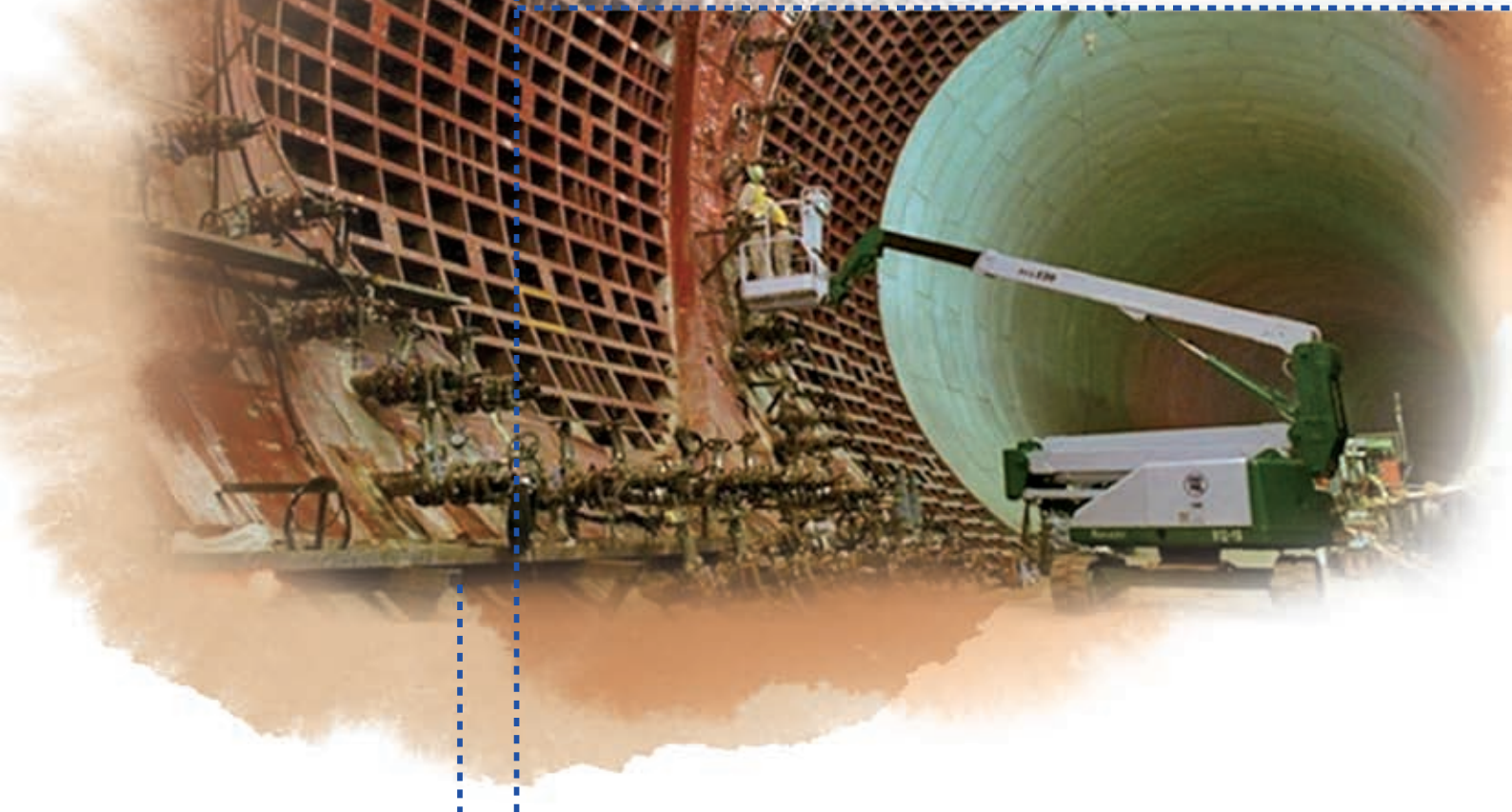
大斷面潛盾隧道應用探討

關鍵詞：公路隧道、鐵路隧道、潛盾車站、鑽掘車站、排洪、排水道、大斷面、潛盾、隧道

國立交通大學／土木系／教授／方永壽 ❶
台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／計畫工程師／邱志榮 ❷
台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／計畫經理／林摩西 ❸
台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／業務經理／李魁士 ❹



