

海綿城市建設指南與評鑑指標

林軒宇

中興工程顧問股份有限公司計畫主任

一、前言

本文將介紹中國大陸海綿城市建設指南，與其成效評鑑之指標，並整理筆者參與之海綿城市建設案例「平潭海綿城市專項規劃」成果做為說明，期能供公私部門相關單位後續辦理城市建設規劃時參考。依據中國大陸之文獻，海綿城市一詞於 2012 年「低碳都市與區域發展科技論壇」首次提出。翌年，在其「中央城鎮化工作會議」中強調：「提升都市排水系統時要優先考慮把有限的雨水留下來，優先考慮更多利用自然力量排水，建設自然存積、自然滲透、自然淨化的海綿城市。」。其後，中國住房城鄉建設部於 2014 年頒布之「海綿城市建設技術指南—低影響開發雨水系統構建(試行)」(後稱指南)，為現行中國大陸各城市辦理海綿城市建設之指引。

自此，海綿城市一詞似乎成為中國大陸城市發展顯學，各地方在暢談城市發展理念時，無不將海綿城市一詞融入，提倡城市能夠像海綿一樣，在適應環境變化和應對自然災害等方面具有良好的彈性，下雨時吸水、蓄水、滲水、淨水，需要時將蓄存的水釋放並加以利用。相較於傳統不透水鋪面為主之城市開發，有著環境友善、維持土地自然入滲補注之功能，強調著開發階段維持原來的水文特性，確保環境及生態永續的目標，不因城市開發而破壞。故本文針對中國大陸海綿城市建設指南與評鑑指標，作深入評析，野人獻曝供諸先進參考。

二、海綿城市建設指南

1. 建設原則

依據指南，海綿城市建設原則為規劃引領、生態優先、安全為重、因地制宜、統籌建設，整體示意圖如圖 1 所示，說明如下(由於指南部分用語與台灣用語有異，部分文字有編修而非指南原文)：

- (1) 規劃引領：強調先規劃後建設，發揮規劃引領建設的功能性。
- (2) 生態優先：城市開發應保護河流、湖泊、濕地、坑塘、溝渠等水生態敏感區，實現雨水的自然積存、自然滲透、自然淨化和永續水循環，提高水生態系統的自然修復能力。

安全為重：保障人民生命財產安全 and 社會經濟安全為基礎，綜合採用工程和非工程措施提高低衝擊開發設施的建設品質和管理水準，增強防災減災能力，保障城市水安全。

- (3) 因地制宜：順應自然地理條件、水文地質特性、水資源供需狀況、水環境保護與防洪保護標準等需求，合理確定低衝擊開發控制目標與指標，選用下沉式綠地、植草溝、雨水濕地、透水鋪裝、多功能調蓄等低衝擊開發設施及其組合系統。
- (4) 統籌建設：地方政府應結合城市總體規劃和建設，在各類建設專案中落實各層級相關規劃中確定的目標、指標和技術要求，統籌建設。低衝擊開發設施應與建設專案的主體工程同時規劃設計、施工、投入使用。

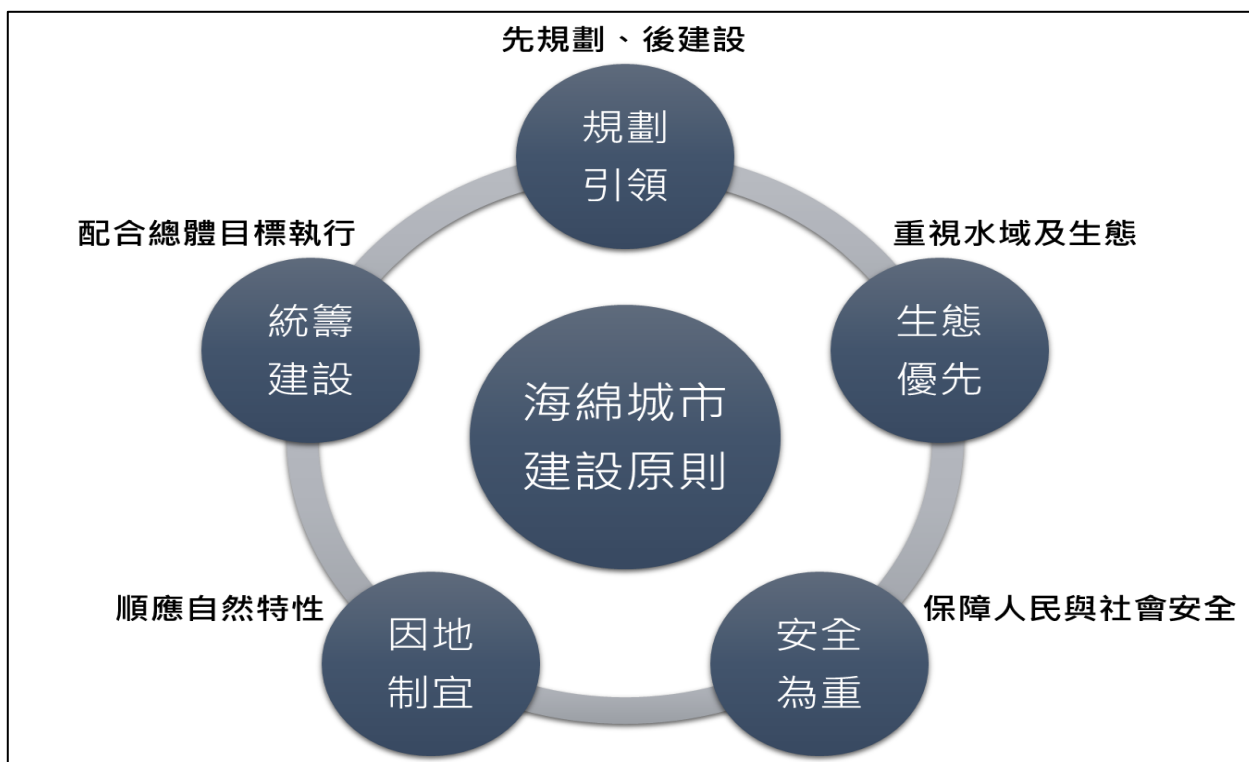
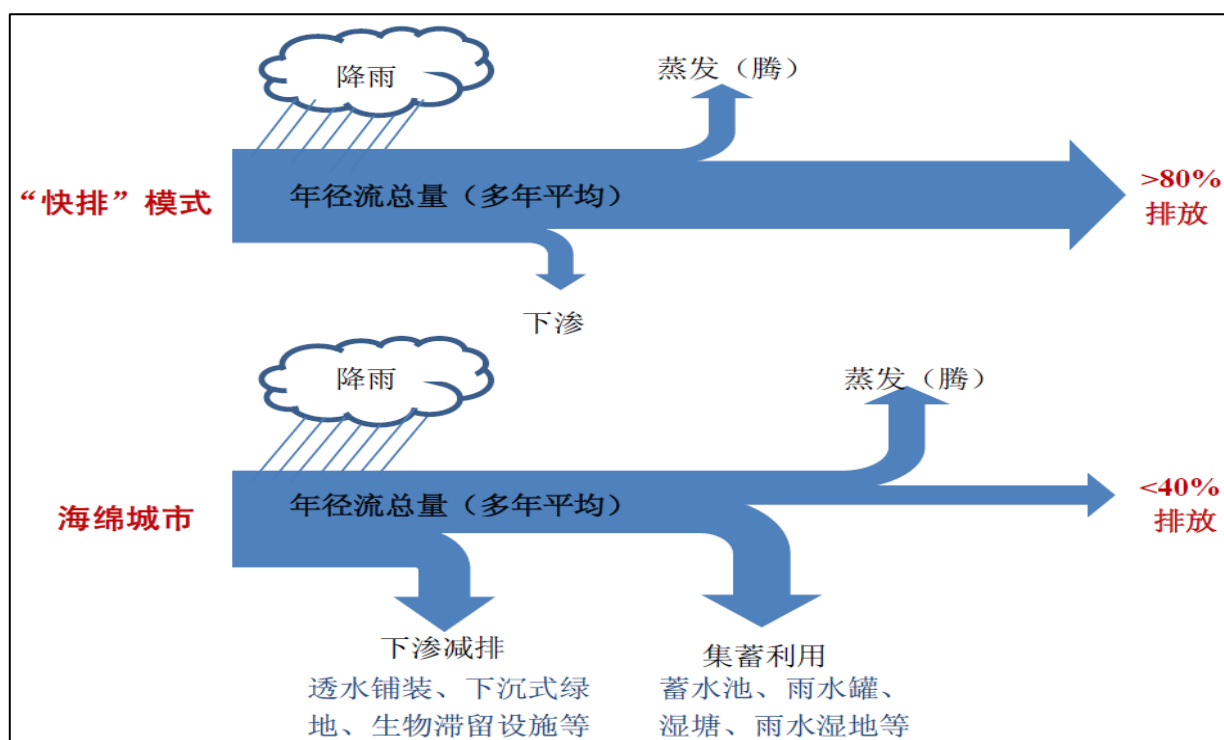


