北114 6K+200蘇迪勒颱風災後復建工程-EPS工法

蔡逸懷[1]　楊至中[2]　陳炳全[3]　陳宣樺[4]

[1]新北市政府養護工程處　副總工程司

[2]新北市政府工務局　技正

[3]新北市政府養護工程處　股長

[4]和建工程顧問股份有限公司　總經理

摘要

民國 104 年 8 月 8 日蘇迪勒颱風來襲，三峽熊空降下破紀錄的豪大雨，導致北 114 鄉道道路中斷，在爭取復建的時效上，考量山區氣候多雨、邊坡陡峭，在整體邊坡穩定的條件下，為減輕邊坡承載覆荷，降低回填土壓，本工程採用發泡聚苯乙烯(EPS)工法進行道路崩塌區域路堤的回填。EPS 輕質填土工法在國內使用上並不普遍，行政院公共工程會於民國 104 年 7 月公布「第 02334 章 V1.0 發泡聚苯乙烯」施工綱要規範，明訂發泡聚苯乙烯(Expanded Poly-Styrorene，簡稱 EPS)係指使用大型發泡聚苯乙烯型塊(EPS 型塊)做為土木結構物填築材料或回填材料，適用於公路、鐵路、堤防或土地開發等土木建築或園藝工程。並針對 EPS 型塊及配合工作之材料、準備工作及施工方法等進行相關規定及說明。本工程在設計階段考量崩塌區域邊坡整體的穩定性外，並針對 EPS 的特性計算 EPS 的承載能力、檢核抗浮能力及沉陷量；施工階段依循 02334 章 V1.0 發泡聚苯乙烯施工規範進行材料及施工的檢試驗。

國內 EPS 土木施工法使用的案例有限，特別是在山區災後復建工程上，地質條件複雜，在地盤軟弱亦或邊坡陡峭構築道路 EPS 工法應是很適合的工法，利用 EPS 材質的特性，可以爭取復建工程的時效性，並可有效減輕地盤的承載能力及降低側向土壓力。此外，在耐震能力上日本已進行相關的研究及實務案例，未來在公路工程上應是可以值得列入考量的工法。

關鍵詞：災後復建、道路崩塌、發泡聚苯乙烯(EPS)工法、時效性

一、前言

民國 104 年 8 月 8 日蘇迪勒颱風來襲，三峽熊空測站從 8 日 0 時到 9 日 8 時測得 908 毫米的豪大雨，大豹溪溪水暴漲，造成三峽區北 114 鄉道 6.2 公里處通往有木里方向道路坍方，車輛無法通行，受困民眾 700 多位。崩塌區域屬砂頁岩互層的順向坡，又位處大豹溪轉彎段之攻擊坡，導致此區預力地錨排樁擋土牆臨河側土層沖刷裸露，北 114 6K+200 處排樁崩塌至河道，造成道路長約 30 公尺寬約 12 公尺的坍塌，崩塌土方量超過 4000 立方公尺，如圖 1 所示。

[4] 和建工程顧問股份有限公司總經理(通訊作者，聯絡地址：11167 臺北市士林區承德路４段 186 號 6 樓，電話：02-2881-7880，E-mail: shua1365@yahoo.com.tw)。

圖1　北114 6K+200崩塌處(民國104年8月攝)

二、搶災工程

三峽區北 114 鄉道是通往有木里及滿月圓國家森林遊樂區的主要聯絡道路，道路中斷導致 700 多位居民受困，當地居民在無電無通訊的困境中生活，如何在最短時間內完成道路搶通成為本工程首要的目標。由於坍塌處的坡面陡峭且岩層表面破碎，採用人工鑽機在岩盤上洗孔架設鋼軌樁，施工難度非常高且進度緩慢，工程團隊研擬更換效能較大的鑽掘機配合鑽堡引孔，加派工班和機具日以繼夜趕工，終於在 8 月 21 日晚間完成搶通。工程團隊克服嚴峻地形與施工困難，完成臨時鋼便橋搶通，以最短時間解決當地居民無電無通訊的生活，並且幫助定期送醫病人及孕婦就醫；此外，道路搶通後施工車輛得以通行，縮短有木里其他災區搶災及復建的工期，如圖 2 所示。

