

王 15
49

KUNG SHANG
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT

土
木
工
程
系

工
科

天
津
工
商
學
院

ANTI AIR-RAID STRUCTURES.

防
空
建
築

By

LI Lin Yin

李
林
蔭
著

KUNG SHANG

Race Course Road

TIENTSIN

1941



防空建築

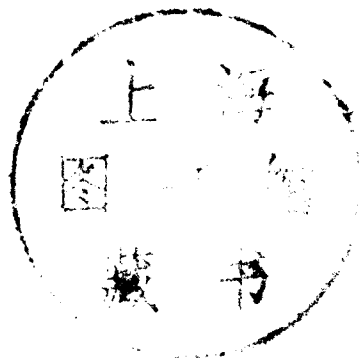
ANTI - AIR - RAID

STRUCTURES

上海图书馆藏书



A541 212 0023 2520B



1546976

目 錄

序	3
第一章 炸彈效應之研究	5
防空工程學的炸彈分類	
爆風之效應	
炸片之效應	
衝擊效應，降下速及投下角	
炸彈之穿透力，噴口現象	
燃燒效應	
第二章 防空工程之基礎理論	11
靜壓力當量	
計算靜壓力當量公式之推演	
第三章 建築之有效防禦力	14
防空建築之分類	
三層磚牆建築之耐力	
多層磚牆建築之耐力	
炸彈之有效總壓力	
第四章 防空單位工事之實驗舉例	16
磚牆防空遮	
鋼筋混凝土防空遮	
沉入式防空遮	
半沉式防空遮	
防空網	
硬架建築內部之利用	
五十人防空壕之設計舉例	
材料估計	

第五章	防空建築之一般的構造細目	.20
	地板空間	
	出入口	
	通光	
	地勢與型式之採用	
	關於鋼筋	
	落片現象之處理	
第六章	防彈建築之討論 22
	直擊彈防禦問題	
	防彈建築設計舉例	
	屋頂厚度	
	地面下邊牆厚度	
	地基下牆之厚度	
第七章	一般之經濟問題 24

PREFACE

From the engineering point of view, the air-raid structure has two main problems concerned, that is, to study the effects of the bombs acting on the structure, and to make the walls and roofs blast-proof and splinter-proof or even bomb-proof. In the absence of any precise knowledge of the size and velocity of the fragments to be expected and with no knowledge of the effect of blast without information on the size of the bomb and the distance from the shelter at which it would fall, the design will be impossible of solution with any certainty that the result would be scientifically satisfied. Based on experiences in the battlefield and experiments in laboratories, general primary discussions on this subject is made.

It is reasonably agreed that the protection of bomb-proof shelters is so expensive as to be out of the question except in special circumstances with the result that most of our air-raid protection works whether in forms of trenches, shelters or strengthened basements, is being done with the object of giving protection against splinters and blast only, but theoretically, the study of direct-hit-proof will offer many useful fundamental references for the emphasizing of the blast-proof structure as an additional extra strength of the existing requirement; so this subject is touched a little upon as well. However, the discussion is primarily made from economic stand point.

This thesis consists of

Investigation of general effects of aerial bombs, classification of

bombs, (heavy and light under the engineering point of view) blast effects, splinter effects, impact, penetration, burning effect, basic theory on air-raid structure, bomb effect and equivalent static pressure, derivation of formula to compute equivalent static pressure, effective strength of buildings, (three-story or multiple-story) effective strength of unit shelter and trench, (brick shelters and concrete shelters) cast-in-situ trench, semi-sunk shelter, air-raid mash, utilization of existing building, (basements and inside of frame structure), important useful recommendation (floor space, exits, light, type, reinforcement), discussion on the value of protection of bomb-proof building, example of bomb-proof design, general economic problem and steel economy.

L. Y. LEE.
Kung Shang University
Tientsin.

第一章 炸彈效應之研究

防空工程學的炸彈分類

就工程學立場研究炸彈之穿透力及破壞力，可依其充藥比率 (Charge ratio) 及切面密度 (Sectional Density) 分爲重級及輕級

$$\text{充藥比率} = \frac{\text{充藥量}}{\text{炸彈全重}}$$

充藥比率大者，稱爲輕壳炸彈，(Light-case Bomb)，因充藥在全重中佔較高之百分數，則彈片較薄，穿透力較弱，宜於破壞普通輕建築。重壳炸彈之彈皮較厚，且有內含碎鐵者，落下之動速量 (Momentum) 極大，宜於破壞有防禦之建築物。普通500磅炸彈之充藥比率爲40%

$$\text{切面密度} = \frac{\text{炸彈全重}}{\text{橫截面積}}$$

普通重壳炸彈，其重量自50磅至2000磅者，切面密度可自2磅/平方吋至15磅/平方吋。普通500磅炸彈，切面密度約爲5磅/平方吋。普通燃燒彈，(Incendiary bomb)，甚少有高於1磅/平方吋者。

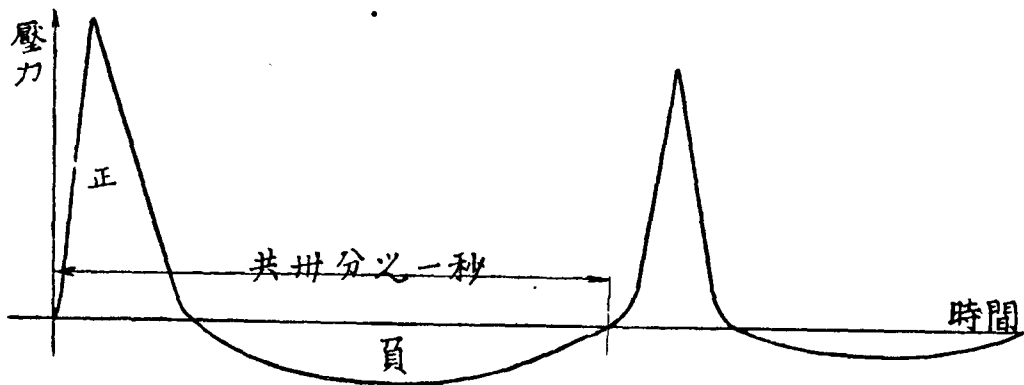
現今通用之炸彈計有猛炸彈，穿甲彈，榴散彈，燃燒彈，毒氣彈，烟幕彈，照明彈等。猛炸彈可摧毀鋼甲，榴散彈能爆散大量碎片，燃燒彈含鋁粉熱劑及硬油，可生強熱達3000°C以上，毒氣彈內含毒液，可使通風問題受嚴重威脅。此四種均爲防空工程必須研究者。

各種炸彈又有遲導引信及速導引信之別。速導式多爲充藥比率爲25%以上之輕壳炸彈，含藥較多，炸片極薄，一經接觸即行爆炸。最新式之速導炸彈，其靈敏度可因一細絲之觸及而爆裂。遲導式之充藥比率多爲10%以下之重壳彈，彈皮極厚，並裝延時引信，(Time-fuse)，可直穿目的物至相當深度。此種彈應用於轟炸軍艦或地下防禦工事或城市之給水系統等，因炸彈如在艦面或地面爆炸，則不能使目的物蒙受較深之危害。

