

出國報告(出國類別：實習)

## 煤灰海事工程之應用研習

服務機關：台電綜合研究所

姓名職稱：邱智勇化學研究專員

派赴國家/地區：日本

出國期間：2018/11/25~2018/12/1

報告日期：2019/1/21

## 目錄

摘要.....	2
一、目的.....	3
二、過程.....	4
(一) 赴 JCOAL 和煤灰應用於海事工程使用指南編訂委員進行討論 .....	4
(二) 前往福島人造砂石工廠現場參觀 .....	11
(三) 赴三信公司了解超音波震動藥液灌漿工法 .....	16
三、心得及建議.....	19
(一) 心得 .....	19
(二) 建議 .....	20
四、心得及建議.....	21

## 摘要

本公司目前已規劃煤灰應用於海事工程，如台中電廠二期灰塘堤內回填料與協和電廠燃氣機組廠址回填，雖然日本 JCOAL 已編訂煤灰應用於海事工程使用指南，但條件和本公司不同，故無法直接參用，為獲得進一步資訊，特地安排和指南編訂委員進行討論與福島人造砂石現場參觀，若以本公司應用需求(高煤灰摻量、低成本、節省後續地改費等)，建議台中二灰回填料可採用破碎材型式，破碎材強度不需太高，回填時須注意對周遭環境影響。

另外，公司目前碰到許多灰塘地盤改良的問題，日本三信公司特別介紹超音波震動藥液灌漿工法，透過超音波的振動可提升藥液的滲透性，伴隨藥液滲透距離更大且更均勻，使改良體的形狀能趨近於較理想狀態，此工法值得未來深入探討。

## 一、目的

隨著林口和大林電廠新機組陸續加入供電行列，本公司煤灰產量持續攀高，但混凝土市場卻有萎縮趨勢，勢必得開發出煤灰新應用途徑並增加公司自有工程煤灰使用量，否則在灰塘可用容量所剩不多情況下，恐影響公司穩定供電。

本公司目前已規劃煤灰應用於海事工程，如台中電廠二期灰塘堤內回填料與協和電廠燃氣機組廠址回填，但規範設計與細部執行仍需再進一步了解。在獲知日本 JCOAL 已編訂煤灰應用於海事工程使用指南後，特別安排此出國行程，希望透過雙方討論交流可有實質收穫，另外，在回填後須進行後續地盤改良，而日本三信公司在地盤改良上具有豐富經驗，因此本次主要安排以下三個行程

1. 赴 JCOAL 和煤灰應用於海事工程使用指南編訂委員進行討論
2. 前往福島人造砂石工廠現場參觀
3. 赴三信公司了解超音波震動藥液灌漿工法

## 二、過程

### (一) 赴 JCOAL 和煤灰應用於海事工程使用指南編訂委員進行討論

台中二期灰塘堤內回填區(圖 1 D 區)與協和電廠廠址預定回填區(圖 2 I-(A)、I-(B 與(II))，在考量區域性與運費下，本公司初步規劃台中二灰回填料使用台中電廠一期灰塘之灰塘灰與台中電廠無法再利用之飛灰為主原料，而協和電廠廠址回填料使用林口二灰灰塘灰與林口電廠無法再利用之飛灰為主原料，兩案例最大差異在於外海水深，深度越深施工就越困難，台中二灰水深約 10 公尺，而協和電廠廠址水深約 30 公尺，目前因台中二灰興建時程較為急迫，故以下討論皆以台中二灰為主。

參考 JCOAL 使用指南，將煤灰、水泥、水與藥劑拌和後，可視為煤灰混合材料，主要有四種型式(如圖 3 所示)，分別為破碎材(crushed aggregate)、造粒材(granulated aggregate)、塑性材(plastic material)和灰漿(slurry)。以外觀來看，破碎材和造粒材為較完整粒料，塑性材用於要求高塑性場域，而灰漿流動性好，可使用管路進行澆置，因台中二灰水深約 10 公尺，高塑性或高流動性材料在回填過程易受到海水壓力而破壞材料完整性，造成物料析離情形，且灰漿澆置往往要搭配特密管與潛水夫作業，具施工危險性，因此在考慮施工安全性與可行性下，初步排除使用塑性材和灰漿，而選擇破碎材或造粒材做為回填料，兩者製程與參考配比分別如圖 4 與圖 5 所示，兩者的差別在於使用原料、製程設備、生產成本與粒料形狀，而產品基本性質可從調整配比與製程來滿足客戶需求。因日本應用案例和本公司不盡相同，尤其是日本並無使用灰塘灰當作配比原料之經驗，故無法直接參用使用指南資料，須透過實際討論了解修正方向，將此次討論議題與討論結果列於表 1 與表 2。

