

陸軍學術 中華民國一百一十年十月

工兵半年刊

第159期

ISSN:2225-5400

GPN:48097-04422

Journal of Army Engineer Semiannually No.159, OCT 2021



陸軍工兵訓練中心發行

第 159 期

陸軍工兵半年刊 版權頁

發行人 林佳躍
 社長 李安邦
 副社長 官明輝
 總編輯 康曉嵐
 主編 王嘉聖
 審查委員 戴承澤 黃正強 林銘振
 林明文 楊家驊 姚奇君
 韓子清 王禹景 陳泓瑜
 潘致中 吳文藝 楊家驊
 美術編輯 王嘉聖
 審校 郭旻鑫
 封面設計 王嘉聖

教學模型-吊橋

吊橋係指橋面主體由兩岸塔架支撐，且錨定於兩橋端臥樁(地錨)上之2根或2根以上主纜，所吊承而構成之橋樑。此為渡河基礎訓練課程中，介紹各式橋樑模型之一，使學員瞭解吊橋結構及運用方面；僅提供教學介紹無架設訓練。

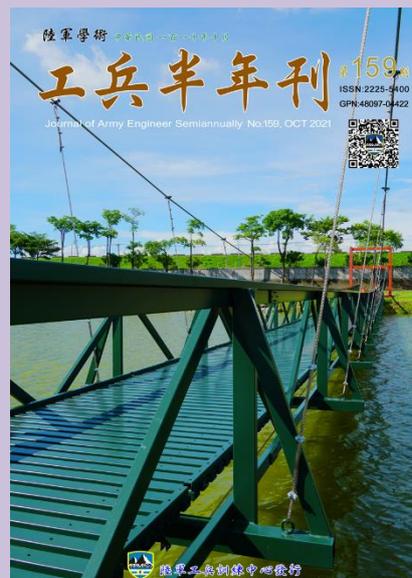
G P N 4809704422

ISSN 2225-5400

定價 非賣品



本著作採用創用 CC 為：
 「姓名標示-非商業性-相同方式分享」
 3.0 版臺灣



出版日期
 中華民國 110 年 10 月 15 日

創刊日期
 中華民國 60 年 11 月 16 日

發刊網頁
 國防部全球資訊網/軍事書刊/學術期刊
<https://www.mnd.gov.tw/PublishMPPeriodical.aspx?title=軍事刊物&id=17>

發行
 陸軍工兵訓練中心

地址
 高雄市燕巢區中西路 1 號

電話
 07-6169882

電子郵件
caes736141@gmail.com



第159期 目錄

軍事工程

地下結構體抗爆震研究-以加勁土
衰減爆震壓力之數值分析為例**曾世傑 中校**

陸軍官校 89 年班、現為臺灣科技大學營建工程研究所博士候選人，曾任連、營長、動員參謀官、計畫參謀官；現任國防大學陸軍指揮參謀學院軍事理論組教官

**楊國鑫 教授**

美國德州大學奧斯汀校區土木建築環境工程博士(2009)，曾任國立臺灣科技大學營建工程系助理教授、副教授、加拿大皇家軍事大學訪問學者(科技部國外短期研究計畫)；現任國立臺灣大學土木工程學系教授兼副系主任

**蔡營寬 中校**

中正理工學院 92 年班、美國佛羅里達大學博士 104 年班，曾任研發官、工程官；現任國防大學理工學院環境資訊及工程學系軍工組組長

1

軍事工程

邊坡之安全性檢查初探**王禹景 中校**

陸軍指揮參謀學院 98 年班、國防大學理工學院環資所
曾任工兵官、後參官、教官
現任陸軍工兵訓練中心軍工組教官

23

軍事工程

營造工程風險評估-以金陵營區裝修
工程為例**陳昶宇 少校**

陸軍指揮參謀學院 98 年班、國防大學理工學院環資所
曾任工兵官、後參官、教官
現任陸軍工兵訓練中心軍工組教官

46

教育訓練

**工兵支援阻絕設置能量分析-以聯
兵旅工兵連為例****吳珮瑄 少校**

陸軍官校 96 年班、國防大學理工學院機航所 102 年班碩士
曾任排、連長、隊長
現任陸軍工兵訓練中心戰工組教官

62

教育訓練

多用途橋車課程導入模擬器之研析**楊家心 士官長**

陸軍專科學校士官長正規班 42 期
曾任班長、副排長、連士官督導長
現任陸軍工兵訓練中心渡河組教官

75

美軍準則翻譯

**美陸軍聯合兵種部隊於城鎮地形
之作戰運用-第八章-障礙、地雷及
爆破運用****周寬渝 中校**

陸軍官校土木系 95 年班、高雄科技大學土木研究所 108 年
班碩士、國防大學陸軍指參學院 110 年班
曾任排長、連長、營後勤官、營參謀主任、研究教官
現為陸軍司令部工兵處工兵參謀官

99

期刊專欄

工兵大小事—恆春康莊紀念碑

實地採訪臺灣各鄉鎮區關於工兵老前輩協力民生經濟及建設之紀念碑，將鮮為人知的事蹟紀錄下來，而不忘先輩前人的辛勤付出。辛勤付出。

146

地下結構體抗爆震研究-以加勁土 衰減爆震壓力之數值分析為例

曾世傑中校、楊國鑫教授、蔡營寬中校

提要

- 一、國軍地面主要機甲部隊進行戰力保存階段時，將受限於既有之地形、地物、橋樑、涵洞、地下化固定設施等，導致其戰術戰法運用受限，若能於戰前建構一急造、堅固之地下結構體工事，將有助於提高作戰時成功公算。
- 二、本篇研究初步先探討國軍可能遭受之敵軍威脅、接續置重點於回填加勁土於軍事工程方面之運用、CFD(Computational Fluid Dynamics)數值模型建立與參數研究後，依研究成果進行分析與提出建議，期能對於地下結構體抗爆震等議題，提出具體可行之芻議。
- 三、本研究係在地下結構體上方鋪設衰減層，並以炸藥TNT2.7kg在地表爆炸後，探討加勁土衰減爆震效能，獲得以土工織布層數鋪設5層作為衰減層之衰減效果最佳，且加勁土回填厚度僅需102cm，尖峰爆壓值即可降低至48kPa，不致影響人體危害，對於軍事防護工程研究成果與作戰實務貢獻相當顯著。

關鍵字：土工織布、加勁土、抗爆震

前言

我國臺灣地處西太平洋邊陲地帶，緊鄰大陸地區東南沿海區域，雖與大陸隔著臺灣海峽，然因地勢南北狹長缺乏戰略縱深，如若敵軍採取猝然突襲進犯，我軍極有可能在未及應變下，導致第一線部隊作戰

人員肇生重大傷亡，為降低在遭受敵軍第一擊後之危害，勢必需藉由一系列具抗爆震性能之結構體，以防護我軍重要指管設施、部隊人員、武器以及戰略物資安全，此一規劃亦早已納入我軍歷年重要戰備任務與重大演訓驗證重點項目。¹上開所述之結構體，其存在位置與

¹ 國軍年度重大演訓均模擬敵軍採取猝然突襲後，國軍遂行戰力防護及戰力保存等各項作為，包含戰機優先轉場至具地下化功能之基地、地面部隊主要戰甲車進入戰術位置周邊地下化設施；另近年國軍於戰備任務訓練期間，將駐地機動至戰術

型式係以地表下方較符合作戰需求，其原因之一在於地下結構體上方回填土，能有效衰減地表爆炸引致爆震波高壓傳遞，其二同時兼備隱匿我軍企圖之目的，這恰是孫子兵法第四篇軍形篇所提及「...善守者藏於九地之下，善攻者動於九天之上...」之自保與全勝的概念。²國防部長邱先生於2021四年期國防總檢討中提及：「...建構防衛固守、重層嚇阻的堅實戰力...」，意指國軍須運用一切手段，以創新思維，籌建小型、大量難以反制之不對稱戰力，發展創新不對稱戰術戰法，³使國軍於開戰之前立於不敗之地。因此，在不進行軍備競賽條件下，建構具防禦能力地下結構體，將可提升國軍部隊於作戰時之整體戰力。然而，綜觀臺灣西部沿海灘岸一線，幾乎未見具抗炸能力之地下結構體永久設施，是故國軍地面主要機甲部隊進行戰力

保存階段時，將受限於既有之地形、地物、橋樑、涵洞、地下化固定設施等，導致其戰術戰法運用受限，若能於戰前建構一急造、堅固之地下結構體工事，將有助於提高作戰時成功公算。

一般於市區城鎮、鄉間道路所見之橋樑、涵洞、地下隧道與地下化設施，其最初設計僅達到「建築物耐震設計規範及解說」、「公路橋樑耐震設計規範」要求標準，並未將抵抗爆震力納入規範中設計，⁴然而地震力與地表炸藥爆炸後引致爆震力相比，無論震波、震幅大小、或在介質中傳遞型態等項，均有所差異。前開所提之既有地下化設施、地形、地物、橋樑、涵洞型式，僅能具備國軍作戰部隊進行隱蔽、欺敵、偽裝等功能，其抗炸能力仍有待評估。且建構具抗炸效能之地下結構體

位置各項欺敵、隱匿、戰力保存等納入重點演練科目，其中特別將戰術位置周邊之橋樑、涵洞、民間保修廠等地形、地物以及地下化設施等堅硬固定設施，納入戰力保存作為。摘錄自呂炯昌，〈漢光36號演習首日空軍戰機轉場佳山基地戰力保存〉，《NOWnews 今日新聞》，<https://www.nownews.com/news/5031844>，檢索日期：2020年10月27日；洪哲政，〈國軍戰備周國防部：演練重點是戰力保存作為〉，《聯合新聞網》<https://udn.com/news/story/10930/4967390>，檢索日期：2021年6月30日。

² 陸軍官校編印，《孫子兵法註釋》（高雄：陸軍軍官學校，民87年9月），頁111。

³ 中華民國110年四年期國防總檢討編纂委員會著，《2021四年期國防總檢討》（臺北：國防部，民110年3月），頁1-3。

⁴ 交通部，〈公路橋樑耐震設計規範〉，《中華民國交通部》，https://www.motc.gov.tw/ch/home.jsp?id=740&parentpath=0%2C2%2C738&customize=divpubreg_view.jsp&dataserno=419&aplistdn=ou=data,ou=divpubreg,ou=ap_root,o=motc,c=tw&toolsflag=Y&imgfolder=img%2Fstandard，檢索日期：2021年7月7日；內政部營建署建築管理組，〈建築物耐震設計規範及解說〉，《中華民國內政部營建署》，<https://udn.com/news/story/10930/4967390>，檢索日期：2021年7月7日。

仍有許多須探討事項，如回填料性質、現地土層夯實度大小，對於爆震波之傳遞均有所影響，是故有必要針對地下結構體抗炸效能進行一系列評估與研究。

蒐整國內、外文獻發現，美軍對於地下結構體抗爆震效能已有相關研究，並且對於結構體上方覆土層厚度提出約15cm至180cm建議；⁵另外筆者亦於2020年針對地下結構體埋置深度、壁體厚度等設計進行研究，並提出具體尺寸建議。⁶然而上述並未針對回填土性質進行探討，若能在不影響抗爆震效果下，減少結構體埋置深度，將有助於減少開挖以及回填時間，爭取急造式地下結構體構築時效，可大幅提升戰力防護效能。基於前述考量，本篇研究初步先探討國軍可能遭受之敵軍威脅、接續置重點於回填加勁土於軍事工程方面之運用、CFD(Computational Fluid Dynamics)數值模型建立與參數研究後，依研究成果進行分

析與提出建議，期能對於地下結構體抗爆震等議題，提出具體可行之芻議。

敵情威脅評估

國軍歷年重大演習中，共軍軍事威脅以及武力犯臺可能採取模式，均在「電腦兵棋推演」、「實兵演練」中進行驗證，藉以磨練戰場指揮官臨機決斷應處能力，並將推演成果之應變作為、全民總力、軍事動員、戰力保存、整體防空、資電作戰等項，據以納入經常戰備時期各項備戰計畫。⁷下列就當前我陸軍地面主戰部隊，可能面臨危害最大敵軍威脅進行初步探討，藉以分析我軍在戰力保存作為可能應處作為。

一、當面敵情研判

國內研究專家曾經對共軍犯臺模式進行研究，並歸納提出下列包含「低層次恐嚇、封鎖、有限攻擊、全面攻擊」等數種方式或階段。⁸上述犯臺方式可能同時多重併行實施，對我軍戰力造成相當大的危害，其中以火箭軍對我重要政軍指管系統、地下

⁵ The Departments of the Army, The Air Force, The Navy and The Defense Special Weapons Agency, Design and analysis of hardened structures to convention weapon effects, Washington, D.C., 1998, P8-1~8-2.

⁶ 曾世傑、蔡營寬、施述立，〈防衛作戰戰力防護之研究—以北部灘岸後方地區構築地下掩體為例〉《陸軍工兵半年刊》，第156期，2020年6月，頁23-29。

⁷ 國防部軍事新聞通訊社，〈「漢光37號」演習複合式兵棋推演 達預期訓練目標〉，<https://mna.gpw.gov.tw/news/detail/?UserKey=939deb63-36e6-46af-9c05-fb47cc0004a2>，檢索日期：2021年7月1日。

⁸ 劉廣華，〈論中共可能犯台模式與我國因應之道〉《全球政治評論》，第6期，2004年4月，頁81。

指揮所、機場、港埠等固定設施危害最大，⁹後續登島作戰階段，將以陸航旅等具高度機動力部隊，對我戰甲車等移動式目標進行精準火力打擊，¹⁰其砲兵旅則優先以我軍固定式掩體陣地或機動力較差部隊進行摧毀與攻擊，¹¹均將造成我地面主戰部隊重大傷亡。

二、對我危害最大之敵軍威脅

依共軍近年來軍力發展，其陸、海、空、火箭軍部隊均有對臺進行火力遠程打擊之能力，為使本篇研究聚焦，僅就初始作戰與島上作戰階段火力打擊進行探討，此期間對我陸軍地面部隊危害最大威脅，應屬火箭軍、陸航旅、砲兵旅等遠程火力打擊部隊，下列就共軍由演轉戰伊始至島上作戰期間，對我最大威脅進行分析。

(一)火箭軍優先對我軍事固定設施、陣地進行精準導彈攻擊

共軍作戰伊始，極可能運用火箭軍彈道導彈針對我政、軍指管系統、海空基地、各式掩體、陣地、地下化設施進行一系列火力精準打擊，以取得制電磁、制空、制海權為其優先主要目的。因我國現有具軍事防護能力之地下化設施興建已行之有年，其遭受共軍第一擊導彈攻擊可能性，亦早已納入歷年漢光演習之重點驗證科目，因此在原軍事地下化工程設施附近，應尋找具相同功能之地下化設施作為因應，或是建構具抗炸能力之急造地下化工事，以降低敵軍火力對我產生之危害。

(二)砲兵旅、陸航旅對我具機動力之戰甲部隊實施火力制壓

集團軍下轄砲兵旅編制之火砲有 03 式多管火箭砲、05 式自走砲、自行迫榴砲、07 式自走砲、89 式火箭砲等型式，進入島上作戰階段後，可遂行

⁹ 彈道導彈雖然對於固定設施可發揮強大效果，惟須先期確認對象目標所在座標位置，然而對於移動中或經常機動之部隊，其攻擊性較差；且導彈發射仍具有準備時間較長、發射陣地間機動費時、無明顯隱掩蔽設施等限制因素。摘錄自陳振國、杜建明，〈中共火箭軍戰術彈道導彈對我軍事之威脅與因應對策〉《海軍學術雙月刊》，51 卷第 6 期，2017 年 12 月，頁 77。

¹⁰ 共軍陸航旅曾進行多機型、多彈種跨海突防突擊演練，其中多彈種係指導引飛彈、火砲、雷達、通信陣地等固定目標攻擊之彈藥，亦有對戰車等機動目標攻擊之彈藥。摘錄自沈明室，〈共軍陸航及空中突擊部隊近期訓練的趨勢〉《國防安全雙週報》，第 31 期，2021 年 6 月 25 日，頁 18。

¹¹ 共軍集團軍砲兵旅下轄 03 式 300 毫米遠程火箭炮(12 門火砲)、05 式 155 毫米履帶式自行榴彈炮(18 門火砲)、PCL181 式 155 毫米卡車載加榴炮等大口徑火力，其中 05 式自行榴彈炮最大射程超過 50 公里，最大射速超過 8 發/分鐘，射擊反應時間不超過 1 分鐘。摘錄自國平軍史，〈集團軍砲兵旅強大的火力輸出〉，《今日焦點》，<https://buzzly.net/p/JtKR10vi/>；晨曦軍情，〈我國陸軍砲兵旅，目前裝備了哪些火砲，實力有多強？〉，《百度百科》，<http://baijiahao.baidu.com/s?id=1642111110606379761&wfr=spider&for=pc&searchword=%E7%82%AE%E5%85%B5%E6%97%85%E6%9C%89%E5%A4%9A%E5%B0%91%E7%81%AB%E7%82%AE>，檢索日期：2021 年 9 月 7 日。

地對空、地對地火力打擊；¹²另陸航旅攻擊直升機可掛載機砲、火箭彈、反坦克、空對地、空對空飛彈等，作戰期間將對我軍人、裝及軍事設施造成重大損害，¹³其中就 S-5 航空火箭彈攻擊能力言，其主要攻擊對象為地面機甲部隊與掩體、陣地等地面目標，因中共陸航旅不受地障限制、機動力迅速、火力強大，其殺傷力可造成地面目標重大傷損。

(三)應處作為建議

上開所提之地下化軍事設施遭受共軍火力打擊後，其原本防護力將大幅下降，我軍勢必有所因應，以強化戰力保存能力。除提高我軍戰甲部隊防護力外，其機動力、隱、掩蔽、欺敵等措施亦須優先考量；另為有效進行敵軍威脅分析，本篇研究將以對我危害最大之共軍陸航旅掛載武器，進行抗爆震研究，初期先以掛載之火箭彈彈種為地表爆炸威脅源，並在前人研究基礎上，進一步建構適切數值模型實施分析。

有關地下結構體抗爆震方面研究，國內軍事人員已就

中共衛士火箭系列，對我地下掩體造成危害影響，進行詳細研究分析，並成功模擬火箭於地表爆炸後，爆震波傳遞至土層、地下掩體內部之衰減現象。¹⁴然而前人研究中，如欲將爆震波衰減至對人體傷害最低之爆壓下，其地下掩體上方之回填土至少須達 7.5 公尺，是故須進行深開挖，其所耗費時間與工程技術相當費時且複雜，對於應急作戰階段實施急造式地下結構體言，較無法符合作戰需求。因此，若能在兼顧防護力之前提下，可進一步將加勁土納入抗爆震整體研究考量，有效減少結構體上方回填加勁土層厚度。惟必須對加勁土實施爆震衰減效能評估後，方可得出建議之加勁土尺寸設計參數。

土工合成材料與加勁土運用於軍事防護工程探討

加勁土壤工法係運用土壤與加勁材料之相互磨擦作用，予以提高土壤整體間之穩定性，此一工法主要使用細長比高、富撓曲性且張力強度大之鋼材或土工合成材料，置放於填土區

¹² 〈軍改 5：集團軍屬炮兵旅〉，《搜狐》，https://m.sohu.com/n/483108577/?pvid=000115_3w_a，檢索日期：2021 年 9 月 7 日。

¹³ 〈武直-10〉，《百度百科》，<https://baike.baidu.com/item/%E6%AD%A6%E7%9B%B4-10/5543885>，檢索日期：2021 年 9 月 7 日。

¹⁴ 曾世傑、蔡營寬、施述立，〈防衛作戰戰力防護之研究—以北部灘岸後方地區構築地下掩體為例〉《陸軍工兵半年刊》，第 156 期，2020 年 6 月，頁 29。

內，以增加支承力、減輕側向土壓力，進而提升加勁土體穩定性。¹⁵一般常見地工合成材料有地工流網 (geonets)、地工格室 (geocells)、垂直排水帶 (geodrains)、地工磚 (geofoams)、地工格網 (geogrids)、地工織物 (geotextiles; woven & nonwoven)，其功能為加勁、排水、過濾、隔離等，而常見於土木水利工程用途有土石籠袋、地工砂袋、¹⁶加勁擋土牆、加勁邊坡、加勁路堤等。¹⁷在軍事方面用途，常見有地工織布抵抗彈藥貫穿、加勁土運用於急造組合式抗爆震擋牆、靶場背彈面擋土牆等，其主要功能有衰減、吸附爆震波能量，下列分別就軍事方面用途進行抗爆震機制探討。

一、地工織布抵抗貫穿力

由於地工織物聚合物複合性材料具備抗貫穿勁度以及高吸附衝擊波能力，已逐漸廣泛運用於國防產業，此外因材料形狀與特性，也被用於特定應

用之需求。在抵抗子彈貫穿研究方面，織物聚合物複合性材料透過變形、分層以及層間剪力作用，吸附子彈動能以延遲子彈貫穿速度。¹⁸另外彈道撞擊能量穿透地工織布時，將會因為地工織布貫穿點周邊拉伸變形，而導致貫穿能量轉變成地工織布材料拉伸能量取代，¹⁹可進一步研判此拉伸變形係因地工織布張力而形成張力膜效應，而子彈貫穿動能經過地工織布後透過張力膜效應而消散。

二、急造組合式抗爆震擋牆

受限於防衛作戰應急作戰階段時間短促，為使我軍作戰部隊與敵接戰時，具備較高持續戰力，在工事阻絕設施與各式掩體建構要求，必須要能夠具備快速組裝、現地取材性質。國內外軍事防護工程研究人員針對組合式掩體 (HESCO) 已提出相關研究，並舉出美國、泰國等世界各國組合式掩體案例比較，其中美軍長期處於戰地之故，因此研

¹⁵ 蘇茂林、劉俊杰、李錫霖，〈加勁工法在公路工程之應用探討〉《台灣公路工程月刊》，2005年4月，第31卷第10期，頁12-13。

¹⁶ 周南山，〈地工合成材料在永續工程之應用〉，《中華民國環境工程學會電子報》，2016年第2期，https://www.cienve.org.tw/epaper/105_2/tech1.aspx，檢索日期：2021年7月2日。

¹⁷ 郁興實業，〈加勁土壤結構〉，《郁興實業產品暨工法介紹》，<https://yurhsin.com/blog/2015/06/24/geogrid-retainingwall/>，檢索日期：2021年7月2日。

¹⁸ Phadnis V A, Pandya K S, Naik N K, Roy A, V V Silberschmidt. (2013). Ballistic impact behaviour of woven fabric composite: finite element analysis and experiments. J Phys Conf Ser 451:012019.

¹⁹ Martínez-Hergueta F, Ridruejo A, González C, LLorca J. (2017). Numerical simulation of the ballistic response of needle-punched nonwoven fabrics. International Journal of Solids and Structures. Volumes 106-107, 56-67.

發出多功能性之組合式掩體，除可作為砲台、戰車、直升機等重要武器裝備掩體外，²⁰且經過強化後之土石籠袋圍束後，大幅提升抗炸效能，在兼具快速組裝條件下，其功能可達急造組合式抗爆震擋牆。圖 1 顯示美軍於戰地當中，運用鐵絲網、土工織布改良後之組合式掩體(其組成與外觀類似我國土木水利工程常見之土石籠袋)，²¹並以大量現地砂土材料作為回填料，即可快速依照作戰需求組合成各類型掩體、瞭望台，大幅提升戰場戰力保存能力。

除上述探究不同類型與功能外，印度有學者針對 HESCO 急造組合式抗爆震擋牆，延伸其軍事與商業方面用途(詳如圖 2 所示)，同時實施衝擊波試驗驗證，並獲得下列具體成果：

1. 急造組合式抗爆震擋牆可以有效衰減衝擊波。
2. 衝擊波衰減因子取決於平均粒徑大小與擋牆厚度。
3. 土工織布隔絕砂土與衝擊波直接接觸，進而降低應力傳遞幅度。



圖 1 美軍於戰地組裝急造組合式抗爆震擋牆：(a)組裝並回填現地砂土；(b)多層堆疊組立；(c)各類型掩體；(d)4 層式瞭望台

資料來源：摘錄自 HESCO，〈Defensive Barriers, Protective Structures and Body Armour〉，《Army Technology》，<https://www.army-technology.com/contractors/infrastructure/hesco/>，檢索日期：2021 年 7 月 2 日。

²⁰ 吳奇諭，〈防衛作戰中組合式掩體運用之研究〉《陸軍工兵半年刊》，第 150 期，2017 年 5 月，頁 2-3。

²¹ HESCO，〈Defensive Barriers, Protective Structures and Body Armour〉，《Army Technology》，<https://www.army-technology.com/contractors/infrastructure/hesco/>，檢索日期：2021 年 7 月 2

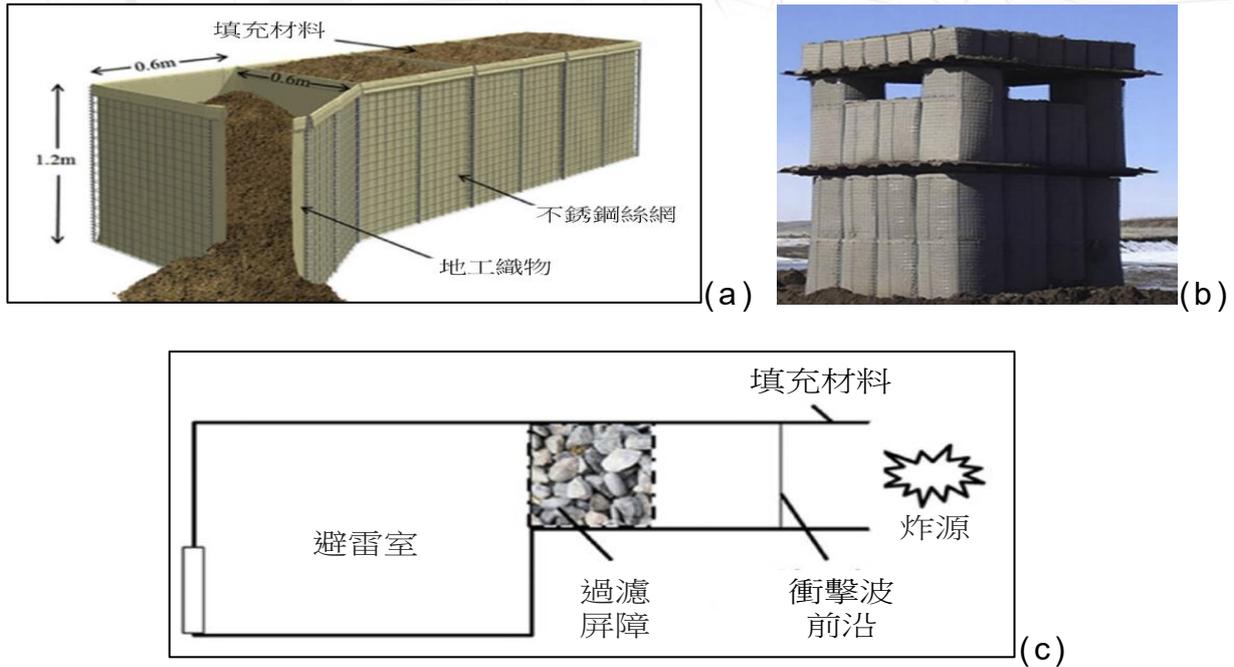


圖 2 急造組合式抗爆震擋牆功能與用途：(a)組裝後回填材料形成 0.6x0.6x1.2m 抗爆震擋牆；(b)工事掩體；(c)密封採礦室通風管道，阻隔衝擊波
資料來源：摘錄自 Padmanabha Vivek, Sitharam Thallak G.. (2017). Shock wave attenuation by geotextile encapsulated sand barrier systems. Geotextiles and Geomembranes. Volume 45, Issue 3, June 2017, Pages 149-160.

4. 抗爆震擋牆回填合適材料後，即可成為有效保護系統，以衰減衝擊波傳遞。

5. 由於土工織布與鐵絲網由外向內包覆回填土，其本身材質無法承受高溫與衝擊波直接壓力，須依實際環境條件適切調整土工織布強度。

三、射擊訓練場背彈牆加勁土堤

軍事射擊訓練場地通常會於現地選定山坡坡趾或坡面處進行施作，²² 圖 3 所示係我軍某區域大型演訓射擊場地，其背彈面土體能衰減彈藥射擊後所產生爆震波，且爆炸後之碎片不致傷害靶場附近鄰房、

人員與固定設施之安全。然而即便做好各項防護措施，炸藥爆炸引致爆震波仍對周邊鄰舍造成不小影響，並容易引起周邊靶場民眾陳抗事件發生，因此有必要針對大型火砲訓練場進行爆震影響評估，如有造成明顯危害區域，建議可進一步實施訓練場減震工程作為因應。

有關靶場減震工程，國內均有相關實際案例，以戰車砲射擊訓練場背彈牆施作工程為例（詳如圖 4），²³ 在射擊場背彈面處，施作大面積加勁土堤工程，將可以有效達到靶場爆震波減震效果。

²² 張忠義，〈聯合演訓場地〉，《自由時報》，<https://news.ltn.com.tw/news/politics/breakingnews/1109090>，檢索日期:2021年7月2日。

²³ 屹祥有限公司，〈戰車砲被彈牆加勁堤〉，《加勁擋土牆實績專區》，<https://photo.xuite.net/a601.b489/5618613/5.jpg>，檢索日期:2021年7月2日。



圖 3 國內某大型聯合演訓射擊場地
(靶區位於自然邊坡表面處)

資料來源：修改自張忠義，〈聯合演訓場地〉，《自由時報》，
<https://news.ltn.com.tw/news/politics/breakingnews/1109090>，檢索日期：2021 年 7 月 2 日。



圖 4 戰車砲射擊訓練場背彈牆加勁土堤

資料來源：修改自竝祥有限公司，〈戰車砲背彈牆加勁堤〉，《加勁擋土牆實績專區》，
<https://photo.xuite.net/a601.b489/5618613/5.jpg>，檢索日期：2021 年 7 月 2 日。

國外亦有加勁擋土牆爆震實例研究，並進行全尺寸爆炸試驗，²⁴ 文獻中顯示(詳如圖 5)，加勁擋土牆爆炸試驗配置圖，在一個 3 米高之回包式加勁擋土牆體，遭受距離 5 米處炸藥爆炸後之動態反應行為，可以發現爆震波雖然使土工織布表面產生燒毀、融蝕以及些微向內壓縮之現象，但就加勁擋土牆整體而言，仍然維持良好直立性，此係土層外部因有土工織布包覆而產生圍束作用，以及內部織物與土壤之間摩擦力，得以強化土體穩定性。

四、土工織物與加勁土壤抗爆震機制探討

綜合上述，可以得知土工

織物與加勁土壤對於抵抗子彈貫穿、以及炸藥爆炸後產生衝擊波、爆震波，具有不同程度消散能量的效果，分析如後。

1. 土工織物張力膜效應衰減子彈貫穿能量

現有國防產業中，製造抵抗子彈貫穿之防彈衣材料，除了使用金屬、陶瓷、高性能複合材料板等硬質防彈衣之外，另有以高性能纖維如尼龍、凱芙拉或者超高分子聚乙烯等軟質材料組成之軟式防彈衣。²⁵ 子彈因撞針撞擊彈藥底火引發彈殼內部發射藥，並將彈頭由槍管發射至目標物，子彈彈頭飛行期間因為空氣間產生摩擦力，而導致隨距離越遠，動能也

²⁴ Ng C. C, Chew S. H, Karunaratne G. P, S. A. Tan, S. L. Loh. (2012). Flexible and Rigid Faced MSE Walls subject to Blasting. *Advances in Transportation and Geoenvironmental Systems Using Geosynthetics*. 332-336.

²⁵ 李赫，〈製造防彈背心必備的纖維「克維拉」，為何能夠強鋼勝鐵？〉，《PanSci 泛科學》，2018/11/22，<https://pansci.asia/archives/149495>，檢索日期：2021 年 9 月 7 日。

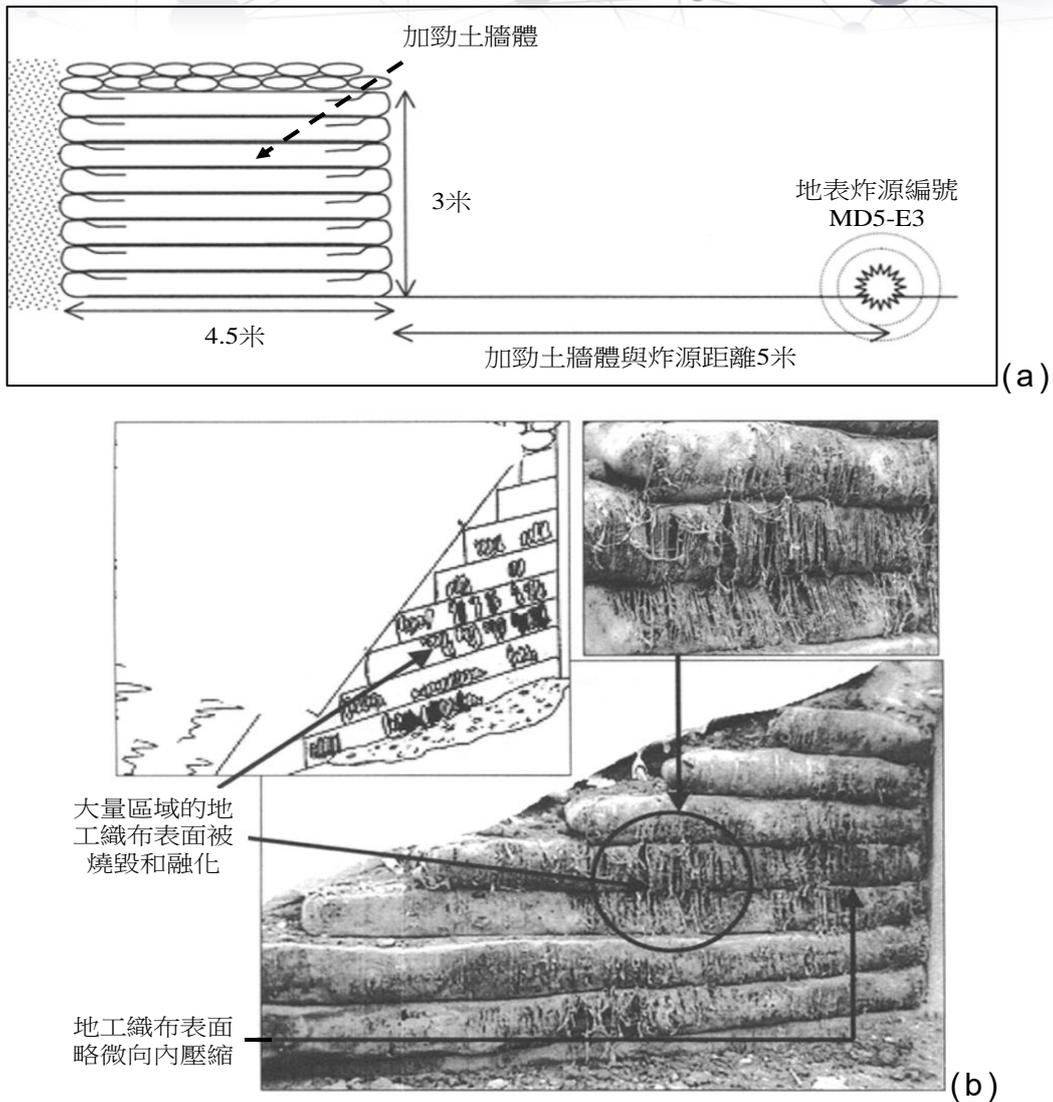


圖 5 加勁土牆體爆炸試驗配置圖：(a)爆炸試驗前；(b)爆炸試驗後

資料來源：摘錄自 Ng C. C, Chew S. H, Karunaratne G. P, S. A. Tan, S. L. Loh. (2012). Flexible and Rigid Faced MSE Walls subject to Blasting. *Advances in Transportation and Geoenvironmental Systems Using Geosynthetics*. 327~330.

逐漸消散。在國外所進行相關試驗中，亦顯示出子彈貫穿織物材料期間所導致之能量損耗、延遲子彈貫穿速度，除了材料本身提供摩擦力之外，更有一大部分係因織物材料本身經過拉撐後，所產生之張力膜效應、拉伸變形、剪切效應、纖維毀壞等方式吸附子彈衝擊能量。

2. 土石籠袋以圍束力衰減衝擊效能

土石籠袋運用於軍事方面上，即是常見急造組合式抗爆震擋牆。係以鐵絲構成網狀並內嵌地工織布，其特點快速組裝，並且可回填現地土壤等粒狀材料，組構完成後，其穩固機制主要由地工織物與鐵絲網

貢獻支撐力量，此一圍束力已有效提升土石籠袋抗爆震強度。承受炸藥爆炸後引起衝擊波與爆震力之防護關鍵因素，主要是由土石籠袋內部之粒狀土壤提供顆粒之間摩擦力、剪力作用、地工織布降低應力傳遞幅度等。然而土石籠袋外側之地工織布表面容易遭受來側面炸藥爆炸後之高溫、高壓、爆炸碎片而損壞。

3. 加勁土堤、擋土牆藉織物摩擦力消散衝擊波能量

加勁土堤、擋土牆製作主要以回包式加勁工法，在土壤中鋪設加勁材料，藉由土壤與加勁材間之互制行為產生摩擦阻力以穩定土體，同時因本身自重關係，可以抵抗牆體背後的側向土壓力或其他應力。²⁶當加勁擋土牆來自於正面或側面某個距離之炸藥爆炸產生衝擊波效應時，衝擊波傳遞至加勁土體時，因為土體內部加勁材料與土壤互制作用後產生摩擦力，有效衰減土體內部衝擊波能量。然而土體表面織布也容易產生燒毀、融蝕、以及遭受爆炸後碎片破壞情形，需要局部處理，以恢復其原有功能。

4. 地下結構體抗爆震實例

在國、內外研究學者、業界工程所實施之地工織布、加勁土壤在抗爆震研究以及工程實務運用，可以瞭解其抵抗外力動態反應以及對衝擊波、爆震波防護機制。因此若能進一步將地工織布運用於地下結構體開挖施工後之回填土壤中，其衰減爆震波可以達到減壓減震的功能，將能有效提升地下結構體防護力。

美軍對於地上或地下結構體防護作為，已做了一系列爆炸試驗方面研究，以地下結構體抗爆震研究為例，由圖 6 可知美軍在地下結構體防護設計配置概念，²⁷其威脅主要區分結構體上方、側面以及底層等三個方面，在一預劃施作地下結構體防護工程區域中，在完成現地土方開挖、支撐工法、底版、樓版、主體結構物施工後，分別從側方回填土壤，並在結構物上方實施回填土衰減層設置，最後施作混凝土抗炸板或以碎石覆蓋。美軍亦有進行在不同條件威脅下，炸藥爆炸引致地表衝擊波、爆震應力在回填土層傳

²⁶ 盟鑫永續綠色工程教育園區，〈回包式加勁擋土牆工法介紹〉，《綠色工法展示》，<http://www.ecopark.gold-joint.com/product.php?CNo=16&PNo=12>，檢索日期：2021年7月3日。

²⁷ The Departments of the Army, The Air Force, The Navy and The Defense Special Weapons Agency, Design and analysis of hardened structures to convention weapon effects, Washington, D.C., 1998, P8-1.

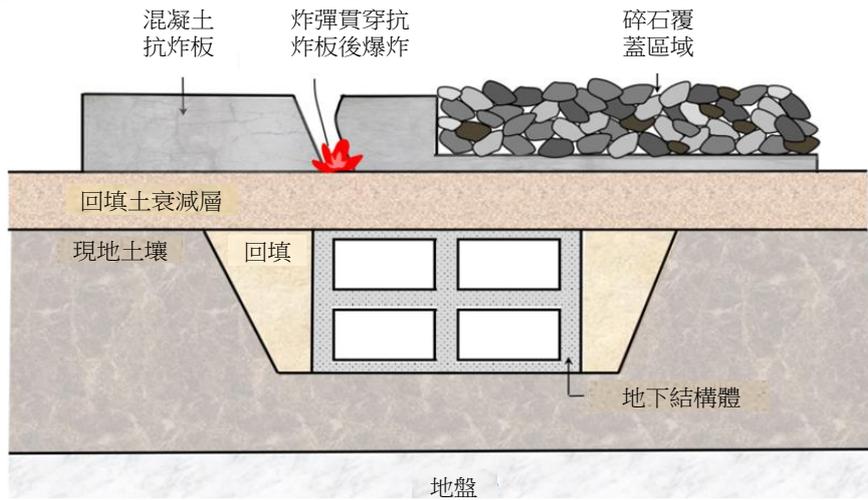


圖 6 美軍地下結構體防護敵軍威脅示意圖

資料來源：修改自 The Departments of the Army, The Air Force, The Navy and The Defense Special Weapons Agency, Design and analysis of hardened structures to convention weapon effects, Washington, D.C., 1998, P8-1~8-2.

遞效益之研究，並進一步提出地下結構體上方衰減層設計尺寸約 15cm 至 180cm 建議；另就衰減層回填土壤描述，美軍亦提供乾砂、濕性黏土、粉質黏土、礫質黏土、塑性黏土、砂質黏土等土壤物理性質數據參考。然此衰減層中並未加入地工織物等材料，將可作為後續相關研究議題深入探討。

現地土壤會因為地域性不同，其物理性質條件會有所差異。上述美軍試驗土壤主要來源均在美國地區，與我國現地土壤仍有相當差異，因此在進行回填加勁土抗爆震分析研究時，必須先就臺灣現地進行土壤與地工織物物理性質試驗，其所得研究成果方能符合我國加勁土抗爆震設計要求。

數值模型案例研究

筆者曾經對地下結構體上方衰減層抗爆震效能分析進行研究，在所建構數值模型中，共計建置空氣、TNT炸藥、土壤、地下結構體等四種元素網格，並針對不同掩體結構厚度、不同埋置深度實施程式運算與分析，獲得200公斤TNT在地表爆炸，衰減層至少需建構至7.5米，結構體內部爆壓始可降低至不造成人體危害程度等具體成果。²⁸

然而前述衰減層僅以回填砂土實施研究，數值模型建立係以2維簡化模型探討，雖然有效減少網格數量，然與現地場景仍有些許誤差。下列程式分析中，將在前述研究基礎上，建構3維數值模型，持續進行加勁

²⁸ 曾世傑、蔡營寬、施述立，〈防衛作戰戰力防護之研究—以北部灘岸後方地區構築地下掩體為例〉《陸軍工兵半年刊》，第156期，2020年6月，頁19-22。

土衰減爆震分析，為減少網格劃分數量與計算時間，僅就衰減層所發揮效能探討，並未探討地下結構體內部爆壓數值。

其中敵軍威脅來源，則調整為共軍對我危害最大之敵軍威脅中，陸航旅所掛載火箭彈武器—S-5M 航空火箭彈，²⁹TNT 等值重量概約 2.7kg，並假定火箭彈發射後，穿透混凝土抗炸板，於衰減層上方爆炸；另衰減層主要組成成分，係使用筆者 2020 研究相同性質砂土，並於內部增加不同性質土工織布(Geotextile)後，針對土工織布鋪設層數、材料勁度、降伏強度等項，進行爆壓衰減效能之研究，下列就材料參數、數值模型建立、參數研究等部分實施說明。

一、材料參數概述

本研究運用 LS-DYNA 爆震分析軟體進程式分析，數值模型完成建構後，需要輸入空氣、炸藥、土壤、土工織布等 4 種材料參數，同時輸入空氣、炸藥狀態方程式後，得以進行運算。

程式驗證部分，筆者蒐整國、內外文獻後，已於 2020 年研究中，針對爆震分析軟體數值模型完成驗證，所得到驗證數據與文獻值相近，³⁰除摘錄前次研究中空氣、炸藥、土壤參數與狀態方程式進行分析外，尚有部分數據係依據材料物理性質試驗、國外期刊文獻、筆者研究成果等資料，進行比對換算後取得，下列就土壤、炸藥、空氣、土工織布材料參數實施說明。

(一) 土壤材料參數

土壤材料(SOIL_AND_FOAM)，LS-DYNA 編號第 5 號。在某個狀態下，土壤會像是一個流體一樣存在，因此需要給予幾何邊界或是在一結構內部被限制，其內建參數均可由土壤力學試驗求取。³¹ 主要由土壤密度(RO，物理試驗)、動態剪力模數(G，動三軸試驗)、降伏函數(A0、A1、A2，靜三軸試驗)以及高圍壓下之應力應變(EPS1~EPS10、P1~P10，靜水壓縮試驗)等數值，對土壤模型進行描述。土壤參數整理如表 1 所示。

²⁹ S-5 航空火箭彈係共軍陸航旅此類型發射總重達 3.64kg，其中 TNT 等值重量概約 2.7kg，連續射擊下，殺傷半徑至少 100 米平方。摘錄自百科知識中文網編輯群，〈航空火箭〉，《百科知識中文網》，<https://www.easyatm.com.tw/wiki/%E8%88%AA%E7%A9%BA%E7%81%AB%E7%AE%AD>；摘錄華人百科，〈航空火箭彈〉，《華人百科》，<https://www.itsfun.com.tw/%E8%88%AA%E7%A9%BA%E7%81%AB%E7%AE%AD%E5%BD%88/wiki-8565395-7292275>，檢索日期:2021 年 7 月 4 日。

³⁰ The Departments of the Army, The Air Force, The Navy and The Defense Special Weapons Agency, Design and analysis of hardened structures to convention weapon effects, Washington, D.C., 1998, P8-1.

³¹ Livermore Software Technology Corporation, 〈LS-DYNA KEYWORD USER'S MANUAL VOLUME I〉, 〈LIVERMORE SOFTWARE TECHNOLOGY CORPORATION〉, P55-58。

表 1 土壤材料參數輸入參考值

* MAT_005			* MAT_AND_FOAM				
RO	G	BULK	A0	A1	A2	PC	VCR
1.466	4.49E-4	5.25E-3	0	0	0.567	0	0
EPS1	EPS2	EPS3	EPS4	EPS5	EPS6	EPS7	EPS8
0	-0.0189	-0.035	-0.0612	-0.0881	-0.1158	-0.1371	-0.1736
EPS9	EPS10						
-0.2115	-0.2509						
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
0	5.11E-5	7.34E-5	1.160E-4	1.58E-4	2.02E-4	2.33E-4	2.82E-4
P9	P10						
3.42E-4	5.49E-4						

資料來源：筆者自行研究整理自 Livermore Software Technology Corporation, 〈LS-DYNA KEYWORD USER'S MANUAL VOLUME I〉, 《LIVERMORE SOFTWARE TECHNOLOGY CORPORATION》, P55-58；曾世傑, 〈地下結構體爆震反應研究〉《國防大學中正理工學院軍事工程研究所碩士論文》(桃園), 2005 年, 頁 75。

(二)炸藥、空氣材料參數(進行文獻蒐整後得到)

炸藥材料(MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN), LS-DYNA 編號第 8 號。可以運用於高爆炸藥的爆炸進行建模模擬, 同時需要定義其狀態方程式。主要由炸藥密度、爆速、Chapman-Jouguet 壓力等數值對其進行描述；³² 另狀態方程式則需要輸入狀態方程式係數(A、B、R1~R2、OMEGA)、初始內能(E0)、初始相對體積(V0)等項, 始能計算分析。

空氣材料(MAT_NULL), LS-DYNA 編號第 9 號。³³ 這種材料允許在不計算軸差應力的情況下考慮狀態方程式, 可選擇粘度係數。此外, 可以進行拉伸和壓縮的侵蝕作用。此選項卡片僅需輸入空氣密度；另其

狀態方程式則須輸入狀態方程式係數(C4、C5)、初始相對體積(V0)等項, 始得程式計算。有關炸藥、空氣材料參數, 整理如表 2 所示。

(三)土工織布材料參數

土工織布材料(MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY), LS-DYNA 編號第 24 號。³⁴ 可以定義具有任意應力應變曲線和任意應變率相關性的彈塑性材料。主要由密度(RO)、材料勁度(E)、柏松比(PR)、破壞時降伏強度(SIGY)等數值, 對土工織布材料受力後之應力應變行為進行描述, 筆者蒐整國外文獻後, 針對程式輸入參數值選項進行比對計算, 並將此材料參數整理如表 3 所示。

³² 同註 31, P61-63。

³³ 同註 31, P64-65。

³⁴ 同註 31, P124-128。

表 2 炸藥、空氣材料參數輸入參考值

*MAT_008			* MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN				
RO	D	PCJ					
1.63	0.693	0.21					
*EOS_JWL							
A	B	R1	R2	OMEG	E0	V0	
3.72	0.03231	4.15	0.95	0.3	0.07	1	
*MAT_009				* MAT_NULL			
RO							
0.00129							
*EOS_LINEAR_POLYNOMIAL							
C4	C5	V0					
0.4	0.4	1					

資料來源：筆者自行研究整理自 Livermore Software Technology Corporation, 〈LS-DYNA KEYWORD USER'S MANUAL VOLUME I〉, 《LIVERMORE SOFTWARE TECHNOLOGY CORPORATION》, P61-65；曾世傑, 〈地下結構體爆震反應研究〉《國防大學中正理工學院軍事工程研究所碩士論文》(桃園), 2005年, 頁 94。

表 3 土工織布材料參數輸入參考值

*MAT_024		* PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY					
RO	E	PR	SIGY				
0.45	6.3	0.4	0.00471				

資料來源：文獻提供材料勁度為 18.75、降伏強度為 12.3，經過單位比例換算後，得到表列輸入值。筆者自行研究整理自 Livermore Software Technology Corporation, 〈LS-DYNA KEYWORD USER'S MANUAL VOLUME I〉, 《LIVERMORE SOFTWARE TECHNOLOGY CORPORATION》, P61-65；Kuo-Hsin Yang, Jung Chiang, Cha-Wei La, Jie Han, Ming-Lang Lin. (2020). Performance of geosynthetic-reinforced soil foundations across a normal fault. Geotextiles and Geomembranes. Volume 48, Issue 3, 357-373.