摘 要 ABSTRACT

隨著都會區的高度發展與工程技術之演進，大斷面潛盾隧道成為解決都會空間不足之有效對策。藉由蒐集各國大斷面隧道運用，如日本東京地鐵雙軌列車隧道、西班牙巴賽隆納捷運隧道、中國上海長江公路隧道、日本首都圈外郭放水路排水隧道等相關實績，回顧並展望臺灣大斷面潛盾隧道需求，進一步評析大斷面潛盾隧道之設計與施工技術及在臺灣執行之可行性。

壹、前言

臺灣自1975年引入潛盾隧道技術發展迄今，已能克服地表淺層之一般性課題。然而隨著都市高密度發展，並因應潛盾穿越市區已密佈設施之道路下方、無直井用地條件，產生大斷面隧道運用之需求。為減低對交通及環境之衝擊，避開路線中既存之各種箱涵、橋梁基礎、維生管道及鐵、公路隧道等，國際上採取大斷面潛盾隧道工法已漸成趨勢，除了將使新設隧道愈趨加深外，大斷面潛盾隧道可併納共同管道、捷運、地鐵、車站或蓄排水隧道等，兼而可縮短工期、減少用地、降低交通衝擊及工程費。

貳、大斷面潛盾隧道發展與實績

大斷面潛盾主要緣起於1980年代直徑約9m之雙軌列車隧道，兼而運用於公路、水道等並漸次發展至17m等級(圖1)。直徑在9m以上之隧道可被歸類為大斷面，用以區別以往6m直徑潛盾隧道。至今在日本、歐美及中國大陸共計已完成200件以上之工程實績，主要施工廠商超過30家以上，大尺寸潛盾機製造商有5家以上，技術上已是相當成熟之工法。茲就公路、鐵路、水道等運用說明如後。

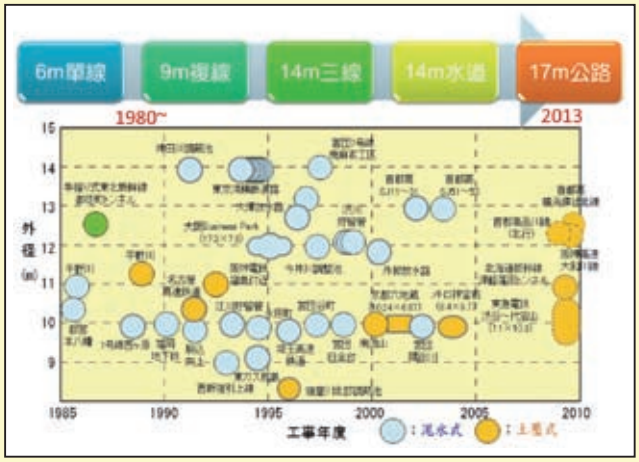


圖1 日本大斷面潛盾案演進歷程

一、鐵路隧道運用

大斷面潛盾隧道常運用於鐵道、捷運，諸如日本常盤新線及東京地鐵雙軌列車潛盾隧道，外徑約10m(圖2)。另都會區中，為滿足車站月台空間需求以停靠列車供旅客銜接車站出入口，並提供列車停駐與管道空間，日本東京臨海副都心線大井町站，即以外徑10.1m潛盾機分別施築上、下疊置之列車與月台隧道，並利用連通道與車站出入口銜接(圖3)。