除了表 1 和表 2 之外，如何選擇較佳的煤灰混合材料，應考慮本公司需求，

包含施工安全性、最少時間(含材料製作與施工)、最低成本(含材料製作與施工)、最大煤灰摻用量與最小環境衝擊，如圖 6 所示。

最後將台中二灰回填料建議整理如下：

1. 為節省成本與縮短施工時間，破碎材較符合。
2. 破碎材強度不需太高，只要回填時可承受水壓不破壞粒料完整性即可。
3. 破碎材粒徑不宜太小，#200 篩以下部份會導致透水性不佳，盡可能在#4 篩以上。
4. 回填時須注意對周遭環境影響(尤其是重金屬溶出含量、pH 和濁度)。

會中討論與會後合影如圖 7 與圖 8 所示。

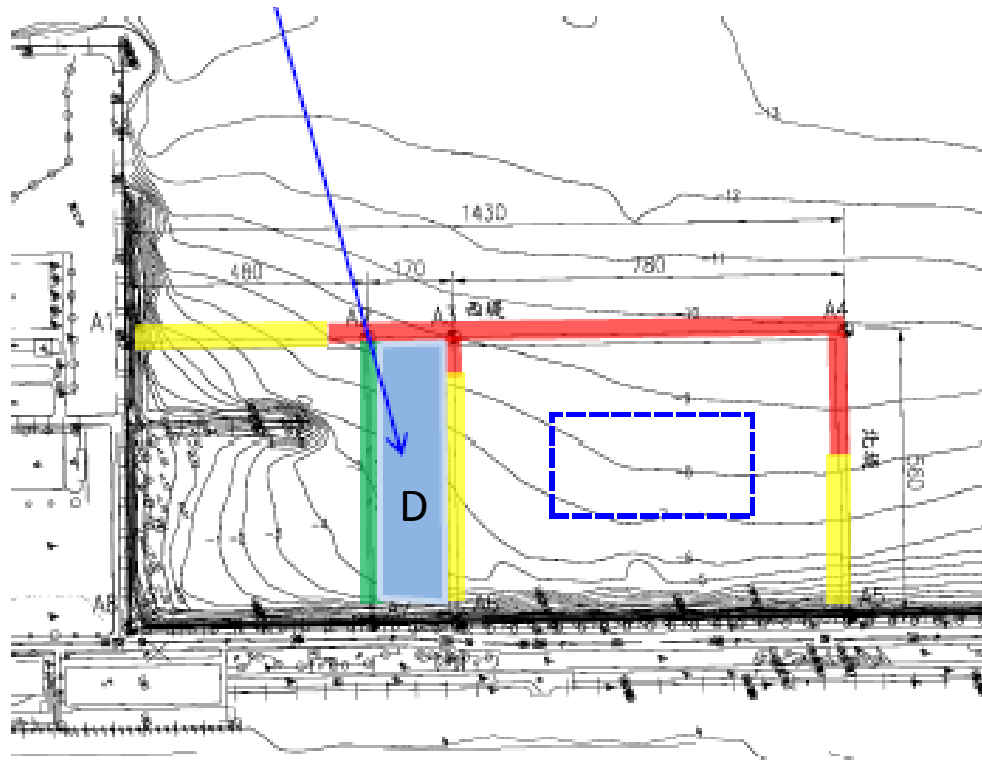


圖 1 台中二期灰塘示意

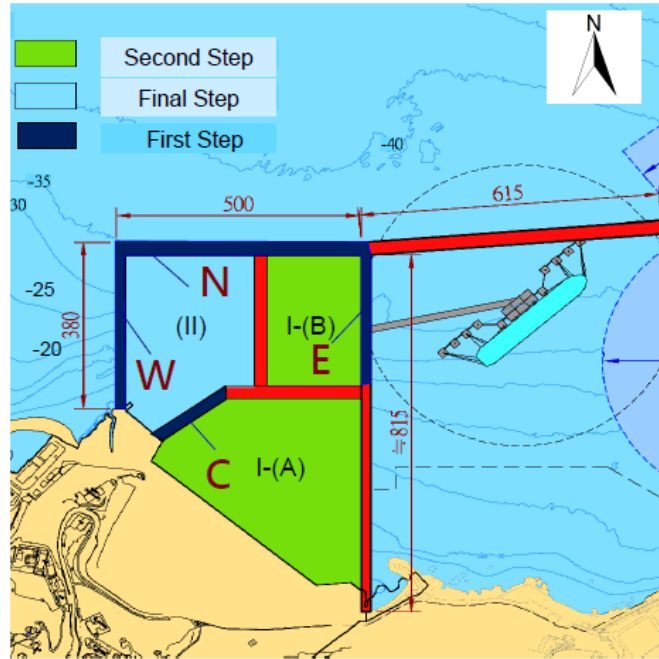


圖 2 協和電廠廠址示意

形態(種別)		概要(製造方法)	写真(例)	商品名 <sup>※)</sup>
土砂代替材	破碎材	石炭灰にセメント、水、必要に応じて土砂、石膏等を混合して一旦固化させた後、掘削・破碎した土砂代替品	 [頑丈土 破碎材]	頑丈土破碎材 J-アッシュ 輝砂 FRC
	造粒材	石炭灰にセメント、添加材および水を加えて造粒して製造した砂質土代替材		Hi ビーズ ゼットサンド 灰テックビーズ フライ・クリーン
	塑性材	工事現場近傍において、石炭灰にセメント、土砂および水を攪拌混合して製造した石炭灰混合材料		アッシュクリート Type II ソマッシュ
灰漿		施工場所において、石炭灰にセメント、水を混合しスラリー状にしたもの		FC スラリー F スラリー

圖 3 煤灰混和材料種類



写真-3.1 破碎材（頑丈土）

Typical Mixing Ratio of Crushed Aggregate

Coal Ash	Blast-furnace Slag(Type B)	Water	Gypsum
100	7 ~ 9	20 ~ 40	0 ~ 10

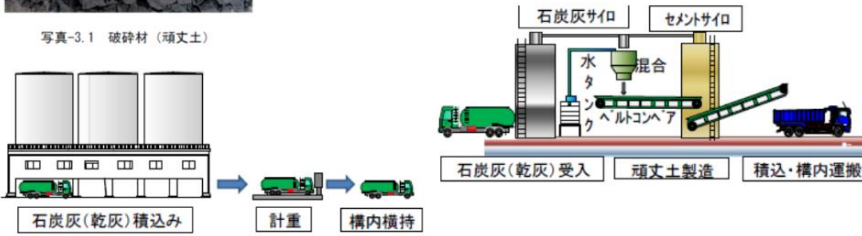


図-a 破碎材の一次製造フロー図

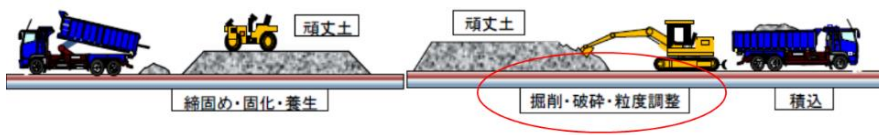


圖 4 破碎材製程與參考配比



写真-3.3 造粒材（ゼットサンド）

Typical Mixing Ratio of Granulated Aggregate

Coal Ash	Cement	Additives (Granulation auxiliary)	Water	Elution Inhibitor
