

出國報告（出國類別：開會）

赴挪威 DNV、Connector Subsea
Solutions 及 KILLINGØY 公司進行天
然氣管線管理技術交流研討

服務機關：天然氣事業部海管室

姓名職稱：戴鈞章 經理

曾威甯 一般工程師

派赴國家/地區：挪威 / 奧斯陸

出國期間：112.10.29至112.11.4

報告日期：112.11.30

摘要

本次赴挪威拜訪六家廠商，分別為 DNV、Connector Subsea Solutions、NDT Global、PRS Pool、Allseas 及 Boskalis，透過本次與各家廠商交流研討，瞭解業界執行海底管線（以下稱海管）緊急維修之可行方案及合作模式，及所需維修工具及船機的規格，俾使海管完整性管理更加完整。

DNV 作為全球知名的第三方驗證機構，在海事工程經驗相當豐富，其台灣整體海域環境且離岸風電持續推動發展，第三方潛在風險亦逐漸上升，建議持續維持海管操作安全之因應作為，爰此特邀請 Connector Subsea Solutions、Allseas 及 Boskalis 參與本次研討交流會議。

Connector Subsea Solutions 作為 PRS Pool 組織成員之一，提供緊急管線維修系統，其購置管夾依維修位置之水深有三種不同型式選擇；另若考量先行購置管夾儲放，從開始設計至製造完成（含測試）約需52周，如有預鑄件則可縮短製造時間，未來購置後儲放地點有兩種方案，可依業者實際需求儲放，以縮短整體緊急維修時程；Allseas 專精於管線鋪設安裝、拆除海上結構、重物舉升、海上建造及深海礦物收集等海上業務，Boskalis 則提供離岸風電、疏浚、填海造陸、拖船、打撈及拋石保護等海上服務，兩家皆有足夠的工程船隻及設備量能，其 Allseas 與 Boskalis 說明於2022年9月已經針對台灣管線業務簽屬合作協議書，期能合作參與國內海管相關之專案。

另外，本公司天然氣海管定期施作智慧型 IP 檢測工作，特邀 NDT Global 技術分享有別於一般檢測精度，擁有更高技術及高精度之檢測工具，採用聲學共振檢測技術（ART Scan, Acoustic Resonance inspection technology）為檢測工具，惟該檢測成本亦較高，若經定期檢測後，若需再採用高精度設備再確認特徵點，則可採用該檢測工具。

綜上，本次研討會議主題與海管業務皆有高度相關，有邏輯的剖析管線全生命週期，從諸多環境因素或可能的危害中分析並擇定管線路徑開始，整合可行性研究單位、鋪管施工單位、維護檢測單位及緊急維修單位，提供許多寶貴意見及經驗，使海管完整性管理有明確的目標。

目次

摘要.....	1
目次.....	2
一、 目的.....	3
二、 行程.....	3
三、 過程.....	4
1. DNV	4
2. Connector Subsea Solutions	7
3. NDT Global	9
4. PRS Pool.....	12
5. Allseas & Boskalis	13
四、 具體成效	14
1. DNV	14
2. Connector Subsea Solutions	14
3. NDT Global	14
4. PRS Pool.....	15
5. Allseas & Boskalis	15
五、 心得及建議	15
1. 心得.....	15
2. 建議.....	16
附錄 1. 交流會議過程	18

一、目的

本公司天然氣海管肩負輸送逾50%進口天然氣至北部各大電廠及工業用戶使用之重任，為天然氣輸送之生命線，其海管檢測及維護技術與日俱進，為培訓天然氣海管維護人員之專業職能，確有必要派員赴國外汲取國際專業海管公司新型維護技術、新型儀器設備、維護工法及緊急維護新知，以增進海管維護管理技術。

針對海管緊急維修所需船機能量進行研討，期望透過本次研討瞭解業界執行海管緊急維修之可行方案及合作模式，及所需維修工具及船機的規格，以其海管完整性管理更加完整。

目前台灣天然氣能源需求逐漸上升，為因應管線維護情況下，仍能確保供氣無虞，本公司未來擬興建數條天然氣海管規劃，確有必要瞭解海管材料特性及工程階段可能產生之製造瑕疵等新知，以完善維護工法之策略擇定知。

二、行程

本次挪威行程規劃拜訪海事驗證公司 DNV、管線維修系統供應商 Connector Subsea Solutions、PRS Pool 及海管鋪設廠商 Allseas 及 IP 檢測原廠公司 NDT Global 及海事工程公司 Boskalis，其行程表如表 1：

表 1 行程表

日期	工作紀要
10/31	1. CPC 公司及專案介紹 2. DNV 海管可能面對的威脅與最佳路徑選擇 3. DNV 維護工法介紹與選擇 4. 管線材料測試實驗室參訪及實驗項目介紹
11/1	1. CPC 公司及緊急應變程序介紹 2. Connector subsea Pipeline repair system 程序及服務介紹 3. CPC 公司及 IP 檢測程序介紹 4. NDT IP 檢測廠商介紹檢測技術
11/2	1. CPC 公司及專案介紹 2. PRS pool introduction 成員介紹及服務介紹
11/3	1. CPC 公司及未來興建海管說明 2. Allseas 及 Boskalis 介紹海管鋪設流程及機具服務介紹

三、過程

1. DNV

DNV 作為全球知名的第三方驗證機構，提供驗證、評估及訓練等服務，同時為本公司天然氣海管長期配合之顧問公司，建立海管國際標準 (DNV-ST-F101, Submarine pipeline systems)，為國際上海管全生命週期內訂定評估標準，以確保管線操作安全。另特別針對管線完整性管理撰寫標準 (DNV-RP-116, Integrity management of submarine pipeline systems)，其涵蓋計畫、檢測、評估與維護等部分。

