

出國報告(出國類別：洽公)

**「GEB0126001 地上式 LNG 儲槽規範
評估技術服務工作」進度及技術審查會
議、儲槽製造廠家觀摩及研討工程技術**

服務機關：台灣中油股份有限公司
液化天然氣工程處 專案組

姓名職稱：黃榮裕 組長
李孟嘉 工程師

派赴國家：日本

出國期間：101 年 10 月 31 日~101 年 11 月 6 日

報告日期：101 年 12 月 27 日

摘 要

本公司為供應台電公司通霄電廠更新擴建計畫及大潭電廠新增用氣需求，及增加台中廠儲槽容量與週轉天數，以提昇冬季東北季風期間台中廠供氣之穩定性及安全性，計畫自 101 年 7 月 1 日起於本公司台中液化天然氣廠增建 3 座地上式 LNG 儲槽及相關氣化設施，計畫名稱為「L10101 天然氣事業部台中二期投資計畫」。

前期規劃攸關計畫執行能否有效進展，本次出國洽公除與本公司簽訂合約之技術服務廠商進行工程聯繫及技術文件審查外，亦赴正新建中之地上式 LNG 儲槽工地實地觀摩，了解其前端設計規劃、施工排程、進度控管、現場裝建情形等，並與其研討工程新技術，評估運用於本案 L10101 計畫 LNG 儲槽新建工程可行性。

目 次

壹、目的-----	P3
貳、過程-----	P4
參、概述-----	P5
肆、心得及建議-----	P20

壹、 目的

本次出國洽公目的係與 GEB0126001 地上式液化天然氣儲槽規範評估技術服務工作得標廠商日本 OSAKA GAS ENGINEERING CO.，依約就其進行之 LNG 儲槽法規適用性評估及研訂相關設計規範、DATA SHEET、設計圖說等工作進度聯繫並就階段工作進行技術審查討論會議，有助本案工作順利推展。

除上述工作進度聯繫外，因本處承接 L10101 計畫，計畫中新建 3 座 16 萬公秉地上式 LNG 儲槽工程，前期規劃工作預計於 102 年初展開，本次出國洽公亦赴新建中之 LNG 儲槽工地實地觀摩，並與其研討工程新技術，俾能完善 ITB 招標規劃，藉此機會吸取國外新建之儲槽建造技術，提升本公司技術人員對 LNG 儲槽設計能力，確保日後台中廠二期擴建之工程品質。

貳、 過程

起迄日期	到達地點	詳細工作內容
101/10/31	台北→大阪	啓程：台灣桃園機場→大阪關西機場
101/11/01 ~101/11/02	大阪	● 至 OGE 針對其提送之 LNG 地上式儲槽基本設計技術資料表、規範、及設計圖說進行技術審查。 ● 參觀新日鐵住友鋼鐵廠探討 9%及 7%鎳鋼產製技術。 ● OGE 探討 LNG 地上儲槽新技術(OGE 規劃中之 23 萬公秉 7%鎳鋼儲槽)。
101/11/03 ~101/11/05	北九州	● 大阪搭新幹線移動至北九州 ● 觀摩西部瓦斯興建中 18 萬公秉 LNG 地上式儲槽。 ● 探討 LNG 地上式儲槽新技術。
101/11/06	北九州→台北	返程：福岡機場→台灣桃園機場

參、 概述

一、 GEB0126001 工程聯繫及技術審查會議

本技術服務案廠商依約須進行儲槽法規適用性評估作業及研訂儲槽基本設計規範、DTAT SHEET、設計圖說等工作，截至 101 年 10 月底止，實際進度為 64.7 %較預定進度 57.6%，超前 7.1%，本次工程聯繫及技術審查會議討論及決議事項彙整如下：

1. 儲槽內槽壓力測試標準分為水壓測試及氣密測試，水壓測試為 1.25 倍最大水壓設計值，氣密測試為 1.25 倍最大設計壓力。
2. 台中廠一期一級泵 NPSH 設計值為 2,500mm，目前 OGE 近期規劃之 23 萬公秉儲槽合格之一級泵供應廠家，其 NPSH 分別為 835mm、1,160mm 及 1,300mm 均優於 2,500mm，拜目前技術提升之賜，OGE 建議二期設計可調降 NPSH 設計值，以提升儲槽可操作體積，但其可能伴隨電力消耗增加營運成本，本公司要求 OGE 於下次設計審查會議中提出目前市場上可供應 NPSH1,500mm、流量 2,500 噸/小時、揚程 18kg/cm² 一級泵廠家評估報告，屆時再請使用單位依其需求再行決議。
3. 有關擴建區地質改良議題，目前 OGE 規劃新建之 18 萬公秉及 23 萬公秉新建儲地上式儲槽，均採用全面動力夯實及打基樁方式，與本公司一期設計作法有所不同，本公司要求二期設計地改作法應考量產生之震動以不影響既有設備正常操作為原則，OGE 於下次會議提出建議方案。
4. 儲槽耐震設計議題，因外槽引用規範 EN 14620 Safe Shutdown Earthquake (SSE)與台灣建築物耐震設計規範及解說其最大考量地震回歸期標準不一致，且均較目前 OGE 於日本境內規劃新建儲槽採 JGA 耐震設計標準高出甚

