

MOTC-I0T-IHMT-GA8910

土工織物在海岸與港灣工程之應用研究

著者：李豐博、蘇吉立

交通部
運輸研究所 港灣技術研究中心

中華民國八十九年十二月

交通部運輸研究所港灣技術研究中心出版品摘要表

出版品名稱：地工織物在海岸與港灣工程之應用研究			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號 009254890162	港灣技術研究中心出版品編號 MOTC-IOT-IHMT-GA8910	
主辦單位：中心本部 主 管：張金機 計畫主持人：李豐博 研究人員：蘇吉立 聯絡電話：04-6564216 ext.501 傳真號碼：04-6571329			研究期間 自 87 年 7 月 至 89 年 12 月
關鍵詞：地工織物；港灣工程；規範			
摘要： <p style="margin: 5px 0;">海岸與港灣結構物如防波堤、海堤、護岸等，在長期之波浪作用下，發生邊坡、堤基與堤趾之沖蝕淘空，導致主體之沉陷，傾側與破壞；碼頭方面，殘留水位之變化而致背填土流失，引起碼頭面之陷空，危及碼頭設施與機能等等，在海岸與港灣工程上為常見之損害，而在規劃設計與施工階段採取適當措施以為防範，應是重要課題。</p> <p style="margin: 5px 0;">地工織物為具有透水性之高分子聚合物，提供過濾、排水、加勁、抗沖刷與分隔等功能，這些功能即為海岸與港灣結構損害防範之機制。目前地工織物在國內海岸與港灣工程上應用尚屬局部，且其在設計與施工上仍無一套技術準則可循，因此有待加強研究統合與推廣。</p> <p style="margin: 5px 0;">本計畫探討地工織物在國內海岸與港灣工程之應用現況，地工織物在海岸與港灣構物應用之機理，以及調查與評估國內主要地工織物之工程性能，並研擬地工織物在設計與選材規範，作為其在海岸與港灣工程上應用之準則。</p>			
出版日期	頁數	工本費	本 出 版 品 取 得 方 式
89 年 12 月	62	300	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中心免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 限閱 <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密【限】條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部運輸研究所之意見。			

PUBICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
 INSTITUTE OF HARBOR & MARINE TECHNOLOGY
 INSTITUTE OF TRANSPORTATION
 MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Study on the Application of Geotextiles in Harbor and Coastal Engineering.

ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 009254890162	IHMT SERIAL NUMBER MOTC-IOT-IHMI-GA8910
DIVISION: Institute of Harbor and Marine Technology DIVISION CHIEF: Chien-Kee Chang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Feng-Bor Lee PROJECT STAFF: Chi-Li Su PHONE: 04-6564216 ext.501 FAX: 04-6571329		PROJECT PERIOD FROM 1998/7 TO 2000/12

KEY WORDS : Geotextile; Harbor engineering; Specifications

ABSTRACT:

Settling, tilting and failure of harbor and coastal structures such as breakwater, seawall, etc. due to long-term wave acting; settling and caving of wharf due to tide fluctuating, etc. are some damages commonly occurred in harbor and coastal engineering. Countermeasures to such damages both in design and construction stages are concerned.

Geotextiles are thin, flexible, permeable textiles manufactured from polymeric material with the ability to filter, drain, reinforce, separate and control erosion. These functions are mechanism of damage prevention and treatment for harbor and coastal structures. The application of geotextiles in harbor and coastal engineering in this country needs to be extended and the specifications of design and construction for geotextiles need to be further studied and unified.

In this study the application and behavior of geotextiles used in harbor and coastal engineering in this country were investigated, the engineering properties of geotextiles available in this country were tested and evaluated and the application mechanism of geotextiles in harbor and coastal structures were examined. Suggested specifications for the geotextile selection and design were established for the application in harbor and coastal engineering.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
2000/12	62	300	<input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> UNCLASSIFIED

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Institute of Transportation.

目 錄

表目錄	III
圖目錄	IV
第一章 前言	1
第二章 土工織物材料研討	2
2.1 概述	2
2.2 聚合物	2
2.2.1 聚合物種類	2
2.2.2 聚合物性質	3
2.3 織物構造	4
2.3.1 織造方法	4
2.3.2 織布	5
2.3.3 不織布	7
第三章 土工織物性質與相關測試法	11
3.1 土工織物之性質	11
3.1.1 一般性質	11
3.1.2 力學性質	12
3.1.3 水力性質	15
3.1.4 耐久性質	16
3.2 常用地工織物試驗法	17
3.2.1 試驗規範	17
3.2.2 常用試驗法	18
3.3 國內土工織物產製概況	24
第四章 土工織物在海岸與港灣工程之應用	28
4.1 土工織物之功能與應用	28
4.1.1 功能	28
4.1.2 應用	30
4.2 國內海岸與港灣工程之應用	32

4.2.1 主要港灣應用情形	32
4.2.2 討論	47
第五章 土工織物之設計與選用	50
5.1 概述	50
5.2 AASHTO M288-96 規範	50
5.2.1 規範制訂	50
5.2.2 規範摘要	51
5.3 建議規範	55
第六章 結論與建議	58
參考文獻	59

表 目 錄

表 2.1	地工織物常用 PET 與 PP 之性質比較	5
表 3.1	地工織物之性質及其影響因素	12
表 3.2	常用地工織物試驗法	17
表 3.3	CNS 11228 土木工程用不織布性能規範	26
表 3.4	國產部分地工織物強度性質試驗資料	27
表 4.1	淡水港南北防波堤地工織物材料規範	37
表 4.2	花蓮港第四期擴建碼頭地工織物材料規範	37
表 4.3	高雄港鋼管樁碼頭地工織物材料規範	39
表 4.4	高雄港第五貨櫃中心碼頭地工織物(織布)材料規範	39
表 4.5	安平港外廓防波堤堤底地工織物材料規範	41
表 4.6	台中港外廓防波堤地工織物材料規範	43
表 4.7	台中港南填方區圍堤地工織物材料規範	43
表 4.8	國內主要港灣工程地工織物之應用	48
表 4.9	國內主要港灣地工織物(不織布)材料規範一覽表	49
表 5.1	AASHTO M288-96 地工織物需求強度性質	52
表 5.2	AASHTO M288-96 地工織物過濾(排水)需求性質	52
表 5.3	AASHTO M288-96 地工織物分隔需求性質	53
表 5.4	AASHTO M288-96 地工織物穩定需求性質	53
表 5.5	AASHTO M288-96 地工織物沖蝕控制需求性質	54
表 5.6	AASHTO M288-96 臨時性沉泥圍籬需求性質	55
表 5.7	地工織物(不織布)過濾/排水需求規範(建議值)	56
表 5.8	地工織物(不織布)沖蝕控制/加勁需求規範(建議值)	57

圖 目 錄

圖 2.1	各類土工織物顯微鏡照相圖	6
圖 2.2	紡粘不織布製造示意圖	10
圖 2.3	不織布針軋法示意圖	10
圖 3.1	針軋不織布之應力應變曲線	14
圖 3.2	抗拉強度試驗法示意圖	20
圖 3.3	撕裂強度試驗(梯形法)示意圖	20
圖 3.4	穿裂強度試驗示意圖	21
圖 3.5	縫合強度試驗	21
圖 3.6	正向透水率試驗	25
圖 3.7	橫向透水率試驗	25
圖 4.1	土工織物之阻塞與遮蔽現象	29
圖 4.2	土工織物與土壤介面過濾層之形成	29
圖 4.3	土工織物分隔功能示意圖	31
圖 4.4	土工織物過濾/排水功能之應用	33
圖 4.5	土工織物沖蝕控制功能之應用	34
圖 4.6	土工織物分隔/加勁功能之應用	35
圖 4.7	淡水港南防波堤土工織物設置	36
圖 4.8	花蓮港第四期擴建碼頭土工織物設置	38
圖 4.9	高雄港第五期貨櫃中心碼頭土工織物設置	40
圖 4.10	安平港外廓防波堤土工織物設置	42
圖 4.11	台中港外廓防波堤土工織物設置	44
圖 4.12	台中港棧橋碼頭土工織物設置	45
圖 4.13	台中港南填方區圍堤土工織物設置	46

第一章 前言

土工織物 (Geotextiles) 為土工合成材 (Geosynthetics) 家族之一，其家族包括：土工織物、土工格網 (Geogrids)、土工流網 (Geonets)、土工止水膜 (Geomembranes)、土工粘土襯布 (Geosynthetic clay liners)、土工管線 (Geopipes)、土工複合材 (Geocomposites)、土工泡棉 (Geofoams) 等。土工合成材為由高分子聚合物 (Polymer) 所製造而成之新興土木營建材料，其形狀多為扁平平面構造，其因多與基礎、土壤、岩石或其他大地工程相關材料合併使用，因而稱之為土工合成材。近一、二十年來，由於科技之進步，土工合成材之發展甚為快速，目前已廣泛應用於大地工程、水利工程、公路工程、環保工程及其他土石、地下水相關之工程中。

土工織物應用於大地相關工程近一、二十年來，其使用量以線性速率快速成長，其成長速率如此快速之其主要原因在於土工織物能有效解決工程之難題，提供最佳之解決方案；並且土工織物價廉物美、質輕、工作性佳。於歐美國家，基於設計、施工及良好工程品質之需求，甚且訂定法規，要求於特定工程必須採用地工織物並規定其需求性質，例如美國各州公路及交通官員協會 (AASHTO) 訂定之地工織物應用於各種道路及其邊坡加勁、水土保持、排水等規範。

在海岸與港灣工程上，海岸與港灣結構物如防波堤、海堤、護岸等，在長期之波浪作用下，發生邊坡、堤基與堤趾之沖蝕淘空，導致主體之沉陷，傾側與破壞；碼頭方面，殘留水位之變化而致背填土流失，引起碼頭面之淘陷，危及碼頭設施與機能等等，在海岸與港灣工程上為常見之損害，而在規劃設計與施工階段採取適當措施以為防範，應是重要課題。

土工織物為具有透水性之高分子材料，提供過濾、排水、加勁、抗沖刷與分隔等功能，這些功能亦即為海岸與港灣結構損害防範之機制。目前，土工織物在國內海岸與港灣工程上應用尚屬局部，且其在設計與施工上仍無一套技術準則可循，因此有待加強研究統合與推廣。

本計畫探討土工織物在國內海岸與港灣工程之應用現況，土工織物在海岸與港灣結構物應用之機理，以及調查與評估國內主要土工織物之工程性能，並研擬土工織物在設計與選材之規範，作為其在海岸與港灣工程上應用之準則。

第二章 土工織物材料研討

2.1 概述

土工織物自從被大地工程界使用至今，約有 20 年的歷史，在這 20 年間，國內外地工織物之使用量皆快速成長，主要原因在於土工織物能有效解決工程之難題，提供最佳之解決方案；其快速長成之原因歸納如下（胡，1998）：

價廉：土工織物為石化工業副產品之製品，以現今時代之進步、對能源的需求，使得土工織物得以大量生產，而價格亦便宜。

物美：土工織物係於工廠內利用機械產製，產品具有一致性、均勻性之特性，且可依工程之需要產製特殊之產品。

質輕：土工織物之比重均近於 1，而土石材料之比重為 2.6~2.7，其差異不言而喻，質輕使得土工織物運送輕捷且施工容易。

工作性佳：土工織物成品成捲、筒或呈片狀，便於運送、儲存及施工，於現地更僅需極少之人力即可完成，施工快速，工期掌握容易，並可替代天然材料，為天然材料不易取得時之替代品。

規範規定：於歐美國家，基於設計、施工及良好工程品質之需求，以設計理念、現地實驗、長期觀測及試驗結果為基準，訂定法規，要求於特定工程必須採用地工織物並規定其需求性質，例如美國環保署(EPA)之垃圾掩埋場規定及美國各州公路及交通官員協會(AASHTO)之土工織物應用於各種道路及其邊坡加勁、水土保持、排水等規範。

土工織物之發展源自紡織工業，而非來自傳統工程材料工業，因此，有關闡述土工織物之成分材料、製造與特性等相關名詞，一般土木工程師較不熟稔，事實上，土工織物之工程特性受其成分材料（聚合物）、製造方法等之影響甚大，有先行探討之必要。

2.2 聚合物

2.2.1 聚合物種類

聚合物又稱高分子物質，是由小而簡單之化合物稱為單體(Monomer)，經由聚合反應而生成之高分子量物質。由同一種單體聚合而成之聚合物稱為均質

聚合物或同元聚合物(Homopolymer)，若聚合物是由兩種單體聚合而成，則稱為共聚合物(Copolymer)。

土工織物所使用之合成聚合物主要包括下列數種：

聚乙烯(Polyethylene，簡稱 PE)

聚丙烯(Polypropylene，簡稱 PP)

聚酯(Polyester，簡稱 PET)

聚醯胺(Polyamide，簡稱 PA)，俗稱尼龍(Nylon)

土工織物多由同一種合成聚合物製造而成，其中以聚丙烯(PP)及聚酯(PET)為最常用之高分子材料。

上列土工織物所使用之合成聚合物均為熱可塑性的(Thermoplastic)，熱可塑性聚合物可重複地受熱、溶化、模壓成各種形狀之成品，相對的，熱固性聚合物(Thermoset polymer)只能受熱模造一次，再次之加熱將導致聚合物劣化與焦化。

2.2.2 聚合物性質

上列聚合物之性質各有不同，一般而言，有些相近性質，包括比重接近 1、對 UV 抵抗力低、對化學及生物穩定性高等，惟相異性質不少。聚合物之性質摘要如下：

1. 力學性質

(1) 模數：PET > PP

(2) 破壞時應變量：PET < PP

(3) 潛變抵抗：PET > PP

(4) 因衝擊之切割抵抗：PET < PP

(5) 磨損抵抗：PA > PET, PP

(6) 應力應變曲線：

PP：在降伏應變時達到應力尖峰值，其後隨著應變增加而應力減少，破壞時應變量大。

PET 及其他：應力隨著應變增加而增加，直至破壞；或在高應變時，應力略微降低。

(7) 綜合評估：PET 優於 PP。

2. 比重

PET = 1.3

PA = 1.1

PP, PE = 0.9 (不利水下施工)

3. UV 抵抗力

PET, PA 優於 PP, PE，但長期暴露於陽光下，均需加以處理，如纖維碳黑(Carbon black)穩定處理。PET 若在貯存時合理保護，施工計畫適度考量，則在正常施工作業下，不致因暴露受損；但 PP 未加處理時，只在烈日下暴露數天，則其強度將有相當之損失，因此施工時需甚為小心處理。

4. 化學抵抗力

埋置土中之所有聚合物，對各種化學侵蝕之抵抗力皆甚高，所有聚合物對酸鹼抵抗力亦甚高，但 PP 受液態碳水化合物（如柴油）影響。

5. 生物抵抗力

聚合物生物分解不致發生。

6. 吸水性

聚合物纖維吸水性低，以 PA 較大；纖維因潮溼吸水可能使其強度略微減低。

7. 熔點

PET, PA：約 260°C

PP：約 175°C

PE：約 135°C

PET、PP 及 PA 在製成纖維時均產生分子結晶定向(Crystalline orientation)。纖維製造時，聚合物係經融化、擠壓，再抽取纖維。抽取過程增加了纖維之長度，而其直徑減小，同時增加了聚合物之結晶定向，使其強度與模數增加。此種定向因受熱而破壞，並因此降低其模數與強度，增加破壞時伸長率。因此，纖維若受熱溫度接近其熔點，即使纖維表面看不出明顯受損，其力學性質可能已大為改變。

由以上討論得知，土工織物常用之聚合物各有其不同特性與優劣點，任一聚合物皆非所有應用之最佳者，聚合物之選擇需考慮經濟性與能符合特定應用需求者。表 2.1 所示為土工織物最常用合成聚合物 PET 及 PP 之性質比較，表中數字僅表示該性質之大小比較，並不表示該性質實際數值差異之大小。

