

2022年俄烏城鎮戰戰場經營 之研究—兼論我國地下掩體衰減層 抗爆分析與應用

作者／曾世傑、楊國鑫、蔡營寬、溫茂亨

提要

- 一、2022年俄烏戰爭初期，俄軍兵力、火力雖暫居優勢，然烏軍部隊仍能藉城鎮堅固建築設施部署兵力，有效保存其有生戰力，亦兼顧緩衝俄軍部隊攻勢，為烏軍爭取作戰所需時間。
- 二、本研究發現大部分文獻主要探究俄烏作戰經過以及國際奧援烏克蘭等方面問題，然未有相關文獻就烏克蘭城鎮地形、戰場經營以及地下掩體抗炸方面之勝負關鍵因素進行分析與研究。
- 三、本研究主要探討俄烏城鎮作戰中，烏軍戰場經營對於作戰雙方造成之影響，次就地下掩體抗炸效能評估案例進行分析，成功獲得一系列我國北部（衛戍）地區現地土層抗炸參數，最後探討衛戍部隊如何藉城鎮複雜地形遂行工事阻絕配置以及兵、火力部署運用，並對城鎮守勢戰術戰法提出芻議。

關鍵詞：俄烏城鎮戰、戰場經營、地下掩體、抗炸效能

壹、前言

俄羅斯總統普丁因不滿北約持續向東擴張，進而威脅其國土邊境安全，遂於2021年底以演習名義，向烏克蘭邊境集中兵力，並於2022年2月24日，分由北、東、南部邊境猝然發起攻勢，此一侵略行動遭聯合國親烏國家集體發聲制裁，亦引起西方各國開始透過多種手

段，給予烏軍作戰所需各項援助。¹迄4月初，烏克蘭北部戰場之俄軍因烏軍頑強抵抗，致使攻勢頓挫，且受限本身後勤持續力不足，而調整部隊至烏東、烏南戰場，²開戰初期，俄軍宣稱將以最快速度完成此次特別軍事行動，然至2023年3月底，戰爭已超過1年以上，卻未見稍緩趨勢。

深究此階段戰事發展，雙方在烏東、烏南

- 1 陳偉寬，〈俄烏戰爭對臺灣的警示與啟迪〉，《空軍軍官雙月刊》（高雄市），第224期，民國111年6月，頁55、57-58。
- 2 謝志淵，〈2022年俄烏戰爭源起、戰略與對我國之啟示〉，《國防雜誌》（桃園市），第37卷第3期，民國111年9月，頁6。

城鎮地區激戰且陷入膠著，俄軍兵力、火力雖暫居優勢，然烏軍仍藉城鎮堅固設施部署兵力，保存其有生戰力，緩衝俄軍攻勢，爭取作戰所需時間。以烏南戰場為例，俄軍雖於4月25日宣稱，馬力波亞速鋼鐵廠上層建築物已遭轟炸毀損，取得地區作戰主導權，但實際上，位於鋼鐵廠地下之烏軍仍維持有組織抵抗行動，而讓俄軍久攻不下主因為建物具抗炸防護力，有效抵禦來自地表上方炸彈貫穿及衰減爆炸產生之強大爆炸波。另地表下方有8層建築物，內部通道總長將近24公里，³平時即屯有大量戰略物資，此地下堅固設施亦成功保存烏軍有生戰力，雖然亞速鋼鐵廠最終仍遭俄軍攻佔，然也成功牽制俄軍主要兵力。

在歸納有關俄烏戰爭大部分文獻後，主要探究範疇均在雙方作戰經過、後勤、人員補給及國際奧援烏克蘭等方面，⁴然就烏克蘭城鎮地形、戰場經營及地下掩體抗炸之勝負關鍵，尚未有相關文獻實施有系統整理、研究與分析。經蒐整國內、外軍事掩體抗炸效能分析運用等文獻，亦有專家學者提出可迅速彌補戰場兵力配置罅隙、有效遲滯敵軍攻勢之相關阻絕設置建議，⁵然對縱深城鎮作戰中，有關既設地下軍事掩體、民用設施抗炸效能評估與運用及後續強化具體作法，未有相關方面研究。綜合上述，本次研究首先進行城鎮戰戰史回顧，探究守勢作戰具體作為，接續探討俄烏城鎮戰中，

烏軍戰場經營作為與作戰工事對於作戰雙方造成之影響，次就地下掩體抗炸效能評估案例分析，以獲得一系列我國北部衛戍地區現地土層抗炸參數，運用電腦數值方法進行不同現地土層抗爆效能分析，最後探討城鎮守勢戰術戰法、衛戍部隊如何藉城鎮複雜地形遂行工事阻絕配置及兵火力部署運用，據以提出對我防衛作戰衛戍地區守勢作為芻議。⁶

貳、城鎮作戰守勢作為

回顧城鎮作戰模式在古代冷兵器時，多以圍城方式逼迫守方棄武投降，後續隨著工業發展，加速兵器及火炮演進，並改變城鎮作戰模式。經蒐整統計第二次世界大戰迄今戰史例證，在全球各地共發生超過數百餘次局部地區作戰行動，其中有將近90%以上在城鎮地區及其周邊遂行。⁷可見城鎮作戰已成為20世紀以來全球最常見之戰爭型態。2022年俄羅斯以北大西洋公約組織（簡稱NATO）持續向東擴展勢力為由，主動出兵烏克蘭，國際上各國對俄羅斯出兵舉動深感不滿，紛紛運用經濟制裁手段抵制，間接影響其在俄烏戰爭遂行攻勢作戰持續力。⁸因此城鎮作戰中無論攻勢或守勢部隊，後勤持續力均須列入首要考量，尤以守勢部隊常陷於被動接戰，除後勤持續力外，更須於平時完備戰場經營與戰力保存作為。

孫子兵法《謀攻篇》提及：「…全軍為

- 3 〈亞速鋼鐵廠抗俄逾2個月地下8層結構、通道達24公里〉，《自由時報》（臺北市），2022年4月26日，〈<https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/3906271>〉（檢索日期：2022年12月1日）。
- 4 江忻杓，〈俄烏軍事衝突對臺灣的啟示〉，《臺灣新社會智庫全球資訊網》，2022年6月15日，〈<http://www.taiwansig.tw/index.php/政策報告/兩岸國際/8855-俄烏軍事衝突對臺灣的啟示>〉（檢索日期：2022年11月6日）。
- 5 陳威霖、周寬渝，〈共軍登陸作戰破障能力之研究〉，《陸軍學術雙月刊》（桃園市），第55卷第567期，民國108年10月，頁89。
- 6 曾世傑、楊國鑫、蔡營寬、林詳恩，〈後備部隊戰力防護之研究—以建構快速布放式抗爆震掩體為例〉，《後備動員軍事雜誌半年刊》（臺北市），第105期，民國111年6月，頁68-69。
- 7 賈易飛、廖帆，《俄羅斯城市作戰概覽》（北京：軍事科學出版社，2014年），頁1。
- 8 蔡銘軒，〈從俄烏戰爭探討城鎮阻絕—以基輔為例〉，《陸軍工兵半年刊》（高雄市），第161期，民國111年10月，頁30。

上，破軍次之…是故百戰百勝，非善之善也；不戰而屈人之兵，善之善者也。」⁹所提全軍為上觀點，強調發起任何作戰行動前，須先確保自身部隊安全。而英國軍事戰略家李德哈特在其論著《間接路線》中更提及：「……找尋敵人弱點，以出其不意攻其不備方式取勝……」等論述，¹⁰無論處於攻勢或守勢雙方，須持續找尋對方弱點並攻擊，才有獲勝機會，而守勢方因戰力發揮有限，須藉城鎮複雜地形抵禦當前攻勢，並掌握契機，給予敵人致命一擊。

從上述戰史與兵學論述觀點中，城鎮地區因人口密集、地形地勢複雜之特性，常是戰略要點所在，對守勢部隊而言，城鎮高聳建築物與相關固定設施，可作戰力保存，隱匿其有生力量，對攻勢部隊而言，能夠一次大量殲滅守軍有生戰力，城鎮地區勢必為優先攻佔目標。

一、城鎮戰定義及特性

觀察現今城鎮地區環境，建築物高聳堅固，除在高樓頂層外，餘區域視野受限，民用地下運輸設施利於大眾運輸，戰時亦可儲存大量軍需物資與緊急避難使用，街道雖縱橫交錯，然道路寬度受限，機甲部隊無法展開，民用水電、通信設施雖完善，但卻相當密集，一旦遭敵破壞，需甚長時間得以恢復。以上諸多城鎮特性，使作戰部隊規劃於城鎮作戰時，均須納入考量。依國軍軍語辭典，城鎮作戰定義為「在密集建築物地區內之街市作戰」。¹¹而

大型城市特有之複雜特性亦為守勢部隊最佳防禦地點，攻勢方須熟悉作戰環境，並節約兵火力，即便耗費大量資源，卻不見得能達成攻佔目的。¹²因此當攻勢方之機甲部隊進入城鎮地區作戰，除應先期針對城鎮各地形要點詳加調查及勘查外，對部隊任務編組、架構更需因應地勢重新調整。

二、城鎮作戰戰史例證-以第1次車臣戰爭（1994年11月29日至12月14日）為例

（一）衝突原因與經過概述

1991年蘇聯解體，轄屬行政區域獨立意識高漲，尤以車臣境內為最，時任俄羅斯總統葉爾欽擔憂車臣一旦獨立，將引起「骨牌效應」，加上車臣境內蘊含豐富原油資源，若讓車臣獨立將影響俄國經濟，¹³經全般考量，葉爾欽於1994年12月11日下令出兵，戰甲部隊越過邊境侵入車臣。經統計在近2年衝突中，造成俄軍死傷超過2萬餘人，而車臣民兵及平民死傷慘重超過10萬餘人，大量設施遭嚴重破壞，迄至1996年8月，車臣民兵重新奪回首都格羅茲尼，雙方簽署停火協定結束戰事。¹⁴

