肩ストラップの接触圧分布を指標にした ランドセルの身体負荷軽減のための検討

富山大学人間発達科学部 諸岡晴美・河上朋子
信州大学繊維学部 諸岡英雄

Discussion on School Bags Using Shoulder Strap Pressure for Reducing Body Load

Harumi Morooka^{*1}, Tomoko Kawakami^{*1}, and Hideo Morooka^{*2}

^{*1} Faculty of Human Development, University of Toyama, Toyama 930-8555, Japan

^{*2} Faculty of Textile Science & Technology, Shinshu University, Nagano 386-8567, Japan

Abstract : This study aims to obtain some guidelines for designing school bags that will reduce the body load. We analyzed school bag factors that affect shoulder strap pressure in terms of the shape of strap, its cramp and waist belt. Waist belts are not used usually in school bag design. However we thought that it would be useful for reducing the body load. Seven pupils were used as test subjects. The strap pressure of the shoulder part of the curved strap was lower than that of the straight strap. But the maximum pressure and standard deviation of the curved strap were larger than that of the straight strap. The curved strap was dependent on subject's body size. An important factor was the shape of the curve. The strap pressure of the pivoting cramp was lower than that of the fixed one. Therefore, it was shown that the pivoting cramp reduced the body load. The strap pressure of school bag with waist belt tended to reduce the body load. But the effectiveness of some waist belts were dependent on the subject's height. In particular, the waist belt with the soft and wide pad didn't fit some tall subjects. It was suggested that the change in the height of one's waist due to growth was the most important factor.

(Received 24 June, 2009 ; Accepted 25 July, 2009)

1. 緒 言

ランドセルは、昭和30年以降全国的に普及し、その基本的な形態は長年ほとんど変わっていないのが現状である。ランドセルは背負うことによって両手が自由に使えるなどの理由から、小学生の通学用かばんとして一般的に使用されてきた。しかし、「ランドセル自体の重量が重い」、「かさばって教室での収納に困る」などの不満も指摘されている[1,2]。このような理由から、近年、人工皮革や天然皮革製のランドセルから布製のランドセルへ、あるいはリュックサック型への移行もみられる。一方、快適性と機能性を目指した従来型ランドセルの改良の努力もなされている。

ランドセルについての先行研究では、小学生の学習用具携行方法の実態調査とランドセル背負い時の身体負荷について述べた森ら[2]の研究がみられるにすぎない。また、類似の研究としては、吉田ら[3]のリュックサック肩紐の圧迫が血流量に及ぼす影響について述べたものや、山口ら[4]のリュックサックによる重量負荷が重心動揺に及ぼす影響などがみられる。いずれも肩ストラップからの大きな圧迫による身体負荷がもたらす問題点を提起し

ているにすぎず、身体負荷を軽減させるための提案には至っていないのが現状である。

本研究では、子どもの身体負荷を軽減させるための改良型ランドセルを提案することを目的として、その基礎研究として、肩ストラップの形状、肩ストラップの支持具である背カンの形態、そして現状では使用されていないが、肩の圧迫軽減に有用と考えられる腰ベルトの有無の計3因子を検討要因とし、肩ストラップ接触圧およびその分布状況を指標として検討を行った。

2. ランドセル重量の実態調査

実験を行うにあたり、小学生が普段どの程度の重さのランドセルを背負っているのかを調査するために、低学年(1, 2年生)と高学年(5, 6年生)の児童、計283名の登校時におけるランドセルの重量を測定した。測定には、2g精度の音叉型天秤を用いた。その際、ランドセルの内容物、ナスカン部分(ランドセル横についている止め金)に引掛けているもの(給食用エプロン、体操服など)も全て含めて、小学生が背負っている全重量(以後、ランドセル重量とする)を測定した。

Fig. 1 Weight of school bag when going to school.

