

〔原 著〕

歯科補綴領域における  
打音の音響インテンシティ測定に関する基礎的研究  
—固定台材質と固定方法の影響—

多田 浩二, 澤田 教彰, 坂口 邦彦  
伊藤 仁, 肥後 文章, 高島 成悟

北海道医療大学歯学部歯科補綴学第II講座

(主任 坂口邦彦教授)

Basic Study on the Sound Intensity of  
Percussion Sounds on Prosthodontics  
—Influence of Fixation Materials and Methods—

KOJI TADA, Noriaki SAWADA, Kunihiko SAKAGUCHI,  
Hitoshi ITO, Fumiaki HIGO and Shigenori TAKASHIMA

Department of Fixed Prosthodontics, School of Dentistry  
HEALTH SCIENCES UNIVERSITY OF HOKKAIDO

(Chief Prof. Kunihiko SAKAGUCHI)

**Abstract**

Sound intensity measurements are widely used to determine sound sources and to measure sound levels in industrial environments

Following a basic study of sound intensity measurements to investigate structural characteristics due to the emission characteristics of percussion sounds induced by vibrating teeth and prosthesis, this paper reports different kinds of fixation methods and materials of fixation which affect the emission characteristics of percussion sounds occurring with an experimental model

Suspended and Installed fixation methods were used in this study, with glasswool and concrete used in the fixation

The results of the study indicate that the emission characteristics of the percussion sounds was affected by both fixation materials and the fixation method of installation and that they

---

受付：平成7年3月31日

本論文の要旨は第92回日本補綴歯科学会学術大会（平成6年11月4日 鹿児島市）において発表した。

were not suitable to measure the percussion sound. The suspended fixation method was thought to be good for studying the emission characteristics of percussion sound.

**Key words** Sound Intensity, Percussion Sound, Glasswool, Concrete, Line

## 緒 言

音響インテンシティ (以下, SI) 測定は, 音場の物理量である音の強さ (SI) をベクトル量として直接測定が可能である<sup>1)</sup>。本測定法は, 1980年頃より産業界を中心に音源探査や音響パワーレベルの測定等, 種々の音響測定に応用されている<sup>2~9)</sup>。

著者らは, 顎口腔系の保全, 咀嚼力の均等分配等の観点から, 歯や補綴装置を加振して生じた衝撃や振動が周囲支持組織に伝達する経路を打音の放射特性から検索することを目的として, SI測定を応用した基礎的研究を行っている。歯列模型上の固定性ブリッジおよび可撤性部分床義歯, 有根型人工歯を加振し生じた打音のSI測定を行った<sup>10~13)</sup>結果, これら構造体の音響振動学的特徴を示すと考えられる周波数帯域の存在を確認した。しかし周波数帯域によっては, 歯列模型を固定するために使用した固定台 (グラスウール) の影響を受けたと考えられる打音の放射が観察された。

本論文では, 実験用模型を固定するための固定方法や固定台に使用する材質の違いが, 実験用模型から生じる打音の伝搬経路に及ぼす影響を比較し, SI測定に適した固定方法, 固定台材質の検討を行った。

## 材料と方法

当教室における音響測定システムのブロックダイアグラムを図1に示す。

### 1) 実験用模型

歯科用超硬質石膏 (ノリタケ/NORITAKE SUPER ROCK) で人工歯植立台 (25mm×25mm×

95mm) を作製, その中央部に上顎左側中切歯エポキシレジン人工歯 (ニッシン/B3-500) を植立し, 実験用模型とした (図2)。

### 2) 固定法および固定台の材質

固定法は, 直径170mm, 高径200mmの円柱形固定台上に模型を直接設置する方法 (以下, 据え置き固定法), 模型をナイロン製糸 (SUNLINE社 直径0.5mm) で空中に固定する方法 (以下, 釣り下げ固定法) の2種類を使用した。また, 据え置き固定法の固定台材質は, グラスウール

