

建設機械用低騒音バケットの技術開発

今 村 一 哉^{※)}
中 田 国 昭^{※※)}

1. はじめに

年を追う毎に強化される騒音規制に対応する形で、建設機械の発生する騒音は格段に低減されてきている。特に動力系（エンジン、油圧機器など）騒音の低減技術は、格段に進歩した。

しかし、作業機騒音（バケットなどの作業機が土砂・岩石などと接触する際に発生する騒音）については、作業機の過酷な使用条件に耐える低騒音化技術が無いために低減が進んでいないのが現状である。

実作業における作業機騒音の発生頻度は動力系騒音に比べて低いが、その騒音レベルは動力系騒音に比べて高く、騒音苦情発生の大きな要因となっている。規制対応によって動力系騒音の低減が進んだため、作業機騒音低減の重要度は年々高まっている。

この状況に対して当社では高い耐久性を持つ積層板ダンパをバケットに適用し、作業性、耐久性に関して従来商品と遜色のない低騒音バケットを商品化した。

本報では低騒音バケットを装備した超低騒音ホイールローダ WA100-5 URBAN SILENCER と、大きな騒音発生を伴うスケルトン作業や軟岩掘削作業時に高い低騒音効果を発揮する油圧ショベル用 3Q 低騒音バケットについて、開発の狙いと技術の特徴を紹介する。

2. 建機騒音規制の現状

まず、建設機械の騒音規制の現状について紹介する。

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面上の測定点 6 箇所、機種毎に規定された模擬作業サイクル中の等価騒音（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出力に比例した規制値が定められている。（以下、この規制

に定められた測定方法をダイナミック条件と呼ぶ。）

ダイナミック条件は模擬作業サイクルで行われるため、作業機が土砂や岩石などの作業対象物に接触することはない。また、作業機をストッパに当たるまで動かすこともなく、結果として作業機から発生する騒音は実作業におけるよりも小さくなっている。したがって、エンジンや油圧機器などの動力系騒音の寄与が大きくなり、規制対応においては動力系騒音の低減がキー技術となる。具体的には動力源を格納するマシナールームの防音、吸・排気サイレンサーや低騒音ファン採用による音源対策が主体となっている^{1) 2) 3)}。

3. ホイールローダの現状騒音

ホイールローダは民家に隣接する建材店など都市部で稼働する機会が多く、作業機騒音の低減ニーズが高い。ホイールローダ騒音（図 1）の特徴として、

- ①タイヤ式であるため、走行時においても足回り騒音の寄与が小さく、走行騒音は定置ハイアイドル（停車してエンジンをハイアイドルにした時）騒音と大差がない。
- ②ダイナミック条件においても、定置ハイアイドルとほぼ同等の騒音レベルとなっている。

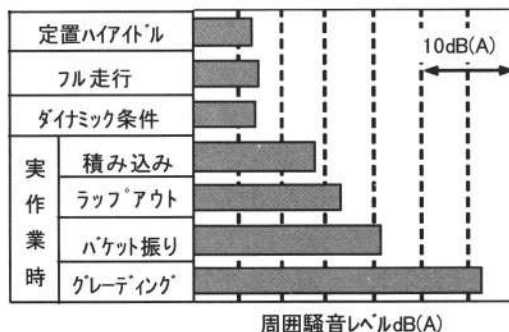


図 1 ホイールローダの現状騒音

と言える。したがって、規制対応においては、前述した通り動力系騒音の低減が主体となっている。

ところが、実作業では著しく騒音が増大し、特に苦情の多い土場清掃などのグレーディング作業においては、ダイナミック条件に比べて25dB (A) (エネルギー比で320倍) も増大する。したがって、常時発生し被害頻度の多い動力系騒音の低減だけでなく、被害頻度は少なくとも最大騒音を発生し作業場近隣住民からの苦情の原因となる作業機騒音の低減ニーズが非常に高い。

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いため、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。

