



土木工程拓展署
Civil Engineering and
Development Department

合約編號 CE 74/2018(CE)

氣候變化和極端天氣下的沿岸 災害研究及改善措施的制訂 – 可行性研究

行政摘要

二零二二年四月



目錄

1	引言.....	1
	研究背景.....	1
	研究目標.....	2
2	處理沿岸災害的方法.....	3
	香港的海岸線.....	3
	外地處理沿岸災害的方法.....	4
	氣候預測.....	5
	沿岸風險的適應策略.....	7
3	識別沿岸地區以進行改善.....	9
	檢視香港的海岸線.....	9
	分析評估.....	10
	識別較受到沿岸風險影響的地區.....	12
4	改善計劃.....	13
	改善方案的主要考慮因素.....	13
	務實的改善措施.....	14
	在已識別的現有住宅地區的建議改善措施摘要.....	16
	改善措施的可行方案.....	17
	實施策略.....	19
5	建議及未來方向.....	20
	建議後續行動.....	20
	建議進一步的規劃.....	20

1 引言

研究背景

香港地理位置令其容易受到熱帶氣旋、暴雨、風暴潮¹及越堤浪²的威脅。部分沿岸較低窪及當風地點尤其容易受到風暴潮及越堤浪的影響，引致水浸和近岸設施受到破壞。

香港分別於 2017 年及 2018 年遭受超強颱風天鴿及山竹吹襲，其引致的風暴潮及海浪對部分沿岸地區造成不同程度的破壞，這些地區包括位與香港島東部、將軍澳、鯉魚門及西貢的部分住宅地區。此外，全球暖化已導致極端天氣的出現更頻繁及其嚴重性增加。

土木工程拓展署於 2019 年 4 月委聘了艾奕康有限公司為顧問，開展「氣候變化和極端天氣下的沿岸災害研究及改善措施的制訂—可行性研究」(下稱「本研究」)。

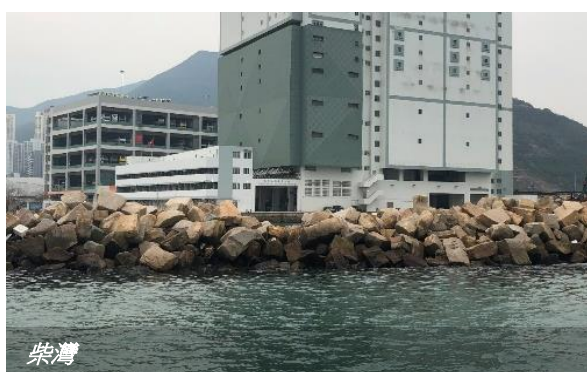


¹ 風暴潮是與熱帶氣旋相關的low氣壓及大風的共同影響而導致海平面上升的現象

² 在熱帶氣旋吹襲期間，海浪沖擊岸邊時可能會越過海堤，形成「越堤浪」

研究目標

本研究的目標是全面檢視全港沿岸較低窪及當風地點，考慮到未來氣候變化的預測，分析在極端天氣下風暴潮及海浪對有關地區的影響。研究亦參考外地及本地就應對極端天氣及氣候變化已推展的適應及管理措施的實踐經驗，在實際可行情況下制訂合適的改善措施，以緩減這些沿岸災害。



柴灣



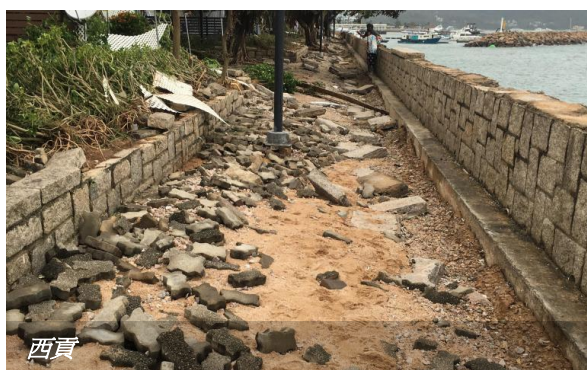
柴灣 (復修 / 加強防護後)



小西灣



小西灣 (復修 / 加強防護後)



西貢



西貢 (復修 / 加強防護後)

2 處理沿岸災害的方法

香港的海岸線

香港的沿岸較低窪及當風地點容易受極端風暴潮及越堤浪所引致的海水淹浸的影響，亦會對部分沿岸設施造成破壞，並對公眾安全及沿岸地區的發展構成潛在的威脅。這一般被稱為「**沿岸災害**」。

