農業用光透過性遮音板の研究 (第1報)

——基本構造と遮音性能——

笹尾 彰*, 岩崎幹雄**

Study of Noise Control by Transparent Insulating Panel for Agricultural Machine(I)

— Panel Structure and Performance —

Akira SASAO and Mikio IWASAKI

1 緒 言

近年、騒音公害対策として遮音壁が随所に設置されているが、光透過性を備えたものは少なく、日照権や眺望権の問題、それに美観を損なうなど多くのトラブルが起きている。農作業においては、ネギの皮むき機作業に見られるように、防音カバーをかぶせることによって視界が妨げられ、作業能率や精度が著しく低下することから、作業者が防音カバーを外した状態で作業を行っている現状がある。単に遮音するだけでなく、作業能率や外観を考慮した「光透過性遮音板」の考案が急務である。そこで本研究では遮音板の内部構成材料に天然高分子ゲルを利用した光透過性遮音板の開発を行い、その有効性を明らかにすると共に、ネギ皮むき機やトラクタキャビンへの応用を試みた。本報では遮音板内部の構成材料の決定とネギ皮むき機への応用について述べ、第2報ではトラクタキャビンへの応用について報告する。

2 遮音板構成材料

遮音板の内部構成材料には固体・液体・気体の三種類が考えられるが、特性インピーダンスの考え方から、物質密度が高く、音の物質内移動速度が速いものが最も音を透過しにくいとされている¹⁾。この

ため固体が最も遮音材に適していると言える。しかしながら、吸音性や光透過性については気体が総じて有利であり、その両者の性質を持ち合わせているのが液体である。さらに施工条件によっては、構造的な板重量制限などから固体は不利なことが多い。また、気体については、気密性などの点から、取扱いがかなり面倒であり、これを用いることはあまり実用的でない。そこで、内部構成材料は、液体の中から選出することにした。液体はさらにその分散媒(液体)中の分散層の種類によって3種類に分類される。それは分散層が気体や液体であるもの、そして、ゾルやゲルのように分散層が固体であるものである。特性インピーダンスの考え方から、固体状態に最も近いゲルが遮音性に優れていることが予想される。ゲルの中でもハイドロゲルはその溶媒が水であり、最も安全かつ安価で、さらに取り扱い易い。また、ゲルの構成が天然高分子であるものは自然界に存在し、再合成する必要がなく、容易に入手できるものが多い。こうしたことから、本研究ではハイドロゲルを形成する天然高分子ゲルを使用することにした。天然高分子ゲルはさらに詳細に分類されるが、この中で我々が容易に利用できるものは多糖類ゲルとタンパク質系ゲルのゼラチンである。多糖類ゲルの中で経済性や取扱い易さに優れているものは、デンプン・寒天・ジェランガムの3種類である。し

平成9年9月25日受理 平成5年度日本農作業学会春季大会で発表

*東京農工大学農学部 〒183 府中市幸町3-5-8

Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agri. & Tech., Fuchu, Tokyo 183-8509

** (株) コマツ総合研修所 〒410-2311 静岡県田方郡大仁町浮橋1601-1

K. K. Komatsu, 1601-1 Ukihashi, Oohito-cho, Takata-gun, Sizuoka 410-2311

かしながらデンプンは、水分を保持したまま80℃以下に放置するとゲル状態を形成していた α -デンプンから天然の生のデンプンである β -デンプンに似だいに老化してしまうことから適応性に欠ける。また、セラチンはゲルの融点が20～35℃と常温に近く、ゲル状態を常に維持することが困難なことから、遮音板の内部構成材料としての対象から省いた。そこで本研究においては寒天とジェランガムの2種類について、特にその遮音性能を重視し、遮音板の内部構成材料に適しているかどうかを総合的に判断した。これらのゲルはその構造がゴムと同様の網目構造であることから弾力性を持ち、さらに透明なことから光透過性遮音板の内部構成材料として適性が高いと考えられる。

3 実験方法

1) 試作遮音板

遮音板の基本構造は、2枚の透明アクリル板(300×300×3 mm)を合成黒ゴム(300×20×5 mm)を介して接着剤で重ね合わせ、その中空部に2本のアルミパイプ(40× ϕ 5 mm)から内部構成材料を注入する構造になっており、透明アクリル板の間に天然高分子ゲルを挟んだものである(図6断面図参照)。

2) 内部構成材料

内部構成材料は以下のものを用いて、それぞれの特性を調べた。すなわち、①濃度0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25%の5種類の寒天、②濃度0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25%の5種類ジェランガム(食品用増粘剤)、③工業用ゲルI(自動車用ポッティング剤)、④工業用ゲルII(シューズ用振動吸収剤)、⑤水道水である。比較のために、アクリル板1枚(単板)と内部構成材料を注入しないもの、すなわち、中空部幅3 mm(3 mm中空)のものと5 mm(5 mm中空)の3種類を用いた。