荷蘭綠心高鐵隧道外徑14.87m(圖4)。西班

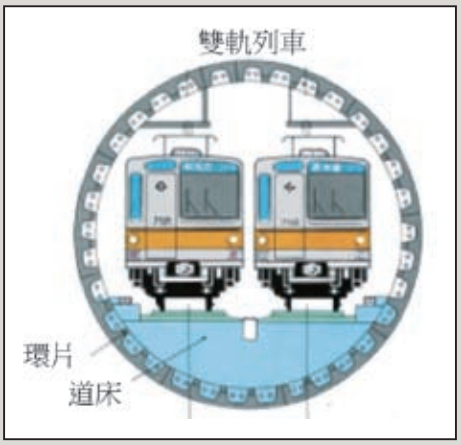


圖2 東京地鐵雙軌列車潛盾隧道

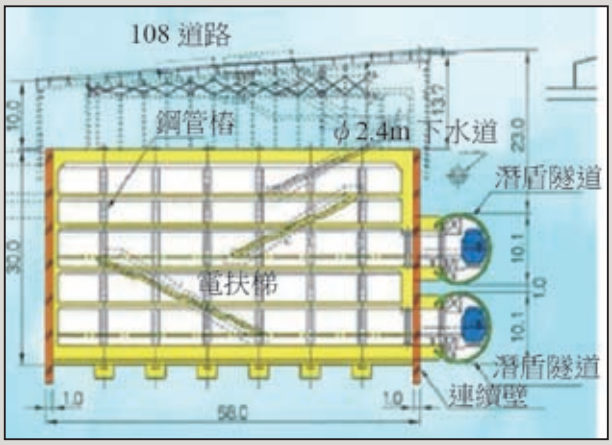


圖3 日本臨海副都心線大井町車站

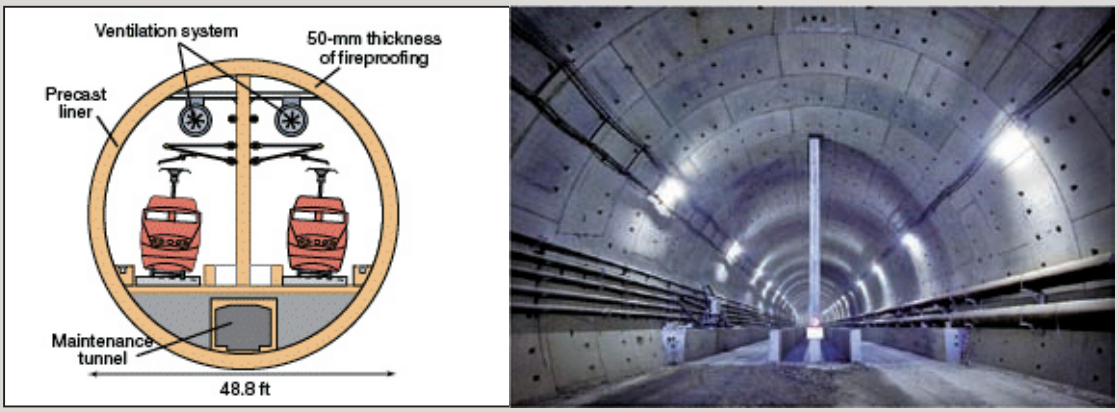


圖4 荷蘭綠心隧道斷面示意圖

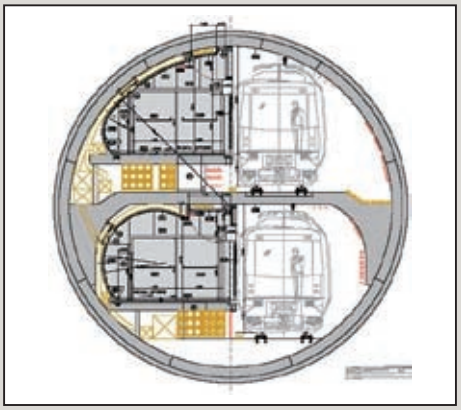


圖5 西班牙巴塞隆納9號線月台與軌道

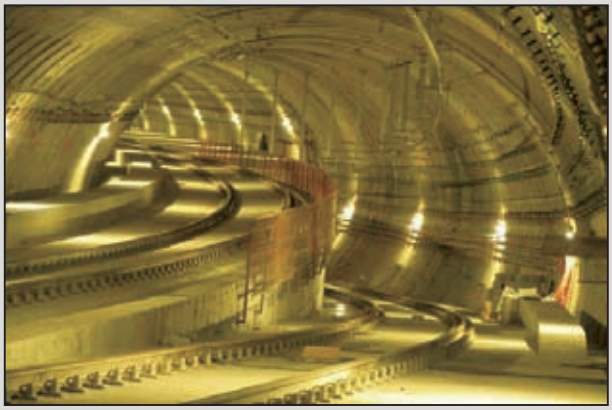


圖6 西班牙巴塞隆納9號線隧道內軌道水平變換垂直配置

圖7 日本東京灣橫斷道路川崎隧道

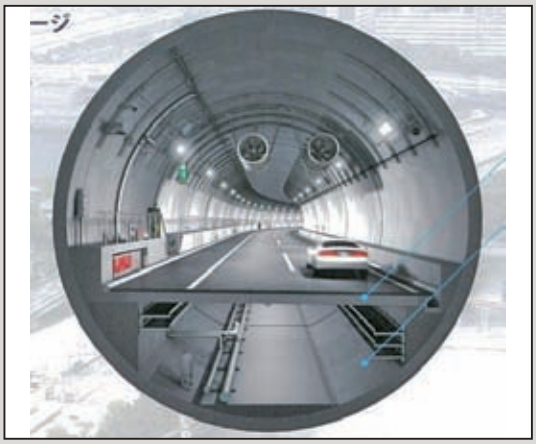


圖8 日本東京首都高速公路中央環狀品川線

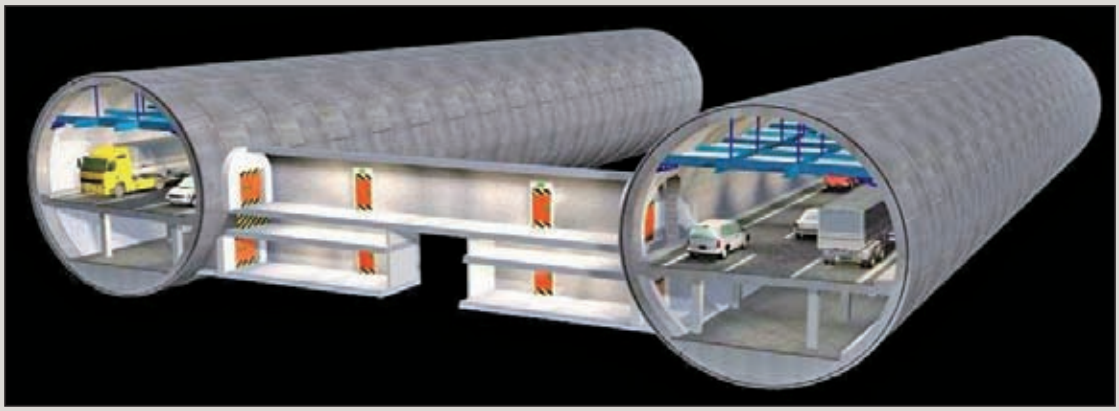


圖9 西班牙馬德里M-30 Ring Road隧道斷面示意圖

牙巴塞隆納9號線捷運，以外徑11.95m潛盾施築月台與軌道(圖5)，隧道內軌道可依運轉需求由水平變換為上下疊置配置(圖6)。