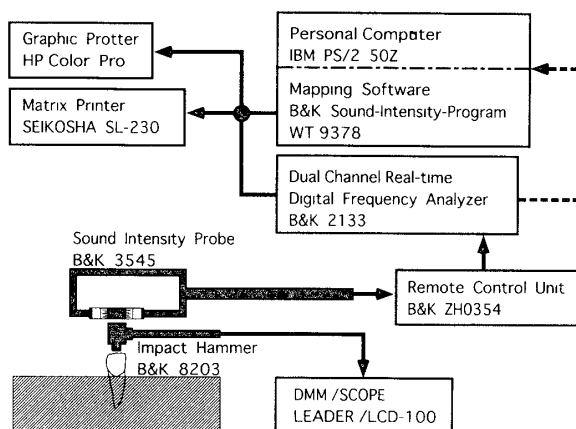


図1 ブロックダイアグラム

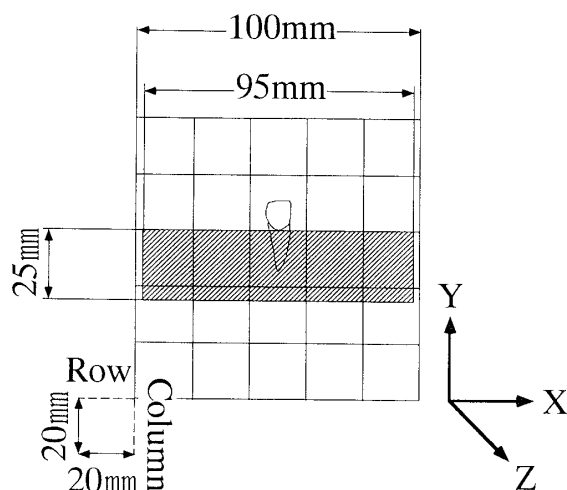


図2 実験用模型および測定平面

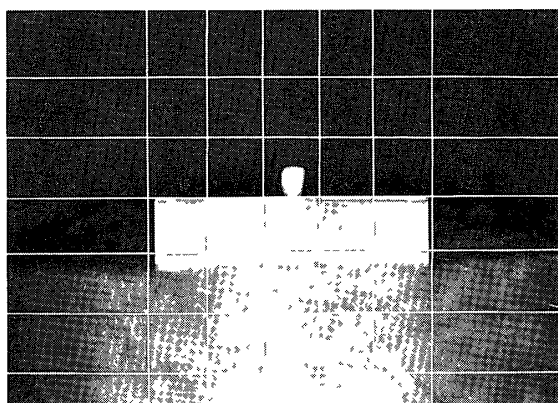


写真1 グラスウール固定台据え置き固定法

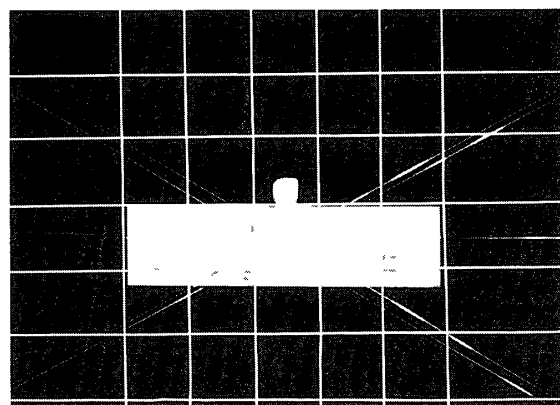


写真3 釣り下げ固定法

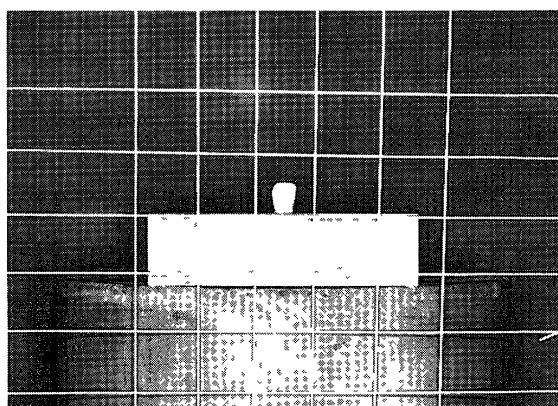


写真2 コンクリート固定台据え置き固定法

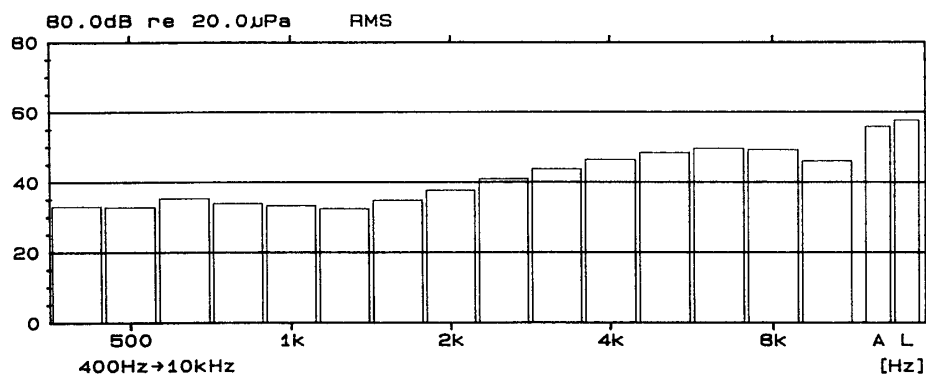


図3 人工歯のsound spectrum

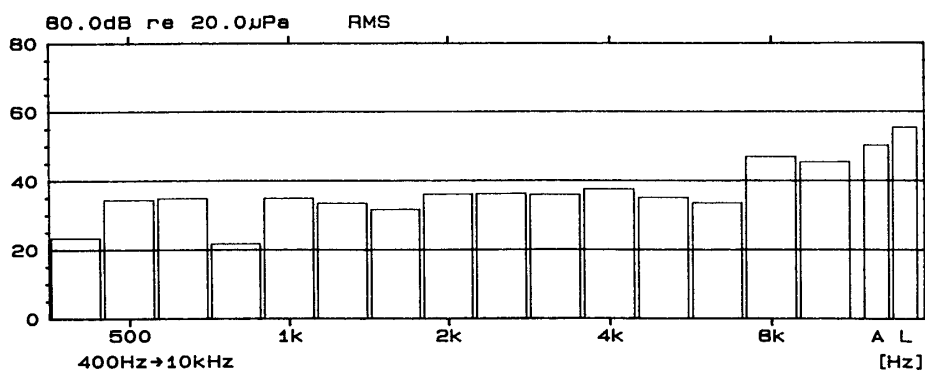


図4 人工歯植立台のsound spectrum

(HOMYS社 115kg/m<sup>3</sup>), コンクリート (HOMYS社 質量10kg), 2種類を使用した。(写真1~3)

