

回歸科學、理性討論交椅洲人工島

《卜國明工程師 - 香港工程師學會會長》

香港工程師學會一直以推動香港的工程師，以專業、創新、全心全意態度，為市民提供優質工程服務及提升工程師形象為己任，並要「說好工程故事」，為社會提供專業、科學、客觀、不偏不倚的工程知識。

學會留意到近期坊間有個別人士就着政府擬議的《交椅洲人工島計劃》發表不正確、不科學的訊息；為鼓勵社會回歸科學、理性討論相關事宜，特借貴報一角發表意見。

填海造地風險

填海在香港，包括近岸填海及人工島填海，並不是新事物，香港工程師擁有豐富填海經驗。香港有近 7,000 公頃發展土地是從填海得來的（見附圖 A）。包括大家熟悉的大部份新市鎮（如沙田、大埔、將軍澳），很大部份的九龍及港島北，以至差不多整個赤鱘角新機場及迪士尼等。近十年也有約 1,000 公頃的新填海土地（機場三跑、港珠澳大橋香港口岸人工島、東涌東），均是在妥善控制工程成本和質素的情況下完成填海。

填海造地最大的工程技術風險是處理填海區的沉降及海堤的穩定性。

1 填海區的沉降

在物理定律上所有物件（結構物）在受荷載重力情況下，都會「移動」deform，移動才能承受荷載的重力。大家只要做一個簡單實驗，拿一把塑膠間尺，頭尾支撐，中間先後分別承載一塊擦子膠及一個手提電話，間尺中間下墜的幅度會是不同的。一般大廈、橋樑的樁柱及橫樑，在荷載情況下，也會輕微移動，只是很多時肉眼看不見。重點是產生的「移動」是否屬設計預期之內。

在沉降方面，香港海床一般都存在一層厚厚的「淤泥」或稱海相黏土（Marine Clay/Mud）。淤泥有一個特性就是含水份高，在含水的狀態下是不能承受重力的，會「唧嚟唧去」；市民去過泥灘一定玩過「淤泥」。但若能把水份排走，固結（consolidated）的淤泥就會變得堅硬，可以承受

重力。只可惜，淤泥的「滲透性」(permeability) 很低，在沒有特別協助的情況下，淤泥中水份排走可能是要經過幾十年的時間。因此以往填海很多時就是把海底的淤泥挖掉，運往淤泥坑傾倒，再買回砂料回填挖走的坑，才在原海床上面填海。這方法不甚環保，所費不少。

後期填海工程為環保理由，主填海部份採用不浚挖淤泥，改以打排水帶 (band drain) 加預壓荷載 (preloading Surcharge) 來加速淤泥中的水份經排水帶排出，從而做到原地固結。但厚厚的淤泥，在排出水份後，體積會大量縮小；20 米厚的淤泥，固結後體積可以減少六至八米，這個就是大家認知的「沉降」。因此工程師是要在填海工程建造期間，完成這部份主固結 (Primary consolidation)。但淤泥再有一個特性就是總會有少量的「剩餘沉降」Residual settlement，是可能要經過 4、50 年才完全完成的，儘管大部份剩餘沉降在主固結達到後的兩至三年內出現 (首兩三年一般仍會是地盤範圍，進行上蓋地基、基建或公共設施鋪設等工序)。因此在所有填海工程 (及其上蓋或基建發展的工程)，工程師一般都會在設計上預計有 300 毫米至 500 毫米的剩餘沉降，在填海工程「完成」後未來發生。

總的來說，填海工程在建築期間出現設計預期的沉降或移動，是正常的。

2 海堤穩定性

海堤是一個厚厚的「擋土牆」，頂着主填海重量引致的龐大橫向壓力。因此它的穩定性 (Stability) 是很重要。

2010 年前香港所有填海海堤部份下的淤泥均全部被挖走傾倒，為的就是確保穩定性。但港珠澳大橋香港口岸人工島的工程師便為了要更進一步保護環境、海洋生態，在參考世界其他地方的經驗後，引進了全港首創的「全不浚挖填海方法」。方案是把 32 米直徑 (大約一條四線分隔行車道兩邊加起來的闊度) 約 30 米高 (10 層樓) 的大鐵桶打進海床，插穿約 20 多米厚淤泥層，直達沖積層約五米。然後把這些大鐵桶緊扣起來，並中間回填物料，造成圍堰或穩固的「臨時」海堤，隨後進行主填海。全不浚挖方案可額外省回挖走、傾倒 2,200 萬立方米的淤泥 (約 9,600 個標準泳池容量)，約同量的砂料回填物及減少約半的工程期間水中懸浮粒子及運輸要求，大大減少天然資源消耗，改善水質，減低碳排放。

