

加速度計内蔵落下試験装置を用いた牛床資材の評価

高橋 圭二, 堂腰 顕

道立根釧農業試験場 中標津町, 086-1135

Evaluation of softness of stall surface using a drop tester equipped with an accelerometer

Keiji TAKAHASHI and Akira DOHKOSHI

Kon-Sen Agricultural Experiment Station, Nakashibetu, 086-1135

キーワード : 加速度, 牛床衝撃力, 敷料, 乳牛

Key words : acceleration, impact force, bedding material, dairy cows

Abstract

When a cow is lying down, increased blood flow to the mammary gland results in higher milk production. Thus, to extend lying time, the stall surface material should be soft and comfortable. The aims of this study were three fold. The first was to examine the difference in impact force of 11 materials, compared with concrete floor, sand bed and pasture. The second was to measure changes in impact force of a rubber-chip-filled mattress after 1 month, 6 months and 1 year of settling. The third was to measure changes in impact force of sawdust as bedding material. The measurement results of the material impact force were as follows. For stall material, an 80-mm-thick urethane foam mat and sand bed were the softest materials, with impact forces ranging from 917 to 991N; that of pasture was 1659N; that of the concrete floor was 8796N; that of the rubber-chip-filled mattress after 1 year was 2334N; those of the 30-mm-thick urethane foam mats ranged from 1149 to 2628N; and those of the rubber mats varied from 3324 to 6295N. The impact force of the rubber-chip-filled mattress increased from 1251 to 1516N 1 month after installation to about 1800N after 6 months and 2334N after 1 year. The impact forces of 5-cm-thick and 10-cm-thick layers of sawdust were about 1100N and 600N, respectively. To maintain a comfortable stall, the impact force of the stall surface should be decreased to about 1700N, which is within the range of that of pasture. However, as it is very difficult to maintain the softness of the stall by adding a 4-5-cm-thick layer of sawdust, softer surface materials should be used.

要 約

乳牛は横臥時の方が乳房の血流量が多く乳生産量が多くなるとされていることから、牛床の快適性を高め横臥時間を長くできるような資材が必要となる。ゴムマットなどの市販牛床資材11種と、比較としてコンクリート、砂、放牧地などを含む合計14種類について、試作した落下試験装置を用いて衝撃力を計測した。また、ゴムチップマットレスの利用期間の経過にともなう衝撃力の変化を計測した。さらに、敷料(オガクズ)

の使用厚さ別の衝撃力を計測した。牛床資材の衝撃力はコンクリートが8796Nと最も大きく、砂の牛床と厚さ80mmのウレタンマットが約917~991Nと最も小さかった。放牧地は1659Nであった。使用1年後のゴムチップマットレスは2334N、厚さ30mmのウレタンマットは1149~2611N、ゴムマットは3403~6587Nであった。ゴムチップマットレスの衝撃力は利用約半年で1800N程度まで上昇し以後安定した。敷料の厚さによる衝撃力は5cmで約1100N、10cmで約600Nであった。これらのことから、牛床の衝撃力を放牧地と同様の1700N程度に抑えるためには、日常の敷料管理では限界があることから、あらかじめ牛床資材として衝撃力

の小さなものを選ぶことが重要である。

緒 言

乳牛の乳房を流れる血流量は横臥時が佇立時よりも多く、乳生産量にも影響するとされており (RULQUIN and CAUDALL, 1992), 牛床資材の質が重要視されている。乳牛が横臥する牛床に設置する資材にはコンクリート, 砂, ゴム, ゴムチップ, ウレタンをはじめ様々な素材が利用されてきた。このため, どのような素材の牛床資材が横臥時間を長くし牛床の快適性を高めるのに適しているのか, という判断材料が必要となってきた。

これまで牛床資材の評価は実験室内での「荷重-変位」の計測による牛床資材の物理的評価は試みられていた (DUMELow, 1995; TIERNEY and THORNSON, 2003) が, この方法では試験サンプルを切り出す必要があり, 牛舎内における利用状態での試験は困難であった。牛舎内における利用状態での牛床資材の評価方法としては, 乳牛行動調査による牛床横臥状況の検討 (杉田ら, 2000), およびさまざまな牛床資材を設置した牛舎での乳牛による牛床選択試験や, 横臥・佇立時間をビデオ撮影と観察とを組み合わせる計測・記録し解析した研究は多い (GEBREMEDHIN *et al.*, 1985; 原田ら, 1995; 池滝, 1995; 加茂ら, 1998; TIERNEY *et al.*, 1999; RUSHEN *et al.*, 2001; BERNARD *et al.*, 2002; GAWORSK *et al.*, 2003)。

