

# 防空上より見たる投下爆彈の 威力に就いて

※ 瀬 戸 政 章

**要 旨** 本文は投下爆彈の力學的考察並に各種威力を論じ、併せて耐彈構造への一示唆たらしめんとするものであるが、材料の受ける威力計算の如き殆んど實驗式であつて理論的計算は寧ろ將來の問題に屬せしめてある。尙本文の公表に關しては關東軍參謀某陸軍大佐の閲讀を経てある。

## 緒 言

歐洲大戰當時にヴェルダン及びアントワープ要塞に於て飛行機に據る投下爆彈が偉大なる力を示して以來、近代戰爭に於ける飛行機の役割は極めて重大になつた。然して所謂「空中戦闘」なる飛行機に依る相互戦闘は吾人地上技術家に關係なき處であるが之が一旦投下爆彈となれば如何に凡ゆる土木建築各種施設が其の弱點を曝してゐるかに就き深く再検討を要する次第である。歐米に於て特に獨逸の如きは防空に關する研究乃至一般人士の關心は極めて積極的であり防空に關する定期刊行書は、數種を算へてゐる。日本に於ても建築學會を中心として都市防空に關する調査委員會が生れ各關係機關より選出されたる委員に依り各自研究項目を分擔研究されつゝある處であるが、より一層之が普及徹底の要が認められる次第である。但し一般防空に關する研究調査は、燒夷彈に對する木造建築の處理、既設建造物の偽裝並に防空施設、瓦斯彈に對する處置、建築物建造物の耐彈設計、防空的に見たる都市計畫、等其の範圍は極めて廣く之が解決乃至處理は一朝一夕の問題でなく又容易に具體化し得るものでない。本文に於ては普通爆彈の彈道の性質其の効力並びに構造物の耐彈設計或は既設構造物の防護補強に對してのみ考究するに止まる。

## I 爆 彈 投 下

爆彈投下は爆彈を携行せる飛行機が一定高度を以つて飛行しつゝなされる水平爆彈投下と急降下をなし、行ふ急降下爆彈投下の場合を考へることが出来る。又對照物が運動中なる場合は之を一種の追跡爆彈投下と考へ得る。是等の各爆彈投下に於ける彈道と飛行機の狀態に就いて述べる事とする。

### 4. 水平投下の場合

空間から落下する物體の落下加速度には次の關係がある事は周知せられる筈である。

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = mg \dots \dots \dots (1)$$

茲に、 $m$ : 落下物體の質量  
 $g$ : 重力加速度  
 $y$ : 垂直距離  
 $t$ : 時間

又初速度  $v_0$  を以つて水平方向に投げ出された物體を考ふれば任意の點の垂直方向の落下速度  $v_y$  は(1)式を  $t$  に關し積分することより、

$$v_y = \frac{dg}{dt} = gt + c_1$$

然るに  $t=0$  なる時  $v_y = 0$  なることより  $c_1 = 0$  なる故、 $v_y = gt$  となる。又水平方向に對しては

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = 0 \quad v_x = \frac{dx}{dt} = v_0 + c_2, (c_2 = 0)$$

となる。従つて物體が任意の位置に於ける距離  $x, y$  は夫々、

$$\left. \begin{aligned} x &= v_0 t + c_3, (c_3 = 0) \\ y &= \frac{gt^2}{2} + c_4, (c_4 = 0) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

に依つて表はされる。故に(2)式より

$$t^2 = \frac{2y}{g} \quad x^2 = v_0^2 t^2 \quad \therefore x^2 = \frac{2v_0^2}{g} y \dots\dots\dots (3)$$

即ち水平方向に投出された物體の畫く彈道曲線は2次の拋物線である。

故に今水平に飛行せる飛行機より投下されたる爆彈を考ふれば、飛行速度  $v_0$  とせば、 $v_0$  なる初速度で投出された物體の畫く曲線と等しい彈道を畫く筈である。即ち高度  $H^m$  より投下されたる爆彈の着彈距離  $X$  と、飛行速度  $v_0$  との間には次の關係がある。

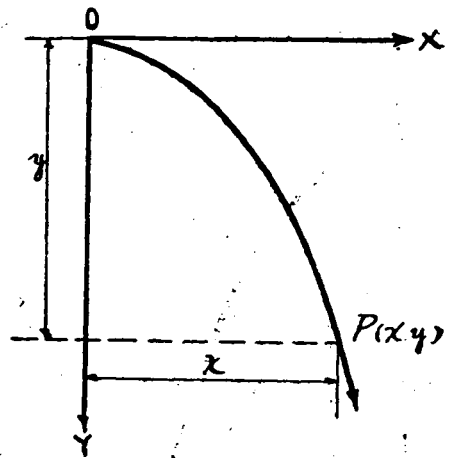
$$X = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}} \dots\dots\dots (4)$$

即ち着彈距離は高度と飛行速度の函數で表はされる。今 3000m の高度より 180k.m/h の速度で飛行せる機上より投下されたる爆彈の着彈距離を求むれば、180k.m/h = 50m/sec より

$$X = \sqrt{\frac{2 \times 3000}{9.8}} \times 50 = 1245m$$

を得る。然るに之に要する着彈時間は(3)式より

$$T = \sqrt{\frac{2 \times 300}{9.8}} = 24.9sec$$

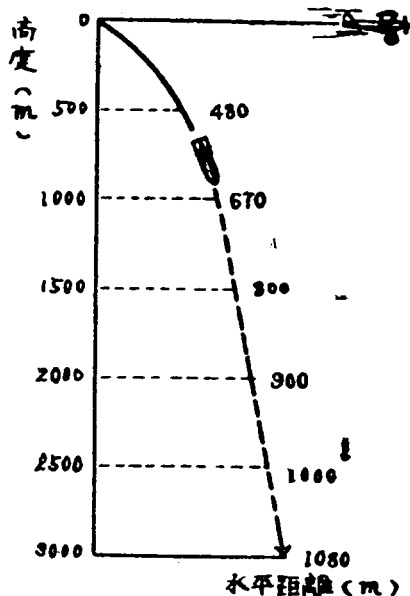


第11圖 水平に投げた物体の落下曲線

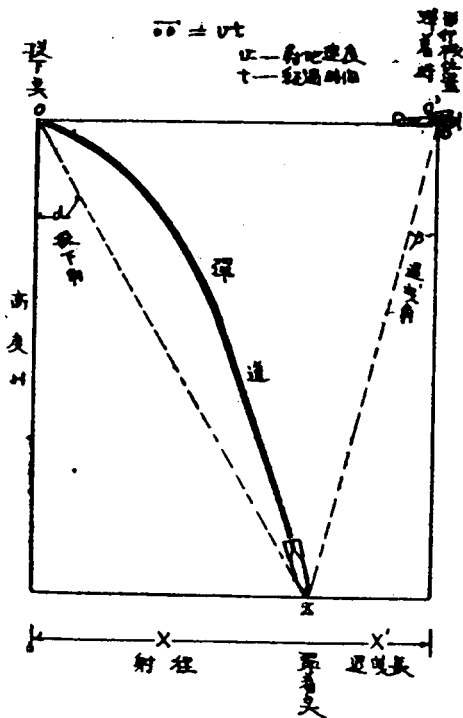
となる。此時即ち着弾時に於ける飛行機位置は

$$X = v_0 T = 24.9 \times 50 = 1245m$$

であつて着弾距離は着弾時に於ける飛行機位置に等しい。之は物理的の原則であつて暫々吾人の試み知れる列車疾走時に於ける車内の落下物體が床上に垂直に落ちる現象に等しい。以上の説明は落下物體か何等の物理的影響を受けざるものとせる理論的落下法則であつて、實際飛行機より投下される爆彈は空氣抵抗其他の影響を受け一般には着弾時に於ける飛行機位置は着弾點より稍々前方に位置し居るのか常である。第2圖は50kg爆彈を投下せる時の彈道を畫きたるものにして飛行機速度は50m/secで前述の場合と同様であるか、着弾距離は空氣抵抗其他に因り理論的のものより稍々小さく表はれてゐる此の理論上の着弾距離と實際着弾距離の差を退曳長といふ。