沿岸災害在不同的沿岸環境下，例如地理位置、沿岸地形、海床深度、沿岸防禦基礎設施等，會有不同程度的影響。我們需要掌握以上各方面的資料，以評估在氣候變化的影響下，沿岸地區對風暴潮和越堤浪的抵禦能力。

一般而言，香港的南面和東南面(例如將軍澳南)會較受越過南中國海方向的熱帶氣旋的影響，越堤浪是上述地區面對的主要沿岸風險。相比之下，由於吐露港(例如大埔林村河) 的地理屏障影響，風吹起的波浪相對比較細，然而，其沿岸環境會較受內灣效應影響，另外，新界西北部地勢平坦，因此風暴潮的影響較為顯著。

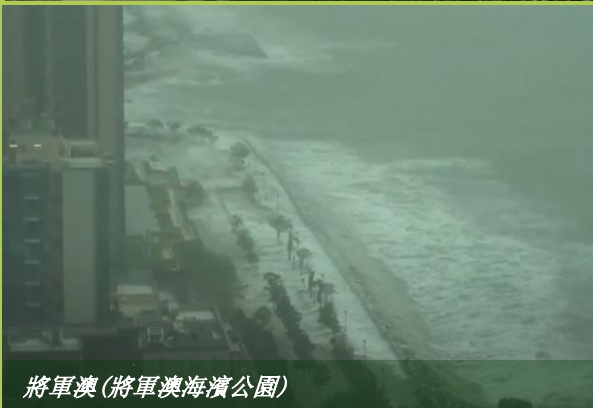
下圖為超強颱風山竹在 2018 年吹襲香港時的情景 (越堤浪及水浸) (左圖) 和完成改善措施後的情景 (右圖)



小西灣 (小西灣運動場)



小西灣 (小西灣運動場) (已加建防洪牆)



將軍澳 (將軍澳海濱公園)



將軍澳 (將軍澳海濱公園) (已加建擋浪牆)



大埔 (南運路)



大埔 (南運路) (已加裝可拆卸式擋水板)

外地處理沿岸災害的方法

在過往，美國、英國等國家曾經遭受嚴重氣旋的吹襲，以致發生嚴重的沿岸災害。這些地方汲取了經驗，制訂災害管理及適應措施。它們已制訂指引應對沿岸災害，步驟包括識別受沿岸災害影響的沿岸地區、考慮可能受影響的重要財產及其相關風險，和實際可行的改善措施的選項。

本研究已參考外地沿岸保護的經驗、氣候脆弱性評估³和管理的方法，以建議適合香港的改善計劃。

³ 沿岸地區面對潛在的海浪衝擊所構成的後果的承受能力

氣候預測

全球氣候一直受到太陽活動、地球軌道改變、火山活動等因素所影響，但自工業革命以來，大氣中的溫室氣體濃度不斷增加，對氣候的影響已經蓋過了這些自然因素。人為活動引致的氣候變化已經成為人類目前其中一個重大的挑戰。

氣候變化是影響海岸演變過程的眾多因素之一，海平面上升、海浪和極端風暴的變化會加劇沿岸災害的影響。溫室氣體濃度的增加會減少紅外線輻射到太空，使熱力在地球積存，導致氣候系統變暖。

全球的氣候可能會在未來出現持續的轉變。聯合國轄下的政府間氣候變化專門委員會（IPCC）致力提供有關氣候變化的科學技術、氣候變化原因、潛在影響和應對策略的綜合評估。