85	5	10	25 ~ 40	0 ~ 1.0

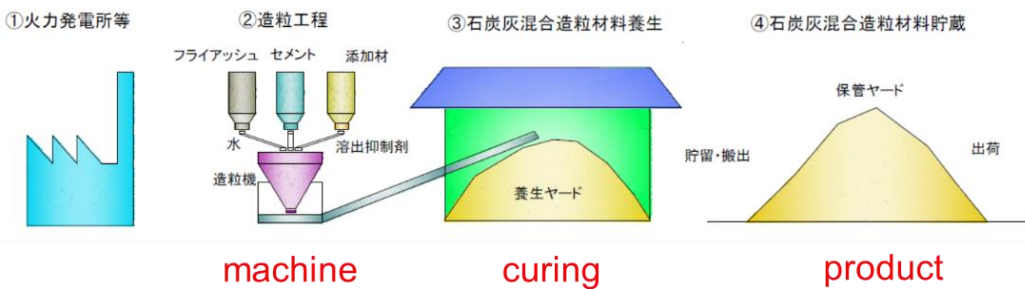


圖 5 造粒材製程與參考配比



表 1 破碎材討論議題與結果彙整

種類 編號	破碎材(Crushed Aggregate)
Q1	Are there any special requirements for the properties of the coal ash? Is it possible to replace coal ash with ash pond ash?
A1	1. 日本大部分的案例都使用全飛灰 2. 我們並沒有灰塘灰使用經驗，如果要使用須先確認是否可符合相關環保法規或標準
Q2	What is the type of the gypsum? What is the function of the gypsum?
A2	1. 石膏種類為火力電廠產出之脫硫石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 2. 主要功能為提高強度並抑制有害物質溶出
Q3	How long does curing take? How to ensure that aggregates are not damaged during filling in the deep sea water?
A3	1. 養護時間要看客戶所要求的強度 2. 若深度越深，粒料強度或固化程度應越高才能避免不被靜水壓破壞粒料完整性
Q4	What is the approximate particle size of the crushed aggregate? How do you adjust the particle size efficiently? What particle size distribution do you recommend to maximize the amount of coal ash we can use?
A4	1. 粒徑大小要看客戶需求及用途，大部份都在 40mm 以下 2. 要大規模量產，需要透過大型破碎機以提高效率 3. 粒徑分佈會影響堆疊情形，若可以有不同粒徑搭配，可以減少粒徑間的空隙，也能提高煤灰使用量，另外，粒徑太小會影響透水性，盡可能在#4 篩以上，但最終還是要回到成本考量
Q5	According to our construction site conditions, which properties of crushed aggregate are more important?
A5	大致上要有足夠摩擦角(30 度以上)與基本抗壓強度