（二）作戰型態與工事運用探討

俄羅斯為確保主權完整性，初期以陸航搭載特戰兵力迅速奪佔機場，取得制空權後，以地面部隊包圍首都格羅茲尼，並控領其政經要地及關鍵設施，企圖壓迫車臣軍，¹⁵惟作戰過程中，俄軍雖佔兵力優勢，但車臣軍仍藉地境

9 徐瑜，《孫子兵法：不朽的戰爭藝術》（臺北市：時報文化出版企業股份有限公司，民國101年9月），頁77。

10 許歷農，〈何必做外國代理人〉，《中時新聞網》（臺北市），2020年9月30日，〈<https://www.chinatimes.com/opinion/20200930005860-262105?chdtv>〉（檢索日期：2023年3月4日）。

11 國防部，《國軍軍語辭典》（臺北：國防部，民國93年3月），頁6-6。

12 翁予恆，〈【軍事論壇】城鎮戰法發展快速 攻守創新〉，《青年日報》（臺北市），民國110年5月29日，〈<https://www.ydn.com.tw/news/newsInsidePage?chapterID=1373745>〉（檢索日期：2022年12月1日）。

13 林士毓，〈從『格羅茲尼』及『法魯加』戰役衍論我城鎮作戰的戰爭法問題〉，《國防雜誌》（臺北市），第24卷第1期，民國98年2月，頁73。

14 施欣好，〈【12月11日軍史上的今天】第一次車臣戰爭〉，《青年日報》（臺北市），民國107年12月11日，〈<https://www.ydn.com.tw/news/newsInsidePage?chapterID=1117025>〉（檢索日期：2022年12月1日）。

15 溫培基，「【戰史回顧】第一次車臣戰爭 俄軍輕敵慘敗」，青年日報（臺北市），民國109年6月21日，

內城鎮、山區地形及各類工事阻絕（運用效益如表1所示）等，以游擊戰突襲奪回首都，並迫使俄軍撤軍。¹⁶綜上所述，工事阻絕對守勢部隊而言，是城鎮作戰極為關鍵因素。車臣軍編組機動小隊，運用既有反裝甲火箭、狙擊手與

機槍手等能力，發揮建築物防禦與機動游擊優勢，使俄軍步兵與裝甲車無法發揮步戰協同戰力，¹⁷同時亦活用格羅茲尼城鎮特性，強化戰力保存及戰場經營，更突顯工事阻絕在城鎮戰場經營重要性。

表1 第一次車臣戰爭（1994年）工事運用效益

第一次車臣戰爭工事運用效益一覽表		
階段	構築項目	發揮效能
城鎮作戰	1. 廣設障礙、詭雷、挖掘戰壕及設置多種假設施欺敵。 2. 配合建築物高低樓層，進行防衛部署，另將城內化學工廠及石油工業作成阻絕設施，隨時引爆阻擋俄軍攻勢。	遲滯俄軍攻勢混淆攻擊目標及打擊士氣，作戰行動採游擊戰，配合城市地形，以RPO-A 雄風式火焰噴射器及RPG-7 武器攻擊無城鎮戰經驗戰爭砲手，並摧毀裝甲車及殲滅狙擊手、機槍手。
城郊戰鬥	設置多種假設施及預設阻絕障礙。	採狙擊手段及反裝甲伏擊戰鬥，集中火力擊斃、摧毀前頭車輛及射擊落單士兵。

資料來源：筆者彙整自簡呈庭，〈城鎮作戰環境中運用不對稱作戰之戰術戰法研究—以憲兵部隊為例〉等文獻。¹⁸

參、俄烏基輔地區作戰與戰場經營作為

烏克蘭地理位置位於東歐平原西端，東臨俄羅斯，西臨波蘭及斯洛伐克，西南與匈牙利、羅馬尼亞及摩爾多瓦接壤，南臨亞速海及重要戰略要地黑海，西北與白俄羅斯接壤，¹⁹且位於北約跟俄羅斯間緩衝區，²⁰2022年2月俄羅斯出兵進犯烏克蘭領土，主要係烏克蘭國際友好態度偏向北約，使俄羅斯將失去國際戰略緩

衝。²¹為使本研究聚焦探討城鎮作戰戰場經營相關議題，後續重點將以2022年2至4月期間，俄烏兩國於基輔週邊作戰經過，並探討烏克蘭在遭受俄羅斯猝然突襲之戰場經營與先期備戰作為。

一、城鎮戰略要點分析

俄烏基輔地區會戰將近40天（自111年2月24日迄4月2日），作戰範圍北至切爾尼哥夫地區、南迄基輔地區為界（如圖1所示），要點分析如後。

〈<https://www.ydn.com.tw/news/newsInsidePage?chapterID=1235213>〉（檢索日期：2022年12月1日）。

16 張立德，《不對稱作戰原則研究：案例與臺海運用》（新北市，淡江大學國際事務與戰略研究所博士論文，2022年），頁101。

17 同註12。

18 彙整自簡呈庭，〈城鎮作戰環境中運用不對稱作戰之戰術戰法研究—以憲兵部隊為例〉，《憲兵半年刊》（臺北市），第90期，民國109年6月，頁4-7；同註13，頁73-74。

19 同註1，頁53-54。

20 同註4。

21 同註8，頁32。

(一)切爾尼哥夫地區

位於烏克蘭北部城市，為北部戰區重要戰略位置，距白俄羅斯邊境僅約50~60公里，²²與基輔聯繫道路為E95高速公路，一旦遭俄軍控領即可長驅直入基輔要地。對基輔地區守軍而言，守住切爾尼哥夫有助於爭取備戰時間。²³

(二)布羅瓦利地區

位於基輔東部，僅距首都基輔12公里，²⁴為E95高速公路及其他交通要道匯集點，一旦遭俄軍控領，將有利後續聯合西北戰線圍攻基輔。對基輔地區守軍而言，守住布羅瓦利有助於爭取備戰時間，且能避免基輔地區遭俄其他戰線聯軍圍攻。²⁵

(三)伊爾平地區

位於基輔西北部城市，距基輔僅10公里，²⁶通往基輔交通道路為E373高速公路，一旦遭俄軍控領，將有利後續聯合東北戰線軍隊圍攻基輔。對基輔地區守軍而言，守住伊爾平有助於爭取備戰時間及戰略持久企圖。²⁷

(四)博羅江卡地區

位於茲德尼日河畔，距基輔約55公里，

²⁸為E373與T109高速公路交會處，屬一重要公路要點，一旦遭俄軍控領，將有利後續兵力轉用。對基輔地區守軍而言，守住博羅江卡有助於爭取備戰時間。²⁹

(五)基輔地區

就北部戰線而言，基輔地區為烏克蘭首都，³⁰一旦遭俄軍佔領，可進一步迫使烏克蘭投降，迅速解決本次戰事衝突。因其佔地範圍廣（約839平方公里）不易防守，城市被聶伯河貫穿，烏軍可沿著橋梁和河流構築防禦工事。對烏克蘭守軍而言，基輔地區具備發展成熟之基礎建設及公共運輸系統，設施地下化成為戰時地下防護處所，是一個利於運用城鎮地形執行戰力保存，易守難攻之戰略要點。³¹而基輔前為工業城市，可利用既有工廠設施生產防禦工事所需相關物資。³²

二、作戰經過與工事發揮效益

(一)切爾尼哥夫地區作戰（第一階段時間自111年2月24日迄3月9日）

俄軍於2021年10月迄2022年2月下旬，陸續在烏克蘭邊境集結大規模兵力及演訓，迄2月

22 Точка-на-Карте, 〈ЧЕРНИГОВ〉, March 17, 2022, 〈<https://tochka-na-karte.ru/Goroda-i-Gosudarstva/1518-chernigov.html>〉 (檢索日期: 2023年2月7日)。

23 曾世傑、葉神瀚、李啟文、邱宇聖, 〈2022年俄烏地面部隊遂行城鎮作戰之研究〉, 《俄烏戰爭專題論文集》(桃園市: 國防大學, 民國111年11月), 頁125。

24 BroPortal- Портал города Бровары, 「Оброварах」, March 4, 2022, 〈<https://broportal.net.ua/o-brovarakh>〉 (檢索日期: 2023年2月7日)。

25 同註23, 頁125。

26 Zagorodna, 「Ирпень-город областного подчинения в Киевской области」, August 12, 2020, 〈<https://www.zagorodna.com/ru/regiony-ukrainy/rajonnye-centry-kievskoj-oblasti-i-goroda-oblastnogo-podchineniya/gorod-irpen.html>〉 (檢索日期: 2023年2月7日)。

27 同註23, 頁125。

28 Наши путешествия, 「Бородянка, Бородянский район」, August 10, 2020, 〈<https://our-travels.info/ost/Goroda/Ukraine/Kiev/Borodyanka.php>〉 (檢索日期: 2023年2月7日)。

29 同註23, 頁125。

30 Туристер, 「Киев」, August 20, 2020, 〈<https://www.tourister.ru/world/europe/ukraine/city/kiev>〉 (檢索日期: 2023年2月7日)。

31 同註23, 頁126。

32 高振嘉, 〈首都攻防戰! 烏克蘭軍隊如何靠地理屏障優勢, 捍衛基輔〉, 《遠見天下文化出版股份有限公司—城市學》(臺北市), 〈<https://city.gvm.com.tw/article/88015>〉 (檢索日期: 2022年12月16日)。