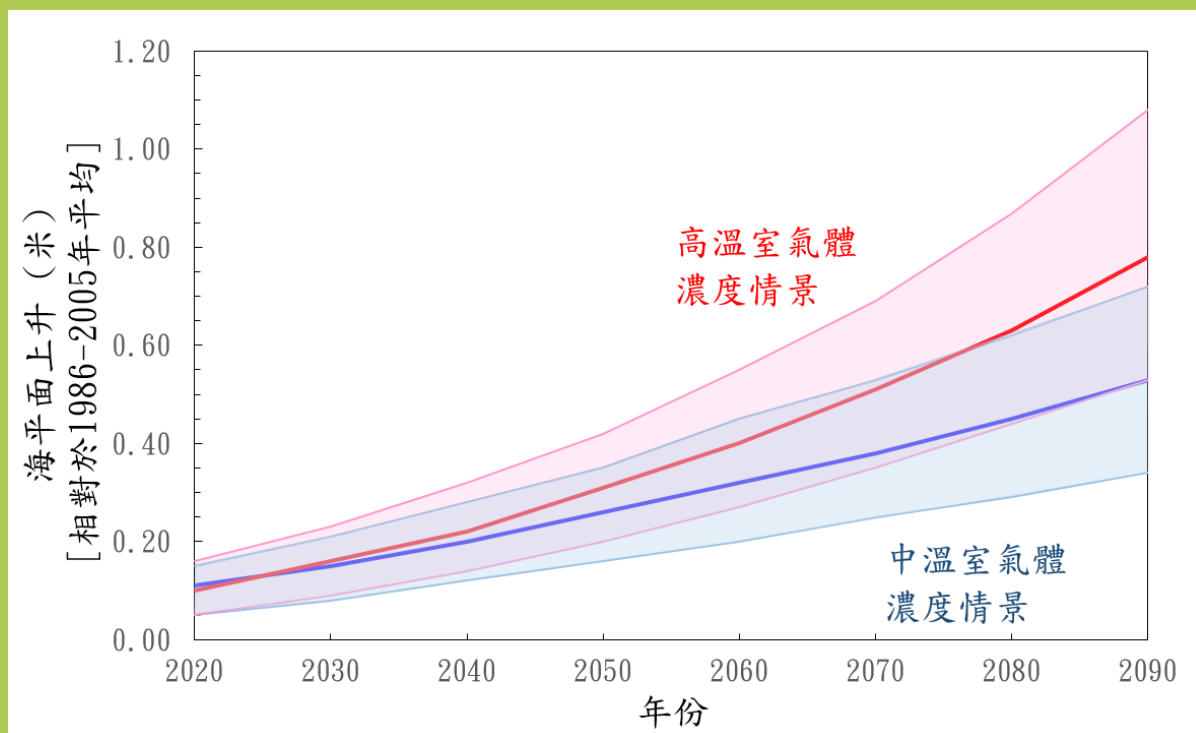
氣候變化的預測是建基於不同的溫室氣體排放情景。IPCC 的第五次評估報告(AR5)推算四條代表不同溫室氣體濃度情景下的氣候變化路徑，分別為 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 和 RCP8.5，相應代表為低、[中低、中高]（統稱中）和高溫室氣體濃度情景。

氣候變化的不確定性

雖然科學界已經確定氣候變化正在發生並且呈上升趨勢，但未來氣候變化的預測仍然存在較大的不確定性，特別是在近本世紀末及以後的情況。視乎全球各國為減少溫室氣體排放所採取行動的成效，氣候變化在長遠的未來可能會遵循不同的路徑發展。

在《巴黎協定》的框架下，各國承諾採取行動減少碳排放和落實氣候減緩措施。美國和中國在 2021 年 4 月亦承諾互相合作，與其他國家共同解決氣候危機，並加強落實《巴黎協定》，致力將全球平均氣溫上升幅度控制在目標之內。隨後，在英國舉行的第 26 屆聯合國氣候變化大會(COP26)上，各國（包括上述全球最大兩個碳排放國家）發表聯合聲明，承諾進一步減少溫室氣體排放。

參考 IPCC 發佈 AR5 的資料⁴，直到本世紀中，中及高溫室氣體濃度情景下的海平面上升推算並沒有顯著分別。但隨著接近本世紀末，有關差異會顯著增加。



海平面上升在氣候變化預測的圖解

參考資料: 政府間氣候變化專門委員會第五次評估報告

⁴ 2021 年 8 月，IPCC 在第六次評估報告(AR6)發佈全球平均海平面上升預測。就中溫室氣體濃度情景，AR6 對於本世紀中的全球平均海平面上升的推算與 AR5 的推算沒有顯著分別。