4. 作業騒音の発生メカニズムと低騒音化技術

実作業時においては、バケットから発生する音が圧倒的に大きい。これは、耳で聞いていても明らかである。この発生メカニズムとして、

- ①土砂・岩石等とバケットの衝突
- ②コンクリート路面や砂利とバケットの擦れ
- ③起動・停止時に発生するショック

等によってバケットに作用する力がバケット各部の振動を励起し、これが騒音として放射されていることがわかっている。

このような振動放射音に対しては、寄与の大きな部位に振動を抑える制振材料を適用することが有効な対策となる。しかし、従来の制振材料はゴム、樹脂、アスファルトなどの粘弾性材料か制振鋼板(粘弾性材料を鋼板でサンドイッチした構造)しかなく、建設機械の過酷な使用条件においては実用上の問題があった。

これに対して我々は、過酷条件下でも十分な耐久性を有し、安価な鋼板のみで構成される積層板ダンパ(図2)を開発し、バケットに適用した。

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である。重なり合う鋼板同士が振動すると、各層間に微少な相対変位を生じる。この相対変位によって摩擦力が発生し、騒音の原因となる振動のエネルギーを吸収し熱として消散させることで騒音低減効果を得ている。

積層板ダンパには、次のような優れた特徴がある。

《積層板ダンパの特徴》

- ①素材単価が安い。
- ②バケットと同じ鋼板製であるため、溶接によって簡単・強固な取り付けが可能で、補修も容易。
- ③粘弾性材料に比べて素材強度、耐摩耗性に優れる。
- ④耐候性に優れるため、粘弾性材料に見られる性能・強度の経年劣化が無い。
- ⑤リサイクルが容易である。

この特徴のため、低コストで耐久性が高く補修も簡単な建設機械向けの優れた制振デバイスとなっている。

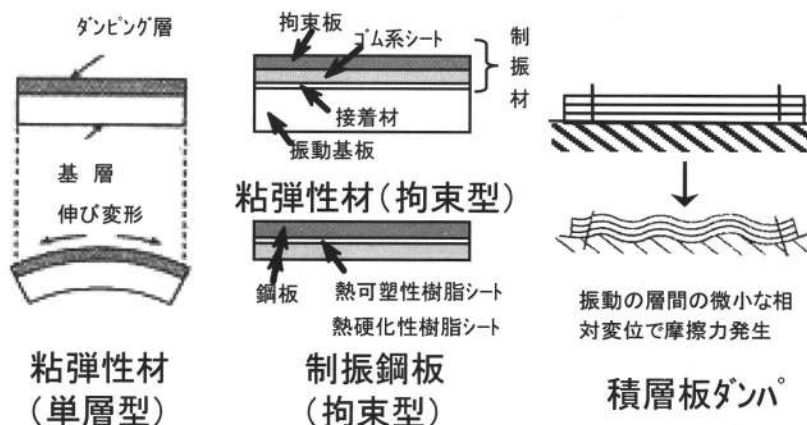


図2 主な制振材料・構造

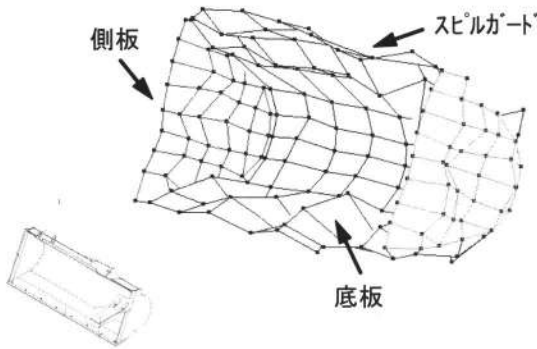


図3 振動モード解析結果

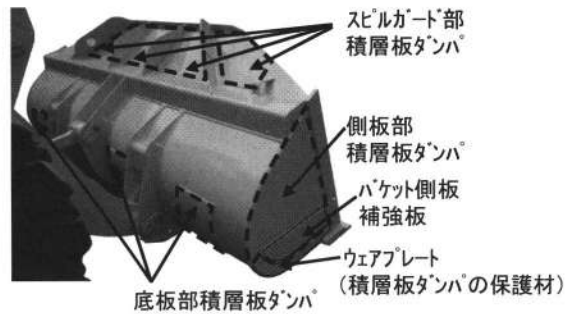


図4 低騒音バケットの構造

5. ホイールローダ用低騒音バケットの開発

作業機騒音の低減ニーズの高いホイールローダの中でも、特に都市部での移動機会が多いバケット容量 1.3m^3 の小型機種（当社該当機種 WA100：定格出力 68kW ）用を対象に開発を行い、