天然氣海管肩負台灣能源使用之重任，本公司針對天然氣海管定期/不定期執行內、外部檢測，至今已蒐集逾十年檢測資料，目前營運安全無虞，惟考量未來將規劃再鋪設數條新天然氣海管，赴 DNV 挪威總部研討海管最佳路徑選擇及參訪奧斯陸實驗室，以增進管線工程可行階段相關經驗。

i. 最佳路徑選擇

海管路徑的選定必須針對可行性、經濟性、風險性及社會可接受性來規劃，考量的資訊一般包含：沿線可能的危害（水下文資、海床情況、地震活動等），環境考量、用途考量、船舶交通考量等。

DNV 管線技術部門 Asle 提及地形地貌檢測數據作為路徑選擇之基礎，其解析度需足夠高（解析度0.5m），配合地質分析，更貼近實際海床地貌，可有效避免管線鋪設於海底土石流、地滑或其他高風險區域，且台灣位於地震及颱風活躍區，路徑選擇應盡量避免鋪設於地震帶。

大部分自然環境因素可於設計階段時避開，惟營運期間遭受第三方危害，如船錨撞擊、船錨拖曳等錨擊情事，過去較少被重視，但近年來發現有許多國際上海管遭損壞原因為錨擊事件發生，故路徑選擇在設計階段時盡量避開大型船舶航行密度較高或者錨泊區等潛在風險區域，如無法完全避免通過該區域，則需要加深管線的埋設。因應政府全力推動離岸風電發展，國內海事工程作業頻繁，特別是中部及中北部的西邊海域部分，大型工程船的航行密度逐漸增加，第三方危害潛在風險亦增加，故船舶航行密度分析後為訂定埋設深度考量項目之一。

以本公司天然氣既有海管為例，早期在執行鋪設海管前，依據地質條件不同，先行預先挖掘管溝2至3m 間，經自然回填後可約覆土1至2m 間（含外層混

凝土保護，管徑約1m)，挖掘管溝除可提供海管較好的底部穩定度，並可減輕第三方危害所造成的管線損害，惟大型工程船漸增及國際發生數次海管遭受破裂事故等案例，目前本公司亦透過船舶自動辨識系統（AIS），掌握天然氣海管沿線往來船隻動態，並設定警戒區，以24小時監控海管上方船舶動向並通知船隻駛離海管禁止下錨水域，落實海管運轉維護之目的。

ii. 維護工法介紹

為制定最合適之維護工法，需要先統計該區域損害原因，以北海(North Sea)區域為例，海管遭受錨擊損壞的比例高達18%，交流過程中 DNV 亦分享許多國際上遭受錨擊而損壞之案例，從案例中學習管線修復工法，其丹麥主要石油出口管線 The Gorm Fredericia Oil Pipeline 每日產出約4.2萬 m³石油，遭受錨擊後若停機維修，預計每天生產損失超過700萬歐元，爰以 DNV 提出永久修復之管夾設計，並辦理維修作業評估及全管線疲勞壽命分析。

當發生錨擊時，第一步應先釐清下列事項：

- 管線與錨的接觸程度
- 是否能測量金屬接觸處之表面壓力
- 是否存在因凹陷及管線偏轉而產生之裂縫
- 損壞位置之實際應力

完成管夾安裝後，透過智慧型 IP 檢測確認管線損壞程度狀況，經由壓力計算結果，管夾確實有效降低管線的環向應力，該段管線如無裂縫，其疲勞壽命評估可超過568年，且透過管線疲勞分析，使用管夾之裂縫及凹陷無明顯擴展現象。

iii. 實驗室參訪

DNV 奧斯陸實驗室主要可提供技術諮詢與實驗測試，涵蓋領域包含油氣工業與再生能源，測試的項目包含失效檢查（Failure investigation）、材料腐蝕、結構強度、疲勞和破裂試驗，及客製化全尺寸技術認證測試等。

