

## 講 演

第 23 卷 第 1 號 昭和 19 年 1 月

## 土木構築物に對する投下爆彈の威力に就て

(昭和 11 年 10 月 23 日 土木學會第 72 回講演會に於て)

陸軍工兵中佐 鎌 田 銈 一\*

On the Effect of Bomb on the Structure of Civil Engineering

By Lt. Colonel of Engineer, Sen-iti Kamada.

## 要 旨

本講演は投下爆彈の土木構築物に對する威力に就て其の計算方法を論じた後、實際の土木構築物の設計施工上に於ける注意事項を述べたものである。

## 1. 緒 言

私は只今辰馬副會長より御紹介に預りました鎌田であります。先般陸軍技術本部の内田少將より、土木學會で土木構築物に對する爆彈の威力に就き講演せよとの事でありました。私は目下陸軍省で行政方面の勤務に服して居りますので、技術とは大分疎遠なつて居り、剩へ極めて多忙でありますので、御断りをする覺悟で居りましたが、本問題は刻下の重大なもの一つであるのみならず、これに對しては其の研究又は指導上當然軍部が責任を執らねばならぬものであります。斯く考へますと今や引込むべき場合ではなく、寧ろ進んで所見を發表し、諸君の御參考に供すべきであると信じましたので、淺学非才而も研究不十分なるにも拘らず、講演を御引受けした譯であります。従て今日申上ぐることも、未だ自信あるものでもなく又祕密に屬する事項は省略致しますので、諸君の御満足を得る事は困難と存じ、此の臨滌め御諒承を乞ふのであります。

投下爆彈に對する抗力に就きましては、其の研究の必要性は大いに認められてゐるのであります。之が實驗的確證を得るためには、施設、方法及經費等の點に就き大なる困難を伴ふものでありますから、今日未だ以て満足すべき結果を發表するに至らないのを遺憾に存する所であります。

然るに今年夏我國某所で行はれた焼夷彈を主とする一般建築物の對彈抗力試験は、相當の成果を擧げた様であります。將來に於ける此の種試験の可能性を裏書きするものと思はれます。此の試験の結果は何れ機會を見て、發表せられる事と伺つてゐます。

從來築城素質の主要素たるコンクリート及鋼鉄製術工物に對する砲彈の威力試験は、歐米各國は固より我國に於ても數次に互つて實施せられた所であります。1885 年獨逸で化合爆藥を裝填した地雷榴彈が始めて採用せられますや、各國は大いに驚いたのであります。特に佛國はさうでありまして直に實驗を行ひ之が效果及之に對抗すべき築城手段を講究したのであります。1886 年佛國は 155 mm 及 220 mm の地雷榴彈を以てマルメイゾン堡壘を射撃して實驗を行つたのであります。其の結果粘土より成る土体には此の榴彈は侵徹容易にして、石材より成る築城素質は崩壊著しき事を確かめたのであります。

\* 陸軍省兵務局防備課勤務

世界大戰に於ては、今までに見ない大口徑砲が用ひられ、特に有名なヴェルダン要塞戰の結果は吾人に良き參考資料を提供するのであります。ヴェルダン戰の砲撃の結果より見ますに、30 cm 砲彈は積土に對しては中徑 3~8 m、深さ 2~5 m の漏斗孔を作り、鉄筋コンクリートの掩蓋上に到達せるものは、中徑 50 cm、深さ 30 cm の孔を作り掩蓋の下面に高さ 20 cm、中徑 150 cm の凸起を作つてゐます。又 42 cm 砲彈で延期裝置を有するものは、積土に對しては中徑 8~13 m、深さ 2.5~6 m の漏斗孔を作り優良コンクリートの厚さ 2 m 以下のものは之を貫通します。ドーモン堡壘の塹壕掩蔽部では厚さ 1.5 m のコンクリートで補強せられた部分は數箇所貫通せられましたが、厚さ 2.5 m のコンクリートで補強せられたものは1發の 42 cm 砲彈に抵抗したのであります。

爾後投下爆彈の效力を論ずるものは、彈量、炸藥量、着速等を顧慮して砲彈の效力より之を推論するに至つたのであります。而し乍ら投下爆彈と砲彈とは其の特性上に概ね次の如き差異がありますから取扱上注意を要します。

1. 投下爆彈は砲彈に比し着速が小である。従て堅硬物に對する侵徹量は同一重量の砲彈に比し小である。
2. 投下爆彈は通常着速を有せず。従て土壤等の軟弱なる物質に對する侵徹量は同一活力の砲彈に比し大である。
3. 投下爆彈は砲彈に比し一般に炸藥量が頗る大である。彈量 1000 kg を有する 40 cm 砲彈の炸藥量は約 100 kg に過ぎないが、1000 kg の重量を有する投下爆彈には約 600 kg の炸藥を填實する事が出来る。従て炸藥の爆發效力に就き論ずるときは、爆彈は同一彈量の砲彈より威力が大である。
4. 爆彈の落角は砲彈に比し常に著しく大である。従て爆彈は水平目標に對し常に十分なる效力を發揮する事が出来る。

以上の様な差異がありますので、砲彈の效力を類推して投下爆彈に及ぼさんとするには、相當の誤差があります。従てこれにつき實驗を行ふ必要を痛切に感ずる次第であります。

歐米各國では既に投下爆彈を用ひて實驗を行つてゐるのであります。其の結果は多くは嚴密に附してゐます。我國でも夙に此の必要を認め再三實施せられたのであります。此等の結果は各國の知らんとする所であり、茲に公表する事を止め、各國の例をも參照して秘密に互らざる範圍に於て其の概念に就き説明したいと思ひます。尙我國の試驗も未だ十分とは云へませんので、今後機會を捉へて實施せんとする機運にあります。