表 2 造粒材討論議題與結果彙整

種類 編號	造粒材(Granulated Aggregate)
Q1	Are there any special requirements for the properties of the coal ash? Is it possible to replace coal ash with ash pond ash?
A1	1. 日本大部分的案例都使用全飛灰 2. 我們並沒有灰塘灰使用經驗，如果要使用須先確認是否可符合相關環保法規或標準
Q2	What is the function of the dissolution inhibitor?
A2	添加溶出抑制劑可讓造粒更完整並減少有害物質
Q3	How long does curing take? How to ensure that aggregates are not damaged during filling in the deep sea water?
A3	1. 養護時間要看客戶所要求的強度 2. 若深度越深，粒料強度或固化程度應越高才能避免不被靜水壓破壞粒料完整性
Q4	What is the approximate particle size of the granulated aggregate? What particle size distribution do you recommend to maximize the amount of coal ash we can use?
A4	1. 粒徑大小要看客戶需求及用途，範圍介於 4~50mm 2. 粒徑分佈會影響堆疊情形，若可以有不同粒徑搭配，可以減少粒徑間的空隙，也能提高煤灰使用量，另外，粒徑太小會影響透水性，盡可能在#4 篩以上但最終還是要回到成本考量
Q5	According to our construction site conditions, which properties of granulated aggregate are more important?
A5	大致上要有足夠摩擦角(35 度以上)與基本抗壓強度

## What kind of coal ash mixed material is better choice?



- Absolute Safety of Construction
- Min Time (material & construction)
- Min Cost (material & construction)
- Max Amount of Coal Ash
- Min Environment impact

圖 6 選用材料考慮點



圖 7 討論過程



圖 8 會後合影

## (二) 前往福島人造砂石工廠現場參觀

為了更了解破碎造粒過程，特別前往福島人造砂石工廠現場參觀，該工廠名為 Fukushima Eco-Crete Co. Ltd. ,主要是以處理附近燃煤電廠的飛灰為主，依客戶需求製成所需人造砂石規格，主要用途為道路基底層級配料，也算是廢棄物再利用產業，成立不到兩年，目前人造砂石年出貨量可達 10 萬方規模，該廠在前端已收取飛灰處理費，再生產為道路基底層級配料後進行販售，兩端均可獲利，且在政府大力支持下，也算是相當有前景的產業，如圖 9 與圖 10 所示。

以下簡述該廠人造砂石製程(如圖 11 與圖 12 所示)

1. 飛灰進料後儲存於飛灰倉
2. 依設計配比計算水泥、飛灰、水、石膏與藥劑數量，充分拌和成混凝土
3. 將混凝土經加壓與振動後製成方塊狀
4. 方塊由提運設備送進高溫養護裝置
5. 方塊經過 24 小時高溫養護
6. 由輸送設備將養護方塊送至屋外
7. 由機具搬運至戶外養護區並進行初破碎
8. 初破碎再經潤濕養護約 3 天
9. 由機具將初破碎送進破碎設備，得到 40mm 以下之人造砂石成品
10. 成品置於堆放區等待出貨

該廠製程比較特別的是

1. 僅使用少量水泥，飛灰佔固體重量約 90%，可大量處理飛灰，實際配比仍須依客戶需求強度
2. 高壓與振動設備可增加方塊緻密性
3. 高溫養護可加速水泥水化反應

