

5. ホイールローダ用低騒音バケットの開発

コマツ 研究本部 第一イノベーションセンタ 中田 国昭
 コマツ 研究本部 第一イノベーションセンタ ○今村 一哉

1. はじめに

建設機械（以下建機と呼ぶ）は高馬力エンジンを搭載し作業機を動かす油圧装置、足回りを動かす伝達装置と数多くの騒音源を有しており、その発生レベルは自動車や鉄道など他分野の機械に比べ極めて大きい。環境省による毎年の環境白書では典型7公害の中で騒音に関する苦情件数は常に上位にあり、その内訳では建設作業騒音は工場・事業所騒音に次いで第2位を占めている。

このような騒音公害を防止するため昭和40年代半ばより建機に対する規制が施行され、規制値・稼働条件・測定方法など各観点で段階的な強化が行われている¹⁾。現在の国土交通省低騒音型建設機械指定制度やEU騒音規制では、機械の大きさにより決められた半球球仮想面の定点6箇所機種毎に規定されたダイナミック条件（模擬作業サイクル）の等価騒音（発生騒音のエネルギー平均値）を計測し、計測値から換算したパワーレベルに対し搭載エンジン馬力に比例した規制値が定められている。

この規制が功を奏し、エンジンや油圧機器など常時発生する動力源騒音はこれを収納するマシナールームの防音や排・給気サイレンサーの音源対策などにより格段の低減が図られてきた^{2) 3)}。しかし、現行規制では土砂・岩石のような対象物で実作業する条件がない上に過酷な接触、衝撃条件でも耐えられる低騒音作業機の開発が技術的に難しいため、発生頻度は少ないが作業機が対象物と衝突・接触して発生する最大騒音（作業騒音）の低減が進んでない。

このような背景から、マシナールーム外にある作業機・足回りの騒音は相対的に目立ちはじめ、特に民家に隣接する建材店等で稼働するホイールローダの作業騒音低減ニーズが強い。本開発では対摩耗・損傷に優れた鋼板で構成した積層板ダンパ技術をバケットに適用し作業時の低騒音化 $\Delta 5$ dB(A)を

行った。そして、徹底的な車体低騒音化を行い国土交通省に認定された超低騒音型建設機械にこの低騒音バケットを標準装備し、URBAN SILENCERと呼称し市場導入を行い、建機騒音の苦情の原因となる実作業時の低騒音化を実現した。

2. ホイールローダの現状騒音

ホイールローダ騒音（図1）の特徴はタイヤ式であるため走行時は足回り騒音の寄与度が小さく定置でエンジンをハイアイドルにした時の騒音とほぼ同等である。また、規制などで定められているダイナミック条件は作業対象物での実作業はなく、作業機をストッパーに当てない模擬作業サイクルである。このため、定置ハイアイドルとほぼ同等レベルであり、エンジンなどの動力源騒音の寄与度が圧倒的に大きく、規制対応では動力源を収納するマシナールームの防音がキー技術になる。

ところが、実作業では著しく騒音が増大し、とくに苦情の多いグレーディング作業では規制で定められたダイナミック条件に対し約25 dB(A)（エネルギー比で320倍）増大する。従って常時発生し被害頻度の多い動力源騒音の低減は勿論重要であるが、頻度は少なくとも最大騒音を発生し作業場近隣の住民より苦情の原因となる実作業騒音の低減

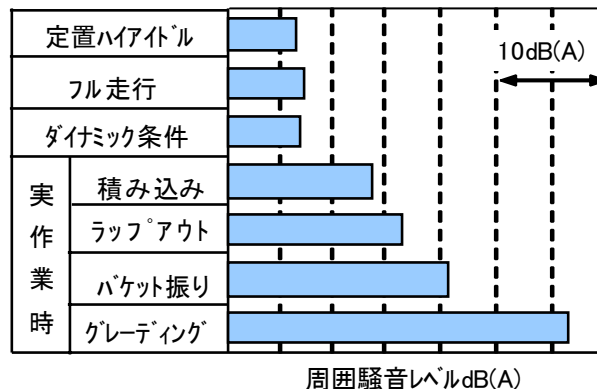


図1:ホイールローダの現状騒音

ニーズは益々高まっている。

しかし、従来はユーザの声を代表する営業部門からこの技術開発を強く要求されても打つ手がなかったため、音を極力たてないように作業速度の抑制、コンクリート路面の清掃、ヤード周囲の防音壁などユーザ側の努力で問題対応が図られてきた。

