

# 環太平洋帶地震與海嘯



專題演講

演講人：Prof. Igor Shugan

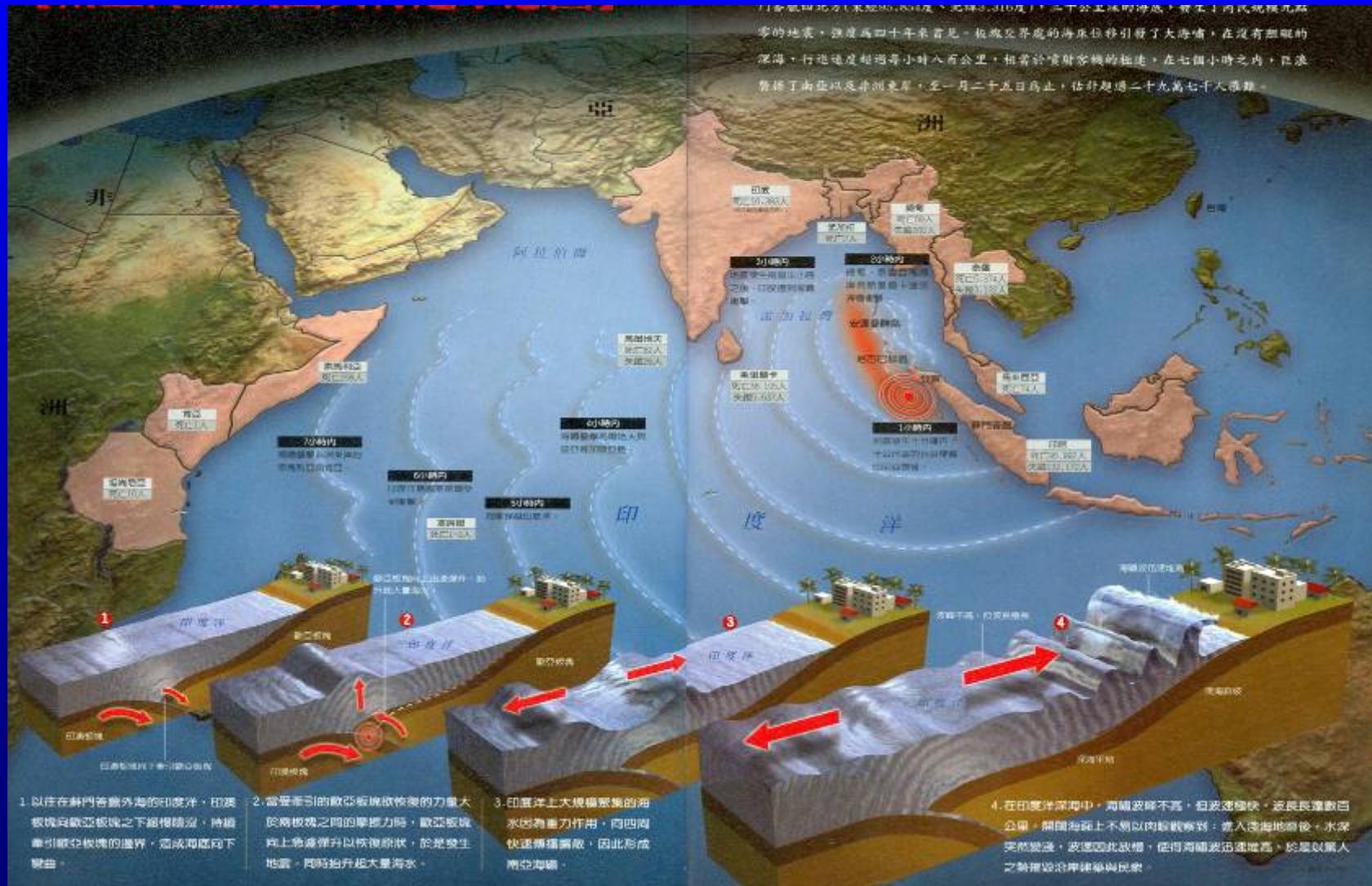
中華民國九十九年四月九日

# 簡報內容

- ➡ ❖ 前言 introduction
- ❖ 基本資料蒐集分析 background
- ❖ 臺灣沿海可能發生海嘯地區之分析 history of tsunami in Taiwan region
- ❖ 臺灣沿海地區現有海堤及水門等設施耐海嘯之檢討 analysis of prevention Sea wall and water gate
- ❖ 海堤及水門設施耐海嘯構造評估標準及災損防制整體計劃之研擬 propose a new design criteria for tsunami prevention
- ❖ 員山子分洪隧道受海嘯侵襲之安全性評估
- ❖ 結論與建議 conclusions and suggestions

# ★★計畫緣由

2004年12月26日印尼蘇門達臘附近海域發生規模達9.0之海底大地震，引發印度洋沿岸南亞地區遭受大海嘯（Tsunami）侵襲





(from discovery)

## 南亞海嘯災害 Disasters

日本港灣空港研究所主席  
津波研究官 富田孝史(2005)

- 內陸遭海嘯入侵，沿海低溼地淹水範圍廣大。(Disasters)
- 木造或磚瓦建造的建築物近乎全毀，僅部份水泥建造的建築物殘存。
- 位於沿海的道路、橋樑、鐵道、港灣及機場受到嚴重災損。
- 海岸或沿海陸地遭受侵蝕，海岸地形發生巨大變化。
- 船舶、貨櫃、浮木等殘骸到處漂流，使得災害擴大。
- 海嘯造成港灣或海岸設施功能減低。
- 海水入侵沿海內陸地下含水層，水資源維生系統遭受嚴重污染。
- 從地震發生到海嘯到達前即使在有避難時間的地區，也有很多人在無預警狀態下遭受海嘯的吞噬。

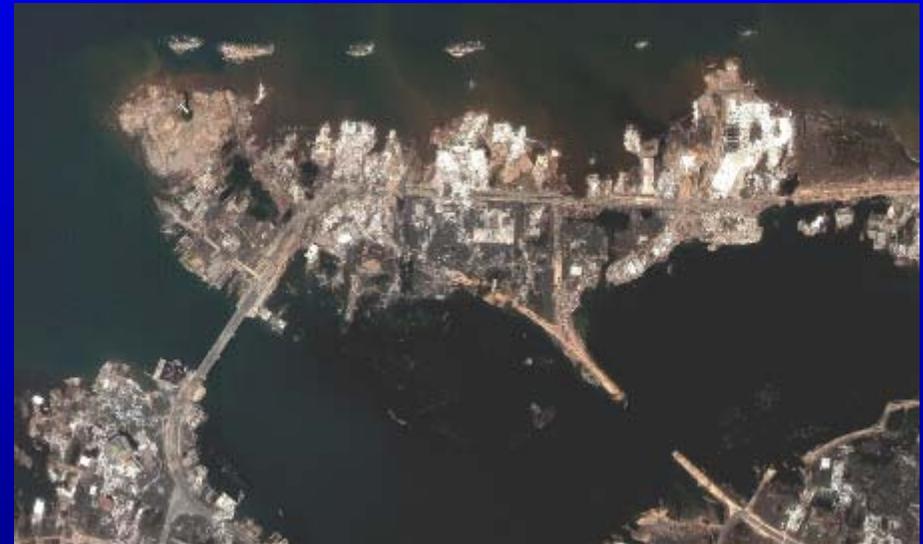
# 南亞海嘯後變動之地形地貌

----印尼班達亞齊市---

**Indonesia disaster 2004**



海嘯前before



海嘯後after

南亞海嘯入侵河道，破壞河岸設施及改變原有河道

----印尼班達亞齊市----

**Indonesia disaster 2004**



海嘯前before



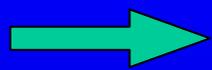
海嘯後after

## 海嘯災害防治因應方案

### 94.1.4 (行政院災害防救委員會)

項次	實施	項次	實施項目	主辦機關	協辦機關	期限		
一	規劃建立海嘯警 海嘯預警國際台	六	規劃辦理海嘯潛勢區域建築物及海堤等設施之耐海嘯構造評估  (一)訂定建築物耐海嘯檢測及評估補強辦法  (二)訂定海堤、港灣、水門設施之耐海嘯構造評估標準  (三)針對建築物耐震補強方案應納入耐海嘯構造之評估機制  (四)調查轄內可作為安全避難處所之建築物，協調提供使用，並設立有關標示	國科會 國家地震中心 內政部營建署		94年12月31日		
二	規劃辦理海嘯研究計畫					經濟部 交通部		94年12月31日
三	依海嘯發生機 波浪高度推估分 地區海嘯危險性			內政部(營建署)				95年12月31日
四	規劃辦理海嘯淹水潛勢區域分 (一)研提海嘯災 製定計畫  (二)研提海嘯景 損推估計 數等)							海嘯潛勢區域 內地方政府
五	強化海嘯預警通 (一)訂定海嘯警 定 (二)訂定對於海 嘯警報傳  (三)訂定對於火 傳遞作業規  (四)訂定對於海 嘯警報傳遞作  (五)訂定對於海 眾及車輛之 作業規定			七	加強敏感性業 基礎設施海嘯災 害預防應變措施  (一)對於核能發電廠及火力發電廠應檢視現有預防及應變措施  (二)對於海底電纜及國際通信設施應檢視現有預防及應變措施  (三)對於鐵路、公路應檢視現有預防及應變措施	經濟部 原	行政院災害防救委員會	
九	針對海嘯災害強化地區災害防救計畫，增列海嘯災害防救對策  (一)研訂地區災害防救計畫強化海嘯防救對策之準則  (二)修訂地區災害防救計畫，增訂海嘯災害防救對策及有關標準作業程序	海嘯潛勢區域 內地方政府						94年12月31日 註：配合第(一)項行政院災防會準則之訂定
十	辦理海嘯警報通報、疏散避難路線、標示、避難場所及收容場所之規劃整備並辦理避難演練					海嘯潛勢區域 內地方政府		94年12月31日
十一	加強海嘯災害及避難之教育宣導	各部會 地方政府						隨時辦理

## ❖ 前言



## ❖ 基本資料蒐集分析

## ❖ 臺灣沿海可能發生海嘯地區之分析

## ❖ 臺灣沿海地區現有海堤及水門等設施 耐海嘯之檢討

## ❖ 海堤及水門設施耐海嘯構造評估標準及災 損防制整體計劃之研擬

## ❖ 員山子分洪隧道受海嘯侵襲之安全性評估

## ❖ 結論與建議

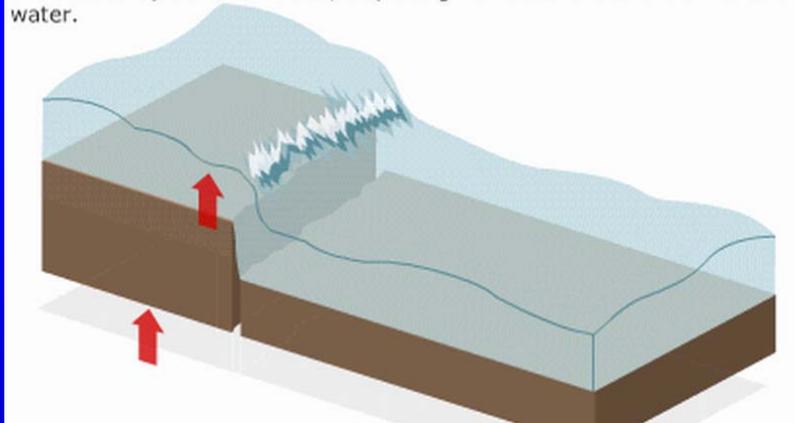
# ★★海嘯之生成、傳播與破壞

海嘯之生成      .....▶      強烈的地質活動  
(impulsive disturbance)

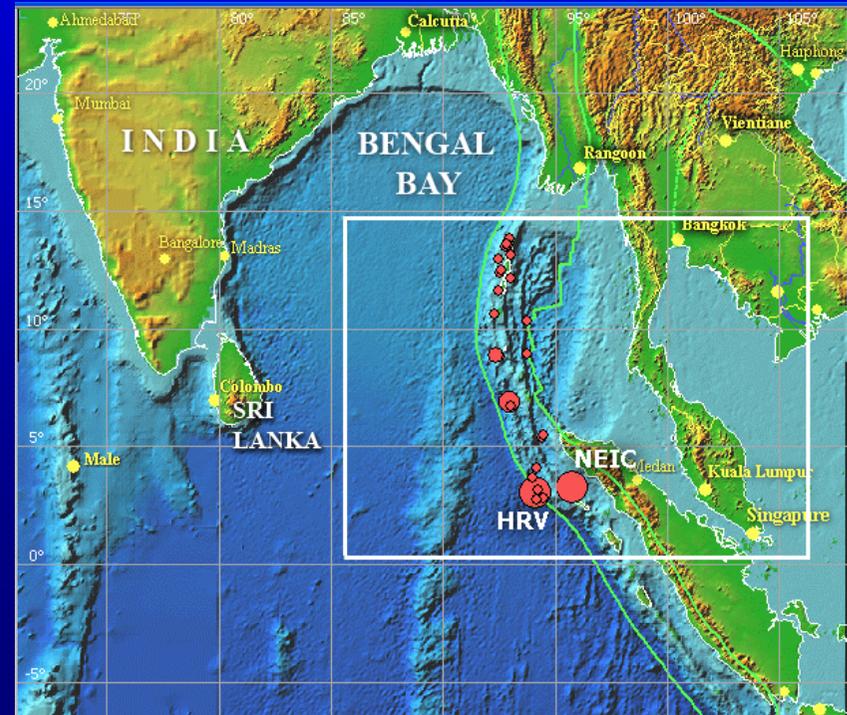
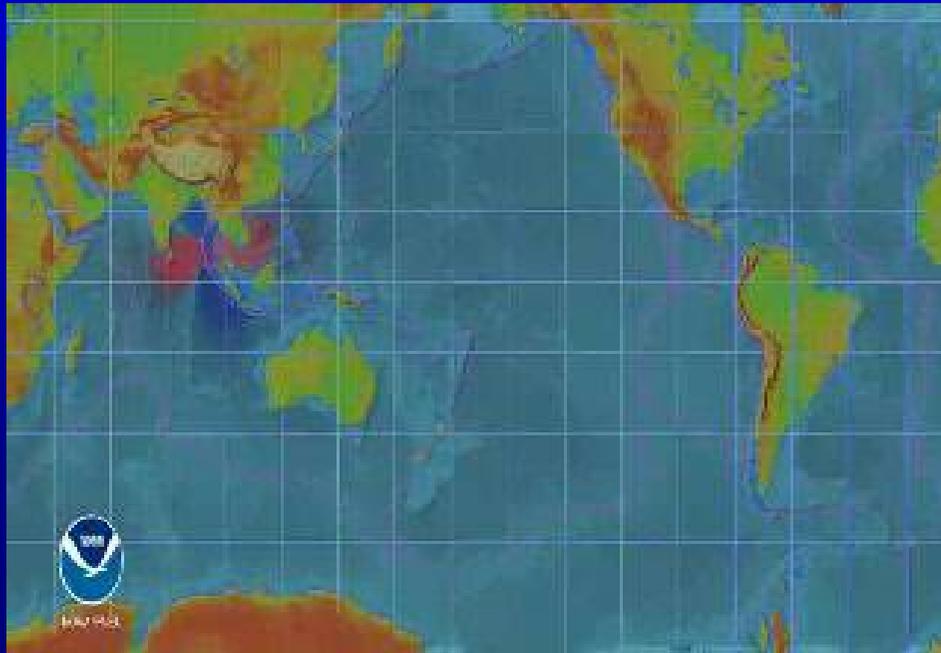
- 海底地震斷層活動 (submarine faulting)
- 海面或海下火山活動 (volcanic activity)
- 海面或海下地滑或山崩 (landslide)
- 其他(大流星撞擊，核子試爆...)