如上所述，當主填海的巨大重量引致的橫向壓力下，大圓筒上部必然會出現橫向移動，才能承受那巨大的橫向壓力。但由於底部牢牢插入沖積層，並沒有出現移動。同樣，這些只是施工期間的移動，且是設計上預期的，因此屬於正常。但由於有個別圓筒頂部出現比設計上有較大的移動才穩定下來，被坊間誤稱為「人工島飄移」。如**附圖 B**所示，大圓桶只是整個海堤設計的一個「臨時圍堰」，當建造期間因固結過程而引致的移動都穩定下來，永久斜面海堤的堆石及作為定界的蓋頂 seawall coping 才按設計測量圖標建成，整個填海才算完成；沒有所謂「出界」的情況。隨後的上蓋工程等亦順利完成通車。

而機場三跑道系統、東涌東和綜合廢物管理設施第 1 期項目（即石鼓洲焚化爐）的填海工程，則採用「深層水泥拌合法」（Deep Cement Mixing）去加固海堤下的淤泥，形成地基，在處理海堤穩定性和沉降方面效果良好；在部份主填海使用，更有助縮短造地時間以盡早開展樓宇建築及基建工程。

總的說來「人工島飄移」一詞，只是當時坊間一些形容詞，從未發生。

3 日本關西機場數十年沉降的情況會否在香港發生？

日本關西機場位處的海域，其海床以下的表土沉積物厚度接近 400 米（註：香港中部水域的淤泥層平均厚約 20 米、沖積層 (Alluvium) 厚約 30 米，即表土沉積物厚度約 50 米）。關西機場位處地帶長期受板塊活動影響，地質結構複雜，特厚的沉積層由多層相互交替的淤泥層及砂土組成，令其固結系數 (Coefficient of consolidation) 遠高於香港常見的沉積層，在受壓下會產生大幅沉降。加上關西機場海域水深達 20 米（香港中部水域水深平均約 8 米），大量填海物料對機場下海床造成龐大壓力。自關西機場在 1987 年開始施工至今累積沉降已接近 14 米，從 1994 年完工後也沉降接近 4 米，現時每年的沉降幅度仍有約 6 厘米。

由於地質結構上基本不同，因此兩者不可相提並論。

水位上升，全球暖化

「全球暖化，水位上升」確是全人類應該共同面對的問題。每位市民，不論在哪個國家、地方，也應身體力行，盡量協助減排，使碳達峯、碳中和能夠盡快實現。

但我們也不應過於杞人憂天，為擔心幾百至一千年後水位上升的可能情況來作為反對填海的說項。市民其實可以簡單想一想，若出現如坊間所說幾百、1000 年後的水位上升，整個香港、全球的情境會是什麼樣？事實上除致力減排外，世界上現在不少地方，包括發達國家，均在以填海，或正在研究以填海來應對水位上升的威脅（例如紐約市受過 Sandy 颱風襲擊後，研究以填海將海岸線推出並提高土地平整水平，或在海岸位置後面的合適地點加設擋水設施，從而保護內陸已發展的較低窪地區；荷蘭、丹麥亦有類似計劃）。

1 沿岸災害的分析和預測

然而工程師又應該怎樣設計人工島填海來應對這氣候變化帶來的可見風險？如附圖 C所示，沿岸受海浪風暴潮等威脅是可以預計的。

在香港，今天的平均海平面水平（即 A 線）是 1.3mPD。工程師及天文科學家等，在根據過往天文記錄，包括天文大潮及超級颱風如山竹等，在考慮百年一遇的風暴吹襲下，維港內由風暴潮引致的水位（參考鰂魚涌潮汐站）會有機會上升至約+3.9mPD (B 線) 即上升約 2.6 米。

