

行政院及所屬各機關因公出國人員  
出國報告（出國類別：其他）

## 海底管線檢測及維修技術研討會議 報告書

服務機關：台灣中油股份有限公司

姓名職稱：江郁芳 工程師

派赴國家：新加坡

出國期間：103 年 12 月 1 日至 103 年 12 月 5 日

報告日期：104 年 2 月 4 日

## 目 錄

壹、前言.....	1
貳、目的.....	1
參、過程.....	1
肆、心得及建議 .....	11

## 圖目錄

圖 1 海浪、海流、底質對底部穩定度的影響 .....	2
圖 2 表面波浪對底層流速的影響 .....	3
圖 3 動態分析 .....	3
圖 4 一般化分析 .....	4
圖 5 靜態穩性分析 .....	4
圖 6 實驗室服務簡介 .....	6
圖 7 Bravenes 動態定位落管船 .....	8
圖 8 AUV 自主式水下航行器 .....	9

## 壹、前言

本公司 36 吋海底管線肩負台灣中北部台電及民營電廠、工業用戶及民生用氣等，為相當重要之天然氣輸送管道之一，如果發生故障將產生不可預期之重大損失，其中永安至通霄 36 吋海底管線部分管段因地處台灣海峽束縮位置及曾文溪出海口，海床地形複雜且海流強勁，近年又因全球氣候異常，造成海床淘刷，經檢測多處呈現長距離裸露懸空狀況，故對海底管線懸空管段進行保護工程，減緩斷管的風險，增進維護管理技術，實為本公司天然氣營運安全之重要課題。

## 貳、目的

因海底管線維護工法及檢測技術與日俱進，藉由參訪國際海管維修公司進行技術研討，以增進海底管線裸露懸空保護工法、海床塌陷補強保護工法、檢測技術等儀器設備及維護管理技術，培養本公司海底管線維護人才之專業職能。

著眼於近年本公司海底管線遭遇到的維修課題，本次奉派赴新加坡研討海底管線維修技術，汲取國際海管公司的檢測技術、儀器設備及維護工法，包含底部穩定度分析、海底拋石技術、海床檢測及維護工法等項目。

## 參、過程

DNV GL 制定了全球最完整及嚴謹的海事工程規範，全球 65% 以上的海底管線是依據 DNV-OS-F101 規範進行設計及安裝。

本次參訪就本公司現有 36 吋天然氣海底管線的風險現況進行研討及經驗交換，主要研討管線底部穩定度的規範要求。

依據 DNV GL 海底管線規範 DNV-OS-F101 的要求，海底管線在設計階段必須考量並研討計算下列各項課題：

1. Global Buckling (挫曲)
2. Free Span (懸空)
3. On-Bottom Stability (底部穩定度)
4. Trawling Interference (拖網漁業活動影響)
5. CP & Coating (陰極防蝕及防蝕塗層)

這些課題有些互為因果關係，如懸空及拖網漁業活動皆有可能造成管線挫曲；有些課

題相互關聯，如海底管線若掩埋在管溝內可大幅提升底部穩定度並避免懸空、挫曲的發生。

當管線的底部穩定度不足時，海管可能受環境力的作用（海流）造成位移，長期持續的往復位移可能造成管線疲勞破損，持續單一方向的作用力則可能造成管線挫曲。概括來說：

1. 海流的作用力對海管的危害大於海浪的作用力
2. 單一方向作用力對海管的危害大於往復作用力
3. 土壤類型對底部穩定度的影響：粗砂 < 細砂 < 軟土 < 硬土