TIERNEY and THORNSON (2003) は, 加速度計を用いた落下試験装置により牛床資材の柔らかさ, 弾力性, 反発性を衝撃力として計測・評価する方法を提示した。これを応用することにより, 様々な素材の牛床資材について落下衝突時の最大加速度を計測し, 基本的な飼養環境である放牧地などとの比較により, それぞれの資材の特性について検討することが可能となる。

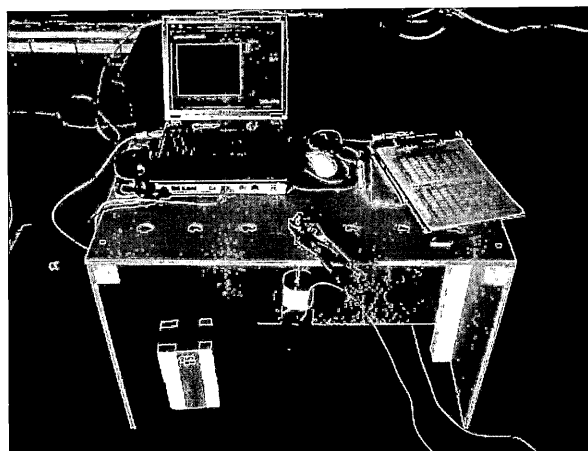
そこで, 本試験では, 加速度計を内蔵した落下試験装置を試作して, 現在使用されているさまざまな牛床資材の硬さを評価した。あわせて, 設置方法や使用期間により柔らかさが異なると指摘のあるゴムチップマットレスでは, 設置方法の異なる牛床について設置後の期間経過による衝撃力の変化を測定し, その変化を明らかにした。さらに, 酪農場での実態を踏まえ敷料使用による衝撃力の緩和程度を調べた。

材料および方法

1) 落下試験装置

FULWIDER and PALMER (2004) は牛床の硬さの計測に既存の衝撃力計測装置Clegg Impact Testerを用いたが, これでは衝撃力の大きさが0~100の数字で表示されるだけであった。今回, 衝撃力の計測に用いた落下試

験装置はTIERNEY and THOMSON (2003) が提案した計測方法を参考に試作した竹内ら (2006A, 2006B) が用いたものと同様の装置で, 約4.5kgのハンマーに加速度計 (AS-200A (200G用) 共和電業) を組み込んだ落下装置 (総重量4.75kg) と, これを一定の高さから落下するための架台で構成した (写真1, 図1)。落下高さはゴムチップマットレスの牛床に乳牛が横臥するときの衝撃力とされる2000~3000N (DUMELow, 1995) をもとに, TIERNEY and THOMSON (2003) は8kgの落下装置で174mmとしたが, 本試験の落下装置は重量が4.75kgであるため重量を勘案し200mmとした。加速度計からの出力は変換器 (PCD-300, 共和電業) をとおし, コンピュータに収録した。収録したデータは表計算ソフトを用いて落下装置が床材に衝突した時の最大加速度を求めた。



Photograph 1. Components of drop tester

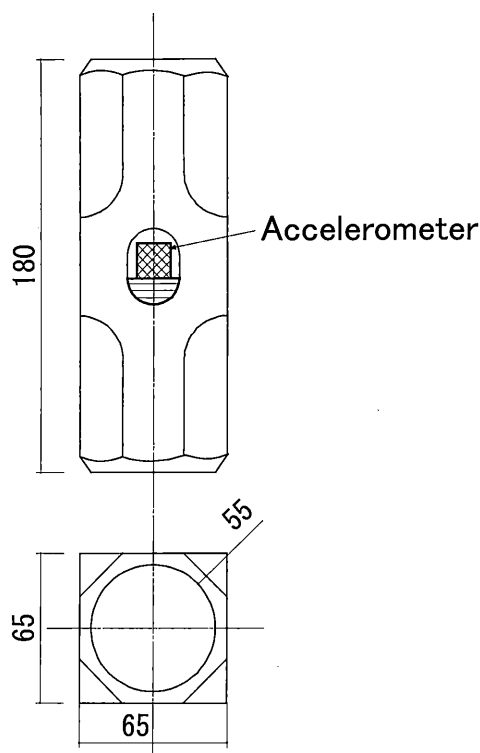


Fig. 1 Drop tester equipped with an accelerometer (mm)