全球暖化會有兩個方面對海面的影響：-

- a. 由於全球溫度提升，部份海洋冰架溶化引致海平面整體上升 (Sea Level Rise)。政府相關部門是在按設計標準及參考聯合國政府間氣候變化專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 的評估報告，採用電腦模型分析預測，在中濃度溫室氣體排放情景 (或然率超過 90%) 下，至 2100 年海平面整體上升會是約 0.6 米，即約+4.5mPD (C 線)。
- b. 全球暖化會引致海水溫度提升，因此未來的風暴可能會是更加威力強大，因此，在颱風吹襲香港時，會引致「額外」的風暴潮 (即 D 線)。在考慮「新的」百年一遇風暴吹襲下，政府的估算是水位會額外上升約 0.2 米。因此，總體而言，科學估算至本世紀末，香港最大可能性遇到的情況是在遇見「新」超級颶風的情況時，在維港內沿岸水位會上升至約+4.7mPD。

2 循序漸進的策略

然而，工程師不會止於此。在所有設計上都會預留空間 **buffer** 或安全系數 **Factor of Safety**，以應對超預期的情況出現。另外，更會計算風暴吹襲時所產生的海浪以設計海堤的高度及海浪防禦設施。因此工程師會在海堤預留一些空間，在頂着波浪及越堤浪等的影響之餘，更可兼顧全球暖化下的「萬一」出現高濃度溫室氣體排放情景。這個就是考慮到氣候變化會有不確定性(例如世界各國承諾採取減碳行動)，所以工程師建議採用循序漸進的策略 (**Progressive Adaptive Approach**) 訂定沿岸基礎設施的初步計劃。

在這策略下，在設計時預留一些彈性，又稱「應變設計容量」(**design allowance**)，日後可以按實際需要優化沿岸基礎設施，例如提升擋浪牆的高度。這就是附圖 C 中的 E 線，在加入約 0.5 米的「應變設計容量」，高度將約為 5.2mPD。這個設計高度可以在第一天設計人工島時一併做，但亦可以在擋浪牆基座預留承載力，將來才提升。這策略具有足夠的靈活性和適應性，可以按未來實際氣候變化的趨勢而適時進一步提升人工島應對氣候變化的能力。

3 海堤設計

另外海堤(利用斜面堆石或放置弱波石)及擋浪牆的不同設計(如反射式)更可有效吸收海浪能量，減低越堤浪的威脅；亦可盡量利用潮間帶興建生態海岸線，以增加生物多樣性。沿岸更可設計能融合緩跑單車步行的約 20 米闊休閒徑，作為面對未來極端天氣的緩衝區。

環境生態影響/水質影響

坊間有質疑不浚挖式填海好，浚挖式填海好，填海就是不環保。從來發展與保育或環保都是需要平衡，不能倚重一方。難道發展新界就沒有環保問題，沒有濕地、雀鳥要保育嗎？香港環境影響評估條例對所有環境影響課題，如水質、生態、空氣、噪音、廢物管理等是有嚴格規定要求。若人工島填海滿足不了環評條例下的技術備忘錄 **Technical Memorandum**，並獲環境諮詢委員會接納相關環評報告，環保署署長是不會發出環境許可證的。據筆者認識，中部水域並非生態環境敏感區，

亦非海豚出沒地。

坊間有質疑政府現建議的深層水泥拌合法(或口岸人工島的大圓筒方案)也會攪動起海床的淤泥，影響水質，整死石珊瑚。只要相關人士曾有機會往參觀真正填海工程的進行，特別是「全不浚挖」的，便會發現進行工程的海域均會進行緩解對水質影響的措施，包括在海床鋪設砂墊層(sand blanket)和架設隔泥幕(silt curtain)，確保攪拌工序(或打圓筒工序)所揚起的水中懸浮粒子不會漂出施工範圍外；且要定期在環保署指定的位置進行採集水樣本化驗，確保附近海洋生態環境不受影響。

Y型水道/近岸填海/熱島效應

無而，近岸填海是會比人工島填海便宜，因需興建的海堤長度較少；但社會對環境保育同樣重視。工程師的專業正好在保育與發展間如何取得平衡提出建議。由於在交椅洲沿岸發現有具生態價值的石珊瑚群落，因此政府最終決定採用人工島式填海，保留原有石珊瑚群落。世上是沒有免費午餐的，所有環境保護都會有金錢上成本。然而海堤只佔整個總成本的一部分，增長了的海堤應不會令總體成本增加得太多。