第2圖 投下爆彈の彈道  
(但し爆彈の重量 50kg  
飛行機の対地速度 50 m/sec)



第3圖 爆彈の投下法

第3圖に示す如く投下點と着弾點のなす仰角を投下角、着弾距離を射程、着弾時に於ける飛行機位置と着弾點のなす角を退曳角と呼ぶ。正確なる投下角と求めることは困難であるが理論的には高度(H)と飛行速度(v<sub>0</sub>)が判れば射程(X)が算出されるから豫め各高さに応じて求めて置いた射表から求められる。Hは高度計よりv<sub>0</sub>はH/2を飛行するに要した時間を秒度計で測定して得られる。

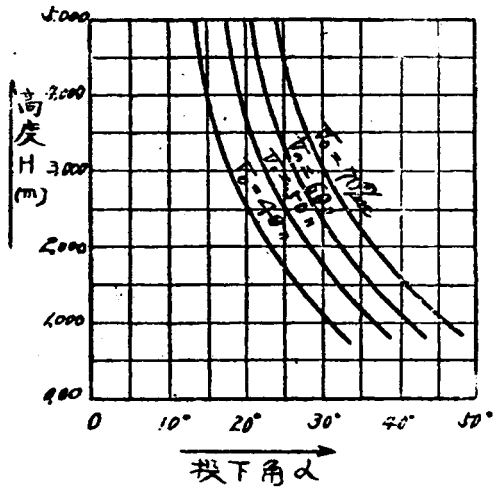
今高度3000mの場合、50m/secの飛行速度の投下爆彈を考ふれば前例の如く射程1245mを得た。此の理論的着弾點と投下點とのなす角は、

$\tan \alpha = 1245 / 3000 = 0.414$  を得て即ち  $\alpha = 22.5^\circ$  を得る。此の時 H/2 を飛行せる時の飛行機位置と着弾點とのなす角は、 $\tan \beta = (1500 - 1245) / 3000 = 0.0875$  なる事より  $\beta = 5^\circ$  を得る尙水平爆彈投下の理論的投下角は

第4圖の如くである。

B. 急降下爆弾投下

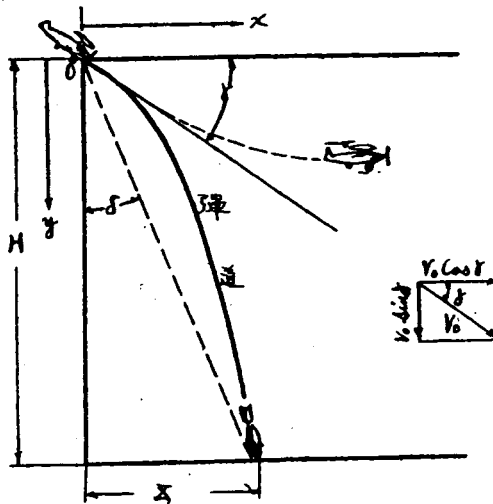
實際戦闘の場合には地上よりの射撃を避ける爲め又は比較的地上に近く降下して命中率を高める爲めに、角降下爆撃をなす場合がある。此の場合の飛行機が急降下せる時の方向が水平線となす角度 $\gamma$ をとすれば、投下爆弾は投下瞬間に於て $\gamma$ なる角度で落下する。今飛行機の角降下速度が $v_0$ なるものとせば投下點に於て爆弾は夫々 $x, y$ 方向に就いて $v_0 \cos \gamma$ 及び $v_0 \sin \gamma$ なる初速度を有する。水平投下の場合と同様に、



第4圖 各打地速度 $=v_0 \sin \alpha$   
水平投下角,

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = mg \quad \therefore \frac{dy}{dt} = gt + c_1$$

なる事より、 $t=0$ なる時 $\frac{dy}{dt} = v_y = v_0 \sin \gamma$ なるを以つて



第5圖 急降下爆弾投下圖

$$\frac{dy}{dt} = gt + v_0 \sin \gamma$$

$$\therefore y = \frac{gt^2}{2} + v_0 \sin \gamma \cdot t + c_2$$

$t=0$ なる時 $y=0$ なるに依り $c_2=0$ なるを以つて

$$y = \frac{gt^2}{2} + v_0 \sin \gamma \cdot t \dots \dots \dots (5)$$

又  $m \frac{d^2y}{dt^2} = 0$  なることより

$$\frac{dx}{dt} = C_2 \quad \therefore \frac{dx}{dt} = v_0 \cos \gamma = vx \quad x = v_0 \cos \gamma \cdot t + C_1$$

$t=0$  の時  $x=0$  ならば  $C_1=0$  なるに依り

$$x = v_0 \cos \gamma \cdot t \dots \dots \dots (6)$$

今着弾瞬間を考ふれば  $y=H$  にして此の時  $t=T$  とせば(5)式より

$$\frac{g}{2} \cdot T^2 + v_0 \sin \gamma \cdot T - H = 0$$
$$\therefore T = \frac{-v_0 \sin \gamma \pm \sqrt{v_0^2 \sin^2 \gamma + 2gH}}{g} \dots \dots \dots (7)$$

又着弾距離を  $X$  とせば

$$X = v_0 \cos \gamma \cdot T = v_0 \cos \gamma \cdot \left\{ \frac{-v_0 \sin \gamma \pm \sqrt{v_0^2 \sin^2 \gamma + 2gH}}{g} \right\} \dots \dots \dots (8)$$

を得る。(8)は2次式にして拋物線を示す式である。殆んど水平投下に近い場合は  $\gamma \doteq 0$  となし得  $\cos \gamma = 1, \sin \gamma = 0$  となるから(8)式は(4)式と同様になる。

今試みに急降下角度を  $45^\circ$  の場合とし  $3000m$  の高度から  $50m/sec$  で降下せんとする時の投下爆弾を考ふれば、此時  $\sin \gamma = \cos \gamma = 0.7071$  となり、 $T$  及  $X$  は、

$$T = \frac{-50 \times 0.7071 \pm \sqrt{50^2 \times 0.7071^2 + 2 \times 9.81 \times 3000}}{9.81} = 12.46 \text{ sec.}$$

