

資料文件

立法會
發展事務委員會

橋樑路面變形

目的

本文件告知各委員有關西九龍快速公路高架道路、汲水門橋、馬灣高架道路及汀九橋部分路面過早變形的成因及其修補工程。

背景

2. 上述四條橋樑，是組成連接赤鱸角香港國際機場與香港各處運輸網絡的一部份。於一九九七年及一九九八年通車後不久，有報告指出部分路面出現變形的情況。審計署曾就此事進行調查，並於二零零三年三月發表第四十號報告書的第七章，建議路政署向前環境運輸及工務局和立法會提交詳細報告，闡釋路面過早變形的成因及已採取的修補工程。路政署經詳細調查，並進行各項實驗室及實地測試後，完成了關於過早變形成因的技術報告。這報告現載於附件。其重點概括如下。

路面過早變形的成因

3. 上述四條橋樑採用的建造方法，是將預製塊件吊放或曳進到預定的位置並聯接起來。之後在橋板上鋪設瀝青作行車路面。為了防止水分從瀝青面層及預製塊件間的接縫滲入橋樑，以致鋼筋及預應力鋼筋束被侵蝕，除了一般的防侵蝕措施外，橋板上亦敷設了防水膜，提供額外的防護。瀝青面層與防水膜之間，需要敷上一層黏結層，以提供足夠的黏結力。圖1顯示了該些橋樑的典型切面圖，以供參閱。

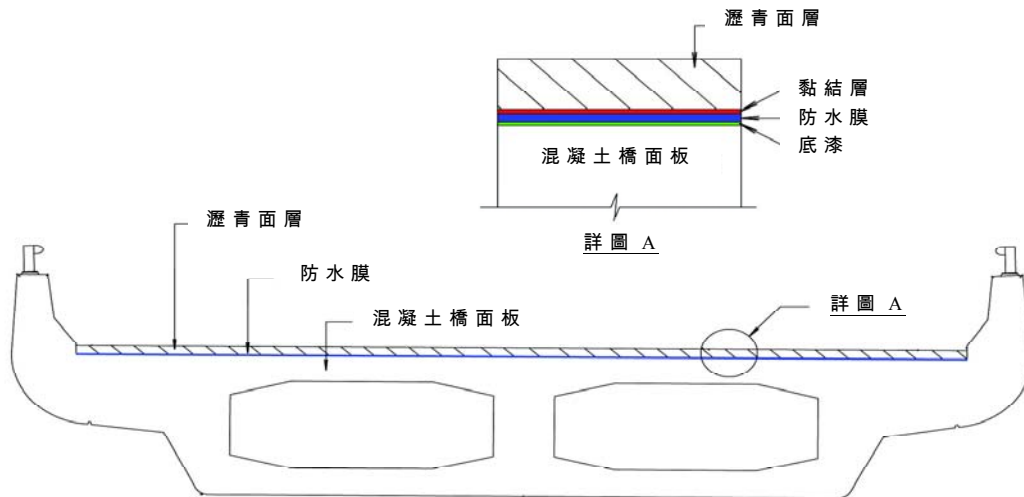


圖 1 - 混凝土橋樑上的瀝青面層和橋面板防水膜的典型切面圖

4. 路政署於一九九八年十一月，委託香港大學(港大)就上述問題進行調查。調查報告於一九九九年完成，港大推斷導致變形的兩個最主要因素為：

- (i) 防水膜與瀝青面層之間的黏結力低，及
- (ii) 瀝青面層受水分飽和。

報告建議當局作進一步的實驗室和實地測試，以考證這些推斷。

5. 路政署透過二零零二年四月展開的昂船洲高架道路工程合約，進行了港大所建議的實驗室及實地測試。實驗室測試於二零零四年進行，而實地測試則於二零零五年二月至二零零六年二月進行。此後，於二零零六年二月至二零零七年五月期間，路政署在元朗建造中的一條橋樑上進行另一項實地測試。