その結果を Fig. 1 に示す。各学年の頻度を折れ線で、全学年合計の頻度を棒グラフで示している。Fig. 1 より、1 年生の重量頻度のピークが 3.8kg 以上～4.0kg 未満、次に 4.0kg 以上～4.2kg 未満の範囲にあり、平均重量は 3.7kg であった。7 歳男女の平均体重はそれぞれ 22.8、22.2kg[5] であり、体重比でみると約 16%，最大値 6.0kg 以上～6.2kg 未満でみると体重比は約 26～27% となり、驚くべき値であった。また、2 年生で平均 3.2kg、5 年生で平均 3.8kg、6 年生で平均 4.0kg であり、全児童平均は 3.6kg であった。森ら[2]の 469 名の調査では、内容物のみで平均約 2.5kg、ランドセル自体の平均重量 1.2kg で合計 3.7kg と報告されており、ナスカン部分に引掛けたものを含んだ本調査とほぼ同様の結果であった。これについては、前述の研究において内容物に「給食用エプロンや体操服が含まれる」と記載があったことから、結果としてほぼ同程度の重量になったと考えられる。

以上から、本研究では総重量が 4kg となるように内容物を入れたランドセルを使用して実験を行うことにした。

3. 実験方法

3.1 試料

実験は肩ストラップ、肩ストラップの支持具である背カン、そして現状では使用されていないが、肩の圧迫軽減に有用と考えられる腰ベルトを考案して、計 3 因子について検討を行った。肩ストラップについては、Fig. 2 に示すように、従来から市販されているほぼ直線状のもの（以後、ストレートタイプ）および肩近傍の接地ラインを考慮してカーブを施した試作のもの（以後、カーブタイプ）を用いた。背カンについては、左右のベルト間隔が 60mm に固定されたタイプ（以後、固定タイプ）と体格や身体の動きによって肩ストラップが最大 60° 可動するタイプ（以後、可動タイプ）のものを用いた。腰ベルトについては、通常の腰ベルトのないもの（ベルト無）に加えて、25mm 幅のナイロン製ベルトをランドセル下角に取り付けたもの（以後、パッド無）、このベルトに 50mm×135mm のウ

Fig. 2 Measurement points of shoulder strap pressure.

レタンパッドを両ウェストサイドに取り付けたもの（以後、パッド有）を用いた。実験は、これら 3 因子を組合せて Table 1 の 12 通りについて実験を行った。

3.2 被験者

被験者は、小学 1 年生～5 年生までの児童計 7 名（男子 5 名、女子 2 名）とした。身長の高い被験者から順に a～g とし、各被験者の身長、体重、メジャー計測によるウェスト寸法およびサイドネックポイントから肩峰点までの寸法を Table 2 に示す。

3.3 肩ストラップ接触圧の測定方法

肩ストラップ接触圧の測定には AMI 社製の衣服圧測定器を使用し、I 型 (28×8mm) および T 型 (8×28mm) のエアパックセンサを用いて、厚さ 1mm となるように空気を封入した。本センサの最大計測圧は約 15kPa、精度は ±0.2kPa である[6]。

センサは、ストレートタイプとカーブタイプの左肩ストラップに、長さ方向に 40mm 間隔で取り付けた (Fig. 2 参照)。ストレートタイプでは①～⑬の計 13 箇所、カーブタイプではベルト幅の関係上測定箇所⑩を除いた計 12 箇所にセンサを取り付けた。また、脇に挟まれる部分に当たるベルトの側面部分 2 箇所⑭、⑮の接触圧を測定し

Table 1 Experimental design.

Shoulder strap: straight			
Experimental No.		Waist belt	
		Unused	Unpadded Padded
Clamp of shoulder strap	Pivoting	1	2 3
	Fixed	4	5 6
Shoulder strap: curved			
Experimental No.		Waist belt	
		Unused	Unpadded Padded
Clamp of shoulder strap	Pivoting	7	8 9
	Fixed	10	11 12

Table 2 Body size of subjects.