2.3 織物構造

2.3.1 織造方法

織物構造對土工織物性質之影響較之聚合物來得重要。織物織造係指聚合物製成纖維(Filament)，再經集合與粘結而成為織物之方法。目前土工織物織

表 2.1 土工織物常用 PET 與 PP 之性質比較

性 質	大 小 比 較	
	PP	PET
比重	2	4
抗拉強度	4-2	3
模數	2	4
破壞時伸長率	4	2
熔點	2	4
磨損抵抗	?	?
衝擊切割抵抗	4	2
吸水性	3	4
因潮溼之強度損失	3	4
潛變	4	1
UV 抵抗	2	4
化學抵抗	4-2	4-2
生物抵抗	4	4

註：性質比較：4-最高，3-次高，2-低，1-最低，?-不知

造方法可分為三大類：

1. 織布(Woven)

- (1) 單纖維(Monofilament)
- (2) 多纖維(Multifilament)
- (3) 帶狀纖維(Slit film)

2. 不織布(Nonwoven)

- (1) 針軋(Needle punched)
- (2) 熱粘(Heat bonded)
- (3) 膠粘(Resin bonded)

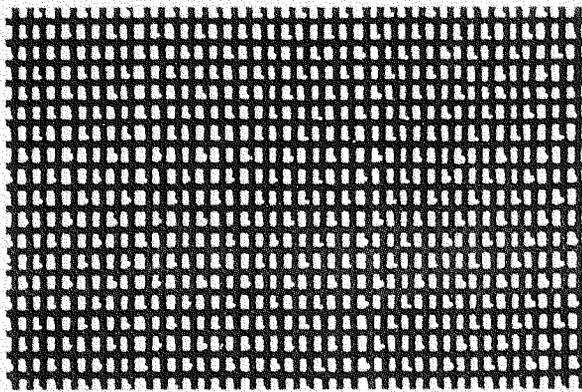
3. 針織布(Knitted)

圖 2.1 所示為各類織物顯微鏡照相圖。

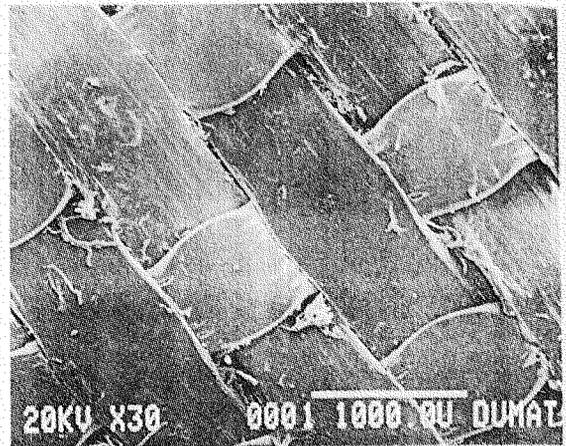
2.3.2 織布

織布係由聚合物纖維絲或紗線以互相垂直交疊方式編織而成。此種編織法通常比較其他織造方法為貴。織布可編織成許多型式，通常土工織物多編織成簡單均勻之矩形樣式，因此其孔隙分布較為均勻簡單，易於量測。

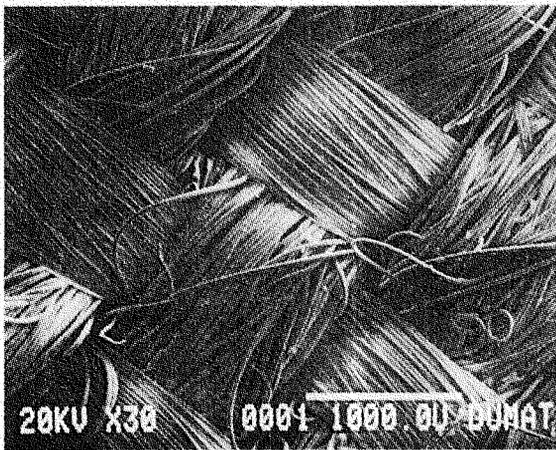
織布可織造成具有等向性或異向性，等向性織布在其經向與緯向之力學性質相同；若在經向與緯向使用不同量之纖維絲或使用不同種類之聚合物纖維編織，則形成異向性織布。



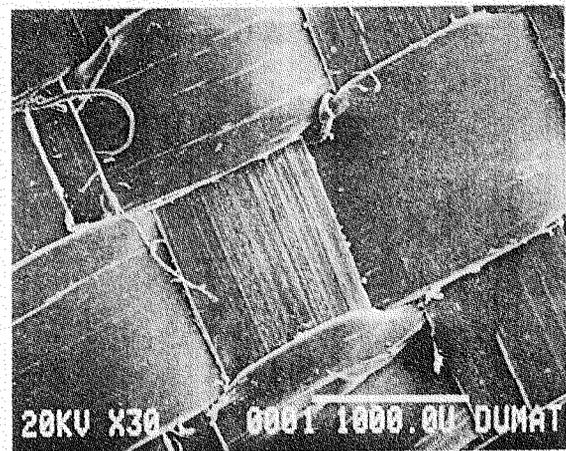
(a) woven monofilament



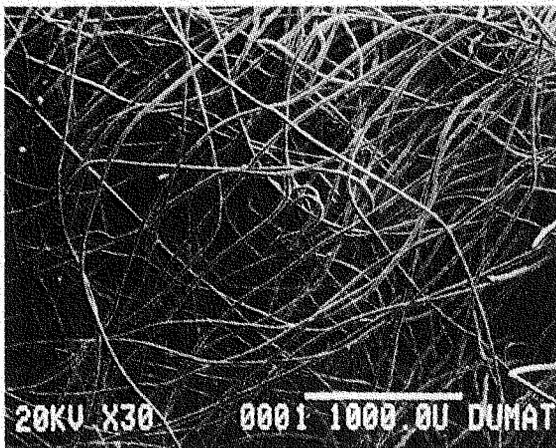
(b) woven monofilament, calendered



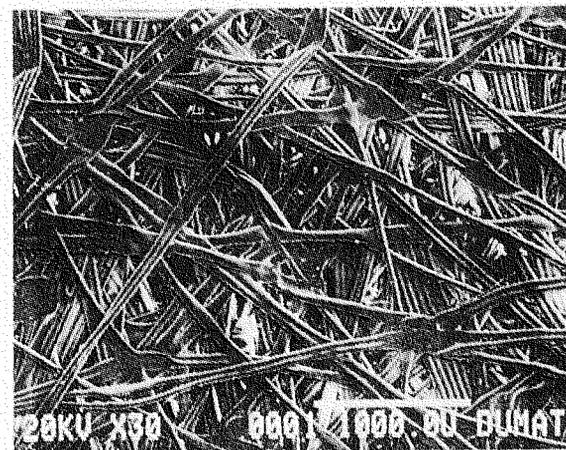
(c) woven multifilament



(d) woven slit (split) film



(e) nonwoven needle-punched



(f) nonwoven heat-bonded

圖 2.1 各類土工織物顯微鏡照相圖

織布之經向或緯向受力時，其應力應變曲線均可顯示出高初始模數，隨後應力略微增加，模數則降低，若應力再增加，則模數再增加。高初始模數顯然是由於纖維間之摩擦互制作用所產生，而其後模數較低是由於纖維線性拉伸之結果。織布未受力前，其個別纖維在經向上呈直線，但在織物平面上，經向纖維編織穿過緯向纖維時，則呈曲線，因此受力時，經向纖維與緯向纖維間自然產生摩擦與互鎖作用。由於織布之幾何形狀相對簡單，其力學性質與纖維或紗線之力學性質有密切關係。

織布依其成分材料可分成三類：單纖織布，多纖織布，及帶纖織布。

1. 單纖織布

單纖織布係由某一聚合物單纖維織成撚線，再編織而成。纖維經由擠出，通常具有圓形截面。由於製造過程因素，單纖織布多使用碳黑作為紫外線穩定處理，因此，此種織布多為黑色。此外，單纖織布可在織造後予以延壓，則其各纖維接觸點可因熱溶粘合，增加結構穩定性。

單纖法不易織造成高強度之織布，大多數作為地工用途之單纖織布多具中高強度，主要用途作為濾層之用，如拋石下濾層。

2. 多纖織布

織布係由許多細纖維紡成之紗線編織而成。多纖法可織造成高強度織布，這是由於許多細纖維之貢獻，並且細纖維抽取至細小直徑，可產生最高定向及最大強度。多纖織布通常作為加勁用途。在加勁功能上，通常施加於織布之應力，兩垂直方向大小不同，因此，多纖織布多數為異向性的。

3. 帶纖織布

帶纖織布係由寬厚比大之帶狀纖維編織而成。帶纖織布通常具有中高強度與高模數，主要用途作為分隔層。通常帶狀纖維不予粘合，易於裂開，因而改變孔隙特性，因此帶纖織布不適用為濾層。

整體而言，織布具有中高至甚高強度與中高模數，破壞時應變量較低，孔隙結構較為簡單。

2.3.3 不織布

1. 纖維

不織布係纖維以散漫方式或某一方式堆積織造而成，不若織布具有簡單之固定樣式。大體而言，不織布較便宜，其強度低至中等，破壞時伸長率中至高。不織布廣泛應用為濾層與分隔層，作為加勁用途較少。

不織布之特性決於(1)纖維之性質，(2)纖維之幾何關係，及(3)粘合方法。

(1) 纖維絲(Fiber filaments)

纖維絲分為短纖維(Staple filaments)及連續纖維(Continuous filaments)兩類。連續纖維絲係融熔聚合物經由擠壓、延伸形成連續長纖以製造織物，而短纖維則係由長纖切短成所需長度以製造織物。短纖維之長度自小於 1 吋至數吋不等。

①短纖維

短纖維先以溼法或乾法製成纖維墊網。濕法係將短纖置入水中混合，再將其抽送至適當篩網或皮帶上，然後將水擠出或吸出，遺留纖維而形成墊網，最後予以乾燥。織物纖維在濕法處理過程大致平行織物平面，但其方向散亂。

乾法係短纖藉由空氣或其他機械方法送至適當篩網或皮帶上，形成纖維墊網。不同之處理過程，可能使織物纖維或平行織物平面而其方向散亂，或在三維空間散亂。

②連續纖維

融熔之聚合物在高壓下經由紡嘴(Spinneret)擠出，類似淋浴蓮蓬頭原理，再將擠壓出之纖維予以捲取延伸，而形成一連續纖維絲。延伸過程使纖維直徑減小，並使纖維定向。這項過程對纖維之力學性質有甚大影響，纖維之強度、模數與破壞時伸長率將因其不同之處理與延伸度而異。

連續纖維絲通常利用空壓氣體噴射法，將其均勻佈散交疊在輸送帶上，製成纖維墊網。經此處理，纖維大致平行於織物平面，其他方向則呈散亂。纖維墊網最後再予粘合而成不織布。

由上述過程製成之不織布稱為紡粘不織布(Spunbonded nonwoven)。

圖 2.2 為紡粘不織布製造示意圖。

2. 粘合方法(Bonding methods)

不織布纖維之粘合有(1)針軋(Needle punching)，(2)熱熔(Heat bonding)及(3)膠粘(Resin bonding)三種方法。

(1)針軋法

纖維墊網用鉤針在垂直織物平面之方向反復針軋，這項針軋動作使得纖維產生纏結現象。針軋法可針軋單層織物，或多層織物疊加一起針軋而成較厚織物。

針軋法適用於產生高密度與厚度之織物，因此針軋不織布通常較為厚重，孔隙結構較為複雜，且具可壓縮性，因此其孔隙特性可因不織布承受荷重而變化。此外，不織布纖維較易發生位移現象。圖 2.3 為不織布針軋法示意圖。

(2) 熱熔法

熱熔法（或熱粘法）係將織物加熱，使其纖維在交疊接觸點因熱而粘結。熱熔不織布較為輕薄，外觀上較為密實，纖維間因粘結而不易位移。此外，其孔隙結構較為簡單、分離，且較不會因織物受荷重而改變。

(3) 膠粘法

將纖維墊網噴灑或灌注壓克力樹脂，使纖維裹膠而粘結。膠粘不織布之厚度與結構介乎針軋不織布與熱熔不織布之間，其厚度可視粘合過程之壓延力大小而異。通常膠粘不織布之孔隙較小，透水性較低。

土工織物為應特殊力學與孔隙特性之需求，通常可併用上述兩種或多種方法以達成之。

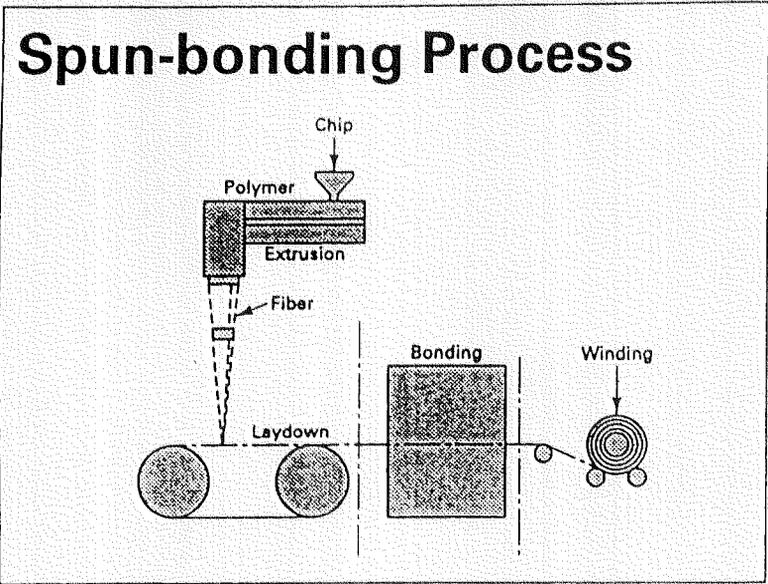


圖 2.2 紡黏不織布製造示意圖

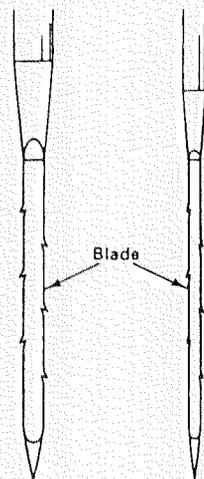
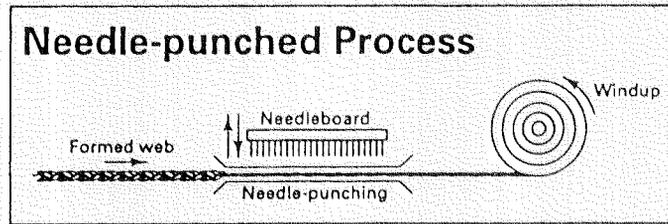


圖 2.3 不織布針軋法示意圖

第三章 土工織物性質與相關測試法

3.1 土工織物之性質

土工織物之重要性質列如表 3.1 所示。這些性質受聚合物纖維與織造方法之影響，上章已有論及，因此表 3.1 同時顯示土工織物之性質受纖維與織造方法影響之程度，並以 0~3 四個等級表示之，其中等級 0 表示沒有影響，而等級 3 表示影響度最大，等級 1 及等級 2 介乎其間。表 3.1 可作為土工織物選材之參考。

土工織物各項性質分別簡要討論如下：

3.1.1 一般性質

1. 比重

土工織物之比重為聚合物之比重，其值不受織造方法之影響。各聚合物纖維之比重約在 0.9~1.35 之間，其中 PET 及 PA 之比重大於 1，PP 及 PE 之比重小於 1。土工織物水下施工應考慮其比重之影響。

