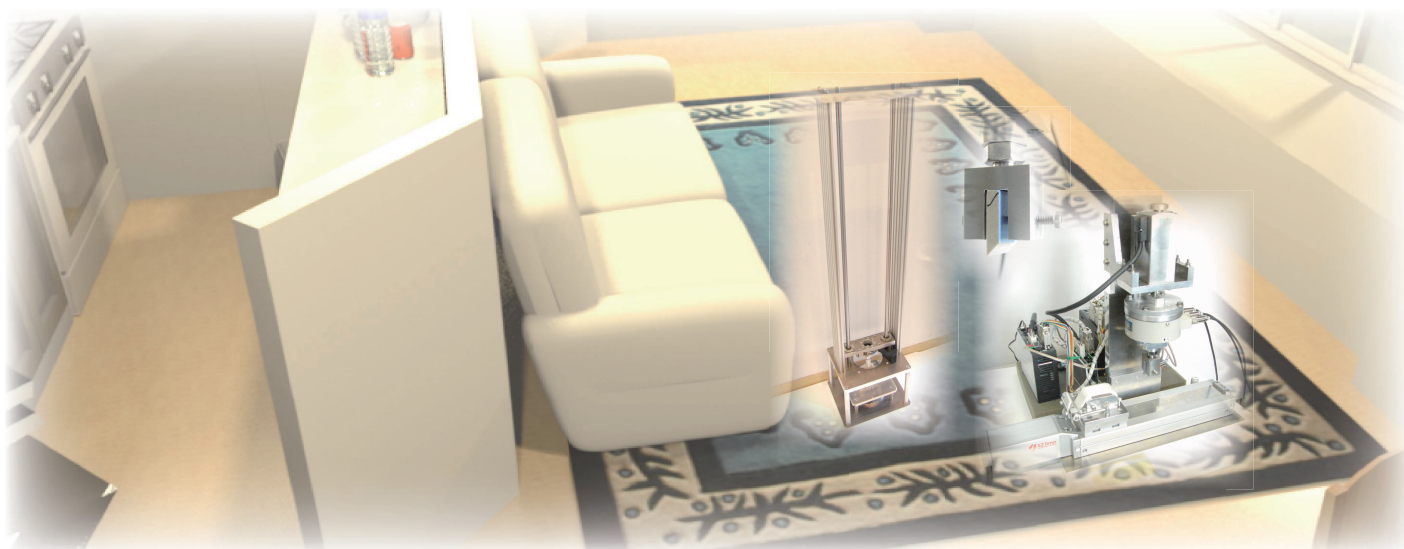


角・稜線に対する評価方法の策定及び安全基準やチェックリストの作成

株式会社 INAX



目的

角・稜線による裂創、切創発生装置の開発

水回り空間商品の稜線・角部において子どもがケガをする事象は多くある。ケガの程度は、稜線・角部の鋭さの程度や、子どもの行為（触れる・ぶつかり・衝突等）によって異なるが、これらの相関は現在明確になっていない。一方で、稜線の鋭さ評価として UL 規格（シャープエッジテスター）が一般的に認知されているが、衝撃等を考慮した安全性評価としては十分といえず、また、角部の鋭さに対しては一般的な評価手法が確立されていない。稜線・角部において子どもが切創・裂創が発生する問題は、ある特定の製品のみに発生する事象ではなく、他の製品でも広く起こりうる傷害である。子どもの場合、成長過程で転倒は避けられないが、家庭の生活空間や公園の遊具の構造物と皮膚などの接触により思わない切創・事故に至ることがあり（文献 1 など）、傷害予防上、極めて重要な課題である。

安全性評価手法を確立するために

は、傷害を低減させるための稜線・角部のパラメータを明らかにする必要がある。このような観点から、本プロジェクトでは、角・稜線に対する安全性評価方法のためのデータ整備を目的として、角・稜線の特徴と切創の関係を明らかにするための試験装置を開発する。