Subject No.	Sex	Grade	Height (mm)	Weight (kg)	Waist girth (mm)	Side neck to acromion distance (mm)
a	Boy	First	1167	21.8	557	87
b	Girl	Second	1196	19.0	510	75
c	Boy	First	1240	25.4	576	85
d	Girl	Third	1240	25.8	550	85
e	Boy	Second	1251	38.2	750	80
f	Boy	Third	1370	27.6	580	100
g	Boy	Fifth	1576	58.8	790	120

た。なお、⑭、⑮の位置については被験者ごとに調整した。ストレートタイプの①～⑩、カーブタイプの①～⑨にはI型センサ、両タイプの⑪～⑮にはT型センサを用いた。なお、データ取り込みのインターバルを1秒とした。

3.4 実験手順

実験手順を Fig. 3 に示す。教科書等の内容物の重量調整をして合計 4kg としたランドセルを着用させ、直立姿勢を 12 秒間維持させ、その後走行運動をイメージして 12 秒間メトロノームに合わせて身体をやや前傾させ、腕を振りながらその場でステップさせた。この時、前傾姿勢の程度をほぼ同一にするための配慮として、定位置に動物の絵を置き、それを見て走るように指示した。メトロノームのテンポは 200 とした。本来ならば、トレッドミル上で走行運動をさせるべきであったが、被験者が小学生であることから、験者らが現地に出向いて実験を行ったため、接触圧センサのリード線長さの関係上、その場で走行運動をシミュレーションした動きを行わせた。この間の計 24 秒間について肩ストラップ接触圧の測定を行い、静止時・ステップ時の動作変更前後 1 秒間を除く 10 秒間について検討を行った。また測定終了後、着用感について聞き取りを行ったが、着用感の申告は小学生にとって難しいようで、顕著な感覚があった場合のみ申告する傾向がみられた。同一の試料について被験者 a から順に測定を行い、肩ストラップおよび腰ベルトの長さは被験者ごとに調節した。

なお、被験者が小学生であり、長時間の実験が難しかったことから、Table 1 に示す 12 通りの実験を各 1 回ずつとした。しかし、各実験におけるデータを 10 秒間(インターバル 1 秒で 10 データ)の平均値としたこと、また後述のように、結果を因子別に検討することにより、同一被験者の複数のデータを用いたことから、再現性の問題は緩和されると考える。

Rest	Wearing test sample	Practice stamping feet	Standing position	Stamping (Simulation of running)	Evaluation of feeling
			12	12	Rest
← Measurement of pressure → (Unit:sec)					

Fig. 3 Protocol.

4. 結果と考察

肩ストラップ接触圧の測定は、静止時とステップ時について行ったが、ステップ時の接触圧分布が静止時とほぼ同じ傾向を示していた。この原因として、走行運動をシミュレーションしたステップにおいてはランドセルの動揺が少なかったためと推察され、今回は静止時についてのみ検討することにした。また、実験 No. 7～9 では、カーブタイプの肩ストラップと可動タイプの背カンが適合せず、「肩が痛い」という申告があったため、被験者 c 以降実験を中止した。したがって、実験 No. 7～9 を除き、No.1～6 および No. 10～12 の結果を用いて検討した。

4.1 肩ストラップの形状による接触圧分布の違い

肩への負荷を考えたとき、肩近傍の測定箇所①～④あるいは①～⑥の平均接触圧が重要と考えられる。因子別に接触圧への影響を検討するために、ストレートタイプは実験 No. 4～6、カーブタイプは実験 No. 10～12 の測定値を用い、測定箇所①～⑥の接触圧の平均値を Fig. 4 に示す。全被験者において、ストレートタイプよりカーブタイプで接触圧が低かった。その傾向は、測定箇所①～④でより顕著であった($p<0.01$)。すなわち、平均接触圧のみから判断すると、カーブタイプの方が肩への負荷が小さいと考えられた。