二、數值模型建立與分析

炸藥於地表爆炸後，會形成一個點震源，並藉由周圍介質(如土壤、空氣等)向外傳遞，為簡化此一複雜問題，並使本研究探討聚焦加勁土衰減爆壓之過程，故作以下假設，以利後續得到預期研究成果。

(一)為簡化數值模型計算時間及減少元素數量，仿真現地爆炸條件，故採用三維模型分析。並經由簡化模型與收斂性分析驗證後，採用二分之一簡化模型。

(二)數值模型運算最終僅需獲得地下結構物上方處，衰減後之爆壓數值，意指加勁土底層與地下結構體上方介面間之爆壓值，故無設置地下結構體，以減少網格數量。

(三)炸藥形狀方面，依炸藥重量換算正立方體體積，並取之邊長適當比例作為本分析模型網格尺寸依據。

(四)主要針對炸藥爆炸時所產生之瞬間爆震波傳遞現象進行分析。

(五)地下織布與土壤密合，程式以ALE流固耦合進行運算。

(六)邊界條件：爆震波在空氣、土中傳遞越遠，尖峰爆壓值愈小，而本節主要探討加勁土衰減爆壓過程，並不考慮由邊界所反射之爆震波影響，邊界條件均設置無反射。

有關數值模型建立相關尺寸，參據目前對我危害最大之敵軍威脅，優先考量於地表處(地表下方為衰減層)，設置重量 2.7kg 之 TNT 炸藥，於衰減層上方爆炸後引致爆震波傳遞至下方加勁土層。

美軍在地下結構體設置爆壓衰減層配置中，亦提出在未加勁條件下，衰減層厚度可

介於 15cm-180cm 之間。基於上述，本研究設置二分之一簡化數值模型，未加勁土層之衰減層厚度為 180cm、長 200cm、寬 100cm、地表炸藥 2.7kg(詳如圖 7 所示)；另於加勁土層中設置三層地工織布，並針對上述數值模型，區分地工織布層數、材料勁度、材料降伏強度等三種參數，進行分析計算。³⁵

三、加勁土案例研究與爆壓衰減機制

參數研究案例中，在相同炸源下，區分地工織布層數(2、3、5 層)、材料勁度(各增減 50%)、材料降伏強度(各增減

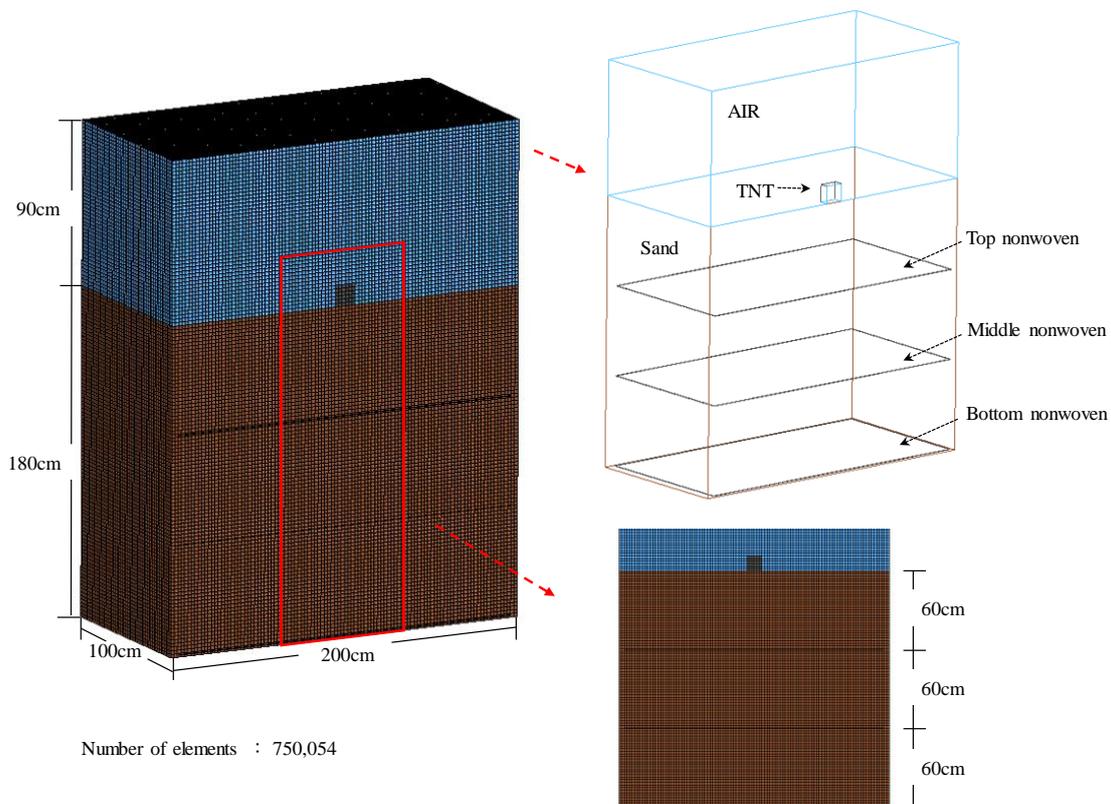


圖 7 衰減層加勁土數值模型配置示意圖

資料來源：作者依研究數據繪製。

³⁵ 本研究設置網格數量高達 75 萬，以 AMD Ryzen 5 2600 Six-Core Processor 3.4GHz (RAM 64G)計算，時間需時 3 天。

50%)等三種不同條件，進行參數研究，其成果詳述如後。

(一)地工織布鋪設層數

鋪設層數探討，係在土層中分別鋪設 2 層、3 層、5 層等三種層數之地工織布，進一步探討加勁土衰減爆壓的效果與層數增減的效應。由圖 8 數據顯示，在未加勁土層中，2.7kgTNT 炸藥於地表爆炸後之尖峰爆壓值高達 21 萬 kPa，隨著土層深度增加至 180cm，爆壓值亦逐漸衰減至 475kPa，仍對人體產生主要危害。³⁶

以加勁土底部衰減爆壓值探討：2 層地工織布降至 13kPa、3 層與 5 層均降至 1kPa 以下；以衰減爆壓值至 48kPa 以下，進行衰減層設計厚度比較：2 層地工織布之設計厚度降

至 157cm、3 層地工織布之設計厚度降至 142cm、5 層地工織布之設計厚度降至 102cm。依層數基準值言，進行層數增減預測，對其爆壓衰減均有不同程度影響。

(二)地工織布材料勁度 (Stiffness)

材料勁度探討，一般業界地工織布材料勁度可以隨著工程實際需要進行特製，材料勁度代表地工織布拉伸強度，數值越大其施作成本隨之提高、抗拉伸強度亦會增強，下列就常見之材料勁度大小進行分析(詳如圖 9 顯示)。以加勁土底部衰減爆壓值探討：當材料勁度達到 9.38 時，預測尖峰爆壓值降至 66kPa，仍對人體產生重大危害，另當勁度分別為

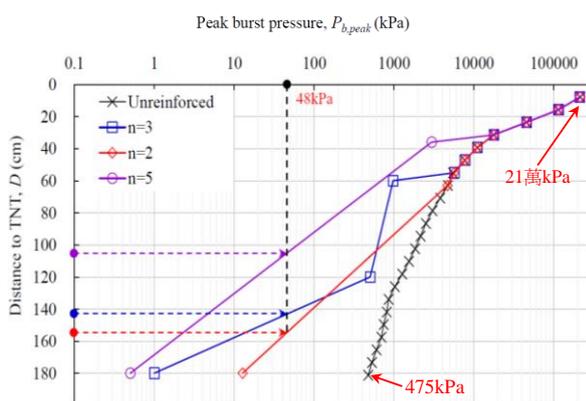


圖 8 地工織布數衰減爆壓效能
資料來源：作者依研究數據繪製。

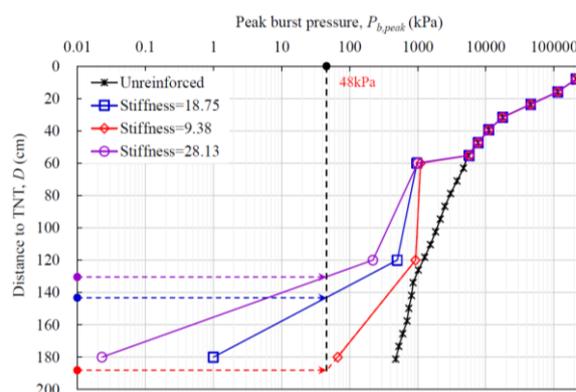


圖 9 地工織布材料勁度衰減爆壓效能
資料來源：作者依研究數據繪製。

³⁶ 依據美軍經驗公式建議，炸藥引致之爆震波，對於人體產生最大傷害為主要爆震，主要爆震達到 48kPa，即會對人體產生重大傷害，故本篇研究後續均以此為設計基準進行探討。摘錄自 The Departments of the Army, Air Force, and Navy and the Defense Special Weapons Agency, UTechnical Manual Design and Analysis of Hardened Structures to Conventional Weapons EffectsU, U.S., 1998.; 曾世傑、蔡營寬、施述立，〈防衛作戰戰力防護之研究—以北部灘岸後方地區構築地下掩體為例〉《陸軍工兵半年刊》，第 156 期，2020 年 6 月，頁 25。

18.75、28.13 時，其預測尖峰爆壓值均降至 1kPa 以下；以衰減爆壓值至 48kPa 以下進行衰減層設計厚度比較：材料勁度為 9.38 之設計厚度降至 189cm、勁度為 18.75 之設計厚度降至 142cm、勁度為 28.13 之設計厚度降至 130cm。依材料勁度基準值言，進行增減勁度數值預測，對其爆壓衰減各有不同影響，均可有效降低衰減層設置厚度。

(三)地工織布材料降伏強度 (Ultimate strength)

材料降伏強度探討，材料降伏強度係指地工織布材料達到破壞時之強度，圖 10 顯示業界製造地下織布材料中，常見之設計降伏強度。以降伏強度基準值為設計目標(12.3)，無論各增加(18.45)、減少(6.15)50%，其衰減爆壓數值均相同一致，衰減層設計厚度降

至 142cm。此現象係因為尚未達到材料真正破壞勁度之前，爆壓衰減趨勢均無任何變化。因此，後續在進行相關爆震衰減試驗研究時，降伏強度均使用一般業界常見設定條件即可。

(四)衰減爆壓機制探討

將上述參數研究成果整理成表 4 進行說明，可以發現以基準值參數設置衰減層，衰減爆壓至不影響人體安全之設置厚度，僅需 142cm，與未加勁土層設置厚度相比，設置厚度減少 66%；另在加勁土鋪設厚度的參數變化中，係以地下織布鋪設 5 層參數所需鋪設厚度最少，僅需要 102cm，與未加勁土層比較，減少厚度高達 76%，衰減效益值最好。如欲維持鋪設地下織布三層條件下，則以增加材料勁度達 28.13，亦可達到減少厚度的效果，厚度僅需鋪設 130cm，減少鋪設厚度達 69%。

另外就加勁土衰減爆壓機制進行深入探討，由圖 11、12 顯示，在相同歷時下，炸源在加勁土正上方爆炸後，爆震波透過土層介質往下方傳遞現象，右側壓力桿可以顯示相對顏色的尖峰爆壓值，並將加勁土與未加勁土進行比較後可以清楚瞭解其差異性。

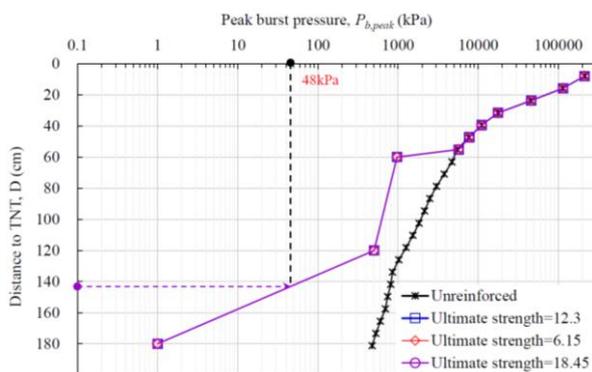


圖 10 地工織布材料降伏強度衰減爆壓效能
資料來源：作者依研究數據繪製。

表 4 土工織布衰減爆壓值參數研究比較表

區分	地下織布層數	材料勁度	降伏強度	設計厚度 cm(減少百分比)
未加勁土	—	—	—	422(0%)
加勁土基準值	3	18.75	12.3	142(66%)
地下織布層數	2	18.75	12.3	157(63%)
	5	18.75	12.3	102(76%)
材料勁度	3	9.38	12.3	189(55%)
	3	28.13	12.3	130(69%)
降伏強度	3	18.75	6.15	142(66%)
	3	18.75	18.45	142(66%)

資料來源：作者依研究彙整。

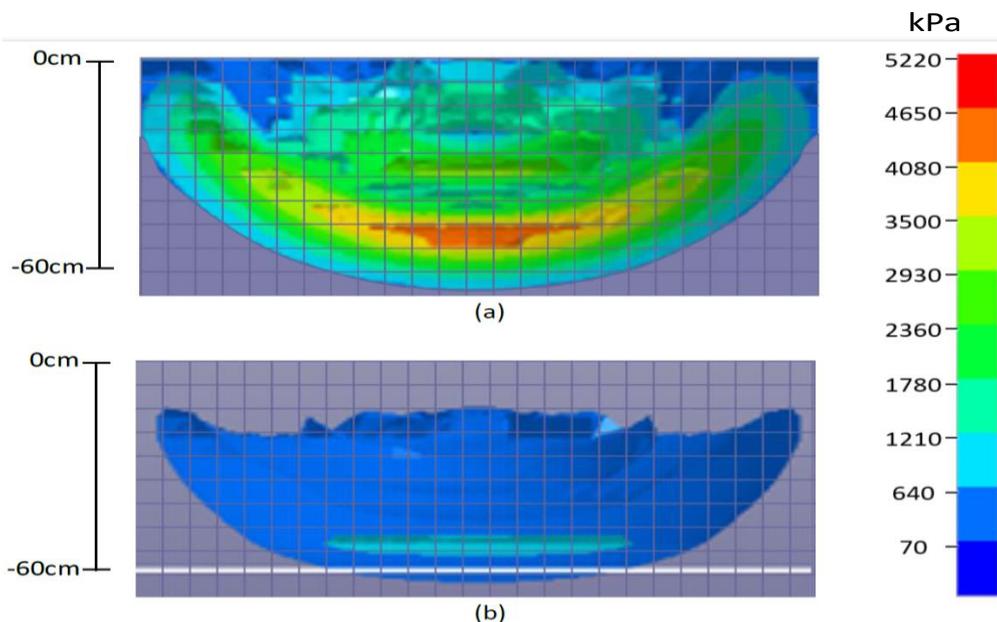


圖 11 相同歷時下之地表爆炸引致爆震波傳遞土層衰減數值：(a)未加勁土；(b)加勁土

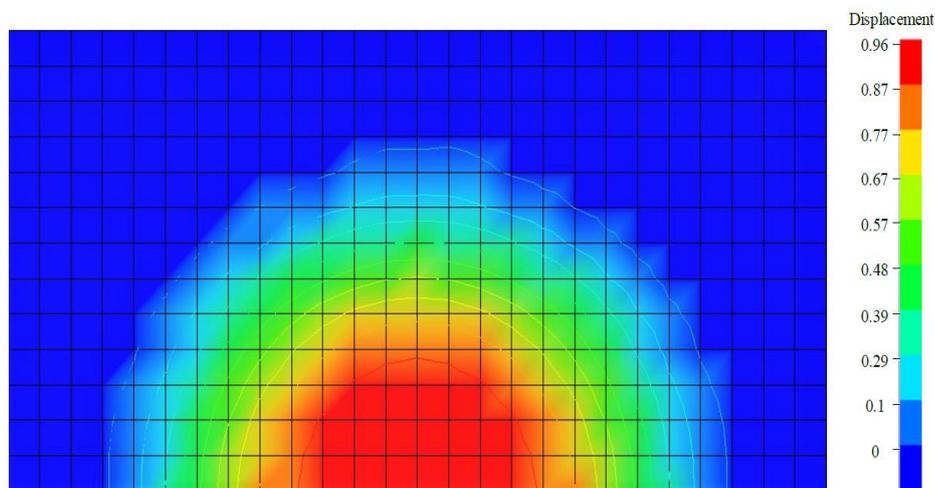


圖 12 土工織布遭爆震波經過後，橫向拉伸變形現象(俯視圖)
資料來源：作者依研究數據繪製。

張力膜效應，以地下深度 60cm 處而言，未加勁土層中爆壓數值衰減至 4500kPa，加勁土第一層地工織布爆壓數值則衰減至 970kPa 左右。以爆震波傳遞波形現象分析，未加勁土層在相同砂土介質中傳遞，其波形較為尖銳，加勁土第一層因遭地工織布阻隔後產生材料拉撐現象，波形顯得較為平緩，且地工織布水平變形量以中央區域達到 0.96cm 為最大，拉撐變形量則依序向外輻射減少，中央變形量最大現象原因在於炸藥在地表中央爆炸之故，導致爆震波由地表中央向土層下方傳遞，距離炸源越遠爆壓值越小，變形量亦就越小。

討論與建議

一、加勁土抗爆震效能顯著、適切運用於軍事防護工程

本篇研究重點係肆應對我陸軍地面部隊危害最大之敵軍威脅，據此設計地下結構抗爆震威脅來源，並以美軍建議地下結構體上方衰減層厚度，作為未加勁土之設計基準數值模型，同時探討地工織布鋪設層數、加勁材料勁度、降伏強度對於加勁土衰減之效能。本研究發現加勁土能夠有效衰減地表

爆炸引致爆震波之傳遞，且衰減效能相當顯著，當地表 TNT 為 2.7kg 時，以地下織布層數鋪設 5 層效果最佳，加勁土鋪設厚度僅需達 102cm，尖峰爆壓值可降低至人體不受危害影響程度；另本研究成果可適切納入國軍軍事防護工程設計建議尺寸，除可減少地下結構體主體工程構築後回填土厚度，與降低施工經費外，另在維持抗爆震效能情況下，能夠縮短施工時間，以提升我防衛作戰戰力防護成效。

二、肆應與日俱增之敵情威脅、研擬急造式軍事防護工程因應

依我國 2021 四年期國防總檢討所提：「...中共持續精進彈道飛彈、巡弋飛彈、空射攻陸飛彈、及長程多管火箭等戰力...」³⁷ 資訊可知，敵軍從未放棄以武力犯臺，我軍仍需持續發展克敵制勝之道，並以不對稱作戰思維，研擬急造防護工程因應，提升國軍戰場存活率。國、內外研究中，對於地工織布抗貫穿、急造組合式抗爆震擋牆、加勁土堤背彈牆等軍事防護工程與材料，已進行相關研究與獲得具體成果，均應用於國防產業中。

³⁷ 同註 3，頁 8。

我軍在敵情威脅與日俱增下，且又身處戰地，更需迫切針對急造式軍式防護工程如各類型遮蔽式、半遮蔽式地下掩體進行深入研究，須先滿足迅速、具抗炸防護力的條件，在不同敵情威脅下，從而進行地下結構體、急造組合式擋牆之抗爆震研究，並分別就埋置深度、型式尺寸、結構體材料、回填土材料、以及地工織布材料性質實施探討。為增進研究時效，可先建構數值模型並進行CFD電腦程式運算後，再進行縮尺爆炸試驗、全比例尺爆炸試驗，俾求得抗爆震地下結構體之最佳構型。

三、重視國防科技研究成果、適時納入準則修訂參據與物力動員簽證

我國於防衛作戰中係處於守勢作戰，且歷年演訓科目常以中共「由演轉戰」狀態，誘使我軍開始進入應急作戰階段，由此研判，我軍須於經常戰備時期做好一切備戰作為。其中包含歷年國防科技研究成果，係經過嚴謹學術研究方法，所發表之相關結論與建議，如涉及與民間物力動員相關之戰備資、阻材類型、數量、施作方式等項，

應視作戰需求，除作為工事構築準則教範修訂參據外，更可納入年度物力簽證，俾使國防科技研究與軍事作戰相結合。

本次研究成果中，已探討出加勁土除具有衰減抗爆震效能外，同時可減少衰減層鋪設厚度，大幅縮減地下結構體防護工程施工所需時間；另筆者於2020年亦成功研究獲得預鑄工法能縮短應急作戰階段地下結構體施作時間與增強防護能力。因此，是類研究成果可繼續深入探討，未來可依研究成果，將其納入戰備資、阻材物力簽證品項，戰時得以提供作戰部隊運用。

四、擴大研究能量，強化大型射擊訓練場減震效能

國軍地面大型火炮射擊訓練場設置地點周邊均有人員、鄰舍、民間物資、財產等，火炮、戰車砲射擊訓練期間，雖有進行人員、交通管制、以及周密防護作為等，但是爆炸後產生之噪音分貝以及爆震波透過地層向外傳遞，均造成很大的爆炸影響。為使國軍睦鄰工作更加順遂，有必要先期就是類火炮射擊訓練場射擊期間，實施爆震波減震效益評估。

故本研究後續可進一步於國軍大型火砲訓練場周邊地層，設置加勁土衰減層與爆壓監測儀器，經過資料蒐集、過濾、分析後，評估結果如需實施射擊訓練場減震工程，可將研究成果所提出衰減層鋪設層數、地工織布材料強度參數，納入作戰訓練工事設計考量，俾有效減少因火砲、戰車砲射擊對周邊鄰舍、人員、財產、裝備之影響。

結語

戰略指導戰術、戰術指導戰鬥、戰技，軍事防護工程階層雖僅在工程技術層面，但是要能夠達到戰略、戰術、戰鬥方面的成功，更是維繫於人員戰技、國防科技、軍事工程技術的精良，而國防科技研究成果更需與軍事作戰實務相結合。

本研究係在地下結構體上方鋪設衰減層，並以炸藥TNT2.7kg在地表爆炸後，探討加勁土衰減爆震效能，獲得以地下織布層數鋪設5層作為衰減層之衰減效果最佳，且加勁土回填厚度僅需102cm，尖峰爆壓值即可降低至48kPa，不致影響人體危害，對於軍事防護工程研究成果與作戰實務貢獻相當顯著。當敵情威脅不斷

持續變化的今天，我們仍應以高度戒備的心態繼續進行與國防事務有關之各項研發與備戰作為，如此將可更增加我防衛作戰成功公算。

營造工程風險評估-以金陵營區裝修工程為例

陳昶宇少校

提要

- 一、營造工程工作場所及作業內容潛在危害眾多，稍一不慎，極易釀致災害，須由主辦機關、設計單位、施工廠商及使用單位等權責單位於營造工程之適當時機辦理施工風險評估，掌握風險狀況，研擬風險對策，妥適管理，以提升施工安全。
- 二、本研析係參考勞動部職業安全衛生署110年修正之「營造工程風險評估技術指引」，實施營區裝修工程風險評估，並依職業安全衛生法、職業安全衛生法施行細則及營造安全衛生設施標準相關法規辦理。
- 三、風險對策之類型及採行之優先順序，依序為：消除風險、降低風險、工程控制、管理控制、個人防護具等。應指定風險對策之負責人員於期限內完成。應擬定風險處理計畫，並追蹤、管制風險對策之執行狀況及成效，當發現風險對策無法有效將風險控制在可接受範圍或衍生出新的風險時，應實施再評估，以研擬適當之對策因應。

關鍵字：風險評估、墜落滾落、危害預防

前言

因陸軍○○營區新建工程於109年4月24日14時50分左右，發生負責牆外模板鎖固工作模板工人自4樓工區不慎踩空，自施工架墜落意外，由一樓窗框安裝工人目擊，立刻送往醫院搶救最

後宣告不治，為防範於未然，我們將透過此研究提供危害分析及作業安全防護設施等資訊掌握風險狀況，採行對策，進而降低施工風險。

營造工程工作場所及作業內容潛在危害眾多，稍一不慎，極易釀致災害，須由主辦機關、設計單位、施工

廠商及使用單位等權責單位於營造工程之適當時機辦理施工風險評估，掌握風險狀況，研擬風險對策，妥適管理，以提升施工安全。

在勞動部職業安全衛生署 108 年勞動檢查統計年報內可知¹，100 年至 108 年歷年工作場所重大職災死亡人數統計圖(如圖 1 所示)，營造業死亡比例幾乎每年佔全產業一半以上，可見營造工程工作場所係屬高風險工作場所，又從圖 2 可知 108 年度營造業、製造業與其他行業重大職災死亡人數比較，營造業佔 53%(168 人)，製造業佔 24%(75 人)，其他行業佔 23%(73 人)，在 108 年度災害類型比較圖(如圖 3 所示)，其中又以墜落災害佔 47%(151 人)，物體倒塌崩塌佔 8%(25 人)，感電佔 8%(25 人)，由上可知墜落災害發生比例佔所有災害近一半左右。

本研析乃針對中心 109 年設施維護工程，工項類別都屬於室內裝修、外牆油漆及貼磚等整修工項，其中將以災害比例最高之墜落災害，如室外施工架設置及拆除、

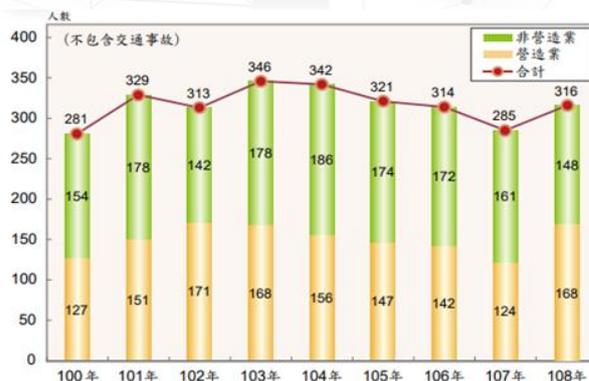


圖 1 歷年工作場所重大職災死亡人數統計圖

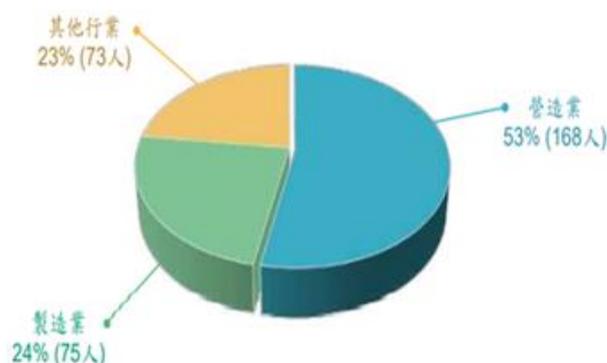


圖 2 108 年度營造業、製造業與其他行業重大職災死亡人數比較圖

資料來源：勞動部職業安全衛生署 108 年勞動檢查統計年報，檢索日期：西元 2021 年 3 月 3 日。

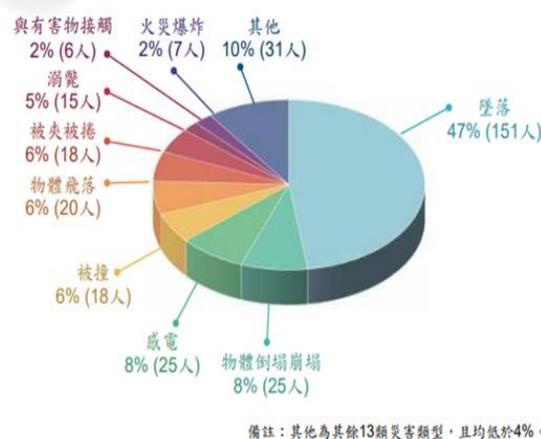


圖 3 108 年度災害類型比較圖

資料來源：勞動部職業安全衛生署 108 年勞動檢查統計年報，檢索日期：西元 2021 年 3 月 3 日。

¹ 勞動部職業安全衛生署，〈勞動檢查統計年報.中華民國 108 年〉《勞動部職業安全衛生署勞動檢查統計年報》(勞動部職業安全衛生署)，新北市，西元 2020 年 7 月，頁 19~20。

外牆油漆及貼磚工項，進行風險評估分析並建議相關管理作為，以強化國軍職業安全衛生風險管控之能力，達到提昇工程作業安全與衛生，亦可提供工程新進人員迅速了解職業安全衛生等後續應用之基本概念。

法源依據

本研析係參考勞動部職業安全衛生署110年修正之「營造工程風險評估技術指引」，實施營區裝修工程風險評估，並依職業安全衛生法、職業安全衛生法施行細則及營造安全衛生設施標準相關法規辦理。

一、職業安全衛生法

依職業安全衛生法²第5條所述，雇主使勞工從事工作，應在合理可行範圍內，採取必要之預防設備或措施，使勞工免於發生職業災害。

機械、設備、器具、原料、材料等物件之設計、製造或輸入者及工程之設計或施工者，應於設計、製造、輸入或施工規劃階段實施風險評估，致力防止此等物件於使

用或工程施工時，發生職業災害。

從上述法條就明確提到「機械、設備、器具、原料、材料等物件之設計、製造或輸入者及工程之設計或施工者，應於設計、製造、輸入或施工規劃階段實施風險評估」，故實施風險評估為法規所規定事項。

二、職業安全衛生法施行細則

依職業安全衛生法施行細則³第8條所述，職業安全衛生法第5條第一項所稱合理可行範圍，指依本法及有關安全衛生法令、指引、實務規範或一般社會通念，雇主明知或可得而知勞工所從事之工作，有致其生命、身體及健康受危害之虞，並可採取必要之預防設備或措施者。職業安全衛生法第5條第2項所稱風險評估，指辨識、分析及評量風險之程序。

三、勞動部職業安全衛生署-營造工程風險評估技術指引

在勞動部職業安全衛生署所頒發之營造工程風險評估技

² 勞動部，〈職業安全衛生法.中華民國108年〉《勞動部職業安全衛生法》（勞動部），台北市，西元2019年5月，頁1。

³ 勞動部，〈職業安全衛生法施行細則.中華民國109年〉《勞動部職業安全衛生法施行細則》（勞動部），新北市，西元2020年2月，頁1。

術指引⁴，內容提到實施風險評估要旨，重點如下所述：

營造業在世界各國均屬職災風險發生率較高的行業，我國營造業職災相較於其他行業，發生率及嚴重度皆高出許多，顯示具高度之風險。主要原因與營造工程特性有關，包括工程個案先由設計者進行客製化之設計，施工者競標承攬後，須於短時間內完成施工規劃、分包採購，召集各不同工項承攬商，使用能量巨大之施工機具，於山區、水邊、緊鄰既有建築物、地下管線及不確定之地質構造等環境，分別依各工項之施工方法、程序，由多職種勞工共同作業。又因勞工流動性高，勤前教育落實度低，工作場所環境隨著工程進度展開而變化，若未能於設計及施工規劃等階段審慎評估施工風險，難以即時設置並維持有效之安全設施。

營造工程於施工期間，常需配合當時工地環境狀況(已有部分營建物)調整各分項工程作業計畫，應由職業安全衛生人員、工作場所負責人或專任工程人員等專業人員，於

作業前實施危害調查、評估，並採適當防護設施，及時調整、修正作業方法、機具設備，以強化現有防護設施。如出現工程內容、施工方法及主要機具設備、安全設施變更者，應辦理變更設計或擬定變更施工計畫，實施變更施工風險評估，修正變更設計或變更施工計畫以確保施工安全。

因此，營造工程必須由主辦機關、設計單位、施工廠商及使用單位等權責單位，於營造工程全生命週期各階段之適當時機，實施風險辨識、分析、評量等施工風險評估程序，掌握風險狀況，研擬風險對策，據以修正、補充原有工程設計、施工計畫、作業方法、變更計畫等內容之施工安全衛生相關事項，將風險控制在最低合理可行範圍，以有效提升施工安全。

四、營造安全衛生設施標準

依營造安全衛生設施標準第3條所述如下：

(一)安全衛生設施於施工規劃階段須納入考量。

(二)依營建法規等規定須有施工計畫者，應將安全衛生設施列入施工計畫內。

⁴ 勞動部職業安全衛生署，〈營造工程風險評估技術指引.中華民國 110 年〉《勞動部職業安全衛生署營造工程風險評估技術指引》(勞動部職業安全衛生署)，新北市，西元 2021 年 2 月，頁 1~2。

(三)前二款規定，於工程施工期間須切實辦理。

前項第三款之工程施工期間包含開工前之準備及竣工後之驗收、保固維修等工作期間。

五、小結

從上述一至四節法規及技術指引說明可以了解，在各項工程施工前均須實施風險評估，將不可接受之風險使用改變工序、先行施作安全措施及使勞工佩掛安全帶等方式，降低為可接受之風險，並將風險控制在最低合理可行範圍，以降低作業人員施工風險，並有效提升施工安全。

裝修工程施工風險評估之實施

首先針對本中心 109 年裝修工程實施說明，概述如表 1：

為模擬於工址環境進行施工作業過程可能出現之風險，設計者或施工者應依據工程設計成果預擬(或施工規劃完成之)施工計畫，將工程作業內容拆解為：分項工程、第一階作業、第二階作業、作業內容等，以明確工程實施之架構及工程作業內容、施工方法、程序、使用機具設備及安全衛生設施、管理制度、防護具等，據以實施風險評估。

一、施工風險評估實施方法

營造工程施工風險評估及管理，應依據職業安全衛生法令、政府採購法、國際標準 ISO31000、國家標準 CNS31000 等相關規定辦理。

營造工程施工風險管理，應反覆檢討組織風險管理政策及目標之達成狀況、決策落實情形等，適時修正風險管理作為，並融入組織各層級之管

表 1 金陵營區 109 年裝修工程基本資料表

項次	項目	說明
1	工程名稱	金陵營區 205 兵舍整修工程
2	工程內容	營區內 205 兵舍外牆油漆、貼丁掛磚、兵舍周邊排水明溝整修、化糞池更新、對外鋁門窗更新、外牆鋁格柵安裝、前廳露臺及花台噴仿石漆、前廳階梯鋪花崗石地磚
3	工程主辦機關	陸軍工兵訓練中心
4	設計單位及設計人	陸軍工兵訓練中心
5	監造單位	陸軍工兵訓練中心
6	工程地點	高雄市燕巢區
7	工程期限	109 年 12 月 10 日限期完工
8	工程範圍	205 兵舍全區

資料來源：作者自行整理。

理體制內運作，以提升績效，另施工風險評估及管理實施程序如圖4所示(參照ISO31000風險管理流程)，本章節將著眼於危害辨識、風險分析、風險評量及風險對策等4大部分實施探討。

二、危害辨識

營造工程施工中常見危害來源可區分為下列5項：

(一)工作場所危害-辨識工作場所環境潛存之危害，包括：

- 1.地質、地下水、地形、氣候、水域等自然環境。
- 2.鄰近建築物、構造物、架空纜線、地下管線及埋設物及其他公共設施等人為環境。
- 3.臨時及安全衛生設施、施工中之工作物、機械設備等施工環境。

(二)工程本質危害-如深開挖、高層建築、橋梁、隧道等工程作業本具之潛在危害。

(三)機械設備危害-施工機械設備之運轉、搬運、行進、操作、維護保養等過程可能出現之危害。

(四)物質危害-爆材、有機溶劑、易燃物質、含石綿或放射性物質材料等可能發生危害之物質。

(五)高風險作業-如露天開挖、擋土支撐、模板支撐、施工架組配及拆除、鋼構組配、隧(管)道開挖及支撐、拆除等作業。

其中本營區裝修工程又以(一)及(三)~(五)項危害問題最多，我們可以把造成事故的原因區分為管理(Management)、機具(Machine)、工法(Method)、人員(Man)、材料(Material)及環境(Environment)等6大部分，就是業界常在說的5M1E引導危害辨識特性要因圖(如圖5所示)。

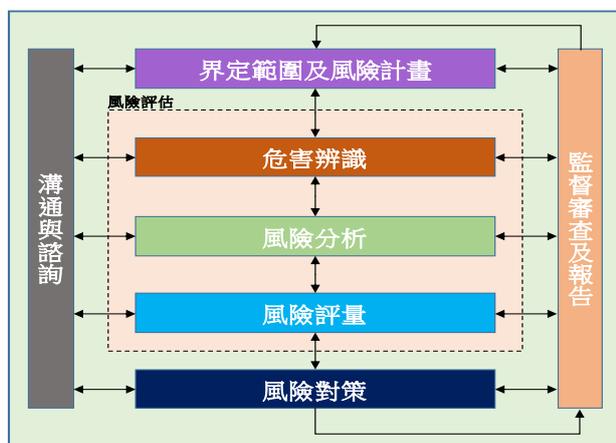


圖4 施工風險評估及管理實施程序圖
資料來源：風險管理原則和指引 ISO31000 風險管理流程，檢索日期：西元2021年6月17日。

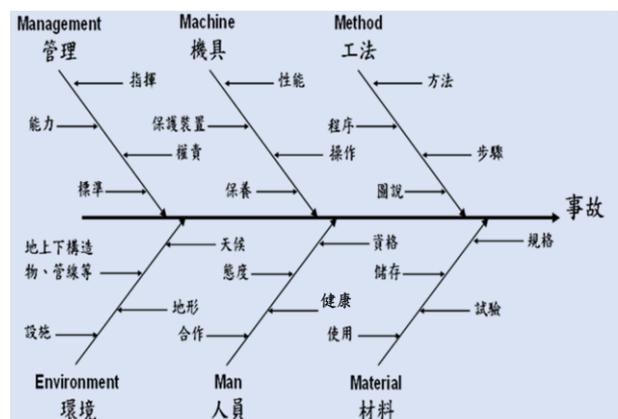


圖5 5M1E引導危害辨識特性要因圖
資料來源：勞動部職業安全衛生署營造工程風險評估技術指引，檢索日期：西元2021年6月1日。

本工程風險較大之施工項目為施工架組立及拆除、室外油漆及貼磚，將在下一節針對上述 2 項施工項目實施風險分析。另外提到促發風險之因素，包括下列 2 項：

(一) 不安全行為-操作錯誤等人員行為，包括：不注意立足處環境、未正確使用個人防護具、未使用保險措施或漠視警告、未使用個人防護具、使用設備不當等。

(二) 不安全狀況-工作場所不安全之狀況，包括：雇主未使勞工使用個人防護具、不安全作業環境、不安全設備與材料、不當管理與指示、

使用危險方法或程序、其它狀態等。風險來源之「危害」，經不安全行為、不安全狀況等原因促發後，可能經若干(中間)事件，最後才造成災害之結果。

若於風險作用過程採行有效之措施，以終止事件之延續，即可避免災害之發生。則該中間事件即為「虛驚事故」，不致造成災害之後果。

三、風險分析

首先將本裝修工程之施工架組立及拆除、室外油漆及貼磚等 2 項施工項目實施分項工程二階拆解，拆解結果如下圖 6、7 所示，接下來

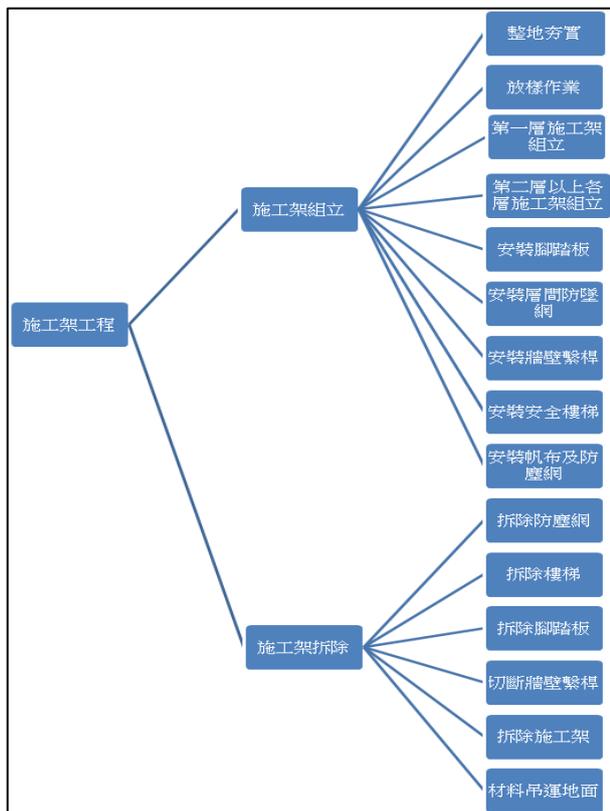


圖 6 施工架工程二階拆解圖

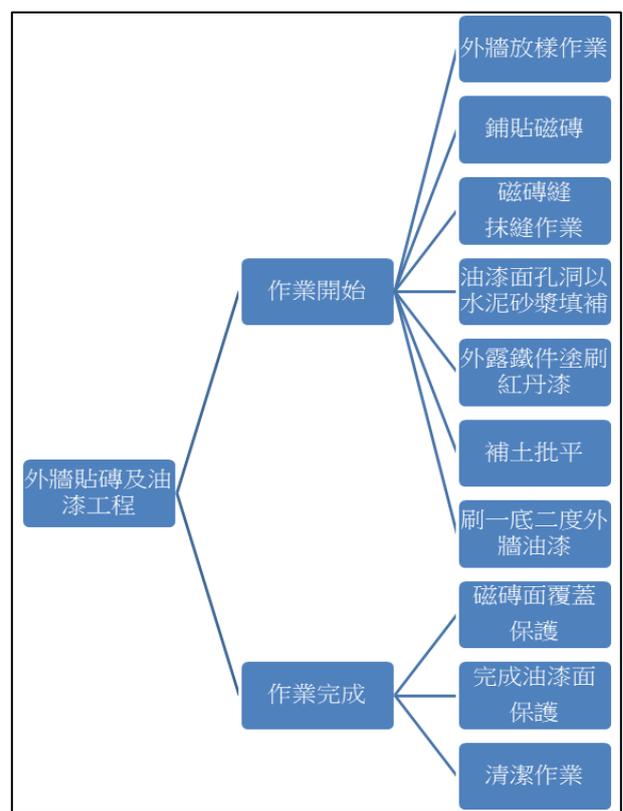


圖 7 外牆貼磚及油漆工程二階拆解圖

資料來源：作者自行整理。

再依二階拆解結果製作施工災害初步分析表，如下表2~5所示，從施工災害初步分析表2~5中可知道，除了在施工架組立二階拆解工項中之整地夯實、放樣作業及第一層施工架組立等3項無人員自高處墜落滾落危害外，其餘二階工項均有墜落滾落危害，可見施工人員在高處作業時，人員自高處墜落滾落危害最大，人員會從高處墜落原因不外乎以下幾點，第一點為施工人員身心欠佳，第二點為未設置警示及防護措施，第三點為未設置安全上下設備，第四點為工人未正確使用個人防護具，第五點未實施設備檢查，第六點為施工架開口無防護，第七點為屋頂作業時未於屋架上設置適當強度，且寬度在30公分以上之踏板或裝設安全護網，第八點為於高度2公尺以上鋼構工程作業時，未於該處設置護欄、護蓋或安全網等防護設備，第九點為高度2公尺以上高處作業，未設置安全母索，並使勞工確實使用安全帶，另外在施工架組立及拆除時也會有施工架倒塌之危害，在施工架組立及拆除、室外油漆及貼磚時，施工人員使用手工具及施工材料會有物體

飛落危害，因本工程施工期間為夏季且均於室外，所以室外熱危害也需要注意。

我們可依勞動部職業安全衛生署所頒之營造工程風險評估技術指引，「風險可能性」可依「作業頻率」、「作業人次」推估；「風險後果嚴重度」可依「人員可能受傷狀況」、「災害損失」予以推估。

為便於評估作業，風險分析可以半定量化方式就「風險可能性」、「後果嚴重度」分別以3或5等級評分。本裝修工程將使用5等級評分，風險可能性分級參考基準(如表6所示)，及後果嚴重度分級參考基準(如表7所示)，接下來依上述評分結果，建立風險矩陣(如表8所示)，將二者相乘數值填入矩陣，以得「風險值」，並依風險值判定「風險等級」。

在下一節將針對施工架組立及拆除、室外油漆及貼磚等2項施工項目，實施風險評量，並將評量結果對不可接受之風險，擬定風險對策，將風險控制在最低合理可行範圍，以有效提升施工安全。

表 2 施工災害初步分析表(施工架組立)

災害類型	墜落 滾落	物體 飛落	感電	被刺、 割、擦傷	被撞	物體 倒塌	衝撞	熱危害
主要作業項目								
壹、施工架工程								
一、施工架組立								
1.整地夯實					●			●
2.放樣作業								●
3.第一層施工架組立				●				●
4.第二層以上各層施工架組立	●	●		●		●		●
5.安裝腳踏板	●	●		●		●		●
6.安裝層間防墜網	●			●		●		●
7.安裝牆壁繫桿	●	●	●	●		●		●
8.安裝安全樓梯	●			●		●		●
9.安裝帆布及防塵網	●			●		●		●
註:災害類型如下(視需要填列於上表中) 1.物體倒塌 2.開挖面崩塌 3.落磐 4.異常出水 5.可燃性氣體(化學性爆炸)6.毒性氣體 7.異常氣壓 8.異常沈降 9.墜落、滾落 10.爆炸(物理性)11.與有害物等之接觸 12.火災 13.感電 14.物體飛落 15.跌倒 16.衝撞 17.被撞 18.被夾、被捲 19.被刺、割、擦傷 20.溺水 21.與高低溫之接觸 22.其他								

資料來源：作者自行整理。

表 3 施工災害初步分析表(施工架拆除)

災害類型	墜落 滾落	物體 飛落	感電	被刺、 割、擦傷	被撞	物體 倒塌	衝撞	熱危害
主要作業項目								
壹、施工架工程								
一、施工架拆除								
1.拆除防塵網	●			●	●			●
2.拆除樓梯	●	●		●				●
3.拆除腳踏板	●	●		●				●
4.切斷牆壁繫桿	●	●	●	●		●		●
5.拆除施工架	●	●		●		●		●
6.材料吊運地面	●	●						●
註:災害類型如下(視需要填列於上表中) 1.物體倒塌 2.開挖面崩塌 3.落磐 4.異常出水 5.可燃性氣體(化學性爆炸)6.毒性氣體 7.異常氣壓 8.異常沈降 9.墜落、滾落 10.爆炸(物理性)11.與有害物等之接觸 12.火災 13.感電 14.物體飛落 15.跌倒 16.衝撞 17.被撞 18.被夾、被捲 19.被刺、割、擦傷 20.溺水 21.與高低溫之接觸 22.其他								

