

從生命週期的觀點探討海岸工程演變

王文清¹ 呂中本² 陳振華^{3*}

¹國立台東大學資訊管理學系

²經濟部水利署第八河川局

^{3*}國立高雄大學土木與環境工程學系

摘 要

本文以時間數列探討海岸工程之政策、工法及天然災害之演變，以歷年來台東縣 172 公里海岸線範圍內已施作之海岸主體工程、以及後續衍生之修(維)護的 45 件案例主體工程為案例，並依投入之工程經費多寡，分析海岸工程生命週期表現、以及影響生命週期之關聯因子。本文研究分析的 45 件主體工程發現，海岸工程生命週期表現上，尚無達到生命終期之案例；在影響因素上，工程損壞影響最重要因素為天然災害，由於海岸工程屬永續工程的一環，並無工程終期案例，對損壞行為各案例皆以修(維)護方式延續其生命週期；在經費關聯性分析結果，則顯示出海岸工程中修(維)護經費高於新建工程，惟現階段已依「維持自然海岸不再降低」之基本管理原則。因此，預估數年後，海岸工程維護總經費將超過新建總經費，而維護管理機制則朝向以自然保育為主的海岸策略。

關鍵詞：海岸工程，生命週期，海岸管理，時間序列

Determination of Coastal Engineering Changes from the Performance of Life-Cycle

Wen-Ching Wang¹, Chung-Pen Luo², and Chern-Hwa Chen^{3*}

¹*Department of Information Science and Management Systems, National Taitung University*

²*The 8th River Management Office, WRA, MOEA.*

^{3*}*Department of Civil and Environmental Engineering, National University of Kaohsiung*

ABSTRACT

The study of this paper is on coastal engineering changes in time series with policies, engineering methods and natural disaster involving 45 major coastal engineering cases built in Taitung County along a 172-kilometer coastline. The performance of the life cycle shows that none of the 45 case projects have reached the end of life cycle. The related factors affecting the life cycle reveal that natural disaster is the most important factor for each project, as shown by the level of maintenance. The relative expenditure analysis reveals that coastal engineering undertakings, repair, and maintenance expenses exceed the expected expends of new future construction projects.

Keywords: coastal engineering, life cycle, coastal management, time series

文稿收件日期 99.10.12; 文稿修正後接受日期 100.9.20; *通訊作者

Manuscript received October 12, 2010; revised September 20, 2011; *Corresponding author

一、前言

海岸變遷受地質地形、氣象、海象及人為結構物等影響，為一種複雜的海岸動力變化過程；早期海岸防護工作，大多以防止立即性潮浪災害為主要目的，興辦之初，其構築方式以擋浪防災及保護國土為需求考量，故皆以刚性結構海堤，與堆疊式消波塊保護方式為主要工法。近年來，海岸工程界正重新思考發展能與自然環境相融合之工法[1]。另外，相關單位歷年來在海岸保護方面投入龐大經費與人力在維持公共設施的生命週期，惟海岸侵蝕所造成國土流失及禦潮構造物破壞之災害仍頻傳，故海岸工程在其全生命週期的立案興建、管理與維護(災修)之各階段工作擬定與評估更顯得重要。

本文嘗試以海岸工程之直接成本投資經費為主軸，研究海岸工程全生命週期之表現與各影響因子之關聯性，並運用統計分析方式，探討歷年來海岸工程設置與維護週期等，為公共政策提供一個較為客觀的資訊。

二、生命週期理論與維護管理

生命週期(Life-Cycle)依 ASTM E833-97b (Standard Terminology of Building Economics) 定義為整個分析投資期程的時間，此即為該設施由出生到死亡的時間。英國 BS3843 規範之定義，生命週期成本為所有關於產品獲得、維護、廢棄處理所產生之費用，包含可行性研究、規劃設計、製造、維護、置換、廢棄物處理，甚至是任何有關產品獲得、使用及汰換時所發生之訓練或作業費用皆稱為生命週期成本。因此，生命週期成本涵蓋之範圍相當廣泛，至於公共工程因涉及公共財概念，一般定義其生命週期如圖 1 所示。本文所探討之海岸工程因特殊屬性因素，過去的研究甚少考慮構造物之生命週期成本，僅重視其新建成本，卻往往忽略後續的維修費用，造成後續龐大之財務負擔[2]。

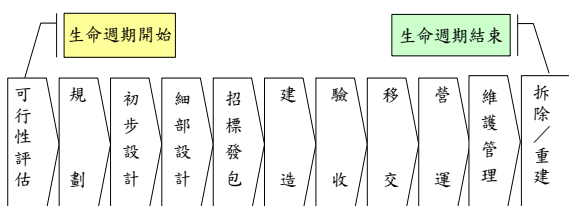


圖 1. 一般性公共建設生命週期定義圖

一般而言，工程構造物生命週期可分為四大階段，包括規劃(Planning)、設計(Design)、施工(Construction)，與維護(Maintenance)。因此，若以時間數列統計分析探討海岸工程生命週期與各影響因子之關聯性，如圖 2 所示，其中，興建階段包括規劃、設計與施工三階段；維護管理階段則為維護階段。根據 Kececioglu[3]對維護之定義，為使無失效之單元(Non-Failed Units)維持在可靠且安全滿意之運轉狀態，假使單元發生失效，則將其恢復至可靠且安全滿意之運轉狀態。因此，對維護之定義，簡言之，即『使設備維持在可用狀態或恢復故障缺陷之活動』。一般而言，設備的維護可分為兩種主要類型：

- (1). 預防維護(Preventive Maintenance, 簡稱 PM): 視工廠生產設備運轉狀況，為使其保持在特定的狀況而做有計畫之維護工作。
- (2). 矯正維護(Corrective Maintenance, 簡稱 CM): 當生產設備的單一系統或部分功能發生失效狀況，甚至全工廠當機時，為使設備復原至特定狀況採取之維護行動[3]。