多，有關地震設計回歸期相關規定差異處分述如下：

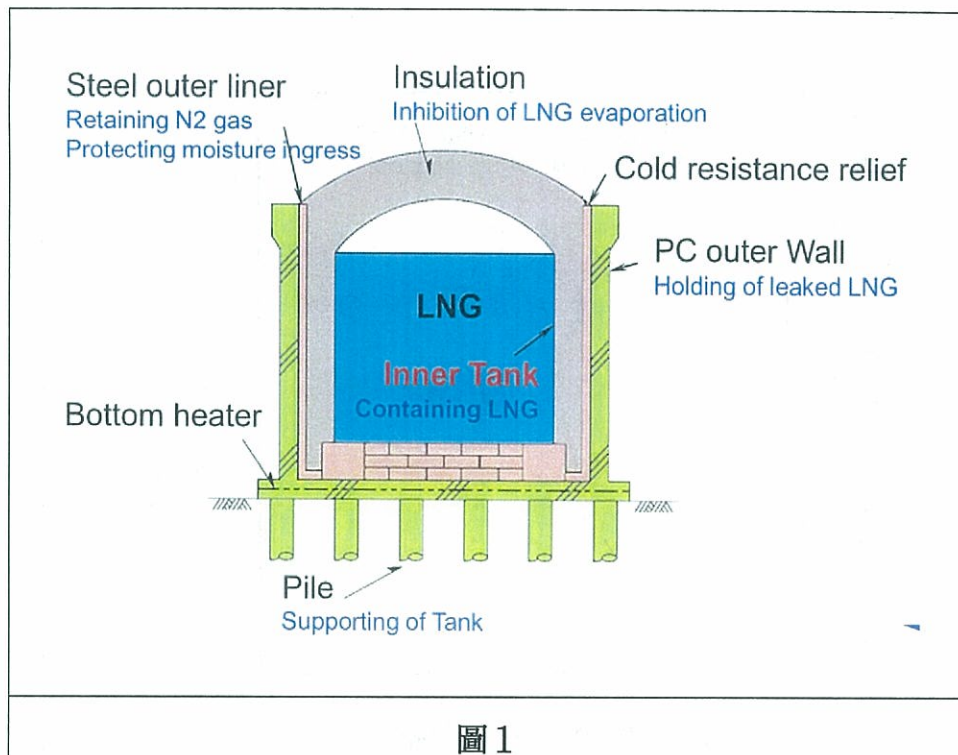
- (1) EN 14620 有關 SSE(Safe Shutdown Earthquake)定義為最大地震造成永久損壞是可被接受的，但不可以失去整體完整性及儲槽內容物液洩，儲槽若不經過詳細檢修及結構物強度重新評估不可以繼續操作，其 SSE 回歸期為 4975 年(50 年穿透率為 1%)。
 - (2) 我國建築物耐震設計規範及解說最大考量地震定義為，設計目標在使建築物於此罕見之烈震下不產生崩塌，以避免造成嚴重損失或造成二次災害。因地震水準已達最大考量地震，若還限制其韌性容量之使用，殊不經濟，所以允許結構物使用之韌性可達到其韌性容量，回歸期設計為 2500 年（50 年穿透機率為 2 %）。
 - (3) EN 14620 有關 SSE 規定應與建築物耐震設計規範及解說最大考量地震相似，但 EN Code 為歐系國家定訂之規範，其地盤相對較為穩定，SSE 回歸期 4975 年設計較不適用於如我國及日本等相對地震頻繁之區域，且依據我國各區地震危害度曲線與參數解構圖表，無法獲得回歸期 4975 年數據資料。
 - (4) API 620 及 EN 14620 規定之 Damping ratio 為 5%，相對日本地區 JGA 規定 10%較為嚴格，本案擬採較嚴格 Damping ratio 5%為設計考量，若以此條件配合我國建築物耐震設計規範及解說(2005 年版)做設計，其除槽基樁數量將較一期設計增加 66%，由 774 根基樁增加為 1,285 根，內槽 9 % Ni 鋼使用量由 2,810T 增加至 3,060 T，增加 9 %，因為我國建築物耐震設計規範及解說 2005 年更新版有重新嚴訂相關耐震設計加速度值，而一期建造時是遵循 1997 年版本。
5. 二期計畫站區規劃分別由儲槽及氣化設施兩個 EPC 獨立廠商施作，其各管線與儀電及消防訊號施工界面初步擬定為儲槽 EPC 廠商分配至地面及 Junction Box 為止，後續交由 300 噸廠商施作風險較易管控，因儲槽 EPC 廠商對其管線垂直爬升段設計及施工較清楚，且其中內含許多 Know-How，此段由儲槽專業廠商施作品質較易管控。

6. 儲槽走梯進口處需設置靜電消除器，所有鋼結構及平台梯子之表面，須熱浸鍍鋅並依規定塗漆，平台四周需有欄杆設計，其中槽頂環壁板處，須設置整圈之欄杆。
7. 假設工程維持一期作法，所有接觸面部份需使用同一材質。
8. 本公司要求 OGE 需重新研提儲槽電梯規範，其內須註明防爆等級、載重設計、及驗收標準等事項，於下次會議中定案。

二、新日鐵住友鋼鐵(NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL)公司研討 7% Ni 鋼新技術

近年來因環保意識抬頭、潔淨能源使用、原油高漲等因素，造成天然氣需求日增，世界各國紛紛新建天然氣接收站以敷用氣需求，而地上式天然氣儲槽其內槽為能儲存-165℃液化天然氣超低溫需求，過去 50 年來內槽均使用 9%Ni 鋼材質。隨著新建儲槽容積日益倍增情況下，稀有金屬 Ni 價格波動影響整體建造成本甚鉅，越來越多廠商著手進行降低內槽 Ni 含量鋼板研發工作，近期日本大阪瓦斯公司與新日鐵住友鋼鐵成功研發出 7% Ni-TMCP 技術，其物性及機械性質均與 9%Ni 鋼並駕齊驅，並實際應用於 Senboku 接收站新建之 2 3 萬公秉地上式儲槽內槽鋼板設計。