圖1 基輔作戰地區要圖

資料來源：筆者重新繪製自Google Earth底圖等文獻。³³

24日於北、東、南三方面完成戰略展開。³⁴其北方戰線即從邊境向基輔地區取攻勢前進，並試圖切斷聶伯河西岸公路以孤立基輔。³⁵烏軍雖於作戰初期，成功拒止俄軍攻勢，³⁶然俄軍後續

加強攻勢，³⁷以導彈摧毀北部作戰指揮部與油料庫，³⁸迫使烏軍向南撤離，俄軍以一部兵力續向基輔地區前進，³⁹本階段作戰中烏軍所使用戰場工事及運用效益分如圖2、表2所示。

表2 北部戰場工事運用效益

烏軍北部戰場工事運用效益一覽表		
階段	構築項目	發揮效能
城鎮作戰	運用既有建築及加強防禦工事並搭配兵火力	遲滯俄軍機動及攻勢
	既有地下設施作為臨時避難所	提供烏軍戰力保存

資料來源：筆者彙整自中央社，〈俄烏戰爭膠著 三面戰線分析一次看〉，《聯合新聞網》，民國111年2月28日〈<https://udn.com/news/story/122663/6129190>〉。

33 重新繪製自Google Earth底圖；同註23，頁125-127。

34 同註23，頁126。

35 同註23，頁128。

36 Mason Clark, George Barros, and Kateryna Stepanenko, 〈Russian Offensive Campaign Assessment, February 25, 2022〉, 《Institute for the Study of War》, February 25, 2022, 〈<https://www.understandingwar.org/backgrounder/russia-ukraine-warning-update-russian-offensive-campaign-assessment-february-25-2022>〉 (檢索日期：2023年2月7日)。

37 Генеральный штаб ЗСУ/General Staff of the Armed Forces of Ukraine, February 26, 2022, 〈<http://www.facebook.com/GeneralStaff.ua/posts/259676363012116>〉 (檢索日期：2023年2月7日)。

38 Rob Lee, 《The Launch of multiple Iskander-M 9M723 ballistic missiles at the Ukrainian Operational Command North HQ》, 〈<https://twitter.com/RALee85/status/1498580468895293440>〉 (檢索日期：2023年2月7日)。

39 同註23，頁126、128、131及135。



圖2 作戰工事運用示意圖

資料來源：筆者重新繪製Google Earth底圖等文獻。⁴⁰

(二)基輔地區作戰（第二階段時間自111年3月10日迄4月2日）

俄軍攻佔切爾尼哥夫後，即迅速運用約2個連突擊兵力機降佔領基輔西北的安托諾夫機場，⁴¹俄軍雖迅速控領機場，然仍遭烏軍以刺針飛彈及戰甲車威脅。⁴²並用基輔地區工業大城特

點，於重要交通孔道放置混凝土塊等項，以強化周遭防禦工事，並在聯外道路設置鋼刺蝟，遲滯俄軍通行，遭烏軍以肩射飛彈和無人機攻擊，提供烏軍足夠時間進行反擊。⁴³本階段作戰中烏軍使用作戰工事及運用效益如圖3、表3所示。



圖3 作戰工事運用示意圖

資料來源：筆者重新繪製自Google Earth底圖等文獻。⁴⁴

40 重新繪製自Google Earth底圖；同註23，頁126。

41 Mason Clark, George Barros, and Kateryna Stepanenko, 〈Russian Offensive Campaign Assessment, February 28, 2022〉, 《Institute for the Study of War》, February 28, 2022, 〈<https://www.understandingwar.org/backgrounder/russian-offensive-campaign-assessment-february-28-2022>〉 (檢索日期：2023年2月7日)。

42 〈從俄烏開戰前72小時，解析俄軍大縱深作戰與首播戰略目標〉, 《公視新聞網》(臺北市), 2022年3月3日, 〈<https://news.pts.org.tw/article/570073>〉 (檢索日期：2022年11月6日)。

43 同註8，頁39-41。

44 筆者重新繪製自Google Earth底圖；同註23，頁126。

表3 基輔地區工事運用效益

烏軍基輔地區工事運用效益一覽表		
階段	構築項目	發揮效能
城郊作戰	既有防禦工事搭配混凝土塊、沙包掩體及反戰車路障	戰鬥車輛無法通行
城鎮作戰	輪胎、多功能鋼樁、紐澤西護欄等並結合兵火力發揮	俄軍難以通行並造成傷亡
	橋樑、十字路口和各高樓附近運用汽車、磚塊及大型障礙物擋住路口	有效迫使敵步戰分離或改變原本行軍路線
	Z字型設置路障	敵軍車輛減速轉彎時，易遭攻擊致傷亡慘重

資料來源：筆者彙整自蔡銘軒，〈從俄烏戰爭探討城鎮阻絕—以基輔為例〉，《陸軍工兵半年刊》（高雄市），第161期，民國111年10月，頁39-47。

(三)烏克蘭作戰工事構築效益探討

1.未於戰前構築堅固掩體設施，無法緩衝敵軍猝然攻勢

就烏克蘭地理及戰略位置而言，在北、東、南面邊境皆為親俄羅斯國家，⁴⁵又因白俄羅斯與烏克蘭非屬敵對，故北部邊境以南迄基輔地區週邊重要城鎮外圍，均無堅固掩體，供烏軍作為抵抗敵軍侵入之憑藉，致作戰初期無法緩衝俄軍攻勢。另烏克蘭西方雖大部分為友好或非敵對國家，然僅利此區域安全援助與確保國際補給線暢通，若烏西地區遭敵軍突入，則烏克蘭將失去作戰補給來源。

2.烏軍僅憑藉城鎮既設地形，無法有效保存有生戰力

作戰期間，俄軍雖已對烏軍先期完成戰略包圍，且兵力佈署及數量遠較烏軍為優，並由既設道路向基輔地區取攻勢，然城鎮地區侷限俄軍裝甲部隊能力，亦使其喪失空中優勢，且直射武器射角受限制，飛彈難以集中目標。

惟烏軍利用周邊城鎮，掌握既有地形地貌，侷限俄軍機甲部隊與遠程火力，⁴⁶然因其有生戰力損失，致烏軍失去部分重要城鎮，若烏軍於戰前做好戰場經營等各項整備，將阻滯俄軍攻勢，使作戰時間向後推移。

3.烏軍物力動員能量有限，無法及時構築大量急造工事

基輔地區為烏克蘭首都及政權所在，地區軍民關係良好，能動員各項戰略物資支援作戰所需，⁴⁷由作戰經過發現，烏軍在極短時間內，活用混凝土塊、沙包掩體、反戰車路障、鋼刺蝟等項遲滯俄軍機動、提高坦克部隊進入城鎮難度，迫使步戰分離。然卻無法有效防護烏軍有生戰力，提高其在城鎮地區生存能力，主要係烏克蘭未有戰時急造式掩體抗炸防護尺寸設計相關方面研究，供烏軍於戰時構築急造式防禦系統，亦未於平時囤儲大量工事材料如水泥、鋼筋、砂石等項，以利緊急構築抗炸掩體設施。

45 同註4。

46 紀永添，〈俄羅斯的營級戰術群為何在烏克蘭戰場上挫敗〉，《上報快訊專欄》（臺北市），2022年3月15日，https://www.upmedia.mg/news_info.php?Type=2&SerialNo=139819（檢索日期：2022年11月4日）。

47 同註8，頁55。

肆、城鎮設施防護案例分析

前述章節提及有關未來戰場型態，係已無法脫離在人口密集之城鎮地區週邊或城鎮內作戰。圖4為美軍評估爆炸引起地下掩體設施破壞案例，炸彈在地表爆炸後，瞬時產生強烈爆炸波依序貫穿地表下方抗貫穿層、回填土衰減層、地下掩體設施，此類型地下掩體評估設計方式，國

內外學者均有相關研究可供參據，⁴⁸惟這類研究涉及地層條件參數、現地爆炸試驗、數值分析等項，目前亦有學者提供評估建議，⁴⁹可先從室內實驗求得地質條件參數後，透過爆震分析軟體（本研究採用LS DYNA）進行抗爆數值分析，並對數值模型實施數值驗證後，即可獲得具參考價值之數值分析成果。

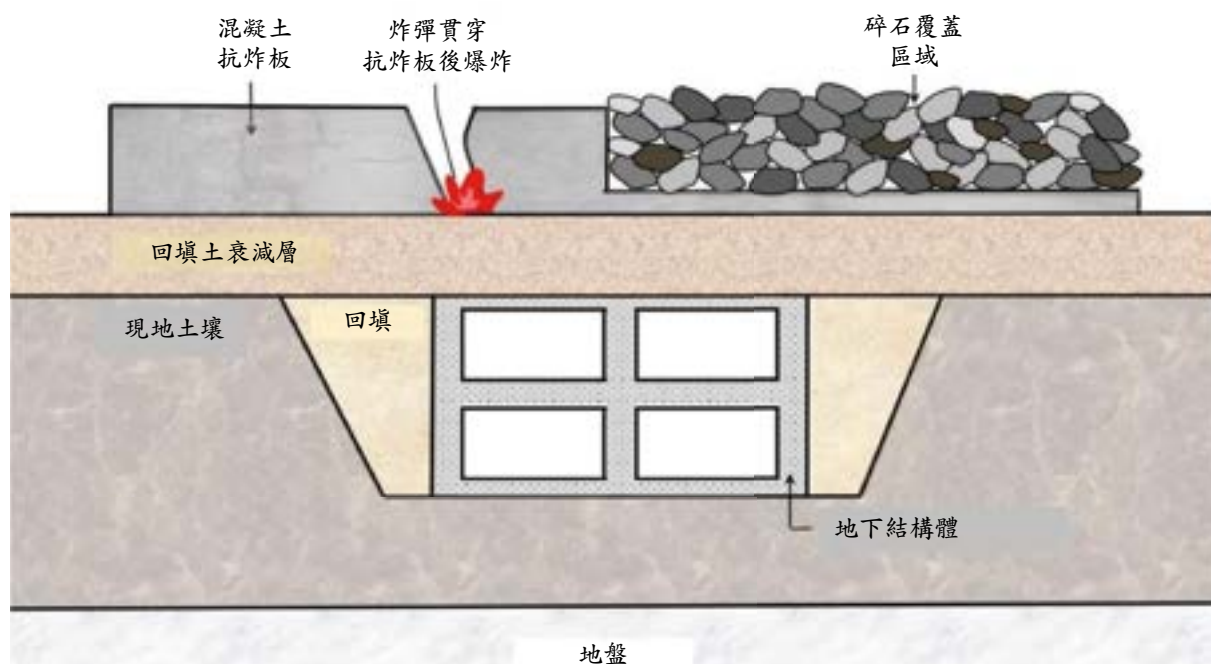


圖4 美軍地下掩體防護示意圖

資料來源：筆者修改自美軍文獻。⁵⁰

綜上所述，下列將先進行敵軍對我城鎮地區可能危害評估，再蒐整城鎮內部常見地下設施類型，並以北部衛戍地區及其週邊縣市可供運用之民間地下設施為例，探討其覆土深度與現地土層