圖 1 海綿城市建設原則概念圖

2. 目標訂定

海綿城市建設之目標採「年逕流總量控制率」指標訂定，該指標概念如圖 2 所示，由圖 2 可見採快排模式，排出之逕流量占總量之 80%，即年逕流總量控制率為 20%；若採海綿城市模式，增加入滲與貯蓄利用後，排出之逕流量占總量之 40%，則年逕流總量控制率為 60%。

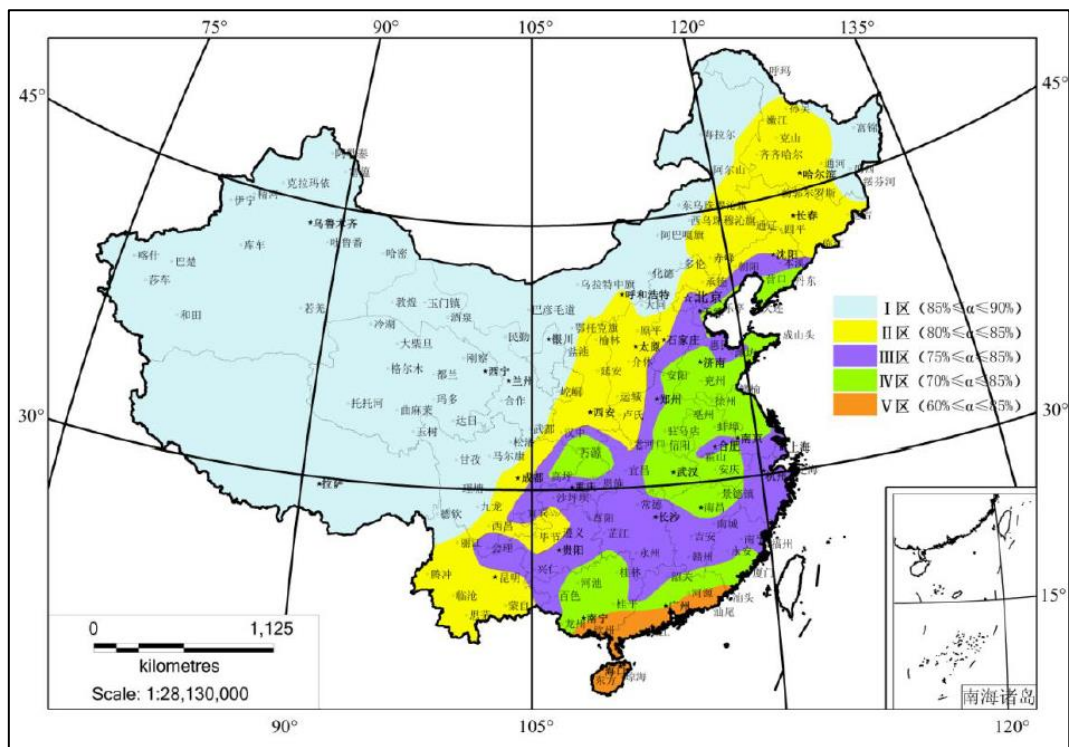


資料來源：住房城鄉建設部，(2014)
「海綿城市建設技術指南—低影響開發雨水系統構建(試行)」

圖 2 年逕流總量控制率概念示意圖

另指南亦針對中國各地區訂定年逕流總量控制率，如圖 3 所示，內陸地區因降雨量少、逕流量低，故訂定之年逕流總量控制率較高(85~90%)；東南沿海地區，因降雨量多、逕流量高，且河川亦直接排至外海，故採較低之年逕流總量控制率(60~65%)。