資料來源：作者自行整理。

表 4 施工災害初步分析表(作業開始)

災害類型	墜落 滾落	物體 飛落	感電	被刺 割、 擦傷	被撞	物體 倒塌	衝撞	熱危害
主要作業項目								
貳、外牆貼磚及油漆工程								
一、作業開始								
1.外牆放樣作業	●	●						●
2.鋪貼磁磚	●	●		●				●
3.磁磚縫抹縫作業	●	●		●				●
4.油漆面孔洞以水泥砂漿填補	●	●		●				●
5.外露鐵件塗刷紅丹漆	●	●		●				●
6.補土批平	●	●						●
7.刷一底二度外牆油漆	●	●						●
註：災害類型如下(視需要填列於上表中) 1.物體倒塌 2.開挖面崩塌 3.落磐 4.異常出水 5.可燃性氣體(化學性爆炸) 6.毒性氣體 7.異常氣壓 8.異常沈降 9.墜落、滾落 10.爆炸(物理性) 11.與有害物等之接觸 12.火災 13.感電 14.物體飛落 15.跌倒 16.衝撞 17.被撞 18.被夾、被捲 19.被刺、割、擦傷 20.溺水 21.與高低溫之接觸 22.其他								

表 5 施工災害初步分析表(作業完成)

災害類型	墜落 滾落	物體 飛落	感電	被刺 割、 擦傷	被撞	物體 倒塌	衝撞	熱危害
主要作業項目								
貳、外牆貼磚及油漆工程								
一、作業完成								
1.磁磚面覆蓋保護	●	●		●				●
2.完成油漆面保護	●	●		●				●
3.清潔作業	●	●		●				●
註：災害類型如下(視需要填列於上表中) 物體倒塌 2.開挖面崩塌 3.落磐 4.異常出水 5.可燃性氣體(化學性爆炸) 6.毒性氣體 7.異常氣壓 8.異常沈降 9.墜落、滾落 10.爆炸(物理性) 11.與有害物等之接觸 12.火災 13.感電 14.物體飛落 15.跌倒 16.衝撞 17.被撞 18.被夾、被捲 19.被刺、割、擦傷 20.溺水 21.與高低溫之接觸 22.其他								

資料來源：作者自行整理。

表 6 風險可能性分級參考基準(5等級)

半定量 分級	可能性描述	參考基準	
		作業頻率	作業人次
5	幾可確定	日常性作業	10人以上
4	極有可能	經常性作業	6-9人
3	可能	週期性作業	4-5人
2	不太可能	間歇性作業	2-3人
1	幾乎不可能	偶發性作業	1人

表 7 後果嚴重度分級參考基準(5等級)

半定量 分級	嚴重度 描述	參考基準	
		人員可能受傷害狀況	災害損失
5	災難性的	1人以上死亡或3人以上受傷	停工1個月以上
4	重大	1人以上重傷	停工1週以上
3	中等	1人以上受傷住院療養	停工1天以上
2	較低	1人以上受傷送醫治療	停工1天以內
1	可忽略的	1人以上受傷工地包紮敷藥	現場清理後即可復工

資料來源：勞動部職業安全衛生署營造工程風險評估技術指引，檢索日期：西元 2021 年 6 月 1 日。

表 10 施工架組立工程風險評量表

作業拆解		危害辨識/風險分析			風險評量			風險等級	風險對策	
第一階作業	第二階作業	作業內容	評估作業內容	潛在危害	可能的災害狀況	可能性	嚴重度			風險值
施工架工程	施工架組立	1. 實業施立以施立踏 2. 拋作層組層層間 3. 地樣一架二各架裝 4. 放第工第上工安板 5. 安第工第上工安板 6. 裝安防安繫安樓安及 7. 裝安繫安樓安及 8. 安樓安及 9. 安及	4 5 6 7 8 9	墜落滾落	1. 身示施全 2. 員警措安備正人 3. 人佳置置置設未個 4. 工欠設防設下人用 5. 施心未及未上工使 6. 未及未上工使護未 7. 檢施無高以業安	3	5	15	R4	1. 使用工個人正 2. 個人正 3. 1.5 公尺以上 4. 訂定標準 5. 使用扶手 6. 先行工法
			4 5 6 7 8 9	物體倒塌	1. 圖牆件設除叉件銷 2. 計(配裝拆交桿插 3. 未說壁施未或(拉 4. 依施繫工確不(例 5. 未說壁施未或(拉 6. 依施繫工確不(例 7. 未說壁施未或(拉 8. 依施繫工確不(例 9. 未說壁施未或(拉	3	5	15	R4	1. 說數檢性一架施面 2. 圖定桿前整第一成 3. 計規壁使用完工完 4. 設置牆日設施須承 5. 依設置每查在層前 6. 工整

表 11 施工架拆除工程風險評量表

作業拆解		危害辨識/風險分析			風險評量			風險等級	風險對策	
第一階作業	第二階作業	作業內容	評估作業內容	潛在危害	可能的災害狀況	可能性	嚴重度			風險值
施工架工程	施工架拆除	1. 拆除防塵網 2. 拆除樓架 3. 拆除腳板 4. 切斷牆桿 5. 拆除架料 6. 吊運	1 2 3 4 5 6	墜落滾落	1. 施工人員身心欠佳 2. 未設置警示及防護 3. 措施未備 4. 工人未正確使用個 5. 未實施工架 6. 工人防護備檢查無	3	5	15	R4	1. 使工人正確使用個人 2. 施工架開口處使用 3. 1.5 公尺以上作業 4. 設置安全上下設備 5. 訂定標準作業程序 6. 使用扶手先行工法
			4 5	物體倒塌	1. 拆除時未依拆除步 2. 施工架配件未確實 3. 施工架或交叉桿等 4. 施工架承接面未平 5. 施工架承接面未平 6. 施工架承接面未平	3	5	15	R4	1. 依設計圖說設置規 2. 每日使用前檢查設 3. 備完整性第一層施 4. 在架前，須完成施 5. 架承載面整平及 6. 實

資料來源：作者自行整理。

表 12 施工架拆除工程風險評量表

作業拆解				危害辨識/風險分析		風險評量				風險對策
第一階作業	第二階作業	作業內容	評估作業內容	潛在危害	可能的災害狀況	可能性	嚴重度	風險值	風險等級	
施工架工程	施工架拆除	1. 拆除防塵網	1 2 3 4 5 6	墜落滾落	1. 施工人員身心欠佳	3	5	15	R4	1. 使用個人防護具 2. 施工架開口處使用護欄或安全網防護 3. 1.5公尺以上作業設置安全上下設備 4. 訂定標準作業程序 5. 使用扶手先
		2. 拆除樓梯			2. 拆除時未步配實或不例拉連鎖					
		3. 拆除腳板	4 5	物體倒塌	3. 拆除時未設置上下設備					
		4. 切斷牆繫桿					4. 工人未正確使用個人防護具			
		5. 拆除工架材料			5. 未實施設備檢查					
		6. 吊地面			6. 施工架開口無防護					

表 13 外牆貼磚及油漆工程作業開始風險評量表

作業拆解				危害辨識/風險分析		風險評量				風險對策
第一階作業	第二階作業	作業內容	評估作業內容	潛在危害	可能的災害狀況	可能性	嚴重度	風險值	風險等級	
外牆貼磚及油漆工程	作業開始	1. 外牆放樣 2. 鋪貼磁磚 3. 磁磚縫抹 4. 油漆面孔 5. 外塗砂漿 6. 補土批平 7. 刷底二度漆	1 2 3 4 5 6 7	墜落滾落	1. 施工人員身心欠佳 2. 未設置警示及防護措施 3. 未設置安全上下設備 4. 工人未正確使用個人防護具 5. 未實施設備檢查 6. 施工架開口無防護	3	5	15	R4	1. 使工人正確使用個人防護具 2. 施工架開口處使用護欄或安全網防護 3. 1.5公尺以上作業設置安全上下設備 4. 訂定標準作業程序

資料來源：作者自行整理。

表 14 外牆貼磚及油漆工程作業完成風險評量表

作業拆解			危害辨識/風險分析		風險評量				風險對策	
第一階作業	第二階作業	作業內容	評估內容	潛在危害	可能的災害狀況	可能性	嚴重度	風險值		風險等級
外牆貼磚及油漆工程	作業完成	1.磁磚面覆蓋 2.完成油漆 3.清潔作業	1 2 3	墜落滾落	1.施工人員身 心欠佳 2.未設置警 示措施 3.未設防護 裝置 4.未上下設 置安全網 5.工人未使 用個人防 護設備 6.未檢 查架開口 無防護	3	5	15	R4	1.使用個人正 確防護具 2.施工架使 用安穩尺 3.1.5公尺 以上作業 4.訂作

資料來源：作者自行整理。

在上述表 10~14 中風險評量結果，墜落滾落及物體倒塌之風險等級為 R4，屬於高度風險，依表 8 之風險等級區分表說明，對於重大及高度風險者須發展降低風險之控制設施，將其風險降至中度以下，故需採行風險對策，在表 10~13 風險對策欄位就是須採行降低風險之作法，將 R4(高度風險)降低為 R3(中度風險)以下，才可使施工人員繼續施工，以減少工安危害並保障工人安全。

五、風險對策

對不可接受之風險，如人員自高處墜落滾落及物體

倒塌崩塌等危害，應擬定風險對策，將風險控制在最低合理可行範圍，以有效提升施工安全。

風險對策之類型及採行之優先順序，依序為：消除風險、降低風險、工程控制、管理控制、個人防護具等。應指定風險對策之負責人員於期限內完成。應擬定風險處理計畫，並追蹤、管制風險對策之執行狀況及成效，當發現風險對策無法有效將風險控制在可接受範圍或衍生出新的風險時，應實施再評估，以研擬適當之對策因應。

在營造工程風險處理對策，優先採行順序如下⁵：

(一)消除風險－採用安全性較高之工程設計，以從源頭消除風險。

(二)降低(替代)風險－無法以設計消除之風險，採用較安全之施工方法或改變施工順序，以改變風險類型、降低風險程度及(或)其影響範圍。

(三)工程控制－以安全防護設施將風險隔離或中斷風險作用，達到防止災害之效果。

(四)管理控制－訂定安全衛生作業標準、實施教育訓練、資格管理、自主檢查等措施，以維持施工

之安全狀況。

(五)防護具-無法以上述方式達到安全施工之目的者，應依據風險狀況，正確使用個人防護具。

結語與建議

本營造工程風險評估分析結果，期能提供國軍工程主辦機關、監造單位和施工廠商作為參考，藉由風險評估找出哪些風險因子對建築裝修工程有較大的影響及哪些考量項目通常較會被忽略的影響，其相關單位應正視並設法針對未考量完善項目作業作檢討，以有效降低承攬廠商於施工災害之風險及避免施工災害增加成本，以提高施工作業人員之安全，如下：

表 15 營造工程研擬處理風險與改善機會之措施類型

主要項	次要項	細部要項	控制方式
工程安全	本質安全	施工環境	1.消除風險 2.降低風險
		工程設計	
		工法、工序 預算、工期	
	機械/設施安全	機械設備安全防護	1.風險隔離 2.工程控制
		安全衛生設施	
	施工安全管理	施工安全計畫	管理控制
		管理組織及人員	
		安全規章	
		協議組織	
		安全作業標準	
教育訓練			
危險物有害物管理			
緊急應變計畫			
個人防護	急救及醫療體系	防護具使用	
	自動檢查		

資料來源：勞動部職業安全衛生署營造工程風險評估技術指引，檢索日期：西元 2021 年 6 月 1 日。

⁵ CNS45001：2018 之「8.1.2 消除危害及降低職業安全衛生風險」載為：組織應依下列管制層級，建立、實施並維持消除危害及降低職業安全衛生風險之過程。

一、利用工法及分析作業中之安全風險，提供工程主辦機關、監造單位和施工廠商考慮各工項所存在之風險因子，以有效降低承攬廠商施工災害之風險。

二、主要將施工架組立及拆除、室外油漆及貼磚等2項施工項目做工程二階拆解及風險矩陣，了解裝修工程施工風險評估之優先指數及權重關係，依循施工作業流程中找可能發生風險存在，風險評估帶給工程施工人員及應用完善安全施工設施結合，以有效建立施工全面安全，達到正確的預防作為。

三、經由風險類型及風險處理方法提出有效及實際因應對策，以供後續工程主辦機關、監造單位和施工廠商於營區裝修工程施工時，做更完善整體規劃之參考及應用。

四、風險評估的項目及作業內容可依據每項工法難易度而有所變化，藉由不同工法所評估量化出的危害類別及預防對策，建議可納入後續施工時的安全衛生管理計畫，並於自主管理模式中逐一加以落實管制，達成工程零災害。

五、每位勞工均代表一個家庭，而「零事故、零災害」僅是最基本的要求，唯有在安全前提下尊重生命，才能永續經營共存共榮，共同打造優質的工安環境，因為我們相信「安全是最好的投資，意外是最貴的成本」。

六、最後建議施工人員在高度1.5公尺以上施工架或移動式施工架上作業時，一定要配戴全身背負式安全帶及安全帽，並將全身背負式安全帶勾掛於施工架上，且全身背負式安全帶須符合職業安全衛生法 **CNS14253** 規範，才能確實保障施工人員在高處作業之安全，另一方面營造工地職安人員要求施工人員至高處作業前，依規定配戴個人防護具，並要求工人實施酒測及踩平衡木，以確認人員當日身體狀況，是否適合高處作業之工項，以有效減少工安意外，相信落實上述工作就能減少高處作業墜落意外發生頻率，並達到零職災工地。

邊坡之安全性檢查初探

王禹景中校

提要

- 一、臺灣隨著經濟發展，山坡地過度開發，導致邊坡災害時有所聞。而其基本原因可以分為地質、地形、環境及人為因素等四大類，但學理上講邊坡達到穩定，必是下滑驅動力小於抵抗力，所以邊坡穩定，表現於如何減少驅動力及增加抵抗力這兩方面。
- 二、為積極管理山坡地，防範邊坡災害從政府法令沿革可見隨著時期之演進，管制方式已由鬆漸嚴之情況。並明確律定邊坡維護義務人及推行坡地社區公共安全檢查，期望早期發現徵兆，以減少災害發生機率。
- 三、邊坡安全檢查評估過程易受填寫人員認知差異所影響，故應於各題目答案選項文字敘述後，加入相關圖例作為判斷參考，統一填寫人員標準，應可有效提升判斷精度。

關鍵字：邊坡災害、坡地社區公共安全檢查、安全檢查評估

前言

臺灣有四分之三為山坡地，位於歐亞板塊與菲律賓板塊交界處，板塊間相互運動頻頻發生，導致地質環境破碎且複雜，地震頻繁，平均17年一次危害性大地震¹，加上位於西太平洋颱風區，雨量是世界平均雨量的2.5倍²，基此，地震、颱風、水

災及山坡地災害不斷；另外隨著經濟發展，山坡地開發是不可避免之事，山區道路，山坡地住宅區因應而生，造成山坡地過度發展，在天然環境欠佳及山坡地不當開發，導致邊坡災害時有所聞，尤其每年的防汛期之颱風，帶來山區大量豪雨及豪大雨，土石因而鬆動傾洩而下，肇生多起土石流災害，影響居民

¹ 廖瑞堂，探索山坡地-坡地安全的故事，中興工程科技發展基金會，西元2010年4月，第4頁。

² 同註1。

生命財產安全，就過去 60 年來臺灣的 10 次重大邊坡災害，就奪走了六百多條人命！³

為探討坡地安全情形，將常見坡地災害分類，探究其形成原因，引入目前國內坡地管理有許多的檢查評分表及國軍現行山坡地水土保持設施安全自行檢查表，對邊坡現況及各式工程邊坡進行評估分級，作為修復對策、維護、管理參考之依據，確保坡地結構安全及維持正常功能。

邊坡災害類型與基本原因

一、常見邊坡災害類型

山坡地的地形、地質條件、水文、地震等條件的相互作用，容易發生相當多樣化的邊坡破壞模式。國際間最常採用的分類標準，係根據 varnes(1978)所提出，邊坡破壞模式主要可分為 1. 墜落型破壞 (fall)；2. 傾覆型破壞 (topple)；3. 滑動型破壞 (slide)；4. 側落型破壞 (lateral spreads)；5. 流動型破壞 (flow)；6. 複合型 (complex)⁴，其邊坡破壞模式如下表 1。

表 1 邊坡破壞模式

運動種類 Type of Movement		物質種類 (Type of material)		
		基岩 Bedrock	工程土壤 Engineering Soils	
			粗粒為主	細粒為主
墜落 Falls		岩石墜落 Rock Fall	岩屑墜落 Debris Fall	土墜落 Earth Fall
傾覆 Topples		岩石傾覆 Rock Topple	岩屑傾覆 Debris Topple	土傾覆 Earth Topple
滑動 Slides	轉動 Rotational	岩石崩移 Rock Slump	岩屑崩移 Debris Slump	土崩移 Earth Slump
	移動 Translational	岩塊滑動 Rock Block Slide	岩屑塊滑動 Debris Block Slide	土塊滑動 Earth Block Slide
		岩石滑動 Rock Slide	岩屑滑動 Debris Slide	土滑動 Earth Slide
側落 Lateral Spreads		岩石側落 Rock Spread	岩屑側落 Debris Spread	土側落 Earth Spread
流動 Flows		岩石流動 Rock Flow (Deep Creep)	岩屑流動 Debris Flow	土流動 Earth Flow
複合運動 Complex		複合兩種或兩種以上之運動方式		

資料來源：D.J.varnes, "Slop Moverment Type And Process In Landslide: Analysis and control (Suhuster eds), "Special report 176, Transportation Research Board Washingtin D.C., 11-33, 1978.

³ 方仲欣，〈工程邊坡的健康管理〉《科學發展》，第 571 期，西元 2020 年 7 月，第 40-41 頁

⁴ D.J.varnes, "Slop Moverment Type And Process In Landslide: Analysis and control (Suhuster eds), "Special report 176, Transportation Research Board Washingtin D.C., 11-33, 1978.

(一) 墜落型破壞(fall)

係指陡峭邊坡因弱面發達裂痕加大，致使坡體之岩塊、礫石剝離或固結度低的土砂礫等，由坡面上掉落的現象。⁵在邊坡的坡緣處，當岩土體被陡傾得不連續面分割或懸空的塊體，或者鬆脫的土壤脫離母體，並以墜落(自由落體)、跳躍或滾動的方式，向坡腳掉落的現象，稱為落石；其規模相差懸殊，有非常大規模的，也有小型塊石的崩落。⁶一般多發生於較陡的岩石邊坡，因環境因素如暴雨、強震之影響，造成大小不一的岩塊自上至下崩落。易產生落石的岩層必然具有不良地質材料及地質構造。例如膠結不良、節理發達，造成弱面發育進而切割岩體，導致落石之發生。硬岩下含軟弱層時亦可能發生這種現象。此外，近乎直立的土坡，由於缺乏側向支撐，形成坡頂張力裂縫並逐漸向下發育，亦可能導致崩落之發生。⁷

(二) 傾覆型破壞(topple)

落石體系以塊狀為主，而傾翻體則是以板狀為主。傾覆的發生係由陡傾或直立的板狀岩體，或柱狀的塊體組成的邊坡，在自重的長期作用下，從坡體的前緣向臨空的方向首先產生傾斜、彎曲，然後折斷、翻倒，最後以滾落的方式，堆積在坡腳處。⁸高角度逆向坡地層中，當土石或岩塊過度傾斜致使重心延線超過塊體基部，即因自重產生驅動力距而發生傾覆。於岩體大型繞曲變形前，其滑動驅動力需大於地層間剪力強度，屬各地層間產生滑動，繼而產生傾覆破壞。⁹

(三) 滑動型破壞(slide)

邊坡滑動主要為坡體之破壞土石產生移動，一般可分為轉動和移動兩類，在邊坡滑動量體少的情況下，稱為崩移，例如：岩屑崩移及土體崩移。在滑動量體多的情況下稱為滑移，如岩體滑移及土體滑移。¹⁰滑動的

⁵ 廖瑞堂、陳昭維、吳澤雄、鄒鄭翰、呂嘉豪、高振誠、陳御崇，〈山坡地監測準則〉《中華民國大地工程學會》，2017年3月，第1-1頁。

⁶ 潘國樑，〈山坡地的地質分析與有效防災〉(臺北：科技圖書股份有限公司，初版，2007年)，第39頁。

⁷ 吳淵洵、周南山，〈臺灣山區道路邊坡災害搶修處理工法之探討〉《臺灣公路工程》，第32卷第12期，2006年6月，6頁。

⁸ 同註6，第42頁。

⁹ 李維峰、廖洪鈞、廖瑞堂、劉桓吉、葉啟輝、梁樾、李三畏、顏召宜、賴盈如，〈山區道路邊坡崩塌防治工法最佳化研究(一)〉《財團法人臺灣營建研究院》，2003年12月10日，第22頁。

¹⁰ 同註5。

規模比崩塌還大，單一滑動體所牽動的範圍較廣，並且具有明顯的滑動面，滑動體即在滑動面上發生剪切滑動。滑動之後，滑動體即發生變形及解體，但是局部仍可發現岩土層的原來結構；不像崩塌的崩塌體會產生整體潰散，依據滑動面的形狀，滑動可分成弧形滑動及平面型滑動兩種。¹¹ 岩體或土體於失穩作用下，沿破壞面發生滑動。滑動面可能為平面、圓弧面或不規則面。多發生於岩屑、岩堆、軟弱土壤等不良地層或傾向於坡面，地層間含有軟弱夾層之地質構造，因道路開挖出現自由端而發生破壞。例如岩坡之順向層破壞或土坡之圓弧破壞等。¹²

(四) 側移型破壞 (lateral spreads)

為土壤或岩體發生漸次逐步擴展之側向運動而導致崩塌破壞。如發生於複合地層時，可能因下層黏土質材料吸水軟化或粉土石材受振動液化或塑性流動

等，而牽動上層土岩體產生斷裂下陷或側移，且一般並無明顯之剪力破壞面或塑性流區。¹³

(五) 流動型破壞 (flow)

主要為鬆散土壤或岩體，無論含水狀況如何，當其破壞情形有如液體流動之破壞型態，如岩屑或土壤之流動破壞。其流動體與圍岩間有時有明顯之接觸面或僅唯一層可塑性之流動帶，其運動速度變化可由不易察覺之蠕動潛移到快速的岩屑崩流，如泥石流、土流或土石流等。¹⁴ 道路上邊坡之岩體或土體於環境因素影響下產生流動之狀態。流動型式包括乾流及濕流。¹⁵ 臺灣山區道路邊坡常見者多為暴雨浸潤及沖刷所誘發的破壞，惟有時亦可能因上邊坡之溪谷或溝渠水位暴漲溢流沖刷引致坡體坍塌與水混合而形成者。¹⁶ 土石流係指泥、砂、礫及巨石等物質與水之混合物，在豪大雨期間，因重力作用為主，水流作用為輔之高濃度流動體，在谷地向下流流動。¹⁷

¹¹ 同註 6，第 44-45 頁。

¹² 同註 7，第 8 頁。

¹³ 同註 9。

¹⁴ 同註 9，第 23 頁。

¹⁵ Abramson, L.W., Lee, T.S., Sharma, S, Boyce, G.M., "Slope Stability and Stabilization Methods", 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc, New York, 2002.

¹⁶ 同註 12，第 8 頁。

¹⁷ 同註 9。

(六) 複合型 (complex)

邊坡破壞如為上述各類型先後或同時發生之破壞即為複合型。

二、邊坡災害基本原因

(一) 災害基本原因

Cruden 等人 (1996)¹⁸ 將邊坡破壞因子按地質、地形、環境及人為因素之影響分為四類，詳如邊坡破壞因子表 (表 2)。

概言之，邊坡由岩土材料組成，重力是決定邊坡穩定性的根本因素。由於邊坡表面傾斜，坡體材料 (岩/土體) 在重力的作用下，平行於坡面的分力使岩/土體受到向下的剪應力，斜坡愈陡峭，剪應力愈大。至於阻止岩/土體下滑的抵抗力，則來自剪力強度，由凝聚力與摩擦力組成。如果各種不利

因素的作用造成 (潛在滑動面的) 剪應力大於剪力強度，破壞了平衡條件，邊坡上的岩/土體就會崩塌破壞。邊坡在多種不利因素的作用下，例如長期風化作用可能導致岩石土壤強度降低、坡體受到超過設計標準的外力作用等，都可能造成坡體內的剪力強度降低或剪應力增加。一旦下滑驅動力大於抵抗力時，邊坡終將失去穩定破壞。一般而言，邊坡設計時必須輔以穩定分析，使符合最小安全係數要求。¹⁹

(二) 學理分析

邊坡穩定設計方法可分為容許應力設計法、性能設計法與可靠度設計法，設計邊坡及其土工設施時，可選擇其中一種方法進行分析與計算。選用

表 2 邊坡破壞因子

地質	地形	環境	人為
1. 脆弱物質	1. 構造抬升	1. 強烈降雨	1. 坡趾開挖
2. 敏感物質	2. 河川侵蝕坡趾	2. 快速雪溶	2. 坡頂加載
3. 風化物質	3. 波浪侵蝕坡趾	3. 長期性大雨	3. 含水層下降
4. 受剪切物質	4. 冰河侵蝕坡趾	4. 地下水降低	4. 伐林
5. 節理或裂縫	5. 側蝕	5. 地震	5. 灌溉
6. 岩體不連續面的位態不良	6. 洞穴侵蝕	6. 火山噴發	6. 採礦
7. 構造不連續的位態不良	7. 坡頂加載負荷	7. 融冰	7. 人為震動
8. 滲透率明顯差異	8. 去除植生	8. 氣候快速變遷	8. 公共設施漏水

資料來源：D.M. Cruden and D.J. varnes, "Landslide types and processes", Landslide: Investigation and Mitigation, p.36-90, 1996

¹⁸ D.M. Cruden and D.J. varnes, "Landslide types and processes", Landslide: Investigation and Mitigation, p.36-90, 1996

¹⁹ 同註 3。

容許應力法時，依據整體安全係數檢核穩定性。常見的一般邊坡長久性及臨時性安全係數要求如表 3。選用性能設計法時，依據分項係數檢核穩定性。選用可靠度設計法時，依據破壞機率檢核穩定性。²⁰

簡單來講邊坡達到穩定，必是下滑驅動力小於抵抗力，安全係數的比值計算公式如下：

安全係數 = 抵抗剪力強度 / 向下剪應力 = 抵抗力 / 驅動力是以邊坡穩定取決於減少驅動力及增加抵抗力，這兩方面，如何減少驅動力及增加抵抗力，概述如下：

1. 減少驅動力

邊坡滑動的驅動力主要來自重力。邊坡材料受到重力作用而有下滑的趨勢，一旦驅動力超過滑動面之抵抗力，邊坡即發生滑動。

減少驅動力的方式包括：降低坡角或坡高、降低邊坡載重及透過邊坡排水控制地下水位等。例如：坡頂構造物如位於影響邊坡穩定範圍內，可調整其位置或基礎型式，以減輕對於邊坡穩定之負面影響，如採用工程手段將坡頂構造物改採深基礎，使構造物載重傳遞至滑動面以下之地層，以降低邊坡載重。²¹

2. 增加抵抗力

增加邊坡滑動抵抗力可透過提供邊坡滑動抵抗力或提高邊坡抗剪強度兩種方式達成，前者常利用擋土設施自重，如剛性或柔性擋土設施、坡趾填土等，以及採用地錨之錨碇力提高抵抗力；後者常採用止滑構造物如排樁穿過可能滑動區域，或是地盤改良等方式，提高邊坡的抗剪強度，以增進邊坡之穩定。坡趾填土可

表 3 邊坡長久性及臨時性安全係數 (FS)

長久性(設計使用年限)	常時	FS ≥ 1.5
	設計地震	FS ≥ 1.1
	高水位	FS ≥ 1.2
臨時性(施工中)	常時	FS ≥ 1.2
	設計地震	FS ≥ 1.0
	高水位	FS ≥ 1.1

資料來源：交通部頒布，《公路邊坡工程設計規範》(臺北市：交通部，西元 2015 年 12 月)，第 11 頁。

²⁰ 方永壽，公路邊坡工程設計規範，交通部頒布，2015 年 12 月，第 11 頁。

²¹ 同註 20，第 c-30 頁。

增加坡趾處之靜載重，以增加邊坡之下滑抵抗力。對於遭到挖除坡趾之順向坡，如回填土仍可能不足以維持其穩定性，可於坡趾先採用簡易構造加以支撐，配合必要之排水設施，然後再回填坡趾。坡趾填土應選用排水性佳之土方，配合設置地表及地下排水系統，以增進邊坡之穩定性。²²

凡能穩定邊坡保護坡趾的工程可通稱之為護坡工程，可分為抑制工法與抑止工法兩大類。抑制工法是指以改變邊坡之坡度、地形或地下水等自然環境，以達到穩定邊坡的各種處置，諸如：整坡、排水措施等。抑止工法乃係以工程構造物來抗制滑動，包括打樁、擋土牆、漿砌卵石、乾砌塊石等多種。採用何種穩定方法應依現場需要隨地制宜，在坡趾以工程方法穩定之，並配合適當的排水措施及植生綠化，方能達到效果。²³

國內外坡地管理概況

一、國外坡地管理概況

(一)日本坡地管理概況²⁴

日本政府於 1969 年制定了「急傾斜地崩坍災害防治法」，針對坡地災害危險潛勢區域，全面調查並編定公告標示，同時亦制定危險性住宅區移轉補助制度及防災救難措施，以減少或避免災害。其山坡地安全防災架構如圖 1 及圖 2，包括有防災區指定、災害評估預測、開發許可及監督、警戒避難、防災宣導等積極作為。

現今日本山坡地的災害已大幅減少，加上日本政府對於山坡地災害防治體制，從中央到地方均環環相扣，且無論中央或地方均有山坡地災害處理專門部門或專責機構。同時在透過通報觀測系統發覺災情時，包含消防隊及軍方均迅速組成救援救災編制，前往災區執行救援任務。

(二)香港坡地管理概況²⁵

香港地小人稠，土地開發利用壓力相當大，而逐

²² 同註 20，第 c-31 頁。

²³ 陸象豫，〈林道排水與邊坡穩定〉《林業研究專訊第》，第 21 期第 5 冊，西元 2014 年，第 65 頁。

²⁴ 陳建忠、蔡綽芳，"山坡地住宅使用管理維護相關防災制度及法令研究"，內政部建築研究所，1999 年。

²⁵ 林家賢，〈坡地社區安全維護工作之研究-以基隆市為例〉《國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士論文》，西元 2004 年 6 月，8-9 頁

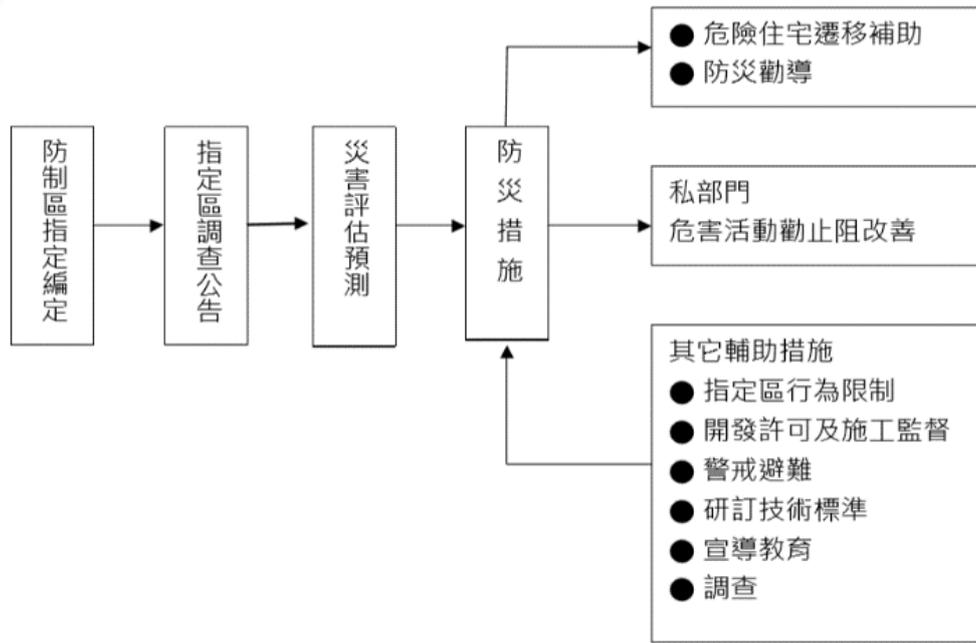


圖 1 日本山坡地安全防災架構圖

資料來源：陳建忠、蔡綽芳，〈山坡地住宅使用管理維護相關防災制度及法令研究〉《內政部建築研究所》(臺北)，西元 1999 年。

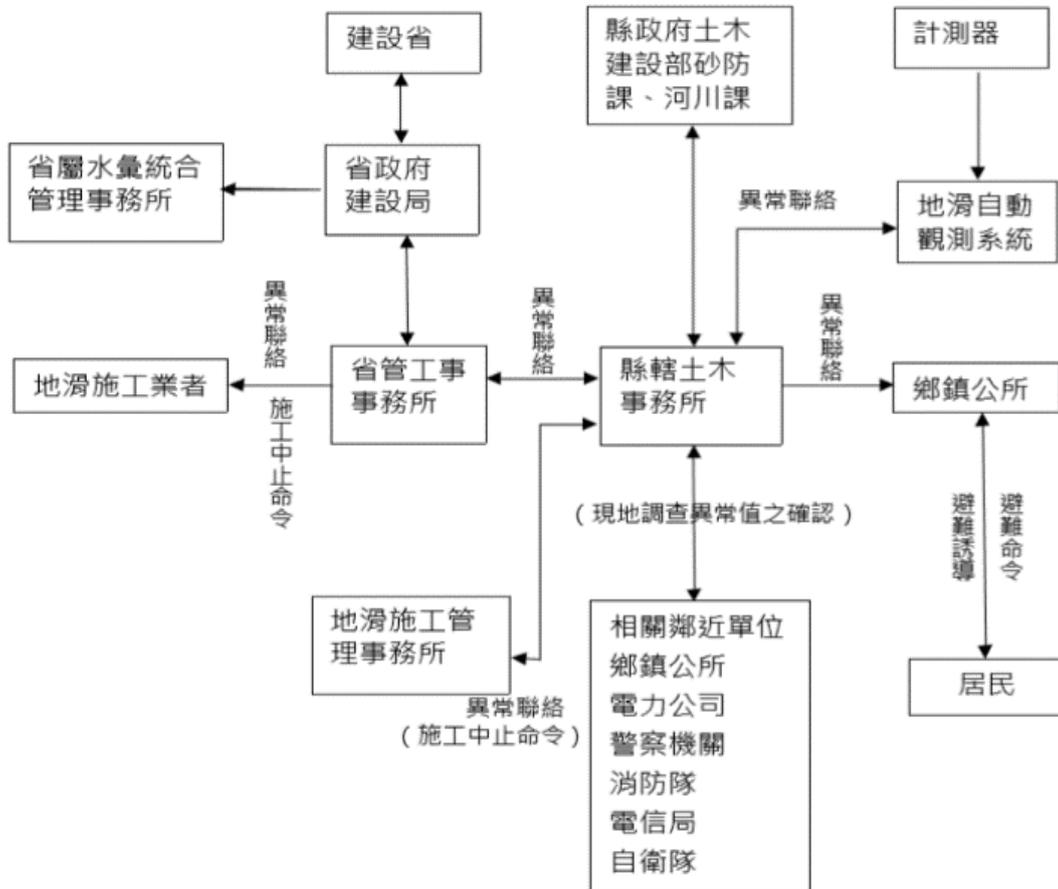


圖 2 日本地滑防災及警戒體制系統圖

資料來源：陳建忠、蔡綽芳，〈山坡地住宅使用管理維護相關防災制度及法令研究〉《內政部建築研究所》(臺北)，西元 1999 年。

漸發展山坡地開發，然而過去 50 年來，超過 470 人因人造坡地發生山泥傾洩而喪生，直到 1972 年先後發生寶珊道與秀茂坪山泥傾洩，分別導致 67 人與 71 人喪生，有鑑於這兩宗事件，香港政府在建築物條例執行處轄下成立一個小組，負責私人地盤平整工程之岩土工程管制事宜。及至 1976 年秀茂坪發生另一次災害，造成 18 人喪生後，香港政府在 1977 年於土木工程署轄下成立「土力工程處」(Geotechnical Engineering Office, G.E.O)作為政府中

央斜坡監管機構，全權處理全香港所有坡地工程，包括探勘、設計、施工、觀測及維護的所有作業。

香港土力工程處專責於斜坡安全監督、釐定安全標準、進行岩土工程、相關研究發展及提供教育協助等工作，對於山坡地災害防治工作，可謂績效卓著。尤以在邊坡管理制度之建立，透過斜坡檢查、登錄制度、確認維修責任、進而執行維修管理等手段，輔以相關輔助措施，提供一套完整的山坡地安全防災架構，如圖 3 及圖 4。

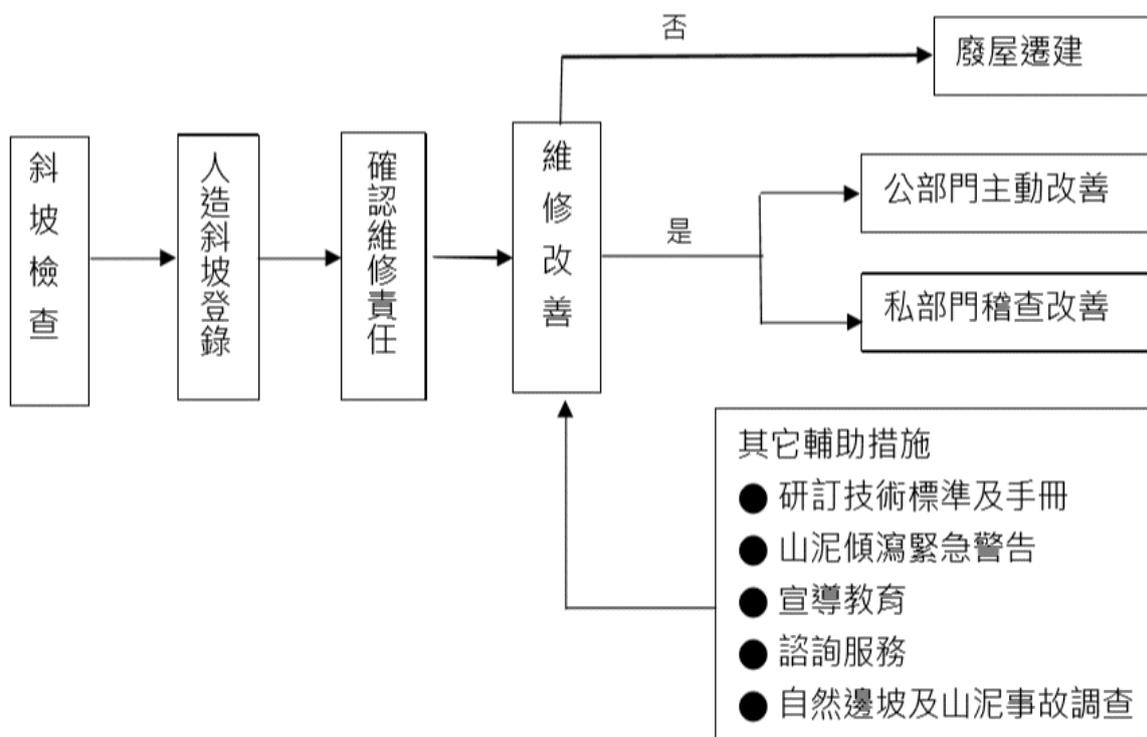


圖 3 香港山坡地安全防災架構圖

資料來源：陳建忠、蔡綽芳，〈山坡地住宅使用管理維護相關防災制度及法令研究〉《內政部建築研究所》(臺北)，西元 1999 年。

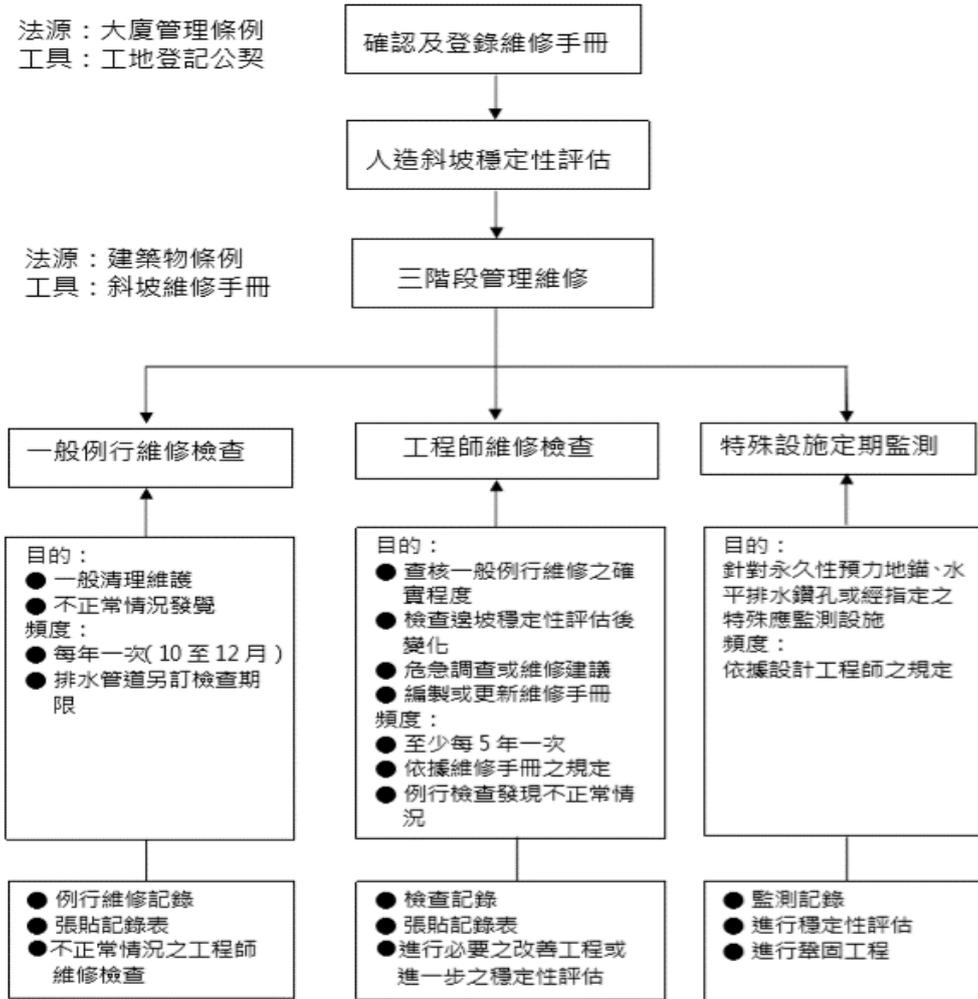


圖 4 香港私有人造斜坡稽查維修作業架構圖

資料來源：陳建忠、蔡綽芳，〈山坡地住宅使用管理維護相關防災制度及法令研究〉《內政部建築研究所》(臺北)，西元 1999 年。

二、國內坡地管理概況

(一) 相關法令

國內山坡地管理法令，最早為民國 65 年 4 月 29 日公布實施的「山坡地保育利用條例」，當時立法主要以保育山坡地為考量。隨著經濟發展，山坡地住宅逐漸增加，「山坡地保育利用條例」已無法有效管理山坡地開發行為，內政部遂於民國 72

年 7 月 7 日令訂定「山坡地開發建築管理辦法」發布全文 26 條²⁶，這是以管理山坡地建築開發為目的之法令，主要管理於山坡地建築期間應有作為。

國內於民國 86 年 8 月 18 日發生林肯大郡山坡地崩塌災害，促使內政部於「建築技術規則」施工篇中增列第 13 章「山坡地建築」

²⁶ 「山坡地開發建築管理辦法」於中華民國 92 年 3 月 26 日內政部台內營字第 0920003336 號令修正發布名稱為「山坡地建築管理辦法」及全文 10 條。

並於中華民國 86 年 12 月 26 日內政部（86）台內營字第 8690165 號令修正發布，將山坡地建築納入規範，要求山坡地基地不得開發建築認定基準及設計原則，以避免坡地災難之發生。

「建築法」第 77 條規定，『建築物所有權人、使用人應維護建築物合法使用與其構造及設備安全。直轄市、縣(市)(局)主管建築機關對於建築物得隨時派員檢查其有關公共安全與公共衛生之構造與設備。供公眾使用之建築物，應由建築物所有權人、使用人定期委託中央主管建築機關認可之專業機構或人員檢查簽證，其檢查簽證結果應向當地主管建築機關申報。非

供公眾使用之建築物，經內政部認有必要時亦同。前項檢查簽證結果，主管建築機關得隨時派員或定期會同各有關機關複查。第三項之檢查簽證事項、檢查期間、申報方式及施行日期，由內政部定之。』本法條規定建築物所有權人應維護建物構造及安全，不在建物肇生危害事件後再來究責。

與山坡地建築相關法令尚有公路法、水土保持法、森林法、水利法及公寓大廈管理條例，整理相關法令規定之維護義務人，彙整如表 4 及圖 5。根據上揭圖表，人工邊坡之維護義務人，依其性質大致可分為公部門與私人所有兩類，其中公部門有森林區、公路及水利

表 4 山坡地相關法令與維護義務人彙整表

編號	種類	法令依據	維護義務人
一	山坡地集合住宅社區	公寓大廈管理條例(民國 95 年 01 月 18 日修正)第 28 條第 1 項及第 3 項與第 29 條第 6 項	起造人 管理負責人 管理委員會
二	山坡地非集合住宅社區	建築法(民國 98 年 05 月 27 日修正)第 77 條	建築物所有權人 使用人
三	森林區	森林法(民國 93 年 01 月 20 日修正)第 21 條	森林所有人 利害關係人
四	公路邊坡	公路法(民國 99 年 01 月 27 日修正)第 3 條與第 26 條	公路主管機關
五	溪流堤岸	水利法(民國 97 年 05 月 07 日修正)第 51、73 與 76 條；水利法施行細則(民國 98 年 11 月 03 日修正)第 7 條	興辦水利事業人 水利事業管理機關
六	單一人工邊坡(非屬上述各類)	水土保持法(民國 92 年 12 月 17 日修正)第 4 條	水土保持義務人

