

解説

建設機械の「座」

宮田 圭介[†][†] 静岡文化芸術大学 デザイン学部

要旨 建設機械用シートの研究開発について、大型ブルドーザを例に概要紹介している。シートの検討項目としては、「振動吸収特性などの動的かけ心地」「体圧分布特性などの静的かけ心地」「運転操作に関わる機能やレイアウト」の三項目に大別される。動的かけ心地では、上下振動吸収のためのシートサスペンションと体重調整機能について言及している。静的かけ心地については、後方注視姿勢が取りやすく、後進落下時の衝撃が吸収しやすいシートバック形状と特性について解説している。運転操作機能として、後方注視が行いやすいシートターンテーブルや運転席全体のチルトレイアウトについて報告している。

キーワード: 建設機械, シート, かけ心地, ブルドーザ

1. はじめに

建設機械は生産財として、オペレータが8時間搭乗して作業を行う機械である。従って、その「座」であるシートは、オペレータの健康や生産性に大きな影響を及ぼすものである。ここでは、建設機械メーカーの元研究者の立場から、どのような視点で建設機械のシートの研究開発を行ってきたのか、その概要を紹介させていただく。

建設機械用シートの検討項目としては、

- (1) 振動吸収特性などの動的かけ心地
 - (2) 体圧分布特性などの静的かけ心地
 - (3) 運転操作に関わる機能やレイアウト
- の三項目に大きく分けられる。

また、建設機械を作業別に分類すると、

- ① 定置して作業を行う機械：
パワーショベル、クレーン等
- ② 移動しながら作業を行う機械（クローラ仕様）：
ブルドーザ等
- ③ 移動しながら作業を行う機械（タイヤ仕様）：
ホイールローダ、ダンプトラック等

の三種類に大別される。

当然のことながら、機種によって、動的かけ心地、静的かけ心地、レイアウト等の優先順位は異なるので、ここでは一般論として話を進める。

まず、動的かけ心地の性能向上が優先課題として挙げられる。建設土木作業中に建設機械から発生する振動は、地盤を伝搬して住環境に悪影響を及ぼすほど振動レベルが高く、その振動

はオペレータにも大きな影響を及ぼしている。労働安全衛生の立場から公的機関では、建設機械のシート上の振動評価¹⁾や運転席における振動評価方法²⁾、オペレータへの振動対策³⁾などが報告されている。しかし、信頼性の高いデータ収集が難しいために、企業からの報告は極めて少ない。土砂や岩盤などの不整地では、計測作業毎に地形や硬さが変わるため、計測値は5～10%の変動が生じる。定性的な振動評価は可能であるが、定量的評価が難しいために公表できないのが実情である。

静的かけ心地や機構レイアウトなどについては、定置評価が可能であるために検討が行いやすいが、動的かけ心地ほどは重要視されていない。ただし、国内では労働安全衛生上、一日8時間の作業で規制されているが、東南アジア地域では一日14時間作業も珍しくないため、長時間の着座に関する検討は行っている。

2. ブルドーザの概要

ここでは大型ブルドーザを例に挙げて、建設機械の「座」を説明する。図1は代表的な大型ブルドーザである。この機



図1 ブルドーザの外観⁴⁾

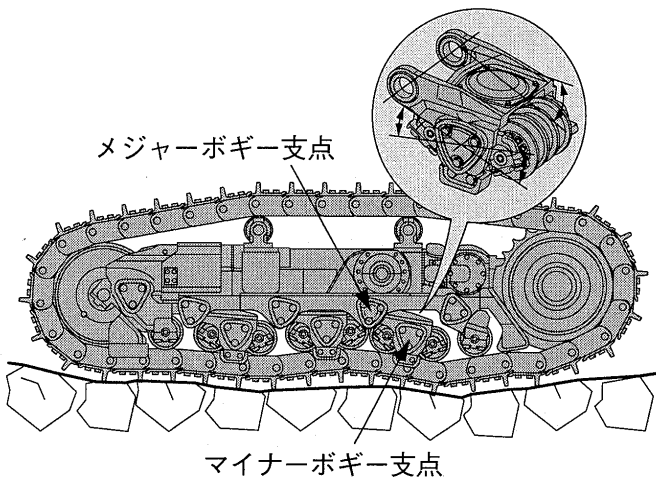
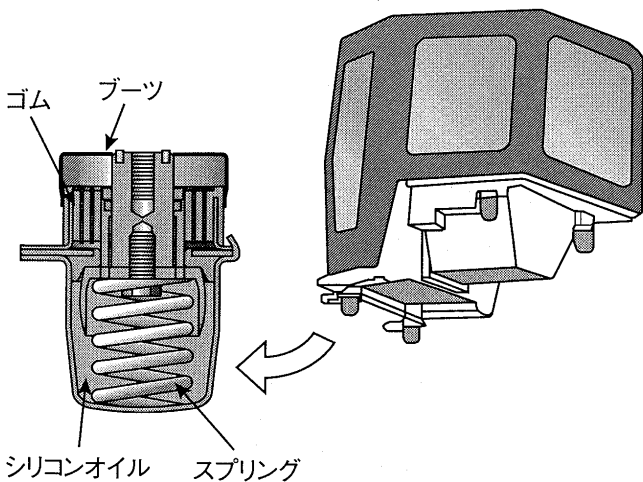
2006年11月13日受付