DNV 材料諮詢部科長 Sondre 介紹失效調查實驗室，如圖 1，客戶將失效物件送至實驗室評估原因，其故障調查通常包括：

- 數據及資訊蒐集
- 現場檢查

- 目視檢查及照片記錄
- 化學分析
- 金相檢查
- 硬度測量
- 機械測試使用體視顯微鏡進行宏觀檢查
- 使用掃描電子顯微鏡（SEM）進行微觀檢查

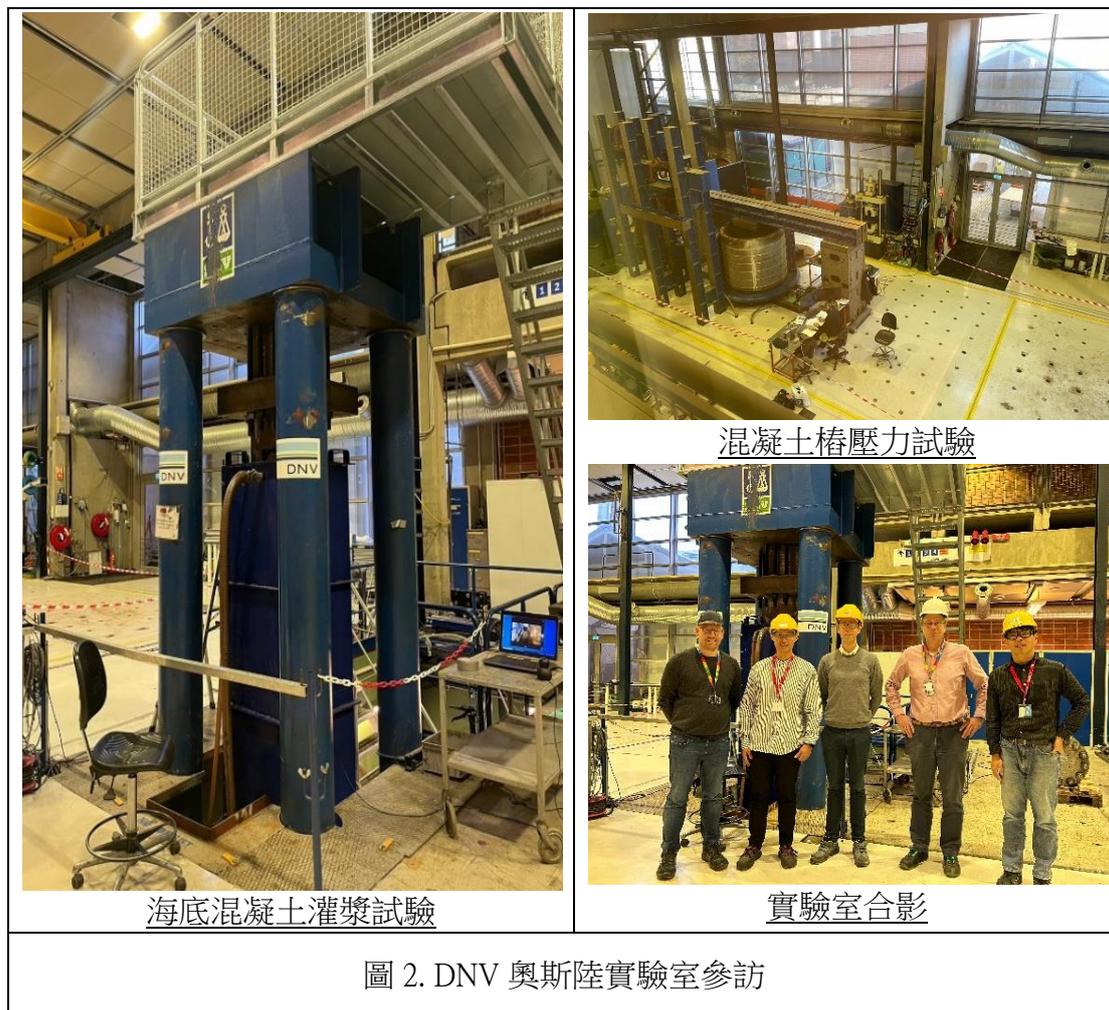


圖 1. 失效檢查實驗室

以2009年管線因腐蝕引起的洩漏為例，經過前述調查流程及完整性評估，發現製造商熱處理不當產生金屬間化合物相（Intermetallic phases）的形成，這些化合物相可能會影響金屬的機械性能、腐蝕行為等，現場檢查10個月後，Norsok M-650（挪威石油標準化組織-材料製造商資格認可標準）更新熱處理程序，以確保材料品質。

另實驗室具備錨鍊間的拉伸應力、海底混凝土灌漿及混凝土壓力試驗等大型

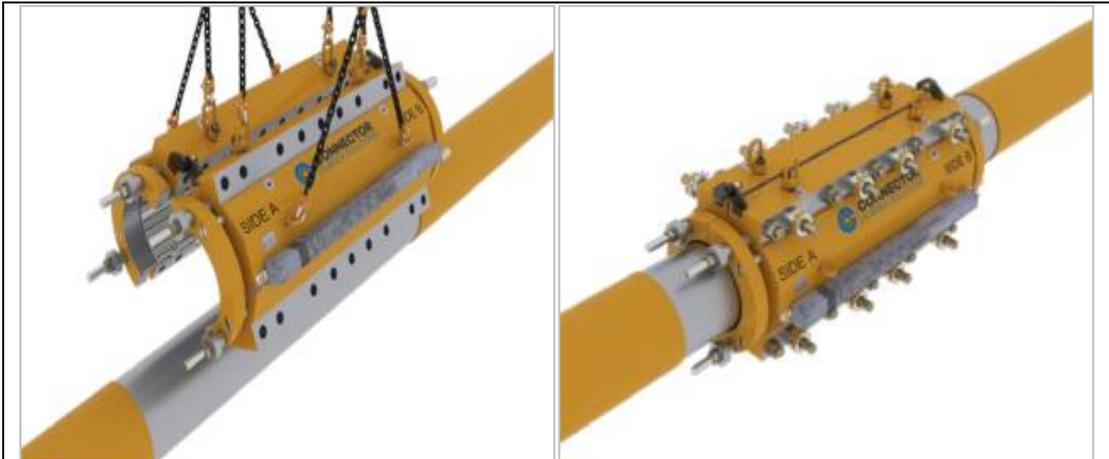
結構及零件試驗，如圖2，其中海底混凝土灌漿試驗根據不同地點之海水鹽度、溫度模擬灌漿施工順序是否可行，進而節省安裝成本。



