



International Geosynthetic Society 土工合成材料於鐵道之應用



土工合成材於鐵道之應用

使用土工合成材料於軌道底層施工或更新替換，以減少或替代傳統填土層，在世界上已廣被採用。當正確地選用並安裝土工合成材料時，它已被證明能：

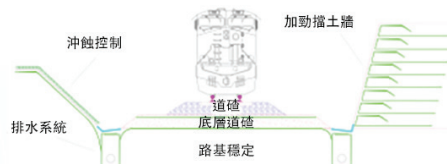
- 提高鐵路軌道性能。
- 顯著地延長設計壽命。
- 減少特定長度軌道更新所需的施工時間(或在固定維修時間內可更新更多的軌道)
- 降低整體材料成本。

許多國家相當依賴鐵路進行大宗商品運輸和旅客服務，並且由於需求不斷增長，近年來推出了更快、更重的火車。來自貨物拖運和客運列車的反覆載重，通常會導致軌道逐漸惡化。道碴層的過度變形與劣化、以及軟弱、壓縮性的路基土壤的噴泥與過度差異沉陷等現象，將造成高度頻繁且昂貴的軌道維護工作需求。正確理解載重傳遞機制及其對軌道變形的影響，是減少維護成本的先決條件。

軌道的設計應能承受列車的反覆載重，以保護路基土壤免受漸進式剪切破壞和過度塑性變形的影響。軌道設計還應考慮道渣顆粒破碎對道渣劣化的影響，以及後續對軌道變形的影響。土工合成材料應用於改善軌道穩定性和降低維護成本已得到充分證實。

土工合成材料可以應用於新軌道建設或修復工程中，具備如下之功能：分離不同粒徑分布的材料、過濾、排水、基礎加固

和土壤穩定。在鐵路建設中，土工合成材料可安裝在道碴層或底層道碴內或其下方。



Scheme of main applications of GSY in railways

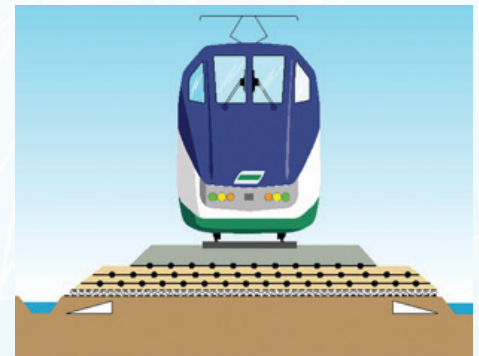
以下將強調道碴和/或底層道碴內和下方使用土工合成材料之說明。在此項用途中，常用的土工合成材料包含：土工織布、土工格網、土工複合材料和土工格室。通過土工織布、土工格網或土工格室使軌道穩定，可顯著地減少應力向下傳播，並確保更具恢復性的長期表現。土工複合材料將穩定、排水、過濾、分離等功能集於一身，從而減少縱向和側向變形。

加勁邊坡/擋土牆、沖蝕控制，和於軟弱土壤上鐵路路堤基礎加固等工法，可詳見於相關規範文件，在此不討論。

鐵路通常建在軟弱土層上。鐵路路基在承受載重方面，呈現出獨特的特點：單列列車可能在幾秒鐘內可產生數百個輪重負載，即一列列車能產生快速、重複和循環的載重；載重首先從軌道分配到軌枕，然後從軌枕分配到道碴 (ballast)，最後從道碴分配到路基(subgrade)；載重總是施加到同一區域。此類載重對軟弱土壤的影響是產生永久沈陷和差異沈陷，這可能會迅速降低鐵路的品質。土工合成材料可用於穩定鐵路基礎，以減少沈陷並延長鐵路使用壽命。



未使用土工合成材於軟弱土層上的鐵道



使用土工合成材於軟弱土層上的鐵道

分離與過濾

火車在軌道上通過會導致軌枕移動，結果，來自路基的細料可能被擠入上方的粗顆粒層 (granular layer)內，因而降低其強度和排水能力。當道碴直接放置在粘土或粉土質路基上時，有可能在道碴/路基界面處形成泥漿；尤其是在地層有下陷或凹坑的情況下。列車定期的往復通過將導致道碴/路基界面處的振盪，而擾動下方的粘土/粉土，致使界面處凹坑的積水最終與顆粒形成泥漿。隨著道碴反覆受剪膨脹，泥漿被吸入道碴孔隙中，當道碴變形收縮時，泥漿則被向上擠壓噴出。