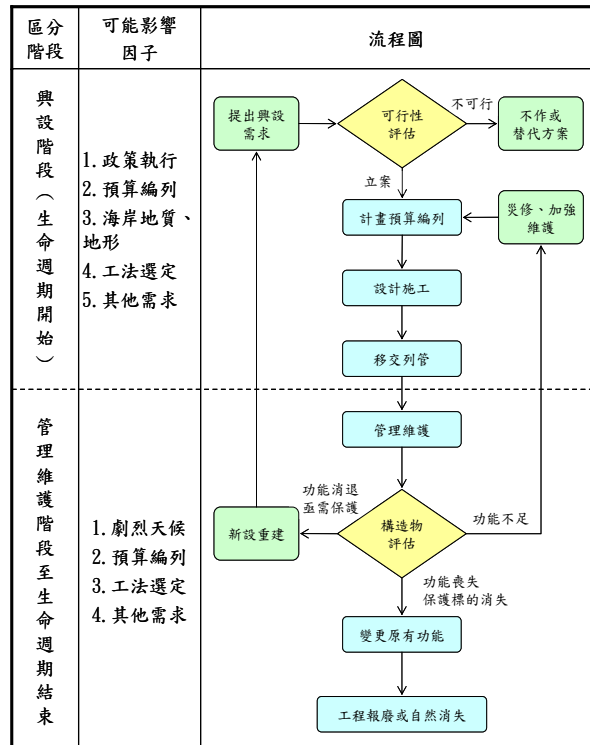


圖 2. 海岸工程生命週期流程圖

另外，Pham and Wang[4]以維護程度將維護分為五種狀況，其包括：(1). 完全維護、(2). 最小修復、(3). 不完全維護、(4). 較糟維護，以及(5). 最糟維護等狀況。其中，完全維護為

設備經維護後會變成全新狀態(As Good As New)，即維護活動可使設備狀態回復至 t=0 的全新狀態，且設備維護後與維護前具有相同的失效函數。最小修復乃是設備經維護後其狀態為如舊狀態(As Bad As Old)，即當設備發生突發故障時進行最小修復以消除故障，使設備狀態回復至與失效前相同。而不完全維護則是設備實施維護後會使其狀態回復至較新的狀態，其回復程度會介於完全維護與最小修復之間，此即為不完全維護。因此，針對具有老化特性的設備，其維護通常屬於不完全維護。

三、海岸工程演變歷程

臺灣海岸防護歷史自日據時代 1937 年實施「農業臺灣，工業日本」政策下，在嘉義開發海埔新生地肇始與海爭地為開端，並在農漁牧及經濟發展等方面衝擊下，各式各類之海岸構造物在地方政府或住民零亂的興建後延續，直至 1972 年海岸防護統由公部門編訂計畫檢討施設，並參酌國內外案例工法與修訂臺灣因應海岸管理之重大法規變革等措施，故在法制面或工程技術觀點上均有不同之演歷，本

文廣泛蒐集相關資料以縱斷面研究觀點，將海岸防護之發展歷程重要的時間點，並配合研究範圍段內歷年來所施設之重要緣由與作法等，如圖 3 所示，為按時間順序歸類整理海岸防護歷程。海岸保護工法之型式與演進，早期著重於「線」之保護，即利用構築護岸、海堤、消波工等方法，沿海岸作線形保護工程，防止浪潮越堤、遏止海水入侵及陸地流失等，並保護沿海地區居民的生命財產安全，及確保沿海土地之開發利用[5]；至 1981 年演變以混凝土材料為主之剛性海岸工程，2000 年後則受生態概念影響，於部份海岸段嘗試施作新式海岸工程工法，逐漸朝向低堤頂、以自然材料為主之軟性保護工程及環境營造為目的遞演。

目前，政府推行挑戰 2008 國家發展重點計畫第九大項「水與綠建設計畫」[6]：將透過生態規劃方式，全面推動海岸環境的復育與改造。業將「維持自然海岸線比例不再降低」(台灣本島以 95 年之 44.7% 為基準) 列為評估指標，未來海岸地區之利用管理，應以減量、復育為基本原則，並以符合「資源保護」與「災害防治」者為優先考量。