圖2　北114 6K+200崩塌處搶通照片

三、致災原因

三峽區北 114 鄉道 6.2 公里處因颱風暴雨導致崩塌，其主要致災原因歸納如下:

1. 因蘇迪勒颱風期間帶來大量豪雨，使得大豹溪溪水暴漲，由於位處於河道轉彎段攻擊面，洪水沖刷排樁臨河側，造成北 114 線 6K+200 處之基樁外側(臨河側)之土層被淘刷掉，而下方岩層因溪水大量入滲而滑動，導致基樁失去側向支撐(主動土壓側喪失)，如圖 3 所示。
2. 崩塌區為砂頁岩互層順向坡地質，因於地表水滲入路基的回填土，體積膨脹，孔隙水壓激增，造成北 114 線 6K+200 排樁傾斜倒塌，如圖 4 所示。
3. 崩塌區位處大豹溪攻擊面旁，又因河道束縮段，加上對岸又有東鹿坑溪匯入，更加造成崩塌區之臨河側地層沖刷加劇，如圖 5 所示。

圖3　北114 6K+200崩塌處2004年與2015年臨河側覆土比較

圖4　砂頁岩互層順向坡地質及排樁倒塌之照片

圖5　崩塌區位處大豹溪攻擊面

四、復建工程

由於施工便橋的搶通，暫時解決當地居民的燃眉之急，惟後續的復建工程也必須與時間賽跑，在 105 年的颱風季節來臨之前，要能完成復建的工程。本復建工程主要分為四大部分: (1) 道路坍塌復建工程 (2)傾斜擋土牆加固復建工程 (3) 基樁沖刷裸露護岸工程 (4) 丁壩及護岸固床工程，如圖 6 所示。

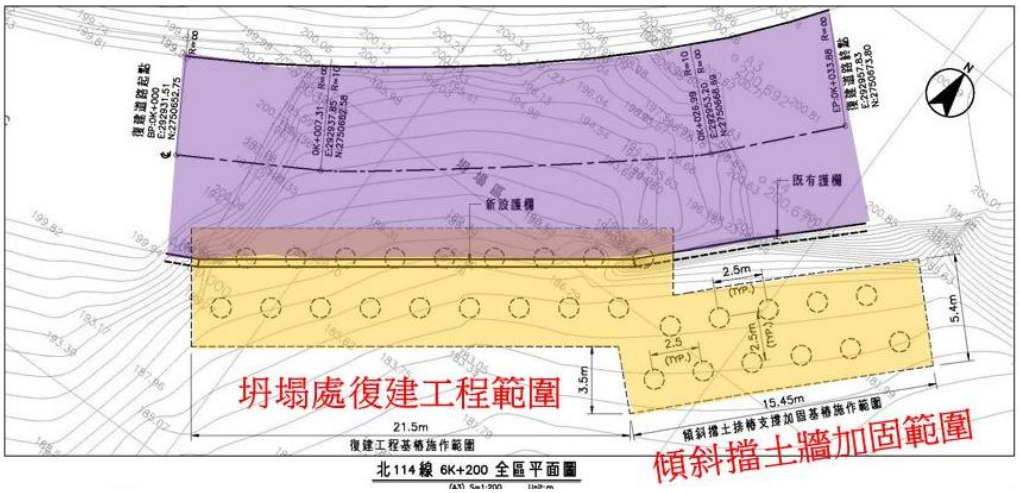


圖 6　坍塌處及傾斜擋土牆加固復建工程平面配置圖

本文主要針對道路坍塌處復建工程進行探討，其主要的設計考量如下:

1. 北 114 6k+200 坍塌處主要在河道轉彎段攻擊面，設計上必須有堅固的道路護岸，才可以保護道路的安全，延長道路的生命週期。
2. 崩塌區為砂頁岩互層順向坡地質，解決地表水滲入路基，減少土壤膨脹及孔隙水壓的問題，並留設通暢的護岸擋土牆排水路徑，減少道路擋土牆側向壓力的影響。.
3. 崩塌區為砂頁岩互層順向坡地質，減少回填土壓力，降低邊坡的承載負荷。
4. 災害復建工程需要爭取時效性，若採用傳統的回填土分層夯實，受天候及夯實工率影響很大，不易掌握完工期程。
5. 節省復建工程經費，充分利用搶災工程已有之材料。
6. 考量復建工程之安全性，工區進行監測作業。

基於以上的考量，本崩塌區的復建工程採用基樁擋土牆為護岸，背填部分採用 EPS 輕質填土工法，取代傳統回填土分層夯實的工法，如圖 7 所示。

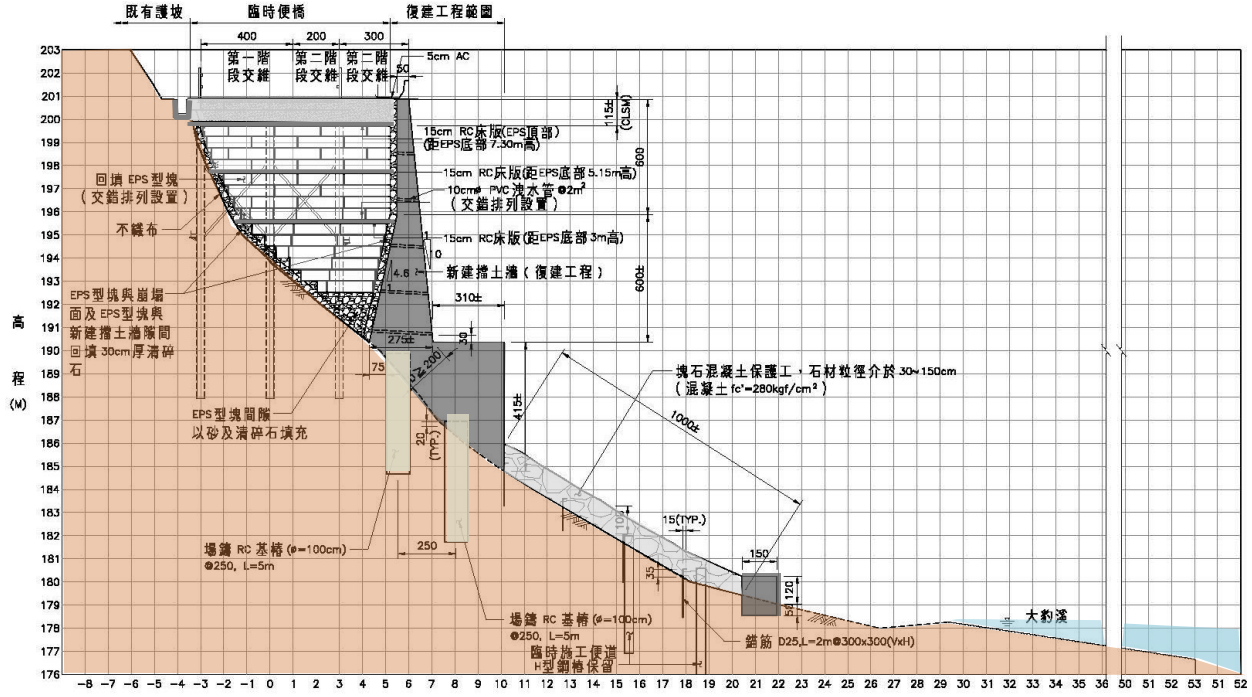


圖 7　坍塌處復建工程剖面圖

本工程為災害復建工程,因此在復建工程設計時,爭取工程的時效性顯得相當重要。由於本工程位置為有木里 100 多戶住戶往來必經之地，道路復建必須以半半施工來維持交通，採用傳統的回填土工法，受天候的影響又非常大，往往一個午後陣雨，現場回填夯實又得多花時間來解決，無法有效掌握工進。本工程實際進行回填作業在 105 年 4 月中旬到 5 月下旬，期間約 20%天數工地有下雨情形，若採用傳統的回填土工法，本工程恐無法於 6 月 6 日完竣。本工程於設計階段，顧問公司針對 EPS 輕質填土工法及傳統回填土工法就工期及工程經費進行初步比較，如表 1 所示，顯見採用 EPS 輕質填土工法可有效控制復建工程期程，初步估計可以縮短工期約 60 天，在暑假觀光旺季及颱風季節來臨前完成復建工程，這對三峽區有木里當地居民賴以生計的觀光產業，無疑有很大的助益，如表 2 所示。

表1　EPS輕質填土工法及傳統回填土工法比較

方案比較		EPS	回填土	備註
工期	工期說明	逐塊施築不必等候回填土夯實	分層分段回填(構造物回填每20C一層/路堤回填每40CM一層)受天候影響大	
	工期預估	約40天	約100天	因應交通維持半半施工，EPS工期約減少60%
工程經費(元)		335萬	250萬(含預力地錨)	EPS經費約增加34%

表2　國內主要觀光遊憩據點遊客人數月別統計表(參考交通部觀光局網站)

104/8/8 北 114 道路中斷影響游客人數

104年國內主要觀光遊憩據點遊客人數月別統計
Visitors to the Principal Scenic Spots in Taiwan, 2015

單位:人次
Unit: Persons

		縣市別 Location	1月 Jan.	2月 Feb.	3月 Mar.	4月 Apr.	5月 May	6月 Jun.	7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sep.	10月 Oct.	11月 Nov.	12月 Dec.	合計 Total