2. 吸水性

織物纖維本身之吸水性與聚合物有關，一般聚合物之吸水性甚低，因此土工織物之吸水量由其結構所左右，而非聚合物。織布及薄熱熔不織布中度吸水，但厚針軋不織布在水中之吸水量可能數倍於原重量，因此，施工時應予考慮。

3. 均勻性

織布之結構一般較不織布均勻。就不織布而言，粘合不織布較針軋不織布均勻。但一般織布或不織布，其均勻性皆可能隨產製過程時有變化。

4. 等向性

織物之等向性取決於織造方法。多數土工織物之力學性質均有方向性。就織布而言，作為濾層使用之單纖織布，其經向與緯向類似，因此，該兩方向之力學性質大致相同，惟其對角方向之力學性質與經向或緯向則有甚大差異。作為加勁使用之織布，其經向之強度通常大於緯向，如多纖織布。帶纖織布則可能具等向性或異向性。

連續長纖不織布若纖維真正散亂，則其機器方向與跨機方向之性質大致相同，但若多數纖維指向機器方向，則該方向之強度較高。

一般而言，土工織物等向性之重要性視其所受外力之大小與指向而異。

表 3.1 土工織物性質及其影響因素

性 質	影 響 因 素	
	聚合物纖維	織造方法
1.一般性質		
(1)比重	3	0
(2)厚度	1	3
(3)吸水性	1	3
(4)均勻性	0	3
(5)等向性	0	3
2.力學性質		
(1)抗拉強度	2	3
(2)破壞時伸長率	2	3
(3)應力應變關係	2	3
(4)潛變	3	2
(5)疲勞	?	3
(6)撕裂強度	1	3
(7)穿裂強度	1	3
(8)破裂強度	2	3
(9)磨損強度	2	3
(10)摩擦力	1	2
3.水力性質		
(1)正向透水率	0	3
(2)橫向透水率	0	3
(3)過濾能力	0	3
(4)阻塞與遮蔽抵抗力	?	3
4.耐久性質		
(1)熱穩定性	3	1
(2)生物穩定性	3	1
(3)化學穩定性	3	1
(4)紫外光穩定性	3	1

註：(1)比較基準：織物之單位面積重相同

(2)等級說明：3-影響甚大，2-有影響，1-略有影響，0-沒有影響，

?-不知

3.1.2 力學性質

土工織物之力學性質與其聚合物纖維種類及織造方法密切相關。一般文獻所載之力學性質均指織物本身，實際應用上，土工織物與土壤等結合為一體，其間產生互制作用，此時之力學性質應用與織物本身不同。這項考慮有待進一步討論，以下之討論仍指織物本身之力學性質。

1. 抗拉強度

織物之聚合物纖維及其結構特性對其抗拉強度有甚大影響。若織物之單位重相同，且其纖維指向亦同，則纖維強度愈高，織物之強度自愈高；但若纖維指向拉應力方向之比率愈高，則即使纖維強度較弱，織物亦能產生較高強度。

纖維之形成過程亦甚重要，除聚合物種類外，纖維之結晶定向對織物之強度有很大影響，結晶定向愈高，其強度亦愈高。熱熔不織布通常需要較低纖維定向，以應其粘合時具有較低之熔融溫度，因此只有部分纖維能為真正之高粘韌度(Tenacity)纖維。膠粘及針軋不織布具有較高纖維定向。針軋不織布藉纖維纏結而粘合，其連續長纖不織布之強度較短纖為高，因長纖維間之互制作用較高。

若織物某一方向需具有較高強度，則以具異向性之織布為佳，具等向性之粘合不織布較不適合。高度粘合者阻纖維重新指向，使纖維受力時係個自破壞，不能一起作用以抵抗外力。

2. 破壞時伸長率

織物破壞時之伸長率與聚合物纖維及其織造方法皆相關，而以織造方法較為重要。織物受力時纖維指向能否重組是相當重要之因素，若纖維能自由位移，則織物大部分之應變量為纖維位移之結果，而非纖維本身之實際伸長。

圖 3.1 所示為針軋不織布之應力應變曲線發展情形。若纖維固定有如織布或粘合強之不織布，則纖維大致不能重新指向，纖維之伸長量由纖維本身之伸長量所控制。織布破壞時之伸長率較低。

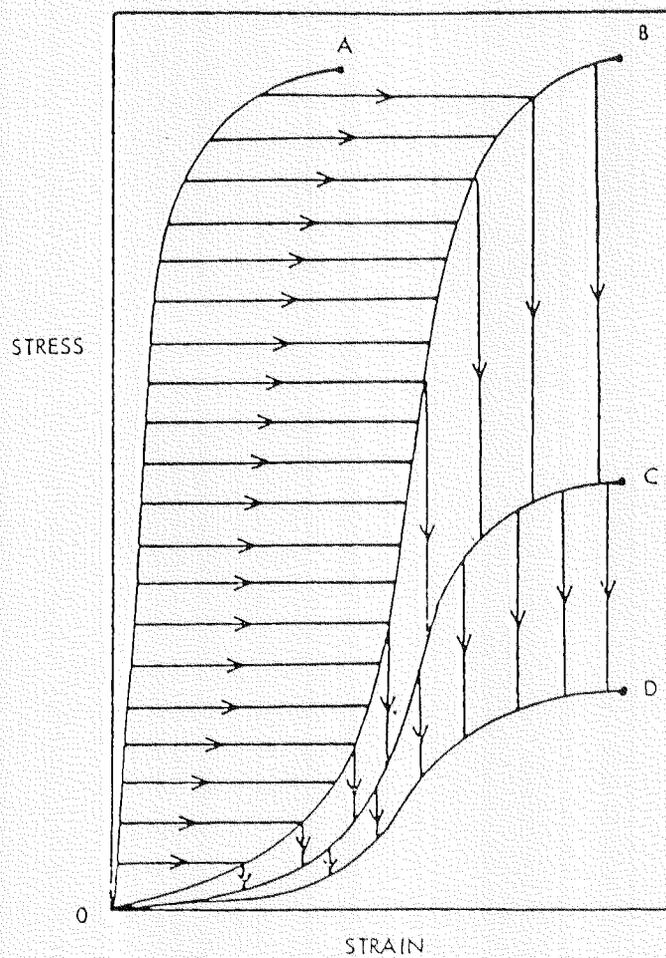
3. 撕裂強度(Tear resistance)

織物之撕裂強度係指織物經初始撕裂或纖維斷裂後，對裂口或孔口繼續擴大之抵抗力。

織物之撕裂強度與其異向性（或指向特性）及粘合特性有關。纖維指向明顯之織物，如織布及某些短纖不織布，與纖維指向平行或垂直之撕裂強度並不相同。就不織布而言，針軋不織布之撕裂強度高於粘合不織布，此因針軋不織布之纖維較鬆散，施加撕裂應力時，橫跨裂口處之纖維可自行定向、聚集，以抵抗其後進一步之撕裂。此種效應，長纖勝於短纖。粘合不織布之纖維由於不能重新定向，撕裂應力使纖維在粘合點間逐次斷裂。粘合接點比率愈高，則織物之撕裂強度愈低。

4. 穿裂強度(Puncture resistance)

穿裂強度係指織物受到近似尖頭物體穿刺，對纖維因受到伸展與撕裂作



- OA - Fiber curve
- OB - Allows for slippage at cross-overs and straightening of fibers
- OC - Allows for fiber obliquity
- OD - Allows for slippage from fiber ends

圖 3.1 針軋不織布之應力應變曲線

用而形成開孔之抵抗力。

對甚小物體而言，穿裂強度僅為織物纖維之粘合作用對側向位移之抵抗力，此時織物纖維之粘合力強者，其穿裂強度較高；但穿刺物體較大時，穿裂強度為粘合力與纖維合併作用之抵抗力。不織布之穿裂強度以針軋不織布較高，其理如同撕裂強度，因穿刺物體四周之纖維可指向形成密集環，穿刺直徑愈大，則穿裂強度亦愈大。

5. 破裂強度(Burst strength)

破裂強度係指織物表面相當面積上承受均勻壓力以至破裂之強度。若壓力施加在圓形面積上，則織物將變形而成半球面，此時織物基本上承受各方大致均勻之純張力(Pure tension)，織物將因纖維受張力拉斷而破裂，其主要張力係從荷重中心徑向作用。這與穿裂情況不同，穿裂係織物受集中力之穿刺，纖維受張力拉斷而破裂，其主要張力作用方向係切向穿刺物體。

破裂基本上為一張力破壞，因此聚合物纖維之抗拉強度愈高，則織物之破裂強度亦愈高。此外，等向性織物之破裂強度較高；針軋織物之破裂強度較粘合力織物為高。

6. 磨損強度(Abrasion resistance)

織物之磨損係指其纖維受某些磨耗作用而弱化。一般聚合物中以尼龍之磨耗抵抗力最高。織物之磨損強度可因纖維之粘合作用使其不易位移而增強，而以膠粘織物最大。

3.1.3 水力性質

1. 透水性

對土工織物而言，透水性係指水之導流性。土工織物通常具有中高透水性，其透水係數約在 $10^{-3} \sim 10^{-2} \text{cm/sec}$ 之間，與中砂至細砂相當。粗單織布之透水性大於細礫石，而作為加勁或分隔使用之織布，其透水性則甚低。就不織布而言，針軋不織布之透水性最高，膠粘不織布最低，而熱熔不織布介於其間。

粘合力織物之透水性視其製造過程與重量不同而有差異，較重者，其透水性降低。針軋織物具壓縮性，其厚度與孔隙因壓力而減少，因此透水性隨之降低。一般而言，大多數不織布皆具有高透水性。

由於織物常有各種厚度，因此，以透水係數評估其透水性易產生誤導，而以在某一水頭下垂直流過織物特定面積之水量，或在某一水流下通過織物之水頭損失來表示應較有意義。在實際問題上，通常要求在某一條件下通過一定之水量，或要求產生之孔隙水壓低於某一最大值，在此情況下必須同時

考慮透水係數及厚度。在某一定水力梯度下，通過某一定面積之水量與透水係數與厚度之比值成正比，此一比值稱為正向透水率(Permittivity)。

以正向透水率評估土工織物之導水能力與只用透水係數評估不同。有些熱熔不織布之透水係數遠低於針軋不織布（單位重相同），但熱熔不織布之厚度小很多，因此，雖其透水係數低，但其透水係數與厚度之比值（正向透水率）卻高於針軋不織布，即其導水能力較高。

除正向透水外，順著織物平面之橫向透水率(In-plane permeability)亦常被考慮，薄織布及粘合不織布之橫向透水率甚低，可壓縮針軋不織布之橫向透水率較高，但隨正向壓力增加而降低。土工織物之橫向透水能力與其透水係數與厚度之乘積成正比，若其透水係數相同，則厚度大者，其橫向透水能力亦大。

3.1.4 耐久性質

1. 熱穩定性

土工織物在常溫下大致穩定，在高溫下可能熔化。當溫度高至熔化溫度之下 20°C 時，土工織物之強度與模數將因聚合物之分子結構變化而降低。惟一般聚合物之熔化溫度均甚高，這項問題在織物之一般使用情況下可不予顧慮。

2. 生物穩定性

生物活動對埋置土層中之土工織物聚合物是否造成侵蝕劣化作用，目前尚無充分理由可資相信。

3. 化學穩定性

一般土工織物聚合物對化學侵蝕之抵抗力均高，其在一般土壤中之化學環境下不太可能劣化，只有在特殊環境下才需考慮化學穩定問題。

4. 紫外線穩定性

紫外線對一般未加穩定處理之聚合物均有不利影響，該聚合物在日光連續直接照射下快速氧化，使土工織物在數星期內完全劣化分解。未加穩定處理之聚合物對 UV 穩定性以 PP 及 PE 最差，PET 及 PA 較佳。土工織物若埋置土層中並無此項問題，惟作為 silt fence 或其他沖蝕控制使用時，則需考慮其 UV 壽命。

增強土工織物之 UV 穩定性可在纖維加入碳黑或其他染色處理。碳黑可在纖維擠壓過程加入，其為較有效且經濟之處理方法。

一般言之，單纖織布之 UV 穩定性最高，帶纖織布最低，多纖織布及不織布介於其間。

3.2 常用地工織物試驗法

3.2.1 試驗規範

地工織物源自紡織工業，因此部分地工織物性質試驗法仍沿襲紡織物試驗法。為使地工織物能實際有效地應用在土木相關營建工程上，國內曾數度修訂相關試驗規範，民國 86 年起在中央標準局主導下更重新編訂，目前已完成部分 CNS 規範編訂工作。

由於地工織物在國內之應用較之歐美日等先進國家為晚，因此有關地工織物試驗法大多參用歐美日所制定之規範，包括 ASTM、DIN、BS 及 JIS 等，其中以美國材料與試驗協會(ASTM)之試驗規範為國內制定 CNS 規範之主要參考版本。

表 3.2 所示為目前常用地工織物試驗法，其中 CNS 規範與 ASTM 試驗規範並列，可供對照參考。各項試驗法分別摘要如下節所述。

表 3.2 常用地工織物試驗法

類 別	試 驗 項 目	CNS 規 範 編 號	ASTM 規 範 編 號
物理性質	厚度	14260	D5199
	單位面積重	14279	D5261
力學性質	抗拉強度 (抓式法)	13483	D4632
	抗拉強度 (寬幅法)	13300	D4595
	縫合強度	8150	D4884
	撕裂強度 (梯形法)	13299	D4533
	穿裂強度	14263	D4833
	破裂強度	5613	D3786
	摩擦強度		D5321
	磨損強度	14278	D4886
水力性質	正向透水率	13298	D4491
	橫向透水率	14261	D4716
	孔徑分析	14262	D4751
耐久性質	耐紫外線性	9024	D4355
	水力坡降比		D5101

3.2.2 常用試驗法

1. 厚度試驗

目前 CNS 規範已參考 ASTM D5199 規範制定，ASTM D5199 規定於一定之正向壓應力下量測土工織物之厚度，試樣須養護於溫度 $21 \pm 2^\circ\text{C}$ 及相對濕度為 $65 \pm 10\%$ 之狀態下，達到濕度平衡後進行測試，正向壓應力為 $2.0 \pm 0.02\text{KPa}$ ，需採用圓型試塊施加，圓型試塊之直徑為 56.4mm ，量測厚度精度需達到 0.002mm ，試樣數目可採用可靠度分析法決定之，在可靠度分析資料不足之情況下試樣數目需至少 10 個，並計算其平均厚度。

2. 單位面積重試驗

土工織物之單位面積重目前多沿用 ASTM D5261 規範進行測試，如同其它許多物理性質試驗法，土工織物需於溫度為 $21 \pm 2^\circ\text{C}$ 及相對濕度為 $65 \pm 5\%$ 之狀態下養護，達到濕度平衡方進行測試，試樣之尺寸為 $100 \times 100\text{mm}$ ，天秤稱重能量需達 5000 克，其精度需達 0.01 克，試樣數目最少需五件，試驗報告需說明試驗之平均重量及其標準偏差。

3. 抗拉強度試驗

常用地工織物之抗拉強度試驗法有抓式法(Grab method)及寬幅法(Wide strip method)兩種，圖 3.2 所示為各式試驗法示意圖。

抓式抗拉試驗法於 CNS 13483 中有明確之規定，此規範適用於量測土工織物之抓式斷裂載重及其伸長率，但此法並不適用於針軌不織物，本試驗法可於乾濕兩種狀況下試驗，通常於乾燥狀況下進行試驗，試片之尺寸為 $101.6 \times 203.2\text{mm}$ ，夾具之鉗口表面尺寸為 $25.4\text{mm} \times 50.8\text{mm}$ ，試片需於溫度為 $21 \pm 2^\circ\text{C}$ 及相對濕度為 $65 \pm 5\%$ 之狀況下養護，直至試樣達到濕度平衡方可進行試驗，試樣之間距為 $75 \pm 1\text{mm}$ ，施拉速率為 $300 \pm 10\text{mm}/\text{min}$ ，試樣數目需採可信賴度分析以決定之，如無可信賴度資料，則需在織物之機器方向與跨機方向各取 10 個以上之試樣，以量測織物之抗拉強度與其伸長量，並計算其平均值。