資料來源：林裕益，〈山坡地人工邊坡分級管理-以臺北市為例〉《臺北市工務局大地工程處出版》(臺北)，西元 2013 年 8 月，頁 42。

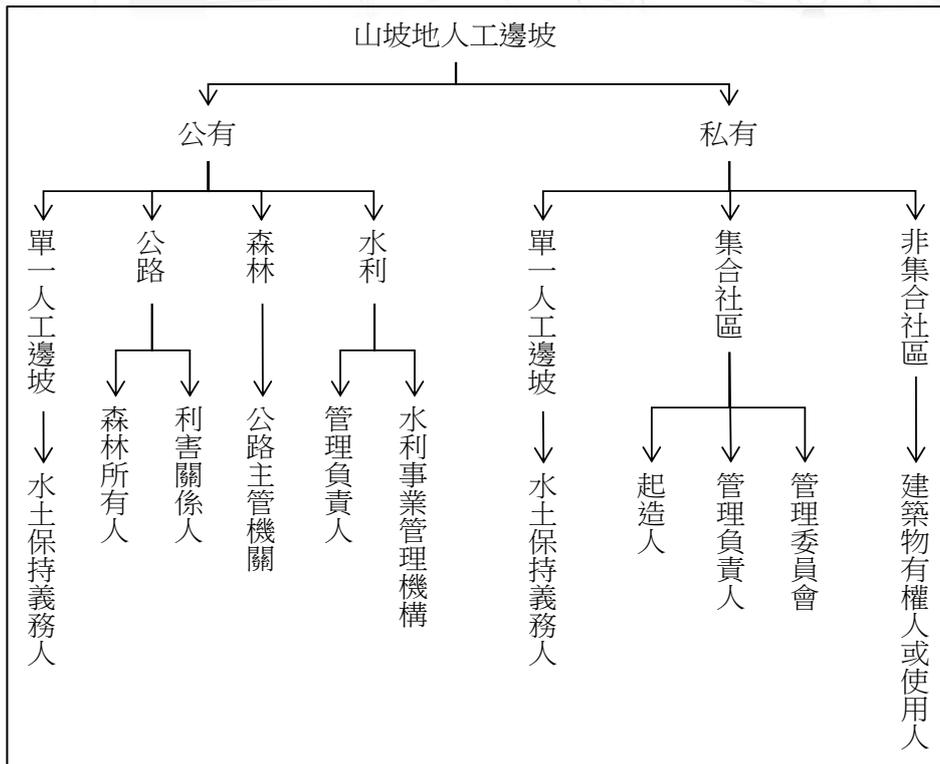


圖 5 山坡地相關法令與維護義務人關係圖

資料來源：林裕益，〈山坡地人工邊坡分級管理-以臺北市為例〉《臺北市政府工務局大地工程處出版》(臺北)，西元 2013 年 8 月，頁 42。

等各轄管機關，私人則有住宅社區起造人、社區管理負責人、社區管理委員會、建築物或土地之所有人(或使用人)，依法二者皆須負有土地權管範圍所有人工邊坡之處理與維護的權責。²⁷

我國山坡地開發建築管理，從法令沿革可見隨著時期之演進，管制方式已由鬆漸嚴之情況。現有之山坡地住宅社區，其開發年期與災害風險程度有相對關係，

早期因法令不周，管制不嚴，而有開發選址、規劃設計不當、施工不良或維護不善等情況，加上設施老化等因素，導致其災害風險程度相對偏高。²⁸

坡地建築之災變，固然絕大部分的原因在於開發錯誤、施工不當及天然災害，但坡地居民缺乏防災觀念，未做好日常維護工作，亦是致災的主因。²⁹ 因此政府及相關單位陸續推行坡

²⁷ 林裕益，〈山坡地人工邊坡分級管理-以臺北市為例〉《臺北市政府工務局大地工程處出版》(臺北)，西元 2013 年 8 月，41 頁。

²⁸ 林建宏，〈山坡地住宅區防災區風險管理機制建立之研究〉《國立臺北科技大學土木與防災技術研究所碩士論文》(臺北)，西元 2001 年。

²⁹ 戴興達、劉俊杰、林文欽，〈山坡地住宅社區居民 DIY 自助檢視作業之探討〉《工程》，第 74 卷第 6 期，西元 2001 年，第 99-109 頁。

地社區公共安全檢查，希望藉由坡地社區居民及專業人員，在平時檢視坡地社區的安全性，期望早期發現危險徵兆，加強相對應措施以減少災害發生的機率，達到天助自助的目的。³⁰

(二) 坡地管理概況

我國現行防災管理制度，依據中華民國 108 年 5 月 22 日修頒之「災害防救法」，在行政體系上分為三級制(中央、縣市、鄉鎮)，負責各種災害預防、應變及復原重建。

山坡地災害就制度上，僅土石流由行政院農業委員會負責，其餘型式災害主管機關至今尚未明確律定，亦未制定相關防災管理機制，有必要加以劃定，以符合災害防救實需。

(三) 山坡地管理流程

目前國內坡地管理，先由專業人員依據邊坡基本資料、巡查及監測結果實施邊坡分類，其中邊坡巡查主要目的在於目視檢查邊坡是否有開裂、變形、陷落、隆起等失穩表徵，或設施功能異常等情形，巡查項目涵蓋坡

面及所有設施-包括排水、護坡，擋土設施等，例如截/排水溝、洩水孔、排水管、擋土牆、地錨等。

此外，為利於巡查工作的進行，管理單位應設置安全的通道供巡查人員作業。巡查工作又可以分為定期巡查及特別巡查。所謂定期巡查是指平時維持一定頻率的巡視檢查，特別巡查則是於颱風、大豪雨或地震等事件後所發動的巡視檢查。一般性的檢查可以由非專業人員(例如社區住戶)進行，一旦發現有異常表徵急遽變化或有劣化趨勢時，宜委由相關專業技師辦理，以免誤判而貽誤先機。³¹ 巡查要領表如表 5。

1. 政府機關山坡地管理流程-以臺北市政府為例

建立山坡地檔案實施管理，基本資料由專業技師依目視檢查表，至坡地現場實施檢查及填註並拍照記錄，以完成初步評估作業，再由專人審查核覆，完成細部評估，最後依調查結果實施邊坡分級，區分一至五級，風險程度分別為高、中高、

³⁰ 吳正雄，〈山坡地老舊社區之水土保持問題〉《國立臺北科技大學土木與防災技術研究所碩士論文》(臺北)，西元 1998 年 3 月。

³¹ 方仲欣，〈工程邊坡的健康管理〉《科學發展》(臺北)，第 571 期，西元 2020 年 7 月，第 43 頁。

表 5 定期(特別)巡查要領表

項次	巡查種類	巡查重點
一	定期巡查	定期的巡檢是由使用單位及工程維護權責單位平時進行的目視巡檢，藉以確認邊坡穩定與否。其中使用單位應於平時進行目視巡檢，應立即向上一級人員報告。其邊坡構造物之損壞，應即通報，並檢核其邊坡構造物之安全。此類巡查之重點在於發現異常現象，並由專業人員進行評估。若發現異常現象，應即通報，並檢核其邊坡構造物之安全。此類巡查之重點在於發現異常現象，並由專業人員進行評估。
二	特別巡查	其為不定期巡查，通常於颱風、豪雨與地震等災害發生後，或施工不當之人為破壞，當山坡地安全有虞時，由工程維護單位負責實施特別巡查。檢測人員應於事件發生後，儘快到達現場，快速完成巡查評估。檢測結果應於短期內掌握山坡地之安全狀況，並檢核其邊坡構造物之安全。此類巡查之重點在於發現異常現象，並由專業人員進行評估。

資料來源：作者自製。

中、中低及低；最後再依風險等級訂定巡視檢查頻次，遇立即危害山坡或高風險山坡則實施改善作為或運用儀器實施監測，臺北市山坡地人工邊坡維護管理流程圖(如圖 6)。

2. 國軍山坡地管理流程

於防汛期間，要求各單位依山坡地水土保持設施安全自行檢查表(內容同行政院農委會水保局-山坡地水土保持設施安全自行檢查表)，每月實施定期巡查一次，另於颱風、豪大雨或地震前後實施特別巡查，如發現檢查表中，如無該項檢查項目時則該項免勾填。經自行檢查後，如發現有安全顧慮者，處理方式有三種，

第一種請將本表送當地直轄市、縣(市)政府水土保持主管單位，作為是否安排複檢之參考(山坡地位於營區或訓練場周邊，未負管理之責)；第二種委請南或北部地區工程諮詢小組進行詳細評估，藉此進一步判斷其劣化嚴重性，若為是，由管理單位依詳細評估結果提出改進措施，進行緊急維修，若為否，則排入年度維修；第三種由管理單位擬定修繕管制計畫和搶修措施及現場照片，向上爭取預算，進行緊急搶修，以維持設施之功能運行，詳如山坡地有安全顧慮處理方法彙整表如表 6，經歸納國軍山坡地評估流程圖(如圖 7)。

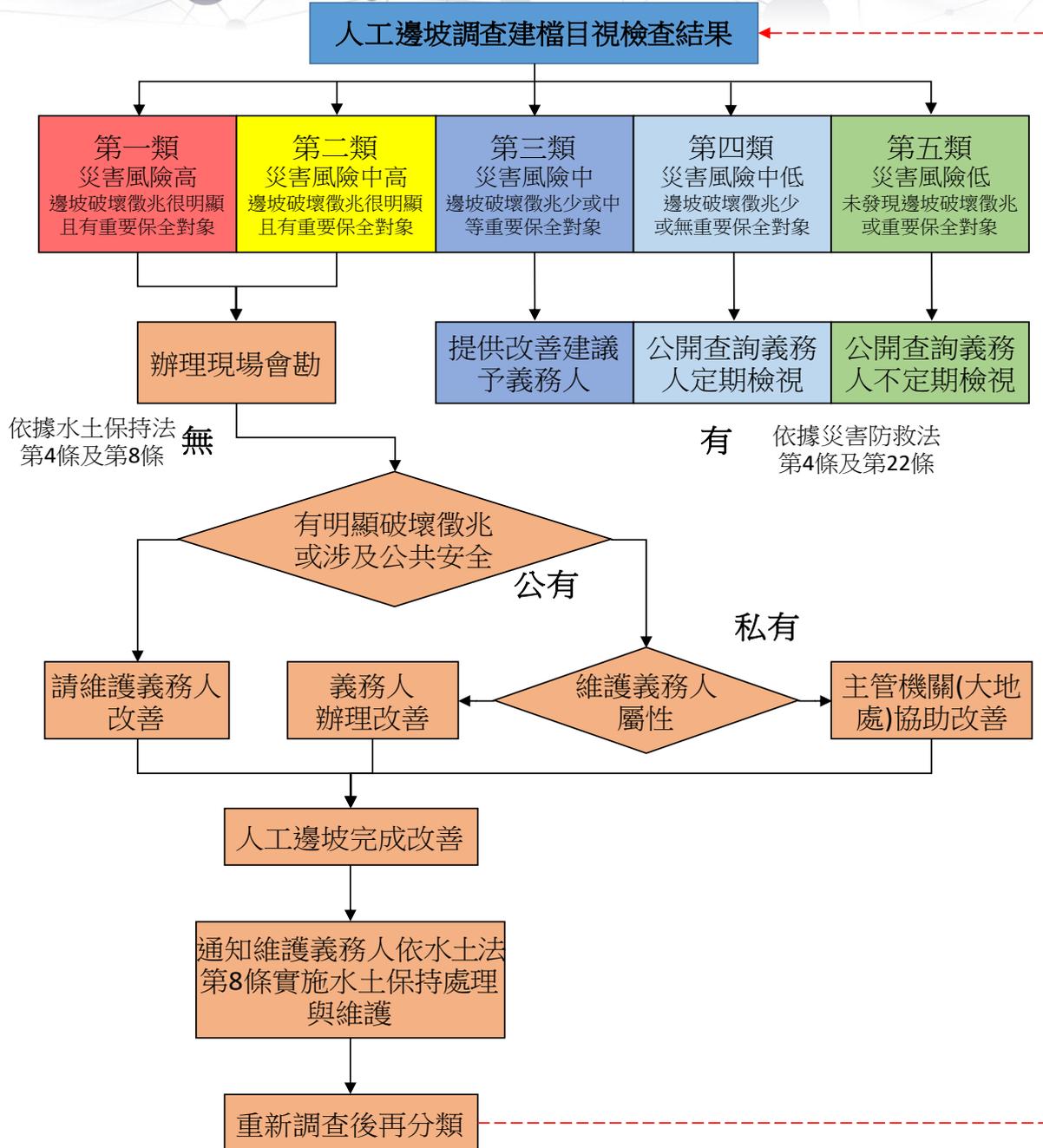


圖 6 臺北市山坡地人工邊坡維護管理流程圖

資料來源：林裕益，〈山坡地人工邊坡分級管理-以臺北市為例〉《臺北市政府工務局大地工程處出版》(臺北)，西元 2013 年 8 月，頁 44。

表 6 國軍山坡地有安全顧慮處理方法彙整表

處理方法	處理方式
第一種	請將本表送當地直轄市、縣(市)政府水土保持主管單位，作為是否安排複檢之參考(山坡地位於營區或訓場周邊，未負管理之責)
第二種	委請南或北部地區工程諮詢小組進行詳細評估，藉此進一步判斷其劣化嚴重性，若為是，由管理單位依詳細評估結果由提出改進措施，進行緊急維修，若為否，則排入年度維修
第三種	由管理單位擬定修繕管制計畫和搶修措施及現場照片，向上爭取預算，進行緊急搶修，以維持設施之功能運行

資料來源：作者自製。

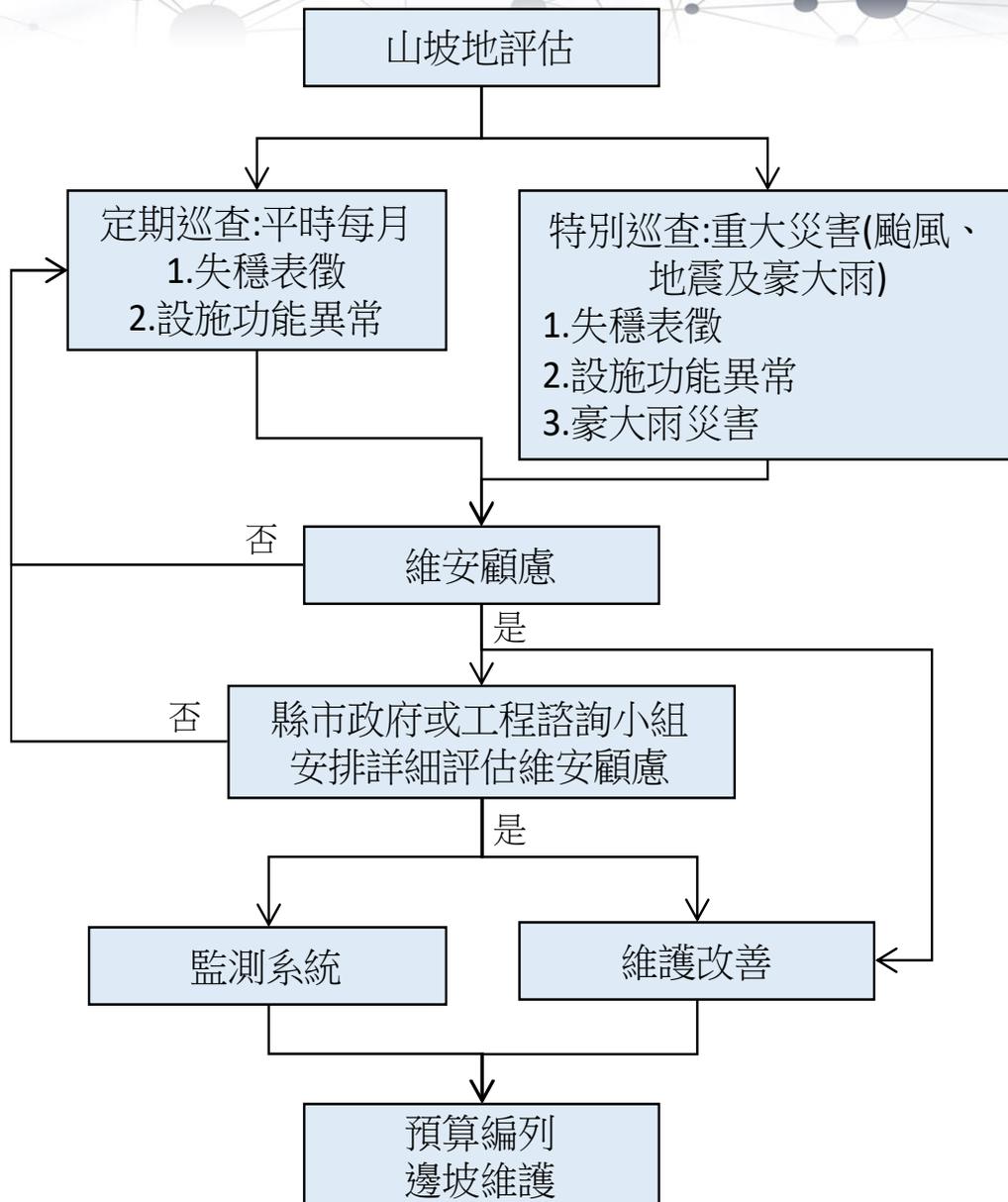


圖 7 國軍山坡地評估流程圖

資料來源：作者自製。

現有坡地安全檢查

一、國外坡地安全檢查

國外坡地安全評估法及檢查表，本文以日本及香港做法實施探討，其共同特性是對邊坡的危安狀況均以量化評分制度，作為對邊坡安全或危險的評斷標準。

(一) 日本點數法

此法為日本於 1972 年歷經一連串大規模坡地災變後，針對豪雨引發的坡地崩塌危險程度，以點數的方式進行量化點數評估坡地安全性。該方法分別針對自然及人工坡面，選擇對山坡地崩塌之重要影響因素

加以評分，對於關聯性較高因子給予較高分數權重，最後依各項因子之加總的總分高低，分成由危險程度高而低的 A、B、C 三級。³² 其評估因子為高度、坡度、懸凸程度、表土層厚度、滲透水、邊坡周圍之崩塌情形、防護工程之技術水準、結構物是否異常等 8 類，為日本點數法影響因素評估標準表內評估項目，依上述評估表總分數，對照日本點數法危險程度判定表，訂定危險程度。

(二) 香港土力工程處 (G.E.O) 評估法

香港政府在 1977 年 7 月於土木工程署轄下成立「土力工程處」(Geotechnical Engineering Office, G.E.O)，進行邊坡的管理與治理工作，在無數工程人員努力之下，有效控制山坡地災害的肇生，成為 20 世紀後期全世界成功管理邊坡的模範區域。其山坡地安全評估表，包含邊坡登錄篩選表、邊坡危險徵兆檢視表及邊坡崩塌生命損失後果類

別範例表等三種；邊坡登錄篩選表，區分登記表、現地調查表及前期安全篩選表等三部分，用以確認邊坡詳細座標位置、維護義務人，該邊坡工程執行及維護紀錄由何單位審核及發出許可，邊坡擋土牆型式，坡腳與洩水孔狀況；用以判斷邊坡是否安全的前期安全篩選表，則以邊坡危險徵兆檢視表評分實施一、二、三等級，再結合邊坡崩塌生命損失後果類別表，綜合分析的評分，依據邊坡篩選評分分級表實施一到五級等，一到三等不實施詳細分析，四至五等需實施詳細分析。

二、國內坡地安全檢查

目前國內對山坡地安全評估方法，有許多單位投入研究，較著名的計有「行政院公共工程委員會」、「內政部營建署」、「內政部建築研究所」、「行政院農委會水保局」及「土木技師公會」等五個單位，其檢查表共計八份。

(一) 坡地安全評估檢查表

1. 行政院公共工程委員會山坡地安全諮詢小組－山

³² 林喜麟，國內外坡地安全評估表簡介，臺灣省土木技師公會技師報，<http://etimes.twce.org.tw>，檢索日期：西元 2021 年 7 月 20 日。

坡地現況資料調查表內政部營建署。

(1) 山坡地住宅社區安全檢查記錄表。

(2) 坡地社區安全居住手冊(坡地社區管理維護檢視表)。

(3) 山坡地住宅安全自助檢視表。

2. 內政部建築研究所

(1) 山坡地住宅簡易安全檢視表。

(2) 你的居住環境成績單。

3. 行政院農委會水保局—山坡地水土保持設施安全自行檢查表

4. 土木技師公會—山坡地社區安全檢查表

(二) 坡地安全檢查

國內山坡地檢查表，經研究分析發現，大多數安全檢查表之設計均以勾選方式，優點是選填上清楚明確，但有時又太過於二分法或三分法，難以表達實際情況。

我國法令規定「公、私有之人工邊坡」管理維護之責人員為「水土保持義務人」，負有，「集合社區」管理維護之責人員為「起造人」、「管理負責人」及「管理委員會」，「非集合社區」

管理維護人員為「建物所有權人或使用人」，基此，坡地維護管理人員絕大部分非專業人員，檢查表格應填寫簡單、專業名詞少，其中「山坡地現況資料調查表」、「坡地社區管理維護檢視表」、「山坡地住宅安全自助檢視表」、「你的居住環境成績單」及「山坡地水土保持設施安全自行檢查表」，則符合此一標準，惟無相關圖例，至紀錄人員判斷標準不一致，最終結果誤差相對提高；「山坡地住宅社區安全檢查記錄表」、「山坡地住宅簡易安全檢視表」與「山坡地社區安全檢查表」則內容過於專業，必須由專業人員來使用，一般民眾無法據以填寫，操作運用上相對困難；國軍工程人力因來源問題，致專業表格亦較不適用。

「山坡地住宅社區安全檢查記錄表」、「坡地社區管理維護檢視表」、「山坡地住宅簡易安全檢視表」、「山坡地社區安全檢查表」，表格最終有「評估建議」、「行動指標」、「結果及處理方法」與「危險等級評分法」等結論，方便

作為下一階段處理之準據；「山坡地社區安全檢查表」，其所列項目有權重值，可適當顯現各項目之重要性。經研究初步評審八份國內山坡地檢查表格，整理出「現有各項山坡地社區安全檢查彙整一覽表」，詳如表 7，以對八份表格完整充分之認知。

表 7 各項坡地安全檢查彙整表

安全檢查表名稱	所屬單位或個人	作業意見
山坡地現況資料調查表	行政院公共工程委員會山坡地安全諮詢小組	<ol style="list-style-type: none"> 1. 內容完整性較差。 2. 勾選上大部份係以是否作選擇，雖容易填答，但太過二分法，有時難以表達實際情況。 3. 僅單方面填答後，以網際網路電傳方式處理，是否能真正瞭解實際情況，有待詳加確認。
山坡地住宅社區安全檢查記錄表	內政部營建署	<ol style="list-style-type: none"> 1. 檢視項目詳盡且完整。 2. 由於採分項勾選與填寫，使得檢視項目顯得相當龐雜。 3. 對於設計階段之資料取得有實際困難，牽涉地質工程參數之資料若無原有鑽探報告、實驗數據之輔助，基本上是無法填寫的。 4. 如無相當專業知識，填答可能會有困難，不利推廣。
坡地社區安全居住手冊(坡地社區管理維護檢視表)	內政部營建署	<ol style="list-style-type: none"> 1. 檢視項目簡單易懂且精簡，應用上非常方便。 2. 勾選上大部份係以是否作選擇，雖容易填答，但太過二分法，有時難以表達實際情況。 3. 表格最後有「行動指標」，明確表示後續之因應方式。 4. 表後提供專業機構之諮詢聯絡方式，獲普遍性認同。
山坡地住宅安全自助檢視表	內政部營建署	<ol style="list-style-type: none"> 1. 檢視項目簡單易懂，但缺乏完整性。 2. 勾選上大部份係以是否作選擇，雖容易填答，但太過二分法，有時難以表達實際情況。 3. 表後提供專業機構之諮詢聯絡方式。
山坡地住宅簡易安全檢視表	內政部建築研究所	<ol style="list-style-type: none"> 1. 各項問題僅以輕微、普通、嚴重三種等級作勾選，填答方便性極佳。 2. 內容完整性稍有不足。
你的居住環境成績單	內政部建築研究所	<ol style="list-style-type: none"> 1. 內容完整性非常不足。 2. 填答以劣(0分)差(2分)可(4分)優(5分)作勾選尚屬便捷，但整體而言，內容太少缺乏說服力。
山坡地水土保持設施安全自行檢查表	行政院農委會水保局	<ol style="list-style-type: none"> 1. 內容完整詳實。 2. 各項問題及綜合評估有輕微、中度、嚴重三種等級作勾選、填答具方便性、但仍有主觀判斷誤差成份。
山坡地社區安全檢查表	中華民國土木技師公會全國聯合會	<ol style="list-style-type: none"> 1. 內容完整性及填答容易度佳。 2. 各項目列有危險度評分等級，可適當表現各項目之重要程度。 3. 依據填表使用說明，可獲得危險度總分及評估等級，將可作為後續因應方式之參考。

資料來源：1. 林家賢，「坡地社區安全維護工作之研究-以基隆市為例」，國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士論文，西元 2004 年 6 月，86-87 頁。2. 作者自製。

評析八項表格之優劣及適用性，依「完整性」、「撰寫難易性」、「評估項目重要性」、「結論明確性」等四項評估準則，每一評估準則並設定「優」、「可」及「劣」等三個等級，整理出「坡地安全檢查表優劣評析表」，詳如表 8，經綜合評析以「坡地社區安全居住手冊」、「山坡地水土保持設施安全自行檢查表」及「山坡地社區安全檢查表」為最佳。

(三)國軍坡地安全檢查

就國軍而言，由法規、執行評估難易、後續處理等三個面向分析如下：

1. 就法規言

營區內土地屬國防部所有的特定事業用地，營區內之人工邊坡處理與維護的權責，由水土保持義務人(使用單位)，若營區內有溪流堤岸(水利區)則由興辦水利事業人或水利事業管理機關，基此，營區內邊坡處

表 8 坡地安全檢查表優劣評析表

安全檢查表名稱	完整性			撰寫難易性			評估項目重要性			結論明確性			綜合評析		
	優	可	劣	優	可	劣	優	可	劣	優	可	劣	優	可	劣
山坡地現況資料調查表			◎	◎					◎			◎			◎
山坡地住宅社區安全檢查記錄表	◎					◎		◎			◎			◎	
坡地社區安全居住手冊	◎			◎				◎			◎			◎	
山坡地住宅安全自助檢視表			◎	◎					◎			◎			◎
山坡地住宅簡易安全檢視表		◎		◎				◎			◎			◎	
你的居住環境成績單			◎	◎					◎			◎			◎
山坡地水土保持設施安全自行檢查表	◎			◎				◎				◎	◎		
山坡地社區安全檢查表	◎			◎				◎			◎		◎		

資料來源：1.林家賢，"坡地社區安全維護工作之研究-以基隆市為例"，國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士論文，西元 2004 年 6 月，88 頁。
2.作者自製。

理與維護的權責由使用單位負責(國軍)，除營區內之溪流堤岸(水利區)已由行政院核定公告之區域，始由水利事業管理機關(經濟部或縣市政府)負責處理與維護。

2.就執行評估難易言

近年招募政策，專業軍官及自選自訓軍官開放大學各式非工程相關科系人員報考，致國軍基層工程軍官工程知識良莠不齊，基此，每年防汛期為執行山坡地安全檢查之表格應符合「填寫簡單」及「專業名詞少」之要求，以內政部營建署推出的「坡地社區管理維護檢視表」、中華民國土木技師公會全國聯合會的「山坡地社區安全檢查表」及行政院農委會水保局運用的「山坡地水土保持設施安全自行檢查表」(國軍現行使用之檢查表)，較符合國軍需求。

3.就後續處理言

現行國家業管山坡地安全的單位，係以山坡地功能來區分權責，森林、公路、水利及山坡地社區等，現行營區土地與建築與水利及山坡地社區佔大多數，國家主管機關則分別為農委會

水保局及內政部營建署，上述單位對山坡地安全檢查評估，有提供檢查評估表格，供一般民眾運用，亦會收整民眾檢查表實施安全分析，故國軍工程人員運用水保局及營建署相關檢查表後，對營區山坡地有危險疑慮之處，亦可逕洽主管機關協助分析判斷；另中華民國土木技師公會全國聯合會的「山坡地社區安全檢查表」雖有後續處理程序，但「中華民國土木技師公會全國聯合會」非政府機構，後續引用處理有本逐末之疑。

(四)小結

各表優缺點比較後，符合填寫簡單、專業名詞少，完成後方便作為下一階段處理之準據，以內政部營建署推出的坡地社區管理維護檢視表較佳；另國軍現行使用之檢查表為行政院農委會水保局推薦運用的山坡地水土保持設施安全自行檢查表，完成後結合工程諮詢小組專業判斷，亦可滿足初步評估之要求；綜上國軍亦可適用，惟上述兩表評估過程易受填寫人員認知差異所影響，故應於各題目答案選項文字敘述後，加入相關

圖例作為判斷參考，統一填寫人員標準，應可有效提升判斷精度。

三、國內外坡地安全評估比較分析

國內外常用坡地安全評估表就「檢查人員」、「表格設計方式」及「定量化」等三部分實施比較；根據國、內外常用及文獻發表的評估表格，可歸納整理如表 9 所示。

(一) 檢查人員

國內評估表大部分由社區居民或水土保持義務人來填表，非專業人員判斷標準難以相同，亦無相關圖例

參考，誤差難以掌控；另部分由專業人員填表，需靠縣市政府編列預算支應，故難以定期評估。國外均由專業人員實施紀錄判斷，評估結果較為準確。

(二) 表格設計方式

國內評估表之設計均採以勾選方式，易受填表人認知差異影響，容易陷入二分法或三分法，難以呈現實際狀況；國外評估表同樣以二分法或三分法並搭配直接賦予各選項評分範圍，運用較為活化。

表 9 國內外坡地社區安全評估比較表

單位	表格名稱	檢查人員	表格設計方式	定量化
行政院公共工程委員會	山坡地現況資料調查表	社區居民	以是或否之方式供檢查人員選擇	無
內政部營建署	山坡地住宅社區安全檢查記錄表	專業人員	以選項之方式供檢查人員填寫	無
內政部營建署	坡地社區安全居住手冊(坡地社區管理維護檢視表)	社區居民	以是或否之方式供檢查人員選擇	無
內政部營建署	山坡地住宅安全自助檢視表	社區居民	以是或否之方式供檢查人員選擇	無
內政部建築研究所	山坡地住宅簡易安全檢視表	專業人員	以選項之方式供檢查人員填寫	無
內政部建築研究所	你的居住環境成績單	社區居民	以選項之方式供檢查人員填寫	無
農委會水保局	山坡地水土保持設施安全自行檢查表	社區居民	以選項之方式供檢查人員填寫	無
土木技師公會	山坡地社區安全檢查表	專業人員	文字敘述加上基照本資料填寫與說明	無
日本點數法	邊坡影響因素評估標準表	專業人員	必須給予各選項評分	有
香港 GEO 評估法	邊坡/擋土設施登記及篩選表、邊坡危險徵兆檢視表及崩塌生命損失類別	專業人員	必須給予各選項評分	有

資料來源：1. 內政部建築研究所報告(2008)。2. 作者自製。

(三) 定量化

目前國內常使用的安全評估法與國外安全評估方法中最大的差異在於有無量化的指標。國內所用的八份安全評估，並未量化來區分山坡地危險等級，具分級判斷評估表，分級方式多以部分評估項次結果直接分級，以內政部營建署「坡地社區安全居住手冊」中所載「坡地社區管理維護檢視表」為例，檢查項目所顯現出來的評分基準均以檢查人員之檢查結果與個人經驗為依據，將檢查的結果判定為 D、N、S 三級，比較主觀且無量化的基準；而國外的坡地安全評估法：日本點數法與香港 G.E.O. 評估法皆有量化的評分標準體系進行邊坡安全與否程度之分級。

結語

臺灣山坡地因人為開發過度、坡地地質及環境氣候影響等因素，坡地常有滑動、傾覆、墜落等山坡地災害。為防止災害發生，常於山坡地施作擋土設施、蛇籠、植樁、植草等一般護

坡工程加以穩固山坡地之邊坡，而工程設施均有生命週期，亦受環境因素、地層、土壤性質等天然條件與工程規劃設計、施工品質及維護管理等工程品質影響；由於坡地災害頻傳，國家法令不斷檢討亦漸趨完整，加強起造人、建築物所有權人、使用人、利害關係人及水土保持義務人等相關維護義務人員法律責任；同理可證營區內山坡地邊坡國軍亦負有維護之責，如何預防災害勝於事後救災，成為所有義務人員的目標，主管機關應要求所屬建立維護管理機制，基此，機關提供山坡地安全評估表供維護義務人(一般民眾)參用，力求早期發現異常徵兆立即處理，以消彌坡地災害於無形。

工兵支援阻絕設置能量分析-以聯兵旅工兵連為例

吳珮瑄少校

提要

- 一、工兵屬於陸軍戰鬥支援單位，為有效支援聯合兵種營遂行作戰任務，檢討提升工兵部隊編組效能，以精進「模組、彈性、效能高」編組，協力聯兵旅遂行作戰，以「排」級為單位，保持兵力運用之彈性，以肆應多元化之作戰任務。
- 二、因應本軍「可恃戰力」組織調整，我們亦將聯兵旅一個工兵排賦予機動、反機動及提升戰場生存力之作業能量，任務編組以一個排之模組化編組，可依據敵情或狀況，俾利配合主戰部隊完成各項工兵支援作業。
- 三、本研究運用想定誘導工兵阻絕設置規劃，除了參考美軍雷區設置參數外，也與我軍現行工兵部隊常用之障礙設置作比較，發現除了在設置作業時間相差甚大，且本軍所運用的資阻材需求量與種類也偏多，而在戰術阻絕運用中，也與現行部隊在規劃阻絕計畫考慮項目及順序均不大相同，故建議應建立本軍標準障礙物參數表，並強化幹部阻絕設置規劃程序及阻材計算，以量化工兵部隊支援能力。

關鍵字：工兵作業能量、阻絕效果、阻材計算

前言

工兵屬於陸軍戰鬥支援單位，工兵之戰鬥支援任務主在機動、反機動及勤務支援。機動任務以障礙物排除、道路搶修、橋樑架設、便引道開設及渡河技術等手段為主；反機動任務以雷區與障礙物設置、工事構

築、爆破等手段為主；勤務支援任務為野戰給水、野戰照明、軍事工程及簡易測量等作業¹。

因應本軍「可恃戰力」組織調整，為有效支援聯合兵種營遂行作戰任務，檢討提升工兵部隊編組效能，以精進「模組、彈性、效能高」編組，協力聯兵旅遂行作戰，以「排」級為單位，保持兵力運用之彈性，可彈性

¹ 陸軍司令部印頒，《陸軍戰鬥工兵營、連(排)作戰教範(第三版)》(臺北：國防部，2013年11月)，頁1-1。

配屬各「聯合兵種營」執行工兵支援作業，以肆應多元化之作戰任務。

調整後編裝能量分析

一、任務與編裝特性

聯兵旅工兵連戰時負責維護打擊路線暢通，與機動阻絕設置、勤務支援等任務，以強化聯兵旅作戰效能²；平時從事各項工兵專長訓練與作戰整備，並依旅之命令，支援責任區執行災害防救任務，協力遂行水上救援、道路搶通等行動。

(一)假定編裝

隸屬旅部，由連部、戰鬥工兵排×3(排部、戰鬥工兵班×2、工兵裝備班)所組成(如圖1)。

(二)假定編制裝備

假設編制主要工兵裝備計有機動橋、多功能工兵車、工兵機械(挖土機、裝土機、推土機)、爆破成套工具、地雷搜索器、機動阻絕尾車、舟艇等(如表1)。

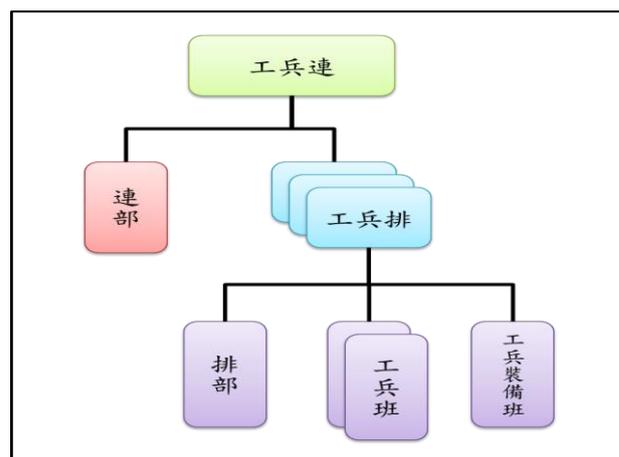


圖 1 聯兵旅工兵連假定組織架構圖
資料來源：作者自行繪製。

表 1 聯兵旅工兵連工兵裝備假定統計表

項次	配賦單位	單位編制數	裝備配賦數								
			機動橋	多功能工兵車	挖土機	裝土機	推土機	爆破成套工具	地雷搜索器	機動阻絕尾車	偵察突擊舟
1	工兵第一班	3	0	0	0	0	0	1	1	1	1
2	工兵第二班	3	0	1	0	0	0	1	1	1	1
3	工兵裝備班	3	1	0	1	1	1	0	0	0	0
工兵排裝備總數合計			1	1	1	1	1	2	2	2	2
工兵連裝備總數合計			2	3	3	3	3	6	6	6	6
備考	1. 機動橋：5 分鐘完成 18.3 公尺架設(僅 1、2 排配賦)。 2. 多功能工兵車每小時裝載 20 立方公尺或挖掘 6 立方公尺。 3. 挖土機每小時挖土 125 立方公尺。 4. 裝土機每小時裝載 85 立方公尺。 5. 推土機每小時推土 198 立方公尺。 6. 機動阻絕尾車：10 分鐘完成 75 公尺三疊式蛇腹型鐵絲網架設。										

資料來源：作者自行彙製。

² 同註 1，頁 1-10~1-13。

二、作業能量分析

工兵作業任務區分機動、反機動及提升戰場生存力，以下僅以聯兵旅工兵連假設配賦裝備針對支援類型及作業能量實施說明。

(一)機動

為了促進部隊機動路線暢通，可運用工兵機械改變地形移除障礙與道路整修、爆破手段完成障礙排除與開闢雷區通路及機動橋實施越障等支援類型。

1.障礙排除(道路整修)

一個工兵排裝備計有多功能工兵車、挖土機、裝土機、推土機各 1 部，土方作業量為每小時裝載 105 立方公尺，挖掘 323 立方公尺；可於 5 分鐘內完成 35 公尺非固定式障礙通路開設，或 20 分鐘內可完成 35 公尺局部道路整修。

2.雷區排除(障礙排除)

一個工兵排下轄二個工兵班，運用爆破筒以爆破方式開設通路，可於 10 分鐘內，同時開設 2 條長 20 公尺，寬 3 至 4.5 公尺寬之雷區通路；或運用爆破方式針對固定式障礙物，可於 10 分鐘內同時排除 11 個固定式障礙物。

3.跨越地障

一個工兵排下轄機動橋

1 部，可於 5 分鐘內跨越 1 條 18.3 公尺內之壕溝。

(二)反機動

為確保側翼安全，需運用雷區設置或障礙設置之狀況性阻絕，以拘束或阻止敵軍。

1.雷區設置

一個工兵排下轄二個工兵班，於道路布雷時每人每 4 分鐘可完成 1 枚地雷設置，20 分鐘可完成一條寬 5 公尺、長約 10 公尺之道路布雷(面密度為 1)。

2.障礙設置

一個工兵排可於 10 分鐘內完成 150 公尺蛇腹型鐵絲網設置及 1 小時可構築 5.5 個防戰車壕(尺寸概為長 4 公尺、寬 6 公尺、高 2.5 公尺)。

(三)提升戰場生存力

為發揚武器火力，確保人員裝備之安全，便於我軍指揮、觀測、射擊、運動、隱蔽及掩蔽，運用工兵機械構築必要預備陣地或各式掩體，以提升戰場生存力。一個工兵排於 1 小時內可構築 6 個 M60 戰車掩體(51 立方公尺土方)。

三、阻絕設置需求原則

阻絕所需設置需求係根據工兵參謀在發展阻絕計畫時，規劃往下兩個階層阻絕帶(群)之排列，並符合阻絕管制措施。

(一)阻絕效果

阻絕效果區分擾亂、轉向、遲滯、阻止等 4 種，其材料規劃係數如表 2 所示，藉由接近路線寬度乘以材料係數來提供部隊準備所需設置阻絕之材料。

(二)材料係數(如圖 2)

阻絕管制措施提供了線性阻絕效果，圖中顯示了每個阻絕效果所需材料係數、接近路線寬度、所需總線性阻絕效果和獨立障礙物可能排列之間的關係，工兵參謀可以運用標準規劃係數和阻絕整合計算出所需資阻材，並提供和有效分配給下級單位。

綜合以上，我們可以得知聯兵旅一個工兵排機動、反機動及提升戰場生存力之作業能量分析，如表 3 所示，任務編組以一個排之模組化編組，可依據敵情或狀況，配合主戰部隊完成各項工兵支援作業。

表 2 阻絕效果材料係數表

阻絕效果	材料規劃係數
擾亂	0.5
轉向	1.2
遲滯	1.0
阻止	2.4

資料來源：作者參考 FM 90-7 Combined Arms Obstacle Integration : Obstacle Resourcing and Supply Operations (United States, Department of Army, Washington, D.C., 10 April 2003), P.C-2 自行繪製。

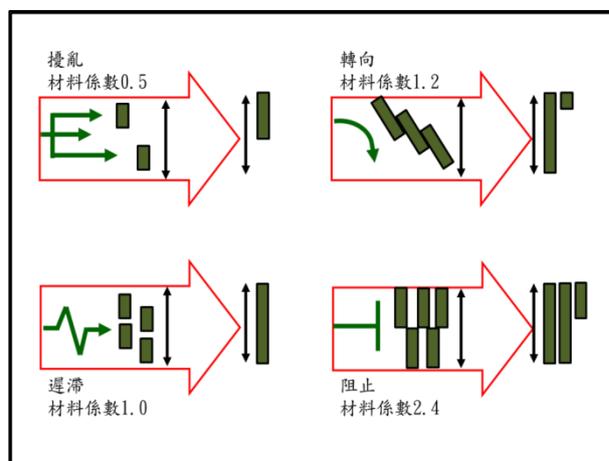


圖 2 阻絕材料係數

資料來源：1.作者參考 FM 90-7 Combined Arms Obstacle Integration : Obstacle Resourcing and Supply Operations (United States, Department of Army, Washington, D.C., 10 April 2003), P.C-2.自行繪製。

表 3 聯兵旅工兵排作業能量分析

支援類型	作業能量
機動	一、5 分鐘內完成 35 公尺非固定式障礙通路開設。 二、20 分鐘內可完成 35 公尺局部道路整修。 三、10 分鐘內，同時開設 2 條長 20 公尺，寬 3 至 4.5 公尺寬之雷區通路。 四、10 分鐘內同時排除 11 個固定式障礙物。 五、5 分鐘內跨越 1 條 18.3 公尺內之壕溝。(僅 1 及 2 排配賦)
反機動	一、20 分鐘可完成一條寬 5 公尺、長 10 公尺之道路布雷。 二、10 分鐘內完成 150 公尺蛇腹型鐵絲網設置。 三、1 小時可構築 5.5 個防戰車壕。
戰場生存	1 小時內可構築 6 個 M60 戰車掩體
備考	一、工兵排每小時土方作業量為每小時裝載 105 立方公尺，挖掘 323 立方公尺。 二、道路布雷，每枚設置時間為 4 分鐘。

資料來源：作者自行彙製。

本軍與美軍工兵支援阻絕效能探討

一、想定狀況

(一)一般狀況(如圖 3 所示)

1.我軍

(1)陸軍

A.第 1 軍團擔任南福爾摩沙守備任務，企圖依托沿海有利地形和既設陣地，阻止敵軍登陸進攻，確保南福爾摩沙安全；本「積極防禦、獨立固守、戰略持久、戰術速決」之戰略指導，兵力重點指向甲溪至乙溪間濱海地區；結合「防衛固守、重層嚇阻」及「濱海決勝、灘岸殲敵」之要旨，集中優勢之兵、火力，火殲敵於坐灘(擱淺)線。

B.機步 2 旅任甲溪(含)至乙溪(不含)間海岸防禦，D 市至 G 區為主要防禦方向，企圖扼守 A 市機場、D 港諸要點，阻止敵軍突擊上陸和向 P 市方向進攻發展，以利爾後作戰。

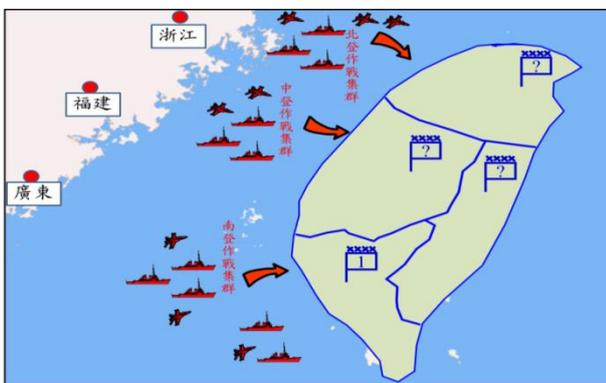


圖 3 一般狀況圖
資料來源：作者自行繪製。

(2)海軍：正致力於海權爭奪，短期內無法支援陸上作戰。

(3)空軍：目前正積極爭取乙溪以北地區之制空權，無法支援陸上作戰。

(4)化生放核：軍團所屬各部隊，均具備基本化生放核防護能力。

(5)電子戰：僅能實施有限度電子戰防護。

2.敵軍

(1)陸軍

A.登陸戰役編成南部作戰集團，受命於南福爾摩沙地區實施多維快速突擊上陸，南攻軍集中優勢力量於辛溪-王溪間採多方向戰略進攻方式進攻，區分三路縱隊，分由 A 市、L 市及 O 市登陸；其編成內第 73 集團軍，企圖奪佔 J 區要域、A 市機場及 L 港諸要點，以迅速癱瘓敵軍關節要害，瓦解其作戰體系，在第 2 梯隊協力下向 J 區要域發展進攻，攻佔南福爾摩沙，以戰逼降解放福爾摩沙。

B.第 73 集團軍，由合成第 3 旅、合成第 91 旅、合成第 15 旅、合成第 86 旅、合成第 91 旅、合成第 126 旅、陸航第 146 旅、砲兵第 73 旅及部

分輸送、支援掩護兵力編成，為主要作戰集團，在第 2 至 3 號裝載上船地區裝載上船。登島兵力編成第 1 個梯隊，於 D 日 T 時，在 A 市至 L 市之線突擊上陸，突破敵軍部屬，於地區建立登陸場，確保後續梯隊登陸上岸持續向東發展，並配合空機降部隊協力下，奪取 A 市機場建立空(機)降場，後續沿 T17、T28、T22 號道、C182 號道等多條道路實施機動。

C. 兩棲裝甲合成旅為集團登島第 1 梯隊主力，D 日 T 時，於 G 區海灘突擊上陸，藉海、空優勢火力搶灘上陸，殲滅當面敵軍，建立登陸基地，俾利集團軍任務之達成。

(2) 海軍：正致力於海權爭奪，短期內無法支援陸上作戰。

(3) 空軍：敵空軍活動頻繁，對乙溪以北不隊實施偵察。

(4) 化生放核：敵各部隊均具有化生放核作戰能力，惟未發現使用徵候。

(5) 電子戰：集團軍所屬電子部隊可有效對敵實施電子偵蒐、干擾、欺騙、偽冒及電子反制等作為。

(二) 特別狀況(如圖 4 所示)

1. 機步 2 旅於 D 日 0900 時接獲軍團命令，要旨如下：

(1) 現對岸共軍活動頻繁，貴旅即依作戰計畫，於現地實施戰力防護，依令執行重要目標防護、反空機降及應援反擊等任務，以利爾後作戰。

(2) 工兵連配屬貴旅運用。

2. 機步 2 旅旅長受命後隨即召集指揮所參謀宣達任務，並實施初步參謀作業指導如下：

(1) 通知各部隊儘速完成出發前準備。

(2) 參謀主任立刻完成行軍命令下發，務必於 1100 時抵達戰術位置，以爭取防禦準備時間。

3. 現在時間：D-3 日 0900，貴官為機步 2 旅工兵參謀官，正實施阻絕計畫作業。

4. 問題：依據指揮官作戰企圖完成作戰地區內阻絕計畫，並計算人時及所需器材數量。

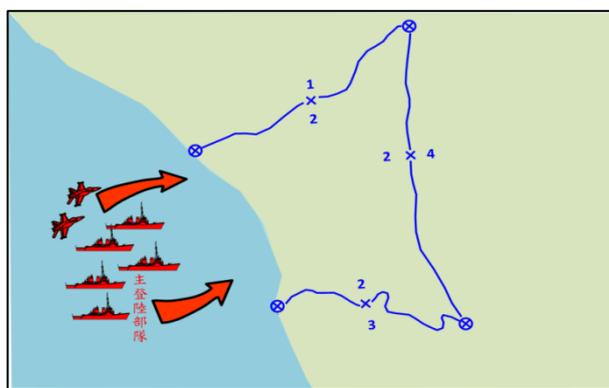


圖 4 特別狀況圖
資料來源：作者自行繪製。

二、戰場情報準備成果

(一) 界定戰場空間

作戰地區北起甲溪、南迄乙溪、西臨臺灣海峽、東濱 F1 號道，南北縱長 10 公里，東西橫寬 9 公里，作戰地區範圍如圖 5 所示。

(二) 分析作戰地區(如圖 6)