	[illegible]	花蓮縣 Hualien County			[illegible]	92,319	96526	106,578	147081	125,144	116144	115,140	107375	96,906	1,404,469
森林遊樂區 Forest Re	滿月圓國家森林遊樂區 Manyueyuan National Forest Recreation Area	新北市 New Taipei City	14,767	13,313	10838	16,482	16630	20,229	20505	5,833	0	0	0	5,011	123,608
	內洞國家森林遊樂區 Neidong National Forest Recreation Area	新北市 New Taipei City	19,898	21,735	15895	23,159	18909	23,274	25997	7,421	0	0	0	0	156,288
	東眼山國家森林遊樂區 Dongyanshan National Forest Recreation Area	桃園市 Taoyuan City	15,075	15,120	9374	15,305	14136	21,451	21652	9,690	14593	17,683	21598	11,173	186,850
	八仙山國家森林遊樂區 Basianshan National Forest Recreation Area	臺中市 Taichung City	12,884	16,652	9299	12,909	9257	11,701	13829	8,530	8588	15,683	16557	12,717	148,606
	大雪山國家森林遊樂區 Dasyueshan National Forest Recreation Area	臺中市 Taichung City	13,746	13,289	9061	13,299	11100	22,464	27160	14,517	14148	18,962	20892	20,177	198,815
	奧萬大國家森林遊樂區 Aowanda National Forest Recreation Area	南投縣 Nantou County	29,708	26,690	6194	6,017	3785	4,754	8022	5,567	7364	19,971	71431	110,187	299,690
	雲仙樂園 Yun Hsien Holiday Resort	新北市 New Taipei City	17,523	26,796	15085	20,254	19721	14,497	19363	4,580	653	946	3303	3,648	146,369
	三峽鎮大板根森林溫泉渡假村 The Great Roots Forestry Spa Resort	新北市 New Taipei City	18,297	21,984	15517	17,049	19557	16,916	18316	15,532	18990	20,925	22045	20,901	226,029