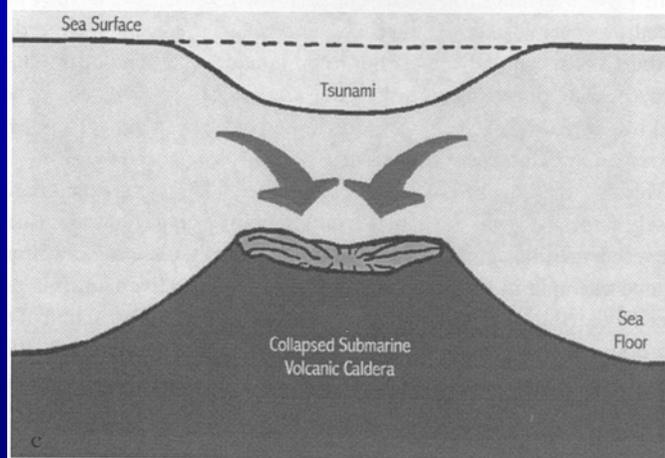
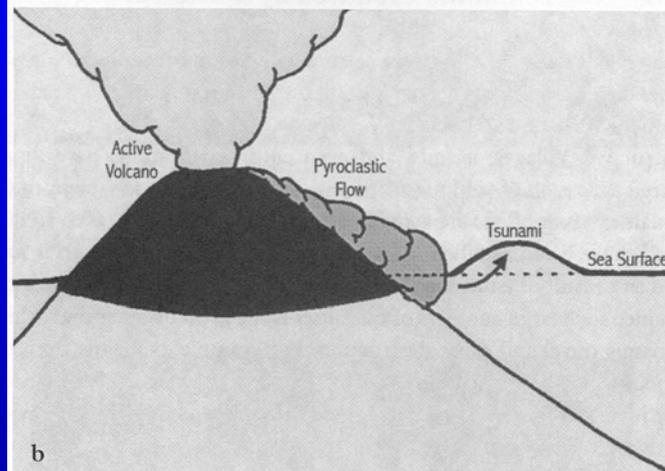
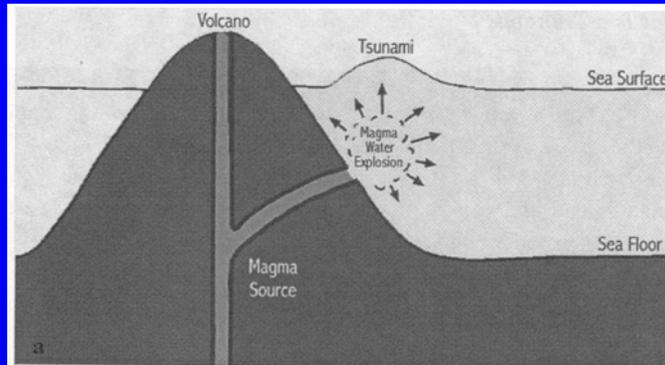
# 地震引發海嘯示意圖

The tsunami formed when energy from the earthquake vertically jolted the seabed by several metres, displacing hundreds of cubic kilometres of water.



## 2004年印尼蘇門答臘發生規模9.0地震之主震位置及板塊活動範圍





## 海底火山活動引發海嘯示意圖

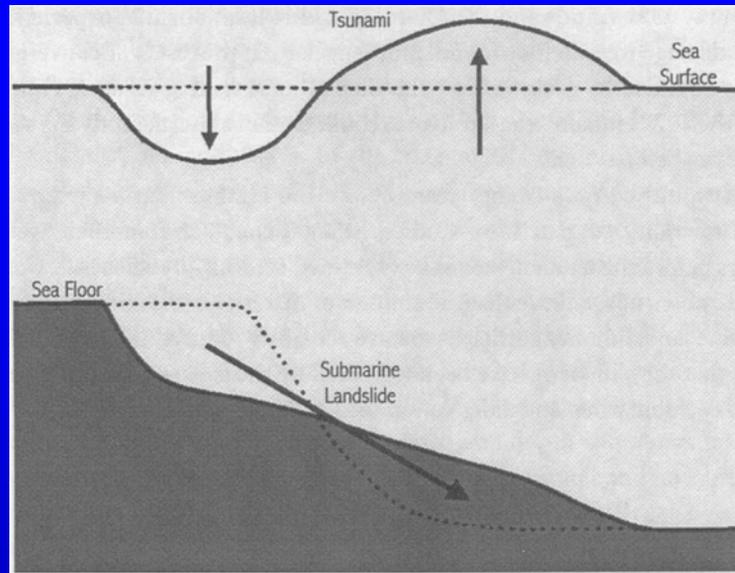
1883年印尼Krakatoa島海底火山爆發，引發近40m巨大海嘯侵襲爪哇及蘇門達臘



使得水開始膨脹  
在坤布維禾火山內產生極大壓力

(from discovery)

## 海底山崩引發海嘯示意圖

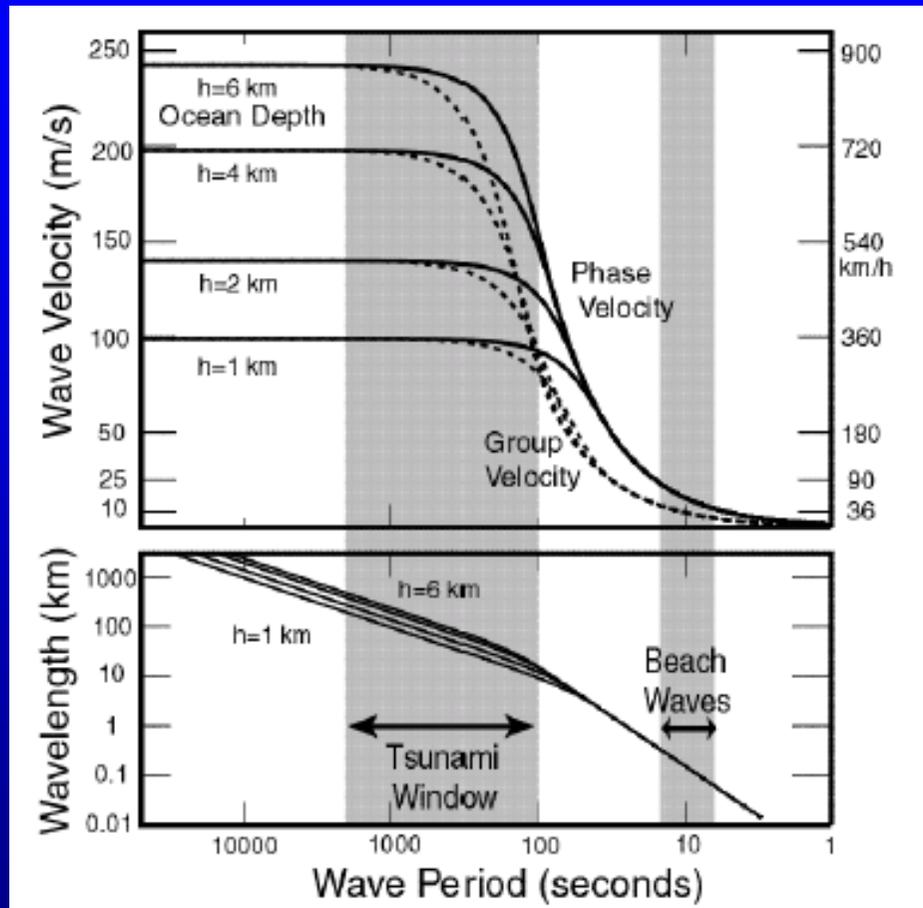


- 1792年日本雲仙普賢岳之眉山崩落，在島原附近出現高於20m海嘯
- 1958年阿拉斯加發生地震，Lituya灣山崩引發海嘯，在陸上到達最高高度高於海岸線(shoreline)520m
- 1998年巴布新幾內亞由於7.1M地震觸發土石大量崩落造成海嘯(兩千多人罹難)



冰山崩塌引起之海嘯 (from discovery)

## 海嘯之特性



波長：10km~500km

週期：100sec~2000sec

波速：160m/sec~250m/sec

群速度：600~900km/hr

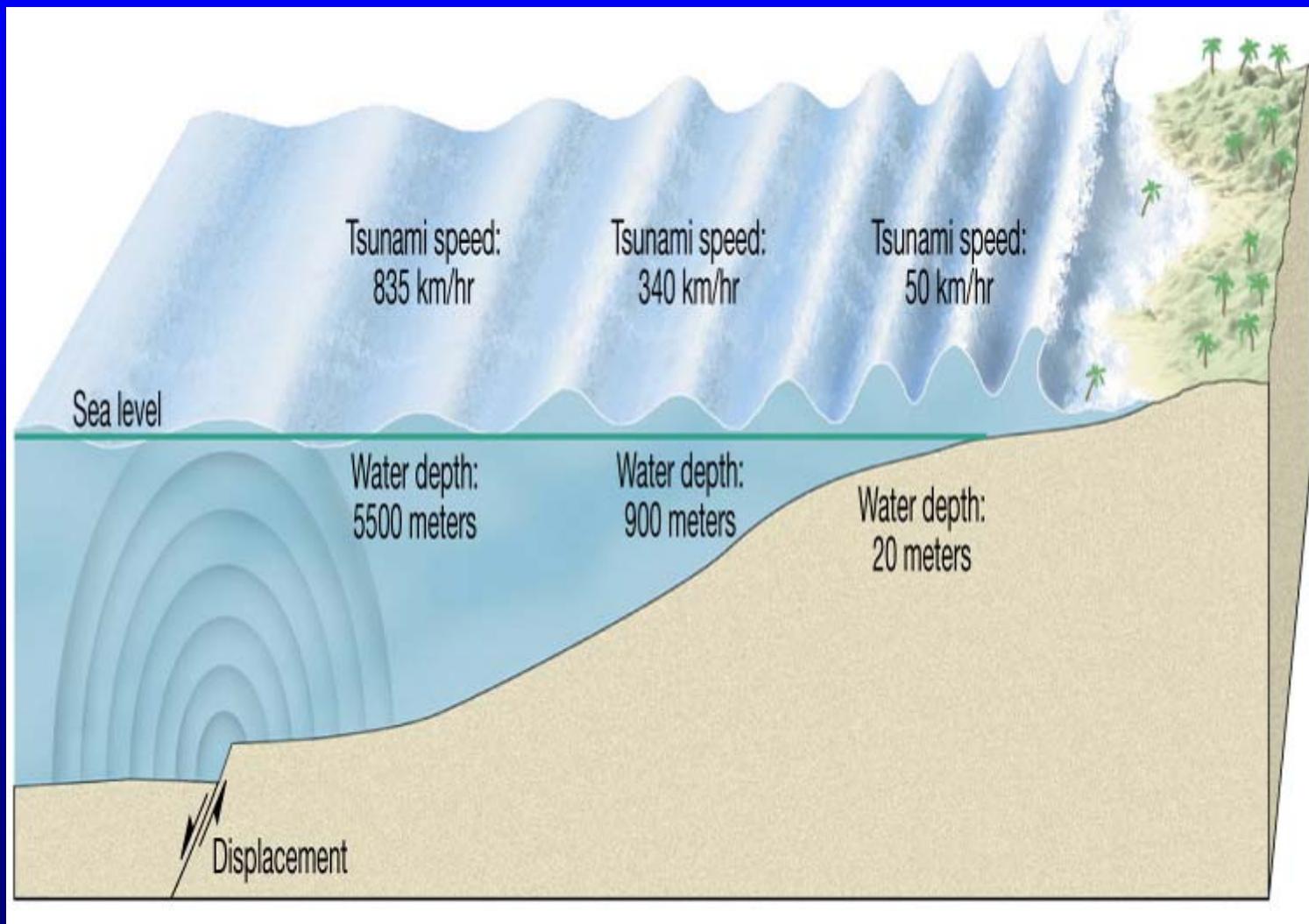
不同水深下表面重力波之波速，群速度  
及波長與週期之關係

## 海嘯傳播過程示意圖

---近岸波長顯著變短---

---海嘯能量受到推擠導致波高快速成長---

---演變成具破壞性或毀滅性之波浪---



# 海嘯對海岸地區之破壞

## 海嘯入侵/撤退

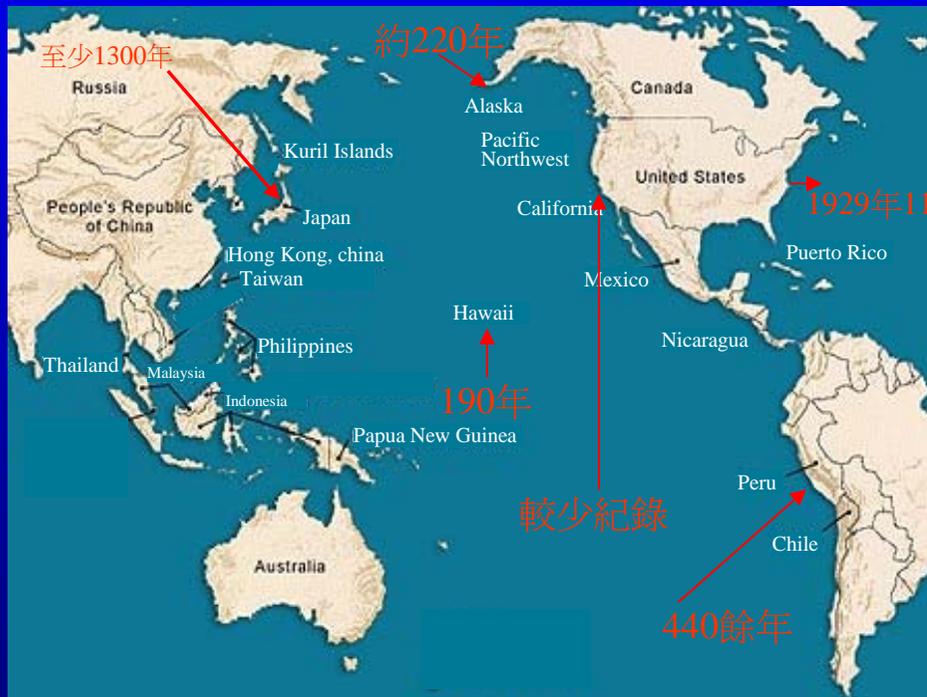
### DISASTERS

(挾龐大水體產生洪水般衝擊力)

- 沿岸水下及陸上地形地貌變遷破壞  
land and underwater
- 海岸構造物之災損      coast structures
- 溯河(溪)而上衝毀河岸設施及橋樑等  
river
- 其他災害      another