落下試験時の加速度の計測例を図2に示した。落下装置の1回目の衝突時の加速度(G1)のピークから得られる値を牛床資材の衝撃力(N)とした。また、落下装置が資材に衝突して跳ね返った後、再度、衝突したときの加速度(G2)のG1に対する比率を求めた。床面に衝突した落下装置が大きく跳ね返って高く上がって落ちるとG2も大きくG2/G1も大きな値になる。これに対し、反発力が小さくあまり大きく跳ね返らない資材の場合にはG2が小さくなりG2/G1も小さくなる。これらのことからG2/G1を資材の反発性を示す指標とした。

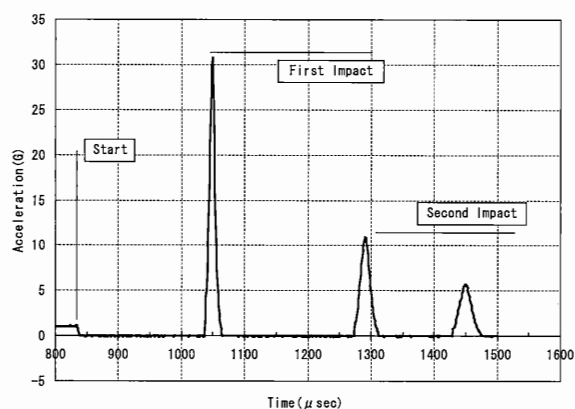


Fig. 2 Changes in acceleration

2) 牛床資材の種類

調査した牛床資材の種類を表1に示した。販売されているものでは、ゴムチップマットレス1種、ウレタン製3種、ゴムマット5種、ゴムチップ成型マット1種、内部に詰め物をした複合マット1種の合計11種であった。これらの比較対象として、コンクリート仕上げ面、根釧農試の放牧地、模擬牛床での砂の牛床(厚さ150mm)の3種類であり、オガクズなどの敷料は使用しない状態で衝撃力を計測した。

落下回数は1資材あたり5~20回でそれぞれ別の場

所に落下して計測した。未使用の資材は場所による変動が少ないので落下回数は5回とした。牛舎内で使用しているゴムチップマットレスは場所による変動が大きいため落下場所を20箇所とした。

3) ゴムチップマットレスの設置方法と使用年数による衝撃力の変化

設置方法と経年変化による衝撃力の変化を、筒状のゴムチップを通常よりも単位牛床幅あたり約40%多く配置した新規設置ゴムチップマットレスについて、実際に搾乳牛舎で利用している状態で、設置後1ヶ月、6ヶ月、1年後の衝撃力を計測した。また、設置後9年経過した標準量(約70kg/枚)のゴムチップマットレスについても新規設置牛床の計測と同時に計測を開始し衝撃力を比較検討した。

4) 敷料使用量と衝撃力

コンクリートとゴムマットCを対象として、敷料資材のオガクズを厚さ1, 2, 3, 5, 10cmに変えたときの牛床衝撃力を計測し、オガクズ敷料による衝撃力の緩和効果を検討した。

結果および考察

1) 牛床資材別の衝撃力

牛床資材の衝撃力の計測結果を表2に示した。コンクリート面は衝撃力が最も大きく平均で8796Nであった。落下装置はコンクリート面に衝突した後は大きく跳ね上がり、G2/G1も62.9%と最も大きな値であった。放牧地は、平均で1659N、最大でも1910Nであった。G2/G1は27.8%と砂の次に小さな値であった。砂の牛床では、平均991Nで最大値は1518Nであった。落下装置は砂にめり込むような状態でほとんど跳ね返りはみられずG2/G1は5.2%と最も小さな値であった。