6. 上述測試確認了港大的調查結果並顯示：

- (i) 如果瀝青面層的厚度不足及沒有妥善敷設黏結層，防水膜與瀝青面層之間的低黏結力可導致瀝青面層過早變形；
- (ii) 如果瀝青破裂了，瀝青面層受水分飽和後，可導致瀝青面層過早變形；及
- (iii) 在建造上述四條橋樑時，位於防水膜及瀝青面層之間的黏結層可能受到污染或損壞。

7. 傳統鋪設瀝青的方法一向效果良好。在沒有防水膜的情況下，即使黏結層損壞了，瀝青面層與混凝土橋板之間仍有足夠的黏結力。

8. 當加上防水膜後，情況便會改變。在黏結層損壞之處，瀝青面層會失去與下面防水膜間的黏結，導致瀝青面層在交通負荷下移位及破裂。裂縫讓水分滲入及積聚於瀝青面層內，引致進一步的破壞。估計這是導致該四條橋樑瀝青面層過早變形的成因。

修補工程

9. 路政署在橋樑面層變形的地方，已即時修補妥當。

10. 在一般正常使用情況下，橋樑瀝青面層的壽命大約有五年。在該四條橋樑的瀝青面層於二零零二年至二零零四年間達到使用年限後，路政署重鋪面層，並趁機檢查被露出的防水膜，更換鬆脫的部分，及在其餘部分敷上經改良的黏結層。

11. 自從重鋪橋面後，這些橋樑瀝青面層一直保持良好狀態。在定期檢查時，路政署並無發現任何變形或預製塊件間接縫出現滲水的跡象。

未來路向

12. 在橋板上敷設防水膜，是一種發展中的技術。路政署會繼續留意最新發展及國際上的最佳施工方法，同時亦會參考從大規模實驗室和實地測試所得到的經驗，編寫和公布防水膜的應用指引。

13. 這指引將會涵蓋防水膜系統和瀝青物料的選擇、防水膜和瀝青面層之間所需的黏結強度、及瀝青面層所需厚度的評估。指引亦會參載近年防水膜施工方法的成功例子及相關的品質控制措施，以減少防水膜及黏結層受破壞的情況。

徵詢意見

14. 請各委員察悉本文件內容和隨附的詳細技術報告。

發展局

二零零八年二月

橋樑路面變形

引言

在九十年代，當局建造了數條橋樑，以組成往來赤鱸角香港國際機場與香港各處的運輸網絡。以下四條橋樑在一九九七年和一九九八年通車後不久，便有報告指出有部分路面出現損壞變形的情况：

- a. 西九龍快速公路高架道路(現時稱為西九龍公路)；
- b. 汲水門橋；
- c. 馬灣高架道路；以及
- d. 汀九橋

2. 審計署曾就此事進行調查，並於二零零三年三月發表的第四十號報告書的第七章公布調查結果。審計署向路政署提出的其中一項建議是向前環境運輸及工務局和立法會提交詳細報告，闡釋引致該四條橋樑路面過早變形的原因，以及就這個問題而採取的補救行動。本報告闡述路政署所進行的調查和結果，並說明本署曾採取什麼行動以補救這四條橋樑的路面過早損壞情况。

背景

3. 自從八十年代末以來，當局採用分段預製施工法在香港興建了許多長跨度的混凝土橋樑。用這種方法建造的橋樑，是以預應力鋼筋束把多個預製鋼筋混凝土塊件穩固地聯接。其優點是塊件都是在橋樑工地以外的地方鑄造的，然後才吊放或曳進所需的位置，期間無需架設大型臨時棚架，阻礙橋下的地面交通。西九龍快速公路高架道路和馬灣高架道路都是採用這種方法建造的。汲水門橋和汀九橋則與這兩條橋樑略有不同。這兩條橋樑採用鋼結構，並以預製混凝土板作為橋面板。當塊件架設妥當後，便在橋面板上鋪上包含幾個不同疊層的瀝青面層作為行車面層。而這些面層可在有需要時維修更換。由於塊件或橋面板之間有接縫，所以滲入瀝青面層的水分可能會滲入塊件之間的接縫。如果不採取妥善的防腐蝕措施，鋼筋和橋樑結構中的預應力鋼筋束都會被侵蝕。