五、發泡聚苯乙烯(EPS)工法

EPS 輕質填土工法係採用化學合成材料 EPS 取代土石材料進行填土之工法，亦即利用提煉自石油中之液態單體苯乙烯，合成為固態聚苯乙烯，再摻入發泡劑後製成 EPS 型塊，可以代替一般土建工程所用的砂土填料之施工方法。EPS 俗稱發泡樹脂或保麗龍，由於具有輕質性、耐壓縮性、自立性、耐水性及施工性等特徵，歐洲自 1970 年代起即大量應用於軟弱地盤之沉陷防止對策、結構物下方之空洞填充、地層滑動防止對策、擋土牆或橋台背面之回填及公路路堤拓寬等，美國及日本亦於 1980 年代開始採用並逐漸普及化。

A.　EPS材料特性

1. 超輕質：單位重僅約一般砂土之 1/100，軟弱地盤不須改良地層承載力即無沉陷之虞。

表3　各種輕質材料之密度比較表(林利國教授，2000)

材料種類		密度 (t/m 3)
一般砂土		1.4~2.2
輕質材料	火山灰	1.2~1.6
	水淬爐碴	1.2~1.3
	煤灰	1.2~1.3
	氣泡砂漿	0.5~0.9
輕質骨材		0.35~0.8
EPS 材料		0.012~0.035

2. 耐久性：EPS 在水中和土壤中化學性質穩定不能被微生物分解，也不會釋放出對微生物有利的營養物質，亦無環境荷爾蒙，對環境的影響降低至最小。參考挪威公路管理當局文件顯示，挪威公路管理當局於 1972 年採用 EPS 工法進行路堤填築，後續

針對 EPS 材料進行抗壓強度、吸水率、材料衰減、變形、潛變、承載力等進行監測與實驗，直至 2011 年近 40 年追蹤顯示，EPS 工法並無惡化變動的情形。(Refer to "40 years of experience with the use of EPS Geofoam blocks in read construction", The Norwegian Public Roads Administration, Directorate of Public Roads)

3. 耐水性：單獨氣泡體具撥水性不易吸水，材質不致產生變化。
4. 自立性：柏松比小、自立性佳，可減低側向土壓，適用於擋土結構物之背填材料。
5. 緩衝性：單獨氣泡體能發揮優越緩衝性，具減少衝擊、震動效果，容許壓應力在 2~20 t/m^2 範圍。
6. 耐震性: 即使大地震也不會產生特別的形狀改變，自重輕慣性力小，安全性較高。參考日本文獻 2007 年發生規模 6.8 的新瀉地震，對 2005 年完工採用 EPS 工法的宮路町國道 351 號公路壁面及路面無任何變化。
7. 施工性: 可用人力搬運、設置，不須重機械。
8. 經濟性: 工期大幅縮減、減少環境衝擊、維持簡單化的管理。

表4　EPS工法之特徵及適用性(日本土木工法開發機構，1996)

特徵	工學的特性	概要	工程之適用性
輕質性	$\gamma_t = 12\sim30kgf/m^3$	■約為土砂（1.8t/m^3）、混凝土（2.35t/m^3）之1/100	■軟弱地盤 ■地滑地區
耐壓縮性	$q_u = 2\sim14t/m^2$	■壓縮應變 1%時之壓縮強度 ■壓縮強度因 EPS 密度而變化	■緩衝防護材
自立性	型塊體積 0.5 × 1.0 × 2.0m	■直立堆積之 EPS 會形成直立面 ■即使有上載荷重，側向變形仍極小	■橋台、擋土牆之回填材料 ■路幅拓寬土堤
耐水性	合成樹脂發泡體不吸水，具撥水性	■不因泡水而發生材質變化 ■設置在地下水下達 9 年時之吸水量僅 9%（體積比）	■永久的材料
施工性	輕量、易加工、易切斷、組立	■可採人力搬運及施工 ■不需重機械施工 ■採規格化之工廠製品	■可在狹窄工地施工 ■可減輕施工時之振動及噪音 ■可快速施工，可省勞力

