

海砂屋調查及分析

林維明¹ 黃兆龍² 彭耀南³ 吳鶯榮⁴

Analysis and Investigation of Sea Sand Buildings

Wei-Ming Lin¹, Chao-Lung Hwang², Yaw-Nan Peng³, and In-Yung Wu⁴

摘要

本文針對海砂屋之劣化現象並利用紅外線影像系統(TVS)與熱分析技術的熱失重分析法，以偵斷鋼筋混凝土劣化現象，並探討該技術之實用性。應用熱分析技術之熱失重分析法可偵測出混凝土在施工中摻加海砂或在使用期間有腐蝕因子侵入，使用的試料少且快速可靠。而使用TVS則可即刻及可靠的偵斷RC結構物的內部有無龜裂剝離現象出現。尤其對高層大樓的建材劣化調查特別實用，此兩種方法操作相當簡便，對於海砂屋之健康診斷相當可行。本文亦指出為確保建築物之耐久性，除施工時應注意施工材料之品質控制外，平時並需定期作建築物健康檢查。本文之重要性在闡述海砂屋之病變現象之嚴重性及評估以熱分析偵測及紅外線影像系統技術之可行性。

關鍵詞：海砂屋、紅外線影像系統、熱失重分析法、熱失重、龜裂。

ABSTRACT

The purpose of this paper is to describe the deteriorated appearance of sea sand buildings, the technology of thermal video system (TVS) and thermogravimetric analysis (TGA) for monitoring the deteriorated phenomena of reinforced concrete, and also to evaluate their practical usage.

The application of TGA can detect the presence of sea sand during mix proportioning or any corrosion agents attack on the structures during operation. The test materials only need small quantity, and the test speed is quick and reliable. The technique of TVS can monitor the existing cracks inside concrete structures. It is fast, reliable and practical, especially to high-rise buildings. The operation of this two nondestructive methods are so simple that they are very practical methods for durability check. It also points out in this paper that, for insuring the performance safety of buildings, regular durability check is necessary besides the quality control of construction material during construction. The importance of this paper is to describe the severe deteriorating phenomena of sea sand buildings and to evaluate the feasibility of the usage of TGA and TVS techniques.

1. 港灣技術研究所研究員，國立交通大學土木工程研究所博士候選人

Researcher, Institute of Harbor and Marine Technology; Ph.D. Candidate, National Chiao-Tung University, Hsinchu, Taiwan.

2. 國立台灣工業技術學院營建工程系教授

Professor, Department of Construction Engineering, National Taiwan Institute of Technology, Taipei, Taiwan.

3. 國立交通大學土木工程研究所教授

Professor, Department of Civil Engineering, National Chiao-Tung University, Hsinchu, Taiwan.

4. 中道工程顧問有限公司總經理

President, China Midland Consulting Engineering, Taipei, Taiwan, R.O.C.

Key word: Sea sand building, thermal video system; thermogravimetric analysis; heating weight loss, crack.

一、前言

近年來，國內工商業經濟發展迅速，政府正積極推動各項大型工程建設，許多土木建築工程都在趕建中，所需混凝土數量相當大。然而由於台灣地小人稠，高山陡峭，河川短小，水流湍急，雖然天然河川的砂石蘊藏量相當豐富，但是經過多年來長期大量開採，現已呈現嚴重短缺現象。因此有些營造業者盜採或濫採「海邊砂料」替代河砂使用。這些摻用海砂之建物，終於爆發出嚴重腐蝕損壞現象，而引起「海砂屋」事件之糾紛案件層出不窮。海砂屋是鋼筋混凝土結構體摻有海砂，因此其鋼筋發生腐蝕生鏽、體積膨脹、導致結構體破壞。其主因是海砂中含有過量的氯化物(Cl⁻)所造成的。因此建物劣化現象之檢測為一項極為重要的工作。本文乃針對這方面之調查分析工作進行探討。

二、海砂屋調查方法

2-1 劣化現象

國內鋼筋混凝土建築物因摻用海砂而引起破壞現象之實例相當多，其建築物之用途方面包括學校的教室、一般國宅或辦公大樓。而在使用地區方面包括濱海地區，一般近海的都市內，及離島地區等，這方面的報導很多^(1,2)。

由實例可發現海砂屋剛開始劣化時，會在混凝土表面上發生微細之裂痕，然後有鏽斑和白華污著現象。接著是裂縫延伸及擴展，甚至裂開，然後發現部份鋼筋鏽蝕，整塊的混凝土剝落和鋼筋外露，最後可能會發生嚴重的鋼筋鏽蝕和整片混凝土表面完全剝離，很嚴重破壞及崩塌之現

象。

2-2 建築物鹽害之範圍及鹽害之調查

在濱海地區之建築物，因容易受到海風所挾帶之海鹽粒子作用，所以建築物容易發生劣化現象。

岸谷及竺井先生曾對日本濱海邊地區的建築物作過實地調查⁽³⁾，發現其混凝土表面部份之含鹽量與離海岸距離之關係如圖 1 所示。此外 ISO/TC 亦曾發表海鹽粒子之濃度與離海岸遠近之關係如圖 2 所示⁽⁴⁾。一般而言，距海岸 200 公尺以內的含鹽量較高，1km 以內尚受鹽份之影響風速大之區域，可影響的範圍能到達數公里之處。但在 10km 以外之地方，除非特殊地區，否則鹽害之影響性甚少。據 野氏實地測定結果如表 1 所示⁽⁵⁾。為瞭解建築物使用海砂之影響性，特舉出日本建築研究所曾經執行過鋼筋混凝土建築物劣化調查之實例⁽⁶⁾，這些調查工作是針對昭和 30 年代以後所建設之 R.C 建物共 4,363 棟進行調查的。執行方式是以目視先觀察有無龜裂，鋼筋腐蝕，混凝土剝落及劣化現象之發生及其劣化程度。調查人員是由行政局、地方建設局會同建築技術專家共同組成的。調查對象依與離海岸距離之遠近分類，有無使用海砂及可能影響劣化之原因等各項加以區分而進行分析檢討。而調查對象則以建築物齡期及距海岸遠近區分。建築時間區分為昭和 30 年代、40 年代及 50 年代。而距海岸遠近則分為 200m 以內、200m ~ 1km 或 1km ~ 10km 範圍及超過 10km 以上者。地區別則依各地區建物數量比例棟數平均分配。用途別係依建物使用之用途區分，其比例如表 2 所示。而在調查方法是在建物的東、西、南、

海砂屋調查及分析

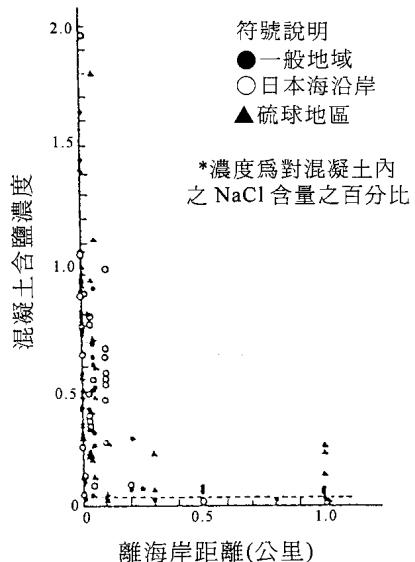


圖 1 混凝土表面鹽量與離海岸距離之關係⁽³⁾

Fig.1 The salty content in the cover layer of concrete vs. the position distance from coastline.⁽³⁾

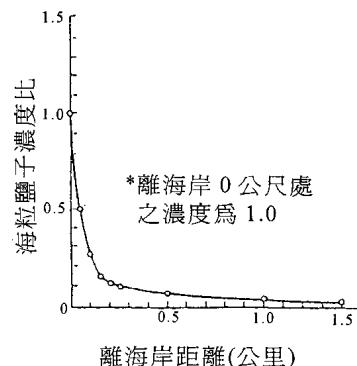


圖 2 離海岸之距離與海鹽粒子濃度之關係⁽⁴⁾

Fig.2 The concentration of sea salt particles vs. the position distance from coastline.⁽⁴⁾