3. 作業騒音の発生メカニズムと低騒音化

作業騒音では耳で聞いても明らかにバケットから発生する音が多い。この発生メカニズムは、土砂・岩石などの衝突、コンクリート路面や砂利などとの引き摺り接触、起動・停止時ショックなどの力の作用によりバケット各部が振動し騒音として放射されている。従って、振動放射音の寄与が大きな部位に振動を抑える制振材料を適用する事が騒音低減に有効となる。しかし、従来の制振材はゴム、樹脂、アスファルトなど粘弾性特性を利用したものや制振鋼板しかなく建機の過酷条件に対し実用上問題があったため、鋼板から構成される独自の積層板ダンパ技術を開発・適用した(図2)。

鋼板を重ねた構造の積層板ダンパはリーフばねと同じ摩擦ダンパの一種であり、重なり合う鋼板同士が振動し層間の微小な相対変位により発生する摩擦力で騒音の原因となる振動エネルギーを吸収する。また、鋼板だけを素材としているため、前述の粘弾性材に比べ素材強度・耐摩耗性・耐候性のほかにリサイクル性にも優れている。さらに、鋼板構造物であるバケットに溶接などの取付けが容易であり、低コストで耐久性が高く補修が簡単という建機向け制振デバイスとしての優れた特長がある。

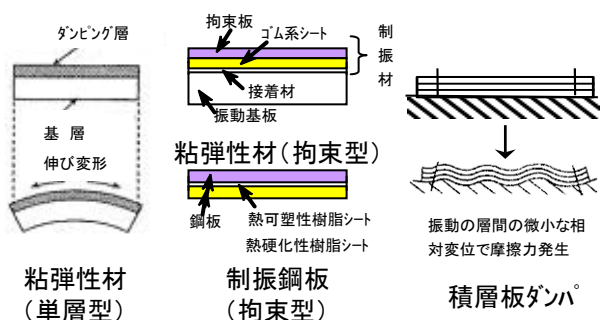


図2: 主な制音材料&構造

この適用にあたり、作業騒音の寄与が大きい周波数帯で実験による振動モード解析(図3)を行い積層板ダンパの取付けを次のように決定した。

- ①振幅が大きな側板部は全面に一体型の積層板を付加
- ②ねじり振動の大きなスピルガード部位は剛性を高めた構造にしてから積層板を付加
- ③高次振動モードが主体の底板は振動の腹が多数存在するので小型積層板を分散して付加

また、低騒音バケットの開発にあたり「実作業最大騒音を誰が聞いても明らかに低減効果があると分かるレベル: $\Delta 5 \text{ dB (A)}$ 」を研究目標値とし、作業性・操作性・耐久性は標準バケットの品質を損なわない重量・構造を配慮した。低騒音バケット(図4)は品質で実績のある標準バケットと構造・部材を共通化し、製作工程でつぎの特色をもつ業界初の

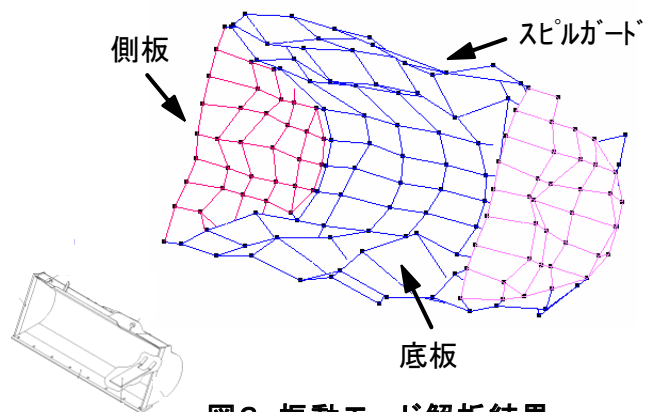


図3: 振動モード解析結果

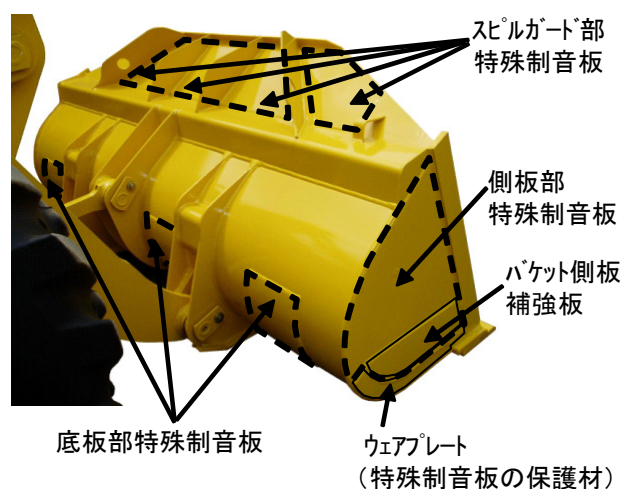


図4: 低騒音バケットの構造
(特許出願中)