## 2. 假定投下爆彈

空襲に當り敵機が如何なる爆彈を携行し投下するかは判りません。一般に爆彈は其の大きさを増すに従ひ效力を増す事は當然であります。従て近時 1 t 以上に及ぶものが出現しましたし、將來は更に彈量を増加するに至るでありませう。併し乍ら飛行機には搭載量に限度がありますし且所期の命中率を得んがためには、重量大なるものを少數携行するよりは、輕量のもの多敷携行するを有利とする場合が多くありまして、特に攻撃距離の大なるとき然りであります。近時飛行機は爆彈投下の命中率を得んがために急降下の低飛行を敢行する様であります。現在に於て 250 kg 彈を持ち而も垂直に近い降下をなし、尙且相當遠距離より飛來し得る様な飛行機はないさうであります。英國のホーカーハート機は最も性能良好なるもので、輕爆其他萬能飛行機であります。其の急降角度は 70~80 度であります。先づ 4000 m の高度より急降下を始めますが途中 3000 又は 2000 m 附近で一度水平に復する運動又は宙返り、上昇反転等を行つて速度を殺さなければ飛行機の荷重係數上危険ださうであります。次に 3000 又は 2000 m から最後の急降下に移り 1000~700 m 附近で爆彈を投下し、飛行機が水平に復したときの高度は 300 m 前後となる様であります。斯かる状態でありますから一般に高速輕快であつて、大彈量を携行し遠距離飛行を行ふ事は不可能と言はれて居ります。

斯かる事情がありますので、焼夷彈は大體 10 kg 内外、地雷彈は 200 kg 内外と假定し、500 kg 彈を現在に於ける設計上の限度とすれば良いのではないと思ひます。

前述の見地に基き近時列國軍に於て多く使用せられる彈種を参照して假定彈を表-1 の如く定め計算の基礎としたいと思ひます。

表-1. 假定爆彈

彈種(地雷)	炸藥量(kg)	高度3000mの著速(m/sec)	彈丸中徑(m)
100(kg)	50	300	0.27
200	100	320	0.30
500	250	335	0.40

落下角度は實際の場合は 75~85 度でありますが、計算上は 90 度と假定し、計算を簡単にし術工物の安全を期待する場合があります。

### 3. 命中精度

命中精度は飛行の情況、爆彈投下の技術、目標の状態、晝夜の別、氣象の情況其他の條件に依り異ります。

命中誤差としては、對地測定誤差(射程誤差)、高度測定誤差(射程誤差)、地球自転誤差(目標の東方のみに偏位す)、投下瞬時の遲速に依る誤差(射程誤差)、向風又は背風の誤差(射程短縮又は延長)、側風の彈着誤差(飛行方向の風下に直角に偏する誤差)、爆彈が 1000 m 落下後下層風 10 m/sec を受くる誤差(風下に偏する誤差)、方向誤差(方向にのみ誤差を生ず)、照準誤差(射程誤差)等を伴ひ之が綜合して躲避を生ずるのであります。一例を申し上げますと、爆彈が投下せられた後に於ける彈道上のみの公算躲避が某所の實驗では高度 1 km の場合に、飛行方向で約 40 m、其の直角方向で約 33 m でありました。

英國で爆撃修業者の終末試験合格規格を作つてみますが、之によれば公算躲避として許すべきものは次の様であります。但し此の場合は円形で飛行方向と直角方向との躲避を等しくしてあります。

高度(m)	500	1000	1500	2000	2500	3000
公算躲避(m)	10.8	14.5	19.1	22.0	24.5	27.5

米軍に於ては軍艦に對する命中率を高さ 1~5 km の場合に、目標に応じ表-2 の如く示してあります。

又某所で幅 5 m、長さ 100 m の鉄道橋に對し、73 發を投下して、命中彈 14發を得た事があります。即ち命中率は約 19% であります。又幅も

表-2. 軍艦に對する命中率(高さ 1~5 km)

艦種	長さ(m)	幅(m)	命中率(%)
潜水艦	71	6	8
驅逐艦	93	9	11
巡洋艦	125	13	15
戰鬥艦	170	28	30

長さも各 30 m のコンクリート製目標に對し 41 發投下して 8 發命中し、命中率

約 20% を得た事もありました。

又某所で約 100 m 方形中に 18 戸の家屋を配置し集團部落として焼夷彈を投

下しましたのに、約 10% の命中率を得てあります。

要するに命中率は逐次向上するものと思はれます。

### 4. 投下爆彈の威力計算

爆彈が物体に命中するときは複雑なる作用を呈することは、容易に想像し得る所であつて、例へばコンクリートの場合に假りに之を彈性体と考へて、爆彈が之に到達し炸裂するとき大なるショックを興へ、之がため彈性体分子が移動して、之を立体解析幾何的に解くときは數種の振動波を生じ得るものと思はれます。而して此の振動波が彈性体に對して破壊的作用を起すものと考へられるのであります、之が理論的解決は諸君の手に俟ちたいもの

と御願する次第であります。

投下爆彈が物体に命中すると之に直接的作用と間接的作用とを伴ひます。前者は侵徹により生ずる局部的破壊であつて、之に炸藥の作用が伴つて一層之を擴大するものであります。後者は爆風圧、土地の振動作用、彈片の作用等を伴ふものであります。従來多く用ひられてゐる實驗公式は、此等作用を度外視してゐるのであります。爆風圧又は瓦斯圧は馬鹿にならないもので、ヴェルダンの某堡壘では 43 cm 砲彈の爆裂に依り生じました瓦斯圧は、階段を経て地下交通路内に入り多數の扉を吹き飛ばし、途中 7 個の屈曲部と數個の外部への交通路があつたにも拘らず約 70 m 進んだ後に於て尚ほ人を吹き倒し扉を押付くる様な強烈な感じを與へてゐます。又振動の影響であります。38 cm 及 43 cm 砲爆の落達及其の炸裂に基く振動は堡壘全体を動かし、地下深き交通路内にありました防者に對しても烈しく感じた事もヴェルダン戦で經驗せられた所であります。ヴェルダンの諸堡壘で地下に設けられた貯水所は砲彈の命中、炸藥の爆裂に基く振動のため龜裂を生じて漏水し空虛となつたのであります。彈片の作用も馬鹿にならないのであります。