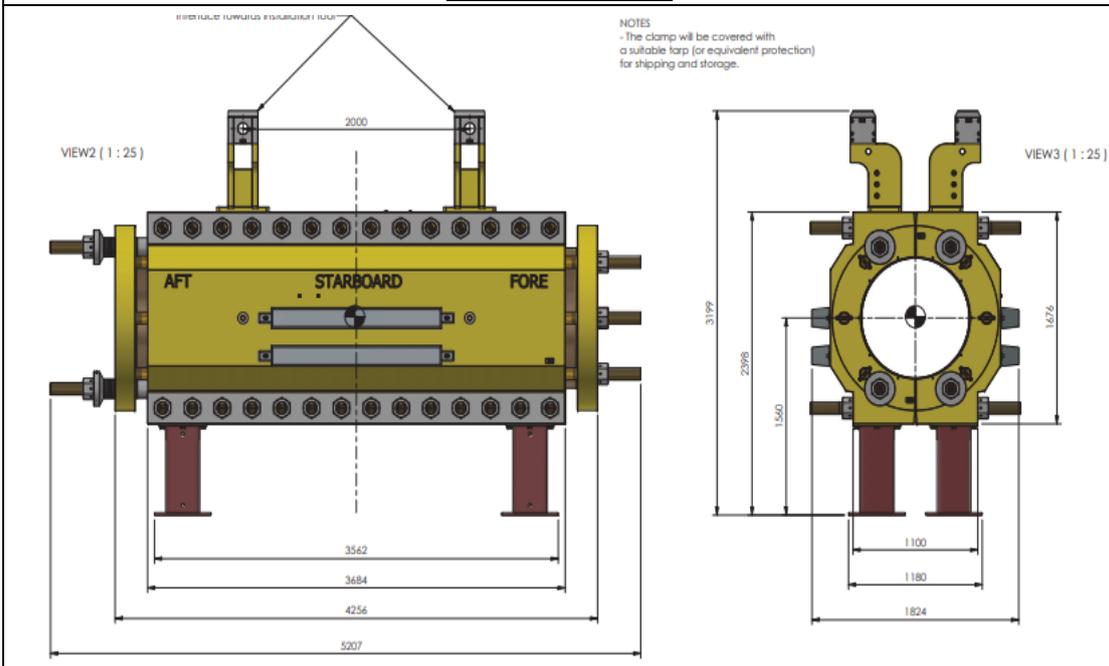
2. Connector Subsea Solutions

Connector Subsea Solutions 為管夾供應商，提供緊急管線維修系統（EPRS，Emergency Pipeline Repair System）、緊急資產管理及技術租賃，該系統解決方案的核心為 MORGRIP 夾具、管線連接器及安裝工具。

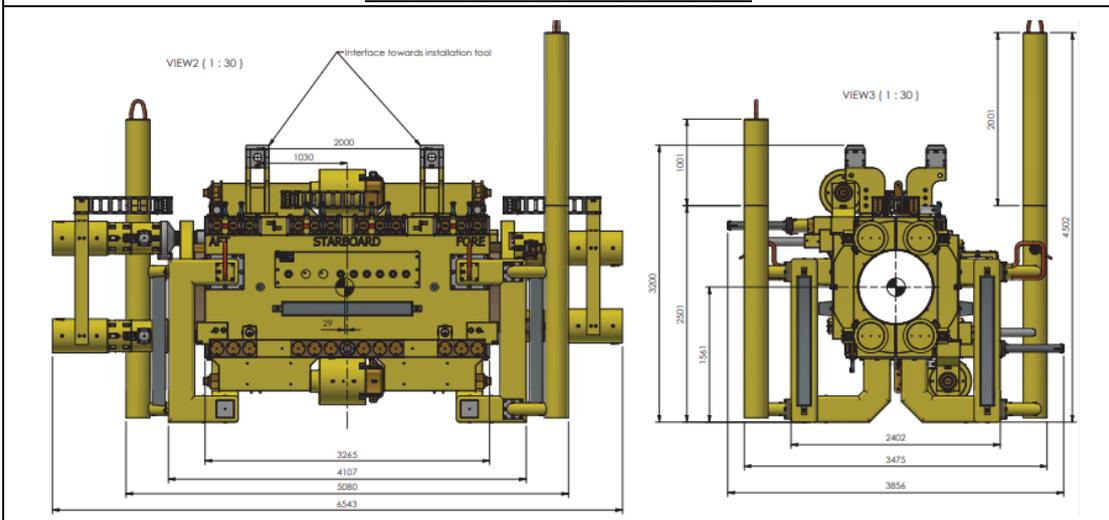
針對本公司海管基本資料及現況，供應商技術長（CTO）Andrew 提出較適合的產品方案為 MORGRIP 分離式管夾，透過兩個半圓方式把需要維修的部分夾住，以提供止洩並加固的作用，無需切除管段；而密封件可以提供損壞管段完全的圍堵作用，如有需要得將夾具設計為具有夾緊功能，以提供永久的機械修復，另分離式管夾根據維修位置之水深可選擇潛水員安裝、工作級水下無人載具安裝或全遠端操作，安裝示意圖如圖 3。



管夾安裝示意圖



潛水員安裝管夾尺寸示意圖



無潛水員管夾尺寸示意圖

圖 3. 分離式管夾安裝示意圖

交流過程詢問經檢測發現管線洩漏後需緊急購置管夾，若以該供應商所提供管夾服務，其管夾製造時間需多長，技術長回覆以上述管夾為例，從設計到製造完成保守估計約需52周，如有預鑄件可縮短製造時間為10周左右，前述預估時間皆未包含管夾運送及安裝。發生管線洩漏時，除維修管夾設計製造外，尚須考慮維修程序、配合船隻及設備，如吊掛船定位、外部混凝土移除、包覆移除、海床整地及管線提升架定位等因素。