如下圖說明：

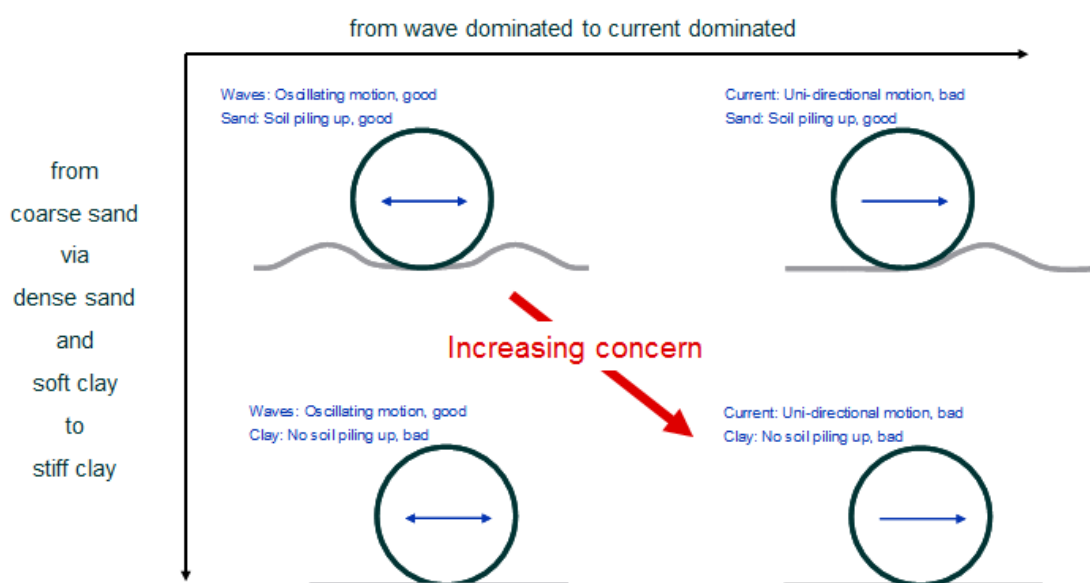


圖 1 海浪、海流、底質對底部穩定度的影響

即使底部穩定度在海管設計階段已經充分被考量及計算，在海管營運階段仍然有可能因海底環境參數的大幅改變而需要進行重新評估甚至是補強工程，例如海床地貌的大幅改變、底部海流流速的增加等。

海管底部穩定度主要參考文件包含：

1. DNV-RP-F109 On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines\_2011-11
2. DNV-RP-C205 Environmental Conditions and Environmental Loads\_2014-04

研討海底管線底部穩定度所需要的專業知識領域和資訊包括：

1. 水動力：
  - I. 海浪：包含浪高、週期、峰值、浪向、能量範圍、表面波浪對底層流速的影響（如下圖）
  - II. 海流：含流速、邊界、流向
  - III. 受力：來自液態流的水動力負載

