

巴拿馬運河之邊坡破壞

潘國樑*

巴拿馬運河是通過巴拿馬地峽，溝通大西洋及太平洋的一條通航運河，與蘇彝士運河同屬具有世界戰略意義的兩條運河。巴拿馬運河全長約82公里，寬152至304公尺，兩端各有3對水閘。在船隻通過時把水位提高26公尺，然後再降至海平面。

美國對通過巴拿馬地峽的水道感到興趣起源於1850年代，但是法國人才是最早想開鑿巴拿馬運河的國家。開挖工程於1876年動工，期間曾遇到崩塌、淹水、施工機械太小等工程上的問題，又受瘧疾、熱浪等的肆虐，所以開鑿了22年，於1898年才進展了十分之一的長度而已(ASCE, 1991)。由於困難重重加上進度緩慢，所以法國就將開鑿權讓予美國。美國即於1903年以支付一千萬美元的代價，獲得單獨開鑿的權利及對寬16.1公里的運河區的永久租讓權。美國人接手後於1904年在陸軍工程師團的主導下恢復動工，而於1914年8月15日首次通航。

在法國人開鑿當初，邊坡就發生嚴重的坍方，直到1898年法方才派兩個地質師對預定路線進行初步調查。他們曾警告沿線有一層軟弱的黏土層（屬於Cucaracha Formation）之強度太差，不能進行深開挖(Kiersch, 1991)；但忠言未受重視，結果導致失敗。

美國人施工期間情況未見改善，坍方照常發生。一直到著名的Gaillard滑動群於1910年發生後才引起工程師對工程地質的重視。當時塔福特總統就要求施工單位能派遣一個地質師常駐工地，以擔任工程地質的諮詢工作。這個地質師的名字叫C. W. McDonald，他成為美國工程地質史上第一個派駐工地的地質師，而且是經過總統的特別要求的。沒隔多久，另一個地質師Frank

Tierney也加入了他的行列；可見開鑿巴拿馬運河時工程地質狀況的險惡。

巴拿馬運河的邊坡破壞使工程進度起碼延緩了兩年，其中最著名的就是12.6公里長的Gaillard Cut(見照片一、二、四)。原來估計的坍滑體積只有一千七百萬立方公尺，結果需要移除的體積竟然高達一億一千四百萬立方公尺，幾乎超過七倍之多。該滑動群於1914年運河通航後還發生過七次坍方，嚴重到非得關閉運河不行。例如在1915年就有兩次的大坍方(North East Culebra Slide及West Culebra Slide)同時發生，其擾動的土方分別為一千三百萬及一千萬立方公尺。自1920年之後即未聞有關閉運河的情事發生，但是邊坡破壞對運河的暢通仍然潛伏着很大的威脅，同時對運河的維護也造成一筆很大的負擔。例如1986年復活的Cucaracha滑動(照片三)，幾乎到達關閉運河的關頭，雖然滑動土方只有約4.6百萬立方公尺而已。

Gaillard Cut原來的寬度只有91公尺，在1970年曾拓寬到152公尺(Turner and Schuster, 1996)。1991年再度拓寬，其直線部分的寬度為192公尺，曲道的部分為213至223公尺，新拓寬工程已於2001年的年底完成。與過去相同，在施工期間也是遇到大大小小的滑動，有的新發生，有的則是舊傷復活。造成這些滑動的原因很多，主要是開挖的程序不對、地下水位太高以及遇到危險的地質狀況。Gaillard Cut不但有拓寬的計畫，而且更有加深的計畫，後者於2002年的年初才開始施工，邊坡的破壞將會雪上加霜是可預期的。