爆風之效應

炸彈爆發時之氣體壓力，約爲每平方吋100—650噸，此種高壓力在空氣中發生之急劇的氣流變化即爲爆風 (Blast)。就實驗記錄，知爆風之震動先發生正壓力，(Initial positive pressure)，隨後有一真空狀態，稱爲負壓力 (Suction) 正壓力增加極速，極短時間內即至極大 (Max-

imum) ，隨即依直線減低至0，再後即為真空負壓力，負壓力之量較正壓力小甚，但歷時則較長甚多，設如一500磅之炸彈在50呎—200呎之距離中，其爆風之正負振幅，共歷時約三十分之一秒，但負振幅之歷時約為正振幅之三至六倍。



爆風之壓力時間曲線

此種振動為漸減式，故任何建築之損壞均由於首壓力。但不論其壓力如何，普通磚牆均能防禦一50呎外之500磅炸彈爆風。此乃因壓力加於其上之時間極短，在形變 (Strain) 尙未完成之前，壓力已消失之故。

R, E, Stradling 博士曾在一實驗中，用500磅中型炸彈獲得下列記錄：

五百磅中型炸彈爆風壓力

對炸彈之距	最大正壓力	最大負壓力
15呎	500磅/平方呎	12—16磅/平方呎
30呎	24 ,, ,,	3—4 ,, ,,
50呎	6 ,, ,,	1.4 ,, ,,
100呎	2.3 ,, ,,	0.8 ,, ,,
200呎	0.4 ,, ,,	0.2 ,, ,,

R, E. Stradling 博士認為爆風之傳播與聲浪有關，至一定距離外，即顯著退化為一種聲浪，強烈爆風對建築等物之影響較大，但僅限於局部，三十呎外其效用即劇降。聲浪對建築物亦能產生危害，但僅限於窗戶及其他易於震動之部分構造物。對此種聲學的震動形式，已經 G. Grime 君應用儀器量出，並製出壓力時間曲線，結果最大壓力為6磅/平方呎

，故一般認為50呎外爆發之500磅彈，其爆風壓力已不足破壞普通建築物。

炸片之效應

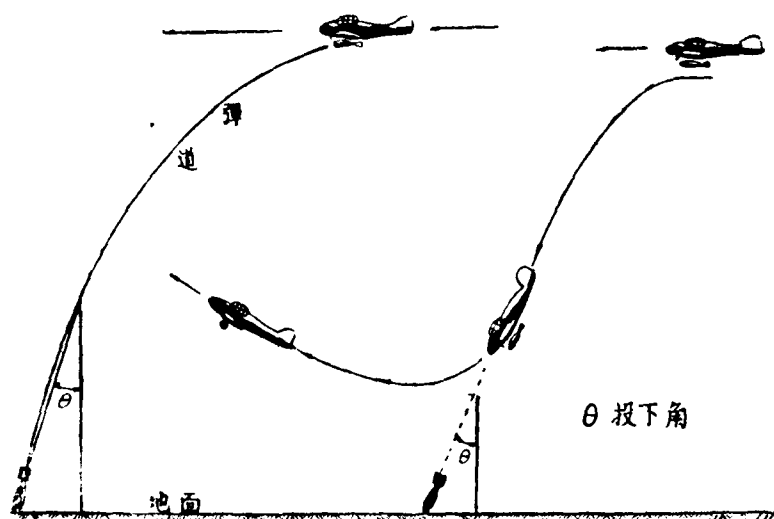
炸彈爆發時，其碎片（炸片，Fragment）之速度，平均能高至每秒五千呎。其主要破壞力即由此種高速所生之動速量（Momentum）產生，可使建築物毀壞，穿透，或在爆風到達前，先使建築物弱化。普通炸彈在十呎以內時，其炸片之最大速度約為4000—7000呎/秒。其後即由空氣之抵抗而減少。至50呎外時，其速度可減至2500—5000呎/秒。炸片之有效範圍在露天約為500呎，在土內則範圍減半。

據平均結果，防禦炸片之必要厚度：

軟性鋼版.....	至少 1 ½ 吋
磚工.....	至少 13 ½ 吋
鋼筋混凝土.....	至少 12 吋
普通混凝土.....	至少 15 吋
碎石.....	至少 24 吋
土或砂.....	至少 30 吋

衝擊效應

炸彈擊中建築物時，在爆炸前對建築所加之突然的荷重，（Load）稱為衝擊（Impact）。堅固之建築物（如防空建築等），構造時目的乃在使穿透深度減少，故所受之突然荷重更大。防彈建築（Bomb-proof structure），在加厚屋頂及強度之外，有採用錐形或拋物線形曲綫屋頂者，原理即為使炸彈順面滑行，以減少其衝擊效應。



研究此問題，要點不在動能（K.E.）之計算，而在注意時積（Impulse）及慣性（Inertia）。此二者之函數為降下速度及投下角（angle of arrival）。

降下速度及投下角——空氣之阻力達一定之極限時，則炸彈之加速度可以停止，即當空氣阻力等於炸彈重量時，則炸彈之速

度為最高，此速度稱為炸彈之落速或末速，現時就經驗上所知，最重而切面密度最大之炸彈，其自由降落之極限約為 1200 呎/秒。一枚小燃燒彈（切面密度為 0.5 磅/平方吋者）其落速最高僅可至 400 呎/秒。

垂直速度 (V_v) 可因投下時之高度而增加，水平速度 (V_h) 以飛機前進之水平分速 (Component) 決定，自此二者可定投下角。(Θ)

$$\Theta = \text{Tan}^{-1} \frac{V_h}{V_v}$$

實用上，水平飛行速度為 100—300 呎/秒時，任何切面密度之炸彈，其投下軌跡並無甚大之變化。

衝擊量乃依速度之平方及投下角而變，投下角為 0 時，衝擊量最大，今之急降下轟炸術能利用飛機發動機造成之速度，使自由降落之極限更行增加，故衝擊效應更大。

炸彈之穿透力

由於直擊彈之衝擊，遲導炸彈或重壳彈，均能產生強烈之穿透效應 (Effect of Penetration)。此點為設計防彈建築之基本根據。曾有多數實驗求出在不同型式炸彈在不同之衝擊下，不同物質所生之穿透深度 (Depth of Penetration)。據歐洲方面實驗之記錄，切面密度為 0.5 磅/平方吋之小燃燒彈，以 400 呎/秒之降落速度，直擊應力為 2800 磅/平方吋之混凝土，其穿透深度為 1 呎，如對沙，碎石，土，則能達約 1 呎。切面密度為 5 磅/平方吋之炸彈，例如一 500 磅彈，充藥率為 40% 者，對上述之混凝土可透入 2 呎 6 吋，對沙土碎石，能深入 20 呎以上。

穿透深度與混凝土之壓碎應力 (Crushing stress) 有關，根據 Bazant 氏之試驗，關係如下：

混凝土應力 (磅/平方吋)	1000	2000	3000	4000	6000	8000
穿透深度 (呎)	2	1.3	0.95	0.84	0.72	0.65

鋼筋混凝土抵禦穿透之能力，出入極大，因混凝土之密度及鋼筋加強之情形變化極多。由實驗所作之比較研究，獲得結果如下：(1:1:3 混凝土，經過 28 日)