沿岸風險的適應策略

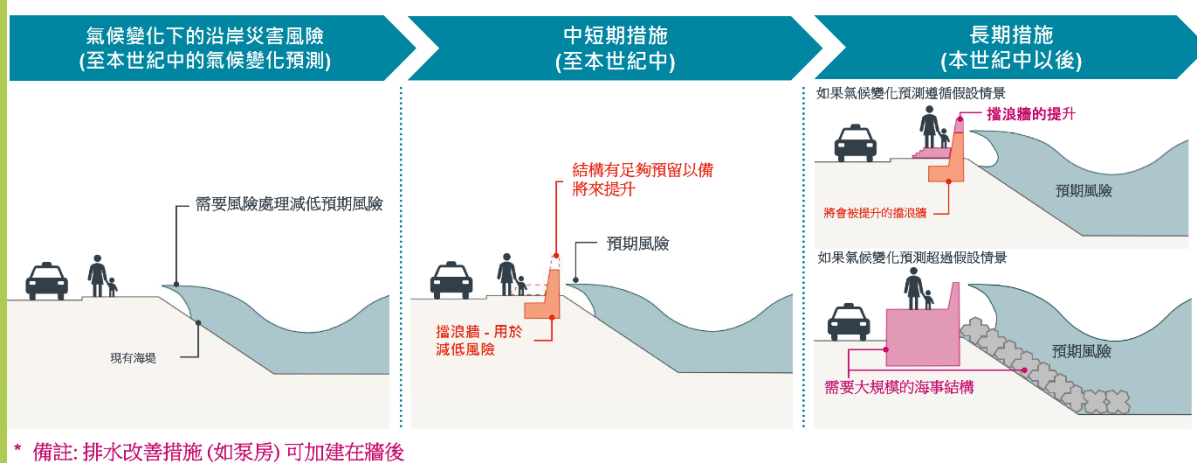
有效應對氣候變化，除了落實減少溫室氣體排放的措施外，我們亦需要就沿岸風險制訂適應氣候變化的策略，以緩減極端天氣對沿岸及低窪地區的影響，並加強相關地區的抗逆力。

循序漸進的策略

考慮到氣候變化的不確定性和世界各國承諾採取減碳行動，本研究建議採用**循序漸進的策略**，為沿岸較低窪及當風地點制訂適應氣候變化的策略。循序漸進的適應方法具有足夠的靈活性和適應性，可以當實際情況改變或氣候變化的程度與預期不同時，對相關措施作出修訂或更新。

在循序漸進的適應策略下，本研究建議採用 IPCC 在中溫室氣體濃度情景（假設情景），以本世紀中（即 2050 年）的氣候變化預測作為改善現有沿岸設施的設計情景，同時應密切地留意及監測長遠的氣候變化預測。並謹慎地考慮氣候變化的不確定性對沿岸災害規劃和管理的影響。

循序漸進的策略



根據《海港工程設計手冊》，一般海事基建工程，會採用 100 年重遇期作為設計準則。其他地方包括英國、美國紐約及內地亦普遍採用 100 年重遇期設計海事設施結構。本研究在實際可行情況下及考慮現場限制、環境及社區影響等因素，按 100 年重遇期為基礎優化現有海事設施結構。

在實際可行的情況下，本研究建議在沿岸適應措施的設計中預留「應變設計容量」⁵，以進一步增強有關設施對氣候變化的抗逆力，當中包括海平面上升預測的可能差異、風速強度增加的差異導致風暴潮和海浪高度的增加。

作為循序漸進的適應策略的一部份，本研究建議政府**持續監測**氣候變化及**適時檢視**應對沿岸風險的措施。

就**優化現有的沿岸海事設施結構**，如果於**本世紀中**的氣候變化幅度高於假設情況（如較接近高溫室氣體濃度情況），政府可運用「應變設計容量」加強沿岸基建的抵禦能力。

當接近本世紀中，如果政府預測長遠未來氣候變化的幅度不高於假設情景，在相關沿岸地區加高或加固基建設施，便基本上能夠應對**本世紀末**的極端天氣；如果確定長遠未來氣候變化的幅度高於假設情景，屆時政府便需要考慮規劃較大型的沿岸基建設施，應對本世紀末的沿岸風險。這樣可以避免過早實施大規模的改善措施，當中會涉及高昂的建造和營運成本。

就**新建的沿岸海事設施結構**，本研究建議在設計中根據設計使用期預留「應變設計容量」，以應對較高溫室氣體濃度情景出現。

另外，本研究建議政府參考其他地方的經驗，為沿岸地區從規劃和土地用途上提供指引及制訂長遠策略和防禦措施，以加強政府及相關持份者應對氣候變化的能力。



⁵ 應變設計容量：我們亦可在設計中留有彈性作將來的修改，例如在設計擋浪牆的地基時預留足夠承載力，讓日後在有需要的情況下可以進一步提高擋浪牆。

3 識別沿岸地區以進行改善

檢視香港的海岸線



堆石斜面海堤



重力直立式海堤



沿岸棚屋



河畔



海灘



天然海岸線



低窪濕地

香港有超過 1,000 公里長的海岸線，是在東南亞其中一個擁有最長海岸線的主要城市，當中包括人造海岸線、低窪地區、海灘、河畔、天然海岸線、沿岸高地、未發展海岸線等。雖然香港許多的沿岸地區已經受到海事結構的保護，但是它們亦需要面對持續氣候變化所帶來的風險。