表 1 大氣中及混凝土表面層內的含鹽量與離海岸距離之關係⁽⁵⁾

Table 1 The salty content in the atmosphere and cover layer of concrete vs. the distance to coastline

離海岸距離	大氣中含鹽量 (mg/dm ² /days) *	混凝土保護層 內之含鹽量
< 200m	0.3-0.8	超過鹽害之臨界 值 0.03 % 甚多
200m ~ 1km	0.2	大於 0.03 % (< 500m) 小於 0.03 % (> 500m)
1km ~ 10km	風大時，會有鹽份存在	—
> 10km	不影響混凝土耐久性	—

*1dm = 10⁻¹m

表 2 日本建築物劣化調查對象的使用類別⁽⁶⁾

Tbale 2 The usage of deteriorated buildings investigation

用 途	住 宅	比 例 (%)	用 途	住 宅	比 例 (%)
住 宅	1,552	34.9	商 業 設 施	196	4.5
辦 公 室	687	15.7	工 業 設 施	92	2.1
教 育 設 施	851	19.5	其 他	41	0.9
文 化 設 施	321	7.4	合 計	4,363	100
醫 院 設 施	653	15.0			

北各面上之柱子、樑、牆壁及其周邊之女兒牆和屋簷等不同部位上觀測其上面是否有無劣化現象及其劣化程度如何？目視表面上有無生霉，鋼筋露出或沿著鋼筋部位的混凝土有無龜裂、鼓起或剝落現象，同時查核混凝土保護層中有無摻加海砂，以及保護層厚度是否足夠等各種現象。調查結果發現有下列現象：

(1)劣化狀況歸納如下：

a.所調查 4,363 棟中，完全保持完整者有 2,586 棟(59.3%)，剩餘 1,777 棟(40.7%)則有污著，龜

表 3 建築物上鋼筋暴露與竣工後使用年數之關係⁽⁶⁾
Table 3 The exposure probability of rebar in the buildings vs. their ages⁽⁶⁾

齡期	總棟數*	鋼筋暴露之棟數	在調查齡期期間內 鋼筋露出比例 (%)
0 ~ 9	1,527 (35.0)	90	5.9
10 ~ 19	1,595 (36.6)	333	20.9
20 ~	1,217 (27.8)	265	21.8
不明	24 (0.6)	3	12.5
合計	4,363 (100)	691	平均 15.8

*()數據為所佔百分率(%)

表 4 鋼筋暴露的建築物與距海岸遠近之關係(6)
Table 4 The exposure probability of rebar in the buildings vs. their position distance from coastline

離海岸之 距離(km)	總棟數*	鋼筋暴露 之棟數	在調查齡期期間內 鋼筋露出比例(%)
0 ~ 0.2	1,003 (23.0)	225	22.4
0.2 ~ 1.0	1,179 (27.0)	181	15.4
1.0 ~ 10	1,138 (26.1)	173	15.2
10 ~	977 (22.4)	102	10.0
不明	66 (1.5)	10	15.2
合計	4,363 (100)	691	平均 15.8

* ()內數據為所佔百分率 (%)

裂及锈蝕鋼筋露出等劣化現象發生。

- b. 有劣化之建物，其中锈蝕鋼筋露出者有 691 棟 (15.8%)。
- c. 表面除有锈蝕鋼筋露出外，劣化程度較嚴重的棟數有 255 棟 (5.8%)。
- d. 锈蝕鋼筋露出發生在柱子，牆壁之處等主要結構受力部位者，共有 91 棟 (2.1%)，其劣化大部份發生在屋頂女兒牆及屋簷上。

(2) 劣化原因分析

a. 保護層厚度之影響

調查锈蝕鋼筋露出的 521 棟，其中有 469 棟 (90%) 是混凝土保護層不足所致。

b. 經年劣化之影響

建築物竣工後發生混凝土劣化造成鋼筋暴

露與其使用年數之關係如表 3 所示。一般而言，竣工後 10 年以上者，其劣化之比例增加幅度較大。

c. 離海岸遠近之影響性

表 4 示其關係性，由表中可見離海岸在 200 公尺以內發生劣化機率約佔 22.4%，超過 200 公尺至 1 公里範圍佔 15.4%，也就是說靠近海岸 200 公尺以內者之劣化機率約增加 50%。

d. 使用海砂與否之影響

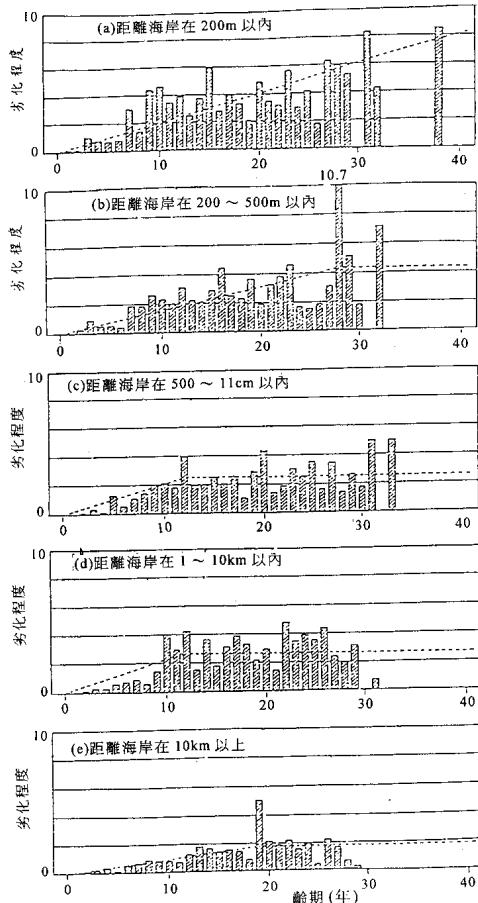
表 5 示使用海砂之情況，劣化機率為 18%，為未使用海砂之情況的 1.3 倍。

e. 建材劣化程度與其齡期之關係

圖 3 及圖 4 為建築物外觀劣化調查其劣化程度與其齡期及離海岸遠近，使用海砂與否等之相

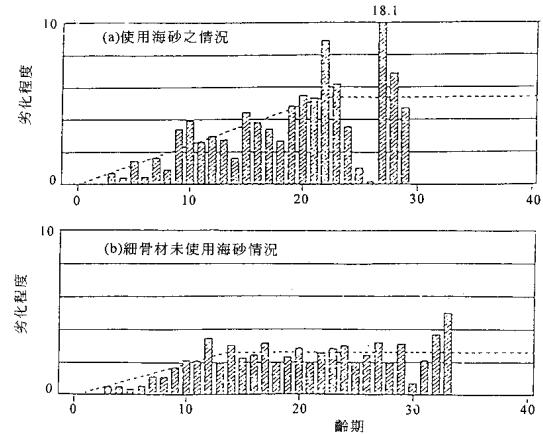
表 5 鋼筋曝露之建築物與使用海砂之關係⁽⁶⁾Table 5 The exposure probability of rebar in the buildings vs. sea sand usage⁽⁶⁾

使用海砂與否	棟數	鋼筋露出之棟數	露出之概率(%)
使用海砂之建築物	578	104	18.0
未使用海砂之建築物	2,571	362	14.1
不明	1,214	225	18.5
合計	4,363	691	15.8

圖 3 建築物外觀劣化調查其齡期與距離海岸之關係⁽⁶⁾Fig.3 The investigation of deteriorated degree of the building vs. their ages and distance from coastline⁽⁶⁾