1年間使用したゴムチップマットレスは平均2334Nで

Table 1 Product classification of all types of stall base tested

Material name	Product name	Thickness (mm)	Upside/Underside	Product supplier	Years used
Concrete floor		—	Smooth/—		
Pasture		—	Grass/—		
Sand bed		150	Smooth/—		
Rubber-chip-filled mattress	Pasture Mat	50	Sheet/—	Corns AG	One
Urethane mat A	M100	30	Sheet/Smooth	DeLaval	New
Urethane mat B	Norboco	30	Textured/Smooth	Pureline	New
Urethane mat C	Foa Mat	80	Textured/Smooth		New
Rubber mat A	Humane	19	Textured/Smooth	Tuchiya	New
Rubber mat B	Ultra Mat	25	Smooth/Smooth	Tochiku	New
Rubber mat C	King Mat	30	Textured/Smooth	MSK	New
Rubber mat D	RM20N	25	Textured/Spiked	DeLaval	New
Rubber mat E	CS Cow Mat	30	Textured/Ridged	Orion	New
Insulated rubber mat	Supreme	30	Textured/Smooth	Tuchiya	New
Composite rubber mat		50	Rough/Ridged	Trial Sheet	New

最大値も2452Nと変動が小さかった。G2/G1は43.3%であった。ウレタンマットでは厚さによる影響も見られるが平均値は917~2611Nで最大値も978~2628Nと同じ傾向であった。厚さ80mmのマットは917Nと砂の牛床と同程度の衝撃力で測定した資材の中で最も衝撃力が小さかった。しかし、G2/G1は53.7%と反発性の大きな資材であった。

ゴムマットでは裏面の状態が平面か凹凸があるかという条件と厚さによって衝撃力に差がみられた。裏面が平面の資材では厚さ19mmのゴムマットAが6295Nと大きな値でコンクリートと差がなかった。厚さ25mmのゴムマットBでは5609N、30mmのゴムマットCは5173Nで同程度の衝撃力であった。裏面が丸形の突起のある丸突ゴムマットDは厚さが25mmであっても3578Nであった。また、厚さ30mmで裏面に溝が刻まれている溝状ゴムマットEは3324Nであった。ゴムマットのG2/G1は40~59%であった。ゴムマット内部にウレタンの端材を充填した複合マットは厚さ30mmでも1454Nと衝撃力は小さくG2/G1も33.4%と小さかった。ゴムチップを接着剤と圧着で固めたゴムチップ成型マットは、裏面に山形の丸溝を設けていることと、厚さが50mmと厚いこともあり衝撃力は2461Nであった。G2/G1は45.1%であった。

乳牛が自然な状態で起立横臥すると考えられる放牧地の衝撃力は1659N程度であった。これは、複合マットと同程度の衝撃力であった。また、砂、ウレタンマットAとCおよび複合マットの衝撃力が放牧地の値よりも小さく、ゴムチップマットレス、ウレタンマットB、ゴムチップ成型マットが放牧地よりもやや大きな衝撃力を持つ資材であった。ゴムマットは3324Nから6295Nで放牧地よりもかなり硬い資材であることが示された。

2) ゴムチップマットレスの設置方法と使用年数による衝撃力の変化

表3にゴムチップマットレスの設置後経過期間ごとの衝撃力を示した。

通常量に対し40%増量した新設区の設置直後(約2週間後)は約1500Nであった。この時の通常量で設置した使用9年目区では約2300Nであった。半年経過した時点での衝撃力は新設区が約1800Nまで増加し、設置直後と有意差が見られた($P<0.01$)。9年目区は約2300Nと変化がなかった。さらに半年経過し設置から1年経過した時点での衝撃力は新設区が1700Nと半年後と有意差は見られず大きな変化が無かった。また、9年目区も同様に約2300Nと変化がみられなかつ