另一與年逕流總量控制率訂定相關之指標為「設計降雨量」，該一降雨量需採至少 30 年日降雨量進行分析，由小到大排序後分別計算小於某一門檻值雨量佔總雨量之比例。以北京為例，設計降雨量 33.6mm 對應之年逕流總量控制率為 85%，即表示小於 33.6mm 之降雨總量/總降雨量=85%(如圖 4)，當雨量小於該一設計降雨量時區內逕流不外排。此一指標隱含海綿城市逕流控制之特性，乃就「非暴雨事件」之逕流為控制標的，超出設計降雨量之降雨事件已超出低衝擊開發設施可調蓄或貯留之功能，將允許逕流量外排。此一概念與台灣推動之出流管制理念相似，多數開發基地係採 10 年重現期距為設計標準，高於該一重現期距之暴雨事件造成之逕流量恐無法藉由設計之出流管制設施進行調蓄。



資料來源：住房城鄉建設部，(2014)
「海綿城市建設技術指南—低影響開發雨水系統構建(試行)」

圖 3 中國大陸各地區年逕流總量控制率目標分區圖

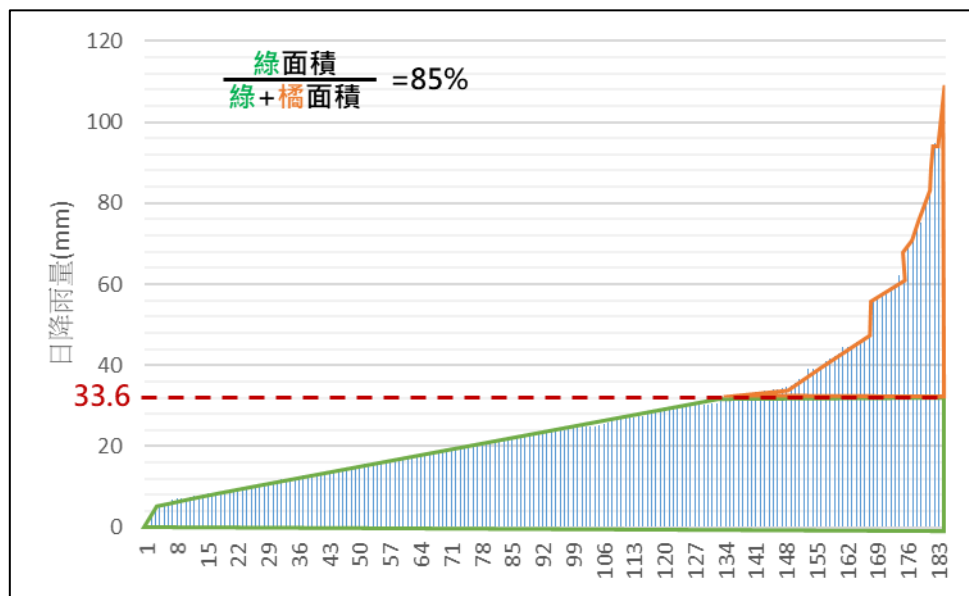


圖 4 年逕流總量控制率與設計降雨量關係示意圖

3. 執行策略

海綿城市建設應整合(i)低衝擊開發雨水系統、(ii)雨水下水道系統及(iii)超標雨水逕排放系統，三者可分別應對小、中、大暴雨(或逕流)，惟三者亦非獨立運作，應整合互補以達到最佳效用，說明如下：

- (1) 低衝擊開發雨水系統：通過對雨水的滲透、儲存、調節、轉輸與截汙淨化等功能，有效控制逕流總量、逕流洪峰與削減污染。
- (2) 雨水下水道系統：即傳統都市排水系統，可與低衝擊開發設施整合雨水逕流之蒐集、傳輸與排放。
- (3) 超標雨水逕流排放系統：用於排除超出雨水下水道設計標準之逕流量，如多目標水庫、滯洪池、分洪道等。

其中，針對低衝擊雨水開發系統，可藉六種技術手段增加源頭削減、中途轉輸、末端調蓄等功用，六種技術手段分述如下：

- (1) 滲：透過提高綠地率、使用透水性鋪面等措施，從源頭上減少地表逕流。
- (2) 滯：滯留雨水，延緩逕流峰值到達時間。
- (3) 蓄：使用雨水撲滿等工程措施儲存雨水，降低峰值流量，同時活化雨水利用，兼可實現節約用水。
- (4) 淨：淨化雨水，減少污染，改善都市水環境。
- (5) 用：儲存的雨水作為資源利用。
- (6) 排：剩餘雨水排入下水道或自然水體。

三、評鑑指標

為科學且全面評價海綿城市建設成效，住房城鄉建設部制定了「海綿城市建設績效評價與考核辦法(試行)」，住房城鄉建設部於各地指導和監督海綿城市建設工作時，將採該建設績效評價與考核情況進行抽查。

海綿城市建設績效評價與考核指標可分為水生態、水環境、水資源、水安全、制度建設及執行情況、顯示度等 6 大類，共 18 項指標，如表 1 所示。其中又可分為定量及定性指標，定量指標如(1)年逕流總量控制率：需於雨水排放口或節點布設水文觀測系統，監測頻率不低於 15 分/次，以檢視低於設計降雨量時是否能達成雨水不外排的目標；(3)地下水位：需比較建設後地下水位與歷史同期的差異，是否能達成水位保持穩定的目標；(5)水環境質量：區內河湖水系不低於《地表水環境質量標準》IV 類標準，且城市下游之水質不得劣於城市上游之水質；(9)管網漏損控制：供水管網漏損率不高於 12%。

定性指標如(12)規劃建設管控制度：建立海綿城市建設的規劃、建設方面的管理制度和機制；(17)產業化：制定促進相關企業發展的優惠政策等；(18)連片示範效應：60%以上的海綿城市建設區域達到海綿城市建設要求，形成整體效應。