關性。其劣化程度評估標準如表 6 所示，由圖 3 及圖 4 可發現一般建築物發生劣化是在竣工 10 年後才較為嚴重的。

由以上調查資料顯示建物摻用海砂之劣化機率較未使用者為高，而發生劣化現象一般是在

圖 4 建築物外觀劣化調查其齡期與使用海砂之關係⁽⁶⁾Fig.4 The investigation of deteriorated degree of the buildings vs. ages and sea sand usage⁽⁶⁾表 6 劣化程度評估⁽⁶⁾Table 6 The evaluation of deteriorated degree⁽⁶⁾

劣化之狀況	劣化程度
在同一方向，同一部位有 10 處以上鋼筋露出	10
在同一方向，同一部位有 5 處以上鋼筋露出	5
在同一方向，同一部位有 1 處以上鋼筋露出	1

工程竣工後十年才較嚴重，混凝土保護層厚度不足和建物距離海岸近者，則其劣化機率將較高。

2-3 建築物受到鹽害與氣象因素之相關性

2-3-1 臺灣地區大氣腐蝕環境特性

台灣本島之山地約佔全面積之 64%。因地處中低緯度，為最大海洋與最大陸地間之大島，故

表 7 實測氣象資料統計⁽⁷⁾Table 7 The statistics of measured meteorological data⁽⁷⁾

		調查期間 1980~1994									
調查項目 測站		平均值					極端值				
		風速 (m/sec)	年日照時 數(小時)	相對濕 度(%)	氣溫 (°C)	年降雨 量(mm)	蒸氣壓 力(hPa)	大氣壓 (hPa)	風速 (m/sec)	高(低) 氣溫(°C)	高(低)相 對濕度(%)
基隆	3.04	1214	79.9	22.4	3968	22.4	1011.3	41.8	131.0	36.0	93 (31)
陽明山 (竹子湖)	2.24	1157	86.8	18.4	4495	19.2	945.2	28.2	414.2	33.2 (2.2)	100 (27)
陽明山 (鞍部)	3.51	744	90.0	17.0	4833	18.0	921.1	41.8	-	27.4 (5.6)	93 (89)
台北	2.85	1366	77.1	22.6	2341	22.2	1013	46.1	109.0	362 (9.1)	100 (24)
新竹	2.36	1749	78.4	22.2	1494	22.5	1006.3	33.0	190.3	36.7 (10.1)	106 (33)
橋頭	5.47	1994	77.7	27.1	1295	22.5	1008.4	33.0	113.4	33.3 (10.3)	95 (35)
溪頭	1.06	-	89.8	17.0	2392	-	-	20.6	333.5 (-3.5)	32 (71)	96
高雄	2.58	2148	76.5	25.0	1737	24.1	1012.1	22.8	361.0	34.0 (12.0)	95 (37)
花蓮	2.05	1442	77.4	23.2	2136	22.8	1011.8	42.1	147.5	34.6 (11.6)	94 (36)
澎湖	4.72	2046	82.1	23.4	891	24.4	1009.9	29.8	100.0	34.9 (12.0)	96 (43)

- : 無數據

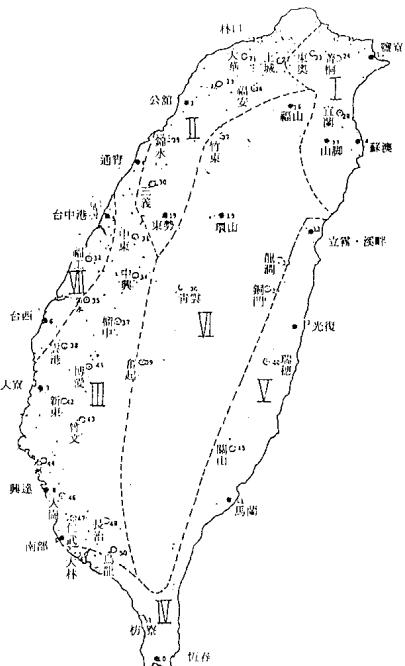
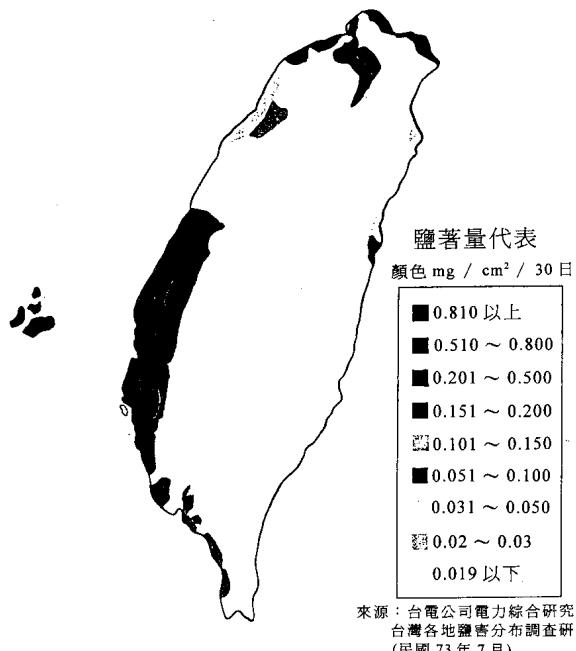
圖 5 台灣地區氣候分區位置圖⁽¹⁰⁾

Fig.5 The position map of different climate district in Taiwan⁽¹⁰⁾

屬於亞熱帶季風氣候。島內縱貫台灣中部偏東之中央山脈與冬夏盛行風斜交。冬季受大陸高壓之影響，屬東北季風型天氣；春夏間有連綿陰雨之梅雨期，夏季受西南季風及亞熱帶高氣壓迴流影響，屬於濕熱多雨型天氣；夏秋兩季並常遭受颱風侵襲。表 7 為數個代表性測站之氣象統計資料⁽⁷⁾。一般而言，台灣地區全年降雨量堪稱豐富，山區雨量多，平地雨量少。冬季雨量以北部、東北部之山區雨量較多。春季雨量多的地區分佈在山脈西邊山區。夏季雨量以南部山區為主。秋季雨量以東北部山區為主。由此可見其季節與地區性之分佈不平均，且逐年的變異性亦很大。在溫度方面，冬季南北溫差較大，而夏季則相差極微。山區之溫度較低，而平地之溫度較高。冬季盛行之東北季風較強勁，而夏季西南季風及迴流的東南風均較和緩，但當颱風來襲或鋒面南下時，則風力狂暴，常有災情⁽⁸⁾。若將台灣區氣候



來源：台電公司電力綜合研究所
台灣各地鹽害分布調查研究
(民國 73 年 7 月)

圖 6 台灣各地區之鹽份附著量最高值分佈圖⁽⁹⁾

Fig.6 The peak values of salty adhesion in different area of Taiwan⁽⁹⁾

劃分為七個地區如圖 5 所示。各地區之地理氣候特徵如下：東北區為濕度大、雨量多，日照時間少。北部區為丘陵多，平原少，冬季溫度低，季風強。西南區為地形平坦，日照充足。南部區為溫度高，雨量集中，夏季多風。東岸區為地勢狹長、日照不足，中部區為海拔高、溫度低。而西岸區為地勢平坦、冬季風大、乾旱、鹽害等特徵。

根據調查統計資料顯示整個台灣地區雨水之 pH 平均值約在 4.5~5.5 之間，偏酸性，屬於酸雨，腐蝕性強⁽⁹⁾。而各地區之鹽含量統計，依台電公司電力綜合研究所鹽害調查，可將鹽含量區分從 $0.019 \text{ mg} / \text{cm}^2 / 30 \text{ days}$ 以下變化至 $0.810 \text{ mg} / \text{cm}^2 / 30 \text{ days}$ 以上共 9 級如圖 6 所示⁽⁹⁾。

在大氣污染資料方面，行政院環境保護署曾在台灣地區設有 19 個監測站，自民國 73 年起就空氣品質加以監測與防制。由實測數據可發現工業區如頭份及高雄之污染情況較為嚴重，而花蓮