Table 2 Impact force and G2/G1*

Material name	Impact force (N)		G 2 / G 1 (%)	Thickness (mm)	Under side shape
	Average	Max			
Concrete floor	8796a	13542	62.9	—	—
Pasture	1659b	1910	27.8	—	—
Sand bed	991c	1518	5.2	150	—
Rubber-chip-filled mattress	2334d	2452	43.3	50	—
Urethane mat A	1149e	1160	45.2	30	Smooth
Urethane mat B	2611f	2628	48.5	30	Smooth
Urethane mat C	917c	978	53.7	80	Smooth
Rubber mat A	6295a	6584	39.9	19	Smooth
Rubber mat B	5609g	6009	59.1	25	Smooth
Rubber mat C	5173g	5375	46.8	30	Smooth
Rubber mat D	3578h	3638	47.8	25	Spiked
Rubber mat E	3324i	3403	40.4	30	Ridged
Insulated rubber mat	1454b	1500	33.4	30	Smooth
Composite rubber mat	2461f	3011	45.1	50	Ridged

a, b, c, d, e, f, g, h, and i: Means with different superscripts differ significantly ($P<0.01$)

*G1, first impact force; G2, second impact force

Table 3 Measurement time and impact force (N) of rubber chip mattress

Measurement time	Measured stall				
	New install (40% increase)			After 9 years	
	A*	B	C	D	E
2005/09	1251a	1501b	1516b	2326d	2358d
2006/04	1552b	1801c	1784c	2237d	2317d
2006/09	1467b	1722c	1687c	2399d	2276d

*A, end of stall line

a, b, c, and d: Means with different superscripts differ significantly ($P<0.01$)

た。また、衝撃力は敷いたゴムチップの量の違いによって有意な差が見られた ($P < 0.01$)。

これらのことから、ゴムチップマットレスの衝撃力は設置後半年経過するとほぼ安定した値となることが認められた。また、9年経過したものは変化がみられないことが確認された。

3) 敷料使用量と衝撃力の変化

敷料（オガクズ）の厚さと衝撃力の関係を図3に示した。牛床衝撃力は、敷料の厚さ2 cmまでは直線的に低下しているが、敷料の厚さが2 cm以上になると牛床衝撃力の低下度合いが小さくなり5 cm以上では牛床資材の種類に関係なくほぼ同一の値であった。

敷料の厚さが2 cmではコンクリート床で約2500N、ゴムマットで約2300Nであった。敷料の厚さ3 cmではそれぞれ約2200Nと約1800Nとなった。5 cmではそれぞれ約1100Nと1200Nであった。10cmでは両者とも約600Nであった。

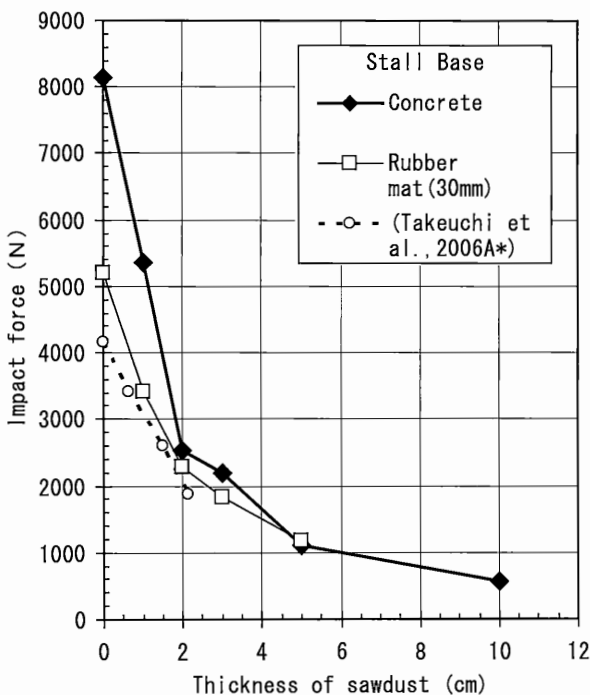


Fig. 3 Changes in impact force with thickness of sawdust
*Measurement value of Takeuchi et al. indicating sawdust density of 0.2 and plotted in the same field

竹内ら (2006A) の試験ではゴムチップマットレス（敷料なし4166N）を牛床として敷料（オガクズ）の量を単位面積あたりの重量で変化させて同様の測定をしており、4.3kg/m²で平均1886N (1367~2271N) という値を示している。オガクズの嵩密度は約0.2であることから敷料の厚さは約2.1cmと推察され、本試験での厚さ2 cmの衝撃力（ゴムマット2200N）とほぼ同程度の値であった。