參觀後合影如圖 13 所示。

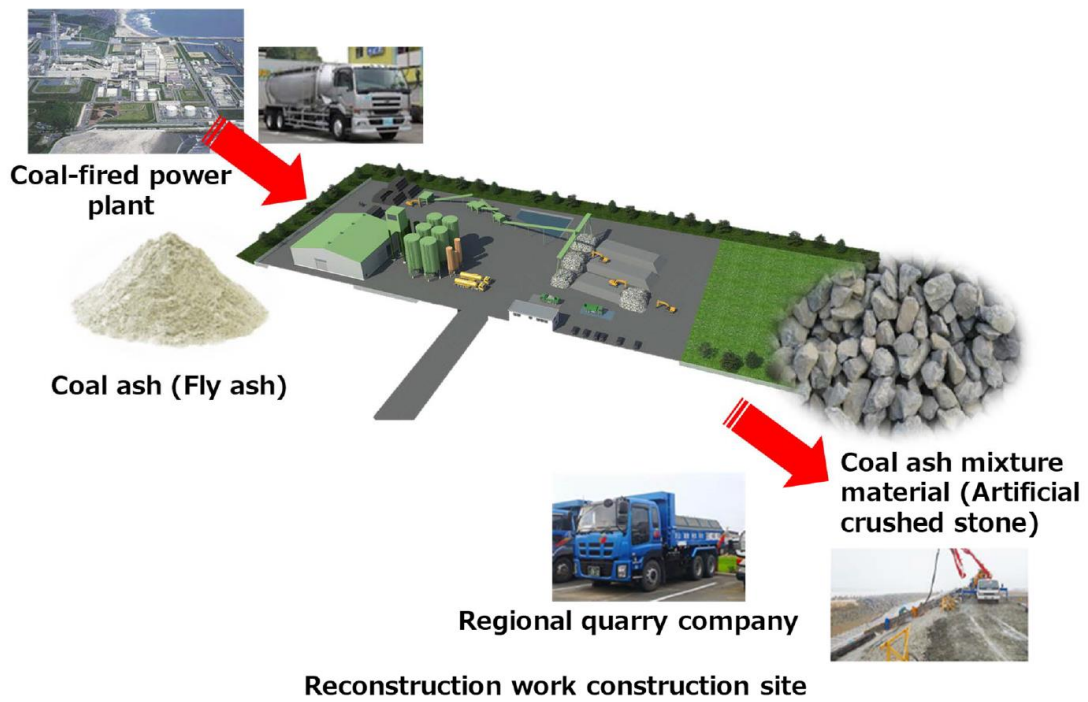


圖 9 Fukushima Eco-Crete Co. Ltd.

