

淺談港區地震及地層下陷監測

曾文傑 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員

摘要

交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱本中心)於臺灣之臺北港、臺中港、高雄港、安平港、布袋港及蘇澳港等 6 個港區設置了地震監測站；另臺灣西南沿海縣市，包括臺中、雲林、嘉義、臺南與屏東等港灣地區，其地層大都屬現代沖積層，土層疏鬆軟弱壓密尚未全部完成，極可能因附近地

區地下水抽取、大規模海埔新生地回填及結構物荷重或地震力等原因造成地層下陷，進而影響公共工程及港區各樣設施之安全。爰此，定期量測布袋港、大鵬灣、臺中港及安平港等港區分層地層下陷量，並於震後進行即時災況推估與速報傳送等，最後再將資料進行分析與建檔。

一、前言

由於強烈地震作用後震波經過軟弱覆土層的振幅放大，產生之土壤液化或沉陷，造成港灣地區結構物因基礎失去承载力而破壞；臺灣西南沿海及港灣地區，由於地下水大量超抽，引致地層下陷，是沿海地區普遍現象。爰此，自民國 89-94 年陸續於安平港、臺中港、布袋港、臺北港、高雄港及蘇澳港等港逐年分別設置 200-300 m 深之地震監測

站，表 1 為各港區地震監測站資料表。另自民國 86-92 年陸續於安平港、臺中港、布袋港及大鵬灣等處逐年分別設置 193-400 m 深之地層下陷監測站，相關測站之資料如表 2。藉由地震、地下水位與地層下陷長期監測，期以提供港務相關單位，辦理港區各項工程設施安全與防救災決策參考應用。

表 1 地震監測站資料

測站	設置位置	經度 緯度	深度	設置 日期
安平港	8 號碼頭空地	22.980 120.177	201m	89 年
臺中港	26 號碼頭空地	24.273 120.520	283m	90 年
布袋港	砂石碼頭空地	23.375 120.133	300m	91 年
臺北港	大樓前花園	25.151 121.393	297m	91 年
高雄港	船舶管理中心花園	22.598 120.283	292m	92 年
蘇澳港	棧埠所對面	24.5909 121.863	35m	93 年
臺中 火力 電廠	圍牆外側綠地	24.206 120.486	200m	94 年

表 2 地層下陷監測站資料

測站	設置位置	經度 緯度	深度	設置 日期
布 袋 港	第二期海埔地 之西北隅	23.383 120.140	200m	86 年
	南堤之砂石碼 頭區	23.375 120.520	300m	89 年
	商港區西北隅	23.384 120.136	400m	92 年
大 鵬 灣	青洲濱海遊憩 區	22.446 120.456	193m	87 年
臺 中 港	26 號碼頭	24.273 120.520	200m	88 年
安 平 港	18、19 號碼頭 後線	22.987 120.151	250m	88 年

二、地震監測介紹

2.1 地震監測站

於各港區設置地震監測站，監測項目及說明如下：

1. 地表自由場地震力：地表自由場地震監測為港灣地區最基本之地震監測。以三向式地表地震儀設置於寬度空曠地區之地表，再以電纜線連接至室內之監測記錄器。
2. 地震在軟弱土層之放大效應：港灣地區地層大都為疏鬆軟弱之沖積土層及浚砂回填土所構成，因此，地震在鬆軟地層之放大效應，悠關港灣構造物之安全甚巨，為了瞭解地震發生時，地層中震波傳遞特性，鑽數口井至不同地層，分別於最深之堅硬地盤及不同深度之軟弱土層，分層安置埋入型地震儀，分層監測以瞭解當地地層之地震放大效應。
3. 港灣構造物之地震反應：構造物主要包含碼頭、防波堤、海堤、過港隧道等，不同構造物對地震皆有不同之反應，為瞭解地震發生時，重

要構造物之地震反應，需安裝地震儀加以監測。

- 碼頭及地層之傾斜變位：地震不但會造成地層下陷，亦會產生側向力使港灣構造物造成位移、傾斜，1995年1月17日，日本阪神地震造成港灣碼頭位移 1-5m，臺灣 1999 年 9 月 21 日，921 地震造成臺中港 1-4A 碼頭外移 0.5~1.7m，傾斜 2~4%，因此對碼頭及地層之傾斜變位之監測亦為地震反應安全監測之項目。