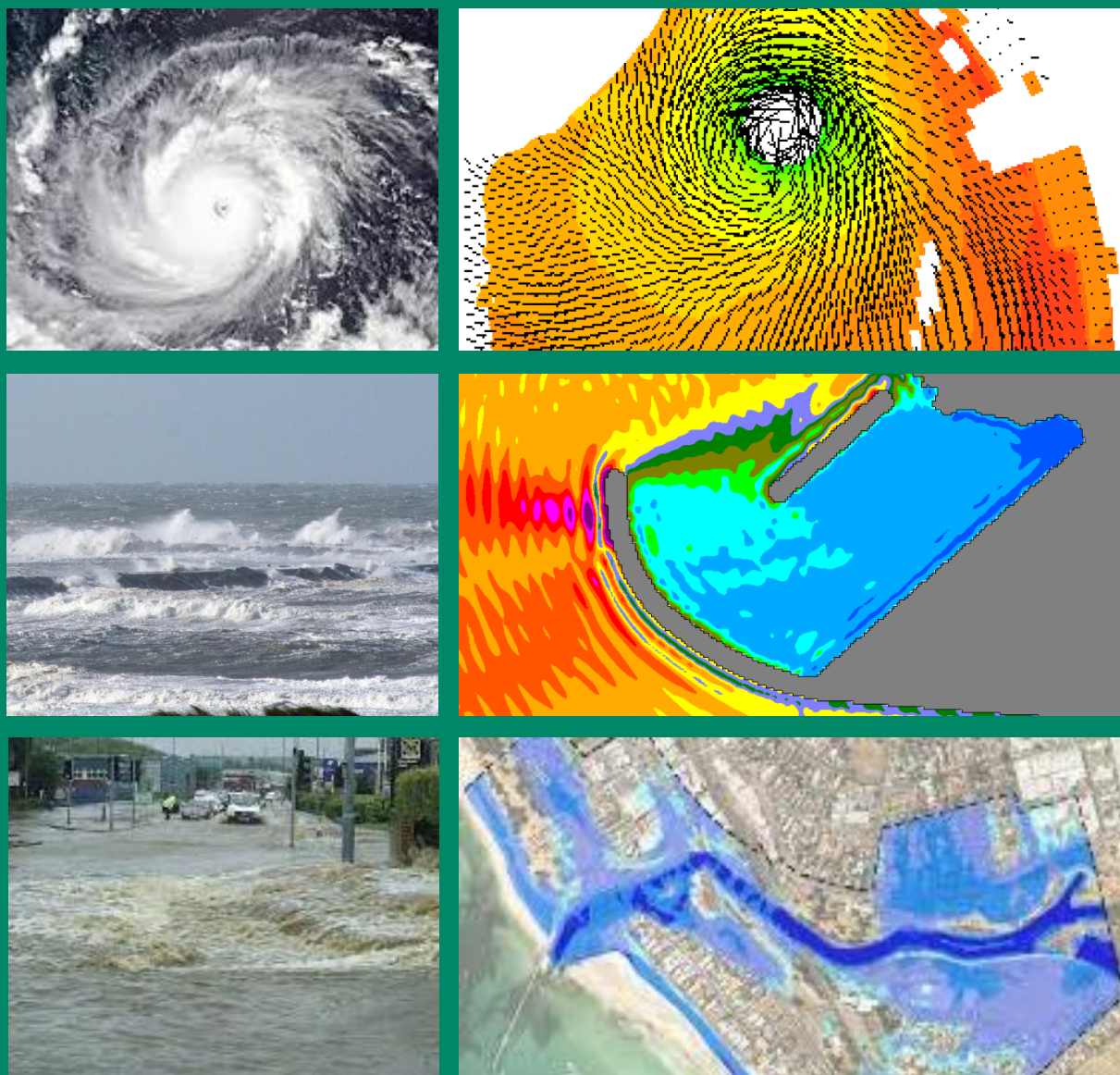
香港的沿岸地區有不同類型的發展，考慮到香港的地理位置、地形、海床深度和現時沿岸防禦基礎設施等因素，在氣候變化和極端天氣的影響下，部分沿岸地區會受到不同情度的沿岸災害的風險。識別較高風險沿岸地區的主要考慮包括沿岸災害的可能性和後果的嚴重性，在過程中本研究已參考過往因超強颱風吹襲發生沿岸淹浸所導致的損毀記錄作分析及評估。

