

98-52-7407

MOTC-IOT-97-H1DA001-1

港灣構造物之現況調查研究 (2/2)



交通部運輸研究所
中華民國 98 年 4 月

98-52-7407

MOTC-IOT-97-H1DA001-1

港灣構造物之現況調查研究 (2/2)

著 者：柯正龍、陳桂清、張道光、羅建明

交通部運輸研究所

中華民國 98 年 4 月

港灣構造物之現況調查研究. (2/2) / 柯正龍等
著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研所，
民98.04
面；公分

ISBN 978-986-01-8304-7(平裝)

1. 港埠管理

557.52

98007255

港灣構造物之現況調查研究 (2/2)

著者：柯正龍、陳桂情、張道光、羅建明

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10458 臺北市敦化北路 240 號

網址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電話：(04)26587186

出版年月：中華民國 98 年 4 月

印刷者：良機事務機器有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定價：200 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1009800975

ISBN：978-986-01-8304-7 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：港灣構造物之現況調查研究(2/2)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-01-8304-7 (平裝)	政府出版品統一編號 1009800975	運輸研究所出版品編號 98-52-7407	計畫編號 97-H1DA001-1
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計畫主持人：柯正龍 研究人員：陳桂清、張道光、羅建明、李春榮、何木火、陳毓清、李昭明 聯絡電話：04-26587186 傳真號碼：04-26564418			研究期間 自 97 年 01 月 至 97 年 12 月
關鍵詞：耐久性、港灣設施、安全評估、維護管理系統			
摘要： 港灣構造物常年處於波浪或地震力等巨大外力衝擊與海水鹽份浸泡等惡劣環境下，甚易造成碼頭或防波堤等港灣構造物之使用構材諸如混凝土劣化、強度損失以及內部鋼筋腐蝕、斷裂或鋼板樁腐蝕等破壞現象，對構造物之耐久性與安全性威脅甚大。 本研究除針對台中港1至4 A碼頭與基隆港西2至西4號碼頭設施進行現況調查外，並對基隆港西2至西4號碼頭實施安全評估與建置維護管理系統。研究成果共包含完成碼頭面版、底梁及下部結構現況目視檢測及採用儀器進行非破壞性與採樣至試驗室內試驗、常時與地震時之結構安全分析、碼頭維修工法及研擬改善對策，並建立碼頭檢測評估標準作業程序、設施維護補強工法與碼頭維護管理系統等項目。 本計畫之研究效益除能瞭解台中港1至4號A碼頭與基隆港西2至西4號碼頭設施現況，可立即提供務局作為未來碼頭設施結構安全評估與維護管理之參考外，並可提供基隆港務局配合基隆市政府推動都市更新計畫建立新西岸商城案規劃或改建之參考依據。此外，研究過程中採用或建置完成之相關檢測方法與實施流程、常時與地震時之結構分析、安全評估標準作業程序、維修補強工法及井筒式與牆式墩柱碼頭維護管理系統等成果，均可提供國內各港務局應用於相關碼頭設施維護管理作業需要與本所進行港灣構造物後續相關研究之重要參考。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
98 年 4 月	170	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密條件：☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密，☐ 公布後解密，☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密，☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Study of Field Survey on Harbor facilities (2/2)

ISBN (OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
ISBN 978-986-01-8304-7 (pbk)	1009800975	98-52-7407	97-H1DA001-1

DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ko Jeng-long PROJECT STAFF: Chen Kuei-ching, Su Ch-li, Lo Chien-ming PHONE: 04-26587186 FAX: 04-26564418	PROJECT PERIOD FROM January 2008 TO December 2008
---	---

KEY WORDS: Durability, Port Facility, Safety Evaluation, Maintenance Management System

ABSTRACT :

Having been constantly confronted with huge natural impacts of waves, earthquakes and seawater chloride ingress all year round, harbor structures easily deteriorate, including weakening concrete material, re-bar corrosion and sheet-pile corrosion and cavities. This damage seriously threatens the durability and safety of structures.

In this study, wharves No.1 to No.4A at Taichung Harbor and west wharves No.2 to No.4 at Keelung Harbor were investigated. Meanwhile, the establishment of a safety evaluation and maintenance management system of west wharves No.2 to No.4 at Keelung Harbor were also included.

ACHIEVEMENTS :

1. Completing actual physical inspections and in-situ test & cores test by taking examples from decks, beams and lower parts of each wharf structure.
2. Analyzing the safety of wharf structure under routine checks and after earthquake strikes.
3. Completing repair methods and improving strategies.
4. Establishing the standard operation procedures for wharf inspection, ports facilities reinforcement methods and maintenance management system.

BENEFITS AND APPLICATION :

1. The understanding of the current conditions of wharves No.1 to No.4 at Taichung Harbor and west wharves No.2 to No.4 at Keelung Harbor can provide port authorities to establish a wharf safety evaluation and maintenance management system in the future.
2. It also can provide the Keelung municipal government with vital information to renovate or rebuild commercial area bounded at west wharves.
3. The inspection method and their standard operation procedures (SOP), wharf safety analysis under routine checks and after earthquakes strike, maintenance enforced methods, cellular and wall-bridge type wharf management system, are applied to wharf facilities management.

DATE OF PUBLICATION April 2009	NUMBER OF PAGES 170	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
-----------------------------------	------------------------	--------------	--

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

港灣構造物之現況調查研究(2/2)

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
表目錄.....	VI
圖目錄.....	IX
第一章 前言	1-1
1.1 研究動機.....	1-1
1.2 研究目的.....	1-2
1.3 研究範圍.....	1-2
第二章 文獻回顧.....	2-1
2.1 碼頭結構型式.....	2-1
2.1.1 重力式碼頭概述	2-1
2.1.2 板樁式碼頭概述	2-3
2.1.3 棧橋式碼頭概述	2-4
2.1.4 井筒式碼頭概述	2-6
2.1.5 牆式墩柱碼頭概述	2-7
2.1.6 重力式碼頭維護管理	2-8
2.1.7 板樁式碼頭維護管理	2-11
2.1.8 棧橋式碼頭維護管理	2-13
2.1.9 井筒式碼頭維護管理	2-14
2.1.10 牆式墩柱碼頭維護管理	2-14

2.2 港灣 R.C.結構物安全檢測項目	2-16
2.2.1 整體結構變形檢測	2-16
2.2.2 細部構材檢測.....	2-16
2.2.3 基礎地盤調查.....	2-17
2.2.4 碼頭附屬設施之檢測	2-17
2.3 檢測及評估實施時機.....	2-18
2.3.1 一般性安全檢測	2-18
2.3.2 緊急災變檢測.....	2-18
2.3.3 分階段檢測及評估	2-19
2.4 結構物安全檢測評估.....	2-21
2.4.1 初步安全檢測.....	2-21
2.4.2 細部安全檢測.....	2-22
2.4.3 結構整體評估等級	2-24
第三章 研究方法與進行步驟.....	3-1
3.1 調查範圍.....	3-2
3.2 構造物基本資料蒐集.....	3-2
3.3 檢測及維修歷史.....	3-2
3.4 整體結構變形檢測及構造主結構體檢測.....	3-2
3.5 基隆港西 2 至西 4 號碼頭安全檢測.....	3-4
3.5.1 碼頭岸肩、梁及下部結構檢測	3-4
3.5.2 鋼筋混凝土材料劣化檢測	3-4
3.5.3 碼頭結構安全分析	3-8
3.6 非主結構體檢測.....	3-8

3.7 構造物初步檢測評估.....	3-8
3.8 完成檢測或進行細部評估.....	3-11
第四章 結果與討論.....	4-1
4.1 臺中港 1 號碼頭.....	4-1
4.2 臺中港 2 號碼頭.....	4-7
4.3 臺中港 3 號碼頭.....	4-11
4.4 臺中港 4 號碼頭.....	4-15
4.5 臺中港 4A 號碼頭.....	4-19
4.6 基隆港西 2 號碼頭.....	4-23
4.7 基隆港西 3 號碼頭.....	4-28
4.8 基隆港西 4 號碼頭.....	4-32
4.9 基隆港西 2 至西 4 號碼頭安全檢測.....	4-36
4.9.1 碼頭岸肩、梁及下部結構檢測	4-36
4.9.2 鋼筋混凝土材料劣化檢測	4-41
4.9.3 碼頭結構安全分析	4-44
第五章 結論.....	5-1
參考文獻.....	參-1

表目錄

表 2-1	重力式碼頭各構件產生異狀列表-----	2-11
表 2-2	板樁式碼頭各構件產生異狀列表-----	2-12
表 2-3	棧橋式碼頭各構件產生異狀列表-----	2-13
表 2-4	井筒與牆式墩柱式碼頭各構件產生異狀列表-----	2-15
表 2-5	港灣構造物細部構材檢測建議項目 -----	2-17
表 3-1	碼頭構造物初步檢測評估表-----	3-3
表 3-2	鋼筋腐蝕電位與腐蝕機率關係-----	3-6
表 3-3	圓柱試體長度直徑比-----	3-7
表 3-4	超音波脈波速度與混凝土品質之關係-----	3-8
表 3-5	港灣碼頭初步檢測劣化程度與評估值關係 -----	3-10
表 4-1	臺中港 1 號碼頭初步檢測表 -----	4-6
表 4-2	臺中港 2 號碼頭初步檢測表 -----	4-10
表 4-3	臺中港 3 號碼頭初步檢測表 -----	4-14
表 4-4	臺中港 4 號碼頭初步檢測表 -----	4-18
表 4-5	臺中港 4 號碼頭初步檢測表 -----	4-22
表 4-6	基隆港西 2 號碼頭初步檢測表 -----	4-27
表 4-7	基隆港西 3 號碼頭初步檢測表 -----	4-31
表 4-8	基隆港西 4 號碼頭初步檢測表 -----	4-35
表 4-9	基隆港西 2 號碼頭檢測結果簡表 -----	4-38

表 4-10	基隆港西 3 號碼頭檢測結果簡表-----	4-38
表 4-11	基隆港西 4 號碼頭檢測結果簡表-----	4-39
表 4-12	各單元構件檢測記錄範例-----	4-40
表 4-13	電阻係數、鋼筋電位值量測、反彈錘試驗結果-----	4-41
表 4-14	鑽心試體之抗壓強度-----	4-42
表 4-15	鑽心試體之超音波脈波速度-----	4-43
表 4-16	基隆港西 2 至西 4 號碼頭氯離子檢測-----	4-44
表 4-17	岸肩載重所造成最大彎矩及剪力-----	4-47
表 4-18	西 2 至 4 號碼頭岸肩設計組合載重-----	4-48
表 4-19	西 2 至 4 號碼頭設計載重-----	4-49
表 4-20	西 2 至 4 號碼頭面版結構強度檢核結果-----	4-50
表 4-21	西 2 至 4 號碼頭容許應力檢核結果-----	4-50
表 4-22	牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)作用於壁體之垂直力-----	4-56
表 4-23	牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)作用於壁體之水平力-----	4-57
表 4-24	牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)抵抗力矩-----	4-58
表 4-25	牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)驅動力矩-----	4-58
表 4-26	牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)作用於壁體之垂直力-----	4-59
表 4-27	牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)作用於壁體之水平力-----	4-60
表 4-28	牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)抵抗力矩-----	4-60
表 4-29	牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)驅動力矩-----	4-60
表 4-30	井筒式斷面作用於壁體之垂直力-----	4- 62

表 4-31 井筒式斷面作用於壁體之水平力-----	4-62
表 4-32 井筒式斷面抵抗力矩-----	4-63
表 4-33 井筒式斷面驅動力矩-----	4-63
表 4-34 碼頭拋石護坡安全分析結果-----	4-73
表 4-35 碼頭拋石護坡後線荷載與安全係數關係-----	4-76
表 4-36 碼頭地震力分析結果-----	4-80

圖目錄

圖 2.1	沈箱式碼頭	2-2
圖 2.2	方塊式碼頭	2-2
圖 2.3	L 型塊式碼頭	2-3
圖 2.4	錨碇板式碼頭	2-4
圖 2.5	直樁棧橋式碼頭	2-5
圖 2.6	斜樁棧橋式碼頭	2-5
圖 2.7	井筒式碼頭斷面結構型式	2-6
圖 2.8	牆式墩柱碼頭斷面結構型式	2-7
圖 2.9	導致重力式方塊碼頭結構外部異狀之主要機制示意圖	2-9
圖 2.10	導致重力式沈箱碼頭結構外部異狀之主要機制示意圖	2-9
圖 2.11	重力式方塊碼頭構件標示	2-10
圖 2.12	重力式沈箱碼頭構件標示	2-10
圖 2.13	導致板樁式錨碇碼頭結構外部異狀之主要機制示意圖	2-12
圖 2.14	港灣結構安全檢測實施流程圖	2-20
圖 3.1	構造物現況調查流程	3-1
圖 3.2	鋼筋腐蝕電位量測示意圖	3-5
圖 4.1	臺中港 1-4A 碼頭位置示意圖	4-1
圖 4.2	臺中港 1 至 3 號碼頭結構型式	4-2
圖 4.3	臺中港 1 號碼頭現況情形平面圖	4-2

圖 4.4 臺中港 1 號碼頭現況情形	4-3
圖 4.5 臺中港 2 號碼頭現況情形	4-7
圖 4.6 臺中港 2 號碼頭現況情形	4-7
圖 4.7 臺中港 3 號碼頭現況情形	4-11
圖 4.8 臺中港 3 號碼頭現況情形	4-11
圖 4.9 臺中港 4 號碼頭結構型式示意圖	4-15
圖 4.10 臺中港 4-4A 號碼頭現況情形示	4-15
圖 4.11 臺中港 4 號碼頭現況情形	4-16
圖 4.12 臺中港 4A 號碼頭結構型式示意圖	4-19
圖 4.13 臺中港 4A 碼頭現況情形	4-19
圖 4.14 基隆港西 2 至西 4 號碼頭位置示意圖	4-23
圖 4.15 基隆港西 2 號碼頭結構斷面	4-24
圖 4.16 基隆港西 2 號碼頭現況情形平面圖	4-24
圖 4.17 基隆港西 2 號碼頭現況情形	4-25
圖 4.18 基隆港西 3 號碼頭現況情形平面圖	4-28
圖 4.19 基隆港西 3 號碼頭現況情形	4-28
圖 4.20 基隆港西 4 號碼頭現況情形平面圖	4-32
圖 4.21 基隆港西 4 號碼頭現況情形	4-32
圖 4.22 岸肩底部目視檢測記錄方式	4-37
圖 4.23 碼頭上部結構分析流程圖	4-45
圖 4.24 碼頭面板結構圖	4-46

圖 4.25	下部結構分析流程	4-51
圖 4.26	基隆港西 2 至 4 號碼頭各結構型式所佔長度	4-52
圖 4.27	牆式墩柱斷面模式(岩盤深度較深)	4-53
圖 4.28	牆式墩柱斷面模式(岩盤深度較淺)	4-54
圖 4.29	井筒式斷面模式	4-55
圖 4.30	拋石護坡分析流程	4-66
圖 4.31	牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較深)	4-67
圖 4.32	牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較淺)	4-68
圖 4.33	井筒式斷面模式之拋石護坡	4-69
圖 4.34	牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較深)	4-70
圖 4.35	牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較淺)	4-71
圖 4.36	拋石護坡穩定計算(井筒式斷面)	4-72
圖 4.37	拋石護坡穩定計算綜合成果	4-74
圖 4.38	牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較深)	4-78
圖 4.39	牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較淺)	4-78
圖 4.40	井筒式斷面之拋石護坡	4-79

第一章 前言

1.1 研究動機

臺灣地區四周環海，除了基隆、臺中、蘇澳、花蓮及高雄等國際港外，工業港及漁港等大小港口遍佈，碼頭及防波堤等港灣構造物更是不計其數，主要建造材料包括鋼筋混凝土及鋼材兩種，其中鋼筋混凝土在海洋環境中，外界腐蝕因子，如海水潑濺、氯離子、硫酸鹽、二氧化碳等侵襲，混凝土發生劣化和內部鋼筋腐蝕問題較其他環境更為嚴重。此外，鋼材亦因海洋環境屬嚴重腐蝕區域，容易因發生腐蝕造成鋼板樁或鋼管樁斷面積減少或開裂、穿孔破洞等問題，影響碼頭營運安全。除了環境影響因素以外，由於地處亞熱帶，夏秋兩季常有颱風侵襲，加上因位於環太平洋地震帶上，地震發生頻繁，強烈地震經常發生，常造成港灣構造物發生嚴重破壞，其中尤以東部之蘇澳及花蓮港損壞情形最為嚴重，不僅影響船舶停靠及貨物裝卸安全，更需花費鉅額經費從事損壞後之維修工作，造成經濟重大損失。

以蘇澳港及花蓮港為例，建造施工期間至今，每年均因颱風侵襲造成防波堤消波胸牆破損、沉箱鋼筋混凝土嚴重損壞和消波塊大量流失，堤面和護基方塊發生不等程度之嚴重損壞，造成營運及財物重大損失，因此，每年均需編列數百萬元以上經費進行災害維修獲改善研究；1999 年九月臺灣地區發生規模達芮氏 7.3 的 921 集集大地震，臺中港 1 至 4 號碼頭也發生後線陸地多處開裂、地層崩塌形成多處坑洞、碼頭沉箱與背填陸地龜裂並錯開分離、沉箱位移及傾斜，岸上相關設施及建築物傾倒破壞等，高雄港與基隆港也曾發生碼頭坍塌等損壞，都造成工程進度延誤或影響船舶進出安全及影響營運造成不便，損失難以估計。

國內目前交通部、運輸研究所及國內五大商港之港務局，對於港灣構造物現況調查安全檢測及評估工作，除交通部於民國 89 年起委託

國立中山大學進行「港灣構造物安全檢測與評估之研究」，並研擬「港灣構造物安全檢測與評估之工作手冊（草案）」、運輸研究所港研中心則於民國 90 年研擬「港灣設施維護手冊（草案）」，運輸研究所並於民國 93 年起委託國立海洋大學進行「港灣構造物維護管理準則之研究」外，各港務局亦有港灣設施實施維護管理之相關作業規定，為能早日統一建立適用於國內本土環境之港灣構造物檢測評估制度，本研究將參照「港灣構造物安全檢測與評估之工作手冊（草案）」內容選定國內商港數座不同型式之碼頭構造物進行現況調查，期能提供相關管理單位參酌。

1.2 研究目的

本研究擬針對港灣構造物中數量最多功能最重要之碼頭或防波堤構造進行現況調查之安全檢測與評估，期望提供維修單位參考，建立平時定期或特殊狀況之緊急檢測制度，儘早發現構造物混凝土劣化或內部鋼筋腐蝕狀況，減少構造物因環境因素或天然災害所造成更大之損壞。

1.3 研究範圍

港灣構造物可大致分為水域設施結構及岸上結構兩大類，水域設施包括碼頭、防波堤等主要結構和碼頭防舷材、繫纜設施、附屬防蝕材料等附屬結構設施。岸上結構主要為倉庫、廠房、儲存槽及相關機具設備。依使用材料分類，主要有鋼筋混凝土及鋼材兩種。其中又以鋼筋混凝土使用最為廣泛，本研究將針對國內商港數座不同型式之碼頭構造物等鋼筋混凝土或鋼板樁結構進行探討。

第二章 文獻回顧

港灣構造物一般由混凝土(P.C)或鋼筋混凝土(R.C.)、鋼材、砂石級配及土石方等材料所構成，其中以鋼筋混凝土材料被最廣泛使用。港灣 R.C.構造物又以碼頭及防波堤結構為主。碼頭為船舶停靠、裝卸物資時，最重要的繫靠設備。防波堤屬於港灣構造中之外廓工程，用以防止海洋波浪傳遞至港池內，維持港灣內水域之靜穩。其他岸上設施包含繫靠設備必要之碼頭附屬設施。由於港灣構造物在海洋環境下，經過波浪及上部荷重等外力長期作用，材料產生變形損壞或位移，甚至材料變質影響整個結構安全，因此必須定期實施安全檢測，俾利結構物之使用安全及維修加固，防止地震或颱風等災害造成更嚴重的損壞。

2.1 碼頭結構型式

碼頭結構物可概分為重力式、板樁式、棧橋式與其他等四類碼頭，以下將國內各港常見前三類碼頭與本研究之基隆港西 2 至西 4 號碼頭井筒式與牆式墩柱碼頭簡略及維護管理說明如下。

2.1.1 重力式碼頭概述

重力式碼頭其功能為承受碼頭之加載載重，抵抗背後之土壓力、內外之水壓力及船舶之撞擊力、拉力等，其特性為：

1. 堤體本身用混凝土做成，較為堅固且較耐久，水深較淺時多採用。
2. 水深較深時，土壓及水壓之水準外力增大，所需牆體之重量急遽增加，除岩層及基礎良好之處外，非為經濟之設計。
3. 作為耐震結構時，與牆體重量比例之地震力作用於牆體，較為不利。
4. 沈箱及混凝土塊之製造需廣大場地、起重船、拖船等船團，因此，

如為短期及少量工程配合上述設備時，較不經濟。

5. 與規劃水深相比，如現有地層較淺，亦較不利。

重力式碼頭依其堤體型式及施工方法，可分為沈箱式、方塊式、L型塊式、空心型塊及場鑄混凝土式等，臺灣地區各港口之重力式碼頭中，以沈箱式、方塊式、L型塊式三種最為常見，如圖 3.1 至圖 3.3 所示。

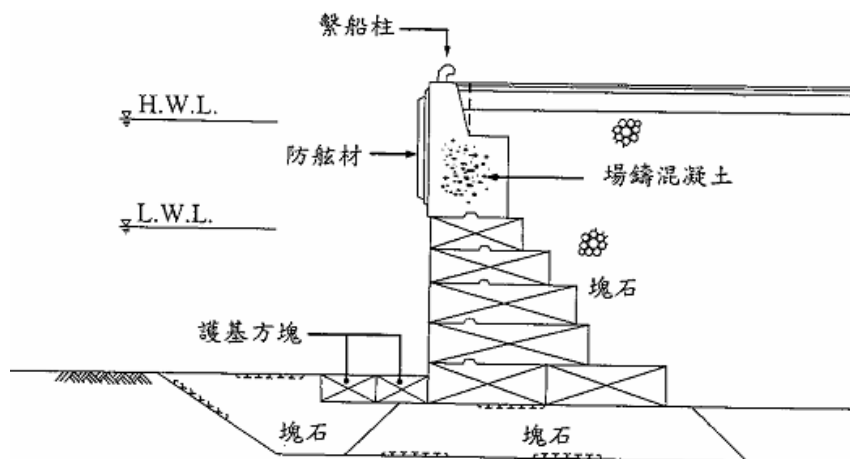
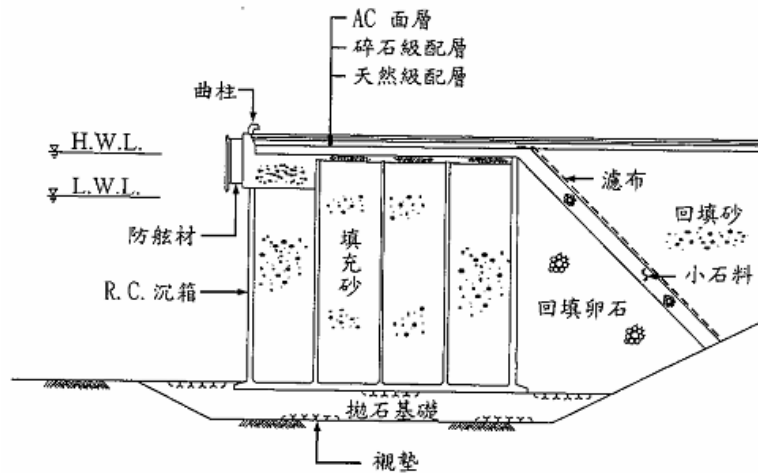


圖 2.2 方塊式碼頭

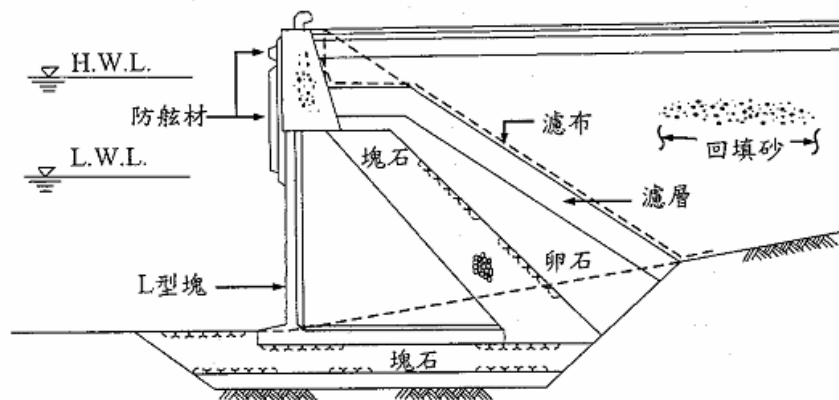


圖 2.3 L 型塊式碼頭

2.1.2 板樁式碼頭概述

板樁式碼頭係打設板樁及回填土築成，主要利用被動土壓力抵抗拉桿張力。板樁之材料為鋼、鋼筋混凝土、預力混凝土、木材等。由於鋼板樁之容許應力較大、成品亦可得較大之斷面係數，可用於水深較深之碼頭，因此目前鋼板樁較為常用。板樁式碼頭之特性如下：

1. 施工設備比較簡單，工程費較省。
2. 多數場合不需作水下基礎工程，因此施工迅速。
3. 牆體極輕，富彈性，耐震性強，可容許適當之不均勻沈陷。
4. 原地層水深較深時，板樁打設後，如未回填及錨碇設施未放妥時，波浪來襲容易損壞。
5. 鋼板樁於水中易腐蝕，耐久性較重力式差，所以宜採用陰極防蝕法，獲按腐蝕程度採用較大斷面。
6. 板樁式碼頭按型式，可分為自立式、錨碇式、井筒式，臺灣地區各港之板樁碼頭中，以錨碇是板樁最為常見，如圖 2.4 所示。

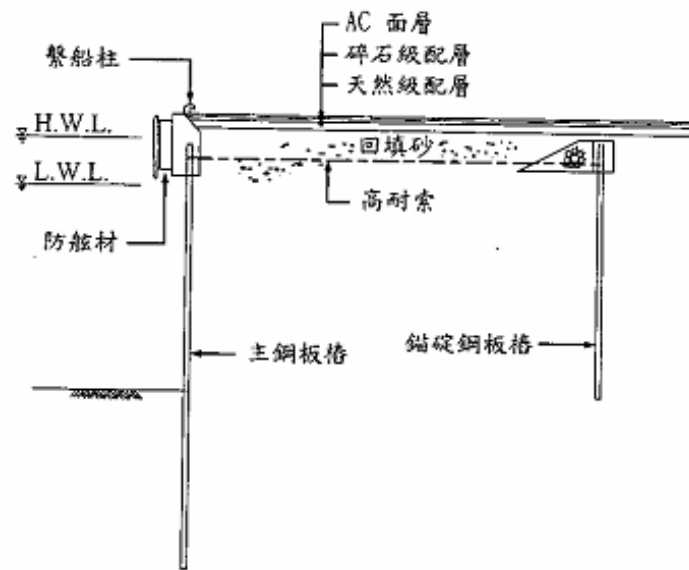


圖 2.4 錨碇板式碼頭

2.1.3 棧橋式碼頭概述

棧橋式碼頭構造型式係如橋梁般，以樁為支柱，其上設置頂板組成碼頭，其特性如下：

1. 結構較其他型式為輕，地層軟弱之處無法構築重力式或板樁式時，可採此法。
2. 不妨礙水流、漂砂、潮流激烈之處亦不致影響自然條件之平衡。
3. 不需新填土。
4. 對於較大之集中載重，不如其他種型式碼頭可以分散承載。
5. 碼頭寬大時工程費亦增。
6. 對水平力之抵抗較弱。
7. 水流影響船舶之靠岸。

棧橋式碼頭，隨支撐頂板之支柱結構可分為直樁棧橋式、斜樁棧橋式，如圖 2.5 至圖 2.6 所示。

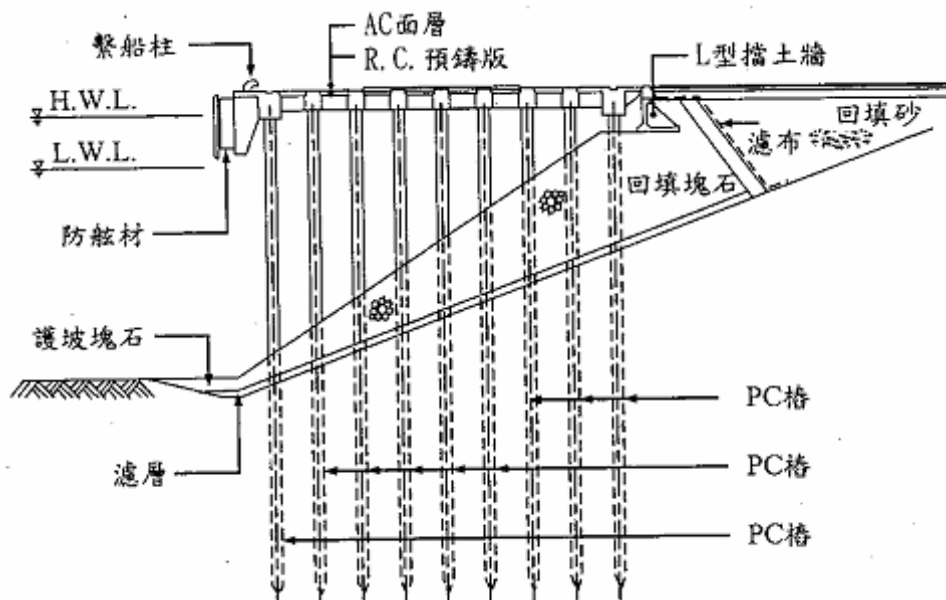


圖 2.5 直樁棧橋式碼頭

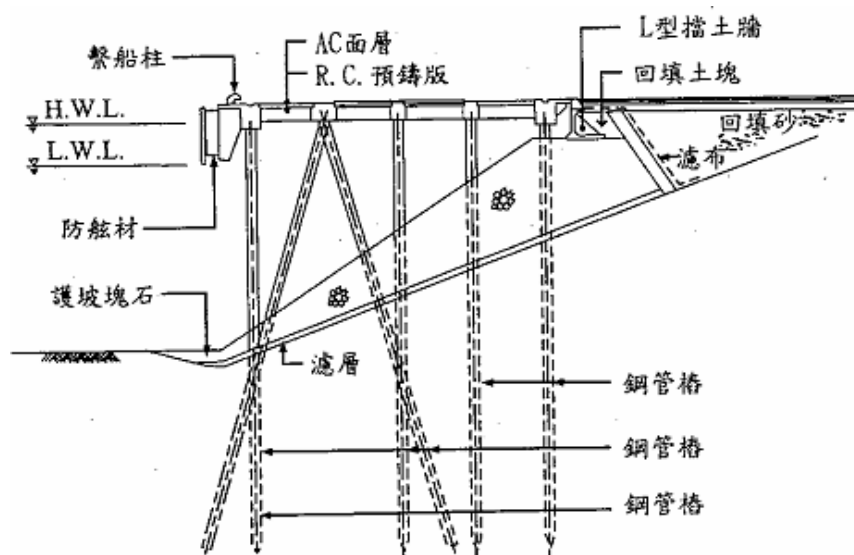


圖 2.6 斜樁棧橋式碼頭

2.1.4 井筒式碼頭概述

以基隆港西 2 號碼頭現有井筒式碼頭碼頭構造為例，其上部結構由梁、板及冠牆等鋼筋混凝土結構組成，下部結構以塊石堆砌之井筒柱狀支撐上部結構，並採用拋石作為堤岸之保護方法，其結構型式如圖 2.7 所示。