2.2 港區地震速報

本中心於各港區設置，井下地震及動態孔隙水壓監測站，結合地質資料庫，開發液化分析模組，利用網路通訊技術，於震後快速發佈災情研判結果，提供港務相關單位防救災決策應用，圖 1 為地震及液化監測深度，圖 2 為震災速報系統通報流程。

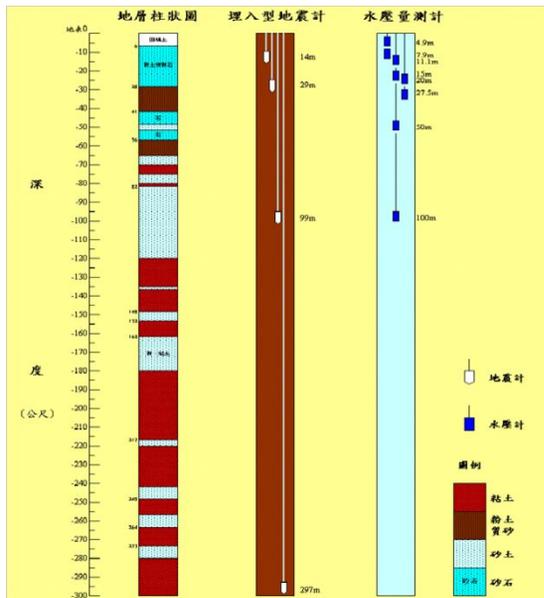


圖 1 地震及液化監測深度示意圖

為降低井下地震監測儀之儀器或外部干擾產生雜訊，本中心自 98 年起分別再於臺中港、安平港、高雄港、蘇澳港、臺北港及布袋港等 6 站井下地震監測站之儀器機房，安裝三向度網路型地表地震 (CV374) 監測速報系統。新增地表網路地震儀連接井下地震監測儀組成地震速報系統。當地表感震器接收到地震訊號後，先傳至儀器主機經運算後，再同時儲存到工地工業級無風扇小型電腦，以中華電信 ADSL 網路將港區災況以簡訊方式依不同震度需求發送至中心或各港務管理單位作為災後檢修之參考，縮短救災時間並減少災損。由於花蓮港與基隆港未設置地震監測站，本中心遂於 101 年於基隆港貨櫃中心辦公室外停車場及花蓮港辦公大樓前花園，各建置一組三向度(3CH)網路型地表地震監測速報系統，使用之儀器為日本東京測振公司製造之速報系統(含 24bit 三向度網路型地表地震儀 CV374 型)，因場地有限，僅將地表地震計 CV374 安裝於港區自由場之室外保護箱內。由於上述兩站偶有地表地震儀器遭遇外力碰撞或誤觸，發生誤報情形，今(108)年再各增設 1 台三向度地表地震儀 (CV374A 型) 於室內，共增加 X、Y、Z 三方向震波，連同既有地震儀也有 3 個震波，新地震計與原來的地震計連線至同一台電腦，總共計有 6 個震波，當 6 個震波中有 4 個震波以上接收到地震訊號後，同時儲存到辦公室內之工業級無風扇小型電腦中，透過監測系統連線，即可發送震災速報簡訊，減少誤報情形發生，確保地震速報系統之通報資訊正確，地表地震儀及發送速報簡訊測試，如圖 3、圖 4。