另進一步詢問，如管夾預先製造完成備用，如何儲放能有效縮短維修時程，技術長說明依據本公司需求可客製化儲放方式，其儲放地點可選擇原出廠地或管線所在地區等兩種儲放方案，如選擇儲放於原出廠地，考量時程亦可選擇海運或空運至管線維修處，故建議本公司購買管夾時應先行考量是否有合適之儲放地點，提供管夾製造完成後儲放，以縮短維修時程。如有管夾維護之必要，管夾供應商亦提供定期維護服務，確保管夾功能正常。

3. NDT Global

藉由本次交流研討會議，特邀智慧型 IP 檢測原廠公司 NDT 產品管理主管 Willem 至挪威交流討論，首先本公司向對方說明目前海管基本資訊、檢測方式及檢測限制，詢問是否有新技術或精度較高之設備，甚至可檢測管線裂紋及針孔洩漏。

i. 原理

NDT 說明目前精度較高之超音波檢測工具「聲學共振檢測技術(Acoustic Resonance inspection technology)」，如圖4，一般來說大多數超音波檢測技術只能應用於液體介質中，這項限制使得超音波技術無法應用於天然氣管線，而 ART 利用先進的感測器和訊號處理技術來識別共振頻率和聲學特性，由反射的能量訊號計算管壁厚度，相比於磁力線檢測技術，使得數據更為直接且準確。

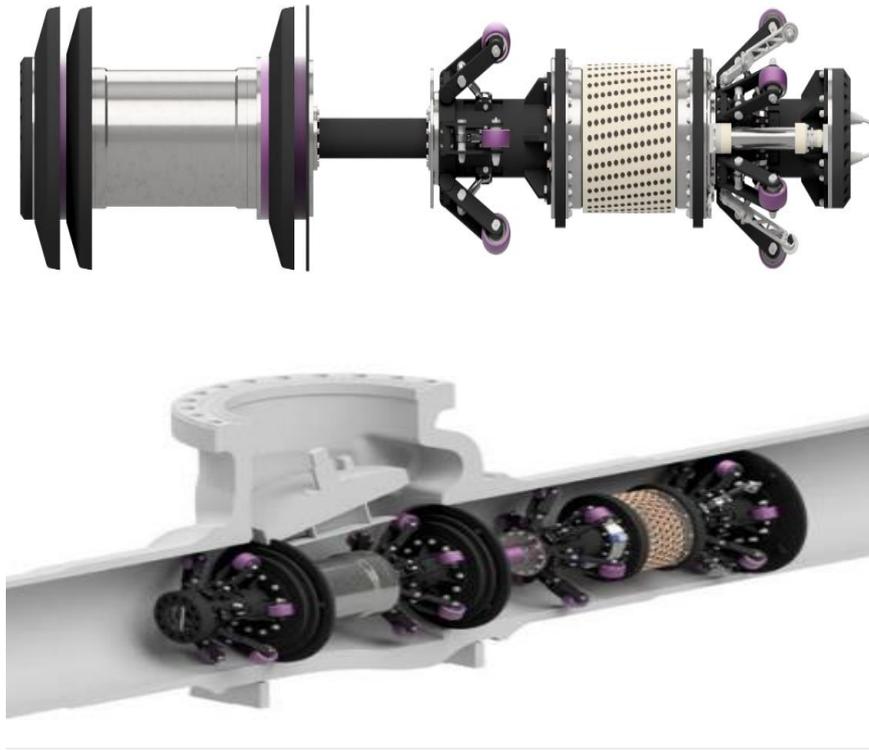


圖4. ART 檢測工具

ART 透過檢測工具本體上螺旋狀排列之感測器在管壁上產生蘭姆波 (Lamb wave)，藍姆波係侷限於平板上下表面之間，在厚度方向共振之彈性波，因為在厚度方向維持共振模態，具有波傳距離長、衰减小等特性，對於厚度方向的缺陷偵測非常靈敏，廣泛應用於較大尺寸結構之超音波探傷，甚至可檢測出應力腐蝕開裂缺陷 (SCC, Stress Corrosion Cracking)，如圖 5。本檢測工具為電子幾何檢測及腐蝕檢測工具整合為一，長度為4,176 mm，若採用本檢測工具需考量清管頭發射端接收端及作業空間是否足夠，其所需最小建議尺寸如圖 6。