二、公路隧道運用

日本、中國大陸、歐洲及美國之公路為避免影響現有地面交通，或為穿越河川、海底、都會區等，常以大斷面潛盾隧道施築。日本東京灣橫斷道路1994年啟始14.14m大斷面潛盾穿越海灣實績(圖7)，近年日本東京首都高速公路-中央環狀品川線亦採用12.55m隧道(圖8)。西班牙馬德里M-30環狀公路Ring Road外徑15.2m隧道(圖9)。法國巴黎SOCATOP A86 Paris East外徑為11.565m隧道(圖10)。美國華盛頓州西雅圖市SR99 Bored Tunnel Project外徑17.07m隧道

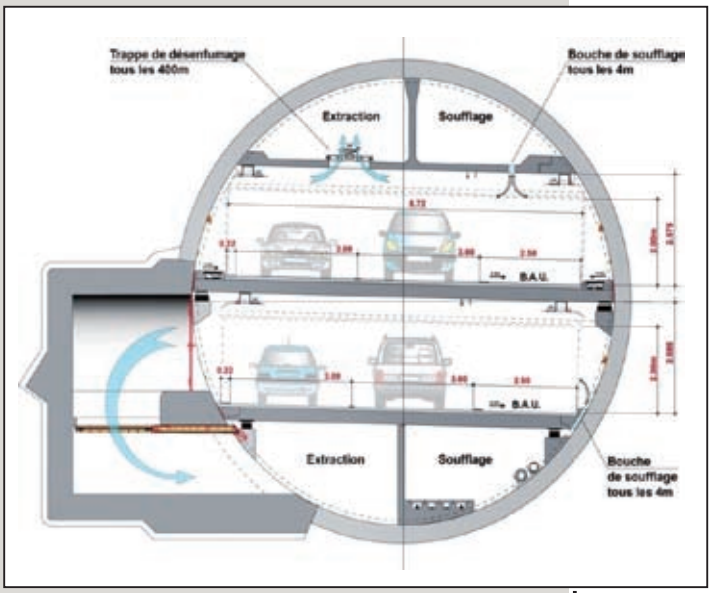


圖10 法國巴黎SOCATOP A86 Paris East隧道斷面示意圖

(圖11)是迄今最大斷面。近年中國大陸上海、南京等地，分別有上海長江隧道、中路越江隧道、南京長江隧道等穿越長江及黃浦江，其隧道外徑分別為15.43m、14.87m及14.93m(圖12～14)。

日本東京首都高速道路之中央環狀新宿線自2003年起以外徑12.5m～13m之潛盾隧道(單向2車道及1個避難通路)於都會中興建高速道路，隧道側面須大範圍開口以連結交流道是其特色(圖15)。