4. 為此，我們採取了多項防腐蝕措施。我們以套管包着預應力鋼筋束，再把英泥灌漿注入套管中，以填滿預應力鋼筋束四周的空隙。鋼筋則埋藏於足夠深度的混凝土中，以防禦滲入混凝土面層收縮裂縫的腐蝕性物質；而組件接縫則以環氧樹脂密封，以防滲水。除了這些防腐蝕措施外，一些橋樑設計者認為可在鋪上瀝青面層前敷設防水層，以提供多一道防腐蝕防線。載於附錄的圖 1 顯示具備防水膜和瀝青面層的橋面的典型切面圖。

5. 在設計上述四條橋樑時，英國和歐洲都廣泛採用液體敷設式聚合物防水膜。與其他類型的防水膜比較，這種防水膜被認為是防水性能較佳的一種。其用法是先於在混凝土面板上敷上底漆，然後在表面噴上聚合物防水膜，再敷上一層黏結層，為防水膜與上面的瀝青面層製造黏結力。四條有關橋樑皆採用這種設計。不過，這四條橋樑啓用後不久，部分瀝青面層出現損壞變形。載於附錄的圖 2 顯示汀九橋瀝青面層過早變形的典型情況。

調查

6. 一九九八年十一月，路政署委託香港大學(港大)就路面過早變形的問題進行調查。整體而言，這是一項桌面性質的研究。

7. 研究報告謂有多個因素導致橋面過早損壞，並認為最重要的兩個因素是防水膜與瀝青面層之間的黏結力低，以及瀝青面層內的水分飽和。該研究報告亦說明路面變形情況只在這四條瀝青面層較薄的橋樑出現。就這四條橋樑而言，防水膜和瀝青面層之間的黏結須依靠黏結層。研究報告又指出，提高黏結層的應用量可增強黏結力，而黏結層可能在鋪路工作進行期間被建築工程車輛污染或損壞。至於汀九橋，則受到一個特殊因素影響 — 該橋樑通車後部分重型車輛嚴重超重。

8. 研究報告建議當局進行連串實驗室測試，以研究在不同溫度和濕度當中，瀝青面層與防水膜之間的黏結情況。報告亦建議當局進行實地測試，以蒐集瀝青面層與防水膜的實地表現數據。

修補工程

9. 在四條有關橋樑的橋面板進行的修補工程共有兩類：第一類是由承建商進行，以修葺在建造工程完成後不久便變形的地點；第二類是由路政署進行的專責修葺工程，以修補有關橋樑在通車一段時間後局部地點因交通而磨損的瀝青路面。

10. 在這些高速公路上，瀝青面層的最上層是多孔面層。其作用是防滑，令車輛在下雨時也不會打滑。由於這一層比較多孔，所以不及普通瀝青物料耐用。在正常情況下，大約每五年便須更換一次。因此，在二零零二年至二零零四年期間，四條有關橋樑都進行了首次正常重鋪路面工程。

11. 重鋪路面工程包括刨去多孔面層和下面的瀝青層。在工程進行期間亦會檢查露出的防水膜和更換鬆脫的部分。為了能盡量減少對

交通造成的影響及盡快重開行車線，鬆脫的防水膜均以施工時間較短的瀝青防水系統取代。如原有防水膜完整無缺，便會在重鋪路面前敷上經改良的黏結層，增強其黏結力。考慮到港大的研究結果，當局亦藉此機會增加汀九橋瀝青面層的厚度。