# ★★台灣及鄰近國家沿海地區發生海嘯之歷史紀錄及災情資料蒐集 earthquake & tsunami pacific ring

環太平洋過去遭受海嘯襲擊之區域  
History of records



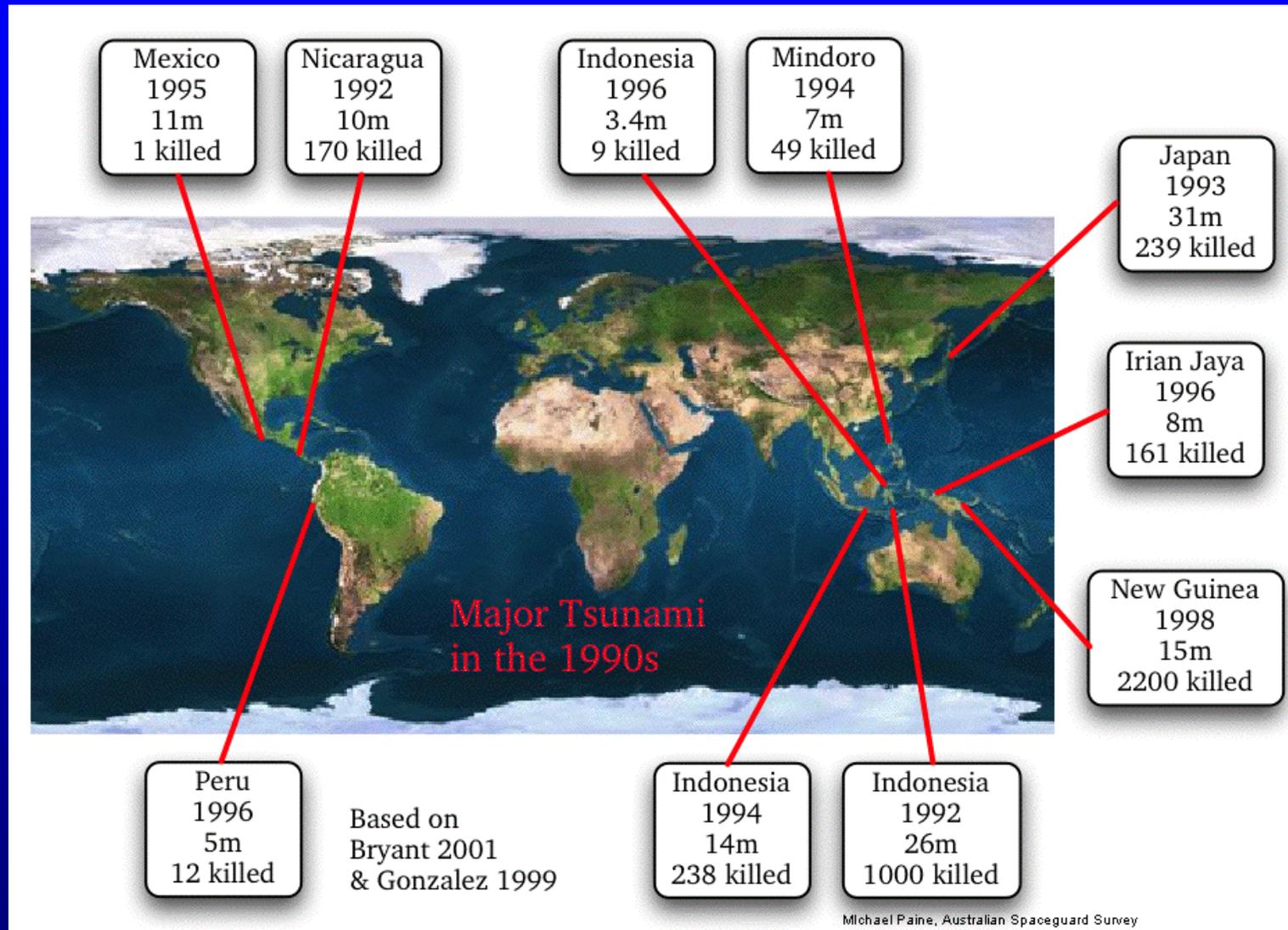
易發生海嘯災難之環太平洋地震帶  
earthquake & tsunami pacific ring



# 近20年世界各地發生較大規模海嘯之地區

國家	侵襲區域	M (地震級數)	? 升高 (ft)	災情	備註
日本	國家 日本海			總共 103 死, 漁業總損失 250 小船沉, 1,600 大船損壞, 災損金額 800million,	備註
	Honshu 北側	7.7		9:00 起始 → 6:08 Amori & Akita → 200 棟建築遭破壞	發佈警報 圖 2-2-6
	Pagaraman/Kampungbaru			9:13 Oga Aquar 103 → 9:15 Oga Peninsula	災情
	Oga Peninsula		15	13 小孩死(活:32)	海堤高 18ft
	Noshiro 電廠&Noshiro Harbor	東京	25	施草處 34 死, 小船處 9 死, 沉箱處 25 死, 總災損金額 600million	海堤建築遭破
智利	Valparaiso	Okushiri Island (北)(南)	4	總共 177 死, 2,575 傷, 12 棟建築遭破壞/13 死	
Hawaii	Hilo/Honolulu		1.7/0.1	Tahiti: Phœcæ 2? 升高 0.33ft	(4ft) dock → (20~25ft) harbor → (36ft) shoreline
墨西哥	Lazaro Gardenas	Aonae/Hamatsuma	9	總共 10,000 死, 50,000 傷 300 棟建築遭破壞, 160,000 無家可歸, 災損金額 5 billion,	堤高 15ft 用 GPS 測得? 升高為 5~35ft 圖 2-2-7
Hawaii/ Tahiti	Russia Hilo/--		0.8/0.2	Manzanillo-Acapulco? 升高 3~10ft 總災損金額 6 billion	French Polynesia Marquesas Island (Tahauku Bay-Hiva Oa) ? 升高 10ft, Mejillones
阿拉斯加	阿留申島	東爪哇/Gerangan	7.6	無(但發佈警報所造成的商業損失高達 30~40 million)	Peninsula 溯高 1.3ft, Hawaii Hilo? 升高 2.5ft
	Neah Bay/ Crescent City	Mexico 爪哇/Pancer	0.6/0.0	無 Adak 潮位站 36/30	總共 26 死, 440 傷, 1226 棟建築遭破壞, 9 死, 63 傷, 163 棟建築遭破壞
Hawaii	Hilo /Honolulu		1.8/1.3	Manzanillo (Biak Island)	33 死, 100 棟建築遭破壞
	Hanalei, Kapa'a/Kapa'a, Kauai	Rajekwesi/Lampou	3/4	無	25.2~2 總 110 死, 100 傷, 10,000 無家可歸
尼加拉瓜	Australia Northwest Cape			總共 168 死, 500 傷, 1,500 棟建築遭破壞,	圖 2-2-5
	蘇聯 El Transito	Shikotan (Kuril Island)	7.2	18,000 無家可歸	約 16 死 (11 死), 242 傷
厄瓜多爾/智利	加爾各答哥島/復活節島	Hokkaido	5	Hawan. Hilo 0 升高 0.340 傷	107 死 54 死及失蹤,
印尼	佛羅里斯島	Hilo Bay	7.8	總共 1,690 死, 18,000 無家可歸	12 死 (6 漁民, 4 檢浮木, 2 採金礦), 55 傷, 37
	Wuring/Babi		10	87 死/263 死, 1,093 無家可歸	棟建築遭破壞 災損金額 1,000 小船區 +2,000,000 渡輪區
	Hokkaido(北端 Nemuro)	Ramchatka (Kronoiski Bay)	5.7	7.8 4.9 +15~20million 鐵路區	
	New Guinea	Bismark Sea (Aitape)		7.1	49.2 報導:2,500 死(官方:1,600 死, 2,000 失蹤, 550 傷, 5000 無家可歸)
		Sissano, Wanimo			25~33 --

# 1990年代世界主要海嘯發生區域與人員傷亡情形



# 日本海嘯災害相關案例

## Coastal structures disaster in Japan before and after 1983



1983年5月日本Oga Aquarium地區海岸結構物遭受海嘯襲擊時之連續照片

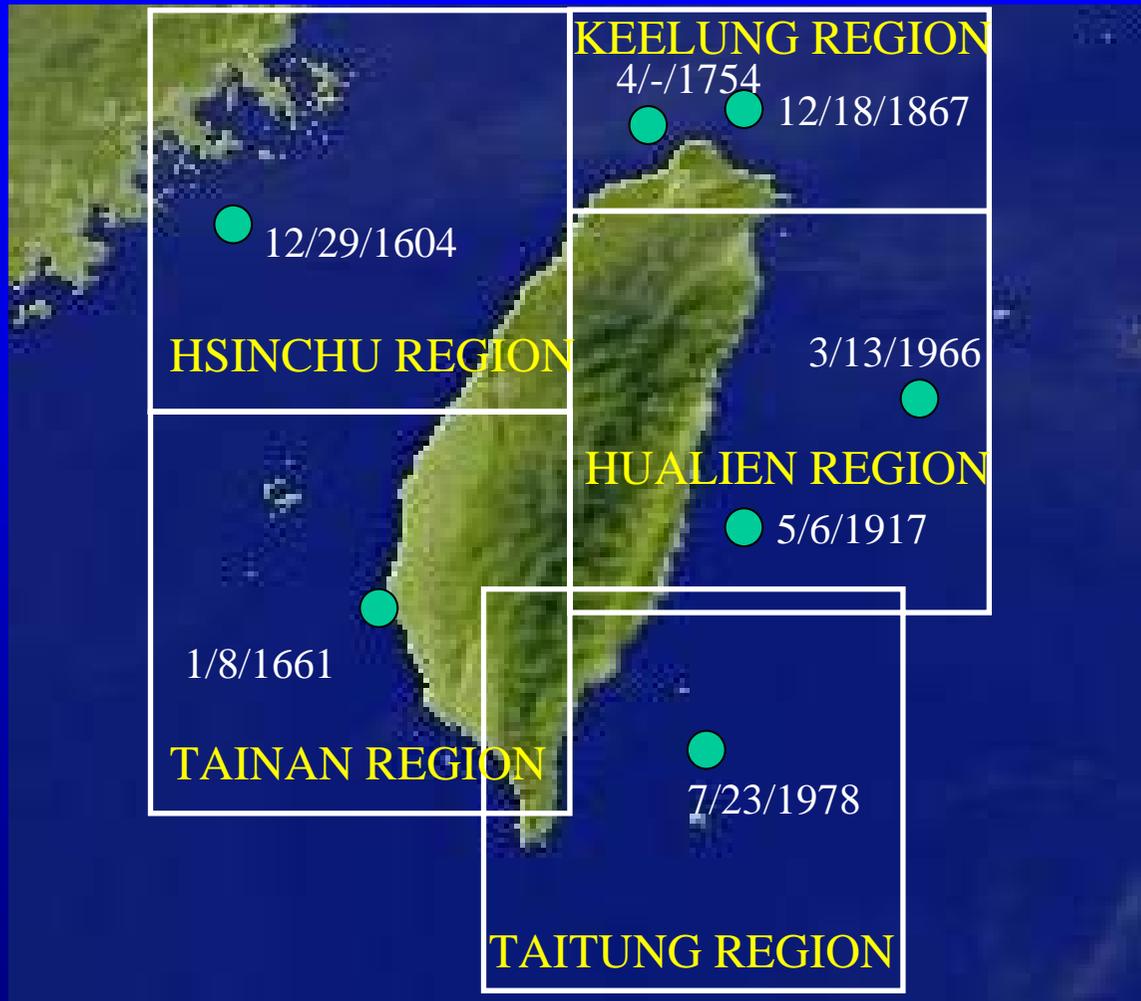
## 尼加拉瓜海嘯災害相關案例

### Coastal structures disaster in Nicaragua after tsunami 1992



1992年9月尼加拉瓜E1 Transito及Marsella部落遭受海嘯襲擊後斷簷殘壁之情景

# 台灣海嘯之回顧 Taiwan tsunami history



1604~1978年間台灣地區海嘯地震位置圖



1867年基隆外海地震，雞籠頭、金包里沿海遭受海嘯之侵襲



# ★★台灣及鄰近國家沿海地區地震規模及分布之資料 蒐集與分析

## 地震引起之斷層移動型態

平移斷層



正斷層



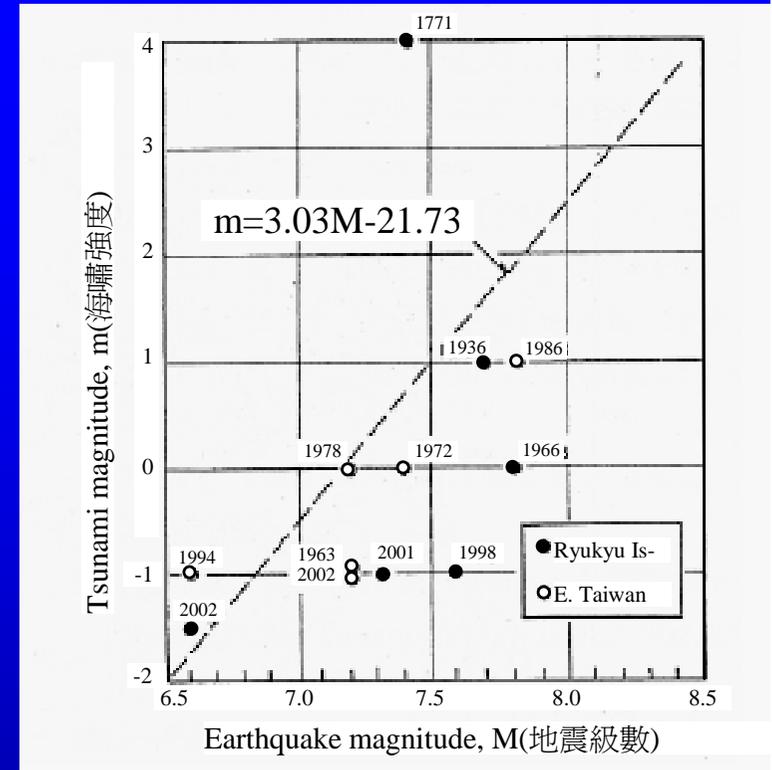
逆斷層



# 海嘯強度與地震級數之關係

## 今村之海嘯級數分類

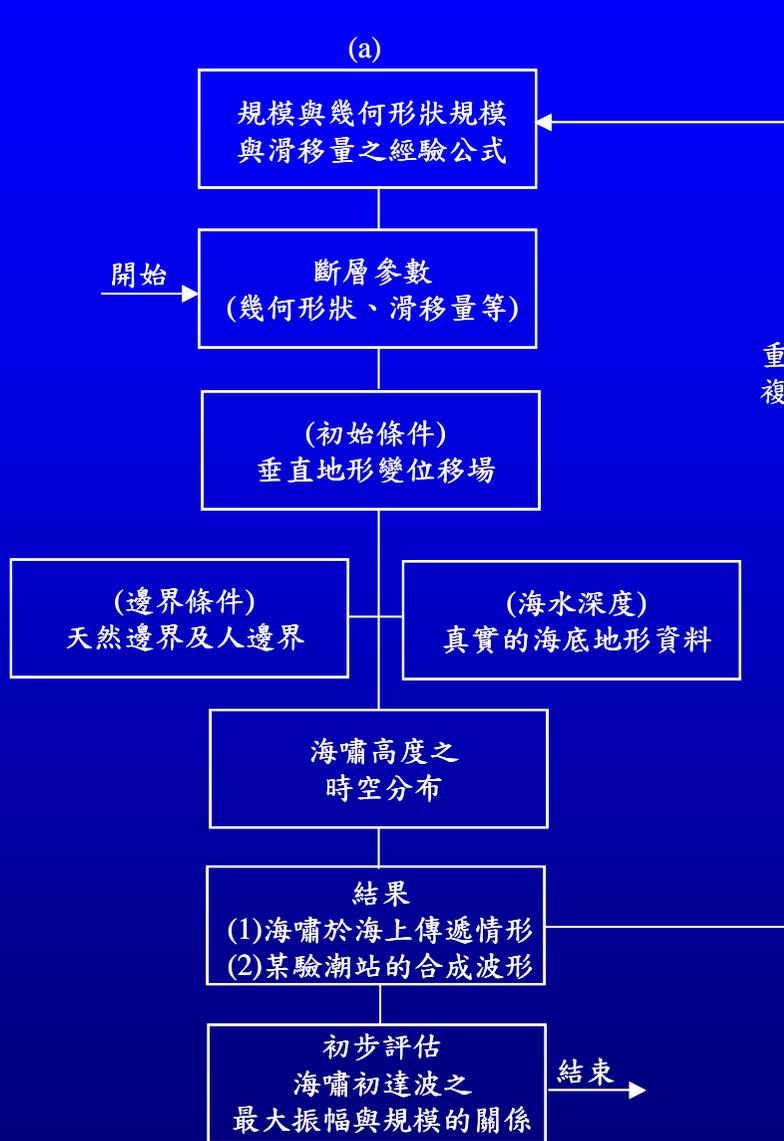
海嘯級數 m	海嘯波高 H	災害
-1	50公分	無災害
0	1公尺	災害輕微
1	2公尺	海岸及船舶受害
2	4~6公尺	沿岸有若干財產及生命損失
3	10~20公尺	沿岸400km以上有相當之災損
4	30公尺	沿岸500km以上有相當之災損



羽鳥德太郎(2003)整理之  
沖繩本島到台灣東部地震  
伴隨海嘯產生之關係

# 評估地震海嘯可能性之方法流程

馬國鳳、李孟芬(1996)