前に申しました如く、一般の計算式では單に侵徹及爆發の 2 種の威力を考慮したのみで、間接的作用は加味してないのでありますから、完全のものとは申されません。

侵徹效力の實驗公式には色々認められるのであります。比較的信用し得るものは有名はパロディ大尉の公式であると思ひます。

之を代表的のものとして次に紹介致します。

$$X = cKA$$

式中  $X$ : 侵徹の深さ (m),  $K$ : 被侵徹物の抗力係數,

$$c: \text{彈道係數} = \frac{P}{1000a^3}$$

但し  $P$ : 彈量 (kg),  $a$ : 爆彈中径 (m)

$$A: \text{爆彈の命中時に於ける著速の函數} = \log \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{v}{100} \right)^2 \right]$$

但し  $v$ : 著速 (m/sec)

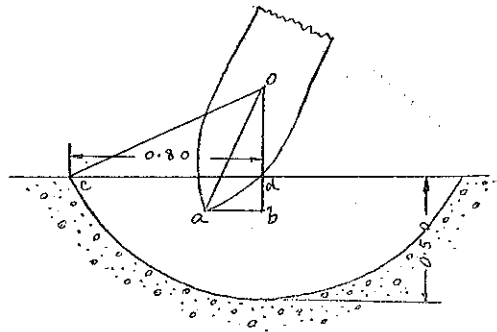
$c$  の値は 500 kg 假定爆彈に對しては 3.12 で、200 kg 假定爆彈に對しては 2.22 であります。又  $A$  の値は 500 kg 假定爆彈に對しては、0.548 で、200 kg 假定爆彈に對しては 0.528 であります。

$K$  は最も重要なファクターであつて、各國共に種々の實驗値を有します。之が決定は計算上最も注意を要すべき所であります。實驗の困難なるために其の眞値を掴む事は至難であります。従來の實驗値を顧慮して次の如く  $K$  の値を假定する事にします。

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

200 kg 破甲彈を用ひ コンクリートに對する 實驗を行ひました某所に於ける結果を用ひ本式より道に  $X$  を求めて見ま

圖-1.



せう。投下高 800 m, 飛行時速 135 km に應ずる落角及著速は  $74^\circ$  及 125 m/sec としきす。

地面に垂直なる侵徹量を求むるため速度の垂直分力を求めます。

$$\text{即ち } V' = V \sin 74^\circ = 120 \text{ m/sec}$$

$$\text{次に } c = \frac{J}{1000 a^2} = \frac{204}{1000 \times 0.27^2} = 2.80$$

$$A = \log \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{v}{100} \right)^2 \right] = 0.236$$

を得てから、コンクリートに與へました漏斗孔の實測値を用ひ侵徹係数を算出します。

図-1 に於て  $o$  は炸藥中心で  $\bar{o}a = 0.68 \text{ m}$  でありますから、垂直距離  $\bar{o}b$  は直ちに求められます。

$$\bar{o}b = 0.68 \sin 74^\circ = 0.654 \text{ m}$$

$$\text{次に } \bar{o}c = \bar{o}b - 0.50 \text{ m}, \quad \bar{o}c^2 = 0.80^2 + (\bar{o}c - 0.50)^2, \quad \bar{o}c = 0.89 \text{ m}$$

$$\text{従て } \bar{o}d = 0.89 - 0.50 = 0.39 \text{ m}$$

故に侵徹量

$$\bar{d}b = 0.654 - 0.39 = 0.264 \text{ m}$$

$$X = cKA \text{ を用ひ}$$

$$0.264 = 2.80 \times K \times 0.236, \quad K = 0.399 \approx 0.4$$

即ち此の場合のコンクリートの抗力係数は 0.4 でありまして、前に示したコンクリートの抗力係數 0.5 とは若干の開きがあります。

次に爆破威力の公式を示します。土壤の場合には次の公式を採用します。

$$R = \sqrt[3]{\frac{L}{c'} d}$$

式中  $R$ : 破壊地域の半径 (m),  $L$ : 炸藥量 (kg)

$c'$ : 土壤の抗力係數

軟普通土に對して 0.7

硬植物土及砂利交り中硬粘土に對し 2.0

砂又は砂利交り硬粘土に對し 3.0

岩盤 (堅硬なる土) に對し 2.5

$d$ : 填塞係數

良好なるとき 1.0

不良なるとき 0.22

コンクリートに對しては種々の公式がありますが其の結果は一致しません。今又パロデイ大尉の實驗式を示します。但し侵徹は零として炸藥の爆破力だけを考へます。

$$r' = 2.5 \left( \sqrt[3]{\frac{L}{c'} d} - D \right)$$

式中  $r'$ : 爆破威力 (破貫厚, m),  $L$ : 炸藥量 (kg)

$D$ : 被侵徹物の壁面より炸藥の中心に至る距離 (m),  $c'$ : 抗力係數 = 4.0

$d$ : 填塞係數

露天の場合 0.175, 十分なる被土を有する場合 0.327

假りに計算値を掲げますと表-3 の様であります。但  $X=0$  であつて、實際の場合は垂直破裂は侵徹を伴ひ破眞厚は更に大となります。

表-3.

