

「きれいだけど、ちょっとぶついただけですぐ割れる」硬い硬い「ガラス」のお話です。妬みに燃えた意地悪姉さんはシンデレラのガラスの靴を思い切り蹴飛ばしました。さて、蹴飛ばされたガラスのヒールは壊れてしまったでしょうか。

ガラスは大層な昔から使われてきました。紀元前1500年にはメソポタミアで、粘土に流し込む方法で器が作られ、正倉院にはシルクロードを経て運ばれた6点のガラス器が保存されています。近ごろでは、ごくごく細いガラス繊維をプラスチックで固めた繊維強化プラスチックも多く使われています。皆さんは「ガラス」で何を思い浮かべられますか。

ここからは、“割れる”お話の準備です。

壊れやすいものの形容に、「ガラスの〇〇」という言い方があります。かわいそうについ先ほども、怪我をして新聞見出しにされた野球選手がいました。それほどガラスは「壊れやすいもの」、「割れやすいもの」の代表です。ワイングラスをぶついたり落としたりしたら、簡単に“割れ”てしまいます。でも、相当に頑丈なウイスキータンブラーもあります。一方で、船にガラス窓をはめようとすれば、割れないガラスを用意しないとけません。波を受けて割れたりしたら、水が入って船は沈んでしまいます。用途が広がるにつ

れ、ガラスにも強さが求められるようになりました。

実は、ガラスはとっても大きな力を支えることができます。ガラス繊維は直径が1/1000 mmほどですが、これを1 mm²断面の束にまとめると300～600 kgもの重さを支えることができます。ですが1 mm厚さの板では、強さは1/100ほどにも小さくなってしまい、ほとんど伸びずに割れてしまいますし、ぶついたりすれば、もっと小さな力で割れてしまいます。90年ほど前、イギリスのある若者が、「ガラスの板(塊)の中には傷があって、この傷のために伸びずに割れる」とする考えを発表しました。“傷”、“亀裂”の登場です。力が掛かると亀裂の先っぽには力が集まりますので、それが原因で割れると考えました。蛇足ですが、“亀裂”は、亀の甲羅を焼いてその裂け様で占いをしたことに由来します。

さあ、これで準備ができました。それでは、シンデレラのガラスの靴について考えましょう。

体重50 kgのシンデレラがヒール高さ7 cmの靴をはいて立っていました。ガラスの靴がうらやましくてしょうがないお姉さんは、シンデレラの後ろにそっとしのび寄り、ガラスのヒールを力いっぱい蹴飛ばしました。その力の大きさはおおよそ200 N(20 kgf)でした。このガラスの靴には、目で見てもそれは分からない深さ0.5 mmほどの小さな傷がありました。はたしてガラスの靴は割れてしまうのでしょうか。