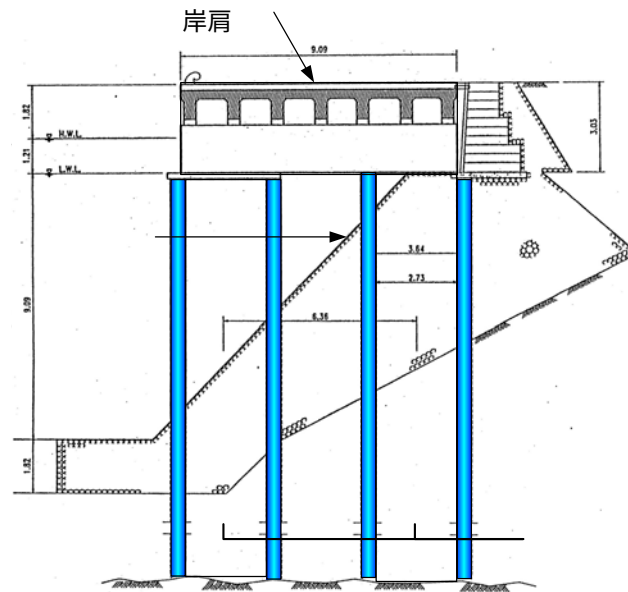


圖 2.7 井筒式碼頭斷面結構型式

井筒式碼頭特性如下所述：

1. 基隆港西 2 號井筒式碼頭其建造年份較久，需特別注意其材料老劣化之問題。
2. 井筒墩柱採塊石堆砌方式構築，已經長期的壓密，較傳統之重力式碼頭而言，其較無沈陷之問題。
3. 塊石堆砌之墩柱，較難抵抗地震力之侵襲，但此結構上有設置拋石護坡用於增加其墩柱之穩固，以避免地震來襲之崩塌危險。
4. 對於較大之集中載重，不如其他種型式碼頭可以分散承載。
5. 下部結構採類似棧橋式之墩柱設計，易受水流之影響。

2.1.5 牆式墩柱碼頭概述

以基隆港西 2 至西 4 號碼頭現有井筒與牆式墩柱碼頭碼頭構造為例，其上部結構同井筒式碼頭，下部結構為砌石堆疊橋墩支撐並採拋石護坡堤岸，基礎型式為打設木樁並填充砌石與硬石，其上為袋裝混凝土堆疊，其結構型式如圖 2.8 所示。

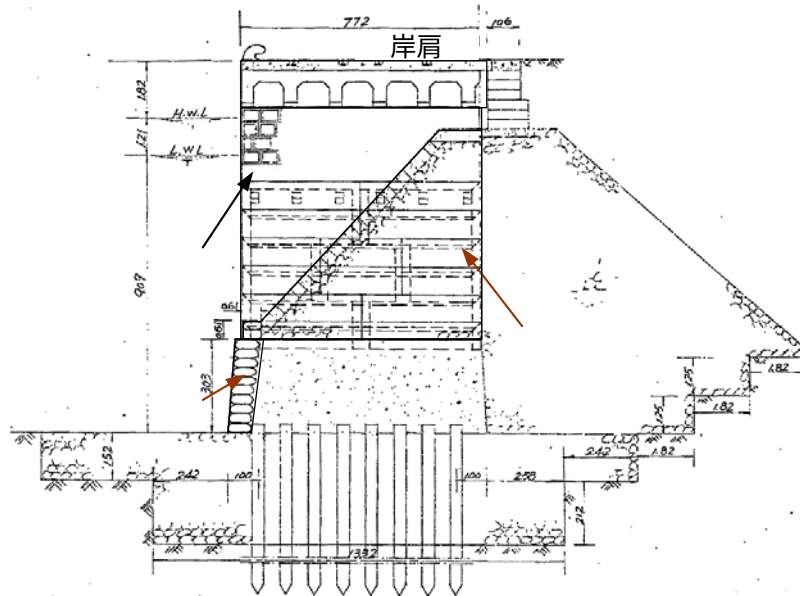


圖 2.8 牆式墩柱碼頭斷面結構結構型式

牆式墩柱碼頭特性如下：

1. 基隆港西 2 至西 4 號牆式墩柱式碼頭建造年份較久，需特別注意其材料老劣化之問題。
2. 牆式墩柱採塊石堆砌方式構築，已經長期的壓密，較傳統之重力式碼頭而言，其較無沈陷之問題。
3. 塊石堆砌之墩柱，較難抵抗地震力之侵襲，但此結構上有設置拋石護坡用於增加其墩柱之穩固，以避免地震來襲之崩塌危險。
4. 對於較大之集中載重，不如其他種型式碼頭可以分散承載。
5. 下部牆式墩柱結構無法透通，故水流之影響較小。

2.1.6 重力式碼頭維護管理

重力式碼頭可能的破壞原因，說明如下：

1. 岸壁結構：因地盤下陷造成上部結構下陷或傾斜，或因地震所產生的額外土壓力及水壓力，超過結構原有之設計強度，大型船隻碰撞或船舶前端消波球撞擊，造成岸壁產生裂縫、破損、剝離、拱起及下陷；貨碼頭結構沿法線方向產生位移、錯動及側傾。
2. 岸肩因防砂板的破損造成被填土砂流失而引起岸肩的下陷，或因地震力產生破壞或變位，造成岸肩破裂、伸縮縫破損，或因基礎液化產生岸肩下陷、破壞、伸縮縫破損；因波浪造成岸肩鋪面破損而致使路基外露。
3. 背填土砂：可能的破壞模式為土壤液化產生沉陷，或因結構體的破損產生被填土砂發生漏砂及淘空的現象。
4. 碼頭基礎：可能產生液化沉陷或因波浪作用或船舶推進器的外力而產生淘刷作用。

圖 2.9 至圖 2.10 為重力式碼頭產生外部異狀之示意，各示意圖中所標示之 13 項行為，均為可能導致該類式碼頭外部異狀之基本機制，其所發生之部位並非圖示中之單一點或部位，而是相關之整體或單元，如圖 2.9 中所示機制(12)地震力之影響範圍為碼頭整體，機制(2)不當撞擊力若指船舶未依規定靠岸，其可能產生範圍為岸壁任何部位，機制(2)不當撞擊力若指岸肩任何物體未依規定拋置吊放，其可能產生範圍為岸肩任何部位，機制(5)地表水滲流之可能產生範圍為整個岸肩及後線。由各項或多項合成之基本機制所產生之外部異狀，將不是單一之異狀，異狀所產生之部位與範圍亦將是多處與多面。

據此，可針對重力式碼頭產生異狀之構件位置進行標註，如圖 2.11 至圖 2.12 所示，並針對此些構件表列其發生之異狀(異狀類型以蘇(2006)，其餘各式碼頭皆以此異狀類型進行表列)，如表 2-1 所示。

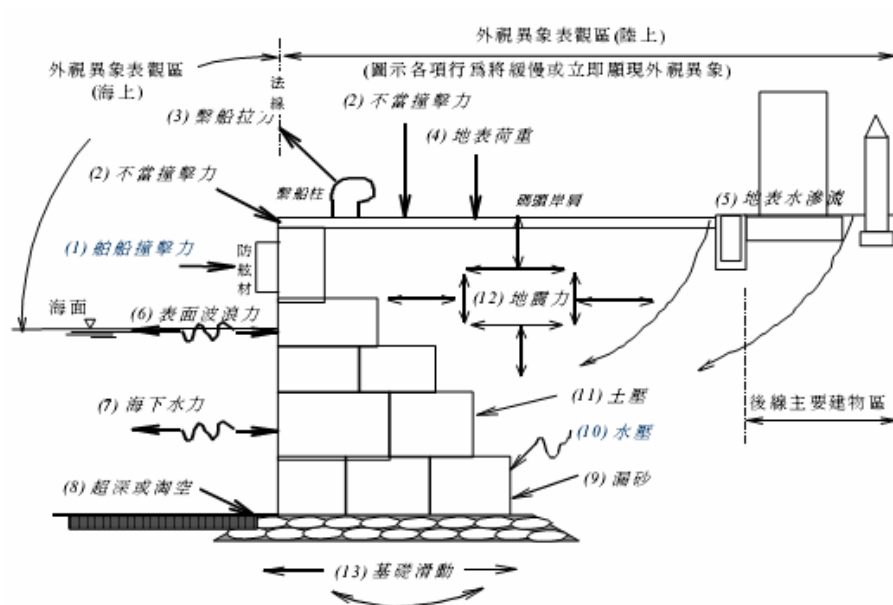


圖 2.9 導致重力式方塊碼頭結構外部異狀之主要機制示意圖

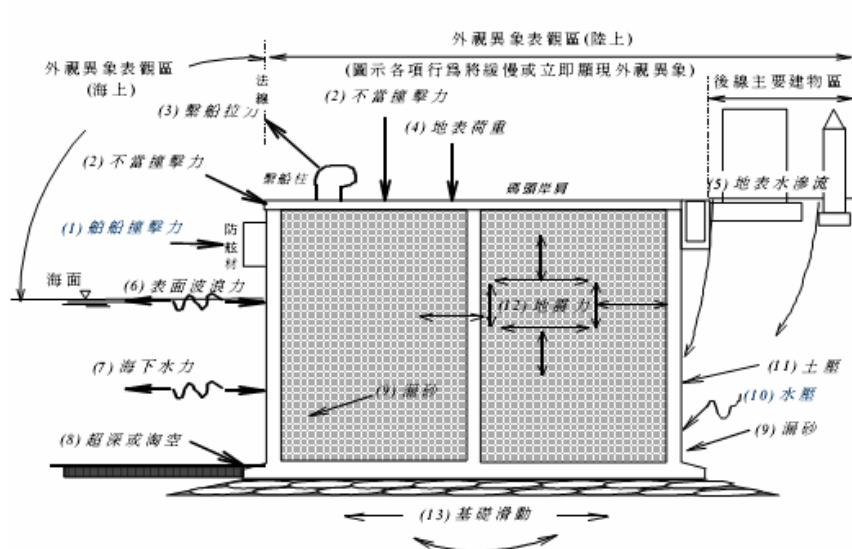


圖 2.10 導致重力式沈箱碼頭結構外部異狀之主要機制示意圖

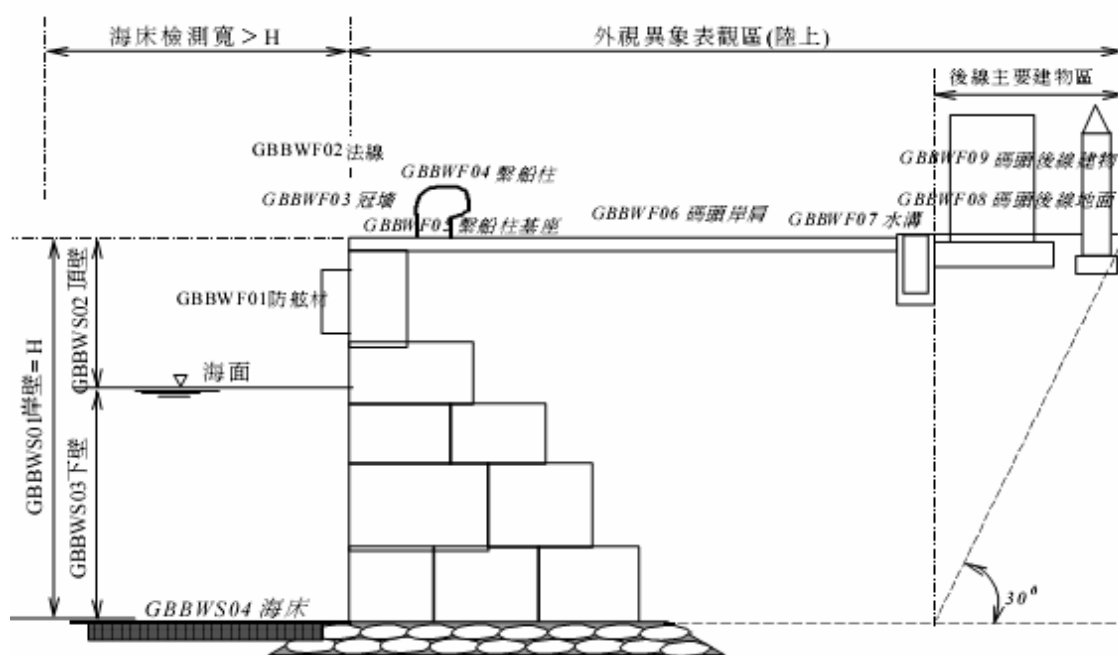


圖 2.11 重力式方塊碼頭構件標示

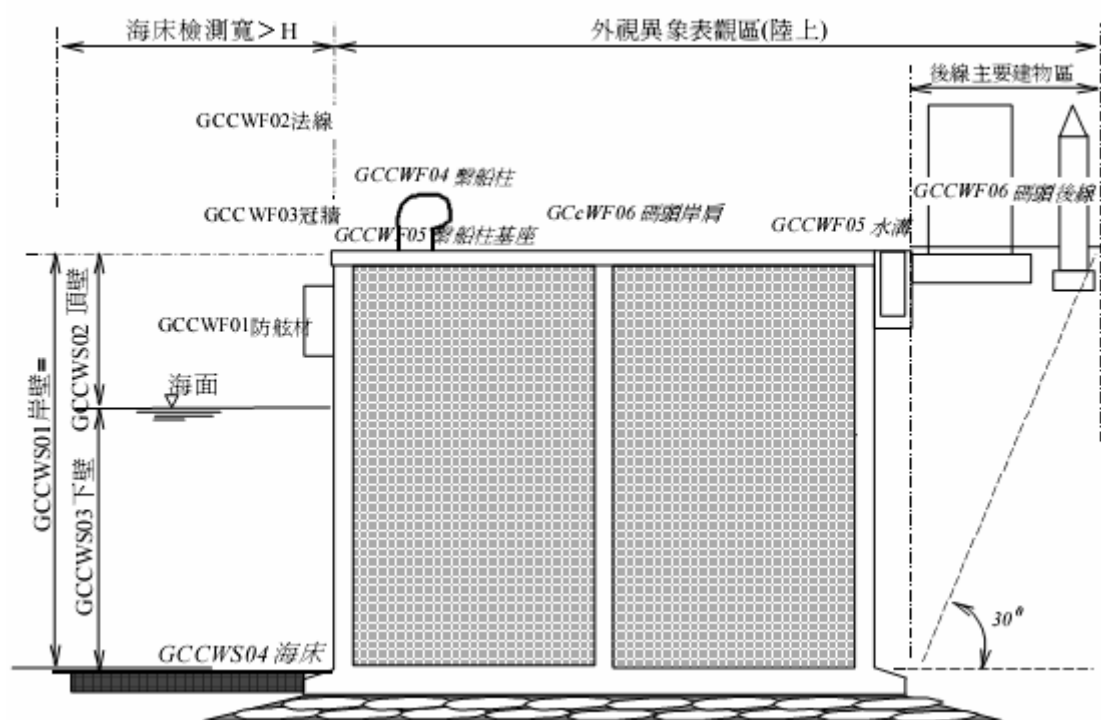


圖 2.12 重力式沈箱碼頭構件標示^[4]

表 2-1 重力式碼頭各構件產生異狀列表

構件 類型	構件 名稱	構件項目	異狀						
			裂縫	腐蝕	龜裂	沈陷	拱起	傾斜	損壞
上部 結構	主要 結構	法線						✓	
		岸肩	✓		✓	✓	✓		
		後線地面				✓			
	附屬 設施	車擋							✓
		繫船柱		✓	✓				
		防舷材							✓
		吊車軌道				✓			
下部 結構	岸壁	冠牆	✓	✓	✓				
	基礎	海床				✓	✓		

2.1.7 板樁式碼頭維護管理

板樁式碼頭可能的破壞原因，說明如下：

1. 板樁結構：因經年累積腐蝕造成板樁的破壞，或因地震所產生額外土壓力及水壓力，超過結構原有之設計強度、大型船隻碰撞或船舶前端消波球撞擊，造成結構岸壁產生裂縫、破損、拱起及下陷；或板樁沿法線方向產生位移及側傾。
2. 岸肩：因持續的背填料壓密下陷造成岸肩破壞、因過度的荷重作業使得板樁鋪面產生破損而致使岸肩下陷，因地震力產生破壞或變位造成岸肩破壞；或因背填土砂液化產生岸肩下陷、破壞。
3. 背填土砂：其可能的破壞模式為土壤液化產生沉陷，或因鋼板樁的破損產生背填土砂發生漏砂及淘空的現象。
4. 碼頭基礎：可能產生液化沉陷或因波浪作用或船舶推進器的外力而產生淘刷現象。

據此，可針對板樁式碼頭產生異狀之構件位置進行標註，如圖 2.13 所示，並針對這些構件表列其發生之異狀，如表 2-2 所示。

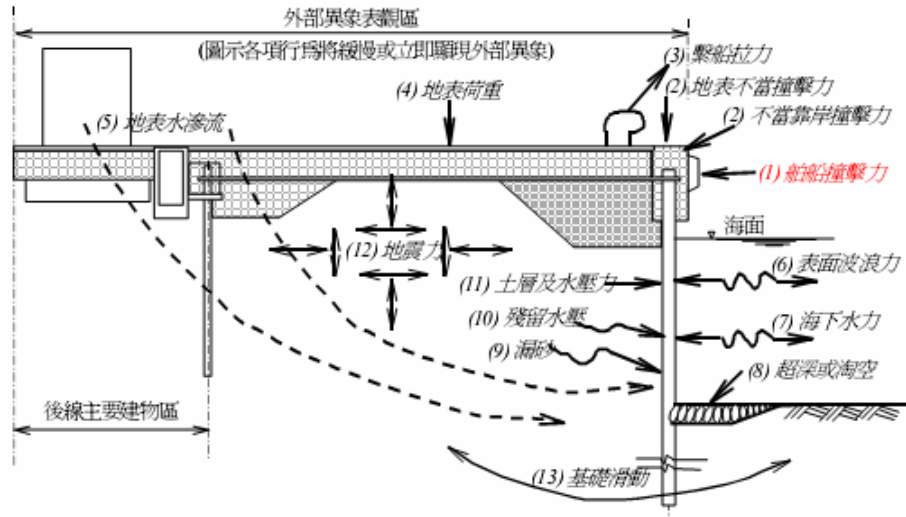


圖 2.13 導致板樁式碼頭結構外部異狀之主要機制示意圖^[4]

表 2-2 板樁式碼頭各構件產生異狀列表

構件 類型	構件 名稱	構件項目	異狀						
			裂縫	腐蝕	龜裂	沈陷	拱起	傾斜	損壞
上部 結構	主要 結構	法線						✓	
		岸肩	✓	✓	✓	✓	✓		
		後線地面				✓			
	附屬 設施	車擋							✓
		繫船柱		✓	✓				
		防舷材							✓
		吊車軌道				✓			
下部 結構	岸壁	冠牆	✓	✓	✓			✓	
		鋼板樁	✓	✓				✓	
		RC(PC)樁	✓	✓	✓			✓	
	基礎	海床				✓	✓		

2.1.8 棧橋式碼頭維護管理

棧橋式碼頭可能的破壞原因，說明如下：

1. 基樁結構：因經年累積腐蝕造成基樁的破壞，因地震所產生的額外水準力及水壓力，超過結構原有之設計強度，造成基樁產生破損、斷裂及挫曲；或因基礎土壤滑動或大型船隻碰撞，致而使基樁產生位移或側傾。
2. 上部結構：因地震力產生破壞或變位造成碼頭格梁接樁破壞、碼頭單元接樁鬆動，或因波量作用將碼頭面掀起。
3. 碼頭基礎：可能產生液化沉陷，或因波浪作用或船舶推進器的外力而產生淘刷作用，或護坡塊石沖刷以及碼頭拋石護坡滑動。

棧橋式碼頭構件發生之異狀，如表 2-3 所示。

表 2-3 棧橋式碼頭各構件產生異狀列表

構件 類型	構件 名稱	構件項目	異狀						
			裂縫	腐蝕	龜裂	沈陷	拱起	傾斜	損壞
上部 結構	主要 結構	法線						✓	
		梁	✓	✓	✓				
		岸肩	✓		✓	✓	✓		
		後線地面				✓			
	附屬 設施	車擋							✓
		繫船柱		✓	✓				
		防舷材							✓
		吊車軌道				✓			
下部 結構	岸壁	冠牆	✓	✓	✓				
		鋼管		✓					
		PC 圓樁	✓	✓	✓				
	基礎	海床				✓	✓		
		拋石護坡							✓

2.1.9 井筒式碼頭維護管理

國內主要商港目前井筒與牆式墩柱碼頭僅於基隆港部份碼頭屬之，以基隆港西 2 至西 4 號碼頭為例，其係於民國 41 年建造，年代久遠，且亦無類似結構可供參考以作為維護管理特性之參考，但由於井筒式碼頭由塊石堆砌成中空圓柱，其構件類似棧橋式碼頭，其上部結構為梁、面板及冠牆等鋼筋混凝土結構，下部結構採井筒柱狀支撐並採拋石護坡堤岸。初步評估破壞機制如下：

1. 上部結構：因地震力產生破壞或變位造成碼頭面板、梁破壞碼頭單元接榫鬆動，或因波量作用將碼頭面掀起，或因鋼筋混凝土材料腐蝕、剝落等劣化導致破壞。
2. 井筒式結構：因地震所產生的額外水平力及水壓力，超過結構原有之設計強度，造成井筒式結構產生破損及斷裂；或因大型船隻碰撞，而使井筒式結構產生位移或側傾。
3. 碼頭基礎：因波浪作用或船舶推進器的外力而產生淘刷作用，或護坡塊石沖刷以及碼頭拋石護坡滑動，並引致岸肩的下陷、破裂及伸縮縫破損。

井筒式碼頭構件發生之異狀，如表 2-4 所示。

2.1.10 牆式墩柱碼頭維護管理

牆式墩柱碼頭由塊石堆砌並在兩墩距間堆疊拋石護坡其上部構件類似棧橋式碼頭，但下部構件的結構模式類似重力式碼頭，其上部結構為梁、面板及冠牆等鋼筋混凝土結構，下部棧橋結構為砌石堆疊橋墩支撐並採拋石護坡堤岸，基礎型式為打設木樁並填充砌石與硬石，其上為袋裝混凝土堆疊。初步評估破壞機制：

1. 上部結構：因地震力產生破壞或變位造成碼頭面板、梁破壞、碼頭單元接榫鬆動，或因波量作用將碼頭面掀起，或因鋼筋混凝土材料腐蝕、剝落等劣化導致破壞。

2. 砌石堆疊橋墩結構：因地震所產生的額外水準力及水壓力，超過結構原有之設計強度，造成砌石堆疊橋墩結構產生破損及斷裂；或因大型船隻碰撞，而使砌石堆疊橋墩結構產生位移或側傾。
3. 碼頭基礎因波浪作用或船舶推進器的外力而產生淘刷作用，或護坡塊石沖刷以及碼頭拋石護坡滑動，並引致岸肩的下陷、破裂及伸縮縫破損，或因地震力產生破壞或變位造成承载力不足導致上結構、橋墩構造及拋石護坡堤岸破壞。

牆式墩柱碼頭構件發生之異狀，如表 2-4 所示。

表 2-4 井筒與牆式墩柱式碼頭各構件產生異狀列表

構件 類型	構件 名稱	構件項目	異狀						
			裂縫	腐蝕	龜裂	沈陷	拱起	傾斜	損壞
上部 結構	主要 結構	法線						✓	
		岸肩底板	✓	✓	✓				
		梁	✓	✓	✓				
		岸肩	✓		✓	✓	✓		
		後線地面				✓			
	附屬 設施	車擋							✓
		繫船柱		✓	✓				
		防舷材							✓
		吊車軌道				✓			
下部 結構	岸壁	冠牆	✓	✓	✓				
		井筒						✓	✓
		牆式墩柱						✓	✓
	基礎	海床				✓	✓		
		袋裝混凝土							✓
		拋石護坡							✓

2.2 港灣 R.C.結構物安全檢測項目

安全檢測項目依結構位置可概分為整體結構變形檢測、細部構材檢測、基礎地盤檢測及碼頭附屬設施檢測等。

整體結構變形檢測係檢測 R.C.結構物可能產生之大變形或位移。細部構材檢測分為上部結構及下部結構等兩大部分，其中上部結構同質性較大；下部結構則依 R.C.結構物型式不同，受力行為不一，容易發生結構破壞處有所差異，故檢測細項也有所區分。檢測項目建議如下：

2.2.1 整體結構變形檢測

整體結構變形檢測項目包括 R.C.結構物(碼頭或防波堤)不均勻沈陷、岸肩伸縮縫破損、壁體傾斜、法線位移檢測等。當這些檢測結果顯示出 R.C.結構物有沈陷或位移或傾斜時，則其他部位的結構，如基礎結構或護基拋石必須做進一步的檢測。

2.2.2 細部構材檢測

細部構材檢測為整體結構變形檢測之外，進一步對不同型式 R.C.結構物進行之檢測，細部構材檢測與 R.C.結構物之型式有關，因此，將以 R.C.結構物型式及構材性質分別討論之。其中包括上部結構破壞檢測及上部結構破壞檢測，上部結構中如碼頭面版結構裂縫，裂縫位置、長度、寬度及深度，碼頭面版鋼筋腐蝕，混凝土強度變化及其他以目視或簡單測量儀器能觀察之破壞或損害現象等。

基礎結構檢測則與 R.C.結構物型式關係密切，但檢測不易實施，一般需借助精密儀器配合。各種型式之港灣構造物施測項目建議如表 2-5 所示。

表 2-5 港灣構造物細部構材檢測建議項目

構造物名稱	建議檢測項目
重力式碼頭	碼頭岸側背填料空洞、碼頭前側基礎掏刷、混凝土塊破損或劣化、混凝土塊或層間產生相對位移、碼頭壁體破損前傾等。
版樁式碼頭	碼頭岸側背填料空洞、碼頭基礎掏刷、版樁法線方向變位、鋼版樁潮間帶及海下腐蝕、版樁裂縫或破損、鋼版樁接縫開裂、鋼版樁陰極防蝕陽極塊損耗、產生電流、鋼板樁腐蝕電位檢測等
棧橋式碼頭	碼頭面版強度及混凝土性質檢測、鋼管基樁潮間帶腐蝕及海下腐蝕、鋼管基樁基礎掏刷、鋼版樁陰極防蝕陽極塊損耗、產生電流、鋼板樁腐蝕電位檢測、碼頭靠船速度或撞擊振動監測等
沉箱式碼頭及防波堤	胸牆裂縫、沉箱結構裂縫、結構體鋼筋裂縫、沉箱壁體傾斜、護基方塊沈陷移動、拋石基礎沈陷移動或沖刷
拋石堤	不均勻沈陷、胸牆裂縫、胸牆壁體傾斜、拋石基礎沈陷移動或沖刷

2.2.3 基礎地盤調查

基礎地盤調查包括碼頭坐落處之地盤屬性、液化潛能評估，碼頭基礎掏空檢測，與防波堤則為堤趾沖刷之評估等。

2.2.4 碼頭附屬設施之檢測

檢測項目包括：防舷材破損及裂縫、繫船柱基礎裂縫及其他設置於岸上與泊船有關之設施之破壞或損害等。

2.3 檢測及評估實施時機

港灣構造物安全檢測實施可概分為，定期(或不定期)實施之一般性安全檢測，及在重大災害發生時之緊急檢測，檢測時機如大型颱風過後，重大地震發生時，碼頭營運中發生重大事故（如大型船隻操船不當而碰撞）以致造成碼頭結構安全受損，以及施工時因故造成之結構破壞等。

2.3.1 一般性安全檢測

一般性安全檢測通常以定期方式進行，針對各種不同港灣構造物完工後使用之狀況、年限、環境等條件進行檢測，檢測時間並無強制性，可依實際需要進行。若發現較嚴重破壞狀況，但尚無需立即修復或立即修復有困難時，則應密集監測，以確保港灣構造物營運安全。

實施一般性檢測在如機具、人員調度困難或環境惡劣無法實施定期檢測時，可補充定期檢測之不足。故雖未明確規定檢測時間或間距，建議仍應在一定期間內，完成應檢測次數。

2.3.2 緊急災變檢測

重大災害如颱風或地震發生後必須立即進行緊急檢測，其中颱風過後，應針對防止波浪侵襲之構造物如防波堤、消波設施等進行緊急檢測；地震發生時，則針對地表加速度及動力作用較敏感的港灣構造物，如重力式結構或為固定在與海床接觸處之結構等，亦應進行緊急檢測，根據以往之地震記錄顯示，可能造成破壞之地震大多為 4 級以上，因此建議 4 級以上地震發生時，應對所有港灣構造物進行全面性檢測；當震央位於港區鄰近地區且震度達 6 級以上之大地震發生時，更應儘速於 72 小時內完成緊急檢測並確認構造物受損情形，評估應否進行進一步之防護措施。此外，碼頭結構常因大型船隻碰撞，導致安全受損，或施工時因故造成之結構破壞等事故時，應針對個別構造物及其周遭之港灣構造亦應進行緊急檢測。

2.3.3 分階段檢測及評估

檢測工作可區分為兩個階段實施，第一階段為初步檢測，一般性安全檢測及重大災害發生時之緊急檢測，均必須先經過第一階段之初步檢測，依初步檢測之結果，經過評估判定後再決定是否必須進行第二階段之檢測。

第一階段之檢測其檢測項目及檢測重點，依照港灣構造物之形式、使用狀況及環境條件等，建立表格，使得在經常性實施時具有較高的效率，及較正確之結果。

第一階段檢測工作完成後，即進入檢測結果初評階段，評估時其標準主要有兩大部分：

- 1.結構安全是否有問題
- 2.構造之功能性是否有問題。

第二階段的檢測工作若為一般性檢測時，第二階段的細部檢測工作將依構件位置、材料特性等來加以區分，並同樣將檢測之重點、具體要求之數據建立成表格化之形式，以便於能經常性的執行。

