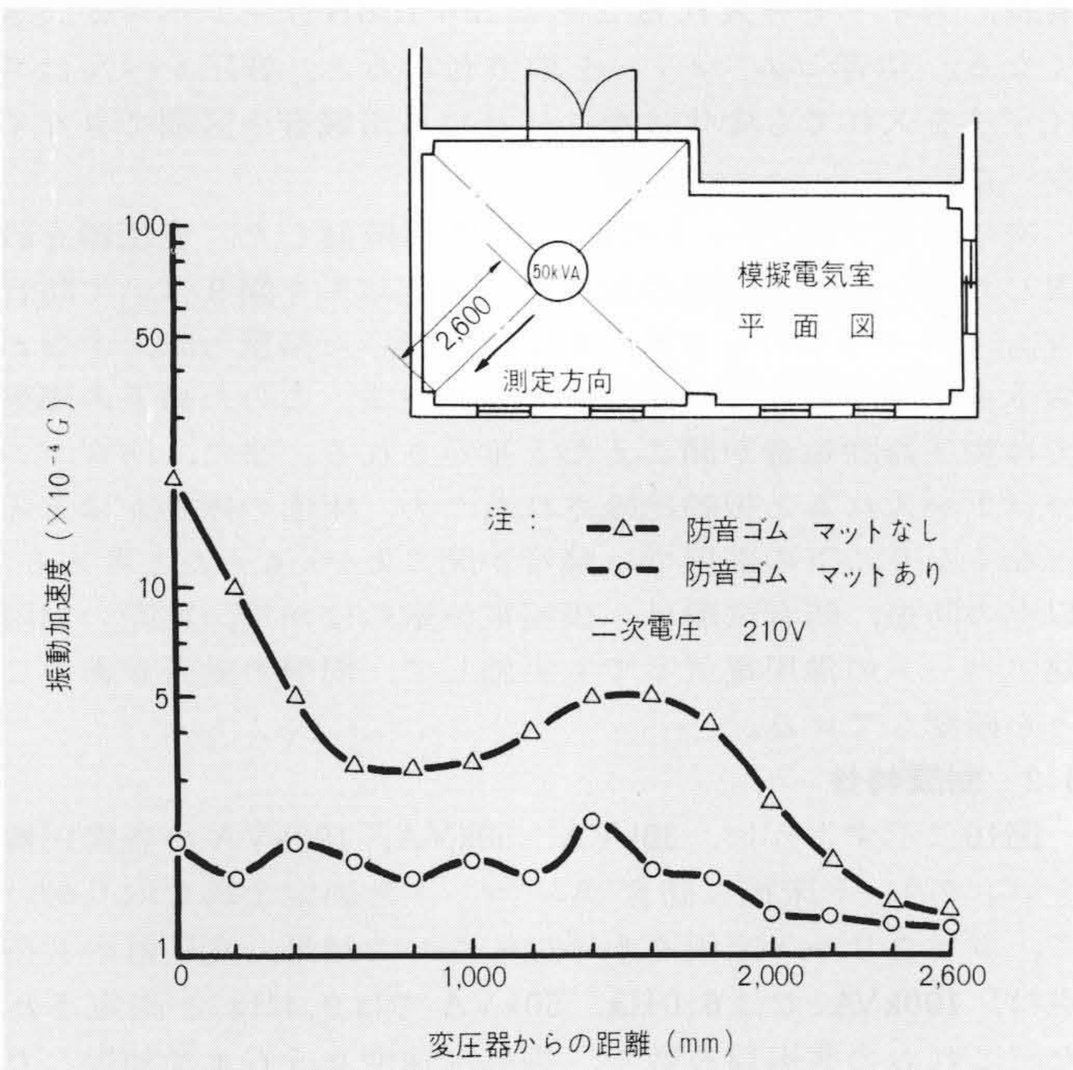

図9　電気室コンクリート床面の振動　防音ゴム マットなしのとき，コンクリート床面全体が振動しているため，下の部屋では天井から騒音が聞こえる。

にドリル植込みボルトと銃打びょうを使ったとき，**図11**に示すように作業者3～4名が一組みになり，変圧器1台当たり8～13分で支障なく作業を完了することができた。