B. 材料規格

表5　EPS材料規格

項目	試驗方法	單位	製造方法					
			模內發泡法					擠出發泡法
			D-30	D-25	D-20	D-16	D-12	DX-29
密度	CNS 2536	kg/m^3	30±2.0	25±1.5	20+1.5/-1.0 (19.0~21.5)	16±1.0	12±1.0	29±2.0
抗壓強度 1		kgf/cm^2	0.9 以上	0.7 以上	0.5 以上	0.35 以上	0.2 以上	1.4 以上
抗壓強度 2		kgf/cm^2	1.8 以上	1.4 以上	1.0 以上	0.7 以上	0.4 以上	2.8 以上
燃燒性		難燃	難燃	難燃	難燃	難燃	—	難燃
吸水量		g/100cm^2	1.0 以下	1.0 以下	1.5 以下	1.5 以下	—	1.0 以下

註:1.本案採用 D-25 之 EPS 材質。
2.CNS2536 試驗方法。

C. EPS設計

本復建工程設計階段先針對坍塌後之坡面進行穩定分析，在確認順向坡穩定後，才考慮採用基樁擋土牆護岸及 EPS 工法回填坡面。EPS 回填於擋土牆內，其單位重約為一般回填土 1/60~1/100 (一般土壤：1.8~2.4 t/m^3，本案 EPS：0.025 t/m^3)，故其作用於復建擋土牆力量較一般擋土牆小。設計擋土牆時考量 EPS、混凝土版、CLSM 及 AC 等靜載重，以及標準貨車載重(HS20-44)活載重對擋土牆之作用力，分析其作用力採有限邊坡分析模式，考量整體的的下滑力對擋土牆影響，其分析作用力如圖 8 所示。

除了整體的穩定分析外，設計階段需考量施工中及完工後其抗浮安全度的檢核、EPS 型塊承載能力的檢核以及沉陷量的檢核，以符合設計需求。

本工程採用長 2.0m 寬 1.0m 高 0.5m 規格 D-25 之 EPS 型塊，每隔 2~3M 設置 15cm 厚 RC 版，其目的在於分散上部載重，抵抗上浮力及修正 EPS 型塊設置產生之不平整；另回填最上層考量 EPS 型塊之抗壓強度採用 115cm 厚之 CLSM，除了可分散集中應力並可防止有機溶劑滲入，危害 EPS 回填。

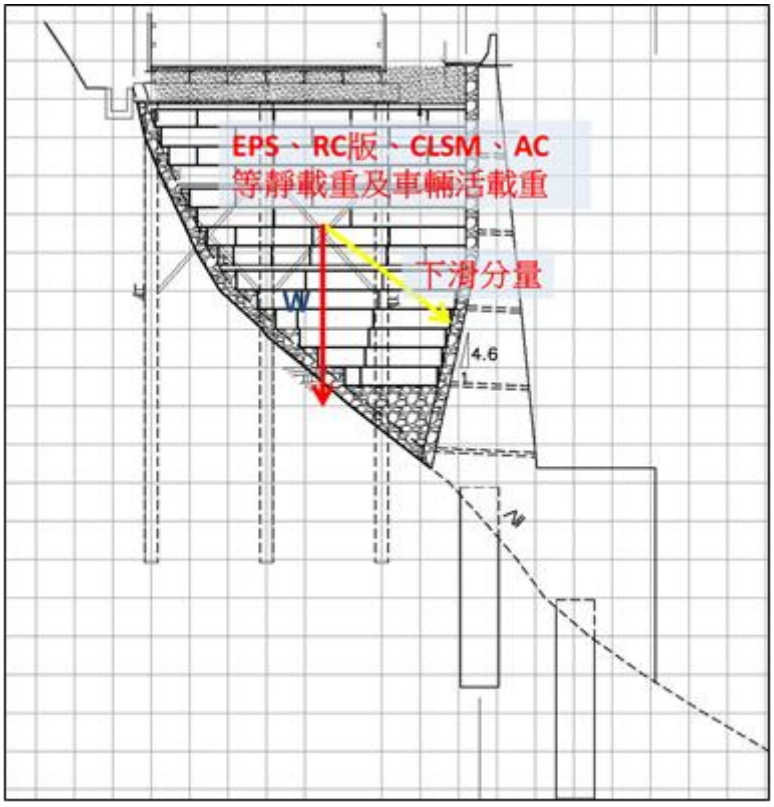
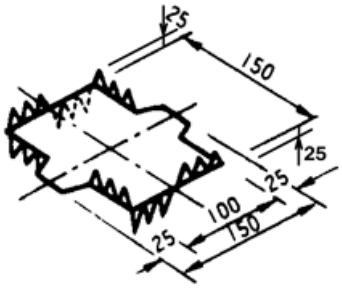