次に、詳細に検討するために、背カンが固定タイプ、腰ベルト無におけるストレートタイプ(実験 No. 4)とカーブタイプ(実験 No. 10)を例にとり、全被験者のストラップの接触圧分布を Fig. 5 に示している。接触圧分布を視覚的に捉えるために、グレースケールで示している。ストレートタイプでは、被験者 a のみ測定箇所②で 1kPa 以下であったのに対して、カーブタイプでは全員が 1kPa 以下であり、接触圧がほとんどかかっていないことがわかる。特に被験者 g では測定箇所①②④で 1kPa 以下であった。このことについては、Fig. 6 の被験者 c の写真から、カーブタイプが肩先側で浮いていることがわかり、これが原

Fig. 4 The difference in the mean pressure of measurement points from ① through ⑥ between the straight and the curved straps.

Fig. 5 The pressure distributions of the straight and the curved straps.

Fig. 6 The picture of subjects c in the experiments No.4 and No.10.

因と考えられた。さらに、カーブタイプについてみると、Fig. 5 中の上段に示す被験者 a, b, c, g では共通して測定箇所⑥で大きな接触圧が検出されているのに対して、下段の被験者 d, e, f では比較的均一であるなど被験者によって異なることがわかった。

そこで再度、ストレートタイプは実験 No. 4～6、カーブタイプは実験 No. 10～12 の測定値を用いて、ストラップ形状別に測定箇所①～⑥の接触圧の均一性をみるために標準偏差を Fig. 7 に、各実験における全測定箇所(ストレートタイプ: 15 箇所、カーブタイプ: 14 箇所)の最大接触圧の平均値を Fig. 8 に示す。上述の結果を裏付けるように、被験者 a, b, c, g ではカーブタイプの方が標準偏差が大きく、接触圧分布が不均一であることがわかった。また、最大接触圧においても被験者 a, b, c でカーブタイプの方が高く、特に被験者 a, b においては、「肩が痛い」「走ると肩に擦れる」などの不快感が申告された。図よりこれらの被験者においては、10kPa 超の接触圧が検出されていることがわかり、この高い局所圧が痛みを発生させ、快適感を大きく損ねる結果をもたらしたものと推察される。これに対して、被験者 d, e, f のカーブタイプの最大接触圧は、約 7kPa 前後とストレートタイプより低かった。

以上の結果より、本研究で用いたカーブタイプストラップは、被験者 d, e, f の中程度の体格をもつ児童に適合しているが、体格の小さい被験者 a, b, c や被験者 g のよ

Fig. 7 The difference in standard deviation of strap pressure in measurement points from ① through ⑥ between the straight and the curved straps.

Fig. 8 The difference in the maximum strap pressure of measurement points from ① through ⑮ between the straight and the curved straps.

うな大きな体格の児童には適合しなかったと判断される。先の Table 2 からは、c と d の被験者間に体格差はみられなかったが、カーブタイプの適合度が異なった理由については、被験者 c が男子であり、d が女子であることから、本研究で測定した身体項目以外の、例えばいかり肩などの肩形状の相違等が関係したのではないかと推察される。

すなわち、カーブタイプストラップは体格依存性が大きく、体格依存性の少ないカーブのあり方が重要であり、さらなる工夫が必要であることが示唆された。また、ランドセルの身体負荷を考える場合、肩近傍の接触圧の平均値だけでなく、接触圧の均一性の指標である標準偏差や最大接触圧も重要な要因であることが示唆された。

4.2 背カンの形態による接触圧分布の相違

背カンの形態因子による相違を検討するために、可動タイプは実験 No. 1～3、固定タイプは No. 4～6 を用いて、前項と同様に、測定箇所①～⑥の平均接触圧を Fig. 9 に示す。平均接触圧は被験者 e, f では同程度であるが、a, b, d, g で可動タイプの方が固定タイプより低い傾向がみられる。また、Fig. 10 に測定箇所①～⑥の標準偏差を、Fig. 11

Fig. 9 The difference in the mean pressure of measurement points from ① through ⑥ between the fixed and the pivoting clamps.