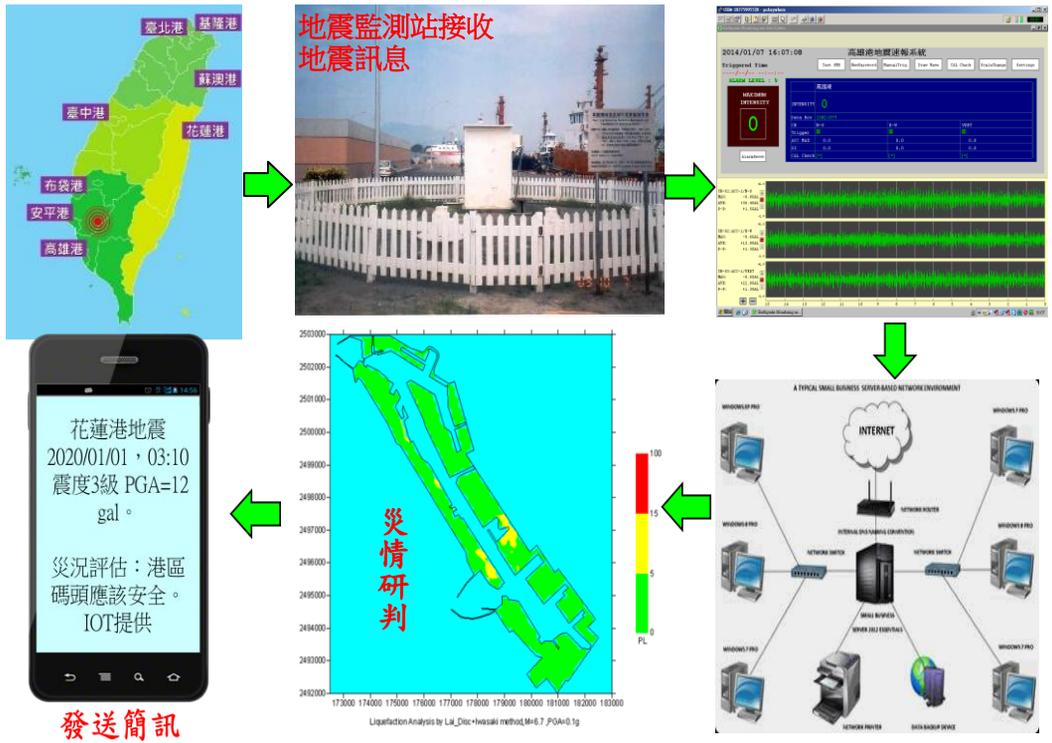


圖 2 震災速報系統通報流程

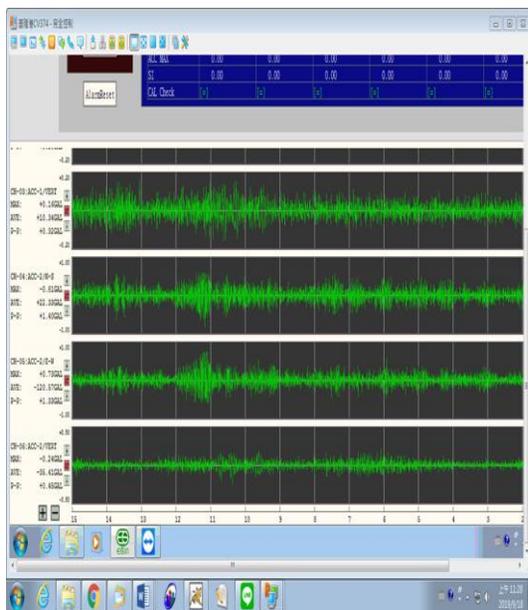


圖 3 系統軟體測試



圖 4 震災分級發送速報簡訊與測試

300m 監測站共有三孔，分別為分層沉陷觀測井 1 孔，水壓計觀測井 2 孔 (含電子式水壓計及開口式水壓計)，並採用手動及自動記錄方式，其內容如下：

- (1) 電磁場式分層沉陷觀測井 1 孔，深度 300 m 安裝沉陷計感應環 30 個 (安裝深度 3、7、11、21、31、35、51、66、83、94、102、109、112、123、134、142、156、163、178、190、202、212、218、231、241、261、278、285、294、300m。)
- (2) 電子式水壓計觀測井 2 孔，共有 8 組電子式水壓計，4 組安裝於開放式水壓計管口內，安裝深度為 35、50、85、103 m，4 組安裝於鑽探試驗孔內，安裝深度為 150、200、250、300 m，所有電子式水壓計經由配管接至同一個自動記錄器。

布袋港 300m 分層水位變化圖(90/09-108/07 手動量測)由圖 7 顯示，35 及 50m 之水位介於-1.1~-3.5m 之間，屬淺層水位。150m、200m、250m 及 303m 之水位為較深層之水位介於-13~-27m 之間變化。

另布袋港(300m)自 89 年 10 月~108 年 6 月止，18 年 8 個月期間，地層下陷總累積沉陷量約 92.9cm，其中-66m~-190m 之沉陷量約 62.9cm，佔總沉陷量約 72.5%，顯示布袋港應屬於深層沉陷。