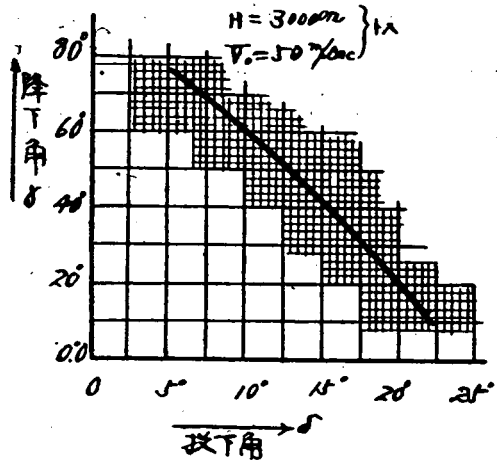
$$X = 50 \times 0.7071 \times T = 511m$$

となる。即ち投下より着弾迄の時間は水平投下の場合の半分となり着弾距離即ち射程も半分以下である。同一高度からの投下爆弾が射程小にして且落下時間の小なるは大體に於て命中精度の高きことが考へられるが、投下角、飛行速度及び高度の測定は水平投下の場合より困難なることか想像に難からず。然かも爆弾を携行せる飛行機は相當の高度から急降下する時は一度に爆弾投下の高度迄降ること尠く途中で反轉するか、又は水平に復す運動をなすかして飛行機の荷重係數に安全を與へる様なことが必要であると言はれてゐるから必ずしも命中精度が高きものとは考へられぬ、而も急降下の場合の如きは低高度に到れば戦争時には地上よりの射撃もあり得るので水平投下の場合より射程誤差が半減するとは考へられぬ。今急降下爆弾投下の一例として降下速度  $50m/sec$  で高度  $3000m$  の場合の各種降下角に對する射程及投下角を求むれば第6圖の如くなる

### C. 追跡投下爆弾

茲に謂ふ追跡投下爆弾は對照物が地上を運動中なる場合をのみ考へ空間に於ける任

意曲面を運動中なるものの追跡を指すのではない。即ち飛行機が平面曲線上を一定速度を以つて進行中、先方地上に於てある曲線上を一定速度を以つて進行中の對照物を発見したる時を考ふ。此の時對照物の発見された地點を平面上の一點  $Q(x', y')$  とし其の進行曲線を  $f(x', y')=0$  とし其の速度を  $v$  となすと、此の  $Q(x', y')$  の方向を追撃する飛行機は速度  $w$  なる時、對照物を発見せる時の飛行機位置  $P(x, y)$  の軌跡即ち追跡の曲線を知る必要がある。  $P$  が  $Q$  を追跡する時  $P, Q$  を結ぶ直線は常に  $P$  の動く軌跡曲線に對して切線となる。故に



第6回 是降下角、投下角ノ關係

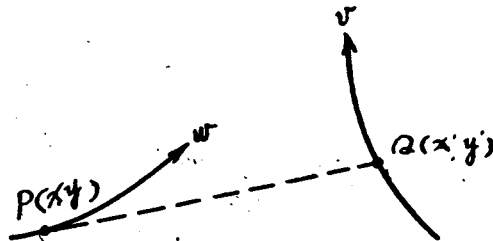
$$y' - y = -\frac{dy}{dx}(x' - x) \dots\dots\dots (9)$$

なる關係を得られる。今兩曲線の微分長を  $dS$ 、及び  $dS'$  とせば  $dS:dS'=w:v$  なることより、

$$v\sqrt{dx'^2 + dy'^2} = w\sqrt{dx^2 + dy^2}$$

$$\therefore \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} = \frac{w}{v} \sqrt{\left(\frac{dx'}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dy'}{dx}\right)^2} \dots\dots\dots (10)$$

(9)及(10)式並に  $Q$  の運動する曲線  $f(x', y')=0$  より  $x', y'$  を消去せば、追跡曲線の微分方程式が得られる。即ち



第七回

$$F\left(x, y, \frac{dy}{dx}, \frac{d^2y}{dx^2}\right) = 0 \dots\dots\dots (11)$$

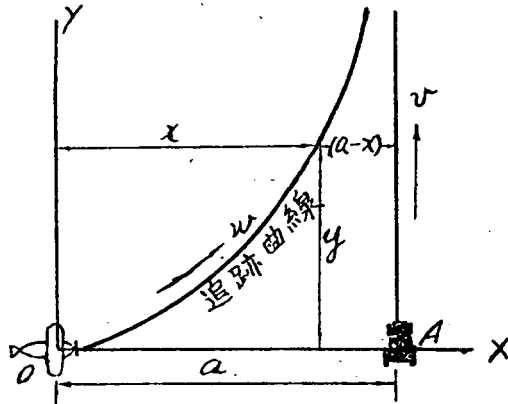
なる形の式を得る。

1. 對照物が直角に発見されたる場合。

投下爆撃に於て、地上對照物が高次の曲線上を運行し居る場合の如きは命中率極めて低く、且其

の追跡も容易ならざるは推測に難からず。地上對照物を追跡する如き場合は一般に直線上の運動となせる場合多く、又斯る時爆彈投下が實際になされるから直線の場合と考へ、而も對照物が飛行機の進行方向に直角に發見されたものとする。今飛行機が  $O$  點に於て  $O$  より  $a$  なる距離はなれたる  $A$  點に於て  $Y$  方向へ  $v$  なる速度で進行中の對照物を發見したるものとする。此時  $dx' = 0$  ならば

$$\left. \begin{aligned} x' &= a \dots\dots\dots (a) \\ y' - y &= \frac{dy}{dx} (x' - x) \dots\dots\dots (b) \\ dy' &= \frac{v}{w} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \cdot dx \dots\dots\dots (c) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12)$$



第8圖 直角方向の追跡

より  $x'$   $y'$  を消去すれば良い。(a)を(b)に代入せば、

$$y' - y = \frac{dy}{dx} (a - x)$$

を得、之を微分すれば、

$$dy' - \frac{dy}{dx} \cdot dx = \frac{d^2y}{dx^2} (a - x) \cdot dx - \frac{dy}{dx} \cdot dx$$

故に之れも (c) 式より

$$\therefore \frac{d^2y}{dx^2} (a - x) = \frac{v}{w} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \dots\dots\dots (13)$$

を得る。是れ即ち此の場合の追跡の微分方程式である。今  $w \approx v$  なる時を考ふれば、 $\frac{dy}{dx} = P$  と置くことから (B) 式は第一階微分方程式に置換へられる。

$$-\frac{dP}{dx} (a - x) = \frac{v}{w} \sqrt{1 + P^2}$$

即ち、

$$\frac{dp}{\sqrt{1+p^2}} = \frac{v dx}{w(a-x)} \dots\dots\dots(13')$$

となし得。之れより解を求むれば

$$y = \frac{1}{2} \left\{ \frac{C_1(a+x)^{1-\frac{v}{w}}}{\frac{v}{w}-1} + \frac{1}{C_1} \frac{(a-x)^{1+\frac{v}{w}}}{1+\frac{v}{w}} \right\} + C_2$$

となる。然るに  $x=0$ , なる時  $y=0$  にして  $\frac{dy}{dx}=P=0$  なることから積分常数  $C_1$  及  $C_2$  は夫々

$$C_1 = a^{\frac{v}{w}} \qquad C_2 = -\frac{a^{\frac{v}{w}}}{1-\frac{v^2}{w^2}}$$

となり従つて

$$y = \frac{1}{2} \left\{ \frac{a^{\frac{v}{w}}(a-x)^{1-\frac{v}{w}}}{\frac{v}{w}-1} + \frac{a^{\frac{v}{w}}(a-x)^{1+\frac{v}{w}}}{\frac{v}{w}+1} \right\} + \frac{a^{\frac{v}{w}}}{1-\frac{v^2}{w^2}} \dots\dots\dots(14)$$