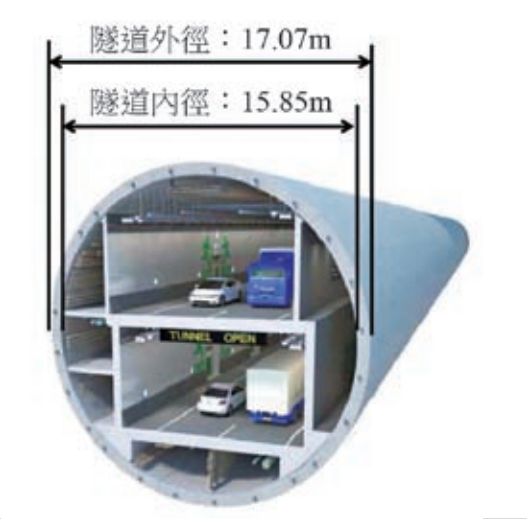


圖11 美國西雅圖市SR99 Bored Tunnel Project隧道斷面圖

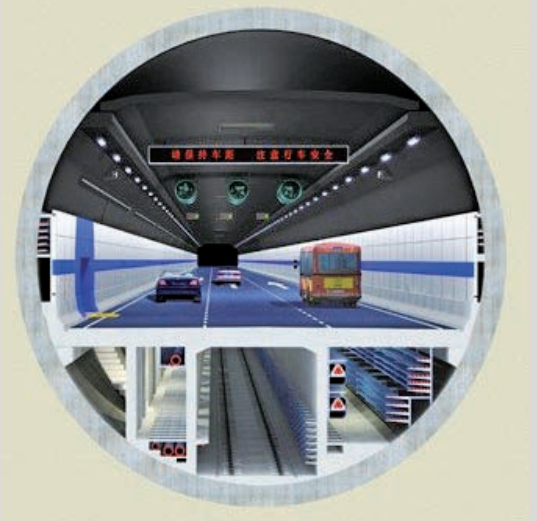


圖12 中國上海長江隧道斷面示意圖

圖13 中國上海中路越江隧道斷面示意圖

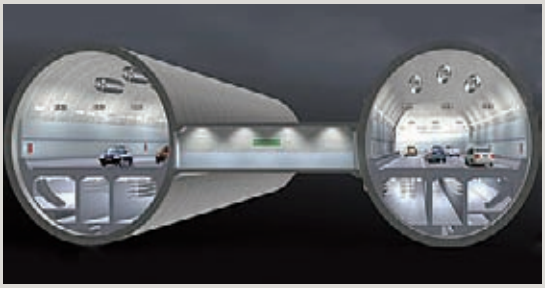


圖14 中國南京長江隧道斷面示意圖

圖15 日本中央環狀新宿線側開之交流道

三、排水隧道運用

日本是少數運用大斷面潛盾於排水、蓄水及防洪調節等功能之地區，1997年東京首都圈外郭放水路，以外徑為12.04m潛盾隧道構築長度為6,300m之疏排洪水道(圖16)；2012年東京都勝島下水道，以外徑10.1m潛盾隧道興建長度為980m之疏洪水道(圖17)；位於滋賀縣琵琶湖之大津放水路，以外徑12.4m潛盾隧道構築長度1,783m之疏洪水道(圖18)，皆是排水隧道採大斷面潛盾之應用實例。