由於土工織物為柔性物質，以抓式法進行抗拉試驗時試樣會產生頸縮(Necking)之現象，因而衍生出寬幅抗拉試驗法，冀以此試驗法量測較具代表性之織物抗拉強度，此試驗法亦可量測織物之伸長量、拉力模數、及破壞韌度(Breaking toughness)。試片之尺寸多為 $200 \times 200\text{mm}$ ，測試前試樣需於溫度為 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 及相對濕度為 $65 \pm 5\%$ 之狀態下養護，至其濕度達到平衡方進行試驗，測試時夾具之間距為 $100 \pm 3\text{mm}$ ，測試速率為 $10 \pm 3\text{mm}/\text{min}$ ，每組試樣需於織物機器方向與跨機方向至少各取三個，測試時如有試樣滑動、

試樣於夾具附近破壞，且其強度較其它試樣平均值少於 20% 之情形，則該次試驗結果需刪除。

4. 撕裂強度試驗

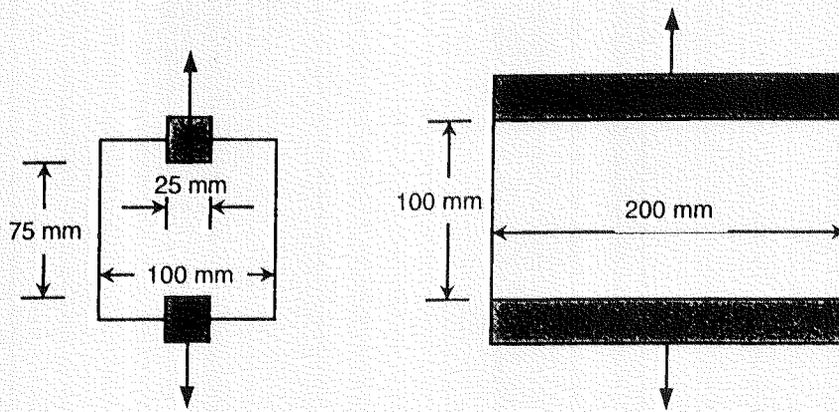
CNS 13299 規範依據 ASTM D4533 規範制定，係規範量測織布或不織布梯形試樣抗撕裂之強度之方法，梯形試樣之尺寸如圖 3.3(a) 所示，於梯形試片中央先行切割一長度為 15.9mm 之割痕，夾具之尺寸不得小於 76.2mm，夾具鉗口之邊緣於安裝時應與圖上所示之梯形不平行邊對齊，進行試驗前試樣需於溫度為 $21 \pm 2^\circ\text{C}$ 及相對濕度為 $65 \pm 5^\circ\text{C}$ 之狀態下養護達濕度平衡狀態，施拉前夾具之間距為 25.4mm，拉伸速度為 $300 \pm 10\text{mm}/\text{min}$ 。當試驗開始進行試樣逐漸被拉開而撕裂，代表性伸長量與拉力圖則如圖 3-3(b) 所示，撕裂試驗需分別於機器方向與跨機方向進行測試，試樣之數目需依可信賴度分析之結果估算之，如無可信賴度資料時，則於機器方向與跨機方向各取 10 組以上之試樣。

5. 穿裂強度試驗

CNS14263 穿裂試驗規範係依據 ASTM D4833 規範編定，該試驗法之適用材料包括土工織物、土工止水膜、及其它土工合成材料，此試驗法為一指標性試驗(Index test)，試驗時將土工合成材置於如圖 3.4(a) 所示之模具上，並以如圖 3.4(b) 所示之貫入錐以 $300 \pm 10\text{mm}/\text{min}$ 之速度貫入，以量測土工合成材料之抗穿裂能力，試樣之尺寸不得小於 100mm，試樣之數目依可靠度分析決定之，如果未有適當可靠度資料，則需要測試至少 15 組之試樣，再計算平均穿裂強度。試樣試驗前需於溫度為 $21 \pm 2^\circ\text{C}$ 及相對濕度為 $65 \pm 5^\circ\text{C}$ 條件下養護，再進行測試。

6. 縫合強度試驗

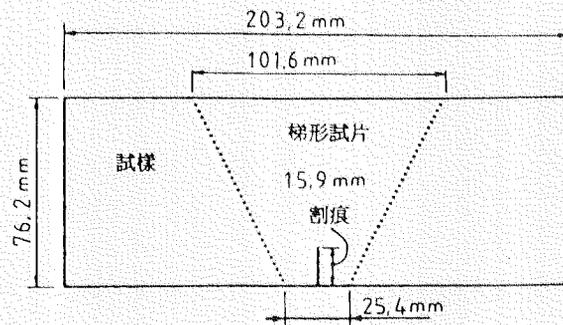
ASTM D4884 規範為土工織物縫合強度試驗法，試樣之尺寸如圖 3.5 所示，試樣由二片織物以平車縫合，縫合處之寬度為 250mm，距離縫合處兩側 25mm 以外之部分寬度為 200mm，試樣之長度為 200mm，縫合之試樣再以鉗口寬大於 200mm 之夾具夾緊，夾具之間距需維持為 $100 \pm 3\text{mm}$ ，並以 $10 \pm 3\%/ \text{min}$ 之應變速率施拉，並記錄每組試驗之最大抗拉強度以計算縫合強度，並記錄破壞之型式，一般破壞型式包括織線破裂、縫合線斷裂、織物滑脫、織物撕裂，或兩三種破壞型式共同產生之情形，縫合強度之計算公式如下：



(a) ASTM D4632 grab

(b) ASTM D4595 wide-width

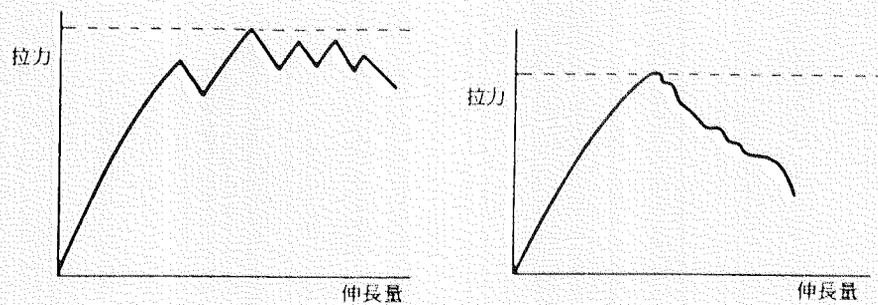
圖 3.2 抗拉強度試驗法示意圖



(a) 梯形撕裂強度試驗之試片尺度

A 伸長量—拉力圖有數個高峰值

B 伸長量—拉力一個高峰值



(b) 伸長量與拉力關係圖

圖 3.3 撕裂強度試驗(梯形法)示意圖

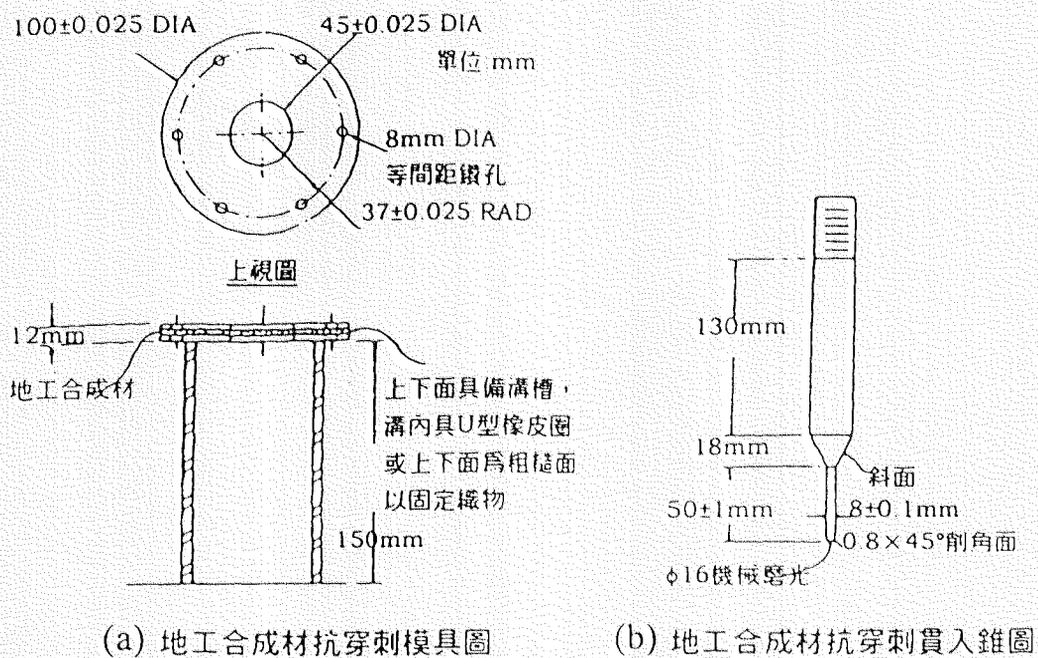
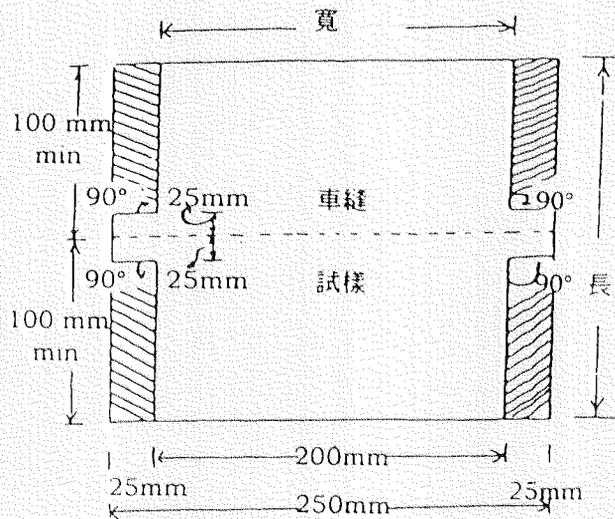


圖 3.4 穿裂強度試驗示意圖



註：將斜線區域所示之織布切除

圖 3.5 縫合強度試驗

$$S_f = \frac{F_f}{W_s} \dots\dots\dots(3.1)$$

式中： S_f = 縫合強度(KN/m)，
 F_f = 觀測破壞拉力(KN)，
 W_s = 試樣寬(m)。

每組試驗之結果再求其平均縫合強度 S_b ，最後再以平均縫合強度依下式計算縫合之有效率：

$$E = \frac{100S_b}{F_b} \dots\dots\dots(3.2)$$

式中： S_b = 平均縫合強度，
 F_b = 織物之寬幅抗拉強度。

本試驗可適用於供應商與貨主出貨及驗收之依據，如未有適當合約規定至少需準備六組試驗，試樣需分別截取自布批頭尾兩端，分別依機器方向與跨機方向進行試驗。本試驗法亦可作為評估現場縫合及工廠縫合強度之依據，並依使用量之多寡每 1000 公尺至 2000 公尺取試樣一組。

此項試驗之試樣可於濕度平衡或潤濕狀態下進行試驗，進行濕度平衡試驗時，試驗前試樣需達到濕度平衡（2 小時內重量變化不超過 0.1%），如採用潤濕狀態試驗，試樣需浸泡於水中 24 小時以上，且自水中取出後需於 20 分鐘內完成試驗。

7. 直接剪力試驗

目前 CNS 仍未有地工合成材料直剪試驗之規範，可依據 ASTM D5321 規範，探討以直剪試驗量測土壤與地工合成材料或地工合成材料間之摩擦係數。

本試驗基本上與傳統土壤直接剪力試驗大致相同，但對於剪力盒則另有規範，剪力盒之形狀可為圓形或方形，剪力盒之尺寸不得小於等於 300mm，或代表性土樣 D_{85} 的 15 倍以上，或地工合成材料開孔尺寸之 5 倍；至於剪力盒之高度至少應為 50mm 或土樣最大粒徑之 6 倍，取其中較大者；剪力盒尺寸與高度之比至少應為 2：1，如果有適當數據證實採用較小尺寸之剪力盒，而不致產生尺寸效應及邊際效應，則亦可採用較小尺寸之剪力盒進行試驗。剪力盒之水平方向位移至少 75mm 以上，垂直方向至少為 25mm。試驗之剪動速率為 10mm/min，試驗時最小之位移量為 50mm，試驗過程中需同時量測位移量與摩擦阻力，並記錄之以研判最大阻力及其相對位移量，每組試驗最少需紀錄 20 組數據供研判。

為推算出剪力強度參數，需於試樣機器方向與跨機方向各取三個試樣進

行試驗，剪力強度參數之分析方式與土壤直剪試驗相同。

8. 視孔徑試驗

本試驗法係利用標準玻璃珠通過土工織物之重量比以決定土工織物視孔徑(Apparent opening size, AOS)之試驗法。試驗時將欲測試之織物置於篩網上，再將一系列不同粒徑之玻璃珠由小到大依序置於織物上，採用機械式搖篩機垂直與水平震動，使玻璃珠通過織物（每種粒徑搖動約 10 分鐘），然後秤量不同粒徑玻璃珠通過之重量並繪製通過重量百分比及其粒徑分佈圖，由圖上以通過 5% 重量之粒徑為視孔徑。換言之即有 95% 織物之開孔孔徑較視孔徑為小，因此亦稱視孔徑為 O_{95} 。

織物試樣於試驗前需浸泡於水中 1 小時以上，再連同玻璃珠於 30°C 氣溫乾燥至重量不變為止（通常需 12~24 小時），需於 1 公尺之樣本內取 5 件試樣進行測試，每次試驗玻璃珠之重量至少應為 50 公克，試驗時如相對濕度超過 70%，玻璃珠可能黏在一起，相對濕度低於 50% 則可能產生靜電而需靜電處理，五組試驗所測量之視孔徑之平均值為該織物之視孔徑。

9. 正向透水率試驗

CNS 13298 土工織物正向透水率試驗法係參照 ASTM D4491 規範編定，由於織布厚度會因正向應力之大小而不同，如採用達西公式計算織物之透水率會因厚度變化而引起誤差，因此乃以正向透水率試驗法作為量測土工織物透水性之指標參數，定水頭正向透水率之計算公式如下：

$$\phi = \frac{QR_T}{HAt} \quad (\text{單位為 } \text{sec}^{-1}) \quad \dots\dots(3.3)$$

式中： Q = 流量(mm^3)

H = 水頭(mm)

A = 試片斷面積(mm^2)

t = 水流時間(sec)

R_T = 溫度修正因子 = $\mu_T / \mu_{20^\circ\text{C}}$

同理如採用變水頭試驗測試正向透水率其計算公式如下：

$$\phi = \frac{a}{At} \ell_n \frac{h_0}{h_1} R_T \quad \dots\dots(3.4)$$

試中： a = 豎管斷面積(mm^2)，

A = 試片斷面積(mm^2)

t = 從水頭 h_0 落至水頭 h_1 之時間(sec)，

R_T = 溫度修正因子 = $\mu_T / \mu_{20^\circ\text{C}}$ 。

此項試驗之裝置如圖 3.6 所示，試驗多採用定水頭試驗法，試片之直徑

不得小於 25mm，取樣時需於 1 平方公尺樣本取 4 個試樣，再由其中選取三個試樣進行試驗並存備件一份，試驗前試樣需於去氧水中養護二小時以上，試驗用水需去氧，每組試驗需量測讀數五次，試驗前需以不同水頭（10mm、50mm、75mm）求證試驗層流之範圍，並繪製水頭—流量圖，其中直線段為層流區，並取層流中央區之水頭進行試驗，一般均採用 50mm 水頭，如織物透水率過低時亦可採用變水頭進行試驗。

