

小銃彈を以てする防楯用鋼の抵抗測定

(日本鐵鋼協會 第6回講演大會講演)

本 多 光 太 郎
竹 前 源 藏
渡 邊 直 行

ON THE MEASUREMENT OF THE RESISTANCE OF SHIELD PLATES TO PENETRATION BY A RIFLE BULLET.

By. Kotaro Honda, Genzō Takemae and Tyokkō Watanabe:

SYNOPSIS, The purpose of the present investigation was to measure quantitatively the efficiency of a shield plate in resisting penetration by a rifle bullet. A simple, mechanical, and accurate method for determining the velocity of the bullet was devised, by which the velocity of the bullet after passing through test plates of different thickness was measured.

By this means the residual velocity vers. plate thickness curve for different metals was obtained.

This curve which is called the "characteristic curve" of the shielding efficiency of a metal was obtained for different metals and alloys. The curve not only gives the residual velocity of a bullet after passing through a shield plate of a given thickness, but also the thickness of the metal plate which is just sufficient to stop the impinging bullet, on the "penetration distance". The best material found as the result of the present investigation is a special steel, the penetration distance of which is 4.5mm. for a bullet 9 grams in mass and a velocity 790 meters per second.

The penetration distance of laminated plates, and of two plates of equal thickness separated from each other by a distance was also measured. The same quantity for wood, sand and glass, of different kinds was also measured.

1. 緒 論

防楯用鋼板の小銃彈に對する抵抗測定の科學的方法は未だ發表されて居ない。從來は硬度試験、伸張試験、シャルピー衝擊試験其他の機械試験を以て之に充ててゐるが何れも小銃彈に對する防楯用鋼板の抵抗能率 (efficiency) を充分正確に表示するものではない。夫れ故此問題を解決するは先づ最初に此の抵抗能率を正確に測定し得べき適當な方法を見出すべき必要があるのである。

此の目的に對し小銃彈射撃を行ひ小銃彈が鋼板を貫通する間に鋼板に依つて吸收せらるゝ勢力を測定するのが最も適當である。此の吸收せらるゝ勢力が即ち鋼板の正しい抵抗の寸法となるからで

ある。夫れ故に若し小銃彈の撃速を知つてゐれば鋼板貫通直後の殘速を測定することによつて此の抵抗能率を求めることが出来るのである。

小銃彈の初速測定は通常 ブーランヂェー式測時計¹⁾ (Bulengé Chronograph) 或はラダコウメツク型²⁾ の測時計等の電氣的方法に依つてゐるが此等の方法は色々の點に於て本目的は必ずしも適當ではない。著者等の實驗に於ては初速は規定常裝藥時の速度を採用し銃口前 2.5 m に於ける速度

¹⁾ J. W. Hicks, Theory of the Rifle and Rifle Shooting, (1919), 45; C. Crauz, Lehrbuch der Ballistick, 2 Aufl., 3(1927), 66.; P. Chabbonnier, Traité de Balistique Extericure, p. 412.

²⁾ C. Crauz. Ibid, 107.

を以て其の撃速としたのである。勿論此の速度は實驗に先立つて豫め確められたが殆んど一定で個々に對して大差なく 790m/sec より偏すること $\pm 10\text{m/sec}$ 位であつた。其れ故本研究に於て要求する精度では各射撃毎に初速を測定する必要なく初速（本實驗にては丁度撃速にとつた）は直ちに上記値を採用するを以て足りたのである。斯くて此の問題は防楯用鋼板貫通直後の小銃彈の殘速を測定することに歸した次第である。

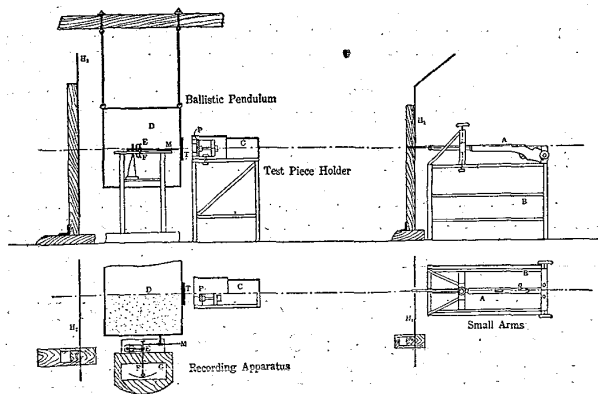
此の速度の測定は吾人の考察せる改良彈動計 (Rivised Ballistic Pendulum) を以て容易に遂行することが出來た。以下は殘速測定の方法及び過去3年間に涉りて實驗せる結果中の若干の要求に就て記述することとする。

2. 測定方法及び實驗装置

實驗装置の主要なる部分としては小銃、試験用鋼板を確實に支持する装置及び大型の砂箱等であるが砂箱は天井より懸吊せしめて彈動計の用をなさしむるものである。第1圖は本装置の要領の平面圖及び測面圖を示したもので符號の説明は次の通りである。

A は B なる特に設計せるアングル鐵製の銃架

第 1 圖



實驗装置

の上に固定せられたる三八式歩兵銃で銃の中心線は床面と平行に支持せられ銃口の微少なる上下左右の修正を容易ならしむる設備を有してゐる。小銃彈は長さ 33mm 、直徑 6.5mm の鉛心ニツケル被甲彈で重量 9gm である。P は試片保持臺に装置せる試片を示し其の大きさは大體 15cm 四角で大きさから來る不都合な影響がない範圍で最少なる寸度としたものであつて螺桿を以て確實に支持臺に取付けられるようになってゐる。C は半圓筒形の鐵製の被蓋であつて射撃時に當り彈丸や試片の破片などの飛散を防止するの用をなす。銃口と試片との距離は前に述べた如く初速とを大體一致せしむるために 2.5m に選んだ。