12. 自從重鋪路面工程完成後，這些路面一直運作良好。當局定期檢查四條有關橋樑，期間並無發現任何變形或橋面板接縫滲水的迹象。

研究和結果

13. 基於港大在一九九九年完成的研究，採用聚合物防水膜時，須審慎挑選橋面板瀝青面層系統，尤其須研究面層的厚度和防水膜與面層之間的黏結力。要取得更多有關本地應用這類防水膜的資料，實驗室測試和實地測試是必需的。至於瀝青面層內的水分飽和問題，則須建造試板用作測試瀝青面層在有排水和沒有排水的情況下的實地表現。

14. 在當時，昂船洲高架道路合約是下一個顧問公司建議使用聚合物防水膜作為防腐蝕措施的主要混凝土橋樑。藉着這次機會，合約中曾進行大量實驗室測試，以研究合約中建議考慮的三種聚合物防水膜的性質及其與瀝青面層的黏結力。此外，路政署也為四條有關橋樑之前所使用的聚合物防水膜進行同樣的測試。

15. 在二零零四年，有關方面曾就大約 3000 個樣本進行逾 600 項實驗室測試。測試包括研究在不同情況下和使用不同黏結層時，各種防水膜和兩種瀝青物料之間的黏結力。在建議考慮的三種防水膜當中，只有一種能通過所有防水膜性能測試，但沒有一套防水膜和瀝青物料組合能完全符合合約就防水膜和瀝青面層之間的黏結力所訂定的規範。至於在四條有關橋樑之前所使用的防水膜，則通過差不多所有防水膜性能測試，而且如配合經改良的黏結層，其黏結力會比合約規定的強。

16. 以下是有關聚合物防水膜和瀝青面層之間的黏結力的測試結果：

- a. 黏結力會隨着測試溫度上升而減弱；
- b. 黏結力不受測試濕度影響；
- c. 沒有防水膜時，瀝青面層和混凝土橋面板之間的黏結力較強。但如使用原本敷設在四條有關橋樑的防水膜並配合經改良的黏結層，則其黏結力會比以上的黏結力更強；

- d. 增加黏結層的厚度能加強一些防水膜和瀝青物料組合的黏結力。這顯示把黏結層的使用量調校至理想水平時，可增強黏結層的黏結力；以及
- e. 在建造樣本期間，觀察到在鋪設瀝青路面時，黏結層於一些位置被建造機械所損壞，及這些樣本在實驗室測試中，均顯示極低的黏結力。黏結層被建造機械所損壞，是當時所採用的傳統鋪設瀝青面層方法的固有弱點。相比之下，在混凝土表面直接鋪上瀝青面層，由於混凝土表面較粗糙及可吸收部分瀝青，所以即使沒有黏結層，黏結力仍然較高。因此，在沒有防水膜的混凝土面板上，同樣的黏結層損毀，不會造成路面過早變形。載於附錄的圖 3 顯示在建造樣本期間黏結層受損壞的地方。

17. 實驗室測試結果顯示，防水膜與瀝青面層之間的黏結力強弱，取決於所使用的黏結層的性質。承建商建議採用的幾種黏結層，一概未能達到合約訂明的黏結力要求。不過，如使用之前在四條有關橋樑所敷設的防水膜，並配合經改良的黏結層，其黏結力會比合約規定的更強。此外，從實地觀察中又可得悉，更嚴格地控制工地作業以防止黏結層受損，也是保持黏結層黏結力的重要因素。

18. 此外，在昂船洲高架道路的合約下，亦進行了一項涉及七塊試驗面板的實地測試。測試地點是貨櫃碼頭南路的一段新改道路面。進行這項試驗，旨在示範實地敷設防水膜的方法，以及評估在實際交通負荷下，防水膜與混凝土面板和瀝青面層之間的黏結力的長期表現。上述試驗面板是由合約建議採用的三種防水膜配合厚度由 50 毫米至 120 毫米不等(不包括多孔面層的厚度)的瀝青面層製成的，其排水情況亦各有不同。瀝青面層設有接駁至電腦的應變儀，以讀取與路面變形有關的實地量度數據。載於附錄的圖 4 顯示在昂船洲高架道路合約下建造試驗面板的情況，而圖 5 則顯示電腦裝置。此外，在另外兩份同期的橋樑合約下亦有建造試驗面板，以評估其他聚合物防水膜和瀝青物料組合的實地表現。

