

林道闢建所可能產生的泥砂量 —多納林道的一個個案調查

夏禹九、黃正良、王立志、黃良鑫

摘 要

林試所六龜分所20及22林班內的4段林道經由剖面調查估計其可能產生的土石方量分別為：(1)主林道， $365\text{ m}^3 / 100\text{ m}$ ；(2)伐區支線， $396\text{ m}^3 / 100\text{ m}$ ；(3)森林區支線， $4683\text{ m}^3 / 100\text{ m}$ ；(4)集材便道， $98\text{ m}^3 / 100\text{ m}$ 。造成森林區支線過多的土石方量的原因是其在陡峻的單一坡面上為了載重的卡車能夠爬昇，而開闢了林道坡度僅約1.1度的林道，因此產生過多的迴頭彎與大量的挖方。此一林道應予以封閉以免產生更多的泥砂災害。

由20林班通往22林班一個伐區的支線在溪谷中沿溪填築了135m，造成直接的溪流泥砂來源，林道的闢建對溪流的影响是極為顯著，應當儘量避免。伐區集材便道通常在封閉後4、5年內即可鬱閉，而在這採露的期間，應該儘量減少林道的長度，伐區的形狀如能配合地形而成為長軸與等高線平行的長方形，應可減少迴頭彎的發生。

關鍵詞：林道、泥砂產量。

夏禹九、黃正良、王立志、黃良鑫，1990。林道闢建所可能產生的泥砂量—多納林道的一個個案調查，林業試驗所研究報告季刊：5(3):165-174。

A Case Study of Soil Excavated by Logging Road Construction

Yue-Joe Hsia, Jeen-Lian Hwong, Lih-Jih Wang, and Liang-Shin Hwang

[Summary]

Four sections of logging road in the Liu-Kwei experimental forest were surveyed. The volume of soil excavated was estimated by measurement of the slope profile along the cross section of the road every 20 meters. Soil excavated were $365\text{ m}^3/100\text{ m}$, $396\text{ m}^3/100\text{ m}$, $4683\text{ m}^3/100\text{ m}$, and $98\text{ m}^3/100\text{ m}$ for the main logging road, secondary logging road passing cutover area, secondary logging road passing intact forest area, and temporary logging road in a clearcut area, respectively. The extraordinary amount of excavation along the secondary logging road passing the intact forest area was caused by a very low road gradient (averages only 1.1°). The design of such a low gradient was necessary for uphill climbing of heavily loaded trucks. The enormous amount of soil spilled along the road plus the road leading directly to the valley bottom is obviously a major source of sediment in the stream. It is recommended that this road should be closed as soon as possible to reduce further damage to the stream.

78年12月送審

79年2月通過

A 135 meter long road constructed in the stream bed was another major mischief of the road design and should be avoided in the future.

Road surface can be fully vegetated within 4 to 5 years following the close of the road in Liu-Kwei area. Temporary logging road, generally, shows no sign of further soil erosion problems. However, longitudinal alignment of the clearcut unit along contours should be imposed in the future operations to reduce the area exposed by logging road surface.

Key words: logging road, sediment.

Hsia, Yue-Joe, Jen-Lian Hwang, Lih-Jih Wang, Liang-Shin Hwang. 1990.

A case study of soil excavated by logging road construction. Bull. Taiwan For. Res. Inst. New Series. 5(3):165-174.

一、緒 言

林道是現代化林業經營的交通運輸要道。良好的林道可以引進效率較高之作業機械，從事木材生產、造林、撫育、管理及治山工程等以加速森林經營之現代化(吳順昭，1980)。不過林道的開闢將導致開挖坡、下邊坡及路面的裸露，產生地表沖蝕，路面的壓實則使地表逕流增加，路面排水若處理不當，則逕流集中容易造成下邊坡發生溝蝕或增加原來天然排水的深溝沖蝕。若是因開挖不當則更因引致崩塌產生更多的土石造成更大的破壞。所以林道一般均認為是集水區內林業經營最主要產生的泥砂來源。Meeuwig及Packer(1975)認為森林集水區內90%進入溪流的泥砂均源於道路的開闢。McCashion及Rice(1983)的調查顯示林道路面沖蝕是鄰近伐區的17倍。Megahan及Kidd(1972)的一個調查則更指出集水區內開路所產生的泥砂輸出770倍於未破壞的集水區，其中30%是導因於路面及邊坡的地表沖蝕，其餘的則是築路導致的崩塌所致。經過這種破壞，溪流經過12年其泥砂含量才恢復過來(Megahan, 1980)。