積層板ダンパをアドオンした。バケットとしてはホイールローダの中でも都市部で稼働する機会が多く低騒音化が望まれている山積み容量1.3m³の小型機種（当社該当機種WA100：機関出力68KW）用を対象に開発した。

①特殊制音構造

材料は鋼板だけを使用し、表面は耐摩耗性に優れた高張力鋼板を採用。振動モードの節付近で各積層板を栓溶接で固定し、各層間の密着と外板の浮上がり防止により優れた制音効果と外観品質を両立した耐久の高い制音構造

②積層板の保護構造

積層板が直接、土砂など作業対象物に曝露されないよう端部周辺は他部材、またはウエアプレート付加により保護。また、層間内部に雨水が浸入し、凍結や錆の発生がないよう積層板周囲を全周溶接し、これを防止

③ハードな現場にも対応する堅牢設計

バケットが擦れやすく摩耗が多い部位に、積層板ダンパの制音効果を妨げない補強板を付加

また、効果確認水準試験の過程で積層板ダンパの最適設計パラメータをデータベース化したため、他機種のバケットでもこの研究開発成果を水平展開することにより適用可能にした。最適設計パラメータの骨子はつぎの通りである。

- ①内板の枚数は多いほど良い
- ②拘束点(ボルトや溶接固定)は少ないほど良い
- ③拘束点は振動モードの節位置であれば制音効果は悪化しない
- ④外板厚さは被対象物の剛性に応じた最適値がある
- ⑤押し付け力は大きい方が良く、ボルト止めの場合には、カラーを併用する必要がある
- ⑥面積は大きい程良いが、高次振動モードが主体の場合は分散配置が良い

4. 製品適用化事例と低騒音効果

低騒音バケットの製品化に先駆け、試作バケットをユーザ先で一定期間試用頂き、つぎのような非常に高い評価を得た。

- ・低騒音バケットは鈍い音がするだけで響かない

- ・作業時のバケットの音が全然違う（甲高い音がなく静か）
- ・低騒音バケットを装着して使いたい

実車での実作業騒音では図5の効果を得た。グレーディング作業やバケット振りのようにユーザの低減ニーズが強い、非常に大きい騒音を発生する作業条件で研究開発の狙いとする△5dB(A)を達成し、これが高評価につながった。

積み込み時の低減効果が少ないのはバケットに入った作業対象物が積層板ダンパと同じ機能の制振効果の役割を果たしているためであり、この作業条件では他の条件に比較し騒音レベルが小さいため、問題ないと思われる。

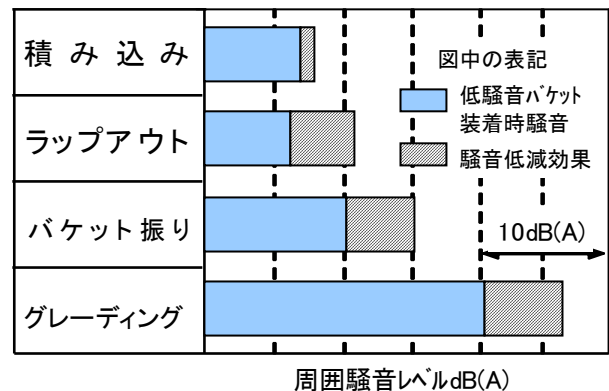


図5: 低騒音バケットによる実作業騒音

この製品適用化にあたっては、車体側の低騒音化も徹底的に行い、低騒音バケットを標準装備することによりユーザニーズに広く応えることにした。

車体低騒音化はつぎの現状調査をもとに行った。

①騒音源寄与度

騒音源のランキングとその大きさのレベルを調査し対策が必要な騒音源と方策・低減量割付を決定

②部位別放射寄与度

騒音源対策をしなくてもマシンルーム内に収納しているエンジンや油圧機器など主要な騒音源は防音対策により低騒音化ができるため、マシンルームのどの部位からどれだけの大きさの騒音が放射しているか調査し、対策部位と低減量割付を決定