現状・知見

生体の傷発生メカニズムに関する報告は少ない

皮膚などの生体と硬い固体とが急激に接触すると軟らかい皮膚は損傷を受ける。この損傷には、外力としての負荷の種類と方向および接触材料の材料特性、先端形状によって様々な名称の傷がある。例えば、刃物状の接触による切創、摩擦状態での負荷による擦過傷、衝撃圧縮負荷を受ける裂傷（挫創）などがある。

生体の傷の発生メカニズムに対しての報告は少なく（文献 2）、この点多くの研究がある工業材料の損傷のメカニズムである材料の力学特性の評価などから類推して生体の損傷を解明する

ための装置開発を行った。ここで、接触による力学特性の評価方法と子供の接触によるケガの事例などを記しておく。

物体接触現象が基本概念

これは図 1 に示すように、二つの物体のそれぞれの先端半径(ρ_1, ρ_2)と材料の材料定数（ヤング率 E_1, E_2 とパーソン比 ν_1, ν_2 ）によって、外力 F を受ける場合の接触面圧などを計算できる。ヘルツの式は任意の曲面の接触は、接触点 O における接平面を xy 平面とし座標軸方向を適切にとると、2 固体間の初期隙間は、

$$z_1 + z_2 = Ax^2 + By^2 \quad (1)$$

と置くことができる（図 1）。

ここに A, B は、一方の固体の主曲率 $1/r_{11}, 1/r_{12}$ 、もう一方の固体の主曲率 $1/r_{21}, 1/r_{22}$ 、及び主曲率 $1/r_{11}, 1/r_{21}$ を含む面がなす角 ϕ とに関係する定数で A, B に対す関係式が得られる（省略）。各種の先端形状の組み合わせた接触問題の解析ができる。

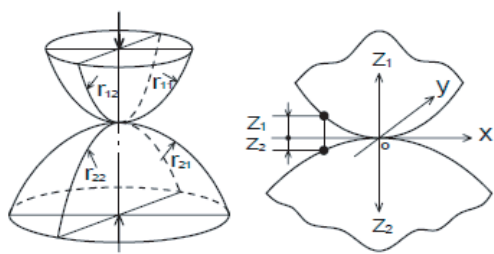


図 1. 二つの固体の接触

$$\left. \begin{aligned} A+B &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r_{11}} + \frac{1}{r_{12}} + \frac{1}{r_{21}} + \frac{1}{r_{22}} \right) \\ B-A &= \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{1}{r_{11}} - \frac{1}{r_{12}} \right)^2 + \left(\frac{1}{r_{21}} - \frac{1}{r_{22}} \right)^2 \right. \\ &\quad \left. + 2 \left(\frac{1}{r_{11}} - \frac{1}{r_{12}} \right) \left(\frac{1}{r_{21}} - \frac{1}{r_{22}} \right) \cos 2\phi \right\}^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

物体の角や稜線の場合も基本的には生活空間で物との人との接触問題であり、衝突速度と物の先端の鋭さ（曲率半径が小さい）と物の硬さ（材料特性）が損傷の程度に影響してくる。

なお、各主曲率の符号は、凸面のとき正、凹面のとき負、平面のとき 0 とする。任意の曲面をもつ 2 固体が垂直力 W で押し付けられると、接触領域はだ円となり、その長径 a 、短径 b （いずれも半長）は、

$$\left. \begin{aligned} a &= m \sqrt[3]{\frac{3W}{2E'(A+B)}} \\ b &= n \sqrt[3]{\frac{3W}{2E'(A+B)}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ただし E' は、2 固体の縦弾性係数とポアソン比をそれぞれ $E_i, \nu_i (i=1, 2)$ としたとき、次式で示される等価弾性係数である。

$$\frac{1}{E'} = \frac{1}{2} \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right) \quad (4)$$

球面と球面、円柱面と円柱面、球面と平面などの各種の先端形状の組み合わせた接触問題の弾性接触部分にかかる応力あるいは圧力を解析できる。さらにエッジなどの接触問題 Non-Hertzian（文献 3）にも拡張されている。

物体の角や稜線の場合も基本的には生活空間で物との人との接触問題であり、衝突速度と物の先端の鋭さ（曲率半径が小さい）と物の硬さ（材料特性）が損傷の程度に影響してくる。