International Geosynthetic Society

土工合成材料於鐵道之應用



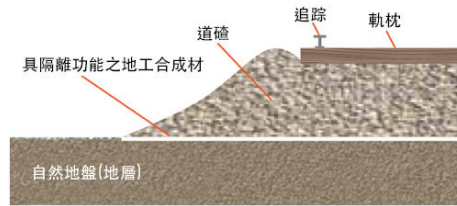
這種快速周期性的效應驅動粘土/粉土顆粒逐漸地向上被擠壓入道碴。針對上述問題，傳統的解決方案為使用具級配之底層道碴(graded sub-ballast)、或將砂層(sand blanket)覆蓋鋪設在路基層上方作為過濾分離層，以防止噴泥的發生。除了上述的傳統方案外，土工合成材料提供了另一種合理的替代方案。

不同於砂土，土工合成材料體積密實有利運輸，且可快速鋪設於道碴上。其材料特性可經由工廠製程控制，不同於砂土，需沿著軌道鋪設正確且一致的厚度。此外，當使用土工合成材料代替覆蓋砂層時，可以減少填土挖除與棄土之處理。

土工合成材料(通常是土工織物或土工複合材料)可以有效地用於分離具有不同粒徑和特性的軌道支撐層。

此外，土工合成材料可以減少粒狀土壤顆粒貫入到軟路基中，從而保持此粗顆粒層 (granular layer) 的厚度與完整性，並增加軌道壽命。為了提供上述功能，土工合成材料必須能夠抵抗集中應力(撕裂、刺穿和脹裂)，並且孔徑大小要與保留的材料顆大小相對應。

從路基流入上方覆蓋顆粒層的水流可能會攜帶來自路基的細粒料(fines)。產生這種情況的原因，係由於列車通過導致路基中的應力增加，而發生噴泥(pumping)現象。在這種情況下，土工織布可以充當過濾層，允許水自由通過，同時保留路基材料顆粒。為了實現過濾功能，土工織布必須具有足夠的滲透性和保留性能，並能抵抗堵塞。

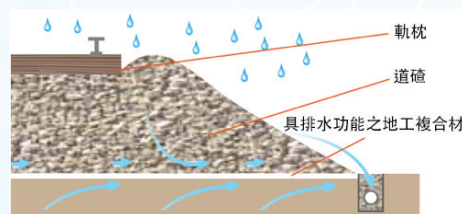


高張力土工格網之一例

排水

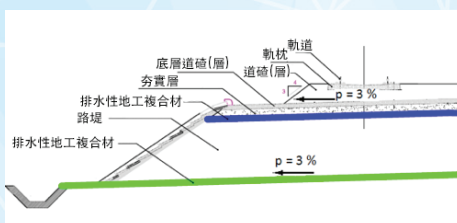
由於降雨導致水從軌道面滲或水從路基流入道碴層，會引起軌道功能惡化，因此良好的排水對軌道至關重要。在軌道結構的相關點位安裝排水土工複合材料(GCD)可以為整體軌道結構提供排水功能，並防止積水。

在此應用中，土工複合材料必須具有足夠的排水能力，並能抵抗力學性損壞。



高張力土工格網之一例

GCD 可以放置在鐵路路堤的頂部(通常在底層道碴或夯實層下方)或路堤底部在上述兩種情況下，通常都提供 2.00 - 3.0% 的橫向坡度。因此，GCD 中水流的水力梯度為： $i = 0.02 - 0.03$ 。



典型的鐵路橫截面，排水性土工複合材料(GCD)可放置在路堤的底部和/或頂部

當 GCD 被放置在鐵路路堤的頂部時，在滾壓夯實的過程中，GCD 會承受數個週期性的重壓(非常高的壓力，大約 500 kPa); 而在之後的服務年限間，GCD 會承受數百萬次週期性的低壓載重。因此，應用於鐵路軌道之 GCD，其排水速率應在低水力梯度的動態條件下測量，因為採標準靜態測試條件測定之流速，可能會高於實際之流速。

當 GCD 放置在路堤底部時，相對於火車輪重荷載產生的壓力可以忽略不計，土體自重產生的靜荷載將主導 GCD 的行為。因此，當 GCD 放置在鐵路路基底部時，要考慮的荷載是長期靜載重，而列車輪重產生的動態載重貢獻可以忽略不計。



在鐵路路堤基底部安裝排水用土工複合材料。在此情況下，橫跨整個路堤安裝 GCD

必須指出的是，GCD 不僅提供排水功能，還提供過濾和分離功能。此外，排水濾心形成足夠厚的孔隙空間，對水的表面張力構成不可逾越的屏障，從而充分防止毛細現象和細粒料噴入顆粒層。