分析評估

我們採用電腦模型分析在 100 年重遇期的極端天氣下海平面水平及風浪狀況，並考慮到在 2050 年中溫室氣體濃度的情景下氣候變化的預測。

我們已從相關政府部門及機構蒐集數據和資料，例如沿岸地形和海床深度數據、沿岸防禦基礎設施、風速、風暴潮數據、海事結構的圖則、測量記錄、過往沿岸水浸及損毀記錄等資料。我們已進行現場勘察以驗證相關資料。

我們已考慮上述所收集的數據和資料，運用電腦模型進行現有沿岸結構穩定性、越堤浪和沿岸海水淹浸的分析，以評估沿岸地區受災害的潛在影響和後果的嚴重程度。



電腦模擬颱風、海浪及海水淹浸

我們已分析現有具潛在沿岸風險的海堤，在結構上它們大致能抵禦 100 年重遇期的極端天氣及預測至 2050 年的氣候變化情況。

根據我們就越堤浪和沿岸海水淹浸的分析結果，本研究考慮預測至 2050 年的極端天氣情況下，香港沿岸地區的潛在沿岸風險大致可識別為：

- ❖ 越堤浪導致沿岸海水淹浸
- ❖ 越堤浪破壞海濱路面
- ❖ 低窪地區海水淹浸



識別較受到沿岸風險影響的地區

直至 2050 年的預測，在正常天氣情況下，香港現有的沿岸基礎設施一般足以保障沿岸地區抵禦海水淹浸的威脅。

按風險管理的方法，我們應先處理受較高風險及後果較嚴重的地區。在極端天氣影響的情況下，市民大多逗留在家，我們以市民安全為首要考慮，識別了較受潛在的沿岸風險影響的住宅發展地區作優先處理，並制訂改善措施以緩減極端天氣對市民的影響，加強社區的抗逆力。

本研究考慮至 2050 年氣候變化的預測，下圖顯示了 26 個較受潛在高風險影響的沿岸低窪或當風住宅地區：



4 改善計劃

改善方案的主要考慮因素

我們建議相關沿岸地區的改善計劃時已考慮以下九個主要因素，例如有限的現場空間、不規則及標高不一的海岸線、正在興建和計劃中的沿岸改善工程，例如元朗防洪壩計劃等。



沿岸災害
的程度



後果的
嚴重程度



現場
局限



已完成/計劃中
的改善工程



實際性



未來的
適應性



所需
實施時間



成本效益



對社區和
環境的影響

務實的改善措施

考慮到極端天氣的短暫性但卻可帶來嚴重後果，本研究建議以務實的方法制訂具成本效益的改善計劃，在處理潛在的沿岸風險和切實可行的緩解方案之間取得適當的平衡。

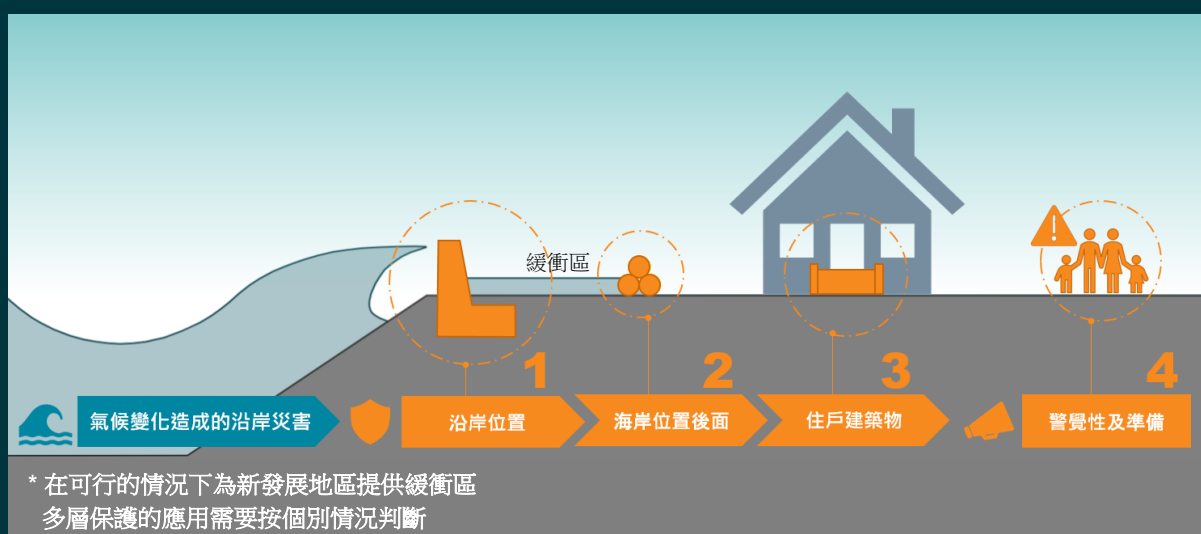
我們需要按實際可行的情況決定優次，保護或減低沿岸地區的沿岸災害風險。可是，由於不同因素影響，包括現場局限、成本效益、對航道、環境和社區等的影響，不是所有沿岸地區都能單以改善基礎設施的工程方法（「硬件」）得到全面保護。制訂合適的管理措施（「軟件」）同樣重要，這包括加強市民應對剩餘風險的準備、應變及抗逆力。管理措施包括加強預警、緊急應變等。