### 3) 測定平面

人工歯植立台側面50mmの距離に測定平面(100mm×100mm)を想定, 測定点として測定平面上に測定点間距離20mmでRow 6点, Column 6点の計36点を設定した(図2)。

### 4) 加振方法および加振条件

加振は, Impact Hammer(B&K 8203)で行った。

加振条件は, 加振力: 約14N, 加振回数: 10回/4秒, 加振部位: 人工歯切縁中央部, 加振方向: 歯軸方向とした。加振力はDMM/SCOPE(LEADER/LCD-100)で確認を行った。

### 5) 受信方法

受信は, Sound Intensity Probe (B&K 3545) に Remote Control Unit (B&K ZH0354) を接続し, 各測定点におけるX, Y, Z軸方向で行った。

### 6) 測定方法および測定条件

測定には, Dual Channel Real-time Digital Frequency Analyzer (B&K 2133) を使用した。

測定条件は, averaging-time: 4秒, 周波数帯域: 400Hz~10KHz, 1/3オクターブバンド分析とした。

### 7) 解析方法

解析は, 測定データに Mapping Software (B&K Sound-Intensity-Program WT 9378) を用いてコンピューター処理 (IBM PS/2 50Z) を施し, 測定平面における音響パワーの流れを可視化した。

予備実験の結果, 人工歯は6300Hz帯域(図3), 人工歯植立台は8000Hz帯域(図4)に sound spectrum のピークを認めた。そこで測定結果から400Hz~10KHz帯域(以下, Over All), 6300Hz帯域, 8000Hz帯域の3帯域で解析を行った。

解析結果は, 音響パワーの Vector map(以下, V-map), Y方向成分 Contour map(以下, C-map) として表わした。V-map (Interpolation Step: 3) で打音の放射方向を比較, C-map (Base: 0 dB, Step: 3 dB, Interpolation Step: 3) で垂直方向の放射相の変化を比較した。各mapの赤色はPositive, 青色はNegativeを表わす。

## 結 果

### 1) グラスウール固定台据え置き固定法

Over AllのV-map(図5)では, Row 3~6で人工歯植立台部分のRow 3~4, Column 2~4を中心とする放射傾向が観察された。Row 1~3の固定台部分からは, 水平方向への放射, 下方へ集束等, 複雑な放射傾向が観察された。C-map(図6)では, Row 1~4に放射相の逆転が不規則に認められた。

6300Hz帯域のV-map(図7)では, 人工歯植立台部分のRow 3~4, Column 3, 固定台部分のRow 1~2, Column 4~5, 2カ所に放射の中心が認められた。また, その周囲でこれらの干渉と思われる渦の発生が観察された。Row 1, Column 4付近にNegativeな放射が認められた。C-map(図8)では, Row 3~5と固定台部分のRow 1~3, Column 3~6, 2ヶ所に放射相の逆転が認められた。

8000Hz帯域のV-map(図9)では, Row 3~4, Column 3~4の人工歯植立台中央上部分に放射の中心が認められ, そこから放射状の放射が観察された。Row 1~3, Column 3~5の固定台部分から左右に分かれる水平方向の放射が認められた。C-map(図10)では, 人工歯植立台部分のRow 3~4と固定台部分のRow 1~2, Column 3~4, 2カ所に放射相の逆転が認められた。

### 2) コンクリート固定台据え置き固定法

Over AllのV-map(図11)では, 人工歯植立

台基底面と固定台上面境界付近のRow 3, Column 3～4に放射の中心が認められ, Row 3を軸にほぼ対称な放射状の放射が観察された。C-map (図12)では, Row 3付近に放射相の逆転が認められた。

6300Hz帯域のV-map (図13)では, 人工歯植立台基底面と固定台上面境界付近のRow 3, Column 3に放射の中心が認められた。Row 6, Column 5～6付近にNegativeな放射が認められた。C-map (図14)では, Row 3～5に複雑な彎曲を描く放射相の逆転が認められ, 固定台部分のRow 1～3, Column 1～3にも放射相の逆転が認められた。

8000Hz帯域のV-map (図15)では, Row 3～4, Column 3～4の人工歯植立台中央部分に放射の中心が認められ, そこから放射状の放射が観察された。Row 1～2, Column 2～5の固定台部分で, 放射に水平方向へ向かう傾向が観察された。Row 1, Column 3～4付近にNegativeな放射が認められた。C-map (図16)では, 人工歯植立台部分のRow 3～4に放射相の逆転が認められた。

### 3) 釣り下げ固定法

Over AllのV-map (図17)では, Row 3～4, Column 3～4の人工歯植立台中央部分に放射の中心が認められ, そこから放射状の放射が観察された。C-map (図18)では人工歯植立台部分のRow 3～4に放射相の逆転が認められた。

6300Hz帯域のV-map (図19)では, Row 4～5, Column 3～4の人工歯歯冠部分に放射の中心が認められ, そこから放射状の放射が観察された。Row 1～3, Column 2～5の人工歯植立台基底面からは垂直下方向への放射傾向が観察された。C-map (図20)では, Row 4～5の人工歯植立台上方部分に放射相の逆転が認められた。