19. 所有試驗面板均受到連續 12 個月的監察，以評估它們在不同季節氣候變化下的實地表現。除了在昂船洲高架道路合約下建造的一塊只有 50 毫米厚的瀝青面層的試驗面板 (見附錄的圖 6)，上述期間並無發現路面變形的情况。

20. 從實地測試的監察過程中可以得知：

- a. 在夏天，於防水膜與瀝青面層的介面和接近瀝青表面的位置錄得的最高溫度分別為攝氏 38 度和 46 度；在冬季，於相同位置錄得的最低溫度分別為攝氏 13 度和 12 度；

- b. 在溫度造成的影響方面，夏天的應變讀數變化相對很大。由於瀝青面層在溫度較低時會變得更堅硬，所以在低溫時因溫度轉變而引起的應變讀數變化較為輕微；以及
- c. 在 12 個月試驗期的後半部分，錄得的應變讀數相對穩定，並無重大波動，而溫度變化亦只造成輕微的波動。因此，我們可作出的結論是：在試驗期結束時，瀝青面層只出現極輕微的變形情況。基於上述結論，我們推斷瀝青面層和防水膜之間的黏結狀況在為期 12 個月的試驗期結束時大致上保持完整。在這段期間進行的詳細目視檢查，並無發現路面有任何嚴重的凹凸不平之處或車轍。這些事實足以支持上述結論。

21. 實地測試的結果顯示，雖然防水膜與瀝青面層之間的黏結力強度比訂明的要求低，但只要橋面板面層厚度足夠，仍能運作良好。而排水試驗面板和不排水試驗面板在表現方面並無差異。由此可見，只要瀝青面層完整無缺，便不會出現因面層內水分飽和而導致的路面過早變形情況。

22. 雖然我們從昂船洲高架道路的研究中獲得上述有用的資料，但已安裝的儀器並不能讓我們得知防水膜承受的實際應力及藉此斷定合約對瀝青面層與防水膜之間的黏結力強度要求是否足夠還是過高。為了調查防水膜所承受的實際應力，有關方面於二零零六年二月在元朗公路的一塊混凝土橋面板上建造試驗面板(瀝青面層的厚度為 100 毫米)，其防水膜則嵌入光纖應變儀。附錄的圖 7 顯示在防水膜上設置的光纖應變儀。

23. 在分析過截至二零零七年五月收集得的數據後，所得的結果是：在交通負荷下，防水膜內的實際應力水平，遠低於瀝青面層與防水膜之間的指定黏結力強度，而且亦低於所有聚合物防水膜和瀝青物料組合的實驗室黏結力測試結果。

24. 上述結果闡明為何只要試驗面板的瀝青面層有足夠的厚度，則即使黏結力不符合規範，仍能運作良好。此外，分析結果亦顯示，該四條橋樑的路面過早變形，不大可能是由防水膜和黏結層的材料性質所引致的。因此，導致橋樑路面過早變形的原因，最有可能是鋪設瀝青面層期間，黏結層被建造機械污染或損壞，使防水膜和瀝青面層之間失去黏結力。這些位置的瀝青面層在交通負荷下移位和破裂，讓水分滲入瀝青面層內，而積聚的水分則令損壞情況進一步惡化。