鋼筋加強之情形	最後破裂應力	相對之穿透深度比
三方向加鋼筋者	5700磅/平方吋	1
普通鋼筋混凝土	3200 "	$1\frac{1}{3}$
無筋混凝土	2200 "	2

關於一般工程材料之穿透深度，各人試驗相差甚多，茲將四位研究家之結果列出：（炸彈為500磅中型彈，切面密度為5磅/方吋，擊中時之末速為800呎/秒。投射角0度，直擊。）

材 料	Poncelet 氏	Petry 氏	Vieser 氏	Peres 氏
石 灰 石	3(單位,呎)	2.5	—	—
鋼筋混凝土	—	2.1	1.5	1.7
普通混凝土	—	—	2.1	3.2
石工構造物	—	5.4	—	—
磚工構造物	10	9.3	4.3	—
砂 土 地	20	1.7	10	—
種 植 土	—	22	12	—
普通硬度之土	—	—	—	17
軟土(Soft Soil)	—	34	19.5	—
鬆土(Loose Soil)	25	—	—	26

表中最大之穿透為34呎，據經驗，即令為抵抗極低之土地，其被直擊彈穿透之深度亦鮮有大於50呎者。此數字並不能為設計防彈建築之安全深度，因對於炸彈之爆炸力及噴口現象(Crater Phenomenon)並未計入。

噴口現象——物體之過厚能防止穿透者，其穿透孔較彈丸之切面積大甚，形成一似噴火口之彈孔。普通洋灰及鋼筋混凝土之噴口直徑常為炸彈切面直徑之數倍，但須注意者即此種噴口乃由衝擊而成，絕非由爆炸所致。

噴口現象能增加炸彈之穿透深度，例加500磅之遲導炸彈，由垂直

落下，如其衝擊量極高，常可能穿透一普通五層樓之各層 6 吋混凝土地板。因普通混凝土地板對剪力 (Shear) 之承受能力極弱，由衝擊切出噴口，乃使炸彈透過極易。

增強混凝土之抵抗性能，當於設計鐵筋時，注意純剪力 (Pure Shear) 之防止，以免發生噴口現象而增加穿透深度。

燃燒效應

燃燒起火亦為炸彈之主要功能，其破壞力不亞於穿透及炸毀，目前使用之燃燒彈，乃含鋁粉鎂粉及氧化鐵之混合熱劑，或含鋁熱劑及硫黃之混合物，或含礦質油及溶於二硫化碳之磷燃燒劑。所生熱度均能達三千度以上，故並不限於可燃材料始能起火，在此種高溫下，能破壞大多數物質之分子組織，更由彈內預充之燃料可形成烈火，使建築物燒毀，其功能與炸毀相同，

燃燒彈之主要成分為鎂，鋁，熔化之液體，能從任何隙縫中流下，使大火蔓延，此點當加以注意，又彈中化合物之燃燒，並不需空氣，但鎂質彈殼之燃燒，則必須由空氣中取氧，氧氣可由水中取得，故防此種彈之燃燒，不能用水滅火，而且異常危險，因它能同時產生氫氣，引起爆炸。

燃燒彈之衝擊量極小，最近歐洲流行之小型電子彈，重僅一公斤，大多數亦均極輕，普通八分之五吋厚之木板舖以瓦隴鐵皮即可防止穿透，但不能防禦裝有時間引信 (Time-fuse) 之燃燒彈。最經濟之防禦法為在瓦隴鐵片上舖以約三吋厚之細乾土。

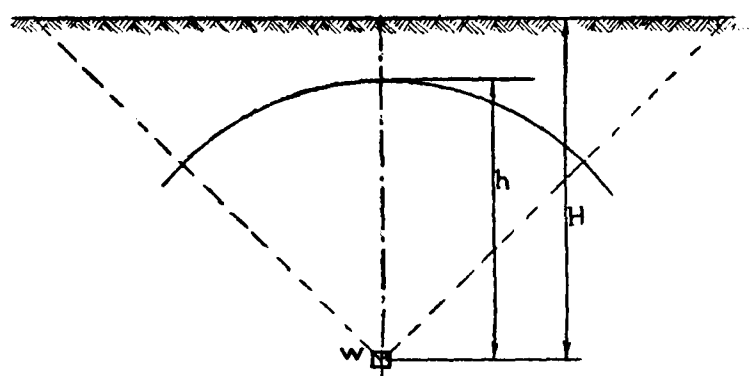
對於一般燃燒效應之防止，設計時當隨時慮及防火問題。

第二章 防空工程之基礎理論

不論炸彈碎片及爆風之功效如何複雜，其主要作用，乃自爆發中心，向外幅射壓力。故能承受側壓力(Lateral pressure)之設計為防空建築之主要條件。如能將炸彈之爆發力換算成一定之「靜壓力當量」(Equivalent Static Pressure)，則此複雜之問題可變為數學化之問題，而計算時即可應用既存之各種力學原理矣。

靜壓力當量即一種在建築物上繼續保持的壓力，其所生之效果與爆炸力波之最大應力相同者。

今就實例對壓力當量加以研究：



設防空地下室之屋頂建於地面下10呎，上覆乾鬆之泥土(marl)當德國5.9吋口徑之溜彈山炮(howitzzer)之85磅彈擊中地面時，求其爆炸力之壓力當量。此種炮彈重85磅，含炸藥25磅。(充

藥比率為30%)，最後速度為500呎/秒，其引信極靈敏， $\frac{1}{1000}$ 秒內完全炸裂，故其彈坑僅深9吋，此情形認為係在地面上爆炸，無穿透效應。

今所研究者即在地面上，此25磅炸藥對10呎乾泥土下之防空室屋頂所生之壓力當量。就1917年以來戰場上之實驗，得下列結果，

W：炸藥之重量(磅)

H：炸坑之深度(呎)

$$W = \frac{H^3}{30} \dots\dots\dots(\text{實驗公式})$$

此式表示造成H呎深坑所需之炸藥重量(W)。圖中W位於地下H呎處，表示適足爆炸其上乾鬆之土層，假設此爆炸之全部能力按能波(Energy wave)等衡分配於球面，根據上式，可推証如下：一

H：能波球面之半徑(呎)

E：每平方呎之能力

w：土壤之單位重量(磅)

X : 靜壓力當量 (磅/方呎)