[†] 〒430-8533 静岡県浜松市中央2-1-1

静岡文化芸術大学 デザイン学部

宮田 圭介

E-mail: miyata@suac.ac.jp

図2 ブルドーザの運転席⁴⁾図3 ブルドーザの足回り機構例⁴⁾図4 ブルドーザのキャブマウント例⁴⁾

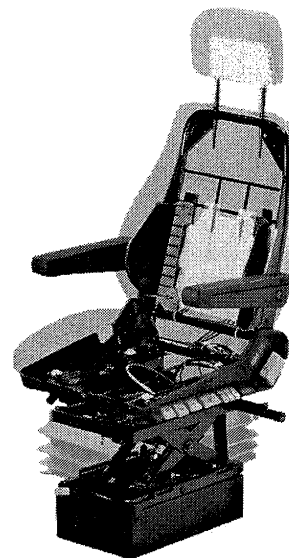
械は質量70800kg, 全長約10m, 全幅約4.7m, 全高約4.3mあり, 最高速は前進11.8km/h, 後進15.8km/hである. 主に国土整備作業で用いられる機械なので, 発展途上国での需要が多く, インフラが整った地域では見かける機会は少ない. 大型ブルドーザについては, 国内では空港建設などの大規模土木作業, 海外では鉱山の採石作業などで活用されている.

ブルドーザの操縦は, 基本的にはブレードを用いて凸凹の土地を削る盛る操作の繰り返しであり, 後進走行の頻度が極めて高い. 図2はその運転席であるが, 左側手前の走行操作レバーで前後進, 操向, 変速操作を行い, 右側手前の作業機操作レバーでブレードのリフト, チルト, アングル操作を行う. また, ブレーキペダルと(踏むとスロットルを抑える)デクセルペダルで速度調節を行う.

ブレードを自由自在に操るためには, 車体が不用意に上下動しないことが重要である. 動的かけ心地を良くするために下部転輪にサスペンションを装着して, 車体のピッチングが発生するよりは, サスペンションは無い方がブレード操作しやすい. それ故, オペレータにとって, 激しい車体振動を受ける運転環境にならざるを得なかった. 設計者としては, ユーザーの要求に応じて, 作業性と動的かけ心地とのトレードオフで車両性能を決めてきた. 尤も, 最新のブルドーザでは, 図3のように, 下部転輪が凹凸路面に追従する足回り機構を用いて, 車体の上下振動を抑制する機構もある. 発生した振動については, 図4のキャブマウントとシートサスペンション, シートクッション(座面)で吸収する.

3. ブルドーザ用シートの動的かけ心地

ブルドーザは各種建設機械の中でも, 振動の大きい代表的な機械に挙げられる. 作業現場によっては安全衛生上, 長時間搭乗が厳しいとの理由から, 豪州では搭乗せずに作業できるラジコン操作の大型ブルドーザが使用されることもある.

図5 建設機械用シートの構造例⁵⁾

建設機械用シートの構造の一例を図5に示す。4～8Hzで大振幅の上下振動を吸収するために、シートサスペンションは標準装備である。サスペンション機構としては、平行リンク方式とXリンク方式の二種類に大別される。平行リンク方式を図6⁶⁾に示すが、商用トラックなどで良く使われている。構造は単純であるが、シートが上下動すると、それに連成した前後動が生じる。従って、上下振動が吸収できても、シートの前後動によりオペレータが前後振動を受けるため、ストロークの大きな用途には向かない。図5のXリンク方式については、上下動しかないので上記の問題はない。しかし、リンクの滑りによる摩擦でヒステリシスが生じて、振動吸収特性が変わることがある。特に建設機械はキャブ内に粉塵がたまりやすく、ヒステリシスの大きくなる傾向がある。大型ブルドーザのキャブは上下動が大きいために、シートサスペンションも100mm以上のストロークが要求されるため、Xリンク方式が多い。

体重調整機能も標準で装備されている。海外では小柄な女性から体重百数十kgの男性まで、さまざまなオペレータが搭乗する。従って、軽い体重のオペレータに合わせてサスペンションのスプリングを調整すると、重い体重のオペレータが搭乗した場合は、サスペンションが柔らかすぎて作業中に跳ねてしまう。この現象を防止するために、オペレータの体重に合わせ