相關定量與定性指標提供評鑑建設的基準，立意良好，然實際執行面似乎仍有相當多困難度，即便以定量指標為例，如(4)城市熱島效應：要考量城市建設後與周邊環境或歷史基期之差異，可能面臨之挑戰即為是否有足夠且可具代表性之測站用以檢視溫度變化、使否有足夠的歷史基期資料可比較建設後之差異、若採遙測資料判釋時間與空間解析度是否具代表性等討論議題。又如(8)雨水資源利用率：要定量雨水回用於道路澆灑、園林綠地灌溉、市政雜用、工農業生產、冷卻等的雨水總量，則需配套相當多且記錄穩定的計量感測設備，方能統計實際貯留雨水利用比例，相關設備建設與維護成本亦將造成城市建設成本提升。

表 1 海綿城市建設績效評價與考核指標

類別	項	指標	要求	方法	性質
一、水生態	1	年逕流總量控制率	當地降雨形成的逕流總量，達到《海綿城市建設技術指南》規定的年逕流總量控制要求。在低於年逕流總量控制率所對應的降雨量時，海綿城市建設區域不得出現雨水外排現象。	根據實際情況，在地塊雨水排放口、關鍵管網節點安裝觀測計量裝置及雨量監測裝置，連續(不少於一年、監測頻率不低於15分鐘/次)進行監測；結合氣象部門提供的降雨數據、相關設計圖紙、現場勘測情況、設施規模及銜接關係等等進行分析，必要時通過模型模擬分析計算。	定量 (約束性)
	2	生態岸線恢復	在不影響防洪安全的前提下，對城市河湖水系岸線、加裝蓋板的天然河渠等進行生態修復，達到藍線控制要求，恢復其生態功能。	查看相關設計圖紙、規劃，現場檢查等。	定量 (約束性)
	3	地下水水位	年均地下水潛水位保持穩定，或下降趨勢得到明顯遏制，平均降幅低於歷史同期。 年均降雨量超過1000mm的地區不評價此項指標。	查看地下水潛水水位監測數據。	定量 (約束性，分類指導)
	4	城市熱島效應	熱島強度得到緩解。海綿城市建設區域夏季(按6-9月)日平均氣溫不高於同期其他區域的日均氣溫，或與同區域歷史同期(扣除自然氣溫變化影響)相比呈現下降趨勢。	查閱氣象資料，可通過紅外遙感監測評價。	定量 (鼓勵性)
二、水環境	5	水環境質量	不得出現黑臭現象。海綿城市建設區域內的河湖水系水質不低於《地表水環境質量標準》IV類標準，且優於海綿城市建設前的水質。當城市內河水系存在上游來水時，下游斷面主要指標不得低於來水指標。	委託具有計量認證資質的檢測機構開展水質檢測。	定量 (約束性)
			地下水監測點位水質不低於《地下水質量標準》III類標準，或不劣於海綿城市建設前。	委託具有計量認證資質的檢測機構開展水質檢測。	定量 (鼓勵性)
	6	城市面源污染控制	雨水逕流污染、合流制管渠溢流污染得到有效控制。1.雨水管網不得有污水直接排入水體；2.非降雨時段，合流制管渠不得有污水直排水體；3.雨水直排或合流制管渠溢流進入城市內河水系的，應採取生態治理後入河，確保海綿城市建設區域內的河湖水系水質不低於地表IV類。	查看管網排放口，輔助以必要的流量監測手段，並委託具有計量認證資質的檢測機構開展水質檢測。	定量 (約束性)
三、水資源	7	污水再生利用率	人均水資源量低於500立方米和城區內水體水環境質量低於IV類標準的城市，污水再生利用率不低於20%。再生水包括污水經處理後，通過管道及輸配設施、水車等輸送用於市政雜用、工業農業、園林綠地灌溉等用水，以及經過人工濕地、生態處理等方式，主要指標達到或優於地表IV類要求的污水廠尾水。	統計污水處理廠(再生水廠、中水站等)的污水再生利用量和污水處理量。	定量 (約束性，分類指導)
	8	雨水資源利用率	雨水收集並用於道路澆灑、園林綠地灌溉、市政雜用、農農業生產、冷卻等的雨水總量(按年計算，不包括匯入景觀、水體的雨水量和自然滲透的雨水量)，與年均降雨量(折算成毫米數)的比值；或雨水利用量替代的自來水比例等。達到各地根據實際確定的目標。	查看相應計量裝置、計量統計數據和計算報告等。	定量 (約束性，分類指導)
	9	管網漏損控制	供水管網漏損率不高於12%。	查看相關統計數據。	定量 (鼓勵性)

類別	項	指標	要求	方法	性質
四、水安全	10	城市暴雨內澇災害防治	歷史積水點徹底消除或明顯減少，或者在同等降雨條件下積水程度顯著減輕。城市內澇得到有效防範，達到《室外排水設計規範》規定的標準。	查看降雨記錄、監測記錄等，必要時通過模型輔助判斷。	定量 (約束性)
	11	飲用水安全	飲用水水源地水質達到國家標準要求：以地表水為水源的，一級保護區水質達到《地表水環境質量標準》II類標準和飲用水源補充、特定項目的要求，二級保護區水質達到《地表水環境質量標準》III類標準和飲用水源補充、特定項目的要求。以地下水為水源的，水質達到《地下水質量標準》III類標準的要求。自來水廠出廠水、管網水和龍頭水達到《生活飲用水衛生標準》的要求。	查看水源地水質檢測報告和自來水廠出廠水、管網水、龍頭水水質檢測報告。 檢測報告須由有資質的檢測單位出具。	定量 (鼓勵性)
五、制度建設及執行情況	12	規劃建設管控制度	建立海綿城市建設的規劃(土地出讓、兩證一書)、建設(施工圖審查、竣工驗收等)方面的管理制度和機制。	查看出臺的城市控詳規、相關法規、政策檔等。	定性 (約束性)
	13	藍線、綠線劃定與保護	在城市規劃中劃定藍線、綠線並制定相應管理規定。	查看當地相關城市規劃及出臺的法規、政策檔。	定性 (約束性)
	14	技術規範與標準建設	制定較為健全、規範的技術檔，能夠保障當地海綿城市建設的順利實施。	查看地方出臺的海綿城市工程技術、設計施工相關標準、技術規範、圖集、導則、指南等。	定性 (約束性)
	15	投融资機制建設	制定海綿城市建設投融资、PPP 管理方面的制度機制。	查看出臺的政策檔等。	定性 (約束性)
	16	績效考核與獎勵機制	1.對於吸引社會資本參與的海綿城市建設項目，須建立按效果付費的績效考評機制，與海綿城市建設成效相關的獎勵機制等； 2.對於政府投資建設、運行、維護的海綿城市建設項目，須建立與海綿城市建設成效相關的責任落實與考核機制等。	查看出臺的政策檔等。	定性 (約束性)
	17	產業化	制定促進相關企業發展的優惠政策等。	查看出臺的政策檔、研發與產業基地建設等情況。	定性 (鼓勵性)
六、顯示度	18	連片示範效應	60%以上的海綿城市建設區域達到海綿城市建設要求，形成整體效應。	查看規劃設計檔、相關工程的竣工驗收資料。現場查看。	定性 (約束性)