10. 橫向透水率試驗

參考 ASTM D4716 橫向透水率試驗法，本試驗之目的在測量地工合成材料依據設計之正向應力及水力梯度下，單位水平寬度地工合成材料於水平面內單位時間通過之水流量，通常設定之正向應力介於 10 至 250kpa 之間，試樣之寬度最少為 100mm，或是合成材開孔徑之十倍以上，其長度至少為其寬度之二倍（上限為 300mm），試驗之最大水力梯度於重力流及壓力流狀況下分別為 1.0 及 0.1，試樣之橫向透水率則可依下式計算：

$$\theta = \frac{(QL)}{(W\Delta H)} \quad \dots\dots\dots(3.5)$$

式中： θ = 橫向水力係數(m^2/s)，
 Q = 單位時間平均流量(m^3/s)，
 L = 試樣長度(m)，
 W = 試樣寬度(m)，
 ΔH = 試樣前後之水頭差(m)。

該項試驗需重覆進行三次以計算其平均橫向透水率。橫向透水率試驗示意圖如圖 3.7 所示。

3.3 國內地工織物產製與品質概況

地工織物在國內之應用有織布及不織布兩類。織布部分，國內多仰賴進口；至於不織布部分，除部分自國外進口外，國內亦自行產製。國內從事不織布相關產品之生產廠商不下 100 家，惟大部分產品以作為民生用途為主，作為工程使用之地工織物，由於國內市場規模仍小，生產廠商僅 5~6 家。

國內地工不織布之產製多集中在針軋不織布，生產熱熔不織布之廠商有 1 家。使用之不織布原料主要為聚酯纖維(PET)與聚丙烯纖維(PP)，國內聚酯纖維略較其他聚合物纖維便宜，原料取得較易，因此不織布原料以 PET 為大宗。

一般而言，國內產製之地工織物品質多以符合 CNS 11228 所訂規範（如表 3.3）為目標，為應實際工程應用上之需求，亦產製規格較 CNS 11228 規範

定水頭與變水頭透水率試驗儀器參考圖

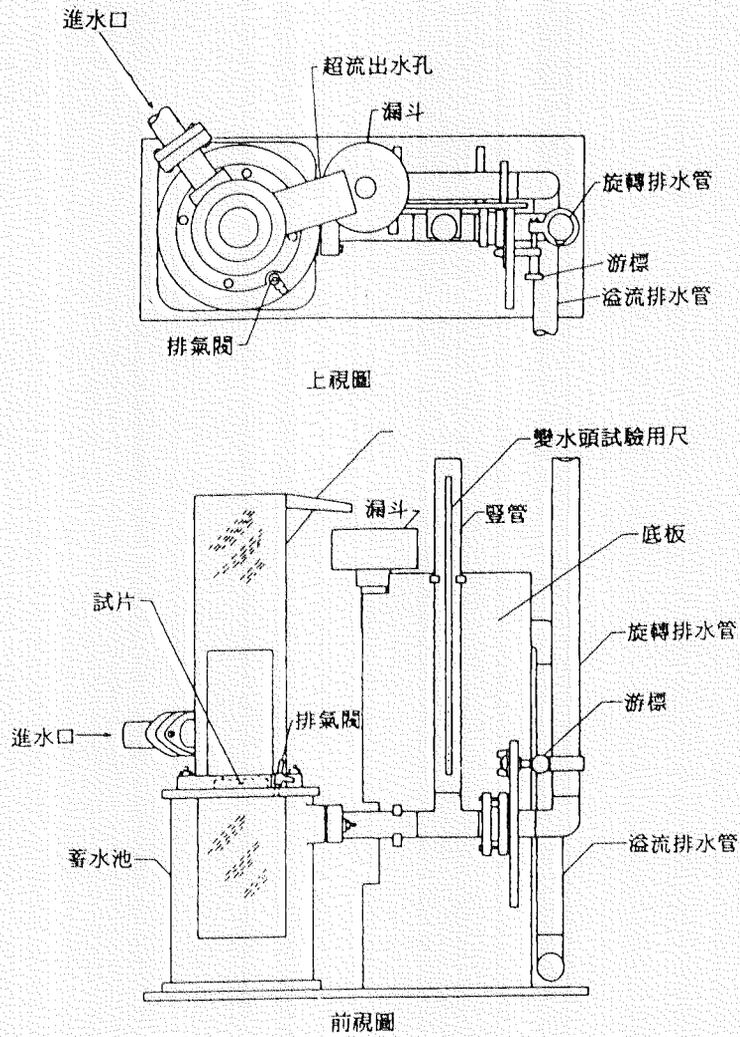


圖 3.6 正向透水率試驗

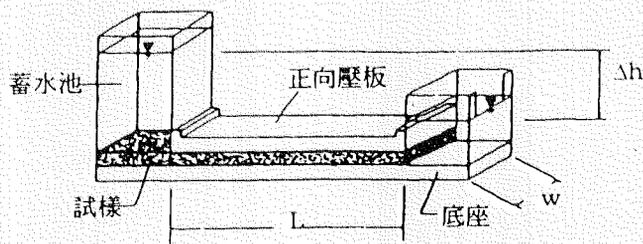


圖 3.7 橫向透水率試驗

嚴格之產品。表 3.4 所示為國產部分地工織物強度性質試驗資料，因此，應就實際工程之需求進一步進行品質檢測。

表 3.3 CNS 11228 土木工程不織布性能規範

項 目	單 位	說 明	類 別			
			I	II	III	IV
抗拉強度	kgf	抓式法 (縱向與橫向)	60 以上	80 以上	120 以上	160 以上
伸長率	%		40~100			
撕裂強度	kgf	梯形法 (縱向與橫向)	20 以上	35 以上	45 以上	55 以上
瑕疵	點	每公尺容許扣點 數	6 以下	5 以下	3 以下	2 以下
透水係數	cm/sec	定水位高為 10cm	1×10^{-2} 以上			
耐紫外線性		紫外線碳弧燈連 續照射 200 小時	外觀無變化，拉抗強度不得低於原規 定之 90%			

表 3.4 國產部份地工織物強度性質試驗資料

試驗項目	標稱厚度	單位重	破裂強度 Mullen Burst	寬幅強度 Wide Strip		窄幅強度 Narrow Strip		抓式強度 Grab		撕裂強度 Trapezoid Tearing
				kg/cm	kg/cm	kg/2.54cm	kg/10.16cm	kg/10.16cm	kg	
試驗規範	ASTM D5199 CNS 14260	ASTM D5261 CNS 14279	ASTM D3786 CNS 5613	ASTM D4595 CNS 13300	ASTM D751 CNS 5610	ASTM D4632 CNS 13483	ASTM D4533 CNS 13299			
單位	mm	g/m ²	kg/cm ²	kg/cm	kg/2.54cm	kg/10.16cm	kg	kg	kg	kg
樣品名稱	試驗值 (標準偏差)	試驗值 (標準偏差)	試驗值 (標準偏差)	試驗值 (標準偏差)	試驗值 (標準偏差)	試驗值 (標準偏差)	試驗值 (標準偏差)	試驗值 (標準偏差)	試驗值 (標準偏差)	試驗值 (標準偏差)
YCA	3.044 (0.122)	380.25 (8.53)	42.19 (15.75)	17.23 (0.93)	23.57 (7.01)	21.06 (7.31)	127.76 (16.9)	135.88 (19.900)	69.15 (20.650)	61.03 (14.630)
GGA	3.061 (0.172)	419.94 (14.23)	47.18 (13.00)	22.84 (3.29)	37.07 (9.980)	38.69 (8.52)	160.25 (23.00)	185.66 (30.81)	88.03 (17.90)	98.94 (22.37)
LHA	1.053 (0.093)	331.08 (24.01)	66.24 (3.94)	74.76 (25.53)	150.71 (26.08)	197.25 (27.51)				
PUA	3.107 (0.091)	491.14 (23.89)	34.52 (0.46)	16.02 (19.9)	29.99 (31.26)	86.39 (101.29)	69.15 (20.65)	61.03 (14.63)		

第四章 土工織物在海岸與港灣工程之應用

4.1 土工織物之功能與應用

4.1.1 功能

先行探討土工織物使用之功能與機制，有助了解與掌握其在海岸及港灣工程上之應用。土工織物之功能，大致可分成下列數種：

- 過濾(Filtration)
- 排水(Drainage)
- 分隔(Separation)
- 加勁(Reinforcement)
- 沖蝕控制(Erosion control)

1. 過濾

過濾功能係以土工織物分隔土石，在保留土壤顆粒前提下，允許水自由通過土工織物。在此情況下，土工織物需不致因土壤顆粒進入其孔隙內而發生阻塞現象(Clogging)，並且不致因土壤顆粒停留在孔隙外表而發生遮蔽現象(Blinding)。上述兩種情形均會使土工織物之透水性降低，甚至低於四周土壤之透水性。圖 4.1 所示為土工織物之阻塞與遮蔽現象示意圖。

在單向水流情況下之過濾作用中，織物並非直接當作一過濾材，而是作為一形成穩定過濾層的催化材料。織物與土壤界面之過濾層的形成原因為，被過濾土壤中緊鄰織物的部份顆粒被水沖刷經過織物開孔而流失，較大顆粒土壤則於織物前方被阻擋形成一所謂“橋式結構”(Bridge structure)，此由較大顆粒形成的結構層將阻擋其緊鄰前方較細顆粒，而比較細顆粒再阻擋其前方更細之顆粒如圖 4.2 所示；終將形成一穩定過濾層。此過濾層的結構類似傳統由粗至細安排的多層級配過濾層，不同的是前者為自然形成而後者為人工安排。

事實上，根據不同的現場水流狀態，織物的過濾及排水功能可概分為如下三類：

- (1)較穩定的單向水流—使用於土壤的過濾排水過濾層；
- (2)週期較長的雙向水流—使用於受潮汐及水位昇降影響的海岸及河岸過濾層及沖刷控制工程；
- (3)週期較短的雙向水流—使用於鐵路碎石下的濾層。

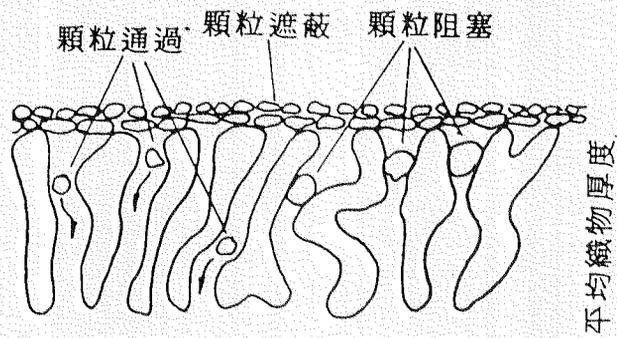


圖 4.1 土工織物之阻塞與遮蔽現象

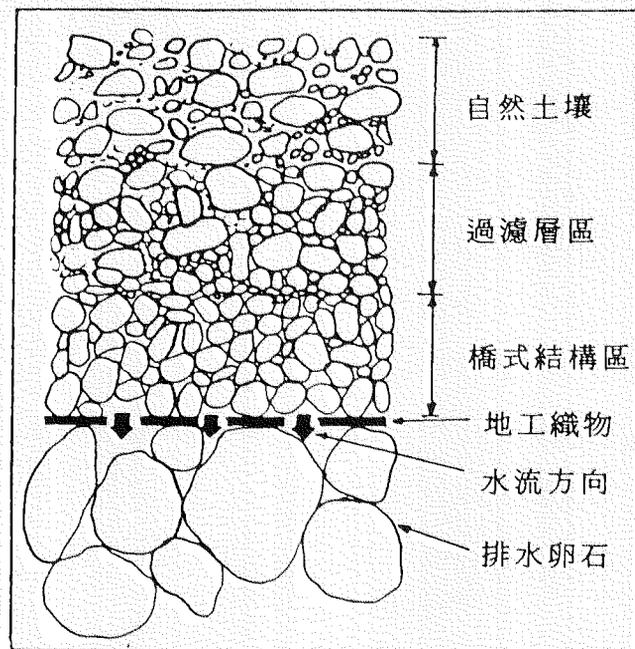


圖 4.2 土工織物與土壤介面過濾層之形成

週期較長的雙向水流過濾使用條件有時亦可形成部份效率較差的過濾層；但週期較短的雙向水流條件下幾乎不可能形成穩定的過濾層；故此類過濾系統中須同時使用礫石級配濾層以防止破壞。

2. 排水

排水功能係水可在地工織物之結構平面內流動、匯集。地工織物之排水功能與前述過濾功能相同，地工織物需能保持土壤顆粒不致發生不當之流失，並且具有相當之透水性。

3. 分隔

分隔功能係以地工織物分隔不同材料，作為材料之分離層，可使被分隔材料之整體性與功能保持不變，甚或改善。圖 4.3 為地工織物分隔功能示意圖。該圖顯示，當粗粒料置於細粒土壤之上時，有兩種現象可能隨著時間同時發生；其一是細粒土壤進入粗粒料之孔隙，破壞粒料之排水功能，其二是粗粒料可能擠入細粒土壤內，改變了粗粒料之強度。若在該兩者間置有適當之地工織物予以分隔，可有效防止上述兩種現象發生，進而保持材料特性與功能。

4. 加勁

加勁功能係以地工織物置放於土壤間，形成加勁土壤結構，增加土壤之強度。地工織物對土壤加勁之機制有三：

- (1) 薄膜加勁(Membrance reinforcement)：土體在垂直荷重下，在任一平面產生之張壓力，由放置該平面之地工織物吸收承受。
- (2) 剪力加勁(Shear reinforcement)：地工織物與土壤間之附著力及摩擦力效應。
- (3) 錨定加勁(Anchorage reinforcement)：地工織物與土壤顆粒間之互鎖錨定效應。

5. 沖蝕控制

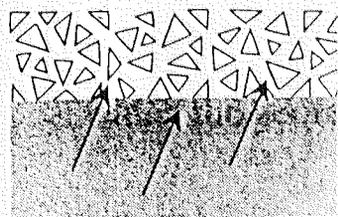
沖蝕控制功能係將地工織物鋪設在土壤與其保護系統之間，以防止沖刷造成土壤流失，同時防止土壤內孔隙水壓上揚造成土壤強度減低與不穩定，是過濾功能之應用。

4.1.2 應用

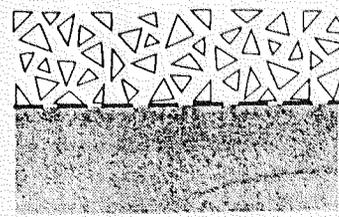
地工織物各項功能之應用，分別列舉數則如下：

1. 過濾排水

- (1) 溝渠排水
- (2) 擋土牆

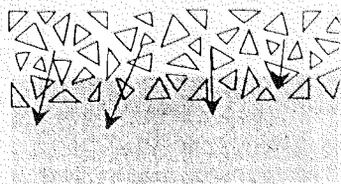


Without geotextile

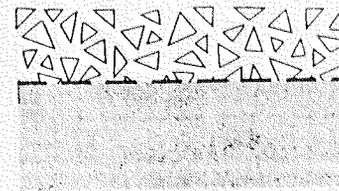


With geotextile

(a) Mechanism of soil fines pumping into stone aggregate voids and prevention using geo-textiles



Without geotextile



With geotextile

(b) Mechanism of stone aggregate intrusion into soil subgrade and prevention using geotextiles

圖 4.3 土工織物分隔功能示意圖

- (3)土堤
- (4)碼頭
- 2.沖蝕控制
 - (1)海堤
 - (2)丁堤
 - (3)橋墩
 - (4)臨時圍堤
- 3.分隔/加勁
 - (1)土堤
 - (2)擋土結構
 - (3)路基穩定
 - (4)防波堤