表 8 空氣污染資料統計⁽¹¹⁾
Table 8 The statistics of measured air pollution data⁽¹¹⁾

測試項目	1994(1986) 年平均值							
	基隆	永和	中壢	頭份	台中	台南	高雄	花蓮
PIS > 100 之日 數頻率(%)	0.35 (20.83)	0.78 (4.67)	1.65 (5.23)	11.22 (32.26)	0.60 (13.26)	8.22 (6.21)	10.76 (59.02)	0.0 (0.0)
懸浮微粒 (PM ¹⁰) (mg/m ³)	46.98 (122.23)	50.43 (69.2)	48.48 (78.70)	60.28 (103.10)	89.30 (96.30)	125.12 (81.40)	128.91 (14.00)	51.34 (55.90)
二氧化硫含量 (ppb *)	5.00 (41.00)	7.00 (34.00)	9.00 (38.00)	10.00 (83.00)	6.00 (31.00)	10.00 (44.00)	14.00 (24.00)	1.00 (15.00)
二氧化氮含量 (ppb)	39.50 (44.00)	31.00 (21.00)	32.09 (22.00)	26.00 (23.00)	33.00 (19.00)	28.92 (20.00)	23.92 (22.00)	15.50 (11.00)
一氧化碳含量 (ppm)	0.93 (1.87)	0.84 (2.12)	0.72 (1.69)	0.79 (0.50)	1.13 (1.72)	1.09 (1.46)	1.07 (0.70)	0.73 (0.65)
臭氧含量 (ppm)	35.00 (29.00)	32.00 (38.00)	34.00 (39.00)	45.00 (52.00)	72.00 (42.00)	85.00 (38.00)	90.76 (65.00)	33.00 (41.00)

* 1 ppb = 1×10^{-3} ppm, 1 ppm = 1×10^{-6} g/l

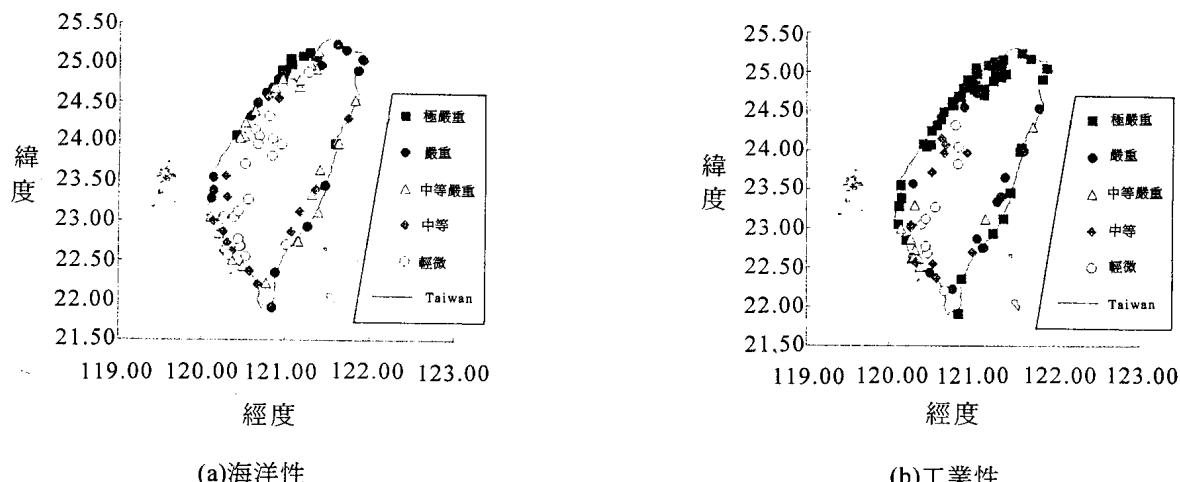


圖 7 台灣地區(a)海洋性及(b)工業性之大環境腐蝕重性傾向圖⁽¹²⁾
Fig.7 The corrosion degree of marine and industry environments in Taiwan⁽¹²⁾

則為無污染地區如表 8 所示⁽¹¹⁾。

表 9 為工業技術研究院工業材料研究所，曾在執行台灣地區大氣腐蝕環境調查計畫所測得之平均氯離子之沉降量⁽¹³⁾。對於長期大氣腐蝕速率量測及環境區分，ISO 9223 系列規範相當詳盡。工業材料研究所對台灣地區大氣腐蝕環境曾作一系列調查。結果發現除了屬於鄉村環境之阿里山的腐蝕程度較輕微(C²)外，其餘不論是化學

工業、硫害或海洋氣候區域，其 ISO 9223 之規範值都大於 C⁴，表示腐蝕之嚴重性。現以海洋性大氣環境及工業性大氣環境腐蝕傾向為例，可看出整個台灣區大氣腐蝕嚴重性傾向及分佈如圖 7 所示⁽¹²⁾。

2-3-2 鋼筋混凝土結構物發生劣化與大氣環境之相關性

混凝土受到太陽光之照射，會使其中水份蒸發掉，而導致龜裂現象。若再加上強風挾帶 SO_2 或 NO_x 和氯化物等各種污染物，將加速其中鋼筋腐蝕及混凝土劣化現象。日照強度及氣溫會影響相對濕度，若其值較低時，則混凝土將失水而引起龜裂。但是，如果其值高，則不但會助長黴菌之生長而使有機物附著在混凝土上。同時也會促進鋼筋腐蝕之電化學反應。降雨會造成混凝土處於長期濕潤狀態而加速電化學反應。含有鹽份的地下水可藉毛細管作用沈積在混凝土之孔隙或表面上；嚴重時，若含有硫酸鹽出現，則會在混凝土表面出現白華和剝離現象，而若含有酸性之地下水與混凝土結構物一接觸，則將會使其造成侵蝕和降低強度。而大氣中之含鹽量，一者為海風所挾帶而沈積在混凝土結構體上，另一為化工廠或污水下水道，燃煤所引起之氯化氫氣體。此種情況的酸鹼值(pH 值)低，會使腐蝕速率提高。一般灰塵都含有一些溶解鹽，而若沈積在混凝土表面上，不但會使其外觀不雅觀，也會加速混凝土之劣化。酸雨會造成混凝土保護層剝離。二氧化碳侵入混凝土中，分解其中之氫氧化鈣而使混凝土之鹼性降低，無法繼續保護鋼筋，致使鋼筋混凝土容易發生腐蝕破壞。各種不同之微生物附著在混凝土結構體表面上造成其外觀相當的不雅。尤其在潮濕、不流動之水及黑暗區更是黴菌生長之最佳場所⁽¹³⁾。

如上述，台灣在酸雨、鹽害及工業廢氣(SO_2 ,...)等加乘之作用下，因此建築物有不同程度之腐蝕問題。尤其是在沿海地區之海風挾帶海鹽粒子沉積於混凝土表面，再加上混凝土表面可能受日照或溫差變化而產生龜裂。因此海鹽粒子易於侵入結構體內。另外海風更可能挾帶海砂，而在混凝土表面造成磨耗腐蝕，因此一般可發現建物向風面之混凝土外牆面的腐蝕破壞程度較背風面者更為嚴重⁽¹⁴⁾。

三、海砂屋腐蝕機理研討

海砂中可能有氯化鎂、氯化鈣、氯化鈉、硫酸鈉及硫酸鎂等有害物，如果在混凝土中摻加海砂，其劣化反應機理在一般文獻上均有闡述^(14,15)，扼要說明如下：

3-1 海砂對混凝土劣化之影響性

混凝土中使用海砂，則海砂中的氯化鎂、硫酸鈉和硫酸鎂，將與水泥水化生成物氫氧化鈣進行反應產生氯化鈣或石膏等生成物之溶解性都很高，容易析出而造成材料流失；使混凝土的孔隙增加，強度降低並促使有害性物質更易滲入混凝土中，而加速混凝土劣化導致惡性循環。另外混凝土中的鹼性環境，主要係由氫氧化鈣提供，當氫氧化鈣與鎂離子反應後，將降低混凝土的 pH 值，而使混凝土保護鋼筋的效果降低。