等參數，據以完成城鎮地下設施數值模型，再透過數值驗證所設定相關條件，進一步探討城鎮地下設施抗爆效能，並提出具體補強或相關措施等建議。

48 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), PP.8-1~8-2。

49 曾世傑，《以試驗與數值分析探討土工織物加勁土抵抗爆壓力之研究》，（臺北市，國立臺灣科技大學營建工程系博士學位論文，2022年），頁27-28。

50 摘錄自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，PP.8-1~8-2。

一、敵軍可能危害評估

從2022年10月美國空軍大學已公開中共火箭軍(PLARF)資料與我國國防報告書資料研判(如表4)，共軍未來犯臺模式將以東風-11、東風-15、東風-16等短程彈道導彈為主(如表5)，⁵¹其特性為射程遠、精準性較高，可涵蓋臺灣本島並直指我軍聯合指管設施與各重要戰略目標。⁵²而進一步研判可能對我攻擊行動中，在其渡海作戰前，將運用火箭軍導彈，對我重要關鍵基礎設施及防護目標(機場、港口、防空及情

監偵設施)實施炸射，⁵³屆時將造成我城鎮地區及週邊人員損傷、武器裝備毀損，大幅削減我有生戰力，尤其以對我衛戍為達成速戰速決企圖，將優先重點指向衛戍地區。表5係共軍對臺威脅中，火箭軍導彈最有可能對我重要海空基地、城鎮軍事目標發起猝然突襲，⁵⁴其武器威力將造成我機場跑道、城鎮地下設施、掩體極大損壞。基於上述考量，本研究將以短程導彈東風15型列為對我危害最大之威脅源，進一步納入數值模型分析。

表4 共軍對臺威脅

共軍對臺威脅一覽表				
項次	軍種	作戰形態	運用裝備類型	對守備部隊影響
1	陸軍	強化遠程機動、縱深打擊、快速突擊特種作戰能力。	換裝輕型坦克、兩棲突擊車、遠程多管火箭及中型直升機等。	登陸後對我守備部隊及陣地直接火力威脅。
2	海軍	提高戰略威懾、海上反擊及兩棲突擊戰力，逐步完備遠洋作戰能力。	換裝飛彈驅逐艦、兩棲登陸艦、整合既有艦艇能力。	登陸作戰時，對我灘岸遠距火力打擊，削弱灘際阻絕功能。
3	空軍	完備「戰略投送、全域反應」全方位空戰武力。	換裝以掛彈量大、航程遠之殲10C等型式。	對我縱深及城鎮地區空中轟炸，攻擊特定重要目標
4	火箭軍	強化攻臺及抗擊外軍遠程精準打擊，提升陸、海、空、天一體打擊。	提升彈頭威力、換裝新型短中程導彈。	對我縱深及城鎮地區、特定重要目標遠程火力攻擊。
5	支援軍	整合天、空、網、電磁空間等優勢，提供聯合指管及戰略支援。	建構對地觀測、導航衛星、發展太空站。	提供共軍火箭軍目標座標，對我重要目標地區遂行精準突擊。

資料來源：筆者彙整自國防部，《110年國防報告書》，民國110年11月，頁34-37。

- 51 曾品潔，〈中共火箭軍要對臺「飛彈洗地」？專家：只能摧毀6基地 臺灣仍可還手〉，《Newtalk新聞》(臺北市)，2022年11月6日，〈<https://newtalk.tw/news/view/2022-11-06/841573>〉(檢索日期：2022年12月4日)。
- 52 陳振國，〈淺析中共「火箭軍」發展與運用〉，《海軍學術雙月刊》(高雄市)，第55卷第1期，民國110年2月，頁88、95及99。
- 53 同註6，頁73。
- 54 褚漢生，〈面對中國武統威脅，我軍事戰略調整之戰略作為〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第52卷第1期，民國107年2月，頁15-16。

表5 火箭軍對臺威脅概況

武器性能、諸元概況一覽表				
型號	射程 (km)	彈頭重量 (kg)	彈頭種類	作戰運用及預期效果
東風 -11	500-700	800	子母彈、高爆彈石墨彈	對機場跑道、地面加固目標及地下設施進行攻擊
東風 -15	600-900	600	高爆彈頭 15C 為鑽地型彈頭	
東風 -16	800-1,500	1,500	群子彈頭、油氣彈頭、子母彈、電磁脈衝彈及反電磁輻射彈頭 而 16B 為鑽地型彈頭	打擊目標為 1. 固定設施，如機場跑道、雷達站、飛彈陣地等 2. 加固岸置（如機堡、油庫、彈藥庫）及地下設施）如指揮通信中心）實施打擊
衛士 2	400	200	高爆彈、子母彈、燃燒彈、高爆燃燒彈、貧（衰變）鈾彈	以爆震波、破片造成建築物倒塌；以爆轟波、破片造成人員低放射性傷害
S-5 航空 火箭彈	3-4	2.7	高爆彈、燃燒彈及貫穿彈	1. 以爆震波、破片造成建築物倒塌 2. 高溫火焰、建築物燒毀 3. 對土壤及鋼筋混凝土貫穿力為 400-3,000 毫米
S-8 航空 火箭彈	2-4	5.5		

資料來源：筆者彙整自陳振國，〈淺析中共「火箭軍」發展與運用〉等文獻。⁵⁵

二、衛戍區域地質與防護設施概述

因應共軍近年來藉軍隊改革及組織編裝調整，並汲取美軍登陸作戰投射兵力概念，研判共軍犯臺初期，將重點指向臺北衛戍地區，⁵⁶以達戰術速決要求。綜上所述，本研究旨在進行北部城鎮週邊要域地下掩體抗炸分析，並優先探究此

區域地質條件。臺灣地質構造區分為西部海岸平原、西部麓山帶、雪山山脈、脊梁山脈（包含中央山脈東西翼）及海岸山脈等地質區所組成（如圖5所示），⁵⁷而北部地區位於臺北盆地及盆地以西的林口台地，地質條件主要為砂泥層及其下方礫石層。⁵⁸如要在上述區域進行地層開挖與地

55 彙整自陳振國，〈淺析中共「火箭軍」發展與運用〉，《海軍學術雙月刊》（高雄市），第55卷第1期，民國110年2月，頁89~97；張嘉文，〈中共火箭軍戰術彈道導彈對我軍事之威脅與因應對策〉，《陸軍學術雙月刊》（桃園市），第53卷第556期，民國106年12月，頁33~34；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》（高雄市），第156期，民國109年5月，頁23。

56 張信証，〈共軍兩棲合成旅登陸作戰對衛戍區之影響〉，《憲兵半年刊》（新北市），第94期，民國111年6月，頁44、49、51~52。

57 曾世傑、楊國鑫、蔡營寬、王璽，〈1945年硫磺島戰役日軍守備之研究—兼論不同土質條件衰減層抗爆效能〉，《陸軍工兵半年刊》（高雄市），第160期，民國111年5月，頁18。

58 費立沅、紀宗吉、蘇品如、吳文隆、謝文誠、許智翔、楊智堯，〈臺北盆地三維防災地質資料庫建置〉，《中華顧問工程司—中華技術專題報導》（臺北市），第101期，民國103年1月，頁149-150。