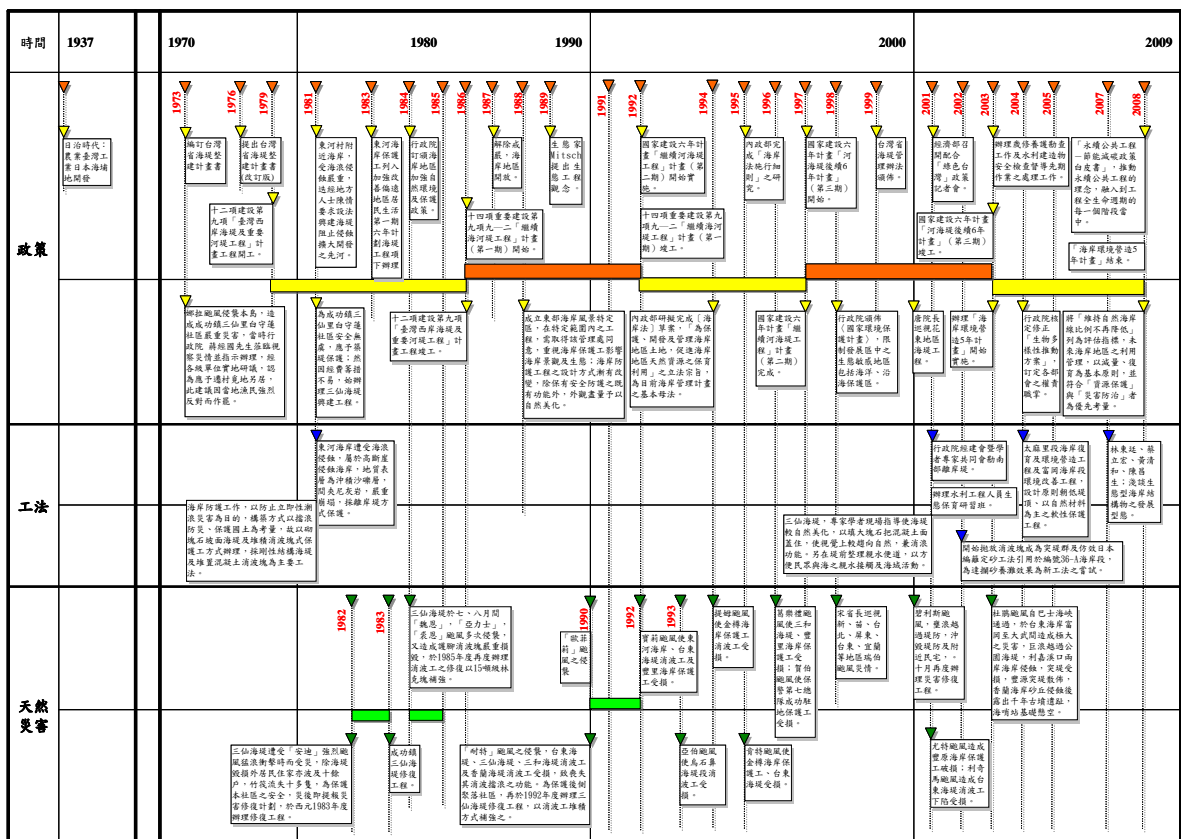


圖 3. 臺灣海岸工程演變歷程圖

四、海岸工程案例探討

本文以臺灣東海岸為例，海岸線北起自長濱鄉樟原村，南迄達仁鄉南田村塔瓦溪南與屏東縣牡丹鄉分界，長度約達 172 公里海岸範圍內，本文彙整自 1981 年迄 2009 年間共 45 件主工程與海岸段內，總計 136 件新(增)建與修(維)護工程之禦潮設施按北而南順序予以編號起點，如表 1 所示，北起自編號 01 海岸段，南迄達仁鄉編號 45 海岸段止，探討其生命週期維護狀況、工法演變、工程經費結構與影響工程關聯因素。

表 1. 歷年案例工程調查統計分析

海岸段	案例編號	新建(含增建)		維護(含裝修)		施工次數		經費支出(百萬)及佔用百分比(%)				
		年度	經費	年度	經費	新建	維護	新建		維護		
								總經費(1) =(2)+(4)	百分比(3) =(2)/(1)*100	經費(4)	百分比(5) =(4)/(1)*100	
01	01-A	1998	3,271			1	1	7,371	3,271	44.38%	4,100	55.62%
	01-A-R-1			2002	4,100							
02	02-B	1991	18,582									
	02-B-E-1	2001	16,948			2	1	52,823	35,530	67.26%	17,293	32.74%
	02-C-R-1			2006	17,293							
03	03-B	2002	21,254			1		21,254	21,254	100.00%	0.000	0.00%
	04-B	1996	22,122									
04	04-B-E-1	1997	21,618									
	04-B-E-2	2001	9,627									
	04-B-R-1			2005	2,039	3	3	68,659	53,367	77.73%	15,292	22.27%
	04-B-R-2			2006	9,040							
	04-B-R-3			2008	4,213							
05	05-B	1994	7,456			1		7,456	7,456	100.00%	0.000	0.00%
06	06-B	1990	7,913			1		7,913	7,913	100.00%	0.000	0.00%
07	07-B	2001	13,455									
	07-B-E-1	2009	11,280			2		24,735	24,735	100.00%	0.000	0.00%
08	08-B	1995	10,400									
	08-B-E-1	1997	2,515			3		22,313	22,313	100.00%	0.000	0.00%
	08-B-E-2	2002	9,397									
09	09-A	1986	17,940									
	09-A-E-1	1987	23,962			2	1	44,852	41,902	93.42%	2,950	6.58%
	09-B-R-1			1994	2,950							
10	10-B	2001	10,980			1		10,980	10,980	100.00%	0.000	0.00%
11	11-B	1991	28,881			1		28,881	28,881	100.00%	0.000	0.00%
12	12-B	1991	23,574			2		33,110	33,110	100.00%	0.000	0.00%
13	13-A	2002	15,937					15,937	15,937	100.00%	0.000	0.00%
	14-A	1981	8,813									
14	14-A-E-1	1988	2,455									
	14-B-R-1			1983	12,148							
	14-B-R-2			1985	4,164							
	14-B-R-3			1989	3,226							
	14-B-R-4			1992	3,670	2	8	81,279	11,268	13.86%	70,011	86.14%
	14-B-R-5			1997	0,590							
	14-B-R-6			1998	13,720							
	14-A-R-1			2000	12,941							
14-B-R-7			2001	19,552								
15	15-A	1991	9,008			1	1	24,568	9,008	36.67%	15,560	63.33%
16	16-B	1996	19,650			1		19,650	19,650	100.00%	0.000	0.00%
17	17-B	1991	15,371									
	17-B-R-1			1994	5,200	1	3	43,837	15,371	35.06%	28,466	64.94%
	17-B-R-2			2003	13,318							
	17-B-R-3			2007	9,948							
18	18-A	1998	23,498			1		23,498	23,498	100.00%	0.000	0.00%
19	19-B	1989	6,182			1		6,182	6,182	100.00%	0.000	0.00%
20	20-B	1995	20,371			1		20,371	20,371	100.00%	0.000	0.00%
21	21-B	1983	4,744									
	21-B-E-1	1985	3,961									
	21-B-E-2	1986	5,987									
	21-B-E-3	1991	14,980			5	1	51,488	45,338	88.06%	6,150	11.94%
	21-B-E-4	1997	15,667									
21-B-R-1			1993	6,150								
22	22-B	1994	20,777									
	22-B-R-1			1996	5,437	2	2	42,808	33,285	77.75%	9,523	22.25%
	22-B-R-2			2008	4,086							
23	23-B	1992	21,770			2		34,780	34,780	100.00%	0.000	0.00%
24	24-A	1993	6,152			1		6,152	6,152	100.00%	0.000	0.00%
25	25-A	1991	14,507			1		14,507	14,507	100.00%	0.000	0.00%
26	26-B	1997	10,468			1		10,468	10,468	100.00%	0.000	0.00%
27	27-A	1983	6,570									
	27-A-R-1			2001	3,954							
	27-C-R-1			2005	17,050	1	3	28,537	6,570	23.02%	21,967	76.98%
	27-A-R-2			2005	0,963							
28	28-A	1988	5,983									
	28-A-E-1	1988	8,270									
	28-E-E-2	2004	18,986			3	2	51,483	33,239	64.56%	18,244	35.44%
	28-C-R-1			2005	17,214							
29	29-B	1996	20,431			1		20,431	20,431	100.00%	0.000	0.00%
30	30-A	2000	42,187									
	30-A-E-1	2001	44,400			2	1	98,509	86,587	87.90%	11,922	12.10%
	30-C-R-1			2004	11,922							

表 1. 歷年案例工程調查統計分析 (續)