林道一方面是森林經營所必需，一方面又是集水區內人為泥砂的主要來源，所以林道的開闢與水土保持的離職工作，一直是各主要林業地區很重視的一個問題；因此，有相當多的規範來減低林道所帶來的災害(Hewlett et al., 1979; EPA, 1975; Megahan, 1983)。適當的林道選線，開路同時進行水土保持工程，在植生恢復前遮蓋開挖坡與下邊坡以及與河流間保持適當的緩衝帶(buffer strip)或過濾帶(filter strip)都是其中的要項。至於國內，林務局的林道工程規範訂有甲、乙、丙三種林道(森林開發處則加上丁種)的設計標

準，不過對水土保持或維護設施則僅需佔有3%林道興建費的規定而沒有詳細的規定可資依循。林道除了因設計標準不同外，又因為集材方式的不同會造成很大的差異。本省南部的林道因為多屬闊葉樹原木，是以卡車集材為主。近年來更因為香菇材的材價極高，為徹底取得小徑級的香菇材，導致伐區內集材便道密度極高。這種作業方式對環境所帶來的影響有多大是值得研究的一個問題。

雖然林道闢建所產生的泥砂並不至於全部會進入溪流流至集水區外造成下游災害。但是集水區及溪流的特性再加上林道開闢的方式等因素均使得評估林道對集水區泥砂輸出的影響很難量化。林道開闢時的挖方，一部分用來當作路基填方，一部分則堆積於路旁或棄於下邊坡，此類土石多係底土，較難恢復植生，因此在新闢的2~3年內受到雨水沖蝕的機會很大。如果沒有集中的逕流水，這些土石或可分散至林地內不再移動進入溪流。不過本省的山區林道一般均無足夠的水土保持工程，暴雨來臨之時可能有相當多的棄土會因路面集中的逕流水進入溪流。劉俊明及林淵霖(1983)曾估計築路所產生的土石方約有35%在3、4年內會堆積於溪溝中。所以調查林道開闢所產生的土石方亦不失為評估林道所可能產生的泥砂災害的一項參考資料。

二、調查地區及方法

調查地區是在林試所六龜分所試驗林的20及22林班。本區的地質主要是粘板岩與砂岩。林道係由多納村外向上升，進入18林班內大致上是沿著800~1000m的等高線到達多納苗圃(海拔1050m)。主林道繼續爬升至1200m進入22林班

。另一支線則向溪谷進行，抵達 22 林班內的一個伐區（圖 1）。本計畫所調查的林道共分 4 段：
 (1)多納苗圃以上的主林道，調查長度 2.2 km，(2)支線（由舊伐區內的臨時林道修建），穿過已造林之伐區，本報告內稱之為伐區支線，調查長度 0.74km，(3)由伐區支線延伸，穿過坡下天然林直抵溪谷的支線，稱為森林區支線，調查長度為 1.02km，(4) 22 林班內伐區（面積 21.2ha）的集材便道，調查長度 2.36km。因為區內微地形的變化相當大，為了計算林道開闢所產生的土石方，在調查時係沿林道每 20m 測一橫斷面。在分析資料時成為序列性的資料，沒有辦法進行嚴謹的統計分析。此外林道所造成的崩塌，本次調查之林道因為修建的時間不同，無法區分是何時發生的，其產生的土石方很難與挖方分開，調查時雖亦記錄，不過在本報告中並未將崩塌的上石方扣除，因此計算的淨土石量中包括了堆積的殘留崩塌土