圖8　復建擋土牆分析作用力示意圖

D.　EPS施工方法

採用 EPS 工法施工回填坡面必須先維持邊坡穩定且無積水的情況下才能進行。EPS 填方底部亦即施工基面的調整一般使用鋪砂或碎石進行，施工基面整平後，再進行 EPS 型塊填築，填築時應維持各層 EPS 型塊頂部平整，於不規則區域或曲線區域填築 EPS 時，周邊空隙應使用碎石進行充填，EPS 回填邊坡在周邊交界面使用碎石充填，可以確保回填區邊坡排水路徑之通暢，避免過高的孔隙水壓。

EPS 型塊填築接縫位置不得設置於相同橫斷面或縱斷面，且須以連接器進行連接，連接器係將 EPS 型塊加以上下層相互結合之五金零件，其材質為鍍鋅鋼板或鍍鋅鋁鋼板或不銹鋼板，本案採用不銹鋼板雙面爪型，如圖 9 所示，其設置之數量依據規範如表 6 所示。



(雙面爪型)

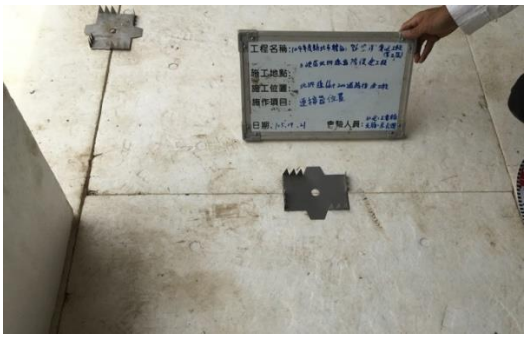


圖9　EPS型塊連接器圖

表6　連接器之設置數量表

條件	個數	參考型塊尺寸
EPS 每 $1m^3$	2 個	2,000mm×1,000mm×500mm
經工地切割之型塊為每 1 型塊至少使用 1 個		

EPS 型塊之現地切割應使用熱金屬線進行，確保型塊之平整。與 EPS 接觸面之土質應特別注意，不可含超過 5cm 粒徑以上之卵(礫)石，以免貫入破壞 EPS 型塊。EPS 工法施工過程中應特別留意火源及積水上浮的問題，2014 年高鐵新增彰化車站工程曾發生 EPS 施工區域發生火災，雖然 EPS 型塊有難燃性，一離開火源就熄火自滅，惟現場除 EPS 型塊外尚有其他助燃劑，其火勢一發不可收拾，期間還延誤高鐵列車 9 個班次；此外，在高鐵彰化車站亦曾發生 EPS 工區積水，導致已組裝好之 EPS 型塊變形及 RC 版開裂等破壞，所以 EPS 工法施工不可不慎。