圖 4.4~圖 4.6 為上列功能應用示意圖，事實上，土工織物在實際工程應用上皆同時提供多項功能，亦即有主功能與次功能之應用。

4.2 國內海岸與港灣工程之應用

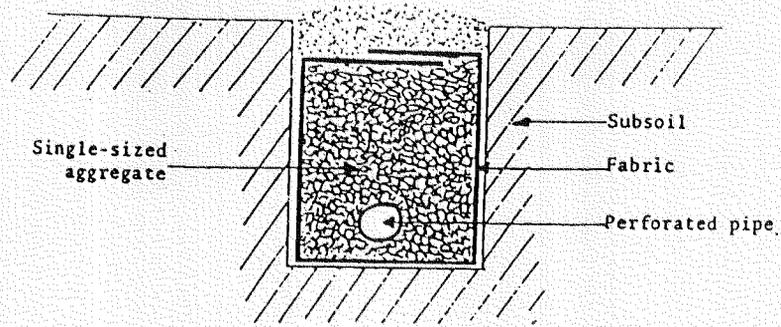
4.2.1 主要港灣應用情形

土工織物在國內海岸與港灣工程之應用情形，經蒐集彙整如下：

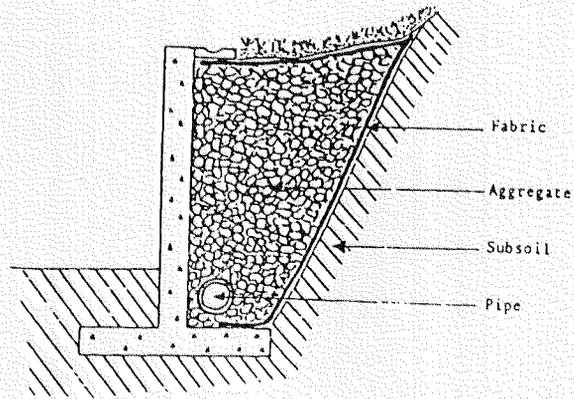
1. 基隆港

基隆港建港工程甚早，其時土工織物尚未引進國內，因此早期基隆港工程未使用是項材料。

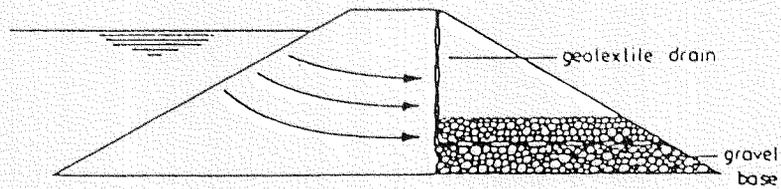
淡水港部分，民國 81 年北防波堤工程以及民國 86 年南防波堤工程，其堤底皆鋪設有土工織物，以減少防波堤基礎石料之不均勻沈陷與沖蝕。圖 4.7 所示為南防波堤斷面圖（含土工織物）。本工程土工織物材料規範如表 4.1 所示，顯然近期南防波堤工程使用之土工織物材料規範已提高。



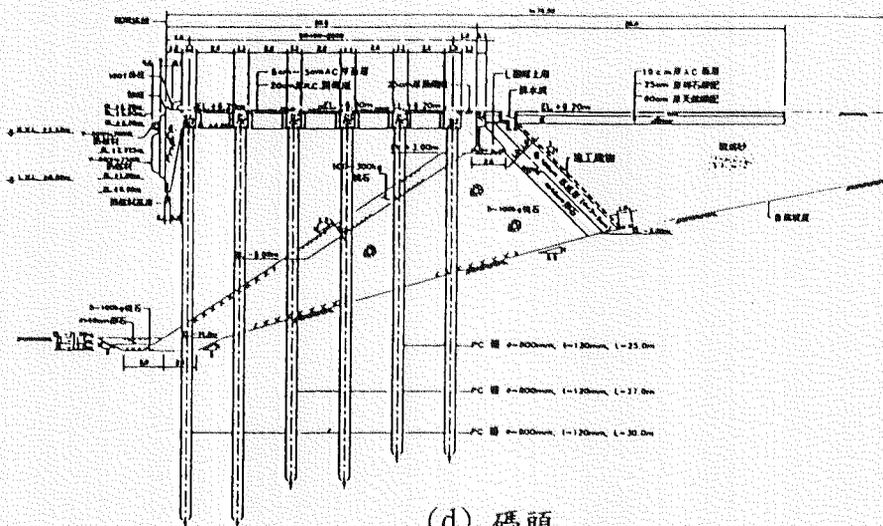
(a) 溝渠



(b) 擋土牆

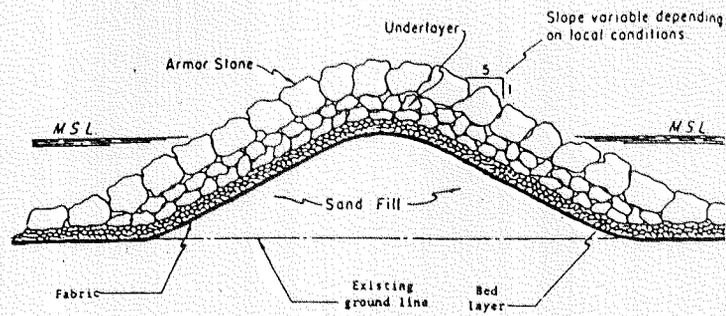


(c) 土堤

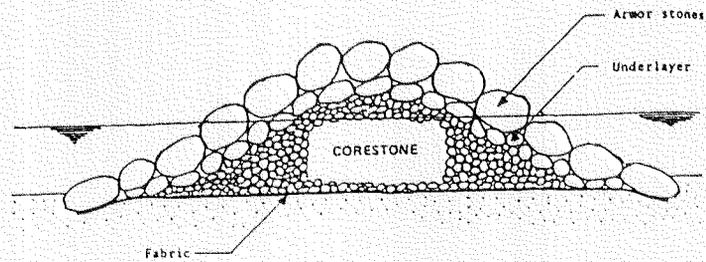


(d) 碼頭

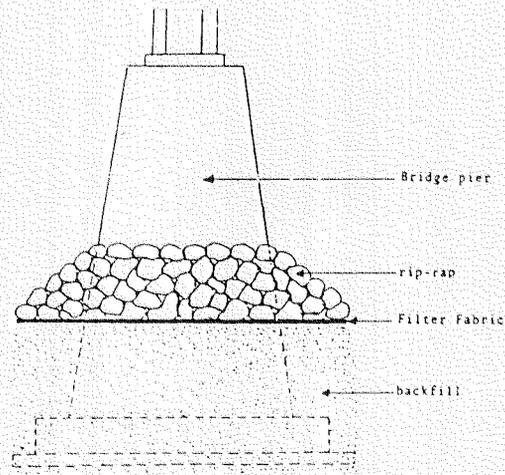
圖 4.4 土工織物過濾/排水功能之應用



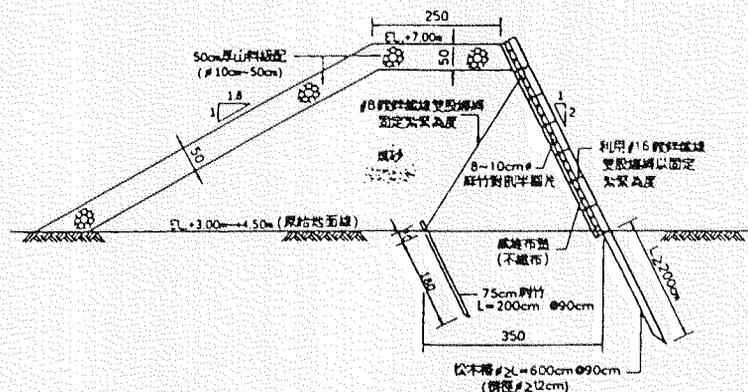
(a) 海堤



(b) 丁壩

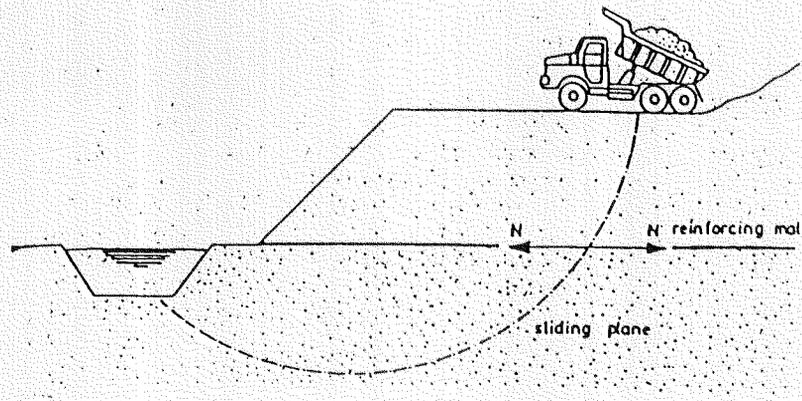


(c) 橋墩

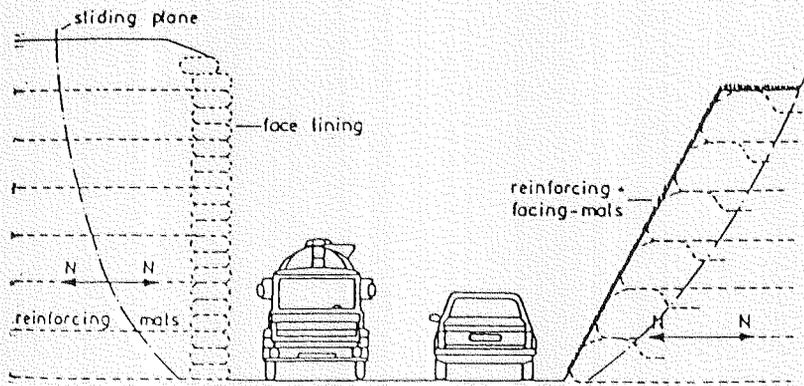


(d) 臨時圍堤

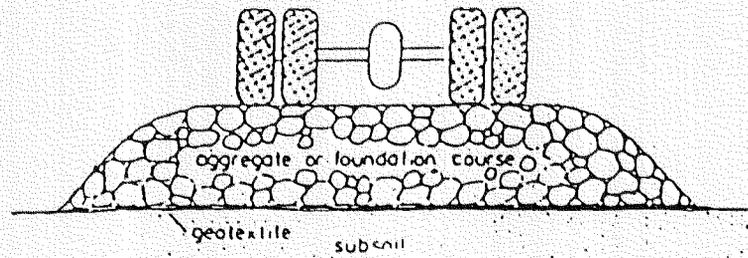
圖 4.5 土工織物沖蝕控制功能之應用



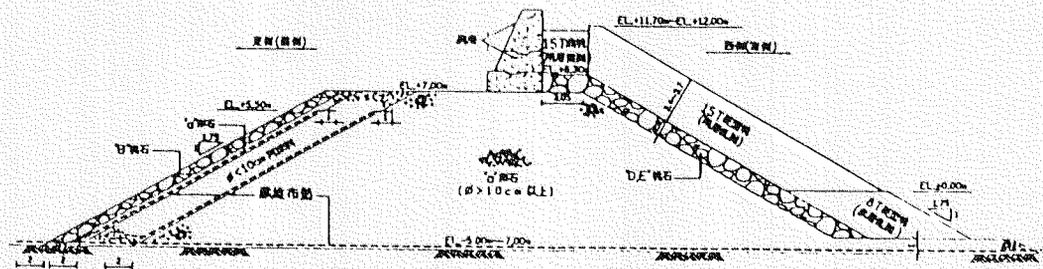
(a) 土堤



(b) 加勁擋土牆



(c) 路基



(d) 防波堤

圖 4.6 土工織物分隔/加勁功能之應用

表 4.1 淡水港地工織物材料規範 (南北防波堤)

項 目	規 範		備 註
	北 防 波 堤	南 防 波 堤	
材質	PP、PE 或 PET 長纖維	同左	抓式法 CNS 5610 (ASTM D1682-64)
織法	針軋法	同左	
抗拉強度	>120kg	>250kg	同上
破損時伸長率	40~100%	同左	梯形法 CNS 5610 (ASTM D2263-68)
撕裂強度	>50kg	>80kg	小樣法 CNS 5610
單位重	<450g/m ²	<600 g/m ²	水柱高 10cm
透水係數	>0.05cm/sec	同左	

2. 花蓮港

第四期擴建工程：

民國 76 年第四期擴建碼頭工程，沉箱碼頭背後回填塊石與砂，在其背填塊石與背填砂間鋪設地工織物兩層，作為分隔濾層，圖 4.8 所示為該碼頭地工織物鋪設位置圖，使用之材料規範如表 4.2 所示。

表 4.2 花蓮港第四期擴建碼頭地工織物材料規範

項 目	規 範	備 註
材質	PET 長纖維	抓式法
織法	針軋法	
抗拉強度	縱向與橫向：>120kg	同上
破損時伸長率	縱向與橫向：50~100%	梯形法
撕裂強度	縱向與橫向：>30kg	常溫法
破裂強度	>25kg/cm ²	
收縮率	<5%	
單位重	400±40g/m ²	
透水性	?	

3. 高雄港

(1) 鋼管樁碼頭

在鋼管樁碼頭後側預鑄 L 型塊擋土牆，其背後回填中鋼轉爐石與砂，在填石與回填砂之間，鋪設地工織物作為濾層。表 4.3 所示為使用之材料規範。

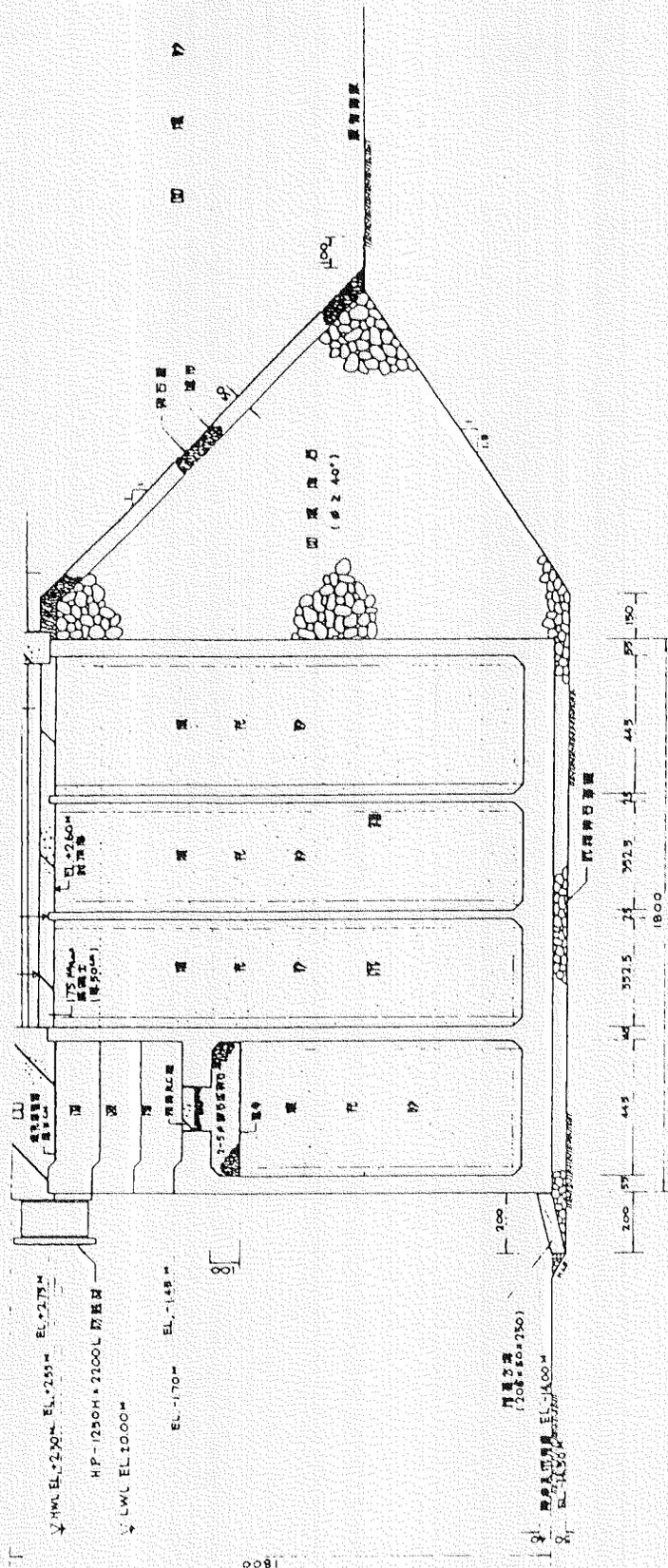


圖 4.8 花蓮港第四期擴建碼頭地工織物設置

表 4.3 高雄港鋼管樁碼頭地工織物材料規範

項 目	規 範	備 註
材質	PP 長纖維	
織法	—	
抗拉強度	縱向：>80kg 橫向：>65kg	抓式法
破損時伸長率	縱向與橫向：>60%	
撕裂強度	縱向與橫向：>25kg	梯形法
收縮率	<5%	
厚度	3~3.5mm	20g/cm ² 壓力下