四、案例

為說明海綿城市建設理念如何落實於城市規劃階段，茲以筆者實際參與之案例「平潭海綿城市專項規劃」說明。平潭綜合實驗區地處臺灣海峽西岸，由於位處於福建少雨區，年雨量約 1,269 毫米，現況陸域面積 324.13 平方公里，未來擬填海造地至陸域面積 350.74 平方公里，由衛星影像即可見近年開發情形，如圖 5 所示。

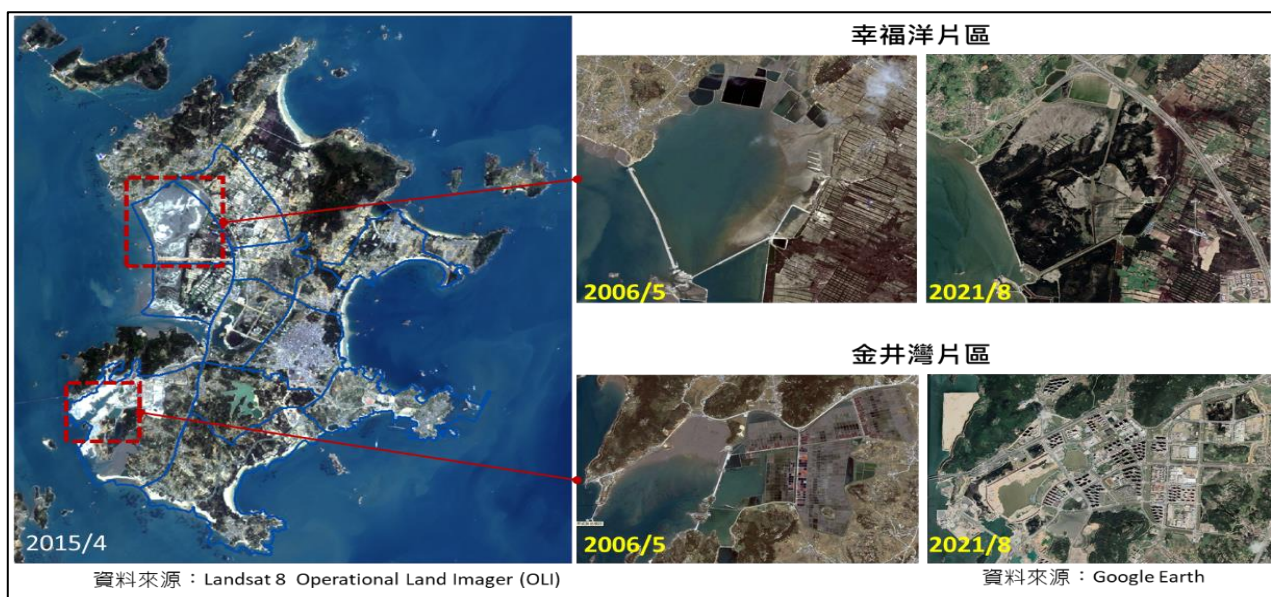


圖 5 平潭綜合實驗區城市建設變化圖

另依平潭城市規劃報告，整理現況與未來水議題之變化情形如表 2 所示，由表可見水資源需求將快速提升，擬採島外調水支應；另順應城市開發強度提升，水治理保護標準亦須一併提升，以確保居民生命與財產之安全。因此可定義平潭海綿城市規劃目標係依水資源問題為核心，至於其他之水安全(內澇、污染、水土流失)、水環境、水生態、水管理則係環繞「水資源」議題，作適度之調適與配合。

表 2 平潭綜合實驗區城市建設水議題一覽表

項目	2010 年需求	2030 年需求	需求變化	備註
水資源	0.5 億 m ³ /年	2.5 億 m ³ /年	增加 2.0 億 m ³ /年	島外調水 2.0 億 m ³ /s
水治理	保護標準 2 年頻率	保護標準 30 年頻率	提升保護標準	增建防洪 滯洪設施
水環境	枯水期無水	豐枯水期皆有水	增加 環境基流量	-
水生態	自然環境	維護自然環境	增加水環境空間	藍線劃定
水管理	分工辦理	整合及分工	增加整合工作	-

考量平潭水文環境年雨量不豐，地理環境則四面環海、坡陡流急，一般滯洪或雨水調節設施恐無法有效貯蓄水資源，故建議可於河川水系上游興設人工湖蓄水，可作為水資源利用；中下游則可配合防洪設施(滯洪池、河口堰等)滯洪與蓄洪，貯留之雨

水可作為環境或生態用水，確保區內水資源可充分貯留與利用，提升水資源利用率(即提升逕流控制率)，不足之水資源供應則再以島外調水或海水淡化支應；另配合人工湖或滯洪池之設置，可於洪水時期控制河川逕流量，提升防洪保護標準；下游河口堰則可營造區內水域環境，營造水域生態或增加遊憩功能，並提供部分環境用水使用。依據平潭島區域特性，建議興設之主要大型海綿設施如圖 6 所示，整體海綿城市建設策略示意圖如圖 7 所示，以水資源需求為核心，並同時營造水安全及水環境提升之多贏目標。

