

射撃関連トリヴィアシリーズ其の一 ライフル銃身の先端の自重によるの垂れ下がりは約 0.1mm Rifle Barrel Sags at the Muzzle by Gravity about 0.1mm

Jan 6, 2025 by Masaki Shishiba

Jan 7, 2025 Revised for Readability by Masaki Shishiba

Jan 8, 2025 Revised the Section 4(実測できないか) by Masaki Shishiba

Feb 17, 2025 Inserted the Appendix A1(手計算を FEA でチェック) by Masaki Shishiba

0 概要：

知つてゐる人には当たり前の知識だが稀に知らない人がゐるかも知れないと云ふ程度の知識を思ひ付くままに書いたシリーズです。射撃に無縁な人に自慢げに話す際には有効と云ふ程度 of 話題です。今回の話題はライフル銃身の先端が自重でどれくらい垂れ下がるかです。

この垂れ下がり量を実測ではなくて、手計算と FreeCAD でのシミュレーションとで求めてみました。

1 単純な輪郭のバレルの場合の垂れ下がり量を手計算：

外径 25.4mm, 内径 6mm, 長さ 600mm, 内径 .243" のストレートバレルでチェインバーもシャンク外周の(レーザーにはめる)ネジはまだ切られてゐない場合, 先端は自重で約 0.15mm 垂れ下がることが Appendix A0 に示すとおり力学の初歩的公式から簡単に求まります。

しかし実際のバレルは先端に行くに従ひ細くなつてゐたり, フルーティングのあるバレルでは垂れ下がり量が小さくなります。

2 コンピューターを使つた有限要素法(FEM)で垂れ下がり量をシミュレーション：

上記の手計算ではバレルのモデルがあまりに単純でした。実際によくあるテーパーが付いたバレルの場合には 0.15mm より垂れ下がり量は少ないはずで。そこで Fig. 2.1 のやうな輪郭のバレルでシミュレーションしてみました。

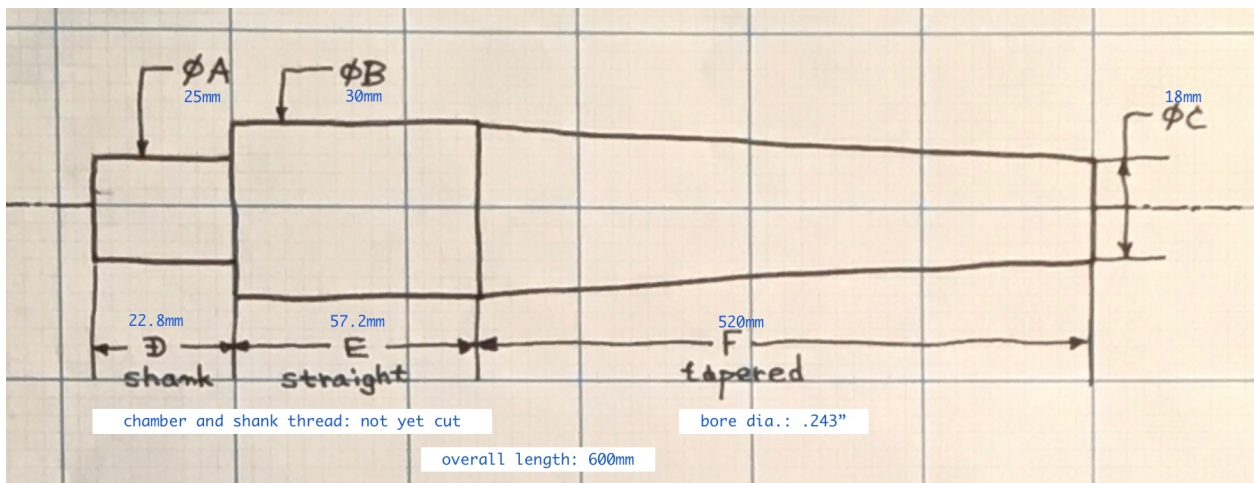


Fig. 2.1 競技射撃用銃身の輪郭の例

Fig. 2.1 は輪郭(contour)を示しているにすぎません。実際のパレルにはチェーンバーが切られており、またシャンク外周にはレシーバにねじ込むための雄ネジが切られますが、今回のシミュレーションではそれらの加工が未だの段階のパレルをモデルとしました。