試片支持臺のすぐ後に近く接して各邊 50cm の大型砂箱口を振子として懸吊する。之は4個の蝶番によつて細い鋼鐵棒の吊棒で天井より吊したものであるがこの吊棒の爲めに砂箱は前後にのみ振動するが左右及び垂直軸への廻轉運動は絶対に阻止されて居る。箱の前面には直徑 20cm 厚さ 1cm 標的 T を有し中心は何れも床上 1m で箱の重心高と一致せしめてある。此の標的板 T は彈丸が貫通して砂箱に侵入しても砂の漏出を防止するが彈丸が20發も30發も貫通すると遂に砂を漏出するに至るから其の時は新しい板に代へるのであるが其の手数は簡單である。此の彈動計の總重量は 193.5kg である。

小銃彈の衝突による振子の振幅は微少であるから地震計に於ける如き類似の装置によつて之を擴大せしむる装置を要する。之が F なるジェラルミン製の水平に取付けられた針で行はれるのであるが其の短い垂直軸 E は兩端をピボットで支へられてゐる。其の擴大率は 9.5 であるがこれは 790

m の初速を圖上 7cm に表はすように決められたものである。箱の移動を針に傳へる爲めに磁石を巧みに應用した、即ち M は K. S. 棒磁石で箱の重心高に水平に取付けられ左端は圓く尖がらしてある。一方擴大用記録針の短い腕のすぐ下には同じ垂直軸に良く磨いた軟鐵片を垂直に鑲附し其處に磁石の左端が磁氣的に吸引して密着するようにしてある。此の磁氣的結合は極めて確實で激動によつて突然彈動計がうごいても離れる心配もなく振幅の大小をもよく調節し合ひ都合よく働いてくれる。針の長い端には地震計の夫れと全く同じ軽い鋼鐵製ペンが附屬して居て油煙紙 G 上の水平運動を記録するのである。H₁ 及び H₂ は何れも彈丸の破片などに備へた防禦用板である。

今若し發射された彈丸が試験甲板を貫通するならば或る殘速を以て進み砂箱の標的板 T に當り更に砂箱中に侵入し若干距離進行後砂との摩擦によつて停止する譯である。箱は衝突と同時に彈丸の衝擊により一定量の運動量を得て振子運動を開始するが彈丸と砂箱の質量は一定であるから箱の最初の最大移動量は下に證明する如く彈丸の殘速に正比例することゝなる。従つて blank test によつて此の間の比例常數を決定し得れば油煙紙上に記録せられた最大移動量に此の常數を乗ずることによつて殘速は容易に計算し得らるゝ筈である。

3. 彈動振子の理論

彈動振子の理論は既に色々の本に於て取扱はれて居る故茲では單に其の概念を記述するに止めることゝするが其の運動の方程式は次の如くである。

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + K \frac{d\theta}{dt} + Mgh\theta = 0$$

茲に I は振子の其の懸吊の軸に對する慣性能率

を、M は振子の質量を、h は懸吊軸と其の重心との距離を示すものである。今 τ を其の振動の週期とし ω_0 を以て振子の最初の角速度即ち最大角速度とするならば上式の解は次式で與へられる。

$$\theta = \frac{\omega_0 \tau}{2\pi} e^{-\frac{\kappa t}{2I}} \sin \frac{2\pi t}{\tau}$$

扱て $t = \frac{\tau}{4}$ の時には振子は第 1 回歸點にあり従つて最初の最大移動位置 Θ にあるべきを以て $t = \frac{\tau}{4}$ を上式に代入すれば

$$\Theta = \frac{t\omega_0}{2\pi} e^{-\frac{\kappa t}{2I}}$$

或は
$$\omega_0 = \frac{2\pi}{\tau} e^{\frac{\kappa t}{2I}} \Theta$$

今 V 及び v を以て夫々砂箱及び彈丸の撃突時の速度とするならば次の關係が成立する筈である。 $VM = vm$ 及び $V = \omega_0 h$

$$\therefore v = \frac{\omega_0 Mh}{m} = \frac{2\pi Mh}{\tau m} e^{\frac{\kappa t}{2I}} \Theta,$$

或は
$$v = c\Theta, \quad c = \frac{2\pi Mh}{\tau m} e^{\frac{\kappa t}{2I}}$$

依つて與へられた振子に對しては v は Θ に正比例することゝなるのである。然して Θ は實際の記録より求め得られ c は豫め確められた彈丸の v の値即ち 790 m/sec より計算し得るのである。其れ故一度 c の値が決定されるならば試験鋼板を貫通し直ちに振子に衝突する彈丸の速度は其の油煙紙上の記録 Θ より直ちに求め得られる。

此の理論の正しきことを證明する爲めに今理論上求めた Θ と實驗より得た Θ とに就て其の値を比較して見よう。吾々の實驗では彈丸の規定裝藥による正規速度によつて畫かれる最初の最大移動量の弦の長さは 4.99cm であるが針の倍率は 9.50 である故に振子の點の角移動量は h を 79.0cm とすると次の値となるのである。

$$\Theta = \frac{6.99}{9.5 \times 79} = 0.00931 \text{ radians.}$$

$$= 32' 0''$$

今度は理論式より同じ量を求めて見るに先づ最初に振子の對數減衰 $\lambda = \frac{k}{2I}$ を計算せねばならない。これは振子の引續いての振幅の減衰するのを觀測するより外はないので吾々は數發の實射によつて次の値を得た。

第 1 表

實驗回數	第 1 振幅 s_1 (mm)	第 2 振幅 s_2 (mm)
1	70.0	64.0
2	69.6	64.0
3	70.0	64.5
4	70.0	64.0
5	69.8	64.0
6	70.0	65.0
7	70.0	64.0
平均値	69.91	64.2

$$\text{夫れ故} \quad \frac{s_1}{s_2} = e^{\frac{k}{2I} \frac{\tau}{2}} = e^{\lambda \frac{\tau}{2}}$$