而上述反應生成物石膏或硫酸鎂也都可能與水泥之水化生成物鋁酸三鈣水化物作用生成鈣釗石(Ettringite,AFt)，這種鈣釗石生成物為針狀結晶會促使混凝土發生龜裂現象。上述氯化鎂和氫氧化鈣反應生成之氯化鈣或海砂中所含之氯化鈉會與混凝土中水泥漿所含之鋁酸三鈣水化物作用，生成單硫酸鹽鋁酸鈣水化物(Monosulfate hydrates,AFm)或氯化鋁酸鈣水化物(Monochloro-aluminate)之結晶。又稱為弗里德爾(Friedel)⁽¹⁵⁾。這種生成物不會膨脹，但溶解性很高，容易析出而造成材料流失。因此如果施工時使用水泥中含鋁酸三鈣(C₃A)量多，例如卜特蘭二型及五型水泥，則可以延緩氯離子之入侵速率，但是長時間後也會與硫酸鹽起反應生成鈣釗石⁽¹⁵⁾。

3-2 海砂對鋼筋混凝土內鋼筋發生腐蝕之影響性

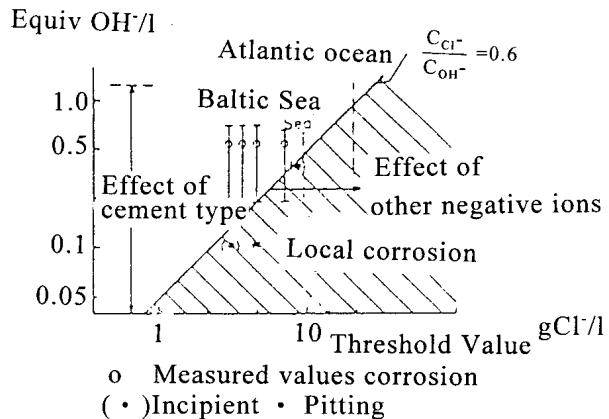
在混凝土中的鋼筋，由於受到混凝土內酸鹼度(pH)值約為 13 的高鹼性環境保護，因此其表面生成一層鈍態的氧化鐵保護膜，使鋼筋不至於發生腐蝕現象。但是當氯離子侵入到鋼筋表面時，氯離子會破壞鋼筋的保護膜，而生成氯化鐵，若此時有充分的氧氣和水分供應，則立刻發生陽極反應，而生成氯化鐵(FeCl_2)，會在鋼筋表面形成具酸性之腐蝕坑狀，慢慢破壞氧化鐵膜。混凝土中氫氧根離子有抑制鋼筋腐蝕之效果，然而氯離子會加速鋼筋腐蝕。因此混凝土中的鋼筋是否會受到腐蝕，須視二者的克分子量(莫耳)比值而定，若 Cl^-/OH^- 的莫耳比值低於 0.60 時，則混凝土中的鋼筋未發生腐蝕之機率較高(圖 8)。⁽¹⁶⁾

根據以上剖析可知海砂與水泥水化物反應會生成水溶性鹽類。因此容易造成混凝土產生析晶，硫酸鹽侵蝕，混凝土龜裂及鋼筋腐蝕等現象。所以會降低混凝土之耐久性，嚴重地影響結構物的使用安全性。

四、海砂屋劣化診斷技術

4-1 概述

海砂屋是由已經受到氯化物等有害物侵襲所致。其來源可能是因為有一些不肖施工廠商在混凝土施工中摻有海砂或因台灣處於海洋環境下，海風挾帶鹽份侵入結構體所引起的。因此建立定期檢查制度，以防制結構體因混凝土劣化及鋼筋腐蝕而提早破壞，及提出對策是必須進行的工作。內政部營建署曾於中華民國八十四年九月四日舉行全國建築會議，其中有一項討論題綱為「如何健全建築發展機制，提昇環境品質水準」，其中有一項討論子題是「如何加速建立建築材料檢測及認證制度，提昇建築安全品質水準」。會中討論結果建議內政部與經濟部共同輔

圖 8 臨界氯離子濃度和氫離子濃度之關係⁽¹⁶⁾Fig.8 The relationship between the threshold values of Cl^- and OH^- ⁽¹⁶⁾

導成立「財團法人建築中心」，以利落實建材之檢驗、測試及使用管理，並提昇建築安全品質水準之工作。而建材檢測雖分為產品之品質檢測及使用性能檢測，然而兩者之功能與目的相同，因此建議將該兩項檢測工作合而為一，以便簡化作業程序，避免無謂之浪費⁽¹⁷⁾。可見產、官、學、研等各界都相當重視建物之建材檢測工作，其主要目的如下：

- (1)及早發現結構體內可能具有的潛在性的或明顯性的惡化損傷。
- (2)可瞭解結構體可能發生劣化及損傷之原因。
- (3)評估結構物之健全特性及判斷是否需進行補修工作。
- (4)有系統的記錄結構體逐年劣化之變化特性。
- (5)可提供評估選用較為適當的補修方式及採用最經濟有效之策略的相關資料。
- (6)判斷在施工建造時，所使用之材料是否正確之回饋資料。

一般檢測工作包括破壞性及非破壞性兩種。破壞性主要是進行鑽心取樣獲取抗壓強度數據資料。而非破壞性試驗則是利用物理及化學原理，以不破壞結構體為原則，執行檢測混凝土之強度、均勻性、保護層厚度、裂縫及鋼筋可能發

生鏽蝕等現象。

一般建築物劣化情況大多數以目視檢查，然而當發現表面出現裂縫或有混凝土剝落時，此時其內部早已經發生嚴重之腐蝕現象，因此想要進行補修工作，必須花費相當大筆的經費與人力才能妥善的處理。因此平時定期對建物作非破壞檢查是確保工程安全之必要工作。紅外線溫度感測影像處理系統是一種非破壞性檢測儀器。使用時不必破壞結構體，就能測知混凝土內之裂縫位置及範圍大小，最重要的是可以量測而不必接觸到測定之結構體位置，因此對於高層建築之檢測工作特別實用。目前歐、美、日等各先進國家已廣泛應用此技術進行非破壞檢測。而熱重分析技術是量測試體在受熱過程中，當其能量移轉及晶相轉變時所引起之質量之變化的熱行爲特性。此方面之技術已為實驗室材料檢測不可缺少之工具之一。以下扼要檢討此兩種非破壞性檢測系統之應用性。

4-2 紅外線影像系統

4-2-1 紅外線溫度感測影像處理系統之測試原理

當一個物體之溫度超過絕對零度時，將輻射電磁波。輻射之波長將依其溫度之大小而設定在一定的波帶上。例如在室溫下，其波長約為 4 ~ 40mm，而其波高約為 10mm⁽¹⁸⁾。而在相當高溫時，輻射之波長可減至低於 1mm，而落在可目視之波譜內，此可說明為何一些金屬當加熱至相當高溫時會出現紅色。而肉眼無法看見在室溫的長波，這是紅外線輻射。利用儀器可偵測紅外線輻射，可看見表面的溫度差異，此為紅外線溫度記錄器(Infrared thermography)觀測基本原理。單位表面積所輻射能量之速率(W)可以 Stefan-

Boltzmann 定律表示如下式⁽¹⁹⁾：

$$W = e \alpha T^4 \quad (1)$$

式中 T：絕對溫度(°K)

e：發射率(%)

α ：stefan-Boltzmann 常數(5.67×10^{-12} watt / cm² / °k)