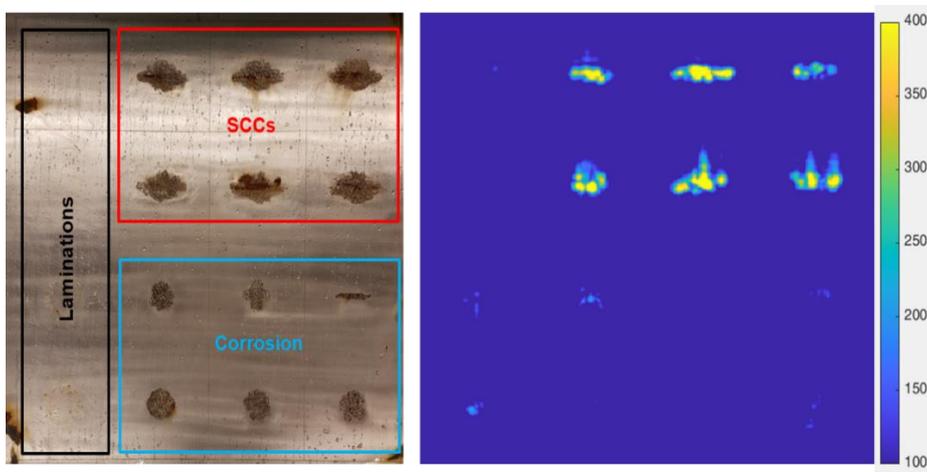


圖 5. 人造的缺陷管段應力腐蝕開裂缺陷檢測

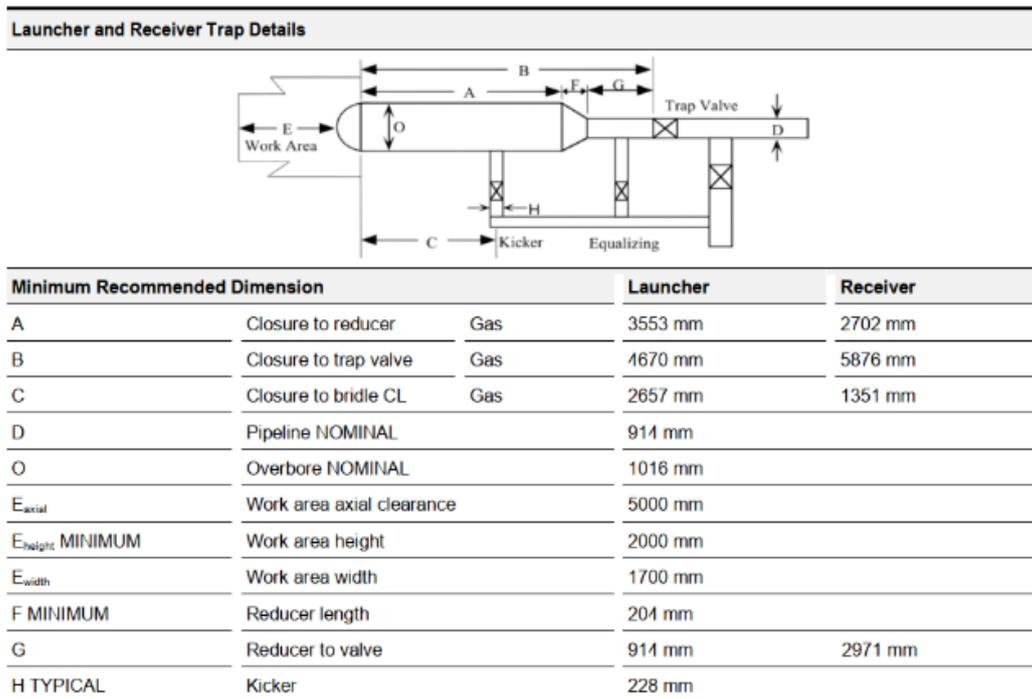


圖 6. 檢測工具所需最小建議尺寸

ii. 精度

一般裂紋的檢測通常得採用電磁超聲波傳感器（EMAT，Electromagnetic Acoustic Transducer）技術，但目前由業界的回饋其對於較小瑕疵之可檢出率亦較低，有需要改進的必要性，以避免無效的開挖作業。前揭 ART 檢測工具透過人造之缺陷管段驗證，其檢測結果符合度高精度如下：

金屬損失檢測和尺寸精度	
Depth sizing accuracy at 90% certainty	±0.4mm
Length sizing accuracy at 90% certainty	±7.0 mm @ 1.2 m/s
	±12.0 mm @ 2.0 m/s
	±18.0 mm @ 3.0 m/s
Width accuracy at 90% certainty	±7.0 mm (@1.2 m/s)
凹陷檢測精度	
Depth POD=90%	0.8 mm
Depth sizing accuracy at 90% certainty	±0.4 mm
Width sizing accuracy at 90% certainty	±7.0 mm

4. PRS Pool

PRS pool 由挪威石油（前身為 Statoil，現為 Equinor）和挪威水力（Norske Hydro）應政府機構要求於1987年成立，為一非營利組織，成員多為北海及其附近與油氣業相關的公司，包含油氣公司/開發商、海上維修船隊、緊急維修機具公司、管線/設備檢測公司等。透過這樣的結盟，當有事故發生時，PRS pool 可以最快的速度動員相關機具、設備及必要技術人員進行評估與維修作業。

經由 Equinor 公司介紹，管線損壞通常會伴隨著巨大的生產損失，如本公司海管損壞，除了損失費用，甚至造成全台灣人民生活不便，加入 PRS Pool 就像買保險的概念，加入組織後，該團隊可以提供最大化的經驗和能力，而不需要另外去找尋必要的資源，惟目前僅提供北海鄰近國服務，其他地區尚無法加入該組織，其該組織成員、合作協議之船舶廠商及設備包含：

- i. 管線封堵服務商：Sintef、Connector Subsea Solutions、Applus RTD、STATS Group 及 TDW Offshore Services
- ii. 船舶及潛水服務供應商：Technip-DeepOcean、Subsea 7及 TechnipFMC
- iii. 設備：
 - 維修管夾（Clamp）
 - 遠端安裝 MORGRIP 連接器（Connector）：可用來更換接近1000m 水深之管線
 - 高壓焊接設備（TIG，Tungsten Inert Gas）：可用於180m 以下水深之8-48吋管線尺寸之焊接設備
 - 混凝土及薄膜移除設備
 - 焊接移除工具
 - 管線抬升架

該組織兩個最新的技術為不需要潛水員的遠端熱開孔系統（hot tap）及管線焊接設備，其中管線焊接設備在挪威峽灣 Ormen Lange 進行測試，結果顯示該技術可於水深超過180m 的區域進行管線焊接，目前唯一的案例為2019年 Deep Ocean 在 Johan Sverdrup 場域採用 Equinor 管線修復系統（PRS）遠端焊接技術，將36吋石油出口管線與立管平台銜接。