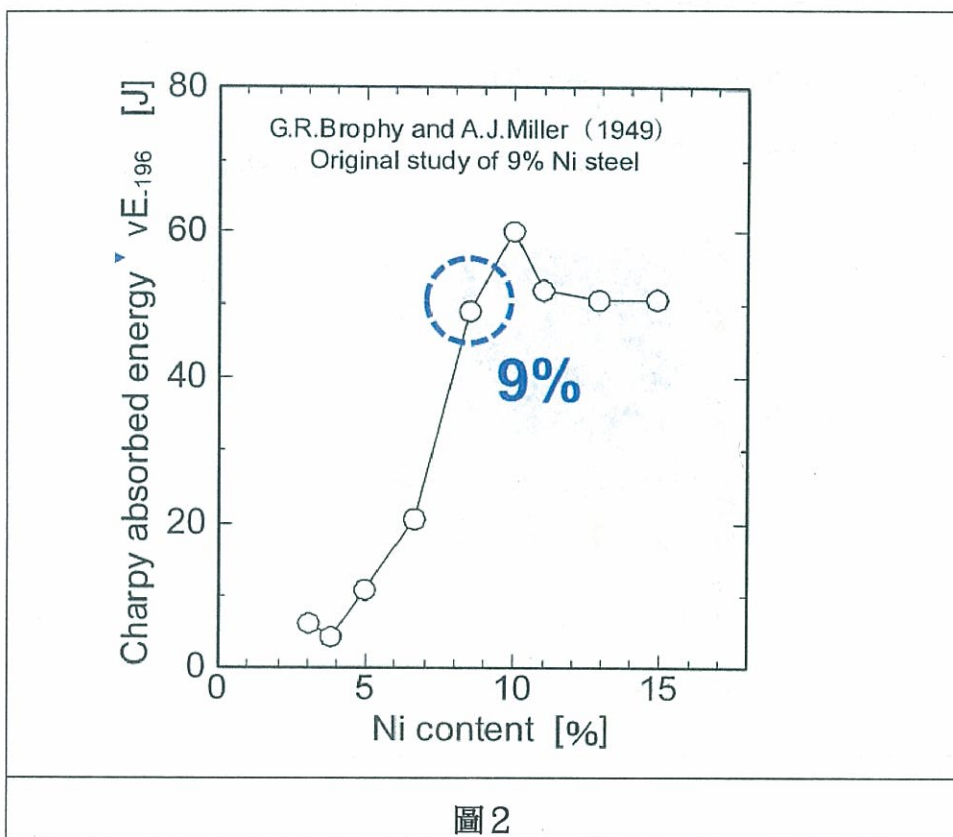
地上式 L N G 儲槽設計示意圖如下圖 1：



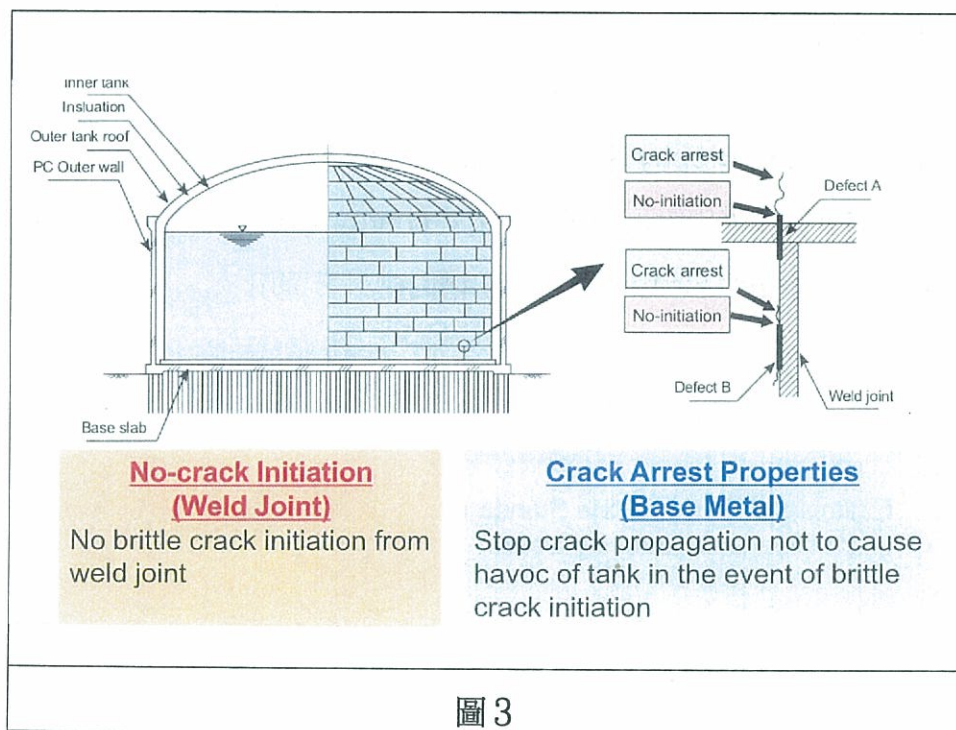
儲槽內槽材質須滿足下列特殊情況：

- 超低溫－165℃下能保有機械強度
- 超低溫－165℃下能保有韌性
- 要有好的機械性質及易於銲接
- 價格便宜

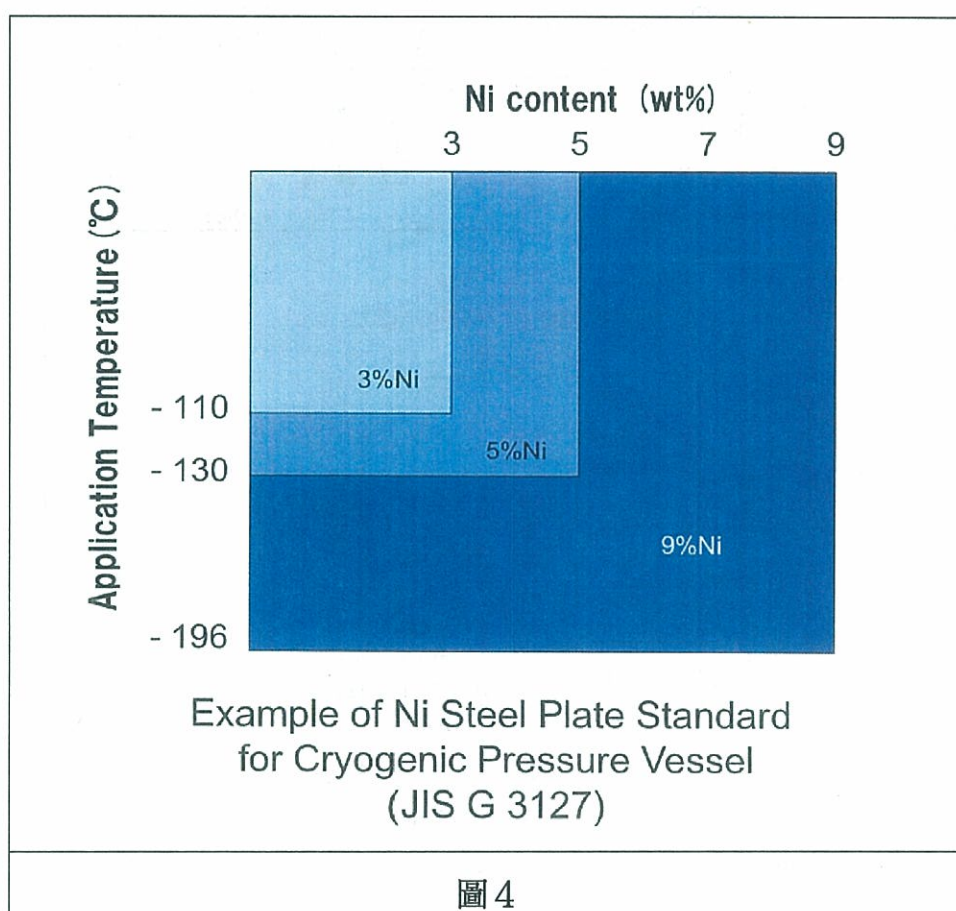
1949年 G. R. Brophy 和 A. J. Miller 研發出9% Ni 鋼材質滿足上述特殊需求，其發表出鋼板中Ni 含量與 charpy 吸收能之關係，如下圖2，從此9% Ni 鋼被廣泛運用於LNG儲槽內槽材質選用。