石。

每一斷面所調查的項目包括：

- (1)林道上邊坡坡度， α
- (2)林道下邊坡坡度， β
- (3)林道上邊坡原坡面坡度， γ
- (4)林道開挖高度， h
- (5)林道寬或暴露面寬度， d
- (6)林道路面坡度（縱向）， f
- (7)林道上邊坡棄土長度， V_f
- (8)路肩棄土體積， V_r

林道開闢時所產生的挖方與填方土石量可由幾何的關係來估算（參見附錄）。

三、結果與討論

多納中林道如以路面坡度而言屬於丁種林道（表 1、2），集材便道屬於臨時性林道，伐採後即

表 1 四種不同林道路段調查結果

種類	路面坡度		開挖坡高度		路面寬度*		挖方量 m ³ /100m	淨土石量 m ³ /100m	路段所經 坡面平均坡度 (度)
	平均	最高 (度)	中位數	最高 (m)	中位數	最高 (m)			
主林道	6.3	10.0	3.0	12.0	5.5	12.0	831	365	36
伐區支線	2.9	5.0	2.0	6.0	4.0	5.0	504	396	30
森林區支線	1.1	2.5	10.0	22.0**	9.0	18.0**	4,656	4,653	41
集材便道	6.8	12.0	2.0	8.0	5.0	7.0	479	98	32

* 路面寬度係包括路肩之擾動面在內的寬度。

** 此一最高值係一處迴頭彎所達成的。

表 2 林道規格

路級	最小路基 寬度m	最小路面 寬度	最小曲率半徑 m	最大順坡 坡度	最大反坡 坡度	車速
甲	5	3.5	20 or 15	10% (5.7 °)	5% (2.9 °)	25 km/hr
乙	4.5	3.0	15 or 13	12% (6.8 °)	7% (4.0 °)	20 km/hr
丙	3.8	2.8	13	15% (8.5 °)	10% (5.7 °)	15 km/hr
丁	3.4	2.5	10	20% (11.3 °)	10% (5.7 °)	10 km/hr

予以封閉，所以可以容許較大的坡度。伐區支線及森林區支線因係嚴重上爬，其坡度（反坡坡度）前者達到丙種的規格，而後者更達到甲種林道的標準。表 1 及圖 2 中均顯示森林區支線在開挖坡度、路寬、挖方及淨土石量均顯著的超過所調查的另外 3 段林道。此一段路所經過的區域坡度平

均達 41°，在如此陡的單一坡面上為了維持平均路面坡度僅僅 1° 的林道而開闢了長達 4.5km 的路段，迴頭彎達到 13 個。表 1 中所示其開挖高度最高達 22m，路面寬（暴露面寬度）最寬達 18m，即是出現在迴頭彎之處。過多的迴頭彎再加上要刻意維持很小的路面坡度導致此一段路每單