海岸段	案例編號	新建(含增建)		維護(含裝修)		施工次數		經費支出(百萬)及佔用百分比(%)					
		年度	經費	年度	經費	新建	維護	總經費(1) =(2)+(4)		新建		維護	
								經費(2)	百分比(3) =(2)/(1)*100	經費(4)	百分比(5) =(4)/(1)*100		
31	31-A	1984	59,302										
	31-B-E-1	1986	31,614										
	31-B-E-2	1987	11,882										
	31-B-E-3	1991	13,537										
	31-B-R-1			1989	5,309								
	31-B-R-2			1993	11,753								
	31-B-R-3			1996	7,667	4	9	227,497	116,334	51.14%	111,162	48.86%	
	31-B-R-4			2000	19,085								
	31-C-R-1			2002	5,320								
	31-C-R-2			2002	20,759								
	31-C-R-3			2003	18,479								
31-C-R-4			2004	13,544									
31-C-R-5			2007	9,245									
32	32-B	1993	34,776										
	32-C-R-1			2003	18,650	1	4	86,734	34,776	40.10%	51,957	59.90%	
	32-C-R-2			2003	1,691								
	32-C-R-2			2004	22,282								
33	33-B	1994	15,777										
	33-C-R-1			2005	18,817	1	3	82,459	15,777	19.13%	66,682	80.87%	
	33-B-R-1			2006	19,256								
	33-C-R-2			2009	28,609								
34	34-B	1988	13,964										
	34-B-E-1	1991	9,699										
	34-B-R-1			1993	9,058	2	4	45,199	23,663	52.35%	21,536	47.65%	
	34-B-R-2			1997	1,832								
	34-B-R-3			2000	3,450								
35	35-B	2000	12,897			1		12,897	12,897	100.00%	0.000	0.00%	
36	36-A	1999	7,688										
	36-B-R-1			2001	2,145	1	3	28,856	7,688	26.64%	21,168	73.36%	
	36-C-R-1			2002	16,023								
37	37-A	1999	7,455			1		7,455	7,455	100.00%	0.000	0.00%	
38	38-B	2003	20,540			1		20,540	20,540	100.00%	0.000	0.00%	
39	39-B	1988	11,668										
	39-B-E-1	1992	12,216										
	39-A-E-1	1999	16,645			4	2	84,716	60,523	71.44%	24,193	28.56%	
	39-B-E-2	2003	19,994										
	39-B-R-1			1992	9,889								
40	40-B	1994	22,991										
40-B-E-1	1995	18,447			3	1	60,359	47,599	78.86%	12,760	21.14%		
40-B-E-2	1999	6,161											
40-E-R-1			2004	12,760									
41	41-B	1988	8,657										
	41-B-E-1	1992	9,824										

加，而 2000~2002 年間維護費用逐漸高於新建工程經費，在 2003 年為歷年來維護經費最高達約 7 仟 6 佰萬元，為當年新建經費之 188%，此階段乃管理維護為主要生命週期後期開始作延續工程生命之表現。

4. 2005~2008 年間之維護工程經費遞減，而且未編列新建工程經費。

表 2. 歷年案例工程年度經費統計表

年度	經費			新建百分比		維護百分比	
	(1) 新建(百萬)	(2) 維護(百萬)	(3)=(1)+(2) 年度總經費	(7)=(1)÷(6) 新建%	(8)=歷年(7) 新建累計%	(9)=(2)÷(6) 維護%	(10)=歷年(9) 維護累計%
1981	8.813	0.000	8.813	0.50	0.50	0.00	0.00
1982	0.000	0.000	0.000	0.00	0.50	0.00	0.00
1983	11.314	12.148	23.462	0.64	1.13	0.68	0.68
1984	59.302	0.000	59.302	3.34	4.47	0.00	0.68
1985	3.961	4.164	8.125	0.22	4.69	0.23	0.92
1986	55.541	0.000	55.541	3.13	7.82	0.00	0.92
1987	35.844	0.000	35.844	2.02	9.83	0.00	0.92
1988	50.997	0.000	50.997	2.87	12.70	0.00	0.92
1989	6.182	8.535	14.717	0.35	13.05	0.48	1.40
1990	7.913	0.000	7.913	0.45	13.50	0.00	1.40
1991	148.140	0.000	148.140	8.34	21.83	0.00	1.40
1992	60.909	20.320	81.229	3.43	25.26	1.14	2.54
1993	74.779	26.961	101.740	4.21	29.47	1.52	4.06
1994	80.011	8.150	88.161	4.50	33.97	0.46	4.52
1995	69.610	1.812	71.422	3.92	37.89	0.10	4.62
1996	62.203	13.104	75.307	3.50	41.39	0.74	5.36
1997	50.268	32.286	82.554	2.83	44.21	1.82	7.17
1998	57.510	13.720	71.230	3.24	47.45	0.77	7.94
1999	37.949	0.000	37.949	2.14	49.58	0.00	7.94
2000	84.855	35.476	120.331	4.77	54.36	2.00	9.94
2001	95.409	25.651	121.060	5.37	59.73	1.44	11.38
2002	46.588	46.202	92.791	2.62	62.35	2.60	13.98
2003	40.534	60.509	101.043	2.28	64.63	3.40	17.39
2004	18.986	64.208	83.194	1.07	65.70	3.61	21.00
2005	0.000	56.083	56.083	0.00	65.70	3.16	24.16
2006	0.000	45.589	45.589	0.00	65.70	2.57	26.72
2007	0.000	20.223	20.223	0.00	65.70	1.14	27.86
2008	0.000	17.634	17.634	0.00	65.70	0.99	28.85
2009	61.050	35.805	96.855	3.44	69.13	2.01	30.87
計	(4) 1228.668	(5) 548.581	(6) 1777.249	(10)=(4)÷(6)×100% 69.13%		(11)=(5)÷(6)×100% 30.87%	

資料來源：本研究整理

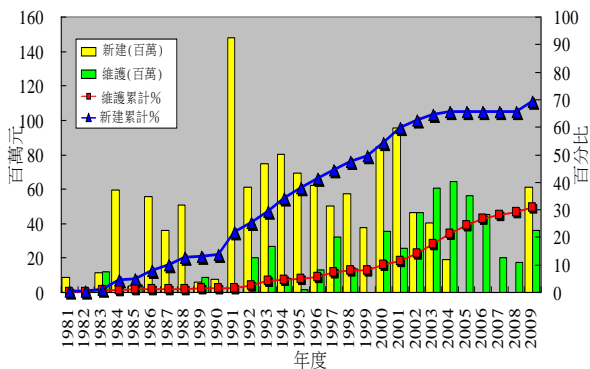


圖 4. 歷年案例工程設施經費與維護比例統計圖

4.2 案例工程工法演變與分析

經調查本研究範圍之案例工程海岸工法，計有海堤、消波工、突堤群、編籬定砂及軟性工法等 5 項。歷年興設 136 件海岸工程之工法統計結果，如圖 5 所示，以消波工 95 件最多佔 69.9%、海堤（護岸）25 件、佔 18.4