根據球面每平方呎之能力與半徑平方成反比，

$$E \propto \frac{1}{h^2}$$

設靜壓力當量因半徑平方成反比。

$$X \propto \frac{1}{h^2}$$

靜壓力當量與炸藥含量成正比

$$X \propto W$$

則爆炸之向上靜壓力當量X磅/平方呎為

$$X = K \frac{W}{h^2} \quad (K \text{ 常數})$$

在任意深度 (H-h) 之土壤靜下壓力為W (H-h)。造成炸坑之條件為在各深度處，向上壓力當量必須超過土壤之靜下壓力，

即
$$\frac{KW}{h^2} > w (H-h)$$

使 $\frac{KW}{h^2} - w (H-h)$ 為最小

$$d \left(\frac{KW}{h^2} - w (H-h) \right) = 0 = -\frac{2K}{h^3} + w$$

即
$$h = \sqrt[3]{\frac{2KW}{w}}$$

當 $h = \sqrt[3]{\frac{2KW}{w}}$ 時， $\frac{KW}{h^2} - w(H-h) = 0$

故
$$KW = wHh^2 - wh^3$$

$$= wH \left(\frac{2KW}{w} \right)^{\frac{2}{3}} - 2KW$$

即
$$wH \left(\frac{2KW}{w} \right)^{\frac{2}{3}} = 3KW$$

$$W = \frac{4wH^3}{27k} \dots\dots\dots (\text{理論公式})$$

此式與實驗公式 $W = \frac{H^3}{30}$ 形式相同。

令二式恒等，

$$\frac{H^3}{30} = \frac{4wH^3}{27K}$$

$$K = \frac{120w}{27}$$

設土壤每立方呎重112磅

$$K = \frac{120 \times 112}{27} = 500$$

因乾鬆之土亦有凝集力 (Cohesion) ，再加入相當之安全因數，今將K二倍之，即K = 1000

故爆炸之向上靜壓力當量

$$X = \frac{KW}{h^2} = \frac{1000W}{h^2}$$

$$X = \frac{1000W}{h^2} \dots\dots\dots \text{(壓力當量公式)}$$

前例10呎下屋頂所受地面爆炸之25磅炸藥之壓力當量為

$$X = \frac{1000 \times 25}{10^2} = 250 \text{ 磅/平方呎}$$

本公式之缺陷，一如計算海波之公式，地震公式或打樁之靜壓力以及土壤力學(Soil Machinics)之各公式所具之缺陷，其效力與真實性之不能盡善為不可避免者。實際上，在較小面積之場合所生之最大壓力常能較本公式所得大三數倍，但事實上建築物所受之靜壓力較片刻之最大衝擊小甚，故應用上在限定之情形內 (乾鬆之土地或空中) ，已足令人滿意。

第三章 建築之有效防禦力

防空建築之分類

防空建築可按型式，材料，性能及容量作不同之分類，但最合理者，則為依其功率區分，防空遮壕之功率乃隨其所能承受之壓力當量而增減，除去專作防直擊彈之防空壕外，在一定價格之下，當以求得最大耐力(Strength)為理想。

1. 特級	能承受壓力當量大於	2000磅/平方呎
2. 第一級	能承受壓力當量	2000磅/平方呎
3. 第二級	能承受壓力當量	1000磅/平方呎
4. 第三級	能承受壓力當量	500 磅/平方呎
5. 第四級	能承受壓力當量	250 磅/平方呎

特級為專作防直擊彈之防空建築，僅用於有重要軍略意義之場合，超出一般之需要太多，非工程經濟所許可者。至於弱於第四級者，在工程經濟上，價值亦極小，因存在之鄰近建築即已可完成其保護能力。(每方呎250磅)

磚牆建築之耐力(例普通三層樓)

三層住宅建築之15吋外牆對地基之壓力(p)約為每直呎2000磅，設牆高(l)10呎，壓力為垂直，則任意截面之力矩為2000磅×7½吋者，則能使推力線(Line of thrust)移出於截面之外，設力矩為 $\frac{pl^2}{12}$ (認為係Continuoas beam)

$$\frac{pl^2}{12} = 2000 \times \frac{7.5}{12}$$

l為10呎，則p=150磅/平方呎之壓力能使牆傾倒。

房屋之材料應力及構造形式，影響其耐力極大。此壓力為理論上使牆傾斜之最小壓力。實際牆有堅固之接頭(Fixed end)及強大之凝集力者，所受壓力能大至數倍。

磚牆建築之耐力(例三層以上之樓房)

設最下層之牆厚22½吋，高15呎，底面所承受壓力為20,000磅/呎

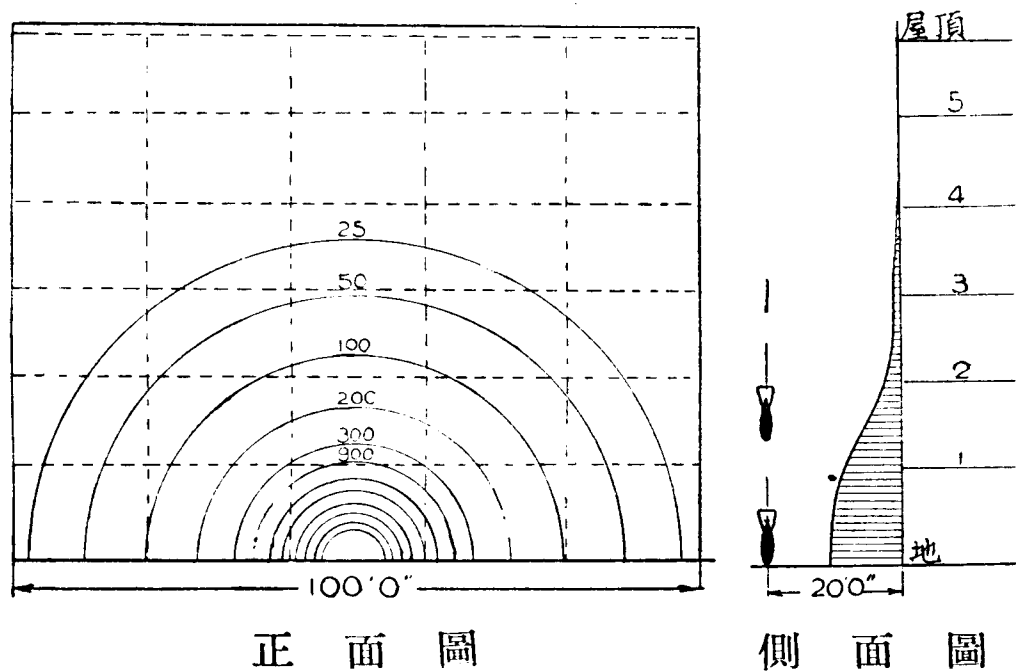
$$20,000 \times \frac{22.5}{12} \times \frac{1}{2} = \frac{p \times 15^2}{12}$$

$$p = 1000 \text{磅/方呎}$$

此情形可代表一般之六層磚牆建築之最低有效防禦力。中國普通之建築及年代稍久之建築，均無甚大之構造上的力量，300-1000磅/方呎之壓力均足以破壞之。

炸彈之有效總壓力

根據前演之公式，理論上的炸彈有效總壓力施於一無限之平面上，為 $1000\pi W$ 磅。



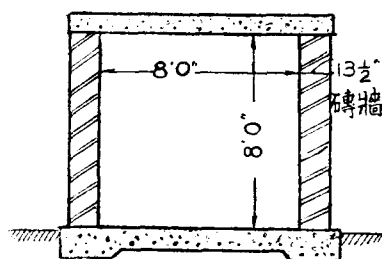
圖示一充藥比率為66%之600磅彈。(含炸藥400磅)投於建築物前20呎處。

圓圈為爆力能波球面之截面，表示有效側壓力之強度。數字單位為磅/平方呎。

此建築物前面之有效總壓力約為1,240,000磅。全表面積約為7000平方呎，平均表面所受之力約為180磅/方呎。通常之磚工在此壓力下能裂紋或破壞，故雖不致直接毀損，但因裂隙而影響之間接的構造上之倒塌，亦須慮及。此為理論公式重視安全因數之結果。就實際應用上，則雖為數千磅重之炸彈，其使建築物全崩潰，或因炸毀一部而全部倒塌之可能性，終甚稀有。