立即性的緊急檢測在第二階段實施時，屬於較嚴重損壞，必須立即修復的港灣構造，應建立檢測計畫，其檢測結果除了顯示構造破壞之程度之外，並將成為未來修復工作之重要參考。

第二階段檢測工作完成後，則進入檢測結果終評階段。

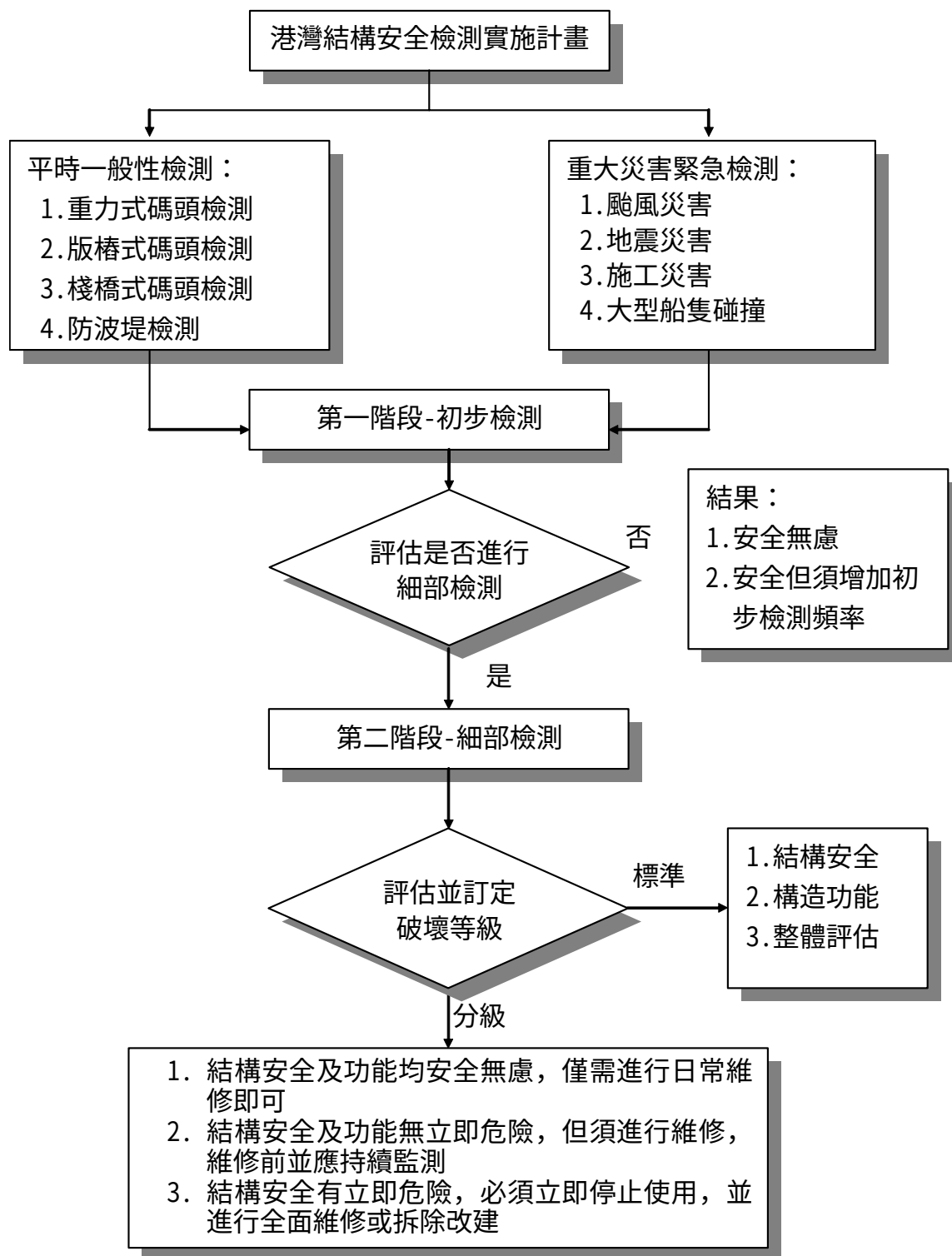


圖 2.14 港灣結構安全檢測實施流程圖

2.4 結構物安全檢測評估

港灣結構物經過必要之安全檢測後，除須將檢測結果彙整分析，並應建立系統性的評估制度，結合港區相關資料庫系統，將可能受損原因及相對應之檢測方法、分級評估制度及維護措施納入港區管理體系中，才能達到確保港灣構造物使用安全無虞，發揮港口營運提供船舶安全進出之功能。

港灣結構物安全檢測的評估過程可分為以下四個階段；(1)初步安全檢測(2)細部安全檢測(3)檢測結果安全評估(4)港灣結構整體評估等級。

2.4.1 初步安全檢測

以目測方式及較簡單之測量儀器對碼頭整體結構變形或位移進行了解，如檢查碼頭面混凝土是否有剝離、裂縫、鋼筋外露等現象，附屬設施如橡膠護舷是否產生龜裂、破損等異狀現象，並加以拍照、量測、繪圖及描述記錄，配合結構物背景資料進行初步安全評估。

港灣構造物整體結構之安全性及破壞後之受力反應，不容易由構造物表面之初步檢測結果直接判定，由於檢測品質包括檢測人員之訓練及經驗都將嚴重影響評估結果，為確保檢測工作之客觀性及可靠性，將檢測評估方式適度量化仍有其必要性。初步安全檢測可視為第一階段檢測，檢測完成後，即進行初評階段。

整體檢測結果之判定及評估之標準主要分為：

- 1.結構安全是否有問題。
- 2.構造功能性是否有問題。

依據檢測結果，將各項檢測項目之檢測值經下列公式換算後，依其值所在範圍而決定最後等級。

$$ID_1 = \frac{\sum_i^N (D_i + E_i) R_i}{\sum_i^N R_i} \dots\dots\dots (3.1)$$

式中 ID_1 為初步檢測危險度指標(Index of Dangerousness) , D_i 、 E_i 、 R_i 分別為各項檢測中檢測人員填寫之檢測值, N 則代表檢測項目之總數。 ID_1 值越高則代表危險度越高, 數值分配範圍為 0 到 10 間。

初步安全檢測階段判定結果分為以下三個等級：

1. $0 \leq ID_1 < 2$ ：安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。
2. $2 \leq ID_1 < 4$ ：安全無虞，無須進行細部檢測，但於未來必須增加檢測頻率。
3. 非主體結構之 $ID \geq 4$ ，但其他主結構體之 $ID < 4$ ：為功能堪虞，小型立即性維修可改善功能狀況者應立即進行，如主結構體或整體檢測值之 $ID \geq 4$ ，必須進行第二階段之細部檢測以進一步了解構造物破壞狀況。

3.2.4.2 細部安全檢測

細部安全檢測為第二階段的結構安全檢測，必須配合非破壞性檢測儀器或其他更深入之檢測方法，才得以對港灣結構進行細部構材檢測。

細部安全檢測適用於：

1. 目視檢測無法判定或檢測對象不易進行者。
2. 經初步檢測結果判定必須進行細部檢測者。
3. 為重大災害或事故發生後之緊急檢測。
4. 工程維修進行中有特殊需求者。

不同型式的港灣構造物，進行細部檢測時檢測重點亦有所不同。依照碼頭及堤防型式不同，細部檢測評估表將有所區分。如初步檢測過程中，主結構體部份 D 值等級判定為 3 以上時，細部安全檢測時應視情況以較可靠之儀器重新檢測，並會同細部檢測評估表之檢測項目及結果，共同做最後之安全等級評估。

港灣構造物進行檢測與評估，評估時分成兩個階段進行。第一階段的評估工作包括結構安全性及構造物之功能性，主要在判定構造物是否安全。如屬安全堪虞，則必須進行第二階段之細部檢測，進一步了解構造物破壞狀況。

第二階段之細部檢測工作完成後，可依第一階段之評估方式進行評估，評估時將現地檢測數據及圖表等資料，進行詳細分析，由於結構物安全評估，牽涉複雜的結構力學行為，為對整體結構之安全能有更正確的了解，必要時須進一步分析結構力學行為。

細部檢測評估包括結構安全性，構造功能性，整體考量等三項原則，說明如下：

1. 結構安全性原則

港灣構造物受損後，結構安全如未能由檢測所得之數據直接判斷時，必須經過力學分析加以判定。結構安全除了受到材料性能影響外，外力作用包括波浪及地震作用力、海水與土壤間的相互作用，因此，分析時並無適用公式可供引用，應同時考量靜力分析及動力分析，以求符合真實受力情形。

2. 構造功能性原則

港灣構造物均有其應用上之不同功能。構造物功能性無法發揮時並不代表結構之安全有問題，但結構如屬無法完全發揮功能，又未維修恐將進一步造成破壞而危及安全。構造物主要或附屬設施，不論合併評估或單獨評估，如評定等級屬於為安全堪虞的第三等級時（非主體結構之 $IDA \geq 4$ ，但其他主結構體之 $ID1 < 4$ 時，小型立

即性維修可改善安全或使用之功能狀況者）應立即進行修復，以維護港口之正常運作。

3. 整體性評估原則

整體性評估除將第一階段檢測中的主結構體列入考慮之外，並將第二階段依碼頭型式不同，而進行之細部檢測結果一起納入評估。由安全性及功能性兩大原則評估後，只要其中之一，不論是安全性或功能性有問題時，即應進行修復工作，但在決定採取何種修復措施之前，則應做整體性的評估，其中包括經濟效益考量，並配合港灣整體營運採取最適切之修復措施。

3.2.4.3 結構整體評估等級

綜合前述各節將港灣結構檢測結果評估後，縝密訂定出評估後之等級。檢測工作分兩階段進行時，各階段評估後之分級亦有所區分。

1. 第一階段檢測分級

第一階段檢測工作完成後，即進入檢測結果初評階段，依據評估結果，構造之初步檢測結果可分成三個等級。

2. 第二階段檢測分級

第二階段檢測分級中，除將第一階段檢測中的主結構體納入考慮外，依港灣構造物型式不同，而進行之細部檢測結果需一起列入評估。其評估方式如下：

$$ID_2 = \frac{\sum_i^N (D_i + E_i) R_i}{\sum_i^N R_i} \dots\dots\dots(3.2)$$

式中 ID_2 為細部檢測危險度指標， D_i 、 E_i 、 R_i 分別為各檢測中檢測人員填寫之檢測值， N 則代表檢測項目之總數，包括細部檢測及初

步檢測主結構體之受測項目(若進行重新檢測，以較新的數據為準)。ID 值越高則代表危險度越高，數值分配範圍為 0 到 10 間，其與判定結果關係，與初步檢測階段類似分成三個等級並條列如下：

1. $1.0 \leq ID_2 < 3$ ：輕微受損、結構安全及構造功能無虞，僅需進行日常維修即可，但於未來必須增加初步檢測之頻率；
2. $2.3 \leq ID_2 < 6$ ：構造損壞，但結構安全及構造功能均無立即危險、應進行維修；若無法立即實施維修，則必須在維修前進行同步監測工作。
3. $ID_2 \geq 6$ ：嚴重損壞，結構安全有立即危險，且構造功能無法發揮，必須立即停用並進行大部維修或拆除重建。

第三章 研究方法與進行步驟

本研究參考交通部港灣構造物安全評估之工作手冊（草案）及相關港務局檢測工作規則等，民國 96 年已針對蘇澳、花蓮、高雄及臺北港不同碼頭型式實施現況調查，本年度選定臺中港及基隆港個數座碼頭進行調查，調查流程示如圖 3.1。

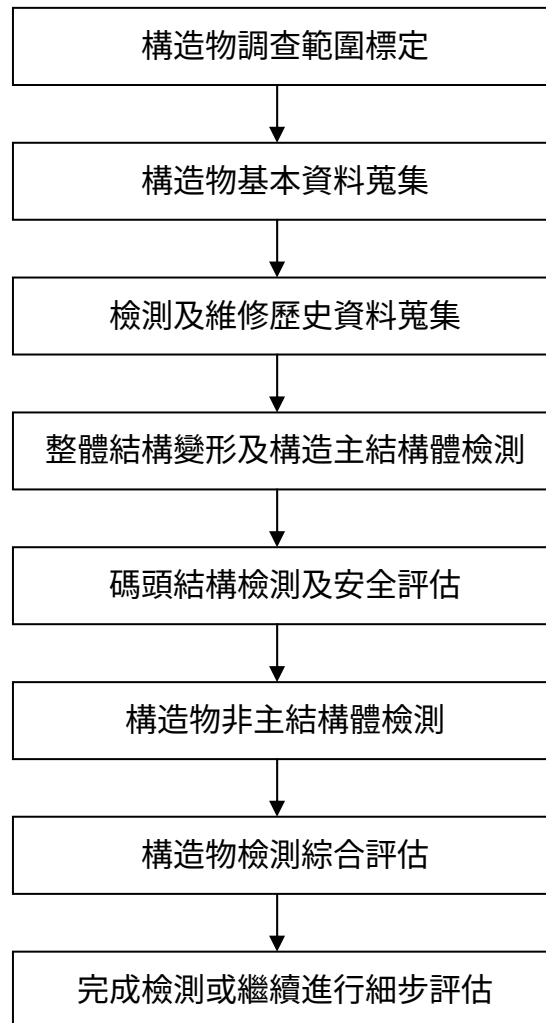


圖 3.1 構造物現況調查流程

3.1 調查範圍

本年度調查範圍包括：臺中港 1 至 4 號及 4A（沉箱重力式）碼頭及基隆港西 2 至西 4 號（井筒式及牆式墩柱）碼頭，依初步檢測規定項目進行調查，並針對基隆港西 2 至西 4 號碼頭進行水下目視檢測、鋼筋混凝土現地非破壞性檢測、結構安全評估及建置維護管理資料庫。

3.2 構造物基本資料蒐集

構造物基本資料包括有隸屬港口，碼頭編號，碼頭長度、縱深，船隻靠泊（船蓆）水域深度，包括原設計水深及調查水深；靠泊船隻屬性，如為貨櫃碼頭、雜散貨輪碼頭、化學品碼頭等；靠泊船級、最大噸位；碼頭構造型式等。

3.3 檢測及維修歷史

檢測歷史包含：檢測日期，檢測區分（初步或細部檢測），檢測結果，如有特別註記或維修者，應附上維修記錄檔案名稱、編號等；檢測單位及檢測人員等。

3.4 整體結構變形檢測及構造主結構體檢測

整體結構變形檢測中包含之檢測項目有碼頭壁體傾斜、位移檢測，碼頭面法線改變檢測，碼頭面沈陷檢測，碼頭沉箱與後線連接縫檢測。

由於港灣構造物主體結構的主要部份均位於水下，初步檢測檢測項目包括：碼頭面之裂縫檢測、鋼筋外露程度，鋼筋腐蝕探測；混凝土強度劣化檢測，混凝土保護層厚度檢測等；構造伸縮縫檢測則包括有岸肩伸縮縫，及面版伸縮縫等，檢測項目詳如表 3-1。

表 3-1 碼頭構造物初步檢測評估表

碼頭 基本 資料	隸屬港口：	碼頭編號：		檢測區段：	
	建造日期：	啟用日期：			
	靠泊船級	原設計：		實際使用：	
	碼頭法線版面標高：	長度： 縱深：	水域深度	原設計： 目前：	
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☐ 雜貨輪 ☐ 其他			
	碼頭構造型式	☐ 重力式 ☐ 版樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 其他			
	上次檢測	時間：	單位：	區分：	結果：
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體 結構 變形 及 主結 構體 破壞 檢測	碼頭法線變形			4	
	碼頭岸壁傾斜			5	
	岸肩伸縮縫變形			4	
	(岸肩)混凝土強度			2	
	(岸肩)保護層厚度			2	
	(岸肩)鋼筋腐蝕探測			2	
	碼頭面(版)沈陷			4	
	(面版)混凝土強度			2	
	(面版)保護層厚度			2	
	(面版)鋼筋腐蝕探測			2	
	鋼版腐蝕檢測			3	
主體結構破壞評估		$ID_p = \sum_{i=1}^{N_p} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i =$			
非主 結構 設施 破壞 檢測	護舷材			3	
	繫船柱			2	
	擋車牆			1	
	排水給水設備			2	
	照明設施			2	
	油電管路			2	
	貨櫃起重機軌道			2	
	防颱固定座			2	
	其他				
附屬設施破壞評估		$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum R_i =$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum R_i =$			
檢測單位：		檢測人：		檢測時間：	

3.5 基隆港西 2 至西 4 號碼頭安全檢測

本研究另因基隆市政府近期擬推動之基隆火車站暨西 2、西 3 號碼頭都市更新計畫案，其中西 2、西 3 號碼頭位於該案「新西岸商業城」更新單元，西 4 號碼頭則為基隆港務局未來規劃客運專區之範圍；由於西 2 至西 4 號碼頭係於民國 41 年建造，主要結構為以鋼筋混凝土材料作為建材之牆式墩柱碼頭，使用迄今已超過 50 年，結構已屬老舊，部份鋼筋混凝土構件材料疑有老化腐蝕現象，對未來配合都市更新之商場興建及岸肩靠泊作業可能造成風險，亟需進行碼頭設施檢測評估。故針對其結構安全進行檢測評估，並研擬改善對策及建置碼頭維護管理系統，以提供港務局業務單位酌參。

檢測項目包含：(1)碼頭岸肩、梁及下部結構檢測；(2)鋼筋混凝土材料劣化檢測；(3)碼頭結構安全分析。

3.5.1 碼頭岸肩、梁及下部結構檢測

由潛水人員潛入水下，近距離目視觀察碼頭岸肩、梁及下部結構表面外觀損壞狀況，如裂縫、剝落、破洞、鋼筋外露或腐蝕等之初步觀察鑑定，描繪記錄劣損位置及情形，各座碼頭之岸肩、梁及下部結構應逐一編號記錄，最後以照相或攝影存證。

3.5.2 鋼筋混凝土材料劣化檢測

依據碼頭面版、樑及下部結構檢測結果，每座碼頭擇取 2 個單元以上進行檢測。檢測項目包含：

1. 非破壞性檢測：

(1)反彈錘法：

依據 ASTM C 805 的規定實施，檢測時依構造物面積大小，選擇面積約 1×2 m 的混凝土表面，繪製 20 cm 見方之方格進行試錘試驗，每一方格測試 12 個數據，計算時先將最大與最小值剔除後，求其平均值，再依儀器所附之反彈值與混凝土抗壓強度

推估曲線，獲得混凝土表面硬度。比對反彈值推估所得與鑽心試體之抗壓強度試驗結果。

(2)鋼筋混凝土電阻係數量測

量測時係於混凝土表面鑽取定距離之兩孔(約 5 公分)，，吹出孔內因鑽孔而產生之粉塵顆粒後，注入凡士林做為介質，接著利用具兩個探針(頭)之電阻量測儀進行試驗。

(3)鋼筋電位值量測

混凝土內鋼筋腐蝕是一種電化學反應(Electro Reaction)，在鋼筋表面會形成陰極(鈍態)和陽極(正在腐蝕中部份)，不同位置會有不同的電位和電流型態，利用此種原理，可有效地測量某一範圍之電位分佈情形，以評估在鋼筋表面上發生腐蝕的可能程度。

鋼筋腐蝕電位量測前，須先在結構物上找出鋼筋位置，用鑽孔機破壞鋼筋保護層混凝土，使鋼筋能與測量儀器連接成一通路，將導線與電錶連接後，移動參考電極即可量測出整個結構物內半電池腐蝕電位(Half Cell)，如圖 3.2 所示。

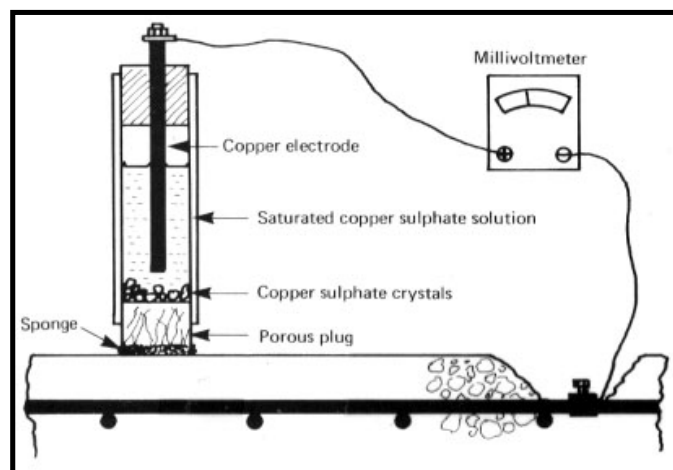


圖 3.2 鋼筋腐蝕電位量測示意圖

腐蝕電位與鋼筋腐蝕關係，依據 ASTM C-876 及 Van Daveer 建議電位在 -200mV CSE (飽和硫酸銅電極) 時腐蝕機率各為小於 10%和 5%電位在 -200mV 至 -350mV CSE 時腐蝕機率為大於 50%，電位若小於 -350mV CSE 時，腐蝕機率則提高至大於 90%和 95%。如表 3-2 所示。

表 3-2 鋼筋腐蝕電位與腐蝕機率關係

鋼筋電位值 mV (CSE)	腐蝕機率
>-200	$<5\%$
$-200\sim-350$	$50\%\sim95\%$
<-350	$>95\%$

2. 破壞性試驗

(1)現地碼頭岸壁鑽心取樣

本研究之試驗是為破壞性試驗，試驗的主要目的是在決定結構體中部份區域之抗壓強度，同時取出之試體可做中性化試驗與超音波檢測。鑽心試驗是依據 CNS 規範中之規定，其取樣之試驗抗壓強度之圓柱試體，其試體直徑至少為最大粗粒料粒徑之 3 倍。鑽小試體長度最好為其直徑之 2 倍，或者不得小於其直徑。

(2)中性化試驗

混凝土因空氣中的酸性物質(如二氧化碳、二氧化硫等)會降低混凝土的鹼度，其原先的 pH 值會降到 7~9 左右，此即混凝土之中性化。

中性化不僅使混凝土失去保護鋼筋的作用，且破壞鋼筋表面的鈍化膜，使鋼筋在低鹼的環境下產生銹蝕；中性化的另一作用

會加速混凝土的收縮，產生拉裂與結構破壞，對港灣構造物之影響更值得注意與防範。

測定混凝土中性化深度及中性化區域，最簡便也最常用之方法為酚太試劑，將現場所鑽取之混凝土試體或敲除之混凝土，放置在乾燥環境讓試體自然乾燥後，再將混凝土表面上噴灑酚太指示劑。

觀察指示劑顏色的變化，以判斷其中性化深度，該試劑在 pH 值在 8.5 以上之鹼性環境中會變為紅色，而 pH 值在小於 8.5 的環境下則為無色，實際測定則以剖面的分界點來判定未中性化程度。

(3)鑽心試體抗壓試驗

依 CNS1232 混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法試驗之，試體長度直徑比小於 2 時，可將求得之抗壓強度乘以表 3-3 之更正因數(表中未列入之值，可由內差法求知)。

表 3-3 圓柱試體長度直徑比

試體長度直徑比	1.75	1.50	1.25	1.10	1.00
強度修正因數	0.98	0.96	0.93	0.90	0.87

抗壓試驗採用 ELE 2000KN 抗壓試驗機。

(4)超音波脈波速度量測

使用英國 CNS 儀器公司出品之 PUNDIT(Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester)超音波脈波速度測定儀，量測在硬固混凝土材質內超音波脈波之傳遞速度，瞭解混凝土之品質狀況。脈波速度與混凝土品質關係如表 3-4 所示，可作初步研判。

表 3-4 超音波脈波速度與混凝土品質之關係

脈波速度(m/sec)	混凝土品質狀況
<2500	不良
2500~3000	中等
>3000	優良

(5)氯離子檢測

本試驗依 AASHTO-T260 規範硬固混凝土氯離子含量試驗(水溶法)。此法乃是將混凝土粉末，浸泡於蒸餾水中，加熱沸騰後，靜置 24 小時後過濾之，以離子層析儀測得之 Cl^- 含量。

3.5.3 碼頭結構安全分析

蒐集國內外碼頭檢測評估與維護等文獻，依據鋼筋混凝土材料劣化檢測結果，進行碼頭結構安全分析及提出改善措施。本研究將基隆港西 2 至西 4 號碼頭分為上部結構、下部結構及拋石護坡三大部份分析後再整體評估碼頭結構安全性。

3.6 非主結構體檢測

非主結構體檢測項目包括：護舷材破損、劣化及裂縫檢測；繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測；其他附屬設施如擋車牆，給水排水設備，照明設備，供電供油相關之管線、管路等。

3.7 構造物初步檢測評估

構造物完成檢測後，依各檢測項目之損壞程度(D)、損壞範圍(E)，及該構件損壞對整體結構之影響性(R)進行評估，稱為 D.E.R.評估法。

其中損壞程度(D)分為 0 到 5 級六等，級別為 1 級到 4 級時分別代

表檢測對象之損壞程度，隨級別之增加其損壞程度亦隨之提高，級別為“0”級時則代表該檢測項目不存在。級別為“5”級時則代表該檢測項目無法判定或無法檢測，必須進行下一步之細部檢測，故等級為5時代表損壞程度高於4。E 值為構件破壞範圍或破壞構件參數，以構件破壞數與受測構件數的百分比，或破壞面積與受測面積的百分比為參考，依其所座落範圍訂出“1”到“5”的等級，以百分比乘以十後，捨棄小數點為E 值，大於五之值均以5 填入表格。R 值之決定則有賴經驗及訓練，故暫不對 R 值提出參考建議。

碼頭檢測項目之 D 值示如表 3-5，依據檢測結果，檢測值經下列公式 3-1 或公式 3-2 換算後決定最後等級。

表 3-5 港灣碼頭初步檢測劣化程度與評估值關係

檢測項目	劣化現象	劣 化 程 度	D 值
碼頭壁體	傾斜、破損、 混凝土剝離龜裂	1.混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出，或鋼筋部份露出且無腐蝕現象	2
		2.混凝土龜裂，鋼筋完全露出，無腐蝕現象。鋼筋部份露出，而且有腐蝕現象。壁體傾斜達 10~15 度時	3
		3.可目視出傾斜或岸壁鋼筋完全露出而且腐蝕預力管露出。傾斜達 15 度以上時	4
碼頭法線	變形、扭曲	1.儀器檢測出法線偏移、扭曲	3
		2.可目視觀察出法線偏移、扭曲	4
碼頭面版	龜裂、沈陷、 材質劣化	1.面版混凝土輕微剝落或龜裂開且鋼筋尚未露出，或鋼筋部份露出且無腐蝕現象	2
		2.儀器檢測出輕微沈陷，或面版鋼筋完全露出，無腐蝕現象	3
		3.可目視出沈陷、崩塌，或面版鋼筋完全露出而且有腐蝕現象	4
混凝土強度	劣化、不足	1.強度不足為 10%以內	1
		2.強度不足為 20%以內	2
		3.強度不足為 30%以內	3
		4.強度不足達 30%以上	4
保護層厚度	厚度不足	1.厚度不足為 20%以內	1
		2.厚度不足為 30%以內	2
		3.厚度不足為 40%以內	3
		4.厚度不足達 40%以上	4
鋼筋腐蝕 檢 視	鋼筋腐蝕	1.無明顯的鏽蝕區域	1
		2.局部區域有鏽水出現	2
		3.帶狀區域的鏽蝕、混凝土出現裂縫	3
		4.一半區域的鋼筋鏽蝕，混凝土出現紅橙色片狀剝落	4
鋼版腐蝕 檢 測	腐蝕部位 及現象	1.L.W.L.至平均低潮位附近無明顯鏽蝕	1
		2.平均低潮位附近起，於 L.W.L.附近可見紅橙色生銹	2
		3.於 L.W.L.至海底，有連續性的帶狀鏽蝕區分布	3
		4.H.W.L.以上的飛沫帶及接近 L.W.L.的附近，在鋼版樁表面有明顯凹洞及氧化物剝落現象	4

表 3-5 港灣碼頭初步檢測劣化程度與評估值關係（續）

檢測項目	劣化現象	劣 化 程 度	D 值
鋼版腐蝕 檢 測	腐蝕程度	1.無明顯的鏽蝕區域 2.局部區域有鏽蝕集中 3.受到漂流物反覆侵蝕，形成帶狀區域的鏽蝕 4.3/4 區域出現紅橙色的鏽蝕，且有明顯的凹洞或破洞	1 2 3 4
岸肩伸縮縫	變形、破壞	1.接縫處雜屑堆積使伸縮縫功能減弱 2.埋入接頭上方之材料開裂，彈性材料變質但仍具水密性 3.合成之材質開裂、伸展接頭完全被密封、壓力封完全掉入膨脹缺口、彈性元件開裂等	2 3 4
護舷材	開裂、材質劣化	1.材質表面褪色、輕微劣化，靠船時有輕微龜裂現象 2.材質表面劣化明顯，靠船時能明顯觀察到龜裂現象 3.材質老化、構件變形、脫落，靠船時開裂過大以失去避振功能	2 3 4
繫船柱	破損、變形	1.材質已有鏽損狀況，基座無明顯龜裂情形 2.材質鏽損狀況明顯，基座有龜裂情形 3.材質鏽損甚至剝落，基座龜裂擴大	2 3 4
擋車牆	破損、變形	1.材質表面已有龜裂情形 2.材質表面有明顯龜裂，基座有崩塌情形 3.材質龜裂擴大或多處崩塌、破損、位移	2 3 4
排水、 給水設備	破壞、斷裂	1.破損而有滲水現象 2.斷裂失去功能	3 4
照明設施	破 壞	1.部份損壞而只能發揮部份功能 2.大部損壞失去功能性	3 4
油電管路	破 壞	1.破損而有滲油、漏電現象， 2.斷裂而失去功能性	3 4

3.8 完成檢測或進行細部評估

港灣構造物初步檢測及評估結果，如必須做進一步的評估檢測，將針對構造物安全性進行細部檢測及結構力學相關之分析，包括結構安全性，構造功能性，整體考量等。

第四章 結果與討論

4.1 臺中港 1 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭屬沉箱重力式，碼頭全長 250 m，寬 20.0m，設計水深為-13.0 m，設計載重為 3.0 t/m²，碼頭位置及結構型式如圖 4.1 及圖 4.2 所示。以靠泊雜貨輪，載運穀類為主。2008 年 6 月調查時之碼頭情形如圖 4.3 及圖 4.4 所示。