下結構體施工，可就現地土壤作為回填土料，大幅縮短地下掩體施作工時並節約材料成本。⁵⁹本研究後續數值模型設計，係使用衛戍區與週邊城

鎮要點現地土層作為衰減層，使整體數值模型趨近於現地條件。

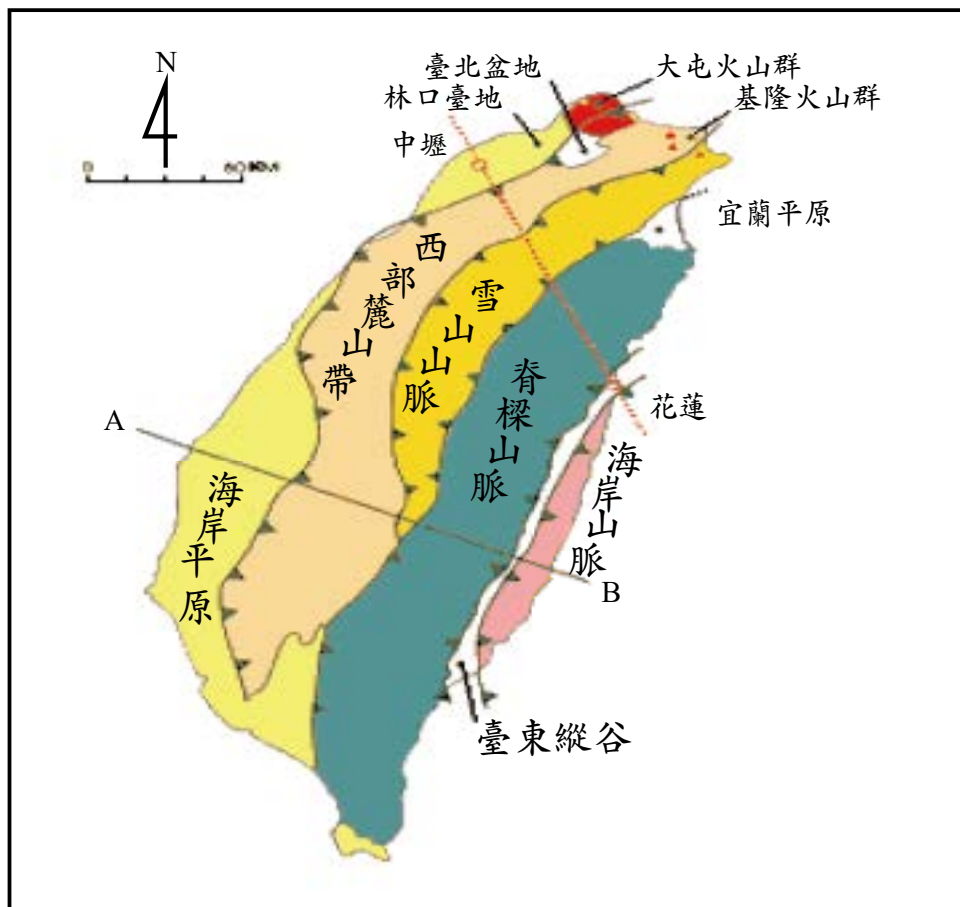


圖5 臺灣地質分布圖

資料來源：鄧屬予，〈地球科學園地-東北角的往日雲煙〉，地球科學文教基金會（臺北市），第20期，民國90年12月，第2~9頁，<https://homepage.ntumedumtw/~tengls/geo-info.htm>（檢索日期：2022年12月7日）。

我國衛戍部隊係以維護首都安全為目的，旨在確保中樞安全及重要設施防衛等，⁶⁰此地區城鎮有許多既設軍、民用地下設施，包含各層級地

下指揮所及地下運輸設施等。就軍用設施而言，其規劃設計均具備防核、抗震、防電磁脈衝、⁶¹抗炸及防生化能力，可於戰時共軍猝然導彈攻擊

59 水文技術組，〈多元整合空間資訊技術於地層下陷監測之應用〉，經濟部水利署電子報（臺北市），第319期，民國108年2月22日，〈https://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=5139&n=30177〉（檢索日期：2022年12月28日）。

60 國防部憲兵指揮部，《憲兵》（臺北市：國防部憲兵指揮部，民國106年9月），頁361。

61 戴志揚，〈衡山指揮所防核攻 戰時最高軍事作戰指揮中心〉，《中時新聞網》（臺北市），2020年1月3日，〈<https://tw.news.yahoo.com/衡山指揮所防核攻-戰時最高軍事作戰指揮中心-065714416.html>〉（檢索日期：2022年12月28日）。

時，確保國軍有生戰力與指管機制暢通，⁶²然而抗炸防護程度仍有待實際驗證。在民用設施方面，因用途不同，未將抗爆震設計納入考量，僅依國內建築法規施作，⁶³除未具抗爆效能數據

外，部分設施亦無法供軍事車輛運用，如民間地下室停車場入口高度（彙整如表6）係無法容許戰、甲車（彙整如表7）進入。

表6 臺北及新北地區各地下設施出入口限高

臺北及新北地區地下設施出入口限高一覽表			
類別	數量	出入口限高 (m)	覆土層 (m)
公有及公園地下停車場	約 115 處	1.8 至 2.1	2.5 至 3.8
大賣場及百貨地下停車場	約 70 處	1.55 至 2.1	2.5 至 3.8
隧道	約 38 處	7.03 至 7.63	28
車行地下道	約 12 處	2 至 3.8	1.2 至 3
涵洞	約 150 處	2 至 4.3	> 50cm

資料來源：筆者彙整自臺北市停車管理工程處，〈臺北市公有停車場出入口限高一覽表〉等文獻。⁶⁴

表7 國軍主要戰甲車輛高度

國軍主要戰甲車輛高度一覽表		
類別	形式	車高 (m)
戰術車輛	M998 悍馬車	1.83
	M1038 悍馬車	1.83
	輕型戰術輪車	1.84
	中型戰術輪車基本型	3.00
	4WD 特戰突擊車	1.9

62 呂昭隆，〈總統三軍統帥決策之用！3大「地下指揮所」曝光〉，《中國時報》（臺北市），2021年4月12日，〈<https://tw.news.yahoo.com/總統三軍統帥決策之用-3大-地下指揮所-曝光-221500185.html>〉（檢索日期：2022年12月28日）。

63 依據內政部營建署「建築技術規則」建築設計施工編規範中，鋼筋混凝土構造建築僅針對抗震設計另有規範外，在抗炸方面並未詳加規範；而防空避難設備之設計及構造準則規定如下：避難室構造應一律為鋼筋混凝土構造或鋼骨鋼筋混凝土構造，而該廠域需於中央主管建築機關指定之適用地區。

64 彙整自臺北市停車管理工程處，〈臺北市公有停車場出入口限高一覽表〉〈https://pma.gov.taipei/Content_List.aspx?n=6B30CA41F8928947〉（檢索日期：2023年3月4日）；臺灣聯通停車場開發股份有限公司，〈停車場區域清單〉，〈<http://taiwan-parking.com.tw/viewParkList.do>〉（檢索日期：2023年3月4日）；維基百科，臺灣隧道〈<https://zh.wikipedia.org/wiki/臺灣隧道>〉（檢索日期：2023年3月4日）；臺北市政府工務局新建工程處，〈臺北市政府工務局新建工程處隧道一覽表〉〈<https://nco.gov.taipei/News>〉

戰甲車輛	CM-11 戰車	3.09
	M60A3 戰車	3.28
	M1A2 主力戰車（後續籌購）	2.44
	CM21 步兵戰鬥車	2.5
	國造雲豹八輪裝甲車	2.3
	V-150 系列四輪傳動裝甲車	2.54
兩棲突擊載具	AAV7 兩棲裝甲運兵車	3.26

資料來源：筆者彙整自維基百科，〈中華民國陸軍#輪型載具〉等文獻。⁶⁵

三、數值軟體及材料參數介紹

進行城鎮地下設施抗爆震數值分析，需先獲取衛戍區及其週邊地質條件，以利電腦分析運算。本研究使用分析工具LS-DYNA流體動力程式，具備數值模型建立與分析功能，專家、學者常應用於探討爆炸源爆炸後產生震波於介質間傳遞現象。本篇數值模型案例建立係以空氣場、TNT炸藥、土工織布與不同現地土壤等參數所組成，其中衰減層土壤參數設定係本研究主軸，而爆炸威脅源以TNT炸藥為主。⁶⁶另程式各項功能、參數設定與介紹，均已於前人研究中詳述，

⁶⁷本研究則聚焦探討在距離地表爆炸源不同深度下，藉結構物上方衰減層不同厚度及材料性質，在爆炸後產生震波傳遞之衰減效果及其影響。⁶⁸

臺北市與新北市地區係我國重要通資電、指管、防空障地設施所在區域，⁶⁹更是國軍重要防護目標所在地區。此區域現地土壤性質在過去文獻蒐整，均有專家學者藉土壤力學相關試驗，獲得現地土層參數，筆者在結合上述文獻數據後，進一步轉換成LS-DYNA第五號材料模型所需輸入參數，如表8所示。

aspx?n=0867BA23B0925C22 &sms=B65B2BDB833A417C〉（檢索日期：2023年3月4日）；5.臺北市府工務局新建工程處，〈臺北市府工務局新建工程處車行地下道一覽表〉〈<https://nco.gov.taipei/News.aspx?n=1C455CC4D76EF71B&sms=2F5C2CC054AC1A19>〉（檢索日期：2023年3月4日）；6.華人百科，涵洞〈<https://www.itsfun.com.tw/涵洞/wiki-2286214-7432393>〉（檢索日期：2023年3月4日）。

65 彙整自維基百科，中華民國陸軍〈<https://zh.wikipedia.org/wiki/中華民國陸軍#輪型載具>〉（檢索日期：2023年3月4日）；維基百科，中華民國陸軍，〈<https://zh.wikipedia.org/wiki/中華民國陸軍#地面車輛>〉（檢索日期：2023年3月4日）；維基百科，中華民國憲兵，〈<https://zh.wikipedia.org/wiki/中華民國憲兵#憲兵裝備>〉（檢索日期：2023年3月4日）。

66 TNT炸藥係由LS-DYNA第8號材料參數所描述，所需輸入值計有密度等7項，並以TNT為150公斤重量、密度進行換算體積大小，並輸入於所建立之數值模型尺寸。摘錄自曾世傑、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》（高雄市），第156期，民國109年5月，頁15。

67 曾世傑、楊國鑫、蔡營寬，「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」，《陸軍工兵半年刊》（高雄市），第159期，民國110年10月，頁13-15。

68 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》（高雄市），第156期，民國109年5月，頁23。

69 吳書緯，〈蔡總統虎年首個行程 專程拜訪「這營區」看愛國者飛彈〉，《自由時報》（臺北市），2022年2月1日，〈<https://news.ltn.com.tw/news/politics/breakingnews/3818660>〉（檢索日期：2023年1月16日）。