%次之、突堤養灘工程 13 件佔 9.6%、自然軟性工程 2 件佔 1.5%，而以編籬定砂 1 件佔 0.7%最少。在工法隨時間演變上，經統計發現 1981~1988 年間以興建剛性構造物海堤或護岸為主，在 1994~1997 年及 2005~2008 年間未曾以海堤作保護工法；1991~1997 年及 2001~2004 年間以施設混凝土消波塊為主。

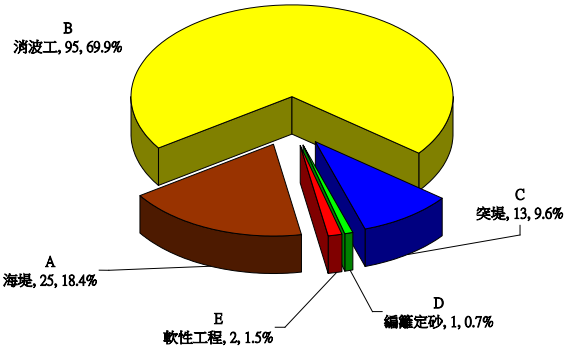


圖 5. 案例工程各類工法比例圖

2000 年以後，海岸河川整治生態工程理念興起，如圖 6 所示，海岸工法自 2002 年開始拋放消波塊成為突堤群，為達攔砂養灘效果，另一方面仿效日本編籬定砂工法引用於編號 36 海岸段；2004 年於案例編號 28 及 40 海岸段採用低堤頂、利用自然材料、透水性並配合栽植海岸原生植物以達綠美化效果，讓防護設施較符合生態、環境保育之理念，以減少對環境之衝擊。

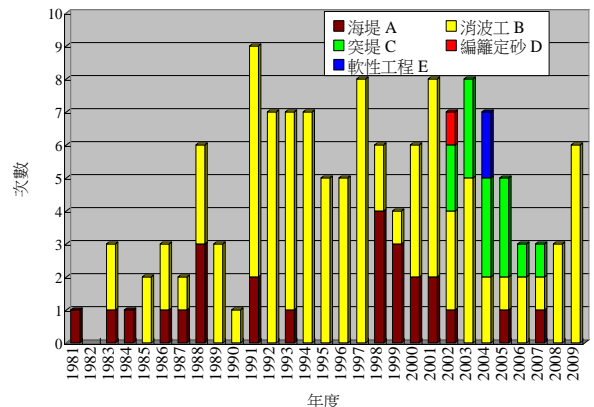


圖 6. 歷年案例工程設施工法比較分析圖

五、海岸工程關聯因素探討

海岸工程主要是為了能夠減低陸地的災害，本研究為探討海岸工程之關聯因素，係參

考內政部消防署，在全球環境永續指數(ESI-2005)-降低天然災害傷害指數分析與建議研究報告所提及之 PSR 模式(Pressure-State-Response)[7]，嘗試將造成災害之因素計有基本致災因素(如：地質地形等)、外在的動態壓力(如：劇烈天候影響產生暴潮)、工法適用性與公部門對海岸保護政策或海岸主管機關的施政計畫等四項重要因子，描繪出海岸工程興設關聯因素示意圖，如圖 7 所示，其中以基本致災因素、外在動態壓力、工法適用性，以及海岸保護政策為主要影響因素。

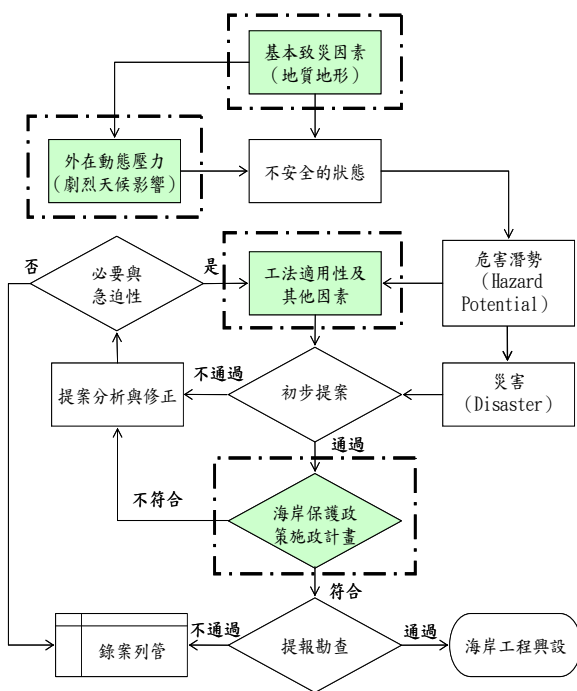


圖 7. 海岸工程興設關聯因素示意圖

5.1 海岸地質地形

臺東海岸以卑南溪為界分為南、北段，南段海岸長約 67 公里海岸較順直，屬沙灘海濱，沙灘寬度約 50~200 公尺之間，灘地坡度約 1/7 至 1/15；北段海岸長約 105 公里，除少數小河川流域狹窄之更新世不含紅土海階平原外，餘均為濱臨太平洋蜿蜒曲折之懸崖絕壁，本段海岸砂礫石海灘約 60 公里、斷崖海岸約 25 公里、礁石海岸約 20 公里[1]。依海岸侵蝕之程度概約分為 4 類岩性，羅列說明如表 3 所示。因此，臺東海岸之灘岸類型約有沙岸、礁岩、礫石灘，若因灘岸短促、高差較大，海岸長年受海浪入侵或風暴激浪的衝擊，沿海陸地崩毀，形成高崖之型態易受海岸侵蝕等 4