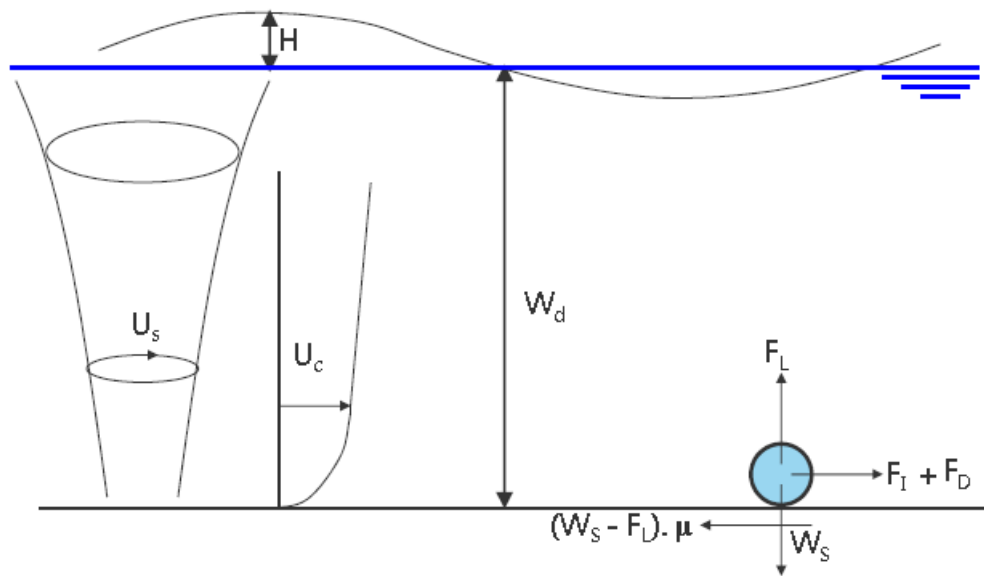


圖 2 表面波浪對底層流速的影響

2. 阻尼：
  - I. 海床質地：砂礫或細砂
  - II. 純摩擦力 + 被動阻尼
3. 海管規格：
  - I. 水下重量：重量增加時穩定度亦會隨之提高
  - II. 管外徑：管外徑增加時會增加海管的受力面積
4. 設計：
  - I. 設計條件：包含排水量、應力、疲勞
  - II. 分析法：包含動態分析、一般化分析、和靜態穩性分析

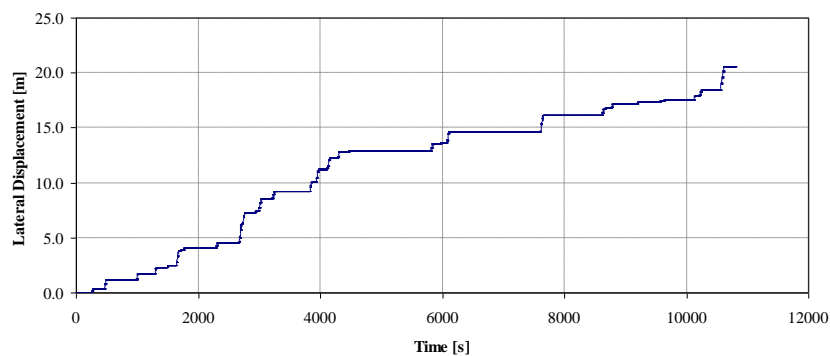


圖 3 動態分析

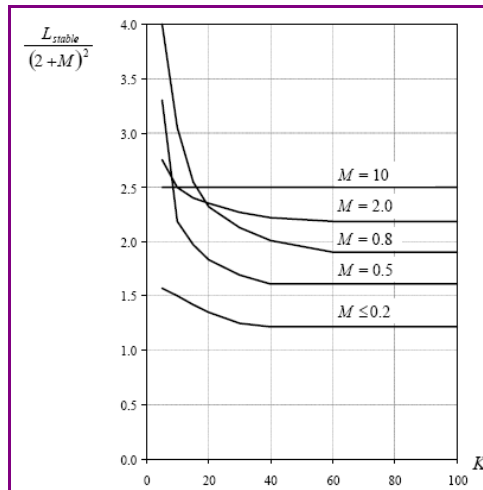


圖 4 一般化分析

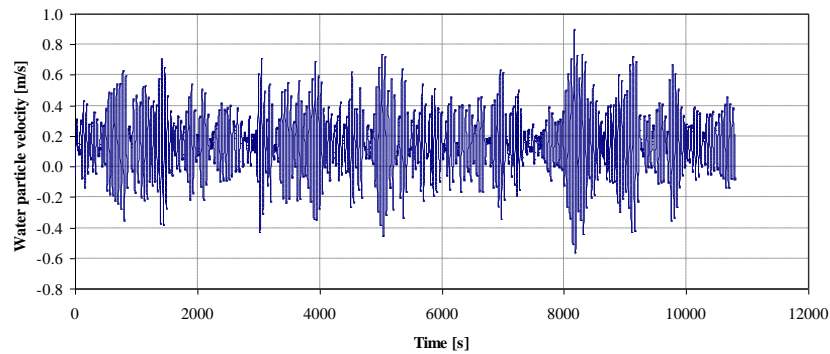


圖 5 靜態穩性分析

靜態穩性分析公式

$$\gamma_{SC} \cdot \frac{F_Y^* + \mu \cdot F_Z^*}{\mu \cdot w_s + F_R} \leq 1.0$$

- $\gamma_{SC}$  Safety factor
- $\mu$  Coefficient of friction
- $w_s$  Pipe submerged weight per unit length
- $F_Y$  Horizontal hydrodynamic (drag and inertia) load.
- $F_Z$  Vertical hydrodynamic (lift) load.
- $F_R$  Passive soil resistance, Ref. Eq. 3.23.