を得。此の場合の追跡曲線方程式を求め得る。(14)式に於て  $a=x$  と置けば、飛行機が運動中の對照物を追跡し終へた瞬間即ち直上に來た場合を得べく、此の時

$$y = \frac{a^{\frac{v}{w}}}{1-\frac{v^2}{w^2}} \dots\dots\dots(15)$$

となる。若し  $w=v$  なる時は (13) 式は

$$y = \frac{1}{2} \left\{ -C_1 \log(a-x) + \frac{1}{2C_1} (a-x)^2 \right\} + C_2$$

を得て

$$C_1 = a \qquad C_2 = \frac{a}{2} \left( \log a - \frac{1}{2} \right)$$

となることから

$$y = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2a} (a-x)^2 - a \log(a-x) \right\} + \frac{a}{2} \left( \log a - \frac{1}{2} \right) \dots\dots\dots(16)$$

を得る此の(16)式は Y 軸方向に對して漸近式となる、而して一般に  $w=v$  なることは殆んど皆無にして  $w > v$  なるが常であるから (14) 式及 (15) 式が適用されることになる。

今 (15) 式に於て示されてゐる y 位置に於て v なる速度を持ち地上對照物に投下爆彈を行ふとすれば、着弾距離は

$$X = w \sqrt{\frac{2H}{g}}$$



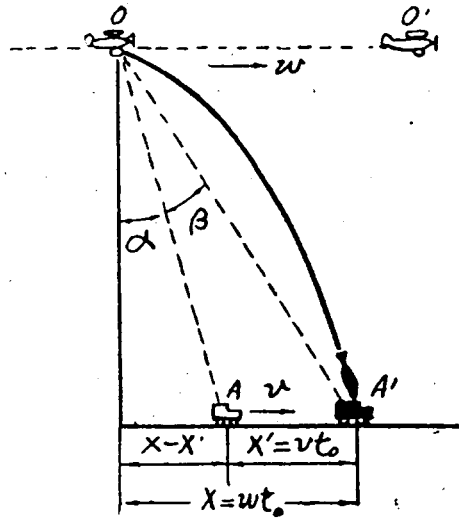
又着弾に要する時間に對照物の疾走する距離  $X'$  は着弾に要する時間  $v$  を乘じ

$$X' = v \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

である。故に投下爆弾に際しては目的物が飛行機位置より  $X - X'$  丈前方にある場合投下すれば着弾點と對照物の着弾時の位置とが一致し命中することになる。而して

$$\tan(\alpha + \beta) = \frac{X}{H} = \frac{\tan \alpha + \tan \beta}{1 - \tan \alpha \cdot \tan \beta}$$

$$\tan \alpha = \frac{X - X'}{H}$$



第 9 圖 進行目的物投下爆弾

なる關係より  $\alpha$  を求むれば

$$\frac{\tan \alpha + \tan \beta}{1 - \tan \alpha \cdot \tan \beta} = \frac{\tan \beta + \frac{X - X'}{H}}{1 - \tan \beta \frac{X - X'}{H}} = \frac{X}{H}$$

$$\therefore \tan \beta \left\{ 1 + \frac{X(X - X')}{H^2} \right\} = \frac{X'}{H}$$

$$\therefore \beta = \tan^{-1} \frac{X'/H}{1 + \frac{X(X - X')}{H^2}}$$

$$\therefore \alpha = \tan^{-1} \left\{ \frac{X}{H} - \frac{X'/H}{1 + \frac{X(X - X')}{H^2}} \right\} \dots \dots \dots (17)$$

然るに  $X$  は  $H$  と  $w$  の函数であり、 $X'$  も  $H, v, g$  の函数として表はし得るを以つて夫々既知量として取扱ひ得る。之等の事から各種の場合を算出し置けば  $v$  の速度を知ると同時に  $x$  を探し求め得られる。又  $w = 2v$  なる時(15)式より

$$y = \frac{2}{3} a \dots \dots \dots (18)$$

を得る。即ち直角方向に発見された目的物を追跡する場合速度が2倍ならば発見位置の間隔の  $2/3$  の距離を走る間に追つめられる。今  $2000m$  前方に  $25m/sec$  の速度( $90km/h$ )で走る目的物を発見し追跡し爆弾を命中せしむるに要する時間を計算すれば、飛行機速度  $50m/sec$  ( $180km/h$ ) なる時は

$$y = \frac{2}{3} a = \frac{2}{3} \times 2000 = 1333m$$

追跡中の時間は

$$t = \frac{y}{v} = \frac{1333}{25} = 53.3 \text{ sec}$$

投下より着弾迄の時間は

$$t = \sqrt{\frac{2 \times 2000}{9.81}} = 20.2 \text{ sec.}$$

而して投下爆弾は  $X-X'$  丈手前に於てなされる故、

$$t'' = \frac{X-X'}{w} = (w-v) \sqrt{\frac{2H}{g}} \cdot \frac{1}{w}$$

丈時間を短縮出来る。

$$\therefore t'' = (50-25) \times 20.2 \times \frac{1}{50} = 10.1 \text{ sec.}$$

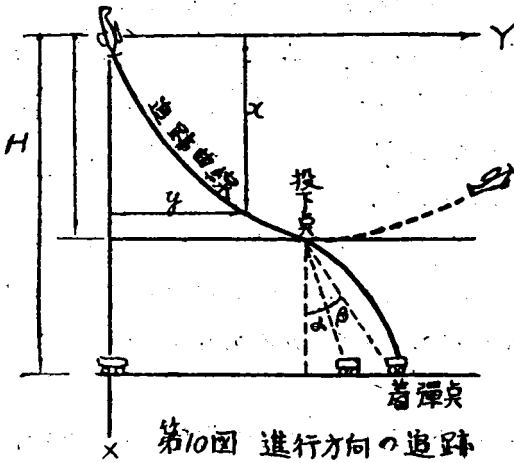
故に命中に到る所要總時間は

$$T = t + t'' = 63.4 \text{ sec.}$$

となる。但し之は同一高度追跡の場合である。

2. 對照物が進行方向に發見されたる時

對照物が飛行機の進行方向なる時は其の高度が適當なる時は (17) 式に與へられたる  $\alpha$  なる角度に對照物が達する迄追跡したる時  $(\alpha + \beta)$  が投下角となり命中するが、飛行の高度が大なる時は追跡降下をなすことがあるのを想像される。此時は第10圖の如くで追跡曲線は投下高  $(H-a)$  の間に



於て平面追跡曲線と全く同一である。但し眞下に發見したるものを追跡するには追跡曲線上を運動する爲めには飛行機は初め垂直から水平に復歸する運動をなすことを要する故、斯る場合は追跡曲線上を曲跡するより急降下爆弾投下の方が空中運動が楽であらう。第10圖の場合の追跡曲線は I の場合と同様に求められる。又 (17) 式に依つて與へられる運動中の對照物に對する照準角度に對應する投下角にも爆弾落下時の空氣抵抗を加味せねばなら

らないのは勿論であつて實驗に依つて各高度並各飛行速度に就き求め得るものであらう。

II 爆彈の命中精度

以上の如く投下爆彈の着弾距離即ち射程及び投下角は豫測出来るのであるが、實際には飛行情況投下技術目標の情態、明暗度合、氣象情況に因る命中誤差を伴ふのであつて、

- |  |   |                   |
|--|---|-------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 對地速度測定誤差</li> <li>(2) 高度測定誤差</li> <li>(3) 地球自轉に因る誤差</li> <li>(4) 向風或は背風の誤差</li> </ul> | } | <p>..... 射程誤差</p> |
|--|---|-------------------|

- (5) 測風に因る誤差.....着彈誤差
- (6) パララツクスの誤差 } .....
- (7) 照準誤差 } .....