1. 天氣

作戰地區於每年 10 月至翌年 3 月因強烈東北季風，造成最大潮差達 6 公尺，風浪 6~7 級，不利敵兩棲裝甲車及氣墊船泛水，綜合研析 4 至 9 月平均波高低於 1 公尺，故較適宜執行登陸作戰月份；另夏令及冬令日出時間分別為 05 時 18 分及 05 時 41 分。

2. 山系

作戰地區內多為平原地區，無標高超過 1,000 公尺以上之地形，對人員及各型車輛

均不造成障礙，城鎮村落密佈，於作戰地區內東南方具有子山等獨立高地，為敵我攻防作戰必奪之要點。

3. 水系

(1) 作戰地區內主要河川計有甲溪及乙溪等 2 條，均屬於東西流向，甲溪河幅約 40~70 公尺，漲水期深約 3~5 公尺，平水期約 1 公尺；乙溪河幅寬約 15~120 公尺，漲水期水深 4 公尺，平水期約 1.8 公尺，涸水期 0.4 公尺。

(2) 作戰地區主要橋樑計有甲溪橋、乙溪橋、丙橋、丁橋、戊橋、己橋、庚橋等 7 條橋樑，對敵我雙方部隊南北機動軍造成障礙。

4. 城鎮

作戰地區內主要城鎮計有 A 市、B 市、C 市，人口較為稠密，交通網四通八達，建築物密布。

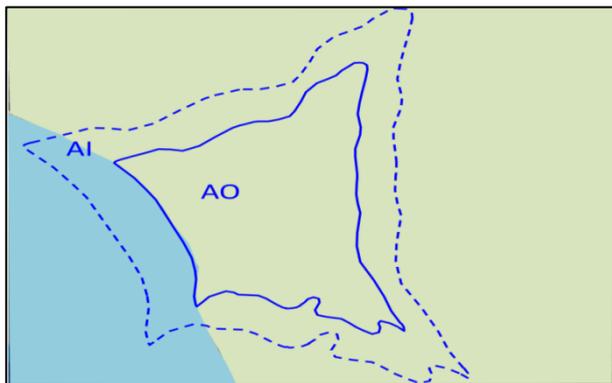


圖 5 作戰地區與利害地區示意圖



圖 6 作戰地區分析

資料來源：作者自行繪製。

5. 交通

(1) 縱向道路

計有T17、T17甲、T1及T20號道等4主要道路，其中T1及T20號道可經由C180及C182號道等橫向道路相互通連，迅速到達D港及A市機場，為南北轉用兵力要道。

(2) 橫向道路

主要橫向道路為T86號東西向快速道路，自E段起終點至F段，全線均為高架道路，橋墩高度為3.8-5.3公尺，入口處與T17號道相接，可通行各型戰甲車。

6. 水文港灣

(1) 灘岸

G區海灘可供敵3個營級以上部隊實施正規登陸，海灘北起A市運河南岸，南迄乙溪北岸，全長3,840公尺，海灘縱深最窄處僅21公尺，最寬處達420公尺，平均縱深為155公尺，本海灘鄰近D商港、H港、A市機場及I機場，若遭敵登陸上岸後，可運用鄰近機場及港口實施行政下卸。

(2) 港口

作戰地區內工商漁港計2座，區分商港1座、漁港1座；研判敵可運用直升機、氣墊船及登陸艇實施越海突擊，快速奪港佔領碼頭，以利後續部隊、重裝備物資行政下卸，增長戰力。

7. 空降場

作戰地區空降場有A市機場3平方公里，概可提供一次空降兵力約690人，約1個加強合成營之兵力，研判敵可運用空(機)降部隊奪取機場並扼控關鍵要點，策應登陸地區作戰及迅速增長戰力。

(三) 評估敵軍威脅

G區海灘正面長度約4公里，可供共軍2至3個合成營級部隊實施正規登陸，判登陸部隊為南作戰集群登島作戰集團下轄之兩棲裝甲合成旅、運輸船團、破障部隊及火力支援部隊所編成，兵力約3千百餘人，具備海、空聯合登陸作戰能力，主要登陸部隊配賦05式兩棲突擊車及05式兩棲步兵戰鬥車，具裝甲防護能力，並能於突擊上陸階段於海上對我灘岸守備部隊實施攻擊。

(四) 研判敵可能行動

研判敵以4至6個營兵力，在海、空軍、空(機)降兵力及後續增援部隊支援下，主力於J市地區登陸，一部於K市、L市附近登陸，分別奪取D港、H港、J市、K市、L市等港口，開放A市、M市及N機場，建立攻勢基地，於甲溪至乙溪突擊上陸，策應攻臺主力作戰，敵可能行動如圖7所示。

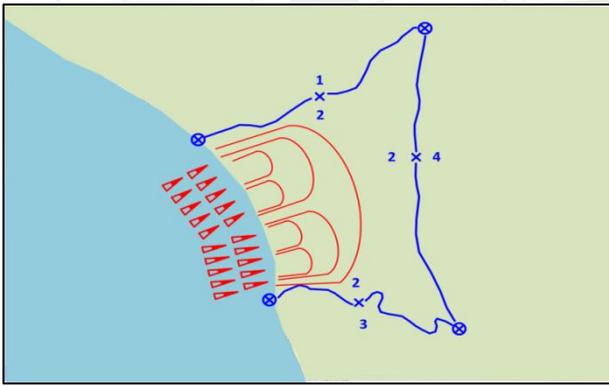


圖 7 敵可能行動示意圖

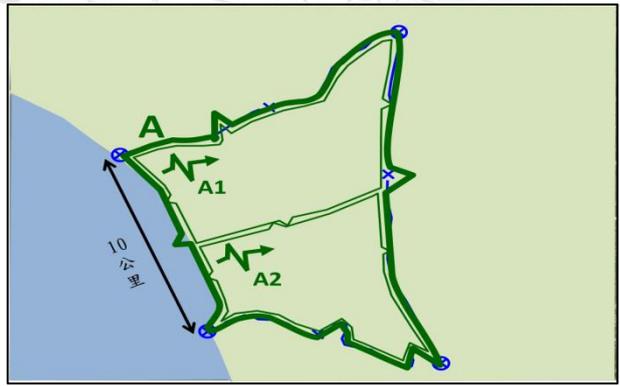


圖 8 阻絕設置規劃

資料來源：作者自行繪製。

三、阻絕設置規劃

阻絕設置規劃應由作戰科執行，方能符合作戰所需要之效果，在戰場情報準備成果分析後，完成我軍防禦部屬及阻絕規劃，本章節以機步2旅為例，上級指揮官作戰企圖為達到遲滯效果，針對作戰地區內阻絕設置規劃之分析，以了解本軍現行阻絕設置作業能量。

(一)設置規劃

依據旅長作戰企圖，於作戰地區內具備有遲滯之效果，以利軍團之作戰，配合作戰部隊兵火力配置後，於防禦正面完成 2 組阻絕群，依據戰場情報準備初步成果研判敵接近路線寬度為圖上距離 10 公里，設置模式如圖 8 所示。

(二)美軍雷區設置作業時間及資阻材計算

美軍依據敵接近路線寬度規劃、所需阻絕效果材料係

數來計算地雷數量及作業時間，如表 4 所示旅級賦予 A 阻絕區須達到遲滯效果，旅部工兵官規劃兩個阻絕帶 A1 和 A2，查詢表 2 可得知遲滯效果材料係數為 1，每座雷區正面 250 公尺，縱深 120 公尺，共需要設置 40 座雷區，5880 顆地雷，以一個工兵連所需設置完成時間約 2 天可完成，其雷區可能設置方式如圖 9。

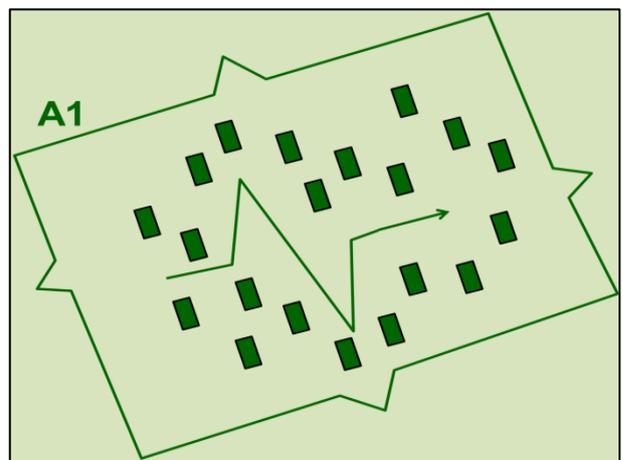


圖 9 美軍阻絕帶 A1 遲滯效果可能排列方式

資料來源：作者自行繪製。

表 4 美軍資源需求計算表

阻絕區	A	
阻絕帶	1	2
阻絕效果	遲滯	遲滯
材料係數	1	1
敵接近路線寬度	5	5
線性(公里數)	5	5
雷區正面(公尺)	250	250
雷區縱深(公尺)	120	120
雷區數量	20	20
地雷數量/單一雷區	147	147
作業排時/單一雷區	1.5	1.5
所需地雷	2940	2940
所需排時	30	30
地雷總數量	5880	
作業總排時	60	
備註	3 個工兵排=1 個工兵連可於 2 天完成每日作業 10 小時計算	

資料來源：作者參考 FM 20-32 Mine/Countermine Operation: Mine-Warfare Principle (United States, Department of Army, Washington, D.C., 1 October 2002), P.6-28 自行繪製。

(三)我軍阻絕設置作業時間及資阻材計算

以本軍目前現有阻絕設置來規劃，依遲滯效果材料係數計算後，同上述 A1 阻絕帶需要 20 組阻絕設置，每組阻絕群正面以 250 公尺，縱深

120 公尺來估算，規劃運用鋼刺蝟、反戰車壕、雷區及蛇腹型鐵絲網等 4 類阻絕設置，每種設置均須 5 組，才可達到材料係數 1 之遲滯效果，其我軍阻絕需求如表 5 所示，其可能設置排列方式如圖 10。

表 5 我軍資源需求計算表

阻絕帶	A1			
阻絕群編號	1-5	6-10	11-15	16-20
阻絕類別	鋼刺蝟	防戰車壕	定距雷區	蛇腹型鐵絲網
各行距離(公尺)	2	2	6 公尺模組	36 公尺為一組
各列距離(公尺)	5	5	10	20
阻絕群數量	5	5	5	5
數量/單一阻絕群	3,150 組 (126*25)	403 座 (31*13)	2,184 顆 (42*13)*4	鐵絲網 49 捲 (7*7)
作業班時/單一阻絕群	66	75	52	25
所需兵力	工兵班	裝備班	工兵班	工兵班
所需阻材	15,750 組	2,015 座	10,920 顆	鐵絲網 245 捲
所需班時	330	375	260	125
作業總排時	平均約 365			
備註	3 個工兵排=1 個工兵連約 12 天完成每日作業 10 小時計算			

資料來源：作者參考陸軍司令部印頒，《陸軍障礙物設置作業手冊(第一版)》(臺北：國防部，2009年8月)，附 3-1~3 自行彙製。

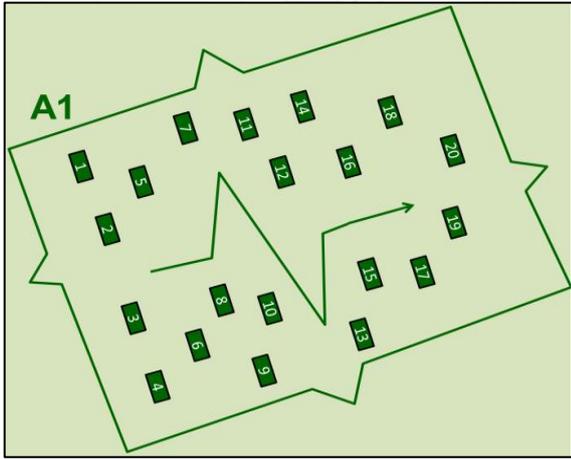


圖 10 本軍阻絕帶 A1 遲滯效果可能排列方式
資料來源：作者自行繪製。

研究發現與建議

綜合以上阻絕設置，發現除了在設置作業時間至少相差 6 倍以上，及本軍所運用的資阻材需求量與種類也偏多，且在戰術阻絕運用中，也與現行部隊在規劃阻絕計畫考慮項目及順序均不大相同，以下針對阻絕效能及戰術運用分析提出幾點建議：

一、建立標準化障礙物參數

依據美軍阻絕效果可區分擾亂、轉向、遲滯、阻止等 4 種，

並律定其不同材料規劃係數，藉由敵接近路線寬度乘以材料係數，以提供部隊準備所需設置阻絕之材料，惟本軍尚無相關資料可查，建議可參考美軍雷區參數表，如表 6 所示，或藉由模擬系統取得可用參數，建立本軍標準化單一獨立障礙物，並律定其正面、縱深、阻材數量、設置方式、作業排時，以提供部隊作為計算材料及作業時間參考依據。

二、強化工兵幹部阻絕規劃

工兵部隊在執行阻絕設置任務時，必會依據主戰部隊受領任務後之指參作業程序，來撰擬工兵支援圖解與工兵計畫，藉由分析行動方案，依主戰部隊任務規劃預想殲敵地區，配合防禦陣地兵力配置，依任務需求來規劃工兵支援阻絕效果，才能發揮阻絕最大效果，並藉由戰術性阻絕四大效果之聯戰符號實施戰術圖解繪製，而不是以連級

表 6 美軍戰術型雷區參數表

項目	擾亂	遲滯	轉向	阻止
雷區正面	250 公尺	250 公尺	500 公尺	500 公尺
雷區縱深	100 公尺	120 公尺	300 公尺	320 公尺
全寬地雷列數	1	1	4	4
履帶寬地雷列數	2	2	2	2
IOE	無	有	無	有
反搬移裝置	無	無	無	有
所需排時	1.5	1.5	3.5	5
全寬地雷總數量	42	63	336	378
履帶寬地雷總數量	84	84	168	168
密度	0.5	0.6	1.0	1.1

資料來源：作者參考 FM 20-32 Mine/Countermine Operation : Mine-Warfare Principle (United States, Department of Army, Washington, D.C., 1 October 2002), P.6-28~6-32 自行繪製。

以下之各障礙物符號顯示，惟目前幹部皆著重在各項不同工兵支援戰技為主，對於如何支援主戰部隊完成阻絕規劃之戰術作為較為薄弱，建議可參考美軍研擬接戰地區步驟，如圖 11 所示，有效整合兵火力及阻絕才是工兵幹部須具備之戰術觀念。

三、增購各式機動布雷裝備

現代作戰型態已改變，工兵部隊應朝向以「快速阻絕、快速機動、快速布雷、快速排雷」之目標來發展，以現行工兵裝備之能量，恐無法滿足作戰支援，參考現代各國阻絕設置之方式，大部分皆以快速布雷為主，反觀本國現行地雷仍靠人

工設置，雖雷區設置效果可符合部隊任務需求，但作業時間過於冗長，建議可以增購各式布雷系統，無論是以大面積的車載式散撒布雷，藉由輪型或履帶型車輛實施近程布放，或是小面積的火箭布雷系統，藉由火箭發射可遠程布放，另有模組包式布雷系統，由四員單兵即可搬運設置，如表 7 所示，以上建議增購布雷系統地雷均屬於主動式磁感起爆，並具備有自毀功能，不需要經始、標記及記錄班，而設置班也僅需要 1 員操作手，搭配不同載具駕駛及車長即可完成，大大提升我軍快速設障之效能。

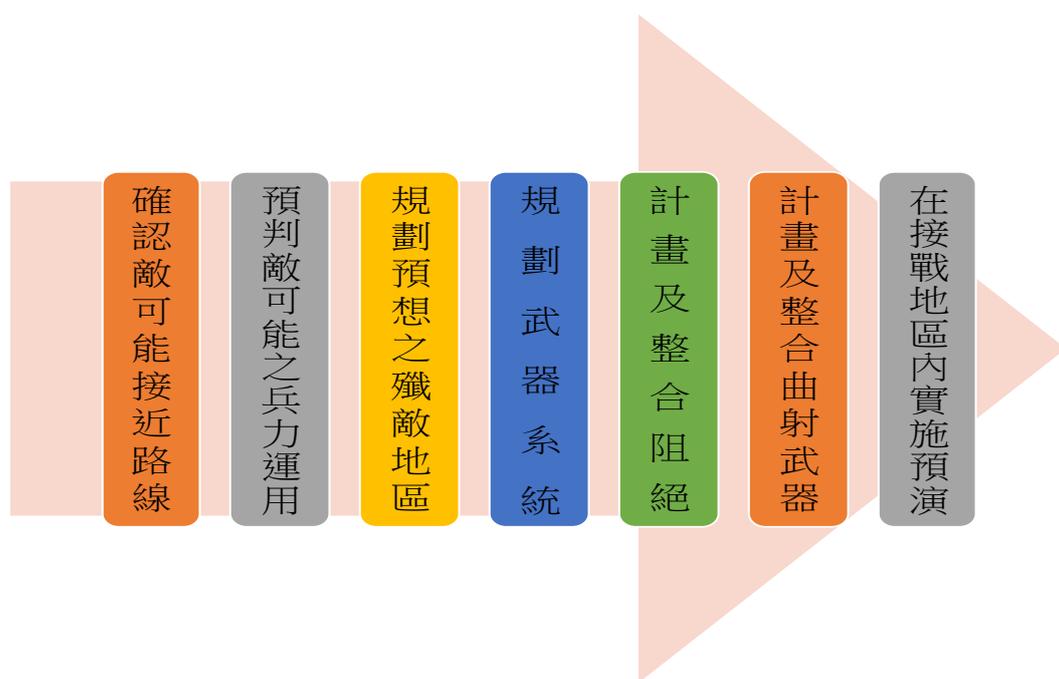
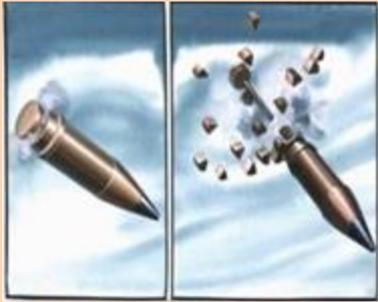


圖 11 美軍研擬接戰地區程序
資料來源：作者自行繪製。

表 7 散撒布雷系統參數表

型式	雷區大小	有效時間	發火時間	設置時間	圖片
砲兵布雷	擾亂/遲滯： 200×200 公尺 轉向/阻止： 400×400 公尺	4 小時 48 小時	1 分鐘	5 分鐘 200×200 公尺	
火山布雷	轉向/阻止： 555×320 公尺 遲滯/擾亂： 277×120 公尺	4 小時 48 小時 15 天	戰防雷： 2.5 分鐘 殺傷雷： 4 分鐘	10 分鐘 每 1100 公尺	
模組包式布雷	單組： 70×35 公尺 (單組) 擾亂： 280×70 公 尺(4 組) 遲滯： 280×105 公 尺(5 組)	4 小時	2 分鐘	每組 5 分鐘	

資料來源：作者參考 FM 20-32 Mine/Countermine Operation : Mine-Warfare Principle (United States, Department of Army, Washington, D.C., 1 October 2002), P.2-22 自行繪製。

結語

戰爭已朝非接觸、非對稱、非線性型態發展，主要體現在多領域作戰、混合式作戰等不同型態戰爭模式，然而，以目前工兵部隊支援能量有限的狀況下，應配合戰鬥部隊之作戰計畫，整合兵火力及阻絕設置效

果，來達到工兵在戰場上的「機動、反機動、戰場生存力」之任務，已達協同作戰之目的。

多用途橋車課程導入模擬器之研析

楊家心士官長

提要

- 一、隨國軍兵力精簡及時代進步，部隊朝向人員少、速度快、效率高的發展模式，已是各先進國家軍隊發展趨勢，以美軍工兵部隊橋樑架設作業，為減少作業人力需求，架設模式已逐漸以機械協建架設取代傳統人力架設，我軍工兵部隊近年來，也於橋樑架設訓練時，多方運用多用途橋車及堆高機等機具達到機械協建目的。
- 二、傳統工兵多用途橋車訓練方式具裝備數量少、耗費時間長及訓練風險高等限制因素。然現今時代趨勢，各訓練領域逐漸搭配虛擬系統發展及模擬器建構等高科技面向邁進，各國與我國國軍各部隊之訓練亦朝向發展訓練模擬器，將逼真戰場環境、操作系統擬真化、各項參數計算、風險因素與各項作業限制融入其中，使官兵能在擬真戰場環境下實施訓練，提高訓練成效。

關鍵字：多用途橋車、機械協建、模擬器

前言

鑒於多用途橋車課程屬高風險、高強度訓練項目，本中心於109年建置「橋樑架設組合訓練系統教室」，希望訓員藉由數位平台模擬多元課程，採循序漸進、訓後回顧及缺失矯正等標準程序模擬操作多用途橋車後，再實施實車訓練，希望以模擬器訓練，取代機具不足、天候不佳、訓員眾多等限制因素，提升教學品質與部隊戰力，達成防衛作戰使命。

多用途橋車模擬運用發展現況

一、多用途橋車訓練概述

於作戰階段，河川對部隊機動會產生一定的影響，而為使部隊遂行作戰時，各機動路線能暢通無阻，工兵部隊負有確保部隊機動路線暢通及順利渡河作業之重要責任，架橋作業為其中跨越障礙之專業手段之一；然早期架橋訓練僅能以人力實施土法煉鋼之方式，不僅辛苦且風險極高，現今橋樑架設方式已由傳統人力架設，

演變為機械協建架設，以達到人員少、速度快、效率高目的，我軍工兵部隊近年來，也於橋樑架設訓練時，多方運用多用途橋車及堆高機等機具達到機械協建目的。隨著時間的演進，現今各式軍用裝備操作訓練，已逐漸由傳統實機操作，輔以資訊系統發展實施訓練，輔助增加訓練效益(如圖 1、2、3)。

(一)多用途橋車簡介

1.發展概述

多用途橋車的發展始於英國，係以「機械協建」架設 MGB 中框橋之構想，而研製組裝成的裝備，主要目的係利用其橋車及吊桿配合少量人力，將各式橋材模組化進而架設完成整座 MGB 中框橋橋樑，除了



圖 1 多用途橋車吊掛作業(工兵小型機械)



圖 2 多用途橋車吊掛作業(大型阻材-消波塊、涵管)



圖 3 多用途橋車吊掛作業(M2、MGB 機械協建)

資料來源：工兵訓練中心測考中心資料，西元 2020 年 9 月。

可提昇橋樑架設能力外，並可節約戰時架橋作業兵力。本軍為配合新一代兵力整建，並提昇工兵部隊架橋能力，於民國 107 年至 109 年逐年分批採購 IVECO 8×8 型多用途橋車 30 部，係由國內常榮機械股份有限公司組裝生產。此兩種橋車除廠牌不同於英國橋車外，其性能及配備皆符合原設計需求，全車區分為車頭(駕駛艙)、車體、吊桿等三大部分，現為工兵部隊實施橋樑機械協建及橋材裝載或物資運送之吊運裝備(如圖 4)。

2. 諸元介紹¹

IVECO 多用途橋車係由車頭(駕駛艙)、車體、吊桿等三大部分所組成，各部分說明(如圖 5)：

(1)車頭(駕駛艙)：為左側駕駛，鋼質前平面傾斜式車艙，屬載重貨(卡)車頭。

(2)車體：將載台、底盤及車裝零附件等屬車體部分，載台可供各式橋材裝載運輸用(如圖 6、表 1)。

(3)吊桿：為老手牌(PALFINGER)吊桿，裝置於車頭與載台之間，屬積載型油壓起重機，人員可定點控制吊桿或使用有線/無線控制器不定點操作吊桿，吊桿並設有負載安全警示及自動停止吊重保護裝置，富安全性(如圖 7、表 2)。



圖 4 陸軍多用途橋車

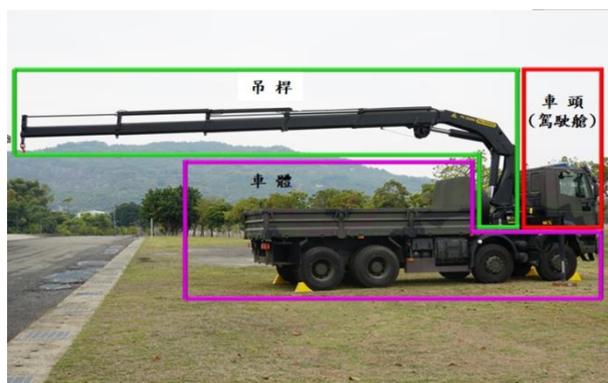


圖 5 陸軍多用途橋車組成區分

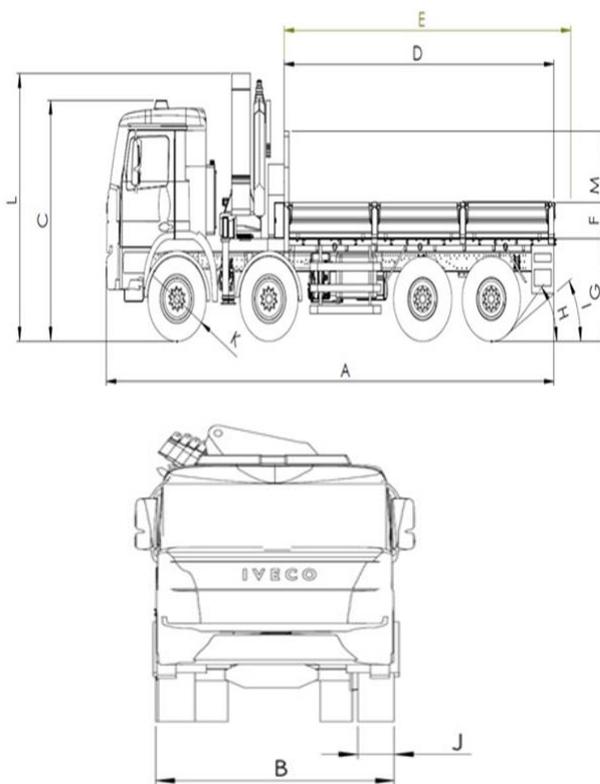


圖 6 車身尺寸

資料來源：陸軍司令部，楊家心，《陸軍多用途橋車操作手冊》，(桃園，國防部陸軍司令部，西元 2020 年 9 月)，頁 2-47、2-48。

¹ 常榮機械，〈IVECO 8*8 型多用途橋車單位保養手冊〉，西元 2018 年 12 月，頁 2-1。

表 1 車身尺寸諸元表

項次	諸元名稱	尺寸(公分)	項次	諸元名稱	尺寸(公分)
A	車長	893	I	離去角	30 度
B	車總寬度	250	J	輪胎寬度	30
C	車頭總高度	323	K	輪胎外徑	114
D	貨斗長度	550	L	車體總高度	372
E	貨斗高度	50	M	貨斗前檔高	150
F	貨斗離地高	143			

資料來源：陸軍司令部，楊家心，《陸軍多用途橋車操作手冊》，(桃園，國防部陸軍司令部，西元 2020 年 9 月)，頁 2-37。

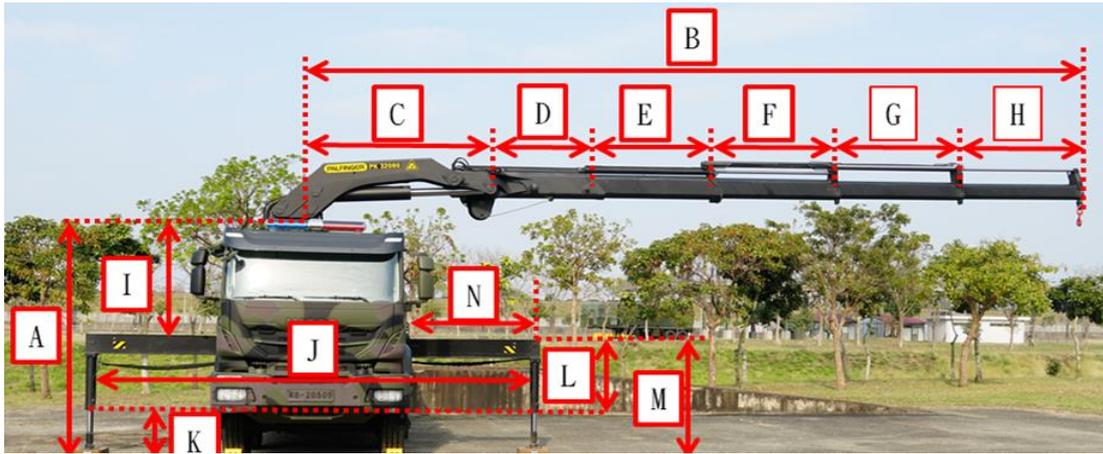


圖 7 吊桿尺寸

資料來源：陸軍司令部，楊家心，《陸軍多用途橋車操作手冊》，(桃園，國防部陸軍司令部，西元 2020 年 9 月)，頁 2-100。

表 2 吊桿尺寸對照表

項次	諸元名稱	尺寸(公分)	項次	諸元名稱	尺寸(公分)
A	主柱頂端至地面高度	140	H	延伸臂(四)	210
B	吊臂全長	1210	I	迴旋主柱	210
C	內臂	360	J	腳架跨距	245
D	外臂	80	K	地面至支撐腳架底端	80
E	延伸臂(一)	180	L	支撐腳架內縮長度	140
F	延伸臂(二)	180	M	支撐腳架伸出總長度	220
G	延伸臂(三)	200	N	腳架伸展	300

資料來源：陸軍司令部，楊家心，《陸軍多用途橋車操作手冊》，(桃園，國防部陸軍司令部，西元 2020 年 9 月)，頁 2-100。

3. 特性與限制

(1) 特性：IVECO 多用途橋車為柴油 (DIESEL) 引擎車輛，此種車輛具有扭力大、省油等優點，較富經濟效用，其裝備性能區分車身及吊桿兩部分說明如表 3。

(2) 特性：IVECO 多用途橋車在操作上依結構設計及外在環境有其限制條件，作業人員必須瞭解各種限制以防危安事故發生。其主要考量因素，區分車身及吊桿兩部分說明如表 4。

表 3 IVECO 多用途橋車特性

車身		吊桿	
行駛速率	90 公里/小時	最大工作半徑	12.1 公尺(如圖 11)
最大馬力	450 匹馬力/1900 轉/分鐘	最大舉升角	84 度(如圖 12)
最大扭力	224.3 公斤-公尺 1400 轉/分鐘	吊舉力矩 (如圖 13)	最大吊重：距軸 2 公尺/10 公噸 最小吊重：距軸 12.1 公尺/2.26 公噸
定速行駛	最低定速 20 公里/小時 最高定速 90 公里/小時	旋轉角度	400 度(如圖 14)
最大爬坡能力	31 度	旋轉扭力	3806.1 公斤米
迴轉半徑	11.5 公尺(如圖 8)	泵浦工作能量	每分鐘 55~80 公升
涉水深度	0.75 公尺(如圖 9)	液壓泵工作壓力	300BAR
載重量	可載重 20 公噸(如圖 10)	作動負載	最低 50%~最高 100%
空車淨重	20 公噸	操縱方式	固定式/可攜式控制器二種
載具耗油	空車 2.5L/KM(公升/公里)、滿載 1.5L/KM(公升/公里)(油耗依原廠手冊概略估計並取決於駕駛操作行為)	鋼索絞盤	a.鋼索拉力：1000 公斤。 b.鋼索直徑：8 公厘。 c.鋼索長度：49 公尺。 d.鋼索重量：56 公斤。 e.引擎扭力：20.9 公斤米。

表 4 IVECO 多用途橋車限制

車身		吊桿	
乘坐限制	2 員	啟動限制	A 側控制(如圖 19)
高度限制	3.8 公尺	傾斜角度	5 度(如圖 20)
載重限制	a.淨重 20 公噸 b.可載重 20 公噸(含)以下	控制距離	15 公尺(如圖 21)
最大轉向角	36 度(如圖 15)	腳架跨距	6 公尺(如圖 22)
上坡路面接近角	31 度(如圖 16)	風速限制	達每小時 50 公里(含)以上
下坡路面分離角	30 度(如圖 17)	車體接觸	載台前擋板(如圖 23)
側坡安全傾斜角	16.69 度(如圖 18)	觸電距離	20 公尺
		地面支撐承載度	著地面材質會影響吊掛作業安全性，操作人員考量主要提供於不同地形(面)作業時，(如表 5)。

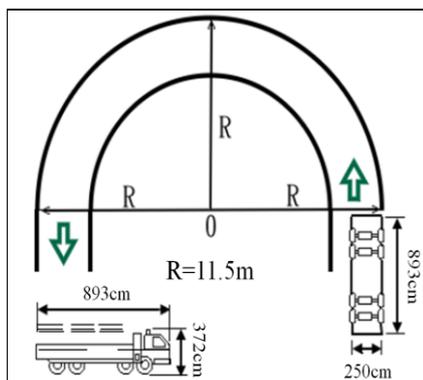


圖 8 迴轉半徑



圖 9 涉水深度



圖 10 承載重量

資料來源：作者彙整，參考陸軍司令部，楊家心，《陸軍多用途橋車操作手冊》，(桃園，國防部陸軍司令部，西元 2020 年 9 月)，頁 1-21、頁 1-22、頁 1-25。

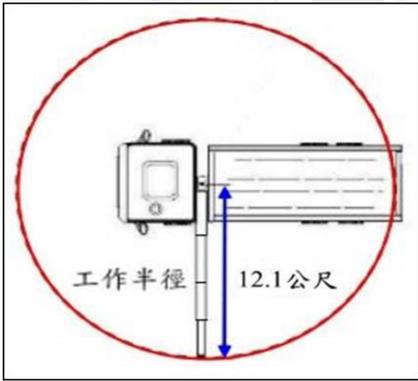


圖 11 最大工作半徑²



圖 12 最大舉升角

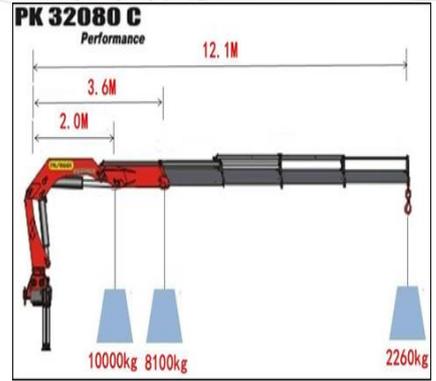


圖 13 吊舉力矩

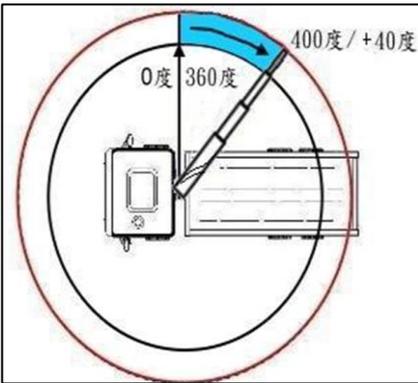


圖 14 旋轉角度³

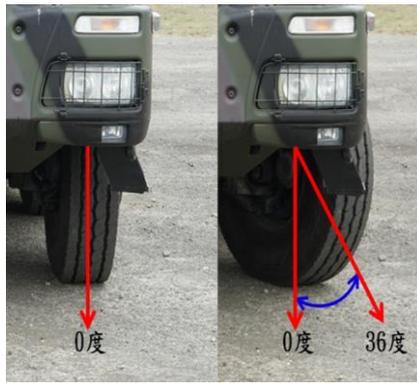


圖 15 最大轉向角⁴



圖 16 上坡路面接近角⁵

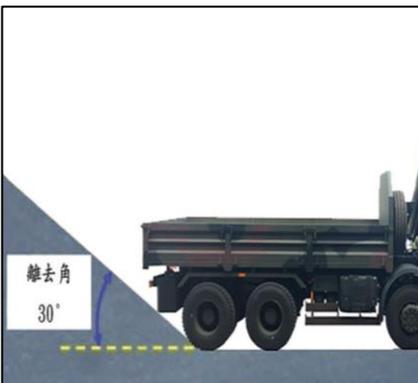


圖 17 下坡路面分離角⁶



圖 18 側坡安全傾斜角⁷



圖 19 吊桿啟動限制

資料來源：作者彙整，參考陸軍司令部，楊家心，《陸軍多用途橋車操作手冊》，(桃園，國防部陸軍司令部，西元 2020 年 9 月)，頁 1-21、頁 1-22、頁 1-25、頁 1-30。

- 2 吊桿的操作範圍一般稱為工作半徑，而吊桿最大延伸長度為 12.1 公尺，並未計算吊掛物的體積(長度)，因此；包含操作人員在內都應保持與吊掛物體一定的安全距離，且非指定作業人員嚴禁進入這個工作區域，防止人員有危安事件的發生。
- 3 吊桿在原廠設計下對液壓油管有長度的限制設計，在吊桿順、逆時鐘方向旋轉一圈(360 度)後，可再多旋轉 40 度(400 度)，供作業人員有適當的操作空間。
- 4 橋車前輪轉向動作，其車輪從 0 度角偏左(右)各一方向之最大轉向角 36 度，為其「最大轉向角」。
- 5 若接近角度超出限制，在橋車車輪尚未接觸陡坡路面前，橋車前端將先碰觸陡坡路面。
- 6 橋車後輪離開下坡路面接觸平面道路時，橋車載台長於車體大樑，駕駛人員應考慮車輛尾端分離角度，以避免造成車輛尾端碰撞。
- 7 橋車行駛於側坡路面時，若超出傾斜角度將會造成車輛翻覆。



圖 20 傾斜角度⁸

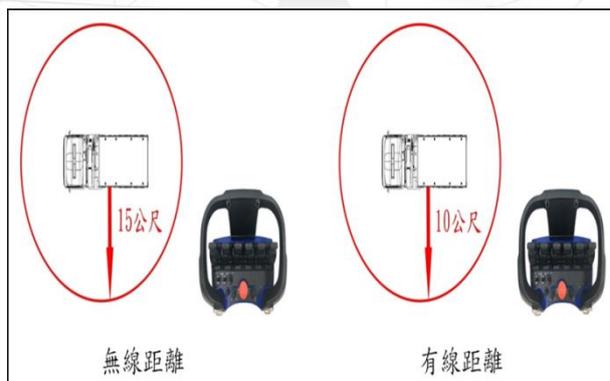


圖 21 控制距離



圖 22 腳架跨距⁹



圖 23 車體接觸¹⁰

表 5 地面支撐承載表

地面支撐承載受力參考值		
項次	地面種類	參考值
1	柏油路面	20400KG/m ²
2	泥濘地、沼澤、濕地	0KG/m ²
3	砂地、碎石地	15300-20400KG/m ²
4	軟、硬草地	0-30600KG/m ²
5	岩石地	102000KG/m ²
※KG/m ² = 公斤/平方公尺		

資料來源：作者彙整，陸軍司令部，楊家心，《陸軍多用途橋車操作手冊》，(桃園，國防部陸軍司令部，西元 2020 年 9 月)，頁 1-20、頁 1-30、頁 1-32。

(二)多用途橋車課程內容

多用途橋車課程內容中區分計有原則講解、實作練習、組合訓練及訓後回顧等四大面向，依照接受訓練的人員程度及教育目標的差異，實施不同的訓練方式。為徹底瞭解教育

訓練如何運用，概述方式如下：

1.原則講解：為課目訓練前，必要之課程，為了使學員能夠初步了解多用途橋車的沿革及發展、用途及特性、橋車各項諸元及機械協建流程等內容，採用口述方式，搭配簡報或圖

⁸ 車體的傾斜角度應保持在任何方向以不超過 5 度為原則，因其吊掛物重心會因車體傾斜角度而改變，具有造成車輛翻覆的危險。
⁹ 橋車因吊掛重心的改變影響，須加大著地支撐區域，因此吊桿腳架之設定跨距為必要考量的作業因素。
¹⁰ 因吊桿與載台前擋板緊靠關係，吊桿在吊掛操作中，向下操作會有碰撞的情形，作業人員必須小心操作。

表方式進行教學；亦可觀摩其他單位組合訓練過程及相關架設影片，以強化整體印象，建構後續的訓練流程的一切基礎。

2.實作練習：實施原則講解後，人員進入下一個階段的訓練，在進入組合訓練流程前，必須將先前所學的原則付諸於行動去體會，為求組合訓練順暢，在此階段，必須先了解認識多用途橋車基礎吊臂操作、單一橋材吊掛、橋材模組吊掛、機械協建訓練及故障排除與錯誤動作之訓練，完成此階段訓練，始可進入組合訓練(如圖 24)。

3.組合訓練：組合訓練為多用途橋車機械協建訓練之核心，其內容不侷限於橋樑架設，從先前計畫規劃與整備至後續運

用及勤務管制，各項動作與勤務之訓練皆在範圍內。詳細訓練項目包含指揮管制、偵查計畫、計畫作為、整地經始、裝載運輸、橋樑機械協建架設、橋樑勤務等實施課程設計，其中以裝載運輸、橋樑機械協建架設為主軸。

4.訓後回顧：於各項訓練後，進行檢討及討論的一個形式，針對每項訓練的過程中有做不好的、有疑問的、有具不同意見的或對於較好的部分實施綜合性的討論，並將各項問題紀錄，以利日後針對弱點項目重點提醒。

綜合分析及效益比較，依上述所提列各訓練方式，針對其優、缺點及效益比較如表 6 分析。



基礎吊臂操作
橋材模組吊掛

單一橋材吊掛
機械協建訓練

圖 24 實作練習授課實況
資料來源：作者自行拍攝。

表 6 多用途橋車訓練方式綜合分析表

工兵部隊橋樑架設訓練方式分析表				
項次	訓練方式	實施內容	優點	缺點
1	原則講解	教官依據書面教案、教學內容實施說明講授	風險低，場地無限制	內容較為抽象
2	實作練習	依人員分組練習吊臂各項操作要領，採示範摹擬法實施	熟稔訓員吊臂基礎操作概念，建立組合訓練基礎	耗時長，裝備數量少，訓練風險高等限制因素
3	組合訓練	班隊人員依機械協建架橋進度採統一練習法實施	實際練習 MGB 中框橋機械協建項目	1.架設風險高，訓練進度緩慢 2.場地取得不易、耗用油料
4	訓後回顧	針對訓練內容實施問題討論及缺失檢討	能加深印象、改正錯誤	無立即訓練效益

資料來源：作者自行整理。

二、多用途橋車模擬軟體運用現況與發展

(一)架橋模擬軟體發展沿革

國軍發展「訓練模擬器」以高價裝備、高消耗訓練、高危險動作及難獲得場地等考量項目為優先發展對象。而工兵訓練中心配賦訓練用之多用途橋車數量少、作業危險性高及易受天候影響之因素，間接造成訓員訓練危安與時數之不足，為提昇工兵部隊因應平時與戰時各種場地之架橋能力，並提供基層多用途橋車操作手一套更加便利有效的學習方式，即發展「工兵架橋模擬教學訓練軟體」，以期精進工兵部隊之橋樑架設及搶修能力。

遵奉司令部民國 89 年「陸軍作戰模擬系統整體發展規劃」指導，準分教合練之原則，自 90 年起規劃工兵模擬訓練之配套措施，於 92 年 11 月完成驗收及系統建置 M2、MGB 橋教學軟體各 150 套，並配發至工兵連級以上單位及中心使用，並規劃其預期可得之效能有七點如表 7。

(二)架橋模擬軟體功能簡介

工兵「架橋模擬軟體」教學訓練，主要是在模擬 M2 框桁橋及 MGB 中框橋之橋樑架設程序作業，其教學方式主要是以個人電腦操作模式，藉由電腦網路平台，以 2D 立體圖像，

表 7 模擬器預期可得效能

1	操作安裝簡單易學，代替師資自我學習
2	模擬實裝實地操作，克服天然障礙因素
3	利用網路連線學習，熟悉程序步驟要領
4	電子教官即時互動，提供多人同時教學
5	降低高價裝備損耗，減少訓練場地投資
6	節約實作訓練成本，建立資料查詢系統
7	結合資訊科技發展，性能提昇極具空間

資料來源：作者自行整理。

配合聲音傳輸，讓學員發揮團隊合作精神，共同來完成架橋任務；本軟體設計模式共區分為示範、教學及測考等三種模式，分述如下(如圖 25)。

1. 示範模式：示範模式中，功能選單計有架橋元件庫、架橋工具組、職責介紹、橋材裝載、架橋流程及綜合測驗等六大項，主要是以 2D 立體圖像及說明來介紹架橋各工具、組件、職責、裝載及流程，並可以綜合測驗，提供學員實施自我測驗，讓教官瞭解學員學習成效。

2. 教學模式：主要是採電腦與學者互動教學，讓電腦提供各項架橋程序選項，供學員作選擇，以引導學員實施橋樑架設作業。

3. 測考模式：當學員完成示範及教學模式後，則進入測考模式實施全程測考，當完成後，會出現成績評定欄，成績評定欄中除了顯示學員測驗日期、測驗時間、操作時間及合格時

間外，更會出現學員測驗中錯誤種類及次數，讓教官瞭解學員學習尚有那些不足處，在實施實作課程時加強說明講解。

(三)架橋模擬器系統之發展

1. 模擬器系統概述

固定橋架設模擬系統係依據 104-113 年度建軍構想及 106-110 年兵力整建計畫，以作戰支援任務與裝備現況檢討，汰舊舊有架橋模擬軟體，實施作戰需求呈報。本系統建置架橋訓練模擬器，執行包含 LSB 重框橋、M2 框行橋及 MGB 中框橋之橋樑架設訓練，特別發展裝備類之橋車及貨櫃搬運吊臂模擬、堆高機模擬導入協建架橋內容，目的為建置一高擬真度、易操作、保養及維護之模擬系統，透過系統程序訓練方式，讓學員能夠充分了解橋樑架設程序，亦可透過連網方式進行組合訓練、綜合演練，藉以磨練各級指揮官指揮及操作手熟裝之程序，並可透過系統驗證執行成果。



圖 25 架橋模擬軟體

資料來源：工兵訓練中心渡河組資料，西元 2020 年 3 月 20 日。

為彌補舊式架橋模擬軟體的不足，此次系統新增 LSB 橋樑架設訓練，來輔助部隊 LSB 重框橋架設訓練，另搭配機械操作增進擴增實境之虛擬系統擬真，使機械協建的訓練能夠更加完整。系統最主要的核心功能，是運用美軍 VBS 系統(虛擬戰鬥空間系統)，來加強我軍最為薄弱的戰鬥臨場感及模擬戰場參數融入，大幅提昇舊有模擬器之功能及效用(如圖 26)。

2. 架橋模擬器之介紹

(1)單兵作業模式：學員可以於系統內擔任任一職務，其餘職務由電腦 AI 系統操作，在單人模式中亦可訓練架橋流程。

(2)操作引導模式：引導功能將製作成能主動偵測學員當前的步驟，判斷是否有步驟順序錯誤，並直接顯示訊息阻擋學員的錯誤動作，藉此達到逐步教學的目的(如圖 27)。

(3)橋材模組協建：使用機械協建狀況下實施模擬訓

練，使機具操作手能藉此熟悉流程及各式橋材接合正確位置、距離與角度(如圖 28)。

(4)板台裝載模組：訓練各式板台裝載順序與邏輯，學習疊合原則與方式。

(5)鑑測模式：針對已完成前置示範、教學訓練之模式，施測間系統不會提醒學員步驟錯誤之處，會將全程演練及錯誤處紀錄標記，計時錄影存檔，受測完畢後，教官可藉此紀錄評比合格標準，針對學員實施個別重點教育及訓後回顧。

