

巴拿馬運河邊坡破壞

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。古船隻通過時把水位提高26公尺，然後再降低到海平面。

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年才進展了十分之二的長度而已(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年古隆軍工師團的領導下恢復動工，而於1914年8月15日首次通航。

當法國人開鑿當初，邊坡就發生嚴重的坍方，直到1898年法國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）之強度不高，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 滑動帶於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延緩了兩卦，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。該滑動帶於1914年運河通航後還發生過九次坍方，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，其擾動的力量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很大的威脅，同時對運河的維護也造成鉅大的負擔。例如1986年復活的Cucaracha滑動(照片三)，幾乎到達關閉運河的關頭，雖然滑動力量只有約4.6百萬立方公尺而已。

Gaillard Cut 原來的寬度只有91公尺，古1970年會拓寬到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，新拓寬工程於2001年的年底完成。與過去相同，古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(Landslide Control Program，簡稱 LCP)。其方法是古不穩定的邊坡上埋設很多控制點。但如果古如邊坡古滑動中，則將控制點分別佈置古冠部的後方(上邊坡力

* 國立成功大學兼任教授

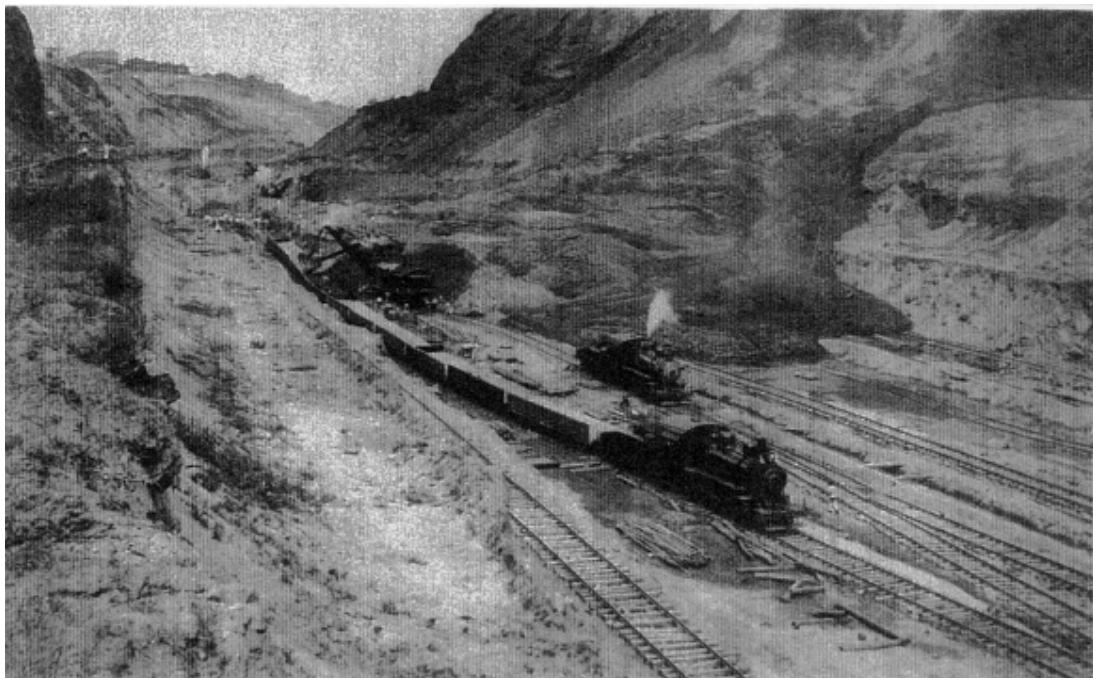
向)及滑動體上。這些控制點大約每隔一個月就要利用電光測距儀(Electro-Optical Distance Measurement, 簡稱EDMs)量測一次。如果發現滑動體在活動中則需加密量測的頻率。根據過去將近30年的監測經驗，運河運作時期發生坍滑的唯一最重要的觸動因素是降雨，本地的雨季從每年四月持續到十一月共達九個月之久。

巴拿馬運河大大縮短了西海岸與東海岸之間的航程。美國東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大型油