地盤穩定

列車車輪荷載始終處於同一位置，每列列車通過時會產生快速的週期性負載-卸載(加壓和減壓)循環，導致軟弱土壤變形，進而造成鐵路(軌道)結構快速



International Geosynthetic Society

土工合成材料於鐵道之應用



劣化；負載 - 卸載循環使細粒料從路基向上噴入道碴，從而迅速失去其摩擦性質；然後軌道發生橫向和縱向變形，所有鐵路線的平均速度降低。

通過基礎的穩定，所有的變形都將被減少到最小，鐵路(軌道)結構可以在不降低速度的情況下承受更多的通過次數；在路基界面放置排水用土工複合材料可以完全消除噴泥效應。

人們普遍認為土工合成材料(特別是土工格網和土工格室)可以為道碴層和底層道碴提供穩定性和橫向圍束。

土工合成材料所提供的橫向圍束作用在鐵路應用中尤為重要，因為粗顆粒的側向(橫向)位移是造成底層道碴和道碴層沉陷的主要原因。然而，土工合成材料的加勁特性也很重要，尤其是在軟路基上施工時：

剛性愈高之粒料可更有效地將載重分佈到底層土壤上，從而減少動態位移(單一荷載循環期間的軌道垂直變位)和因路基壓密所引起的鐵道(軌道)長期沈陷量。

根據所需的效益，用於穩定作用的土工合成材料可以放置在道碴內、在道碴層的界面處，和/或直接放置在路基上；當土工合成材料放置在道碴層底部或道碴內時，其主要的好處是可延長維護週期，亦即道碴清潔和更換道碴之間的週期時間；當使用土工格網或土工格室來穩定底層道碴時，主要目的是增加路基有效承載能力，亦即穩固底層道碴系統。



使用土工織布-土工格網之土工複合材料直接鋪設於軟弱路基上，可提供分隔、過濾和穩固效果

粘土顆粒甚至可被擠噴到路基表面上 1 m之處。

當鐵路(軌道)結構直接放置在軟弱路基上時，很容易產生細粒料的噴泥現象。在這種情況下，通常需要利用土工合成材料分離和過濾功能來穩定土壤；為此



合併使用土工格室、土工格網和土工不織布於穩定鐵路軌道

目的，可以將特定的土工複合材料(土工織物-土工格網)直接鋪設在軟弱路基上，以提供上述三種所需的功能。

同時結合使用土工格室、土工格網進行側向圍束和穩定土壤，及土工不織布進行分離和過濾，是一種已被證明具有高性能表現的解決方案。

基於實驗室測試結果和在世界各工程中使用土工合成材料於穩定土壤上的豐富經驗，有穩定功能之土工合成材料可提供以下優點：

(a) 透過穩定土壤的功能，可以降低軌道永久沈陷的速度，特別是在軟弱路基上時。

(b) 經由土工合成材料提供的加勁效應，可以減少在單次加載循環中軌道的彈性變形。

(c) 由土工合成材料提供的穩固效益，可以延長軌道維護週期。

(d) 應用土工合成材料於軌道穩固，可以減少初始興建成本和長期維護成本。

介電土工膜

在某些情況下，特別是當電力由軌道供電時，可能需要確保沒有零星的電流從軌道到達站台地面，而影響在站台上等候的乘客。

在這些情況下，通常規範每 10,000 V 的最小介電值為 $1000 \Omega/m^2$ 。用特定聚合物生產的介電土工膜可提供高介電性能，並能夠提供高度的電氣保護。

有時需要使用土工織布來加強保護介電土工膜，以避免在安裝和使用過程中損害介電土工膜的完整性。

介電土工膜的電性能包括：介電強度、介電常數、耗散因數和體積電阻率。

土工合成材於鐵道

如果正確選材和安裝，土工合成材料可以提高鐵路的性能，增加其使用壽命和維護週期的間隔。



International Geosynthetic Society 土工合成材料於鐵道之應用



關於國際土工合成材料學會 (IGS)

國際土工合成材料協會 (IGS) 是一個非營利性組織，致力於土工織物、土工薄膜、土工合成相關產品和相關技術的科技和工程應用研發。IGS透過電子報 (IGS News)、二本官方期刊 (Geosynthetic International 和 Geotextiles and geomembranes)、國際會議和技術研討會、專門工作小組、40多國在地分會、特刊出版物、以及其他多種宣傳和擴大服務等方式，促進及推廣土工合成材料相關技術及應用成果。

免責聲明：本文件所提供之訊息已經通過國際土工合成材料協會教育委員會的審核，並且客觀的認為符合當前技術現況。然而，國際土工合成材料協會不負因使用本短文資訊而引起的任何責任。

可引用本短文資訊，但須明確說明來源。

聯繫我們

IGSsec@GeosyntheticSociety.org
www.GeosyntheticSociety.org