図 2. 転倒事故



図 3. 裂傷を受ける皮膚組織

裂創は皮膚と骨の境界問題

図 2 に示すように、身体に比較して小さい子どもは頭が大きめで、ケガは頭が多い（挫傷）。転んだときに顔や頭を守れても腕や膝は擦りむく（擦過傷）。

次に、上から押しつぶされた皮膚と皮下組織および刃物などにかすめ取られた皮膚組織の図 3 に示す。

これら裂傷などのメカニズムは物がぶつかり人体がダメージを受け、表面の皮膚が破損するその程度を力学的に調べることである。外力を受ける皮膚には脂肪や骨など複合した抵抗力から複雑な境界問題であり、また、人体の各部位の形状と寸法も関係している（文献 1）。

実施方法・内容

力学的に皮膚の特性が評価可能

皮膚にかかった力によって、裂傷が発生する。力は、圧迫応力、引張り応力、せん断応力に分けることが可能であり、せん断応力はさらに三つに分けることができる。表面せん断応力、皮下せん断応力、深層せん断応力である。圧迫応力は、皮膚に垂直に掛かる力である（図 1 参照）。圧迫応力は圧縮応力、ズリ応力はせん断応力である。

力学的に負荷を与えて調べることで、圧縮やせん断力を受ける皮膚の特性を評価することが可能となる。

そこで、そのための評価用試験機を開発した。

角・稜線による裂創発生装置を開発

角・稜線による裂傷発生評価用の開発した試験機の図面と前景全景写真を図 5 に示す。

衝撃装置の高さは 1,260mm、最大落下距離は 1,000mm で、下部に評価用の試料を置き、衝撃質量 m と衝撃高さ h から落下衝撃速度 $V = \sqrt{2gh}$ などから衝撃力が得られる。試験機には上部の負荷部に高応答のロードセルと加速度計を、さらに裂傷評価試

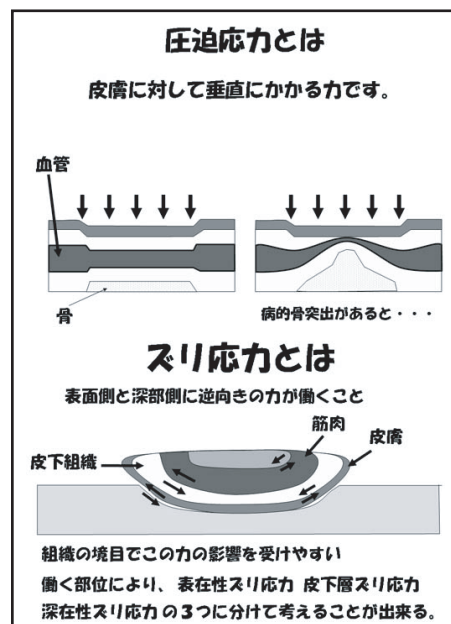


図 4. 皮膚が受ける応力の種類（文献 4）

料の取り付け治具の下部にもロードセルを配置した。衝撃試験機の計測データはロードセル、加速度計の出力を高応答のコンパクトレコーダ EDS-400A((株)共和電業)によって記録して、評価解析が行える。

稜線による切創発生装置を開発

稜線や切欠き角の接触による切創発生評価用に開発したスクラッチ試験機の図面と前景全景写真を図6に示す。

試験機は左右にスライド用のアクチュエータと垂直移動にリニアアクチュエータを配置してあり、試験機の寸法は、高さ 400mm 横方向のスライドアクチュエータの移動距離は 200mm である。

垂直のリニア駆動機構に高精度の3分力計 (F_z, F_y, F_x) と結合してあり、稜線状の突起部が取り付けられる。左右にスライドの移動台には生体の皮膚用モデル試料がセットできるようにしてある。

左右にスライドする皮膚モデル試料は、垂直部の稜線に接触することにより切断などの損傷を受ける。この時に3分力計は深さ方向の垂直力 F_z 、アプレシブな摩擦を含む横方向力 F_x および左右のバランス力 F_y の違いなどを計測する。せん断力は切込の深さと負荷速度が切創発生のパラメータになる。