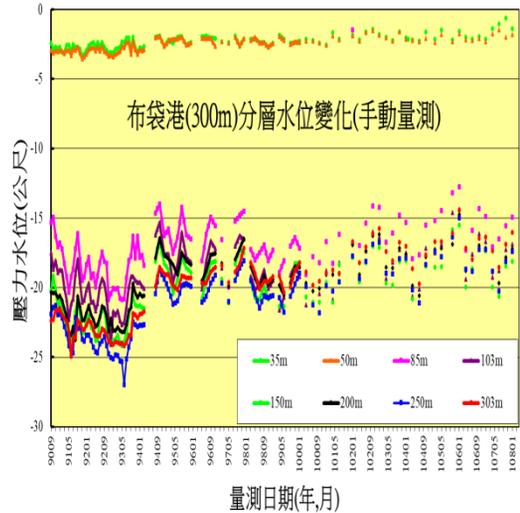


圖 7 布袋港水位變化(96-108 年)

2. 大鵬灣監測站

選擇位於大鵬灣原青洲濱海遊憩區內，靠近南平海堤前端處之適當位置 (如圖 8)，埋設監測儀器。本監測站共設置二孔觀測井，分別為分層沉陷觀測井 1 孔，水壓計觀測井 1 孔，可採用手動及自動方式記錄，其內容如下：

- (1) 電磁場式分層沉陷觀測井 1 孔，其深度為 193 m，安裝沉陷計感應環 23 個 (安裝深度 0.6、3.7、26.4、31.3、51.3、55.2、62.2、90.1、101.2、104.1、109.1、116、120、125、129.1、138.2、146.1、155.2、161、173.2、177.2、188.2、189.2。)
- (2) 電子式水壓計觀測井 1 孔，共有 5 組電子式水壓計，安裝於開放式水壓計管口內，開放式水壓計安裝深度為 202 m、142 m、105 m、58 m、35 m，而電子式水壓計則安裝於壓力水頭下 10 m 處，所有電子式水壓計經由配管接至同一個自動記錄器。



圖 8 大鵬灣監測站位置圖

大鵬灣自 87 年 3 月至 108 年 7 月，各分層水位其結果如圖 9a 及圖 9b 所示，而 106 年 1 月至 108 年 7 月，各分層水位約介於-1.3~-4.4 之間。

另大鵬灣(200m)自 87 年 3 月~108 年 7 月止 21 年 4 個月期間，地層下陷總累積沉陷量約 14.7cm，從地表至 51.3 m 之沉陷量約為 10.5cm，佔總沉陷量約 71% 以上，由此量測資料顯示，應屬於淺層沉陷。

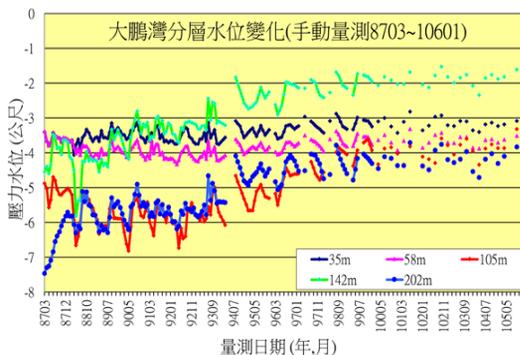


圖 9a 大鵬灣水位變化(87-106 年)

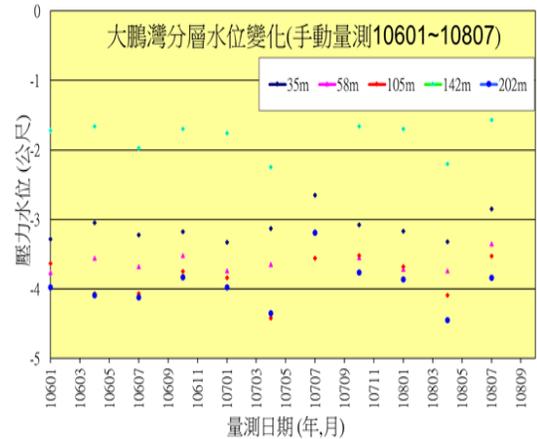


圖 9b 大鵬灣水位變化(106-108 年)

3. 臺中港監測站

臺中港監測站選擇位於臺中港區 26 號碼頭區綠地之適當位置(如圖 10)。本監測站共計二孔，分別為分層沉陷觀測井 1 孔，水壓計觀測井 1 孔(含電子式水壓計及開口式水壓計)，並採用手動及自動記錄方式，其內容如下：



圖 10 臺中港監測站位置圖

- (1) 電磁場式分層沉陷觀測井 1 孔，其深度為 200 m，安裝沉陷計感應環

18 個(安裝深度 0.7、3.6、10.5、18.8、27.5、31.6、55、73.2、90.9、110.4、139.1、157.2、164.3、179.8、182.5、189.8、199.7、200.7。)