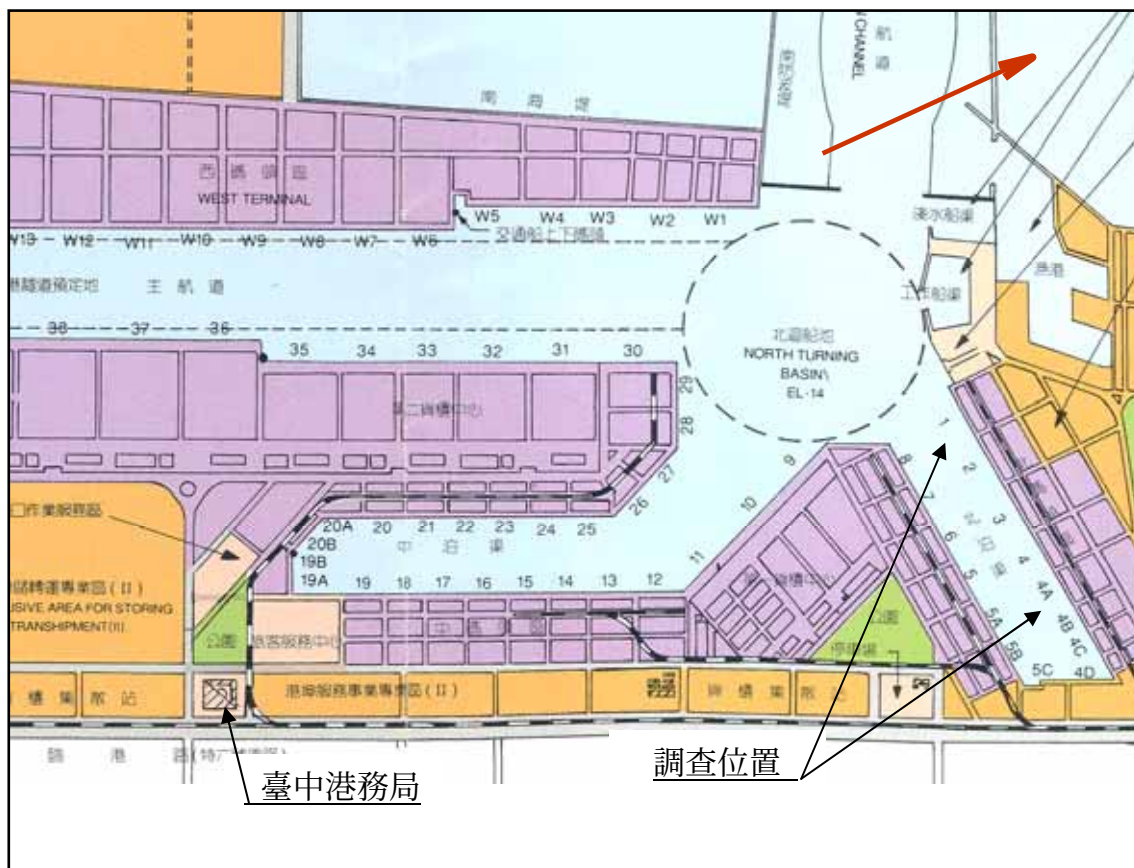


圖 4.1 臺中港 1-4A 碼頭位置示意圖

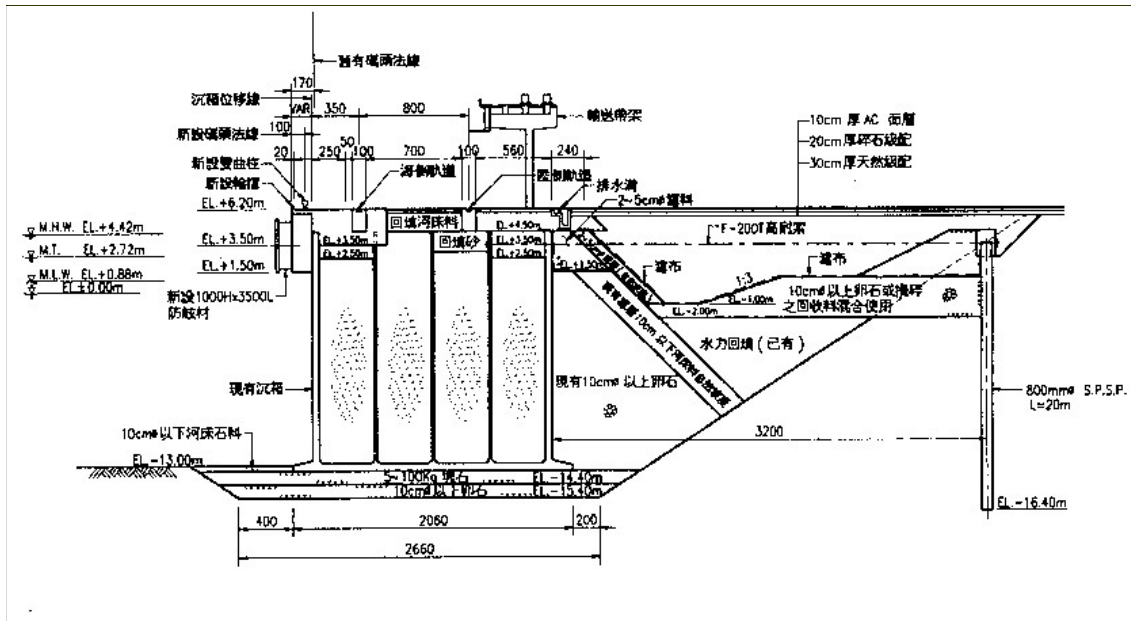


圖 4.2 臺中港 1 至 3 號碼頭結構型式

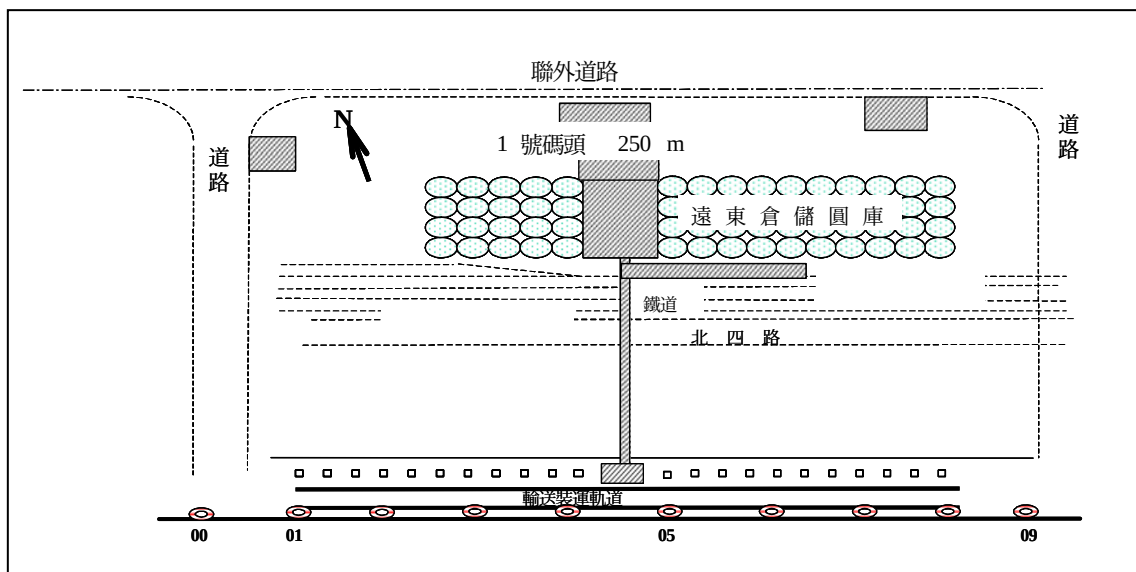


圖 4.3 臺中港 1 號碼頭現況情形平面圖 (2008.06)



a. 碼頭法線及岸肩現況

b. 碼頭後線及輸送設施現況

圖 4.4 臺中港 1 號碼頭現況情形

2. 過去檢測及維修歷史：1999 年 921 因集集大地震緣故，碼頭發生沉陷及法線外移，但如僅作緊急靠泊應無安全疑慮，故隨即在碼頭後線經略為整修後，即開放工船舶靠泊卸貨。垂直碼頭方向之輸送帶亦均已沉陷無法使用，必須重建。永久復舊斷面採既有沉箱補強輔以鋼管樁錨碇，於 2000 年 6 月完工，至調查時間（2008 年 6 月）已歷時 8 年。
3. 整體結構變形及構造主結構體檢測：本次檢測項目及其相關 D.E.R. 評估值之決定如下：
 - (1)碼頭岸壁體檢測：檢測重點包含是否傾斜、破損、位移等。本座碼頭未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=5。
 - (2)碼頭面法線檢測：檢測重點包含是否扭曲、變形等。本座碼頭面法線並無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=0，E=0，R=4。
 - (3)碼頭面版檢測：檢測重點包含面版龜裂、沈陷、材質劣化等。本座碼頭面版無明顯沉陷及材質劣化現象。故 D 值=0，E=0，R=4。
 - (4)混凝土強度檢測：構造物當無重大明顯的破壞發生時，或重大明顯的破壞發生原因不明確時，一般混凝土強度可先視為與設計強

度相當，即強度損失不大或可忽略，本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略，故 D 值=0，E=0，R=2。

(5)保護層厚度：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故並未針對保護層厚度做檢測。

(6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故並未針對鋼筋腐蝕探測進行評估。

(7)鋼版腐蝕檢測：本座碼頭非版樁或管樁等具腐蝕特性之材料所組成，故並未實施此檢測項目。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=4。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 4 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4. 非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，僅少數出現輕微鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=1，E=1，R=2。

(3)擋車牆破損或變形情形檢測：本座碼頭擋車牆材質表面未發生明顯龜裂或變形，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(4)給水排水設備：本座碼頭給水排水設備並未發現管線斷裂，扭曲或失去功能性，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(5)照明設備：未進行評估。

(6)油電管路檢測：未進行評估。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 4-1 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 4-1 臺中港 1 號碼頭初步檢測表

碼頭 基本 資料	隸屬港口：臺中港		碼頭編號：1 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 65 年		
	靠泊船級	原設計：		實際使用：	
	碼頭法線版面標高： +6.20 m	長度：250 m 縱深：20 m	水域深度	原設計：-13 m 目 前：-13 m	
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☒ 雜貨輪（穀類） ☐ 其他			
	碼頭構造型式	☒ 沉箱重力式 ☐ 版樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 其他			
	上次檢測	時間：1999 年 9 月 單位：港研中心 區分：緊急檢測 結果：結構位移傾斜，需進行緊急維修			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整 體 結 構 變形 及 主 結 構 體 破 壞 檢 測	碼頭岸壁	0	0	5	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	4	0
	混凝土強度	0	0	2	0
	保護層厚度	----	----	----	----
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----
岸肩伸縮縫	0	0	4	0	
主體結構破壞評估		$ID_p = \sum_{i=1}^{N_p} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_p} R_i = 0.0$			
非 主 結 構 設 施 破 壞 檢 測	護舷材	0	0	3	0
	繫船柱	1	1	2	4
	擋車牆	0	0	2	0
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	----	----	----	----
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_A} R_i = 0.4$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^N R_i = 0.2$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火 檢測時間：2008 年 6 月					

4.2 臺中港 2 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭屬沉箱重力式，碼頭全長 250 m，寬 20.0m，設計水深為-13.0 m，設計載重為 3.0 t/m^2 ，碼頭位置如圖 4.1 所示，結構型式同臺中港 1 號碼頭（如圖 4.2），以靠泊雜貨輪，載運油品、液體散貨為主，碼頭現況情形如圖 4.5 及圖 4.6 所示。

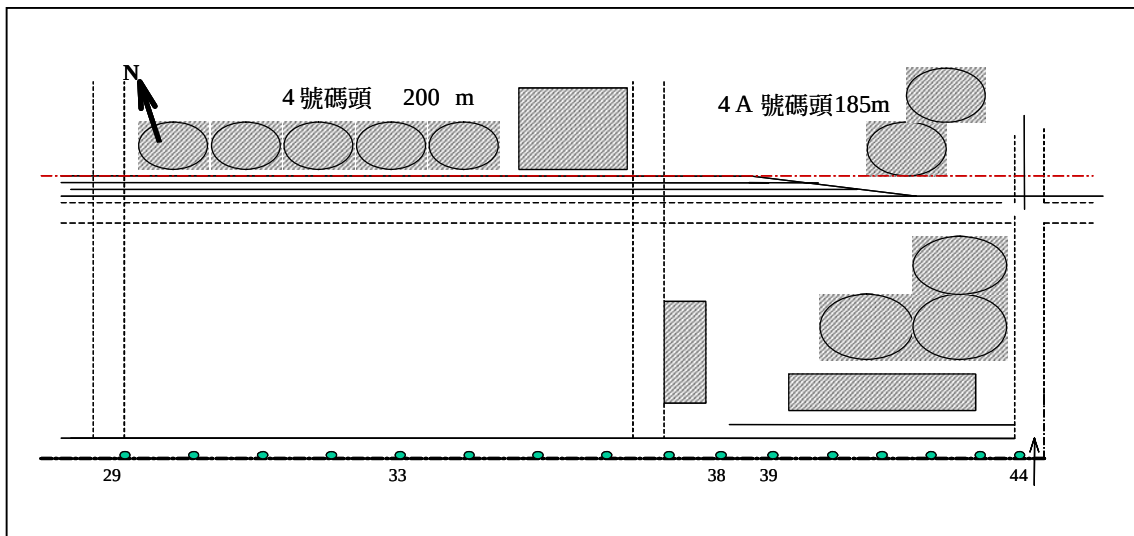


圖 4.5 臺中港 2 號碼頭現況情形平面圖（2008.06）



a. 碼頭後線現況



b. 碼頭岸肩及檔車牆現況

圖 4.6 臺中港 2 號碼頭現況情形

2. 過去檢測及維修歷史：1999 年 921 因集集大地震緣故，碼頭後線發生液化噴沙及沉陷現象，永久復舊斷面採既有沉箱補強輔以鋼管樁錨碇，於 2000 年 6 月完工，至調查時間（2008 年）已歷時 8 年。
3. 整體結構變形及構造主結構體檢測：本次檢測項目及其相關 D.E.R. 評估值之決定如下：
 - (1)碼頭岸壁體（或堤體）檢測：本座碼頭未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=5。
 - (2)碼頭面法線檢測：本座碼頭面法線並無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=0，E=0，R=4。
 - (3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版除出現少數裂縫外，無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=0，E=0，R=4。
 - (4)混凝土強度檢測：本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略，故 D 值=0，E=0，R=2。
 - (5)保護層厚度：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故並未針對保護層厚度做檢測。
 - (6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭未針對鋼筋腐蝕進行檢測。
 - (7)鋼版腐蝕檢測：本座碼頭非鋼版樁或管樁等具腐蝕特性之材料所組成，故並未實施此檢測項目。
 - (8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間明顯相對位移，但有出現輕微差異沉陷，故 D 值=0，E=0，R=4。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 4-2 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4. 非主結構體檢測

- (1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。
- (2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，僅少數出現輕微鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=1，E=1，R=2。
- (3)擋車牆破損或變形情形檢測：本座碼頭擋車牆材質表面未發生明顯龜裂或變形，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。
- (4)給水排水設備：本座碼頭給水排水設備並未發現管線斷裂，扭曲或失去功能性，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。
- (5)照明設備：未進行評估。
- (6)油電管路檢測：未進行評估。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 4-2 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 4-2 臺中港 2 號碼頭初步檢測表

碼頭 基本 資料	隸屬港口：臺中港		碼頭編號：2 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 65 年		
	靠泊船級	原設計：		實際使用：	
	碼頭法線版面標高： +6.20 m	長度：250 m 縱深：20 m	水域深度	原設計：-13 m 目 前：-13 m	
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☒ 雜貨輪（油品、糖密等液體） ☐ 其他			
	碼頭構造型式	☒ 沉箱重力式 ☐ 版樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 其他			
	上次檢測	時間：1999 年 9 月 單位：港研中心 區分：緊急檢測 結果：結構位移傾斜，需進行緊急維修			
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整 體 結 構 變形 及 主 結 構 體 破 壞 檢 測	碼頭岸壁	0	0	5	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	0	0	4	8
	混凝土強度	0	0	2	0
	保護層厚度	----	----	----	----
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----
岸肩伸縮縫	0	0	4	0	
主體結構破壞評估		$ID_p = \sum_{i=1}^{N_p} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = 0.0$			
非 主 結 構 設 施 破 壞 檢 測	護舷材	0	0	3	0
	繫船柱	1	1	2	4
	擋車牆	----	----	----	----
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	----	----	----	----
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = 0.6$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = 0.2$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火 檢測時間：2008 年 6 月					

4.3 臺中港 3 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭屬沉箱重力式，碼頭全長 250 m，寬 20.0 m，設計水深為-13.0 m，設計載重為 3.0 t/m^2 ，碼頭位置如圖 4.1 所示，結構型式同臺中港 1 號碼頭（如圖 4.2），以靠泊雜貨輪，載運穀類散貨為主。碼頭現況情形如圖 4.7 及圖 4.8 所示。

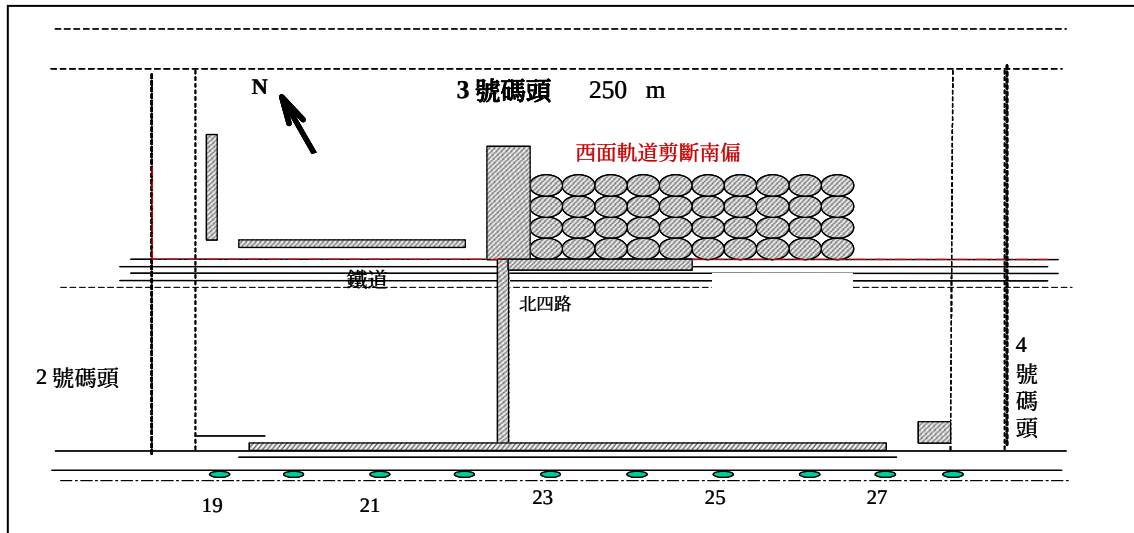
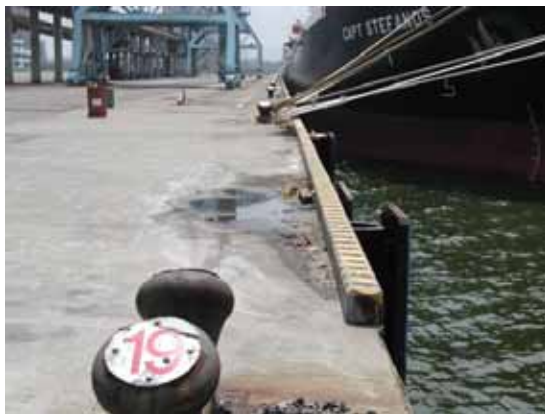


圖 4.7 臺中港 3 號碼頭現況情形平面圖（2008.06）



a. 碼頭法線及擋車牆現況



b. 碼頭後線及輸送設施現況

圖 4.8 臺中港 3 號碼頭現況情形

2. 過去檢測及維修歷史：1999 年 921 因集集大地震緣故，碼頭發生沉陷及法線外移，吸穀機因支架採獨立基腳，整排輸送帶均已沉陷無法使用，必須重建。垂直碼頭方向之輸送帶亦均已沉陷無法使用，必須重建。永久復舊斷面採既有沉箱補強輔以鋼管樁錨碇，於 2000 年 6 月完工，至調查時間（2008 年）已歷時 8 年。
3. 整體結構變形及構造主結構體檢測：本次檢測項目及其相關 D.E.R. 評估值之決定如下：
 - (1)碼頭岸壁體（或堤體）檢測：本座碼頭未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=5。
 - (2)碼頭面法線檢測：本座碼頭面法線並無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=0，E=0，R=4。
 - (3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版除出現少數裂縫外，無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=0，E=0，R=4。
 - (4)混凝土強度檢測：本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略，故 D 值=0，E=0，R=2。
 - (5)保護層厚度：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故並未針對保護層厚度做檢測。
 - (6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭未針對鋼筋腐蝕進行檢測。
 - (7)鋼版腐蝕檢測：本座碼頭非鋼版樁或管樁等具腐蝕特性之材料所組成，故並未實施此檢測項目。
 - (8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間明顯相對位移，但有出現輕微差異沉陷，故 D 值=0，E=0，R=4。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 4-3 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結

構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4. 非主結構體檢測

- (1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。
- (2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，僅少數出現輕微鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=1，E=1，R=2。
- (3)擋車牆破損或變形情形檢測：本座碼頭擋車牆材質表面未發生明顯龜裂或變形，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。
- (4)給水排水設備：本座碼頭給水排水設備並未發現管線斷裂，扭曲或失去功能性，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。
- (5)照明設備：未進行評估。
- (6)油電管路檢測：未進行評估。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 4-3 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 4-3 臺中港 3 號碼頭初步檢測表

碼頭 基本 資料	隸屬港口：臺中港		碼頭編號：3 號			
	建造日期：		啟用日期：民國 65 年			
	靠泊船級	原設計：		實際使用：		
	碼頭法線版面標高：+6.20 m	長度：250 m 縱深：20 m	水域深度	原設計：-13 m 目 前：-13 m		
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☒ 雜貨輪 ☐ 其他				
	碼頭構造型式	☒ 沉箱重力式 ☐ 版樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 其他				
	上次檢測	時間：1999 年 9 月 單位：港研中心 區分：緊急檢測 結果：結構位移傾斜，需進行緊急維修				
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R	
整 體 結 構 變形 及 主 結 構 體 破 壞 檢 測	碼頭岸壁	0	0	5	0	
	碼頭法線	0	0	4	0	
	碼頭面版	0	0	4	0	
	混凝土強度	0	0	2	0	
	保護層厚度	----	----	----	----	
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----	
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----	
	岸肩伸縮縫	0	0	4	0	
主體結構破壞評估		$ID_p = \sum_{i=1}^{N_p} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = 0.0$				
非 主 結 構 設 施 破 壞 檢 測	護舷材	0	0	3	0	
	繫船柱	1	1	2	4	
	擋車牆	0	0	2	0	
	排水給水設備	0	0	2	0	
	照明設施	----	----	----	----	
	油電管路	----	----	----	----	
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = 0.4$				
	整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = 0.1$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火 檢測時間：2008 年 6 月						

1. 碼頭基本資料：本座碼頭屬沉箱重力式，碼頭全長 200 m，寬 20.0m，設計水深為-11.0 m，設計載重為 3.0 t/m²，碼頭位置及結構型式如圖 4.1 及圖 4.9 所示。以靠泊雜貨輪，載運糖蜜等液體散貨為主。碼頭現況情形示如圖 4.10 及圖 4.11 所示。

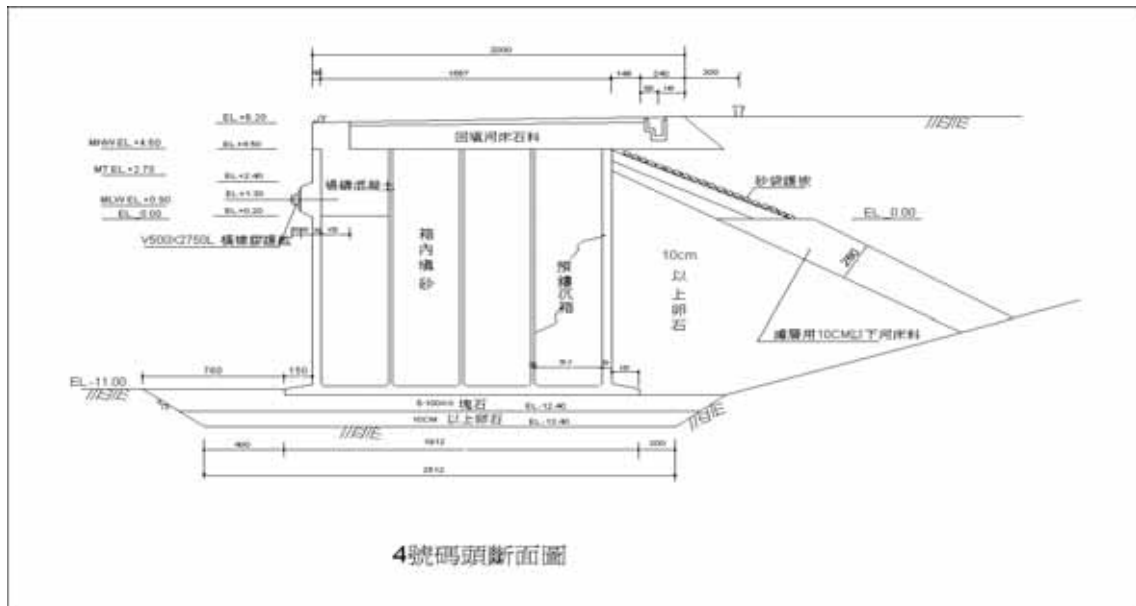


圖 4.9 臺中港 4 號碼頭結構型式示意圖

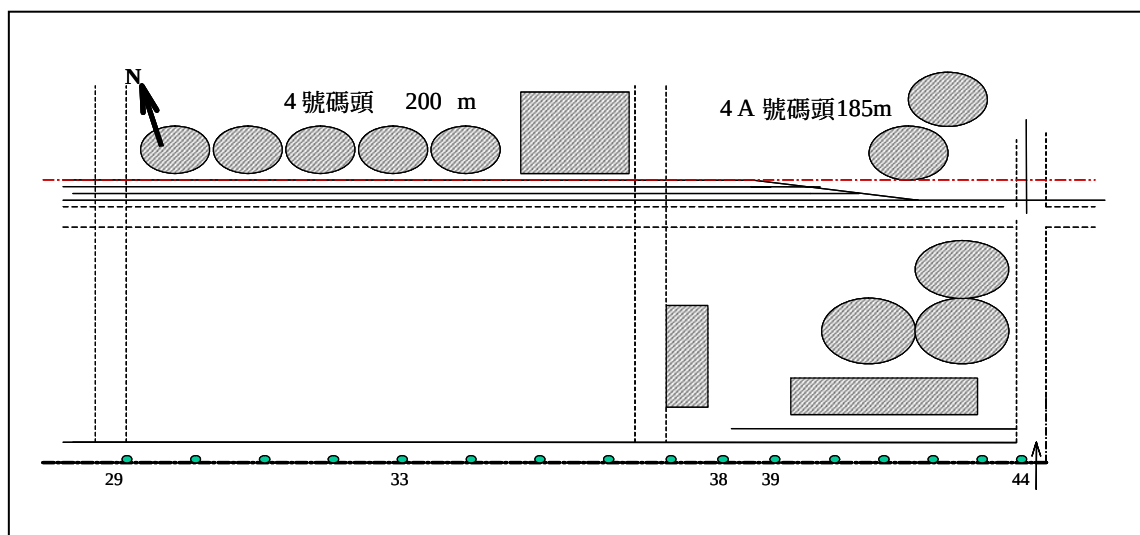


圖 4.10 臺中港 4-4A 號碼頭現況情形示平面圖 (2008.06)



圖 4.11 臺中港 4 號碼頭現況情形

2. 過去檢測及維修歷史：1999 年 921 因集集大地震緣故，碼頭發生沉陷及法線外移，但如僅作緊急靠泊應無安全疑慮，故隨即在碼頭後線經略為整修後，即開放工船舶靠泊卸貨。
3. 整體結構變形及構造主結構體檢測：本次檢測項目及其相關 D.E.R. 評估值之決定如下：
 - (1)碼頭岸壁體（或堤體）檢測：本座碼頭未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=5。
 - (2)碼頭面法線檢測：本座碼頭面法線並無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=0，E=0，R=4。
 - (3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版除出現少數裂縫外，無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=0，E=0，R=4。
 - (4)混凝土強度檢測：本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略，故 D 值=0，E=0，R=2。
 - (5)保護層厚度：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故並未針對保護層厚度做檢測。
 - (6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭未針對鋼筋腐蝕進行檢測。

(7)鋼版腐蝕檢測：本座碼頭非鋼版樁或管樁等具腐蝕特性之材料所組成，故並未實施此檢測項目。

(8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間明顯相對位移，但有出現輕微差異沉陷，故 D 值=0，E=0，R=4。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 4-4 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.0，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4. 非主結構體檢測

(1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。

(2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，僅少數出現輕微鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=1，E=1，R=2。

(3)擋車牆破損或變形情形檢測：本座碼頭擋車牆材質表面部分發生撞損龜裂或變形現象，初檢評估結果為：D 值=1，E=1，R=2。

(4)給水排水設備：本座碼頭給水排水設備並未發現管線斷裂，扭曲或失去功能性，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。

(5)照明設備：未進行評估。

(6)油電管路檢測：未進行評估。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 4-4 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.9，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 4-4 臺中港 4 號碼頭初步檢測表

碼頭 基本 資料	隸屬港口：臺中港		碼頭編號：4 號			
	建造日期：		啟用日期：民國 65 年			
	靠泊船級	原設計：		實際使用：		
	碼頭法線版面標高：+6.20 m	長度：250 m 縱深：20 m	水域深度	原設計：-11 m 目 前：-11 m		
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☒ 雜貨輪（糖蜜等液體） ☐ 其他				
	碼頭構造型式	☒ 沉箱重力式 ☐ 版樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 其他				
	上次檢測	時間：1999 年 9 月 單位：港研中心 區分：緊急檢測 結果：結構位移傾斜，需進行緊急維修				
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R	
整 體 結 構 變形 及 主 結 構 體 破 壞 檢 測	碼頭岸壁	0	0	5	0	
	碼頭法線	0	0	4	0	
	碼頭面版	0	0	4	0	
	混凝土強度	0	0	2	0	
	保護層厚度	----	----	----	----	
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----	
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----	
	岸肩伸縮縫	0	0	4	0	
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = 0.0$				
非 主 結 構 設 施 破 壞 檢 測	護舷材	0	0	3	0	
	繫船柱	1	1	2	4	
	擋車牆	1	1	2	4	
	排水給水設備	0	0	2	0	
	照明設施	----	----	----	----	
	油電管路	----	----	----	----	
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = 0.9$				
	整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = 0.3$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火 檢測時間：2008 年 6 月						

4.5 臺中港 4A 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭屬沉箱重力式，碼頭全長 185 m，寬 20.0m，設計水深為-9.0 m，設計載重為 3.0 t/m^2 ，碼頭位置及結構型式如圖 4.1 及圖 4.12 所示。以靠泊貨輪，以載運水泥為主。碼頭現況情形示如圖 4.13 所示。