第四章 防空單位工事之實驗舉例

磚牆防空遮



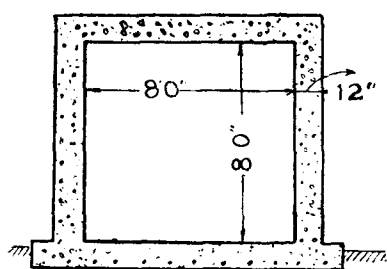
圖示防空遮 (Shelter) 之截面，磚牆厚 $13\frac{1}{2}$ 吋，5 吋混凝土屋頂，內切面積 $8 \times 8 = 64$ 平方呎。

實驗結果——靜壓力當量 50 磅 / 方呎之側壓力，施於牆之一面，可使推力線移出基線而破毀，根據公式，此種壓力可由 22 呎外之 25 磅炸藥之炸彈 (例如 50 磅彈) 產生，或由 90 呎外之 400 磅炸藥之炸彈 (例如 600 磅彈) 產生。按此壓力為靜壓力當量，乃施於建築物上繼續相當時間者，與突然即消失之壓力不同。

$$X = \frac{1000 \times W}{h^2} = \frac{1000 \times 25}{22^2} = 51.8 \text{ 磅/方呎}$$

$$X = \frac{1000 \times W}{h^2} = \frac{1000 \times 400}{90^2} = 48.8 \text{ 磅/方呎}$$

鋼筋混凝土防空遮



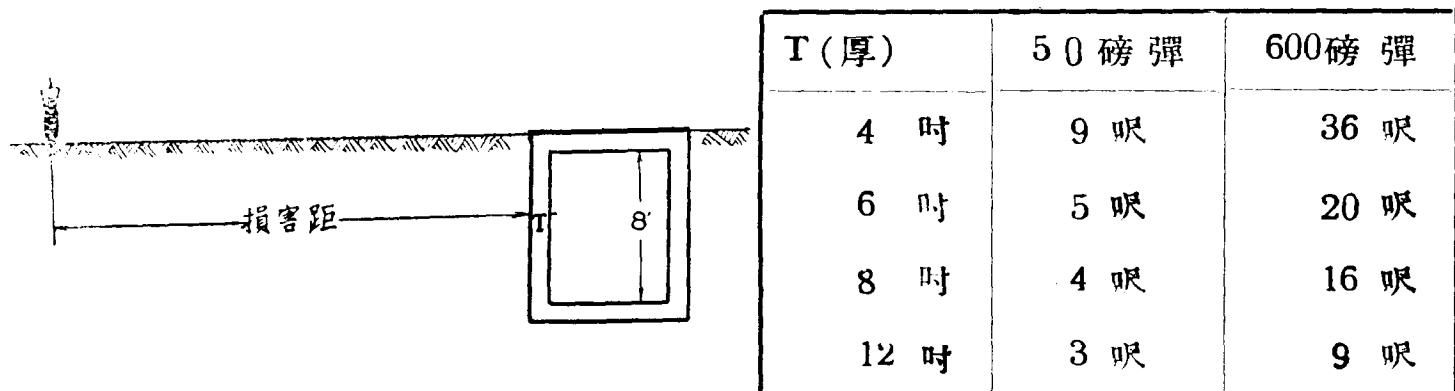
圖示一整體混凝土之防空遮，此種構造，在適宜之鋼筋強化之下，可能承受側壓力至 1000 磅 / 方呎。此壓力可由 5 呎外之 50 磅彈產生，或由 20 呎外之 600 磅彈產生。

就已知數字，混凝土遮之耐力較磚遮超過極多。故現今多採用混凝土者，據英國內務部實驗之報告，50 磅直擊彈所生之損害寬度，磚牆遮為 55 呎，鋼筋混凝土遮為 20 呎，600 磅直擊彈之損害寬度，磚牆為 190 呎，混凝土為 50 呎，破損面積，二者之比為 10 比 1 至 2。

沉入式防空壕

防空壕 (Trench Shelter) 內用橫樑支持者，似只承受土之下壓力，結果一極小之炸彈在近旁炸裂時，即能將壕溝邊牆擠倒，在乾燥天氣之鬆土中，危險更大，常因旁邊之崩潰使壕頂下塌，故側面影響，在防空壕中亦極重要。

設沉入式，鋼筋混凝土防空壕 (見圖) 牆厚 T 吋，自公式可列出其損害距如下：



此數字示牆一面之反壓力適足平衡炸彈所生之壓力。在強力土壤中，凝集力 (Cohesion) 能減小炸彈之壓力並增加損害距。

此種壕溝顯然較同樣構造之露天式功效較大，但其缺點為地下水之處理問題，進入階梯之阻塞恐慌，及感覺『已埋入土中』之心理上的損失。

半沉式防空壕

半沉式防空壕 (Semi-Sunk Shelter) 係一部分在地下之防空壕，似較完全露於地表或完全沉入地下者為佳，其強力可認為介於二種相同構造之露天式及沉入式之間。

防空網

各種遲導炸彈 (Delayed-action Bomb) 上有延時引信 (Time fuse)，即其導火線在第一次衝擊後開始燃燒， $\frac{1}{50}$ 至 $\frac{1}{100}$ 秒後始使炸彈爆裂。故炸彈在爆炸前能有充分時間穿透目的物，以破壞內部。但此種炸彈有一大缺點，即僅限於確中標的，始能奏效，例如降於軍艦旁 20 呎之水中，其爆炸時已至海面下 30 呎深處，自是毫無破壞能力，而快導炸彈則在接觸水面時即爆裂，能飛散其炸片及鐵塊對軍艦有所損害。遲導炸彈多屬於重壳，價值亦較貴甚多，故大多數場合不常用之。

今設計一防空網(見圖)對靈敏之快導炸彈有效。

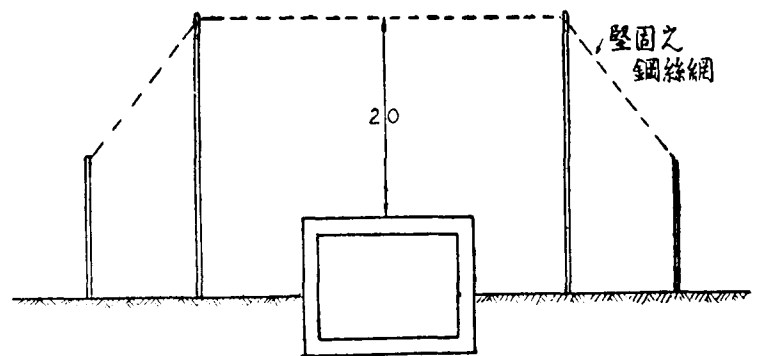
將堅固之 $\frac{1}{8}$ 吋鋼絲網用適宜之骨架支於防空遮上。炸彈按下時，先須經過防空網，快導炸彈之精密信管可因網之觸動而爆炸，故炸彈在相當距離之網處即先行爆炸，而防空壕所承受者僅為炸片之壓力。此法可避免炸彈之第一直擊，對防空工程之安全程度增加極多。