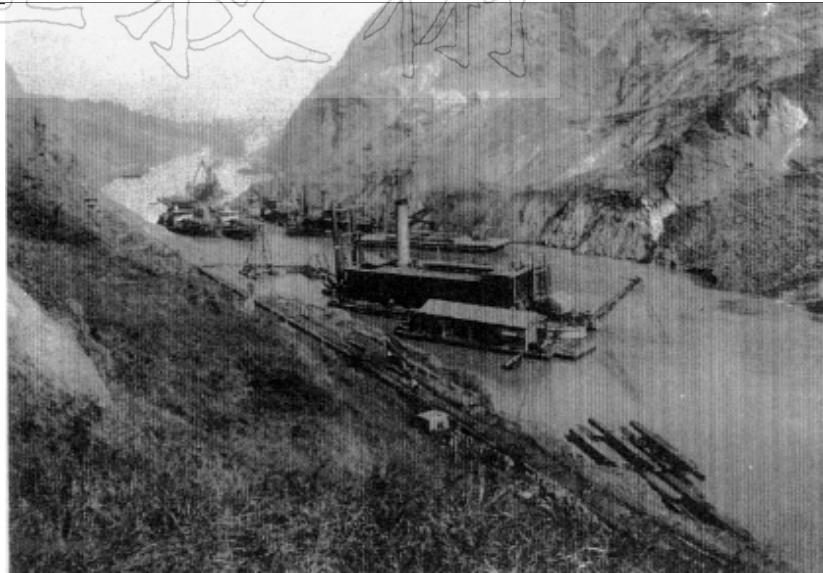
輪，所以計劃在中歐洲選擇其他路線開闢一條溝通兩大洋的新運河。

參考文獻

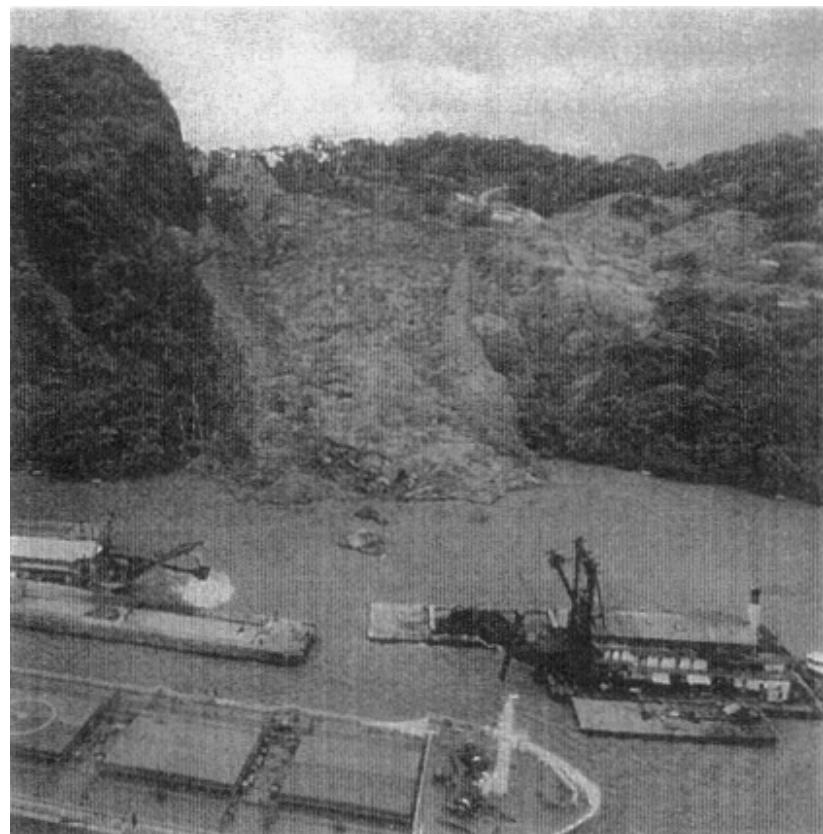
- ASCE, (1991) History and Heritage of Civil Engineering.
 KIERSCH, G. A. (ed.), (1991), The Heritage of Engineering Geology : The First Hundred Years, Geological Society of America Centennial Special Volume 3, 605pp.
 TURNER, A. K., AND SCHUSTER, R.L. (eds.), (1996), Landslides-Investigation and Mitigation,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

地工技術



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
鏟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Contractors Hill 因切坡而造成的順向坡岩塊滑動
(Kiersch, 1991)