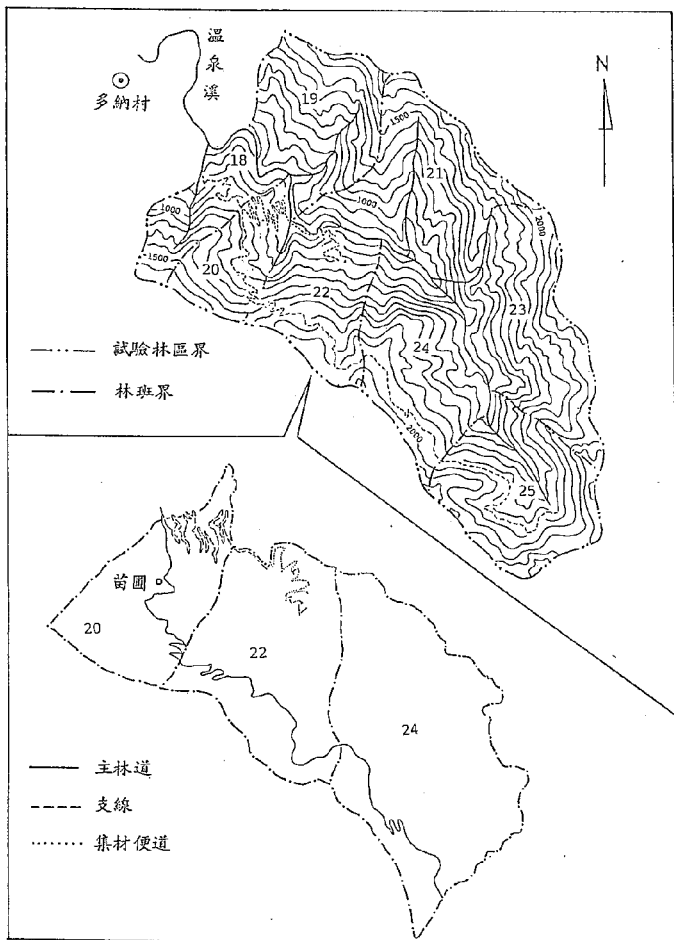


圖1. 多納林區地形及林道

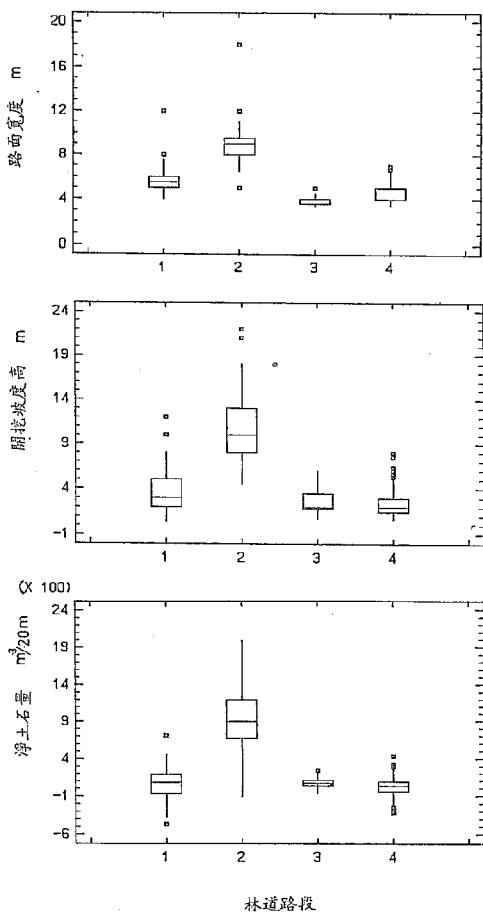


圖2. 不同路段(1為主林道, 2為森林區支線, 3為依區支線, 4為集材便道)的路面寬度, 開挖坡高度及淨土石量的Box-Whisker圖。

位長度的挖方土石量與淨土石量均高出主林道及伐區支線的10倍以上，對於林地的破壞非常鉅大。探究此一林道之所以會如此設計，最主要的原因是此一林道原先並未列入為本區的主林道，後來為了處分22林班的伐區乃利用原來的伐區支線（原應為集材便道），延長為支線，受到地形的限制而不得不在此一單一坡面上開闢如此長的林道。此一延伸的林道支線，在末端約有400m沿溪床而行，其中135m更完全是在河床中填築而成（圖3）。溫泉溪在此一段，溪流相當大，河床中並沒有太多的堆積現象，任何進入河床的較小石塊遇到暴雨都會沖失到下游。河床中的填築材料，不可避免的要經常補充，成為溪流泥砂輸出的直接來源。此一路段直達溪流，路面及邊坡又無任何水土保持工程，無疑的在暴雨之際將直接導引路面及邊坡所產生的地表逕流直接匯入溪流，成為泥砂的主要來源。此一支線如果不能立刻增