(2) 第五貨櫃中心

第五貨櫃中心鋼板樁碼頭工程，為防止船席海床土壤因停泊船隻之攪動沖刷，設置保護工程（如圖 4.9 所示），其中以地工織物分隔砂土與拋石，以防止砂土沖失。

本工程使用之地工織物為織布或不織布，其材料規範如下：

① 不織布

材 質：PE、PP 或 PET 纖維且具防紫外線著色處理

織 法：針軋法或熱熔法

物理性能：需符合 CNS 11228 A2183 Type II 以上

② 織布

材料物理性能規範如表 4-4 所示。

表 4.4 高雄港第五貨櫃中心碼頭地工織物（織布）材料規範

項 目	規 範	備 註
抗拉強度	經向：>250kg 緯向：>250kg	ASTM D1682，抓式法
彈性模數	>1000kg/5cm	同上
破損時伸長率	10~25%	ASTM D1682，糾纏條式法
透水係數	>0.01cm/sec	CNS 10460，定水頭 10cm
網眼大小，O90	<300 μm	
單位重	>250g/m ²	

(3)安平港外廓防波堤

安平港外廓防波堤工程（民國 87 年），在防波堤底部及堤後背填料間鋪設土工織物，如圖 4.10 所示。堤後背填料間之土工織物為不織布，作為濾層用；堤底土工織物為不織布或織布，用以改善軟弱地層支承，減低堤基石料之陷失。

土工織物材料規範如下：

①材料

合成纖維（聚乙烯、聚丙烯及聚酯等）且具紫外線著色處理，用噴射交互針軋法（不織布）或編織法（織布）製成。

②物理性能

(i)堤後不織布

需符合 CNS 11228 A2183 TypeIV 類規範（如表 3.3）。

(ii)堤底不織布或織布

需符合表 4.5 所列規範。

表 4.5 安平港外廓防波堤堤底土工織物材料規範

項 目	規 範	備 註
抗拉強度	經向與緯向： $> 40 \sim 70\text{KN/m}$	ASTM D4595 (CNS 13300 A3339)
破損時伸長率	10~100%	同上
透水係數	$> 0.01\text{cm/sec}$	ASTM D4491 (CNS 10460 L3201)
網眼大小， O_{90}	$< 300 \mu\text{m}$	ASTM D4751
耐紫外線性	外觀無變化，抗拉強度不得低於原規定之 90%	CNS 9024 L2053，紫外線碳弧燈連續照射 240 小時

註：(1)表中抗拉強度設計適用於不同堤段位置。設計抗拉強度係考慮土工織物伸長率為 10%，若使用之不織布伸長率 40% 以上者，設計抗拉強度可採用原設計強度之 90%。

(2)需特別指出，表中抗拉強度係以寬幅法表示。

4.台中港

(1)外廓防波堤

外廓防波堤工程中，沉箱合成堤段之堤底兩側鋪設合成纖維網墊，如圖 4.11 所示，以保護堤基，防止海床土壤與堤基石料淘蝕。該合成纖維

網墊為織布，其時（民國 62 年）僅有織布材料。本工程應為國內主要港灣工程使用土工織物（織布）之濫觴。表 4.6 所示為材料規範。

表 4.6 台中港外廓防波堤土工織物材料規範

項 目	規 範	備 註
抗拉強度	經向：>180kg/3cm 緯向：>90kg/3cm	
撕裂強度	縱向與橫向：>40kg	
收縮率	<5%	

(2) 棧橋碼頭

新建棧橋式碼頭，如第 20、21 號碼頭，其後背填石料與回填砂之間鋪設不織布作為分隔濾層，如圖 4.12 所示，使用之不織布材料需為聚乙烯、聚丙烯或聚酯之長纖維以噴射交互針軋法或熱熔法製成，其性能符合 CNS 11228 A2183 TypeIV 規範，另規定其單位重需小於 400g/m²。

(3) 南填方區圍堤

南填方區圍堤為拋石堤，在拋石堤之堤底全面及陸側邊坡分別鋪設不織布，如圖 4.13 所示，以防治堤基石料之陷失、淘蝕以及堤後砂土流失，使用之不織布材料規範如表 4.7 所示，材料之性能需求已提升。

表 4.7 台中港南填方區圍堤土工織物材料規範

項 目	規 範	備 註
材質	PP、PE 或 PET 長纖維	
織法	—	
抗拉強度	縱向與橫向：>250kg	抓式法 CNS 5610
破損時伸長率	縱向與橫向：40~100%	同上
撕裂強度	縱向與橫向：>80kg	梯形法 CNS 5610
透水係數	>0.01cm/sec	定水位高 10cm CNS 10460
單位重	<600g/m ²	
耐紫外線性	外觀無變化，抗拉強度不得低於原規定之 90%	紫外線碳弧燈連續照射 200 小時 CNS 9024

沉箱合成堤標準斷面圖

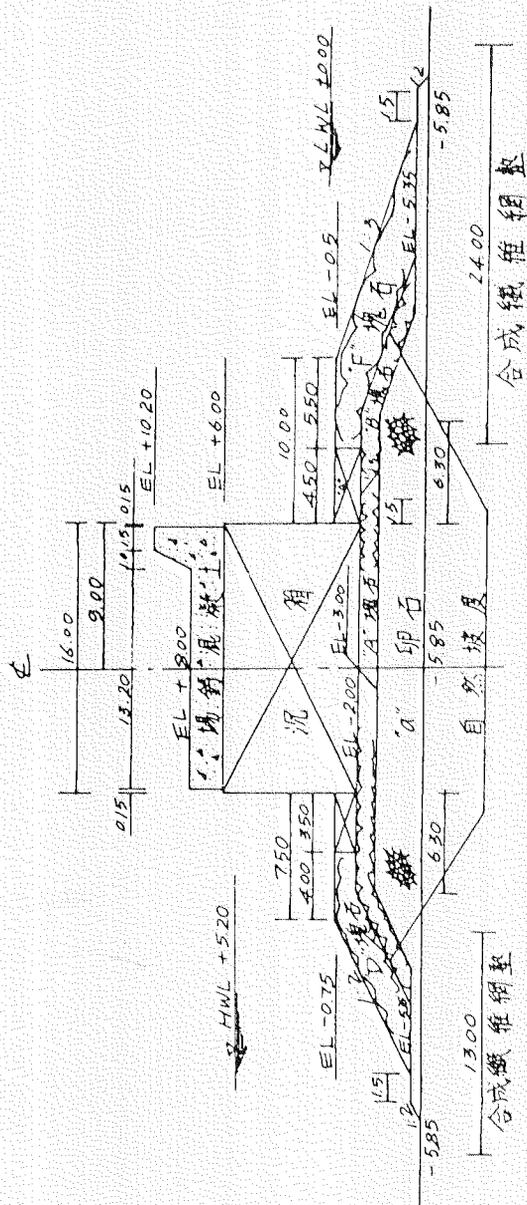


圖 4.11 台中港外廓防波堤堤地工織物設置

4.2.2 討論

綜合上述土工織物在國內各主要港灣工程之應用情形，彙整如表 4.8 及表 4.9，可歸納下列數項：

(1) 土工織物應用目的與工程範圍

土工織物以作為濾層與分隔/加勁使用之為主，其工程應用範圍尚不廣泛，主要應用範圍在於：

① 作為濾層

鋪設於各式碼頭、拋石堤等工程背後回填石料與回填砂之間作為濾層，取代傳統級配濾料，以防止背填砂土滲失。

② 分隔/加勁

鋪設於防波堤、海堤等工程之堤底，分隔基礎石料與海床土壤，以改善海床土壤之支承能力，防止堤基石料發生不當陷失與淘蝕。

③ 沖蝕控制

局部鋪設於船席護床工程，以防止停泊船隻引致之海床土壤之淘蝕與沖失。

(2) 土工織物材料規範

土工織物多使用不織布，其材料規範多參採 CNS 11228 A2183 土木工程非織物之規定制定，但各工程間所訂之品質與性能要求規格不一，其中需符合 Type II、III 或 IV 規格者均有之。近年制定之性能規格則有提升現象。至於性能要求項目除 CNS 1128 所訂項目外，部分工程規範另訂單位重一項，但穿裂強度、破裂強度及正向透水率等均未制定。

(3) 土工織物設計標準

目前土工織物之選用與設計仍無一套標準可供遵循，各工程土工織物之選用與規格制定多是產品導向的，各項性能規格如何訂定並無依據與標準，失之因循盲從。事實上，各工程對土工織物之性能需求應不相同，因此其規格之制定應是設計導向的，而這項設計標準尚有待建立。

表 4.8 國內主要港灣工程土工織物之應用

港 灣	使 用 範 圍	使 用 織 物	工 程 應 用 功 能
花 蓮 港	1.沉箱碼頭背填區濾層	不 織 布	1.過濾/排水 2.分隔
	2.沉箱碼頭箱內填充料分隔	不 織 布	1.分隔
淡 水 港	1.防波堤基礎	不 織 布	1.分隔 2.加勁 3.沖蝕控制
	2.防波堤陸側回區濾層	不 織 布	1.過濾/排水 2.分隔
台 中 港	1.防波堤基礎	織 布	1.分隔 2.加勁 3.沖蝕控制
	2.棧橋式碼頭背填區濾層	不 織 布	1.過濾/排水 2.分隔
	3.海堤基礎	不 織 布	1.分隔 2.加勁 3.沖蝕控制
	4.海堤陸側邊坡	不 織 布	1.分隔 2.過濾/排水
安 平 港	1.防波堤基礎	織布或不織布	1.分隔 2.加勁 3.沖蝕控制
	2.防波堤背後回填區濾層	不 織 布	1.過濾/排水 2.分隔
高 雄 港	1.鋼管樁碼頭背填區濾層	不 織 布	1.過濾/排水 2.分隔
	2.鋼版樁碼頭船席海床	織布或不織布	1.沖蝕控制

表 4.9 國內主要港灣土工織物（不織布）材料規範一覽表

項 目	淡 水 港		花 蓮 港	高 雄 港		安 平 港		台 中 港	
	北防波堤	南防波堤	第四期擴建碼頭	鋼管樁碼頭	第五貨櫃中心	防波堤堤背	防波堤堤底	新建棧橋碼頭	南填方區圍堤
材 質	PP、PE 或 PET	同 左	PET	PP	PP、PE 或 PET	同 左	同 左	同 左	同 左
織 法	針軋法	同 左	同 左	同 左	針軋或熱溶	針軋法	同 左	針軋或熱溶	同 左
抗拉強度（抓式法）	>120kg	>250kg	>120kg	縱向>80kg 橫向>65kg	>80kg	>160kg	>40-70KN/m*	>160kg	>250kg
破損時伸長率（抓式法）	40-100%	40-100%	50-102%	>60%	40-100%	40-100%	10-100%	40-100%	40-100%
撕 裂 強 度	>50kg	>80kg	>30kg	>25kg	>35kg	>55kg	-	>55kg	>80kg
破 裂 強 度	-	-	>25	-	-	-	-	-	-
單 位 重 量	<450g/m ²	<600g/m ²	<400±40g/m ²	-	-	-	-	<400g/m ²	<600g/m ²
收 縮 率	-	-	<5%	<5%	-	-	-	-	-
透 水 係 數	>0.05cm/sec	同 左	-	-	>0.01cm/sec	同 左	同 左	同 左	同 左
厚 度	-	-	-	3-3.5mm	-	-	-	-	-
耐 紫 外 線 性	-	-	-	-	強度損失<10%	同 左	同 左	同 左	同 左
應用年度（民國）—年	81	86	76	-	78	87	87	87	88

備註：*標記表寬幅強度

第五章 土工織物之設計與選用

5.1 概述

土工織物工程應用之設計方法有二：(1)功能設計法 (Design by function) 及(2)規範設計法 (Design by specification)。功能設計法係依據特定工程之工程環境、土壤特性與工程設計需求等分析，決定該工程應用所需之土工織物之功能性質，據以選用符合該功能性質之土工織物，亦即土工織物之選用是設計導向的。規範設計法係依據工程或研究機構經長期之理論研究與實地驗證土工織物之行為而制定之工程應用規範，相關工程土工織物之選用即遵循該規範。

土工織物在海岸與港灣工程之應用上，可依據周邊環境因素、土壤性質與設計需求等評估所需功能性質，就個別功能所擬利用土工織物之允許性質與現地工程設計之需求性質相比較據以設計選用，亦即功能設計。但在多數工程實務上，由於土工織物為涵蓋高分子材料與紡織專業領域之土工材料，一般工程師對其材料性質與力學特性等尚不能確實掌握，因此土工織物之設計與選用仍多以參採既有之土工織物工程應用規範為主，亦即規範設計。

目前國內之土工織物工程應用規範多以參採 CNS 11228 規範 (如表 3.3) 為主，惟該規範僅為土工織物 (不織布) 材料性能規範，作為工程應用之規範設計尚有所不足。美國 AASHTO M288-96 規範係考量土工織物不同之應用功能與工程環境所制訂之土工織物工程應用規範，值得參採。

5.2 AASHTO M288-96 規範

5.2.1 規範制訂

美國各州公路及交通官員協會 (American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO) 對統合制訂土工織物之工程應用規範著力甚深，有相當貢獻。於 1982 年，美國各州公路及交通官員協會 (AASHTO) 與美國道路及交通營建協會 (American Road and Transportation Builders Association, ARTBA) 及營造商協會 (Association General Constructors, AGC) 組成聯合委員會 (Task Force 25)，著手有關土工織物工程應用規範之制訂工作。歷經多年之理論探討、室內試驗以及現地驗證，從初始對土工織物新材料之保守認識，逐漸累積經驗，檢討改進設計方法，相繼提出 AASHTO M288-86，M288-90，M288-92，M288-96 等規範，每數年即提出修訂版本，其中 AASHTO

M288-96 規範係 1997 年提出之最近版本規範。

5.2.2 規範摘要

AASHTO M288-96 規範係考量施工環境、土壤特性等因素，分別制訂土工織物在不同應用功能下之最低性能需求，涵蓋土工織物在過濾、排水、分隔、加勁、沖蝕控制等功能之應用。