現今較成熟的強化海管底部穩定度的工法有：

1. 增加水泥配重
2. 挖掘管溝
3. 掩埋海管
4. 佈放水泥毯於海管上
5. 設置結構錨（固定錨）
6. 拋石護堤

DNV GL 新加坡另設有實驗室，實驗室面積超過 5,500 m<sup>2</sup>，並新配置幾項重點設備：

1. 佔地超過 1,200 m<sup>2</sup> 的材料試驗廠 - 可對 1:1 等比例管線管材進行試驗
2. 2,500 KN 全向液壓試驗機 - 可用於巨型部件以及較厚的試驗材料
3. 半自動鋸床 - 切割能力達 52” 管線或 52” W x 52” H 鋼板
4. 自行設計的先進酸蝕試驗系統 - 可在安全無虞的環境條件下進行硫化氫等高毒性腐蝕試驗



佔地超過 1,200 m<sup>2</sup> 的材料試驗廠



半自動鋸床



2,500 KN 全向液壓試驗機



可試驗硫化氫等高毒性酸蝕試驗系統

實驗室的主要服務項目包含：

1. Welding Procedure Qualification(WPQT)
2. Fracture Mechanics Testing (CTOD, SENB/SENT, Fatigue Test)
3. Failure Investigation
4. Corrosion and Sour Service Testing
5. Coating Qualification
6. Calibration of Instrument
7. Weighing of Offshore Structure and Module
8. Component and Large Scale Testing