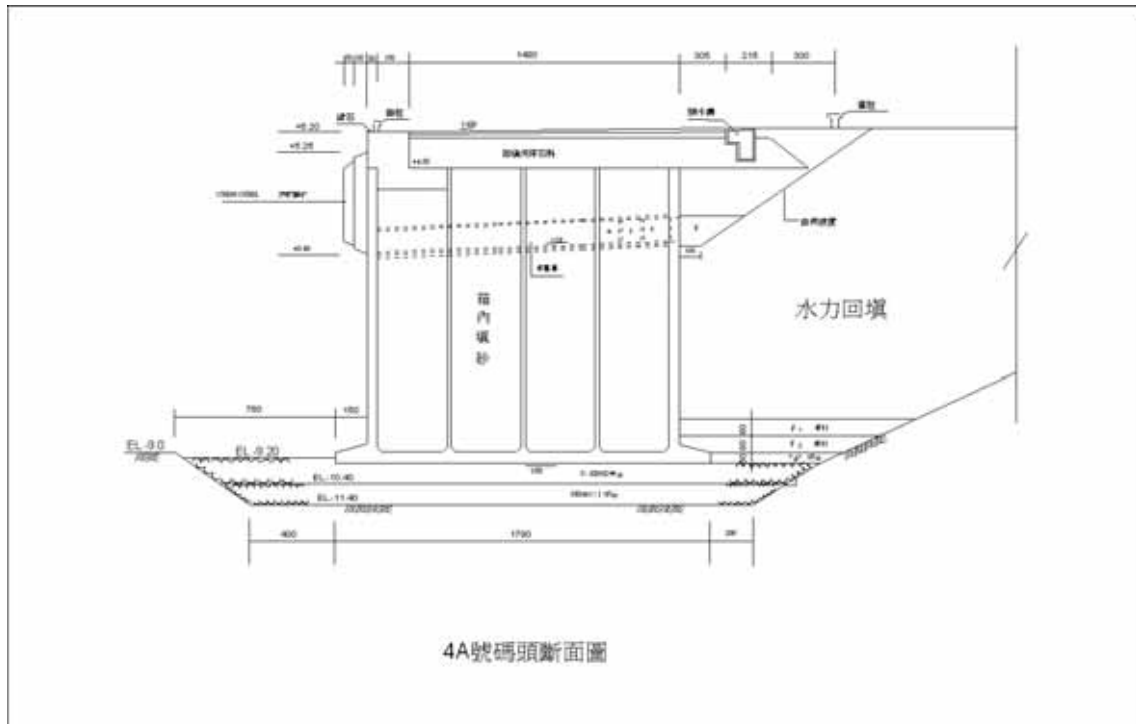


圖 4.12 臺中港 4A 號碼頭結構型式示意圖



圖 4.13 臺中港 4A 碼頭現況情形

2. 過去檢測及維修歷史：1999 年 921 因集集大地震緣故，碼頭發生沉陷及法線外移，但如僅作緊急靠泊應無安全疑慮，故隨即在碼頭後線經略為整修後，即開放工船舶靠泊卸貨。
3. 整體結構變形及構造主結構體檢測：本次檢測項目及其相關 D.E.R. 評估值之決定如下：
 - (1)碼頭岸壁體（或堤體）檢測：本座碼頭未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=5。
 - (2)碼頭面法線檢測：本座碼頭面法線並無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=0，E=0，R=4。
 - (3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版除出現少數裂縫外，無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=1，E=1，R=4。
 - (4)混凝土強度檢測：本座碼頭混凝土無重大明顯的破壞發生，強度損失不大或可忽略，故 D 值=0，E=0，R=2。
 - (5)保護層厚度：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，推斷混凝土保護層厚度對於碼頭之破壞無直接關係，故並未針對保護層厚度做檢測。
 - (6)鋼筋腐蝕探測：基於以上相同理由，本座碼頭未針對鋼筋腐蝕進行檢測。
 - (7)鋼版腐蝕檢測：本座碼頭非鋼版樁或管樁等具腐蝕特性之材料所組成，故並未實施此檢測項目。
 - (8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間明顯相對位移，但有出現輕微差異沉陷，故 D 值=0，E=0，R=4。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 4-5 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.4，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，無須進行細部檢測或增加檢測頻率。

4. 非主結構體檢測

- (1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。
- (2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭繫船柱位於碼頭上部份，柱體完整，僅少數出現輕微鏽損及脫漆現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。
- (3)擋車牆破損或變形情形檢測：本座碼頭部分擋車牆材質表面發現撞損或變形，初檢評估結果為：D 值=1，E=1，R=2。
- (4)給水排水設備：本座碼頭給水排水設備並未發現管線斷裂，扭曲或失去功能性，初步檢測評估結果為：D 值=0，E=0，R=2。
- (5)照明設備：未進行評估。
- (6)油電管路檢測：未進行評估。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 4-5 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.4，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 4-5 臺中港 4A 號碼頭初步檢測表

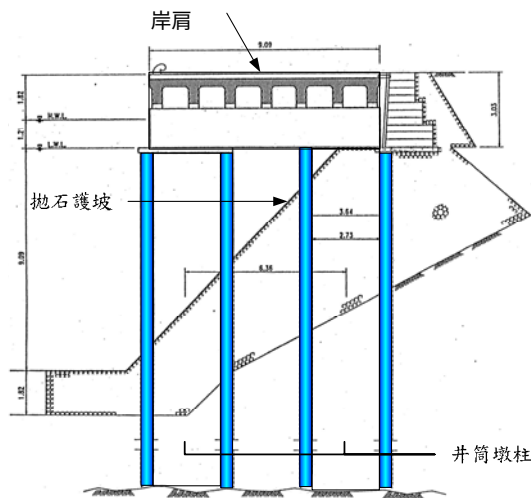
碼頭 基本 資料	隸屬港口：臺中港		碼頭編號：4A 號		
	建造日期：		啟用日期：		
	靠泊船級	原設計： 實際使用：			
	碼頭法線版面標高：+6.20 m	長度：185 m 縱深：20 m	水域深度	原設計：-9.0 m 目 前：-9.0 m	
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☒ 雜貨輪（水泥等） ☐ 其他			
	碼頭構造型式	☒ 沉箱重力式 ☐ 版樁式 ☐ 棧橋式 ☐ 其他			
上次檢測	時間：1999 年 9 月 單位：港研中心 區分：緊急檢測 結果：結構位移傾斜，需進行緊急維修				
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整 體 結 構 變形 及 主 結 構 體 破 壞 檢 測	碼頭岸壁	0	0	5	0
	碼頭法線	0	0	4	0
	碼頭面版	1	1	4	8
	混凝土強度	0	0	2	0
	保護層厚度	----	----	----	----
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----
岸肩伸縮縫	0	0	4	0	
主體結構破壞評估		$ID_p = \sum_{i=1}^{N_p} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_p} R_i = 0.4$			
非 主 結 構 設 施 破 壞 檢 測	護舷材	0	0	3	0
	繫船柱	0	0	2	0
	擋車牆	1	1	2	4
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	----	----	----	----
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_A} R_i = 0.4$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^N R_i = 0.4$			
檢測單位：港研中心 檢測人：柯正龍、何木火 檢測時間：2008 年 6 月					

4.6 基隆港西 2 號碼頭

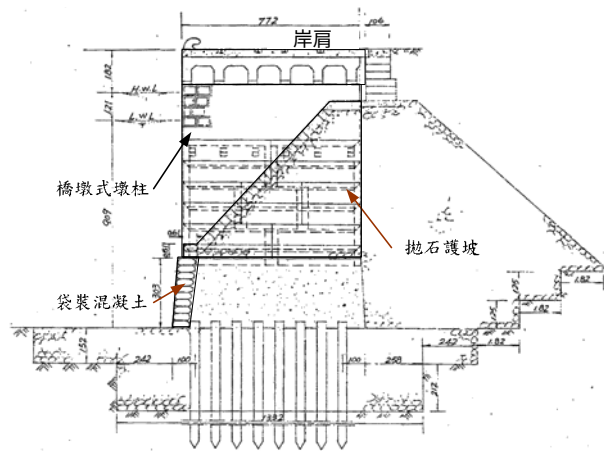
1. 碼頭基本資料：本座碼頭全長共 204.5 m，臨西 1 號碼頭之 22.18 m 部份為井筒式結構，餘 182.32 m 則屬牆式墩柱結構，寬 12.4 m，設計載重 2.0 t/m^2 ，水深為 -9.0 m，碼頭位置及結構型式如圖 4.14 及圖 4.15 所示。以靠泊客貨輪船為主，碼頭現況情形如圖 4.16 及圖 4.17 所示。



圖 4.14 基隆港西 2 至西 4 號碼頭位置示意圖



(a) 井筒式結構斷面



(b) 牆式墩柱結構斷面

圖 4.15 基隆港西 2 號碼頭結構斷面

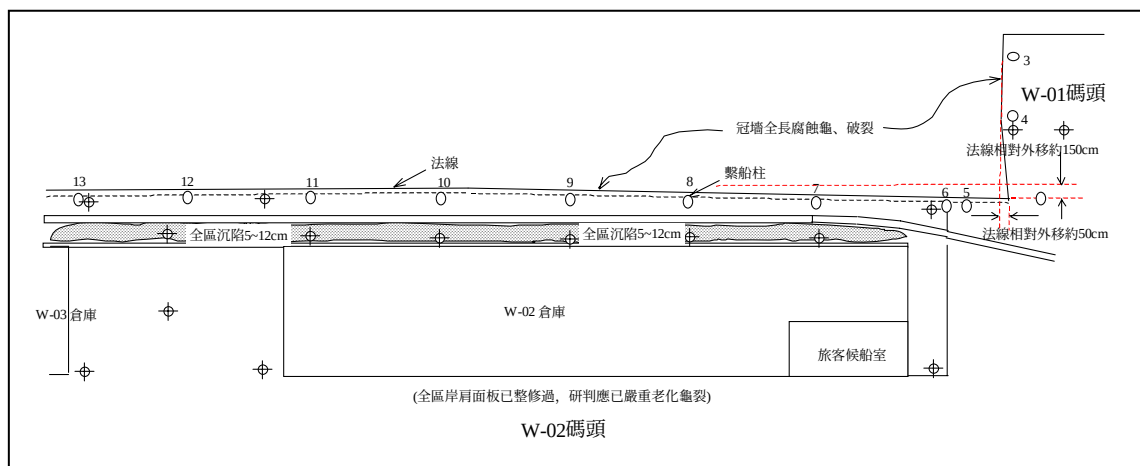


圖 4.16 基隆港西 2 號碼頭現況情形平面圖

2. 過去檢測及維修歷史、檢測者及單位：不詳。
3. 整體結構變形及構造主結構體檢測：檢測項目及其相關 D.E.R.評估值之決定如下：

(1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭雖使用超過 50 年，但碼頭岸壁體並未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=5。



碼頭法線及面版現況 1



碼頭法線及面版現況 2

圖 4.17 基隆港西 2 號碼頭現況情形

- (2)碼頭面法線檢測：本座碼頭面法線臨西 1 號碼頭長約 20 m 部分出現約 50 cm 位移，其他則並無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=1，E=1，R=4。
- (3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版靠海側出現裂縫，但無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=1，E=2，R=4。
- (4)混凝土強度檢測：本座碼頭全線之冠牆表面雖出現龜裂破損現象，但混凝土經現地試錘試驗及鑽心取樣抗壓試驗結果，強度均大於 210 kg/cm²，混凝土強度並無損失，故 D 值=0，E=0，R=2。
- (5)保護層厚度：本座碼頭全線之冠牆表面雖出現龜裂破損現象，但未發現鋼筋腐蝕及劣化導致之破壞行為，且現地鑽心取樣之混凝土鋼筋保護層均大於 7.5 cm，故未檢測保護層厚度，不予評分。
- (6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭鋼筋混凝土部份因無腐蝕造成或與材料腐蝕及劣化之破壞行為，故未檢測此項目，不予評分。
- (7)鋼版腐蝕檢測：本座碼頭非鋼版樁或材料所組成，故未檢測此項目，不予評分。
- (8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=4。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 4-6 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 1.1，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，可不進行細部檢測及評估。

4. 非主結構體檢測

- (1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。
- (2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭碼頭上部份柱體完整，僅少數出現輕微鏽損及脫漆現象，D 值=1，E=1，R=2。
- (3)擋車牆：未進行評估。
- (4)給水排水設備：本座碼頭給水排水設備並未發現管線斷裂，扭曲或失去功能性，D 值=0，E=0，R=2。
- (5)照明設備：未進行評估。
- (6)油電管路檢測：未進行評估。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 4-6 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 4-6 基隆港西 2 號碼頭初步檢測表

碼頭 基本 資料	隸屬港口：基隆港		碼頭編號：西 2 號		
	建造日期：		啟用日期：民國 41 年		
	靠泊船級	原設計：		實際使用：	
	碼頭法線版面標高：+3.2 m	長度：204.5 m 縱深：12.4 m	水域深度	原設計：-9m 目 前：-9 m	
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☐ 雜貨輪 ☒ 其他（砂石）			
	碼頭構造型式	☐ 重力式 ☐ 版樁式 ☐ 棧橋式 ☒ 其他：井筒式 22.18 m，牆式墩柱 182.32 m			
	上次檢測	時間：	單位：	區分：	結果：
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R
整體 結構 變形 及 主結 構體 破壞 檢測	碼頭岸壁	0	0	5	0
	碼頭法線	1	1	4	8
	碼頭面版	1	2	4	12
	混凝土強度	0	0	2	0
	保護層厚度	----	----	----	----
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----
岸肩伸縮縫	0	0	4	0	
主體結構破壞評估		$ID_p = \sum_{i=1}^{N_p} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_p} R_i = 1.1$			
非主 結構 設施 破壞 檢測	護舷材	0	0	3	0
	繫船柱	1	1	2	4
	擋車牆	----	----	----	----
	排水給水設備	0	0	2	0
	照明設施	----	----	----	----
	油電管路	----	----	----	----
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^{N_A} R_i = 0.6$			
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i^N R_i = 1.0$			
檢測單位：港灣技術研究中心 檢測人：柯正龍、何木火 檢測時間：2008 年 7 月					

4.7 基隆港西 3 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭為牆式墩柱結構，全長共 183.0 m，寬 12.4 m，設計載重 2.0 t/m^2 ，水深為 -9.0 m，碼頭位置及結構型式如圖 4.14 及圖 4.15 (b) 所示，以靠泊雜貨輪，載運廢鐵、礦物等大宗物資為主。碼頭現況情形示如圖 4.18 及圖 4.19 所示。

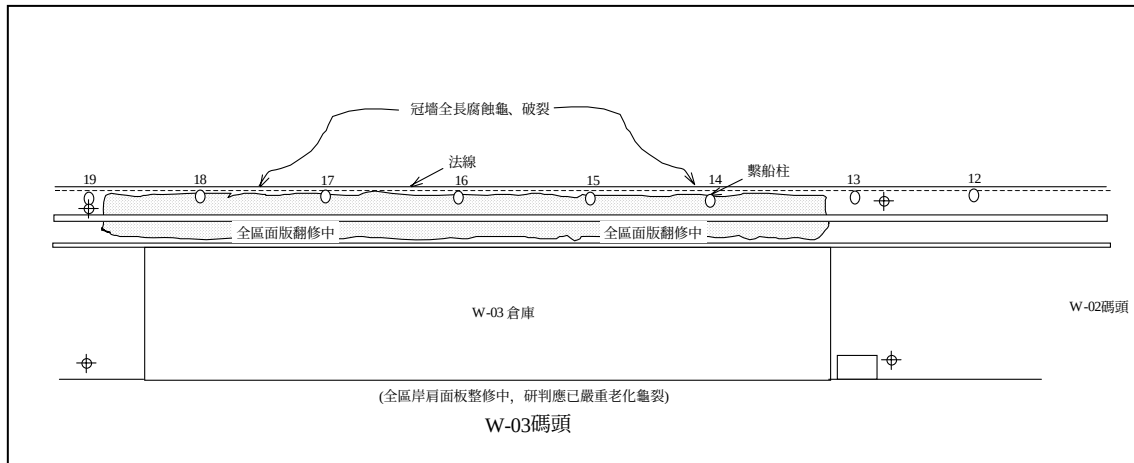


圖 4.18 基隆港西 3 號碼頭現況情形平面圖



a. 碼頭面版維修現況(2008.03.17)



b. 碼頭面版維修後情形(2008.06.02)

圖 4.19 基隆港西 3 號碼頭現況情形

2. 過去檢測及維修歷史：不詳。
3. 整體結構變形及構造主結構體檢測：檢測項目及其相關 D.E.R. 評估值之決定如下：

- (1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭雖使用超過 50 年，但碼頭岸壁體並未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=5。
- (2)碼頭面法線檢測：本座碼頭面法線無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=0，E=0，R=4。
- (3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版靠海側出現裂縫，但無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=1，E=2，R=4。
- (4)混凝土強度檢測：本座碼頭全線之冠牆表面雖出現龜裂破損現象，但混凝土經現地試錘試驗及鑽心取樣抗壓試驗結果，強度均大於 210 kg/cm²，混凝土強度並無損失，故 D 值=0，E=0，R=2。
- (5)保護層厚度：本座碼頭全線之冠牆表面雖出現龜裂破損現象，但未發現鋼筋腐蝕及劣化導致之破壞行為，且現地鑽心取樣之混凝土鋼筋保護層均大於 7.5 cm，故未檢測保護層厚度，不予評分。
- (6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭未針對鋼筋腐蝕進行探測，故不予評分。
- (7)鋼版腐蝕檢測：本座碼頭非版樁或管樁等具腐蝕特性之材料所組成，故未實施此項目，故不予評分。
- (8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=4。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 4-7 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，可不進行細部檢測及評估。

4. 非主結構體檢測

- (1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。
- (2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭碼頭上部份柱體完整，僅少數出現輕微鏽損及脫漆現象，D 值=1，E=1，

R=2。

(3)擋車牆：未進行評估。

(4)給水排水設備：本座碼頭給水排水設備並未發現管線斷裂，扭曲或失去功能性，D 值=0，E=0，R=2。

(5)照明設備：未進行評估。

(6)油電管路檢測：未進行評估。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 4-7 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 4-7 基隆港西 3 號碼頭初步檢測表

碼 頭 基 本 資 料	隸屬港口：基隆港		碼頭編號：西 3 號			
	建造日期：		啟用日期：民國 41 年			
	靠泊船級	原設計：		實際使用：		
	碼頭法線版面標高：+3.2 m	長度：183.0 m 縱深：12.4 m	水域深度	原設計：-9.0 m 目 前：-9.0m		
	靠泊船隻屬性	☐ 貨櫃 ☐ 化學(油)品 ☐ 雜貨輪 ☒ 其他（砂石）				
	碼頭構造型式	☒ 重力式 ☐ 版樁式 ☐ 棧橋式 ☒ 其他：牆式墩柱				
	上次檢測	時間：	單位：	區分：	結果：	
調查項目及評估值		破壞程度 D	破壞範圍 E	破壞影響性 R	(D+E)×R	
整 體 結 構 變 形 及 主 體 結 構 破 壞 檢 測	碼頭岸壁	0	0	5	0	
	碼頭法線	0	0	4	0	
	碼頭面版	1	2	4	12	
	混凝土強度	0	0	2	0	
	保護層厚度	----	----	----	----	
	鋼筋腐蝕探測	----	----	----	----	
	鋼版腐蝕檢測	----	----	----	----	
	岸肩伸縮縫	0	0	4	0	
主體結構破壞評估		$ID_P = \sum_{i=1}^{N_P} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = 0.6$				
非主 結構 設施 破 壞 檢 測	護舷材	0	0	3	0	
	繫船柱	1	1	2	4	
	擋車牆	----	----	----	----	
	排水給水設備	0	0	2	0	
	照明設施	----	----	----	----	
	油電管路	----	----	----	----	
	附屬設施破壞評估	$ID_A = \sum_{i=1}^{N_A} (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = 0.6$				
整體破壞評估(初步檢測)		$ID_1 = \sum_{i=1}^N (D_i + E_i) \times R_i \bigg/ \sum_i R_i = 0.6$				
檢測單位：港灣技術研究中心 檢測人：柯正龍、何木火 檢測時間：2008 年 7 月						

4.8 基隆港西 4 號碼頭

1. 碼頭基本資料：本座碼頭全長共 183.0 m，其中緊臨西 3 號碼頭部份為牆式墩柱結構，餘 9.6m 為擁壁式結構，寬 12.4 m，設計載重 2.0 t/m^2 ，水深為 -9.0 m，碼頭位置及主要結構型式如圖 4.14 及圖 4.15 (b) 所示，以靠泊雜貨輪，載運廢鐵、礦物、砂石等大宗物資為主。碼頭現況情形示如圖 4.20 及圖 4.21 所示。

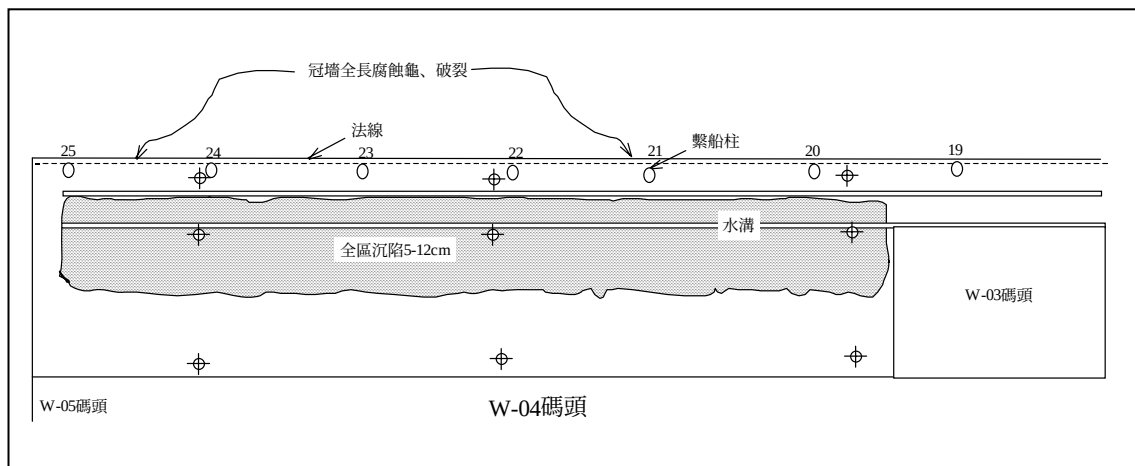


圖 4.20 基隆港西 4 號碼頭現況情形平面圖



a. 碼頭冠牆及防舷材現況情形



b. 碼頭法線及面版現況情形

圖 4.21 基隆港西 4 號碼頭現況情形

2. 過去檢測及維修歷史、檢測者及單位：不詳。
3. 整體結構變形及構造主結構體檢測：檢測項目及其相關 D.E.R.評估

值之決定如下：

- (1)碼頭岸壁體檢測：本座碼頭雖使用超過 50 年，但碼頭岸壁體並未發現明顯位移，碼頭功能完整，故 D 值=0，E=0，R=5。
- (2)碼頭面法線檢測：本座碼頭面法線無明顯扭曲或變形現象，故 D 值=0，E=0，R=4。
- (3)碼頭面版檢測：本座碼頭面版靠海側出現裂縫，但無明顯沉陷及材質劣化現象，故 D 值=1，E=2，R=4。
- (4)混凝土強度檢測：本座碼頭全線之冠牆表面雖出現龜裂破損現象，但混凝土經現地試錘試驗及鑽心取樣抗壓試驗結果，強度並無損失，故 D 值=0，E=0，R=2。
- (5)保護層厚度：本座碼頭全線之冠牆表面雖出現龜裂破損現象，但未發現鋼筋腐蝕及劣化導致之破壞行為，且現地鑽心取樣之混凝土鋼筋保護層均大於 7.5 cm，故未檢測保護層厚度，不予評分。
- (6)鋼筋腐蝕探測：本座碼頭未檢測此項目，故不予評分。
- (7)鋼版腐蝕檢測：本座碼頭非版樁或管樁等具腐蝕特性之材料所組成，故未檢測此項目，不予評分。
- (8)岸肩伸縮縫：本座碼頭之岸肩伸縮縫未出現結構體間相對位移，故 D 值=0，E=0，R=4。

整體結構變形及構造主結構體檢測部份，其個別估計值均列於表 4-8 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示結構體安全無虞，可不進行細部檢測及評估。

4. 非主結構體檢測

- (1)護舷材破損、劣化及裂縫檢測：本座碼頭護舷材材料材質均未出現老化現象，初檢評估結果為：D 值=0，E=0，R=3。
- (2)繫船柱基礎裂縫、柱體損壞、移位及變形檢測：本座碼頭碼頭上

部份柱體完整，僅少數出現輕微鏽損及脫漆現象，D 值=1，E=1，R=2。

(3)擋車牆：未進行評估。

(4)給水排水設備：本座碼頭給水排水設備並未發現管線斷裂，扭曲或失去功能性，D 值=0，E=0，R=2。

(5)照明設備：未進行評估。

(6)油電管路檢測：未進行評估。

非主結構設施檢測部份，其個別估計值同樣列於表 4-8 中，初步檢測之破壞指標經計算後為 0.6，小於 2.0 之值，顯示碼頭附屬設施功能完整，不影響主結構體正常運作。

表 4-8 基隆港西 4 號碼頭初步檢測表

碼頭 基本 資料	隸屬港口：基隆港		碼頭編號：西 2 號		
	建造日期：		啟用日期：		
	靠泊船級	原設計：			

4.9 基隆港西 2 至西 4 號碼頭安全檢測

4.9.1 碼頭岸肩、梁及下部結構檢測

由潛水人員潛入水下，近距離目視觀察碼頭岸肩、梁及下部結構表面外觀損壞狀況，如裂縫、剝落、破洞、鋼筋外露或腐蝕等之初步觀察鑑定，描繪記錄劣損位置及情形，各座碼頭之岸肩、梁及下部結構應逐一編號記錄，最後以照相或攝影存證。

1. 現場目視檢測記錄方式

西 2 至 4 號碼頭井筒式與牆式墩柱式碼頭其構件經拆解成岸肩、井筒或牆式墩柱、拋石護坡(包含袋裝混凝土)與海床等四部分，以作為水下目視檢測所著重之重點。本研究水下目視檢測部分針對岸肩底部以全程攝影與異狀照相方式進行，而墩柱、拋石護坡與海床部分則為發現異狀時進行攝影並照相。由於岸肩底部以 7 根大梁組成，故由臨海側開始編號 B1、B2...B7，且由於單區域橫向距離(即兩墩柱距離)較長，故再以面海為向分成左、中、右三區域，並標以 B1L、B1M、B1R、而大梁梁腹則以量海側向為左、背海側向為右之原則，並標以 B1LL、B1LR。而兩大梁間之岸肩底部則以 S 進行編號，並以 S1L、S2M、S2R 代表左、中、右之位置，如圖 4.22 所示。

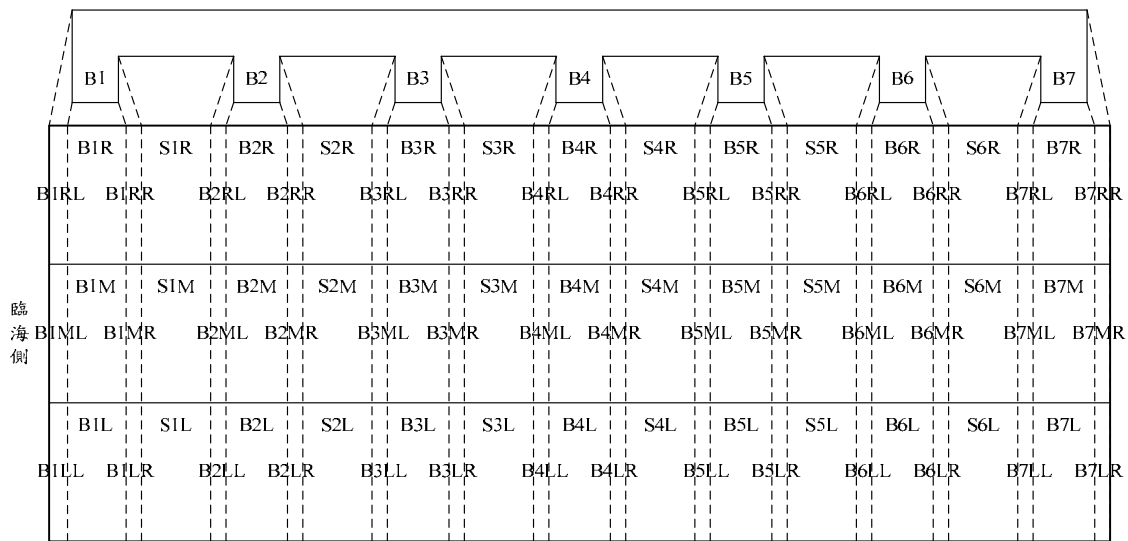


圖 4.22 岸肩底部目視檢測記錄方式

而對於墩柱、拋石護坡與海床之檢測，研究人員即於岸肩頂部拉設標註距離之繩索，以便潛水人員於水下檢測此些構件發現異狀時，進行水深之記錄。

2. 目視檢測記錄

各碼頭檢測結果表列如表 4-9 至表 4-11 所示，而各單元之檢測記錄如表 4-12 年所示。

表 4-9 基隆港西 2 號碼頭檢測結果簡表

碼頭 編號	單元編號	構件項目	異狀類型	異狀檢測結果		
				D	E	範圍
W2	B1	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.73 m ²
W2	B1	岸肩底部	剝落	2	1	
W2	B2	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.25 m ²
W2	B2	岸肩底部	剝落	2	1	
W2	B5	岸肩底部	剝落	2	1	0.15 m ²
W2	B6	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.06 m ²
W2	B10	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.03 m ²
W2	B12	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.05 m ²
W2	B18	岸肩底部	剝落	2	1	0.61 m ²
W2	B20	岸肩底部	剝落	2	1	0.09 m ²
W2	B21	岸肩底部	剝落	2	1	0.05 m ²
W2	B22	岸肩底部	剝落	2	1	0.73 m ²

表 4-10 基隆港西 3 號碼頭檢測結果簡表

碼頭 編號	單元 編號	構件 項目	異狀 類型	異狀檢測結果		
				D	E	範圍
W3	B1	岸肩底部	剝落	2	1	0.20 m ²
W3	B2	岸肩底部	剝落	2	1	0.15 m ²
W3	B3	岸肩底部	剝落	2	1	0.25 m ²
W3	B3	岸肩底部	腐蝕	4	1	
W3	B10	岸肩底部	剝落	2	1	0.15 m ²
W3	B11	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.15 m ²
W3	B11	岸肩底部	裂縫	4	1	
W3	B16	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.40 m ²
W3	B18	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.02 m ²
W3	B19	岸肩底部	剝落	2	1	0.50 m ²
W3	B20	岸肩底部	剝落	2	1	0.02 m ²

表 4-11 基隆港西 4 號碼頭檢測結果簡表

碼頭 編號	單元 編號	構件 項目	異狀 類型	異狀檢測結果		
				D	E	範圍
W4	B3	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.80 m ²
W4	B5	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.02 m ²
W4	B6	岸肩底部	腐蝕	2	1	0.05 m ²
W4	B8	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.01 m ²
W4	B9	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.05 m ²
W4	B10	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.08 m ²
W4	B11	岸肩底部	腐蝕	4	2	0.10 m ²
W4	B13	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.02 m ²
W4	B14	岸肩底部	腐蝕	4	2	0.50 m ²
W4	B15	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.05 m ²
W4	B16	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.08 m ²
W4	B17	岸肩底部	腐蝕	4	1	0.20 m ²
W4	B17	岸肩底部	剝落	2	1	

表 4-12 各單元構件檢測記錄範例

檢測日期：2008/06/24 天氣：晴

港灣名稱：基隆港		碼頭編號：西 2 號碼頭		檢測單元：B1										
檢測單位：交通部港灣技術研究中心				檢測人員：柯正龍、蘇吉立										
異狀簡圖														
臨 海 側														
異狀描述														
構件項目	異狀類型	異狀評估		位置	範圍/長度									
		D	E											
岸肩底部	腐蝕	4	1	S1R、S2R、S5L、S6L、S6R	0.73 m ²									
異狀照片														
S1R		S2R		S5L										
S6L		S6R												