を擧げることが出来る。次表は各高度に對する命中精度を示すものゝ一例である。

第 1 表 投下爆彈の命中精度の例

投下高度	500 <sup>m</sup>	1000 <sup>m</sup>	1500 <sup>m</sup>	2000 <sup>m</sup>	3000 <sup>m</sup>
半數が命中する限界	21.6 <sup>m</sup>	29.0 <sup>m</sup>	38.2 <sup>m</sup>	44.0 <sup>m</sup>	55.0 <sup>m</sup>

注意 陸軍航空本部第二班編纂最新世界航空大觀に據る。

又英國で爆撃練習の合格規格に次の様な許容躲避を定めてゐる。此の時飛行方向の躲避と直角方向の夫れとを等しく取つてゐる。

高 度 (m)	500	1000	1500	2000	2500	3000
許容躲避 (m)	10.8	14.5	19.1	22.0	24.5	27.5

之の誤差限度は第一表に示した半數年中限界の半徑に等しい。又米國海軍では高度 1~5km に於て潜水艦 8%、驅逐艦 11%、巡洋艦 15%、戰艦 30% を以つて標準命中率としてゐる様である。

筆者は今大支那事變に於ける日本空軍が敵軍事施設の爆撃に於て世界空中戰史、又は投下爆撃演習に類例を見ざる程適確に命中してゐる事實を陸軍某少將の紹介に依り公開の研究會に於て幾多の寫眞に依り知り得た。之の命中度は以上の精度と異常なる懸隔があり殆んど神技と思はれるものさへあつた。投下爆彈の物理的考察を超へた所謂第六感的投下で、是等の生きた事實は暫々報導された華々しき空中戰と照し日本空軍の優秀を物語るものである。

### III 投下爆彈の威力

投下爆彈の威力に就いては陸軍工兵中佐鎌田詮一學士が土木學會に於て講演された事があり防空上より各施設に對す詳細なる研討を加へられた事があるが、其他に筆者の知る範圍の事柄に就き以下茲に紹介せんとするものである。

一體投下爆彈其のものにも目的に依り種々の種類があり其の効力に至つては色々の作用を伴ふのである。爆彈の効力は次の様な作用に分類することが出来る。

- (1) 自然落下に因る活力 (浸徹力及爆破力)
- (2) 瓦斯 壓力
- (3) 風 靡 力 (空氣衝擊に因る壓力、吸引力)
- (4) 地 表 動
- (5) 破 片 作 用 (被破壊物の破片に因る)
- (6) 彈 片 作 用
- (7) 火 災

此の中 (1) (2) 及び (7) は特に近距離作用であつて、之の他に其の着弾地點附近にある戦場に於ける軍隊乃至は民衆の精神的衝撃をも考へると其の効力、威力は極めて大である。又爆彈の種類も其の目的に依り、

- (1) 破 甲 爆 彈……………要塞、軍艦等に用ふる。
- (2) 地 雷 爆 彈……………爆破威力を主とせるもの。
- (3) 燒 夷 爆 彈……………延焼火災を目的とせるもの。

等に分ち得るが、更に其の用途上は着弾後瞬間に炸裂する瞬發信管のものと、着弾相當浸徹し炸裂する延期信管のものとあるが、土砂にて構築される要塞煉瓦構造等は地雷爆彈が効力大で、鐵筋コンクリートのトーチカ又は軍艦の如き、或は坑道の如きは破甲爆彈に據るのである。又爆彈は普通は鐵製のケースに炸藥を填充した水雷形のものであるが砲彈の同一重量のものと比較すれば第 2 表の如くなる。

第 2 表 爆彈と砲彈の性能比較

性 能	爆 彈	砲 彈
浸 徹 量	着速小なる爲め堅牢物に対しては小なるも旋回なき爲め軟弱物質に対しては大なり	着速大にして堅牢物に対しては大なるも旋回を伴ふ爲め土砂等に対しては浸徹を損ず
爆 破 力	同一彈量にて炸藥量は砲彈に比して多く極めて爆破力大なり	炸藥量小なる爲め同一活力の時は爆破力小なり
目 標	平面目標に対しては着角大にして効果的なるも壁に對する効力は砲彈より小である	平面目標には効果妙きも壁に對しては効力大であり射程誤差は殆んどない

又爆彈を彈量に依つて使用目的を考ふれば次表の如くなる。

第 3 表 投下爆彈の種類と用途

爆彈の種類(kg)	用 途
10 25 50	人馬の殺傷 木造程度の建物の破壊
100 250	一般構造物の破壊
500 1000	特に重要堅固なる構造物、軍艦等の破壊

又建物に對してのみ考へるならば次表の如く示し得る。

第 4 表 建物に對する投下爆彈の効力

爆彈の種類(kg)	建物に對する効力	
	貫通階數	爆破威力
12	2	10m 以内の窓硝子を破壊し、木造建物を損傷し使用不能に陥らしめる
50	3	5m 以内の建物の堅固なる石壁を破る
100	4~5	10m 以内の堅固な石壁を破る
300	6	15m 以内の厚さ 50m の石壁を破り、餘力を以つて後方を著しく破壊する
500	地下室まで貫通す	附近に落下したのみで大建築物を粉碎し直撃すれば集團建築を倒す
1000	根底より破壊	同上

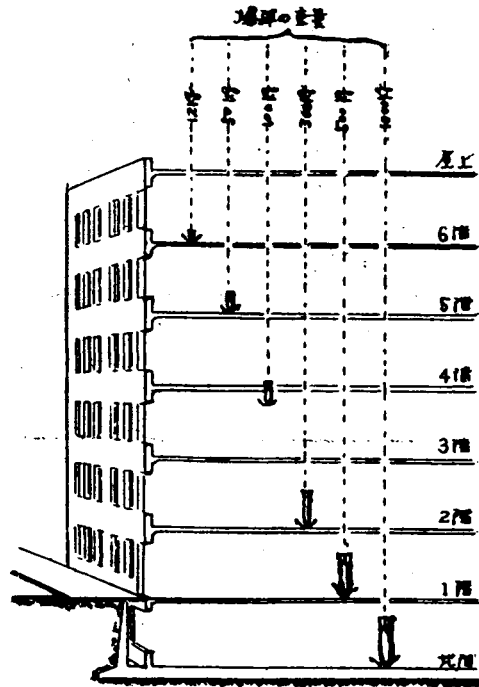
第 11 圖は其の貫通情況を假想するもので爆破力を圖示し得れば、更に其の威力の大なる事が判る。