彈 種 (kg)	L (kg)	D (m)		d	r' (m)	
		垂 直	平 行		垂直破裂	平行破裂
200	92	0.66	0.141	0.175	0.33	1.62
300	136	0.76	0.161		0.35	1.85
500	230	0.91	0.191		0.40	2.20

表-3 は所謂假定彈を用ひたのではなく、或る文獻から採つたものであります。

次に爆彈の漏斗孔に關する公式に就き述べます。

前述の  $r'$  なる値は、コンクリート壁を全く突破し去る事を得る壁厚であります。若し壁にして之より著しく厚い場合に於ては、其の破壊力は微弱で單に漏斗孔を生起せしむるに過ぎません。

漏斗孔の實驗公式は次の様なものが用ひられて居ります。

$$H=0.4r', \quad D=6H$$

式中  $H$ : 漏斗孔の深さ (m),  $r'$ : 完全に突破し得る壁厚 (m),  $D$ : 漏斗孔の中径 (m)

漏斗孔の實測値と計算値とを比較したものが表-4 でありまして、之も亦假定彈により計算したものでなく、某文獻から採つたものであります。

表-4.

區 分 彈 種 (kg)	漏 斗 孔 實 測 値				漏 斗 孔 計 算 値			
	垂 直		平 行		垂 直		平 行	
	徑 (m)	深 (m)	徑 (m)	深 (m)	徑 (m)	深 (m)	徑 (m)	深 (m)
200	1.5	0.25	4.0	0.7	1.9	0.32	4.3	0.71
300	2.0	0.3	5.0	0.8	2.1	0.35	4.9	0.81
500	2.5	0.4	6.0	1.0	2.5	0.41	5.8	0.96

物体の破壊に就き古來諸大家の間に種々の假説がありますが、要するに 圖-2 の如く放射狀に壓力を滾りたる場合の物体内の応力分布は、大体放射方向にコンプレッション、之に直角方向にテンションを生ずる傾向を有します様に説かれてゐます。コンクリートはテンションに弱くありますから之に直角方向即ち放射方向に破壊を生ずるものとされてゐます。

斯くの如くして龜裂が生じますと壁厚小で而も掩蓋の如く下方に空間を有する場合に於ては、龜裂と下方縁邊との間に挟まれたコンクリートの部分は死荷重のみで落下せんとする傾向があります。某所の實驗は 圖-3 の如

圖-2.



圖-3.

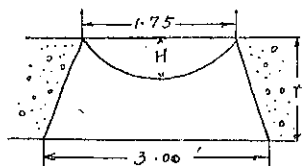
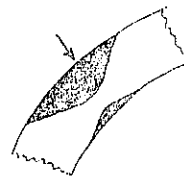


圖-4.



く破壊しました。

200 kg 破甲弾を用ひ作られた漏斗孔の深さは、0.563 m でありますから  $H=0.4 r'$  より  $r' = \frac{0.563}{0.4} = 1.40 \text{ m}$  となります。此の場合の目標は壁厚が穹頂で 0.90 m でありましたから 図-3 の如く突破せられたのは當然であります。

従来砲弾落達の経験より見ますに 図-4 の如く、外面に破孔を生ずると、反動的に内面にもコンクリートを剝脱して破片を落下せしむる傾向を有するのであります。

## 5. 對彈構造物として設計並に施工上注意すべき諸件

### 1. 木造家屋に就て

1 kg 程度の軽量の焼夷弾でも屋蓋を貫通する事は文獻を見ても亦實驗の結果を見ても明かであります。従て 15 kg 程度になりますと、瓦葺下に亜鉛鍍鋼板を張つたものでも、彈着點を中心に瓦葺は中径 3.50 m 程度、鋼板は 2.00 m 程度破壊せられた實例があります。和式スレート葺、野地杉並 4 分の棟でも 15 kg 弾に依り 4 m 平方の破壊を生じ、小屋組には異状なきも母屋が切断し天井は約 40 m<sup>2</sup> 破壊せられた實例もあります。

要するに木造建築は焼夷弾でも貫通せられるのであります。

### 2. コンクリート術工物に就て

厚さ 15 cm で、上下兩層に 12 mm 鉄筋を 15 cm 間隔に配置し、之に直角に更に 9 mm 鉄筋を 25 cm 間隔に配置したものに對し、1 kg 程度の焼夷弾は落達するも反撥して貫通しませんでした。15 kg 弾では完全に貫通し、上面に短径 25 cm、長径 35 cm 程度の破孔を生じ、下面に短径 50 cm、長径 70 cm 程度のコンクリートを剝脱した實例があります。但し此の場合鉄筋は露出しましたが切断せられませんので、致命的損傷とは申されません。

更に之に對して 50 kg 弾を隣發信管で 1 km の高度より投下しましたのに、命中弾は蓋版上で炸裂し、コンクリートは極度の振盪を受け粉碎落下し、長さ 1.50 m、幅 1.20 m の孔を穿ち、コンクリート破片は粉末状を呈して屋内床の上に盛り上つたさうであります。此の場合も鉄筋は彎曲をしましたが切断はして居りません。

コンクリート術工物に對して相當大なる威力を及ぼすべき爆弾は 200 kg 以上のものと思はれます。従來に於ける實驗の結果から推定して、之を突破し得るであらうと判定せられる壁厚は概略表-5 の如くであります。

表-5 の爆弾は假定彈ではありません。又コンクリートは鉄筋を有し良い配合のものであります。

某實驗の結果 100 kg 地雷彈を以て穹窿側壁ともに 1 : 3 : 6 のコンクリートより成つてゐる供試体の破壊狀況

表-5.

區分 彈種	垂直破裂		平行破裂
	穹窿	獨立壁	穹窿
200 kg		0.70 m	2.00 m
300	0.80 m	1.00	2.00
500	1.00		2.50

圖-5.

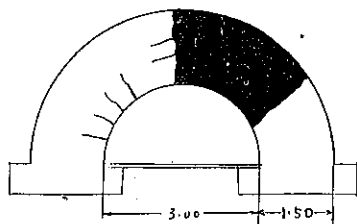


圖-6.