③伝搬経路別寄与度

対策部位からの騒音が、収納している騒音源からどのような伝わり方をして放射しているのかを調査し、振動伝搬なら防振・制振を、空気伝搬により

壁面を加振する透過音や隙間から直接放射する音なら遮音、冷却に必要な空気口から放射する音なら吸音・消音と、低騒音化の方策を決定

これらの調査結果より、騒音源対策はマシンルームの外に出ている排気音に対してはボンネット内に1個、外部には並列に2個の大型マフラを装備し、冷却開口部付近に位置し外部に騒音が放出しやすいファンに対しては低騒音型油圧駆動ファンを採用した。その他の騒音発生源を収納したマシンルームについては密閉化と吸音材の適切配置を行い、冷却風開口部は風を通して音は通さない吸音ブレードを備えた吸音ダクト構造とした。この低騒音化を行った当社WA100-5の構造を図6に示す。車体から発生する騒音を大幅に低減した当機種の騒音パワーレベルは、国土交通省指定の「超低騒音型建設機械」の認定機種となっている(表1)。

5. まとめ

夜間の道路工事、住宅地などの人口密集地や病院・学校に隣接した場所など都市部での工事では、

表1: WA100-5ホイールローダの騒音

単位: dB(A)

	騒音測定値 (パワーレベル)	国土交通省指定値
標準車	103	低騒音型建設機械 104
アーバンサイレンサ	97	超低騒音型建設機械 98

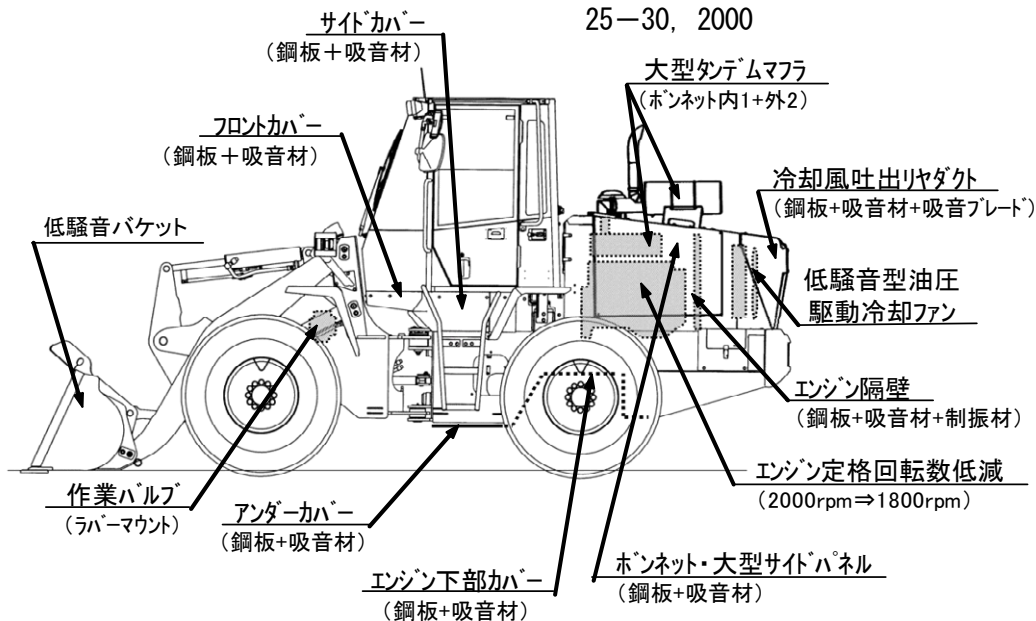


図6: URBAN SILENCERの低騒音構造

周辺の人々の暮らしを騒音で妨げることのない、静粛な建機が求められている。

環境騒音規制が年々強化される中で、自動車や鉄道など身近な機械と同様に建機でも車体の低騒音化が進んでいる。本研究開発では徹底した車体低騒音化を行い国土交通省に認定された超低騒音型建設機械に低騒音バケットを標準装備し、URBANSILENCERと呼称し市場導入を行い、建機騒音の苦情の原因となる実作業騒音の低騒音化を実現した。その結果、夜間の都市土木工事や除雪など、静粛性を要求される作業の低騒音化に大きく前進した。

しかし、工事現場周辺の人々にとって作業騒音は全く不要であることを真摯に受け止め、建設・土木工事や除雪作業などの更なる低騒音化に向けて建機の制音研究を加速し、画期的な商品開発により静かな建機づくりを進め、環境に優しい社会作りに貢献していきたい。

参考文献

- 1) 中田国昭：建設機械における超低騒音設計の勘どころ，機械設計，Vol. 49, No8. 64-69, 2005
- 2) 中田国昭：油圧ショベルの騒音と低減対策，騒音制御，Vol. 19, No. 4, 15-17, 1995
- 3) 中田国昭，他4名：超低騒音都市型油圧ショベルの研究開発，建設荷役車両，Vol. 22, No. 125, 25-30, 2000