又第 12 圖は某地に於て爆撃された建築物であつて堅牢な建築の破壊情況の實例を示すものとして、防空上興味ある資料である。即ち 6 階の建物で第 4 階のみは何等被害を受けなかつた事で上層部は投下爆彈の直接活力及爆破力に依つて射貫かれ、5 階の天井、6 階間仕切は破壊されてゐる。次いで斜に當つた一彈に因つて 1, 2 階の天井を破り間仕切を吹飛ばしてゐる。又建築に對して平行に落下せる一彈は水平方向の爆破力で外壁を吹き飛ばしてゐるが、僅か 3 發にして殆んど建物の全機能を停止せしめてゐる。其の時更に破片彈片に因る作用、音響、地表動風塵力及火災を併起するを想へば如何に威力の大なりしかを察知出来る。

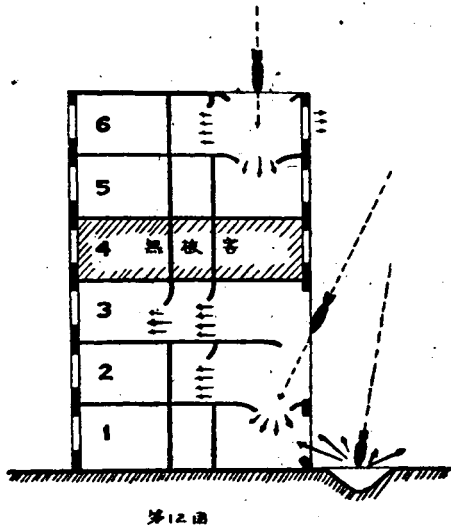
4. 投下爆彈の浸徹力

落體の動力學的な力に依つて材料に與へる破壊力の計算は靜力學的の材料強弱學に比して極め

て解決が困難であつて、更に落下後爆發をも併起するものに到つては一層複雑である。浸徹とは落下に因る活力が引起す貫通を指すのであつて炸藥に因る影響は自ら又別である。



第 11 圖 鉄筋コンクリート造の建物に對する投下爆彈の効力 (假想)



第 12 圖

一般に落體の與へる活力(勢力)は落體の質量を  $M$  とし、着速を  $v$  とすると、

$$E = \frac{Mv^2}{2} \dots\dots\dots (19)$$

となる。此の時相手に與へる浸徹の深さ  $h$  は、

$$h = \frac{4E \cdot w}{\pi d^2} (m) \dots\dots\dots (20)$$

但し、 $d$  = 爆彈の直徑(m)

$w$  = 材料の抵抗係數

として表はすことが出来る。Peres 氏は  $w$  に對して次の値を與へてゐる。

w: 土	.....	$\frac{1}{150}$	}
コンクリート	.....	$\frac{1}{750} \sim \frac{1}{1,000}$	
鐵筋コンクリート	.....	$\frac{1}{1,500} \sim \frac{1}{2,250}$	
鋼	.....	$\frac{1}{15,000}$	

各種爆彈に就き浸徹を算出せるものが次表である。

第 5 表 土砂及びコンクリートに對する投下爆彈の浸徹力

爆彈の種類(kg)	下記の材料に對する浸徹力(m)				
	普通の土	砂利交り砂	砂 地	良質コンクリート	良質鐵筋コンクリート
50	5.72	3.12	1.40	0.145	0.073
100	7.25	3.95	1.78	0.185	0.093
200	12.92	7.05	3.17	0.328	0.164
300	16.40	8.95	4.02	0.415	0.208
500	18.80	10.25	4.62	0.480	0.240
1000	26.95	14.69	6.62	0.687	0.344
2000	35.10	19.13	8.62	0.895	0.448

注意 上表は爆彈投下の高度を3000mと假定して算せるものなり

2000kg の爆彈が土中に 35.0m も貫通し其後 1000kg 以上の炸藥に依つてなされる爆破力を考ふれば戦慄をさへ感ぜしめる。本表に於て輕量爆彈の浸徹力は過小である

又有名なパロディ大尉は次の實驗公式を與へてゐる。

$$X = cKA.$$

但し、 $X$  = 浸撤量 (m)

$K$  = 被浸撤物の抗力係數

$A$  = 爆彈命中時に於ける着速の函數

$$= \log \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{v}{100} \right)^2 \right], \quad v = \text{着速 (m/sec)} \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$C = \text{彈道係數} = \frac{P}{1000 a^2}$$

$P$  = 彈量 (kg)

$a$  = 爆彈の直徑 (m)

$C$  は爆彈の大いさに依り決定し、500kg の假定爆彈では 3.12, 200kg の夫れでは 2.22 位である  
又  $A$  は着速の函數で 200~500kg の假定爆彈では 0.53~2.55 位になる。 $K$  は實驗に最も困難なるフ  
ァクターであつて凡そ次の如くに言はれてゐる。

普通軟上	.....10
硬植物土及砂利交り中硬粘上	..... 6
砂又は砂利交り硬粘土	..... 4
岩盤 (堅硬なる土壤)	.....2.5
1:2:4 コンクリート	.....0.5
岩石	.....0.4
鐵筋コンクリート	.....0.25~0.3

更に露西亞人 *Cernobrovkin* 及 *Zalesky* 兩氏の研究になる鐵筋コンリートに對する浸撤力の式を  
紹介する。

$$T_1 = \alpha \cos \beta V \frac{G}{D^2}$$

但し、 $\beta$  = 着彈角度 (近似的には  $\beta = 0$ )

$\alpha$  = 防護層を構成する材料の

$$\text{壓縮強度の係數} = 0.728 \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (22)$$

$G$  = 彈量 (kg)

$D$  = 爆彈の直徑 (m)

$V$  = 着速 (m/sec)

$\alpha$  は [ヴェルダン] 及び [アントワープ] 要塞に於ける歐洲大戰の經驗より値を定めコンクリ  
ートの壓縮強度を、240kg/cm<sup>2</sup> とせる時に  $0.728 \times 10^{-6}$  となる。今 (21) 及び (22) 式を比較する爲め  
に 500kg の爆彈が鐵筋コンクリートに與へる浸撤量を算出する。但し爆彈の直徑を 0.45m, 着速を

250m/secとする。(21)式に於けるKを0.3とせば、

$$X = \frac{500 \times 0.3}{1000 \times 0.45^3} \cdot \log \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{250}{100} \right)^2 \right] = 0.456m$$

$$T_1 = 0.728 \times 10^{-6} \times 250 \times \frac{500}{0.45^3} = 0.450m$$

即ち兩式の結果は殆んど一致する。此の値を第5表のものと比較せば良質のコンクリートの浸撤量に略々等しいが、鐵筋網の密な良質コンクリートの浸撤力の2倍として表はれてゐる。浸撤量の計算に最も影響を與へるは材料の抗力係數と、爆彈の着速であつて充分なる實驗を要するは謂ふ迄もない。

B. 投下爆彈の爆破威力

浸撤の後に起るものは炸藥に因る爆破威力であつて之に関する實驗公式には次の様なものがある土に對し、

$$R_c = \sqrt[3]{\frac{L}{dc}} \dots\dots\dots(23)$$

茲に、 $R_c$  = 爆破威力圈(m)

$L$  = 炸藥量(kg)

$d$  = 填塞係數

良好なる時.....1.0

不良なる時.....3.5

$C$  = 土壤の抗力係數

普通土.....0.7

砂利交り粘土質土.....2.0

砂又は砂利交り硬粘土.....3.0

軟岩(堅牢なる土).....3.5

である。又コンクリートに對しては、

$$R_c = \sqrt[3]{\frac{L}{5dc}} \dots\dots\dots(24)$$

茲に、 $R_c$  = 爆破威力圈(m)