然るに $\tau = 1.30 \text{ sec.}$, なるが故に

$$\lambda = \frac{2}{\tau} (\ln s_1 - \ln s_2) = 0.130$$

扱て $m = 9 \text{ grm.}$ $v = 790 \text{ m/sec.}$

$$M = 193,500 \text{ grm.} \quad h = 79.0 \text{ cm}$$

$$\text{故に} \quad V = \frac{mv}{M} = 3.68 \text{ cm/sec}$$

$$\text{或は} \quad \omega_0 = \frac{V}{h} = \frac{3.68}{79} = 0.0466$$

$$\text{故に} \quad \Theta = \frac{\omega_0 \tau}{2\pi} e^{-\frac{k\tau}{2I}} = \frac{1.3 \times 0.0466}{2\pi} e^{-0.13 \times 1.3}$$

$$= 0.00928 \text{ radian}$$

$$= 31' 54''$$

斯様に理論上よりの値も又觀測上よりの値と極めてよく一致し其の差は實驗範圍内である。

射撃試験の場合試験鋼板を貫通し砂箱に入りて止る彈丸を拾ひ出して見ると何れも甚だしく變形し或は一部分熔解した様な有様で原形を止めないこの變形は大部分は試験片を貫通する時に其の衝擊に依つて惹起することは勿論又一部分は砂箱内

で起るもので彈丸と砂との間の激しい摩擦作用に依つて起る高熱に依るものであると考へられる。

其れで此の摩擦によつて發生する熱又は變形に費された勢力が上に計算した様な振子の運動に影響を及ぼさないだらう乎と云ふ疑問が起るが夫れは次の様に考へて見ると其の心配がない事が判る最初に彈丸は何等變形を受けずに砂箱内に飛込んで其處で砂との摩擦で停止するが次の瞬間に彈丸は其の結果として變形し或は熔解を起すものと考へられるが後半の過程は振子の運動にあづからないことは確かであるから結果から見れば彈丸は砂箱内で變形や發熱作用を起さぬと同じことになつてしまふ。それ故彈丸の停止と變形とは同時に起るが振子の運動には影響しないと結論して差支ない。最後に彈動振子としての必須條件は振子の運動が相當にゆつくりであつて振子を衝擊した彈丸が完全に停止する迄あまり過敏に移動しないことである。吾々の場合には此の條件は満足せられてゐるので上述の彈動振子の理論はそのまゝ用ひて殘速の計算をなし得るのである。

4. 實驗第 1 部

(a) 金屬甲板の小銃彈に對する防楯能率を表はす特性曲線 金屬の小銃彈に對する防楯能率 (Shielding efficiency) を表はすための特性曲線を作るとするならば夫れは直接定量的に能率を表わすものか或は其の曲線から直ちに求め得らるゝようなものでなければならぬ。此れには試験板の厚さと貫通後の殘速との間の關係を示す曲線が最も適當せるものであつて吾々は茲で防楯能率の特性曲線 (Characteristic Curve) と呼ぶ所以である。

$$v = c\Theta,$$

に於ける定數 c の値或は更に便利に

$$v = c's,$$

なる最後の式に於ける c' を求めて見る。但し茲に s は油煙紙上に記録された弧と弦の長さで測つたものであつて第1表の data を用ひることが出来る。 $s = 69.9\text{mm.}$, $v = 790\text{ m/sec}$ とすれば

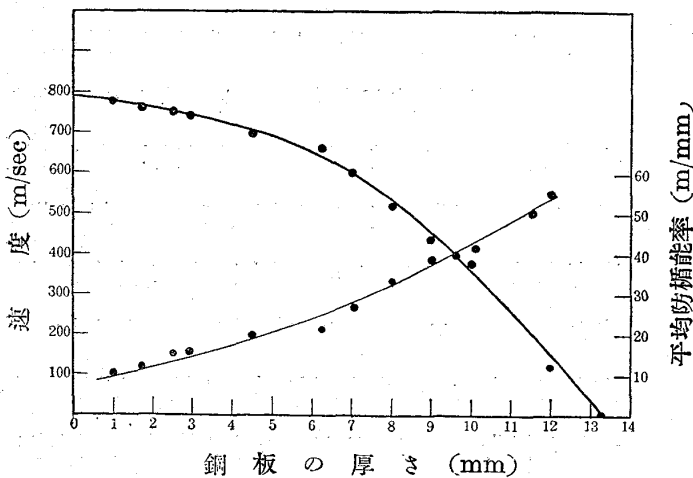
c' は次の如くなる

$$c' = \frac{790}{6.99} = 113.20\text{ m/cm. of } s$$

第1表に見る如く各發毎の彈丸の初速は殆ど一定であつて偏差は實驗誤差の範囲内にあるゆえ既に述べた如く初速を一定値に採ればよいから金屬の特性曲線を求める爲めには殘速のみを觀測すればよいことになる。處でこの殘速の測定は s なる長さを測定することに歸してしまふがこの値も實驗の結果同じ金屬の同一厚に對しては殆ど一定であるので正確な値を求める爲めに再三繰返す必要を認めなかつた。それ故一般には最後の結果として2發の平均値を採り此の2段の値がひどく喰違つた時にのみ5發乃至4發實射後の平均値を採つたのである。

(b) 0.2% 炭素鋼の特性曲線 試驗用鋼板は豫め所要の各厚さに熱間壓延して作り何等熱處理を

第 2 圖



施すことなく其のまま實驗に供した、これは單に標準的に求めて見たにすぎないからである。彈丸初速は 790 m/sec. で其の結果は第2表及び第2圖

に之を示す。

第 2 表 0.2% C-Steel

鋼板の厚さ (mm)	弦の長さ s (mm)	殘速 (m)	速度低下 (m)	平均防楯能率 (m/mm)
1	69.3	780	10	10
1.7	68.4	770	20	11.7
2.5	66.7	752	38	15.2
2.7	66.2	745	45	15.5
4.5	—	700	90	20.0
6.2	58.7	660	130	21.0
7.0	53.4	600	190	27.1
8.0	46.7	525	265	33.2
9.0	39.1	440	350	38.9
9.5	35.3	398	392	41.2
10.0	33.6	378	412	41.2
12.0	11.5	130	660	55.0