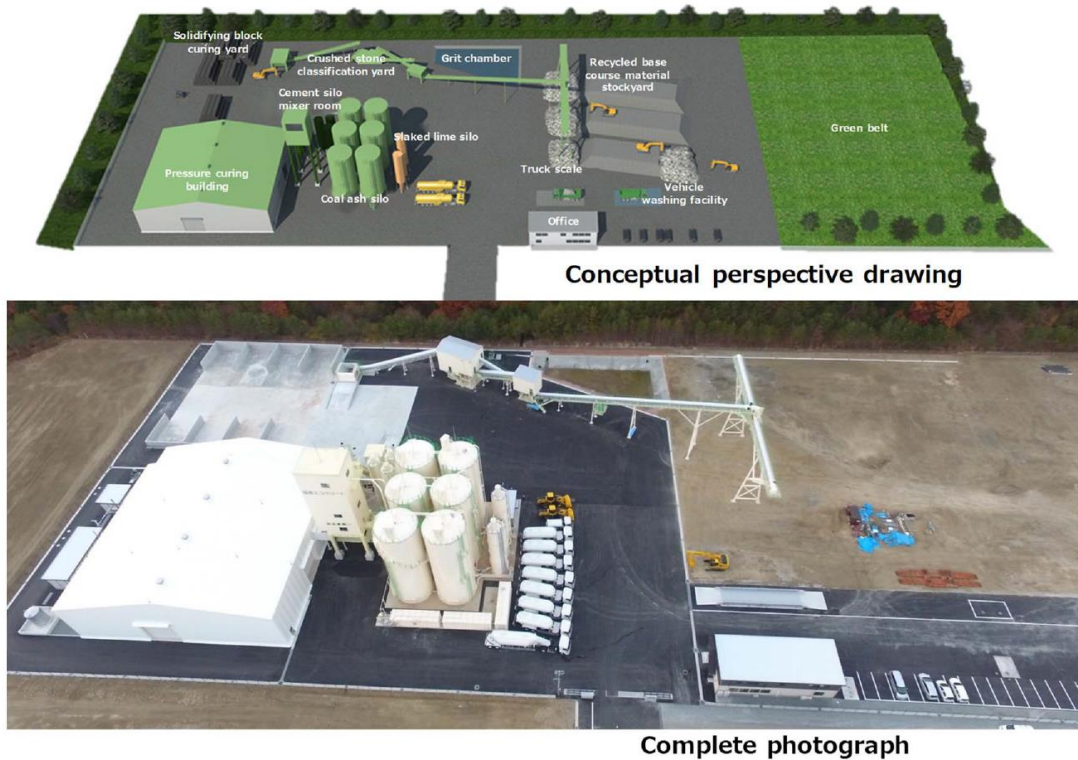


圖 10 Fukushima Ecocrete Co.鳥瞰示意

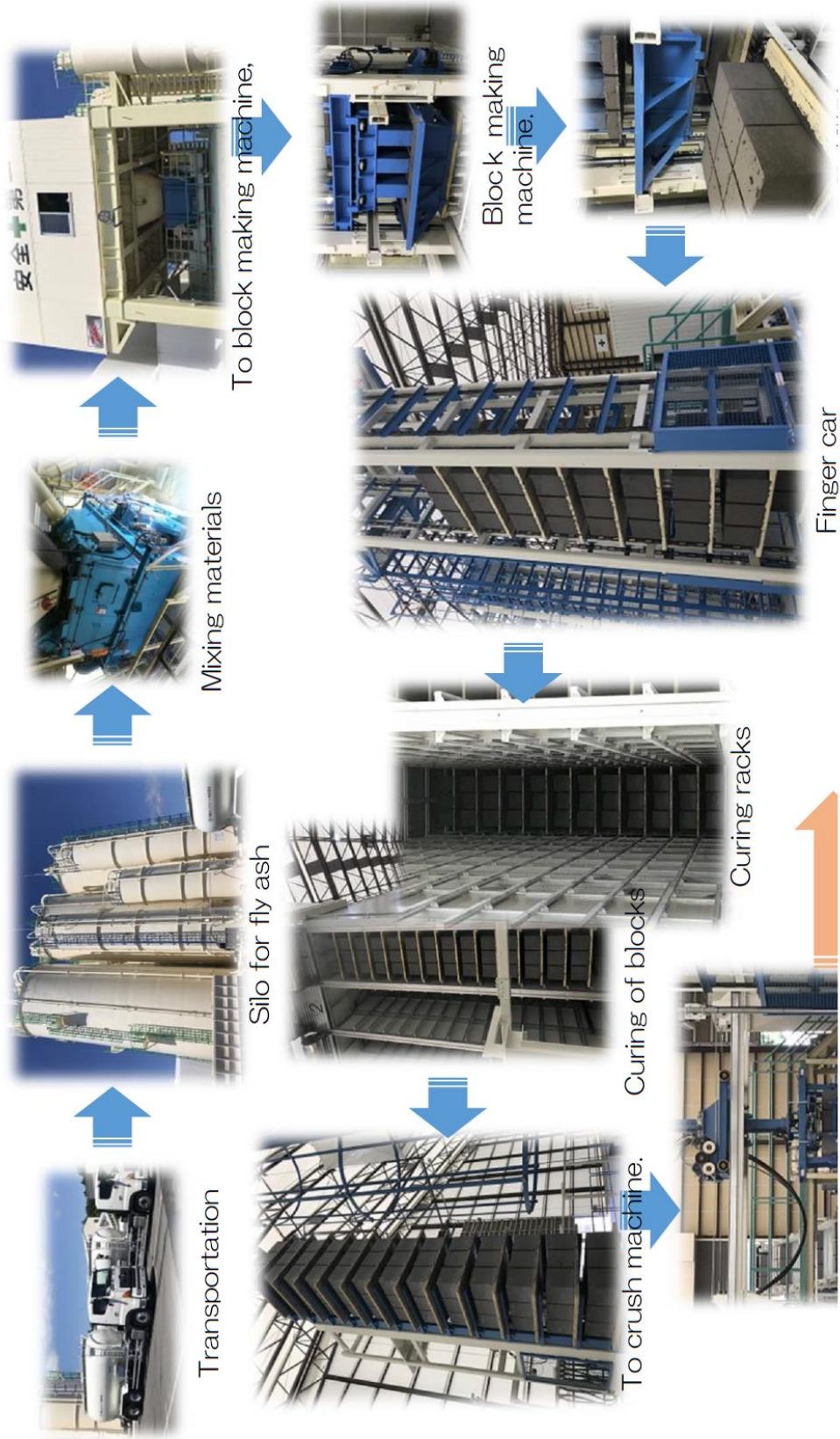


圖 11 人造砂石前半段製程



圖 12 人造砂石後半段製程



圖 13 參觀後合影



### (三) 赴三信公司了解超音波震動藥液灌漿工法

日本三信建設工業株式會社在地盤改良上具有豐富經驗，事業經營橫跨多個國家，因本公司灰塘都需要經過地盤改良才有足夠抗液化能力、抗剪能力與承載力，因此特別安排此行程，希望可獲得一些新資訊。

藥液灌漿工法可用於地盤強化，因使用小型施工機具，故具有高度的施工性及應用性，並有噪音小與震動小的優點，再搭配超音波震動之藥液灌漿工法(設備如圖 14 所示)，可提升藥液滲透性。以下進行有或無超音波設備藥液滲透比較(如表 3)，使用酚酞試劑進行反應後之合計長度，可由圖 15 看出有振動的藥液分布率較高，且由圖 16 可看出 GL-3.5m 附近改良體形狀，有振動時滲透範圍較廣且均勻，表 4 為滲透距離之分布結果彙整。