另外，每個填海計劃都要細心研究水流的影響。Y型水道的設計，正是要確保當地的水流在人工島興建後，仍能維持良好水質，並有足夠的流速，不會引致過度淤泥沉積。且Y型水道能為當區提供更優美的海濱環境及可進行適當的水上活動。約200米的水道加上兩旁約2、30米闊的緩跑休閒區，根據季候風向佈局能夠提供約250米闊的通風走廊，保持水流之餘，能有效為人工島上的民居提供良好的通風，降低熱島效應。

發展新界 vs 交椅洲人工島

坊間亦存在着一個說法，既然已建議發展北部都會區，且新界仍有很多空地(例如棕地)「未曾善用」，為何還進行填海？

事實上，香港長久以來都是地少人多，可供發展(除房屋外事實上還有其他用地需要)土地不足。這個政府已有交代，筆者無意為其解釋。但想提供數個資料給公眾參考。

(1)發展新界土地往往涉及收回一些私人土地。所需費用並不便宜

(註：第一級別農地(適用於發展用途所需土地) 補償金額為每呎 \$1,510；即一公頃土地收回成本需要約 1.5 億。這個補償金不比填海費用(約每公頃 1 億多) 便宜)。收回土地後，該土地仍要作清拆及相關土地平整的投資。

- (2) 大幅發展新界亦涉及可行性研究、環評及城規程序等，收地亦需經法律程序，並非即食麵。亦經常遇到反對、「不遷不拆」等訴求、或甚至法庭挑戰延誤。
- (3) 收回新界土地，只是左袋去右袋，香港並沒有新增可用土地。被收回的棕地上的作業(不少是有實際經濟價值，例如物流、倉庫)，亦需要找重置。
- (4) 新界發展區很多時受着地理環境因素，是會「三尖八角」，並不能作出有效率的城市規劃。

筆者曾參與新界發展項目研究及棕地開拓。所須程序及時間不比填海快，還記得政府於數年前，檢視全新界棕地狀況，並向立法會交代；合適發展的，已有計劃收回。亦曾在進行棕地發展時，遇着「不遷不拆」的反對，需經漫長時間(超過一年)才能實際收回土地發展。

因此在這為香港開發土地房屋問題上我們的立場是，支持多條腿走路 multi prong approach；不論填海、發展新界、及發展一小部份郊野公園邊陲地，適宜同步進行，以免耽誤時間。那個方案走得到，那個方案就是好方案，可為市民盡早提供土地。

填料供應

填海物料一般主要採用公眾填料、機製砂及海砂。本港每年平均約產生 1,500 萬公噸新增公眾填料，大部分經分類篩選後可直接運往作填海填料。篩選出來較大的石塊或混凝土塊只要作適當處理(壓碎)亦可用於填海。這些公眾填料過往曾用於口岸人工島、三跑工程、東涌東填海；效果良好，並不存在「只有少量壓碎後的填料」可供填海。過去在香港沒有足夠填海工程吸納時，剩餘的公眾填料更有運往台山處理。雖然交椅洲人工島約需 2、3 億噸的填料，但整個填海工程可能要超過 10 年才做完；因此公眾填料有機會佔整體填料所需的一半。另外，隨着陸續有大

型的土地平整及道路基建工程開展(例如：新界西堆填區擴建)，預計這些項目亦會產生大量泥土及砂石，估計未來會每年產生高於 1,500 萬噸。

然而根據過往經驗，個別填料的供應鏈在項目推展期間可能出現不確定性，所以我們建議政府尋求多重供應鏈，以緩解相關風險，包括透過從內地輸入機製砂或海砂，以補足需求。由於人工島的重要性，我們建議香港政府可向中央人民政府申請，將交椅洲人工島申請為國家重點工程項目，這有助從內地輸入填料的審批及物流速度。

城市規劃/CBD3/人工島變孤島？居民要長途跋涉上班？

在一個離香港島只約四至五公里，全新的 1,000 公頃新發展區，城市規劃的可塑性甚高。人工島除能提供土地增加房屋供應，還能發展成香港的第三個核心商業區，進一步提升香港經濟競爭力。

我們建議政府應盡量將人工島發展成就業機會自給自足、以碳中和營運為目標的智慧型藍綠海綿城市。區內居民跟上班、上課地點以採用「15 分鐘生活圈」概念來規劃設計，鼓勵居民綠色出行交通模式，如踩單車、步行等。構建一個集工作、居住及休閒娛樂的核心商業區，創造宜居社區。另外，交椅洲位處之新增土地能提供調遷空間，支援香港島和九龍舊區重建所引起的連鎖搬遷流動。