設一 600 磅含有炸藥 400 磅之炸彈，已知防空壕能承受 1000 磅/方呎之壓力，由公式

$$X = \frac{1000W}{h^2}$$

$$1000 = \frac{1000 \times 400}{h^2}$$

$$\therefore h = 20 \text{ 呎}$$



故一層鋼絲網當懸於防空壕上20呎高之處，如此即可防禦任何小於600磅炸彈之直擊。除遲導炸彈外，此種設備可使防空遮十分安全。

各種防空建築均可加設防空網，均能增加其原有之功效極多。網上更可加設各種偽裝，亦極有防空意義。

硬架建築內部之利用

硬架建築 (Frame Structure) 之內部，可利用為防空遮。外層之功效可視作如上述鐵絲網之功效，例如六層硬架建築之一二三層中心部，即可改為極安全之防空遮。絕無完全倒塌之虞。注意點為對外之通路及屋頂與防空遮之距離，此二點可視情形加以修改及增強。在較高處不必注意防毒之通風問題，然利用地窖時，則必須重視此點。防火問題亦須注意。各種引火材料當加以絕緣。

五十人防空壕之設計舉例

見附圖 (第末頁)

此設計為建築於乾土內之普通防空遮，各部尺寸均詳圖中。如在濕土內，則各牆當加厚2吋，如須兼具防毒功效，則通風管及各處小孔當免去，或在其上加以開關 (Stopper)，以供必要時閉絕空氣之用。

土方設計，係以掘地四呎深計算，其所掘之土即用以覆於防空遮上，成為小丘。

材料估計

材料及用途	乾地	濕地
掘穴挖土	5 1 立方碼	5 3 立方碼
小丘墊土	5 1 立方碼	5 3 立方碼
洋灰 (1 : 12) 漿	隨意	2 ½ 立方碼
混凝土	17 ½ 立方碼 (1 : 2 : 4)	2 0 立方碼 (1 : ½ : 3)

鋼筋	16cwt(1760磅)	18cwt (1980磅)
土瀝青 (½吋厚)	隨意	1 ¾ 立方碼
木料 (緊急出口門蓋、坐椅等)	2 5 立方呎	2 5 立方呎
大門	略	略
鐵梯	15 磅	1 5 磅
衛生設備	隨意增設	全
四吋地溝之蓋	8吋方格鐵柵蓋	全
屋頂通風及通光	5 吋鐵管帶 帽，長四呎	

第五章 防空建築之一般的構造細目

據英國內務部備忘錄之規定，及各歐洲國家之本地法，其中有若干條例，可作設計時之參考者，今摘要列舉於下：一

地板面積 (Floor Space)

- (1) 防空壕能容多於12人者，每人至少當有3平方呎之地板面積。
- (2) 由出入口自然通風之防空壕，(非防毒氣者)或由機械通風，通風速度低於每人每小時150立方呎空氣者，最小之地板面積為每人6平方呎。通風速度能至每人每小時450立方呎者，每人之地板空間可減至3 $\frac{1}{2}$ 平方呎，容積至少50立方呎。四週與土相接之總牆面須至少25平方呎。
- (3) 能防禦毒氣之密封防空壕，每人之最低地板面積為6平方呎容積50立方呎。

出入口

任何防空壕之重要點乃在入口之防禦，因其地非設計之計算所能慮及者。防禦法有用土岸，曲折牆……等法。

- (1) 入口之台階，通常用8吋踏面 (tread) 8吋踢腳板 (riser) 為合宜。
- (2) 入口處不必須有門，但為防止「不許可之進入者」，實亦必要，例如人數已滿定額時，則當閉門。防空壕之需防毒氣者，則必須用特製之門。
- (3) 容十二人以上之防空壕入口至少2呎6吋寬。所有防空壕之門當為內開式。(Open inward)
- (4) 各種防空壕當加設『緊急出口』(Emergency Exit)，以備出事時壕內一部分塌陷或入口被塞時之用。緊急出口當為外開式，重量宜輕，以便舉起或打開。距離入口當較遠。

通光

防空壕內必須有相當之光亮。可能範圍內當用折光法引用天然光。但沉入式有二呎以上覆蓋土者。自屋頂向內通天然光即不甚可能，可用金屬煙突，參看設計圖。

地勢與型式之採用

(1) 土壤乾燥，地下水水位僅有時升至表面下四呎者，用沉入式防空壕。

(2) 有石谷，煤炭礦坑，或其他斜峻地形，可利用形勢在內作露出式溝壕。

(3) 露出式防空壕必須至少與既成建築相隔20呎，或距離為既存建築物高度之半。

(4) 建築內部可改裝為防空遮，（參閱第四章）或將地窖加以支持裝置，改成防空遮。

(5) 能容50人以上之防空壕，必須分為數部，如地價無重要關係地勢當選取較廣範圍，使防空壕之構造疏散而不集中，不得建築每一分支能容多於200人之防空壕。

關於鋼筋(Reinforcement)

直擊彈之衝擊及一切震動，能使鋼筋與混凝土之黏結(Bond)鬆懈，稱為開裂性(Cleavage)此乃因聲波在二種物質中之進行速度不同。在鋼中強烈之振動乃使二種物質之黏着性(Adhesion)破壞。故如鋼筋之截面積過大，或排列成平順無參差者，均能增加其開裂性。

用鋼筋時，當盡量增加二者之黏結面積，即採用較多數目之截面極小之鋼筋。施工規定上為鋼筋之直徑當介於 $\frac{3}{4}$ 吋及 $\frac{1}{2}$ 吋之間。在厚平版中，排列時當相隔4吋至6吋。

落片現象之處理

落片現象(Spalling)，即常劇震時，混凝土天花板之最外層，附於鋼筋之外者，常能成塊形落下。防止法可加一層細鐵絲網(Mesh)於外，然後再用洋灰抹上。

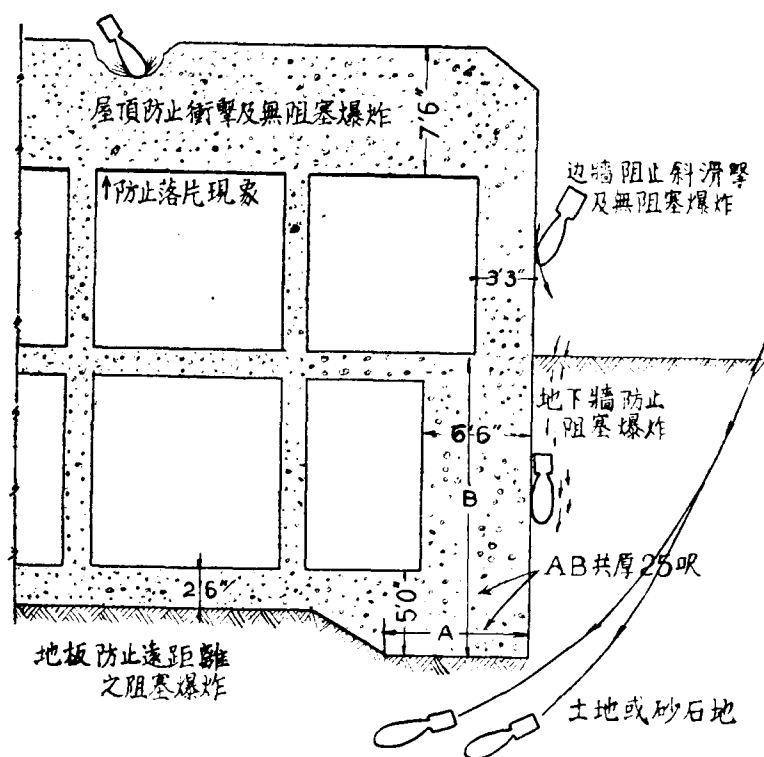
Anderson 博士防止此現象為在最外層鋼筋處，接以鋼絲網，或作一層鐵片襯裏(Steel lining)，或作一層第二混凝土版，(Second Slab)