- (2) 電子式水壓計觀測井 1 孔，鑽探孔 173 m，監測井共有 5 組電子式水壓計，安裝於開放式水壓計管口內，安裝深度為 29、63、100、145、173 m，電子式水壓計則安裝於壓力水頭下 10 m 處，所有水壓計經由配管接至同一個自動記錄器。

臺中港自 88 年 7 月至 108 年 7 月，各分層水位變化其結果如圖 11 所示，而 94 年 7 月至 108 年 7 月，各分層水位約介於-1.3~-5.0 之間。

另臺中港(200m)自 88 年 6 月~108 年 7 月止約 20 年期間，地層下陷總累積沉陷量約 6cm，從地表至 90 m 深之沉陷量約 4.7cm，佔總沉陷量約 78% 以上，由此量測資料顯示，應屬於淺層沉陷。

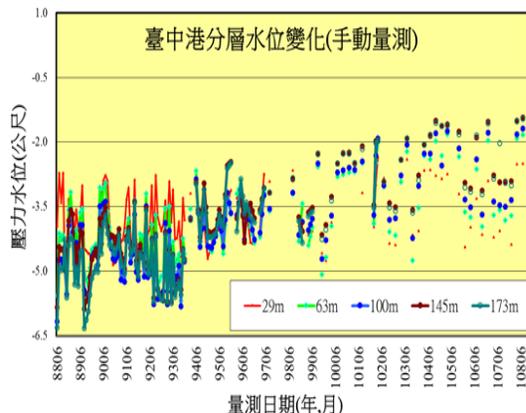


圖 11 臺中港水位變化(88-108 年)

4. 安平港監測站

安平港監測井之設置地點位於安

平港區第 18、19 號碼頭後線綠帶區之位置，其監測站如圖 12 所示。



圖 12 安平港監測站位置圖

本監測站共設置觀測井二孔，電磁場式分層沉陷觀測井及電子式水壓計觀測井各 1 孔，水壓計觀測井可採用手動及自動方式記錄，其內容如下：

- (1) 電磁場式分層沉陷觀測井 1 孔，其深度為 250 m，安裝沉陷計感應環 22 個(安裝深度 0.6、3.8、10.9、20.8、30.8、40.2、52.6、56、79.9、94.3、110.6、134、150、175、181、200.5、211.2、221.2、231.4、239.8、248.8、249.5m。)
- (2) 電子式水壓計觀測井 1 孔，本水壓監測井共有 5 組電子式水壓計，安裝於開放式水壓計管口內，開放式水壓計安裝深度為 187、145、105、75、40.5 m，而電子式水壓計則安裝於壓力水頭下 10 m 處，所有電子式水壓計經由配管接至同一個自動記錄器。

安平港自 88 年 7 月至 108 年 7 月，

各分層水位變化其結果如圖 13 所示，而 95 年 7 月至 108 年 7 月，各分層水位約介於-0.3~-2.9 之間，整體來說應沒有受到超抽地下水影響，故地下水位呈現上下變動現象。

另安平港(250m)自 88 年 7 月至 108 年 7 月止約 20 年期間，總累積沉陷量約 9.8cm，從地表至 31 m 之沉陷量約為 7.1cm，佔總沉陷量約 72% 以上，由此量測資料顯示，應屬於淺層沉陷。

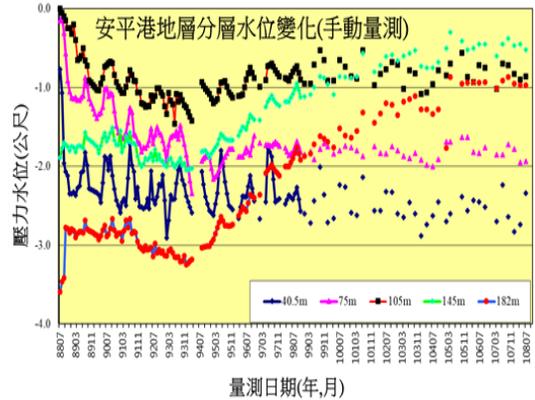


圖 13 安平港水位變化(88-108 年)