就本工程 EPS 工法影響現地鋪築施工及保存應注意事項整理如表 7 所示；另將 EPS 工法施工過程的照片節錄於後，如圖 10 所示。

表7　EPS工法施工注意事項

項次	項目	注意事項	本案作為
1	熱特性	施工中或完成後均不得接近火源	施工現場不得有任何火源，並且準備滅火器。
2	耐藥性	應避免汽油或重油等溶劑	施工現場禁止任何汽油等溶劑。完工後瀝青鋪面至 EPS 中間為 CLSM，並有 RC 床板可有效阻隔油污滲入。
3	耐候性	應避免長時間之紫外線照射	材料堆疊時放置於陰影處及用帆布覆蓋，以阻隔紫外線照射。完工後 EPS 埋設在擋土牆、AC 及 RC 版中，不會受到紫外線照射。
4	抗浮力	設計時應考慮施工中及完工後 EPS 浮力之作用	設計時結構計算已檢核過抗浮力。設置三層 RC 床板增加平整度及抵抗浮力。
5	平整性	EPS 型塊填築相鄰間隙應在 20mm 以內；段差在 10mm 以內	本工程EPS鋪築每層皆須檢查其間隙及段差，相鄰間隙及段差皆在標準範圍內，且設置三層 RC 床板增加整體的平整度。

圖10　EPS施工過程圖

六、討論與建議

本工程地質屬砂頁岩互層的順向坡，又位處大豹溪轉彎段之攻擊坡，採用 EPS 工法可以減少既有邊坡承載之負荷、降低回填土方之側向力、縮短整體復建之工期，並可減少施工機具的使用，降低構造物的設計量體，對節能減碳上亦有相當的貢獻。

國內目前尚未廣泛採用EPS工法,尤其在台灣地區地質條件複雜,往往在軟弱地盤、陡峭邊坡構築道路等構造物，EPS 工法應是很適合的工法，利用 EPS 材質特性，可以妥善解決工程問題，爭取復建工程的時效性。

七、致謝

本案可於 105 年 6 月 6 日竣工，感謝和建工程顧問股份有限公司陳宣樺技師、監造工程師羅家任，施工廠商北翰營造有限公司蕭柏輝，讓工程得以順利完成，特致謝意。

參考文獻

[1] 林利國，「EPS輕質填土材料在邊坡穩定之防災應用與施工管理」，地工技術, 第94期（民國91年12月）。

[2] 佐木健司、洪誼錡，「日本EPS土木施工方法的概要和設計、施工實例」,The 1st International GSI-Asia Geosynthetics Conference Taichung, Taiwan, Nov. 16~18,2010。

[3] 何泰源、洪誼錡、佐佐木健司，「EPS土木施工法之最新發展現況及案例介紹」,第十五屆大地工程學術研討會(Geotech 2013) 。

[4] The Norwegian Public Roads Administration, 「40 years of experience with the use of EPS Geofoam blocks in roaf construction」。

[5] 台灣EPS協會，「EPS土木施工法之設計與施工」，臺北市政府大地工程處技術座談會。

[6] 何泰源、吳文隆、詹穎裕,「洲美快速道路堤防段工程應用EPS輕質填土案例探討」，中華技術第68期。

[7] 朱登子、賴永塑，「EPS輕質填工法於高鐵新增彰化及雲林車站之應用」，台灣高鐵。

[8] 黃景川、呂秀崑,「超輕質EPS填方路堤之施工與成效」,地工技術期刊(民國88年) 。

[9] 林利國、蔡振裕、陳福勝、何泰源(2001)，「EPS之工程性質與其在路基回填之規劃設計」，中華民國第九屆大地工程學術研討會。

[10]朱登子、賴永塑，「EPS輕質填工法於高鐵新增彰化及雲林車站之應用」。

[11]李振卿、林志棟，「永續公共工程山區道路指標」，國立中央大學民國101年博士論文。