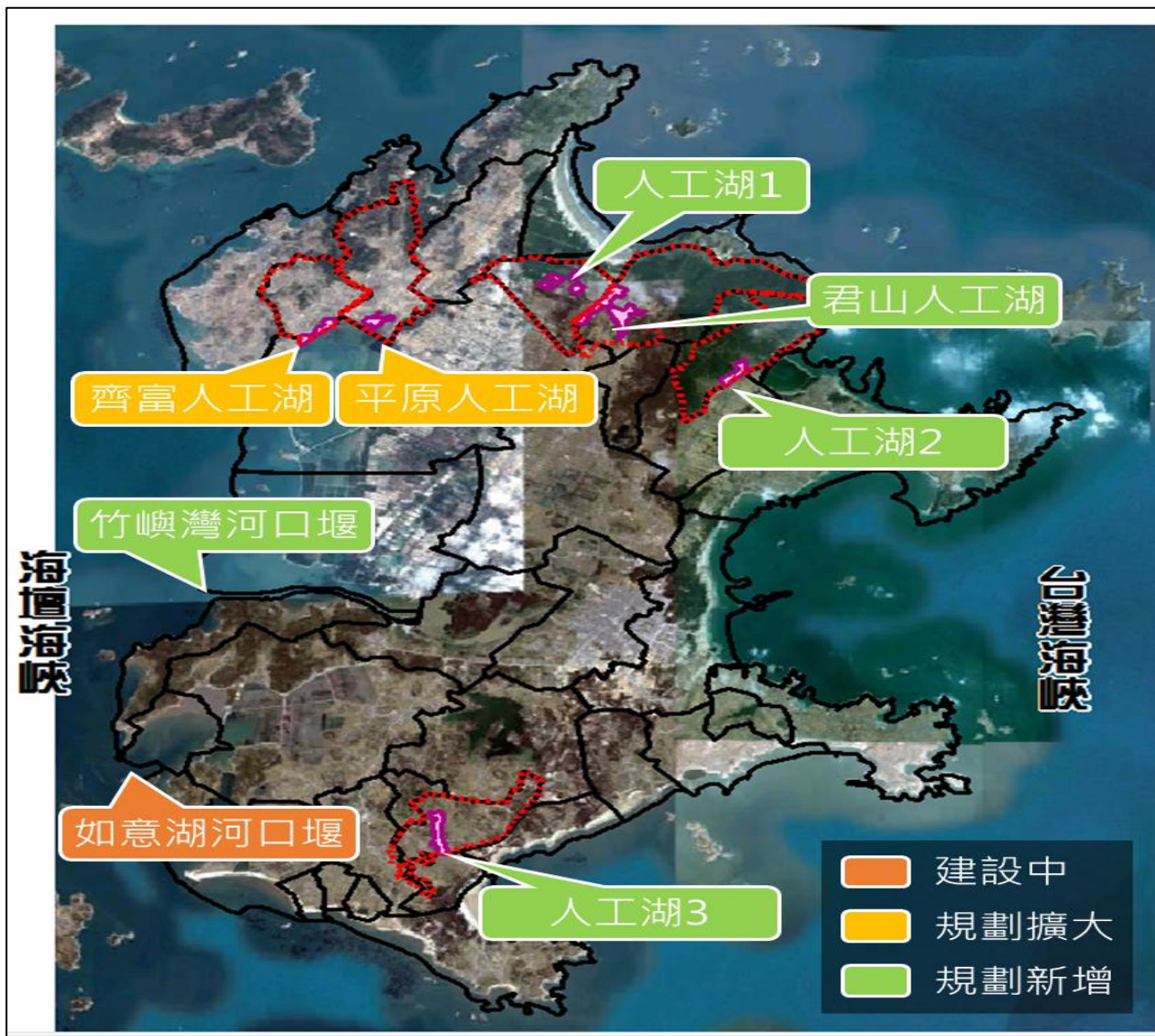


圖 6 平潭綜合實驗區建議興設之大型海綿設施

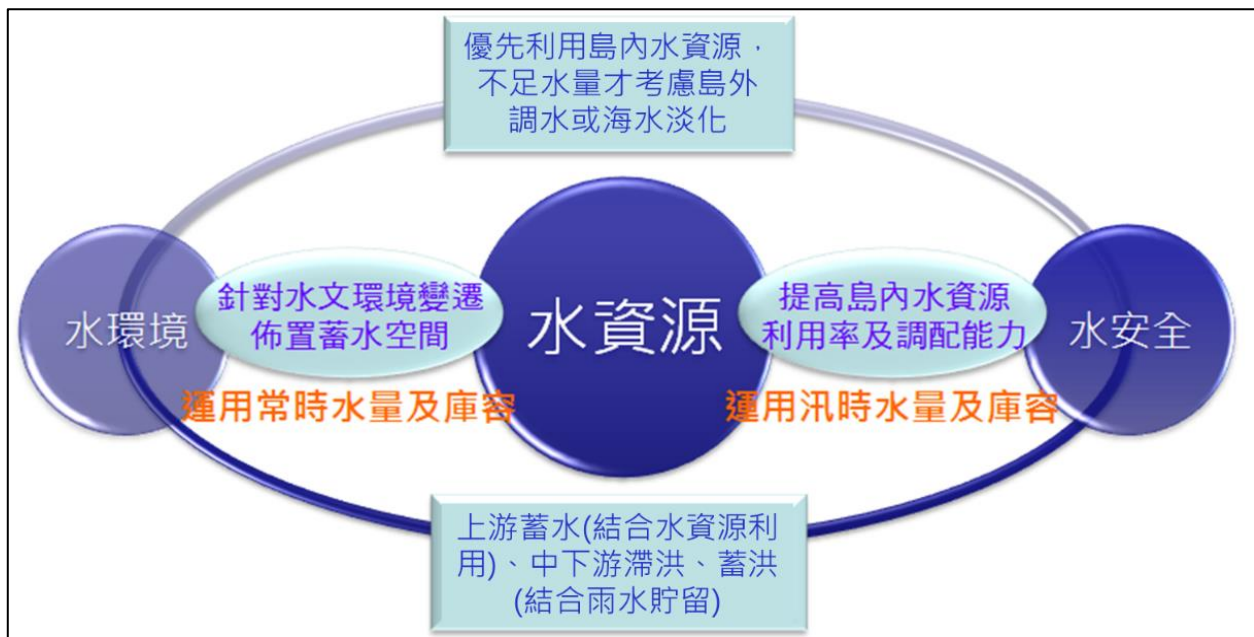


圖 7 平潭綜合實驗區海綿城市策略圖

依指南，平潭島位於年逕流總量控制率分區 III，上下限介於 75%-85%，考量四面環海逕流控制不易，故採下限 75%為其控制目標。另採長期日雨量評估，年逕流總量控制率 75%對應之設計降雨量為 25.2mm，即城市內低衝擊開發設施將採 25.2 mm/日為設計基準，於該一降雨量情境下，低衝擊開發設施可有效貯留雨水不外排，滿足區內年逕流總量控制率 75%目標。考量低衝擊開發設施之汙染控制能力，以平均 60%之汙染物控制能力估算，則地面之雨水總懸浮微粒(SS)進入低衝擊開發設施後，其沉澱截留之比例為 45% ($=0.75 \times 0.60$)，將有改善水質、提升水環境之效用。以金井灣片區為例，規劃之低衝擊開發設施項目包含景觀湖、下沉式綠地、濕地、雨水花園等，配置如圖 8 所示。