5. Allseas & Boskalis

Allseas 為一荷蘭註冊公司，主要業務為海上能源系統安裝公司，特別專精於管線鋪設 (Pipelay)、重物舉升 (Heavy lift)、海上建造 (Subsea construction) 及深海礦物收集 (Deep-sea mineral collection) 等海上業務，其 Allseas 商業發展部經理 Jan-Willem 說明貴公司擁有完整的鋪管設備，且有超過300個執行案例及大於27,000km 之安裝經驗。另外，Allseas 與 Boskalis 於2022年9月已經針對台灣管線業務簽屬合作協議書，期能合作參與國內海管相關之專案，爰此 DNV 藉由本次研討會議邀請 Boskalis 參與共同討論。

Boskalis 提供離岸風電、疏浚、填海造陸、拖船、打撈及拋石保護等海上服務，於2007年曾經參與本公司台中、通霄至大潭天然氣海管之海上預先挖掘管溝工程及鋪設後部分管段回填工程，當時挖掘管溝長度約120km，其挖掘土方量共約700萬立方米，該公司已積極參與台灣離岸風電開發業務，Boskalis 地區經理 Ardaan 說明各種船隻設備及特性，依個案海事工程特性選用合適之船隻，包含吊舉船、落管船、挖泥船及拖船等。

透過本公司說明未來預計數條天然氣海管規劃及預計整體施工期程，並概述其管線材質、長度、有無包覆及尺寸等。最後，Allseas & Boskalis 提出兩艘較符合要求之工作船隻，分別為 Audacia 及 Solitaire 兩艘鋪管船，規格如圖7，其中 Audacia 鋪管速度約可達2.5km/天，Solitaire 約5至6km/天。

	<table><tr><td>Length (excl. stinger)</td><td>225 m</td></tr><tr><td>Stinger length</td><td>110 m</td></tr><tr><td>Breadth</td><td>32 m</td></tr><tr><td>Operating draught</td><td>9 – 10 m</td></tr><tr><td>Installed power</td><td>39,800 kW</td></tr><tr><td>Maximum speed</td><td>16 knots</td></tr><tr><td>Accommodation</td><td>270 persons</td></tr><tr><td>Thrusters</td><td>7 x 5000 kW</td></tr><tr><td>Tension capacity</td><td>3 x 175 t</td></tr><tr><td>Pipe sizes</td><td>2 – 60 inch</td></tr><tr><td>Pipe storage</td><td>12,000 t</td></tr><tr><td>Multi-purpose crane</td><td>300 t</td></tr></table>	Length (excl. stinger)	225 m	Stinger length	110 m	Breadth	32 m	Operating draught	9 – 10 m	Installed power	39,800 kW	Maximum speed	16 knots	Accommodation	270 persons	Thrusters	7 x 5000 kW	Tension capacity	3 x 175 t	Pipe sizes	2 – 60 inch	Pipe storage	12,000 t	Multi-purpose crane	300 t
Length (excl. stinger)	225 m																								
Stinger length	110 m																								
Breadth	32 m																								
Operating draught	9 – 10 m																								
Installed power	39,800 kW																								
Maximum speed	16 knots																								
Accommodation	270 persons																								
Thrusters	7 x 5000 kW																								
Tension capacity	3 x 175 t																								
Pipe sizes	2 – 60 inch																								
Pipe storage	12,000 t																								
Multi-purpose crane	300 t																								

Audacia 船舶大小及規格

	Length (excl. stinger)	300 m
	Stinger length	140 m
	Breadth	41 m
	Operating draught	9 – 10 m
	Installed power	51,480 kW
	Maximum speed	13.5 knots
	Accommodation	420 persons
	Thrusters	10 x 5550 kW
	Tension capacity	3 x 350 t
	Pipe sizes	2 – 60 inch
	Pipe storage	22,000 t
	Multi-purpose crane	850 t (AHC)
	Solitaire 船舶大小及規格	
圖 7. 鋪管船		

四、具體成效

1. DNV

DNV 對於本公司天然氣海管現況相當瞭解，由於天然氣海管對於能源安全的危害等級有一定的潛在風險，在 DNV 協助下本公司建立海管維護作業工作指導書、緊急應變工作指導書及風險評估工作指導書，以完善海管完整性管理，DNV 建議仍以管線不受到任何損壞為主要目標，降低海管損害風險。

2. Connector Subsea Solutions

以國內發生海管洩漏為例，考量所需緊急應變所需設備及人員，整體維護期程評估（含海管損壞評估、管夾採購及運送、工程船舶動員及修復時間）至少需12個月，若由 Connector Subsea Solutions 提供管夾服務，甚至更長，為有效將整體維護期程縮短，可採先行自購維修管夾儲放做為縮短維護期程方案之一。

管夾價格部分亦不盡相同，其價格由全遠端操作>工作級水下無人載具安裝>潛水員安裝，若維修位置之水深過深，則可採全遠端操作或工作級水下無人載具安裝，惟需另增購其他附屬設備，整體價格高於潛水員安裝至少1至2倍不等，且工程船舶量能相較低，故整體維護期程亦會受影響。

3. NDT Global

以本公司天然氣既有海管為例，目前定期執行 IP 檢測工作，並依每次檢測結果，調整下一次檢測頻率，以確保海管操作安全，係採用磁通漏技術且檢測精度及規格係參酌總公司始得訂定，其精度及規格為國際上一般普遍採用的，

亦符合大部分管線業者之要求。

經 NDT Global 介紹，原認為目前檢測技術無法判斷管線惟小缺陷，如裂紋等，現可利用 ART 技術判斷，未來依定期檢測結果評估，若須採用精度較高之設備，則可參酌本檢測設備訂定規格。