8000Hz帯域のV-map (図21)では, Over Allと同様, Row 3～4, Column 3～4の人工歯植

立台中央部分に放射の中心をもつ放射状の放射が観察された。C-map (図22)では, Over Allと同様, 人工歯植立台部分のRow 3～4に放射相の逆転が認められた。

## 考 察

一般に音は, 物体の振動エネルギーがエネルギーの一部を周囲の媒質空気に波動として伝えることによって生じる。この波動は空気中を進行波として伝搬し, 伝搬経路に障害物があれば, 一部は回折, 反射, 吸音, 透過の影響を受け, 伝搬経路, 周波数スペクトルが変化する。SI測定では, 音源近傍や測定閉曲面内部に吸音の生じる場合や, 音源と反射面との距離等が音響パワーレベルやエネルギーフローに影響する<sup>14-22)</sup>。澤田らが行った打音のSI測定<sup>10-13)</sup>の結果, 固定台を音源とした音の放射や歯列模型と固定台が一体化したような放射が認められる等, 固定台に使用したグラスウールによる影響と考えられる打音の放射を示す周波数帯域が本研究の測定周波数帯域400Hz～10KHzのなかで観察されている。これらの周波数帯域は, 歯や歯周組織の振動共振周波数約400～600Hz<sup>23-28)</sup>, 顔面頭蓋の振動共振周波数約500～1300Hz<sup>29)</sup>, 打診音や咬合音のピーク周波数約500～3000Hz<sup>30-32)</sup>, 歯や顔面頭蓋骨単体での振動共振周波数約1000～4000Hz<sup>33,34)</sup>等を含むことから, 固定方法や固定台材質の影響が今後研究を行う上で無視できないものであると考えられた。そこで今回は, 固定台および固定台材質が音の放射特性の一つである音の伝搬経路におよぼす影響を明らかにすることで, SI測定に適した固定方法, 固定台材質の検討を行った。固定台は, 建築音響分野で防音材料として一般に使用されている材料<sup>14,35)</sup>の中から, 吸音性材料のグラスウール, 遮音性材料のコンクリート, 2種類の材料で作製し影響を比較した。さらに固定台を使用しない方法として釣り下げ固定法を考案し, 据え置き固定

法との比較検討を行った。本実験に使用した人工歯単体, 人工歯植立台単体をグラスウール固定台上で加振した際のsound spectrumのピーク周波数は, 人工歯が6300Hz帯域, 人工歯植立台が8000Hz帯域であった。ピーク周波数は材質的, 構造的特徴を表わすものと考え, 測定結果はOver All, 6300Hz帯域, 8000Hz帯域の3帯域について解析を行った。

### 1) 固定台材質による影響

打音の伝搬経路への影響はV-map, C-map共にOver All, 6300Hz帯域に強く認められた。

グラスウール固定台では, 打音の放射および放射相の変化が実験用模型と固定台部分の2カ所に認められた。これは実験用模型で生じた打音の一部が, グラスウールで吸音, 透過の影響を受けたためと考えられる。また, グラスウールの吸音特性である吸音率は, 厚さや密度, 介在する空気層により変化する<sup>14,35,36)</sup>ため, 使用するグラスウール密度や固定台形状等が実験結果に及ぼす影響の大きいことが推察された。

コンクリート固定台で, 実験用模型と固定台の境界付近を中心に認められた打音の放射および放射相の変化は, コンクリートが面密度が高く, 透過損失の大きい遮音構造体である反面, コンクリート面での吸音率は非常に小さく, 入射音のエネルギーの大部分が反射<sup>14,35)</sup>することから, 実験用模型で生じた打音の一部がコンクリートにより反射して生じたものと推察された。

### 2) 固定方法による影響

釣り下げ固定法を行った場合, Over Allと人工歯植立台のピーク周波数8000Hz帯域では実験用模型植立台中央部, 人工歯のピーク周波数6300Hz帯域では人工歯歯冠部に打音の放射および放射相の変化を認め, さらに実験用模型下部に, 据え置き固定法のような吸音, 透過, 反射による影響は認められなかった。このことは, エポキシレジンと超硬質石膏, 2つの構造体か

らなる実験用模型の構造的特性を示唆しているものと考えられる。

以上のことから, 据え置き固定法では, 固定台材質が打音の放射や放射相に影響し, 打音の伝搬経路を変化させることが認められた。また釣り下げ固定法は, 吸音, 透過, 反射による模型周囲からの影響がなく, 打音のSI測定に適した方法であると考えられる。

## 結 論

実験用模型の固定方法, 固定台材質の違いが, 打音のSI測定に及ぼす影響を比較したところ, 以下の結論を得た。

- 1) グラスウール固定台を使用した場合, 400Hz~10KHz帯域, 6300Hz帯域, 8000Hz帯域で, 実験用模型から生じた打音が固定台の影響を受けることが認められた。特に400Hz~10KHz帯域, 6300Hz帯域では吸音, 透過の影響で打音の伝搬経路の検索は困難であった。
- 2) コンクリート固定台を使用した場合, 400Hz~10KHz帯域, 6300Hz帯域, 8000Hz帯域で, 実験用模型から生じた打音が固定台の影響を受けることが認められた。特に400Hz~10KHz帯域, 6300Hz帯域では反射の影響で打音の伝搬経路の検索は困難であった。
- 3) 釣り下げ固定法を行った場合, 実験用模型から生じた打音が模型周囲による吸音, 透過, 反射の影響を受けにくいことが確認された。
- 4) SI測定を応用した実験用模型からの打音の放射特性の検索を行う場合, 最も適した固定法は, 釣り下げ固定法であった。