3) 遮音板の光透過性

光透過率の測定には豆球(2.5V, 0.5A)を光源として、照度計により光源と遮音板透過光の照度を測定し、これをもとに光透過率(%)を算出した。

4) 遮音板の遮音性能

残響室法²⁾により、10KHz帯域のホワイトノイズと90種類のシングルノイズ(中心周波数:125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000Hz, 音圧レベル:75, 80, 85, 90, 95, 100dBの組み合わせ)に対する遮音板の

透過損失値を測定した。

4 実験結果

1) 天然高分子ゲルの光透過性

(1) 構成材料別光透過率

図1に遮音板の光透過率を示す。遮音板に何も注入しない場合(中空)は、単板に近い、高い光透過率を示している。5 mm幅の中空遮音板で83.3%の光透過率をえた。しかしながら、透明であり、高い光透過率を示すと予想された工業用ゲルIとIIにおいては70%前後と1.0%濃度のジェランガムと同程度の光透過率にとどまった。1.0%濃度の寒天については42.0%とかなり低い値を示し、遮音板の向こう側が見えるものの、精密な作業を行う場合に、この注入物を介して作業するのは困難であると思われる。わずかに白色を帯びた1.0%のジェランガムに72.5%もの光透過率が得られたのは予想以上の結果であり、光透過性遮音板の内部構成材料としてかなり有効であることが判明した。

常時就業する場所の作業面の照度は、普通の作業の場合150ルクス以上と規定されている。こうした作

図1 構成材料別光透過率

図2 光透過率の濃度依存性

業環境下で利用されると思われる遮音板の光透過性は、遮音性と並んで重要な項目であり、遮音板によって聴覚のみならず視覚に対しても良い環境を作り出すことが必要である。

(2) 光透過率の濃度依存性

図2に寒天とジェランガムの光透過率の濃度依存性を示す。寒天においてはその濃度が0.25%高くなるにつれておよそ10%もの光透過率の減少がみられる。寒天自体が明るい灰色を帯びているために、0.25%濃度の寒天においては70%もの光透過率が得られているものの、1.25%濃度の寒天では32%とかなり低くなっている。これに対してジェランガムは、わずかに白色をおびているにも関わらず、その光透過性の濃度依存性は低く、0.25%濃度のジェランガムで78.3%もの光透過率を示し、1.25%濃度のジェランガムについても71.7%と、0.25%濃度の寒天よりも2%近くも高い値を示している。こうしたことから、光透過性を重視した遮音板の内部構成材料としてはジェランガムが適していると思われ、その濃度については厳密には低いものが良いと考えられるが、その影響の小さいことが判明した。

2) 天然高分子ゲルの遮音性能

(1) 透過損失平均値

図3にシングルノイズを放射したときの透過損失算術平均値を示す。明らかに中空遮音板よりゲル注入遮音板の透過損失が高くなっており、媒質の密度と媒質中の音速の積である特性インピーダンスの大きいものほど効果的な遮音性能が得られるという理論²⁾どりの測定結果が得られた。また、その遮音値も1.0%の寒天が24.3dB、1.0%のジェランガムが25.0dBとかなり高く、5mm幅中空遮音板と比較して9dB程度も高い遮音性能を示した。

(2) 遮音性能の周波数依存性

図4にシングルノイズの各周波数に対する透過損失を内部材料別に示す。1kHz～2kHzにおける透過損失は何れも高い値を示し、5mm幅中空遮音板にゲルを注入することによって315Hzと3150Hzにおける透過損失の劣化（コインシデンス効果）がかなり減少していることが分かる。ジェランガムは、人の聴覚に悪影響を及ぼすとされる2～4kHz付近の高周波数において高い透過損失を示し、3150Hzにおいてもその他のゲルと異なり、劣化がほとんどみられないことから、遮音材料としてかなり有効であると考えられる。

(3) 遮音性能の濃度依存性

図3 シングルノイズに対する音の透過損失

図4 遮音性能の周波数特性

図5 遮音性能の濃度依存性

図5にホワイトノイズ放射時の各々の遮音板の透過損失算術平均値を示す。これによると、寒天とジェランガムの両者において、その濃度が高くなるにつれて透過損失値がわずかに増加しているのが分かる。これは濃度の増加にともない、その面密度が高くなることによって遮音性能が増したものと考えられる。また、寒天とジェランガムではその透過損失値に平均で1.6dBの差がみられ、寒天がジェランガムよりわずかにホワイトノイズのような広い周波数帯域の音に対して高い遮音性能を示した。しかしな