為了減輕大坍滑對運河正常運作的威脅，巴拿馬運河管理委員會執行了一個規模很大的監測計畫，稱為地滑控制計畫

* 國立成功大學兼任教授

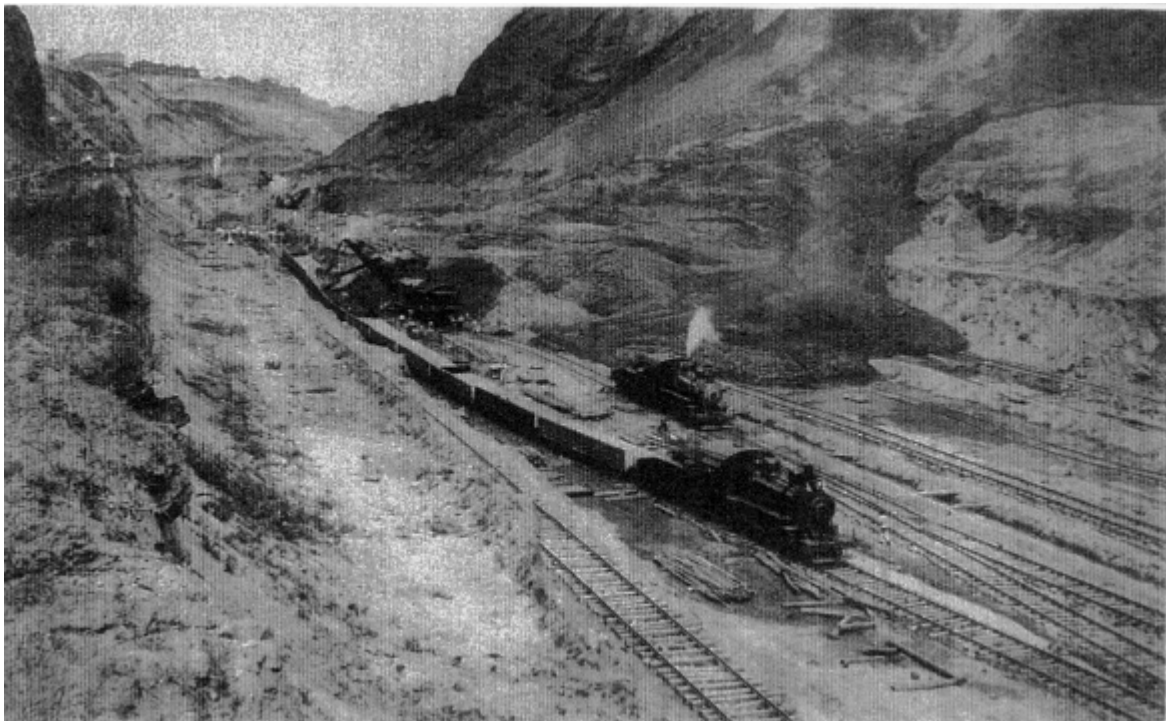
(Landslide Control Program, 簡稱 LCP)。其方法是在不穩定的邊坡上埋設很多控制點。但如果已知邊坡正在滑動中,則將控制點分別佈置在冠部的後方(上邊坡方向)及滑動體上。這些控制點大約每隔一個月就要利用電光測距儀(Electro-Optical Distance Measurement, 簡稱 EDMs)量測一次。如果發現滑動體在活動中則需加密量測的頻率。根據過去將近30年的監測經驗,運河運作時期發生坍塌的唯一最重要的觸動因素是降雨,本地的雨季從每年四月持續到十二月共達九個月之久。

巴拿馬運河大大縮短大西洋與太平洋之間的航程。美國東西海岸的航程通過巴拿馬運河比繞道南美洲的合恩角要縮短約14,800

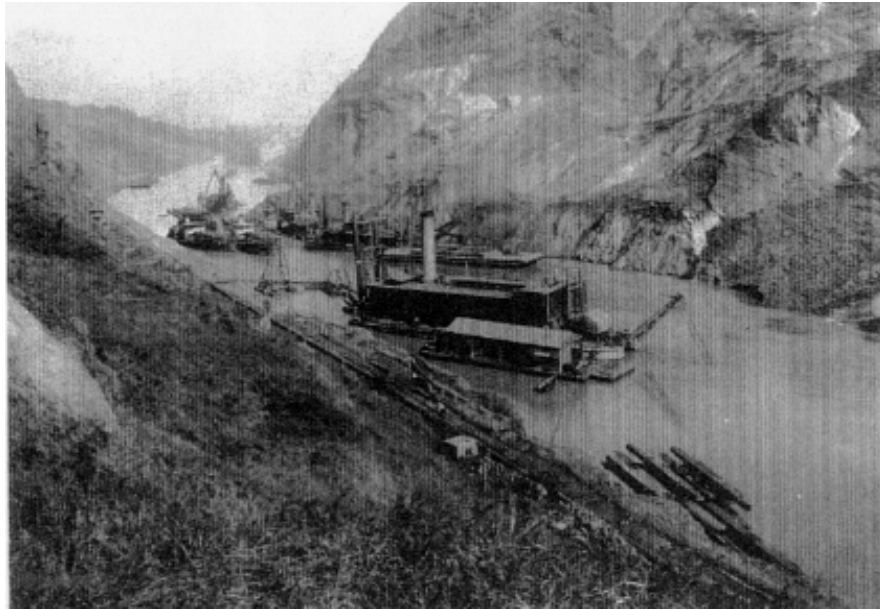
公里。每年光通行稅的收入就超過1億美元。由於巴拿馬運河不能通行航空母艦及巨型油輪,所以有計畫在中美洲選擇其他路線再開鑿一條溝通兩大洋的新運河。

參考文獻

- ASCE, (1991) History and Heritage of Civil Engineering.
- KIERSCH, G. A. (ed.), (1991), The Heritage of Engineering Geology; The First Hundred Years, Geological Society of America Centennial Special Volume 3, 605pp.
- TURNER, A. K., AND SCHUSTER, R.L. (eds.), (1996), Landslides-Investigation and Mitigation, National Research Council, Transportation Research Board, Special Report 247, 673pp.



照片一 Gaillard Cut發生於1913年2月2日的Cucaracha滑動,土方量約2.2百萬立方公尺; 谷底的火車是用來運送棄土的(Turner and Schuster, 1996)



照片二 Gaillard Cut發生於1914年2月8日的Cucaracha滑動，挖泥船正在清除趾部的情形；地層屬於Cucaracha Formation(Kiersch, 1991)



照片三 Cucaracha滑動於1986年10月復活，幾乎堵塞河道，挖泥船還在清除趾部的情形(Turner and Schuster, 1996)



照片四 Gaillard Cut發生於1913年2月6日的Powderhouse滑動，照片中央可見蒸氣
罐及鐵軌被破壞的情形(Turner and Schuster, 1996)



照片五 1910年11月14日發生於Cortractors Hill 因切坡而造成的順向坡岩塊滑動
(Kiersch, 1991)