因此在建物表面上所產生之溫度差與發射出能量差成正比，故測試儀器可偵測溫度差低於 0.2 °C 之精度。發射率(Emissivity)指由表面所發射能量之效率。其最大值為黑色物體 e=1，所有實體之表面的發射率均小於 1，磨光之金屬表面其發射率最低。而粗糙之非金屬材料的發射率較高。因為偵測方法是根據發射之強度而定，所以用在表面上各點的放射率的改變以闡述其溫度上之差異可能不正確，因為非金屬或高發射率者的表面可能用低發射率之油漆塗裝而加以改善其發射率。

4-2-2 遙測(Remote Inspection)

紅外線溫度記錄器可以遙測一試體，因為實際上空氣可透過與室溫條件有關之紅外線波長⁽²⁰⁾，然而高濕氣含量則將會降低紅外線經由空氣之輻射，所以當天候是潮濕狀態將出現問題。半導體晶體常用以偵測紅外線輻射。其電器性質受入射紅外線輻射之改變。為了獲取最佳之靈敏度，晶片必須用液態氮冷卻保存。因此手提式偵測系統受到某些限制，一旦氮氣被蒸發掉，則必須更換液態氮。

4-2-3 紅外線掃描及展示之影像處理

掃描之操作原理如同電視。紅外線掃描可讓使用者看一試體表面之圖片，經由一特殊反射鏡系統，測試之表面被掃描在一時間有一小點，其輻射之強度由偵測器量測且展現在陰極線管

(Cathode ray tube)。在水平及垂向上快速掃描，故試體表面上的溫度記錄之畫面再現於陰極線管上。畫面上用灰色陰影表示試體表面溫度之變化，同時亦有顏色深淺與絕對溫度之對照表。現已可發展使用不同顏色顯示不同溫度變化之彩色畫面之影像處理系統以利應用。

4-2-4 TVS 之應用性

TVS 技術已在偵測混凝土材料中之龜裂，薄片材料中未結合處是否含水氣，材料密度梯度和在鑄品中有異物等⁽¹⁸⁾。在施工區，可用於比較屋頂之防熱，檢查屋頂滲水及負載電路等^(20~23)，亦可應用於檢查橋面板之劣化區⁽²⁴⁾。此系統一般可以手提攜帶，貯存記錄檢查結果，而且不必與表面接觸可直持迅速的檢查大面積範圍的劣化現象。

在決定偵測裂縫之大小與位置時，必須認知在熱流條件下，其表面上的溫度特性為所量測的表面範圍內的所具有未連續型態與大小及其與表面之距離和作用於或流經物體表面的熱強度與觀測時間等各種參數之函數⁽¹⁸⁾。而其偵測之靈敏度將隨這些參數而異，因此對檢查結果的詮釋必須格外地小心，以免產生誤判。

4-2-5 紅外線影像系統在海砂屋偵測龜裂上之應用

一般建物外壁在白天時受到日照，所以外壁的溫度會比其內壁要高，因此熱流自外壁向內壁流動。故內、外壁有溫度差異，而產生溫度梯度。如果結構體內有剝離部份，則其間無法傳熱，而形成很薄的空氣層。圖 9 示在一定日照量之情況下，剝離部位之表面溫度較健全部位為高，而圖 10 則為在各種日照溫度條件下，建築外壁的溫度變化特性。

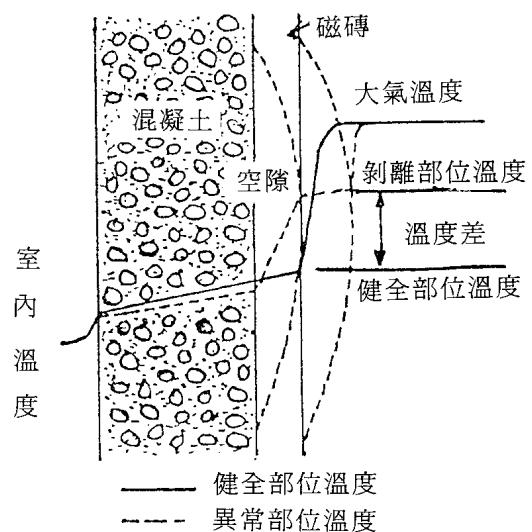


圖 9 建物外壁診斷之概念圖⁽²⁵⁾

Fig.9 The concept of monitoring the deteriorated situation of exterior wall of buildings by using TVS system⁽²⁵⁾

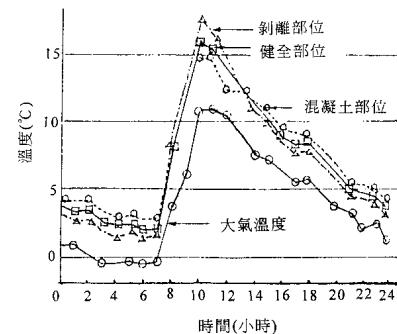


圖 10 建物外壁之溫度變化範例⁽²⁵⁾

Fig.10 The typical temperature variation of exterior wall of buildings.

圖 11 為利用 TVS 偵斷建築物外壁之範例⁽²⁵⁾。使用此種技術之優點為立即可得到結果，調查費用低廉，可以自動畫圖指出剝離位置及其面積，可供補修費用之依據及逐年劣化變化之記錄。由於 TVS 之體積小，具有機動性，其操作與一般電視機類似。如同一小型之照相機，其重量較輕，搬運方便及操作簡易，每一秒鐘可拍照 30 張之影像，結構體及大氣溫度在 -100 °C 至 200 °C 溫度範圍內均可量測，其精度為 0.01 °C，是

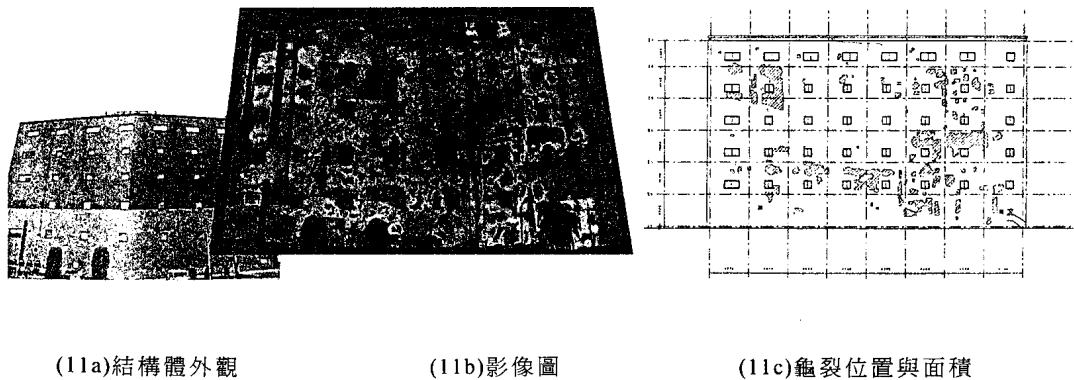
圖 11 紅外線影像處理系統偵斷建物龜裂範例⁽²⁵⁾

Fig.11 The typical example of monitoring the cracks in the buildings by using the technology of thermal video system⁽²⁵⁾