之を以つてみれば彈丸の速度低下は初めの鋼板の薄いところでは極めて徐々であるが其の板の厚さが増すに従つて低下の度が甚しくなる。以下の實驗でも得た如く他の金屬や非金屬物質の場合も同様であつて特性曲線は横軸に對して常に凹であつて其の形は拋物線狀をなすものである。

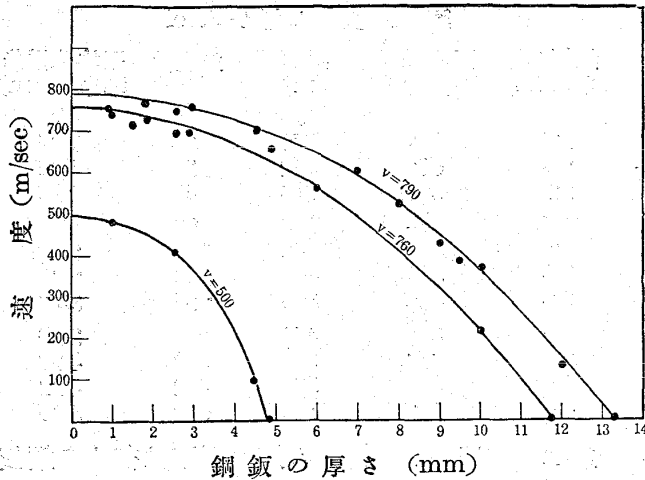
此の曲線から丁度彈丸を停止せしむるに必要な板の厚さは容易に求め得るのであつて曲線が横軸と交る點の厚さをよめばよろしい。吾々は此の厚さを侵徹距離 (penetration distance) と呼ぶことにする、表中の平均防楯能力は板の厚さで其の時の速度低下を割つた商である。

(c) 彈丸の速度を變化せしめた場合の特性曲線、

特性曲線の形狀は金屬の種類性質に依るばかりでなく彈丸の質量、形狀及び速度によつて左右されるものである。其處で本實驗では初速即ち擊速を變化して其の時の特性曲線を求めて見た。擊速は 790, 760, 及び 500 m/sec の3段としたが、これは豫め實驗調製した火藥の裝填比重と初速との線圖¹⁾によつて藥莖内の火藥を加減したもので豫め射撃試験によつて確めた。本試験に用ひた鋼板は前のものと

¹⁾ 東京帝大工學部造兵學教室に於て 故萩原滿壽雄博士の求めたもの

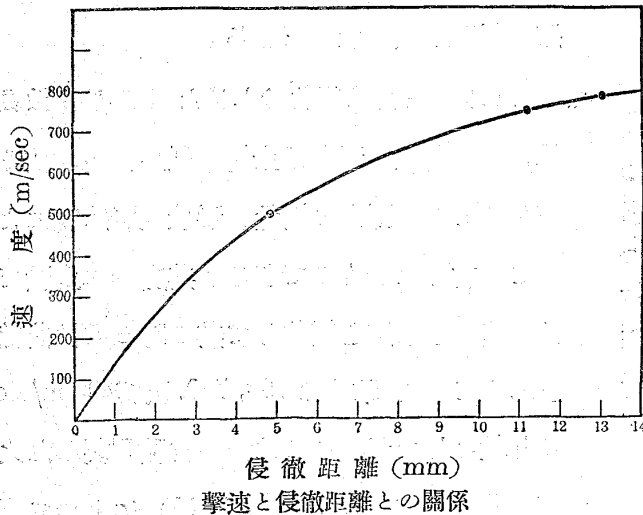
第 3 圖



同じく 0.2% 炭素鋼である。此の三つの撃速に對する特性曲線は第 3 圖に之を示す。

第 4 圖は撃速と侵徹距離との關係を第 3 圖の曲線より求めたもので之れによつてみると彈丸の撃速増加するに従つて曲線の下への曲り方が少なくなつてゐる。即ち撃速の値が増加するに従つて侵徹距離の増加が著しいことになるものである。撃速の低い間は侵徹距離も大して増さないが 700~500 m/sec 附近では其の増加が甚しい。

第 4 圖



撃速と侵徹距離との關係

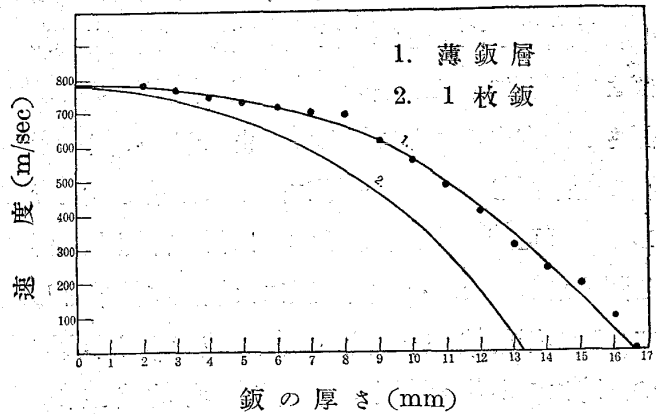
(a) 重ね合せた鋼板の特性曲線 本實驗は同じ材料(0.2% C-Steel)に就て 1 枚よりなる鋼板と 1 mm 板を同じ厚さに重ね合せたものとに就てその抵抗の優劣を比較せんがために施行せるものであ