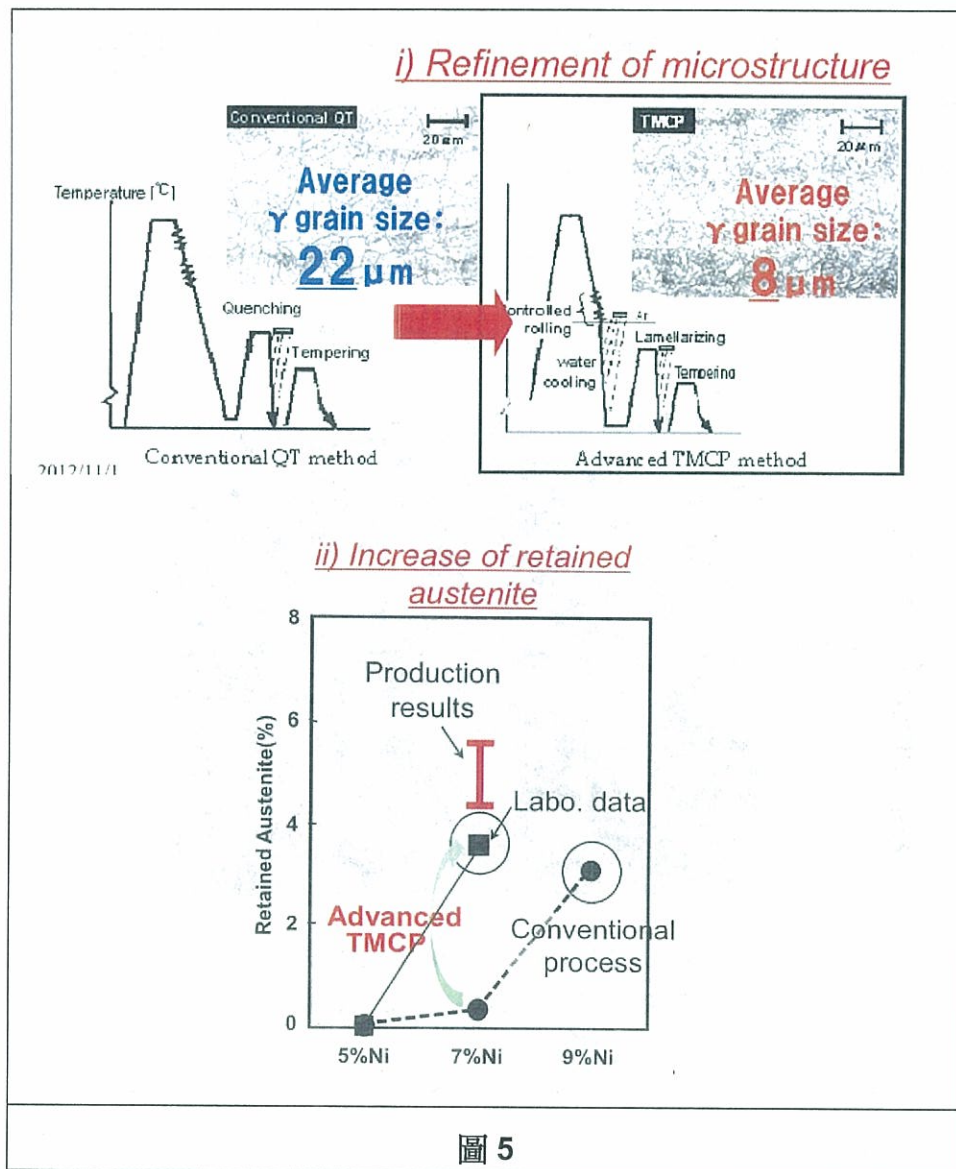
內槽材質選用需能抵抗低溫脆性斷裂問題，預防銲接處起始裂痕及母材能防止裂痕擴展兩種重要機械特性為其重要選用指標，示意圖如圖 3 所示。



9 %Ni 鋼機械性值雖能滿足上述指標需求，然隨著天然氣用氣需求增加，新建之除槽槽體設計越來越大，同時稀有金屬Ni 含量價格攀升結果，造成建造成本巨額增加，許多企業及研究團體著手進行降低母材Ni 含量又能保留 9 %Ni 鋼良好機械性質新材料研發工作，首先必須克服難題可由下圖 4 得知，當Ni 含量減少時，低溫脆裂問題愈嚴重。



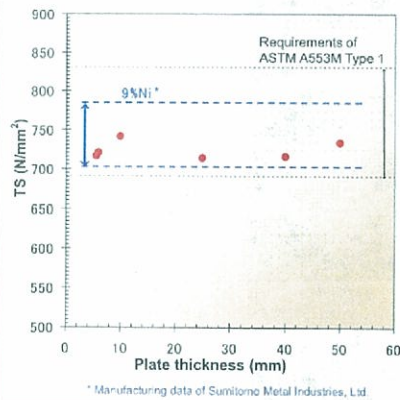
日本大阪瓦斯公司與新日鐵住友鋼鐵成功開發出 7%Ni 鋼商業可行性材料，應用 TMCP(Thermo-mechanical Controlled Process)技術，可完善材料微結構， γ grain size 平均由 $22\mu\text{m}$ 降至 $8\mu\text{m}$ ，增加 austenite 含量，以符合 9 %Ni 鋼機械性值要求，由下圖 5 數據可觀察出晶粒改善及 austenite 含量增加之成果。



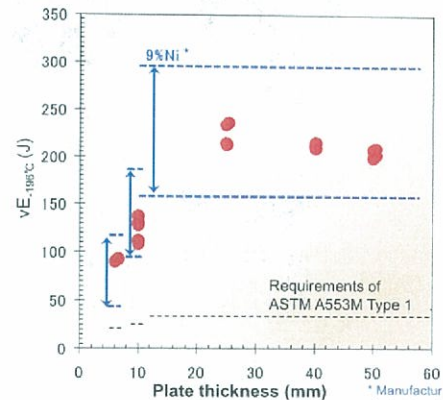
7% Ni-TMCP 技術除可改善材料微結構及增加 austenite 含量，其母材尚需經過拉伸試驗(Tensile Test)、低溫衝擊測試(Charpy Impact Test)、CTOD 測試、Duplex Esso 測試，銲道部分亦需經過 CTOD 測試，其測試結果如下圖 6 所示，業者表示測試結果顯示其機械性質皆能符合 9%Ni 鋼標準。

母材部份

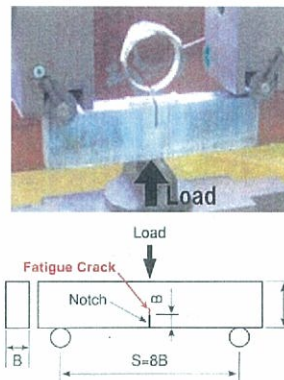
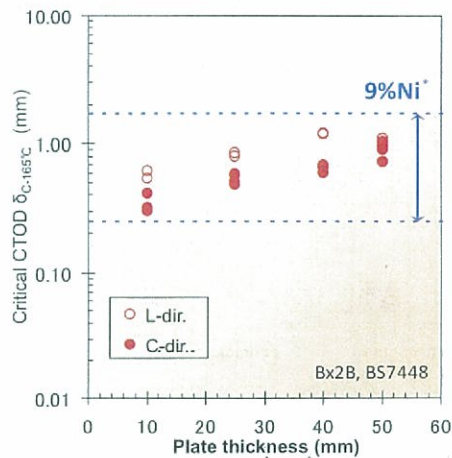
Tensile Test