本研究參考外地和本地的經驗和做法，建議採用多層保護的改善措施，以應對極端天氣，其好處如下：

- 與大型基礎設施相比較具成本效益及環保；
- 減少對社區的影響；
- 盡量利用近岸的空間建設緩衝區；及
- 在設計上預留彈性，可在日後有需要時加高擋浪牆。

「**多層**」保護包括：

- 1** 在沿岸位置加建或提高擋浪牆，以減少沿岸災害；及/或
- 2** 在海岸位置後面的合適地點加設固定和/或可拆卸式擋水設施，以阻截海水湧入內陸；及/或
- 3** 在住戶建築物前加設可拆卸式擋水板或提供沙包。
- 4** 配合以上(2) 和/或 (3)的管理措施，以提高市民對極端風暴的警覺性和加強準備措施，例如制訂預警系統及緊急應變安排等行動計劃、加設水文尺、放置水泵和警告牌等。



在一些沿岸地區，解決沿岸海水淹浸問題不能單靠以上第 (1) 和 (2) 層的保護，特別在低窪地區，例如當建築物分散在不規則及標高不一的沿岸或河畔低窪位置或在沿岸的棚屋，在沿岸加建擋浪牆或加設可拆卸式擋水設施（即以上第 (1) 和 (2) 層的保護）並不切實可行及不符成本效益，這甚至會影響市民的日常生活。相比之下，更為實際可取的措施是在住戶建築物前加設可拆卸式擋水板作自我保護（即以上第 (3) 層保護），從而緩減因海水淹浸所帶來的市民安全風險和財物損失。除此之外，相關持份者應按個別位置考慮研究改善排水系統，例如抽水設施、在排水渠加設止回閥等。同時，本研究建議持續監測和審視氣候變化的發展，並適時進行進一步研究及採取改善措施。



在已識別的現有住宅地區的建議改善措施摘要

已識別地區		適應措施			管理措施
		加建或提高擋浪牆	海岸位置後面加設擋水設施	住戶建築物前加設擋水板	
1	堅尼地城，西營盤及上環	✓	✓	-	✓
2	杏花邨	✓	✓	-	✓
3	石澳村	-	✓	✓	✓
4	赤柱八間	✓	-	-	-
5	海怡半島	-	-	-	✓
6	東涌灣 (馬灣涌村、沙咀頭、沙螺灣)	-	-	✓	✓
7	大澳	✓	✓	✓	✓
8	大嶼山十壟及長沙下村	✓	-	-	-
9	梅窩麻布村及涌口	✓	✓	✓	✓
10	坪洲西部地區 (南灣新村)	✓	✓	-	✓
11	長洲西地區	✓	-	-	-
12	南丫島榕樹灣	✓	✓	-	-
13	鯉魚門 (馬環村、三家村)	✓	✓	✓	✓
14	沙頭角市 (中英街、崗下)	-	✓	✓	✓
15	吉澳西部低窪地區 (吉澳漁民村)	-	-	✓	✓
16	大埔三門仔新村	-	-	✓	✓
17	大埔墟 (近林村河)	-	✓	-	✓
18	馬鞍山渡頭灣村	-	-	✓	✓
19	西貢市中心及對面海	✓	✓	✓	✓
20	西貢南圍 / 響鐘	-	-	✓	✓
21	將軍澳南 (將軍澳海濱公園)	-	✓	-	✓
22	元朗中部低窪地區 (大井圍、涌口漁民新村、山貝村、橫洲、元朗市中心)*	-	-	✓	✓
23	元朗西北部沿岸低窪地區 (沙橋村、虎草村、流浮山、坑口村、上白泥、下白泥)	-	-	✓	✓
24	大欖聯安新村	-	-	✓	✓
25	屯門嘉和里	-	-	✓	✓
26	深井新村	-	-	✓	✓