表8 不同土質材料主要參數輸入值

LS-DYNA 第五號土壤材料參數輸入一覽表									
土質 類型	參數 區分	凝聚力 (N/m ²)	摩擦角 (°)	土壤 密度 (g/cm ³)	剪力 模數 (MBar)	體積 模數 (MBar)	剪力屈服面係數		
		C	ϕ	D	G	Bulk	A0	A1	A2
純砂 土質		0	37	1.466	4.49 e-4	5.25e-3	0	0	0.567
北投 土質		0	32	1.911	2.14e-4	1.0e-3	0	0	0.3905
新店 土質		0	30	1.75	1.92e-4	4.17e-4	0	0	0.333

資料來源：筆者彙整自 S.S.Lin, J.L.Hong, W.F.Lee, and Y.H.Chang, (2004) 〈Capacity Evaluation of Statnamic Tested Long Piles〉等文獻。⁷⁰

(一)數值模型建立與驗證

為符合真實物理現象，本研究以全模型尺寸建構3維數值模型，⁷¹另將爆炸源（TNT炸藥）置於地表上，並假設爆炸後引致爆震波向四周傳遞，隨經過介質性質不同，在不同土質條件下，傳遞效果亦將隨土壤特性及剪力模數不同有所差異。⁷²為探討爆震對地下結構物上方衰減層之影響，設置3層地工織布檢視其衰減效果，⁷³同時驗證純砂土層、臺北、新北區域未加勁土層、加勁土層衰減爆壓與數值模型參數、設定正確性探討等項（如圖6所示）。⁷⁴

爆炸源於地表爆炸後，由炸源中心以輻射方式向外傳遞，不論是上方空氣層或地表下方土壤層，為簡化後續建模及程式運算時程，在設定條件係參考TNT炸藥重量及體積換算，以一正方體體積邊長執行建模及網格式收斂作業，⁷⁵邊界條件均設定為不反射面，使所探究爆震反應不受反射震波影響，另本次建模係參考國內學者現地爆炸實驗相關文獻內容，透過三維全模型尺寸建構數值模型並進行網格式收斂分析。⁷⁶

70 彙整自 I.S.S.Lin, J.L.Hong, W.F.Lee, and Y.H.Chang, (2004) 〈Capacity Evaluation of Statnamic Tested Long Piles〉，《Soil Dynamics and Earthquake Engineering 24》(2004)829-838.；2.梁正育、蔡佩勳、馮正一，〈靜動載重試驗的動態行為之探討〉，《THE 12TH CONFERENCE ON CURRENT RESEARCHES Aug.29-31 2007 IN GEOTECHNICAL ENGINEERING IN TAIWAN》，民國96年8月，頁B3-34-6；3.曾世傑，《地下結構體爆震反應研究》（桃園市，國防大學中正理工學院軍事工程研究所碩士論文，2005年），頁75。

71 本案例設定炸藥於地表爆炸後，爆震波傳遞土層介質，且土層四周係均質條件，無產生反射；另數值模型建立中，為避免爆震波傳遞至邊界四周產生反射，數值模型外在邊界均設置無反射(NON-REFLECT)。摘錄自曾世傑，《以試驗與數值分析探討地工織物加勁土抵抗爆壓力之研究》，（臺北市，國立臺灣科技大學營建工程系博士學位論文，2022年），頁68。

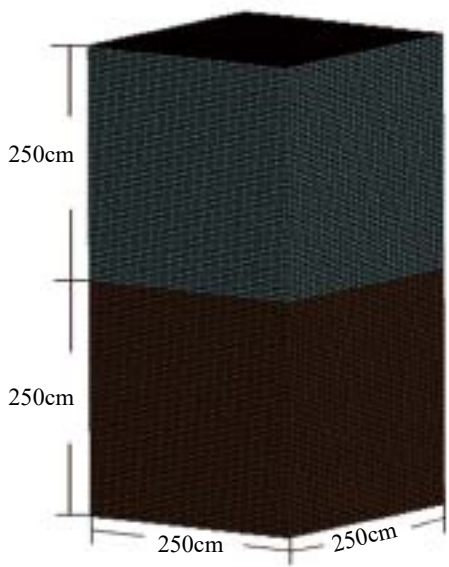
72 同註57，頁19。

73 同註49，頁72、83。

74 本研究設置網格式數量達134萬，以Intel(R) Core(TW) i9-12900F@2.40GHz(RAM16GB)，時間需時13天。

75 同註49，頁68。

76 同註49，頁68。



總網格數：1,340,234

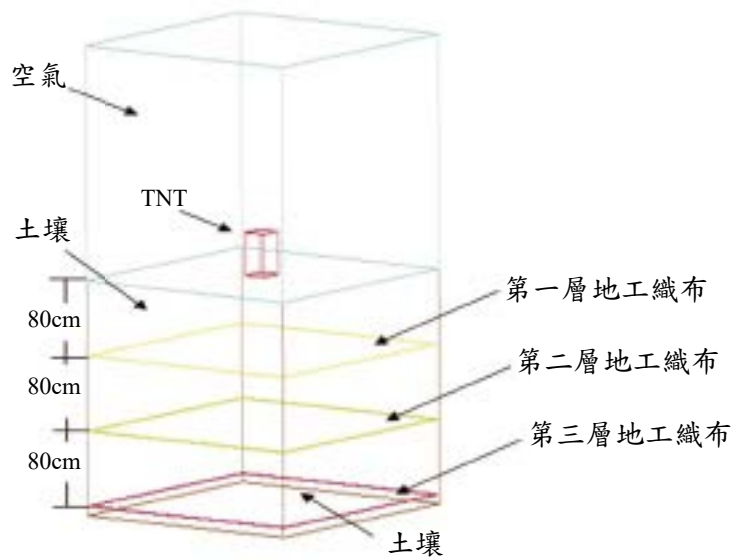


圖6 衰減層數值模型配置示意圖

資料來源：筆者繪製。

當網格邊長切割越細緻，且數值趨向於一致性時，表示已達到收斂，則無須使用更細

緻之網格尺寸進行分析。由圖7顯示，當距離爆炸源越遠時，其尖峰爆壓值越趨向一致，經

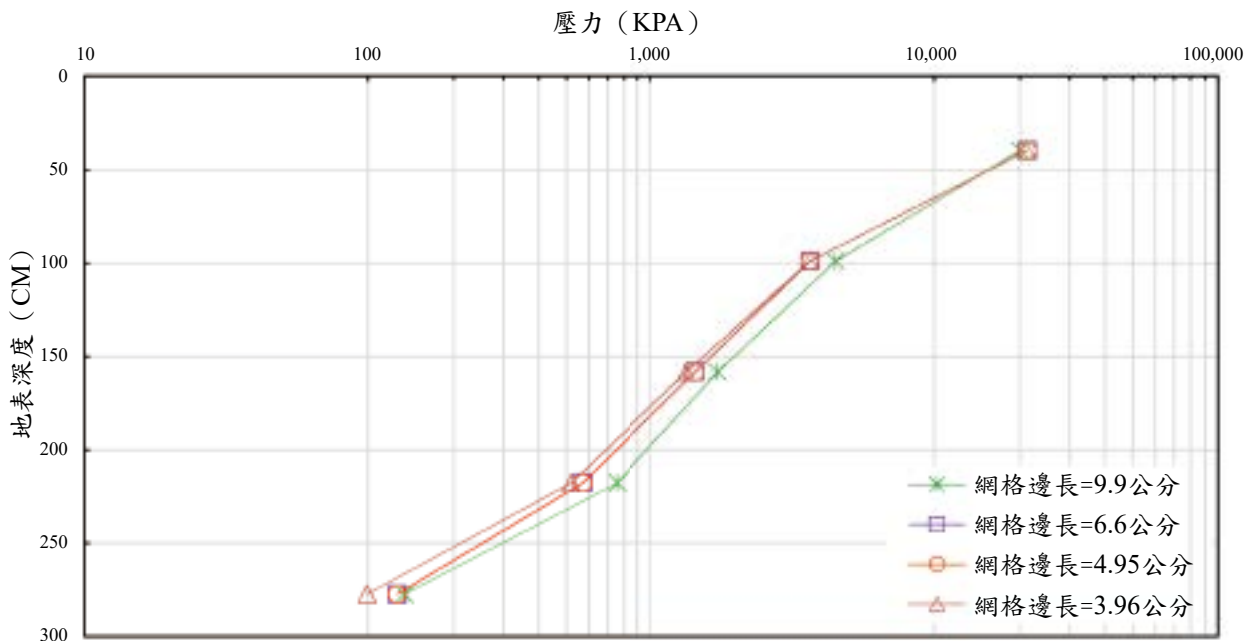


圖7 數值模型網格收斂圖

資料來源：筆者繪製。

比較5種不同網格邊長尺寸，以邊長網格4.95公分及邊長網格3.96公分相較下，誤差值小於5%內，已達到收斂效果，後續將以網格邊長4.95公分尺寸，作為本研究後續執行數值模型參數分析設計依據。⁷⁷

(二) 案例分析設計探討

1. 不同土壤性質衰減爆壓分析

地表爆炸源爆炸後震波傳遞隨不同土質，其衰減程度將隨深度不同而差異。經數值

模擬分析（如圖8所示），在距離地表深度44.8公分處，純砂土尖峰爆壓值約為131,690kPa，衰減效果較其他土質為佳；另距離地表249.3公分處（距爆炸源越遠），純砂土尖峰爆壓值為2,012kPa、北投砂為2,240kPa、新店砂為2,380kPa，可得知純砂土較北投砂及新店砂衰減效能分別多達10.2%及15.5%，然現地砂土仍具備一定程度之爆壓衰減效果。