Charpy Impact Test

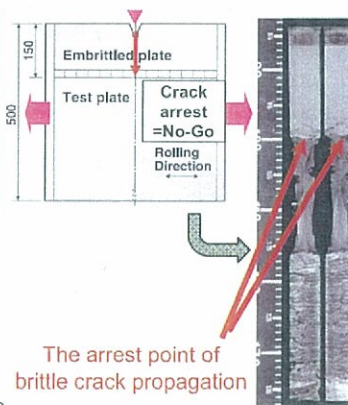
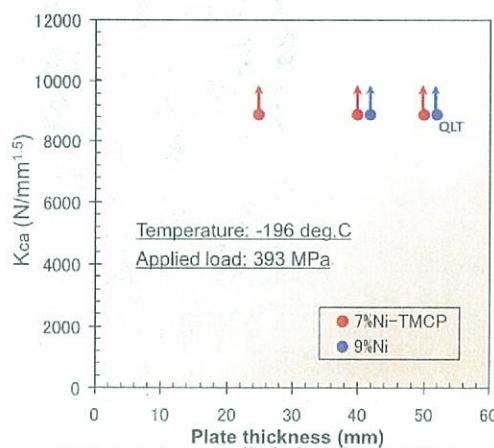


CTOD Test



* S. Machida, N. Ishikura, N. Kubo, N. Katayama, Y. Hagiwara and K. Arimoto: JHPI, Vol. 31, No. 1, pp. 19-33 (1993). (in Japanese)

Duplex Esso Test



* Evaluation test results for the safety assessment in LNG tank made of 9%Ni steel plate manufactured by continuous casting method (2002) (in Japanese)

2012/11/1 * 9NH committee reports(1989, 1992) (in Japanese)

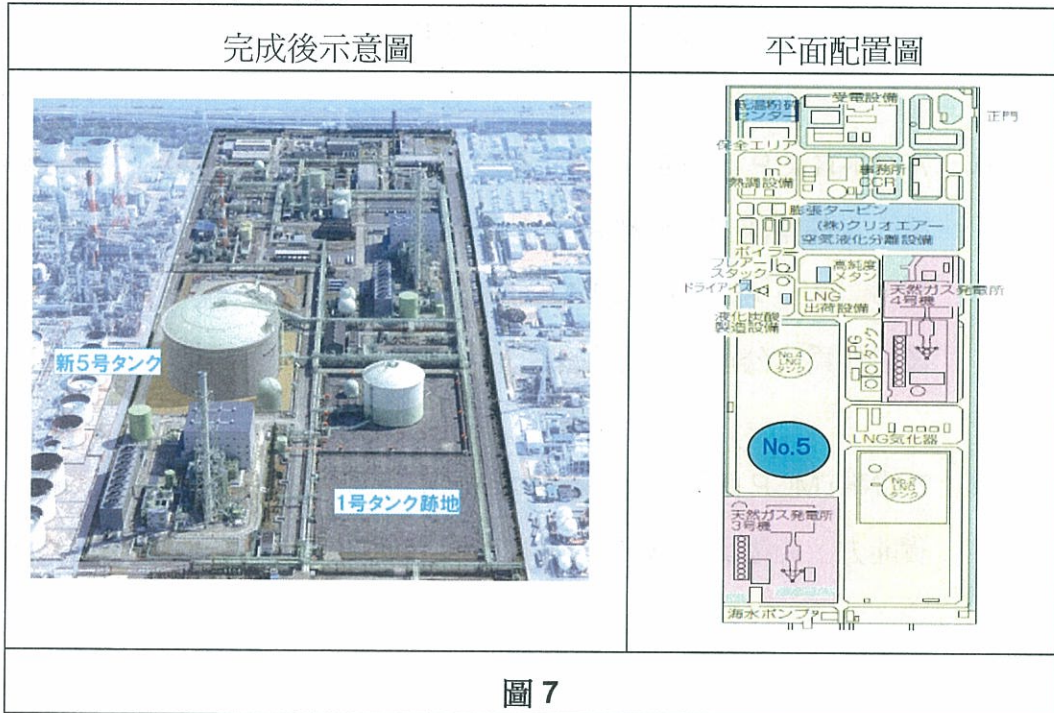
15

綜上 7%Ni-TMCP 新技術可歸納出下列結論：

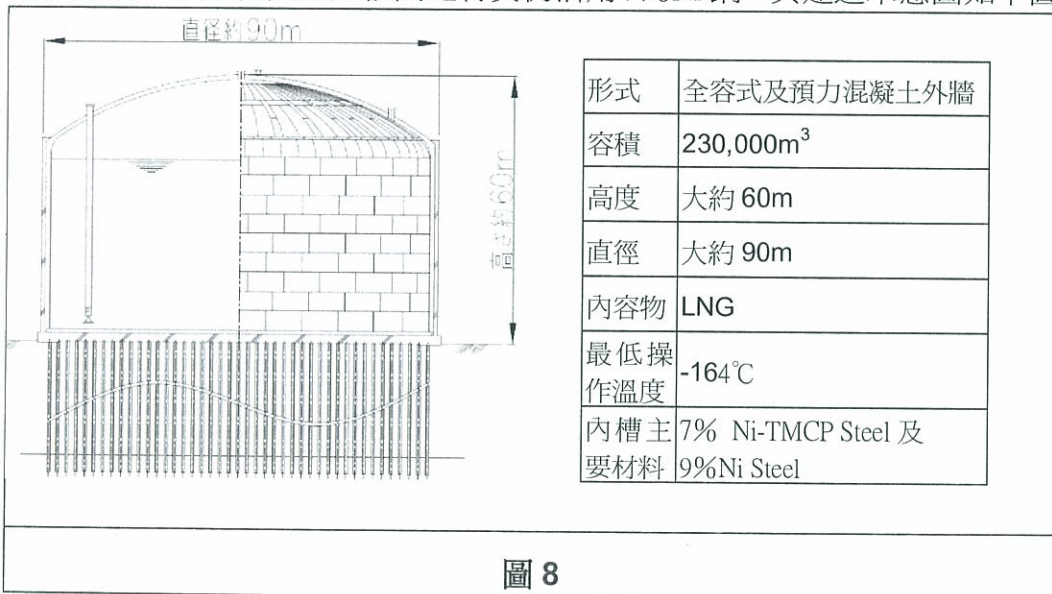
- 7%Ni-TMCP 與 9%Ni 鋼因交貨期相當，因此建造工期不變，但建造成本約可減少 10%左右，但仍需視市場 Ni 價格而訂。
- 7%Ni-TMCP 機械性質與 9%Ni 鋼相似。
- 7%Ni-TMCP 目前僅運用於大阪瓦斯公司新建之 23 萬公秉地上槽，但因為第一次商業使用，儲槽承受應力相對較大處如側板與環底板間仍使用 9% Ni 鋼設計，現今尙無 7%Ni-TMCP 完工商業運轉實績，待更多成功案例日後可作為本公司新建計畫參考選項之一。
- 7%Ni-TMCP 內含許多製程專利，目前全世界僅有新日鐵住友鋼鐵有製造供貨能力，尙需更多廠商投入開發，得以確保供貨來源及市場價格穩定。