類因子；調查海岸段附近之天然地形(岬灣、礁岩島)、河口或人為構造物(漁港)等 3 項因子，亦可能對海浪之流向及反射波等造成干擾，並可能加快波浪流速侵蝕灘岸，進而對河川砂源補充海岸侵淤情形有著重要影響；故對案例工程之海岸地質地形 11 項相關因子進行調查研判結果：

表 3. 海岸地質分類調查表

岩層	區段範圍	岩性	岩相
火成岩 (都巒山層)	八仙洞、三仙台	岩性膠結良好，堅硬耐蝕，在海岸出露受海侵蝕易形成海蝕地形，硬度大，抗蝕力強，在地形上都形成高峰山脊。	礫岩、凝灰質砂岩、火山碎屑岩、安山岩、玄武岩
沉積岩(大港口層、蘇樂層及廬山層)	東河(馬武窟溪)、成功(三仙附近)、富岡的沿海、三和海岸以南	岩性較弱，於海岸出露時常被侵蝕成海崖、海蝕平台，是受蝕後退嚴重的地區。	泥岩、泥質板岩、礫岩、砂岩、粉砂岩、變質砂岩、頁岩、千枚岩、碎屑狀石灰岩、石灰岩、白雲岩、燧石、鹽岩、泥炭及煤
混同層(利吉層、崩積層)	長濱以南至東河沿岸、富岡以南至三和、各河口附近	土質鬆散，岩性凝結力最弱，此層受侵蝕後退嚴重。	泥砂、礫石、生物堆積或珊瑚礁岩
沖積層	各河口	土質鬆散，凝結力最弱，此層受侵蝕後退最嚴重。	土、砂、礫

1. 臺東市區段附近即編號 31~編號 36 之海岸段地質為混同層之崩積土層，土質軟弱，在這十餘公里之海岸即有卑南溪、太平溪及利嘉溪等三條溪流出口圍繞，並位於人口密集、活動頻繁的地段，自 1984 年起至今，經統計有新建工程 10 件，維護補強工程 23 件，合計 33 件，佔歷年來總建設件數約 24.3 %。
2. 珊瑚礁島地形對海岸亦有顯著影響，例如位於成功鎮三仙台珊瑚礁群北面之編號 14 海岸段，屢次遭受劇烈天候造成重大災害，歷年來新建工程 2 次，修護及災修工程計有 8 次。
3. 依據歷年案例工程工法配合海岸地質地形調查比較，以最軟弱易受侵蝕之沖積層有 29 件最多，如圖 8 所示，早期的海岸工程大多著重在於阻止立即潮害設計為主要目的，而且海岸工法種類大多使用剛性構造物(海堤與消波工)，較無考慮依地質岩相之不同性質採用相對應之工法設計原則。實際上，海岸工程工法之設計與海岸地質軟弱特性應具有相當之關聯性，然而，早期的設計可能受限於當時工程目的與工法技術，多使用剛性構造物，較無考量到地質特性對於設計的重要性。

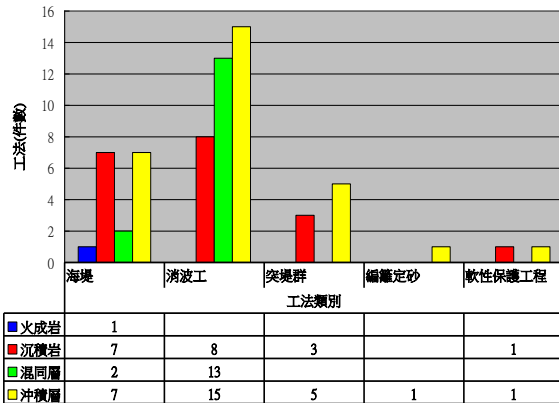


圖 8. 案例工程海岸地質與工法種類比較圖

5.2 劇烈天候的影響

依據中央氣象局歷年來颱風資料庫紀錄，自 1981~2008 年曾對本島發佈海上陸上颱風警報的颱風有 155 個，未侵台的有 48 個，對臺灣造成影響的有 107 個，每年平均約有 3.8 個。調查歷史資料 1973 至 2008 年間臺東海岸防護工程歷年造成災害的颱風數彙集整理，如表 4 所示。

表 4. 1973~2008 年颱風對臺東海岸災害統計表

年度	颱風名稱	災害概況
1973	「娜拉」	造成成功鎮三仙里白守蓮社區嚴重災害，當時行政院 蔣經國先生蒞臨視察災情並指示辦理，經各級單位實地研議，認為應予遷村覓地另居，此建議因當地漁民強烈反對而作罷。為能使該成功鎮三仙里白守蓮社區安全無虞，使其免受颶風巨浪之威脅，故應予築堤保護；然因經費籌措不易，至1981年度始辦理案例編號14-A海堤興建工程。
1982	「安迪」	猛烈衝擊案例編號14-A海堤工程，除海堤毀損外居民住家亦波及十餘戶，竹筏流失十多隻。
1984	「魏思」，「亞力士」，「森思」	颶風多次侵襲，又造成案例編號14-A海堤工程護腳消波塊嚴重損毀。
1990	「歐菲莉」	案例編號34-B保護工0+000-0+150、0+500-0+550段消波工受損200公尺。
1991	「耐特」	案例編號31-A海堤0+100-0+400段消波工受損300公尺；案例編號14-A海堤0+160-0+580段消波工受損420公尺；案例編號39-A-E-1海堤0+000-0+500段消波工受損500公尺；案例編號41-B保護工0+000-0+400段消波工受損400公尺。
1992	「寶莉」	案例編號21-B保護工0+300-0+500段消波工受損200公尺；案例編號14-A海堤0+000-0+500段消波工受損500公尺；案例編號34-B保護工0+000-0+750段消波工受損750公尺。
1993	「亞伯」	案例編號09-A海堤0-040-0+160段消波工受損200公尺。
1994	「提姆」	案例編號22-B保護工受損320公尺。
1995	「肯特」	案例編號22-B保護工0+105-0+425段消波工受損320公尺；案例編號14-A海堤0+250-0+500段消波工沖毀250公尺。
1996	「葛樂禮」	案例編號39-A-E-1海堤0+000-0+300段消波工受損300公尺；案例編號34-B保護工0+000-0+100段消波工受損100公尺。
	「賈伯」	案例編號15-A保護工保警第七總隊成功駐地0-040-0+000、0+097-0+257段消波工受損200公尺。
2000	「碧利斯」	案例編號14-A海堤0+070-0+472段水防道路嚴重受損。
2001	「尤特」	案例編號36-A海堤兩翼胸胸破損。
	「利奇馬」	造成案例編號31-A海堤0+650-0+800段消波工下陷受損。
2003	「杜鵑」	造成案例編號32-B保護工破損長度約495公尺。
2005	「海棠」	造成案例編號28-A海堤0+180-0+200處海堤坡面破損約寬20M，高5M。