在交通連接上，人工島設計有策略性的鐵路及高流量幹道，分別連接香港島及大嶼山(再連接新界西北)。因此並不會引致額外的「安保風險」。青衣島、大嶼山及我們的國際機場，也是在一個島上，難道沒有「安保」的擔心嗎？「安保」是要關心的，但亦不應因噎廢食。

成本/掏空庫房/超支

坊間質疑政府刻意調低成本預測，以搏取市民支持，為日後超支埋下炸彈。另外亦擔心 5,800 億(2022 年 9 月價格)工程埋單(以 Money of the Day 計算)會過萬億，掏空庫房。

局外人的確很難知道政府實際估算的細節。但專業工程師為工程做預算

時是會以專業態度務求作出最準確造價估算，再加上可能出現的合理風險所引致的額外應急費用，不作大(以免不必要鎖住資金)也不作小(自找麻煩?)。但若工程進行時真的出現超出估計的風險，引致超支，政府/工程師是要向公眾解釋原因的，屆時公眾可詳細分析其理據。另外，根據近十年記錄，在 5、600 項工務工程中，只有約 5% 項目有超支；而該 5、600 項工程總費用實際支出是已獲立法會總批核預算的約 90%。整體成本控制不差。

至於「掏空庫房」，交椅洲人工島是一個橫跨 20 年的發展項目，因此每年為庫房增加的開支應該是平均 3、400 億左右。在現今一個擁有超過 7,000 億財政儲備，負債不多，每年收入與支出在 7,000 億以上的政府，為長遠發展，每年額外增加 3、400 億，是應該可以應付的。政府當年搬遷啟德機場往赤鱸角時，社會同樣有「掏空庫房」的猜疑；如今證明，當年投資是值得的。就如何減輕對庫房的壓力，我們建議政府可積極考慮為交椅洲人工島發展項目發債。