初步



細部

# 台灣地區海嘯與地震級數之關係

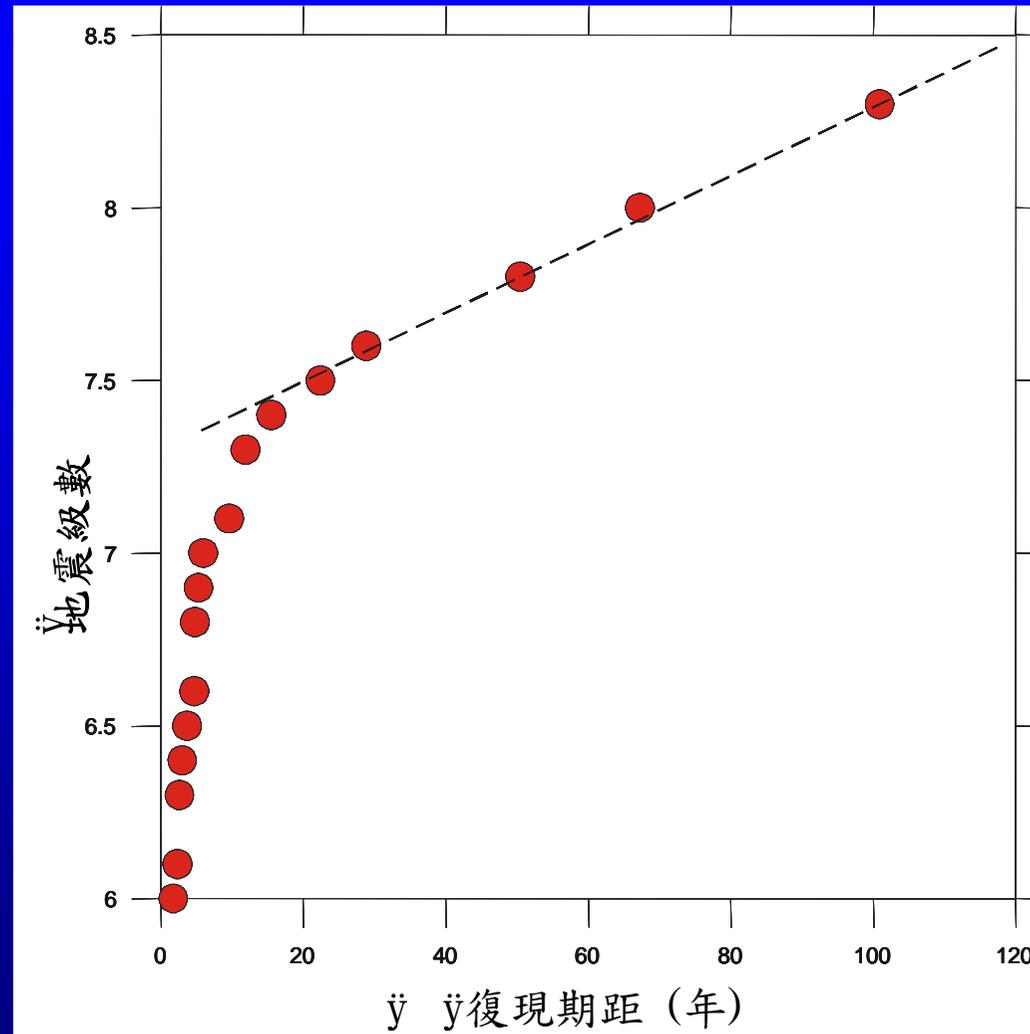
發生日期	位置			地震規模 (M)	海嘯級數 (m)	備註
	地點	東經	北緯			
1604年12月29日	新竹	119.5°	25.0°	8.0	0~1	
1661年1月8日	台南	120.1°	23.0°	6.0	1	安平大海嘯
1754年4月	淡水	124.4°	25.3°	<6	1	房屋毀壞數間
1867年12月18日	基隆	121.7°	25.5°	6.0	2	死傷數百人
1917年5月6日	花蓮	121.6°	23.2°	8.0	-1	海嘯約1m高
1966年3月13日	花蓮	122.6°	24.1°	7.5	-1	中級海嘯
1978年7月23日	台東	121.5°	22.3°	7.4	0~1	輕微海嘯

## 1604~1978年台灣外海地區引發海嘯的文獻紀錄

馬國鳳、李孟芬(1996)之研究所得台灣各地區引起災害性海嘯的最小地震規模之比較

	地震發生位置之海底地形(m)	震央深度(km)	震源機制	引起危害海嘯之最小地震規模
基隆地區	100	5.31	正斷層	6.9*
			(dip slip)	7.2**
新竹地區	100	31	逆斷層	8.0*
			(dip slip)	7.5**
西南沿海地區	100	5	正斷層	7.4*
			(dip slip)	7.5**
台東地區	2,000	6.1	逆斷層	6.8*
			(dip slip)	6.6**
花蓮地區	2,000	22	走向斷層	7.8*
			(strike slip)	7.9**

# Lobkovsky與Kulikov(2005)整理1902年~2004年期距之台灣附近地區發生的地震級數



依此分析台灣平均每20年會發生地震規模約M=7.5之地震

# ★★國外針對海岸結構物耐海嘯構造標準之資料蒐集與分析

## 海嘯與海岸結構物互制研究



海嘯機制

V.S.

海岸因子

海嘯高度 height

湧升高 unup

水位降落 runup

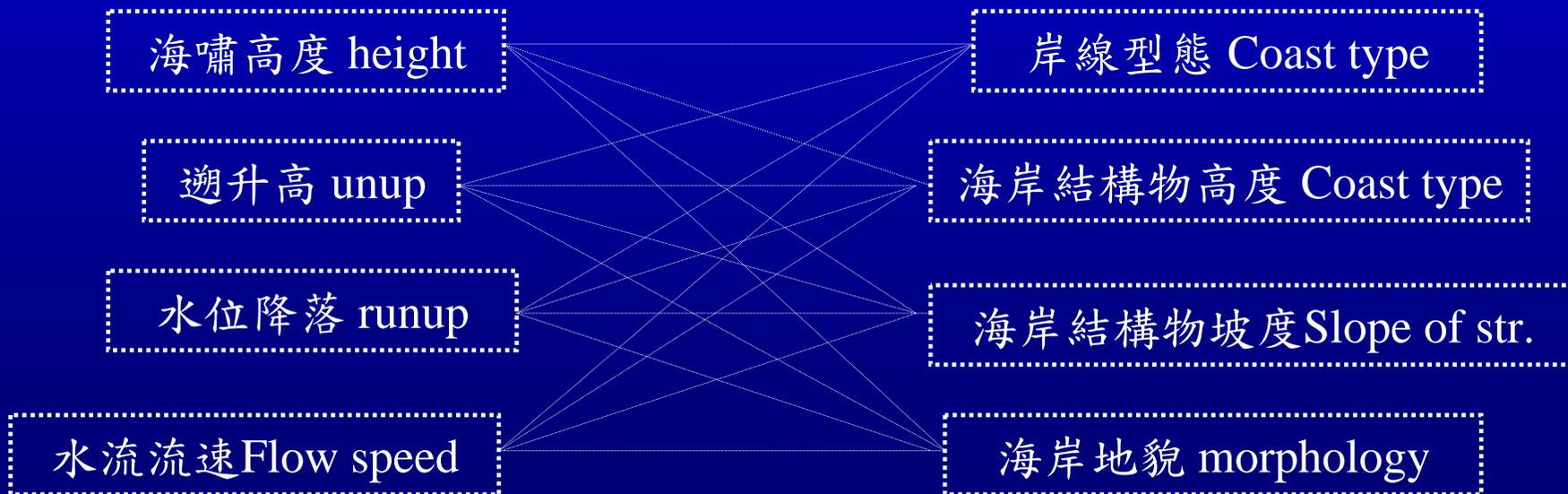
水流流速 Flow speed

岸線型態 Coast type

海岸結構物高度 Coast type

海岸結構物坡度 Slope of str.

海岸地貌 morphology



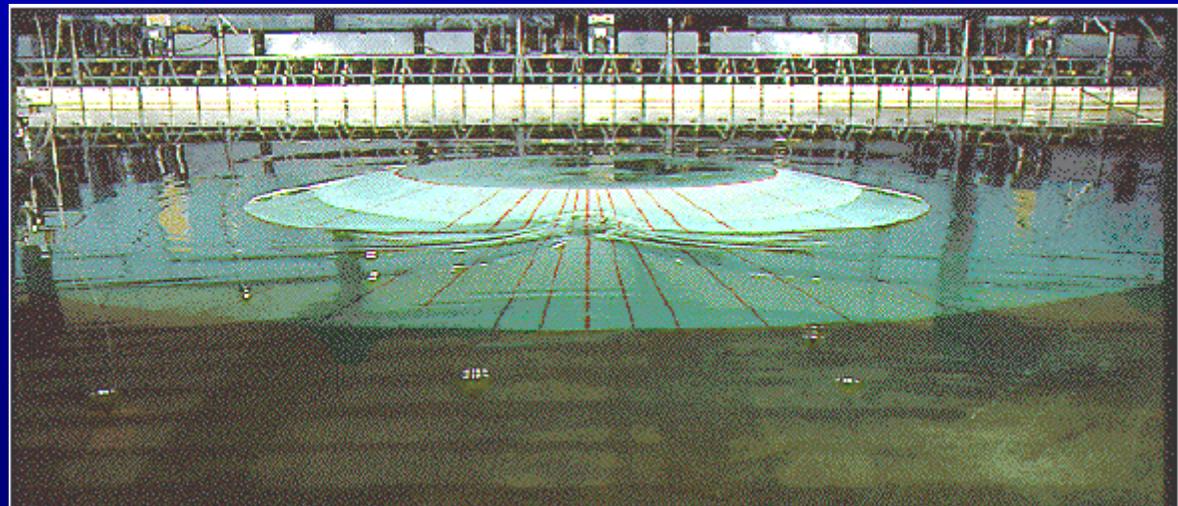
美國陸軍工程兵團及南加州大學

South California University



斷面模型試驗檢視海嘯波  
於垂直牆體(vertical wall)  
之湧升高分佈情況

平面模型試驗檢視海嘯波  
於圓形島(circular island)之  
湧升高分佈情況



# 美國奧立岡大學(Oregon State University)- -海嘯實驗室

## Tsunami Wave Basin



## Large Wave Flume



# 世界各國海嘯災害減緩對策-1

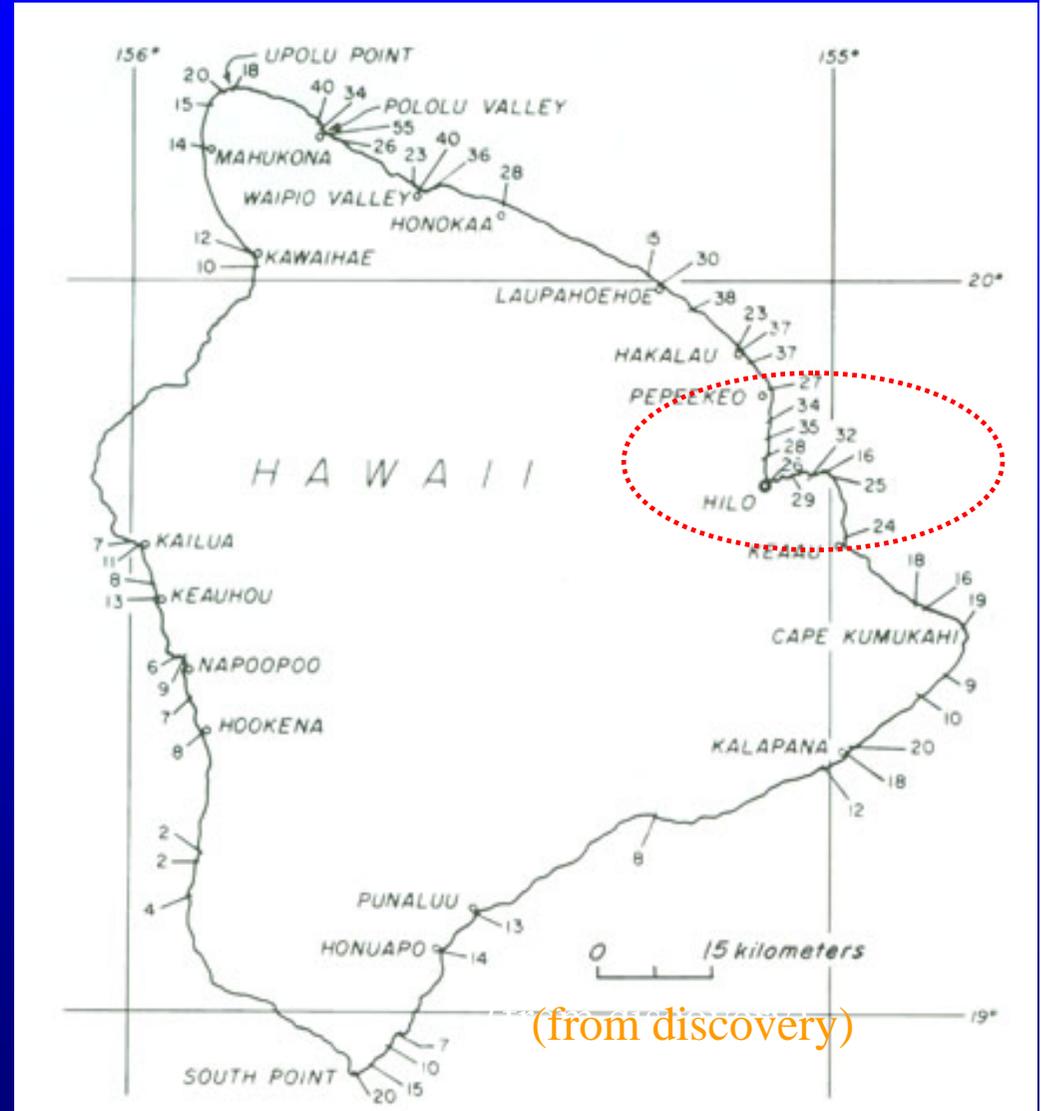
## 夏威夷案例 Hawaii, 1946

1946年4月夏威夷島遭受海嘯侵襲，  
海嘯波頭遶著Hilo灣內之Wailulu河  
而上及沖毀河口鐵路橋樑



為研究海嘯驚人的破壞力

(from discovery)



(from discovery)

夏威夷島遭受海嘯侵襲，各處遶升高分佈

## 對策 Prevention strategy in Hawaii

夏威夷州政府當局曾構思興建巨型牆體或防波堤用以抵禦海嘯之侵襲，但一經經費評估之後，發現總工程經費將遠遠超過Hilo市所有建築物之總和價值，因之此一想法很快就被放棄了



夏威夷Hilo市海嘯可能侵襲之洪患區已改建為足球場與大型海岸公園



緊急撤離措施



預警通報系統

# 世界各國海嘯災害減緩對策-2

## 日本案例



The Great Wall  
高10m、長2443m



日本岩手縣宮古市田老鎮於1896年、1933年  
遭受二次世紀海嘯侵襲後，於二次大戰後才  
整成巨大海堤工程

(from National Geographic)



日本岩手縣宮古市田老鎮之”The Great Wall”定期演練關閉閘門實紀



(from National Geographic)