(6)架橋模擬器系統附設新增內容

A.計畫作為與偵查要項：針對橋樑架設之計畫寫作、整備規劃、偵查報告等項目，實施完整思維的輔助訓練，以利橋樑架設各項前置作業流程完善；亦可運用測考模式檢視架橋指揮官是否已完成整備，具備進入橋樑架設階段能力(如圖 28)。



圖 26 機械操作擴增實境虛擬系統

資料來源：工兵訓練中心渡河組資料，西元 2020 年 3 月 20 日。



圖 27 人工智慧執行橋材安裝示意圖



圖 28 想定融入指揮與計畫作為系統

資料來源：工兵訓練中心渡河組資料，西元 2020 年 3 月 20 日。

B. 應用、應急橋樑架設：

系統開發除制式橋樑裝備外，另針對非制式材料所搭建的應用、應急橋樑，例如索道、吊橋、木質固定橋、涵管橋、貨櫃型鋼橋、架柱式鋼橋等，亦建立各式架橋模擬流程，提供相關班隊實施「應用、應急橋樑」教學訓練，增進架橋能量(如圖 29)。

C. 橋樑裝載：針對橋樑架設前置作業之橋樑裝載，提供學者實施板台裝載訓練及堆疊方式、程序訓練，避免實際狀況操作不熟悉產生危安風險(如圖 30)。

3.Virtual Battlespace

3(VBS3)虛擬戰鬥空間系統簡介：VBS系統能夠讓教官和學員在高度身歷其境的虛擬戰場環境中，執行陸、海、空和登陸及反登陸等虛擬戰術訓練和任務演練。

(1)何謂 VBS3 系統

VBS3(Virtual Battlespace 3)虛擬戰鬥空間，提供逼真的物理運算、更豐富的內容資料庫供使用者建立模型和建立想定，且具有延伸既有地形資料庫開發擁有真實地理座標的地形資料庫的能力¹¹。



圖 29 應用橋樑架設模擬器操作圖示



圖 30 板台裝載示意圖

資料來源：工兵訓練中心渡河組資料，西元 2020 年 3 月 20 日。

¹¹ 《VBS3 產品介紹》，柏輝科技(www.aben-tech.com/vbs3intro)，檢索日期：西元 2021 年 6 月。

學者在戰場上學習如何決策、溝通和下达命令，並具備歸詢工具，讓教官可以在訓後檢視學員的訓練成效。可以進行反覆的想定或任務訓練，不需要耗費實彈、不需要大費周章調動部隊移地訓練，亦不須擔心會有人員傷亡的風險，更不會耗損相關器材與裝備，僅透過聯網的方式可進行多次的聯合訓練。

然而VBS系統具有高度的自主操作性，能將想像中的畫面轉化模擬行動，雖說是軍事訓練輔助系統，更像是一款第一人稱的射擊模擬遊戲，所以使各階層的人員操作起來都可以迅速上手，並且將能專注在上面，可以大幅提升訓練意願。

(2)VBS3 平台與此系統之運用

此系統軟體採用之VBS平台，其本身具備主機算機、視效、音效、智慧型目標物、各式武器載具模擬、任務編輯和任務歸詢等基礎模式；而其硬體部分將依據目前車內配置和各武器系統進行外觀設計與佈局，功能操作依實車目前狀態進行模擬，且所有介面皆以中文化，使人員能順利操作。下列概述此系統之重要性能及特性：

A. 計算機模組：主要負責想定執行所需的動態模式和智慧型目標物等的運算，運算的範圍及項目繁多，並非一般電腦可執行，終端主機站另設於三坪大之機房內，且需要搭配空調系統，避免主機溫度升高，降的運算效能。

B. 通訊系統模組：在各式模擬訓練中，於裝備操作中亦可實施通聯，模擬真實戰場相互間溝通之場景，除相互間之通聯，教官台亦可針對所屬學員實施適時的各別提醒，提高虛擬任務的逼真程度。

C. 高精度物理運算模組：可準確計算各式行動及運作的物理計算，使彈道、碰撞、各式的速度跟火力大小能精密的展現出於模擬畫面上，使學員能夠吸收行動後的結果。例：吊臂吊掛物品的重量，影響慣性及重力影響，產生晃動。

D. 音效模組：模擬戰場中各式音效，如機具及車輛引擎聲、破撞聲、武器發射聲音及爆炸聲等。能使學員在各式課目訓練中，能有更逼真的環境。

E. 可視範圍：如同遊戲一般，可自由切換視角，能讓學員可以用第一人稱視角，模擬執行任務；亦可使用俯瞰視角，檢視全般狀況。

F.能見度：可以調整不同氣候狀況及能見度，使學員能在不同地理狀況實施訓練，使戰場環境如實呈現(如圖 31)。

G.反鋸齒功能：運用高效能的計算功能，處理影像疊合，改善鋸齒影像及斷線狀況，提高畫面品質。

H.特殊視效：可提供曳光彈、武器撞擊、毀損程度、捕捉鉤系統和攔截網等特殊視效，搭配動態目標物的行為反映出不同的特殊視效(如圖 32)。



圖 31 VBS 系統氣候變化視效呈現畫面

I.任務歸詢模式：任務歸詢模組主要提供錄製模擬訓練的內容，包含所有訓練過程，並在錄製過程中有錯誤或重大事故產生，系統會自動加入重大事件書籤，提供任務歸詢時快速檢視，增進學員和教官訓後 AAR 任務檢討效益(如圖 33)。

4.機具模組艙體介紹

(1)堆高機模組硬體設備(如圖 34)

A.真艙體設計：以實機 JCB926 堆高機座艙為設計基礎，考慮主要操作範圍為前方視角，即前叉所在的位置，前



圖 32 VBS 系統特殊視效呈現畫面

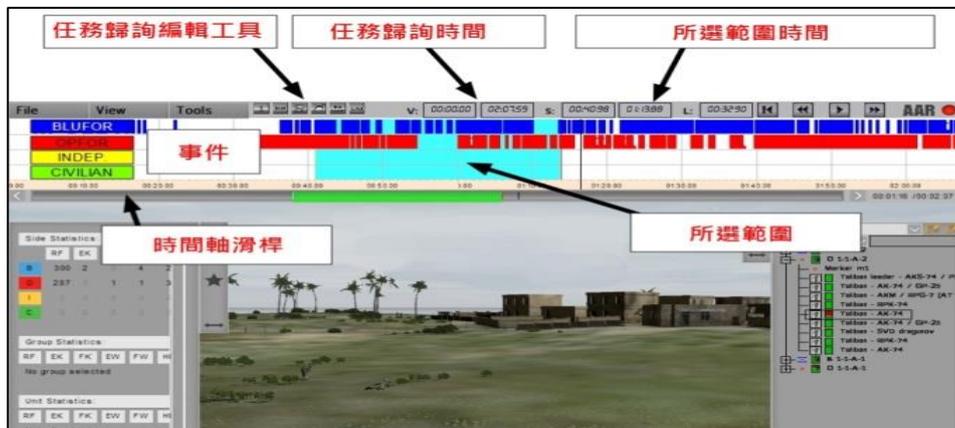


圖 33 任務歸詢模組介面

資料來源：工兵訓練中心渡河組資料，西元 2020 年 3 月 20 日。

叉最高上升高度為 4.5 公尺，因此前方設置 4 顆螢幕來涵蓋所需的操作視野。為滿足堆高機倒車操作需求，於後方設置一顆螢幕，視野涵蓋車輛後輪，和車尾最後角落。

B. 介面分系統：硬體介面分系統負責處理所有仿真車輛的實體硬體，如座艙內之搖桿、踏板等操作系統，儀表板以及力回饋等訊號。硬體介面分系統提供數位輸入、數位輸出、類比輸入及類比輸出等傳輸功能，包含擷取控制卡及界面控制程式，以達到擷取開關作動及燈號儀表控制等功能。

其中力回饋模組設計為提供學員更逼真的模擬操作，產生相對的阻力感，操作時須緊握方向盤，如同真實操作機具一般。而環景顯示分系統將視效分系統的畫面資訊進行擴展，建立起一個較大的環境顯示空間，讓學員能有較佳的虛擬實境體驗感。



圖 34 堆高機模組硬體

(2) 吊臂模組硬體(如圖 35)

A. 仿真設計：由於吊臂操作範圍為上方與兩側延伸方向，在有限的顯示螢幕下，需涵蓋最大的視角需求，因此利用 4 顆螢幕並列且弧形排列於操作桿前方，以取得垂直方向的最大顯示範圍，並涵蓋吊臂頂上延伸的最高點，而掛勾符合實況可最接近操作人員的距離為 1 公尺，吊臂基座設計採 360 度可旋轉之機構，配合畫面角度轉動，彌補畫面橫寬不足之處。

B. 介面分系統：由於吊臂有水平轉動的操作，因此為彌補水平視角的不足，本案設計讓吊臂操作桿可進行水平的轉動，當吊臂操作桿轉動時，螢幕的視角將對應反方向旋轉，在保持操作者與吊臂間的角度下獲得最大的吊臂操作範圍。硬體介面分系統設計理念與堆高機概同，在力回饋上，吊臂操縱桿將提供微動操作和快速移動



圖 35 吊臂模組硬體

資料來源：工兵訓練中心渡河組資料，西元 2020 年 3 月 20 日。

等吊臂操縱桿操作模擬；在環景模組上，也模擬操作手於真實狀況下的視野。

5. 其他功能

(1) 電子書系統：將傳統紙本準則轉換成電子書模式，部分內容有動畫輔助，圖像影片多以 3D 方式呈現，同時整合先前教學用的影片、簡報檔，在同一平台實施統一教學，並在課後，可運用系統測驗模式，驗收學員學習成果。

(2) 研究發展系統：本模擬器系統內容包含有 sap2000 結構分析設計軟件，可利用其系統資訊，研究結構方式及計算載重分析，並用 3D 虛擬圖及數據分析表單表示；另配賦 3D 列印機可提供橋材模型 3D 列

印，充實輔助教學器材。

(3) 證照輔助訓練：運用堆高機與吊臂仿真機具操作功能，搭配證照考試術科場地模擬建置，提供學員實施操作練習，增進對裝備操作及場地熟稔度，提升證照獲照率。

三、小結

新式架橋模擬器功能較舊型模擬器大為提升，使用範圍亦更為廣泛，並能協助學員使學習上能更有效率，使原本僅能在戶外操課場地能實施的課程先在也可以在教室內電腦面前教學，大幅降低訓練風險，利用新科技、新技術做最有效率且精細的授課，針對舊、新式之模擬器功能使用比較(如表 8)。

表 8 新、舊模擬器功能比較表

型式比較項目	舊式架橋模擬器	新式架橋模擬器	建議課程調整內容
原則講解	1. 僅有大部數據，架橋演練流程拘於固定形式。 2. 系統較舊，處理速度緩慢不流暢	1. 納入電子書及準則、教範資料，可提供教學流程生動活潑與電子化 2. 搭配 VBS3 系統，使教學有戰場情境 3. 配合機具操縱系統，針對不同職務者可實施室內授課	可將原則講解與橋材介紹併入模擬器教室課程內容中
運搬練習	因動畫細膩度不佳，無法藉此實施教學	1. 能初步教導學員運搬方式及各式結構位置，能迅速銜接實際運搬訓練 2. 以動畫方式解說錯誤運搬之影響，避免使用人力示範，提高風險	可將實作部分時數併入模擬器教室課程內，使課程連貫，加深印象
組合訓練	1. 可藉此學習架橋流程，並了解各組任務及行動 2. 內含有部分危安提醒，使訓練完整	1. 對各數據更能自主調整，可模擬訓練各項虛擬狀況及想定，增加多元性 2. 可藉此系統了解不同職務所負責之任務，同步實施個別訓練 3. 為整體連貫之訓練系統，從偵查、計畫、整地、裝載、架橋、標示及維護等項目皆納入系統。	因系統更加細膩、全面，可增加時數，使領導幹部隨系統領導學習更加深刻；並使架設人員能大幅減少無謂運搬之組合訓練，即可學習整套架橋流程。
機械訓練	無有關機械訓練之項目	可搭配實車虛擬操縱系統實施擬真訓練，但協助人員及控繩人員僅能於實地訓練時實施。	配合組合訓練時數調整，於課程實施時，適切人員編組，提升教學效率
訓後回顧	僅有時間、成績及錯誤項目可供查詢，無法有效利用實施 AAR	可詳細記錄全部演練流程，並將錯誤處特別標示，影片亦可使用多角度回顧，使檢討能更加完善。	增加架橋模擬器之訓後回顧的時間，於此階段完畢後即可進入實作練習，可大幅降低口頭說明時間。

資料來源：作者自行整理。

多用途橋車模擬軟體應用於授課班隊探討

針對舊式架橋模擬器於現行多用途橋車機械協建班隊，實施各項進度時數、使用內容及效益如何等方向作討論，區分為操作班及複訓班實施個別討論，為後續考量新式架橋模擬器可輔助範圍研擬之基礎¹²，上述班隊年度召訓條件(如表 9)

一、基礎班隊運用效應與探討

(一)原則講解：現利用簡報檔實施授課，內容繁多，但多用途橋車操作使用及固定橋樑機械協建教學架設流程時，圖片及準則無法有效提供學員真實畫面想像，對基礎人員而言，效成欠佳。

(二)實作練習：時數能滿足各項教學進度及練習，惟遇天候不佳、雷擊時，不適合戶外操課，如遇班隊人數較多，學生輪代操作訓練之等待時間會增加。

(三)測驗與檢討：測驗與檢討部分，應針對教學部分多增加問題交流與授課過程缺失探討，才能使課程完善，避免學員帶著問題結訓。

(四)架橋模擬器訓練：因舊式架橋模擬軟體功能受限，畫面較為粗糙，且僅能以架橋程序實施學習，若使用新式模擬器

搭配課程，時數需重新調配，彌補原則講解、實作練習及測驗與檢討等各項不足之處，提升效益(如表 10)。

二、複訓班隊運用效應與探討

(一)原則講解：該班隊學員已有多用途橋車以及橋樑機械協建的基礎能力，需加強橋樑機械協建計畫作為、偵查作為及指揮架設等方面，舊式模擬器無法支援。

(二)實作練習：學員已具備橋車基本操作能力，需加強模組化橋材吊掛能力，以及機械協建之全盤概念，時數能滿足各項教學進度及練習，惟遇天候不佳、雷擊時，不適合戶外操課，如遇班隊人數較多，學生輪代操作訓練之等待時間會增加。

(三)測驗與檢討：測驗與檢討部分，應針對教學部分多增加問題交流與授課過程缺失探討，才能使課程完善，避免學員帶著問題結訓。

(四)架橋模擬器訓練：因舊式架橋模擬軟體功能受限，畫面較為粗糙，且僅能以架橋程序實施學習，若使用新式模擬器搭配課程，時數需重新調配，彌補原則講解、實作練習及測驗與檢討等各項不足之處，提升效益(如表 11)。

表 9 多用途橋車機械協建召訓條件

班隊名稱	召訓目的	召訓對象	進訓條件	時數(時)	年度開班(梯次)	最大訓量(員)
多用途橋車機械協建(操作班)	培訓多用途與專業人員，使其具備橋樑之基本能力	1.各工兵群橋樑營多用途橋車駕駛或預劃任務人員為優先因任務需求取得多用途橋車操作資格之人員	訓員應具備軍用大貨車駕照	140	1	12
多用途橋車機械協建(複訓班)	複訓工兵士官、兵多用途橋車操作與保養職能	本軍工兵軍官、士官、士兵	訓員應具備多用途橋車機械協建(操作班)之資格	70	1	12

資料來源：陸軍工兵訓練中心 110 年班隊訓練預劃流路，西元 2020 年 12 月。

表 10 多用途橋車機械協建課程時數配當表(操作班)

課目	課程總時數(時)	原則講解(時)	實作練習(不含架橋模擬器)(時)	測驗與檢討(時)	模擬器訓練(時)	最大訓量(員)
多用途橋車機械協建(操作班)	140	3	133	2	2	12

資料來源：作者自行整理。

表 11 多用途橋車機械協建課程時數配當表(複訓班)

課目	課程總時數(時)	原則講解(時)	實作練習(不含架橋模擬器)(時)	測驗與檢討(時)	模擬器訓練(時)	最大訓量(員)
多用途橋車機械協建(複訓班)	70	2	64	2	2	12

資料來源：作者自行整理。

三、小結

多用途橋車機械協建課程內容多為實作練習，學員需要較多實際操作時數熟稔裝備操作，且因舊式模擬器內容僅能協助學員以觀看動畫方式了解橋樑機械協建之流程，

無模擬實際操作功能，功能較為單一、互動性不高及自主性低，致無法有效運用於此類課程進度，下為針對多用途橋車班隊做分析整理，考量新式模擬器可運用之範圍及調整(如表 12)。

表 12 舊模擬器運用功能預期效益表

班隊名稱	授課進度	舊式模擬器缺點	新式運用模擬器功能	預期效益
(多用途橋車機械協建 操作班、複訓班)	原則講解	1.無流暢動畫 2.系統內無相關授課資料	1.畫面解析度高 2.內含電子書功能 3.各項橋材 3D 圖	1.建立學員實體概念 2.可學習架橋程序
	實作練習	1.無橋材裝載模擬 2.無機械組	1.具有橋材裝載演練 2.具備虛擬機械操作系統	1.瞭解橋材模組組裝順序 2.可 360 度環視板台裝載成果 3.藉吊臂模擬艙先期熟悉吊臂操作技巧 4.建立機械協建全盤概念
	測驗檢討	1.無訓練回顧功能 2.無電腦測驗功能	1.可於系統回放練習 2.內建電腦鑑測功能	1.確實檢視錯誤之處 2.有效實施「做不好再做一次」訓練 3.減少紙本考試資源，並利用電腦閱卷及記錄
	架橋模擬器	1.計畫作為偵查及薄弱視面 2.功能便利檢畫行台 3.無完整架設各組平台 4.無動功同重框橋 5.無分系統	1.完善具備計畫作現並參 2.為地偵查自由調整，個 3.能高自況放大或縮能 4.能小場地畫面地並 5.具環視有 VBS 系統整合 6.新增 LSB 重框橋架	1.徹底瞭解與實做前置規畫作為 2.較實地操課更能檢視全般狀況及各組細節 3.提供指揮者逼真作業流程 4.輔助學習 LSB 重框橋機械協建架設作業

資料來源：作者自行整理。

研究建議

與舊式架橋模擬器相比，新式模擬器性能大幅提升且功能更加多元，為提供各班隊學員能獲得相關學習效益，將模擬系統納入多用途橋車機械協建課程輔助施訓，並調整現有課程內容及時數配當，提升教學品質。

一、增加模擬器訓練內容納入各班隊

(一)原則講解：利用電子書功能實施多用途橋車班隊原則講解，並配合教官台統一演練模擬啟動系統，實施計畫作為、橋樑架設及橋樑勤務課程，增進

互動性，加深學員印象(如圖 36)。

(二)實作練習：區分為吊臂模組艙體實機操作訓練及橋樑機械協建模擬流程訓練等兩大類

1.吊臂模組艙體實機操作訓練

學員可在模擬器教室，藉由 4 部吊臂模組艙體實機，實施多用途橋車之基礎吊臂操作、單一橋材吊掛、橋材模組吊掛、機械協建模擬及故障排除與錯誤動作之先期訓練，以熟稔訓員吊臂基礎操作概念，建立組合訓練基礎，並消弭學員等待耗時長，裝備數量少，訓練風險高等限制因素(如圖 37)。



圖 37 多用途橋車先模擬後實機教學流程

資料來源：作者自行拍攝整理。

2. 橋樑機械協建模擬流程訓練

藉高擬真度、易操作、保養及維護之模擬系統，透過系統程序訓練方式，按橋材模組組立、板台模組裝載及機械協建流程之

訓練程序，使學員充分了解橋樑機械協建架設程序，透過連網方式進行組合訓練、綜合演練，藉以磨練操作手對程序之了解，並可使用任務歸詢功能實施訓後回顧以驗證其執行成果(如圖 28)。



圖 38 橋樑機械協建教學流程

資料來源：作者自行拍攝整理。

(三)架橋模擬器教育訓練優點分析

1.運用模擬系統與實裝訓練操作之差異

(1)縮短訓練時程：運用模擬系統實施訓練，可減少教學整備工作，並針對重點練習，

逐步增加訓練次數，縮短訓練時程。

(2)不受環境限制：模擬系統之操作不受天候環境影響，受訓學(員)生及部隊可藉模擬系統持續實施訓練，增大投資訓練效益。同時，利用模擬

系統實施各種場景仿真，可使訓練更貼近作戰實況，提升訓練成效。

(3)提昇作業安全：模擬系統可模擬各種不同訓練課程及可能之突發狀況，亦能提供特殊且複雜之虛擬作戰環境及難以遭遇之天候與地形；透過高危險性場景模擬訓練，可提高實際操作之安全性，使學者熟悉作業程序及危機處理，藉以增加應變能力，期於實際作業時，將裝備實際性能予以充分發揮。

(4)可反覆從事訓練：在不同訓練條件之下，同一狀況可以反覆實施訓練，使受訓學員(生)可藉模擬器重複訓練，增大投資訓練效益。

(5)減低裝備損耗、節約訓練成本：裝備使用頻繁，其壽限大幅縮短並消耗大量爆材，運用模擬器從事訓練，能減少裝備不當損耗，延長裝備使用壽限；另可節省爆材消耗。

(6)減少訓練場地、環保抗爭：訓練場地難覓，易造成民意抗爭，模擬器於室內實施，可減少對環境與噪音污染，避免民眾抗爭。

2.傳統橋車訓練與「多用途橋車模擬器」效益比較

國外有關模擬系統之發展日趨成熟，隨著電腦硬體設

備資料處理速度不斷提升，模擬軟體開發也因市場需求日益精進，除了在技術門檻方面較於以往降低許多以外，系統成熟度與擬真度亦大為提升，同時減少了開發風險與經費需求。然而，訓練模擬器之運用能彌補現階段受限之訓練條件，可得之具體效益差異比較(如表 13)。

二、增加模擬器授課時數納入各班隊

檢討新式模擬器之各項系統功能，建議各班隊授課時數調整(如表 14)。

三、廣泛運用新式模擬器系統效能

(一)針對接受過起重機及堆高機證照課程訓練之人員，可利用此機械操作模組，訓練基本操作及課目演練，使學員就算於未持照狀態也可以在低風險的情況下進行多次的模擬訓練，進而提升部隊專業人才培養，亦可有效支援各項工兵支援任務及勤務作業(如圖 39)。

(二)指揮職幹部或授課專業教官可藉由此系統高度自由的特性，能自行將設計狀況或現實境況轉換成系統內的想定，使所屬人員或學員可練習各種不同的課目，進而熟悉架橋流程，融會貫通，提升工兵部隊整體能力(如圖 40)。

表 13 橋車實機操作訓練與「多用途橋車模擬軟體」效益比較分析

訓練方式 項目	橋車實機操作訓練	多用途橋車模擬軟體	比較分析
課前準備	實施風險管控會議、器材整備、場地整理、具操作前檢查、派車申請等勤務，需多人配合才可完成。	僅教官及助教共2員完成每日使用前檢查即可完成。	以多用途橋車模擬軟體訓練每日施訓可節約2小時課前準備時間。
訓練場地	一部橋車實機操作需要15X15平方公尺之訓練場，以保持安全距離。	本中心橋樑架設模擬器教室配賦4部多用途橋車模擬軟體機台，每部占地2立方公尺，合計8立方公尺之室內空間可完成設置。	4部多用途橋車模擬軟體機台配賦於同一模擬器教室內，可供同時4位學員實施操作訓練，節省空間。
訓練成本	一、裝備燃油、定更、定檢件之消耗。 二、教學人力：一部橋車操作訓練需要1員教官與1員助教。	一、僅需220伏特之電源，訓練每人每次約估15元。 二、教學人力：僅需教官及助教共2員可同時訓練4部模擬機台。	依器材損耗、教學人力，模擬器較為優勢。
危安因素	學員初次接觸橋車，實施吊桿基本操作訓練時，易因對吊桿液壓系統不熟悉等因素操作不慎，損壞裝備或肇生訓練失慎。	運用模擬器實施吊桿基本操作訓練時，無訓練維安之顧慮，且學員實施吊桿重置歸動作只需簡單設定即可完成，節約訓練時間。	多用途橋車模擬軟體訓練無危安因素，且輪帶訓練時間短。
訓練效益	一、由於場地限制，橋樑架設過程一次最多只有2部橋車能同時操作。 二、雷雨或天候不佳時，常停止橋車操作訓練。	一、可藉音效、視訊虛擬下雨、夜晚等景況，使學者能習得惡劣天候架橋要領。 二、可配合VR虛擬實境，使學者於訓練時能有臨場感，模擬實際吊掛現況。	多用途橋車模擬軟體可訓練臨機應變能力，將風險所導致的危害與損失能予以消弭或降至最低程度。

資料來源：作者自行整理。

表 11 新式模擬器各班隊授課時數調整建議表

班隊	時數			
	課程總時數 (時)	原模擬器時數 (時)	新模擬器時數 (時)	建議增加 (時)
多用途橋車機械協建 (操作班)	140	2	49	47
多用途橋車機械協建 (複訓班)	70	2	21	19

資料來源：作者自行整理。



圖 39 模擬器堆高機、吊臂考照場地訓練操作示意圖

資料來源：工兵訓練中心渡河組資料，西元 2020 年 3 月 20 日。



圖 40 模擬器編輯想定科目訓練操作示意圖

資料來源：工兵訓練中心渡河組資料，西元 2020 年 3 月 20 日。

結語

國軍各式訓練模擬器為輔助各項軍事訓練之得力工具，雖無法完全取代傳統訓練方式，但可以避免惡劣天氣、場地及人員不足等不可抗拒之因素，亦可以針對弱項實施個別訓練及組合訓練，且是在完全低風險的環境下。新式架橋模擬器已將各式功能大幅提升及擴充，讓訓練更加效率化、簡單化及個人化，透過瞭解系統能輔助的範圍及深度

後，調整班隊授課課程時數與內容，期許班隊學員能接受更具有效之課程學習，進而提升工兵職能。

美陸軍聯合兵種部隊於城鎮地形之作戰運用-第八章

OBSTACLES, MINES, AND DEMOLITIONS

障礙、地雷及爆破運用

周寬渝中校 翻

In urban combat, obstacles and mines are used extensively by the defender to canalize the enemy, impede his movement, and disrupt his attack. The national policy of the United States severely restricts the use of antipersonnel land mines, beginning with those that do not self-destruct but eventually including all types. This policy, currently in effect, applies to all units either engaged in, or training for, operations worldwide.

在城鎮戰鬥中，防守方通常廣泛的運用障礙及地雷，以改變敵軍行動方向、遲滯機動及擾亂攻擊作為。美國的國家政策對於人員殺傷雷的使用限制自原先僅針對無自毀功能地雷實施禁止演變至今，已對全數人員殺傷人實施禁用，目前這項政策仍為有效法令，對各部隊於交戰、訓練及在世界各地作戰均具管制效力。

US national policy forbids US forces from using standard or improvised explosive devices as booby traps. This policy does not affect the standard use of anti-vehicular mines. It does not affect use of the M18 Claymore mine in the command-detonated mode. For the immediate future, units may still use self-destructing antipersonnel mines, such as the ADAM, when authorized by the appropriate commander. Under proper command authority, units may still emplace mixed minefields containing self-destructing antipersonnel land mines used to protect anti-vehicular land mines; for example, MOPMS or Volcano.

美國國家政策禁止美軍部隊運用標準或改造性的爆炸裝置作為詭雷使用，這項政策未對運用標準的防車輛地雷及以遙控方式起爆之 M18 定向式人員殺傷雷進行管制。在不久的未來，部隊可能仍運用例如砲兵區域拒止型地雷等具自毀裝置之人員殺傷雷，在適當層級指揮官授權下，部隊可能仍會設置此類具備自毀功能人員殺傷雷之混合雷區，以保護像是模組化地雷系統及火山地雷系統所設置之防車輛地雷。

Consider all references to antipersonnel mines and the employment of minefields in the light of the national policy limiting the use of non-self-destructing antipersonnel land mines. Readers should not construe any uses of the term mines, antipersonnel obstacle, protective minefield, or minefield contained in this manual to mean a US-emplaced obstacle that contains nonself-destructing antipersonnel land mines or booby traps.

鑑於國家政策對無自毀功能之人員殺傷雷之限制及各項考慮事項，讀者不應自行將本手冊所包含美軍所運設置之各項地雷、防人員障礙、防護性或一般雷區為包含運用非自毀功能之人員殺傷雷及詭雷。

Section I. OBSTACLES

Obstacles are designed to slow or prevent movement by personnel, to separate infantry from tanks, and to slow or stop vehicles.

第一節 障礙

障礙為設計來減緩或防止人員的運動，以迫使敵步戰分離、使車輛速度減緩或停止。

8-1. TYPES OF OBSTACLES

Command-detonated mines, barbed wire, and exploding flame devices are used to construct antipersonnel obstacles (Figures 8-1 through 8-5) These obstacles are used to block the following infantry approaches:

8.1 障礙種類

遙控式起爆地雷、刺絲網及爆炸式火焰裝置均為用於建構防人員障礙使用(如圖 8-1 至 8-5)，這些障礙常被運用於阻絕步兵於下列接近路線：

- Streets. • 街道
- Buildings. • 建築物
- Roofs. • 屋頂
- Open spaces. • 開闊區域
- Dead space. • 封閉區域
- Underground systems. • 地下交通系統

a. The three types of obstacles used in defensive operations are protective, tactical, and supplementary.

(1) Protective obstacles are usually located beyond hand-grenade range (40 to 100 meters) from the defensive position.

(2) Tactical obstacles are positioned to increase the effectiveness of friendly weapons fire. Tactical wire is usually positioned on the friendly side of the machine gun's final protective line (FPL).

(3) Supplementary obstacles are used to break up the pattern of tactical obstacles to prevent the enemy from locating friendly weapons.

a. 在防禦作戰中通常運用防護性、戰術性及輔助性等三種障礙物

(1) 防護性障礙通常設置在距防禦據點 40-100 公尺之外，以避免敵人投擲手榴彈投擲時對據點內人員造成傷害。

(2) 戰術性障礙設置之目的在於增加友軍火力效果，戰術性鐵絲網障礙通常設置在友軍機槍最後防護射擊線的側方。

(3) 輔助性障礙通常運用分割戰術型障礙的設置狀況，防敵針對友軍的火力點進行鎖定。

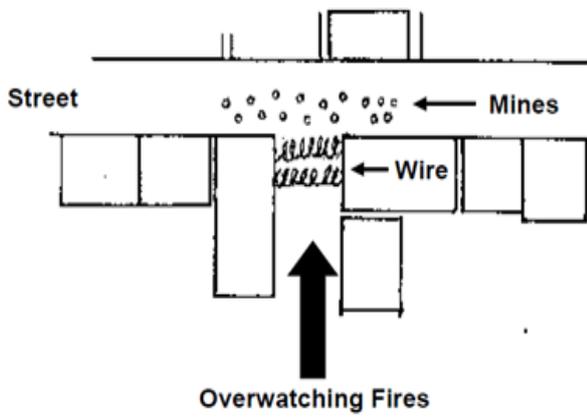


Figure 8-1 Mines and wire

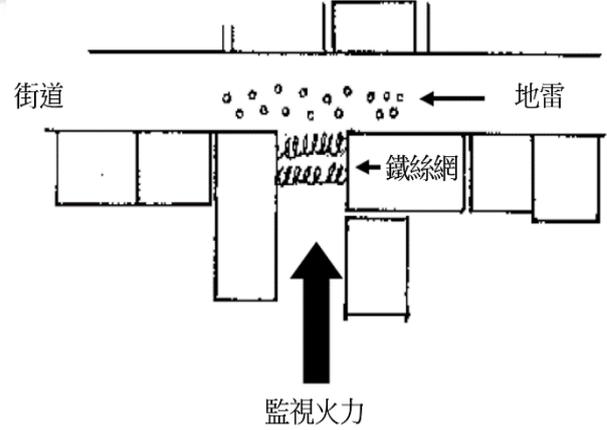


圖 8-1 街區地雷及鐵絲網設置示意圖

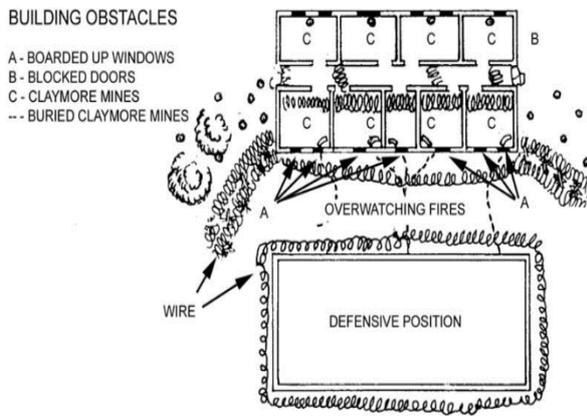


Figure 8-2 Building obstacles

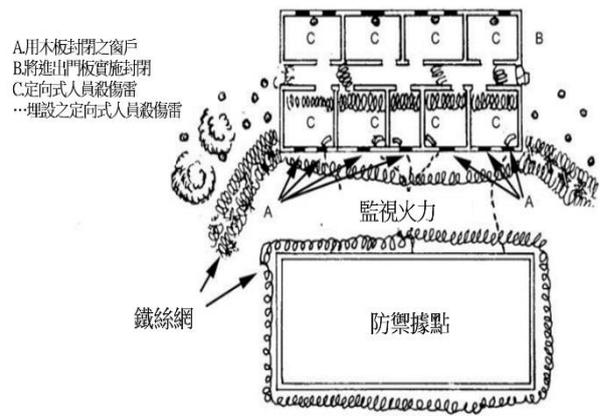


圖 8-2 建物周邊障礙設置示意圖

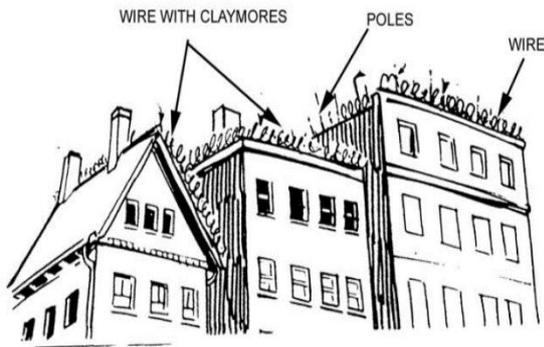


Figure 8-3 Rooftop and helicopter obstacles

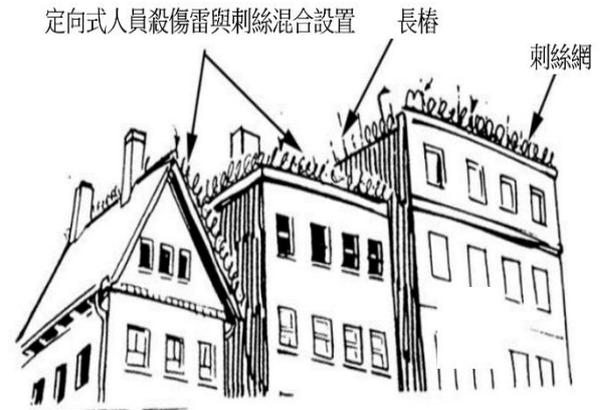


圖 8-3 屋頂及防直升機障礙設置示意圖

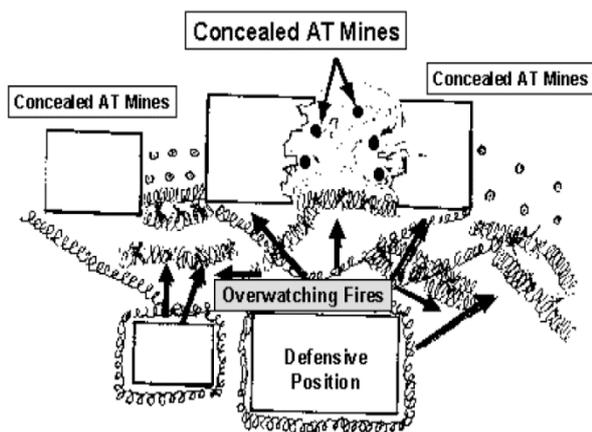


Figure 8-4 Open space obstacles

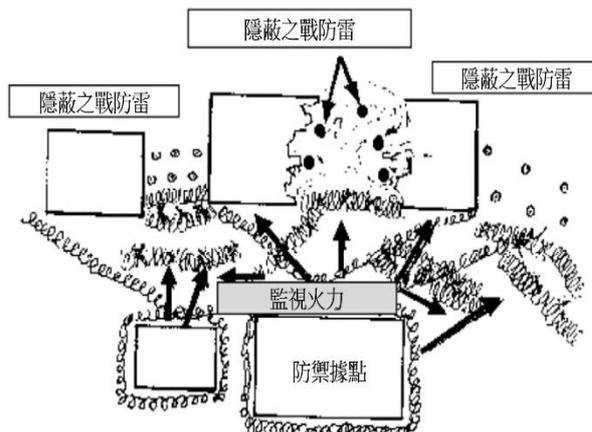


圖 8-4 開闊地障礙設置示意圖

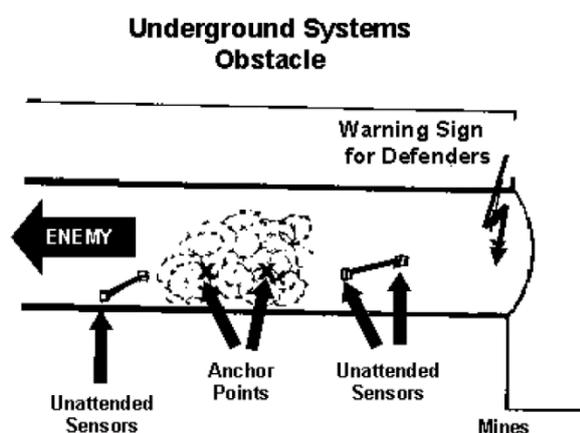


Figure 8-5 Underground systems obstacle

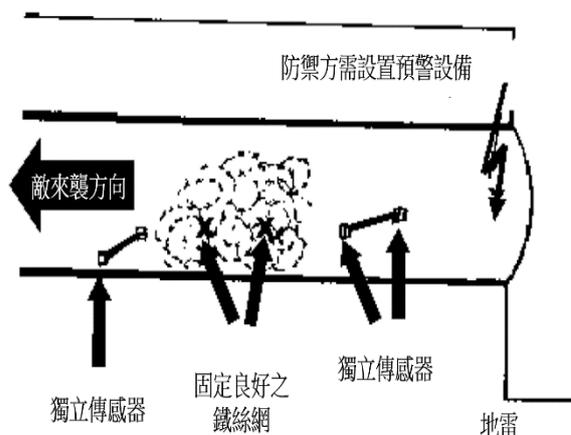


圖 8-5 地下交通系統障礙設置示意圖

b. Dead space obstacles are designed and built to restrict infantry movement in areas that cannot be observed and are protected from direct fires.

c. Anti-armor obstacles are restricted to streets and open areas (Figures 8-6 through 8-11, pages 8-5 through 8-7).

b. 封閉性區域內所設置之障礙，是設計用於建構限制步兵於區域內運動、防敵觀測並提供對直射武器的防護。

c. 於街道及開闊地區域中設置反裝甲障礙將受到拘限，設置方式如圖 8-6 至圖 8-11 所示。

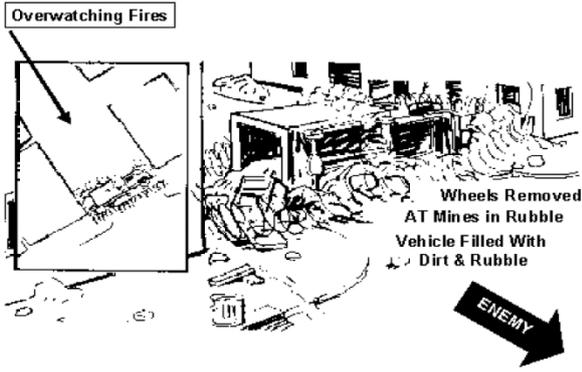


Figure 8-6 Vehicle obstacle

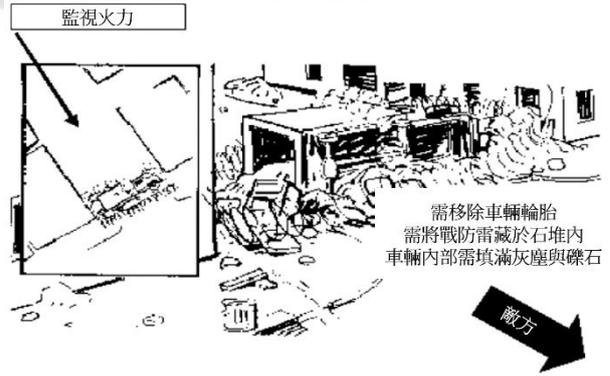


圖 8-6 車輛障礙運用示意圖

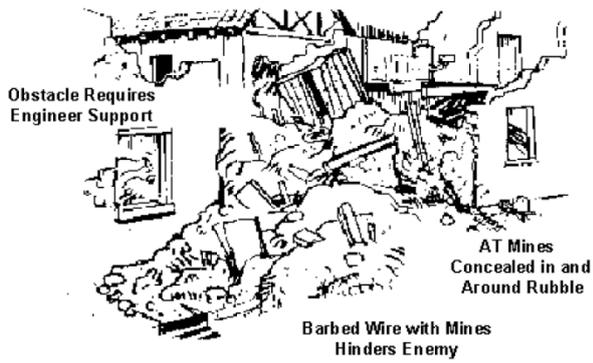


Figure 8-7 Rubble obstacle



圖 8-7 礫石障礙設置示意圖

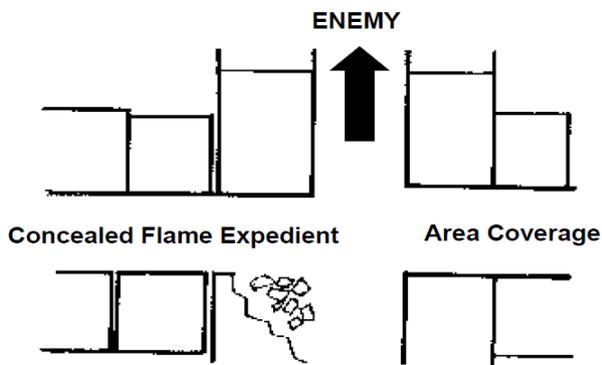


Figure 8-8 Explode flame device

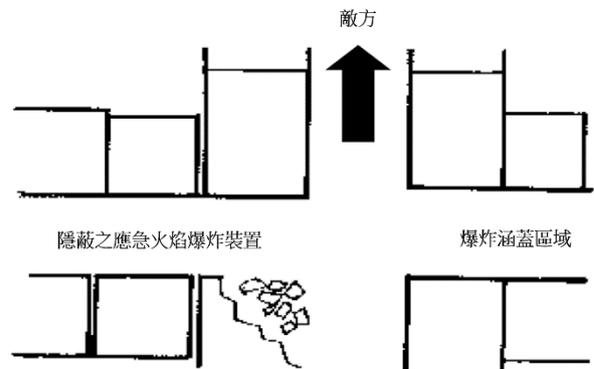


圖 8-8 爆炸式火焰裝置

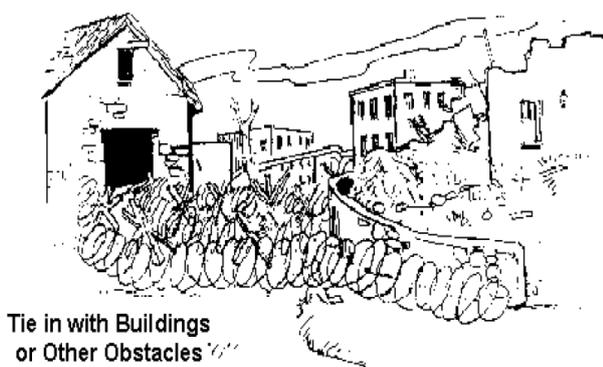


Figure 8-9 Steel hedgehog



圖 8-9 鋼刺蝟設置

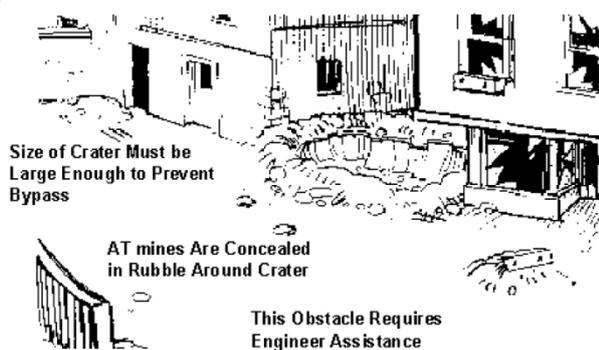


Figure 8-10 Road craft

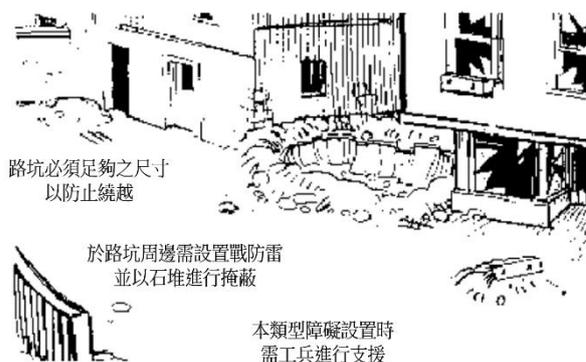


圖 8-10 路坑

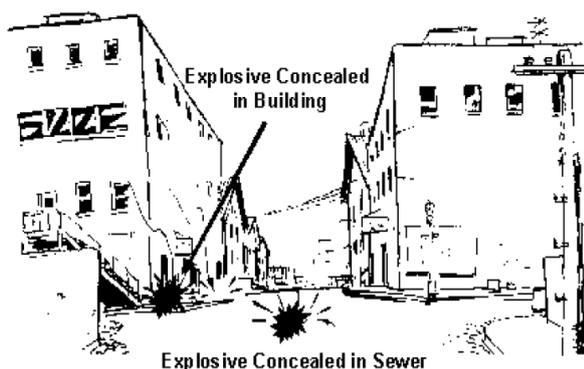


Figure 8-11 Concealed explosive

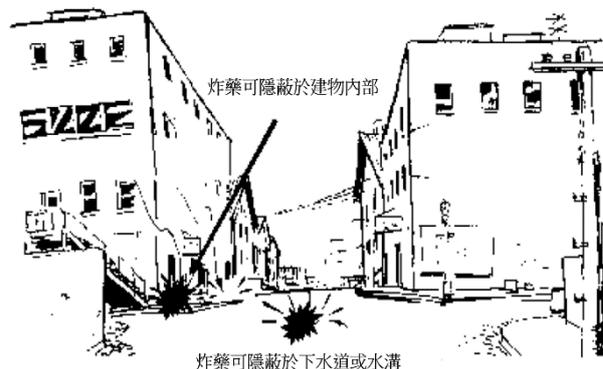


圖 8-11 隱藏之爆藥

8-2. CONSTRUCTION OF OBSTACLES

Obstacles are constructed in buildings to deny enemy infantry covered routes and weapons positions close to friendly defensive positions. They can be constructed by rubble with explosives or flame, or by using wire. The building can be prepared as an explosive or flame trap for execution after enemy occupation.

8.2 障礙設置

在建物中設置障礙之目的在拒止敵步兵運用接近友軍防禦據點之掩蔽路線與武器陣地，相關的障礙可運用爆炸手段產生之碎石與火焰或運用鐵絲網實施設置，於相關建物完成具爆炸或火焰燃燒效果的陷阱設置準備，並於敵軍佔領後實施啟爆。

Section II. MINES

On 16 May 1996, Public Law 104-295 (Leahy Amendment) took effect. US policy forbids the use of booby traps and nonself-destructing antipersonnel land mines. Mines found in built-up areas should be recorded on a building sketch. The sketch should include the number of the building (taken from a city map) and floor plans. It should also include the type of mine and firing device, if known. When identified, mined buildings should be marked on the friendly side. Clearing areas or buildings that have been mined is extremely difficult. Therefore, they should be considered "NO GO" areas. This factor must be carefully considered when planning and authorizing the placement of mines. (See Table 8-1 for the approving authority for minefields.)