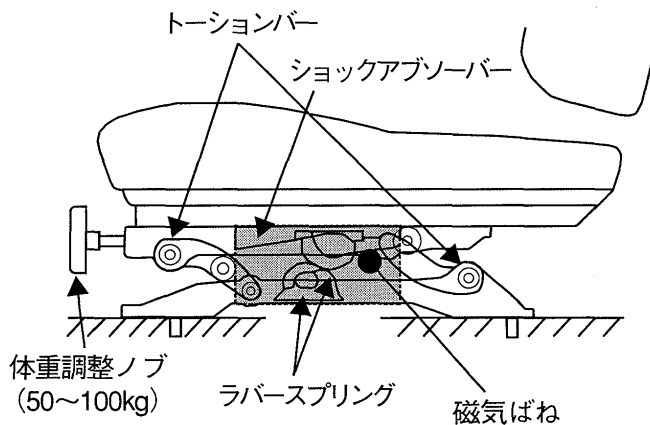


図6 トラック用シートサスペンション例⁶⁾



図7 リッピング作業⁴⁾

てスプリングにプリロードをかけて、スプリングをあらかじめ縮める機能を備えている。

4. ブルドーザ用シートの静的かけ心地

静的かけ心地については、座る時の着座感評価などもあるが、まずはシートクッションとシートバックの体圧分布を配慮すればよい。ただし、後進走行頻度の高い作業が多く、リッパーという巨大な鉄爪で岩盤を裂くリッピング作業のような後方注視作業(図7)もあるので、後方注視姿勢の取りやすさが重要な要素となってくる。

後方視界性を確保するために、図8のようにシートバックはローバック仕様となっている。自動車と異なり、走行速度は時速10km/h以下であるため、ヘッドレストなどの頸部保護機能は求められていない。同様に、後方確認のために上肢がひねりやすいように、ひねった肩こう骨部がシートで圧迫されないように、シートバックの上部が狭められた形状のシートも多い。

シートバックの形状とその衝撃吸収特性も重要である。例えば、後進中に段差を乗り越えた際は、数百mm落下する場合も珍しくない。その時は上下方向の衝撃もさることながら、落下により背中がシートバックとぶつかるため、背部は数Gの前後衝撃を受ける。呼吸ができなくなるほどの激痛を感じる衝撃であ

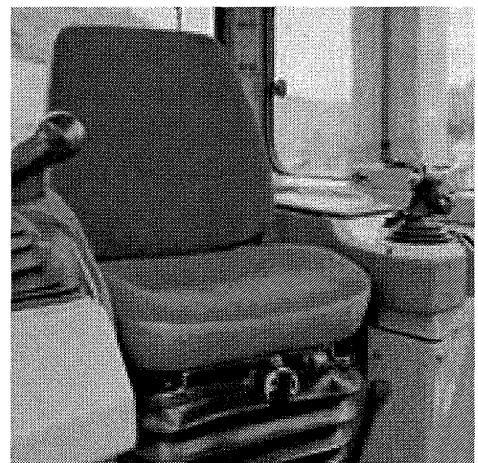
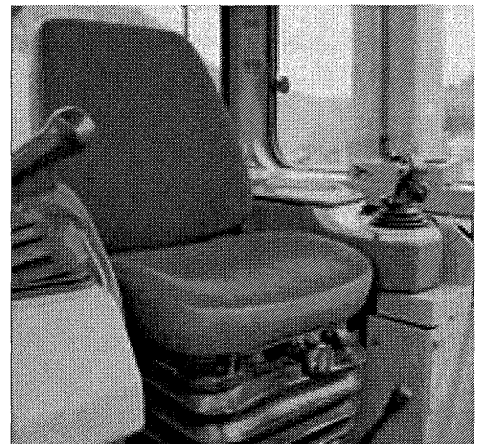


図8 シート回転機構⁴⁾ 上:回転前, 下:回転後

る。従って、腰椎を支持するランバーサポートもさることながら、背部の衝撃圧力を広範囲に受け止めるシートバック形状が重要となる。シートバックのウレタンも、耐久性能を確保しつつ、主観評価で最も圧痛が小さくなる硬度の素材を使用している。

5. ブルドーザ用シートの機能・レイアウト

後方注視が行いやすいように、シートアセンブリにターンテーブル機構を設けて、シートの向きが 15deg 右回転する機種もある。ただし、シートが回転すると走行操作レバーとシートとの位置関係が変わり、操作性が低下するために、図 8 のように走行操作レバーコンソールも 15deg 右に回転する。一方、シート回転機構の複雑さを避けるために、運転席全体が直進方向に対してチルトした機種もある。搭乗当初は斜めに前進走行する違和感があるが、慣れれば作業性に問題はない。ただし、エアコンの吹き出し口が左右対称に配置されているため、チルトした運転席では、オペレータの左右部位を均等に温度調節することが難しく、温熱環境設計で課題が残る。