三、大阪瓦斯 Senboku LNG 第 1 接收站第 5 號新建儲槽簡述

大阪瓦斯公司 Senboku LNG 第 1 接收站目前現有 2 座分別為 45,000m³ 容積地上式 LNG 儲槽，因天然氣需求穩定增加之故，將於既有廠區內，新建 1 座 23 萬公秉全容式地上儲槽，新建後可增加全市 330,000 戶家庭一年用氣需求，其場區配製圖如下圖 7 所示。



新建之第 5 號儲槽採用全容式及預力混凝土外牆設計形式，容積達 23 萬公秉，儲槽高度為 60m，直徑為 90m，操作溫度為-164℃，內槽材質大部份採用 7% Ni 鋼設計，惟壁板與環底板間之材質仍沿用 9%Ni 鋼，其建造示意圖如下圖 8。



此計劃之預訂排程如下：

年度	2012	2013	2014	2015
全部計畫	◆現場開工			◆完工
拆除工作				
準備工作	—			
基礎及防液堤施工	—————			
儲槽本體施工		—————		
配管施工			—————	
儀電、公用、消防等系統施工			—————	

四、西部瓦斯興建中 18 萬公秉 LNG 地上式儲槽簡述

Hibiki LNG 公司為西部瓦斯公司與九州電力公司於 2010 年 4 月合資成立之大型液化天然氣儲運公司，Hibiki LNG 接收站位於東之那海與日本海相通的廣大響灘海域，此接收站自 2010 年 11 月起施工，預計 2014 年 11 月商業運轉，營運後將成為北九州最大天然氣供應廠商，廠區規劃之配置如圖 9



圖 9

Hibiki 液化天然氣廠新建之 4 大特點簡述如下：

特點 1：可以容納世界最大型 LNG 卸收船

Hibiki 將成為可以容納世界最大型 LNG 卸收船的液化天然氣廠，足以因應近來大型化 LNG 船體建造之卸收需求，有助提升 LNG 調度靈活度及降低運輸成本。

特點 2：18 萬公秉大型液化天然儲槽

Hibiki 採用最新技術建造 2 座 18 萬公秉地上式 LNG 儲槽，足以應付來自世界最大型 LNG 運輸船卸收量。

特點 3：北九州地區能源供應據點

Hibiki 利用西部瓦斯的高壓運輸網路(Pipe line network；瓦斯導管)，以安定且有效率方式供給北九州地區其他瓦斯事業單位、天然氣相關產業，以應付其對乾淨能源強大需求。Hibiki 除將成為九州地區最大能源供給據點，也將是日北境內少數具備 LNG 裝運設施的天然氣廠，其供應網路如下圖 10



特點 4：可與海嘯等強大自然力量調和的天然氣廠

Hibiki 建廠設計理念以可萬全因應海嘯等重大天然災害，特別是針對海嘯引發淹水因應對策為，整座 LNG 廠建造高於海平面 5.2 公尺，廠區外圍繞總計 2,300 公尺防波堤(高 1.8 公尺)與防潮林(高 5 公尺)。另加高重要設備基礎及電源採 4 層防護措施，其佈置圖如下圖 11

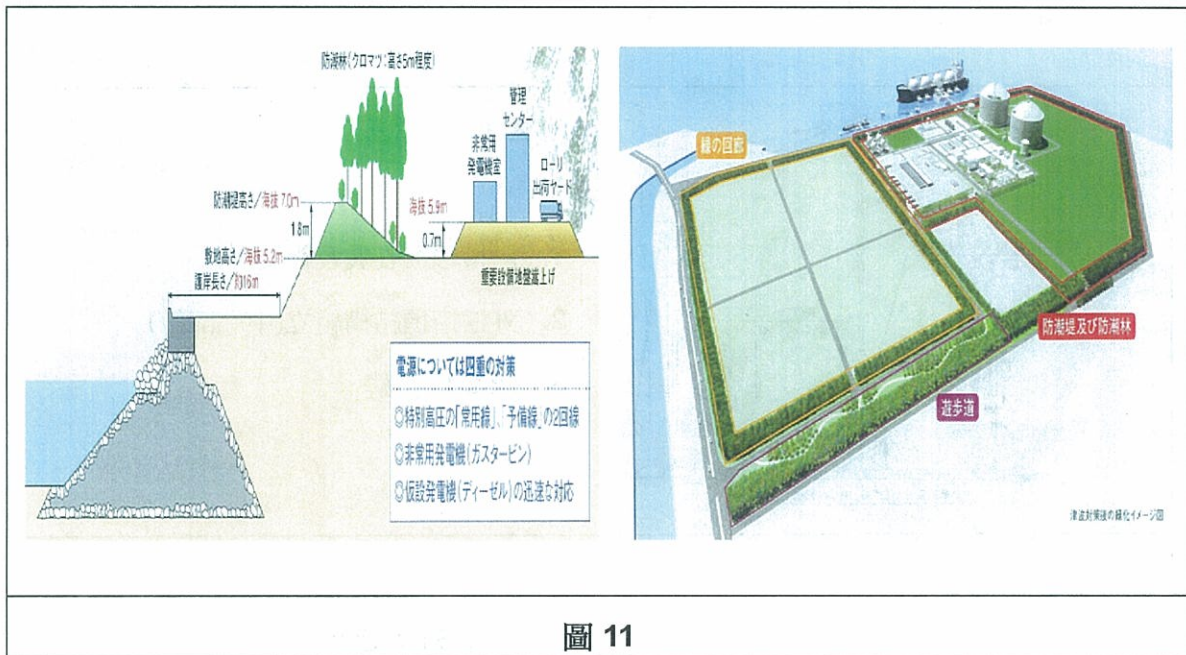
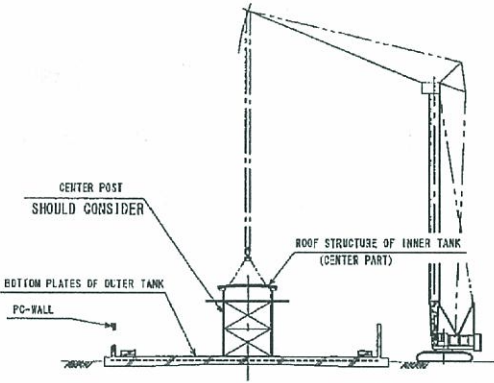
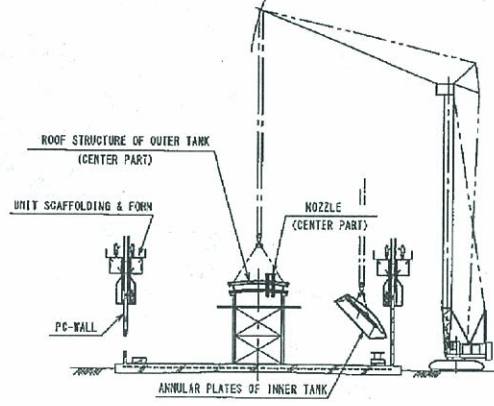
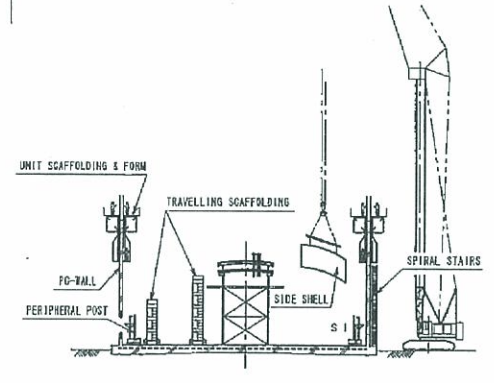
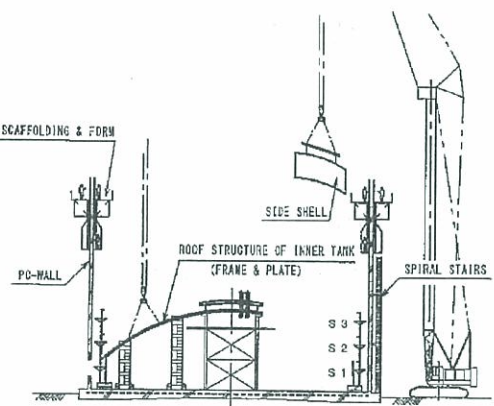
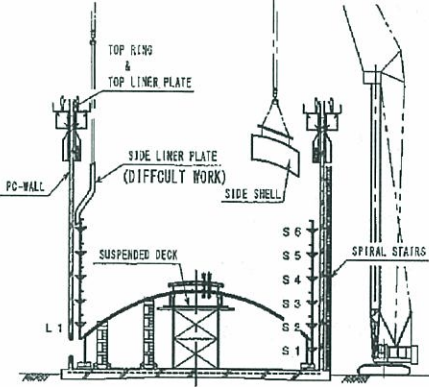
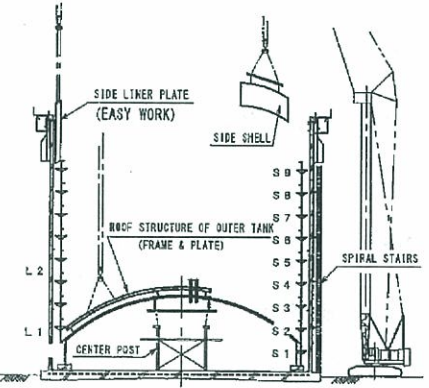
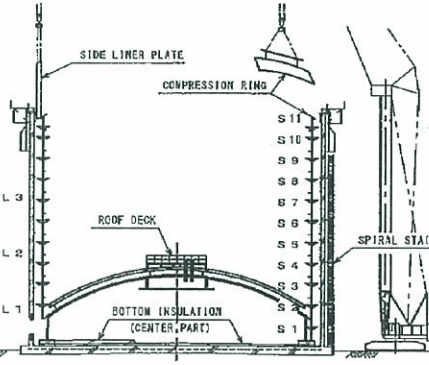
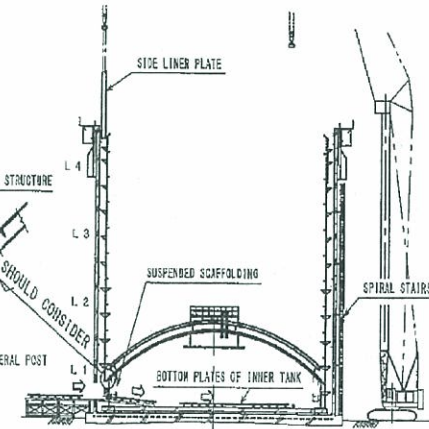