る。其の結果は第 5 圖に示すが如くであつて最初の豫想に反し重ね合せた板の方が同じ厚さの 1 枚の場合に劣る、即ち 1 枚の時の侵徹距離は 13.2mm であるに反し約 3mm も増加して居る、今 1 枚の場合及び重ね合せた場合の鋼板の侵徹距離を夫々 e 及び e' で表わすとすれば次の關係式がある。

$$e = 0.79 e'$$

此の關係¹⁾は大砲を以て複合甲板 (Compound

第 5 圖



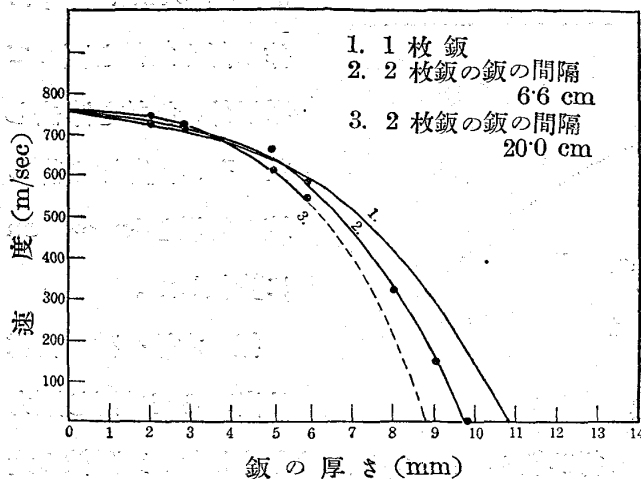
1 枚鋼と薄鋼層との關係

armour-plate)を射撃して得た結果に一致する。複合甲板の方が不利だと云ふことは説明のつくことで重ね合せた板の間には何等結合力 (Cohesion) が存在してゐないから全體として 1 枚板の同じ厚さのものに比し抵抗が少ないことになるのであらう。夫れ故抵抗の點から言つて同じ厚さのものをを用ひるならば 1 枚板の方が優利である。最近萩原滿壽雄氏²⁾がアルミニウム板に就て精密な電氣的クロノグラフを以てこの問題を研究し 1 枚の場合も重ね合せた場合も同じ厚さに就ては差がなかつたと報告されてゐるが吾々はこの結果に同意し難い。

¹⁾ 有坂紹藏、東京帝大、工科大學紀要 7(1916)231 大砲にて 3 枚複合甲板の時の結果は $e = 0.893 e'$

²⁾ 萩原、火兵學會誌、23 (1930) 342.

第 6 表



2 枚鋼を一定距離に離れた場合の特性曲線

(e) 同じ厚さの 2 枚の鋼板を一定距離にした場合の特性曲線、本実験にも前と同じ 0.2% 炭素鋼板を使用した。そして同じ厚さの鋼板 2 枚を 1 組とし兩者の間に一定の距離を保たしめて射撃し其の抵抗の變化に従つて残速の變化を觀測したのである。撃速は此の場合都合により 760 m/sec とし鋼板間の距離は 6.6cm 及び 20cm の二つの場合に就て實驗した。其の結果は第 6 圖の通りである。圖中曲線 1, 2, 3, は夫々 1 枚の場合、2 枚の鋼板を夫々 6.6cm に離れた場合及び 20cm に離れた場合の特性曲線を示すものである。

に一方兩鋼板間に相當の距離を保たしむるならば彈丸が第 1 板を貫通するに當り彈軸を多少なり共曲げらるゝ故に第 3 板には垂直に衝擊が加へられない故其れを貫通する場合には非常な抵抗を與へらるゝわけである。従つて 2 枚 1 組の鋼板抵抗に於ては兩者の距離が大となるに従つて抵抗も又大となるのである。而も此の効果は彈丸の初速が低下すればする程著しい。即ちこの二つの効果の合成効果として 2 枚 1 組の鋼板では距離の抵抗に及ぼす効果が薄い板に於ては負で厚い板に於ては正となるのである。

(f) 各種の金屬及び合金の特性曲線 上に述べたと同様な方法で各種の金屬や合金に於て各厚さの試片を作り其の特性曲線を決定した。記録は茲に掲げぬが、其の結果を曲線に表はしたものは第 7 圖である。これより侵徹距離を計算して表示すれば第 3 表の通りである。

水銀は流體故止むを得ず壁厚 3mm の木箱で内規の幅を色々に変へたものを作り之に水銀を満たして試片支持臺に保持せしめて他の場合も同様に射撃したが貫通時の水銀の飛沫の飛散に色々苦

第 3 表

金屬名	ブリネル硬度	侵徹距離
銅	77(壓延のまゝ)	21.4(mm)
眞鍮 (7:3)	120(壓延のまゝ)	16.5
アルミニウム	69(火造のまゝ)	48.2
ジュラルミン ¹⁾	93(火造後熟成せるもの)	>27.4

金屬名	ブリネル硬度	侵徹距離
K合金 ¹⁾	112(鑄造のまゝ)	40.0
鉛	鍛造のまゝ	40.6
水銀	—	20.0
—	—	—

此等の曲線を綜合してみると全厚さ (2 枚の鋼板の厚さの和) が 5mm 以下の場合を除けば鋼板間の距離が増加する程其の抵抗が大きくなることが判るが其の説明は次の通りである。

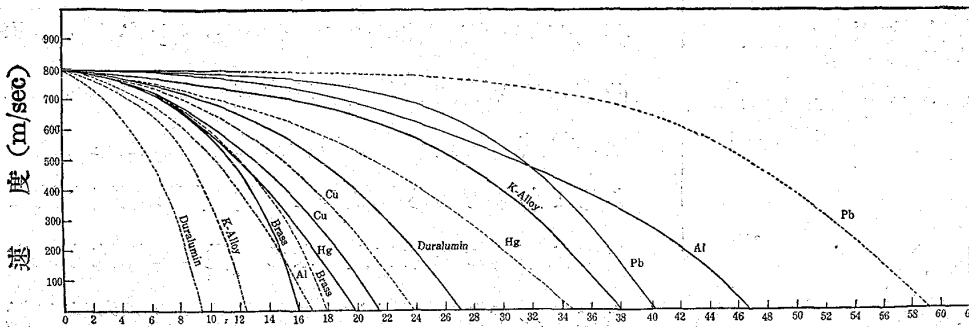
實驗 (d) が證明する如く同じ厚さで比較すれば 2 枚のものより 1 枚の方が抵抗が大である。然る