由以上結果可得到超音波振動可提升藥液滲透性，伴隨藥液滲透距離更大且更均勻，使改良體的形狀能趨近於較理想狀態。

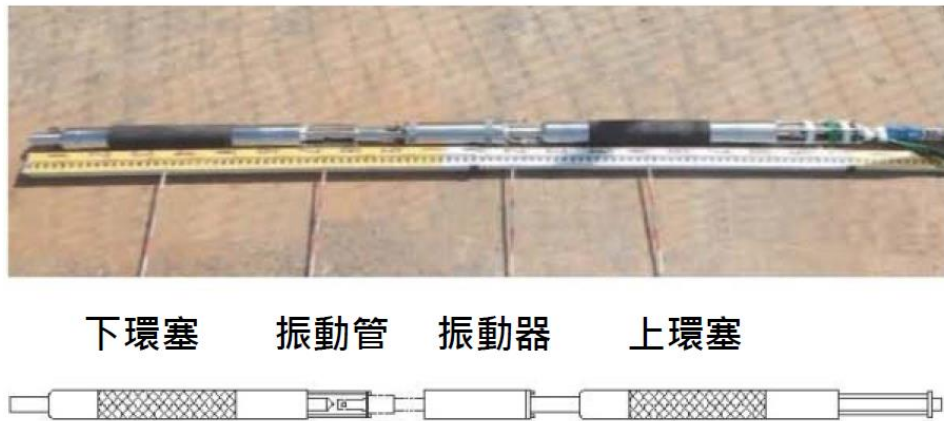


圖 14 搭配超音波震動之藥液灌漿設備

表 3 有或無超音波設備藥液滲透比較

超音波振動	無	有 (20kHz,300W)
外管固定·封堵	Seal Grout方式	
灌注速度	6 L/min	
灌漿材	一次	水泥皂土液(CB)
	二次	水玻璃系無機溶液型 (膠凝時間：60min)
灌注深度	GL-2.0m~GL-4.0m	
改良長	2.0m	
灌注階段長	1m/step (2steps)	
改良土量	2.0m×2.0m×2.0m=8.0m <sup>3</sup>	
灌注率	40%(一次：5%；二次：35%)	
設計灌注量	一次	400L
	二次	2,800L
	合計	3,200L