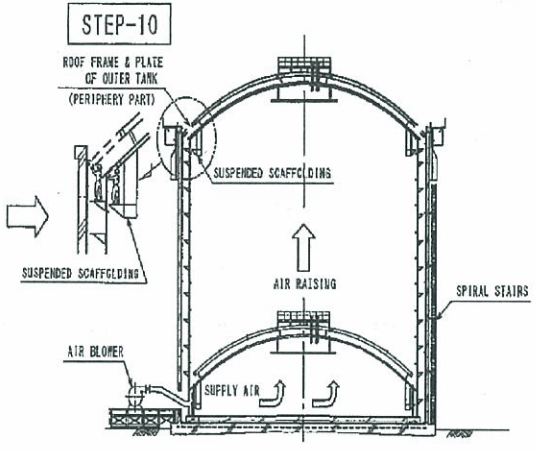
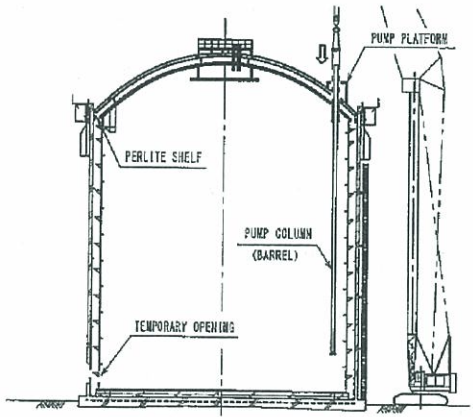
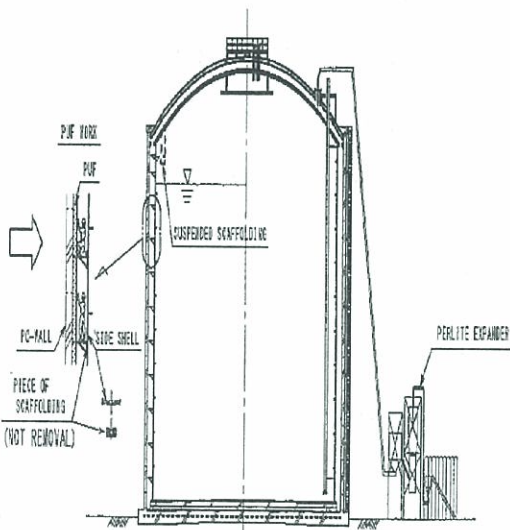
圖 11