$L$  = 炸藥量(kg)

$d$  = 填塞係數 = 0.35

$C$  = 抗力係數(3.0~5.0)

とす。又パロデイ大尉はコンクリーに對して、

$$R'_c = 2.5 \left( \sqrt[3]{\frac{L}{C_1}} d - D \right) \dots\dots\dots(25)$$



茲に、 $R'_c$ =爆破威力圏(m)

$L$ =炸藥量(kg)

$d$ =填塞係數

露天の場合; 0.175 充分被土ある時; 0.327

$C_1$ =抗力係數(3.0~5.0)

$D$ =炸藥中心から被破壊物迄の距離(m)

を與へてゐる。又裏に紹介せる *Cernobrovkin* 及び *Zaleskg* 兩氏は、鐵筋コンクリートに對して

$$T_2 = r \sqrt[3]{L} - K \dots\dots\dots (26)$$

茲に、 $T_2$ =爆破威力圏(m)

$r$ =防護材料の壓縮強度係數

歐洲大戰の實績より 0.175 とす

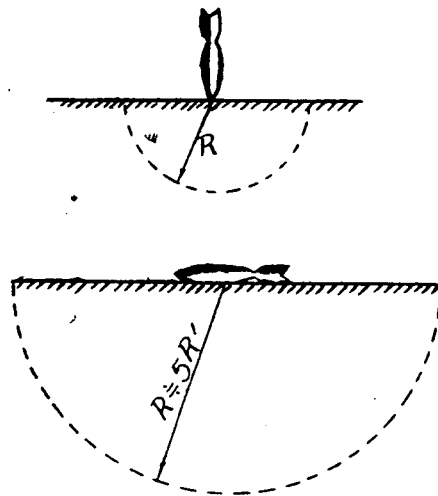
$L$ =炸藥量(kg)

$K$ =彈頭より炸藥重心迄の距離(m)

(爆彈直徑の 3/2 倍とす)

を與へてゐる。(25) 及(26)式には活力に因る浸撤を考へてないが之を考慮に入れると若干大きくなる。又爆破威力は相手に對して垂直破裂せる時よりも、平行破裂せる時の方が遙かに其の威力大にして第13圖に示すとくなる。即ち炸藥中心より破壊面迄の距離が水平な場合は約 5 分之 1 なる爲め威力圏は垂直破裂の場合の約 5 倍となる。

次に鐵材に對する爆破威力に關しては第6表に示す如くである。



第13圖 垂直破裂と平行破裂  
Rは爆破威力圏

第6表 鐵材に對する爆彈の爆破威力

爆發の狀況	爆彈の種類 kg	切斷し得る鐵材の斷面積 cm <sup>2</sup>		破孔を穿ち得る鐵板の 厚さ (cm)
		偏平な鐵材の場合	方形又は圓形斷面 の鐵材の場合	
面に垂直に爆發 せる場合	50	133	50	2.3
	100	266	100	3.6
	200	606	200	6.5
	300	910	300	8.7
	500	1,530	500	12.0
	1000	2,660	1,000	20.0
	2000	6,060	2,000	32.3
面に平行に爆發 せる場合	50	379	125	1.5
	100	760	250	2.3
	200	1,515	500	4.2
	300	2,270	750	5.8
	500	3,790	1,250	7.9
	1000	7,600	2,500	13.3
	2000	15,150	5,000	21.1

注意 第6表中、【偏平な鐵材】とはプレートはプレートを量ね合せたるものを言ひ、【圓形又は方形斷面】とは鐵管及びビルトアツプせるものを言ふ。

又鋼に對してはクルツプ会社の實驗公式なる次のものがある。

$$Pv^3 = 5800 as^2 \dots\dots\dots(27)$$

- 茲に、P=彈 量(kg)
- v=着 速(m/sec)
- a=爆彈の直徑(cm)
- s=浸 徹 量(cm)

第6表に依れば經間25mの鋼鈹桁(主桁斷面116cm<sup>2</sup>)は垂直破裂せる爆彈に依り50kg爆彈では半分を、100kg爆彈では總斷面を切斷されることになる。又平行に破裂せる時は50kg以下の爆彈で破壊切斷されることになる。又、經間50mのタイドアーチ(拱の最大斷面305cm<sup>2</sup>)は垂直方向に破裂せる300kg爆彈で完全に切斷され平行破裂の時は100kg爆彈で斷面の80%を失ふ。但し實際には橋材は鋼なるにより破壊斷面は是等の數字よりも少ない。

C. 投下爆彈に依る破壊孔

爆彈に因る破壊孔に就いては其の材料の種類に依り形狀も異なるが、破壊孔と爆破威力圈の間には凡そ次の如き關係がある。

$$H = \frac{h-k}{2} + R \dots \dots \dots (28)$$

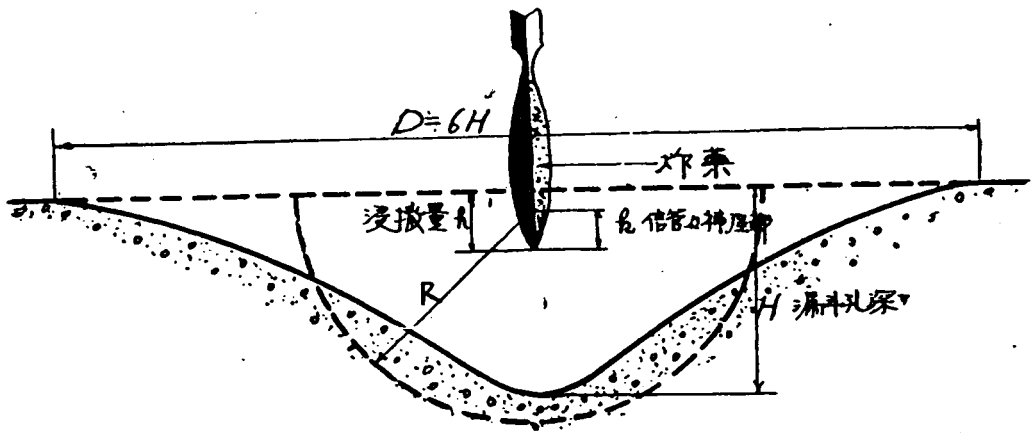
茲に  $H$  = 漏斗孔の深さ

$h$  = 浸撤量

$k$  = 信管部分及補強長さ

$R$  = 爆破威力圏

漏斗孔を穿つは均質材料の層厚き場合にして、前述の爆破威力圏は貫通厚さと見做すべきである。即ち貫通し得ざるものは漏斗孔となりて孔の深さの6倍の直徑に穿孔を生ずる。第14圖参照



第14圖 コンクリートに穿き場合ノ破壊孔

D. 爆彈の爆發壓力

爆彈の爆發壓力の計算は最も困難を極めるので爆發中心の壓力の如き極めて大であつて距離の2乗逆比例して壓力は減ずる。

爆發壓力は爆彈の効力中最も大なるもので空氣を媒介とて風壓力、破片、彈片作用を起し多大の被害を與へる。次表は其の爆發壓力を示せるものである。

第7表 爆彈の爆發壓力

爆彈の種類 kg	爆藥の量 kg	爆發中心より各距離に於ける壓力 (kg/cm <sup>2</sup> )					
		0.01 m	0.1 m	1 m	4 m	40 m	400 m
50	25	1,280,000	12,800	128	8	0.08	0.0008
100	50	2,560,000	25,600	256	16	0.16	0.0016
200	100	5,120,000	51,200	512	32	0.32	0.0032
300	150	7,680,000	76,800	768	48	0.48	0.0048
500	250	12,800,000	128,000	1,280	80	0.80	0.0080