此外，為驗證逕流控制與汙染物控制能力，本案例亦採中興工程顧問社研發之二維河道動床數值模式(SEC-HY21)結合美國環保署研發之雨水管理模式(SWMM)，進行金井灣片區水文水理模擬，以驗證規劃方案之效益。模擬情境係搭配現有或規劃辦理之防洪防滯工程措施，與本案例建議規劃之大型海綿設施與低衝擊雨水設施串並聯，整合人工湖、水域浚深、河口堰、以加大蓄水空間，達成蓄洪、減洪之功能，模擬結果如圖 9 所示，整體呈現逕流積延時間增長、逕流峰值減少、蓄水體積增加及汙染物去除率提升之成效。

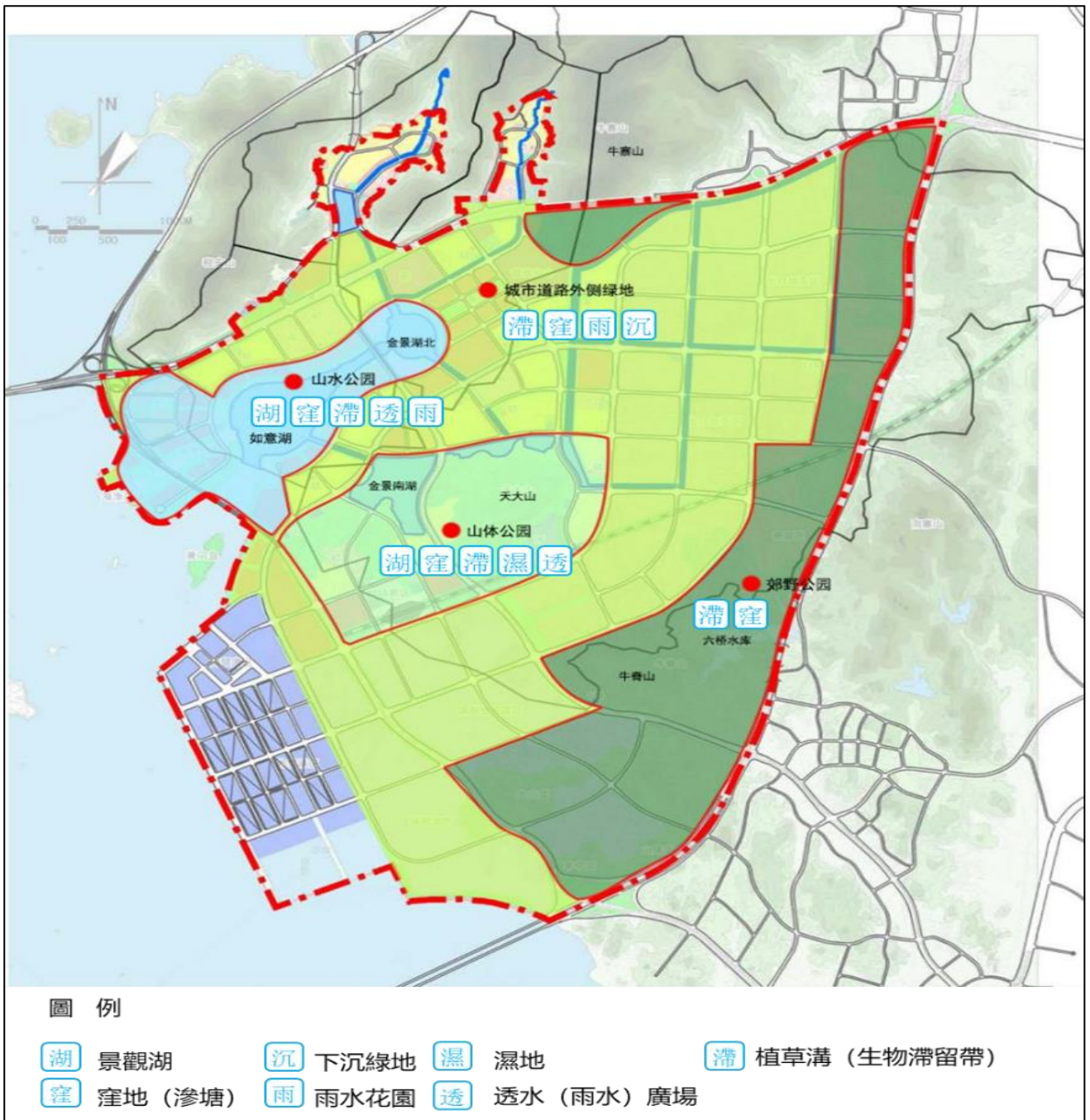


圖 8 平潭綜合實驗區低衝擊開發設施規劃配置圖

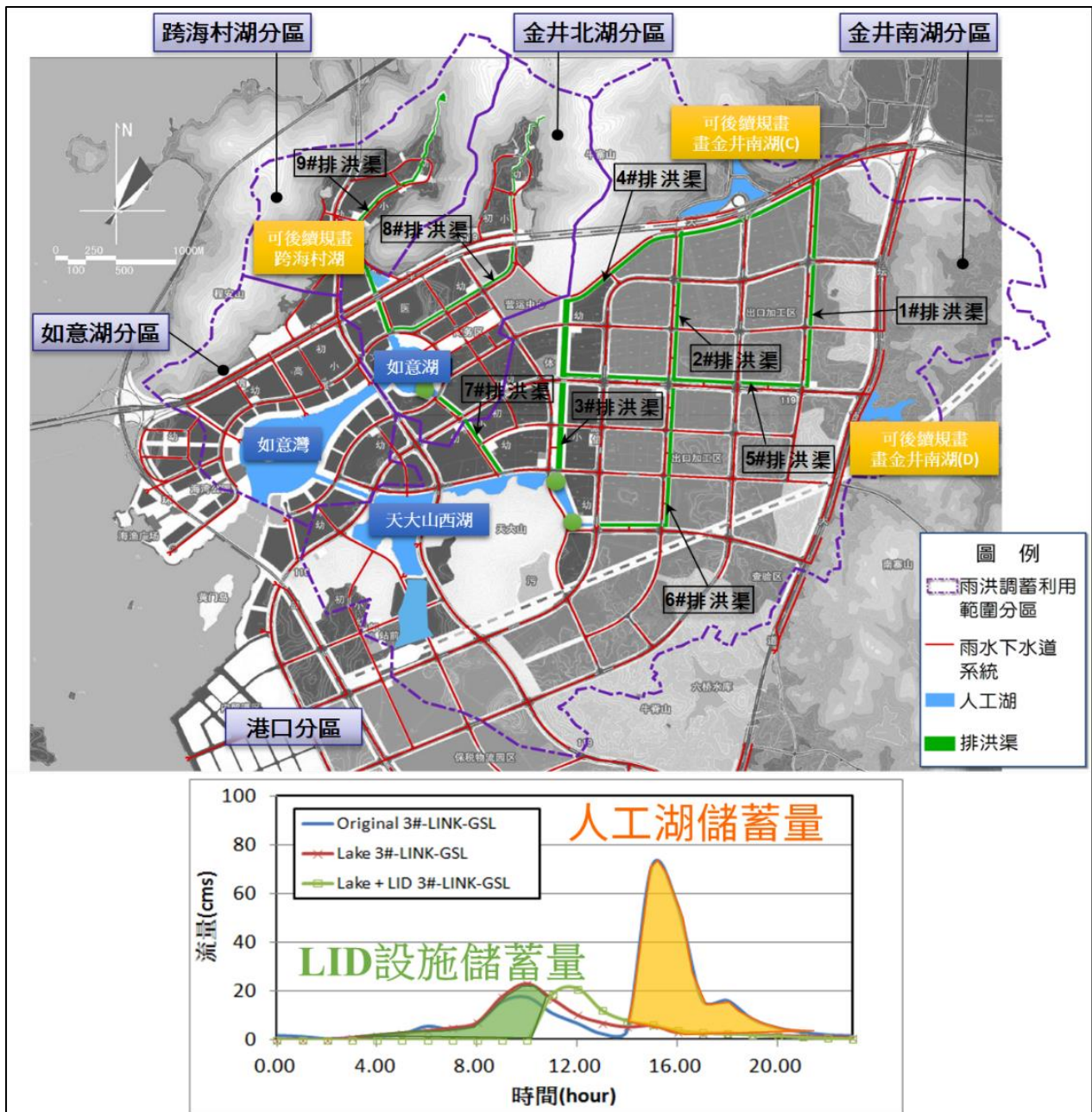


圖 9 應用 SEC-HY21 進行水文水理模模擬驗證

五、結語

本文嘗試導讀中國大陸海綿城市建設之原則、目標訂定、執行策略及評鑑指標等面向，並以實際參與之海綿城市規劃案例進行說明，相關規範回顧與實際計畫執行階段的一些想法與各位先進分享，也盼各位先進如有任何想法也不吝指教：

- (1) 海綿城市理念：海綿城市理念係考量城市發展的過程，應順應自然之水文、地文、生態等特性，期改變過往城市開發優先之思維，因此強調海綿城市規劃應因地制宜，釐清區域現況與未來開發目標，找到合宜之建設目標與方式。以平

潭案例為例，該一城市仍處開發中階段，有足夠之先天條件可於實際建設前納入考量，規劃大型之海綿設施。而若以台灣為規劃對象，由於多數都市計畫區多屬既成都市，因此大規模或大尺度之建設執行上恐有更多挑戰，因此海綿城市的理念宜配合都市更新或擴大，與低衝擊開發設施的納入為優先考量。