がら、両者ともエネルギー比で50倍もの値になる17 dB前後の透過損失値を示すことから、その遮音性能を高く評価すべきである。

5 ネギ皮むき機への応用

1) ネギ皮むき機用防音カバーの構造

光透過率、遮音性能の両面から見て、光透過性遮音板の内部構成材料として濃度1.0%のジェランガムは大変有効なものであることを得た。これを用いて、従来から研究されていたネギ皮むき機の防音カバー³⁾に応用する。図6に試作した防音カバーを示す。寸法は文献³⁾に対応させて決定した。

2) 防音カバーの性能試験

遮音性能の判定は作業者の耳元ならびに2 m後方における等価騒音レベルと音圧レベルを周波数ごとに分析した結果を用いて行った。試験区は、噴射ノズル先端を覆う長さで3種類(0, 5, 10 cm)に区分した。

表1 等価騒音レベル 単位: dB

測定点	耳元 (L_{Aeq60})	2 m後方 (L_{Aeq60})
箱無し	91.1	78.8
0 cm	87.2	77.8
5 cm	85.3	77.7
10 cm	82.5	75.9

図6 試作防音カバーと遮音板の断面(数値はmm)

3) 性能試験結果

(1) 等価騒音レベル

表1に60秒間の等価騒音レベルの測定結果を示す。これは3本のネギを処理するときのもので、2回のネギの取り替え作業時の騒音も含んだものであり、実作業の等価騒音レベルに対応するものと考えられる。ネギの皮むき機作業では瞬間的には100dB(A)を越える大きな騒音が出ることが知られている³⁾。作業環境の評価として、等価騒音レベルでみると、91.1dBもの高い騒音が発生し、作業者の耳元まで届いている。このような大きな値を示す騒音がノズル近辺を防音カバーで覆うことで8.6dB遮音され、82.5dBにまで減音されている。これは労働安全規則の作業環境基準ならびにILOの注意限度レベルを満たし、産業衛生学会の騒音許容基準では、8時間以上の作業が認められる値である。ここで、防音カバーがノズル先端と0 cmにあるときは耳元で3.9dBの遮音値を示し、10cm覆うことでさらに4.7dB近くの遮音効果が得られた。

2 m後方の騒音レベルは防音カバーを装着しない状態でネギの皮むき機作業を行うと78.8dBの値を示す。防音カバーをノズルの上10cmの位置に装着することで2.9dBの減音がみられるが、この遮音値はかなり小さな値となっている。しかしながら、80dB未満の作業環境騒音であることから、聴覚障害を生じる危険性は少なく、問題はないと思われる。

(2) 周波数分析結果

図7に産業衛生学会の騒音許容基準と比較するた

図7 騒音の許容基準による評価

めに、ネギ皮むき機の騒音と防音箱を0 cm位置と10 cm位置に装着した場合の音圧レベルを1/3オクターブ分析した結果を重ねて示す。これによると、防音カバーによる遮音効果は明らかであり、1日30分以内で行わなければならなかった作業が、防音カバーを取り付けることによって1日8時間の作業が可能になった。ネギ特有のびびり音と思われる2.5kHz付近の周波数での騒音を最高で16.2dBも減音できることが分かった。3 kHz付近前後で15dB以上も遮音できていることはかなり有効である。315Hzにおける増幅音は、コイシデンス効果やアクリル板の固有振動数との共振による固体音の発生が原因と考えられる。文献³⁾で得られた結果と遜色無く、さらに、光透過性であることから作業の障害も回避でき、大変有効な防音カバーと考えられる。

6 摘 要

本研究は遮音板の内部構成材料に天然高分子ゲルを利用した光透過性遮音板の開発を行い、その遮音板内部の構成材料の決定とネギ皮むき機への応用について検討し、以下のような結果を得た。

1) 光透過性に関しては、83.3%の光透過率を示す5 mm幅の中空遮音板に1.0%濃度のジェランガムを注入することによる透過率の減少はわずか10.8%であることから、ジェランガムの光透過性がかなり高いことが判明した。また、ジェランガムの濃度への依存性は少なく5種類の濃度（0.25%～1.25%）変化に対して、78.3%～71.7%の高い光透過率を示した。

2) 遮音性能については、シングルノイズ放射時の性能は1.0%の寒天で24.3dB、1.0%のジェランガムで25.0dBの高い透過損失値を示した。この値は中空遮音板に比べて9 dB程度高い値であることから、ゲルを注入することによって、その遮音性能が確実に向上することが判明した。

ゲル注入遮音板の透過音の周波数分析によると、315Hzと3150Hzにおける透過損失の劣化（コイシデンス効果）がかなり減少することが明らかになった。特に、ジェランガムにおいては人の聴覚に悪影響を及ぼすとされる2～4 kHz付近の高い周波数帯域の騒音を効果的に遮音し、3150Hzにおいてもその他のゲルに比べ劣化がほとんど見られないことから、遮音材料として有効であることが明らかになった。