- ①積層板ダンパの適用により、実作業時最大騒音を誰が聞いても明らかに低減効果を実感できるレベル： $\Delta 5\text{dB (A)}$ 低減する。

②作業性、操作性、耐久性は、標準バケットと同等。を目標とした。

まず、積層板ダンパを効果的に適用するため、作業騒音への寄与が大きな周波数帯域におけるバケットの実験振動モード解析を行った（図3）。振動モード解析は構造物の持つ振動特性（固有モード）を解析し、激しく振動する部位を容易に把握できる実験的手法である。これによって、積層板ダンパの取り付けを以下のように決定した。

- a) 振幅が最も大きな側板部は、全面に一体型の積層板ダンパを付加。
- b) ねじり振動の大きなスピルガード部は、剛性を高めた構造にしてから積層板ダンパを付加。
- c) 高次モードが主体の底板は、振動の腹（振幅の大きな部位）が多数存在するので、小型積層板ダンパを分散して付加。

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、積層板ダンパをアドオンする構造とした。もちろん、操作性等の品質を損なうこ

とがないよう、付加重量、構造については格段の配慮を行っている。

《低騒音バケットの特徴》

①積層板ダンパ

材料は鋼板だけを使用し、表面は耐摩耗性に優れる高張力鋼板を採用。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性の高い制音構造。

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、またはウェ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。

6. 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是非使いたい

実車での実作業騒音では図5の効果を。グレーデ

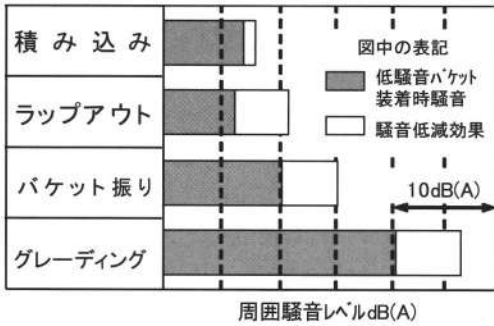


図5 低騒音バケットによる騒音低減効果

イ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 $\Delta 5\text{dB(A)}$ 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るが、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。

この製品適用化にあたっては、車体側の低騒音化も徹

底的に行われ、さらに低騒音バケットを標準装備することによってユーザニーズに広く応えている。

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。

表1 WA100-5ホイールロードの騒音

単位: dB(A)