- (2) 海綿城市效用：由指南亦可見海綿城市的設計降雨量係針對小、中雨量為控制標的，當雨量超出設計標準時，同樣會發生逕流外排的情形。因此海綿城市建設仍有其設計標準，超出低衝擊開發設施標準時，則需輔以雨水下水道系統及超標雨水逕排放系統保障水安全，並非採海綿城市建設即可免除洪澇災害，這點似乎現今暢談海綿城市建設時常被忽略(或誤解)。
- (3) 海綿城市優勢：相較於一般防洪治理、水資源規劃或環境營造等單項規劃，海綿城市建設理念強調將前述水資源、水安全、水環境及水生態等各項議題整合考量，釐清各城市發展時之資源與限制條件，各自打造獨一無二的海綿城市。也因此辦理海綿城市建設規劃時，亦非單水利或土木工程師可獨自完成，都市計畫、建築景觀、環境生態等相關專業人員亦需共同參與，方能達成海綿城市整體考量之建設原則。
- (4) 海綿城市挑戰：海綿城市建設多利用低衝擊開發設施調蓄設計降雨量以下之降雨事件，雖已有訂定相關評鑑指標用以量化實際成效，惟實際執行面時則有感測設備建置、低衝擊開發設施維護管理、營運管理制度建立、開發成本增加等面向需考量，政府單位如何把關建設或維護管理成果亦為一重要課題，相關議題仍有待未來進一步研究與探討。

參考文獻

1. 住房城鄉建設部，(2014)，「海綿城市建設技術指南—低影響開發雨水系統構建(試行)」
2. 林軒宇，(2017)，「淺談海綿城市」，中興工程，第 135 期，第 80-86 頁
3. 黃百富，(2011)，「平潭綜合實驗區概念性總體規劃—一座生態城市的發想」，中興工程，第 113 期，第 105-115 頁
4. 國家發展和改革委員會，(2011)，「平潭綜合實驗區總體發展規劃」
5. 國務院辦公廳，(2015)，「國務院辦公廳關於推進海綿城市建設的指導意見」，國辦發 75 號。