1000	500	25,600,000	256,000	2,560	160	1.60	0.0160
2000	1000	51,200,000	512,000	5,120	320	3.20	0.0320
獨逸の實驗	5000	256,000,000	2,560,000	25,600	1600	16.00	0.1600

参考：普通の窓ガラスは約 $0.04\text{kg/cm}^2$   
 普通の煉瓦壁は約 $3\text{kg/cm}^2$   
 良質の厚い、コンクリート壁は約 $500\text{--}700\text{kg/kgcm}^2$  } で破壊す

第 7 表の實驗結果を以つて實驗式を作ると、

$$p = 5.12 \frac{L}{S^2} \dots\dots\dots (29)$$

茲に  $L$  = 炸 藥 量 (kg)  
 $S$  = 炸藥中心の距離 (m)  
 $p$  = 爆 發 壓 力 (kg/cm<sup>2</sup>)

即ち 1000kg 爆彈の破裂せる時 1m 距てる處の壓力は、炸藥量 500kg とせば

$$p = 5.12 \times \frac{500}{1} = 2560 \text{ kg/cm}^2$$

である。

E. 其の他の作用

以上浸徹力、爆破力、ガス壓力等の他に風壓力、地表動、火災を擧げ得るが、是等は都市防空上の見地よりすれば其の被害極めて甚大であるが、本文に於ては専ら土木建造物に對するものを主眼とし割愛することにする。

IV 投下爆彈に對する鐵筋コンクリート防護層の厚さ

投下爆彈に對し如何なる厚さの鐵筋コンクリート防護層があれば良いかと云ふことは重要な問題であるが之に對する適當な文獻が少いのみならず、或は實驗報告も秘密にされてゐると思ふ程少い。

W. Wieser 氏は鐵筋コンクリート防護層の厚さを次の如く必要とする旨を述べてゐる。

第 8 表 W. Wieser 氏防護層厚さ

爆 彈 の 種 類 (kg)	鐵筋「コンクリート」防護層の厚さ (m)
50	1.00
250	1.85
500	2.25
1000	3.00

} 特別な配筋に依る

又佛國內務省の市民防空避難所鐵筋コンクリート防護層標準は次の如きものである。

第9表 佛國避所防護層厚さ

防護し得る爆彈	鐵筋コンクリート厚さ(米)
小爆彈最大 10疋	0.35
中爆彈 50疋 100疋	0.70 1.10
大爆彈 300疋 100疋	1.40 2.00

又IV. Wieser の作製せるもので裏に紹介せるCernobroekin及びZalesky 兩氏の式を基礎にして計算せし防護層厚さに關する表を次に掲ぐ。

第10表 投下爆彈に對する鐵筋コンクリート防護層の厚さ

其の一 爆彈に關する諸元

爆彈の重量 G	爆彈の徑 D	爆藥量 L	命中時の着速 V	命中時の活力 E	活力を炸藥量に換算せる値 E/15	假定全炸藥量 $\Sigma L = L + E/15$
疋	米	疋	米/秒	米・疋	疋	疋
50	0.18	25	250	156	10	35
100	0.23	50	250	312	21	71
300	0.35	150	250	937	63	213
500	0.45	250	250	1562	104	364
1000	0.55	500	250	3125	208	708
2000	0.70	1000	250	6250	416	1416

其の二 防護層の厚さ

爆彈の重量 G	浸徹深さ $T_1 = \frac{VG}{\cos \beta \cdot D^2}$ より求む	假定全炸藥量に因る破環孔深 $T_2 = \frac{1}{\gamma} \sqrt{\Sigma L - K}$	浸徹深さ ユストロー 氏の實例	浸徹深さより求めた防護層の厚さ		假定全炸藥量による威力より求めた防護層の厚さ	
				同一個所に一發命中とす $2.8T_1$	同一個所に二發命中とす $3.8T_1$	同一個所に一發命中とす $2.8T_2$	同一個所に二發命中とす $3.8T_2$
疋	米	米	米	米	米	米	米
50	0.30	0.30	0.35	0.85	1.14	0.84	1.14
100	0.38	0.37	0.50	1.07	1.44	1.03	1.40
300	0.45	0.53	0.75	1.28	1.71	1.50	2.02
500	0.48	0.57	0.90	1.35	1.81	1.60	2.16
1000	0.64	0.74	1.10	1.80	2.44	2.07	2.80
2000	0.79	0.91	—	2.20	3.00	2.55	3.06

※ 注意 其の一、其の二は横は接続するものなり。

活力を炸藥量に換算せる場合15米・疋を炸藥1疋として計算す。

第10表に於ては $\beta=0$  (着弾は垂直とす)と假定し、 $\alpha, \tau$ は夫々前述の如く、 $\alpha=0.728 \times 10^{-6}$ ,  $\tau=0.175$ とした。又防護層厚さの安全率2.8及び3.8は鐵筋コンクリートの脆弱係数の平方根、 $(\sqrt{\text{壓縮強度} + \text{引張強度}} = 2.88)$ を取り、二弾命中せるものに對しては更に安全率1を加へてある

結 尾

現時世界の時局は異常な緊張をつゞけ各國擧げて空の恐懼を感じてゐる土木技術は戰爭を経て新たな觀點に立たなくならないのは過去に照し明らかであるが爆彈の威力が斯くも大なる限り凡ゆる建造物に對し全く之を閑却視出来るものでもない。然りと云つて如何なる爆彈に見舞はれようとも破壊されない程堅牢なる構造となすは、經濟的に成立すべくもない。茲に於て建造物は耐彈的である前に、より防空的であらねばならない。同一目的の建造物、例へば橋梁にしても最も爆彈に對して被害少き型狀を取らねばならないし、一旦決定した型狀に對しては成可く耐彈的に造らねばならぬ。現時の土木技術者、殊に滿洲に在るものは一層多くの關心を必要とするであらう。

◆ 本會販賣圖書 ◆

推奨すべき簡易舗裝の構造と維持

東京市土木局管理課長 山 本 亨 著 定價 ¥1.00

内 容 目 次

- |                         |                 |
|-------------------------|-----------------|
| 1. 總 說                  | 10. 表 面 處 理     |
| 2. 簡易瀝青舗裝の沿革            | 11. 表面處理と交通     |
| 3. 簡易瀝青舗裝の語義            | 12. 表面處理と氣象     |
| 4. 路盤と表層                | 13. 表面處理と周圍の狀況  |
| 5. 路盤の沈下量測定方法           | 14. 表面處理の材料     |
| 6. 舗裝の龜裂と路盤沈下量          | 15. 表面處理の破損原因   |
| 7. 路盤厚と沈下量              | 16. 表面處理の維持     |
| 8. 表層とフレキシビリティ          | 17. 表面處理の修繕方法   |
| 9. フレキシブルサーフェーシングと骨材の粒度 | 18. 表面處理の築造と維持費 |
|                         | 19. 多層式表有處理     |