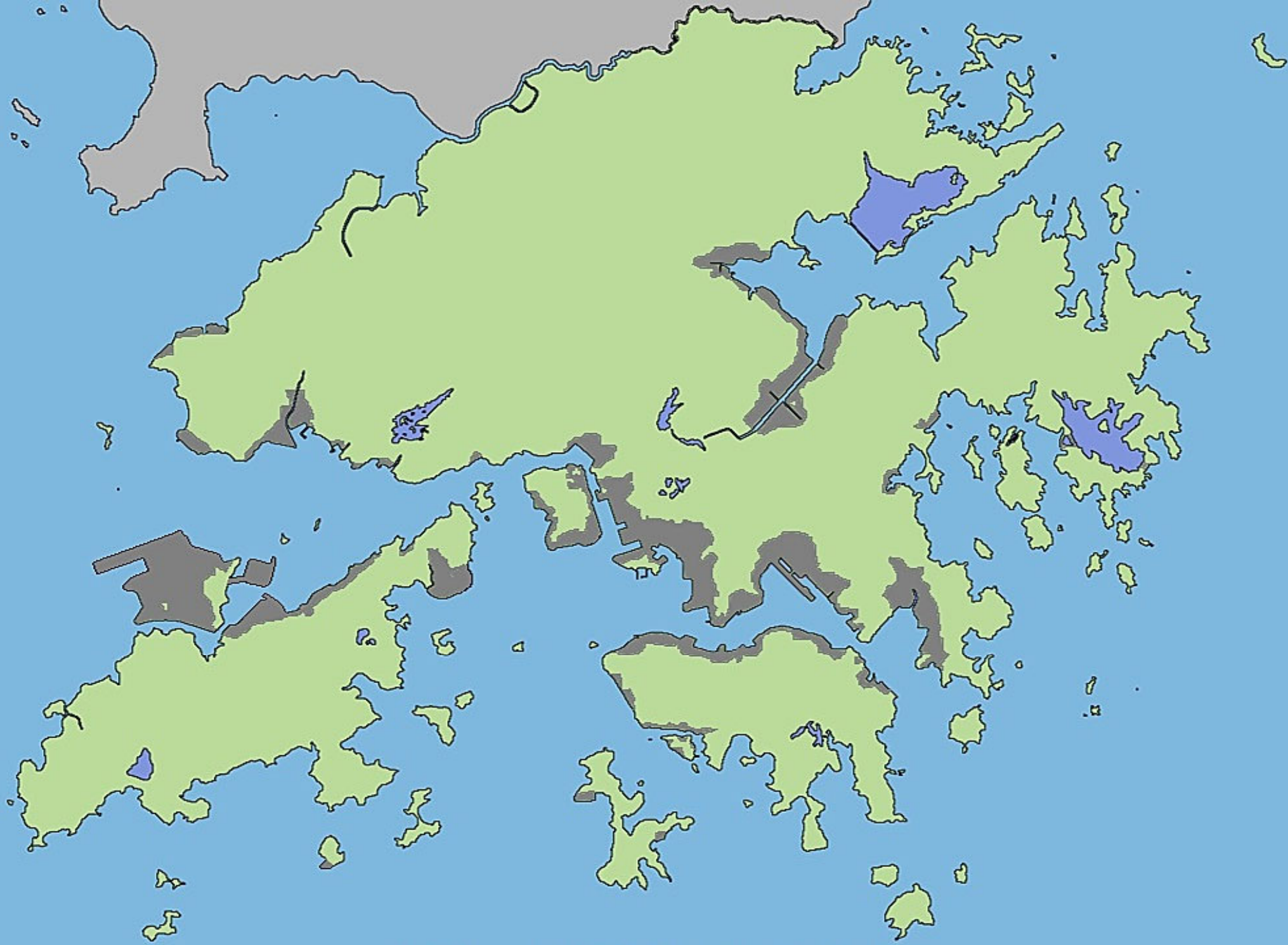
另外有一點觀察，就是在 5,800 億估算中，可以分開兩部份，分別是填海部份及陸上基建、交通與公共設施部份。後者(約佔總費用的七成)的費用其實在香港境內任何地方若要建設一個 50 至 55 萬人口的新發展區也是需要相關開支的。而前者填海部份的費用，則跟如果全 1,000 公頃都要在新界進行收回私人土地的特惠賠償費用(約 1,510¹億)有點相近。大家還須留意，在收回土地後仍要花錢作土地平整。我們亦建議社會應看待土地開發、基建工程都是一個為社會未來發展的投資項目，為發展創造容量，為未來作好準備，改善市民生活空間。為香港長遠發展考慮，我們應該建立足夠的土地庫 Land Bank，亦應該檢討及制定一個每位市民的最少平均居住面積，讓香港市民「住好啲」。

總結

發展交椅洲人工島是一個重要的社會發展項目，在一個多元化的香港社會，多元聲音是重要及值得尊重的。但我們鼓勵市民在發表意見時，應以科學客觀態度來作分析及評論人工島的事宜。