## 参考文献

- 1) Bruel & Kjaer TECHNICAL REVIEW Bruel & Kjaer NO 3 1-23 1982
- 2) 矢野博夫, 橘 秀樹: 建築音響における音響インテンシティ計測法の応用. 音響学会誌43: 966-974, 1987.

- 3) 押野康夫：音響インテンシティ法の自動車騒音測定への適用例。音響学会誌 43：975-982. 1987.
- 4) 矢野博夫, 橘 秀樹：音響インテンシティ計測法の応用。音響学会誌 49：129-135. 1993.
- 5) 日高新人, 矢野博夫, 橘 秀樹：高架道路床版からの音響放射パワーの測定。日音講論集 3：533-534. 1991.
- 6) 岡崎洋二, 尾駒 薫, 加藤久尊：ロータリーコンプレッサの騒音評価。日音講論集 3：535-536. 1991.
- 7) 矢野博夫, 日高新人, 橘 秀樹：音響インテンシティ法による機器の発生騒音のパワーレベル。日音講論集 10：621-622. 1991.
- 8) 押野康夫, 筑井啓介, 日高新人, 矢野博夫, 橘 秀樹：テストコースにおける自動車の走行騒音放射特性の検討 (その1, 音響インテンシティ法による音源位置の同定)。日音講論集 3：625-626. 1992.
- 9) リオン (株)：音響インテンシティ測定手法の応用-防音箱の遮音設計。音響学会誌 41 57-58. 1985.
- 10) 澤田教彰, 坂口邦彦, 肥後文章, 伊藤 仁, 伊藤法：補綴物と音響インテンシティ。補綴誌 36・87回特別号：83. 1992.
- 11) 澤田教彰, 肥後文章, 坂口邦彦, 多田浩二：固定性フリッジにおける打音の音響インテンシティ 補綴誌 36・88回特別号：51. 1992.
- 12) 澤田教彰, 伊藤 仁, 坂口邦彦, 多田浩二：可撤性部分床義歯における打音の音響特性：補綴誌 37・89回特別号：33. 1993.
- 13) 澤田教彰, 坂口邦彦, 多田浩二, 肥後文章, 伊藤 仁：実験用模型の歯根が打音の音響特性に及ぼす影響 補綴誌 37・90回特別号：137. 1993.
- 14) 牧田康雄, 中島平太郎, 永田 穂, 寺西立年, 安藤由典：現代音響学。第2版, オーム社：208-263. 1990.
- 15) Bruel&Kjaer：音響インテンシティ。松質機器株式会社：1-33. 1988.
- 16) 子安 勝：音響インテンシティ法による音響パワーレベル測定法 音響学会誌 43：960-965. 1987.
- 17) 日高新人, 安久司郎, 橘 秀樹：複素インテンシティによる音場解析。音響学会誌 43：994-1000. 1987.
- 18) 橘 秀樹, 矢野博夫, 日高新人：建築音響における音響インテンシティ計測法の応用 (最近の動向)。日音講論集 3：523-526. 1991.
- 19) 関 陽子, 栗田真一, 大沢勝利, 城戸健一, 小黒瞬, 安斎正三, 鈴木英男：残響室における音響インテンシティの測定。日音講論集 3：681-682. 1992.
- 20) 栗田真一, 大沢勝利, 関 陽子, 城戸健一, 小黒瞬, 安斎正三, 鈴木英男：吸音材の近傍における音響インテンシティの測定。日音講論集 3：685-686. 1992.
- 21) 矢野博夫, 日高新人, 橘 秀樹：音響インテンシティ法によるパワーレベル測定におけるextraneous noiseの影響。日音講論集 10：711-712. 1993.
- 22) 佐藤利和, 菅谷 汎：音響インテンシティ測定による吸音率測定に関する考案。日音講論集 3：789-790. 1994.
- 23) 中村正幸：歯に加わった衝撃の伝導特性。歯科ジャーナル 17：543-549. 1989.
- 24) 永田一夫：歯周組織の周波数応答に関する研究。補綴誌 20：375-392. 1976.
- 25) 池田康憲：単一Pulse印加に対する歯と歯周組織の反応に関する研究。補綴誌 21：435-454. 1977.
- 26) 加藤 照：正常および病的な歯周組織の共振周波数の測定 (歯周組織の生物学的診断の新しい方法)。口腔病会誌 35：58-81. 1968.
- 27) 中澤 章：咬合時に歯が受ける衝撃の加速度と周波数特性に関する研究。歯科学報 86：187-216. 1986.
- 28) 伊藤 裕：咬合音の振動伝達に関する研究。補綴誌 23：634-653. 1979.
- 29) 浜田静樹：歯に加えた衝撃の頭部ならびに上半身における振動特性について。神奈川歯学 20：38-57. 1985.
- 30) 石岡 靖：人体における音響振動と咬合分析。新潟歯学雑誌 4：51-65. 1975.
- 31) 芦澤千洋：歯の打診音の測定についての基礎的研究。歯周病誌 18：42-49. 1976.
- 32) 高宮紳一郎：咬合音の骨伝導に関する研究。歯科学報 79：1-42. 1979.
- 33) 白沢勝沖：抜去歯のモーダル解析。神奈川歯学 19：325-340. 1985.
- 34) 小森久弘：ヒト乾燥頭蓋のモーダル解析。神奈川歯学 23：56-75. 1988.
- 35) 中村顕一, 吉久伸幸, 深井 昌：わかる音響学。第6版, 日新出版：41-49. 1989.
- 36) 小川智達, 山口道征：各種多孔質材料の音響特性 (第1報)。日音講論集 3：755-756. 1992.