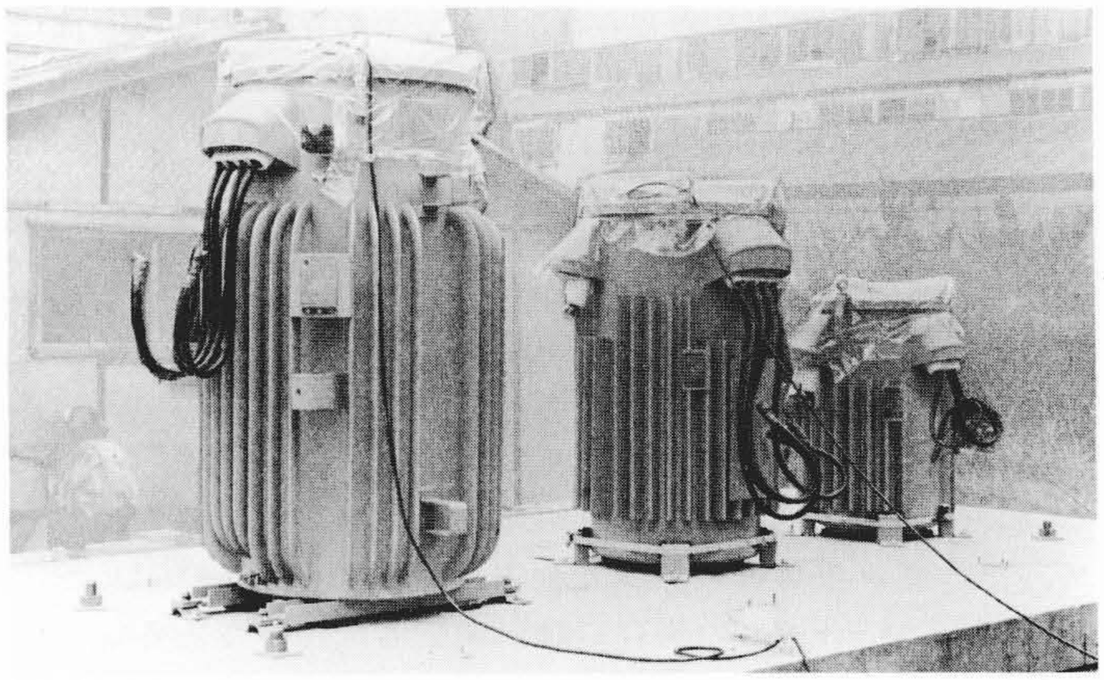

図10　防音固定装置付変圧器の耐震試験　30kVA, 50kVA及び100kVA変圧器を0.5Gまで水平加振して，安全を確認した。

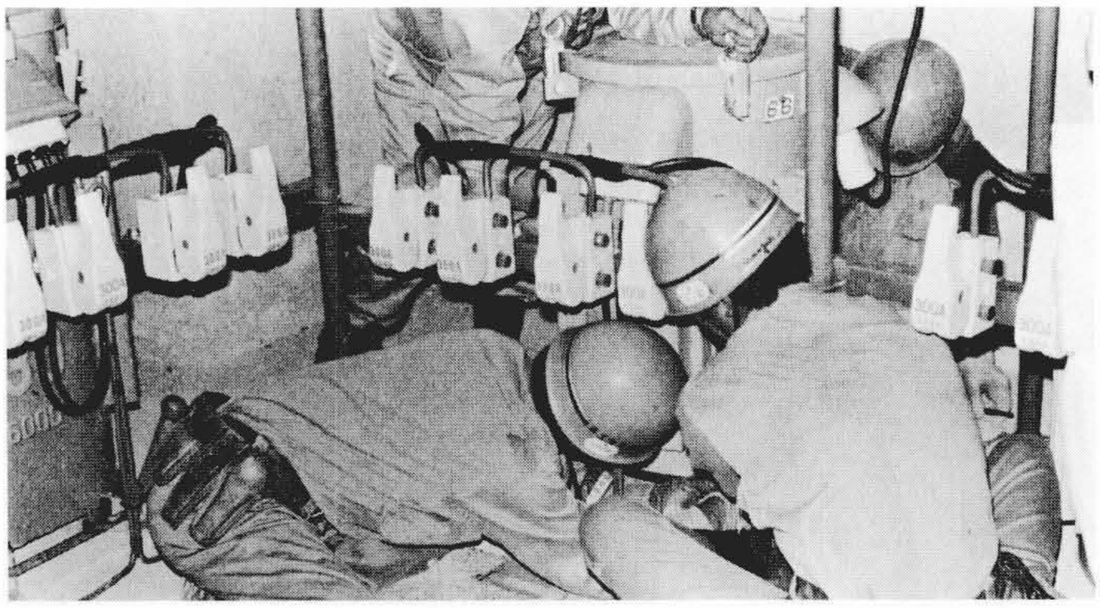

図11　防音固定装置の取付作業　現地での取付作業は，3～4名が一組みになって8～13分で完了する。

5　緒　言

以上，変圧器防音固定装置用ゴム マットを開発し，特性試験を行なった結果を要約すると次のようになる。

(1)　独自の横穴，下面突起付のたわみやすい防音ゴム マットを開発した。これはその長さを変えるだけで各メーカーの10～100kVA変圧器に使用できる。

(2)　変圧器底部を防音ゴム マットで床から浮かせることにより，電気室周囲の部屋で100Hzの変圧器励磁音は5～10dB低下して，ほとんど聞こえなくなった。

(3)　防音ゴム マット，固定金具付の変圧器は過去の最大級の地震にも安全であり，その取付作業は3～4名で8～13分を要するだけである。

なお，現在までに防音固定装置を取り付けた変圧器は約12,000台に達し，防音ゴム マット約50,000個の使用実績を持つに至っている。

最後に，防音ゴム マットの開発，特性試験に対し，御指導，御協力をいただいた東京電力株式会社及び関東電気工事株式会社の各位，並びに試験に御協力を得た日立製作所中条工場の上田，横山の両氏及び日立電線株式会社研究所の植田氏に対し深謝する次第である。

参考文献

1)　W.T.Thomson，小堀訳：「機械振動入門」，70（昭37，丸善）
2)　椹木，福田：「防振ゴムの疲れと表面ひずみ分布」，日本機械学会誌，67，726（昭39-5）
3)　山原：「環境保全のための防振設計」，310（昭49，彰国社）