設路面排水設施的話應該即早予以封閉，以免繼續成為泥砂的產生來源。

伐區內的集材便道屬於臨時性的林道，在集材作業結束之後即將封閉。觀察20林班過去砍伐區的臨時林道在封閉後4到5年內，植物覆蓋均相當鬱閉，應不致產生嚴重的土壤沖蝕災害。調查的伐區集材便道在1年後已予造林，不過路面上的植物覆蓋仍未能完全。某些路段因為路面並無排水設計，產生了一些大蝕溝，所幸並沒有擴大到造成嚴重崩塌發生的情形。整個伐區，除了最接近溪流的一段，並沒有明顯的痕跡顯示將成為溪流泥砂輸出的主要來源。雖然集材林道並未造成崩塌產生大量的泥砂，不過在路面未完全植生覆蓋前的3到4年間，路面的地表沖蝕不可避免將是主要的泥砂產生地區。調查的伐區，集材林道總長達4.18km，其暴露面達到伐區面積的9.4%，對整個伐區的生產力亦造成很大的損失。集材林道

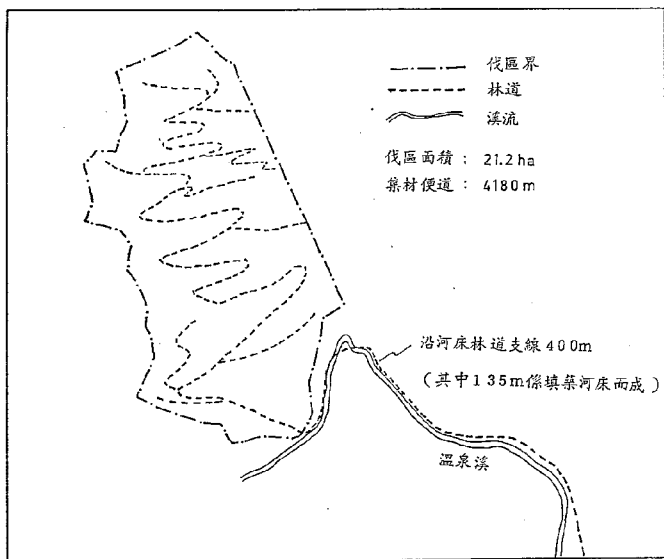


圖3. 伐區集材便道略圖

的密度如此高是本省南部卡車集材的一個很大的缺點。近年來因為小徑級的香杉材的材價相當高，伐木業商為了作業徹底，集材林道開闢的更密，對林地的破壞更加嚴重。如果就此一伐區的個案而檢討，可以改善的地方是伐區的形狀應該劃為長軸與等高線平行的長方形，則進頭邊數目與林道長度應該可以減低許多，對林地的破壞面積自然會較小。就長遠計畫而言，則集材機械與集材方法的改進是根本的問題。對小徑木的集材而言，架空索道的集材方式在成本上或許是不可企及的方法，能否發展出成本較低的索道集材方法或修改目前所使用的卡車集材器械使其集材範圍增大是關鍵所在。否則目前的伐採作業不可避免的將在日漸擴大的環保壓力下遭到完全禁止的命運。

林道是林業經營所必需，但是又是集水區內最主要的人為泥砂的來源。各主要林業國家均有相當多的林道規畫與作業規範以儘量減低林道所造成的衝擊。就泥砂沖蝕方面，林道的影響分為區內(on-site)與區外(off-site)兩種。區內的林道沖蝕將造成生產力的減低，區外的泥砂災害則是集水區經營上所欲力降低的目標。區內的泥砂災害在本地區如果能減少集材林道的長度應該不致成為嚴重的問題。經營計畫中確實做好主林道的規畫、伐區的畫定及臨時林道的配置均能配合集材作業的特性而執行，再加上改進集材的方法，均是解決的途徑。對於區外的泥砂災害而言，溪流兩岸的保護帶的設置應屬最主要的措施(Clinnick, 1985)。此外，諸如儘量避免林道穿過河道，如果不能避免，則需有嚴格的水土保持工程保護河道不受破壞，林道控方的棄土必需妥善處理，林道路面的排水工程必需在林道開闢時即予完成等等亦都可以有效的減低林道的破壞(Hewlett, et al., 1979; Gilmour, et al., 1982)。此處無法一一列舉。衡諸本省目前山區的林道，過於嚴格的水土保持工程在實際上很難要求，但是在築路時即考慮利用路基在陡坡上做成簡單的路面排水窠槽，使集中的路面排水分段分散到整個林地上，在國外亦已使用，是一種有效的防止路面沖蝕的方法(Hewlett, et al., 1979)，值得參考。目前一些林道將棄土棄於自然的窪地，再加上過於疏少的路邊溝與傾向排水溝將地表逕流水集中到這些自然的排水溝，在旱季時雖然沒有水流，一到暴雨之時，非僅將棄土沖入溪流同時更將使原已不穩定的天然排水溝溝更加擴大，反而有可能產生更嚴重的崩塌。此外，以臺灣雨季的