に各実験における全測定箇所の最大接触圧の平均値を示す。可動タイプでは、被験者 c, f を除く被験者において、固定タイプより標準偏差が小さく、また被験者 c を除き最大接触圧が低い傾向がみられる。これに対して、固定タイプでは、被験者 e, g で 10kPa 超の高い局所圧が検出されていることがわかる。前項と同様に、平均接触圧、標準偏差、最大接触圧を総合して判断すると、被験者 c では結果が逆転しているものの、被験者 f では可動タイプと固定タイプの相違は大きくないものと思われる。

以上、7 人中 1 人で逆転し、1 人で両者の相違はみられなかったが、7 人中 5 人の体格の大きい児童から小さい児童までの幅広い範囲の児童で可動タイプが固定タイプよりも有用であると判断された。すなわち、一般的には、肩の形状や体格によって安定側へと移動できる可動タイプの背カンが有用であり、身体負荷の軽減に繋がるものと結論づけられた。

4.3 腰ベルトの有無による接触圧分布の相違

腰ベルトによる因子の検討では、ベルト無は実験 No. 1,

Fig. 10 The difference in the standard deviation of strap pressure in measurement points from ① through ⑥ between the fixed and the pivoting clamps.

Fig. 11 The difference in the maximum strap pressure of measurement points from ① through ⑥ between the pivoting and the fixed clamps.

4, 10, パッド無は実験 No. 2, 5, 11, パッド有は実験 No. 3, 6, 12 の測定値を用いた。測定箇所①～⑥の平均接触圧を Fig. 12 に示す。平均接触圧は、腰ベルトの有無だけでなく、パッドの有無でも異なったが、被験者 a, c, d でベルト有がベルト無よりもやや低い傾向がみられ、身長の高い被験者で腰ベルトが有効であると考えられた。次に、ストラップがストレートタイプ、背カンが固定の場合を例に、全被験者についてパッド無の実験 No. 5 とパッド有の No. 6 の接触圧分布を Fig. 13 に示す。なお、ベルト無については前掲の Fig. 5 の実験 No. 4 を参照されたい。図より、いずれの被験者も腰ベルトを着けた場合には、ベルト無に比べて、ストラップの下方側でより大きな接触圧が検出される傾向がみられ、この傾向は身長の高い被験者 e, f, g のパッド有において顕著であることがわかる。これは、腰ベルトによってランドセルが身体側に引寄せられたことによるものと考えられる。腰ベルトが、ランドセル重量の一部を腰に分担させることに繋がるか

Fig. 12 The difference in the mean pressure of measurement points from ① through ⑥ between the unused, the unpadded and the padded waist belts.

Fig. 13 The pressure distribution of school bag with unpadded or padded waist belt.

否かは、被験者の体格に依存し、体格の大きい被験者では、ベルト位置と身体のウェスト位置が合致せず、ランドセルが下方に引っ張られ、逆に接触圧の増加に繋がったと推察される。また、幅広のパッドがある場合にはさらに強く下方に引っ張られた可能性がある。

また、ベルト無は実験 No. 1, 4, 10, パッド無は実験 No. 2, 5, 11, パッド有は実験 No. 3, 6, 12 の因子別の測定値を用いた平均値では、被験者 b においてベルト有の接触圧が高く、他の被験者 a, c, d と必ずしも一致しなかったが、Fig. 13 の分布図からは、体格の小さい被験者 a, b, c, d で、パッド有において肩近傍の接触圧が軽減され、比較的均一であることがわかった。

このことは、以下に示す主観評価からも裏付けられた。すなわち、被験者 a で「お腹のところが痛い(パッド無)、重くない(パッド有)」, 被験者 b で「ベルトが痛い(パッド無)、柔らかくていい(パッド有)」, 被験者 d で「軽く感じて痛くない(パッド有)」など、比較的体格の小さい低学年児童で、パッド有の場合は「重くない」と評価された。ただし、パッドがなくナイロンベルトのみの場合には「痛い」と申告される傾向がみられた。一方、被験者 e および g では「ベルトがきつい(パッド無・パッド有)」など、体重の大きい被験者 e や身長の高い g で評価が悪かった。