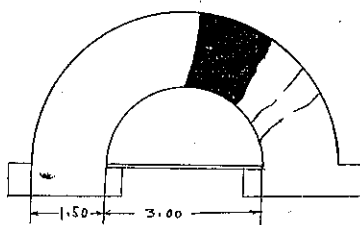


圖-7.

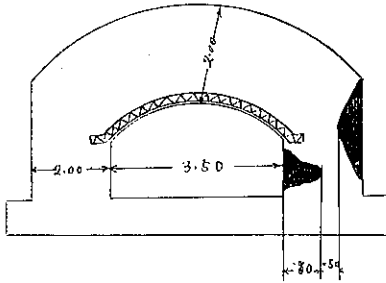
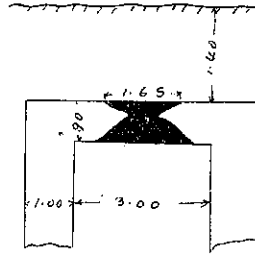


圖-8.



は圖-5 の如く又 100 kg 破甲彈を以てする實況は圖-6 の如くであります。

又 200 kg 地雷彈で 1:2:4 配合のコンクリート供試体に對して實驗せられた結果は、圖-7 に示す如くで、200 kg 破甲彈の某實例は圖-8 の様であります。300 kg 地雷彈の場合の一例は圖-9 の如く、500 kg 地雷彈の一例は圖-10 の如くであります。

圖-9.

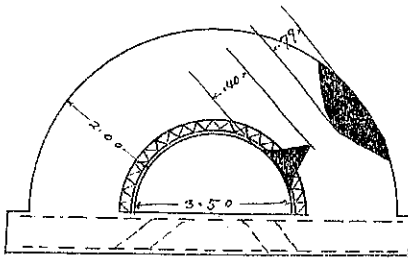
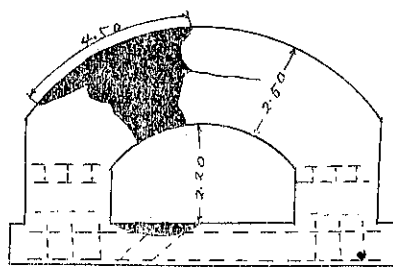


圖-10.



此等の結果より見るに配合不良なるコンクリート穹窿は、100 kg 地雷彈にて厚さ 1.50 m を突破する事が出来ませんが、鉄筋を有し優良配合の場合には 200 kg 程度に對しても厚さ 1.50 m にて掩護の目的を達する事が出来るであります。300 kg 地雷彈に對しては鉄筋を有し優良配合にて 2.00 m 厚を以て掩護の目的を達し得るであります。又 500 kg 地雷彈に對しては鉄筋を有し厚さ 3.00 m あれば先づ十分抵抗する事が出来ませう。茲に注意すべきは、此等供試体は、普通一般に謂ふ鉄筋コンクリートと大いに其の趣を異にしています。即ちコンクリートを主体とし内背に近くコンクリート破片落下を防止する意味で簡単な鉄筋を挿入したものであります。大型爆彈に對して所謂鉄筋コンクリート又は鉄骨鉄筋コンクリートが如何なる抗力を有するやの實驗は未だ餘り行はれた事がなく、之を公表すべき域に達せざるを遺憾とします。

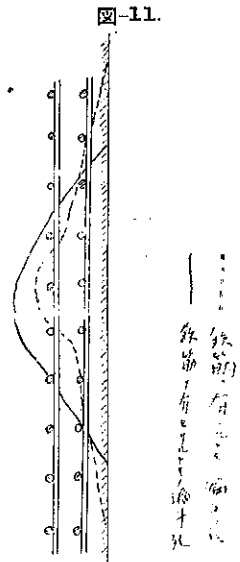
世界大戰後ヴェルダン要塞戰の結果を見て、鉄筋を數層に重ねたコンクリートは砲彈の落達に際し、鉄筋がコンクリートより離脱して其の振動により益々コンクリートの破壊を擴大するから鉄筋は不利であると論ずるものもありましたが、我國の某實驗の結果を見ますと、無鉄筋のものは弱く、特にコンストラクション・ジョイントの部分の處理不十分なコンクリート体は、砲彈の落達により塊狀に破碎し對彈抗力が鉄筋を有するものよりも遙かに小であることを認めたのであります。此の場合の鉄筋はコンクリートの表面に近く配置する方式を採りましたので、假りに之を起爆層鉄筋と稱ませう。之は鉄筋自体の抗力のみによつて、彈丸効果を制限せんとするものではなくて、コンクリートの綜合抗力を期待するものであります。起爆層鉄筋を有するものは、圖-11 の如く破壊孔の最深部の範圍狭く鉄筋に沿ひ段々にコンクリートを剝落します。起爆層鉄筋を餘りに淺く配置して、彈丸侵徹後炸



裂に當り鉄筋層を外方に逆に圧出する結果となつては不利であります。一方彈着により鉄筋外被膜コンクリートを剥落せしめますから、其の剥落量を努めて減少せしむるためには淺く配置するのが宜しい。此等の點を考慮して其の深さは表面より、20 cm か 30 cm 位が適當であると信じます。又經驗に依れば此種鉄筋は成るべく太いものを小方眼に配置し、接続は努めて避け連続せしむる必要があります。其の端末は縦横共に十分緊定し砲彈著達に際し彎曲する事なく破断せしめて砲彈の活力を失はしむるを有利とするのであります。之がため鳥籠式としアングルにボルト締とした緊定法が有效であつて、端末が離れる様な方法は宜しくありません。特に短い鉄筋は効果が極めて拙いのみならず狀況によりコンクリートの破壊を助長するに至るのであります。