## The Great Wall

★完工後至今尚未遭受過海嘯侵襲之案例。

★雖設計能抵禦溯升高10m之海嘯，但下一波海嘯規模多大，無人可預知！！

# 日本岩手縣部份小漁村社區耐海嘯海堤設計依循

依據實測之歷史海嘯遡升高

訂定新海堤設計堤高

因地制宜考量景觀與生態因子

擴建新海堤

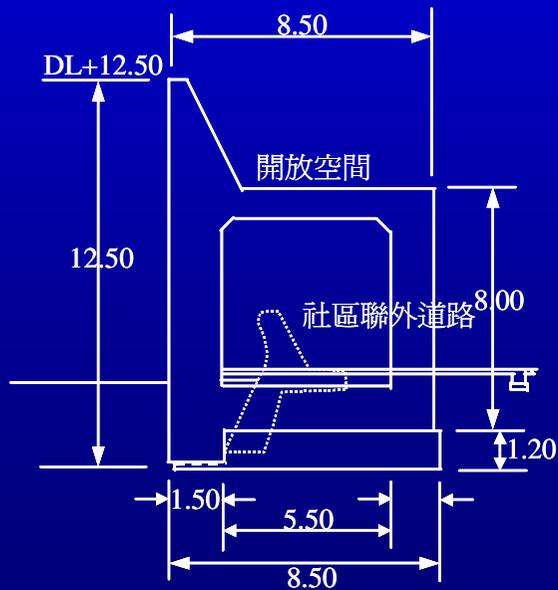
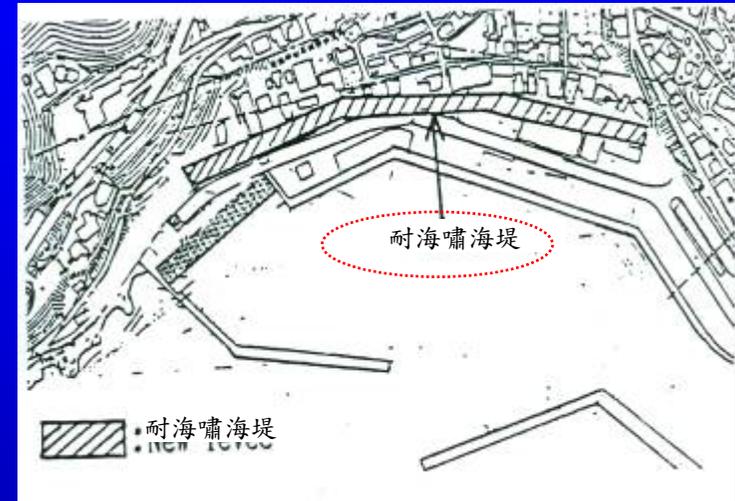
## 日本岩手縣海嘯之侵襲紀錄

	日期	地震震央	地震級數	最高水位(地點)	死亡人數	房屋倒塌數
Meiji Sanriku 海嘯	1896年6月15日	N 39.5 E 144.0	7.6	22.0公尺 (Kosode)	18,158	8,891
Showa Sanriku海嘯	1933年3月3日	N 39.1 E 144.7	8.3	17.7公尺 (Mosi)	1,522	4,917
Chile海嘯	1960年5月23日	S 38.0 W 73.5	8.5	6.8公尺 (Kawashiri)	119	1,983

# 日本岩手縣小漁村社區案例-1

## 日本岩手縣釜石市小白浜地區(Kojirahama)之耐海嘯海堤設計

	Kojirahama漁村 之最高水位	死亡人數比 ※	房屋倒塌數比 ※
Meiji Sanriku海嘯	15.8公尺	460/500	102/113
Showa Sanriku海嘯	12.5公尺	6/871	97/158
Chile海嘯	4.0公尺	0/775	2/235



原海堤高  
+5.5m  
擴建後海堤高  
+12.5m

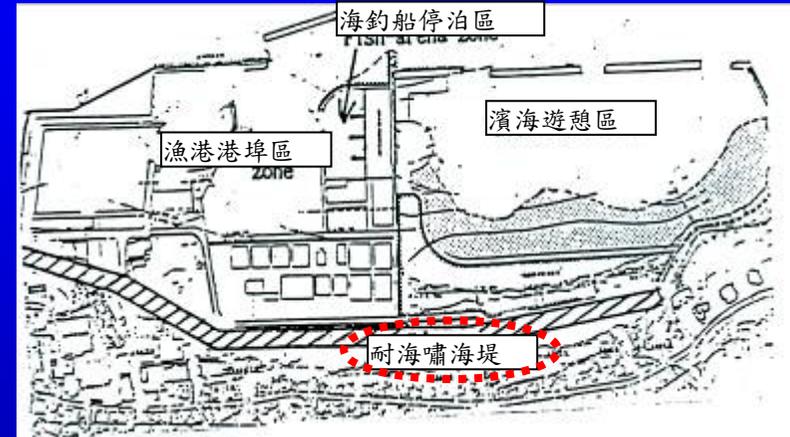
單位：公尺  
虛線表舊海堤



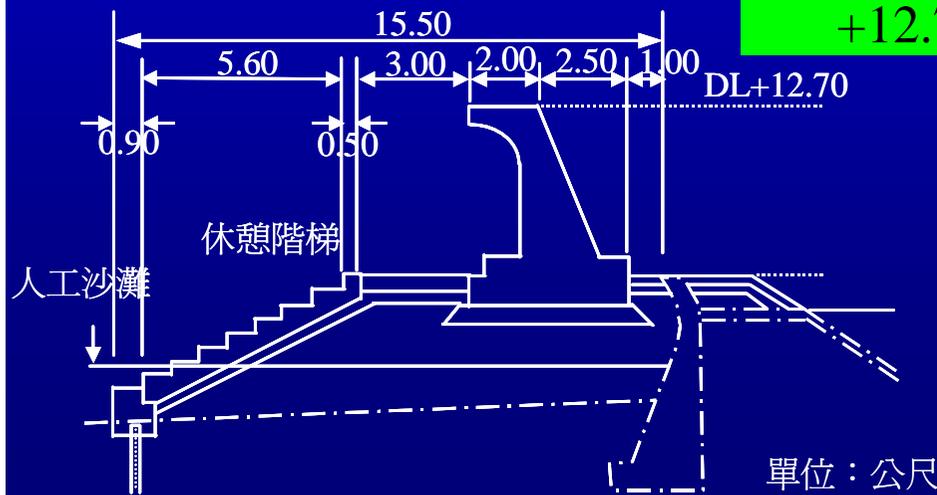
# 日本岩手縣小漁村社區案例-2

## 日本岩手縣種市町種市地區(Tanaichi)之漁村改造工程設計

	Taneichi漁村之最高水位	死亡人數比	房屋倒塌數比
Meiji Sanriku海嘯	21.7公尺	※ 4/912	※ 1/130
Showa Sanriku海嘯	7.5公尺	8/1,120	1/160
Chile海嘯	5.0公尺	0/1,427	0/285



原海堤高  
+8.0m  
擴建後海堤高  
+12.7m

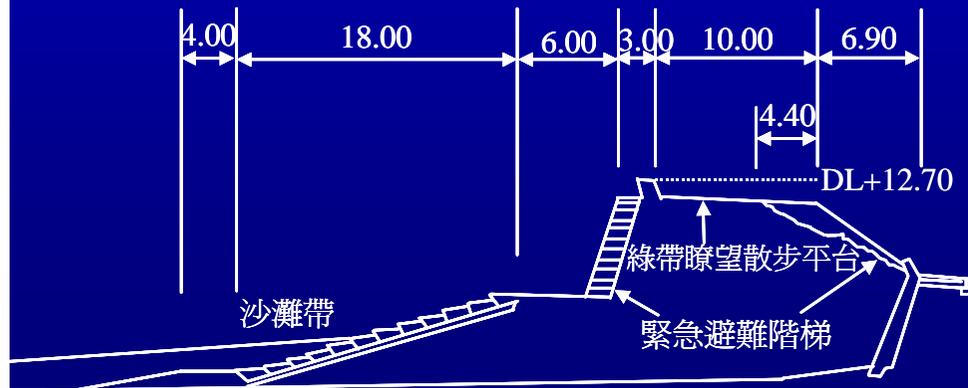


# 日本岩手縣小漁村社區案例-3

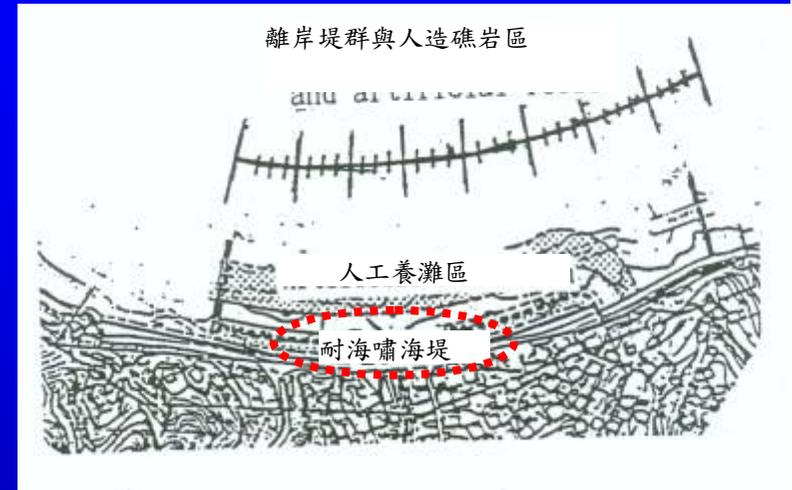
## 日本岩手縣久慈市久喜地區(Kuki)整合型海岸防護系統(ISPS)

	Kuki漁村之最高水位	死亡人數比 ※	房屋倒塌數比 ※
Meiji Sanriku海嘯	21.9公尺	191/360	49/55
Showa Sanriku海嘯	7.1公尺	6/570	10/95
Chile海嘯	4.4公尺	0/1,210	2/220

擴建後海堤高  
+12.5m



單位：公尺



# 世界各國海嘯災害減緩對策-3

## Trees prevention strategy

### 多層列之矮樹群 Thailand



去(2004)年底南亞大海嘯侵襲泰國安達曼沿岸地區，在沿岸四百一十八個社區中，沿岸有紅樹林的社區，居民受災情況就明顯減輕。

(from 日本富士電台)

# 世界各國海嘯災害減緩對策-4

## 預留宣洩水流空間之建築物設計

### Prevention system for Oregon State USA and Hawaii



美國奧立岡州鄰近海岸  
防海嘯侵襲之建築物



一樓作為停車場，提供海嘯  
侵襲後大量水流之宣洩空間

夏威夷Hilo市某度假飯店防  
海嘯侵襲之結構外觀設計

# 世界各國海嘯災害減緩對策-5

## 規劃避難場所



日本岩手縣宮古市田老鎮規劃之避難場所與撤離路線指標



美國奧立岡州海岸規劃海嘯警示標誌與撤離路線指標

## 世界各國海嘯災害減緩對策-6

### 預警系統 Alarm System USA



美國海岸及大氣總署(NOAA)設置之海嘯偵測及預警系統

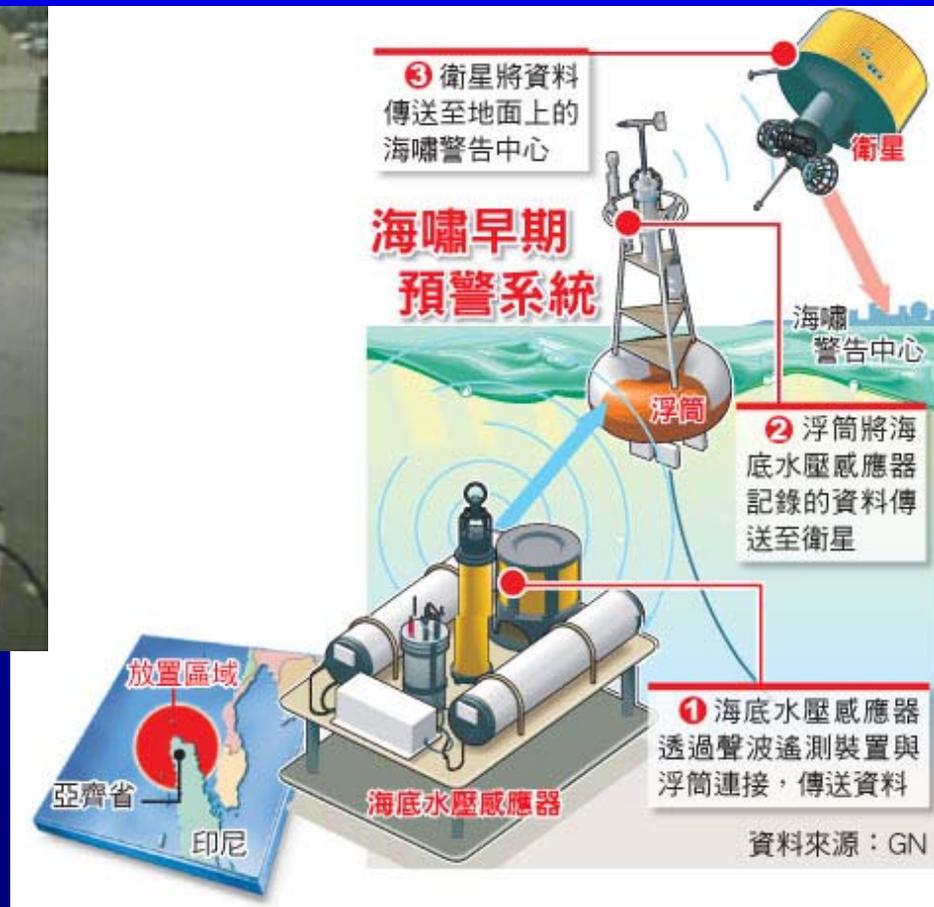
★94.11.15於印尼亞齊省外海，放置一高7公尺，重達3公噸之海嘯預警浮筒，  
值約1180萬台幣。

★海床上的水壓感應器感應器接收到不尋常的波動，浮筒會將資料傳送至  
衛星，再傳送至印尼雅加達的海嘯警告中心。

★預計在亞齊省至峇里島間的印度洋設置10個浮筒。



(From discovery)