1. 土工織物分類

AASHTO M288-96 規範考量土工織物需克服鋪設耐久性 (Survivability)，提出三種按強度性質之分類，如表 5.1 所示，土工織物之類別依據施工鋪設條件之嚴峻性決定，第一類適用於鋪設條件較為嚴峻而極可能導致土工織物破損者，第二類適用於一般鋪設環境，而第三類適用於平順鋪設條件。每一類別土工織物中不織布 (伸長率 $\geq 50\%$) 之需求強度性質均較織布 (伸長率 $< 50\%$) 為低。

2. 過濾排水需求

土工織物過濾排水之應用需考量現地土壤特性，如級配、塑性等性質，據以決定土工織物需求水力性質，如正向透水率、視孔徑等性質。帶纖維布不可作為過濾排水之應用。AASHTO M288-96 規範中過濾排水之需求性質如表 5.2 所示。

3. 分隔需求

分隔之應用係以土工織物分隔道路底層土壤、岩石與其上級配層，避免混合，表 5.3 所示土工織物需求性質適用於路基土壤之加州承載比不小於 3 (即 $CBR \geq 3$) 之分隔應用，土工織物亦提供過濾功能。表 5.4 適用於軟弱路基土壤 ($1 < CBR < 3$) 之分隔穩定應用，土工織物同時具有加勁功能，其強度需求較高。

4. 沖蝕控制需求

沖蝕控制之應用係土工織物鋪設在現地土壤與其保護系統之間，防止沖刷所造成之土壤流失，以及防止土壤因水壓力上揚所造成之不穩定。土工織物主要應用功能為過濾，因此土工織物之過濾性質加以規範。表 5.5 所示為土工織物沖蝕控制應用之需求性質，帶纖維布不可作為沖蝕控制之應用。

臨時性沉泥圍籬為土工織物沖蝕控制之應用，其功能為過濾，允許土工織物阻塞，使土壤沖積物沉積，防止其被地表逕流沖離施工區域而污染下游區段。臨時沉泥圍籬之地工織物可在其支柱間以鐵絲網或塑膠網加以支撐，或不支撐。表 5.6 所示為臨時性沉泥圍籬之地工織物需求性質。

表 5.1 AASHTO M288-96 土工織物需求強度性質

項目	試驗方法	單位	地 工 織 物 分 類					
			第 一 類		第 二 類		第 三 類	
			伸長率 <50%	伸長率 ≥50%	伸長率 <50%	伸長率 ≥50%	伸長率 <50%	伸長率 ≥50%
抓式強度	ASTM D4632	N	1400	900	1100	700	800	500
縫合強度	ASTM D4884	N	1200	810	990	630	720	450
撕裂強度	ASTM D4533	N	500	350	400	250	300	180
穿裂強度	ASTM D4833	N	500	350	400	250	300	180
破裂強度	ASTM D3786	kPa	3500	1700	2700	1300	2100	950

表 5.2 AASHTO M288-96 土工織物過濾（排水）需求性質

項目	試驗方法	單位	最 低 需 求		
			現地土壤 0.075mm 過篩百分率		
			<15	15~50	>50
地 工 織 物 分 類			第 二 類		
正向透水率	ASTM D4491	sec ⁻¹	0.5	0.2	0.1
視孔徑	ASTM D4751	mm	<0.43	<0.25	<0.22
紫外線穩定性	ASTM D4355	%	50% (暴露 500 小時)		

附註：

- 對於溝渠排水之應用，工程師可依據下列條件選用第三類土工織物：
 - 依據現場經驗，工程師認定第三類工織物已可克服耐久性 (Survivability)。
 - 依據實驗室實驗及依據現場狀況模擬施工試驗結果，工程師認定第三類土工織物已可克服而耐久性。
 - 地下排水深度小於 2m，排水用礫石粒徑小於 30mm 且夯實度不小於 95% (依照 AASHTO T99 試驗方法)。
- 在有問題之土壤環境中，如非凝聚性粉土、不良級配土壤、砂/粉土互層土壤及/或岩粉等，工程師可要求進行土工織物之滲透性及/或效能試驗，依現地特性進行土工織物之設計。
- 塑性指數大於 7 之黏性土壤，土工織物視孔徑 (AOS) 需小於 0.30mm。

表 5.3 AASHTO M288-96 土工織物分隔需求性質

項目	試驗方法	單位	最低需求
土工織物分類			第二類
正向透水率	ASTM D4491	sec ⁻¹	0.02
視孔徑	ASTM D4751	mm	<0.60
紫外線穩定性	ASTM D4355	%	50% (暴露 500 小時)

附註：

1. 工程師可依據下列條件選用第三類土工織物：
 - a. 依據現場經驗，工程師認定第三類土工織物已可克服耐久性 (Survivability)。
 - b. 依據實驗室及依據現場狀況模擬施工試驗結果，工程師認定第三類土工織物已可克服耐久性。
 - c. 鋪設於土工織物上層礫石厚度超過 300mm，且礫石粒徑小於 50mm。
 - d. 鋪設於土工織物上層礫石厚度超過 150mm，礫石粒徑小於 30mm，且施工機具接觸壓力小於 550kPa。
2. 土工織物之正向透水率需大於土壤 ($\phi_g > \phi_s$)，工程師亦可要求土工織物之滲透性大於土壤 ($k_g > k_s$)。

表 5.4 AASHTO M288-96 土工織物穩定需求性質

項目	試驗方法	單位	最低需求
土工織物分類			第一類
正向透水率	ASTM D4491	sec ⁻¹	0.05
視孔徑	ASTM D4751	mm	<0.43
紫外線穩定性	ASTM D4355	%	50% (暴露 500 小時)

附註：

1. 工程師可依據下列條件選用第二類或第三類土工織物：
 - a. 依據現場經驗，工程師認定是類土工織物已可克服耐久性 (Survivability)。
 - b. 依據實驗室及依據現場狀況模擬施工試驗結果，工程師認定是類土工織物已可克服耐久性。
2. 土工織物之正向透水率需大於土壤 ($\phi_g > \phi_s$)，工程師亦可要求土工織物之滲透性大於土壤 ($k_g > k_s$)。

表 5.5 AASHTO M288-96 土工織物沖蝕控制需求性質

項目	試驗方法	單位	最低需求		
			現地土壤 0.075mm 過篩百分率		
			<15	15~50	>50
土工織物分類 單織織布 其他土工織物			第二類 第一類		
正向透水率	ASTM D4491	sec ⁻¹	0.7	0.2	0.1
視孔徑	ASTM D4751	mm	<0.43	<0.25	<0.22
紫外線穩定性	ASTM D4355	%	50% (暴露 500 小時)		

附註：

1. 上列土工織物之最低選用依據下列條件：
 - a. 防護石重不超過 100kg，落高小於 1m，及不需要礫石底層。
 - b. 防護石重超過 100kg，落高小於 1m，而土工織物被 150mm 厚之礫石底層保護。
 - c. 更嚴苛之應用情況需利用現地試驗段之土工織物耐久性評估，可能需要強度較高之土工織物。
2. 工程師可依據下列條件選用低一類土工織物：
 - a. 依據現場經驗，工程師認定低一類土工織物已可克服耐久性。
 - b. 依據實驗室試驗及依據現場狀況模擬施工試驗結果，工程師認定低一類土工織物已可克服耐久性。
 - c. 防護石重小於 100kg，落高小於 1m，土工織物被 150mm 厚之礫石底層保護。
 - d. 防護石重不超過 100kg，以 0m 落高鋪設。
3. 在有問題之土壤環境中，如非凝聚性粉土、不良級配土壤、砂/粉土互層及/或岩粉等，工程師可要求進行土工織物之滲透性及/或效能試驗，依現地特性進行土工織物之設計。
4. 塑性指數大於 7 之黏性土壤，土工織物之視孔徑 (AOS) 需小於 0.30mm。

表 5.6 AASHTO M288-96 臨時性沉泥圍籬需求性質

項目	試驗方法	單位	最低需求		
			支撐式沉泥圍籬	無支撐沉泥圍籬	
				伸長率 $\geq 50\%$	伸長率 $< 50\%$
最大支柱間距		m	1.2	1.2	2.0
抓式強度	ASTM D4632	N	400	550	550
機器方向					
垂直機器方向			400	450	450
正向透水率	ASTM D4491	sec ⁻¹	0.05	0.05	0.05
視孔徑	ASTM D4751	mm	<0.60	<0.60	<0.60
紫外線穩定性	ASTM D4355	%	70% (暴露 500 小時)	70% (暴露 500 小時)	

附註：

1. 伸長率依據 ASTM D4632 試驗方法量度。
2. 沉泥圍籬支撐應由間距 150mm × 150mm 之 14 號鐵絲網或同等強度之預鑄式塑膠網組成。

5.3 建議規範

工程實務上，土工織物之設計與選用多以規範設計為主。國內目前土工織物在海岸與港灣工程應用之規範多參採 CNS 11228 規範（表 3.3）制訂，該規範基本上僅為材料性能規範，並未考量工程適用環境，因此作為工程應用設計規範尚有所不足。如前節所述，AASHTO M288-96 規範考量了土工織物在不同應用功能與工程環境之需求，是至目前為主，考量較為周詳與完整之土工織物功能應用規範，值得參採。

因此本節即以 AASHTO M288-96 規範為藍本，綜合 CNS 11228 規範，擬定土工織物在國內海岸與港灣工程應用之建議規範，包括：

- (1) 土工織物過濾/排水需求規範（如表 5.7）：提供濾層使用。
- (2) 土工織物沖蝕控制/加勁需求規範（如表 5.8）：提供基礎加勁與沖蝕控制。

在上述之建議規範中，下列數項說明：

- (1) 強度性質增列縫合強度、穿裂強度及破裂強度三項，抓式強度及撕裂強度仍沿用 CNS 11228 規範之類別標準。
- (2) 水力性質增列視孔徑一項；正向透水率取代 CNS 11228 規範之透水係數。
- (3) 耐紫外線性仍沿用 CNS 11228 規範。

表 5.7 土工織物（不織布）過濾/排水需求規範（建議值）

項目	單位	試驗方法	需求最低值		
			現地土壤細粒含量		
			<15%	15~50%	>50%
抗拉強度	kgf	ASTM D4632	80 (CNS 11228 Type II)		
		CNS 13843			
縫合強度	kgf	ASTM D4633	72		
		CNS 8150			
撕裂強度	kgf	ASTM D4533	35 (CNS 11228 Type II)		
		CNS 13299			
穿裂強度	kgf	ASTM D4833	35		
		CNS 14263			
破裂強度	kgf/cm ²	ASTM D3786	18		
		CNS 5613			
正向透水率	sec ⁻¹	ASTM D4491	0.5	0.2	0.1
		CNS 13298			
視孔徑	mm	ASTM D4751	0.43 (max)	0.25 (max)	0.22 (max)
		CNS 14262			
耐紫外線性		CNS 9024	外觀無變化，抗拉強度不得低於原規定之 90%		
		紫外線碳弧燈連續照射 200 小時			

表 5.8 土工織物（不織布）沖蝕控制/加勁需求規範（建議值）

項目	單位	試驗方法	需求最低值		
			現地土壤細粒含量		
			<15%	15~50%	>50%
抗拉強度	kgf	ASTM D4632	120 (CNS 11228 Type II)		
		CNS 13843			
縫合強度	kgf	ASTM D4633	108		
		CNS 8150			
撕裂強度	kgf	ASTM D4533	45 (CNS 11228 Type II)		
		CNS 13299			
穿裂強度	kgf	ASTM D4833	45		
		CNS 14263			
破裂強度	kgf/cm ²	ASTM D3786	23		
		CNS 5613			
正向透水率	sec ⁻¹	ASTM D4491	0.7	0.2	0.1
		CNS 13298			
視孔徑	mm	ASTM D4751	0.43 (max)	0.25 (max)	0.22 (max)
		CNS 14262			
耐紫外線性		CNS 9024	外觀無變化，抗拉強度不得低於原規定之 90%		
		紫外線碳弧燈連續照射 200 小時			

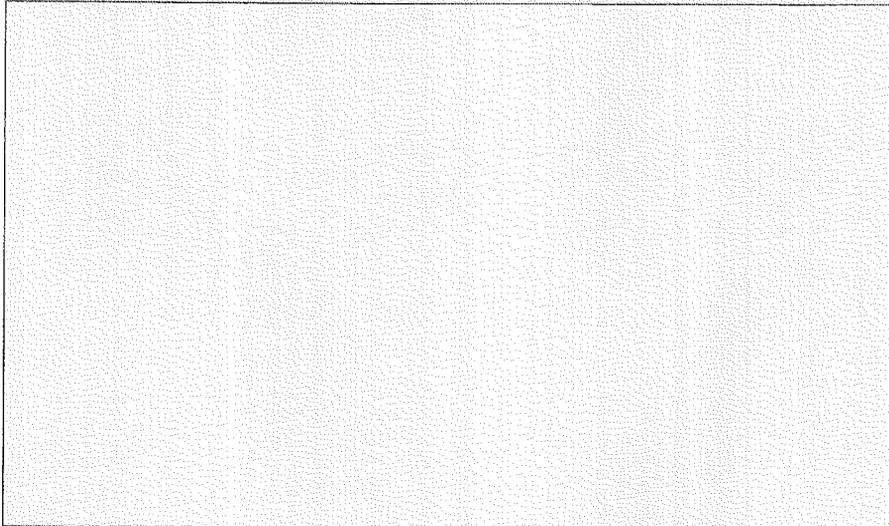
第六章 結論與建議

1. 土工織物具有過濾、排水、加勁、分隔與沖蝕控制等功能，其為海岸與港灣結構損害防範之機制，目前土工織物在國內海岸與港灣工程上應用尚屬局部，在材料設計與選用上仍無技術準則可循，需要加強研究統合與推廣。
2. 國內產製之土工織物以針軋不織布為主，使用之不織布原料多為聚脂纖維，其品質多以符合 CNS 11228 規範為目標，較高品質之產品亦可產製以應工程需要。
3. 土工織物在國內各主要港灣工程之應用以作為濾層與基礎分隔與加勁為主，其應用範圍主要鋪設於各式碼頭、拋石堤等工程背後回填石料與回填砂之間作為濾層，取代傳統級配濾料，以防止背填砂石滲失；及鋪設於防波堤、海堤等工程之堤底，分隔基礎石料與海床土壤，以改善海床土壤之支承能力，防止堤基石料發生不當陷失與淘蝕。沖蝕控制功能尚待加強發揮應用。
4. 結合 AASHTO M288-96 規範與 CNS 11228 規範，研擬土工織物在海岸與港灣工程上不同應用功能之材料規範（如表 5.7—表 5.8），提供土工織物選用之準則。

參考文獻

- [1] 胡寶麟 (民國 88 年) 從 AASHTO M288-96 規範談土工織物之設計與應用，土工技術，第 71 期，第 13-28 頁。
- [2] 吳朝賢 (民國 79 年)，土工織物過濾功能之應用考量，土工技術，第 32 期，第 41-55 頁。
- [3] 中國國家標準 (1999)，經濟部標準檢驗局。
- [4] ASTM (1998) Annual Book of ASTM Standards，vol.04.09.
- [5] Koerner, R.M. (1998)，Design with Geosynthetics，4th ed.，Prentice Hall，New Jersey.
- [6] Ingold, T.S. & Miller, K.S. (1988)，Geotextiles Handbook，Thomas Telford, London.
- [7] Gerard P.T.M. Van Santvoort (1994)，Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering，A.A. Balkema，Rotterdam，Netherlands.

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料



土工織物在海岸與港灣工程之應用研究

著 者：李豐博、蘇吉立

出版機關：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

地 址：台中縣梧棲鎮中橫十路二號

網 址：www.ihmt.gov.tw

電 話：(04)6564216

出版年月：中華民國八十九年十二月

印 刷 者：高源印刷股份有限公司

地 址：台中市大河街 53 號

電 話：(04)23115697

版(刷)次冊數：初版一刷110冊

工 本 費：300 元

展 售 處：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

GPN: 009254890162