さらに、Fig. 14 に示す全測定値の最大接触圧をみると、被験者 a, b ではパッド無で、被験者 e, f, g ではパッド有で 10kPa 超の接触圧が検出されていることがわかる。このことも、「痛い」という被験者の申告と一致した。ストラップ形状の項で述べたと同様に、ここでも、身体の一部に 10kPa 超の高い接触圧が発生した場合に「痛い」という申告を受けたことから、10kPa 超の接触圧には痛みを伴うことが示唆された。

この結果から、腰ベルト使用は、概して低学年の児童においては、ランドセル重量を肩のみでなく腰にも分担させ、結果として肩の負荷を軽減するために有効である

Fig. 14 The difference in the maximum strap pressure of measurement points from ① through ⑮ between unused, unpadded and padded waist belts.

と思われた。しかし、ウェスト位置とベルト位置が一致しない場合にはベルト無よりも高い接触圧が発生する可能性があるため、低学年児童のみを対象とし、高学年では腰ベルトを外すという方法を用いるか、あるいは成長に伴うウェスト位置の変化に追従できる高さ調節機能付き腰ベルトを設計することが重要であると考えられる。

5. 結 語

本研究では、子どもの身体負荷を軽減させるための改良型ランドセルを提案することを目的に、その基礎研究として、肩ストラップの形状、背カンの形態、腰ベルト有無の計3因子を検討要因として、肩ストラップの接触圧およびその分布状況を指標として検討を行った。

- 1) カーブタイプの肩ストラップは児童の体格依存性が大きく、本研究で用いたカーブ形状は中程度の体格をもつ児童にフィットしていたが、体格の小さい児童や大きい児童については適合しなかった。このことから、本研究で用いたストラップのカーブ形状は体格依存が大きいと判断され、カーブのあり方をさらに検討する必要があると考えられた。
- 2) 背カンについては、固定タイプに比べ可動タイプで接触圧が低い傾向がみられ、児童の体格により動くことのできる可動タイプの背カンが有用であり、肩への負荷軽減が認められた。
- 3) 腰ベルト使用についても体格依存性が大きく、体格の小さい被験者においては、パッド有で肩への負荷を軽減させる効果がみられたが、パッド無では痛みを伴うなど効果はみられなかった。また、体格の大きい児童においては、ウェスト位置とベルト位置の不一致により 10kPa 超の高い接触圧が発生するなど、成長に伴う対応が必要であることが示唆された。
- 4) ランドセルによる肩への負荷軽減を検討する場合には、肩近傍の平均圧に加え、接触圧の均一性の指標である標

準偏差と、ストラップ全体の最大接触圧を総合して考察する必要があること、また、ストラップの一部に約 10kPa を超える接触圧が生じると、痛みを伴い極端に不快感が増大することなどが明らかとなった。

謝 辞

本研究にご協力いただきました株式会社ハシモトに謝意を表します。

文 献

1. National Consumer Affairs Center of Japan, “*Randoseru Tou no Shouhin Tesuto Kekka*”, pp. 51-5 (1993).
2. Y. Mori, T. Oomura, T. Oomori, and E. Kioka, *Kasei Gakkaishi*, **50** (9), 949 (1999).
3. M. Yoshida, Y. Shibata, M. Tanaka, K. Tanaka, and K. Hirata, *Descence Sports Science*, Vol. **20** (1999).
4. N. Yamaguchi, K. Hirayanagi, *Tairyoku Kagaku*, **49** (6), 825 (2001).
5. Research Institute of Human Engineering for Quality Life, “*Japanese Body Size Data*”, pp. 80-81 (1997).
6. [http : //www.ami-tec.co.jp](http://www.ami-tec.co.jp)