ホワイトノイズ放射時の遮音性能の濃度依存性を寒天とジェランガムについてみると両者とも濃度が

高くなるにつれて透過損失がわずかに増加することが認められた。これは、濃度の増加とともに、その面密度が高くなることによって遮音性能が増加したものと考えられる。ジェランガムで濃度0.25%～1.25%の変化に対して1.2dBの透過損失の増加が認められた。いずれの濃度においてもエネルギー比で50倍もの値になる17dB前後の透過損失値を示すことから、その遮音性能は高く評価される。

以上のように、ジェランガムの高い遮音性能と光透過性を得たことから、光透過性遮音材料として適していると判断した。また、その濃度については、光透過性が濃度により依存せず、遮音性能についても濃度が高くなるにつれて、わずかにその性能が向上するが、その影響は小さい。経済性や取扱い易さ、施工性などを考慮して、1.0%濃度のもので十分目的にかなうものと考え、これを光透過性遮音板の注入材料として用いることに決定した。

4) この遮音板を組み合わせることによって、ネギ皮むき機の防音カバーを製作し、その遮音効果を検討した。

1.0%濃度のジェランガムを注入した防音カバーでノズルを10cm覆うことにより、作業者の耳元に届く等価騒音レベル91.1dB(A)の音を82.5dB(A)にまで減音し、かなり高い遮音性能を示した。この10 dB(A)近い透過損失値は、これまでのネギ皮むき機用防音カバーにおける研究成果と比較してもたいへん高い遮音値である³⁾ことから、ジェランガム利用による遮音効果はかなり高いことを証明することができた。

周波数分析結果からは、ネギ特有のびびり音と思われる2.5kHz付近の高い周波数の音を最高で16.2 dBも減音できることが分かった。これにより、産業衛生学会の騒音許容基準を満たすためには1日30分以内で行わなければならなかった作業が、1日8時間の作業を可能にした。さらにこれまでの高い遮音性能を備えた防音カバーには、このカバーのように75%もの光透過性を備えたものはなく、この防音カバーが聴覚だけでなく視覚に対しても良好な作業環境を作り出せることが判明した。さらにこの防音カバーは、その構成材料が食品に多用されているジェランガムと、市販されているアクリル板や接着剤であることから、これを自作することが容易である。こうしたことから、各農家が少ない予算で専用の防音カバーを製作することも可能であり、その手軽さにおいてもかなり優れていると思われる。

参考文献

- 1) たとえば, 五十嵐壽一・山下充康 (1988), 騒音工学105-111, コロナ社
- 2) 日本音響材料協会編 (1982), 騒音・振動対策ハンドブック, 74, 技報堂
- 3) 笹尾 彰他(1990), ネギ皮むき機作業の研究(第4報), 農作業研究, 25(3), 228-235

Summary

In this study a noise insulating panel was developed using a natural based polymer gel sandwiched and boarded by transparent materials. In addition, a material between the boards of the noise insulating panel was selected and its application to a Welsh onion shelling machine was examined. Results of this study are as follows.

- 1) According to the transparency, it became clear that due to the 1.0% density of Gellamgum, the decrease in the transparency was just about 10%. Furthermore, the coefficient of light transmission showed 78.3%~71.7% in the five types of densities (0.25~1.25%) of Gellamgum and effect of the density was small.
- 2) According to the noise reduction efficiency, regarding the frequencies of the filtered noise coming through the insulating panel poured with a polymer gel, we can say that the coincidence effect at 315Hz and 3150Hz was significantly fairly reduced. By using Gellamgum, the

effect and the noise at high range frequencies of 2kHz to 4kHz were fairly reduced.

From the measurements conducted, it was clear that Cglllemgum having a noise reduction efficiency, has a high light transmission coefficient. From the economic view point, the ease of handling and manufacturing, Gellamgum gel with 1% density was suitable and it was decided to be used as a stuffing material for the boards of the noise insulating panel.

- 3) Using the noise insulating panel, a soundproof cover for the Welsh onion shelling was constructed and was examined in order to reduce the noise.

Results of the frequency analysis showed that the noise coming from high frequency vibration of Welsh onion shells at frequency of 2.5kHz was reduced by 16.2dB. Moreover, it became clear that using the soundproof cover with high noise reduction efficiency, the transparency was the highest at 75%, and the soundproof cover was able to provide an excellent working environment relating to sense of hearing as well as sense of sight. Gellamgum widely used in food industry, acrylic plate and glue sold at market were used as basic materials for the soundproof cover which could be constructed easily. Therefore, every farmer having a small budget could possibly fabricate a soundproof cover which is pretty easy to use.