4.9.2 鋼筋混凝土材料劣化檢測

1. 非破壞性試驗結果

表 4-13 為本研究於前述非破壞性試驗(包含電阻係數、鋼筋電位值量測、反彈錘試驗等)之量測結果。

表 4-13 電阻係數、鋼筋電位值量測、反彈錘試驗結果

	編號	平均反彈值 (推估強度)	腐蝕電位 (-mV)	電阻係數 (KΩ)
西 2 號 碼 頭	B7-1	34.69 (272)	267 434	7.8 53.3
	B7-2			
	B7-3			
	B15-1	35.87 (289)	—	16.8 80.0
	B15-2			
	B15-3			
	B15-4			
西 3 號 碼 頭	B2-1	33.18 (250)	412 605	20.6 56.5
	B2-2			
	B2-3			
	B14-1	33.25 (251)	344 503	4.1 79.9
	B14-2			
	B14-3			
	B14-4			
西 4 號 碼 頭	B15-1	34.97 (276)	245 405	3.4 60.2
	B15-2			
	B15-3			
	B15-4			
	B18-1	26.60 (162)	192 294	0.9 12.1

2. 破壞性試驗結果

(1)鑽心試體抗壓試驗

混凝土之抗壓強度為現行混凝土品質控制之指標，在假定混

凝土為均質材料之前提下，由混凝土單軸抗壓強度不但可知混凝土抗壓能力外，亦可評估混凝土之其他性質。例如抗壓强度高之混凝土，其彈性係數、抗拉強度、水密性及耐久性亦均較理想。

本研究的抗壓強度見表 4-14 所示。其可看出西 2 號碼頭之抗壓強度在 414 至 535 kg/cm² 之間，西 3 號碼頭除了一顆鑽心試體抗壓強度為 156 kg/cm² 外(有蜂窩現象)，最低為 327 kg/cm²，最高為 612 kg/cm²，而西 4 號碼頭之抗壓強度在 212 至 370 kg/cm² 之間。因為缺乏以前碼頭設計的抗壓強度的資料，只能提供目前的抗壓強度。

表 4-14 鑽心試體之抗壓強度

	編號	抗壓強度 (kg/cm ²)	備註
西 2 號 碼 頭	B7-1	465	
	B7-2	491	
	B7-3	414	
	B15-1	462	
	B15-2	520	
	B15-3	535	
	B15-4	435	
西 3 號 碼 頭	B2-1	501	
	B2-2	612	
	B2-3	327	
	B14-1	340	
	B14-2	—	(試體有蜂窩)
	B14-3	437	
	B14-4	376	
西 4 號 碼 頭	B15-1	321	
	B15-2	360	
	B15-3	370	
	B15-4	355	
	B18-1	248	
	B18-3	246	
	B18-4	212	

(2)鑽心試體超音波量測

超音波速測定，係藉由超音波脈動之傳遞以非破壞性之方式量測，由其傳遞速度瞭解混凝土之均勻性及組織之緻密性。量測結果整理如表 4-15 所示。從表中可看其脈波速率均大於 4000 m/sec(除了編號 W4-18-4 為 3992 m/sec 外)，由表 4-9 當超音波脈波速度與混凝土品質之關係 >3000 m/sec 其混凝土品質均屬優良，顯示本次量測試體品質均屬優良。

表 4-15 鑽心試體之超音波脈波速度(m/sec)

	編號	超音波速(m/sec)	備註
西 2 號 碼 頭	B7-1	4699	
	B7-2	4717	
	B7-3	4574	
	B15-1	4720	
	B15-2	4777	
	B15-3	4635	
	B15-4	4519	
西 3 號 碼 頭	B2-1	4591	
	B2-2	4655	
	B2-3	4341	
	B14-1	4607	
	B14-2	—	(試體有蜂窩)
	B14-3	4461	
	B14-4	4465	
西 4 號 碼 頭	B15-1	4428	
	B15-2	4254	
	B15-3	4357	
	B15-4	4252	
	B-18-1	4257	
	B18-3	4126	
	B18-4	3992	

(3)鑽心試體氯離子量測

本研究為瞭解氯離子侵入碼頭岸壁混凝土的深度，於混凝土鑽心試體靠海側的面起每 1 公分取混凝土粉末，共取 7 公分深度，檢測結果如表 4-16 所示。

表 4-16 基隆港西 2 至西 4 號碼頭氯離子檢測(kg/m³)

深度 試體 編號	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm
W2-15-2	0.57	2.54	0.47	1.15	0.94	0.51	0.78
W2-15-4	0.65	1.87	2.46	1.63	1.68	0.60	0.15
W3-2	0.79	0.97	—	0.98	0.10	0.21	0.04
W3-14	1.48	2.27	0.45	0.30	0.17	0.21	0.10
W4-15-1	0.87	2.04	0.82	0.46	0.44	0.19	0.13
W4-18-1	0.62	1.34	1.23	0.22	0.99	0.84	0.48

4.9.3 碼頭結構安全分析

1. 上部結構(碼頭岸肩)安全評估

由於基隆港西 2 至西 4 號碼頭年齡至少 60 年以上，屬老舊之結構設施，同時相關之原始設計參數、條件多不可考；此外，現有圖說資料僅有手繪結構圖，且圖紙內大部分尺寸標註因字體模糊而無法確切判讀，此皆形成分析上之先天限制。故於分析中各項須假設之條件將以保守為之。

(1)分析模式

方向定義：本次分析以碼頭法線方向為 x 向，垂直碼頭方向為 y 向，而垂直海平面之方向為 z 向。

分析原則與分析模型：依碼頭構造圖，上部結構由 6 或 7 支在 y 向連續之大梁所組成，並跨於相鄰兩井筒式墩柱(部分西 2 號碼頭墩柱)或牆式墩柱(其餘墩柱)，故其結構行為可以簡支梁分析之，且分析結果將較偏保守側。

由於上部結構 x 及 y 向勁度大，應無強度上之疑慮，故此兩方向主要考量為水平地震力導致上部結構掉落之狀況(類似橋梁之落橋)，惟此兩方向因結構形狀之束制，因地震力而使碼頭面版掉落之機率應屬極低。因此，後續之分析評估以將大梁承载力為主要考量。

(2)分析評估

分析評估依據民國 89 年交通部頒「港灣構造物設計基準—碼頭設計基準及說明」及 84 年交通部運輸研究所「港灣構造物設計基準研究—碼頭設計基準及說明草案」相關內容。碼頭面版所承受之車輛活載重參考 90 年交通部頒「公路橋梁設計規範」。分析之流程如圖 4.23 所示。

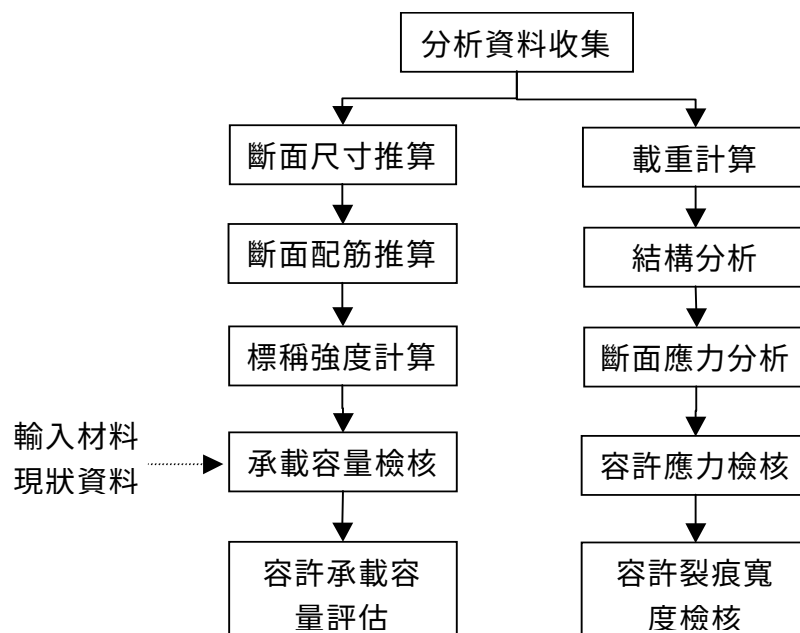


圖 4.23 碼頭上部結構分析流程圖

- a. 自重：自重可依材料體積及單位體積重量計算之。材料之單位體積重量依以下數值：鋼筋混凝土 2.45 t/m^3 ，(b)瀝青混凝土 2.3 t/m^3 。

自重應包含大梁、鋼筋混凝土版及瀝青混凝土面層等。因相關圖說無明顯尺寸標註，自重計算時所需尺寸乃依僅有圖說(如圖 4.24)相對比例推算而得。大梁重量依斷面尺寸乘上鋼筋混凝土單位重而得；鋼筋混凝土版厚依圖估算約為 30cm；一般瀝青混凝土磨耗層之厚度為 5 cm，考量本案碼頭已歷經多次維修，實際厚度不詳，故瀝青混凝土厚度加計 25%，為 6.25 cm。

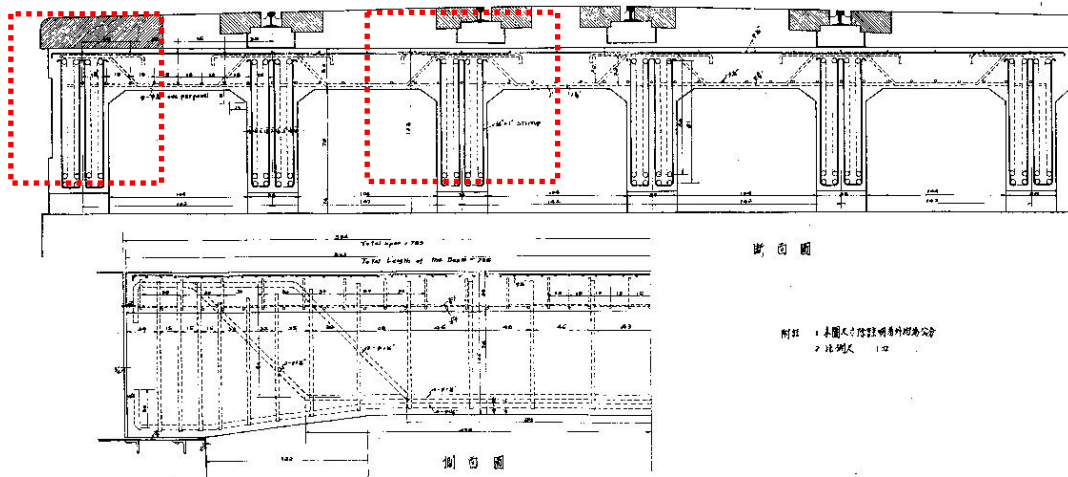


圖 4.24 碼頭面板結構圖

- b. 裝載載重：一般散雜貨碼頭，為設計方便，碼頭面裝載載重可採 $1\sim 2 \text{ t/m}^2$ 。本研究以最大值 2 t/m^2 進行相關分析，故分析結果將較為保守。
- c. 活載重：西 2 號碼頭為臺馬輪停靠之客運碼頭，考量之活載重為群眾載重，其單位面積載重為 0.5 t/m^2 ；西 3 號、西 4 號碼頭為散裝碼頭，考量之活載重為貨車、拖車等，故載重大小參考公路橋梁設計規範辦理，採 HS20-44 $\times$ 1.25 之貨車載重。
- d. 載重組合：依碼頭設計基準，碼頭上部結構設計應檢討之載重組合包含：Comb1：自重+裝載載重及 Comb2：自重+活載重

- e. 安全評估準則：依強度設計法進行斷面之極限強度檢核，即 ϕ 標稱強度 $>$ 設計載重；或依容許應力設計法進行容許應力檢核及容許裂痕寬度檢核，即設計應力 $<$ 容許應力，且工作應力下梁底裂痕寬度 $<$ 容許裂痕寬度。

(3)安全分析結果

- a. 載重分析：依上述載重計算原則，各碼頭分析斷面自重所造成之最大彎矩及剪力如表 4-17 所示，由於上部結構大梁間距為 1.44 m，而造成活載重之貨車輪距為 1.8 m，大於梁間距，故大梁所受最大載重僅為單排輪重(軸重之半)，而不需考量軸重。另由表 4-17 可知，各碼頭之分析載重結果相同，故本節後續之結果僅以西 2 至 4 號碼頭逕行表示，不針對不同碼頭個別分列。

表 4-17 岸肩載重所造成最大彎矩及剪力

碼頭	西 2 號碼頭 (井筒式)		西 2 號碼頭 (牆式墩柱式)		西 3 號碼頭		西 4 號碼頭	
碼頭面寬(cm)	909		772		772		772	
分析斷面	T 型梁	Γ 型梁	T 型梁	Γ 型梁	T 型梁	Γ 型梁	T 型梁	Γ 型梁
MDL (t-m)	26.22	19.02	26.22	19.02	26.22	19.02	26.22	19.02
VDL (t)	13.11	9.51	13.11	9.51	13.11	9.51	13.11	9.51
MCL (t-m)	23.04	14.72	23.04	14.72	23.04	14.72	23.04	14.72
VCL (t)	11.52	7.36	11.52	7.36	11.52	7.36	11.52	7.36
MLL (t-m)	19.69	19.69	19.69	19.69	19.69	19.69	19.69	19.69
VLL (t)	13.40	13.40	13.40	13.40	13.40	13.40	13.40	13.40

- b. 載重組合：因碼頭設計準則內並無載重組合之載重係數相關說明，故依混凝土結構載重組合之規定。其中，將裝載載重視為活載重之一種。

(a)檢核極限強度時採用之載重組合如下：

(Comb)s1：1.2×自重+1.6×裝載載重

(Comb)s2：1.2×自重+1.6×活載重

(b)檢核容許應力時採用之載重組合如下：

(Comb)a1：1.0×自重+1.0×裝載載重

(Comb)a2：1.0×自重+1.0×活載重

由分析載重可知，進行 T 型梁檢核時，彎矩由載重組合 (Comb)s1 及 (Comb)a1 控制，剪力則由載重組合 (Comb)s2 及 (Comb)a2 控制；進行 Γ 型梁檢核時，無論彎矩或剪力皆由載重組合 (Comb)s2 及 (Comb)a2 控制，其相關組合載重表列如表 418 所示。

表 4-18 西 2 至 4 號碼頭岸肩設計組合載重

檢核原理	設計載重	T 型梁	Γ 型梁
強度設計法	Md (t-m)	68.33	54.33
	Vd (t)	37.17	32.85
容許應力法	Md (t-m)	49.26	38.71
	Vd (t)	26.51	22.81

- c. 分析斷面及標稱強度：碼頭上部結構可視為簡支梁分析之。西 2 至 4 號碼頭上部結構跨徑相同且大梁形式相同，僅在碼頭面寬度有所差異(西 2 號碼頭部分碼頭面寬為 909 cm，其餘碼頭面則同為 772 cm，惟此差異不影響本案分析結果。

碼頭上部結構由六支連續大梁所組成，內梁為雙翼之 T 型梁，外梁為單翼之 Γ 型梁。進行相關分析評估時，以單支 T 型或 Γ 型梁斷面加以計算。從相關結構斷面圖說僅可判讀所用主筋數量為 8 支，但所用主筋及箍筋尺寸無法判讀，故分析時將就不同鋼筋號數之狀況下，評估岸肩結構之安全性。

依規範規定，最小鋼筋量為 $\frac{14}{f_y} b_w d = 20.50 \text{ cm}^2$ ，而當主筋

採 #6 鋼筋配置時，主筋量 $A_s = 22.92 \text{ cm}^2$ ，稍大於最小鋼筋量；而後續另針對不同鋼筋配置之分析結果進行相關計算及評估，以求得不同鋼筋配置下，分析斷面之承載容量。箍筋尺寸依圖說估算取 #4 鋼筋，間距為 15 cm。

依上述分析斷面及其配筋情形，分析斷面之強度如表 4-19 下所示。

表 4-19 西 2 至 4 號碼頭設計載重

鋼筋 配置	T 型梁強度		Γ 型梁強度	
	$\phi_M \text{ Mn(t-m)}$	$\phi_V \text{ Vn(t)}$	$\phi_M \text{ Mn(t-m)}$	$\phi_V \text{ Vn(t)}$
8-#6	58.48	41.80	58.07	41.80
8-#7	78.67	41.80	77.93	41.80
8-#8	102.45	41.80	101.17	41.80
8-#9	130.00	41.80	127.92	41.80

註： $\phi_M = 0.9$, $\phi_V = 0.75$

d. 檢核結果

(a) 極限強度檢核

參照表 4-18 及表 4-19 之結果，依強度設計法精神檢核之結果如表 4-20 所示。

表 4-20 西 2 至 4 號碼頭面版結構強度檢核結果

鋼筋 配置	T 型梁		Γ 型梁	
	$\phi_M M_n(t-m) > M_d$	$\phi_V V_n(t) > V_d$	$\phi_M M_n(t-m) > M_d$	$\phi_V V_n(t) > V_d$
8-#6	NG	Yes	Yes	Yes
8-#7	Yes	Yes	Yes	Yes
8-#8	Yes	Yes	Yes	Yes
8-#9	Yes	Yes	Yes	Yes

(b)容許應力及容許裂痕檢核

依據碼頭設計基準，鋼筋容許彎曲應力為 $f_b = 1400$ kg/cm²，混凝土容許壓應力為 $f_{cb} = 94.5$ kg/cm²；而於設計載重下(表 4-31 第 4、5 列)，分析斷面鋼筋所受應力 f_s 及混凝土所受壓應力 f_c ，及其容許應力檢核結果如下表所示。

表 4-21 西 2 至 4 號碼頭容許應力檢核結果

鋼筋 配置	T 型梁				Γ 型梁			
	f_s (kg/cm ²)	f_c (kg/cm ²)	$f_b > f_s$	$f_{cb} > f_c$	f_s (kg/cm ²)	f_c (kg/cm ²)	$f_b > f_s$	$f_{cb} > f_c$
8-#6	1520.24	17.43	NG	Yes	1439.77	25.84	NG	Yes
8-#7	1085.40	14.84	Yes	Yes	1047.97	22.42	Yes	Yes
8-#8	801.58	12.87	Yes	Yes	787.90	19.80	Yes	Yes
8-#9	608.14	11.33	Yes	Yes	607.76	17.72	Yes	Yes

2. 下部結構安全評估

(1)分析流程：藉由彙整現況檢測資料與相關設計資料進行分析模式之建立，並探討下部結構之受力行為，及依據碼頭規範進行穩定分析，分析流程如圖 4.25 所示。

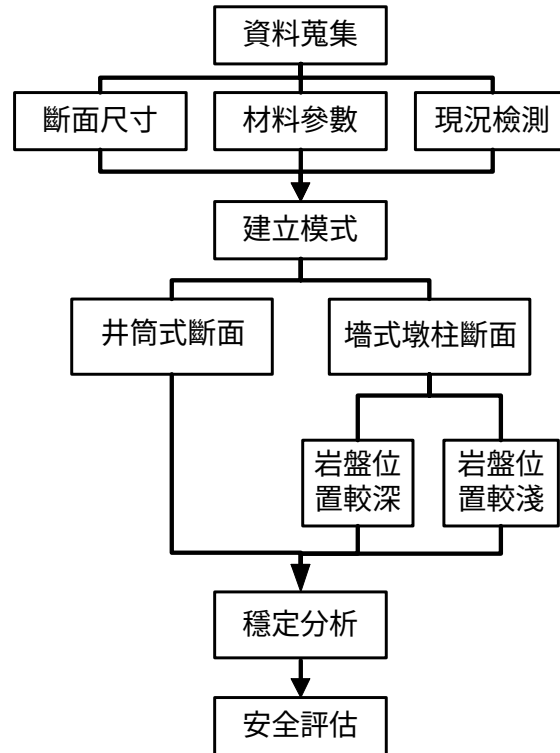


圖 4.25 下部結構分析流程

(2)材料參數：依據基隆港西 2 至西 4 號碼頭設計斷面圖資料，碼頭下部結構主要由砌石拋石、硬石拋石、袋裝混凝土、砌石與拋石等材料所構成。材料參數依據碼頭設計基準。

(3)模式建立：西 2 至西 4 號碼頭結構型式可分為牆式墩柱斷面(岩盤位置較深,佔 55.5%)、牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺,佔 40.5%)、井筒式斷面(佔 4%)三種類型（如圖 4.26）。以下依據基隆港務局提供之設計斷面圖，並參考港務局提供之「基隆港西 2 至西 4 號客運專區規劃及旅客中心新建工程地質鑽探及試驗分析工作」報告，進行分析斷面模式之建立。

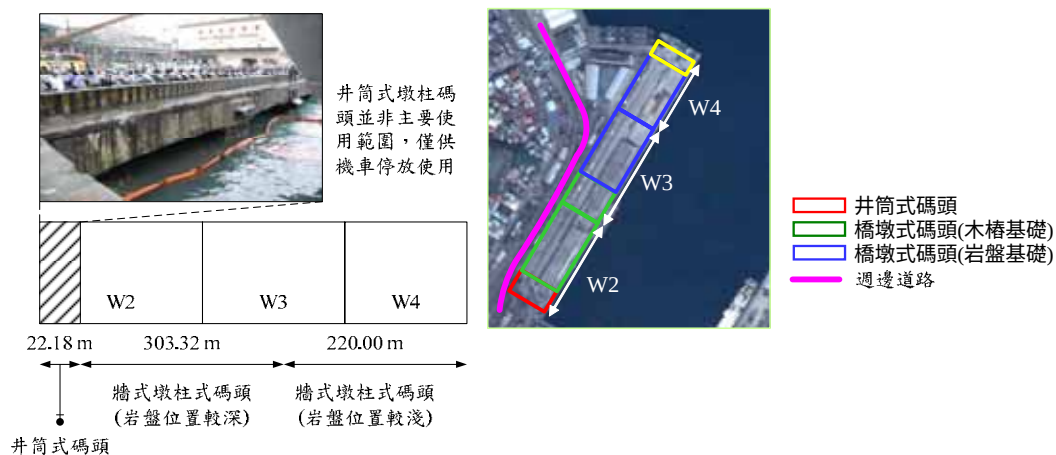


圖 4.26 基隆港西 2 至 4 號碼頭各結構型式所佔長度

a. 牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)

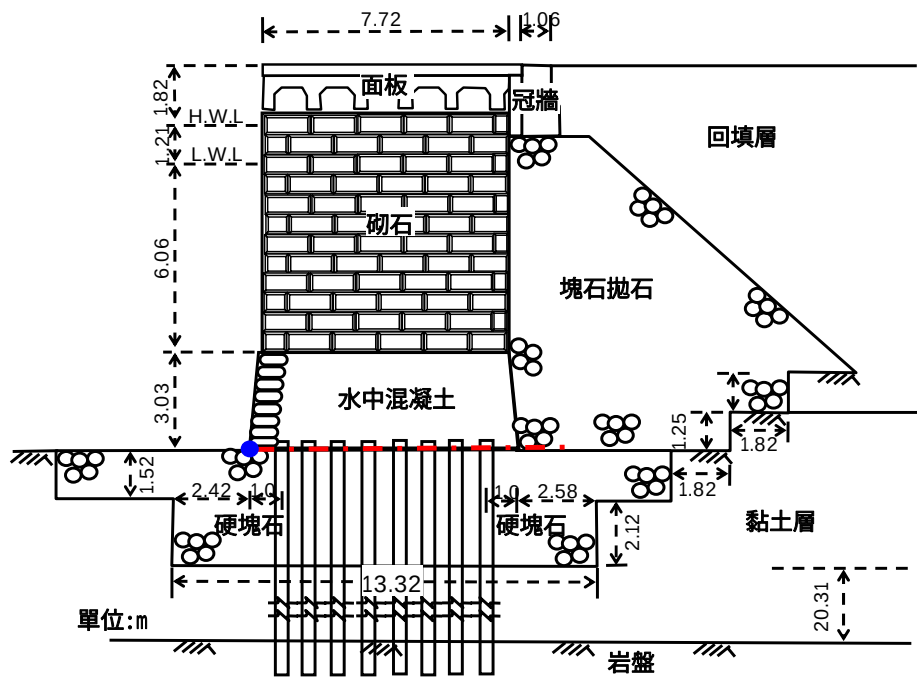
主要分布於西 2 號碼頭里程 22.18m ~ 204.5m 與西 3 號碼頭里程 0m ~ 120m，其下部結構係由砌石堆疊成牆式結構，與重力式碼頭結構較相似。分析斷面模式如圖 4.27 所示。

b. 牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)

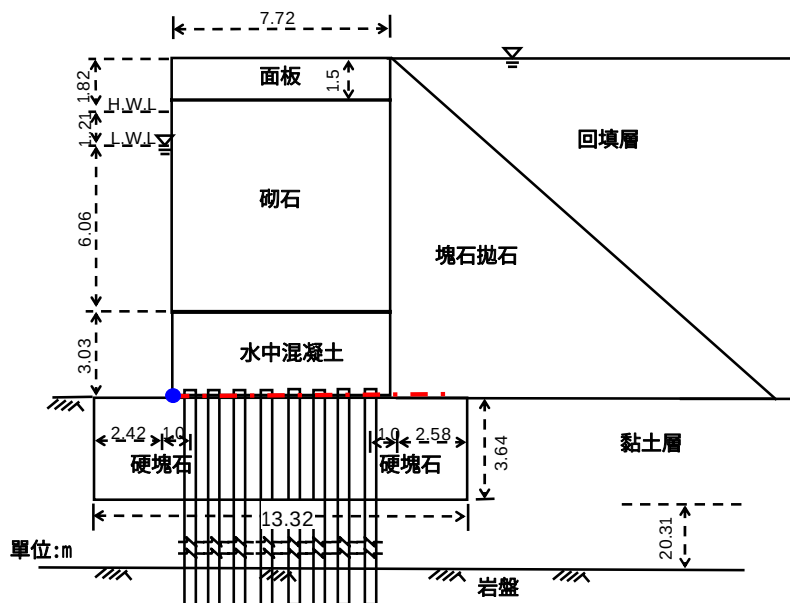
主要分布於西 3 號碼頭里程 120m ~ 183m 與西 3 號碼頭里程 0m ~ 157m，其下部結構係由砌石堆疊成牆式結構，與重力式碼頭結構較相似。分析斷面模式如圖 4.28 所示。

c. 井筒式斷面

主要分布於西 2 號碼頭里程 0m ~ 22.18m，其下部結構係由砌石堆疊成中空圓柱所構成，與直樁棧橋式碼頭結構較相似斷面如圖 4.29 所示意。

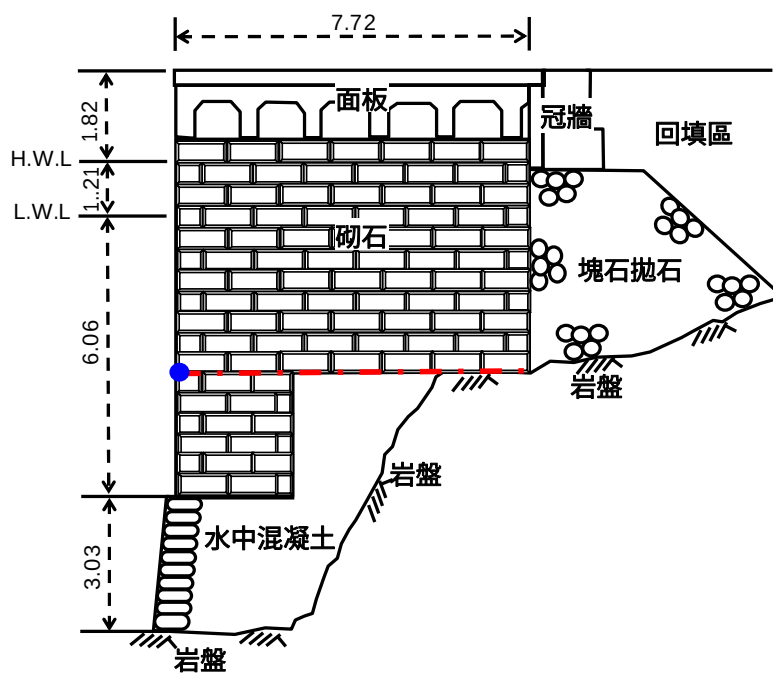


(a)設計斷面

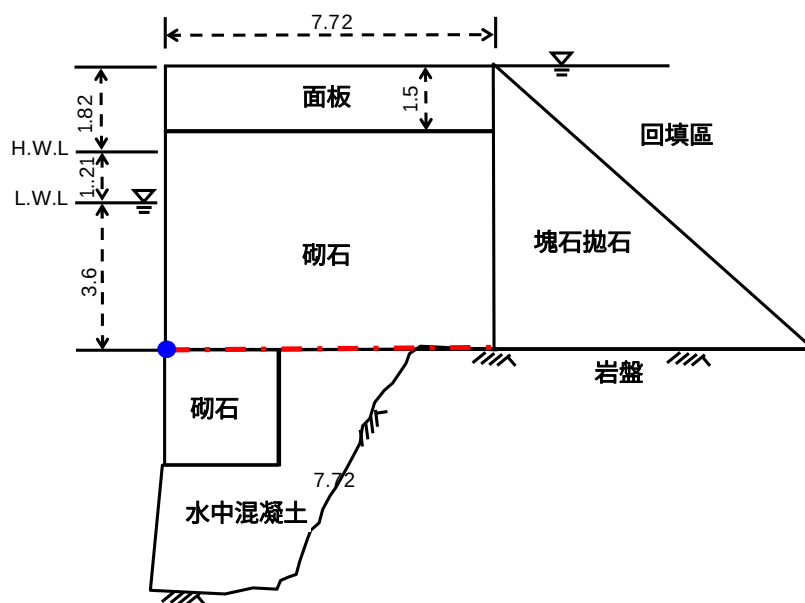


(b)簡化分析斷面

圖 4.27 牆式墩柱斷面模式(岩盤深度較深)