圖16 日本首都圈外郭放水路隧道

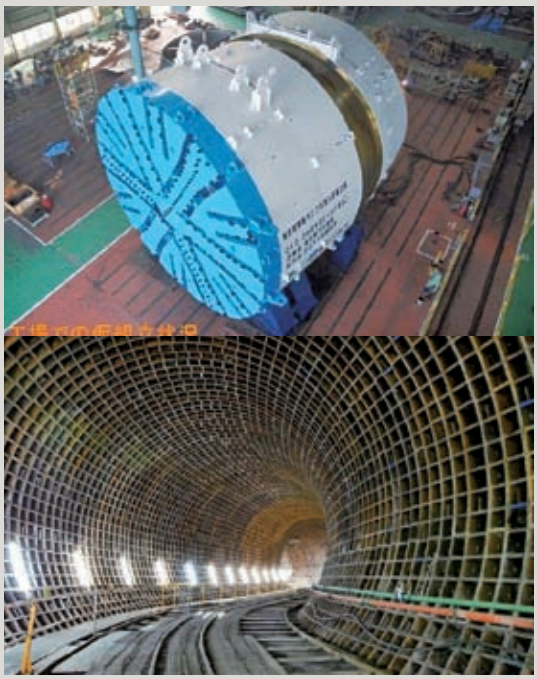


圖17 日本東京都勝島下水道∮10.1m, R=30m

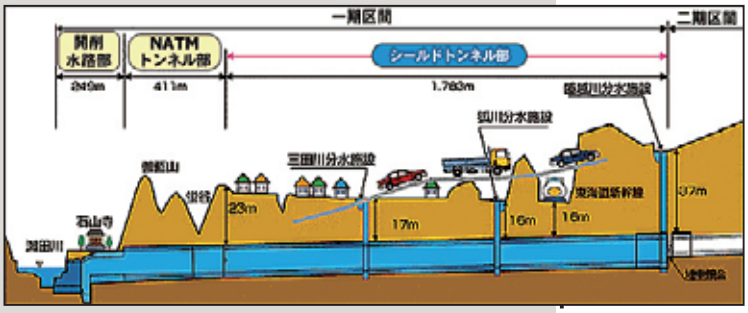


圖18 日本滋賀縣琵琶湖之大津放水路

圖19 台電龍門計畫潛盾機外徑8.28m

參、臺灣大斷面潛盾隧道需求演進

迄至2014年止，台灣最大潛盾隧道斷面為2003年之台電核四龍門放流管計畫之外徑8.28m潛盾隧道(圖19)。

2001年桃園國際機場捷運線採BOT執行時，曾檢討於三重至臺北車站區段採單孔直徑約10m之潛盾隧道以容納雙軌列車，然於收回臺北市政府捷運工程局辦理後，於2006年經檢討採6.42m×11.62m眼鏡型DOT潛盾工法辦理(圖20)，於2009年起施工至2011年完成。

2007年高雄鐵路地下化工程之鼓山站至三塊厝站地下段，曾檢討以外徑11.8m單孔雙軌潛盾隧道穿越愛河，以化解施工對河道之衝擊影響(圖21)。採用潛盾工法可免設鐵路臨時軌及臨時鐵路橋，亦避免影響地面交通及管線遷移，且可保存原有之愛河鐵路橋，施工期間不影響通水斷面，無水位壅升之問題，可縮短工期並

圖20 桃園國際機場捷運過河段採DOT雙圓潛盾施作

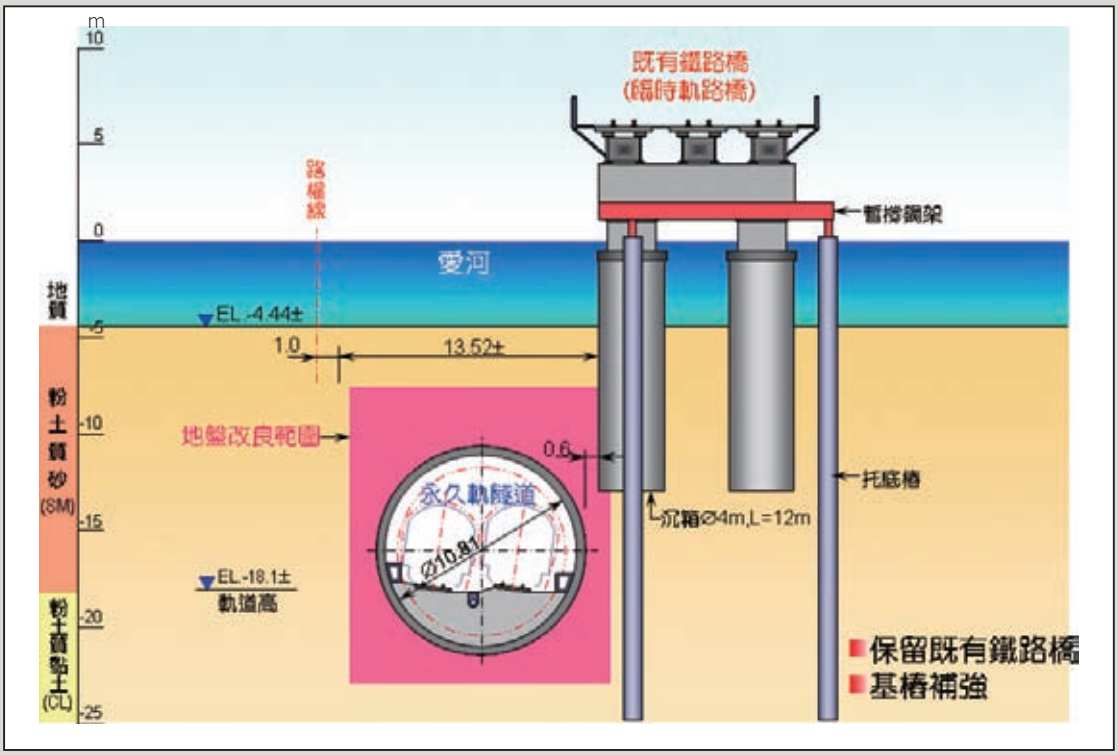


圖21 單孔雙軌潛盾隧道穿過高雄愛河段示意圖(建議案)