❖ 前言

❖ 基本資料蒐集分析

→ ❖ 臺灣沿海可能發生海嘯地區之分析

❖ 臺灣沿海地區現有海堤及水門等設施  
耐海嘯之檢討

❖ 海堤及水門設施耐海嘯構造評估標準及災  
損防制整體計劃之研擬

❖ 員山子分洪隧道受海嘯侵襲之安全性評估

❖ 結論與建議

# ★★臺灣沿海地區可能發生海嘯之探討

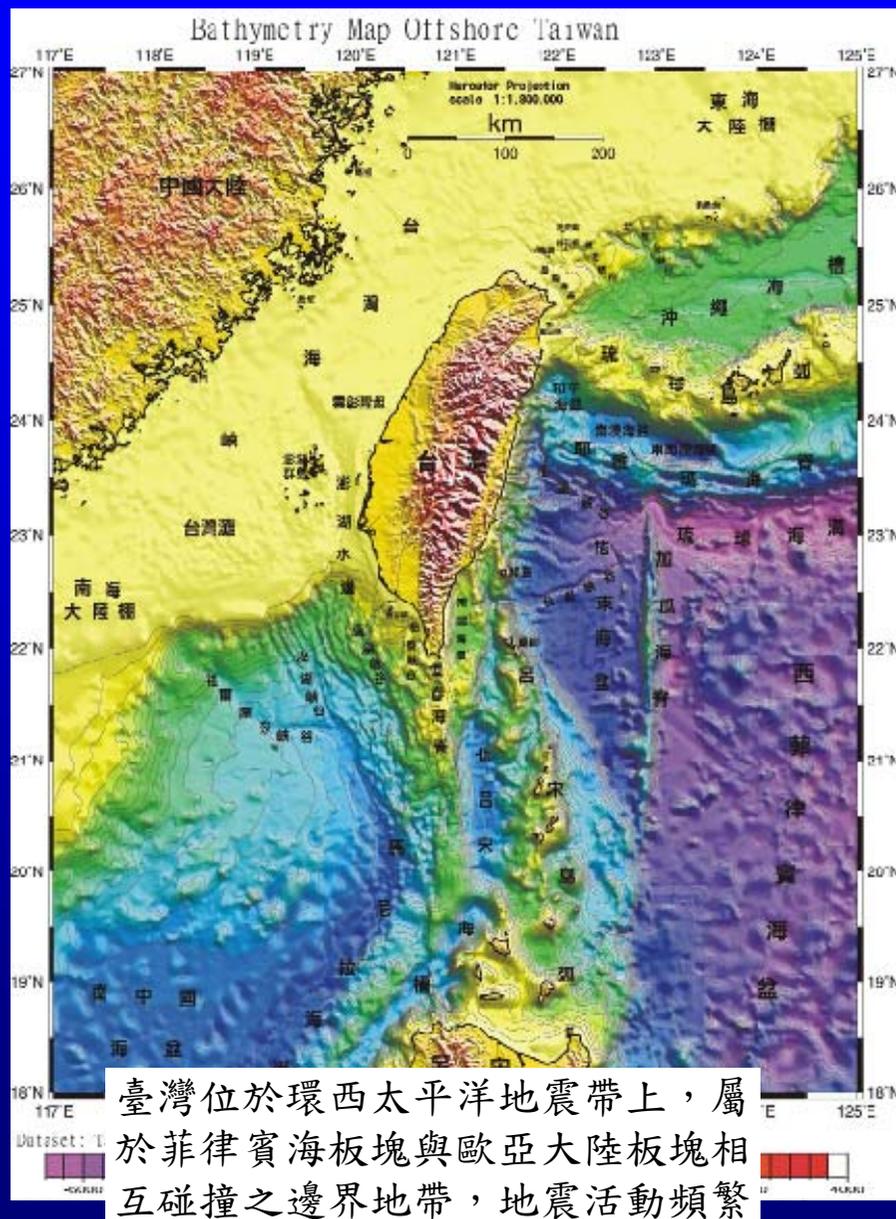
## 二十世紀內台灣地區之海嘯事件

日期(當地)	位置	資料來源	備註
1917/1/25	福建同安	包澄瀾, 1991 李起彤, 1991	
1917/5/6	台灣東部	徐明同, 1981 包澄瀾, 1991 Ma & Lee, 1997	
1918/2/13	廣東汕頭	包澄瀾, 1991	
1918/5/1	基隆	楊春生等, 1983	
1921/9/	台南	游明聖, 1994	
1938/6/10	日本宮古島	許和李, 1996	日本平良1.5m
1951/10/22	東北部海域	徐明同, 1981 楊春生等, 1983	
1960/5/24	智利	徐明同, 1981	基隆0.66m, 花蓮0.3m
1963/2/13	台灣東部	許和李, 1996	
1963/10/13	千島列島	徐明同, 1981	花蓮0.1m
1964/3/28	阿拉斯加	徐明同, 1964	花蓮0.15m
1966/3/13	台灣東部	包澄瀾, 1991 Ma & Lee, 1997 許和李, 1996	
1972/1/25	台灣東部	許和李, 1996	
1978/7/23	蘭嶼	許和李, 1996	
1986/11/15	台灣東部	許明光等, 1994	花蓮2.0m
1988/2/29	北太平洋	包澄瀾, 1991	坎門1.37m, 廈門0.34m
1992/1/5	海南島西南	包澄瀾, 1991	榆林港0.78m
1993/8/8	關島附近	徐月娟, 1999	花蓮0.28m, 成功0.25m
1993/11/15	台灣東部	劉倬騰, 1995	衛星影像圖
1994/9/16	福建東山附近	李起彤, 1991 徐月娟, 1999	澎湖0.19m
1994/10/4	日本北海道	徐月娟, 1999	成功0.13m, 蘇澳0.05m
1996/2/17	印尼	徐月娟, 1999	成功0.39m, 基隆0.1m
1996/9/6	台灣東部	徐月娟, 1999	成功0.15m

## 台灣地區1993年至1996年海嘯紀錄統計

發生日期	發生地點	到達測站	最大波高 (cm)	週期 (min)	持續時間 (day)
1993/8/8	關島	成功	25	12	1.0
		花蓮	28	15	1.5
1994/9/16	福建東山	澎湖	19	24	0.5
1994/10/4	北海道	成功	13	14	1.5
		蘇澳	5	20	2.0
1996/2/17	印尼	基隆	10	22	12.0
		成功	39	17	1.5
1996/9/7	東台灣	成功	15	17	0.5

## 可能侵襲臺灣沿海地區之海嘯發生機制----- 首要考量地震海嘯



★臺灣沿海地區可能曾經遭受海嘯侵襲地區包括了含蓋基隆地區之東北部海域，及含蓋台南、高雄及屏東等地區之西南海域。

★台灣西南部及南部海域雖然近域海嘯發生機率較低，但有可能遭受南方菲律賓附近海域所引發之海嘯入侵(目前中央氣象局尚無西南部及南部海域海嘯觀測記錄公佈)，且因多屬人口密集之海岸地區是值得注意與警戒之海岸地區。

★北部新竹海域及淡水因歷史記載曾疑似遭受地震海嘯入侵，在史料無法確認之前，不宜將其可能遭受海嘯侵襲之可能性排除

# ★★不同規模等級之海嘯波前進至臺灣近海登陸可能溯上高度之探討

海嘯波溯升之探討—提供後續推算海堤受海嘯作用之分析

Hall and Watts (1953)  $\frac{R}{d} = 3.1 \left( \frac{H}{d} \right)^{1.15}$  底床坡度  $\alpha = 45^\circ$

Synolakis (1987)

未碎波： $R/h_0 = 2.831 \sqrt{\cot \beta} (H_0/h_0)^{5/4}$

碎波： $R/h_0 = 1.109 (H_0/h_0)^{0.582}$

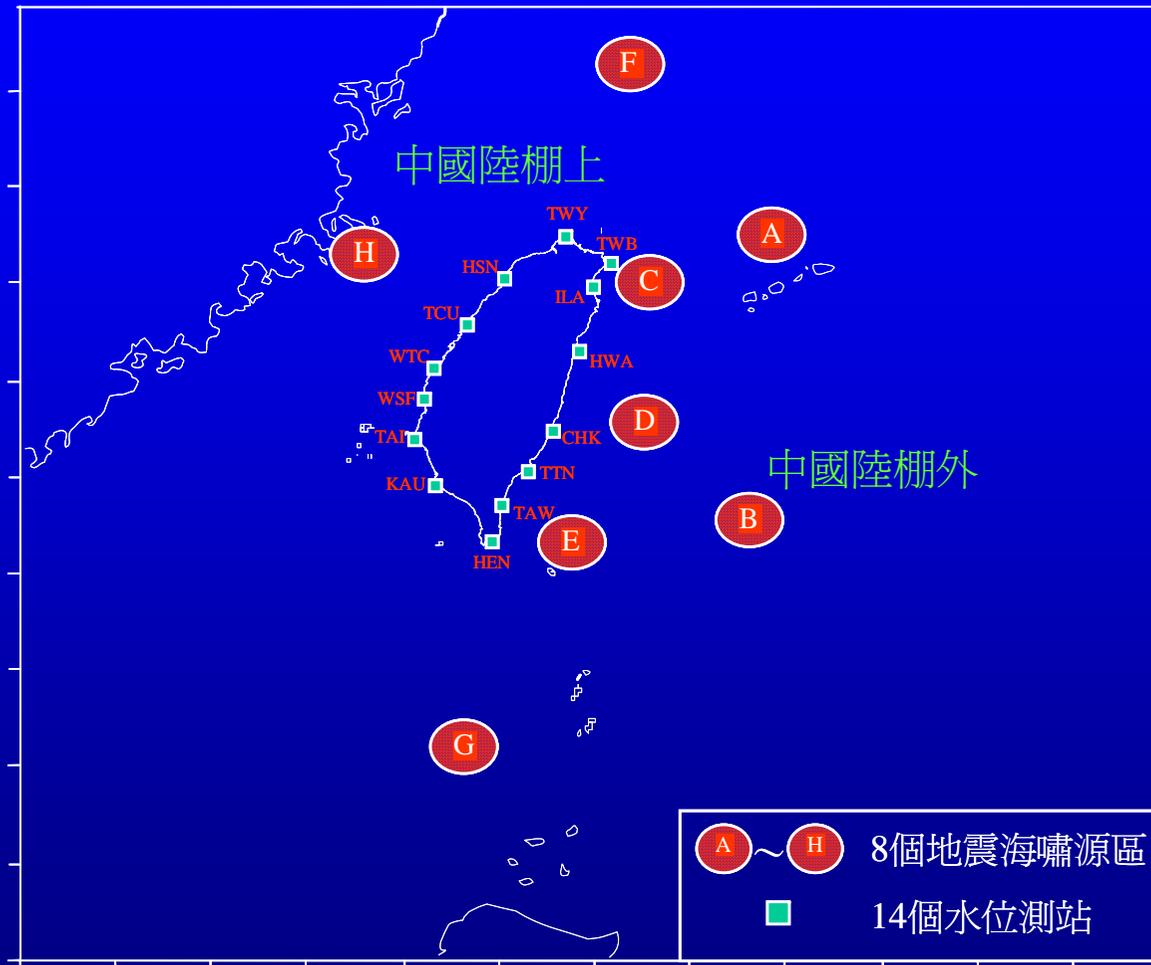
Müller (1995)

$$\frac{R}{d} = 1.25 \left( \frac{\pi}{\alpha} \right)^{0.2} \left( \frac{H}{d} \right)^{5/4} \left( \frac{H}{L} \right)^{-0.15}$$

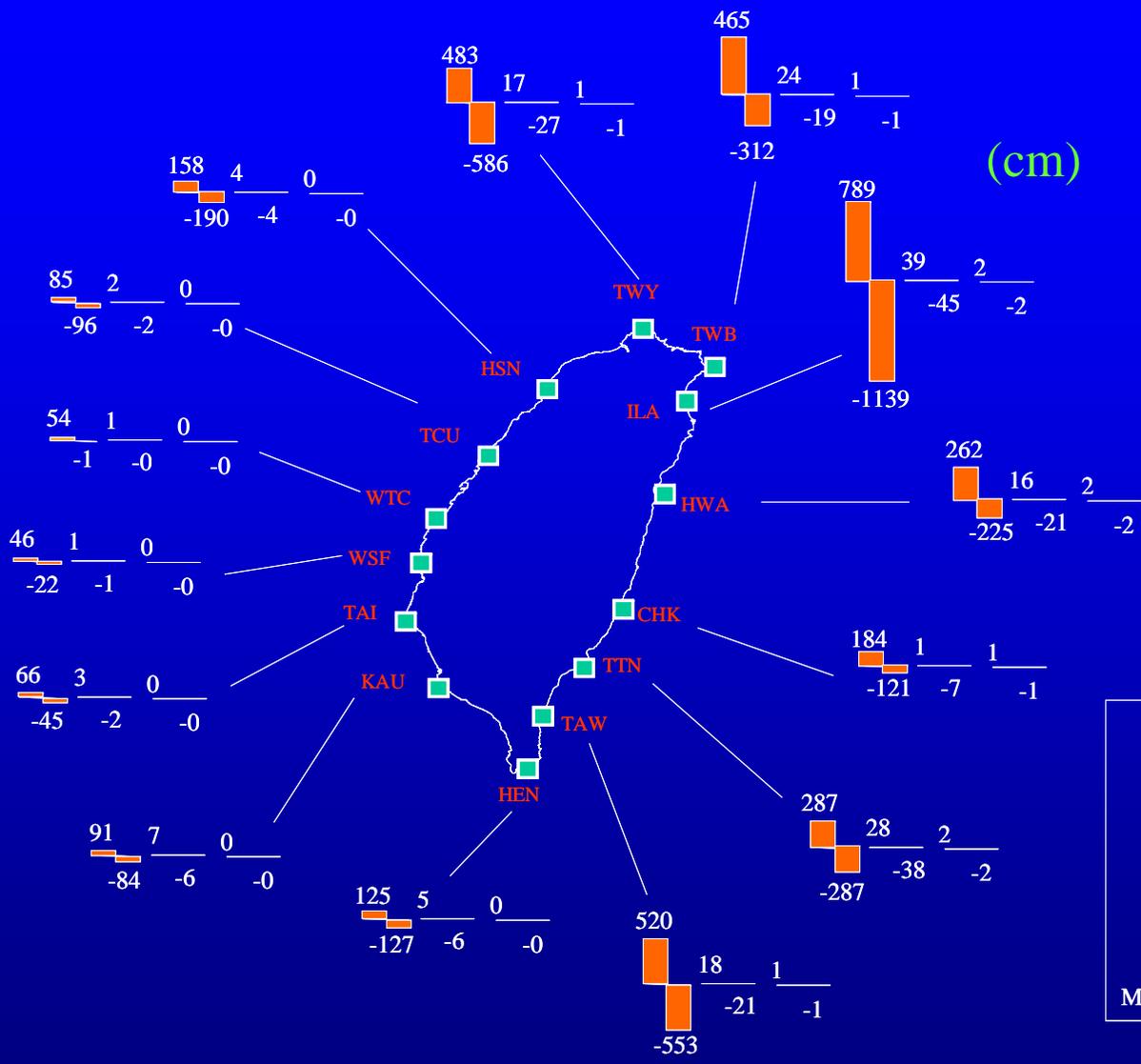
(Mader, 1988)

考慮非線性效應影響之數值模式如以限差分方法求解非線性淺水方程式之SWAN模式

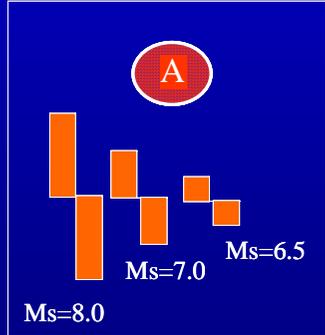
# 海嘯波前進至臺灣近海登陸可能湧升高度之探討 --- 近域之模擬



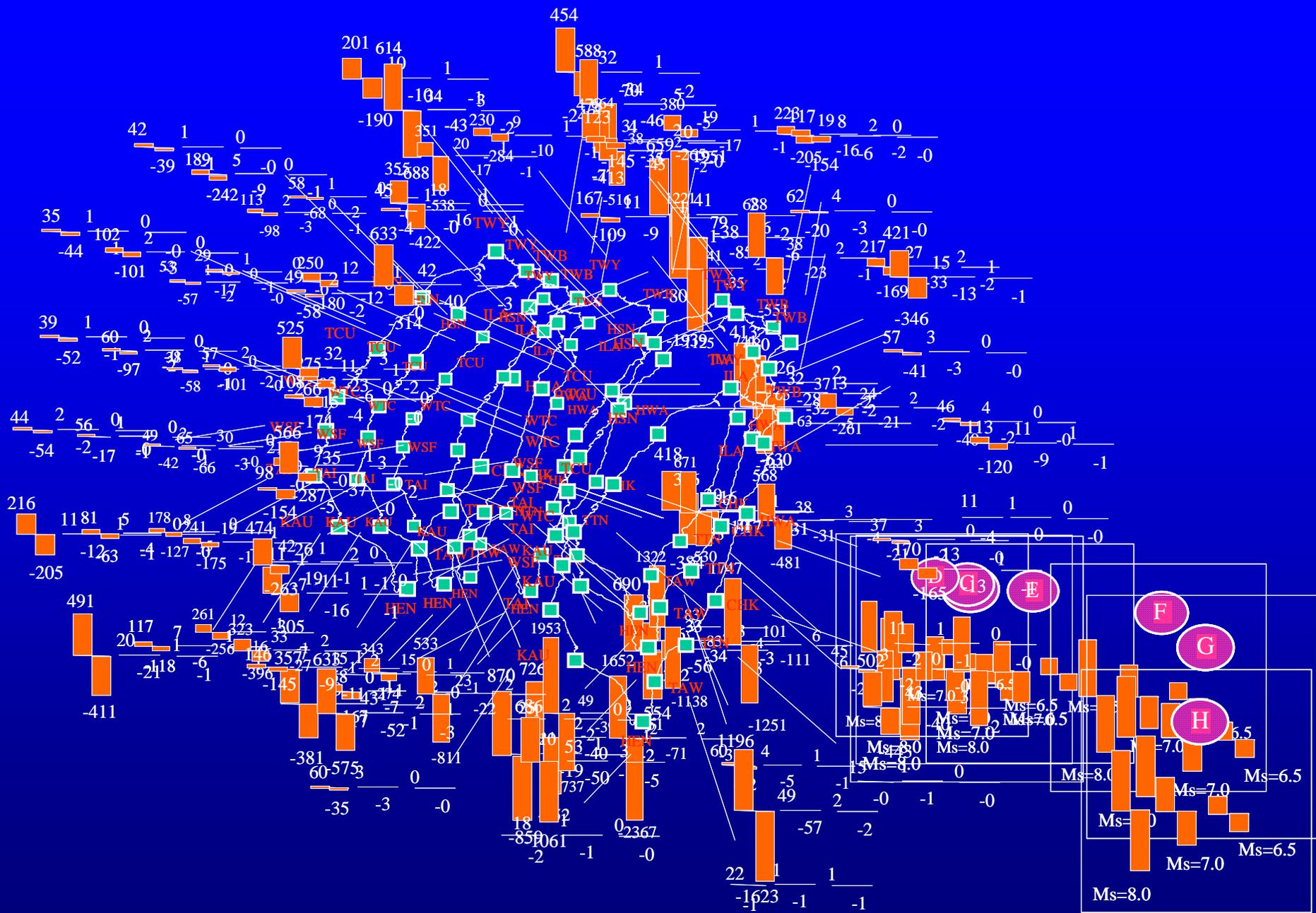
許明光、陳建宏(1994)