總結

25. 路政署進行的研究顯示，就聚合物防水膜而言，瀝青面層與防水膜之間的黏結力取決於溫度、所採用的黏結層性質和黏結層的使

用量，而濕度並不會影響黏結力，但如果黏結層損壞，黏結力便會大受影響。

26. 與鋪設瀝青面層在混凝土橋面板上相比，使用聚合物防水膜可能會令瀝青面層與混凝土面板之間的黏結力減弱(其中一套經測試的組合例外)。因此，使用這種防水膜，須就防水能力增強但黏結力減弱的問題權衡利弊。雖然黏結力較弱，但防水膜內的實際應力一般都很低。因此，只要瀝青面層的厚度足夠，仍可保持完整無缺，不會出現過早變形的情況。

27. 如果使用聚合物防水膜，則鋪設瀝青面層時必須實施更嚴格的工地監管。因為黏結層損壞會令防水膜與瀝青面層之間失去黏結力，受影響的範圍會出現過早變形的情況。

28. 只要瀝青面層沒有損壞，路面便不會因為瀝青面層內水分飽和而變形。我們認為可改善路面下排水措施作為額外防線，以排走可能會滲入面層內的水分。

29. 我們所得的結論是：導致四條有關橋樑的路面過早變形的首要因素是：在鋪設瀝青面層期間，黏結層局部損壞，失去黏結瀝青面層的黏結力。這些瀝青面層在交通負荷下移位和破裂，讓水分滲入瀝青面層內，而積聚的水分則令損壞情況進一步惡化。這種情況在汀九橋猶為嚴重，因為該橋的交通負荷較重，而且面層較薄。

30. 路政署會參考從以上實驗室測試和實地測試中得到的經驗，制定及公布橋面板防水膜的應用指引。指引涵蓋的基本課題會包括瀝青面層物料的選擇、面層的厚度及黏結力強度要求。指引會清楚列明，設計師應考慮防水膜系統、瀝青材料及黏結強度的規範，從而檢討瀝青面層的厚度。指引會包括一些近年成功的防水膜施工方法及更嚴謹的工地品質監管措施，以減少施工時防水膜及黏結層被損壞的可能性。

路政署
二零零八年二月

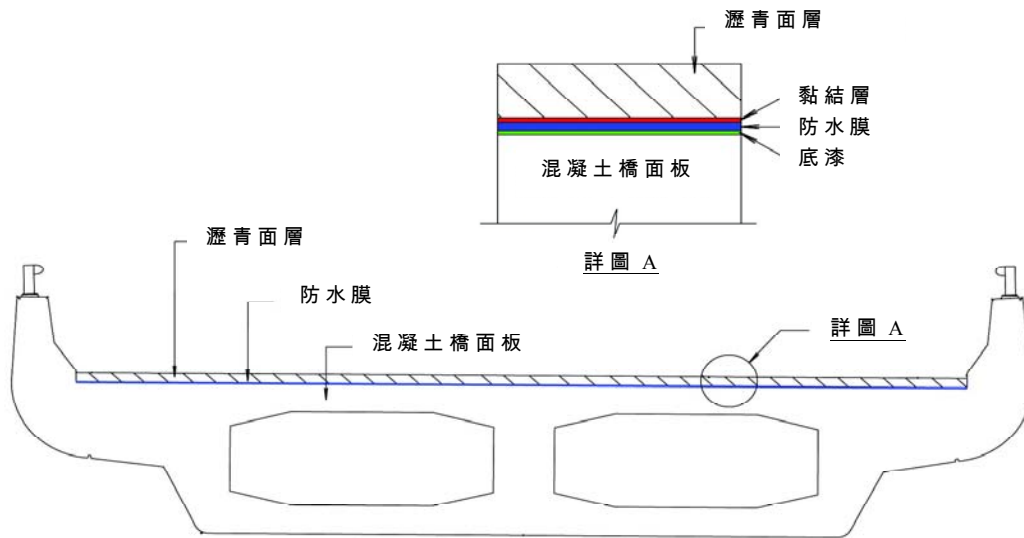


圖 1 - 混凝土橋樑上的瀝青面層和橋面板防水膜的典型切面圖



過早變形

圖 2 - 汀九橋瀝青面層的過早變形情況



圖 3 - 在建造樣本以進行實驗室測試時所發現的黏結層損壞。從鋪路機輪子下面的地方可見，黏結層受到鋪路機輪子上的塵土污染。藍點顯示黏結層已經損壞並暴露出藍色的防水膜。