¹⁾ 125°C で 10 時間熟成せるもの。

心し彈導以外は全部包んだ鐵板を以て被ひ之を回收使用した。後の實驗で示すように此の場合 3mm 厚の木箱の抵抗は此の場合無視してもよい位の小さなものである。水銀は小銃弾に對して可なり大きな抵抗を有つてゐると云ふことは驚く可きことである。第 7 圖中點線で示した曲線は假り

¹⁾ 4%Cu, 5%Mn, 15%Mg, 8%Si, 残り Al より成る。

第 7 圖



鉄の厚さ (mm)
各種金属及合金の特性曲線

に鐵の比重を單位にとつた時の他の金属の假想特性曲線である。鐵よりも軽い金属なればこの曲線は實際の特性曲線よりも能率が良くなり重い金属なれば能率が悪くなつてゐる、つまり鐵と同じ目方にした場合の各金属の特性曲線なのである。此の場合にはアルミニウムは眞鍮に匹敵しジュラルミンは軟鋼よりも強いことになる。

此の結果より次のことが云へる。防楯能率の大なるものは單に材料が硬いのみでは駄目で同時に靱性を持たねばならぬと云ふことであつて優秀なる防楯鋼板は普通には相反せる此の兩性質と具有せねばならぬと云ふことである。であるから非常に硬いが脆いような材料假へば硝子板や焼入れしたまゝの炭素鋼の如きものは彈丸に對する抵抗が甚だ小さいのである。

8. 實驗 第二部

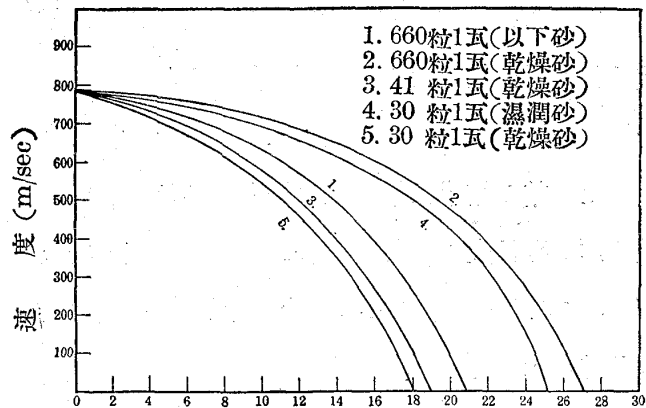
(a) 各種の砂の特性曲線 戰場などでは屢々砂嚢が彈丸除けに用ひらるゝが果して何程の抵抗を有するものか、これは砂粒の大きさに依つて其の特性曲線を求めて見るのも面白いと云ふので實驗した。砂は水銀の時の如く夫々の内規の厚さを有する本箱を使用し中央彈丸の貫通すべき兩側壁面に

は直径 3cm の圓窓に作り薄く錫箔を張つて砂以外の抵抗を除去した。砂の實際厚さ即ち箱の内規を 5cm~25cm に變化した。

扱て木箱へ砂の充填は出来るだけ同じ壓力

で行ひ個々の密度の差を少なくした。又砂粒の大きさは豫め火にかけて充分に乾燥したものより篩別し 1gr に就き平均 30 個, 41個, 及び 660個のものにと就て實驗したが其の結果は第 8 圖に之を示す。

第 8 圖



侵徹距離 (cm)
砂の特性曲線

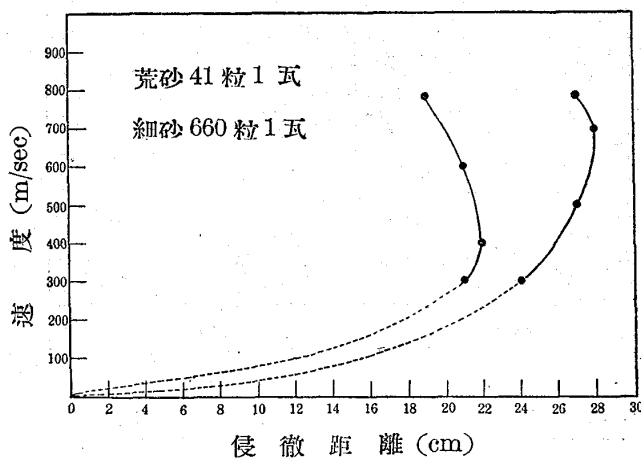
砂の特性曲線も金属のそれと形は相似のものであることが判る、然し其の侵徹距離は軟鋼の夫れの 12~18 倍に達してゐる。彈丸に對する抗力は砂粒の大きい方が小さいものより大であることが判る。

次に水分の影響を見るために上記砂粒の 15% の水分を含ませめて實射試験を繰返した其の結果は第 8 圖の 4 なる曲線が之である。これに依つて見ると水分を含んだ砂は乾燥せるものより抵抗が小

さい。これは彈丸が侵徹の際水分の爲めに冷却せられて彈頭の變形が少なくなり従つて侵徹力を増すものと解せられる。

最後に2種の砂粒に就て初速の變化と侵徹距離との關係を求めてみた。初速の變化は前に説明した如く藥莢の裝填比重を藥量初速線圖に従つて所要の初速に調成し豫め blank test によつて確めたものである。此の實驗結果は第9圖に示すが如