(cm)



許明光、陳建宏(1994)推算海嘯發源地A所造成台灣沿岸海嘯之波高分佈(cm)

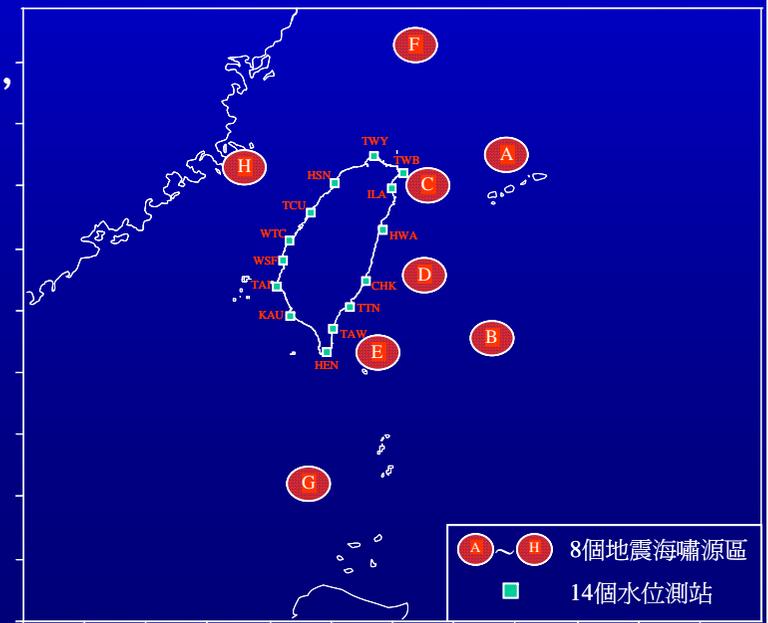


海嘯發源地B~H所造成台灣沿岸海嘯之波高分佈(cm)

## 歸納其8處不同海嘯發源地對台灣沿岸海嘯波高分佈之可能影響 評估：

- ★中國陸棚外(A、B、C、D、E、G)海嘯發源地引發之地震海嘯，經台灣東部陡削海底地形之時，因只有宜蘭與大武兩處外海有較平緩之海底地形與海谷地形，將有利於海嘯傳播過程之折射聚焦效應，故推算結果顯示宜蘭站與大武站可能發生之海嘯波高有較大於鄰近(花蓮、成功)測站的趨勢。
- ★中國陸棚上海嘯發源地F，因其位於台灣北方，當衍生海嘯時首先傳播抵達至金山(TWY)一帶，且海嘯波高分佈最大，越往南則海嘯逐漸減小。
- ★中國陸棚上之海嘯發源地H，因位於台灣海峽西岸，當此點出現地震海嘯時，最先將傳播抵達至台中(TCU)測站，而新竹(HSN)將發生最大海嘯，波高往南往北逐漸減小。此外，當海嘯傳播至澎湖海道(WSF測站與TAI測站之間)時，波高有迅速減小的現象。

- ★由許(1994)等之分析結果顯示，測站與海嘯源區距離之遠近，並不完全決定海嘯波浪的大小與其傳播到達之快慢。其中之影響因素除了海嘯源的規模之外，海底地形亦是影響海嘯波高分佈之重要因素，如宜蘭與大武即為一顯著之例子。



海嘯波前進至臺灣近海登陸可能湧升高度之探討 --- 遠域之模擬

Far field simulation of tsunami propagation



Kulikov(2005)

傳遞至台灣海岸之湧升高約30cm

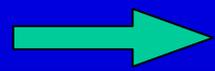
## 遡上高度分析所遭遇之難題

- ★由於海嘯波遡升高度與海岸線的形狀、海底地形及底床坡度等因素關係密切，因此在探討海嘯入侵遡升高度問題，必須要能夠得到足夠且精確的海岸地形、水深乃至陸上高程等資料等，才能夠正確地推算出海嘯入侵高度。
- ★惟目前國內近岸地形水深資料仍缺乏有效地整合，在海象觀測方面亦缺乏海嘯相關實測記錄，提供數值模式進行模擬結果之驗証。

❖ 前言

❖ 基本資料蒐集分析

❖ 臺灣沿海可能發生海嘯地區之分析



❖ 臺灣沿海地區現有海堤及水門等設施耐海嘯之檢討

❖ 海堤及水門設施耐海嘯構造評估標準及災損防制整體計劃之研擬

❖ 員山子分洪隧道受海嘯侵襲之安全性評估

❖ 結論與建議

★目前國內在海嘯特性、海嘯之侵害、潛在威脅及風險、乃至海嘯與海岸構造物相互作用之機制探討等相關課題研究仍相當缺乏，實不易亦無可能在現有的基礎下，研擬或制定出合理且適當之「海堤及水門設施之耐海嘯構造評估標準」規範。

★目前日本在某些特定的海岸地區建有所謂的「耐海嘯海堤」或「耐海嘯水門」等構造物，如圖為日本靜岡縣兵川水門外觀，該水門有效寬16.5m，有效高4.3m，於1986年5月完工



★由美國陸軍工兵署所彙編的“海岸保護手冊”(1984年出版)或是最近出版的“海岸工程手冊”，內容均未論及耐海嘯結構物相關問題。

初步檢討海堤及水門等結構物對海嘯波之防禦能力

# ★★海岸結構物受海嘯波作用下，互制相關研究之整理與分析

相關經驗式---提供後續推算海堤受海嘯作用之分析

湧升高

Synolakis (1987)

$$\text{碎波：} R/h_0 = 1.109(H_0/h_0)^{0.582}$$

$$\text{未碎波：} R/h_0 = 2.831 \sqrt{\cot \beta} (H_0/h_0)^{5/4}$$

水流流速

Keulegan(1950)

$$u = 2(\bar{g} \bar{h})^{1/2}$$

Fukui(1963)

$$u = 1.83(\bar{g} \bar{h})^{1/2}$$

衝擊垂直牆體之  
衝擊推力

Cumberbatch(1960)

$$F = C_F \rho b \eta c^2$$

Cross(1966, 1967)

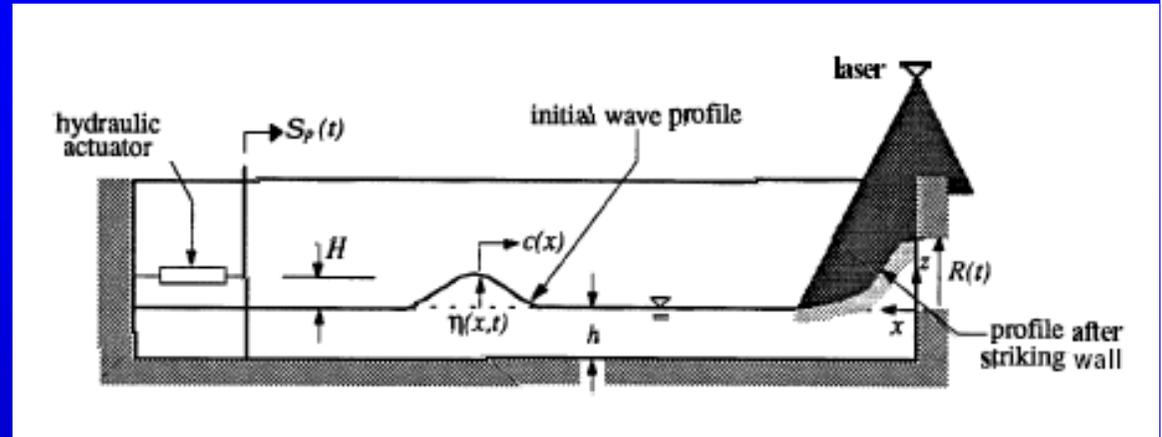
$$F(t) = \frac{1}{2} \gamma b \eta(t)^2 + \rho C_F(t) b \eta(t) c^2$$

衝擊垂直牆體之  
衝擊壓力

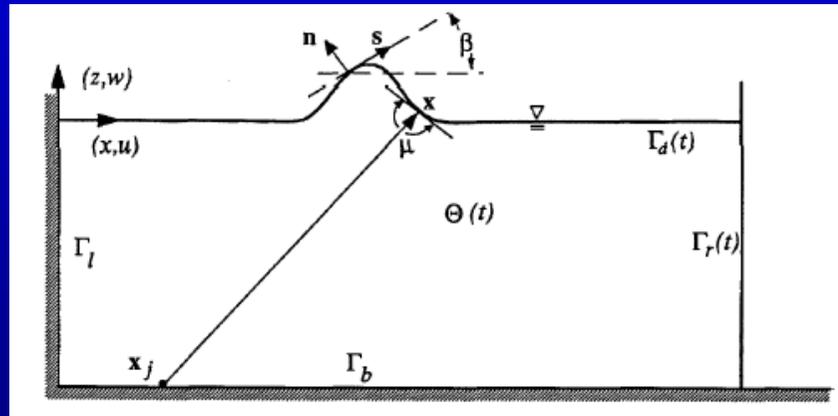
Fukui(1963)

$$P = K_o \frac{c^2}{gh} \rho c^2$$

# 以孤立波理論推估海嘯衝擊力



於平坦底床水槽之孤立波試驗配置圖



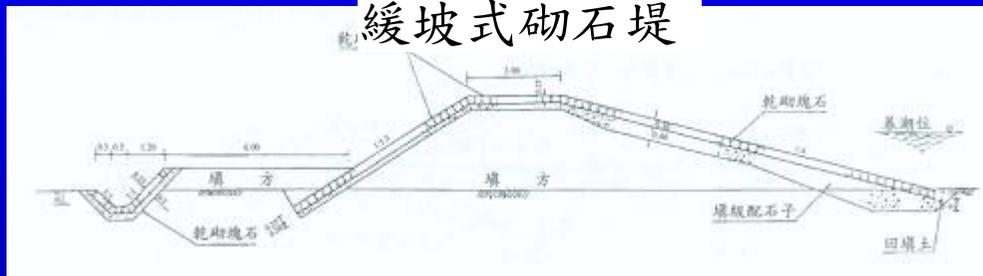
Jerald Day Ramsden(1993)以邊界元素模式(boundary element model)計算陡坡上孤立波之計算域示意圖



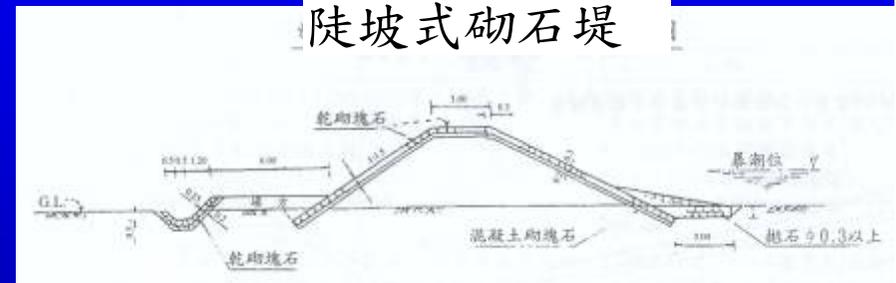
# ★★檢討現有海堤及水門等海岸設施對海嘯波之防禦能力 Sea wall in Taiwan

## 台灣現有常見之海堤型式

緩坡式砌石堤



陡坡式砌石堤



複合式海堤



混凝土堤

# 海堤設計基本原則概述

## Design criteria for prevention systems

- ★潮位及波浪。 Water level and wave
- ★地質。 Bed material
- ★海底地形。 Bottom topography
- ★地震力。 Earthquake force
- ★堤內重要設施。 Infra structure inside wall
- ★堤頂高 = 暴潮位 + 波浪遡升高度 + 餘裕高 height of sea wall

有關外力計算其一般原則與應注意事項如下

- ★直立式或混合式海堤之外力計算可仿照防波堤之外力計算。 Vertical or inclined walls
- ★直立式或混合式海堤不僅受波力作用且受地震力及土壓力作用，應特別注意。

----請參考報告

Wave force and earthquake forces

# 台灣各海岸海堤設計暴潮位推算表

縣市別	地點	最大天文潮 (公尺)	氣壓潮計算		風揚計算				暴潮位		
			設計低氣壓(公里)	氣壓潮(公尺)	設計風速 秒/公尺	吹風距離(公里)	平均水深(公尺)	風揚(公尺)	推算值(公尺)	歷年實測最大值(公尺)	建議採用值(公尺)
基隆市	基隆	+0.81	710	0.66	20	4.0	26	0.03	+1.50	+0.96	+1.50
台北縣	水尾	+1.00	720	0.53	20	1.5	12	0.03	+1.56		+1.60
台北縣	石門	+1.19	720	0.53	20	1.5	12	0.03	+1.75		+1.80
台北縣	淡水	+1.57	720	0.53	20	140.0	60	0.54	+2.64	+2.20	+2.70
+桃園縣	大潭	+2.07	720	0.53	20	150.0	70	0.41	+3.01		+3.00
新竹縣	香山	+2.57	720	0.53	20	130.0	60	0.42	+3.52	+3.12	+3.50
苗栗縣	通霄	+2.97	720	0.53	20	140.0	60	0.45	+3.95		+4.00
台中縣	梧棲	+2.97	720	0.53	20	160.0	60	0.51	+4.01	+3.95(龍井)	+4.00
彰化縣	鹿港	+2.70	720	0.53	20	160.0	60	0.51	+3.74	+3.64	+3.80
雲林縣	台西	+2.26	720	0.53	20	170.0	60	0.54	+3.33	+3.05	+3.40
嘉義縣	塭港	+1.65	720	0.53	20	12.0	5	0.46	+2.64	+2.00	+2.70
台南縣	路竹溝	+1.35	720	0.53	20	2.5	2.1	0.23	+2.11		+2.10
台南縣	馬沙溝	+1.25	720	0.53	20	1.5	2.0	0.15	+1.93		+2.00
台南縣	青鯤鯓	+1.25	720	0.53	20	4.0	2.6	0.30	+2.08		+2.10
高雄市	高雄港	+1.17	700	0.79	20	3.0	10	0.06	+2.02	+2.13	+2.20
花蓮縣	花蓮	+1.09	705	0.73	25	1.0	10	0.03	+1.85	+1.84	+1.90
澎湖縣	澎湖	+1.73	720	0.53	20	130.0	70	0.36	+2.62	+2.19	+2.60