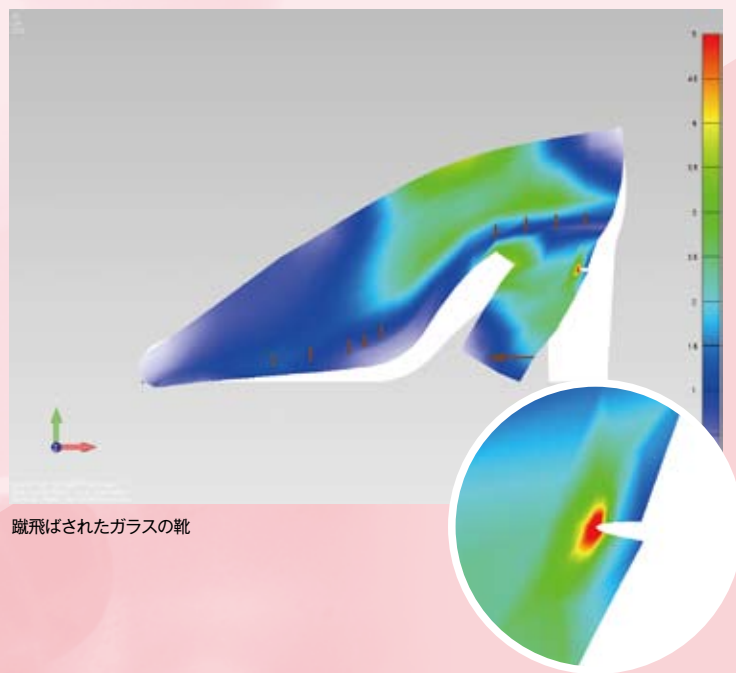
ガラスのお話

技術開発本部

小野塚 正一



今どきの方法で、ガラスの靴がどんな形にひしゃげてどこにどれだけの力が掛かってくるか、簡単なモデルで計算してみましょう。シンデレラの靴サイズは小さいのですが、ここでは外形で 25 cm としました。少しばかり強調していますが、ガラス靴のひしゃげる様子と、どこに大きな力が掛かるかを図にしました。ちょっと分かりにくいですが、ヒールの上の方に口を開いた小さな傷があり、この周りに小さく赤い部分を見て取れます。この赤い部分に大きな力が働いていますので、割れるならここから割れそうです。材料が頑張ろうとする強さに対して、掛かっている力がこれを超えれば割れると判定するのですが、この力の目安には「応力拡大係数」という特別なパラメタを使います。傷の深さを 0.5 mm とするとき、このパラメタはおおよそ $1.4 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ （分かりにくい単位です）と計算されました。今どきの丈夫なガラスですとその強さは $1.0 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ ほどとされていますので、この 200 N (20 kgf) という力では、ヒールは折れてしまうことになります。ぎりぎり折れる限界は 150 N (15 kgf) といったところなので、お姉さんのキック態勢が崩れれば、あるいはなんとかもちこたえることができるかもしれません。でもですね、ガラスの靴はやっぱり大事に大事にしてやらないといけません。そっとやさしくしてやらないとそれはすぐに壊れてしまうガラスの靴なんですから。



蹴飛ばされたガラスの靴

実際には目に見える傷がなくてもガラスは割れます。塊の中には強い部分と弱い部分があって、弱い部分の割れが全体の割れにつながるので塊は弱いと考えるのですが、まだまだこれから調べるを進めていかないと、細い繊維の強さに比べたときの塊の 1 / 100 の弱さを説明できません。

亀裂を考えたこの技術は、ガラスに留まらず、現在の社会で大いに役立っています。ビル、橋、船など、多くの建造物が鋼でできていますが、実は鋼はガラスに似て、あまり伸びずに脆く割れてしまう性質をもっています。船が真っ二つになって沈んだり、石油タンクが割れて油が一面に流れ出したり、これまで、大きな事故を幾つも引き起こしてきました。ガラスの弱さ

を説明しようとするこの考え方が応用され、鋼の性質を知ることができるようになりました。これが鋼の性質を良くすることに結びつき、その結果、大きな事故は本当に少なくなりました。この先鞭^{べん}をつけられたのが Griffith さんで、この亀裂以外の項目でも弾性学の教科書に引用されている大学者ですが、エンジン分野でも大活躍され、ターボプロップエンジンの原型を考え出された方としても高名です。

“作る技術”を追求するということが、これまたすばらしいもので、工夫に工夫を重ねてついにガラスの靴を作ってしまった方がおられます。その結果、今では誰もが幸せを分けてもらえることになりました。お嬢さん、あなたもシンデレラの靴をお試しになってみませんか。

ところで、“シンデレラ”は古い古い言い伝えで、ギリシャの昔に起源があるとも言われています。“灰^{かぶ}(cinder)被り姫の物語”には多くのバリエーションがあり、グリムの童話では、ガラスの靴ではなくて、絹、銀、金の靴が登場し、金の靴でサイズ合わせがなされます。魔法使いに代わって、白い鳩とすずめが衣類や靴を準備します。ご一読をお勧めします。ドイツの森の匂いがします。

最後に、趣を変えて

ビードロに 洗^{すす}ひ鱈^かを 並べけり

子規