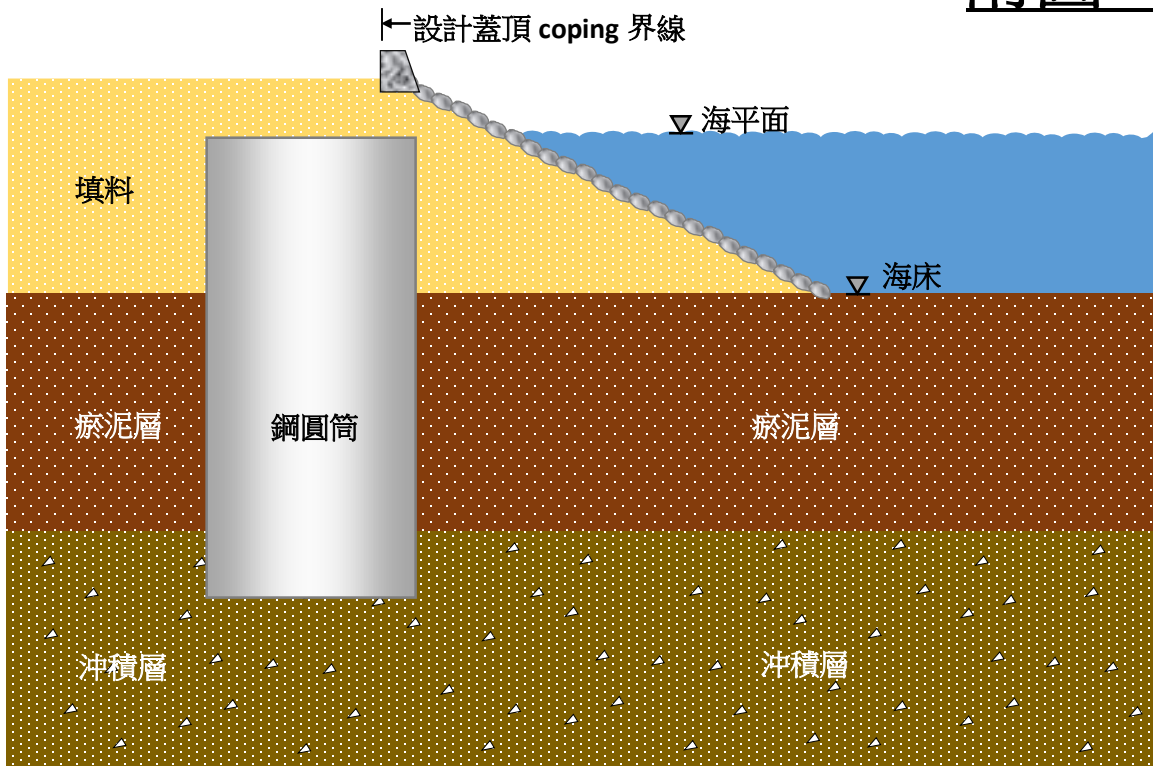
2023 年 3 月 30 日

¹ 註：筆者無意指若在新界發展是要收回 1,000 公頃私人土地

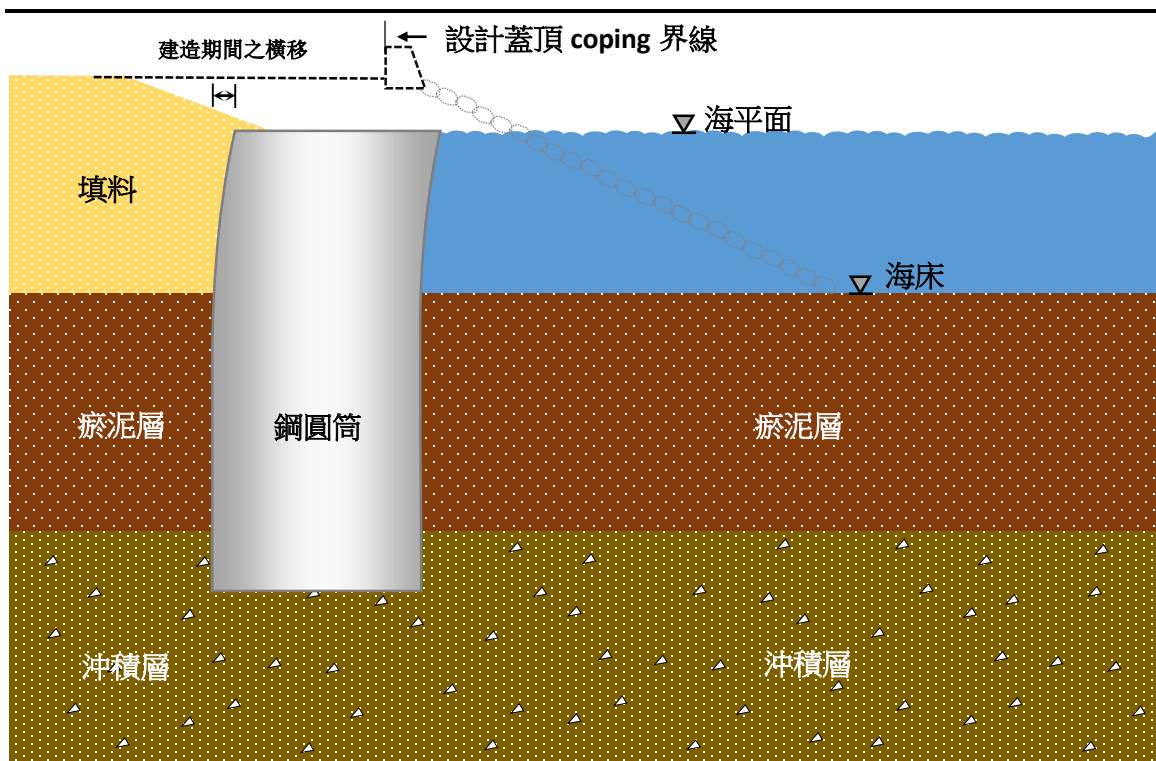