シートベルトは ELR 機能などのない、固定型二点式が多い。衝突時のオペレータ保護ではなく、転倒時の車外飛び出し防止と、急傾斜面でのシートからの滑り落ち防止が主目的となっている。勾配が数十度ある急傾斜面の作業では、シートベルトと両足でふんばるしか姿勢保持手段がないため、運転席前方に巨大なフットレストが装備されている。

6. ブルドーザ用シートの評価

シート性能の定量評価のために、鉄板やコンクリートで作成したモデル路盤における走行実験や、加振機上での動的かけ心地計測などが実施されてきた。

ただし、加振機の場合、加速度が大きく、高い周波数の振動現象評価には向いているが、自由度が多く大振幅の振動現象の試験は難しい。現実問題として、数 Hz の大振幅で車体が前後左右に揺れると、オペレータも連成して揺れて腰部負担が大きくなるために、その対策が求められている。

そこで、図 9 のような 6 自由度揺動装置付操縦シミュレータを活用したシート評価が行われてきた。例えば、段差乗り越え

時のオペレータ上肢の運動解析から、腰部負担が小さくなるシート特性や機構の研究が行われてきた。

また、シート性能の官能評価にもシミュレータが用いられてきた。建設機械用シートの場合、大きな衝撃荷重に耐えるためにシートフレームが太く、シートアセンブリで 50kg を超えるものもある。実機の運転席は高い位置にあるために、アセンブリ交換が大変で試験効率も良くなかった。そこで、アセンブリ交換が容易なシミュレータ上で官能評価を行ってきた。さらに、官能評価の精度を上げるために、シミュレータ用揺動装置にシートを二脚設置して、一対比較で評価を行ってきた。官能評価が専門ではない設計者でも、座り比べて容易に優劣評価できる点で効果大きい。

7. おわりに

ここでは元建設機械研究者の視点から、ブルドーザを例に挙げて、建設機械の「座」について紹介させていただいた。建設機械のシート研究については、振動評価に関する報告が多く、それ以外のシート技術の報告が少なかったために、研究に苦勞した記憶がある。数少ないシート技術の紹介として、この解説が、シート研究者やバイオメカニズム研究者のお役に立てると幸いである。

参考文献

- 1) 米川善晴：建設機械の振動評価，日本音響学会誌，53(1)，54-59，(1997)。
- 2) 藤本義二：建設機械の運転席における振動評価方法，建設の機械化，1981年2月号，70-75，(1981)。
- 3) 多田和広，豊田実：建設機械の振動が運転員に及ぼす影響と対策に関する一考察，土木技術資料，27-11，591-596，(1985)。
- 4) コマツ：「D375A-5」カタログ
- 5) Carmac Inc.：「Isringhausen Seats」
<http://www.carmacseats.com/isri/default.html>
- 6) 川添悟，安田昭夫，山口伸二：磁石複合式シートサスペンションの開発，テクニカルレビュー，15，79-82，(2003)。
- 7) 宮田圭介：シミュレータの活用によるヒューマンエラー防止対策について，建設機械，36(7)，19-23，(2000)。

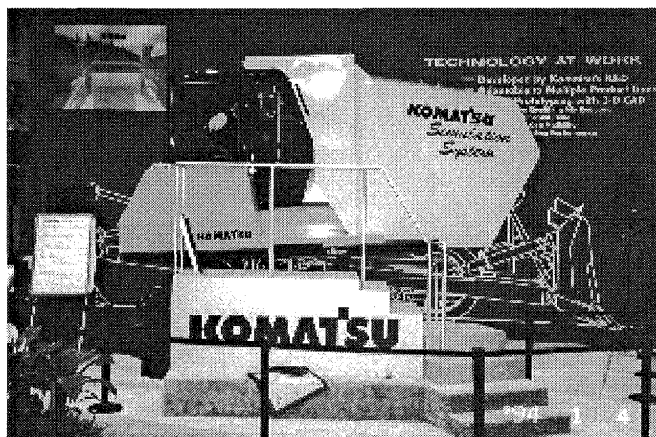
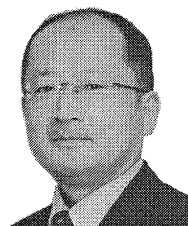


図 9 揺動装置付操縦シミュレータ⁷⁾



宮田 圭介 (みやた けいすけ)

1983年東京大学大学院工学系研究科機械工学修士課程修了。同年(株)小松製作所入社。主に建設機械の人間工学，特にマンマシンインタフェースの研究開発に従事。2004年静岡文化芸術大学デザイン学部助教授。2006年同大学教授。

日本機械学会，自動車技術会，ヒューマンインタフェース学会，計測自動制御学会などの会員。