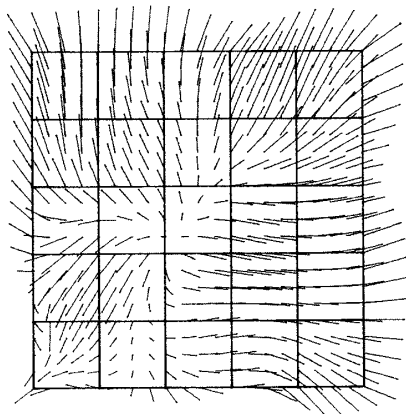


図5 グラスウール固定台据え置き固定法  
Over All V-map

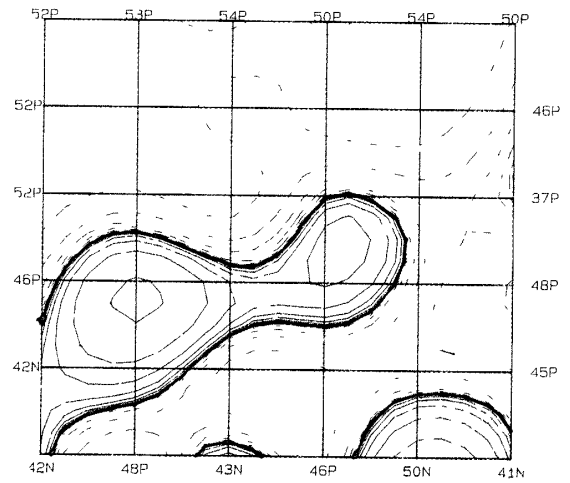


図6 グラスウール固定台据え置き固定法  
Over All C-map

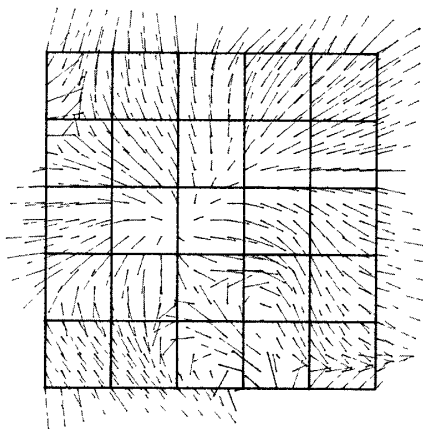


図7 グラスウール固定台据え置き固定法  
6300Hz帯域 V-map

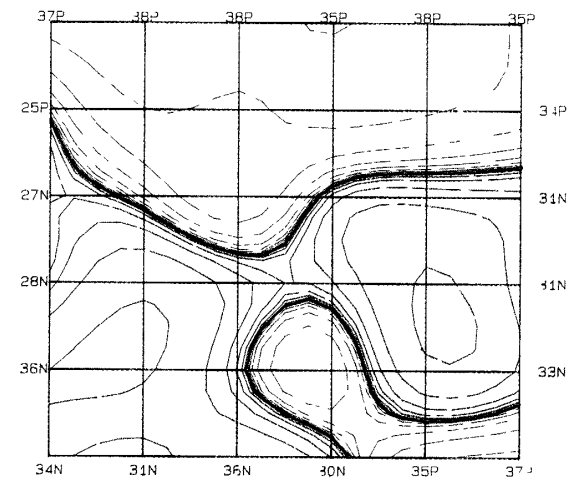


図8 グラスウール固定台据え置き固定法  
6300Hz帯域 C-map

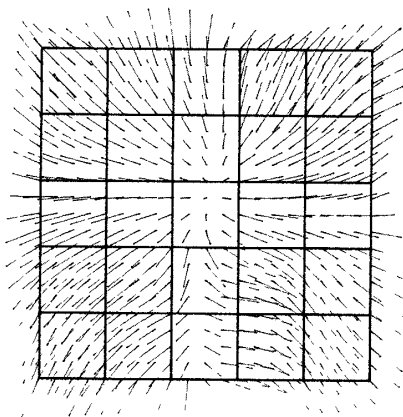


図9 グラスウール固定台据え置き固定法  
8000Hz帯域 V-map

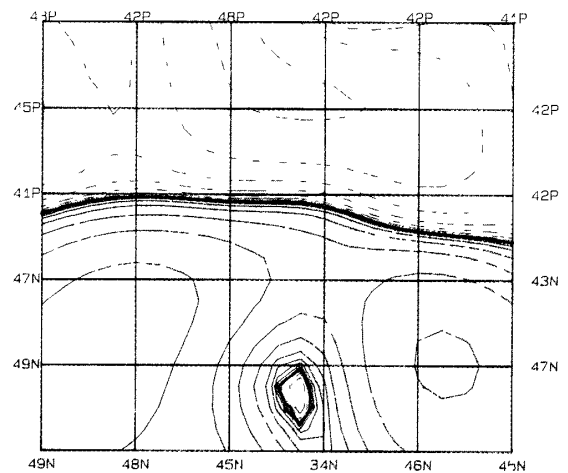


図10 グラスウール固定台据え置き固定法  