鉄筋を數層に設くるときは鉄筋相互の連繋は堅固なるを要します。從來用ひてゐるスターラップは對彈的に効果を發揮する様に設計施工をせねばなりません。

術工物の内面には、先に述べた如く鉄筋を挿入して破片の落下を防止するに努めるのであります。龜裂等が見えますと中に居る人に志氣の阻喪を引き起す心配がありますので、鋼板と I 形鋼又は波形鋼板を用ひてライニングを施すと更に有効であります。



3. 鋼に就て

鋼に就ては海軍の方で大いに研究せられてゐますので多言を省略します。

某國の實驗によれば爆彈の貫通裝甲厚は表-6 の如くであります。

クルップ會社の實驗公式を參考のため掲げますと次の如くであります。

$$Pv^2 = 5800 as^2$$

式中 P: 彈量 (kg), v: 著速 (m/sec)

a: 爆彈中徑 (cm), s: 侵徹量 (cm)

表-6 爆彈の貫通裝甲厚

區分 彈種	投下高 (m)		
	5000	6000	7000
250 (kg)	129 (mm)	143 (mm)	154 (mm)
500	170	188	203

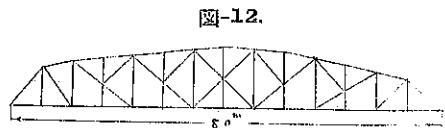
4. 橋梁に就て

某所に於て張間 80 m, 幅 5 m のピン式鉄橋 (圖-12 の形式) に對して各種爆彈を投下して其の抗力を實驗

した事があります。高度 700 m から 50 kg 爆彈 15 發を投下し、其の中 2 發が命中して垂直振止と垂直材の一部を切断して、列車の通行を不能ならしめてゐます。又 100 kg 彈は 25 發中 7 發命中して軌條及枕木を 15 m に互り飛散して、下部水平振止を彎曲

し、破片にて斜材を折損しました。尙 200 kg 破甲彈 13 發中 3 發命中し下臥材を上方に押上げ下部水平振止及縱桁を彎曲し、2 本の斜材を切断し列車の通行が全然不可能となりました。要するに通常の横桁では 100 kg 内外の爆彈が命中すれば致命的打撃を加ふるに至るのであります。

大河に架する橋梁は敵飛行機の攻撃目標となり易いので設計上注意を必要とします。此の場合吊橋が有利であると思ふのでありますが、之に就ては此の席に見えます内務省の三浦博士も同様の御意見でありました。例へば米國のデラウェア橋の如きサスペンション・ブリッジの生命とするワイヤーロープは、其の中徑が 80 cm ばかりもあつて、6 番線 20 200 本から成り許容応力は 5740 kg/cm<sup>2</sup> であると承知してゐます。斯くの如く太いワイヤーロープに對しては、靜止爆發でも約 12 t の火藥量を必要とし、斯くの如き多量の爆藥を飛行機から投下する事は不可



能に屬するでありませう。尙ワイヤーロープに對する命中率は中々妙いのであります。ワイヤーロープを上下 2 個に區分し、上部ワイヤーに屋形の防護装置を施して命中せる爆彈を滑らしむる様に設計すれば一層耐弾性を増加して事實上投下爆彈によりワイヤーロープを切斷する事は出来ないと云つて宜しいと思はれます。次に恐るべきはワイヤーロープを支へるタワーであります、之は頑丈な設計でありますから破壊する事は困難であります。尤も上部のサドルに對して保護の處置が必要であります。橋床部は爆彈により破孔を生ずる事がありますが致命傷ではなく、交通を杜絶する事はありますまい。

5. 地下鉄道に就て

現存する東京市の地下鉄道に就て検討しますに、100 kg 爆彈は鋪裝を貫通して被土中に約 1.50 m 侵徹し、停車場穹窿コンクリートに被害を及ぼしますから、100 kg 彈に對しては次の如く處置をして、強度増加を図る必要があります。

- a. 圖-13 の如く停車場穹窿の厚さを、40 cm とし、上層鉄筋は起爆層を形成せしめます。又内背には波形鋼板の厚さ 10 mm 位のものを張り付け柱を増強します。
- b. 第 2 法として圖-14 に示した如く、停車場上部の鋪裝のみを補強し、配合は 1 : 2 : 4、厚さは 30 cm とします。脚壁の部分に爆彈が侵徹して水平爆發の状態になるのを防ぐために、鋪裝を脚壁外面より 2.50 m 以上も突出せしめて置くことと安全であります。

圖-13.

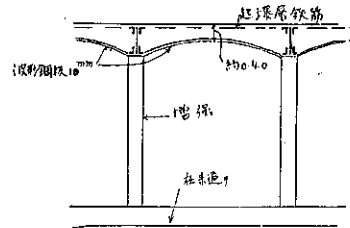


圖-14.

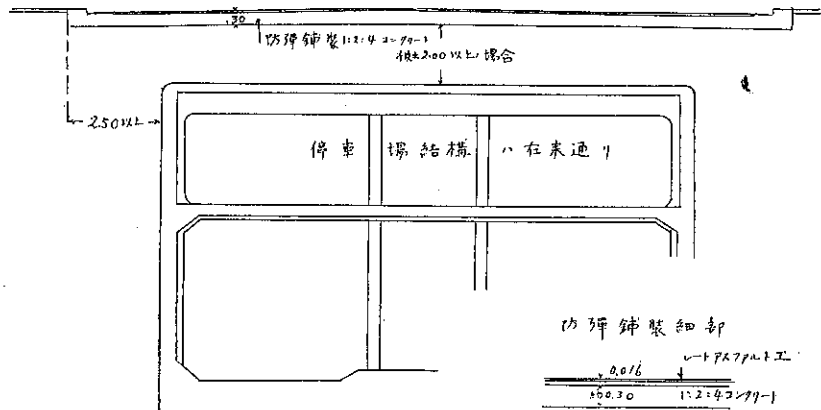
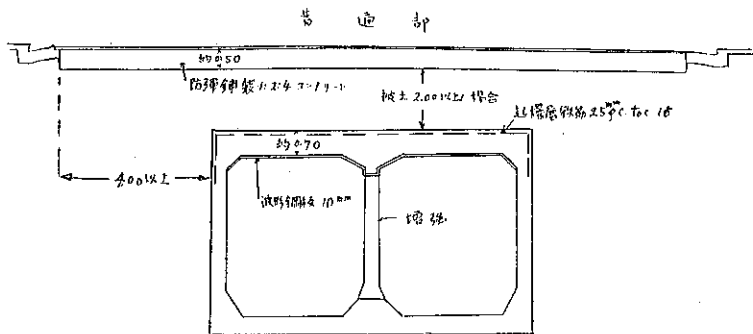