儲槽施工工序分述如下：

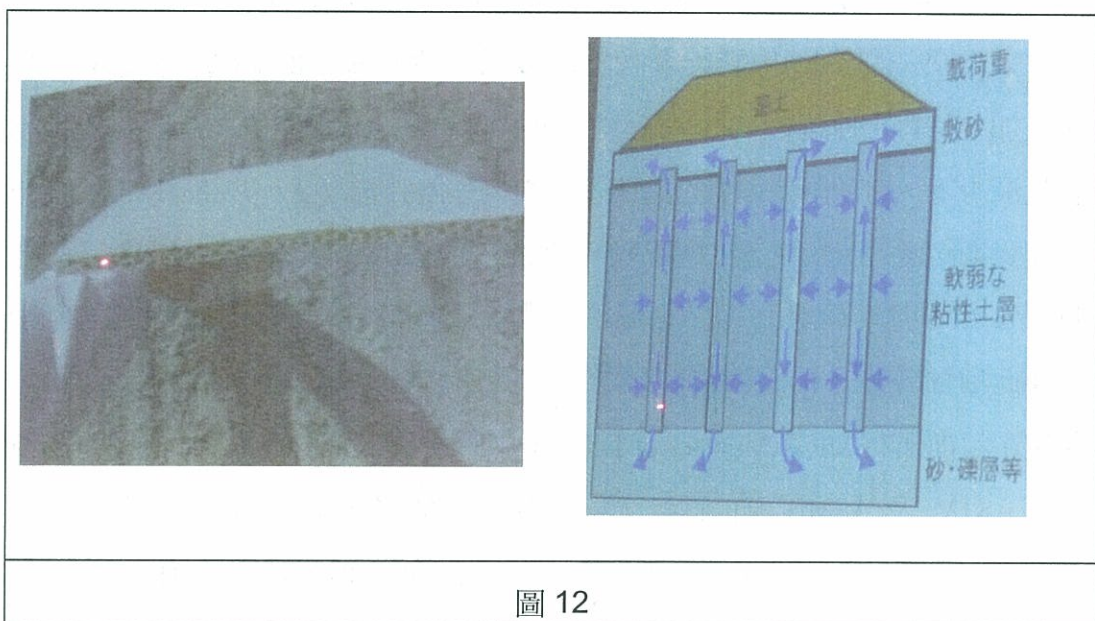
	步驟 1 Civil 部份： 底部加熱管安裝 Mechanical 部分： 1. 外槽環板安裝及銲接 2. 外槽底板安裝 3. 底板絕熱保護安裝(外圍部份)
--	---

	步驟 2 1. 外槽底板銲接 2. 槽體中心部份裝件 3. 內槽槽頂結構組立(中心部份)
	步驟 3 1. 內槽環板安裝及銲接 2. 外槽槽頂結構組立(中心部份) 3. Nozzle 裝建
	步驟 4 1. 側板 S1 裝建及垂直段銲接 2. Peripheral post 結構裝建 3. travelling scaffolding 裝建 4. 螺旋爬梯安裝
	步驟 5 1. S2 及 S3 側板組立及垂直段銲接 2. 內槽頂板組立(Frame 及 Plate 部分) 3. S1、S2、S3 側板水平段安裝

	步驟 6 1. S4、S5 及 S6 側板組立及垂直段銲接 2. S3、S4、S5、S6 側板水平段銲接 3. Side Liner(L1)組立及銲接 4. Suspended Deck 組立 5. 頂部 Liner Plate 及 Top Ring 組立及銲接
	步驟 7 1. S7、S8 及 S9 側板組立及垂直段銲接 2. S6、S7、S8 及 S9 側板水平段安裝 3. 撤除中心假設工程 4. 外槽槽頂結構組立(Frame 及 Plate 部分) 5. Side Liner(L2)組立及銲接
	步驟 8 1. S10、S11、side shell 及 compression ring 安裝及垂直處銲接 2. S9、S10 及 Knuckle Plate 水平處銲接 3. 底部絕熱材裝建(中心部份) 4. Roof deck 組立及銲接 5. Side Liner 組立及銲接(L3 部分)
	步驟 9 1. 內槽底板安裝 2. Side Liner(L4)組立及銲接 3. 昇頂所需螺旋爬梯安裝完成 4. Suspended Scaffolding 安裝 5. 昇頂前置作業準備

STEP-10 	步驟 10 1. 昇頂作業 2. 外槽槽頂及壁板組立 3. 撤除昇頂器具 4. 內槽槽頂及壁板組立 5. 外槽槽頂外環處裝建 6. 試壓用泵柱預製(Barrel)
	步驟 11 1. 試壓用泵柱(Barrel)及附屬設備安裝 2. Perlite shelf 安裝 3. Side Liner 暫時開口安裝 4. 混凝土牆暫時開口安裝 5. 側板暫時開口安裝
	步驟 12 1. Anchor 固定 2. 撤除 Suspended Scaffolding 3. 內槽水壓測試 4. 撤除側邊 Liner 及側板之 Scaffolding 5. 管線試壓 6. 管線及 Nozzle 保冷安裝 7. Perlite 裝填 8. 管線、結構物及附屬設施油漆工作 9. 空氣吹除及乾燥 10. 預冷及 LNG 進液

綜上總結，此新建計畫，與本公司台中廠一期建造不同之處為地改作法，因其建造所在地係為填海造地及土壤黏土層較厚，地質含水量甚高，需先土壤排水後做地質改良方可增加土壤密實度，本公司前案地改作法為動力夯實及儲槽環狀帶外加打擊樁工法，而 Hibiki 先採用壓密促進土壤改良法先行去除土壤含水量 (waterdrain 工法)，其原理為於軟粒黏性土層植入類似瓦楞結構之材料如圖 12 所示，以擠壓重力方式約 2 個月期程將含水量較高之黏性土層水份分別由上下方之砂礫層排出，之後再全面進行動力夯實及打擊樁地改。



肆、心得與建議

本次出國洽公目的主要為「GEB0126001 地上式液化天然氣儲槽規範評估技術服工作」工程聯繫，就其規劃之二期計畫儲槽基本設計工作進行技術審查會議，並當面轉知使用單位操作需求納入 ITB 設計文件中，此次亦針對耐震設計充分討論，分別就 API620、EN14620 及我國建築技術規則不同設計標準應用於本計畫之可行性，並參考同為地震頻繁日本 JGA 耐震規定，研擬可行方案待下次設計會議中研議後定案。

其二目的為拜訪儲槽建造廠商了解目前儲槽設計新技術，最特別便是 7% Ni-TMCP 部分取代 9% Ni 鋼運用於新建中之 23 萬公秉地上式 LNG 儲槽內槽設計，製程技術突破加上材料化性調整，成功研發機械性質與 9% Ni 鋼相仿之新材料，稀有金屬 Ni 含量減少下，有效降低儲槽建造成本，提升整體計畫效益，7%Ni-TMCP 與 9%Ni 鋼因交貨期相當，因此建造工期不變，但建造成本約可減少 10%左右，然目前全世界尚無 7% Ni 鋼運用於地上式 LNG 儲槽內槽商業運轉實績，且因內含特殊專利製程，可供應此項材料僅日本新日鐵住友鋼鐵公司，加上現今國際規範尚無此項材料可依循之規定，目前僅有 METI(Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan)認可此項材料，JIS、ASTM 及 ASME 現正研訂 7%NI-TMCP 必要之規定，綜上，現階段應用此項新技術於本公司二期計畫儲槽新建恐有疑意，需待更多實績驗證及可供應廠商家數增加及 API 620、ASTM、EN14620 法規訂定標準後，可作為本公司未來新建儲槽設計參考。

此份報告資料引述來源為 NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL 公司及 Hibiki LNG 公司會議簡報及面交之參考資料。