★西海岸設計波高約5~6公尺，週期約9~11秒

★東部海岸設計波高約8~9公尺，週期約13~15秒

★波浪遡升高與堤面坡度之關係呈現堤面坡度越陡，波浪遡升越高之趨勢。

水利局海堤規劃設計總隊1976年推算

探討海嘯對現有海堤構造物之破壞機制，檢討海堤抵禦海嘯之評估因子

## 海嘯對海堤之破壞因子

★海嘯波高或波頭高

★海嘯遡升高度



其與堤面坡度及堤前波高相對水深比有關

故以假設性條件依據上述二評估因子，進行現有海堤可能抵禦之海嘯規模，並以下式進行遡升推算分析

Synolakis (1987)

$$\text{未碎波：} R/h_0 = 2.831 \sqrt{\cot \beta} (H_0/h_0)^{5/4}$$

$$\text{碎波：} R/h_0 = 1.109 (H_0/h_0)^{0.582}$$

# 台灣各海岸容許之堤前海嘯波高推算表

地區	海堤名稱	(1) 暴潮位	遡升高度(5)						海堤堤頂高度推算值(6) = (1)+(5)					
			海堤外坡						海堤外坡					
			1:1	1:1.5	1:2	1:3	1:4	1:5	1:1	1:1.5	1:2	1:3	1:4	1:5
基隆	龍洞	公尺 +2.10	公尺 2.97	公尺 2.42	公尺 1.95	公尺 1.55	公尺 1.27	公尺 1.11	公尺 +5.10	公尺 +4.50	公尺 +4.10	公尺 +3.70	公尺 +3.40	公尺 +3.20
淡水	油車口 海水浴場段	+2.70	3.51	3.42	2.95	2.10	1.76	1.39	+6.20	+6.10	+5.70	+4.80	+4.50	+4.10
桃園	大潭	+3.00	1.95	2.36	2.03	1.41	1.02	0.81	+5.00	+5.40	+5.10	+4.40	+4.40	+3.80
新竹	新竹區各段 (山腳段除外)	+3.50	1.95	2.36	2.15	1.59	1.21	0.93	+5.50	+5.90	+5.70	+5.10	+4.70	+4.50
苗栗	苗栗區各段 (外埔段除外)	+4.00	2.01	2.42	2.15	1.52	1.13	0.93	+6.00	+6.40	+6.20	+5.50	+5.20	+5.00
台中	大甲鎮~龍井鄉	+4.00	2.05	2.47	2.13	1.42	1.07	0.86	+6.10	+6.50	+6.20	+5.40	+5.10	+4.90
彰化	彰化區各段 (漢賓段除外)	+3.80	2.08	2.52	2.17	1.58	1.18	0.93	+5.90	+6.30	+6.00	+5.40	+5.00	+4.80
雲林	? 子寮~下湖口	+3.40	1.78	2.14	1.96	1.46	1.15	0.88	+5.20	+5.60	+5.40	+4.90	+4.60	+4.30
台南	曾文溪~二仁溪	+2.20	2.21	2.73	2.87	2.73	2.18	1.79	+4.40	+5.00	+5.10	+5.00	+4.40	+4.40
高雄	南寮~援中港	+2.20	2.79	2.86	2.66	2.00	1.62	1.36	+5.00	+5.10	+4.90	+4.30	+3.80	+3.60
屏東	高屏溪~率范溪	+2.20	3.04	3.05	2.66	2.06	1.66	1.45	+5.30	+5.30	+4.90	+4.30	+3.90	+3.70
澎湖	林投龍門	+2.60	2.90	3.48	3.51	3.16	2.38	1.92	+5.50	+6.10	+6.10	+5.80	+5.00	+4.50
宜蘭	大溪	+1.90	(灘地坡度=1/12? 升5.22公尺)						(7.10)					
花蓮	北濱 (中山路以北)	+1.90	(灘地坡度=1/9.5? 升6.48公尺)						(8.40)					
台東	台東南段	+1.90	(灘地坡度=1/9.5? 升6.48公尺)						(8.40)					



容許的堤前海嘯波高					
海堤外坡					
1:1	1:1.5	1:2	1:3	1:4	1:5
公尺	公尺	公尺	公尺	公尺	公尺
1.71	1.11	0.80	0.56	0.43	0.34
1.96	1.46	1.12	0.71	0.56	0.41
1.22	1.08	0.83	0.52	0.36	0.27
1.22	1.08	0.87	0.57	0.41	0.30
1.25	1.11	0.87	0.55	0.39	0.30
1.27	1.12	0.86	0.52	0.37	0.28
1.29	1.14	0.88	0.57	0.41	0.30
1.14	1.00	0.81	0.53	0.40	0.29
1.35	1.22	1.10	0.88	0.66	0.51
1.63	1.26	1.03	0.68	0.52	0.41
1.74	1.33	1.03	0.70	0.53	0.43
1.68	1.48	1.29	0.99	0.71	0.53

★海堤堤高大多低於6m，故當堤前海嘯波高達6m以上時(相當於海嘯級數 $m>2$ 以上)，海嘯會直接衝擊堤身並越堤，此時海堤堤體安全將會面臨嚴苛的挑戰。

★波浪遡升推算之堤前波浪狀況發現堤前波高大都介於1.0m~1.41m之間，顯示當堤前海嘯波高達到1m以上時，如加計潮位影響時則沿海大部份海堤即有可能會發生海嘯波頭越堤之現象。

★假設堤前水深為5m，推算大於表中波浪遡升值之可能堤前海嘯波高大小，顯示最大可抵禦越波之海嘯波高為1.96m，最小可抵禦越波之海嘯波高為0.27m。

❖ 前言

❖ 基本資料蒐集分析

❖ 臺灣沿海可能發生海嘯地區之分析

❖ 臺灣沿海地區現有海堤及水門等設施  
耐海嘯之檢討

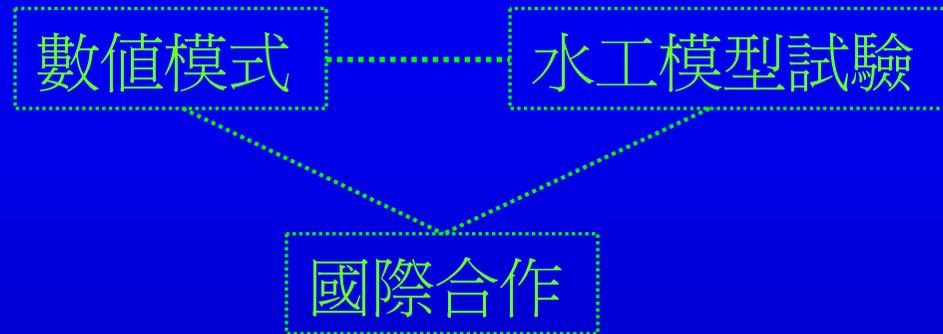
→ ❖ 海堤及水門設施耐海嘯構造評估標準及災  
損防制整體計劃之研擬

❖ 員山子分洪隧道受海嘯侵襲之安全性評估

❖ 結論與建議

# ★★海嘯與海堤及水門設施構造物互制機制之研究

研提擬定未來制定相關結構物設計規範之研究工作



- ❖ 海嘯近岸湧上及降下運動過程之分析研究。
- ❖ 海嘯波與海堤結構物之互制與破壞機制之研究。
- ❖ 海嘯與波浪、潮汐偶合之影響評估。

# 海嘯近岸湧上及降下運動過程之分析研究規劃-1

未來數值模擬研究之近、遠程工作內容如下：

- ❖ 建立一維數值模式模擬海嘯在湧升區與海堤間之運動過程。
- ❖ 建立二維數值模式模擬海嘯在近岸及湧升區內之運動。
- ❖ 針對臺灣四周海域構建二維數值模式模擬海嘯之傳播與湧升。
- ❖ 配合相關上位研究計畫利用上述數值模式模擬海嘯可能入侵地區之海嘯高度，檢討現有海堤設施是否足以因應，以及溢淹後海嘯之可能撤退途徑。

## 海嘯近岸遡上及降下運動過程之分析研究規劃-2

未來水工模型試驗提供校驗之需，考量因子如下：

- ❖ 海堤型式
- ❖ 地形水深
- ❖ 潮位
- ❖ 波浪條件
- ❖ 模擬範圍
- ❖ 試驗比例尺
- ❖ 量測項目
- ❖ 期程需求：一個平面試驗約需半年
- ❖ 預算需求：3,600,000. / 一個平面試驗

# 海嘯波與海堤結構物之互制與破壞機制之研究規劃-1

未來以水工模型試驗為主要分析模式，考量因子如下：

- ❖ 海堤型式
- ❖ 堤前坡度
- ❖ 潮位
- ❖ 波浪條件
- ❖ 模擬範圍
- ❖ 試驗比例尺
- ❖ 量測項目
- ❖ 修正項目
- ❖ 期程需求：一個斷面試驗約需半年
- ❖ 預算需求：2,800,000. /一個斷面試驗。

# ★★海堤及水門等海岸設施耐海嘯構造之研究

## 研提擬定未來之研究工作

- ❖ 檢討現有海堤及水門設施之設計標準或防護能力。
- ❖ 針對海嘯可能的災損研究海堤及水門之功能性改良對策。
- ❖ 耐海嘯構造物及設計準則之研究。

# ★★訂定海堤及水門設施之耐海嘯構造之設計條件與規範

## 研提擬定未來之研究工作

- ❖耐海嘯設計條件之檢討。
- ❖耐海嘯設計規範之修訂。
- ❖海嘯危險區位之分級及耐海嘯設計標準之制定。
- ❖專業技術人員訓練講習。

## ★★研擬海嘯災害因應防制相關計畫及配套措施

### 研提擬定未來之研究工作

- ❖海嘯資訊與避難資訊之及時掌握。
- ❖避難場所與避難動線之事先規劃。
- ❖海嘯災害地圖之正確描製。
- ❖避難支援體制之適時建置。

❖ 前言

❖ 基本資料蒐集分析

❖ 臺灣沿海可能發生海嘯地區之分析

❖ 臺灣沿海地區現有海堤及水門等設施  
耐海嘯之檢討

❖ 海堤及水門設施耐海嘯構造評估標準及災  
損防制整體計劃之研擬

→ ❖ 員山子分洪隧道受海嘯侵襲之安全性評估

❖ 結論與建議

# ★★分洪隧道基本背景資料概述

員山子分洪計畫工程布置圖

深澳灣以東約1.5km處  
E.L.17.615m



隧道坡度從10%變為1%

瑞芳猴洞附近  
E.L.63m



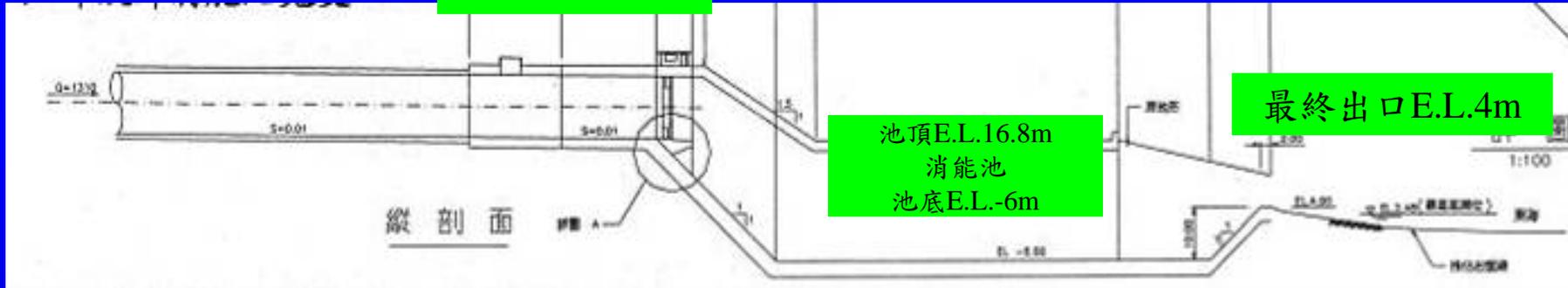
員山子分洪出口



員山子分洪出口附近山勢陡峭

# 隧道出口漸變段剖面圖

E.L.17.615m

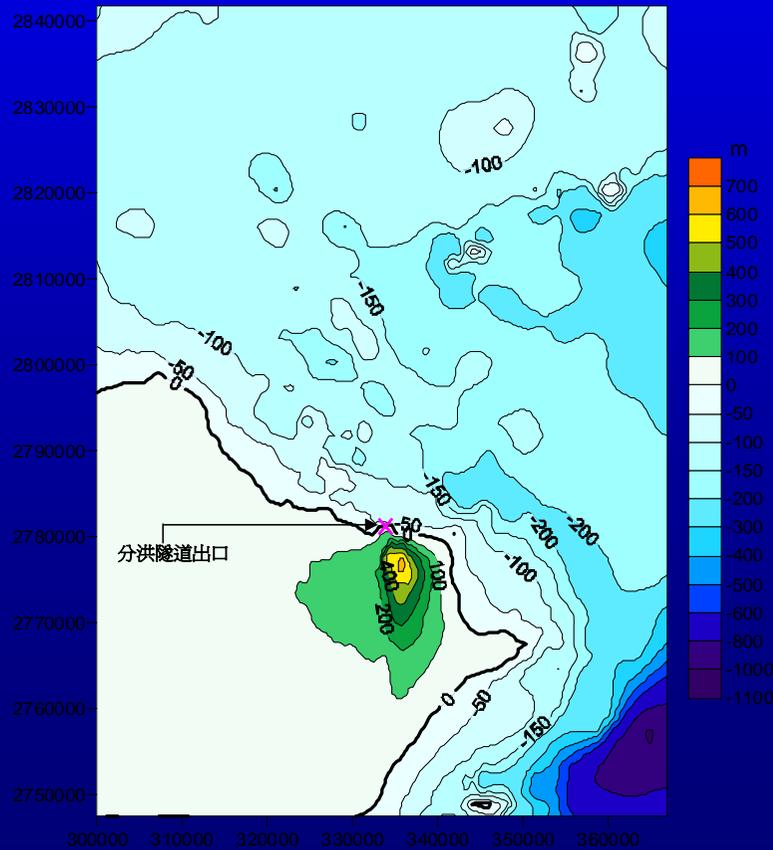


最終出口E.L.4m

池頂E.L.16.8m  
消能池  
池底E.L.-6m

縱剖面

## 隧道出口附近海域地形



水深	平均坡度
50m以內	1:37
100m以內	1:68
150m以內	1:133
200m以內	1:144

# ★★分洪隧道受海嘯侵襲之可能性評估

海嘯侵襲分洪隧道之基本條件為海嘯所引發之水位高程須超過E. L. +17.615m，惟究竟海嘯來襲時所可能於分洪隧道出口附近產生之最大遡升為何??

## 初步評估一：

Synolakis(1987)孤立波遡升經驗式

$$\text{碎波} : R/h_0 = 1.109(H_0/h_0)^{0.582}$$

$$\text{未碎波} : R/h_0 = 2.831 \sqrt{\cot \beta} (H_0/h_0)^{5/4}$$

發生碎波之條件

$$(H_0/h_0) > 0.818(\cot \beta)^{-10/9}$$

假設

遡升高超過E. L. +17.615m

ho=200m

遡升高超過E. L. +29.615m

ho=200m

反推

深海波高大於2.24m之海嘯將於近岸碎波並沿隧道遡上

深海波高大於5.8m之海嘯將沿隧道遡上且造成滿管現象

一、關於海嘯與地震之關係模式的探討研究，若欲進一步使海嘯預測方法提昇，仍應朝下列方向努力：

- 1.對於海底斷層運動機制的更深入研究，以使地震海嘯模擬之斷層參數可進一步的釐清，俾可確立海平面受強烈地質活動擾動後之海嘯初始起動波形。
- 2.擇選適確之海嘯傳播計算模式，在距海岸較近處發生之近域海嘯，應以非線性長波理論來模擬；而發生於遠域之越洋海嘯則係以球面座標體系之線性波分散理論分析之較為合宜。
- 3.為求取遡升高預測之精確性，應配合沿岸精確之水深地形及所需的空間大小，決定計算模式之網格尺寸，由外側海嘯源開始傳播之空間域，以較大之計算網格依序模擬其傳播特性，再以近岸處較小之網格計算並分析其對海岸之遡升高影響。

二、針對台灣受海嘯侵襲的風險評估，下列幾點應是後續針對海嘯整體性研究值得再進一步深入檢討的課題：

1. 截至目前為止發生於台灣之海嘯經驗，到底其發生之機制為何？
2. 既有之台灣及其附近區域的海嘯紀錄，其可能發生之原因為何？而發生之頻率可否統計出其特性？
3. 已往之歷史海嘯紀錄若不明確或沒有保留足夠資料，亦應檢討附近是否有發生地震的板塊邊緣？以評估其板塊運動能否引發大海嘯的可能？
4. 對於可能影響台灣海岸之遠域越洋海嘯的傳播特性有多少瞭解？
5. 雖然歷史之台灣海嘯紀錄所造成的災損情形不若鄰近日本地區嚴重，但仍應檢討假若台灣附近地區地震震級規模變大並衍生較大海嘯時，其會有怎樣的海嘯侵襲台灣？

謝謝  
敬請指教