雨量而言，在豪雨之時幾乎全部的區均為所謂的“hydrological sensitive area”，伐木集材，及載運材車均應儘可能禁止進入以避免破壞幾乎沒有任何處理的林道路面。澳洲東北部的經驗(Cassell, et al., 1984)認為在實務上，林務工作者與業者均應經由推廣的手段來教育其體認林業活動所可能產生的區外泥砂災害，同時在伐木合約上審明訂：集材道路的位置、集材位置、集材方式、避免敏感泥砂產生地區的方法、跨越河床的位置與設計、路面排水結構的頻度及位置、集材的路線(基本上是以上坡集材為主)作為法律行動的依據，亦是我們可以參考的地方。

過去20年集水區經營與森林水文學上的研究已經使我們體認到集水區在水文上及生態上是一個整體，集水區內各別或單獨的破壞均可能產生累積的影響(cumulative watershed effect)，因此溪流中或溪岸邊的小擾動可能會使整條溪流的平衡完全破壞(Cobourn, 1989)。Cobourn認為利用地理資訊系統所建立的資料庫，在這種集水區累積影響分析(cumulative watershed effect analysis)上可以讓經營者長期追蹤集水區內的擾動區域及維護區內的敏感地區。此一資料庫應讓中央、地方及各集水區內的林務工作人員均能使用，應是未來很有潛力的維持溪流水質的方法。

本報告所使用的調查方法，在取樣上因為未能應及序列取樣所帶來的自我相關，在統計上不能進一步的分析。Rice及Lewis(1986)使用變路標準、山坡面坡度、母岩地質以及25年的24小時降雨強度，4項分層變數，利用分層取樣來分析林道不穩定的因素。以後進行較大規模的林道泥砂沖蝕調查時應當妥善預為設計，或許可以得到更為具體的結論。

謝 誌：

本調查部分經費係由農委會補助計畫“上游集水區林道泥砂生產特性及邊坡植生穩定效果研究”(77農建-7.1-林-25(7))所支持。計畫進行期間，六龜分所同仁的支持一併誌謝。鄭沂全在林道路線上提供了航照給圖使現場調查能在地圖上定位幫了很大的忙。

引用文獻：

吳順昭, 1980.論現代化之林業經營與林道建設。臺灣林業6(2): 1~3。

劉浚明、林淵霖。1983。開路對森林集水區泥砂量的影響。洪水與泥砂災害學術研討會論文摘要彙集，39-41pp,中華水土保持學會。

Cassells, D.S., D.A. Gilmour and M. Bonell. 1984. Watershed forest management practices in the tropical rainforests of north-eastern Australia. in "Symposium on effects of forest land use on erosion and slope stability" (C.L. D'Loughlin and A.J. Peaue eds.):289-298. IUFRO, Honolulu, Hawaii.

Clinnick, R.F. 1985. Buffer strip management in forest operations: a review. Aust. For., 48:34-45.

Cobourn, J. 1989. Is cumulative watershed effects analysis coming of age? J. Soil and Water Cons., 45:267-270.

Gilmour, D.A. D.S. Cassells and M. Bonell. 1982. Hydrological research in the tropical rainforests of North Queensland: some implications for land use management. in "The first national symposium on forest hydrology" (E.M. O'Loughlin and L.J. Bern eds.):145-152. The Inst. of Eng. Aust. National Conference Publication.