4. PRS Pool

透過 PRS 組織，當海管洩漏事故發生時，以最快的速度動員相關機具、設備及必要技術人員進行評估與維修作業，惟目前僅提供北海及其鄰近之公司執行維修業務，由於北海水深最深約300m，故 PRS Pool 注重於無潛水員設備維修，爰此該組織亦擁有許多遠端操控設備，若管線深度不深（約100多 m），亦可向管夾供應商購買須潛水員安裝式管夾。

5. Allseas & Boskalis

Boskalis 海事工程公司過去曾參與本公司挖掘管溝工程，今與具豐富管線鋪設經驗之 Allseas 公司簽屬合作協議書，未來有意願合作參與國內海管相關之專案，並提出將有兩艘鋪管船 Audacia 及 Solitaire 以亞洲作業居多。

五、心得及建議

1. 心得

本次會議很幸運與六家廠商進行交流研討，分別為 DNV、Connector Subsea Solutions、NDT Global、PRS Pool、Allseas 及 Boskalis，各家廠商在其專業領域皆有充足的資源及經驗，且本次會議主題與海管業務皆有高度相關，有邏輯的剖析管線全生命週期，從諸多環境因素或可能的危害中分析並擇定管線路徑開始，整合可行性研究單位、鋪管施工單位、維護檢測單位及緊急維修單位，各家廠商各司其職，確保管線得以運作至預定期限退役。

目前本公司天然氣海管皆營運供氣中，其維護方面包含內、外部檢測部分國內皆有相當成熟之廠商可提供檢測服務，惟國內鋪設管線及緊急維修方面相關量能及經驗相對薄弱。其中，過去認為在海底將管線連接及焊接似乎為一種天馬行空之工法，如今經由歷次反覆實驗及驗證，甚至是實際案例，發現國外海管維修技術已經相當純熟；在另一方面，Allseas 及 Boskalis 願意投入龐大的資金更新船隻設備，除鋪管船自動焊接設備效率提升更直接及有效影響鋪設管

線速率外，大幅降低因鋪設階段造成管線危害風險提高，例如管線置於管溝精準度及管線掩埋深度加深等，降低管線懸空或受第三方破壞之機率。實際上，管線擁有者皆不希望使用緊急維修設備，當然管夾供應商亦足夠專業可依業主需求在最短時間內完成緊急維修，以避免損失擴大，惟更積極的作法應如前述鋪管階段時就減少未來損害之不確定因素，方為長久之計。

現今接觸過的國內智慧型 IP 檢測工作廠商，其最後關鍵之電子幾何及腐蝕檢測技術皆由原廠公司掌握，參與本次研討會議後，發現不僅限於 NDT Global，幾乎所有檢測廠商持續研發新設備及新技術時，除了強而有力的理論基礎外，不可否認國外原廠投入相當多的實驗數據作為技術理論佐證其可行性。藉此從中得到一些回饋，反思若能將國外 IP 檢測技術本土化，扶植檢測能量，為國內管線業者一大福利。

綜上，本次研討會議汲取許多有關設備、技術及工法等新知，讓各家廠商願意齊聚一堂進行交流研討最重要的原因為維持管線安全，在管線安全的基礎下，瞭解各家廠商擁有的各項資源及服務，有助於未來評估時能更準確且實務。

2. 建議

i. 海管海域災害風險評估

DNV 依據 DNV RP-F116 針對各海域統計腐蝕、碰撞、結構破壞、錨擊及自然災害等災害成因分析，且海管室已依上述訂定「海管風險評估工作指導書」，惟臺灣海峽自然環境複雜，海流存在明顯季節變化，且地震及颱風頻率高，缺少災害成因案例，建議應持續借鏡國際發生海管破裂事故案例作為經驗，並滾動式持續定期評估海管之風險，並依風險因素加強管線管理，實施各種改善措施，消除或減緩危害，進而降低海管災害風險。

ii. 縮短整體維護期程

PRS Pool 成立背景為提供北海區域及鄰近區域及時的緊急維修服務，其他地區尚無法加入該組織，若有緊急維修服務需求，可接洽提供亞洲地區緊急維修服務之組織或協會，如 R.U.P.E 或其他服務團隊，惟入會時期每年需繳交費用，若發生緊急事故，備品使用後，需購置新品以回補 R.U.P.E 備品，故先行自購維修管夾儲放相對有效得縮短維護期程。

管夾大型檢試驗環境大多位於北海區域，自然條件有別於臺灣海峽，若有

購置管夾之需求，則須先提供海管環境條件供緊急維護團隊評估管夾施工限制，據以納入管夾採購階段之規格及資格條件，目前本公司已有購置管夾之規劃，藉由本次會議，請管夾供應商提供最合適之管夾形式供本公司進一步規劃，另儲放地點考量設備動員之期程，爰建議設置於國內，並定期請管夾供應商派員維護，以確保管夾功能性及安全性無虞。

iii. IP 檢測工具選用

天然氣管線過去執行 IP 腐蝕檢測工作皆採用磁通漏技術，目前本公司海管定期執行 IP 檢測工作，所採用 IP 檢測精度及規格為國際上一般普遍採用的，亦符合大部分管線業者之要求，其 NDT Global 已研發透由聲學共振檢測技術設備，精度可檢測出管線裂紋缺陷，若經磁通漏技術檢測後發現有特徵點有疑慮，需再提高精度確認特徵點，則可考量採用本檢測工具為選用方案之一。

附錄1. 交流會議過程



DNV 維護工法介紹



DNV 路徑選擇



DNV 失效實驗室介紹



CPC 介紹緊急應變程序



與管夾供應商合影



與 NDT Global 合影