8000Hz帯域 C-map



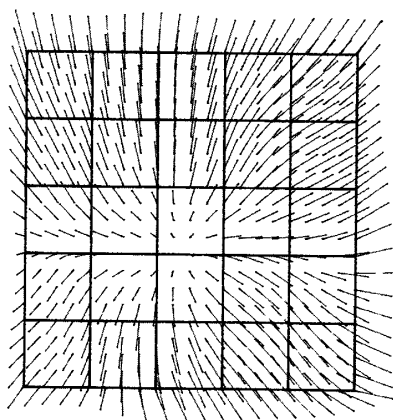


図11 コンクリート固定台据え置き固定法  
Over All V-map

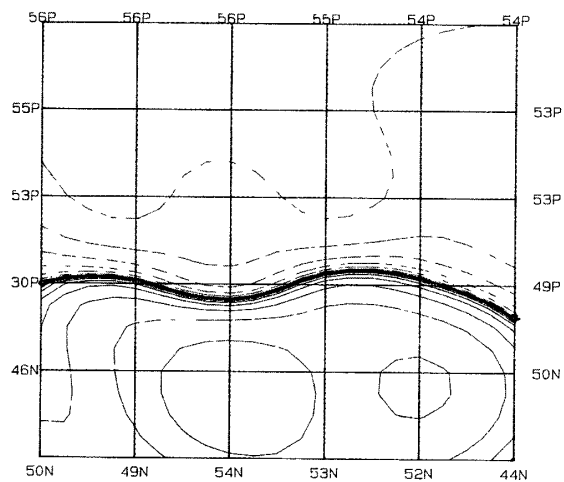


図12 コンクリート固定台据え置き固定法  
Over All C-map

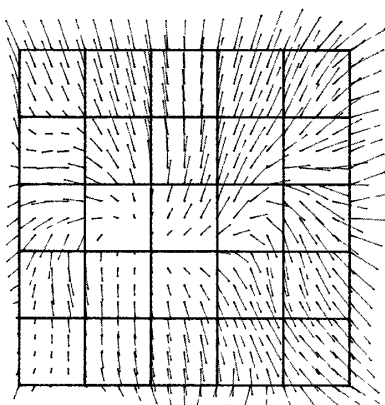


図13 コンクリート固定台据え置き固定法  
6300Hz帯域 V-map

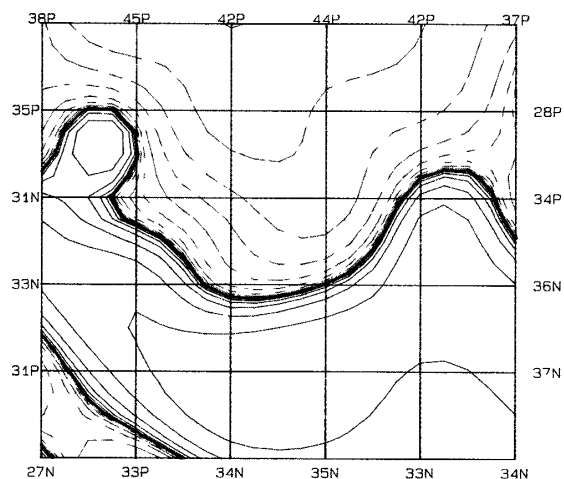


図14 コンクリート固定台据え置き固定法  
6300Hz帯域 C-map

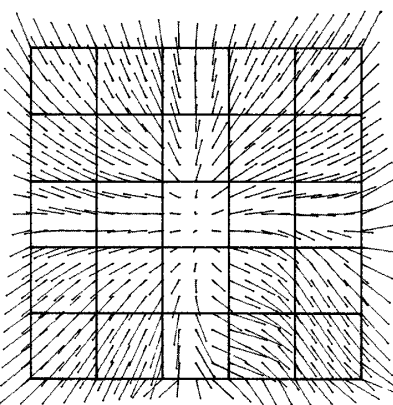


図15 コンクリート固定台据え置き固定法  
8000Hz帯域 V-map

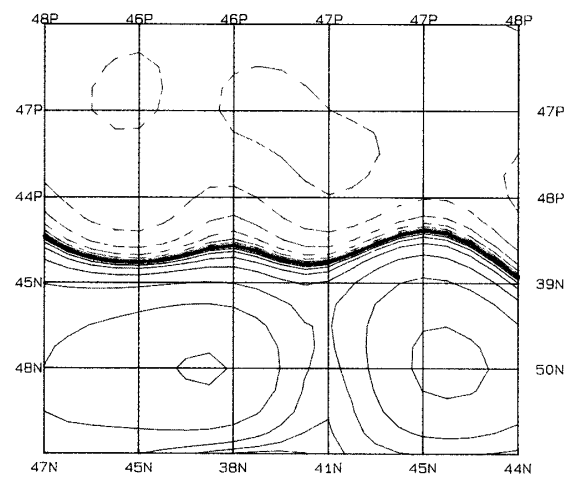