資料來源：本研究整理

另外，如圖 9 所示，為歷年颱風造成臺東海岸受災之情形，在 1981~2009 年間，共有 18 次颱風造成海岸構造物災損，圖中也顯示 1984、1996、2001 年臺東海岸設施受風災影

響的頻率較高，1985~1989 年、1997~1999 年及 2006~2008 年侵襲臺灣的颱風未對臺東海岸構造物造成損壞。另外，如圖 10 所示，按海岸構造物種類區分受天然氣候影響情形分析，說明如下：

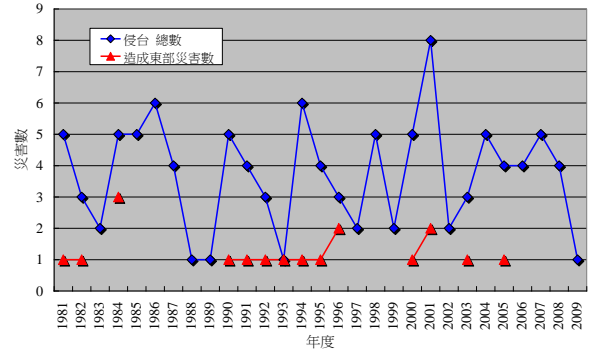


圖 9. 歷年造成臺東海岸受災之颱風數比較圖

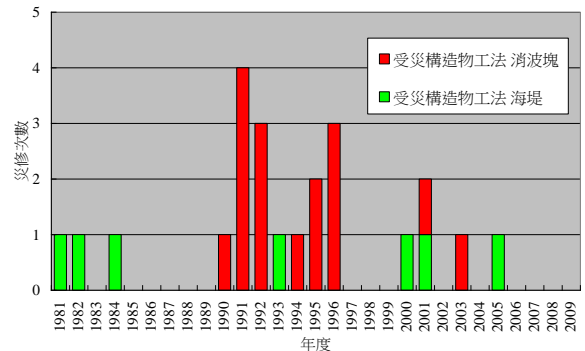


圖 10. 歷年臺東海岸構造物受災統計圖

1. 海堤構造物：於 1981、1982、1984、1993、2000、2001 及 2005 年計有 7 件海岸段需災修或補強；以歷年施設之海堤(護岸)25 件計算，約佔 28%。
2. 消波塊構造物：於 1990、1994、2001 及 2003 年各有 1 件，1995 年 2 件，1992 及 1996 有 3 件，而以 1991 年發生 4 件最多，總計發生有 16 件海岸段遭受破壞而檢討修護、加強或重新排放堆疊；以歷年施設之消波塊保護工 89 件，約佔 18%。

另外，再依地質、地形及工法類別等將案例工程受天然氣候影響成災之次數調查分析，如表 5 所示，經比較發現：

1. 地質為劇烈天然致災最基礎之因素，在 12 處成災之海岸段中有 9 處地質為最軟弱易侵蝕之沖積層，佔 75%。
2. 附近地形為岬灣(礁岩島)、漁港(人為構造物)以及河口之海岸段受災最明顯，佔了 91.7%，除了編號 39 海岸段外，其餘均為以上三種地形之一；其中又以案例編號 14

海岸段災修達 7 次為臺東海岸受天候影響最嚴重之海岸段；所以劇烈天氣產生暴潮時可能因為附近地形使波浪反(折)射、沿岸流、加速或增加其動能，對陸地及構造物造成侵蝕破壞。

表 5. 案例工程地質地形與颱風災害調查對照表

海岸編號	地質		灘岸型態			附近地形		工法類別					災害							
	火成岩	沉積岩	沖積扇	砂岸	礁石	高灘	河口	海堤	消波工	突堤群	編籠定砂	軟性保護工	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次	
09		●	●			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
14		●	●			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
15	●		●			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
21		●	●			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
22		●	●			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
27	●		●			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
31		●	●			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
32		●	●			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
34		●	●			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
36		●	●			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
39		●	●			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
41		●	●			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

資料來源：本研究整理

5.3 海岸工法與維護週期關聯分析

5.3.1 海岸工程維護週期

海岸相關計畫大致為每 5~6 年為 1 期，考量每一期之經費多寡差異，本研究嘗試以期距為 3 年作案例工程之維護週期分析，使每一階段計畫均有兩次之統計數據，分析如下：

- 如圖 11 所示，經統計歷年來維護總件數為 58 件，其中以 0~3 年即實施維護工程 26 件最多、佔 44.8%，其次為 4~6 年維護 16 件、佔 27.6%，7~9 年維護 4 件佔 6.9%，10~12 年維護 6 件佔 10.3%，13~15 年維護 1 件、佔 1.7% 為最少。16~18 年維護 5 件佔 8.6%。

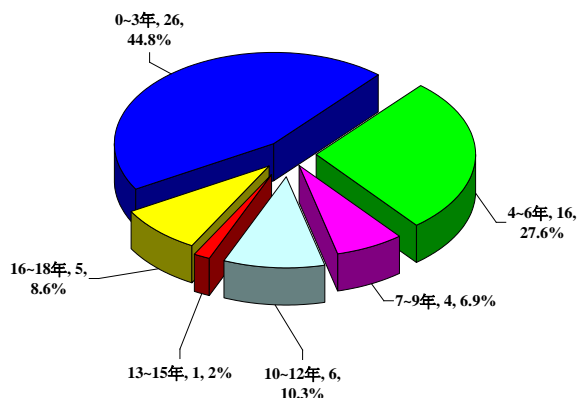


圖 11. 案例工程維護週期比例圖

- 一般來說建築物的耐用年限為 50 年，而經

常受潮濕、腐蝕環境之給排水管路則為 15 年，研究範圍需維護之海岸段中 6 年內即需維護之比例佔總維護件數之 72.4%，顯示海岸工程受天然的浪潮與氣候破壞嚴重，致使耐久性欠佳。