放牧地での落下試験での衝撃力が約1700Nであるこ

とから、コンクリート牛床において敷料のみでこの値まで衝撃力を低下させるためには、3 cm以上の厚さで敷料を確保する必要がある。しかし、オガクズのような流動性の高い敷料では、日常管理で常に厚さを3 cm以上に保つことは非常に困難であることから、牛床の衝撃力を放牧地と同程度に低く保つためには、あらかじめ牛床資材として衝撃力の小さなものを選定することが重要であると考えられる。

また、牛床資材の適正には、柔らかさの他に耐久性、摩擦力、および衛生上の管理のしやすさも基準とした判断が求められる。

謝 辞

ゴムチップマットレスの使用年数と衝撃力の変化の試験については南根室地区農業改良普及センター（現根室農業改良普及センター）の協力により実施した。

本稿を取りまとめるにあたり、北海道立根釧農業試験場 前田善夫場長、同 三木直倫研究部長に御校閲いただいた。ここに、深く感謝の意を表します。

文 献

- BERNARD, J.K., J.W.WEST and G.H.CROSS. (2002) Preference of lactating dairy cows for four commercial freestall mattresses. Annual report of the Univ. of Georgia:167-169.
- DUMELow, J. (1995) Testing cubicle mats for dairy cows. Agricultural engineer, winter 1995:17-21.
- FULWIDER, W.K. and R.W.PALMER. (2004) Use of impact testing to predict softness, cow preference, and hardening over time of stall bases. J. Dairy Sci., 87:3080-3088.
- GAWORSK, M.A., C.B.TUCKER, D.M.WEAR and K.I.SWIFT (2003) Effects of stall design on dairy cattle behavior. Proc. 5th Int. Dairy Housing.:139-146.
- GEBREMEDHIN, K.G., C.O.CRAMEr and H.J.LARSEN. (1985) Preference of dairy cattle for stall options in free stall housing. Transactions of the ASAE, 28(5):1637-1640.
- 原田英雄, 近藤誠司, 大久保正彦, 朝日田康司 (1995) フリーストール式牛舎におけるストールのベッディング素材と牛の横臥行動との関係. 日本家畜管理学会誌, 31(1):22-23.
- 池滝 孝 (1995) 畜舎施設とウシの行動—牛舎環境と横臥・起立行動との関連性について—日本家畜管理研究会誌, 30:103-107.
- 加茂幹男, 池口厚男, 本田善文, 猪俣誠一, 飯島 博 (1998) 成形ゴムマット牛床の利用性. 日本家畜管理学会誌, 34:20-21.

- RUSHEN, J., A.M.PASSILLE, D.B.HALEY, E.MANNINEN and H.SALONIEMI. (2001) Using behavioral indicators and injury scores to assess the effect of stall flooring on cow comfort. *Livest. Environ. VI; Proc. of the 6th Int. Symp.*:716-723.
- RULQUIN, H. and J.P.CAUDALL. (1992) Effects of lying or standing on mammary blood flow and heart rate of dairy cows. *Ann. Zootech*, 41:101.
- 杉田慎二, 森田茂, 小田次郎, 干場信司, 堂腰顕, 高橋圭二 (2000) 床材料の異なるフリーストール牛舎における乳牛のストール利用. *酪農学園大学紀要*, 25(1):9-12.
- 竹内美智子, 森田茂, 高橋圭二, 干場信司, 春田哲平, 島田泰平 (2006A) 敷料使用量の違いが落下試験装置により測定した牛床衝撃力に及ぼす影響. *酪農学園大学紀要*, 30(2):239-244.
- 竹内美智子, 森田茂, 高橋圭二, 干場信司, 春田哲平, 島田泰平 (2006B) 加速度計を用いた落下試験装置による牛床衝撃力の評価. *Animal Behaviour and Management*, 42:101-110
- TIERNEY, G., S.CHAPLIN, and C.STOCKWELL. (1999) Evaluating cow mattresses and mats in dairy units. *MDC Report No.96/R6/01*.
- TIERNEY, G. and R.THOMSON. (2003) Methods for assessing the cushioning performance of free-stall dairy cow synthetic beds. *Transactions of the ASAE*, 46(1): 147-153.