第二節 地雷

於 1996 年 5 月 16 日，美國公法 104-295 生效後，美國政策已禁止使用詭雷及無自毀功能之人員殺傷雷，另針對住民區雷區，為使地雷能夠被發現，必須實施相關紀錄與標繪。標繪之內容必須包含設置區域中所包含之建物數量(需城市地圖資訊結合)及平面圖；另應包含地雷型式及發火裝置種類。在可知狀況下，當確認建物內有設置地雷時，應該在接近友軍一側實施標記，清除區域及建物中已設置之地雷極度困難，因此，相關被確認為有地雷設置之區域，應被標示為不可行區，當計畫及授權實施地雷設置時，必須針對相關因素仔細的進行考慮，(雷區設置之核准權責如表 8-1 所示)

TYPE MINEFIELD	APPROVING AUTHORITY
Protective hasty	Brigade commander (may be delegated down to battalion level or company level on a mission basis)
Deliberate	Division or installation commander
Tactical	Division commander (may be delegated to brigade level).
Point	Brigade commander (may be delegated to battalion level).
Interdiction	Corps commander (may be delegated to division level).
Phony	Corps commander (may be delegated to division level).
Scatterable long duration (24 hours or more).	Corps commander (may be delegated to division level).
Short duration (less than 24 hours)	Corps commander (may be delegated to division, brigade, or battalion level).

Table 8-1. Minefield employment authority

雷區型式	核准權責
應急防護性雷區	旅長(基於任務可委由營級或連級執行)
周密雷區	師長或戰場最高指揮官
戰術性雷區	旅長(可委由旅級執行)
單雷設置	旅長(依任務可委由營級執行)
地雷阻絕區	軍團指揮官(依任務可委由師級執行)
假雷區	軍團指揮官(依任務可委由師級執行)
自毀時間超過 24 小時之散撒雷區	軍團指揮官(依任務可委由師級執行)
自毀時間低於 24 小時之散撒雷區	軍團指揮官(依任務可委由師或旅級執行)

表 8-1. 雷區設置權責

8-3. TYPES OF MINES AND EMPLOYMENT TECHNIQUES

Several types of mines can be employed in built-up areas.

a. The M18A1 Claymore mine can be employed during the reorganization and consolidation phase on likely enemy avenues of approach. It does not have to be installed in the street but can be employed on the sides of buildings or any other sturdy structure.

(1) Claymore mines can be used for demolition against thin-skinned buildings and walls, or the 1 1/2 pounds of composition C4 can be removed from the mine and used as an explosive, if authorized.

(2) Claymore mines can be mixed with antitank mines in nuisance minefields. They can fill the dead space in the final protective fires of automatic weapons (Figure 8-12).

8.3 地雷型式與設置技術

在居民區內可運用下列各式地雷實施設置：

a. M18A1 定向式人員殺傷雷可於鞏固於整頓階段部署於敵可能接近路線，這類地雷不需設置於街道，但可設置於建物或任何堅固結構的外側。

(1) M18A1 定向式人員殺傷雷可用於對薄弱建物或牆壁實施爆破，在經過授權的狀況下，可將地雷內部存放之 1 1/2 磅 C4 爆藥移作爆藥使用。

(2) M18A1 定向式人員殺傷雷在擾亂性雷區中可與戰防雷混用，並可填補最後防護射擊線自動武器之射擊死角。

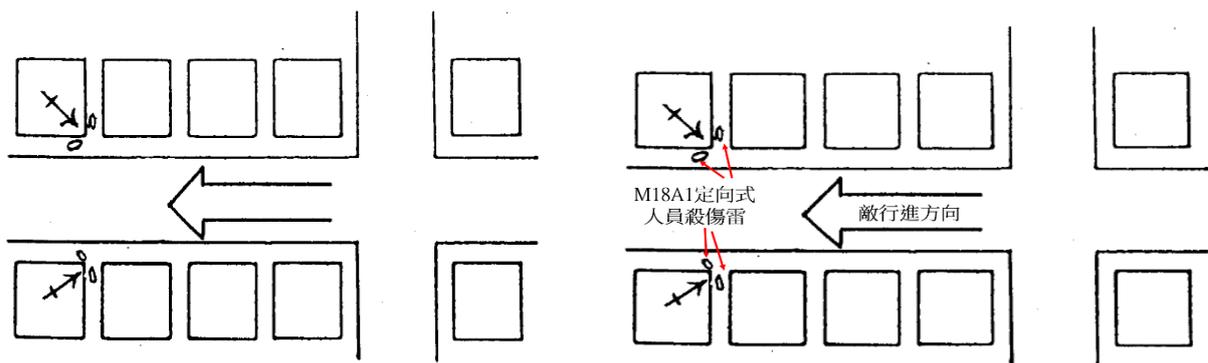


Figure 8-12. Claymore mines used to cover dead space of automatic weapons.

圖 8-12 M18A1 定向式人員殺傷雷用於填補自動武器射擊死角

(3) Claymore mines can be used several ways in the offense. For example, if friendly troops are advancing on a city, Claymore mines can be used in conjunction with blocking positions to cut off enemy escape routes (Figure 8-13).

(3) M18A1 定向式人員殺傷雷在攻擊行動中有許多之運用方法，例如當友軍部隊於城鎮中前進時，M18A1 定向式人員殺傷雷可用於連結阻止陣地，以切斷敵軍撤離路線(如圖 8-13)。

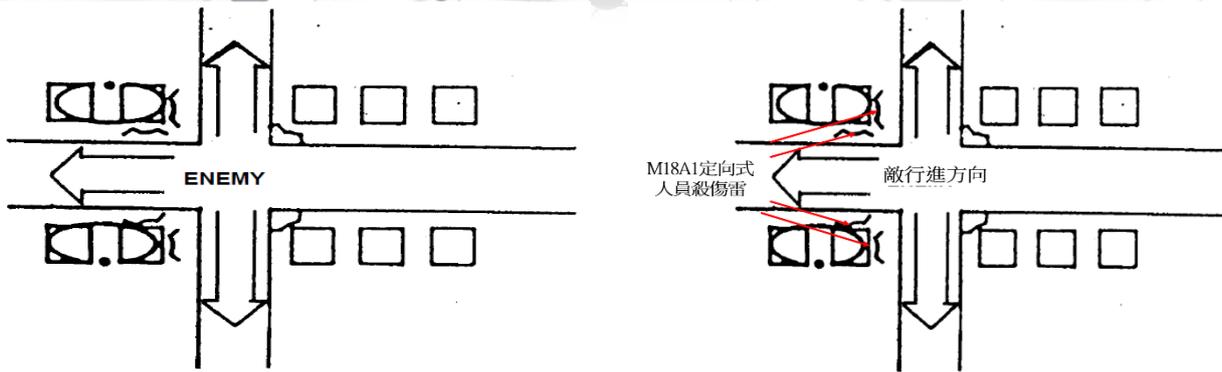


Figure 8-13. Claymore mines used to block enemy escape routes.

圖 8-13 M18A1 定向式人員殺傷雷用於封阻敵撤離路線

b. The M15, M19, and M21 antitank mines are employed (Figure 8-14)

- In conjunction with other man-made obstacles and covered with fire.
- As standard minefields in large open areas with the aid of the M57 dispenser.
- In streets or alleys to block routes of advance in narrow defiles.
- As command detonated mines with other demolitions.

b.M15、M19 及 M21 戰防雷之設置方式說明如下(如圖 8-14)

- 與其他人為障礙實施結合並以火力進行瞰制
- 與在大範圍開闊區域設置標準型雷區方式相同，但增加運用 M57 發火器實施引爆
- 在街區及巷道中隘道封阻敵之前進路線
- 與其他爆藥混用，作為遙控式起爆地雷運用

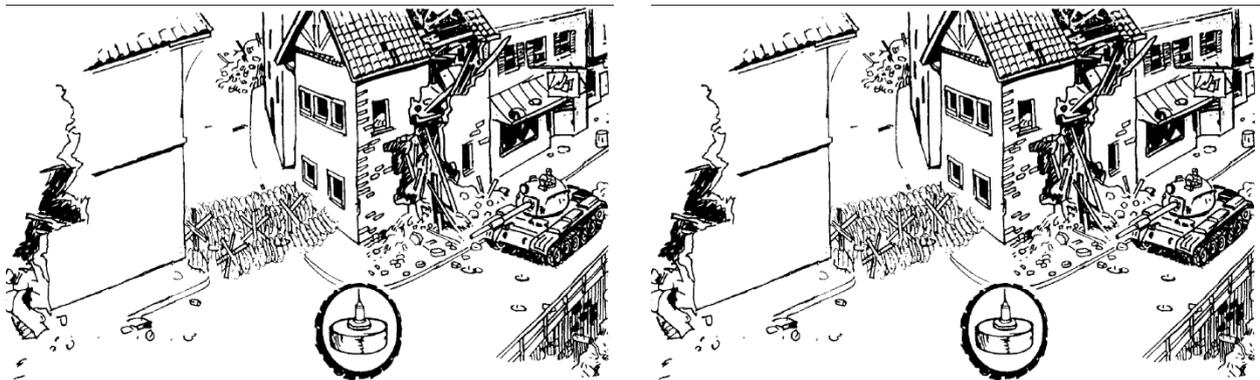


Figure 8- 14. Emplacement of antitank mines.

圖 8- 14 戰防雷設置方式。

8-4. ENEMY MINES AND BOOBY TRAPS

Buildings contain many areas and items that are potential hiding places for booby traps such as doors, windows, telephones, stairs, books, canteens, and so on. When moving through a building, soldiers must not pick up anything—food, valuables, enemy weapons, and so on. Such items could be rigged with pressure devices that explode when moved. Soldiers must be well dispersed so that if a booby trap explodes, the number of casualties will be few. Many different types of mines and booby traps could be encountered during urban combat (Figure 8-15).

8.4 敵軍之地雷與詭雷運用

多數建物包含許多區域及物件為潛在可用以隱藏詭雷，例如門、窗、電話、樓梯、書籍、爐灶等地方。當士兵行經建物時，必須禁止士兵撿取任何包含食物、有價物品及敵軍所遺留之武器等物品，類似的物品可能已遭敵裝設具壓發式引信裝置之地雷，當移動時即可能爆炸。士兵必須適當的實施疏散，避免詭雷爆炸時，受傷人數能降低，在城鎮戰鬥中可能會遭遇許多不同種類之地雷與詭雷(如圖 8-15)。

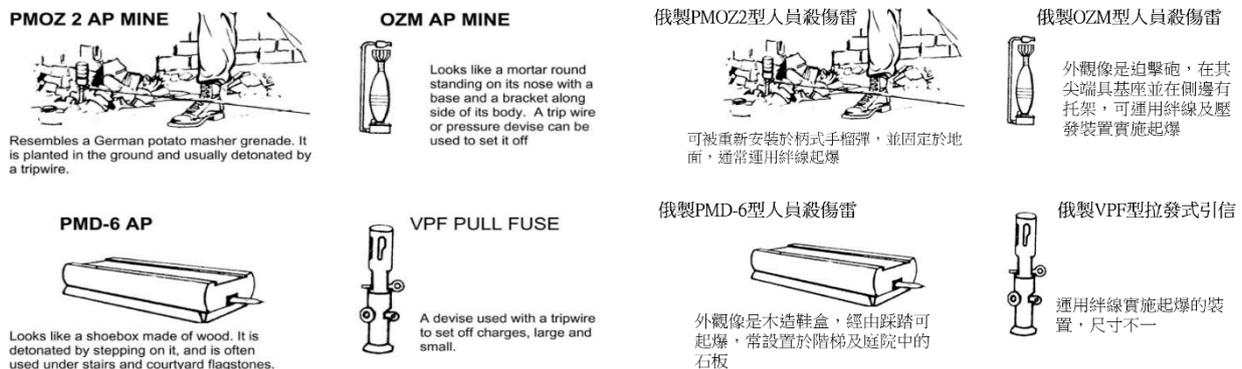


Figure 8-15. Threat mines and booby traps.

圖 8-15 地雷與詭雷之威脅

a. Equipment used in clearing operations:

a. 可用於地雷清除作業之裝備如下。

- Mine detectors. ●地雷探測器
- Probes. ●探針
- Grappling hooks. ●勾爪
- Ropes. ●繩索
- Bulk explosives and firing devices. ●大量的爆藥及點火裝置
- Protective vests (at least PASGT). (EOD vests are best, but heavy). ●防護背心(至少須具備地面部隊單兵防護裝備)(未爆彈處理專用背心為最佳裝備，但較為笨重)
- Eye protection. ●護目裝置
- Engineer tape or other marking devices such as florescent spray paint. ●工兵專用的標示帶或其他標示裝置，例如螢光噴劑

b. If available, scout dogs should be used to alert soldiers to trip wires or mines.

b.在可獲得的情況下，應該運用偵察犬警戒針對絆線或地雷對士兵實施警戒。

c. To detect tripwires, soldiers can use a 10-foot pole with 5 feet of string tied on one end. He attaches a weight to the loose end of the string, which snaps on the trip wire. This allows the lead man to easily detect a trip wire (Figure 8-16, page 8-12).

c.在探測絆線時，士兵可運用 10 英尺長的竿子，並在一端綁上 5 英尺的細繩，於繫繩的游端綁上一具重量的物品，並用以快速地碰觸絆線，這使先頭的人可以輕易地偵測到絆線。(如圖 8-16)

d. Many standard antipersonnel mines are packed in boxes and crates. If a soldier discovers explosive storage boxes, he should sketch them and turn the sketch over to the platoon leader or S2.

d.許多標準化的人員殺傷雷是裝設在箱子或彈藥箱內，如果士兵發現爆炸性物品的儲存箱時，應該將爆炸物品儲放箱的外觀完成描繪，並將描繪的成果交給排長或參二部門。

e. Explosive ordnance disposal (EOD) personnel should neutralize most booby traps. If EOD teams are not available, booby traps can be blown in place. Personnel should move to adequate cover. If the booby trap is in a building, all personnel should go outside before the booby trap is destroyed. Engineer tape placed around the danger area can be used to mark booby traps. If tape is not available, strips ripped from bedsheets can be used.

e. 未爆彈處理人員應該清除多數的詭雷，如果在無法獲得未爆彈處理小組進行支援的狀況下，可於現地將詭雷實施引爆，另人員應移動至具備足夠掩蔽處後始可執行爆破，如果在建物內發現詭雷，所有的人員在詭雷被摧毀前均應該移動至建物外，並運用工兵專用的標示帶於危險區域周圍完成標示，以對詭雷完成標示，如果工兵專用之標示帶無法取得，可將床單撕成布條代用。

f. If possible, a guide should lead personnel through known booby-trapped areas. Prisoners and civilians can be a good source of information on where and how booby traps are employed.

f. 在可能的狀況下，應運用適宜之導引人員，引導人員通過已知的詭雷區域，針對當地的詭雷在何處及以何種方式實施設置，當地囚犯或居民為良好能提供相關資訊之人員。

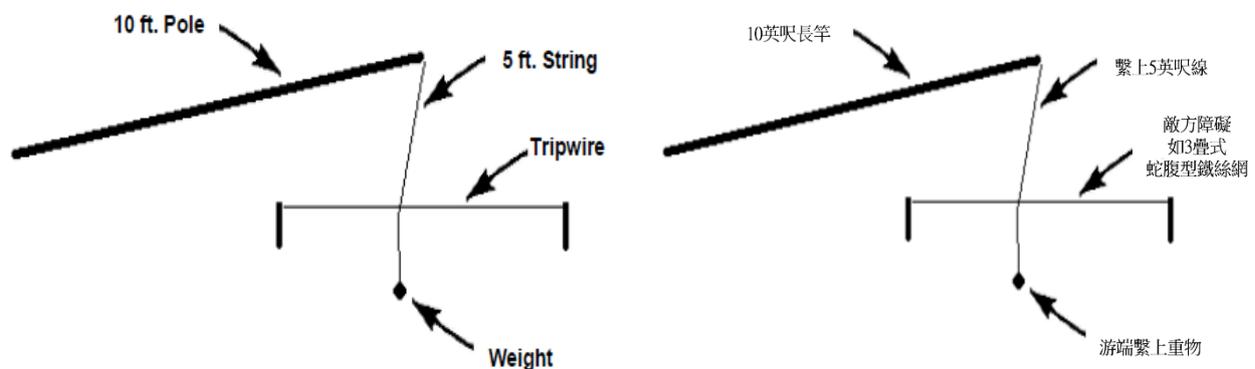


Figure 8-16. Trip wire detection.

圖 8-16 三疊式鐵絲網詭雷探測方式

Section III. DEMOLITIONS

Demolitions are used more often during urban combat than during operations in open terrain. The engineers that support the brigade, battalion task force, and company team should enforce demolition operations. However, if engineers are involved in preparing and executing the barrier plan, infantrymen can prepare mouseholes, breach walls, and rubble buildings themselves, assisted and advised by the brigade, task force, or team engineer.

第三節 爆破

相較於在開闊地作戰，爆破更常運用於城鎮作戰中。工兵於支援連、營特遣隊或旅級實施作戰時，應該執行爆破作業，然而若工兵參與阻絕計畫的準備與執行時，在連、營或旅級所屬之工兵提供指導與協助下針對運用爆破手段形成狹窄洞口、牆面爆破及炸毀建物形成礫石堆等作業實施爆破作業準備。

8-5. OFFENSIVE USE

When assaulting or clearing an urban area, demolitions enable the maneuver commander to create an avenue of approach through buildings. As discussed earlier, the infantry commander forms his personnel into assault and support elements to seize and clear buildings.

8-5 攻擊

當對某個城鎮區域實施攻擊或清除時，爆破可使任務指揮官創造可穿越建物之接近路線，如前述討論之內容，步兵指揮官編組其人員用以攻擊或支援單位控領或清除建物內之敵軍。

a. Prefabricate expedient charges and initiation systems. Cross load charges and explosives so as not to overburden any one individual with unnecessary explosives, and to keep the charges dispersed if compromised. Ensure that the caps and charges are separate, but within the breach element. As METT-TC dictates, cross loading

explosives within elements of the assault may be necessary. Once a foothold is established, redistribute the explosives for the next COA during consolidation and reorganization.

a. 可混用彈藥及爆藥製成預制之應急爆藥及點火系統，以避免任何單兵過度負擔不必要的爆藥，並在與任務不衝突的折衷狀況下，保持爆藥分散攜行。確保起爆管與爆藥由執行破障作業部隊內部之人員分開攜行，依據任務、敵情、可用時間、可用兵力、地形及民情等任務變數決定下，針對攻擊行動可能必須使用之爆藥，在破障部隊內將起爆管與爆藥混合裝填，當據點完成建立後，於鞏固與整頓時，應針對次一行動方案，完成炸藥攜行之重新分配。

b. One of the most difficult breaching operations faced by the assault element is the breaching of masonry and reinforced concrete walls. Always look for an alternate entry point, including safe firing positions and movement routes, before committing the element. Also consider the effects of blast waves, overpressure, and secondary missile projectiles in direct relationship to the charge and charge placement.

b. 對攻擊部隊而言所面臨最困難之破障作業為破壞石製或混凝土牆，在派遣任務部隊執行攻擊行動前，遭遇相關障礙應先行完成替代進路點之選定，另需包含安全的射擊位置及運動路線。另外若需執行爆破作業，亦須考量爆炸波與過載爆壓之影響及對次級飛彈彈藥裝藥及補充裝藥之正相關性影響。

(1) Normally, building walls are 15 inches thick or less and will vary depending on the theatre of operations. C4 is an ideal charge to use when assuming all outer walls are constructed of reinforced concrete. When breaching external walls, place six to eight horizontal blocks of C4 10 to 12 inches apart in two columns (three or four blocks in each column). Prime at the outer edge of each block using

a ring main and sliding uli knots. The supplied adhesive may not be strong enough to hold the blocks in place. A frame can be constructed out of cardboard or other available sheeting to mount the charge on, then prop sticks are used to secure the charge in place. (Always use two methods of attachment precluding a failed breach.) When detonated, this will clear concrete from the wall large enough for a man to pass through and expose the rebar reinforcement. (Refer to FM 5-34 for steel-cutting rules of thumb for chains, cables, rods, and bars.)

(1) 一般而言，建物牆壁厚度為 15 英寸或更薄，並且將依作戰地區實施變換。對假設建物外部牆體均由混凝土所建造時，C4 即為運用於相關建物實施爆破之理想爆藥，當自牆體外部實施破障時，於柱間以間隔 10-12 英寸之距離設置水平設置 6-8 處 C4 爆藥塊(每柱 3-4 個爆藥塊)，優先在各區塊外緣運用一個環以保持單結的滑動，在設置時僅運用輔助的黏著劑強度可能不足以固定區域中的爆藥塊，可運用硬紙板或其他可獲得的紙板製成外框來裝設爆藥，然後再設置時，設置適宜之支柱以將爆藥固定在其設置區域(多數狀況下，需同時運用兩種方式實施固定以避免破障作業失敗)當爆破完成後，爆破作用會將混凝土牆破壞出大到足以使人能夠穿越的洞，並且結構鋼筋外露。(針對鋼鍊、鋼纜、鋼柱及鋼條的破壞方法，可參考野戰手冊 5-34 鋼材切割經驗法則)。

(2) All reinforced concrete breaches should have two shots planned—one for concrete and one for rebar. Rebar may also be defeated by thermal, mechanical or ballistics means. METT-TC and experience will determine what technique would best fit the situation. In all cases, rebar can be a time-consuming and dangerous objective. Breaching personnel must have extended suppression of enemy fires while this task is being performed due to their level of exposure. Fragmentation or concussion grenades

should be thrown into the opening to clear the area of enemy. The amounts of TNT required to breach concrete are shown in Table 8-2.

(2)對所有的混凝土破障作業而言，均應計畫兩種破壞作業，其一為針對混凝土的破壞作業而另一種則為針對鋼筋之破壞作業，鋼筋同時也可運用加熱、機械破壞或以子彈射擊等手段實施破壞。任務變數及經驗將決定何種技術最適於當下的狀況。在所有案例中顯示，破壞鋼筋為耗時且危險的，由於在執行破障作業時，破障人員必須暴露在其層級火力範圍外，故必須更加延伸能夠制壓敵火，始能確保實施破障的人員安全。針對開闊區域的敵軍，對其投擲具碎片及震波殺傷效能的手榴彈實施殺傷。爆破混凝土所需之 TNT 用量如表 8-2 所示。

REINFORCED CONCRETE		
THICKNESS OF MATERIAL	TNT	SIZE OF OPENING
Up to 10 CM (4 inches)	5 KG (11 LBS)	10 to 15 CM (4 to 6 inches)
10 to 15 CM (4 to 8 inches)	10 KG (22 LBS)	15 to 25 CM (6 to 10 inches)
15 to 20 CM (6 to 8 inches)	20 KG (44 LBS)	20 to 30 CM (8 to 12 inches)
NONREINFORCED CONCRETE MASONRY		
THICKNESS OF MATERIAL	TNT	SIZE OF OPENING
Up to 35 CM (14 inches)	1 KG (2.2 LBS)	35 CM (14 inches)
35 to 45 CM (14 to 18 inches)	2 KG (4.4 LBS)	45 CM (18 inches)
45 to 50 CM (18 to 20 inches)	3 KG (6.6 LBS)	50 CM (20 inches)

Table 8-2. TNT required to breach concrete

鋼筋混凝土		
材料厚度	TNT 用量	開闢洞口尺寸
未達 10 公分 (4 英吋)	5 公斤 (11 磅)	10 公分至 15 公分 (4 至 6 英吋)
10 公分至 15 公分 (4 至 6 英吋)	10 公斤 (22 磅)	15 公分至 25 公分 (6 至 10 英吋)
15 公分至 20 公分 (4 至 8 英吋)	20 公斤 (44 磅)	20 公分至 30 公分 (8 至 12 英吋)
無鋼筋接著之混凝土塊		
材料厚度	TNT 用量	開闢洞口尺寸
未達 35 公分 (14 英吋)	1 公斤 (2.2 磅)	35 公分 (14 英吋)
35 公分至 45 公分 (14 至 18 英吋)	2 公斤 (4.4 磅)	45 公分 (18 英吋)
45 公分至 50 公分 (18 至 20 英吋)	3 公斤 (6.6 磅)	50 公分 (20 英吋)

表 8-2 爆破混凝土所需之 TNT 用量。

c. Mouse holes provide the safest method of moving between rooms and floors. Although they can be created with explosives, all mechanical means should be used first. When assaulting a unit in the defense, mouse holes may be provided.

d. When enemy fire prevents an approach to the wall, the breaching charge may be attached to a pole and slid into position for detonation at the base of the wall (Figure 8-17, page 8-14). Small-arms fire will not detonate C4 or TNT. The charge must be primed with detonating cord. Soldiers must take cover before detonating the charge.

c.在各房間或樓層間製造狹窄的出入口實施運動為最安全的移動方式，雖然這可以爆破手段製造相關通行通道，但仍應以各種機械式破壞手段優先，當攻擊防禦的單位時。應該提供狹窄通道實施運用。

d.當敵火使破障部隊無法接近預破壞之牆面時，破障所使用的爆藥可固定於長竿上，並滑動至其預定爆破位置的地面(如圖 8-17)，小型口徑的火力並不會將 C4 或 TNT 引爆，爆藥必須與導爆索完成設置，另士兵必須在起爆前找到適宜之掩蔽位置。

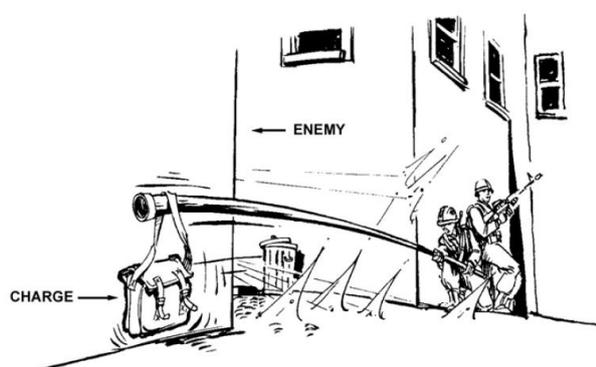


Figure 8-17. Charge placement when small-arms fire cannot be suppressed

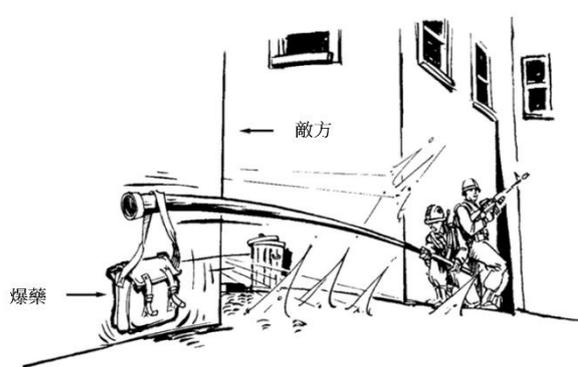


圖 8-17 無法制壓敵小規模火力時
爆藥設置方式

8-6. DEFENSIVE USE

The use of demolitions in defensive operations is the same as in offensive operations. When defending an urban area, demolitions are used to create covered and concealed routes through walls and buildings that can be used for withdrawals, reinforcements, or counterattacks. Demolitions are also used to create obstacles and clear fields of fire.

8.6 防禦

防禦作戰如同攻擊作戰，均運用爆破作為，協助作戰任務遂行，當在城鎮區域實施防禦時，通常運用爆破手段於建物間的牆面創造出可於撤退、增援及反擊時所需之隱、掩蔽路線，另亦常運用爆破手段製造障礙與清掃射界。

a. Infantrymen use demolitions for creating mouseholes and constructing command-detonated mines. Expedient C4 satchel charges can be concealed in areas that are likely enemy weapons positions, in individual firing positions, or on movement routes. Expedient-shaped charges (effective in equipment destruction and against lightly armored vehicles) can also be placed on routes of mounted movement and integrated into anti-armor ambushes.

a. 步兵人員通常運用爆破手段以創造可供通行之狹窄通道及建造遙控起爆地雷，應急的 C4 爆破藥包可隱蔽設置於敵人武器據點、單兵射擊位置或運動路線等區域(可有效用於破壞裝備及對抗輕裝甲車輛)，同時亦可設置於乘車運動路線上整合設置，作為反裝甲伏擊手段。

b. Engineers must furnish technical assistance for selective rubbleing. ormally, buildings can be rubbleed using shaped charges or C4 on the supports and major beams.

b. 運用爆破手段製造瓦礫堆時，工兵必須提供技術協助，一般而言，可運用塑形爆藥或是 C4 於建物支撐處或主樑實施爆破，以製造瓦礫堆。

c. Charges should be placed directly against the surface to be breached unless a shaped charge is used. Depending on the desired effect and target material, charges may be tamped, untamped, or buffed depending on the situation. Tamping materials can be sandbags, rubble, or even water blivits when filled (Figure 8-18).

c.除運用塑形爆藥外，其餘爆藥應直接放至於須被破壞之平面，另外依據預期的破壞效果及被爆破物之材質，爆藥可能依狀況需以填塞、未填塞或運用緩衝物質，沙包、碎石甚至運用水袋均可作為於填塞之物質(詳圖 8-18)

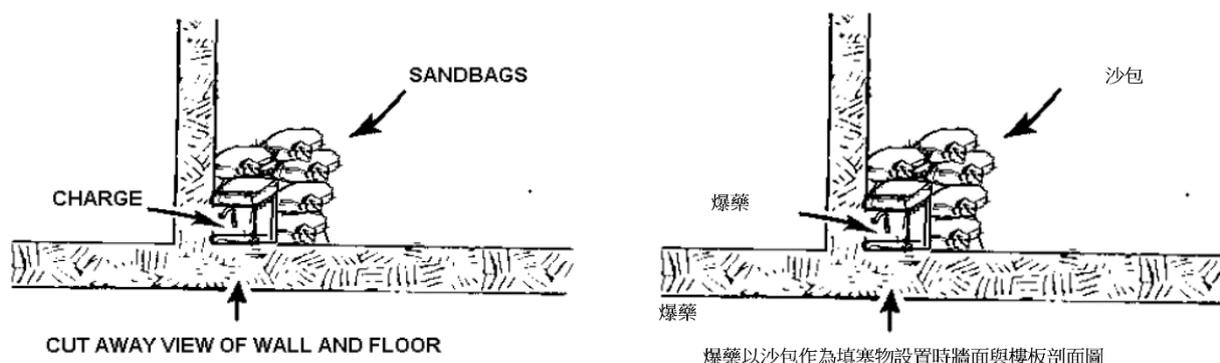


Figure 8-18. Sandbags used to tamp breaching charge

圖 8-18. 運用沙包作為牆面破壞炸藥之填塞物

d. For most exterior walls, tamping of breaching charges could be impossible due to enemy fire. Thus, the untamped ground level charge requires twice the explosive charge to produce the same effect as an elevated charge (Table 8-3).

d.對於多數建物外部牆面而言，在敵火下幾乎不可能對爆藥實施填塞作業，因此需要運用高於爆藥在有填塞狀況兩倍之藥量，將爆藥以未填塞且置於地面方式以對建物產生同樣的效果或可將爆藥離地設置 (詳表 8-3)

METHODS OF PLACEMENT				
THICKNESS OF CONCRETE (FEET)	ELEVATED CHARGE		GROUND-LEVEL CHARGE	
	POUNDS OF TNT	POUNDS OF C4	POUNDS OF TNT	POUNDS OF C4
2	14	11	28	21
2 ½	27	21	54	41
3	39	30	78	59
3 ½	62	47	124	93
4	93	70	185	138
4 ½	132	99	263	196
5	147	106	284	211
5 ½	189	141	376	282
6	245	186	490	366

Table 8-3. Breaching reinforced concrete.

混凝土牆面厚度 (英尺)	設置方法			
	離地設置		貼地設置	
	所需 TNT 磅數	所需 C4 磅數	所需 TNT 磅數	所需 C4 磅數
2	14	11	28	21
2 1/2	27	21	54	41
3	39	30	78	59
3 1/2	62	47	124	93
4	93	70	185	138
4 1/2	132	99	263	196
5	147	106	284	211
5 1/2	189	141	376	282
6	245	186	490	366

表 8-3. 爆破鋼筋混凝土牆面所需藥量

e. The internal walls of most buildings function as partitions rather than loadbearing members. Therefore, smaller explosive charges can be used to breach them. In the absence of C4 or other military explosives, internal walls can be breached using one or more fragmentation grenades primed with modernized demolition initiator (MDI), or a Claymore mine (Figure 8-19). These devices should be tamped to increase their effectiveness and to reduce the amount of explosive force directed to the rear.

e. 多數建物內部牆面多為隔間用途而非承重構件，因此通常可用較少量的爆藥即可實施破壞，在缺乏 C4 或其他種類之軍用爆藥時，可優先運用現代化的起爆器配合一至數顆碎片式手榴彈或運用定向式人員殺傷雷實施牆面爆破(如圖 19)，這些爆破裝置應該在有填塞狀況下實施爆破，以增加爆破威力對牆面之破壞力並減輕爆破威力直接對作業區後方部隊之影響。



Figure 8-19. Tamping of a Claymore mine and fragmentation grenades to breach internal walls.

圖 8-19. 運用破片式手榴彈及定向式人員殺傷雷破壞建物內部牆體時之填塞方式

WARNING

Ensure that a safe distance is maintained when throwing the Molotov cocktail. Caution troops against dropping the device. Throw it in the opposite direction of personnel and flammable materials. Do not smoke while making this device.

警告

當投擲汽油彈時，須確保有足夠之安全距離，並注意部隊在作業時，可能發生掉落時產生之危害，於投擲汽油彈時，應朝向人與可燃物品所在位置之反方向進行投擲，另在製作相關裝置時，周圍應禁止抽菸。

f. The Molotov cocktail (Figure 8-20) is an expedient device for disabling both wheeled and tracked vehicles. It is easy to make since most materials are readily available. Results can be very effective because of the close nature of engagements in urban areas. The objective is to ignite a flammable portion of the vehicle or its contents, such as the fuel or ammunition it is transporting.

f. 汽油彈(如圖 20)為一種同時可使輪型及履帶車量失去行動能力之應急裝置，在多數材料均完成整備及獲得的狀況下，相當容易進行製作，因接近城鎮作戰特性，故非常有效。汽油彈攻擊的目標為點燃車輛或其油箱等易燃之部分，例如車輛所載運之燃料或彈藥。

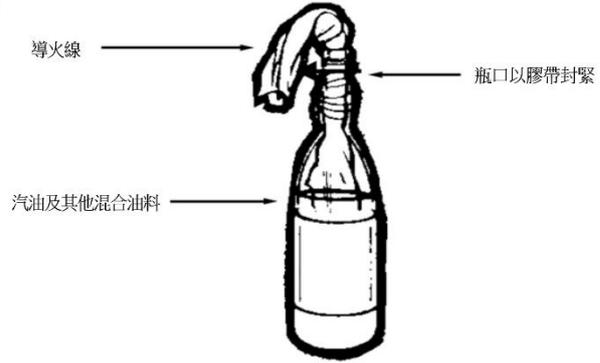
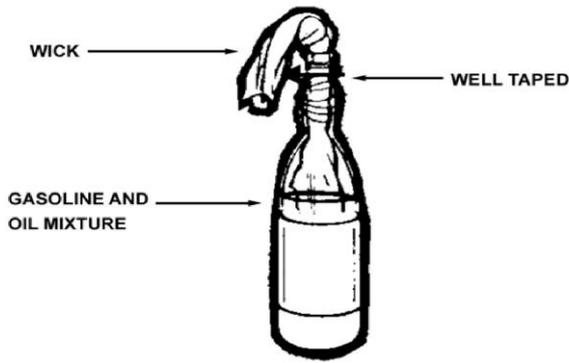


Figure 8-20. Figure 8-20. Molotov cocktail.

圖 8-20. 汽油彈

WARNING

Never carry the device by the handle or igniter. Remove the igniter safety pin only when it is time to use the device. Use extreme care when handling or carrying MDI systems. Protect blasting caps from shock and extreme heat. Do not allow the time fuse to kink or become knotted. Doing so may disrupt the powder train and may cause a misfire. Prime detonating cord and remove the MDI igniter safety pin only when it is time to use the device.

警告

本爆破裝置攜行時，不可攜行。與點火器或起爆器同時攜行時，只有當要使用汽油彈之現代化起爆系統時，應極度謹慎，另應避免起爆管受到過熱之溫度，設置時，應與計時起爆引信混用，不可與計時起爆引信混用。在運現代化起爆器時，應優先使用導爆索，並開始使用汽油彈時，始可移除插銷。

g. The bunker bomb is an expedient explosive flame weapon best used against fortified positions or rooms (Figure 8-21, page 8-18).

g. 掩體炸彈為針對堅固據點及房間攻擊效果最佳的一種應急式爆炸火焰武器(如圖 21)

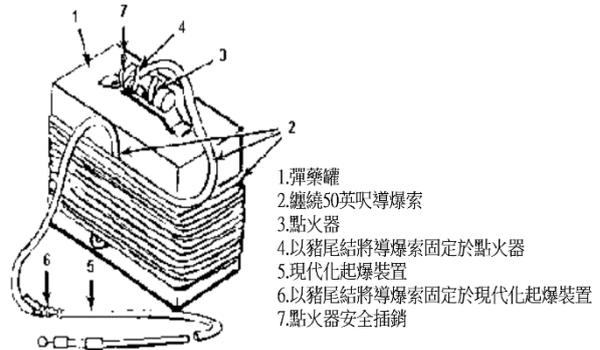
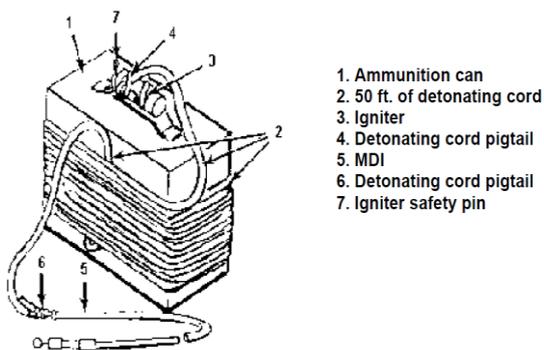


Figure 8-21. Molotov cocktail.

圖 8-21. 運用彈藥罐製作掩體炸彈.

8-7. SAFETY

The greatest dangers to friendly personnel from demolitions are the debris thrown by the explosion and blast overpressure. Leaders must ensure protective measures are enforced, and have personnel trained in procedures for determining overpressure, be it indoors or outdoors, in respect to net explosive weights and room size. The minimum safe distances listed in Table 8-4 indicate the danger of demolition effects.

8.7 安全

對友軍人員爆破作業最大的危害在於爆炸後所拋出的碎片及對人體過壓之爆炸波，指揮官必須確保防護措施已強制執行，並且具受過對不論在室內、室外單純針對爆藥重量及房間尺寸判斷爆破產生之壓力是否超壓訓練之人員，爆破時人員所需保持最低安全距離如表 8-4 所式，顯示爆炸之影響程度。

POUNDS OF EXPLOSIVES	SAFE DISTANCE IN METERS	POUNDS OF EXPLOSIVES	SAFE DISTANCE IN METERS
1 to 27	300	150	514
30	311	175	560
35	327	200	585
40	342	225	605
45	356	250	630
50	369	275	651
60	392	300	670
70	413	325	688
80	431	350	705
90	449	375	722
100	465	400	737
125	500	425 AND OVER	750

NOTE: These distances will be modified in combat when troops are in other buildings, around corners, or behind intervening walls. For example, a platoon leader using demolitions in an urban area with heavy-clad, mass construction buildings available to protect his soldiers, may use this information in conjunction with making a risk assessment and reduce the MSD to 50 meters if he is using a 20- to 25-pound charge.

Table 8-4. Minimum safe distances (MSD) for personnel in the open.

爆藥磅數	所需安全距離 (公尺)	爆藥磅數	所需安全距離(公尺)
1-27	300	150	514
30	311	175	560
35	327	200	585
40	342	225	605
45	356	250	630
50	369	275	651
60	392	300	670
70	413	325	688
80	431	350	705
90	449	375	722
100	465	400	737
125	500	425 以上	750

備註：當部隊於建物內部、建物轉角及隔間牆實施爆破時，安全距離將會修正，舉例而言，排長若在由許多建物環繞的城鎮區實施爆破作業時，多數的建物用於士兵之防護使用，在運用本表資訊時，應與所評估之作業風險實施結合，若僅運用 20-25 磅之爆破實施爆破時，在合理之情況下可將最低安全距離下修至 50 公尺。

表 8-4. 在開闊空間人員所需最低安全距離

a. Rules for using demolitions:

- Team/squad leaders and the platoon engineer(s) supervise the employment of demolitions.
- Wear helmets, body armor, ear and eye protection when firing explosives.
- Handle misfires with extreme care.
- Clear the room and protect personnel when blowing interior walls.

a. 爆破作業運用原則。

- 由小組長/班長及工兵排所屬人員監督爆破作業設置狀況
- 起爆時，人員需穿戴安全頭盔、防護衣、護目鏡及聽力防護裝置
- 針對不發火狀況應特別小心處置
- 針對建物內部牆體完成爆破時，應針對預備爆破空間完成清除及人員防護

b. Some charges should be prepared, minus initiators, beforehand to save time; for example, 10- or 20-pound breaching charges of C4 and expedient-shaped charges in No. 10 cans.

- Use C4 to breach hard targets (masonry construction).

- Do not take chances.
- Do not divide responsibility for explosive work.
- Do not carry explosives and blasting caps together.

b. 為節約作業時間，應在未與點火器接續的狀況下，部分爆藥應預先準備及處理，例如將 10 或 20 磅以上的 C4 或應急塑型炸藥裝入 10 號彈藥罐。

- 運用 C4 爆藥針對堅硬目標(石造建築)實施排除
- 作業時不可心存僥倖
- 針對同一處爆破作業，作業權責應集中
- 攜行時不可將爆藥及起爆管同處放置

Section IV. FIELD-EXPEDIENT BREACHING OF COMMON URBAN BARRIERS

Urban combat requires access to compounds, buildings, and rooms. Mechanical breaching of doors or windows using sledgehammers, bolt cutters, saws, or crowbars; or ballistic breaching using weapons fire are options. However, mechanical or ballistic breaching are sometimes too slow or exposes soldiers to enemy fire. Explosive breaching is often the fastest and most combat-effective method. With a little time to prepare, units can use slightly modified standard Army demolitions to breach all common urban barriers.

NOTE: The techniques described in this section should be employed by soldiers who have been trained in their use

第四節 對一般城鎮障礙之野戰應急排除方法

城鎮戰鬥奪取由建物圍繞之封閉區域、建物及房間，通常會運用機械破障方式，以大型鐵槌、螺栓切割器、鋸子或撬棒針對門窗實施破壞，或以彈藥針對障礙實施破壞但可能較慢且會有時使士兵曝露於敵火之破壞方式，運用爆破手段實施排除通常為較快且為最具戰鬥效應之方式，僅需運用少量時間實施準備及可運用些微修正的軍用彈藥針對一般的城鎮障礙實施排除。

備註：本節所述之排除技術應由受過訓練之士兵執行用相關作業。

8-8. FORCE PROTECTION

Soldiers must take care when fabricating, carrying, and using field-expedient explosive devices. Leaders must ensure all standard procedures and precautions outlined in doctrinal and training material for Army demolitions activities are followed. This is dictated by more than just the commander's concern for the safety and welfare of his individual soldiers. Accidental or premature detonation of demolitions during combat not only can injure or kill friendly soldiers but can jeopardize the unit's mission. During combat, soldiers often need to position themselves close to breach points to enter quickly and overcome enemy resistance before the effects of the explosion subside. However, a soldier who is too close to an explosion and injured by flying debris becomes a casualty. Fire and extreme dust volumes may be encountered, preventing fluid movements, and must be prepared for. The unit must accomplish its mission without sustaining friendly casualties from its own demolitions.

8.8 部隊防護

當士兵在製造、攜行及運用應急式爆破裝置時必須特別注意，指揮官必須確保執行爆破作業時，需遵從所有在準則及陸軍爆破訓練教材中所提及之標準程序及注意事項。並不僅在指

揮官所關切的士兵個人安全與福祉方面實施說明，亦包含更多的內容。在戰鬥間爆藥意外或提早引爆不僅會造成友軍士兵傷亡，並可能會危害單位的任務遂行。戰鬥間士兵通常需使自己向破障點靠近，並在爆藥的爆炸作用消失前快速進入敵軍陣地並克服敵人的抵抗，然而士兵太過接近爆炸點時，會因飛散破片擊傷而成為傷兵，並且可能會遭遇到火焰及大量的煙塵造成部隊快速的運動受限，所以必須對上述狀況完成相關準備措施。單位必須在不造成支援友軍部隊產生傷亡的狀況下，完成其爆破任務。

8-9. BREACHING REINFORCED AND NONREINFORCED EXTERIOR WALLS

The Army issues both bulk explosives (TNT or C4) and prepackaged satchel charges that are powerful enough to breach all but the most heavily reinforced exterior walls. In some situations, satchel charges may be unavailable or may prove too powerful for the breach required. In high-intensity urban combat, the situation may call for large amounts of bulk explosive, but in many precision conditions the commander may want to create a smaller-size hole than the M37 or M183 satchel charges normally produce. Smaller satchel charges can be improvised. Research and development can determine the correct size of these improvised satchels, depending on the types of walls found in the battle area.

8.9 鋼筋混凝土及未強固之外牆破壞

陸軍撥發包含兩種形式的炸藥塊(TNT 或 C4)及預先包裝完成的爆藥包，兩種形式的炸藥威力均足以破壞大多數的鋼筋混凝土外牆，在部分狀況中，預先包裝完成的爆藥包可能無法取得，且已證明過大的爆炸威力已超過破障作業所需之威力。在高張力的城鎮戰鬥中，狀況可能需要大量的爆藥塊，但在許多確切的情況中，指揮官可能想要創造出比運用 M37 或 M183 爆藥包正常爆破效果更小的洞，較小規模之爆藥包可即興製作，

依據在戰鬥區域所發現牆之種類，經由研究與發展即可判斷這些即興製作的較小尺寸藥包規格。

a. General-purpose satchel charges can be assembled using empty machine gun ammunition bandoleers filled with various amounts of C4 explosive.

a. 通用爆藥包可運用空的機槍子彈帶填滿各種不同的藥量之 C4 爆藥製成。

(1) Connect a short length of detonation cord firmly to the explosive and leave it dangling. Tape the explosive securely into the bandoleer.

(1) 將一條短導爆索與爆藥確實連結，並使其懸空後，小心的將爆藥固定在子彈帶上。

(2) Hang the charge on a wall by the bandoleer strap or prop it against the wall using a stick or other object. Satchel charges detonated while firmly secured against the target wall at about shoulder height produce the best effects.

(2) 運用子彈帶將爆藥懸於牆或運用支撐物將爆藥靠在牆上，引爆爆藥包時，應確定爆藥確實以約在肩膀的高度固定於牆上，以獲得最佳效果。

(3) Prime the charge with an MDI firing system to the short length of detonation cord left dangling. When used against a nonreinforced concrete wall, a satchel charge containing 2 pounds of C4 usually produces a mousehole; 5 pounds creates a hole large enough for a man to move through; 7 pounds creates a hole large enough for two men to move through simultaneously; and 10 pounds of C4 can blow a hole large enough to drive a vehicle through. The 10-pound charge may also destroy the entire building if it is not of sturdy construction.