図16 コンクリート固定台据え置き固定法  
8000Hz帯域 C-map

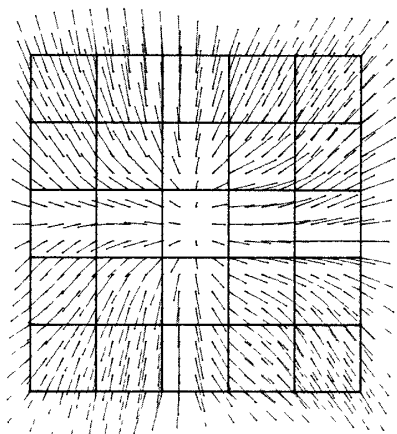


図17 釣り下げ固定法  
Over All V-map

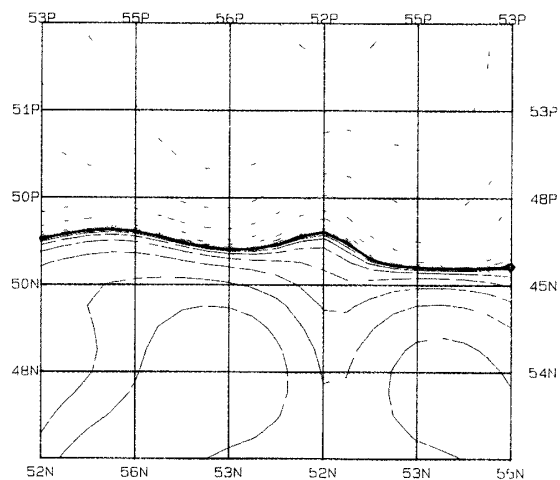


図18 釣り下げ固定法  
Over All C-map

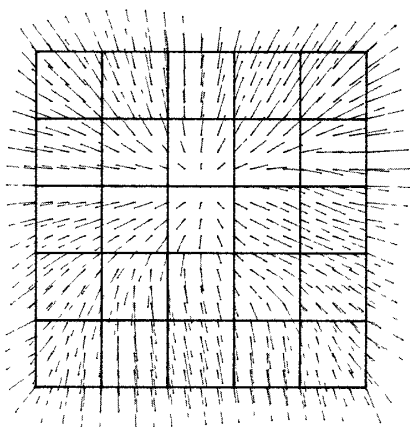


図19 釣り下げ固定法  
6300Hz帯域 V-map

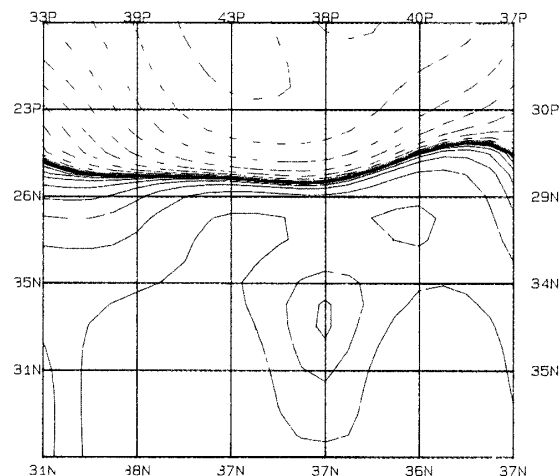


図20 釣り下げ固定法  
6300Hz帯域 C-map

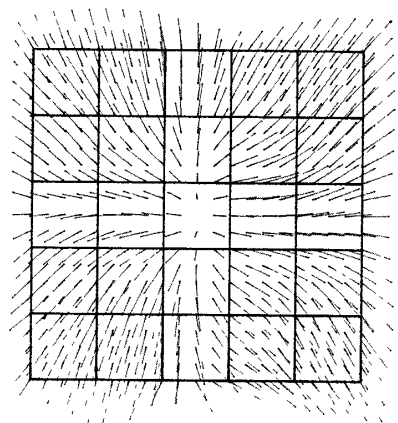


図21 釣り下げ固定法  
8000Hz帯域 V-map

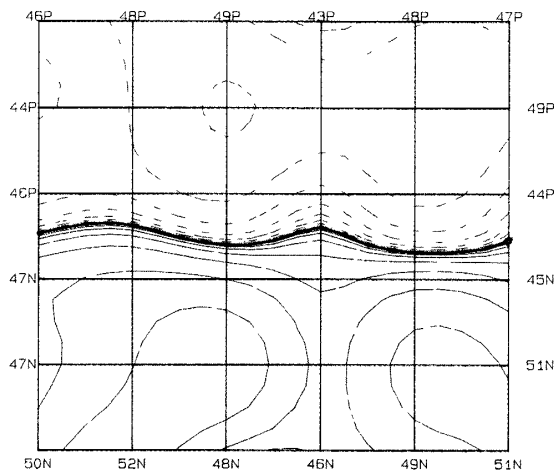


図22 釣り下げ固定法  
8000Hz帯域 C-map