圖-15.



200 kg 爆彈に於ては、之が鋪裝被土を貫通し、地下鉄穹窿に約 13 cm 侵徹し大なる破貫孔を生ぜしめます。又地下鉄脚壁に對し鋪裝を貫通し外側土壌中に約 4.50 m 侵徹して平行破裂の姿勢となり最も危険なる被害を及ぼしますから、之が強度増加の處置として、鋪裝を 1 : 2 : 4 配合のコンクリートを用ひ、厚さを 50 cm とします。又地下鉄穹窿の厚さを約 70 cm とし、上層鉄筋は中径 25 mm のものを 15 cm 間隔に配置して起爆層を形成せしめ、内背に厚さ 10 mm 位の波形鋼板を張り付け、柱を増強します。其の要領は圖-15

の様であります。

又其他の處置としては型式の採擇に注意を凝らし遺憾なからしむるのでありますが、其の例は圖-16の如く被土を省略せる路下式とし、1:3:6の相當厚のコンクリートの下に、砂層を置いてクッションたらしめ、爆彈命中のショックをユニフォームに地下鉄に傳達せしめる考へであります。図中の  $t$

と  $d$  とは假定爆彈の威力から決定します。他の構造としては圖-17の如く二重式とするのでありまして、之は地下水等の關係を顧慮して、施工が可能なる場合には、有效な方法であつて、特に掩護する幅が狭いため、鋪裝部の補強幅を減少する利益があります。

6. 水中構築物に就て

昨年の秋に、鐵道省の關門トンネル調査委員會の會議の席上で、私は海底トンネルに對する爆彈の威力に就き講演した事がありますので、當時の記憶をたどつて一言申し上げたいと思ひます。

水中に落下した爆彈は重量を減ずるばかりでなく、水の抵抗のために著しく落速を減じます。其の侵徹長は一に延期裝置の如何に歸するもので、延期裝置なき瞬發信管を有するものは、30 kg 程度の輕量のものに於ては水面下 30 cm 位で爆發し、又 200 kg 程度のものは、5~6 m 位の所で爆發する様であります。即ち此の場合水が一種の剛體として働き、延期裝置を有せざるものを水面に近き位置で爆發せしむるのであります。けれども延期裝置が完全なものは水底に深く入り込みます。

投下爆彈が水面に落達して更に水中に侵入する場合の落速の変化は、彈種及形狀等に依り一定しませんけれども、某實驗に依れば 250 kg 彈にて水面の落速が 200 m/sec としますと、深さ 16 m 位に至つて 0.11 秒後 100 m/sec 即ち半分に減じて居ります。30 kg 彈になりますと、落速 120 m/sec のものが水深 13 m に至ると、0.3 秒を要

圖-16.

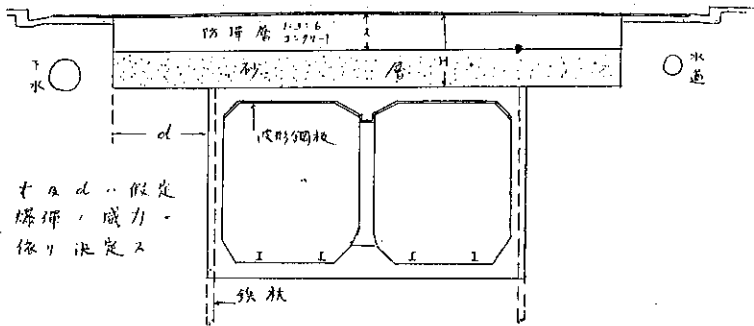
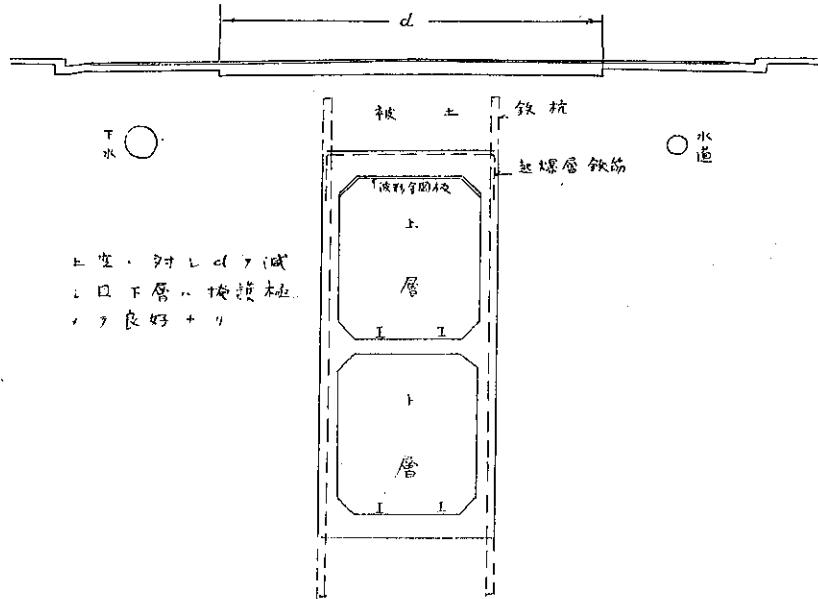


圖-17.