スクラッチ試験の3分力のデータはセンサインタフェース PCD-300A をかえてパソコンに取り込まれる。任意の負荷速度をプログラムで与えられことから切創発生と3分力の配分の関係で評価可能である。

条件による圧子の取換などが可能

稜線・角部と切創・裂創に至る事象に対して未解明で、傷害を低減させるための稜線・角部のパラメータを変えて試験的に明らかにするための障害物の形状を製作した。なお、皮膚には表皮、真皮、皮下組織からなり、それぞれの部位によって厚さなどが異なり、骨や筋肉が下地としてあり、力学的には複雑な構造である。ここでの損傷試料の材料として柔らかい高分子および豚皮

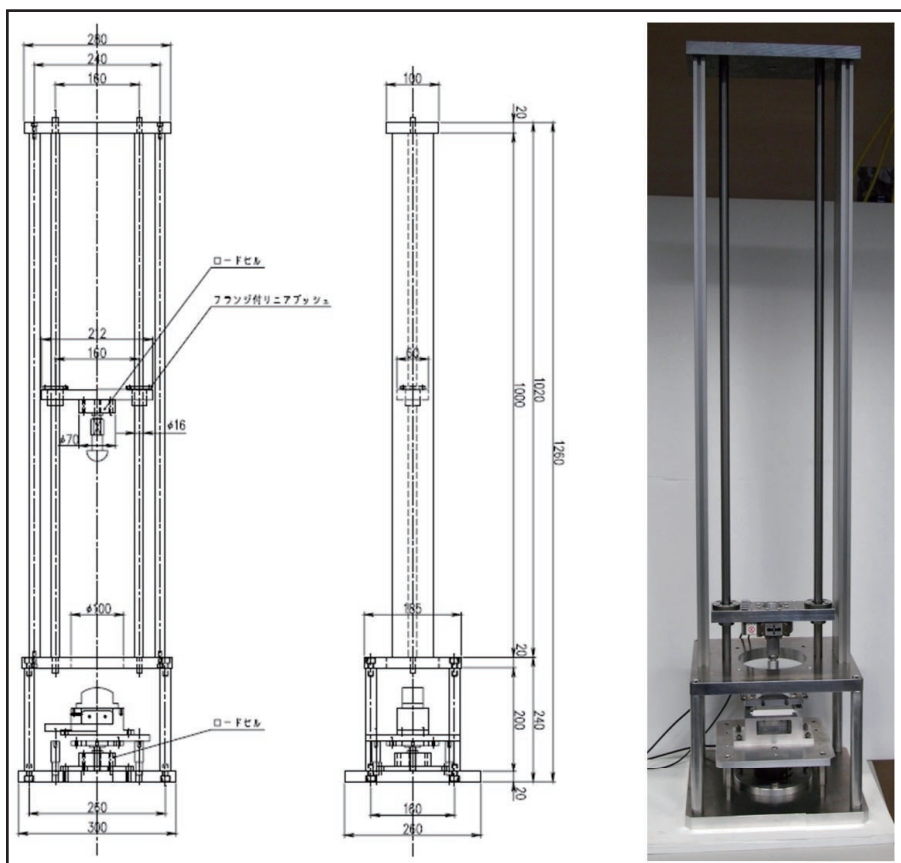


図 5. 裂傷発生評価用の衝撃試験機 (左) 設計図 (右) 装置の外観写真

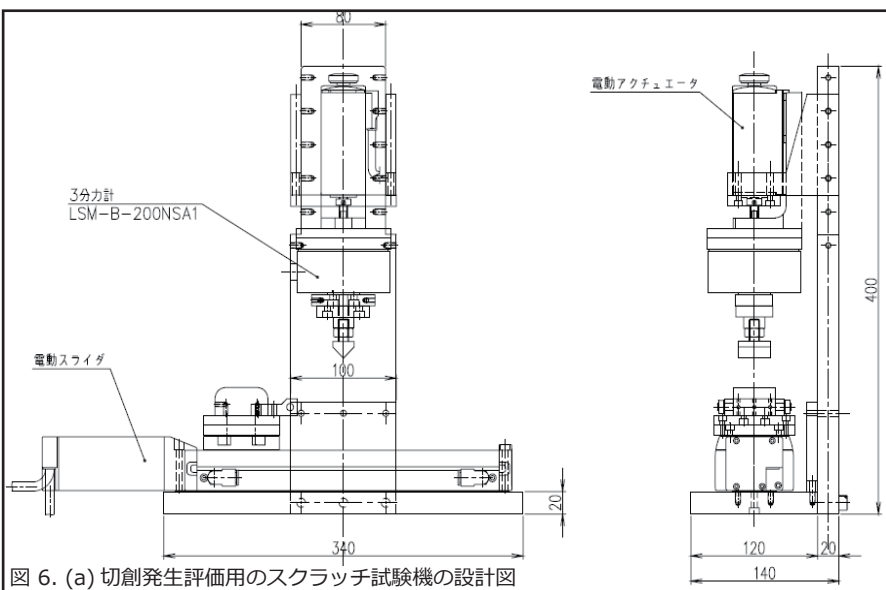


図 6. (a) 切創発生評価用のスクラッチ試験機の設計図

で代用する。試料取り付け方法と障害を与える稜線の突起物などの治具を示す。

1. 裂傷評価用のインパクト形状と試料の取り付け方法

転落時の衝撃力を加える2種類の障害物として曲率半径の大きい場合と鋭いエッジ状の角を持たせた圧子で、模擬