圖 4 - 在昂船洲高架道路合約下建造防水系統試驗面板



圖 5 - 用在昂船洲高架道路合約下的防水系統實地測試的電腦裝置



圖 6 - 在昂船洲高架道路合約下，防水系統試驗面板的狀況。紅色虛線顯示曾經變形但已修葺妥當的地方(出現變形的地方的瀝青面層厚度為 50 毫米，是試驗面板中最薄的面層)。

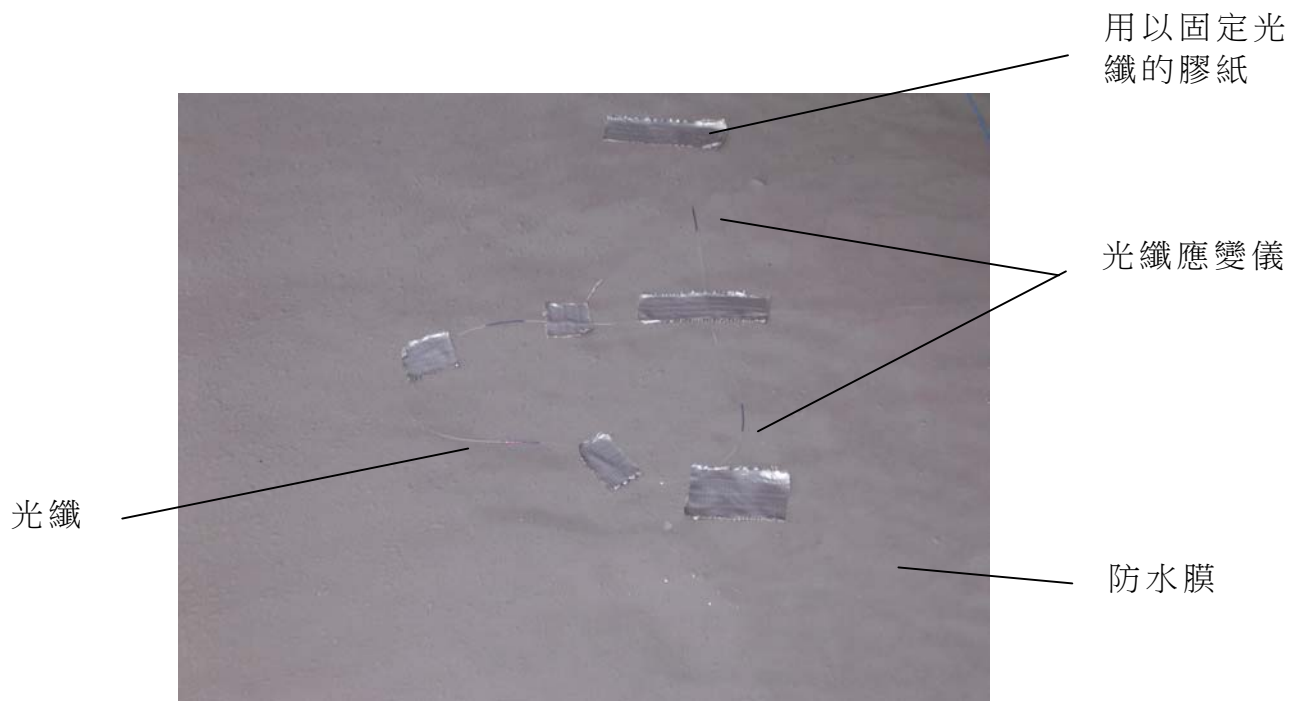


圖 7 - 安裝在元朗公路的一塊橋面板上的防水膜試驗面板上的光纖應變儀