具相當之經濟性，惟後續因故仍採四階段圍堰明挖工法進行河道版施工。

2010年臺南鐵路地下化工程，於衛民街至林森站、林森站至南臺南站地下段，曾檢討以外徑7.5m×13.5m眼鏡型DOT潛盾工法辦理(圖22)，以降低施工對周遭環境之衝擊影響、減少交通維持及管線遷移等施工界面。惟因配合潛盾工作井施工需增設臨時軌工程，並考量機電設備佈設空間動線及鐵路地下化沿線鄰近建物之禁限建問題，最後仍採明挖覆蓋工法進行設計。

2012年臺北捷運萬大線參酌西班牙巴塞隆納9號線案例，採潛盾車站對策避開文化遺址與巨型排水箱涵障礙，車站月台設施與出入機能配置如圖23，並由乘客、地方居民及管理者之角度，檢視國內目前之技術基礎與規範下，潛盾車站方案具備多項優越性，然亦因故仍採傳統明挖覆蓋工法設計。

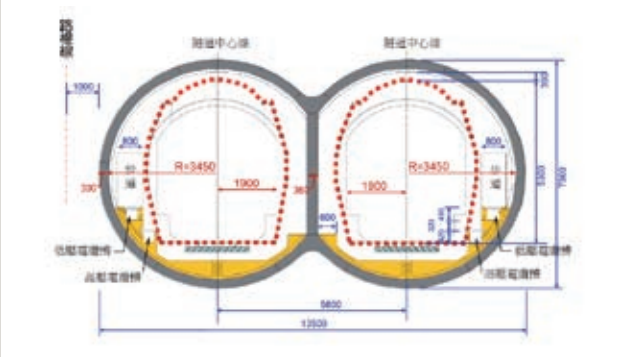


圖22 臺南鐵路地下化雙圓潛盾(檢討案)

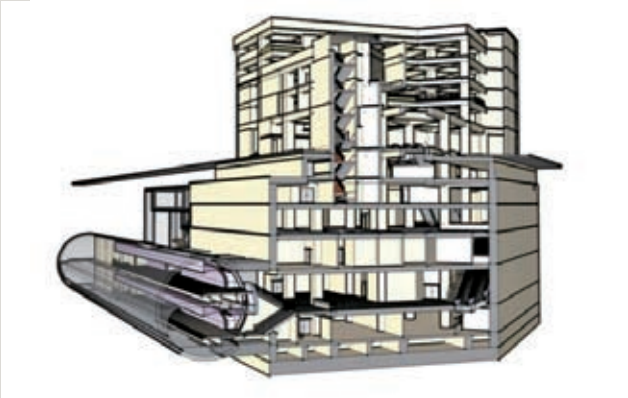


圖23 臺北捷運萬大線大斷面潛盾車站示意(檢討案)

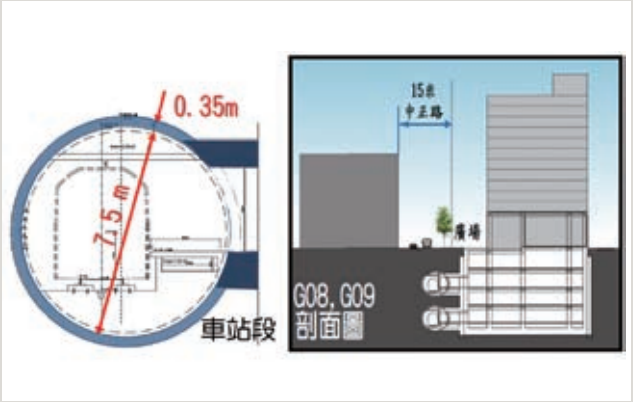


圖24 桃園捷運雙疊圓潛盾車站構想

2013年桃園捷運綠線因道路寬度不足，參考日本東京臨海副都心線大井町站案例，研擬潛盾車站之構想如圖24，目前該方案仍待觀察其後續之發展。

肆、臺灣大斷面潛盾隧道設計與施工探討

國際上大斷面潛盾隧道施工技術已然成熟，有經驗的施工廠商也不少，另初步檢視國內大斷面潛盾機製造、環片、與施工各條件皆已達可擴張、精進執行之環境。

一、潛盾機採購：具備大斷面潛盾製造實績廠商，在日本、歐洲等地有5家以上製造商可供採購。

二、環片製作與設計：國內雪山隧道TBM曾採用直徑12.5m環片。此外，臺商在大陸之環片製造廠已供應上海、杭州隧道11.5m環片(圖25)，並供應義大利15m環片鋼模，技術嫻熟。考量運輸性以外徑13m隧道為例，可採厚度約50cm、寬度2m之環片，則可分割一片環片荷重約10噸，方便運輸。只要臺灣有大斷面潛盾案件，既有環片廠經適當擴充即具備生產大型環片能力。另因環片厚度大，可採多道環片止水措施，也有利於提升隧道止水性能。