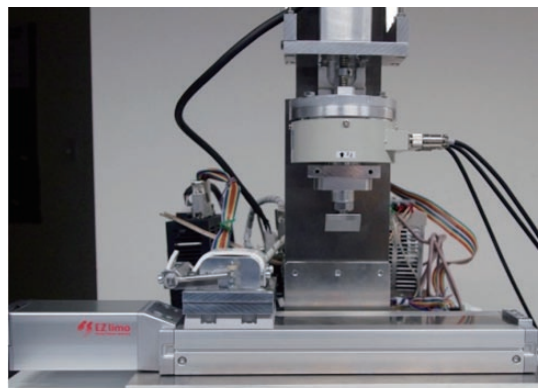


図 6. (b) 切創発生評価用のスクラッチ試験機の外観写真

試料の軟質ゴムとの接触状態の様相を図7に示す。なお、本装置は接触時の様相を観察するため骨に相当する受け具は透明な高分子の治具（2つの曲率のもの）を用意してある。この下部に45度のプリズムを配置した事により衝撃を受ける試料の下側を横から見えるようにして衝撃時の裂傷のメカニズム解明に対する観測方法の工夫もある。図（a）は、大きい円筒状の受け台の上の皮膚モデルに曲率の大きい球圧子のインパクターで衝撃力を受ける状態を、図（b）は、円筒状の受け台の上の皮膚モデル（ゴム）に鋭エッジ状のインパクターにより衝撃力を受ける状態を示している。

2. 切創評価用のスクラッチ圧子形状と試料の取付け方法

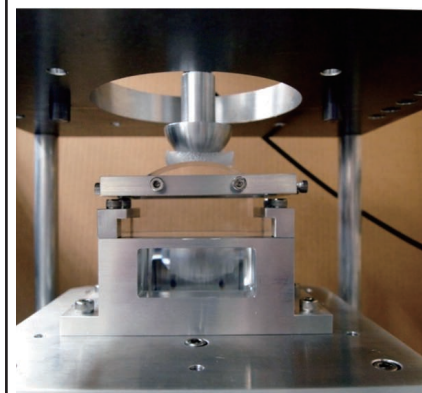
切創の試験試料の取付けには、アルミ製の骨に相当する曲率の下地に皮膚モデルの軟質プラスチック（豚の皮）を巻き込むように取り付けてあり、ハンドルである程度の張力を与え、垂直駆動のアクチュエータに取り付けた角や稜線上の突起物と接触させる。スクラッチ試験の突起状の障害物と試料を取り付け状態の様相を図8に示す。