第 9 圖



初撃速と砂の侵徹距離との關係

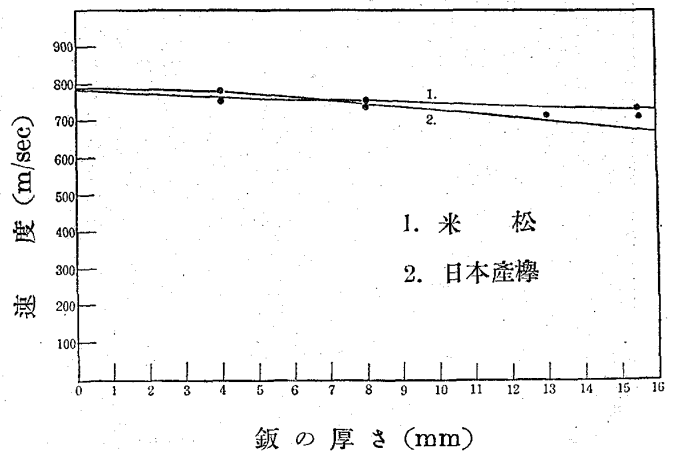
く甚だ興味ある曲線が得られた。即ち最初撃速が増加するに従つて侵徹距離が急激に増加するがやがて極大値に達し爾後は減少することである。然して其の極大値(即ち其の砂粒を侵徹するに最も都合のよい撃速に對する値は當然砂粒の大なるものより小なるものに於て大である。

此の奇妙な現象は次のように説明し得る、侵徹距離は撃速の増加に伴つて増加するが撃速の増加に従つて發熱と彈頭の變形が急激に増加し或る一定値以後はその結果として侵徹時の速度を低下し従つて侵徹距離を減少するに至るものである。

(b) **木材の特性曲線** 第10圖は2種の木材の特性曲線を示したもので(1)は比較軟質材の米松で(2)は比較的硬質材の日本産樺である。何れも彈

丸の高速度に對しては抵抗微弱であつて木纖維の方向と其れに直角な方向との差が殆んど見られない。この差を見るには彈丸をずつと低速度にする必要があるのである。兎に角木材の特性曲線の曲りは極めて緩かであつて吾々の實驗した15cm位の厚さでは到底其の侵徹距離を決定することは出来なかつた。

第 10 圖



鋼の厚さ (mm)

木材の特性曲線

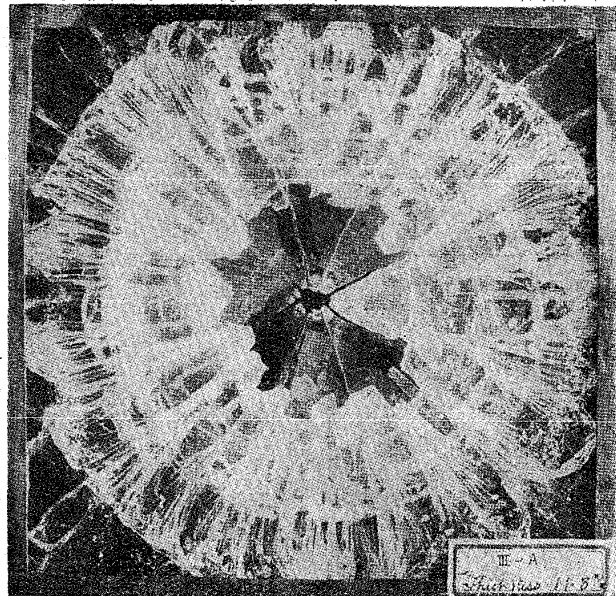
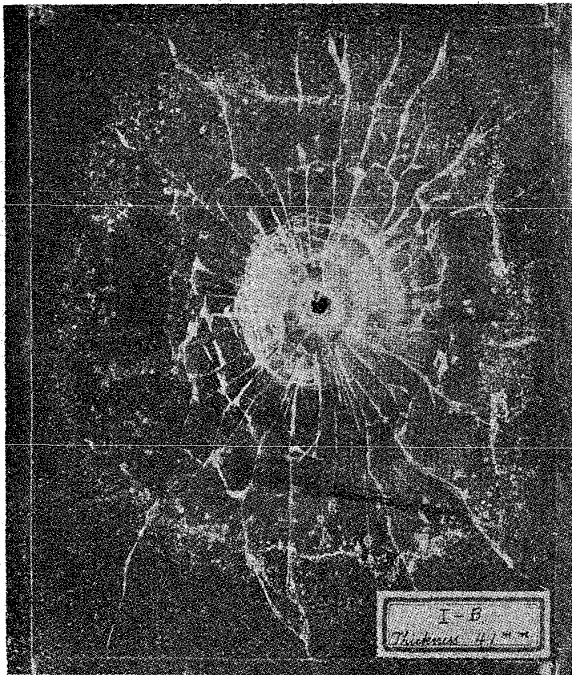
(c) **硝子板の特性曲線** 硝子板の如き極めて脆いものは彈丸に對し抗力が甚だ小さいことは前述の通りだがこれが特性曲線を求める爲めに實驗を施行した。材料は市販の板硝子の色々の厚さのものを用ひたが彈丸が命中貫通時に破片となつて飛散し彈動振子に衝突し正確な値が得られないからこの缺點を防ぐ爲めに止むなく次の方法を講じた。即ち硝子の兩側をセルロイドの薄膜を以つて被包し四邊を眞鍮枠を以て押へ之を従前の如く支持臺上に保持して射撃したのである。然し乍ら吾々の實驗した厚さの範圍では極めて脆い爲めに殆ど厚さに對する抵抗の變化が認められず特性曲線の決定は失敗に終つた。残速は吾々の實驗した12mm厚さの範圍では少なく共何れも撃速と殆んど同じであつたが之は材質の非常に脆いことに起因