針對海底管線試驗、驗證、分析等不同需求，亦提供相對應的各種試驗及驗證、分析服務，如下圖：

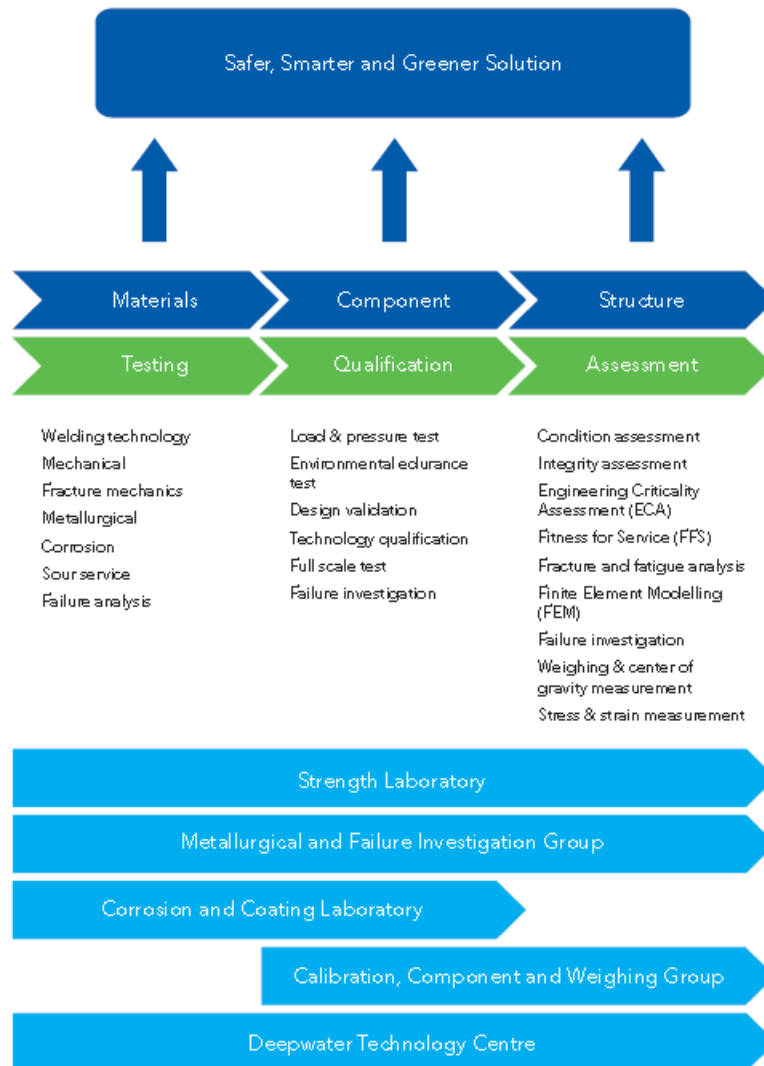


圖 6 實驗室服務簡介



Van Oord 二萬五千噸級 Nordnes 移動式落管船曾於 2013 年來台執行永安到通霄 36 吋天然氣海底管線 KP44 拋石保護工程，並在 37 日內完成海上施工，工程團隊在專業及效率上皆有良好的評價。

為了解海事工程發展現況，本次參訪 Van Oord 針對其專精之海上拋石技術進行研討，交換日後海底管線維護、保護可能的工法資訊。

Van Oord 是全球前四大海上管線挖溝、拋石回填公司之一，近年積極投入離岸工程安裝領域，擁有自己的工程船隊及團隊，旗下共 48 艘工程船舶，包含拖船、鋪管船、挖溝船、駁船、移動式落管船（拋石船）、挖泥船、Jack up 等離岸工程船。

	
<p>Linear pulling winches</p>	<p>Offshore installation vessel</p>
	
<p>Side stone dumping vessels</p>	<p>Suction dredgers</p>
	
<p>Shallow water pipe lay barge</p>	<p>Trailing suction hopper dredger</p>

海上拋石工程需要相當高的拋石準確度，方能降低無效拋石量並有效控制海上工程作業時間，降低成本及整體工程的風險。

Van Oord 近年持續擴展海事工程船隊，包含拉力系統能力達 600 噸的海管上岸段鋪管系統；一萬六千噸級 Jack-up 舉升式工程船 Aeolus；以及正在大陸浙江船廠建造預計 2016 年下水啟用的二萬噸級移動式落管船 Bravenes，該船將配備 DP3 動態定位系統，船舶吃水在不超過 8 m 的條件下，預計每船次裝、拋石量可達 12,000 噸。

Bravenes 船舶基本資訊

船舶類型	落管拋石船	航行船速	13 knots
船級	BV	最大落管水深	600 m
動態定位系統	DP Class 3	落管內徑	1.5 m
船長	154.4 m	連續作業能力	45 天
船寬	28.0 m	住艙配置	60 人
型深	13.3 m	動力系統	全向推進器 x 2
設計吃水	8.0 m		可伸縮推進器 x 2
載重噸位	14,000 tons		側向推進器 x 2



圖 7 Bravenes 動態定位落管船

Geomarine 2014 年剛被 UTEC Survey 公司收購，主要服務為海床調查分析以及海床工程設計。UTEC Survey 為全球最大的獨立檢測公司之一，總部設於英國，服務包含陸域及海域水下檢測，併購 Geomarine 後業務拓及海床工程設計領域。

本次參訪 UTEC Survey，除瞭解該公司可提供之服務項目外，並對本公司海底管線所在海域的海床淘蝕現況進行研討及監測、維護工法的經驗交流。

UTEC 提供的服務包含六大項：

1. Construction Support
2. IMDC
3. Geophysical Surveys
4. Geotechnical Surveys & Consultancy
5. AUV (Autonomous Underwater Vehicle) Survey
6. IRM (Inspection, Repair & Maintenance) Support

其中 AUV Survey（自主式水下航行器測繪）為近年來愈漸被廣泛應用的檢測方式，設備主要構成如下圖，包含：

1. 前端模組：整合航行偵測器以減低水下航行阻力
2. 電池模組：可視任務需要替換模組
3. 控制模組：結合 GPS 定位、Iridium 衛星通訊、Wireless 無線通訊、visual beacon 可追蹤航標等航行定位功能及側掃聲納等測量裝置，
4. 推進模組：以推進器及末端擾流罩組成