使用したソフトウェアは FreeCAD と云ふ無料のものです。これには機械関連のシミュレーションとしては静的解析と固有値解析のみの機能が含まれてゐます。曲がつた進路をブリットが直進しやうとして進んで来る際にパレルに生じる振動の解析はこの無料ソフトウェアでは不可能です。

FreeCAD の使用は今回が初めてのためか製品の出来が悪いのか Fig. 2.1 のパレルの CAD 上でのモデル化にまづ手こずり、FEA にも手こずりました。パラメタがすべて整つた状態からの垂れ下がり量の計算は数十秒で完了しますが何しろヒトが架空のモデルを作るのがシミュレーションなので結果がどれほど現実と似てゐるかの検証も必要です。最終的にはだいたい思つた近辺の値が求まりました。それは Fig. 2.2 の Min のフィールドにある $-57.84\mu\text{m}$ でした。

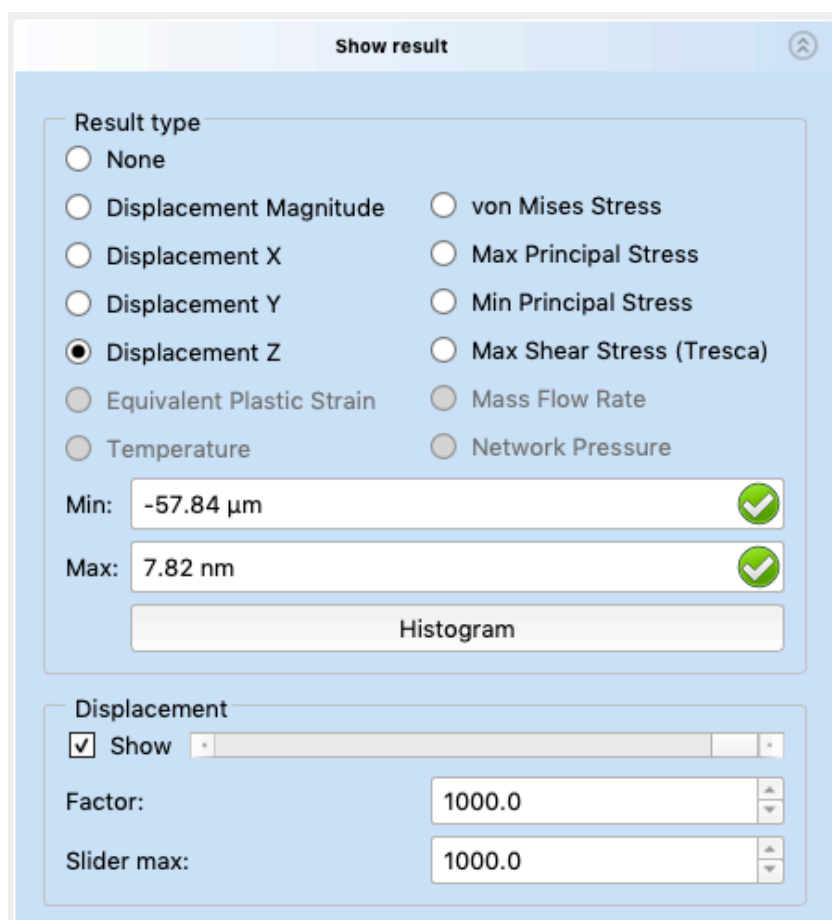


Fig. 2.2 重力軸方向の変移の Min と Max 値

Max として 7.82nm が表示されてみえますがおそらくシャンクからストレート部への変はり目あたりが上に変移するのではと想像しますがその値は極めて小さいので今回は見なかつたことにします。注: z軸は上が正なので, 垂れ下がり量の符号は負になります。

3 手計算とコンピューターシミュレーションで得られた値の比較:

そもそもこれら 2 つのケースでの計算は同一モデルで行なつて無いことと前者の方が根元が細く先端が太いので $0.15 / 0.05874 = 2.55$ と云ふ比は不思議ではないと言へます。大きつばに「バレルの輪郭や各部の寸法に依存するが約 0.1mm 下がる」と言へます。

4 実測できないか:

垂れ下がり量を実測する方法を思案してみました。一辺の長さが 1m ほどの定盤 or 高剛性のレールに万力でバレルの根元のストレート部を噛ませ, 定盤の手前/奥 or 右/左片方を地面からある角度だけ傾けそれぞれの傾きでのマズル中心位置(x-z 座標)の変分をこの定盤に固定した目盛り付き顕微鏡またはカメラまたはダイヤルゲージで測定すれば先端の垂れ下がり量を大げさな装置なしでも知ることはできさふです。この場合, 定盤を傾けた際のそれ自体のねじれも測定して補正する必要もあります。

他に方法がありましたら shishiba@tachrifle.sakura.ne.jp 宛にお教へいただけると幸いです。

5 垂れ下がり量を零にまたは少なくする方法など:

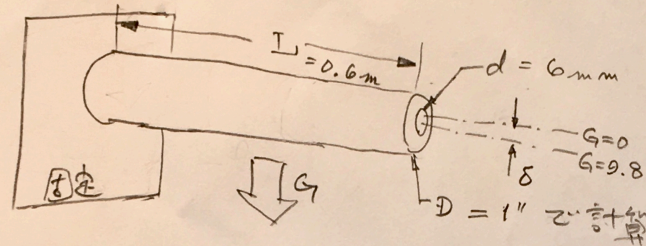
ベンチレストシューターの中にはバレルの「太さ:長さ 比」を大きくしたずんぐりバレルで垂れ下がり量を小さくしたり, 上部に滑車を設けそれを通る反対端に錘をつけた糸でマズル近辺を上を持ち上げる仕掛けを設けるなどの工夫をしてゐる人がゐます。これらは ISSF ルールに反するので muzzle tuner または barrel tuner などの名称の「位置を数 mm 前後できる錘」をつけてバレルが振動してもマズル近辺がアンチノードになる(初速が少しくらい異なってもターゲットの同じ位置に着弾する)やうチューンを可能にする製品があるやうです。

ご参考: 強力な FEA ツールである Ansys LS-DYNA を使用できる立場にゐる人物によるバレルチューナーのシミュレーションの記事が <http://www.varmintal.net/a22lr.htm> にあります。

<http://www.varmintal.net/aengr.htm>

片持ち梁の先端部のたわみ

Aug 18, 2021



$$E = 200 [\text{GPa}]$$

$$\rho = 7800 [\text{kg/m}^3]$$

$$g = 9.81 [\text{m/s}^2]$$

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$$

--断面2次
moment

$$= (* \pi (- (\text{expt } 25.4 \times 4) (\text{expt } 6.0 \times 4)) / 64)$$

$$20368.09 [\text{mm}^4]$$

$$= 20,368.09 \text{e-}12 [\text{m}^4]$$

$$= 20,368 \text{e-}9 [\text{m}^4]$$

計算OK!

$$\text{or } 2.037 \text{e-}8 [\text{m}^4] \text{ or } 20.37 \text{e-}9 [\text{m}^4]$$

$$W = \frac{\pi \left(\left(\frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right) \cdot \rho \cdot g}{478.43 [\text{mm}^2]} = 478.43 \text{e-}6 [\text{m}^2]$$

--単位長当たりの
mass

$$= (* \pi (- (\text{expt } \frac{25.4^2}{2}) (\text{expt } \frac{6^2}{2})) 7800 9.81)$$

$$= 36.61 [\text{N/m}]$$

計算OK!

$$\delta = \frac{w L^4}{8 E I} = (1 (* 36.61 (\text{expt } 0.6^4)) (* 8 200 \text{e}9 20.37 \text{e}9))$$