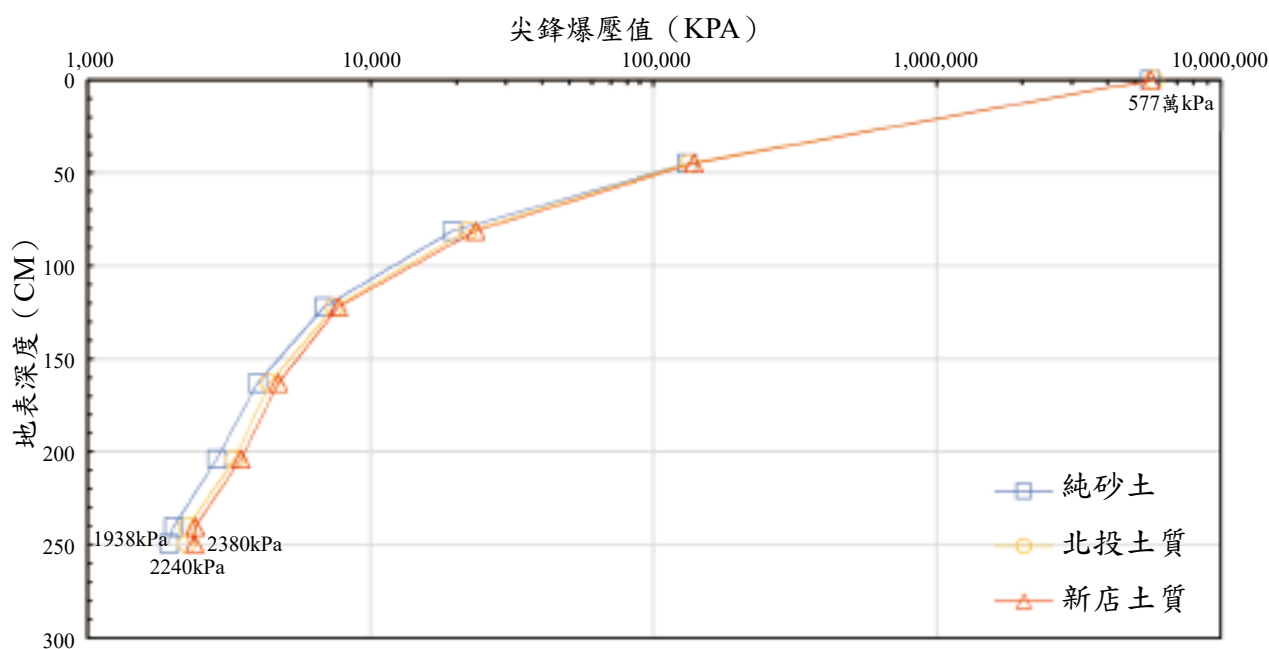


圖8 不同土質衰減爆壓分析圖

資料來源：筆者繪製。

2. 加勁土衰減爆壓分析

依據美軍TM5-855-1(1986)規範中所述經驗公式建議人體可忍受爆壓值經驗常數為48kPa，當超過此數值時將對人體造成傷害；另依據國內外學者研究可知，在砂性土壤中可添加地工織布等加勁材，其既有抗拉伸效能可

對尖峰爆壓值衰減有顯著效能，若要達到衰減爆壓效果具經濟效益，建議鋪設3層地工織布即可。⁷⁸本研究設計加勁土鋪設地工織布則分別就不同砂土條件下，探討未加勁與加勁土之間衰減爆壓效果差異性，由圖9可知，距離爆炸源249.3公分處，未加勁土壤純砂土、北投、新店

77 經考量數值模型所需切割網格數、電腦運算所使用CPU時間等等各相關因素條件，採取已完成收斂性分析之網格邊長為4.95公分（網格總數為1,688,000個）。摘錄自曾世傑，《以試驗與數值分析探討地工織物加勁土抵抗爆壓力之研究》（臺北市，國立臺灣科技大學營建工程系博士學位論文，2022年），頁69-73。

78 同註57，頁21。

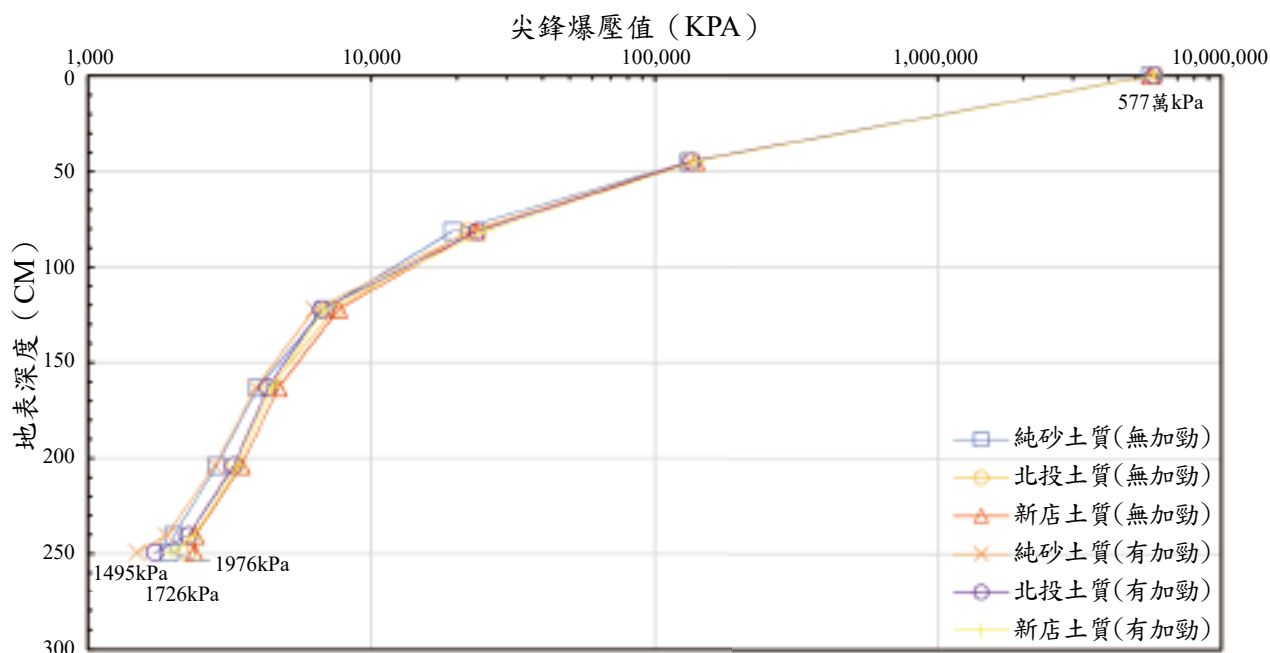


圖9 加勁土衰減爆壓分析圖

資料來源：筆者繪製。

區域砂土，衰減後尖峰爆壓值依序為2,012kPa、2,240kPa及2,380kPa，其中北投土質較新店土質衰減效果為佳；而加勁土壤（加設3層地工織布）尖峰爆壓衰減效果，則依序為1,495kPa、1,726kPa及1,976kPa，就加勁後之衰減爆壓而言，砂土質達25.7%、北投土質22.9%、新店土質17%，惟尖峰爆壓值仍高於48kPa（對人體將造成一定程度傷害），然因僅探討地表下方衰減層發揮效益，如需瞭解地下結構體內部殘餘尖峰爆壓值對人體產生危害，仍須進一步將地下結構體納入整體防護系統設計尺寸。

3. 抗貫穿防護效果探討

不同土壤隨其動態剪力及體積模數不同，爆炸源於爆炸過程中所致衝擊波，然接觸爆炸源之介質受高強度爆壓影響，會形成破壞之彈坑現象，而彈坑直徑及深度間接顯現其抗貫穿能力。為使爆炸引致彈坑不影響地下掩體，掩體上方衰減層須在一定厚度以上。表9顯

示在不同土質條件下，地表爆炸所引致彈坑直徑、深度及範圍，其彈坑尺寸越小，抗貫穿防護效果越好。而在現地土層抗貫穿表現，爆炸後引致之彈坑直徑與深度，則以北投土質較新店土質小，又深層土壤夯實密度較大，亦是導致彈坑範圍尺寸較小原因，此類型土層具有較高抗貫穿效果。本表數據可納入衰減層抗貫穿設計考量，其中以加勁土壤在深層、夯實緊密砂土條件，彈坑直徑僅148cm、深度45cm之抗貫穿效能為最佳。

四、城鎮地下設施抗爆設計補強措施與建議

基於上述節次抵抗爆壓數值模型分析成果，砂土質、北投土質及新店土質等3種不同性質之未加勁土衰減層，距地表深度249.3公分處，其尖峰爆壓值依序為2,012kPa、2,240kPa及2,380kPa，對人體仍造成一定程度傷害，下列將針對臺北、新北地區既有地下設施防護能力進行探討，分述如後：

表9 不同土質條件受地表爆炸引致彈坑大小對照表

不同土質條件下地表爆炸彈坑大小對照一覽表							
土壤區分		淺層土壤（夯實密度小）			深層土壤（夯實密度大）		
		純砂土質	北投土質	新店土質	純砂土質	北投土質	新店土質
未加勁土壤	直徑	208	213	215	203	209	210
	深度	67	70	71	61	64	65
加勁土壤	直徑	153	159	161	148	155	158
	深度	45	45	45	45	45	45

資料來源：依本研究成果繪製。

(一)既設地下結構體防護建議

此區域多為城鎮複雜地形，既設建築物多屬鋼筋混凝土結構型式，鮮少有大量地下掩體設施可供部隊戰時執行戰力保存使用，且地下室入口高度均依建築法規設計，然一旦遭受大規模爆震衝擊，仍可能造成局部破壞影響。為降低爆壓對人體造成傷害，且考量時間允許及經費支出較少情況下，建議可針對既有地下結構物如公有地下停車場、車行地下道、隧道、涵洞、地下捷運站等，實施結構體內部材料性能提升，如採用碳纖維混凝土、無機聚合混凝土等加勁材，提升混凝土抗衝擊能力，⁷⁹或針對結構物施以補強，如噴塗全聚脲彈性塗料在結構體表面，強化結構體拉伸及抗剝落能力，進而提升整體防護效能，⁸⁰此類型地下結構體除可有效給予作戰部隊遂行戰力保存及整補外，亦可提供戰時災民安置地區。