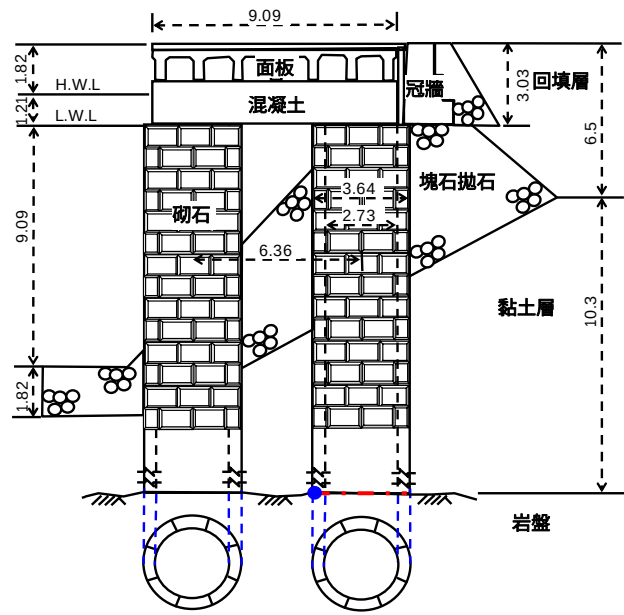


(a)設計斷面

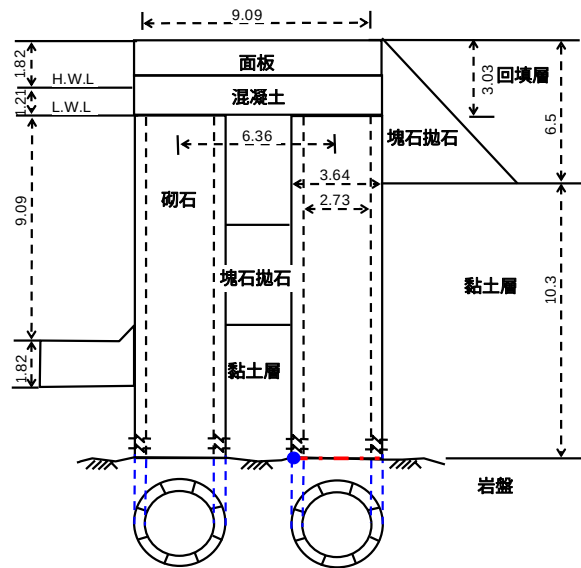


(b)簡化分析斷面

圖 4.28 牆式墩柱斷面模式(岩盤深度較淺)



(a)設計斷面



(b)簡化分析斷面

圖 4.29 井筒式斷面模式

(4)模式分析

a. 牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)

依據民國 89 年交通部頒「港灣構造物設計基準—碼頭設計基準及說明」（以下簡稱碼頭設計基準）及 84 年交通部運輸研究所「港灣構造物設計基準研究—碼頭設計基準及說明草案」進行穩定分析。

(a)滑動分析：依據碼頭設計基準第六篇第 4 章第 4.3 節，壁體滑動安定須滿足下式：

$$S.F \leq \frac{\mu \cdot W}{P} \dots\dots\dots(3-3)$$

式中：S.F.：安全係數，常時 1.2

μ ：壁體底面與基礎之摩擦係數

W：作用於壁體之垂直合力(t/m)

P：作用於壁體之水平合力(t/m)

由上述資料作用於壁體之垂直合力包含面板重量、牆式墩柱、水中混凝土與裝載載重，而作用於壁體之水平合力包含殘留水壓、側向土壓力，各相關作用力資料詳表 4-22、表 4-23。

表 4-22 牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)作用於壁體之垂直力

作用外力名稱	作用力大小(t/m)
裝載載重	58.00
面板重量	68.18
砌石牆重	145.90
水中混凝土重	53.80
浮力	79.67

表 4-23 牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)作用於壁體之水平力

作用外力名稱	作用力大小(t/m)
殘留水壓	32.13
主動土壓力	16.18
回填區荷載產生之側向力	5.23

利用滑動安定計算式則得到安全係數為

$$F.S. = \frac{0.5 \cdot (58 + 68.18 + 145.9 + 53.8 - 79.67)}{(32.13 + 16.18 + 5.33)} = 2.29 \geq 1.2$$

(b)傾覆分析：依據碼頭設計基準第六篇第 4 章第 4.3 節，壁體傾覆安定須滿足下式：

$$S.F \leq \frac{W \cdot \bar{x}}{P \cdot \bar{y}} \dots\dots\dots(3-4)$$

式中 S.F：安全係數，常時 1.2

μ ：壁體底面與基礎之摩擦係數

W：作用於壁體之垂直合力(t/m)

P：作用於壁體之水平合力(t/m)

$\bar{x}$ ：垂直合力作用力臂(m)

$\bar{y}$ ：垂直合力作用力臂(m)

各相關作用力矩資料詳表 4-24、表 4-25。

表 4-24 牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)抵抗力矩

作用外力名稱	作用力 (t/m)	力臂(m)	彎矩(t-m)
裝載載重	58.00	3.86	223.86
面板重量	68.18	3.86	263.18
砌石牆重	145.90	3.86	563.18
水中混凝土重	53.80	3.86	207.67

表 4-25 牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)驅動力矩

作用外力名稱	作用力(t/m)	力臂(m)	彎矩(t-m)
浮力	79.67	3.86	307.53
殘留水位以上水壓力	4.59	10.10	46.36
殘留水位以下水壓力	27.54	4.55	125.17
側向土壓力	16.18	4.04	65.27
回填區荷載產生之側向力	5.23	6.06	32.30

利用傾覆安定計算式則得到安全係數為

$$F.S. = \frac{(223.86 + 263.18 + 563.18 + 207.67)}{(307.53 + 46.36 + 125.17 + 65.37 + 32.3)} = 2.18 \geq 1.2$$

(c)容許回填區荷載分析：計算滿足規範中安全係數要求下，
回填區上方之最大容許荷載。

$$\text{最大容許荷載}(q) = \min[\text{FS(滑動)}=1.2; \text{FS(傾覆)}=1.2]$$

(i)當滑動安全係數為 1.2 時

$$F.S. = 1.2 = \frac{0.5 \cdot (58 + 68.18 + 145.9 + 53.8 - 79.67)}{(32.13 + 16.18 + q \cdot 12.12 \cdot 0.22)}$$

$$q = 20.35(t/m^2)$$

(ii)當傾覆安全係數為 1.2 時

$$F.S. = 1.2 = \frac{(223.86 + 263.18 + 563.18 + 207.67)}{(307.53 + 46.36 + 125.17 + 65.37 + q \cdot 12.12 \cdot 0.22 \cdot 6.06)}$$

$$q = 31.18(t/m^2)$$

則最大容許荷載(q)=min[20.35; 31.18]=20.35(t/m²)

b. 牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)：分析依據規範同牆式墩柱斷面(岩盤位置較深)

(a)滑動分析：作用於壁體之垂直合力包含面板重量、牆式墩柱、水中混凝土與裝載載重，而作用於壁體之水平合力包含殘留水壓、側向土壓力，各相關作用力資料詳表 4-26、表 4-27。

表 4-26 牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)作用於壁體之垂直力

作用外力名稱	作用力大小(t/m)
裝載載重	58.00
面板重量	68.18
砌石牆重	98.61
浮力	37.13

表 4-27 牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)作用於壁體之水平力

作用外力名稱	作用力大小(t/m)
殘留水壓	15.5
主動土壓力	4.84
回填區荷載產生之側向力	2.92

利用滑動安定計算式則得到安全係數為

$$F.S. = \frac{0.5 \cdot (58 + 68.18 + 98.61 - 37.13)}{(15.5 + 4.84 + 2.92)} = 4.03 \geq 1.2$$

(b)傾覆分析：各相關作用力矩資料詳表 4-28、表 4-29。

表 4-28 牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)抵抗力矩

作用外力名稱	作用力大小(t)	力臂(m)	彎矩(t-m)
裝載載重	58.00	3.86	223.86
面板重量	68.18	3.86	263.18
砌石牆重	98.61	3.86	380.65

表 4-29 牆式墩柱斷面(岩盤位置較淺)驅動力矩

作用外力名稱	作用力(t/m)	力臂(m)	彎矩(t-m)
浮力	37.13	3.86	143.32
殘留水位以上水壓力	4.59	4.61	21.16
殘留水位以下水壓力	10.19	1.80	18.34
側向土壓力	4.84	2.21	10.70
回填區荷載產生之側向力	2.92	3.315	9.68

利用傾覆安定計算式則得到安全係數為

$$F.S. = \frac{(223.86 + 263.18 + 380.65)}{(143.32 + 21.16 + 18.34 + 10.7 + 9.68)} = 4.27 \geq 1.2$$

(c)容許回填區荷載分析：計算滿足規範中安全係數要求下，
回填區上方之最大容許荷載。

最大容許荷載(q)=min[FS(滑動)=1.2; FS(傾覆)=1.2]

(i)當滑動安全係數為 1.2 時

$$F.S. = 1.2 = \frac{0.5 \cdot (58 + 68.18 + 98.61 - 37.13)}{(15.5 + 4.84 + q \cdot 6.63 \cdot 0.22)}$$
$$q = 39.66$$

(ii)當傾覆安全係數為 1.2 時

$$F.S. = \frac{(223.86 + 263.18 + 380.65)}{(143.32 + 21.16 + 18.34 + 10.7 + q \cdot 6.63 \cdot 0.22 \cdot 3.315)}$$
$$q = 43.92$$

則最大容許荷載(q)=min[39.66; 43.92]=39.66(t/m²)

c.井筒式斷面：依據碼頭規範進行下部現況結構穩定分析

(a)滑動分析：作用於壁體之垂直合力包含面板重量、牆式墩柱、水中混凝土與裝載載重，而作用於壁體之水平合力包含殘留水壓、側向土壓力，各相關作用力資料詳表 4-30、表 4-31。

表 4-30 井筒式斷面作用於壁體之垂直力

作用外力名稱	作用力大小\ (t/m)
裝載載重	68.29
面板重量	68.18
混凝土	31.99
砌石牆重	62.40
內填砂重	135.23
浮力	111.24

表 4-31 井筒式斷面作用於壁體之水平力

作用外力名稱	作用力大小\ (t/m)
殘留水壓	46.31
主動土壓力	55.54
被動土壓力	94.75
回填區荷載產生之側向力	20.81

利用滑動安定計算式則得到安全係數為

$$F.S. = \frac{0.5 \times (68.29 + 68.18 + 31.99 + 62.4 + 135.33 - 111.24) + 94.75}{(46.31 + 55.54 + 20.87)} = 1.81 \geq 1.2$$

(b)傾覆分析：各相關作用力矩資料詳表 4-32、表 4-33。

表 4-32 井筒式斷面抵抗力矩

作用外力名稱	作用力大小(t)	力臂(m)	彎矩(t-m)
裝載載重	68.29	4.55	310.37
面板重量	68.18	4.55	309.89
混凝土	31.99	4.55	145.28
砌石牆重(A)	31.20	7.27	226.82
砌石牆重(B)	31.20	1.82	56.78
內填砂重(A)	67.67	7.27	491.92
內填砂重(B)	67.67	1.82	123.15
被動側向土壓力(塊石拋石) $3.92 \times 18.03 / 2 \times (3.92 / 3 + (8.6 - 3.92)) =$			211.56
被動側向土壓力(黏土) $10.52 \times (8.6 - 3.92)^2 / 2 + (14.87 - 10.52) \times (8.6 - 3.92) \times 2 / 6 =$			131.09

表 4-33 井筒式斷面驅動力矩

作用外力名稱	作用力(t)	力臂(m)	彎矩(t-m)
浮力	11.00	4.55	50.00
浮力(A)	50.12	7.27	364.37
浮力(B)	50.12	1.82	91.22
殘留水位以上水壓力	4.59	14.78	67.84
殘留水位以下水壓力	41.72	6.89	287.24
主動側向土壓力(塊石拋石) $1.8 \times 8.2 / 2 \times (8.2 / 3 + (16.8 - 8.2)) =$			83.64
主動側向土壓力(黏土層) $1.6 \times (16.8 - 8.2)^2 / 2 + (9.6 - 1.6) \times (16.8 - 8.2) \times 2 / 6 =$			157.78
回填區荷載產生之側向力 $0.44 \times 8.2 \times (8.2 / 2 + (16.8 - 8.2)) + 2 \times (16.8 - 8.2) \times 2 / 2 =$			119.78

利用傾覆安定計算式則得到安全係數為

$$F.S. = \frac{(310.37 + 309.89 + 145.38 + 226.82 + 56.78 + 491.92 + 123.15 + 211.56 + 131.09)}{(50 + 364.37 + 91.22 + 67.84 + 287.24 + 83.64 + 157.78 + 119.78)} = 1.64 \geq 1.2$$

(c)容許回填區荷載分析：計算滿足規範中安全係數要求下，
回填區上方之最大容許荷載。

最大容許荷載(q)=min[FS(滑動)=1.2; FS(傾覆)=1.2]

(i)當滑動安全係數為 1.2 時

$$F.S. = 1.2 = \frac{0.5 \times (68.29 + 68.18 + 31.99 + 62.4 + 135.33 - 111.24) + 94.75}{(46.31 + 55.54 + (q \cdot 0.22 \cdot 8.2 + q \cdot (16.8 - 8.2)))}$$

$$q = 8.01(t/m^2)$$

(ii)當傾覆安全係數為 1.2 時

$$F.S. = 1.2 = \frac{(310.37 + 309.89 + 145.38 + 226.82 + 56.78 + 491.92 + 123.15 + 211.56 + 131.09)}{(50 + 364.37 + 91.22 + 67.84 + 287.24 + 83.64 + 157.78 + q \cdot 0.22 \cdot 8.2 \cdot 12.7 + q \cdot 36.98)}$$

$$q = 9.51(t/m^2)$$

則最大容許荷載(q)=min[8.01; 9.51]=8.01(t/m²)

(5)下部結構分析結果彙整

a. 牆式橋墩斷面(岩盤深度較深)

(a)在依據設計準則建議之材料參數下，其抗壁體滑動安全係數為 2.29，抗壁體傾覆安全係數為 2.18。

(b)滿足設計準則安全係數 1.2 要求下，最大容許回填區荷載 20.35 t/m²。

b. 牆式橋墩斷面(岩盤深度較淺)

(a)在依據設計準則建議之材料參數下, 其抗壁體滑動安全係數為 4.03, 抗壁體傾覆安全係數為 4.27。

(b)滿足設計準則安全係數 1.2 要求下, 最大容許回填區荷載 39.66 t/m^2 。

c.井筒式斷面

(a)在依據設計準則建議之材料參數下, 其抗壁體滑動安全係數為 1.81, 抗壁體傾覆安全係數為 1.64。

(b)滿足設計準則安全係數 1.2 要求下, 最大容許回填區荷載 8.01 t/m^2 。

3. 拋石護坡安全評估

(1)分析流程：

藉由彙整現況檢測資料與相關設計資料進傑分析模式之建立, 並利用有限元素分析探討拋石護坡之受力行為, 及依據碼頭規範進行邊坡穩定分析, 分析流程如圖 4.30 所示。

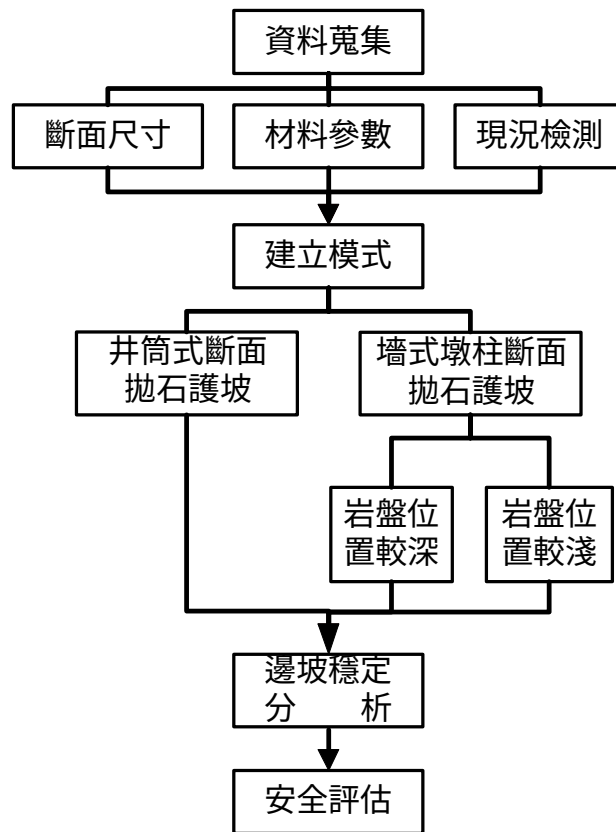


圖 4.30 拋石護坡分析流程

(2)材料參數：材料參數參照碼頭設計基準。

(3)模式建立：同下部結構分析

a. 牆式墩柱斷面之拋石護坡(岩盤位置較深)

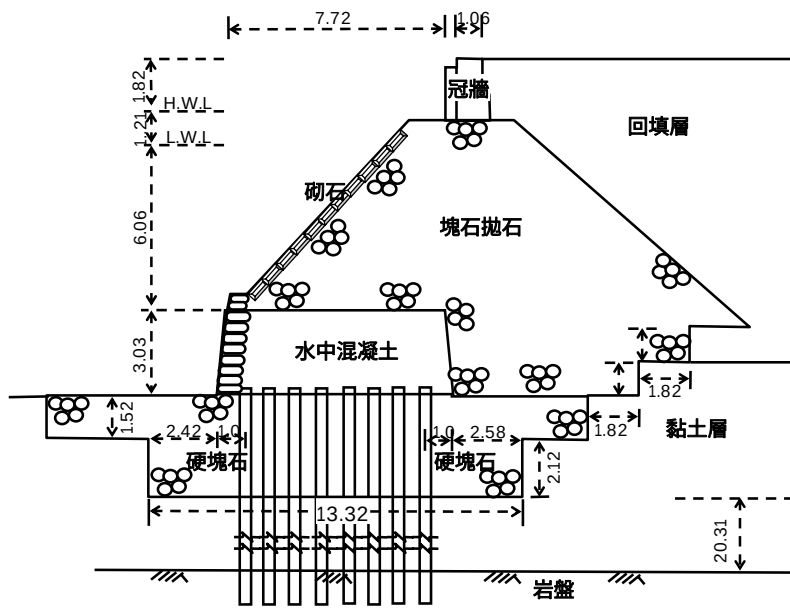
主要分布於西 2 號碼頭里程 22.18 m ~ 204.5 m 與西 3 號碼頭里程 0 m ~ 120 m。分析斷面模式如圖 4.31 所示。

b. 牆式墩柱斷面之拋石護坡(岩盤位置較淺)

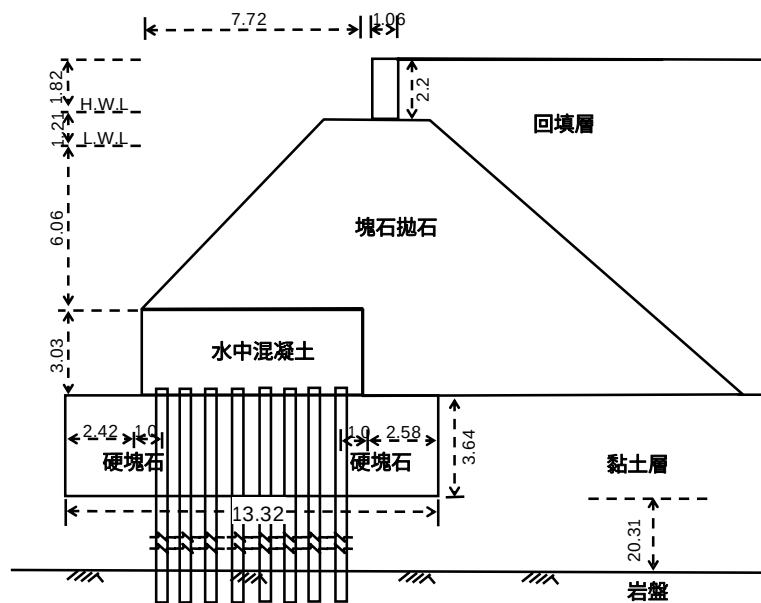
主要分布於西 3 號碼頭里程 120 m ~ 183 m 與西 3 號碼頭里程 0 m ~ 157 m。分析斷面模式如圖 4.32 所示。

c. 井筒式斷面之拋石護坡

主要分布於西 2 號碼頭里程 0 m ~ 22.18 m，斷面如圖 4.33 所示意。

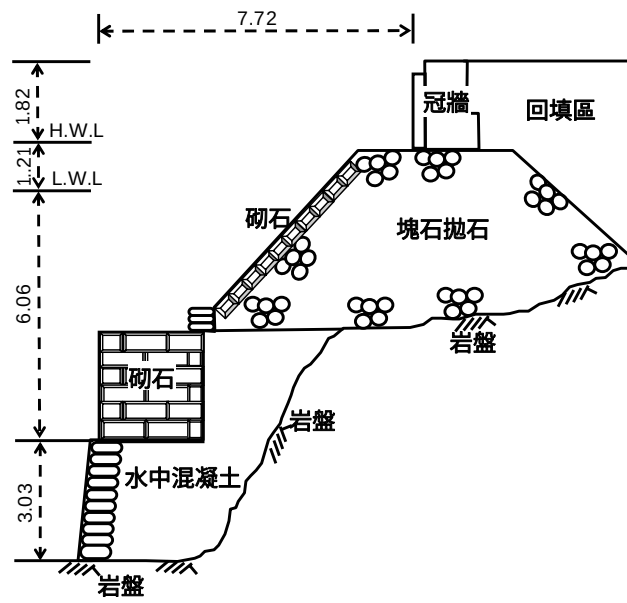


(a)設計斷面

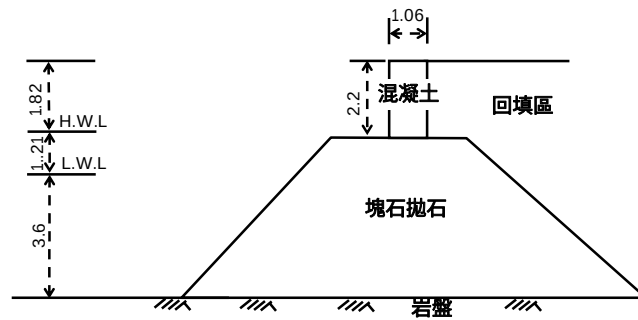


(b)簡化分析斷面

圖 4.31 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較深)

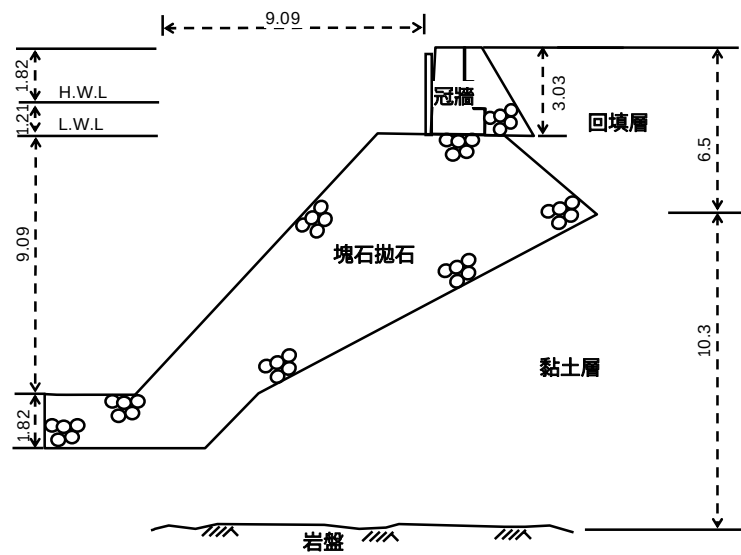


(a)設計斷面

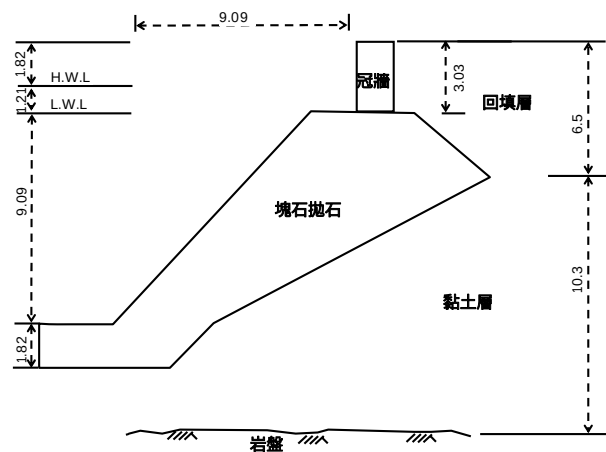


(b)簡化分析斷面

圖 4.32 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較淺)



(a)設計斷面



(b)簡化分析斷面

圖 4.33 井筒式斷面模式之拋石護坡

(4)模式分析

a. 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較深)

針對拋石護坡穩定性之分析，係依據碼頭設計準則第四篇第 6 章斜面之安定，並利用數值分析模式進行計算，由原設

計斷面其坡度為 42 度，拋石塊之摩擦角為 40 度，相關分析成果如圖 4.34。

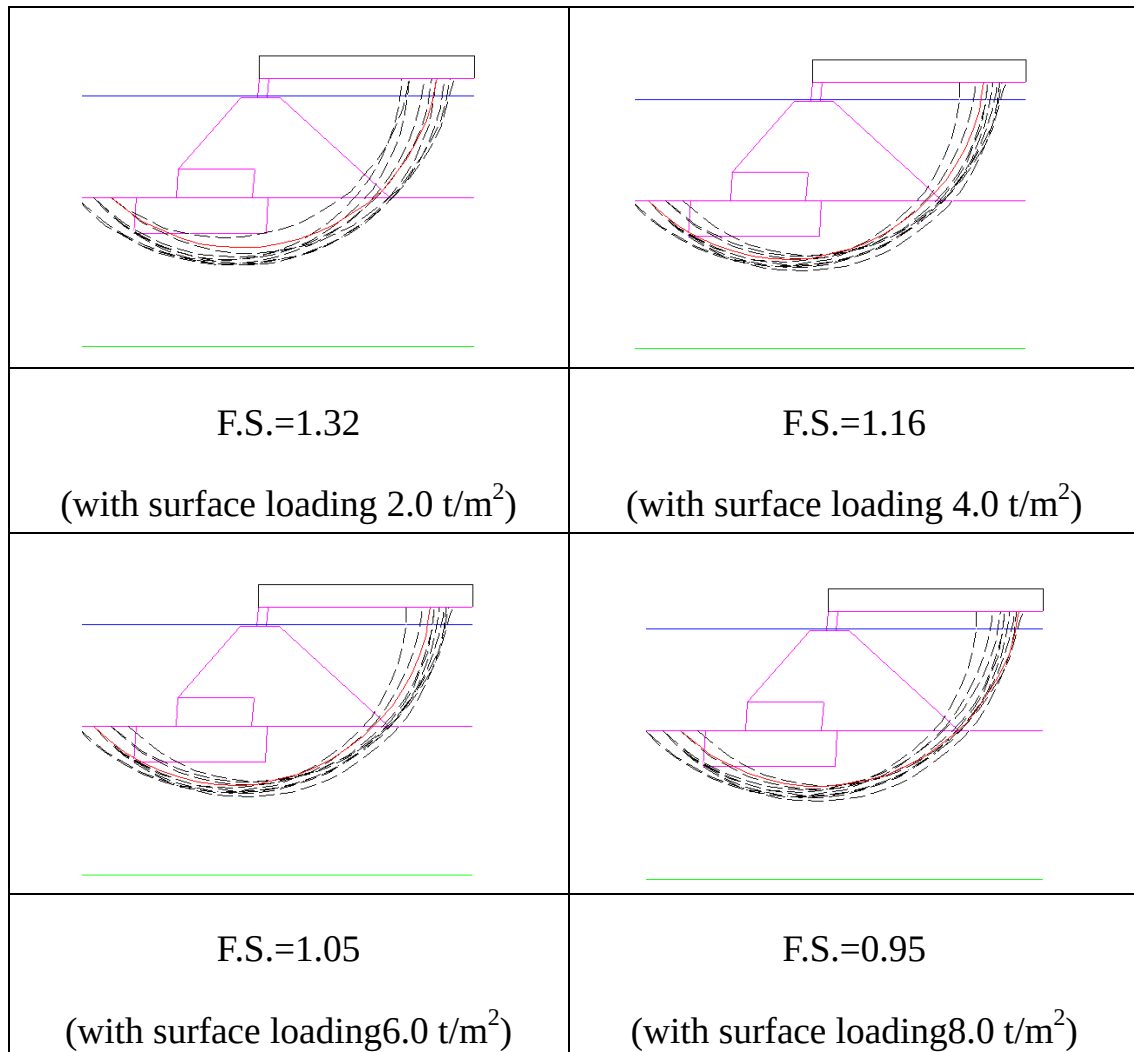


圖 4.34 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較深)

b. 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較淺)

原設計斷面其坡度為 42 度，拋石塊之摩擦角為 40 度，相關分析成果如圖 4.35。

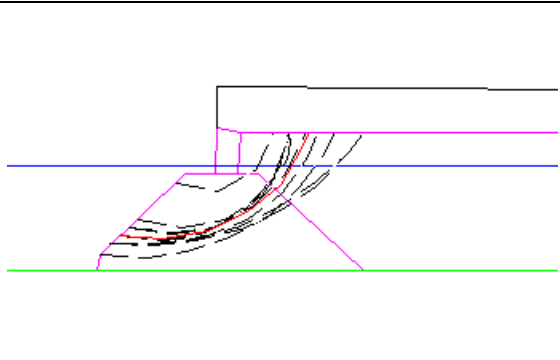
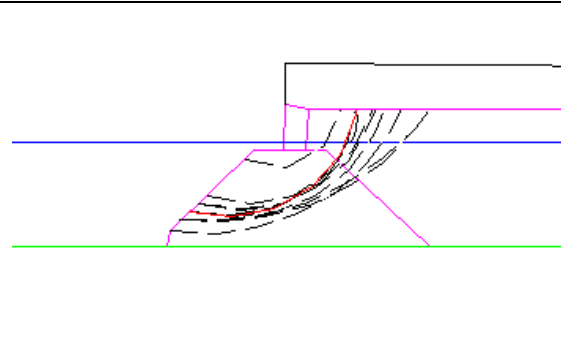
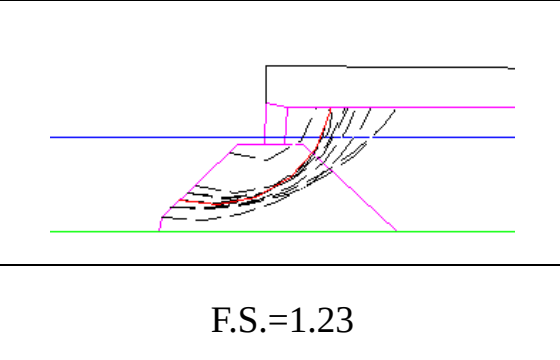
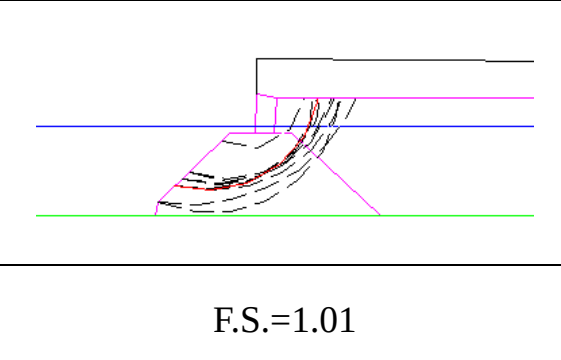
	
F.S.=1.41 (with surface loading 2.0 t/m ²)	F.S.=1.3 (with surface loading 4.0 t/m ²)
	
F.S.=1.23 (with surface loading 6.0 t/m ²)	F.S.=1.01 (with surface loading 20.0 t/m ²)