備註：

1. 改善措施將分階段為 26 個已識別地區分批實施
2. 每個地點的設計細則將按個別情況制訂
3. 就中溫室氣體濃度情景，AR6 對於本世紀中的全球平均海平面上升的推算與 AR5 的推算沒有顯著分別，故此，本研究建議的改善計劃足以應付 AR6 中推算的海平面高度上升。
4. * 已考慮現正規劃及設計中的元朗防洪壩計劃，此計劃可以紓緩元朗市中心住宅地區的水浸情況。

改善措施的可行方案

本研究參考外地及本地經驗，建議考慮不同的適應方案減少沿岸災害的影響的範圍和程度；及管理措施提高市民對潛在沿岸災害和防浸的意識，增強社區及沿岸地區的抗逆力。現時政府相關部門已就應對極端天氣在個別地區制訂有關預警系統及應變安排。當中的安排包括通知受影響人士、開放臨時庇護中心、提供沙包及協助疏散等緊急應變措施。

外地的改善措施



擋浪牆



防洪牆



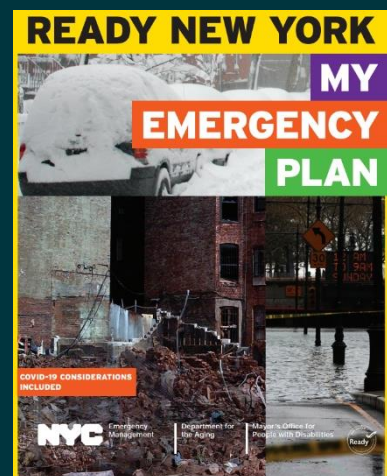
用於圍封建築物的可拆卸式擋水板



用於出/入口的可拆卸式擋水板



充水式屏障



應變計劃



用於空地的可拆卸式擋水板



用於地面開口的可拆卸式擋水板



擺門式防水閘



滑動式防水閘



可拆卸式擋水板

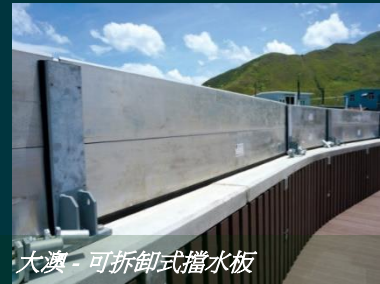
本地已完成的改善措施



西貢 - 擋浪牆



將軍澳 - 路面提升



大澳 - 可拆卸式擋水板



元朗 - 防洪牆



杏花邨 - 花槽圍牆



大埔 - 下水道排水口止回閥



小西灣 - 可拆卸式擋水板



水位指示器



響鐘 - 止回閥



杏花邨 - 可拆卸式擋水板



警告牌

實施策略




外地成功處理沿岸災害的經驗證明了推展緩減措施不僅是政府的責任，還需要沿岸地區的居民、業主和社區做好準備。本研究為相關持份者提供了環境動態性質的信息、沿岸地區正面對或將來可能發生的潛在風險、降低沿岸設施受災害影響程度的措施，和未來加強保護措施的選項。這些資料可作持份者在未來選擇改善和管理措施時，考慮所需資源的參考之用。

顧及推展有關改善措施需要與相關持份者進行協調和處理所需的法定程序，我們預計本研究建議的改善措施可在 5 年內分階段推展，緩解已識別的現有住宅地區的沿岸風險。






5 建議及未來方向

建議後續行動

-  推展改善工程的設計工作及建造
-  制訂實施管理措施的行動計劃
-  聯絡/協調相關政府部門/私營機構/持份者推展有關措施

建議進一步的規劃

-  持續監測和審視氣候變化的發展
-  適時審視和更新有關設計標準及方法
-  就海岸保護的長遠規劃和管理作進一步研究