して約 20 m/sec に減ずる様であります。

近時各國陸軍に採用せられつゝある円筒形爆彈では水中の落速減退の度が更に大であると想像せられます。

既に述べた假定爆彈に於ては表-7 の如く假定せられます。

表-7.

彈種 (kg)	水深 (m)	著速 (m/sec)	体積 (m <sup>3</sup> )	彈量 (kg)
500	15	120	0.1074	392.6
200	15	110	0.045	155.0

即ち水中 15 m 位の深さでは、約半分の落速を以て、而も輕減重量で侵徹する事になりますので、其の效果は空中に於けるものよりも小である事は明かであります。

茲に注意すべきは、上の假定は延期装置が完全で、水底 15 m に到達して爆發する事を條件としての話であります。然るに各國の爆彈は延期が  $\frac{1}{15}$  秒即 0.06 秒程度のもが多くありますので、若しさうであるとすれば、水深 10 m 位に於て爆發するのでありませう。

水中爆破の威力特に水底術工物の破壊力の算定に必要な 填塞係数は、其の實驗に乏しく、爆破教範に僅かに 1 とすとあるばかりで、水圧は水深に比例して増加するにも拘らず、水深に伴ふ填塞係数の變化を不問に附してあるのは適當ではありません。又爆破に依り 水に及ぼす振盪威力の如きも水深の如何に依り水圧の變化が大であるにも拘らず深さに応ずる其の威力の變化に就て研究が不十分であります。

水深 6 m に於ける某實驗の結果は圖-18 の様であります。之に依れば、水中に於ける振盪力は空中に於けるものよりも近距離に於ては遙かに大であります。側方距離 3 m 以上にあつては、其の差が逐次尠少となります。兩者の關係を簡單に図示すれば圖-19 の如く、水中に於ける振盪力は近距離に於ては著しく大であります。其の及ぼす範圍は空中に於けるものよりも遙かに小であります。尙效力半径は圖-20 の如くであります。之より次の事が知り得るのであります。

圖-18.

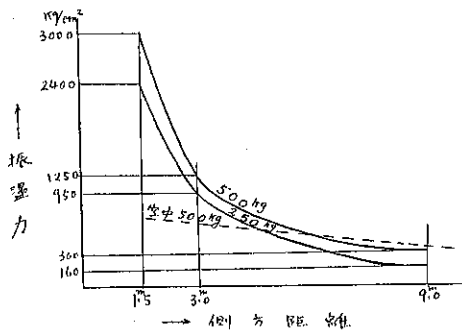


圖-19.

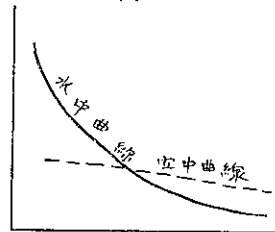
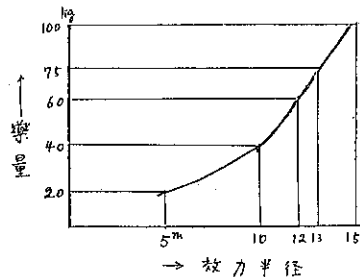


圖-20.



- イ. 效力半径は 10 m 附近は藥量に比例して増加するも、大約 12 m 以上に於ては藥量の増加に伴ふ半径の増加は極めて小であります。
- ロ. 藥量を著しく増加するも 15 m 以上の效力半径を得る事は困難であります。

以上の結果から考察しますると、水面に於て著爆しました場合には、假令大型爆彈でありましても、水深 15 m 以上の水底術工物には大なる被害を與へませんが、水底上 5 又は 6 m の近距離で炸裂した場合には、

之に對して相當の威力を及ぼすものと想像せられます。併し乍ら直接爆彈の落達せるものに比して、威力は小でありますから計算上考慮を要しません。

沈埋式海底トンネルに對する計算の一例は圖-21 及圖-22 の如くであります。

## 6. 結 言

以上は極めて概括的に説明したのであります。本問題の解決は速急なるを要するに拘らず、研究が比較的遅々として進まず、諸君に満足を得るが如き適切具体的の指示をなす事が出来なかつたのを残念に思ひます。特に多忙なりしたため準備も不完全であつたので、此の點御容赦を乞ふ所であります。

科学は駁々として進歩してゐます。兵器の威力は日一日と増大して居ります。之に對應して防禦方面の研究をするには、非常なる努力を要するものと思はれます。今後益々此の方面の研究に進進したい考へて居りますので、諸君の御援助を仰ぎたいのであります。長い間御清聴を煩しましたことを感謝いたします。

### 辰馬副會長挨拶

出席會員を代表いたしまして、私から一言御禮を申し上げたいと思ひます。鎌田中佐殿には明日南鮮地方に御出張になるといふことで、御多忙中にも拘らず、御出席下さつたことに對して、先づ第一に御禮を申し上げたいと思ひます。

又先程は、此の問題は軍機の秘密に涉ることが多々あるけれども、さういふことを言つて居つては、技術が進歩しないことになるから、十分さらけ出して講演をするつもりだといふお話がありましたが、お話の如く飛行機から投下する爆彈の威力に對して、あらゆる方面から、微に入り細に涉つて、又御自身御研究になりました事柄を加へて、御懇篤なる御講演を賜はつたことに對しまして、厚く御禮を申し上げたいと思ひます。軍機の秘密を超越せる御懇篤なる御講演に對しまして、吾々は拍手を以て重ねて御禮申し上げたいと思ひます。