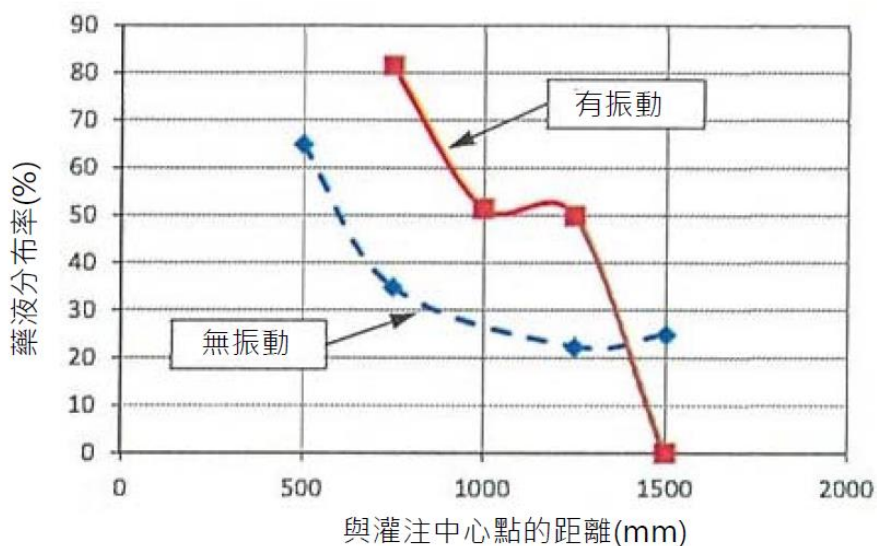


圖 15 藥液分布率

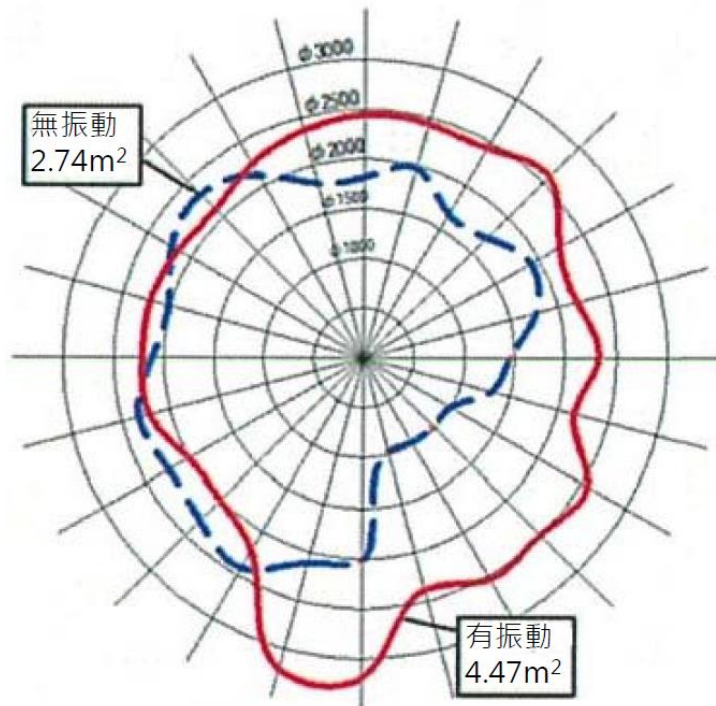


圖 16 GL-3.5m 附近改良體形狀

表 4 滲透距離分布結果彙整

超音波振動	無	有
資料數	24	24
改良體面積	2.74m <sup>2</sup>	4.47m <sup>2</sup>
最大滲透距離	1,210mm	1,600mm
最小滲透距離	490mm	1,000mm
平均值	910mm	1,186mm
中央值	975mm	1,150mm
標準偏差	229mm	150mm
變動係數	0.25	0.13

### 三、心得及建議

#### (一) 心得

1. 首先要感謝長官給我這個難得的出國機會，這算是我第一次公務出國，坦白說一開始確定此次行程必須獨自前往語言不通的日本，加上煤灰造粒又是公司急迫處理的課題，頓時壓力排山倒海而來，除了做足行前準備外(討論議題與簡報)，也多虧有長官與同事的幫忙與鼓勵，讓本次公務行程圓滿完成。
2. 經過和 JCOAL 煤灰應用於海事工程使用指南編訂委員討論與實際參觀福島人造砂石現場後，在符合本公司應用需求下(高煤灰摻量並使用灰塘灰、低成本、節省後續地改費等)，台中二灰回填料採用破碎材為較佳選擇，破碎材強度不需太高，只要回填時可承受水壓不破壞粒料完整性即可，破碎材粒徑在#4 篩(4.75mm)以上具較佳透水性，回填時須注意對周遭環境影響(尤其是重金屬溶出量、pH 和濁度)。
3. 超音波震動藥液灌漿工法，乃透過超音波的振動提升藥液的滲透性，伴隨藥液滲透距離更大且更均勻，使改良體的形狀能趨近於理想狀態。
4. 福島人造砂石工廠距離福島第一核電廠(核災區)不到 100 公里，沿途可看到一些農田處於休耕狀態，土壤也挖除並裝袋整齊擺放，整體來說民眾不算太多，也許是處在郊區或是當初撤離的民眾不願再觸景傷情吧。
5. 在公務行程之外，也特別觀察日本的人事物，日本人謙虛禮貌和整齊穿搭在這完全得到應證，便利且完整的交通網絡，讓我比較訝異的還是日本的市容，高品質的道路鋪面，沒有凌亂的招牌，也看不到任何垃圾，交通井然有序，宛如模範城市，近年來台灣也主打觀光業，除了僅有的美食優勢，其它方面確實值得向日本學習。
6. 這次的日本行程不只有公務上的收穫，對日本文化也有更深入的體驗。

## (二) 建議

1. 台中二灰堤內回填料可採用破碎材型式且強度不需太高，但日本案例和本公司仍有所差異，尤其在台中二灰工期緊湊、施工場地受限與成本考量下，顯然不可能比照福島工廠增設高壓振動與高溫養護設備，為了符合公司需求，建議將相關製程與破碎機具納入考量，並透過破碎試驗觀察其強度破碎狀況(符合粒徑與粉體比例要求)，找出破碎強度與參考配比。
2. 超音波振動可提升藥液滲透性，伴隨藥液滲透距離更大且更均勻，使改良體的形狀能趨近於較理想狀態，但在工程成本和改良效能之間須取得平衡，值得未來再探討。
3. 本次行程日本方有多位委員參與討論，而我方依計畫僅有一人，多虧後來有兩位非台電人員對此議題有興趣而願意自費同行，不然會議中會顯得不成比例且有失禮節，建議公務出國盡可能兩位以上同行(同單位或跨單位)，不僅在行程中可以有所照應，也能加入更全面與更深入的觀點，讓公務出國效益更大化。

## 四、心得及建議

1. 土木學會第 72 次年度學術演講會，搭配超音波振動之藥液灌漿工法之研發(第 2 次現地實證試驗)，2017 年，9 月。
2. 一般財団法人石炭エネルギーセンター，港湾工事  
における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン，平成 29 年 2 月。