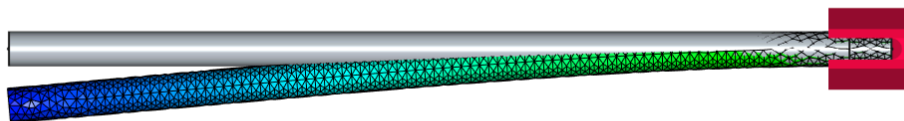
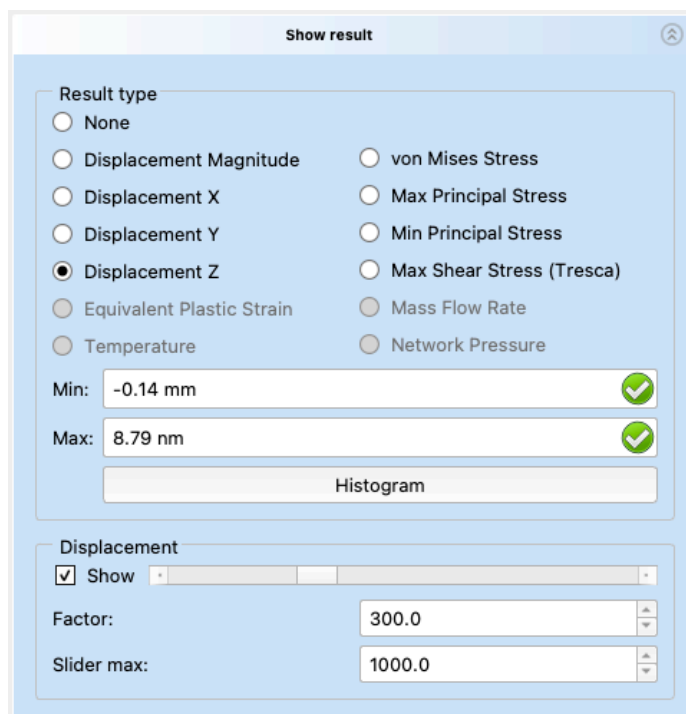
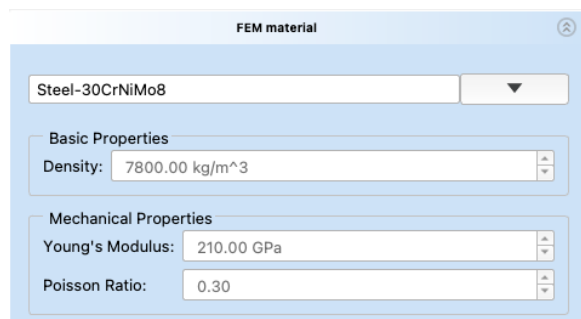
$$= 146 \text{e-}6 = 146 [\mu\text{m}]$$

手計算の様子:

ヤング率(E)の200GPaと密度(\rho)の7800kg/m³はFe-baseの合金にほぼ共通な値です。

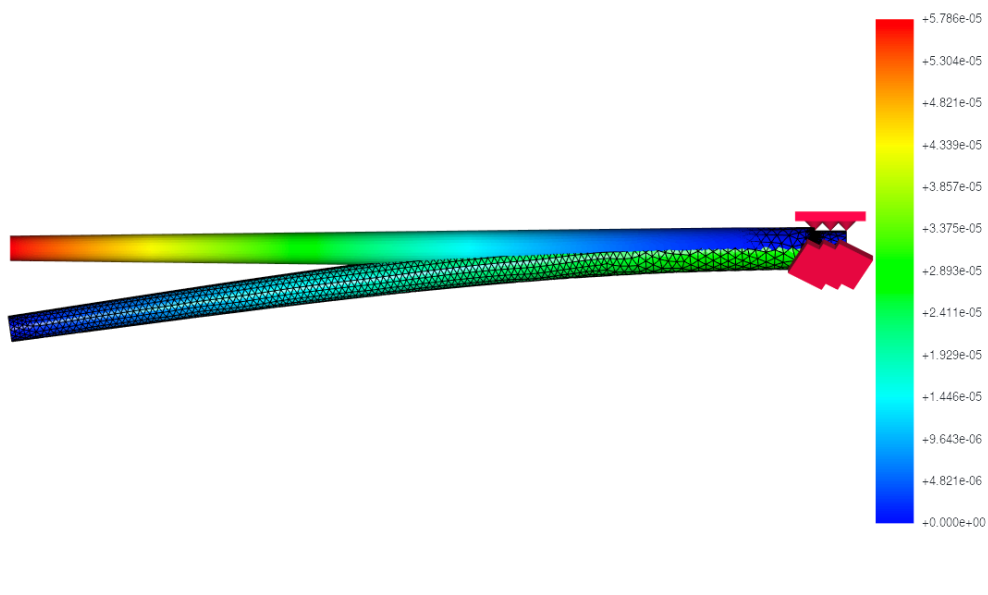
Appendix A0 のストレートバレルの場合の手計算を FEA でチェック:

以下のとおり 0.14mm(140um) でした。僅かな差(4.3%)がありますがおそらくそれはヤング率が 210.00GPa と云ふ手計算で採用した 200GPa より 5% だけ曲がり難い Steel-30CrNiMo8 といふ規格で定められた材料でのシミュレーションだったからと想像できます。



注: 垂れ下がり量を 300倍にして表示してあります。

Appendix A1



コンピュータシミュレーションの結果の等高線表示:

右端にあるシャンクを固定してあります. 左にあるマズル側が大きくが垂れ下がつてゐますが垂れ下がり量を 1000倍にしてわかりやすく表示してゐるためです. 等高線は z軸方向の変移を示してゐます. ここで 1000 と云ふ値は Fig. 2.2 の下 1/3 辺りの Displacement にセットした表示拡大率です.

材料として 30CrNiMo8 を選択しました. この Fe-base 合金は JIS の SNCM431 と同等の材料のやうです. ヤング率と密度はそれぞれ約 200GPa と 7800kg/m³ です.

FreeCAD について:

今回使用した FreeCAD のバージョンは 1.00 です. 実は私は約十年前に転職した先の会社でバージョン 0.15 を「仕事で使い物になるか」と云ふ観点で半日ほど触ったことがあり, 「仕事では使い物にならない」と判断しました. それまで Pro/ENGINEER と Femap with NX Nastran を使用したことがありましたがこの転職先の事業所には CAD ツールがなかったので FreeCAD を新規インストールから試した次第です. その時はそれまで本社が使用してみた Autodesk Inventor をやめて他社のなんとか云ふ CAD に乗り換えるのでライセンスを私が居た事業所に移行することで問題解決しました. これらの CAD の中で FreeCAD は「ユーザーが正しく無い(or 設計者が想定してない)操作をした際のエラー通知が無かつたり不十分でかつその復旧手段が無かつたり云々」と云ふ点で圧倒的に劣つてみました. それから十年後にバージョン 1.00 を試したのですが当時からこれらの点では大して進歩してない感じです. とは云へ無料である点でホビーイストには利用する価値が大いにあると云へます. 少し慣れればエラー通知が無しや不十分といふ短所はやや薄れます.

今時の家庭用コンピューター(Mac, Linux, Windows) にディスクスペース 2.5Gbytes があればインストール可能です. ユーザー登録等は不要です.

Youtube 上に使用方法を説明する人が沢山居ますがなぜか英語圏以外の方が圧倒的に多く言語が彼らの母国語だつたり訛りのきつい英語だつたりします. まれに英語圏の人も居ますが数日前に FreeCAD を使い始めてどおにか使へるレベルに達しがばかりの人だつたりします. 一方超高度な使用をするマニアな Youtuber も稀に居ますがレベルが高すぎて初心者向きではありません. 残念ながらインストールする前にどんな感じかを知りたい人におすすめの Youtuber は今のところ心当たりがありません.

自分で FEA する意思はないが人のを眺めたい方へ:

シューターの大方はこの分類に属すると想像します. それらの方々には第5章で触れた varmint AI's の web 頁を閲覧することをお勧めします.

おわり