圖25 中國大陸臺商製作之大斷面預鑄混凝土環片

三、自動化施工：大斷面隧道環片單元較重，且每環單元數量多，採快速接頭施築除可加速工進外，亦可提升工安。目前台電大林～高港潛盾洞道之環片已有採用快速接頭設計與施工實績(圖26)可供參引。

圖26 台電大林～高港潛盾快速接頭環片施工

四、開挖面穩定：在軟弱地層及高水壓下進行大斷面潛盾，須檢討開挖面穩定及避免損鄰問題，國內迄今已累積諸多土壓式與泥水式潛盾機技術經驗與基礎，可穩定隧道施工之開挖面。大斷面隧道採同步背填灌漿控制地盤沉陷量具經濟性，且較明挖覆蓋工法沉陷量小，可有效保護鄰房。潛盾出碴、搬運等施工計畫與風險管理等，國內外均有具體實績可供參考。

五、破鏡施工：大斷面潛盾機因口徑大，鏡面可採兩道止水封圈因應高水壓。除一般之灌漿地盤改良穩定鏡面外，亦可考量採用可削式鏡面工法。國內目前已有多件大深度地盤改良及可削式鏡面工法案例經驗，可直接應用於未來大斷面隧道之破鏡施工。

伍、結語

都會區工程推動常遭遇用地問題及複雜近鄰施工問題，由於主要幹道之地下相對淺層位置通常已被各式各樣的大型維生管線或地下結構物佔滿，後續的地下結構物，如大型維生管線、捷運隧道、交會站等，漸往深層、大斷面發展，以求在既有道路下方用地內容納所需設施，並可解決明挖覆蓋工法面臨之課題、減少用地限制及提高路線規劃自由度。回顧並展望國內潛盾技術之發展歷程，現今之大斷面潛盾技術已足以運用於鐵、公路、共同管道及捷運等隧道。

參考文獻

1. 中華民國隧道協會“大斷面潛盾隧道技術與應用”台灣世曦工程顧問股份有限公司研發計畫成果報告，2012。
2. 朱旭、李魁士、何泰源、石原金洋“潛盾隧道新技術之發展與應用”中華技術第77期，2008。
3. 東京灣横斷道路株式会社“東京灣横斷道路超大口径泥水式シールドの施工”土木クォータリー，Vol. 113。
4. 日本首都高速道路公團株式会社東京建設局“中央環狀線品川線工程簡介”型錄。
5. 日本首都高速道路株式会社東京建設局“首都高速中央環状新宿線一大橋シールドトンネル工事”施工記錄，5, 2010，土木クォータリー，Vol. 166。
6. 日本首都高速道路株式会社東京建設局“首都高速中央環状新宿線大橋トンネル工事”型錄。
7. 日本首都高速道路株式会社東京建設局“大斷面潛盾都市長距離挑戰--首都高速中央環状新宿線代代木潛盾工程簡介”型錄。
8. 東京都“中央環狀品川線大井地區隧道工程--URUP工法(Ultra Rapid UnderPass Method)”型錄。
9. 日本下水道事業團“大斷面シールドによる急曲線下水道潛盾工事”型錄。
10. 建設省關東地方建設局“首都圈外郭放水路新設工事“工程簡介型錄。
11. 今井川地下調節池建設所“中今井川地下調節池建設工事”技術資料。
12. 日本鐵道建設公團“臨海大井町站其他工事”技術資料。
13. 日本潛盾工法技術協會，「建設研修」資料，2003、2004、2005、2006。
14. 美國華盛頓州交通局“Alaskan Way Viaduct-SR 99 Bored Tunnel Design Build Project”。
15. http://www.jrtt.go.jp網頁。
16. http://www.railway-technology.com網頁。
17. http://www.e-nexco.co.jp網頁。
18. http://www.ctm-madrid.es網頁。
19. http://www.roadtraffic-technology.com網頁。
20. http://www.stec.net網頁。