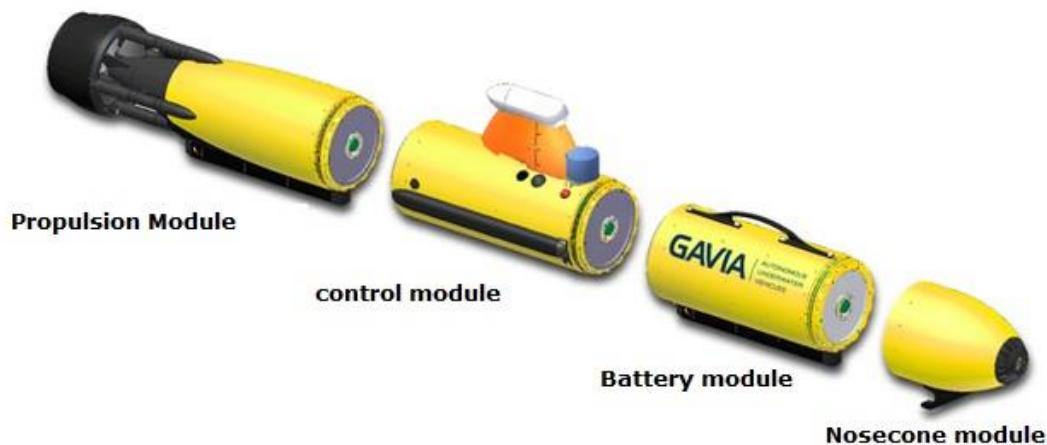


圖 8 AUV 自主式水下航行器

AUV 優點為：

1. 擁有自航能力，不需要任何電纜連接工作船
2. 可預先設定航行路徑或利用衛星通訊遙控航行路徑
3. 可利用衛星通訊回傳檢測資料
4. 可加載多波束聲納、底部測深儀等水下探測儀器
5. 作業水深從 2m 起可至水下 1,000m

AUV 缺點為：

1. 水下航行時對側向流抵抗能力差，僅適合在海流速率低的环境作業，如 2 節以下流速。(約小於 1 m/s)
2. AUV 上裝載的蓄電池，在連續最大動力輸出狀態下僅可運作 5 至 7 小時

參訪期間適逢 OSEA2014(International Oil & Gas Industry Exhibition & Conference)，新加坡國際石油及天然氣科技博覽與研討會為亞太地區相當知名且有規模的石油天然氣會展，創辦於 1976 年，兩年舉辦一次為期四天，因新加坡地處亞洲地區的海事中心樞紐，近年來已成為石油天然氣產業間相當重視的活動。本次活動為第 20 屆，參展廠商共計 860 家，來自全球 40 個國家（海外廠商佔 56%）。

OSEA2014 會場參展的 AUV 廠商 Blue Ocean Monitoring，利用控制 AUV 自體的重心、浮心偏移達到了極為節能的潛浮航行方式，可在水下連續作業長達 6 個月。由於 AUV 具備低成本、高機動性的優點，其日後的發展仍將是備受期待。

## 肆、心得及建議

依 2013 年永安到通霄 36 吋天然氣海底管線 KP44 拋石保護工程為例，海上拋石工程需要相當高的拋石準確度，方能降低無效拋石量並有效控制海上工程作業時間，降低成本及整體工程的風險。在此需求前提下，配備 DP 動態定位系統的 Flexible Fall Pipe Vessel 落管拋石船就成了拋石保護工程最佳且唯一的選擇。

近年來海上拋石工程的需求大多集中在歐洲北海油氣田海域，全球一萬噸級以上的拋石船共約十艘，其中八艘現於北海執行工程、一艘位於澳洲、目前僅一艘位於亞洲（大陸浙江）。為提升廠商競標意願及降低流標風險，日後估算工程費用時宜以歐洲作為動員港之計算基準。

UTECH 通過 ISO 9001:2008、ISO 18001:2007(Health & Safety)、ISO 14001:2004(Environment)認證，並為 IMCA (International Marine Constructors Association) 國際海事承包商協會的成員，顯示該公司對於內部管理、人員健康安全、環境保育以及海事技術上皆有積極作為並符合國際規範的要求，上述資格應可做為未來海事作業發包時的承攬商資格參考，用以鼓勵優良廠商投標、提升業界水平並作為工程品質確保的機制。