圖 4.35 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較淺)

c. 井筒式斷面之拋石護坡

由於原設計資料並無相關拋石下方之地層資料，故依據港研中心提供之「基隆港西 2 至西 4 客運專區規劃及旅客中心新建工程地質鑽探及試驗分析工作」報告，依據鄰近鑽孔土層建立分析斷面地層資料，則拋石下方之地層為黏土層，另由原設計斷面其坡度為 48 度，拋石塊之摩擦角為 40 度，相關分析成果如圖 4.36。

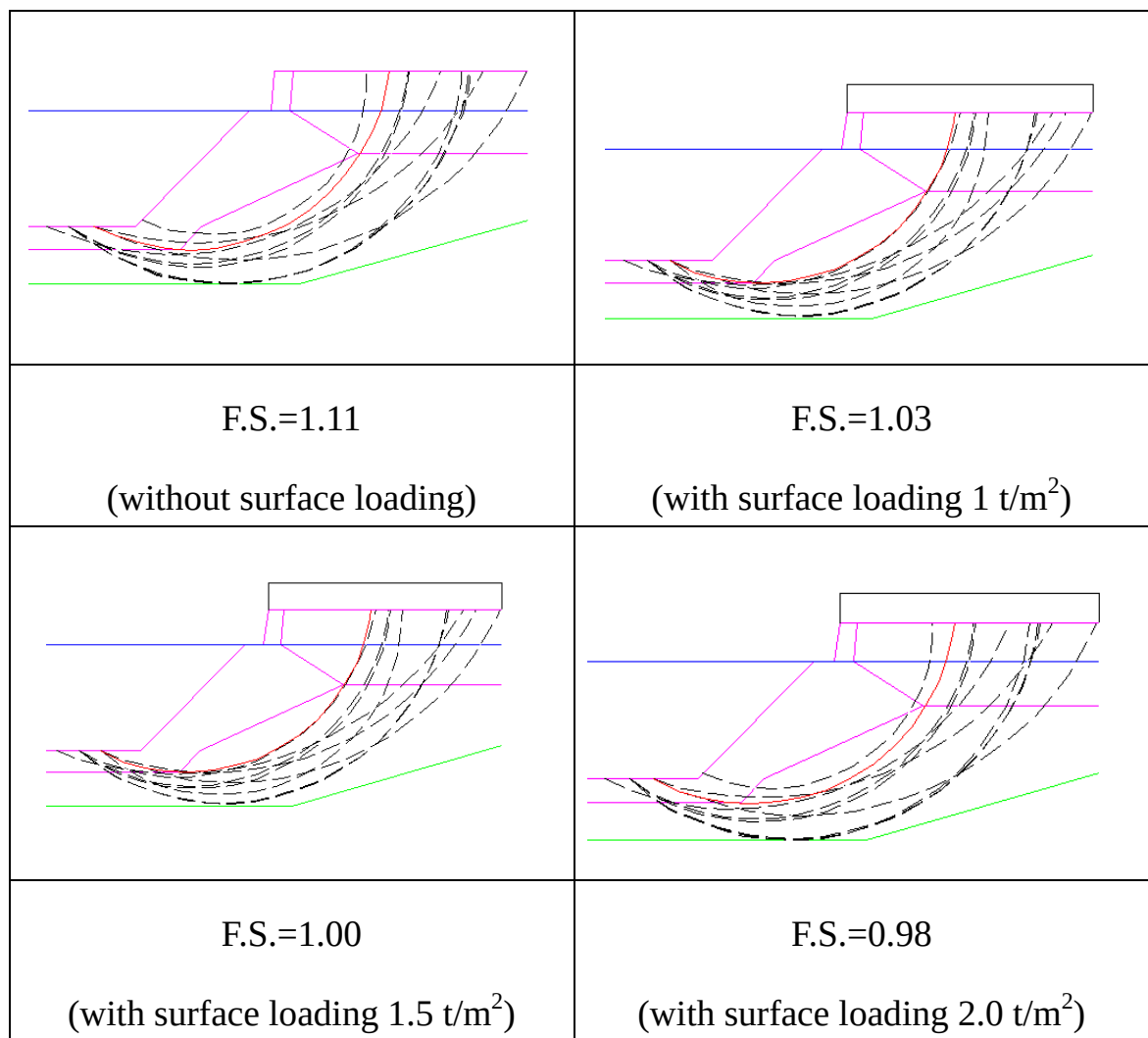


圖 4.36 拋石護坡穩定計算(井筒式斷面)

(5)拋石護坡分析結果彙整

a. 牆式橋墩斷面之拋石護坡(岩盤深度較深)

在考量岸壁後側回填區裝載採與碼頭面裝載相同 2 t/m² 下，安全係數為 1.32。

b. 橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較淺)

在考量岸壁後側回填區裝載採與碼頭面裝載相同 2 t/m² 下，安全係數為 1.4。

c. 井筒式斷面之拋石護坡

井筒式斷面之拋石護坡不考慮岸壁後側回填區裝載，並依據鄰近鑽孔資料依保守分析採取拋石下方土層為黏土層時，於常時安全係數為 1.11 小於 1.3，其原因可能與原設計斷面其坡度為 48 度，拋石塊之摩擦角為 40 度及土層為黏土層有關。綜合上述成果可彙整如表 4-34 及圖 3-37 所示。

表 4-34 碼頭拋石護坡安全分析結果

碼頭形式	邊坡安全分析	備註
牆式橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較深)	$1.32 \geq 1.3$	設計斷面坡度 42° ，佔西 2 至西 4 碼頭長度 544.5m 之 55.5%，岸壁後側回填區裝載採與碼頭面裝載相同 $2t/m^2$ 。
牆式橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較淺)	$1.4 \geq 1.3$	設計斷面坡度 42° ，佔西 2 至西 4 碼頭長度 544.5m 之 40.5%，岸壁後側回填區裝載採與碼頭面裝載相同 $2t/m^2$ 。。
井筒式結構之拋石護坡	$1.11 \leq 1.3$	設計斷面坡度 48° ，佔西 2 至西 4 碼頭長度 544.5m 之 4%，位於進入西 2 至西 4 碼頭管制區外之路面，非為主要卸貨載區，不考慮岸壁後側回填區裝載。

*1.依據設計準則要求，安全係數須滿足 1.3。

2.碼頭裝載主要使用範圍，位於牆式橋墩斷面結構區域。

3.井筒式結構之拋石護坡，依其現況位於碼頭管制區外非為主要卸貨載區，其上方為禁制區僅部分單排機車停放。

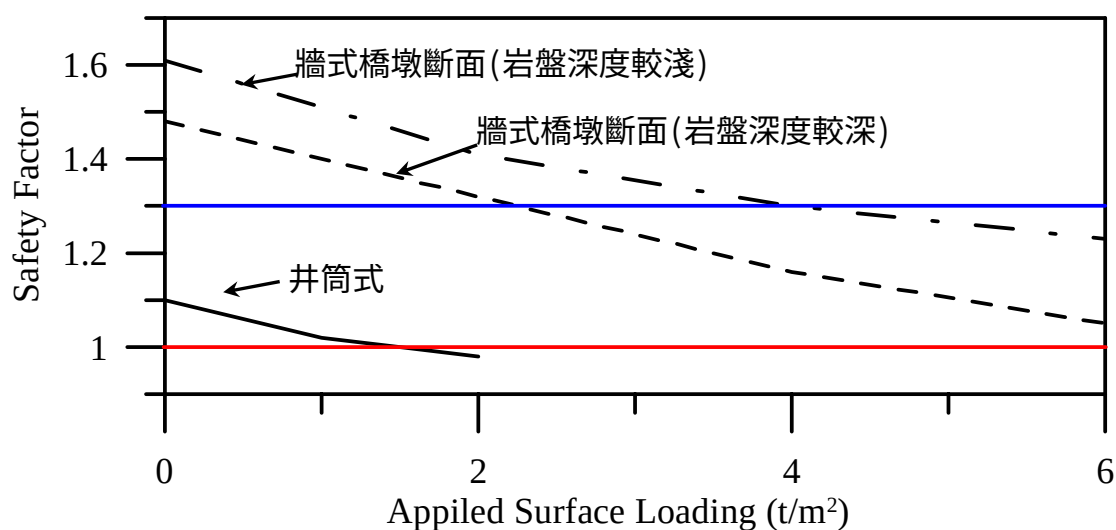


圖 4.37 拋石護坡穩定計算綜合成果

4. 容許回填區荷載分析

為因應未來「基隆市環港核心商業區都市更新計畫」中擬將西 2 至西 4 號碼頭再利用開發為西岸商業城，故於本節將探討回填區之容許荷載。

由於西 2 至西 4 號碼頭除上部面板外，於面板下結構體系由下部結構及拋石護坡所構成，任一種結構體損壞皆會導致碼頭無法正常利用，故針對容許回填區荷載分析主要依據下列分析方式進行，容許回填區荷載分析= $\min$ [下部結構,拋石護坡]

(1)下部結構

對下部結構而言，其分析為考量滿足規範中安全係數要求下，最大容許荷載(q)= $\min$ [FS(滑動)=1.2; FS(傾覆)=1.2] ≤ 4

a. 牆式橋墩式斷面(岩盤深度較深)

(a)當滑動安全係數為 1.2 時

$$F.S. = 1.2 = \frac{0.5 \cdot (68.18 + 145.9 + 53.8 - 79.67)}{(32.13 + 16.18 + q \cdot 12.12 \cdot 0.22)}$$

$$q \geq 4(t/m^2)$$

(b)當傾覆安全係數為 1.2 時

$$F.S. = 1.2 = \frac{(263.18 + 563.18 + 207.67)}{(307.53 + 46.36 + 125.17 + 65.37 + q \cdot 12.12 \cdot 0.22 \cdot 6.06)}$$

$$q \geq 4(t/m^2)$$

則最大容許荷載(q)=4 (t/m²)

b. 牆式橋墩式斷面 (岩盤深度較淺)

(a)當滑動安全係數為 1.2 時

$$F.S. = 1.2 = \frac{0.5 \cdot (68.18 + 98.61 - 37.13)}{(15.5 + 4.84 + q \cdot 6.63 \cdot 0.22)}$$

$$q \geq 4(t/m^2)$$

(b)當傾覆安全係數為 1.2 時

$$F.S. = \frac{(263.18 + 380.65)}{(143.32 + 21.16 + 18.34 + 10.7 + q \cdot 6.63 \cdot 0.22 \cdot 3.315)}$$

$$q \geq 4(t/m^2)$$

則最大容許荷載(q)=4 (t/m²)

c. 井筒式結構

(a)當滑動安全係數為 1.2 時

$$F.S. = 1.2 = \frac{0.5 \times (68.18 + 31.99 + 62.4 + 135.33 - 111.24) + 94.75}{(46.31 + 55.54 + (q \cdot 0.22 \cdot 8.2 + q \cdot (16.8 - 8.2)))}$$

$$q \geq 4(t/m^2)$$

(b)當傾覆安全係數為 1.2 時

$$F.S. = 1.2 = \frac{(309.89 + 145.38 + 226.82 + 56.78 + 491.92 + 123.15 + 211.56 + 131.09)}{(50 + 364.37 + 91.22 + 67.84 + 287.24 + 83.64 + 157.78 + q \cdot 0.22 \cdot 8.2 \cdot 12.7 + q \cdot 36.98)}$$

$$q \geq 4(t/m^2)$$

則最大容許荷載(q)=4 (t/m²)

(2)拋石護坡

針對拋石護坡後線上方之最大容許荷載，係依據碼頭設計準則第四篇第 6 章斜面之安定，並利用數值分析模式進行計算，其結果可參考 5.3 節，結果彙整如表 4-35。

表 4-35 碼頭拋石護坡後線荷載與安全係數關係

碼頭形式	地表荷載				備註
	0 (t/m ²)	2(t/m ²)	4 (t/m ²)	6 (t/m ²)	
牆式橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較深) (佔 55.5%)	1.48	1.32	1.16	1.05	設計斷面坡度 42°
牆式橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較淺) (佔 40.5%)	1.60	1.41	1.30	1.23	設計斷面坡度 42°
井筒式結構之拋石護坡(佔 4%)	1.11	0.98	-	-	設計斷面坡度 48°

- *1.依據設計準則要求，安全係數須滿足 1.3。
 2.碼頭裝載主要使用範圍，為位於牆式橋墩斷面結構區域。
 3.井筒式結構之拋石護坡，依其現況位於碼頭管制區外非為主要卸貨載區，其上方為禁制區僅部分單排機車停放。

綜合上述分析結果，針對碼頭主要使用區(牆式墩柱結構之下部結構+拋石護坡)其最大容許回填區荷載建議為 $\leq 2.2 \text{ t/m}^2$ 。

對井筒式斷面而言，當回填區荷載大於 1.5 t/m^2 時其安全係數會小於 1 而達不穩定狀態，建議應維持現況使用為宜。

5. 地震力分析

西 2 至西 4 號碼頭除上部面板外，於面板下結構體系由下部結構及拋石護坡所構成，任一種結構體損壞皆會導致碼頭無法正常利用，經由 5.2 節下部結構分析與 5.3 節拋石護坡穩定分析可知，拋石護坡相較於下部結構而言其穩定性較敏感，尤其針對未來若要碼頭後線回填區進行相關工程時，尤需要注意其穩定性。

由與本碼頭始建於 1906 年並於 1912 年完成，現有碼頭構造型式係於民國 41 年改建，當時並無相關耐震設計之規範，因此將針拋石護坡進行其地震力分析。依據內政部(2006)建築物耐震設計規範及解說，基隆港西 2 至西 4 號碼頭位於基隆市內，其設計震度為 0.24g。另由中央氣象局資料顯示，921 大地震時基隆海大測站量側之最大地表加速度值為東西向 37.56gal 為 0.038g，南北向 27.4gal 為 0.028g。

(1)牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較深)

針對拋石護坡地震力之穩定性分析，利用數值分析模式進行計算，相關分析成果如圖 4.38 所示。

(2)牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較淺)

針對拋石護坡地震力之穩定性分析，利利用數值分析模式進行計算，相關分析成果如圖 4.39 所示。

(3)井筒式斷面之拋石護坡

針對地震力之穩定性分析，利用數值分析模式進行計算，相關分析成果如圖 4.40 所示。

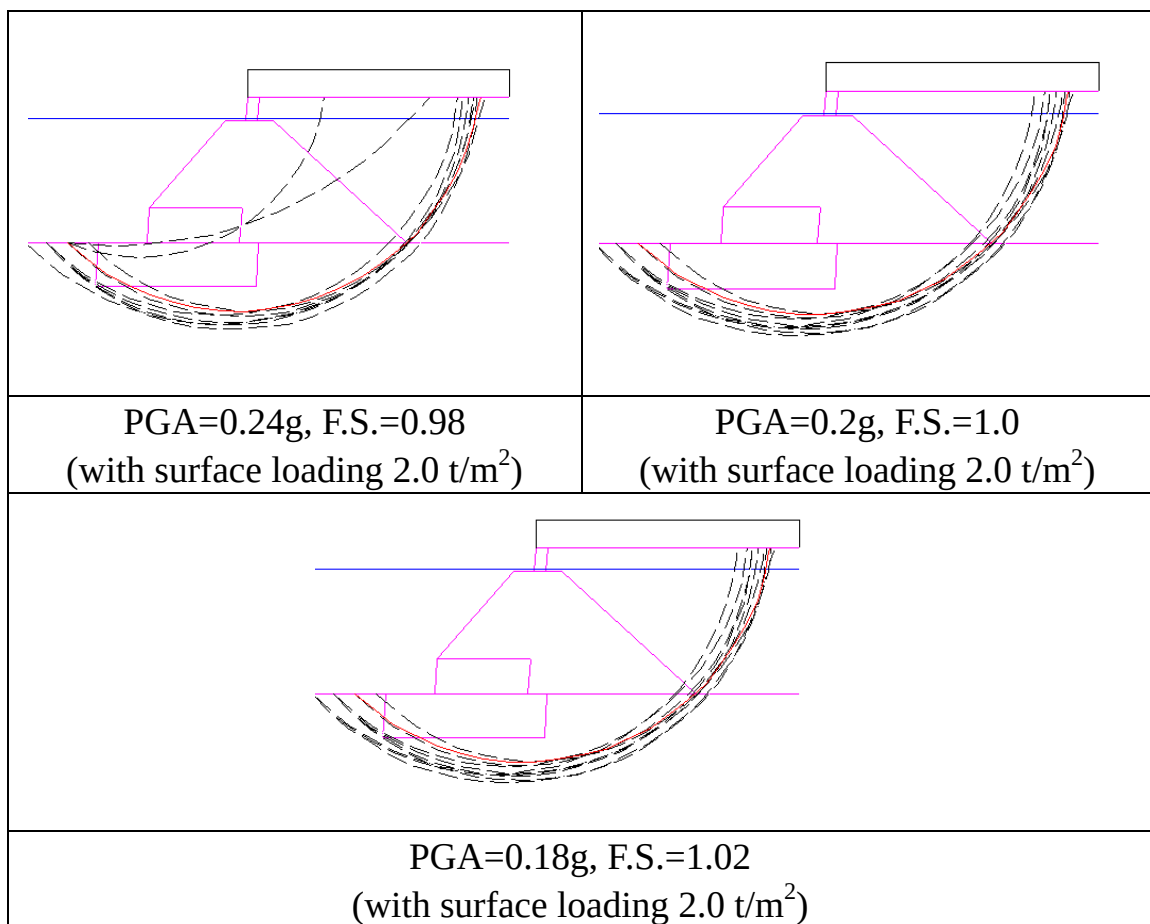


圖 4.38 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較深)

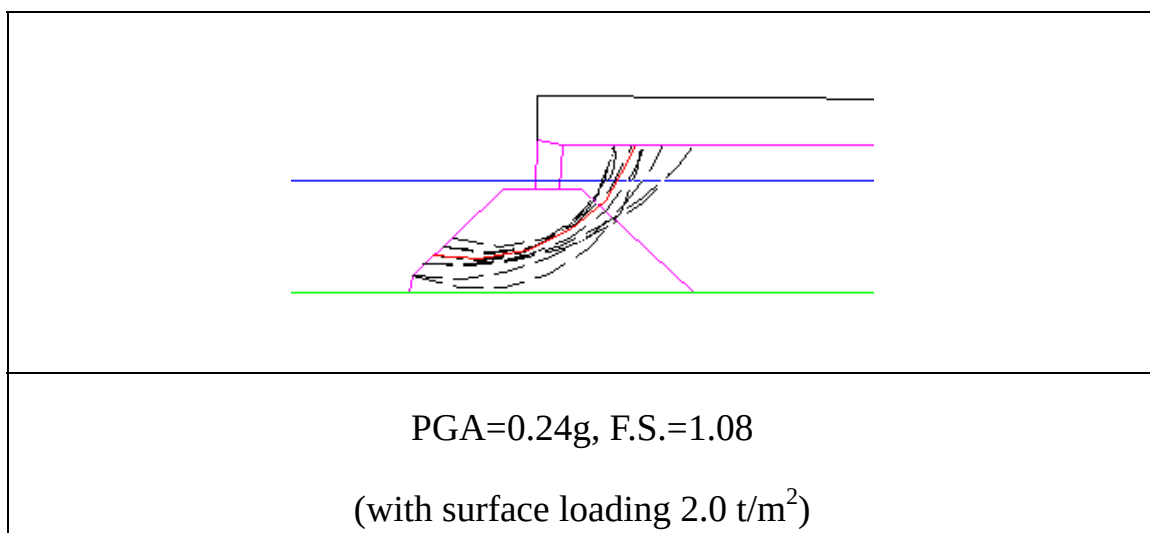


圖 4.39 牆式墩柱斷面模式之拋石護坡(岩盤深度較淺)

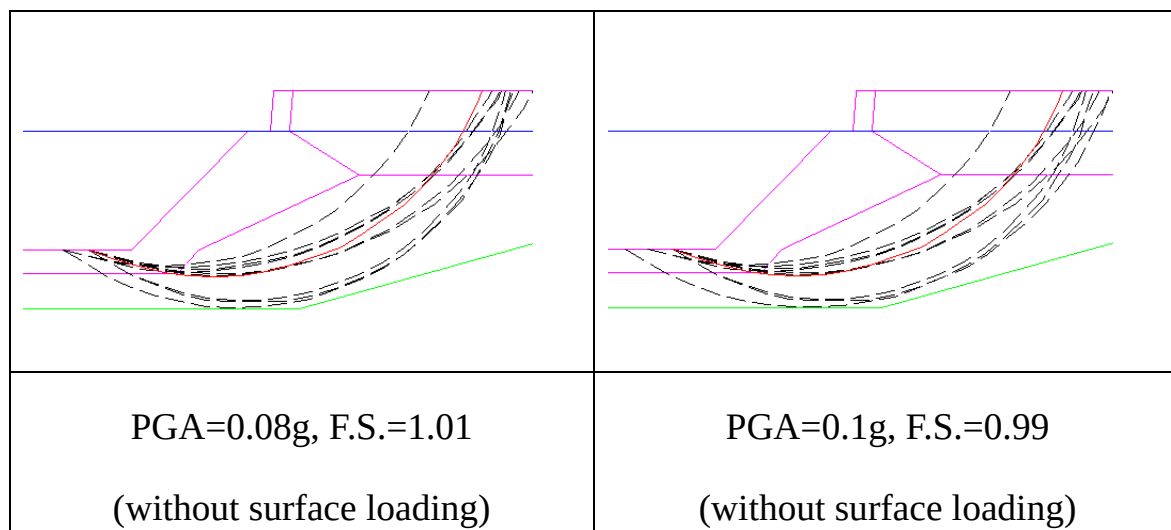


圖 4.40 井筒式斷面之拋石護坡

綜合地震力分析結果顯示：

(1)牆式橋墩斷面之拋石護坡(岩盤深度較深)

依據準則考量回填區荷載為 2.0t/m^2 與滿足設計準則安全係數 1.0 要求下，最大容許地震地表加速度為 $0.2g$ ，換算為歸週期為 275 年。

(2)橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較淺)

依據設計準則考量回填區荷載為 2.0t/m^2 下，可達建築物耐震設計規範及解說要求之設計震度為 $0.24g$ ，換算為歸週期為 475 年。

(3)井筒式斷面之拋石護坡

在不考量回填區荷載下，滿足設計準則安全係數 1.0 要求下，最大容許地震地表加速度為 $0.08g$ ，換算為歸週期為 17.6 年，故建議當地震震度大於 4 級($0.08g$)時，建議應對井筒式結構作水下目視檢測。綜合上述結果彙如表 4-36 所示。

表 4-36 碼頭地震力分析結果

碼頭形式	地表最大加速度(PGA)					備註
	0.24g	0.20g	0.18g	0.1g	0.08g	
牆式橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較深) (佔 55.5%)	F.S.=0.98	F.S.=1.0	F.S.=1.02	-	-	設計斷面坡度 42°
牆式橋墩式斷面之拋石護坡(岩盤深度較淺) (佔 40.5%)	F.S.=1.08	-	-	-	-	設計斷面坡度 42°
井筒式結構之拋石護坡(佔 4%)	-	-	-	F.S.=0.99	F.S.=1.01	設計斷面坡度 48°

*1.依據設計準則要求，安全係數須滿足 1.0。

2.依據耐震設計規範本區設計震度為 0.24g。

3.考量現況，牆式橋墩式斷面之拋石護坡岸壁後側回填區裝載，採 2t/m²。

4.考量現況，井筒式結構之拋石護坡不考慮岸壁後側回填區裝載。

5.碼頭裝載主要使用範圍，為位於牆式橋墩斷面結構區域。

6.井筒式結構之拋石護坡，依其現況位於碼頭管制區外非為主要卸貨載區，其上方為禁制區僅部分單排機車停放。

7.當地震震度大於 4 級(0.08g)時，建議應對井筒式結構作水下目視檢測。

第五章 結 論

為能早日統一建立適用於國內本土環境之港灣構造物檢測評估制度，本研究參照「港灣構造物安全檢測與評估之工作手冊（草案）」內容選定國內商港數座不同型式之碼頭構造物進行現況調查，期望提供維修單位參考，建立平時定期或特殊狀況之緊急檢測制度，儘早發現構造物混凝土劣化或內部鋼筋腐蝕狀況，減少構造物因環境因素或天然災害所造成更大之損壞。

本研究 96 年已完成蘇澳、花蓮、台北及高雄港等不同結構型式之碼頭進行現況調查，本年度調查範圍則包含臺中港 1 至 4A 碼頭（重力沉箱式）及基隆港西 2 至西 4 號碼頭（井筒式及牆式墩柱）之現況調查及安全評估與結構分析，共完成碼頭面版、底梁及下部結構現況目視檢測及採用儀器進行非破壞性與採樣至試驗室內試驗、常時與地震時之結構安全分析、碼頭維修工法及研擬改善對策，並建立碼頭檢測評估標準作業程序、設施維護補強工法與碼頭維護管理系統等項目。

本計畫之研究效益除能瞭解台中港 1 至 4 號 A 碼頭與基隆港西 2 至西 4 號碼頭設施現況，可立即提供務局作為未來碼頭設施結構安全評估與維護管理之參考外，並可提供基隆港務局配合基隆市政府推動都市更新計畫建立新西岸商城案規劃或改建之參考依據。此外，研究過程中採用或建置完成之相關檢測方法與實施流程、常時與地震時之結構分析、安全評估標準作業程序、維修補強工法及井筒式與牆式墩柱碼頭維護管理系統等成果，均可提供國內各港務局應用於相關碼頭設施維護管理作業需要與本所進行港灣構造物後續相關研究之重要參考。結論概述如下：

1. 本年度調查碼頭結構之結果，臺中港 1 至 4A 碼頭曾於民國 88 年 921 大地震受到嚴重損壞，但修護至今其現況經應用 D.E.R 法進行結構體安全性評估，其主整體結構評估指數（ ID_1 ）均小於 2.0，顯示結構體功能完整安全無虞，基隆港西 2 至西 4 號碼頭雖以使用超過 50 年但主整體結構評估指數亦均小於 2.0，整體結構安全無虞，惟建議必需

加強平時巡查頻率，確保營運正常。

- 2.基隆港西 2 至西 4 號碼頭目視檢測結果顯示，西 2 至西 4 號碼頭現況，除岸肩底部出現部份混凝土剝落或鋼筋腐蝕生銹外，並無立即性危險，但仍需進行維修，以維護碼頭營運正常。
- 3.基隆港西 2 至西 4 號碼頭混凝土材料試驗包括抗壓強度、試錘試驗、電阻係數量測、中性化試驗、超音波波速量測及鋼筋腐蝕電位量測等，結果顯示並無明顯劣化情形，但碼頭岸壁混凝土之氯離子濃度有多處大於規範允許值，必須注意內部鋼筋可能發生腐蝕之影響。
- 4.基隆港西 2 至西 4 號碼頭上部結構安全分析，採極限強度或容許應力檢核，若鋼筋配置採用 8 支 #7 或 8 支 #8 時其抗彎、抗剪皆能符合規範需求。下部結構及拋石護坡整體常時安全分析，牆式橋墩斷面結構部份之設計載重為 2t/m^2 時，常時分析其安全係數均大於 1.3，符合設計準則要求。
- 6.基隆港西 2 至西 4 號碼頭牆式墩柱結構之下部結構與拋石護坡回填區之最大容許荷載，建議應小於 2.2 t/m^2 。井筒式結構部份，回填區荷載大於 1.5 t/m^2 時，其安全係數會小於 1 而達不穩定狀態，建議應維持目前使用現況為宜。
- 7.基隆港西 2 至西 4 號碼頭抵抗地震力分析，牆式橋墩斷面之拋石護坡當回填區荷載為 2.0 t/m^2 並需滿足設計準則安全係數大於 1.0 時，最大容許地震地表加速度為 0.2g，換算回歸週期為 275 年；井筒式斷面之拋石護坡之最大容許地震地表加速度為 0.08g，回歸週期為 17.6 年，故建議當地震震度大於 4 級(地表加速度為 0.08g)時，應即針對井筒式結構進行水下相關檢測。
- 8.本年度建置之碼頭維護管理系統，係以確立資料庫架構與建置資料儲存內容為重點，後續仍需針對年度維修排序建議與未來生命週期之預測等持續進行研究。此外，關於結構評估指數計算所需之各項權重，亦需蒐集更多案例獲邀請相關專家學者召開座談進行訂定。

參考文獻

1. 李賢華、邱永芳、陳桂清，港灣構造物安全檢測與評估之研究，交通部，民國 89 年 9 月。
2. 宇泰工程顧問有限公司，九二一地震臺中港區碼頭災損檢測正式報告書，交通部臺中港務局，民國 90 年。
3. 蘇吉立、陳桂清等，碼頭本體設施維護管理系統建置之研究(1/4)，交通部運輸研究所，民國 95 年 4 月。
4. 蘇吉立、陳桂清等，碼頭本體設施維護管理系統建置之研究(2/4)，交通部運輸研究所，民國 96 年 4 月。
5. 郭世榮、簡連貴、蕭松山等、港灣設施防災技術之研究(一)－港灣構造物維護管理準則之研究，交通部運輸研究所，民國 93 年 2 月。
6. 侯和雄、陳吉紀等，港灣工程專有名詞，交通部運輸研究所，民國 85 年 4 月。
8. 吳信昇等，港灣 RC 結構物修理系統之評估研究第二年研究報告，交通部運輸研究所，民國 82 年 6 月。
9. 林牧賢，板樁式碼頭維護管理之探討，海洋大學碩士論文，民國 94 年 4 月。
10. 李釗，港灣混凝土構造物劣化探討(一)，港灣構造物安全檢測與評估研習會論文集，交通部運輸研究所，民國 91 年 7 月。
11. 郭世榮、陳吉紀、簡連貴等，港灣設施防災技術之研究(二)-港灣設施防災對策之研究，交通部運輸研究所，2004。
12. 羅俊雄，碼頭鋼板(管)樁腐蝕檢測與維護，港灣構造物安全檢測與評估研習會，交通部運輸研究所，民國 91 年 9 月。
13. 陳桂清、柯正龍等，港灣構造物陰極防蝕準則(草案)，交通部運輸研究所，民國 90 年 3 月。

14. 宇泰工程顧問有限公司，臺中港九二一地震後災後重建誌-1999 九二一集集大地震臺中港設施復建記錄，交通部臺中港務局，民國 90 年。
15. 李有豐、林安彥，橋梁檢測評估與補強，全華圖書，民國 89 年 3 月。
16. J Christopher Ball, "Galvanic corrosion protection of reinforced concrete structure at cape canaveral", Concrete in Austrial Vol. 34 No. 3, 2007。
17. 橫田 弘等，既有棧橋之生命週期分析之檢討，港灣空港技術研究所資料，2005。
18. 故玉 悟等，棧橋式碼頭的維護管理系統之開發，港灣技研資料，2001。
19. 岩波 光保，既有設施考慮機能向上之生命週期分析評價之檢討等，港灣空港技術研究所資料，2006。
20. 尾崎 龍三，經濟損失考慮費用最小化為基礎之港灣構造物信賴性設計法(Level 1)，國土交通省 國土技術政策綜合研究所，2005。
21. 高橋 宏直，港灣設施之維修補強、更新費之將來預測，國土交通省 國土技術政策綜合研究所，2005。
22. 高橋 宏直，港灣設施之維修補強與更新費之將來預測關係之研究，國土交通省 國土技術政策綜合研究所，2002。