第六章 防彈建築之討論

直擊彈防禦問題

能防巨型直擊彈之轟炸者，稱為防彈建築，此種工程之安全程度極高，故構造上所用材料之增加亦極多。就現今通用炸彈之動能推測，在地下二十呎建造七呎厚之鋼筋混凝土隱蔽所，始有防彈之安全性能，此為一般工程經濟所不許可者，故除去軍事工程具有必要性者以外，一般計劃之防空建築，甚少有採取此種者。

事實上，據此次大戰之統計，即使在劇烈之空襲時，各種防空設備之被直擊者，比較上究屬少數，故在工程學立場上，以及統計學立場上，普通均認為建造防彈建築為不經濟。最近之實際工程，多着重於爆風及碎片之防禦。但原則上，防禦炸彈直擊之設計對任何防空建築，亦均重要，因其可為加強現行防空壕之主要參考。



圖示炸彈擊中之可能情形及各部必要之防禦。屋頂受擊時，有直接衝擊及爆炸之破裂效應。炸彈之無阻塞爆炸，（Untamped Explosion）其效果較小，因炸藥氣體之爆發有一大部分在極短時期內散於空氣中。地下之阻塞爆炸，因受土壤之擠塞，壓力較大。

屋頂厚度

英國 Home Office Handbook 規定防制500磅中型炸彈

直擊之屋頂，需用5呎厚之特等鋼骨混凝土版。對於重壳炸彈則需7呎6吋厚，因衝擊與爆炸之綜合的破壞力極大之故。

地面下邊牆厚度

炸彈之進入土內者，順邊牆滑行，亦無衝擊效應，但因土壤之阻塞效應，能使不能發散之爆發氣體，發生猛烈之爆炸，故地下牆當較厚，通常防500磅彈用6呎6吋，對其他重壳炸彈，亦可用此同樣厚度。

地基下之牆之厚度

炸彈亦可由建築物躡入土中，然後在建築物下部爆炸，故該部亦當如屋頂及邊牆同等注意。牆下厚以5呎為標準。但牆底距地面遠至25呎以外時，每增一呎，可減厚6吋，最低限2呎6吋。

第七章 一般之經濟問題

地點之所在，關係甚大。建於重要繁盛區，地價極高，對於建築本身供給之價值，自難平衡，且此類建築之拆毀工事均極困難，故就經濟觀點上，此點當先加以注意。

沉入式防空遮壕，能以較小之用費盡較大之防禦，但建築勞力及地下水，及防毒諸問題較爲不利，故一般認爲半沉式較爲經濟。

有多數地方地下管接近地面者，使防空壕之構造頗多障礙，當於選擇地點時注意及之。

防空遮壕拆除後之種種經濟問題，亦當考慮。例如鐵筋混凝土構造或純鋼版構造或其他工程材料，其所用材料有無剩餘值 (Scrap Value)，此可在設計時加以考慮。

假如各種材料均可便利獲得，鋼製遮對乾土爲宜，因設置簡便，且剩餘值極高。半沉式之防空遮，以用鋼筋混凝土爲宜。木料防空壕，乃構造上最價廉之一種，但在濕土中壽命較短，且不能防火，如上層土爲小石或乾土者，此種木料防空壕最爲經濟。

利用已成之溝渠，地下鐵道，山洞，隧道及其他既成建築，可使用費顯著減少。

戰時鋼鐵需要激增，鋼鐵價值極高，節省用鋼，乃一般工程經濟之普遍要求，故可能範圍內寧可加厚混凝土版以完成其耐力，不可耗費鋼鐵，如有其他代用品，亦當盡先採用，否則雖建築本身防禦性能極高，而於工程經濟上則毫無價值。