5.3.2 工法與維護週期關聯分析

依表 1 歷年案例工程統計表，調查 45 個案例編號海岸段與影響因素、災害次數關聯矩陣表，如表 6 所示，配合採用之工法種類等彙整說明如下：

- 維護時間為 0~3 年之案例工程：其中以案例編號 14 之海岸段工程有 5 次最多，而且總維護次數為 8 次，是受災害最嚴重之海岸段。
- 統計發現在 0~3 年即需維護之 13 處海岸段中，消波塊保護工法有 11 處，佔約 84.5%；在曾經維護之 23 處海岸段中，亦佔約 82.6%，表示此種工法歷年來修護頻繁。
- 以施設工法角度探討，不曾維護之海岸段中有 18 處採用消波塊保護工法，所以此工法對某些海岸段有著正面的禦潮效果。
- 在 17 處採用海堤(護岸)工法的海岸段，即有 12 處海岸段曾經維修補強，其比例約佔 70%，顯示剛性海岸工法的災損亦高。此可能如 5.1 節所述，早期的海岸工程採用剛性構造物時，較無考量到地質特性對於設計的重要性，因此災損修復相對地提高。
- 台灣海岸工程歷年皆以修復方式進行維護，因此，由時間序列法探討實際案例中，確實較難以了解生命週期完整各階段變化情形，尤其是生命終期階段。

5.4 公共政策影響

依據圖 3 臺灣海岸保護歷程區分「計畫性」公共政策歷程及臺東海岸公共政策歷程兩方面，探討公共政策對本研究段案例工程之影響，說明如下：

- 1981 年起公部門辦理「十二項重要建設五年計畫」，第九項「台灣西岸海堤及重要河堤工程」計畫開始實施，因早期政府財政預算拮据，經濟發展與公共建設均著重於西部，在後山東部地區對海岸工程的投資分配有限，至 1985 年平均每年僅針對 1 件重點海岸段作防護措施。
- 1986~1991 年辦理「十四項重要建設六年

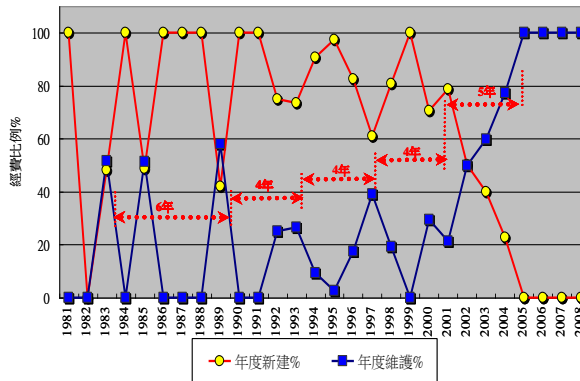


圖 12. 歷年案例工程設施經費比例折線圖

六、結 論

本研究以台東縣 172 公里海岸範圍內 45 個主工程海岸段，自 1981~2009 年間歷年來 136 件案例工程之工程經費為主要數據，並藉由統計比較方式研判資料，配合調查海岸工程工法的演遞、探討地質地形、劇烈天候及公共政策等關聯因素對海岸工程生命週期之影響，以下是本研究所得之結果：

1. 在工程經費結構分析方面，截至 2008 年止，歷年來新建工程經費佔總工程經費遠高於維護工程經費，自 2005 年起已無新建工程，現階段已依「維持自然海岸不再降低」之基本原則，預期數年後，海岸工程維護總經費將超過新建總經費，著重於維護管理機制、朝自然保育為主要海岸策略。
2. 海岸段天然之地質及附近地形是影響海岸工程最基礎關聯因素，在案例編號 30~36 之海岸段地質、土層軟弱易受沖蝕，而且在這十餘公里之海岸即有三條溪流出口，溪流的砂源對海岸的補充或形成強勁的沿岸流對陸地帶來影響，為歷年來在此海岸段所施設的工程件數及投資經費最多，自 1984 年起至今，經統計有新建工程 10 件，維護補強工程 23 件，合計 33 件，佔歷年來總建設件數約 24.3%。
3. 公共政策對海岸保護工法演變產生影響，從早期 1981 年起為防止立即潮浪災害，而籌建以混凝土材料為主之剛性海岸工程，歷經 20 餘年，有鑑於海岸自然景觀逐漸遭受破壞，2000 年後自然保育理念興起及公共工程委員會推動生態工法政策之影響，2002 年海岸工程採突堤方式期能自然產

生養灘效果，增加海岸縱深抑制波浪侵蝕；並在 2004 年施作漸朝低堤頂、以自然材料為主軟性保護工程及環境營造為目的之工法遞演。

4. 由臺東海岸 136 個工程案例中顯示，海岸工程約以 4~6 年為維護高峰重現期，似與計畫性政策每 5~6 年為一期別具有相當之關聯性。另由工法種類關聯分析顯示，臺東海岸採用之五種工法維護週期並無太大差異，顯示工法並非為關鍵影響因素。
5. 由於混凝土工程構造物設計年限一般約為 50 年，本研究雖取得 29 年資料，仍難以判定海岸工程生命週期之完整歷程，惟在 45 件主工程中，雖無生命週期終止之案例，但確有禦潮構造物一經設置後即受海浪劇烈衝擊考驗，經過一段時間後其主要功能消退、結構物隱沒或下陷成為灘岸之一部份，在仍需保護海岸政策下原地進行維護(修護)或增建，形成海岸工程生命週期從未停滯並且不斷延續之特殊狀況。

參考文獻

- [1] 經濟部水利署第八河川局，台東海岸防護工作檢討研究報告，2002。
- [2] 國道高速公路局，國道預力混凝土橋與鋼橋生命週期成本評估個案之研究報告，2005。
- [3] Kercecioglu, D., Maintainability, Availability, & Operational Readiness Engineering, Prentice Hall PTR, 1995。
- [4] Pham, H. and Wang, H., "Optimal Maintenance Policies for Several Imperfect Maintenance Models," International Journal of Systems Science, Vol. 27, No. 66, pp. 543-549, 1996.
- [5] 黃清和、蔡立宏、林東廷，"生態型海岸保護工法研究"，建國科大學報，第 25 卷，第 5 期，第 1-24 頁，2006。
- [6] 內政部營建署，永續海岸整體發展方案核定本，2007。
- [7] 內政部消防署，全球環境永續指數(ESI)-降低天然災害傷害指數分析與建議研究報告，2005。