するものである。

第 11 圖は彈丸が貫通した時の龜裂の模様を寫眞に撮したものである。其の龜裂模様は命中點を

特性曲線を決定した。其の試験した特殊鋼の數は非常に多數に上るが茲には其の中の二三の例を報告するに止めておくことにする。

第 11 圖



硝子の龜裂模様

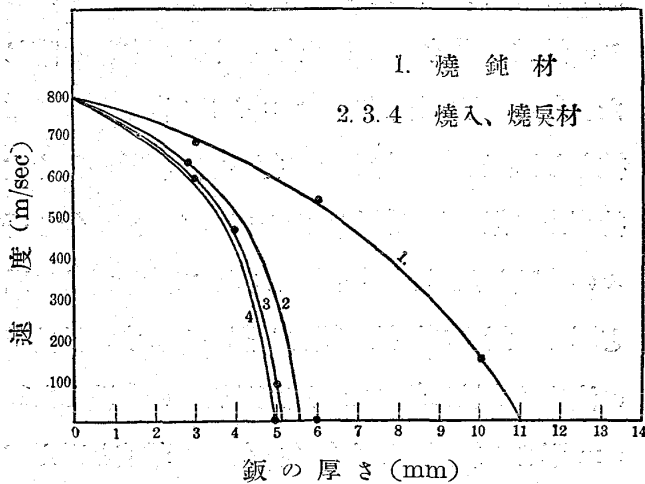
中心とする同心圓と放射狀線の 2 群より成るがこれは板内に於ける歪の分布を示すものである。

6. 實驗第三部

以上のような基礎的な實驗を豫め施行した後最後に色々な特殊鋼の熱處理を變へたものに就ての

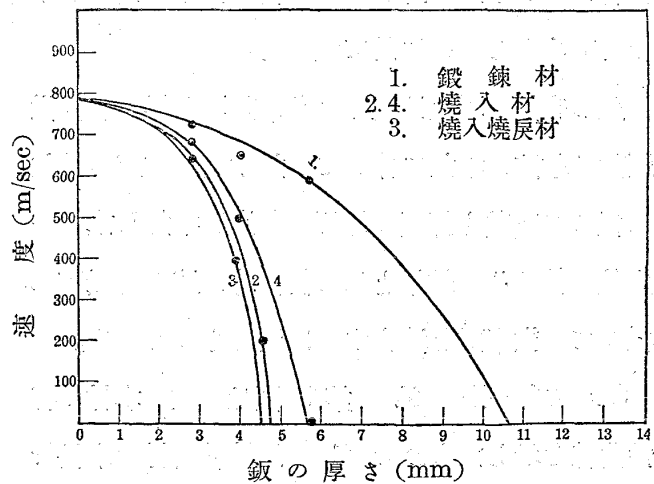
(a) ニッケル、クローム鋼の特性曲線 第 12 圖はニッケル、クローム鋼板の特性曲線を示すものであるが曲線に見る如く本鋼は熱處理に依る抗力の變化が甚だ鋭敏である。圖中にも記してある通り(1)は焼鈍せるもの(2)(3)(4)は何れも夫々異

第 12 圖



ニッケル、クローム鋼の特性曲線

第 13 圖

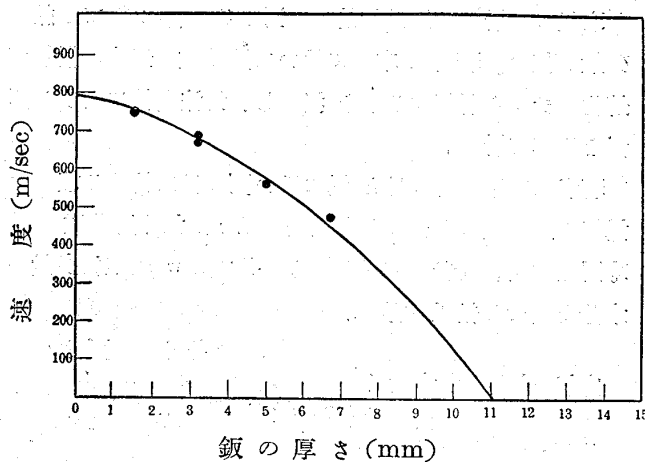


滿俺クローム鋼の特性曲線

なる程度で焼入焼戻の熱処理を施したものである。ものである。

(b) マンガン・クローム鋼の特性曲線 マンガン・クローム系の或種のものゝ熱処理せるものは高い硬度と靱性とを併有し優秀なる防楯能力を有つてゐる、其の一例は第 13 圖の特性曲線に依つて知ることが出来る。

第 14 圖



水靱せる高満俺鋼の特性曲線

(c) 高マンガン鋼の特性曲線 高マンガン鋼(14.7% Mn) に水靱法を施せるものに就て実験した。斯様の高マンガン鋼はハツトフィールド鋼として歐洲大戰時には鐵兜材料として大いに賞用されたものである。第 14 圖は本鋼の特性曲線を示したものであるが評判に反して其の防楯能率はニッケル、クローム鋼に遙かに劣つてゐることを確めた。これは水靱法によつてオーステン組織になつて居る爲め靱性は高いが硬度が低いのに起因する

7. 總 括

本實驗の結果を總括すれば次の如く要約することが出来る。

1. 彈丸の速度を測定する極めて簡單にして而も精度高き方法を考案せること。
2. 防楯能率を表示すべき特性曲線なるものを定義し猶ほ各種の金屬及び合金に就て實驗的に決定したること。
3. 小銃彈の侵徹に對し抗力大なる材料は靱性を具有すると共に大なる硬度を保有せねばならないこと。炭素鋼其他の金屬に於ては大なる硬度は常に脆性を伴ふものなるが故に優秀なる防楯用鋼板はどうしても特殊鋼中より之を探求せねばならぬ。
4. 本研究實驗によつて見出された最も優秀なる材料は熱処理を施せる特殊鋼であつて其の 4.5 mm を以て質量 9gr 擊速 790m/sec の小銃彈を完全に阻止することが出来る。
5. 同じ材料の同じ厚さで比較するならば 1 枚より成る鋼板の方が幾枚か重ね合せたものよりも有效である。
6. 同じ厚さの 2 枚の鋼板に相當距離保たしたものは同じ厚さの 1 枚のものよりも有效であつて而も其の鋼板の距離が大となる程有效である。