附圖A - 香港填海發展地示意圖

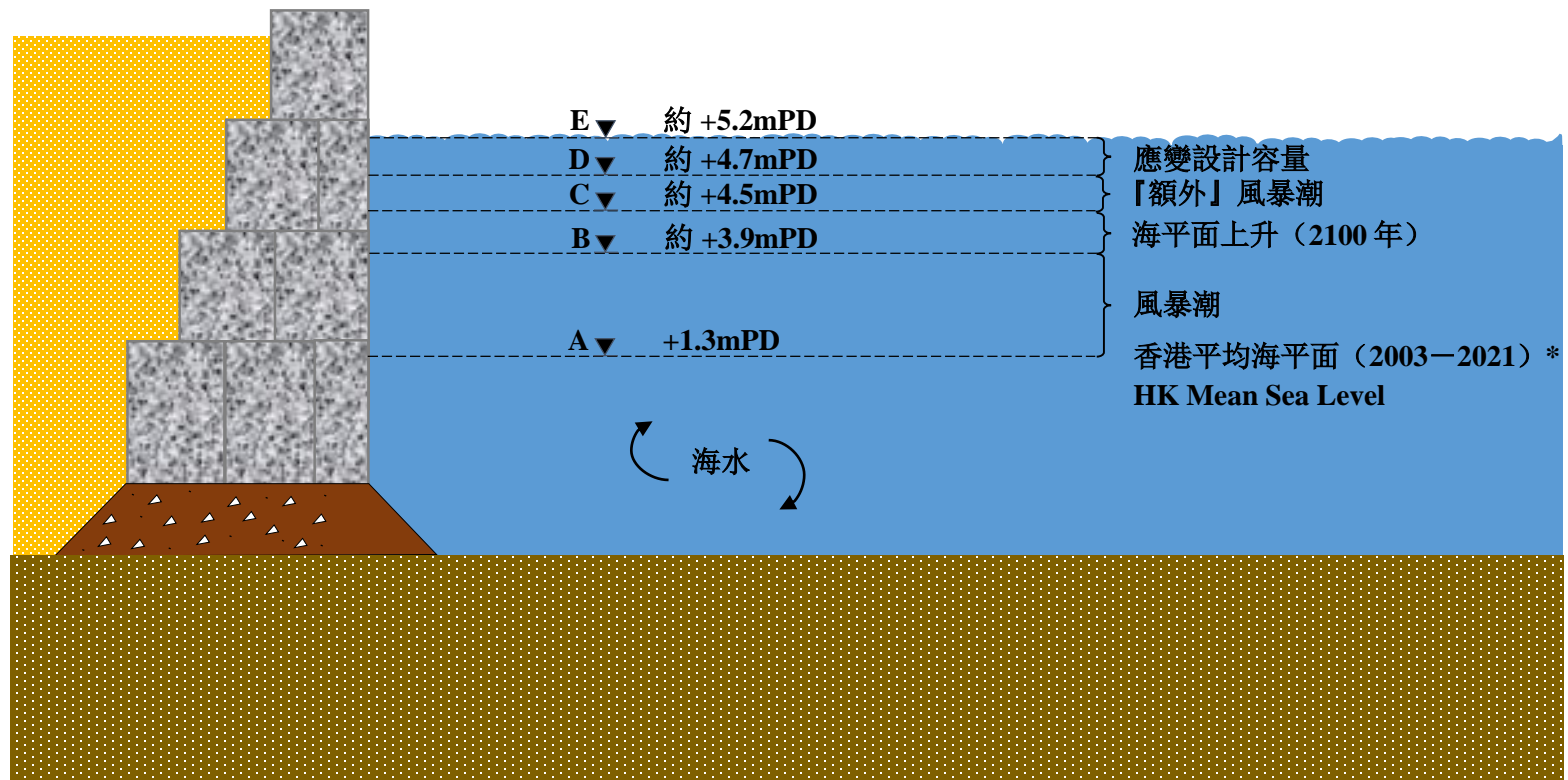
附圖 B



設計圖樣



建造期間之情況



附圖 C: 不同情況下維港內#海平面水位

*天文台香港潮汐表 2022
#參考鰗魚涌潮汐站