パラメータとしては稜線の突起の鋭さと皮膚モデルとしての下地の曲率半径によるせん断力を受ける応力集中部の欠損で評価するが水平の負荷速度、皮膚の抵抗力を3分力計の応答として得られる。図（a）は、大きな曲面の台の周りに試験試料（皮膚モデル）を挟んで巻き込むハンドルで張ることで模擬生体の皮膚（顔面や腕）とする治具である。右は90度の細長い稜線モデルのスクラッチ圧子とそれに結合した3分力計を示す。図（b）は、試料取り付け治具に皮膚モデル（ゴム）と垂直負荷部の圧子の配置関係で、右はタイルをナイフ状にした鋭いスクラッチ圧子を取り付けた状態を示す。

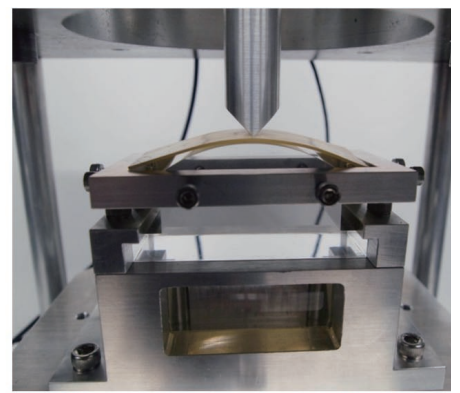
結果と今後の展開

開発装置による実験から切創・裂創を解明

(1) 裂傷に及ぼす衝撃力はロードセルによる力と加速度計による加速度の時間応答から負荷力を算出し



(a) 円弧の先端形状

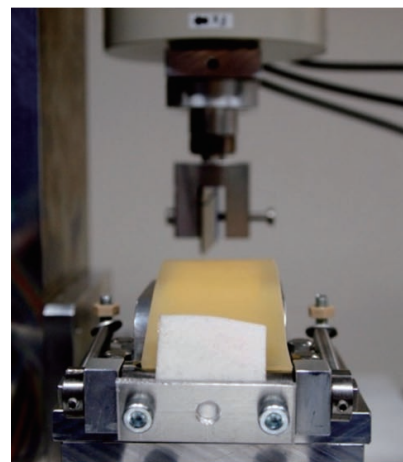


(b) 鋭いエッジ状の先端形状

図7. 衝撃負荷の鈍器が皮膚試料に接触する状態例



(a) 試料取り付け治具と稜線が60度の圧子



(b) 試料取り付け治具と鋭いエッジ状タイルの圧子

図8. スクラッチ試験の突起状圧子と試料取り付け状態

て、この衝撃力（HICなど）に対する裂傷の程度を稜線・角など衝撃物の先端の鋭さと皮膚と骨の形状による接触位置の応力・ひずみの大きさのパラメータを与えられる落下衝撃試験機を開発し、裂傷評価技術が利用可能になった。

(2) 切創発生メカニズム解明の方法として突起状の稜線にせん断力の負荷を与え、物体の稜線の鋭さと生体の皮膚（模擬材料）との摩擦を含むせん断力形の接触を損傷評価にスクラッチ試験機を開発し、切創の生じる鋭敏形状と負荷力などのパラメータを与えて試験できること確認した。

今後、開発された装置（落下衝撃試験機、スクラッチ試験機）を用いて、稜線・角のパラメータと切創・裂創の発生の因果関係を明らかにする実験を行うことで、切創・裂創メカニズムの解明とそれに基づく切創・裂創の対策を開発していく。

参考文献

- [1] 小野繁：キズをきれいに治す－ケガとキズの基礎知識、講談社、(2001)
- [2] 森本一史：人体の衝突傷害耐性－顔面－、豊田中央研究所 R&D レビュー, Vol. 27 No. 1 (1992. 3)
- [3] K. L. Johnson: CONTACT MECHANICS, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS
- [4] 兼古 稔：褥瘡の局所治療－TIME 理論で考えるラップ療法と陰圧閉鎖療法－