一種相當實用的建物健康診斷方法。

4-3 應用熱重量分析儀器偵測材質變化

4-3-1 概述

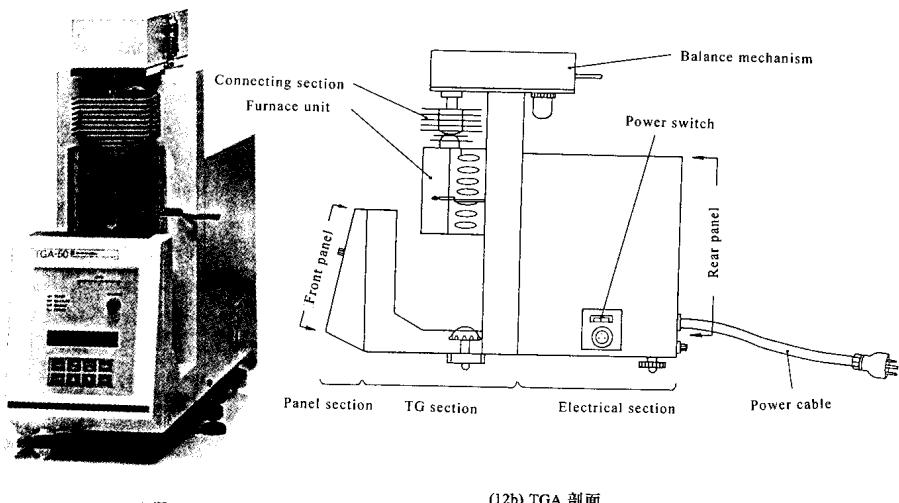
每種材料各有其晶相及內能特性，當受熱或負荷後，材質會產生能量移轉、晶相轉變而使其熱量，質量及體積產生變化。應用熱分析可建立溫度及各種參數與材料之物性或化性的定性或定量之關係。量測儀器包括偵測試料在升降溫過程中發生的物理性及化學性變化所吸放能量而造成試料溫度變化的熱差分析儀(DTA)，偵測吸、放熱含量之差示掃描量熱儀(DSC)，測量因溫度變化產生質量變化之熱失重分析儀(TGA)和在加熱與負荷作用下產生應力應變與溫度關係之熱力分析儀(TMA)等^(26,27)。

由於混凝土耐久性與其微結構之關係甚大。因此由熱分析所提供之有關水化水泥漿體之熱行為是一種實用及簡便評估的方法。熱分析試驗所使用之材料量少，操作方便、省時，其技術可提供水泥之水化行為及水化生成物形成時相關之熱量、熔點、質量及體積變化，是非常實用之定性參考資料。TGA 技術不僅可應用於偵測混

凝土在施工中是否摻加有害物，且可檢查使用期間是否有腐蝕因子侵入，因而可及早加以防範和提出防制對策。

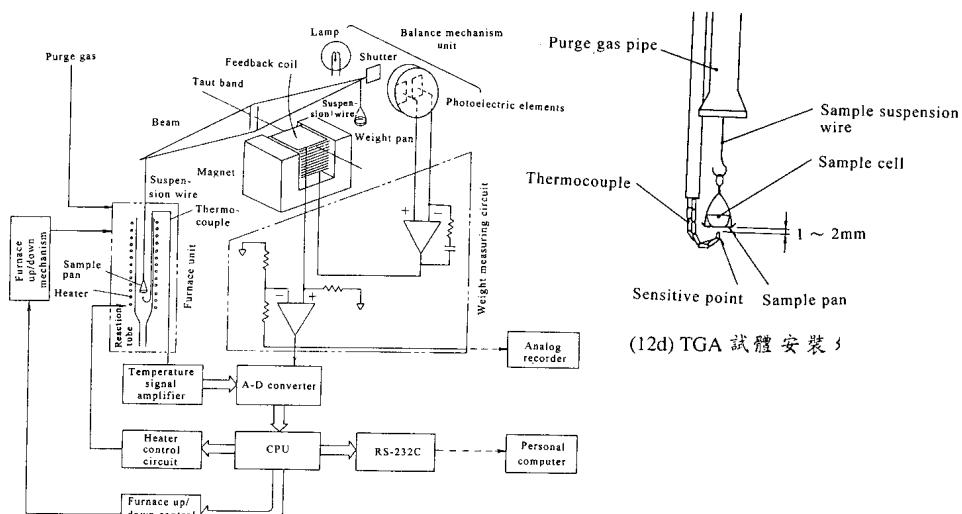
4-3-2 TGA 測試原理

TGA 之外觀及剖面圖如圖 12a 及 12b 所示^(28,29)，實驗時將試料稱重後置於坩鍋樣品盒中，再置於加熱爐中之天平上。圖 12c 為測試原理與結構流程圖⁽²⁹⁾。基本上 TGA 是採用零點平衡原則，利用高靈敏度之感測器連接到一繫帶(Taut band)懸掛系統以偵測樣品受熱後之量變化，藉光學啓動自動控制迴路調整電流流入感測器之電流量大小，以維持天平臂在水平(零點)之位置，利用電腦記錄熱失重與加熱溫度之變化關係。一般化合物在升溫時，呈現質量減少現象係因被吸附之小分子或試料本身發生熱分解所致。為促使分解反應完全，需通入惰性氣體(例如高純氮氣)，其流速以不影響微量天平之平衡為原則(使用 50cc/min)。該微量天平之平衡桿中央附有電磁鐵，天平因為加入試料而失去平衡時，桿端光電池受光放電，電流通過電磁鐵，產生扭力使其平衡恢復，記錄流過電鐵之電流量即相當於試料之重量。天平和試料載重均置於密



(12a) TGA 外觀

(12b) TGA 剖面



(12c) TGA 原理與結構

圖 12 熱重量分析儀器概觀^(28,29)

Fig.12 The Instrumentation of thermogravimetric analysis^(28,29)

閉系統中，不受外界氣流之影響，偵測重量可至 0.1mg，所測試之試料量宜愈少量愈好。所得數據除可供分析熱安定性外，並可知物質之熱裂解溫度可供定量分析。TGA 可偵測水泥水化反應過程中之含水量之微量變化，靈敏度可達 0.1mg。同時必須注意試料天平與熱電偶之距離必須為 1-2mm 範圍（圖 12d），否則熱感應不佳⁽²⁹⁾。

4-3-3 TGA 測試結果

圖 13 為代表性之 TGA 測試結果，並將測試之結果示於表 9 及表 10，由表 9 可發現標準砂 (Ottawa sand) 對熱之反應相當的穩定，可視為一種熱惰性材料，而當在標準砂中摻加 NaCl，雖然相當微量約 0.5% (一般海水中含鹽量)，但仍可偵測其有明顯的熱失重現象，而其熱失重隨添加之 NaCl 數量增加而遞增，而實際海砂的測試結果則介於標準砂添加 0.5%~2%NaCl 之試料測試結果之間，而純 NaCl 則在加熱溫度至 730

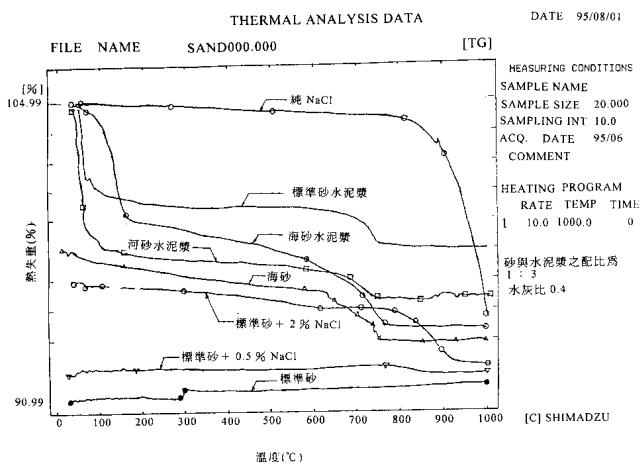


圖 13 海砂等材料熱失重測試結果範例

Fig.13 The typical example of test results of the heating weight loss of sea sand and other materials

表 9 海砂之熱失重

Table 9 The heating weight loss of sea sand

單位：%

材料	溫度 (°C)	105	580	1007
標準砂		0.07	0.16	0.2
標準砂 + 0.5 % NaCl		0.03	-0.18	-0.42
標準砂 + 2 % NaCl		-0.04	-0.83	-2.92
海砂		-0.26	-0.66	-2.44
純 NaCl		0.04	-0.05	-16.77