(3) 優先運用具備現代化點火裝置之點火系統以縮短導爆索的懸吊長度。當運用爆藥針對未具鋼筋之混凝土牆實施爆破時，運用 2 磅 C4 爆藥的爆藥包，通常就能形成一個狹窄的小洞；

運用 5 磅 C4 爆藥的爆藥包，通常就能形成一個可讓人通行的洞；運用 7 磅 C4 爆藥的爆藥包，通常就能形成一個足以讓兩個人同時通行的洞；運用 10 磅 C4 爆藥的爆藥包，通常就能形成一個足以讓載具通行的洞，但對不夠堅固的建物而言，10 磅 C4 爆藥亦可能摧毀整棟建物。

b. A useful breaching charge improvised by light engineer sappers during combat operations in Somalia consisted of a 3-foot length of engineer picket (U-shaped engineer stake) packed with 4 to 8 pounds of C4. The explosive was primed with detonation cord and taped securely to the picket. When needed, the picket was placed upright with its flat side against the wall, held to the wall by another stake, and then detonated. This charge could be rapidly fabricated, was sturdy, and could be easily and quickly emplaced. According to reports from the field, this device would blow a hole about 4 feet wide and 8 feet high in a nonreinforced concrete wall (common in the third world). The charge would throw fragments from the picket straight back for long distances (from 50 to 100 meters) but was fairly safe to either side. In combat, infantrymen could stand about 20 meters from the picket, crouched tightly against the wall with their backs turned to the explosive, without undue risk. This allowed them to follow up on the explosion with a rapid assault into the compound or building before the occupants could recover.

b.在索馬利亞作戰期間，輕裝戰鬥工兵急造了一款相當有用的障礙排除爆藥，此款爆藥為在 3 英尺長之工兵樁(U 型工兵樁)上，包覆 4 至 8 磅之 C4 爆藥，並在爆藥內塞入導爆索後，小心地固定於樁上。當需要時將樁立起，並在運用另一根支柱支撐下，將樁的平面側靠在牆上，完成後再實施爆破，此種炸藥可被快速的製成，並且很堅硬，可輕鬆且快速地進行設置，根據自戰場提供之報告，此種爆破裝置可在無鋼筋的混凝土牆面炸

出 4 英尺寬、8 英尺高的洞。並且會將爆炸時樁所產生之碎片拋擲至正後方約 50 至 100 公尺，但是在其他方向就相對安全，在戰鬥中，步兵所屬人員可保持在距爆藥樁約 20 公尺，背對預爆破牆壁之方向蜷伏，在沒有不當的風險狀況下，可使人員於爆破同時，在占領者回復狀況前，進入庭院或建物內進行快速之突擊。

8-10. BREACHING INTERIOR WALLS AND PARTITIONS

Interior walls generally require much less explosive to create a satisfactory breach than do exterior, load-bearing walls. An easily fabricated silhouette charge can further reduce the amount of explosive needed to breach plywood, Sheetrock, or light plaster walls. It can also be used to breach wooden or metal doors. This charge can be emplaced quickly and creates a hole large enough for a man to move through.

8.10 建物內牆及隔間之破壞

一般而言在內牆創造符合需求的破障作業所需爆藥量，比較破壞外牆及承重牆時所需藥量較少，當需要針對膠合板、石板及輕石膏牆體時，可運用輪廓爆藥這種易於製造且更能減少爆藥用量之爆藥，此種爆藥亦可運用於對木質及金屬材質之房門破壞，此爆藥設置快速，且能在爆破後創造出足以讓人穿越之大洞。

a. Tape two E-type silhouette targets, or similar stiff cardboard, together. To make the charge easier to carry, it can be built to fold in the middle (Figure 8-22). Rounding the corners makes the charge easier to handle.

a. 將兩個 E 型輪廓目標或相似的硬紙板黏在一起，使其便於攜行，也可做成可自中間對摺之型式，將爆藥環繞在外圍使其易於進行處理。

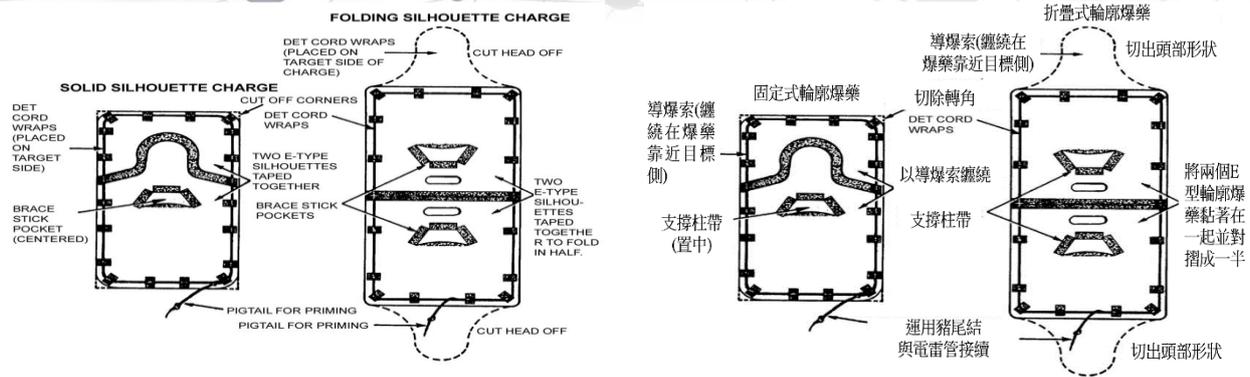


Figure 8-22. Construction of solid and folding silhouette charges.

圖 8-22. 固定及折疊式輪廓炸藥構造

b. Place detonation cord or flexible linear-shaped charge (FLSC) around the edges of the silhouettes, leaving a 6-inch tail for priming. Secure the cord to the silhouette using sturdy tape (for example, “100-mph tape”). (See Table 8-5 on page 8-22 for the appropriate number of wraps of detonation cord or FLSC to breach various barriers.) Tape several small dowels or other materials at various places around the silhouette if using FLSC. This provides the necessary standoff distance to ensure the maximum shaped charge effect. (See Table 8-6 on page 8-22 for the required standoff distance for various sizes of FLSC.)

NOTE: Always consider the silhouette material (about 1/8 inch) when determining standoff distance.

b.將導爆索或彈性線型炸藥(FLSC)，沿輪廓邊緣環繞，並留下 6 英吋的尾部與電雷管實施接續，確保運用高黏著力之膠帶將導爆索與輪廓實施結合，(如強力膠帶)(參照表 8-5，查詢排除各式阻材時，導爆索或線型炸藥需於輪廓纏繞圈數)，當運用彈性線型炸藥(FLSC)進行纏繞時，為確保塑形炸藥的最大效力，應運用銷或其他物體在輪廓形狀的周邊實施固定，並提供所需藥量長度所需具備藥量(針對各種尺寸線性炸藥所需之藥量參照表 8-6)。

備註：依炸藥對預訂破壞物體間之距離，應考量作為輪廓之材質(厚度約 1/8)。

NOTE: The information, in Table 8-5, is based on US manufactured materials. Building materials of other countries may be of inferior quality; however, some European companies have standards that surpass that of the US.

備註：表 8-5 所提供之資訊為依據美國所製造之材料所訂定，運用其他國家的材料所建造之相關爆藥可能低於表列品質，雖然部分歐洲公司具備超過美國標準之品質。

Type of Obstacle	Detonation Cord Needed	FLSC Needed
Hollow-core door	1 wrap	75 grain/foot
Particle-filled door (1 inch)	2 wraps	75 grain/foot
Solid wood door (2 inches)	3 wraps	75 grain/foot
High-quality solid door	4 wraps	225 grain/foot
1/4-inch plywood	1 wrap	75 grain foot
1/2-inch plywood	2 wraps	75 grain/foot
3/4-inch plywood	3 wraps	75 grain/foot
Light metal door	NA	225 grain/foot
Medium steel door	NA	300 grain/foot
Heavy steel door	NA	300 grain/foot

Table 8-5. Silhouette charge explosive loads

障礙種類	導爆索纏繞圈數	所需彈性線型爆藥藥量
空心門	1 圈	75 公克/每英尺
門(部分填塞)	2 圈	75 公克/每英尺
2 英寸厚之實木門	3 圈	75 公克/每英尺
高品質實木門	4 圈	225 公克/每英尺
1/4 英尺膠合木板	1 圈	75 公克/每英尺
1/2 英尺膠合木板	2 圈	75 公克/每英尺
3/4 英尺膠合木板	3 圈	75 公克/每英尺
輕型金屬門	不適用	225 公克/每英尺
中型鋼質門	不適用	300 公克/每英尺
厚重鋼質門	不適用	300 公克/每英尺

表 8-5. 輪廓爆藥裝藥量

Standoff Required for FLSC	Standoff
75 grain	0 - 1/16 inch
225 grain	1/8 inch
300 grain	1/8 inch - 3/16 inch
NOTE: FLSC that is 300 grains or higher cannot be molded.	

Table 8-6. Standoff required for flexible linear-shaped charges

所需彈性線型爆藥	目標與爆藥距離
75 公克	0-1/16 英吋
225 公克	1/8 英吋
300 公克	0-1/16 英吋
備註：彈性線型爆藥大於 300 公克時無法時塑型	

表 8-6. 爆炸目標距離與所需使用彈性線型爆藥藥量表

c. Place three or four strips of heavy-duty, double-sided contact tape on the front of the silhouette from top to bottom. Construct a sturdy pocket for a brace stick in the appropriate position on the back of the silhouette.

c. 將輪廓面從上至下放置 3 至 4 條強力雙面膠帶，並在輪廓厚放的適當位置建構一個堅固的放置支撐棒之口袋。

d. Pull the covering off the double-sided tape and place the charge against the wall at knee height, bracing it if necessary. Prime the charge, take cover, and detonate.

d. 將雙面膠撕開並於靠近牆面側在膝蓋高度部分填入爆藥，如果有需要時在另外運用物體實施支撐，確認作業人員均具備足夠掩蔽時，即可實施爆破。

8-11. DOOR-BREACHING CHARGES

Several different field-expedient charges can be used to breach interior or exterior doors and chain link fence. Among these are the general-purpose charge, the rubber band charge, flexible linear charge, doorknob charge, rubber strip charge, and the chain link charge. All can be made ahead of time and are simple, compact, lightweight, and easy to emplace.

8.11 破壞門所使用之爆藥

許多不同種類的野戰急造爆藥可運用於破壞室內、外門及以鐵絲網圍籬，然而在這些通用性的爆藥中，橡膠環爆藥、彈性線型爆藥、門把爆藥、橡膠條爆藥及串聯爆藥，上述爆藥均可提前製造，並簡單、有效、輕量及易於設置。

CAUTION 警告

Any time explosive charges are used to breach doors, the knobs, locks and hinges made of steel and metal can become lethal projectiles.

任何時刻在運用爆藥針對鋼或金屬製成之門、門把、門鎖及門的活頁片進行破壞時，將造成致命的破片飛散。

a. General-Purpose Charge.

The general-purpose charge is the most useful preassembled charge for breaching a door or other barrier. As its name implies, it is useful not only for door breaching, but it can also cut mild steel chain and destroy captured enemy equipment.

a. 通用爆藥

對於門及其他障礙物之排除而言，通用爆藥為最有用的預製爆藥，從其通用名稱可知，此類爆藥不僅可用於破壞門，且可用於切斷鐵鍊並對捕獲之敵軍裝備實施破壞。

(1) Start building the general-purpose charge with a length of detonation cord about 2 feet long. Using another length of detonation cord, tie two uli knots (Figure 8-23) around the 2-foot long cord. The uli knots must have a minimum of six wraps and be loose enough for them to slide along the main line, referred to as a uli slider. Trim excess cord from the uli knots and secure them with tape, if necessary.

(1) 製作通用爆藥時首先運用 2 英尺的導爆索，另運用其他長度的導爆索在兩英尺的導爆索上環繞並打兩個單結(如圖 8-23)，單結最少必須纏繞 6 圈並保持足夠的鬆度以在主索上滑動。



Uli knots should be dressed and both knots should slide easily up and down the length of the cord.

單結應完成包覆且兩個單結均能在繩索中上下滑動

Figure 8-23. Sliding uli knots.

圖 8-23. 滑動之單結示意

(2) Cut a block of C4 explosive to a 2-inch square. Tape one slider knot to each side of the C4 block, leaving the length of detonation cord free to slide through the knots

(2)將 C4 爆藥切成 2 英尺見方，將 C4 爆藥塊各一側均以一個滑動繩結黏合，將導爆索留下可滑動至各單結之長度(詳圖 8-24)。

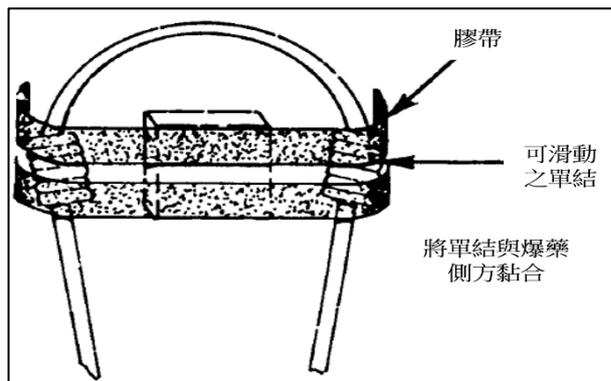
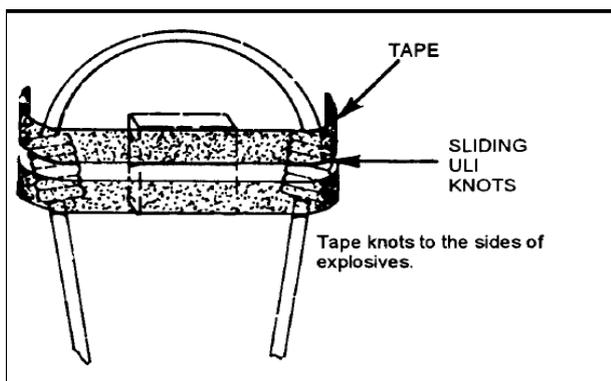


Figure 8-24. Completed general-purpose charge.

圖 8-24. 通用爆藥製作完成示意

(3) To breach a standard door, place the top loop of the charge over the door knob. Slide the uli knots taped to the C4 so that the charge is tight against the knob. Prime the loose ends of the detonation cord with a MDI firing system and detonate (Figure 8-25). To cut mild steel chain, place the loop completely around the chain link to form a girth hitch. Tighten the loop against the link by sliding the uli knots.

(3)針對標準尺寸門進行破壞時，將爆藥置於門把上環，將單結滑動調整至與門把緊密結合的位置並與 C4 爆藥以膠帶黏緊，將游端與導爆索接續並運用現代化起爆裝置實施點火(如圖 8-25)，若要切除鐵鍊，將導爆索完全環繞於鐵鍊周圍並形成繫帶結，並調緊滑動之單結使導爆索環與鐵鍊緊密連結。

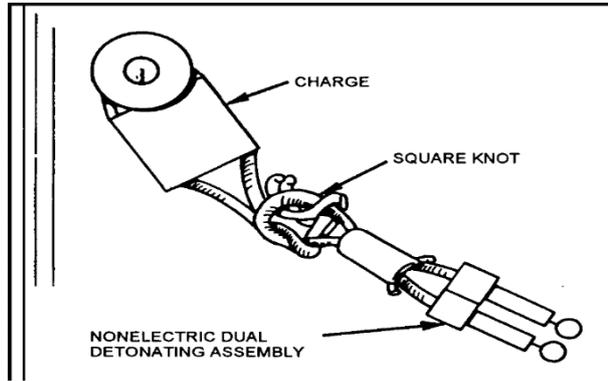


Figure 8-25. Charge placement against doorknob.

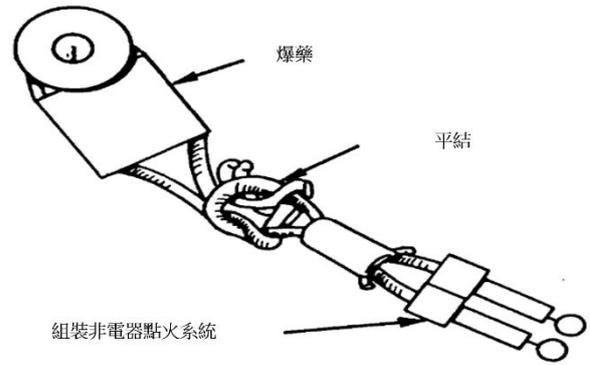


圖 8-25.門把爆藥設置示意圖

b. Rubber Band Charge.

The rubber band charge is another easily fabricated lightweight device that can be used to remove the locking mechanism or doorknob from wooden or light metal doors, or to break a standard-size padlock at the shackle.

b. 橡膠環爆藥

橡膠環爆藥為另外一種簡易預製之輕型爆破裝置，可用於移除木質或輕薄金屬所製成之機械鎖定裝置或門把。

(1) Cut a 10-inch piece of detonation cord and tie an overhand knot in one end. Using another piece of detonation cord, tie a uli knot with at least eight wraps around the first length of cord. Slide the uli knot tightly up against the overhand knot. Secure it in place with either tape or string. Loop a strong rubber band around the base of the uli knot tied around the detonation cord. Tie an overhand knot in the other end of the cord to form a pigtail for priming the charge.

(1)切一段 10 英吋長的導爆索並在一端綁上一個反手結，運用另一段導爆索在第一段導爆索上打一個滑動之單結至少

纏繞 8 圈，並將單結滑動至與反手結緊定之位置，完成後可用膠帶或細繩實施緊定，在這個以纏繞導爆索的單結基礎上環繞一個強力的橡膠圈，於第一段導爆索的另一側打一個反手環並形成一個豬尾結以接續爆藥。

(2) Attach the charge to the doorknob (or locking mechanism) by putting the loose end of the rubber band around the knob. The charge should be placed between the knob and the doorframe. This places the explosive over the bolt that secures the door to the frame.

(2)將游端環繞門把以使爆藥覆著至門把(或機械鎖定裝置)，爆藥放置之位置需置於門框至門把間，確保自門到門框之所有螺栓均完成爆藥設置。

c. Flexible Linear Charge.

One of the simplest field-expedient charges for breaching wooden doors is the flexible linear charge. It can be made in almost any length, and it can be rolled up and carried until needed. It is effective against hollow-core, particle-filled, and solid wood doors. When detonated, the flexible linear charge cuts through the door near the hinges (Figure 8-26).

c. 線性彈性爆藥

線性彈性爆藥為在野戰中針對木門破壞，最易於製作的應急爆藥之一，可製作成需要任何的長度，並可於製作後依需求捲起攜行，此類爆藥可有效針對中空、部分填塞及實木門進行破壞，當爆破時，線性彈性爆藥主要在於針對門上接近鉸鏈部分實施破壞。

(1) Lay out a length of double-sided contact tape with the topside adhesive exposed. Place the necessary number of strands of detonation cord down the center of the double sided tape, pressing them firmly in place. Military

detonation cord has 50 grains of explosives per foot and there are 7,000 grains in a pound. Most residential doors are 80 inches tall and commercial doors are 84 inches tall. This must be considered when calculating the quantities of explosives, overpressure and MSDs. For hollow-core doors, use a single strand. For particle-filled doors, use two strands, and for solid wood doors use three. If the type doors encountered are unknown, use three strands. One of the strands must be cut about a foot longer than the others and should extend past the end of the double-sided tape. This forms a pigtail where the initiating system is attached once the charge is in place.

(1)將雙面膠依需要長度黏在門上，並露出上方黏著面，在黏著面依需求黏上所需導爆索數量，並以按壓方式確保其確實固定，軍用導爆索每英尺中含有 50 哩之爆藥，一磅為 7000 哩。大部分民宅的門高 80 英吋，另商業場所門高 84 英吋，當計算爆破能量時，必須考量過大之爆壓及最小安全距離。對於中空門，運用一條爆藥條實施破壞，對部分填塞門，運用兩條爆藥條實施破壞，對於實木門，運用三條爆藥條實施破壞，當碰到形勢未知之門，則運用三條爆藥條實施破壞，針對運用超過三條以上爆藥實施破壞時，其中一條導爆索一定要比其他兩條長度超過一英尺，並在超過雙面膠的兩邊端點形成一個豬尾結，此處為當爆藥設置完成後，用於連結起爆系統之位置。

(2) Cover the strands of detonation cord and all the exposed portions of the double-sided tape with either sturdy single-sided tape or another length of double-sided tape. Roll the charge, starting at the pigtail, with the double-sided tape surface that is to be placed against the door on the inside.

(2)以強力膠帶或另外一段雙面膠將導爆索條及露出膠著面之雙面膠完成包覆，自爆藥豬尾結處。將在包覆在雙面膠裡面的爆藥自豬尾結處捲並沿雙面膠表面將爆藥捲起。

(3) At the breach site, place the charge straight up and down against the door tightly. If the charge is too long, angle it to best fit the door or use the excess to defeat the possibility of a door return at the top of the door. Sometimes but not always visible from the outside by exposed bolts. If it is too short, place it so it covers at least half of the door's height. Prime and fire the charge from the bottom.

(3)於障礙排除地點，將爆藥與門直上直下的緊密放置，如果爆藥太長，將多餘處彎折為適於門的形狀或將過量的爆藥破壞在可能的狀況下灣折返回門的頂部，有時從門的外部可看見外露的螺栓，當爆藥太短時，於設置爆藥時，至少要让爆藥涵蓋門一半以上的高度，並自爆藥的底部實施接續與起爆。

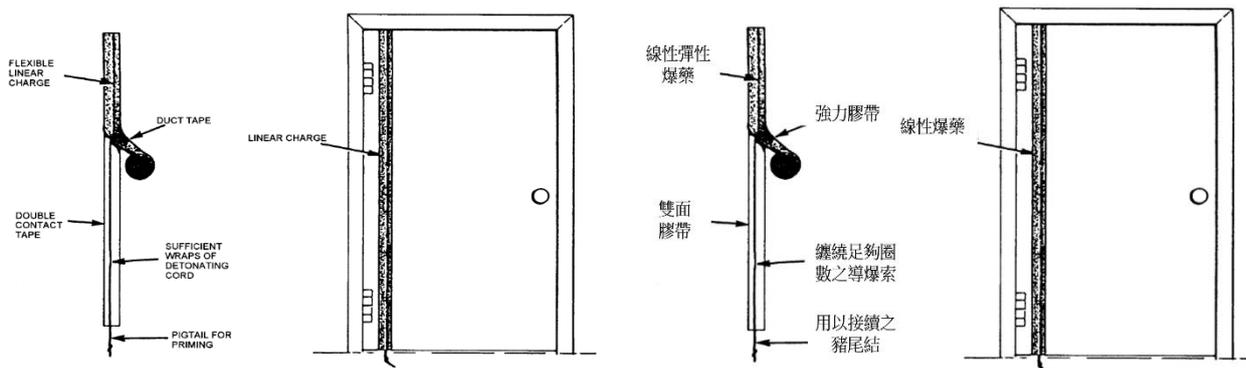


Figure 8-26. Placement of the flexible linear charge.

圖 8-26. 線性彈性爆藥設置示意

d. Doorknob Charge.

A doorknob charge is easy to make and highly effective against wooden or light metal doors. Charges for use against wooden doors can be made with detonation cord. If the charge is to breach a light metal door, either detonation cord (three lengths) or 225 grain/foot flexible linear shaped charge (FLSC) should be used.

d.門把爆藥

門把爆藥為一種易於製作且用於破壞木質或輕型金屬門時具有高度效果，用於破壞木質門時，可用導爆索製作門把

爆藥，然針對輕質金屬門可用三倍長度之導爆索，或是運用常用之每呎含 225 哩爆藥的線性彈性爆藥。

(1) Cut the appropriate amount of detonation cord for the charge. Use a 30-inch length for a hollow-core door. For a particle-filled door, use one 30-inch length and one 18-inch length. For a solid-core wooden door or a light metal door, use one 30-inch length and two 18-inch lengths.

(1) 切取適當長度之導爆索，針對中空門需 30 英吋導爆索，對部分填滿門需分別運用 30 英吋及一根 18 英吋導爆索，針對實木門或輕型金屬則需分別運用 30 英吋及 2 根需 18 英吋導爆索。

(2) Cut the charge holder from a piece of stiff cardboard.

(2) 切除一塊厚紙板作為爆藥托板。

(3) Place double-sided tape on the face of the charge holder in the shape of a large “C”. Place the detonation cord on top of the double-sided tape, also in the shape of a large “C” along the edge of the charge holder. Leave a 12-inch pigtail for priming (Figure 8-27).

(3) 於爆藥托板以 C 型方式黏上雙面膠，並沿爆藥托板邊緣黏上雙面膠，並依雙面膠黏上 C 型之導爆索，另外預留 12 英吋之導爆索並以豬尾結作為接續(如圖 8-27)。

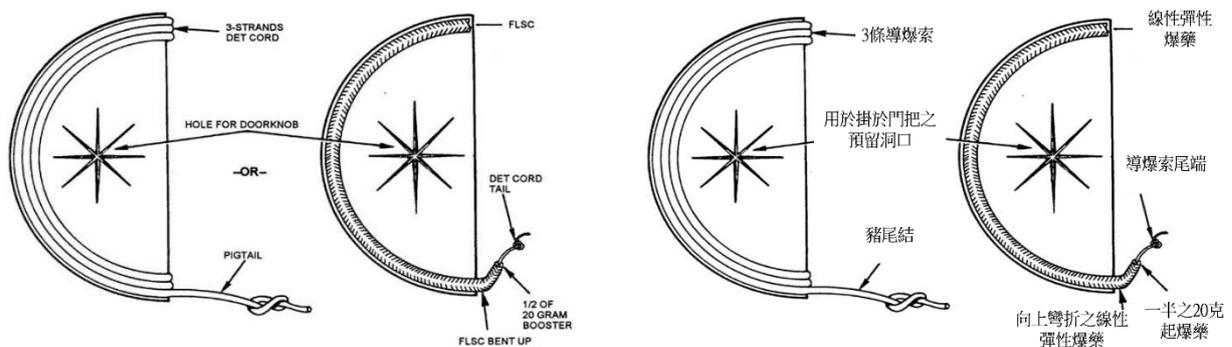


Figure 8-27. Doorknob charge.

圖 8-27 門把破壞爆藥

(4) If using FLSC, cut a length 21 inches long. Tape the FLSC to the outside of the charge holder, leaving a 3-inch tail for priming. Bend the tail upward. Tie a Sliding Uli knot to a 12-inch length of detonation cord and tie an overhand knot on each end of the knot. Tape the slider and detonation cord combination to the tail end of the FLSC and on the inside of the “V” shape to insure detonation.

(4)當運用線性彈性爆藥時，需切取 21 英吋長之導爆索，並在爆藥托板外緣黏上爆藥，將導爆索尾部向上彎曲，將可滑動之單結與 12 英吋長的導爆索接續，並在結的兩底端均綁上一個反手結，將滑動繩結與導爆索與線性彈性爆藥之尾部黏在一起，並以將爆藥向內彎曲成 V 型，以確保爆破效果。

(5) Hang the charge on the doorknob or locking mechanism. Secure the FLSC charge in place with the double-sided tape, and the “Det cord” charge with “100 mph” tape. The detonation cord must be held firmly against the door’s surface.

(5)將爆藥吊於門把或機械鎖定裝置上，確保線性彈性爆藥與雙面膠確實黏著，另確認以強力膠帶將導爆索黏著，放置時必須確保導爆索確實靠在門的表面。

e. Rubber Strip Charge.

The rubber strip charge (Figures 8-28 and 8-29) can be used to open a solid wood door with multiple locking devices or a metal door. It defeats the locking mechanism and dislodges the door from the frame. It can also be used to defeat windows with a physical security system. Place the charge on the target between locking devices and doorjamb. Ensure that the rubber strip covers the area where the locking bolts are located. For a metal door with standard locking devices, place the charge in the center of the door, parallel with the locking mechanism. When

detonated it will buckle and or bend the door, pulling the locking mechanisms from their catches.

e. 橡膠條爆藥

橡膠條爆藥(如圖 8-28 及 8-29)可用於破壞由多重鎖定裝置實木門或金屬門，此類爆藥可破壞門鎖，並可將門自門框移動出來，亦可用於破壞運用固體安全系統實施固定之窗戶，將爆藥置於鎖定裝置至門框間。確保橡膠條包覆所有有螺栓的地方，對具有標準鎖制裝置的金屬門，將爆藥置於們的中央位置並與鎖制機構平行，當實施爆破時，爆藥將會使門挫曲或彎曲，使其鎖制機構自固定端拉出。

WARNING

Net explosive weight should not exceed 8 ounces for a complete charge.

警告

針對各單處使用之爆藥重量不應超過 8 盎司

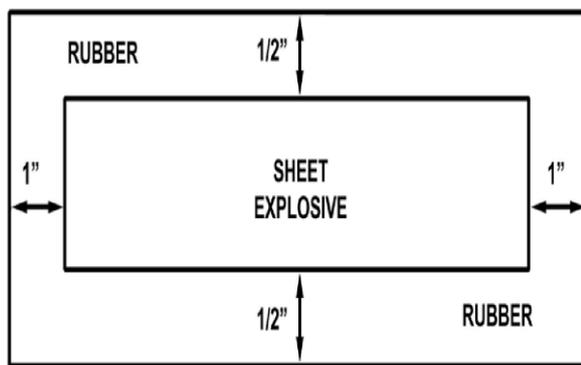


Figure 8-28. Rubber strip charge (top view).

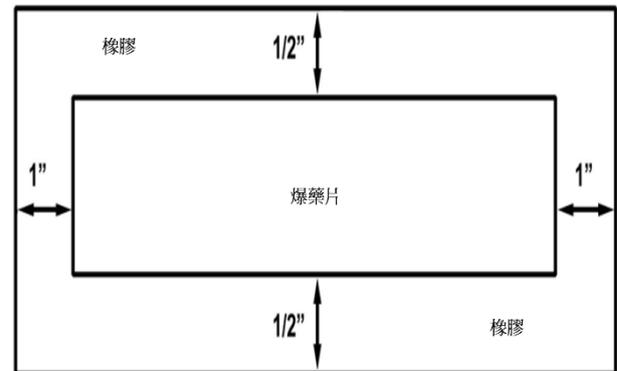


圖 8-28. 橡膠條爆藥(俯視圖)

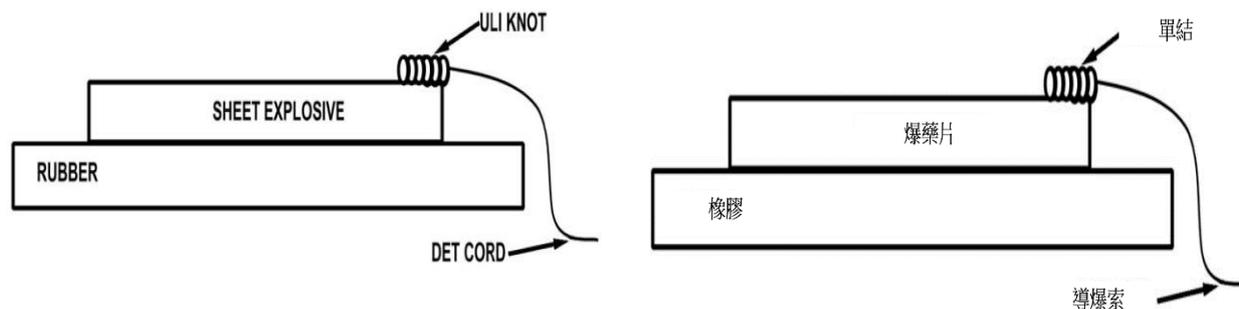


Figure 8-29. Rubber strip charge (side view).

圖 8-29. 橡膠條爆藥(側視圖)

WARNING

Friendly troops must be clear of the area 90 degrees from the target. The doorknob will be blown away from the door with considerable force

警告

爆炸時，門把將會被相當的力量拋出，故友軍部隊必須於爆破前，於爆破目標 90 度以內之範圍撤離

f. Chain-Link Ladder Charge.

The chain-link ladder charge (Figure 8-30) is designed to create a man-sized hole in a chain-link fence. The charges run lengthwise along the detonation cord on sliding uli knots. Once in the desired location, secure in place with tape. Determine where charge is to be emplaced on the fence. To ensure that the full impact is received by the fence, place the charge next to a fence post so that the fence will not “give.” Secure the top of the charge to the breach location on the fence. Simply hang the large hook into a link of the fence. Secure the charge at the bottom of the fence using surgical tubing and a small hook.

f. 鏈結梯型爆藥

橡膠條爆藥(如圖 8-30)為設計用於鐵絲網圍籬破壞人型通道，爆藥設置時為將導藥以縱向之方向，沿著由可滑動單結所連結之導爆索進行敷設，並在預期的位置以膠帶實施固定，應在確保預破壞之圍籬能全部接收爆破的衝擊力之位置，決定

爆藥設定位置後，將爆藥置於圍籬旁邊之放置點，以至於圍籬將不會將爆藥彈出，簡單的將一個大勾吊在圍籬上，並以一個小勾及橡皮拉力器勾住圍籬下方，以固定爆藥。

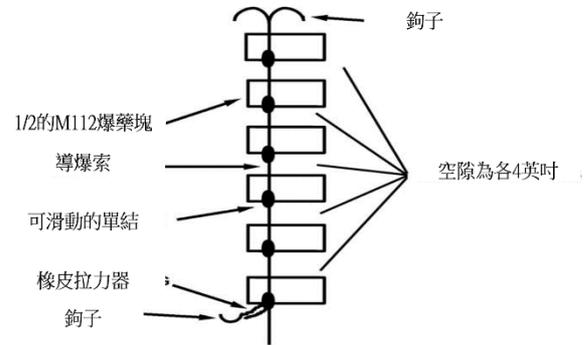
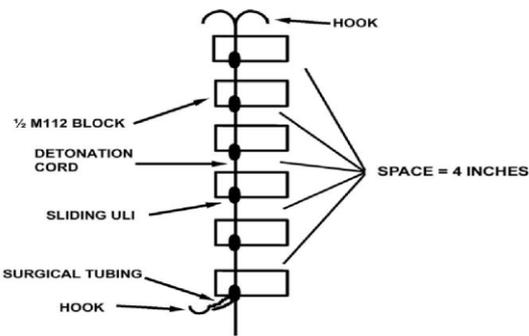


Figure 8-30. Chain-link ladder charge.

圖 8-30. 鏈結梯型爆藥。

NOTES:

1. Use six-wrap uli knots constructed of detonation cord.
2. Only slight pressure is required to secure the charge; too much tension may cause the fence to buckle and result in poor cutting of the fence.

備註：

1. 導爆索須以纏繞六圈的單結與導爆索實施接著。
2. 固定爆藥時，僅需輕微按壓，太大的張力可能會造成圍籬挫曲並造成圍籬不良之切口。

NOTE: Table 8-7 provides a summary of the different charges discussed in this chapter.

備註：表 8-7 提供本章所探討不同種類爆藥的概述

CHARGE	OBSTACLE	EXPLOSIVES NEEDED	ADVANTAGES	DISADVANTAGES
Wall Breach Charge (Satchel Charge or U-Shaped Charge)	Breaches through wood, masonry, or brick, and reinf concrete walls	- Detonation cord - C4 or TNT	- Easy and quick to make - Quick to place on target	- Does not destroy rebar - High overpressure - Appropriate attachment methods needed - Fragmentation
Silhouette Charge	Wooden doors; creates man-sized hole. Selected walls (plywood, Sheet-rock, CMU)	- Detonation cord	- Minimal shrapnel - Easy to make - Makes entry hole to exact specifications	- Bulky; not easily carried
General Purpose Charge	Door knobs, mild steel chain, locks, or equipment	- C4 - Detonation cord	- Small, lightweight - Easy to make - Very versatile	- Other locking mechanisms may make charge ineffective
Rubber Strip Charge	Wood or metal doors; dislodges doors from the frame, windows with a physical security system	- Sheet Explosive - Detonation cord	- Small, easy to carry - Uses small amount of explosives - Quick to place on target	
Flexible Linear Charge	Wooden doors; widows cuts door along the length off the charge.	Detonation cord	- Small, lightweight - Quick to place on target - Several can be carried by one man - Will defeat most doors regardless of locking systems	- Proper two-sided adhesive required
Doorknob Charge	Doorknobs on wood or light metal doors	Detonation cord or flexible linear shaped charge	- Small, lightweight - Easily transported - Quick to place on door	- Other locking mechanisms may make charge ineffective
Chain-link Ladder Charge	Rapidly creates a hole in chain-link fence large enough to run through	- C4 - Detonation Cord	- Cuts chain link quickly and efficiently	- Man must stand to emplace it

NOTE: All doorknobs and prop-sticks will become secondary missiles; any charge placed on metal may create shrapnel.

Table 8-7. Summary of breaching charges.

爆藥種類	障礙類型	所需炸藥	好處	壞處
破牆爆藥 書包爆藥 U型爆藥	木、石、磚造及鋼筋 混凝土牆	導爆索 C4 或 TNT	1.製造快速方便 2/設置快速	1.無法破壞鋼筋 2.高爆壓 3.需要以合適方式 放置 4.有破片
輪廓爆藥	1.於木門製造人型 缺口 2.特製牆(膠合木、 石板及混凝土磚 牆體)	導爆索	1.碎片小 2.易於製作 3.依確切的尺寸開 設缺口	易挫曲不易攜型
一般用途 爆藥	門把、鐵鍊、門鎖及 裝備	導爆索 或 C4	1.體積小、輕量 2.易於製作 3.用途廣泛	對於部分鎖定機構 可能無法破壞
橡膠條 爆藥	1.木質或金屬門 2.與框架產生位移 的門 3.由其他實體物品 固定的窗戶	導爆索 或炸藥片	1.體積小、易於攜型 2.爆藥用量小 3.設置快速	
彈性 線性爆藥	木質門、沿爆藥長度 方向在門上形成缺 口	導爆索	1.體積小、輕量 2.設置快速 3.多種可由單人攜 行之型式 4.不論以何種鎖定 機構固定之門，大 多可完成破壞	需要適用的雙面黏 着劑
門把爆藥	裝置於木質或輕金 屬門之門把	導爆索 或彈性線 性爆藥	1.體積小、輕量 2.易於攜行 3.快速設置於門上	其他種類的鎖定機 構可能會使此種爆 破失效
鏈結 梯形爆藥	可於鐵絲網圍籬快 速開闢足以穿越之 洞口	導爆索 或 C4	對切除鐵鍊快速且 有效	人員必須以站姿實 施設置

備註:所有的門把之支撐物體於爆破時可能都會變成次級武器，任何對金屬物體進行爆破的行為都會形成金屬破片

表 8-7. 各類破障爆藥概述

康莊紀念碑

工兵前輩

為民改善鄉道路基

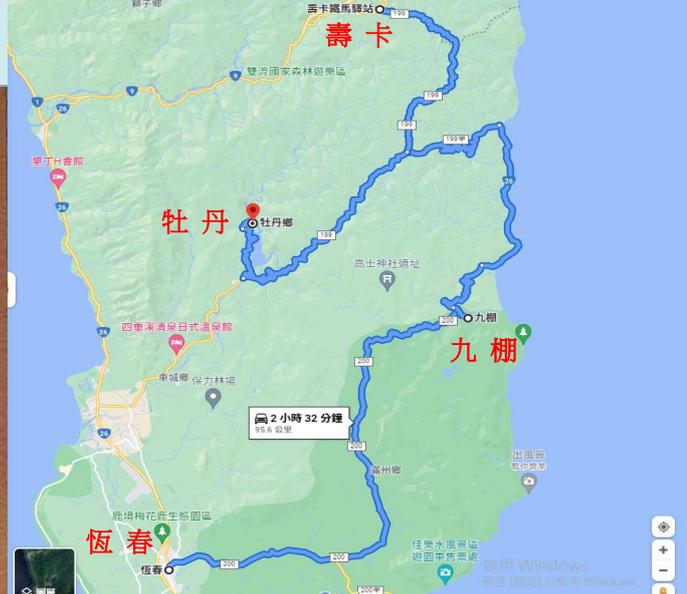
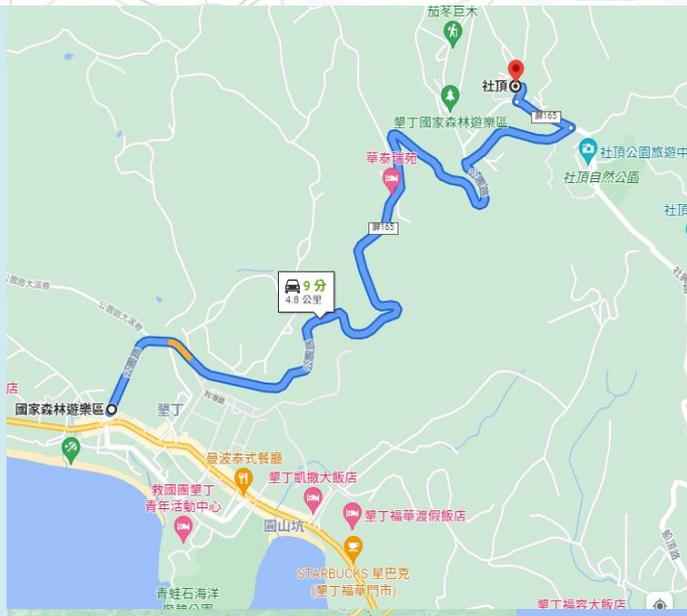
地理位置

紀念碑位於屏東縣恆春鎮墾丁國家森林遊樂區售票口右側之望海花廊盡頭，此紀念碑立於西元1958年(民國47年)，較早於西元1968(民國57)成立之墾丁國家森林遊樂區，而碑文因長年風蝕關係，已無法辨識文字內容。

本專欄因相關史料有限，經現地考察、查詢國家圖書館數位文獻及網路資訊部分還原立碑緣由和歷史意義。

修築路段

從墾丁森林公園牌樓通往社頂部落之聯外交通路段，當時路面為珊瑚礁土路，政府來台後投入國家建設，由國軍陸軍營長童德源帶領工兵部隊，將此路段實施修整，使當地居民能有安全之行使道路；同年持續修築恆春-九棚、恆春-壽卡、恆春-牡丹之三段公路，對往後臺灣公路建設、經濟發展及軍事需求上貢獻良多，因此因此當時臺灣省公路局在此立碑紀念修築事蹟。



歐亞旅運社

Eurasia Travel Service
臺北市寶慶路五號 電話七六八一
5 PAO KING ROAD, TAIPEI
CALLER "RELAY" TEL. 7681

**為君解決一切旅行
運輸上之困難問題**

歐亞求迅速：
用歐亞旅遊社代辦香港航空公司、西北航空公司、非洲航空公司、以航線之客票、貨運、並具備各種大航空及可辦海運之票價、時刻表。

歐亞求經濟：
用歐亞旅遊社代辦和洋行等各大船公司客票、貨運、並辦理世界各埠。

歐亞求功專：
用歐亞旅遊社代辦郵政及郵行等各大船公司客票、貨運、並辦理世界各埠。

歐亞求服務：
用歐亞旅遊社代辦郵政及郵行等各大船公司客票、貨運、並辦理世界各埠。

歐亞求代辦：
用歐亞旅遊社代辦郵政及郵行等各大船公司客票、貨運、並辦理世界各埠。

臺灣的公路

譚嶽泉

臺灣公路之發展，始於日據時期。日人於一九〇九年，在基隆至台北間，開闢了第一條公路。此後，日人陸續在臺灣各地開闢公路，至一九四五年光復前，全臺公路總長已達九千九百七十七公里。

光復後，國民政府接收臺灣，公路建設亦隨之展開。一九四六年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九四七年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九四八年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

一九四九年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九五〇年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九五一年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

一九五二年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九五三年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九五四年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

一九五五年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九五六年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九五七年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

一九五八年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九五九年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九六〇年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

一九六一年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九六二年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九六三年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

一九六四年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九六五年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九六六年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

一九六七年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九六八年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九六九年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

一九七〇年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九七一年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九七二年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

一九七三年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九七四年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九七五年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

一九七六年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九七七年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九七八年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

一九七九年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九八〇年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九八一年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

一九八二年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九八三年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九八四年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

一九八五年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九八六年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九八七年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

一九八八年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九八九年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九九〇年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

一九九一年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九九二年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九九三年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

一九九四年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九九五年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九九六年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

一九九七年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。一九九八年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。一九九九年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

二〇〇〇年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。二〇〇一年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。二〇〇二年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

二〇〇三年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。二〇〇四年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。二〇〇五年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

二〇〇六年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。二〇〇七年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。二〇〇八年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

二〇〇九年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。二〇一〇年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。二〇一一年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

二〇一二年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。二〇一三年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。二〇一四年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

二〇一五年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。二〇一六年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。二〇一七年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

二〇一八年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。二〇一九年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。二〇二〇年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

二〇二一年，交通部成立公路局，統籌全臺公路建設。二〇二二年，交通部頒布《公路法》，確立了公路建設的方針。二〇二三年，交通部成立公路工程處，負責公路工程之設計與施工。

請利用：長途電話

**簡便——隨時可以叫發
迅速——遇事立可解決
清晰——兩地如晤一堂**

交通部高雄電信局

(辛) 航 空 國

航空事業之發展，始於一九〇三年。一九〇三年，萊特兄弟在美國開闢了第一條航空線。此後，航空事業在全世界迅速發展。一九一九年，法國開闢了巴黎至馬尼拉之航空線。一九二〇年，日本開闢了東京至神戶之航空線。一九二一年，美國開闢了紐約至芝加哥之航空線。一九二二年，英國開闢了倫敦至巴黎之航空線。一九二三年，日本開闢了東京至北京之航空線。一九二四年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九二五年，英國開闢了倫敦至開羅之航空線。一九二六年，日本開闢了東京至橫濱之航空線。一九二七年，美國開闢了紐約至華盛頓之航空線。一九二八年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九二九年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九三〇年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九三一年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九三二年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九三三年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九三四年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九三五年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九三六年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九三七年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九三八年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九三九年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九四〇年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九四一年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九四二年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九四三年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九四四年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九四五年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九四六年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九四七年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九四八年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九四九年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九五〇年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九五一年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九五二年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九五三年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九五四年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九五五年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九五六年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九五七年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九五八年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九五九年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九六〇年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九六一年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九六二年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九六三年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九六四年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九六五年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九六六年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九六七年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九六八年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九六九年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九七〇年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九七一年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九七二年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九七三年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九七四年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九七五年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九七六年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九七七年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九七八年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九七九年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九八〇年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九八一年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九八二年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九八三年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九八四年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九八五年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九八六年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九八七年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九八八年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九八九年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九九〇年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九九一年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九九二年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九九三年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九九四年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九九五年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九九六年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。一九九七年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。一九九八年，日本開闢了東京至大阪之航空線。一九九九年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。二〇〇〇年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。二〇〇一年，日本開闢了東京至大阪之航空線。二〇〇二年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。二〇〇三年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。二〇〇四年，日本開闢了東京至大阪之航空線。二〇〇五年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。二〇〇六年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。二〇〇七年，日本開闢了東京至大阪之航空線。二〇〇八年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。二〇〇九年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。二〇一〇年，日本開闢了東京至大阪之航空線。二〇一一年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。二〇一二年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。二〇一三年，日本開闢了東京至大阪之航空線。二〇一四年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。二〇一五年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。二〇一六年，日本開闢了東京至大阪之航空線。二〇一七年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。二〇一八年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。二〇一九年，日本開闢了東京至大阪之航空線。二〇二〇年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。二〇二一年，英國開闢了倫敦至里斯本之航空線。二〇二二年，日本開闢了東京至大阪之航空線。二〇二三年，美國開闢了紐約至聖路易之航空線。



資料來源：
 3. 內文：臺灣新生報社，〈新生的臺灣〉，國家圖書館臺灣記憶系統，
<https://xtm.ncl.edu.tw/>，檢索日期：西元 2021 年 10 月 4 日。
 4. 照片：陸軍工兵訓練中心作發室王嘉聖上士拍攝。



陸軍工兵半年刊
第 159 期



ISSN:2225-5400 建議售價:非賣品
GPN:48097-0442
陸軍工兵訓練中心發行