四、結論

臺灣重要的運輸網絡、運輸工程與經濟貿易大都建設發展在西部地區，而西部海岸的地層幾乎都屬於現代沖積層，該類土層較為疏鬆軟弱，極可能因附近地區地下水抽取、大規模海埔新生地回填、或強烈地震等原因造成地層下陷，而影響港區工程設施安全，高鐵路線於彰雲地區軟弱土層路段也因為地下水超抽而造成地層下陷，為維護港區工程及交通設施之安全，有必要對西南沿海地區進行地質資料調查建檔與各港區與地層下陷長期之監測。故本所本中心於民國 89 年開始，陸續於安平港、布袋港、臺中港、高雄港、臺北港、蘇澳港、基隆港、花蓮港與大鵬灣等港區逐年設置地層分層下陷、地震監測站與地震速報系統，期望藉由長期監測及分析的成果，能提供各港務分公司作為港區碼頭設施防災與維護之參考依據。

本研究進行港區地震速報系統及

地層下陷監測分析，綜合結果如下：

1. 速報系統進行功能擴充，分別於基隆港及花蓮港，各增設一組地震儀(CV374A)監測系統，並增加保護殼防止碰撞，確保地震速報系統之通報資訊正確。
2. 布袋港 300m 分層水位變化顯示，35 及 50m 之水位介於-1.1~-3.5m 之間，屬淺層水位。150m、200m、250m 及 303m 之水位為較深層之水位介於-13~-27m 之間變化。
3. 布袋港 300m 地層下陷，自 89 年 10 月~108 年 6 月止，共 18 年 8 個月之累積總沉陷量約 92.9cm，近 5 年(103 至 108)總沉陷量約 14cm，大致而言，布袋港區近年來地層下陷有趨緩現象。
4. 依水利署資料顯示，民國 80 年至 106 年嘉義布袋鎮總下陷量在 60 cm 以上。本所布袋港自 89 年至 108 年

300 m 之沉陷總量約為 92.9cm，顯示布袋港 20 幾年來，總下陷量也在 60 cm 以上。

5. 臺中港自 88 年 7 月至 108 年 7 月，各分層水位變化顯示，水位約介於 -1.3~-5.0m 之間；另臺中港 200m 地層下陷，94 年 8 月起因儀器卡管，故累積沉陷量僅能自地表量測至 181m 深，本站自 88 年 6 月至 108 年 7 月止累積總沉陷量約為 6cm。
6. 大鵬灣自 87 年 3 月至 108 年 7 月，各分層水位變化顯示，水位約介於 -1.3~-4.4m 之間；另大鵬灣 200m 地層下陷，87 年 3 月至 108 年 7 月止，共 21 年 4 個月期間，地表下 4 m 至 189 m 間之沉陷總量約 14.7cm，而從地表至 51.3 m 之沉陷量約為 10.5cm，佔總沉陷量約 71% 以上，由此量測資料顯示，大鵬灣之沉陷屬於淺層沉陷。

7. 安平港自 88 年 7 月至 108 年 7 月，各分層水位變化顯示，水位約介於 -0.3~-2.9m 之間，整體來說應沒有受到超抽地下水影響，故地下水位呈現上下變動現象；另安平港 250m 地層下陷自 88 年 7 月至 108 年 7 月止約 20 年期間，總累積沉陷量約 9.8cm，從地表至 31 m 之沉陷量約為 7.1cm，佔總沉陷量約 72% 以上，由此量測資料顯示，應屬於淺層沉陷。
8. 港灣地層下陷監測及港區井下地震監測等研究，為長期性的監測工作，其設施特點為在地表及不同土層中置放監測儀器，如此不只可長期觀察其總量變化，更可獲知不同土層的反應數據，在港區規劃、防災處置及學術研究上，可提供長期的環境數據。

參考文獻

1. 賴聖耀、謝明志，「臺灣各港區地震引致土層之沉陷研究」，臺灣省政府交通處港灣技術研究所報告報告，1996。
2. 謝明志、賴聖耀，「布袋港地層下陷監測與地質建檔研究」，臺灣省政府交通處港灣技術研究所報告報告，1998。
3. 陳志芳，謝明志，「港區地震與地層下陷監測之研究(2/2)」，交通部運輸研究所報告，2015。
4. 陳志芳，謝明志，「西南沿海地質資料建檔及地層下陷量測分析(2/2)」，交通部運輸研究所報告，2016。
5. 陳志芳，謝明志，「地震監測速報及地層下陷量測分析」，交通部運輸研究所報告，2017。
6. 陳志芳，謝明志，「港區地震監測及地層下陷調查分析研究」，交通部運輸研究所報告，2018。
7. 水利處(2019)，臺灣地區民國 107 年度地層下陷檢測報告。