表 10 水泥砂漿體之熱失重

Table 10 The heating weight loss of cement paste

單位：%

材料	水灰比	0.24	0.4
卜特蘭 I 型水泥		10.75	12.93
水泥 + 10 % NaCl		23.04	23.96
水泥 + 20 % NaCl		24.28	30.35
水泥 + 40 % NaCl		27.69	34.64
水泥 + 34 % 標準砂		-	8.87
水泥 + 34 % 海砂		-	16.47
水泥 + 34 % 河砂		-	13.17

°C時，其熱失重曲線急速下降，此與其溶點之特性有關。

表 10 為水泥漿摻有不同數量之氯化鈉或實際海砂用 TGA 測試至 1000 °C 之熱失重比較。由

表中可見水泥漿之熱失重隨其中所含 NaCl 量之增加而遞增，且水灰比愈大者，熱失重量愈大。而在水泥砂漿體中，可發現摻加海砂者，其熱失重量較高。

伍、結論與建議

根據本研究結果，可得出下列結論與建議事項：

1. 海砂中含有氯離子等有害物，會與混凝土反應生成具有膨脹性的鈣鈦石或將氫氧化鈣析出及使其鹼性降低無法保護鋼筋，同時鋼筋亦會生成氯化鐵造成孔蝕而引起鋼筋腐蝕等現象。因此為保護建築物之使用安全，應嚴禁使用海砂。
2. 台灣為一海島，建築物容易受到鹽害除防止使用海砂外，為保全建物應該加強施工材料品質及定期對建物作健康檢查以確保建物的耐久性。
3. 利用紅外線影像系統可偵斷建物是否已經發生龜裂現象。此種科技產品在先進國家已使用多年，效果及可靠性良好。
4. 利用熱失重分析儀可檢測水泥砂漿中含有海砂或腐蝕生成物，因為各種材料都有其獨特的晶相及內能特性，因此當已腐蝕之材料受熱後將產生溫度及質量之變化，而很顯然地會與原材料不同，因此應用此熱分析技術可快速及可靠地偵測材料是否變質。若再配合 SEM、EDS 及 XRD 等微觀儀器將更可發揮其功用。
5. 政府相關單位應重視及早建立定期檢查制度及培養檢測人才，以利檢查海砂屋潛在之病況及提出有效解決對策之重要工作。

參考文獻

1. 彭耀南，林維明，黃兆龍，吳鶯榮，「海砂屋調查分析」海砂屋防範及善後策略研習會，（國立台灣工業技術學院，防蝕學會及工材

- 所，1995），p.59-76。
- 2.施建志，「從個案及腐蝕機理談海砂屋鑑定」海砂屋防範及善後策略研習會，國立台灣工業技術學院，防蝕學會及工材所合辦，(1995)，p.125-154。
- 3.岸谷孝一，竺井浩，「鋼筋混凝土構造物鹽分入侵文獻之研究」，昭和 60 年度日本建築學會大會學術講演集，(1985)，p.10。
- 4.ISO/TC,"Corrosion of Atmospheres", WG4, N66E, (1983), p.156.
- 5.櫻野紀元，「鹽分侵入鐵筋之腐蝕與防蝕對策」，日本建設省建築研究成果集，日本建築研究振興協會，(1984)，p.10。
- 6.柳田佳寬，混凝土工學，Vol.25,No.11(1987), p.68。
- 7.中央氣象局氣象統計資料(1970~1994)。
- 8.李汴軍，「台灣地區溫度、雨量氣候分佈」，材料大氣腐蝕研討會論文集，莊東漢，陳振川主編，經濟部中央標準局，中華民國防蝕工程學會，(1991)，p.1。
- 9.蔡克群，「台灣大氣環境腐蝕因子和金屬腐蝕資料庫」，中工高雄會刊，2 卷 3 期，中國工程師學會高雄市分會，(May,1995)，p.15。
- 10.鄭福田，蔣本基，莊東漢，杜悅元，林勝男，台灣地區酸雨調查研究期末報告，台大環工所研究報告 No.166,(1987)。
- 11.行政院環境保護署統計室：中華民國台灣地區環境保護統計月報 20，(1995)，p.21。
- 12.蔡克群，「台灣大氣環境腐蝕因子和金屬腐蝕資料庫」，台灣區碳鋼和耐候鋼的腐蝕行為和銲接技術研討會論文集，中國工程師學會高雄市分會，(March,1995)，p.3-1。
- 13.Wei-Ming Lin, Chao-Lung Hwang and Yaw-Nan Peng, The Durability Survey of Building Materials in Taiwan, in Proc. of the 9th Asian-Pacific Corrosion Control Conference, Nov. 1995, Kaohsiung, ed. S. LI Chan and W. T. Tsai (Corrosion Engineering Association of R.O.C. 1995), Taiwan, p.619.
- 14.李釗，「海洋境對鋼筋混凝土侵蝕的反應機理及防蝕注意事項」，鋼筋混凝土結構防蝕技術研討會論文集，台中，港灣技術研究所，(1989)，p.45。
- 15.Mehta, P. K.: Concrete Structures, Properties, and Materials, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., (1986), p.24.
- 16.Tuutti, K., "Corrosion of Steel in Concrete", Swedish Cement & Concrete Research Institute, S-100, Stockholm, (1982), p.44.
- 17.內政部營建署全國建築會議籌備委員會，「全國建築會議與對策提案」，內政部營建署，(1995)，p.39。
- 18.Metals Handbook, Vol. 11, "Nondestructive Inspection and Quality Control," 8th Edition, American Society of Metals (1976).
- 19.Robert G. Mathey and James R. Clifton, "Review of Nondestructive Evaluation Methods Applicable to Construction Materials and Structures", U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards (USA), NBS Technical Note 1247, (June, 1988) p.101.
- 20.Jenkins, David R., Mathey, Robert G., and Knab, Lawrence I., "Moisture Detection in Roofing by Nondestructive Means-A State-of-the-Art Survey," National Bureau of Standards (USA), Technical Note 1146 (July 1981).
- 21.Bushing, H., Mathey, R., Rossiter, W., and Cullen, W., "Effects of Moisture in Built-Up Roofing, A State-of-the-Art Literature Survey," National Bureau of Standards (USA), Technical

- Note 975 (July 1978).
- 22.Tobiasson, Wayne and Korhonen, Charles, "Roof Moisture Surveys : Yesterday, Today and Tomorrow," Proceedings, Second International Symposium on Roofing Technology, NBS / NRCA / RILEM 18-20, September (1985), p.438-443, available from National Roofing Contractors Association, Chicago, IL.
- 23.Tobiasson, Wayne and Korhonen, Charles, "Summary of Corps of Engineers Research on Roof Moisture Detection and the Thermal Resistance of Wet Insulation," Special Report 78-29, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory (1978).
- 24.Manning, D. G. and Holt, F. B., "Detecting Delamination in Concrete Bridge Decks," Concrete International, Vol.2, No.11 (1980), p.34-41.
- 25.TVS 建物診斷研究會, "Thermal Video System", 日本, (1994), p.1。
- 26.Wei-Ming Lin, Chao-Lung Hwang, Kuo-Huang Hsien and Yaw-Nan Peng, "Application of Thermal Analysis to Problems in Concrete Corrosion", in Proc. of the 9th Asian-Pacific Corrosion Control Conference, Nov. 1995, Kaohsiung, ed., S. Li Chan and W. T. Tsai (Corrosion Engineering Association of R.O.C. 1995), p.557.
- 27.林維明，黃兆龍，謝國煌，彭耀南，「水化水泥熟料之熱行爲研討」，材料科學第 27 卷 第 4 期，中國材料科學學會(1995)，p.280。
- 28.Shimadzu Corporation, Stand-Alone Thermal Analysis Instruments, International Marketing Division, Tokyo, Japan, (1989), p.4.
- 29.Shimadzu Co., "TGA-50 Thermogravimetric Analyszer Instruction Manual", Analytic In-
- struments Division, Kyoto, Japan, (1989), p.3-12.