	騒音測定値 (ハワールレベル)	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

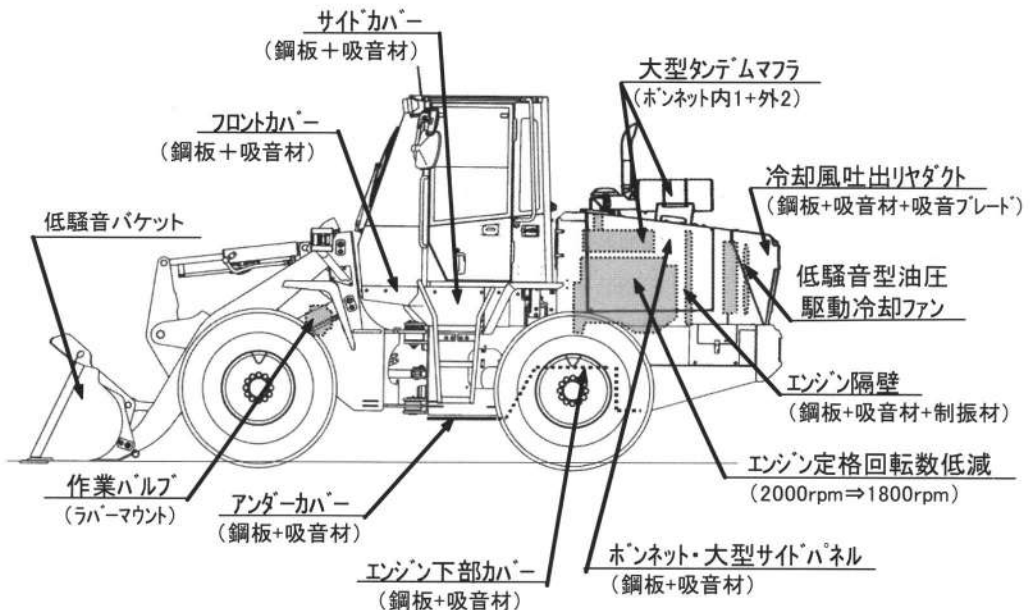


図6 URBAN SILENCERの低騒音構造

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。

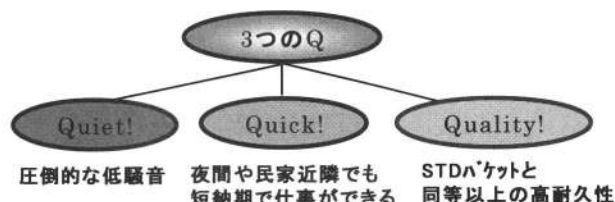


図7 3Q低騒音バケットのコンセプト

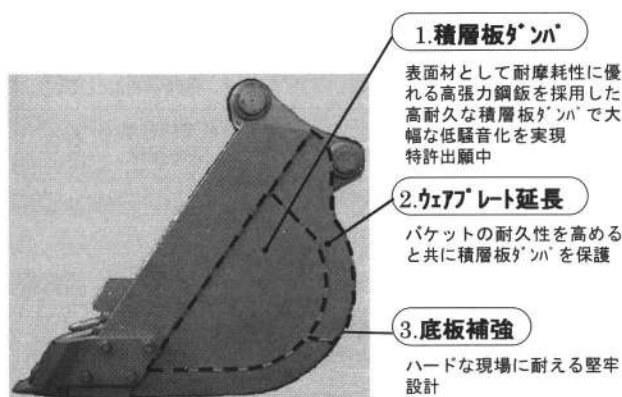


図8 PC200用3Q低騒音バケット

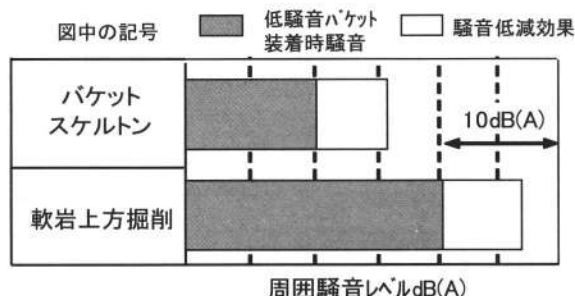


図9 3Q低騒音バケットの低減効果

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が採用されている。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である。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）。

7. 油圧ショベル用低騒音バケットの紹介

今回紹介した低騒音バケットの技術は、20tクラス油圧ショベル用バケット（当社該当機種：PC200、定格出力110kW、バケット容量0.8m³）にも適用され、「3Q（サンキュー）低騒音バケット」の呼称で商品化されている（図7、図8）。

油圧ショベルの実作業の中でも特に都市部での作業頻度が高く、騒音苦情の原因となるスケルトン作業で△5dBの騒音低減を達成した（図9）。岩石とバケットとの衝突によって生じた振動を積層板ダンパが効果的に吸収し、騒音の発生を抑えている。

8. おわりに

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、周辺の人々の暮らしを騒音で妨げることのない、静粛な機械が求められている。

本研究開発では徹底した車体低騒音化を行った超低騒音型建設機械に低騒音バケットを装備したURBAN SILENCERや3Q低騒音バケットを市場導入し、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は大きく前進した。

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、建築・土木工事や除雪作業などの更なる低騒音化に向けた研究を加速し、画期的な商品開発により静かな建設機械づくりを進め、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，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

Development of Low Noise Bucket for Construction Machinery

Kazuya IMAMURA
Kuniaki NAKATA