(二)強化衰減層防護建議

在現地加勁土層數值分析成果中，以鋪設地工織布3層之北投地區加勁土壤衰減效果達22.9%最佳，可提供此城鎮地區地下設施抗爆設

計規範參考，同時亦可考量增加衰減層厚度、不織布鋪設層數、地下設施上方地表增設布放式掩體等方式，增強衰減層抗爆與抗貫穿能力；另在實施上述防護手段前，須優先進行城鎮戰場情報準備，調查作戰地區兵要，蒐整城鎮內部各類型地下設施完整資料。

伍、對我防衛作戰啟發與建議

2022年俄烏戰爭中，俄軍初期雖以演習名義完成兵力調動集結，並以優勢兵力猝然向烏克蘭發起軍事行動，北部戰場烏軍作戰初期僅構築簡易掩體、未能有效遂行物力動員及建構急造工事等因素，致無法緩衝俄軍攻勢，然後續烏軍仍能憑藉北部城鎮地形優勢，使俄軍攻勢頓挫，並於4月初迫使其退出北部基輔地區，轉用兵力至烏東戰場。借鑑上述戰史例證所獲得教訓，烏軍雖失去初期動員與守勢作戰部署時機，卻能依賴城鎮特性轉危為安，可知在城鎮作戰地區部署兵火力、戰場經營與急造式掩體工事等作為，對我臺澎防衛作戰而言相當重要，下列將綜合前述戰史例證經驗、城鎮地下

79 許皓筑，〈纖維加勁混凝土版抗炸性能補強之數值模擬研究〉（臺南市，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，民國110年），頁25-28。

80 同註79，頁29-30。

設施抗爆分析等項，進一步提出衛戍地區部隊於臺澎防衛作戰芻議。

一、分析城鎮地下設施抗炸效能，提高我軍戰力保存能力

俄烏戰爭初期，烏軍因平時未有高強度之戰場經營工事，致俄軍發揮勢如破竹攻勢，一度突入至烏軍重要城鎮基輔地區週邊，惟因俄軍未考量作戰天候變化，導致作戰初期大量戰、甲車深陷機動道路兩側泥淖，以及作戰進展迅速使其後勤補給不及運往前線戰場，無法發揮戰力。

我國衛戍部隊主要任務係確保作戰地區內重要軍事與指管設施人員、武器裝備安全，平時可結合戰備偵巡及作戰計畫演練時機，先期調查城鎮地下設施類型資訊，諸如現有民間地下運輸設施，包含交通運輸、捷運設施、車型地下道、地下大型停車場及涵洞等相關設施結構資料，掌握各地下設施限高及上方覆土層資訊，並進一步運用電腦數值軟體程式，據以分析城鎮內部可供運用之地下設施抗炸效能，針對防護力較為薄弱設施，先期進行地下結構體、衰減層補強措施，或在其地表上方增設布放式掩體抵抗炸彈貫穿能力，可大幅提升我軍戰力保存能力。

二、強化人、物力動員機制，提升城鎮作戰總體戰力

俄軍境外作戰，導致其補給無法有效前支第一線部隊，烏軍亦有動員不及狀況，致使無法第一時間擊退俄軍北部戰場兵力。然烏克蘭在基輔防衛作戰中，因動用民物力與阻絕資材協助軍事作戰，成功抵禦部分俄軍機動，此類型防禦方式係組合運用大量水泥塊、沙包、紐澤西護欄、廢棄車輛等簡易工事，雖效果有限，卻仍能發揮遲滯俄軍機動之功效。另北約相關國家亦及時給予烏軍部隊，提供大量作戰武器裝備、彈藥、後勤補給能量等戰略物資，最終使入侵基輔地區俄軍敗退後轉用至其他

方面，再度驗證後勤持續力、機動力、工事阻絕、總體戰力等因素，為戰場決勝主要關鍵因素。

國軍衛戍部隊常施行定期、不定期進入戰術位置演練，使官兵熟稔現有城鎮地形地貌與人員偽裝、隱掩蔽等。惟仍須依城鎮兵要調查成果結合作戰演練時機，模擬戰甲車進入一般大型既設地下設施（不受限高影響之地下隧道、涵洞、大型地下停車場等）遂行戰力保存，同時調查地區內大型賣場及周遭民用地下設施等演練囤儲、轉用戰略物資作戰行動，以維持衛戍部隊作戰持續力。

衛戍部隊可結合作戰需求，於每年物力動員與設施簽證時機，除將上述相關設施納入簽證外，另在戰備整備時機，調查北部地區營建材料如鋼筋、水泥、砂石工廠位置與存量，透過年度物力動員機制，將所需阻、資材類型、品項、數量等納入簽證品項，再依所研擬之抗爆炸設計尺寸，先期預鑄急造式地下掩體等作戰工事，戰時將可依作戰需求，在預設地區依開挖地表、組裝急造式地下掩體、回填現地土壤衰減層等施工順序，即可完成具抗炸防護力之簡易地下掩體，大幅提升戰場存活力，在必要關鍵時機，發揚作戰部隊戰力。

三、熟稔作戰地境內兵要特性，適切部署殲敵兵、火力

烏軍因熟稔城鎮地區特性，以小部隊（伍、班為主）部署兵、火力於城鎮內部高樓建物與巷弄處，以化整為零、化明為暗之城鎮游擊戰術戰法，面對俄軍具有強大兵、火力之營戰術群部隊，烏軍致勝關鍵在於有高科技衛星通信、偵打一體無人機武器（友盟國家提供），使其作戰部隊具備高度通信指揮管制與掌握敵軍即時動態能力，配合攜帶方便、殺傷力大、高精準度之防空火力、反裝甲武器等項，擊退進入城鎮俄軍作戰部隊。

我國防衛作戰係以「防衛固守，重層嚇

阻」為首要，共軍一旦登陸，囿於臺灣屬島嶼地形，南北狹長，東西縱深延伸不足，未來戰場將會延伸至城鎮地區，國軍地面部隊因應不對稱作戰，除殲敵於灘岸之作戰方式外，仍應考量城鎮預想殲敵地區之作戰規劃。我國軍衛戍部隊優勢在於已先處戰地，對作戰部隊現行使用武器編裝特性、城鎮地區兵要已具相當程度瞭解，故應結合城鎮兵要與高樓建築特性，研判敵軍可能主要來襲機動道路，適切於要點地區部署兵、火力，同時在敵進襲道路上預設多道阻絕工事、雷區等項，並將上述殲敵手段

納入城鎮防禦作戰計畫中，列入戰演訓重要項目，可殲滅突入敵軍作戰部隊，大幅度增加城鎮防禦成功公算。

以淡水河作戰要域為例，地區內交通網密布，依共軍徵侯及戰術戰法，研判其可能從淡水河沿八里、北投兩岸向衛戍區投入兵力，可就其重要道路及周邊擺設機動式阻絕、急造式掩體及搭配混合型雷區，阻路阻點進而遲滯其機動，並誘使其進入我預想殲敵地區，再以火力制壓，確保衛戍區安全（如圖10）。



圖10 衛戍地區守備部隊工事阻絕運用規劃建議圖

資料來源：底圖擷取自Google地圖，續由筆者依研究成果繪製。

陸、結語

面對國際情勢動盪環境，兩岸局勢詭譎，中共從未放棄武力犯臺，國軍除持續戮力戰訓本務外，更應遵循孫子兵法中：「...用兵之法，無恃其不來，恃吾有以待也；無恃其不攻，恃吾有所不可攻也...」之用兵指導，國軍應於經常戰備時期做好戰場經營與各項備戰準備，戰機

稍縱即逝，切勿心存僥倖。

從俄烏戰爭烏軍運用亞速鋼鐵廠防禦工事遲滯俄軍攻勢，並藉基輔地區城鎮堅固建築設施部署兵力，有效保存有生戰力，亦緩衝俄軍部隊攻勢，成功為烏軍爭取作戰所需時間，均體現戰場經營及戰力防護重要性。城鎮作戰勢必是未來戰場趨勢，因應當前共軍中遠型導彈發展迅速，本研究參照敵軍可能對我最大威

脅，成功模擬出TNT重量150kg在地表爆炸後，衰減層衰減尖峰爆壓與深度關係，並提出衛戍地區不同地質條件衰減爆壓值參數，亦針對衛戍部隊於衛戍地區軍、民用重要關鍵設施地下結構體補強措施、兵火力部署重點及強化既有設施抗貫穿效能等相關建議，提出個人芻議，俾提升衛戍守備部隊於城鎮地區作戰決勝成功公算。

作者簡介

曾世傑

國防大學陸軍指揮參謀學院軍事理論組
上校專業教官

陸軍官校89年班

中正理工學院軍事工程研究所碩士

臺灣科技大學營建工程研究所博士

楊國鑫

國立臺灣大學土木工程學系教授兼國際
學院副院長

美國密西根大學安娜堡校區土木環境工
程碩士

美國德州大學奧斯汀校區土木建築環境
工程博士

蔡營寬

國防大學理工學院環境資訊及工程學系
上校副教授兼軍事工程組組長

中正理工學院92年班

中山大學海洋環境及工程學系碩士95年班

美國佛羅里達大學結構工程博士104年班

溫茂亨

國防大學陸軍指揮參謀學院少校學員

工訓中心正規班105年班

陸軍官校100年班