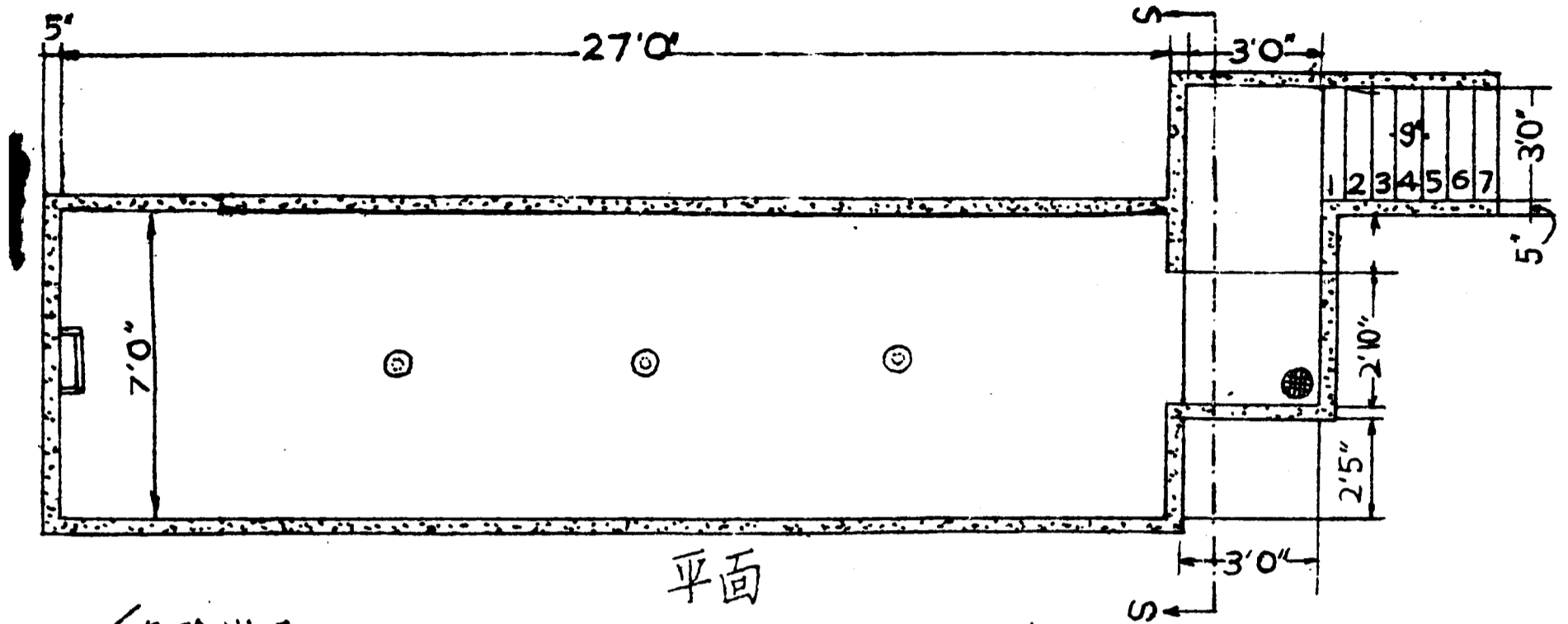
本文參考資料

1. Structural Defence (London H.M. Stationary Office)
2. The Design of Bomb-proof Shelters (Dr. D. Anderson, London The Institution of Civil Engineers.)
3. Experimental work on A.R.P. (Dr. R.E. Stradling.)
4. Blast E.P.A.R. Memorandum No. I. (Institution on C.E.)
5. Bomb-resisting Shelters (London H.M. Stationary Office)
6. Penetration of Bombs. E.P.A.R. Memorandum No. II.
7. Air-raid Precautions Handbook No. 54.

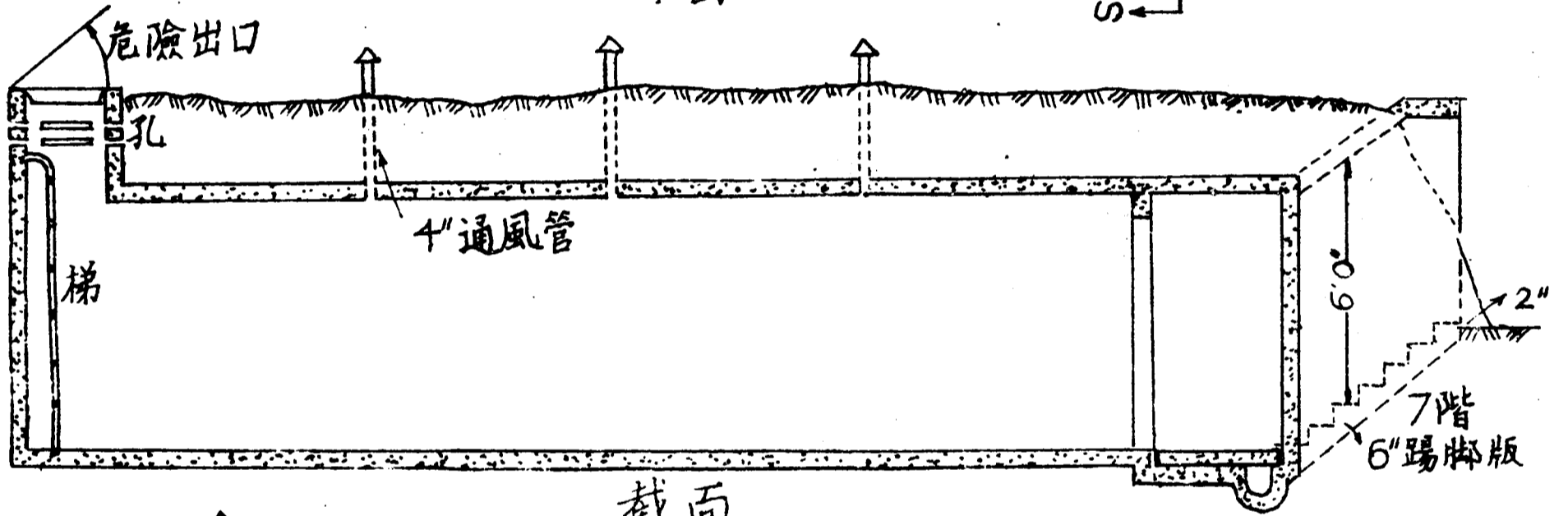
8. Earthquake Resisting Structures (Edward R. Dye Montana State College)

附注 本文承 Fr. Pollet 博士代集材料，並承譚真教授教正，謹此敬致謝忱。

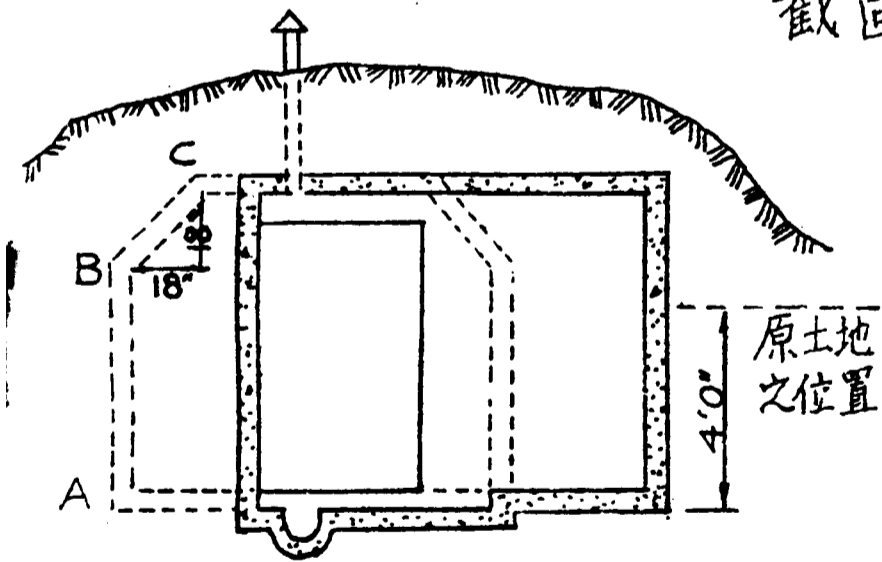
沉入式五十人防空壕



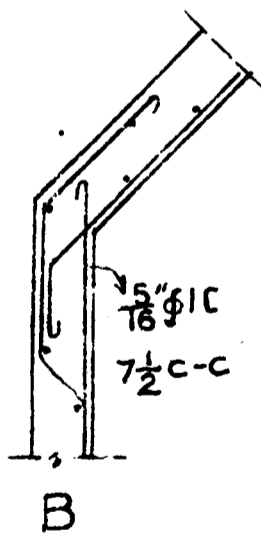
平面



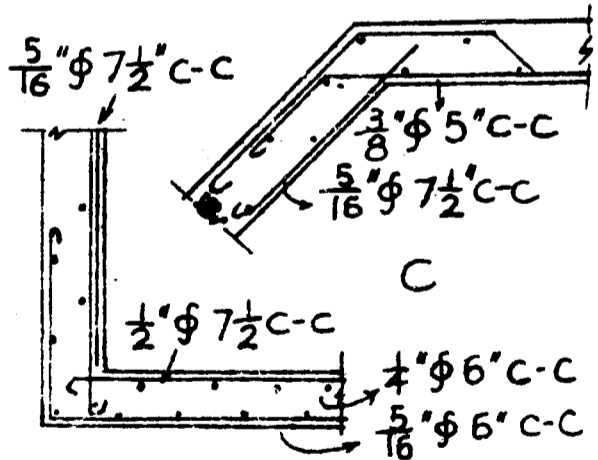
截面



截面SS



B



A

上海图书馆藏书



A541 212 0023 2520B