Hewlett, J.D., W.P. Thompson and N. Brightwell. 1979. Erosion control on forest land in Georgia. School of Forest Resources, Univ. of Georgia and USDA Soil Conservation Service, 25 pp.

McCashion, J.S. and R.M. Rice. 1983. Erosion on logging roads in north-western California: how much is avoidable? J. of Forestry, 81:23-26.

Meeuwig, R.O. and P.E. Packer. 1975. Erosion and runoff on forest and range lands. Proc. Fifth Workshop of the US/Australia Rangelands Panel, Boise, Idaho, June 15-22, 1975.

Megahan, W.F. 1980. Nonpoint source pollution from forestry activities in the western United States: results of recent research and research needs. Conference on U.S. Forestry and Water Quality: What Course in the 80s? Richmond, Virginia, June 19-20, 1980.

Megahan, W.F. 1983. Guidelines for reducing

negative impacts of logging. in Tropical forested watersheds: hydrologic and soil response to major land uses or conservation. (L.S. Hamilton and P.N. King eds.) pp. 143-154, Westview, Boulder, Colorado.

Megahan, W.F. and W.J. Kidd. 1972. Effect of logging roads on sediment production rates in the Idaho Batholith. USDA Forest Service Research Paper INT-123, 14pp.

Pfister, F. 1986. Access development and environmental risks in mountainous areas. 18th IUFRO World Congress Proceedings, Div. I, 156-167.

Rice, R.M. and J. Lewis. 1986. Identifying unstable sites on logging roads. 18th IUFRO World Congress Proceedings, Div. I, 239-249.

U.S. Environmental Protection Agency. 1975. Logging roads and protection of water quality. EPA 910/9-75-007, 311 pp.

附錄：挖方與填方的估算

從林道的剖面調查，依其上下坡度 (α , β)、挖方高度 (h) 與路寬，約可分為 4 種類型 (圖 A1)：

一、下邊坡坡度大於林道上方坡度 ($\beta > \alpha$)
此類型是開闢於凸形的坡面，又可分為 2 類，(1) 林道全為挖方所構成，(2) 林道的構成為挖方與部分填方。

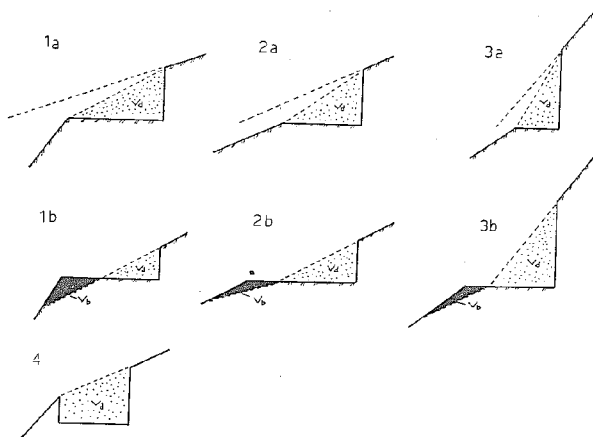
二、上、下邊坡角度相等 ($\beta = \alpha$)
此類型為直坡，亦可因是否有填方而分成 2 類。

三、下邊坡坡度小於林道上方坡度 ($\beta < \alpha$)
此類型是林道開闢於凹坡之上，亦可如上述 2 類型依是否全為挖方或部分填方所分成 2 類。

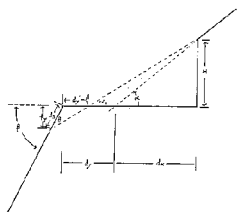
四、嶺線或啞口開鑿型，全為挖方。
此四類型的挖填方計算，第四類是在現場調查時即可由路寬及兩側山坡開挖高度計算而得知挖方數量。一至三類型中，全部為挖方所成的林道，亦可由林道寬及挖方高度很簡單的計算出來。部分為填方的林道則較為複雜。實際上原來的山坡形狀很難在開挖以後再來推想。本研究在凸型坡與直坡是假設此一坡面是逐漸由上坡面改變為下坡面，計算時重複嘗試，以計算的填方坡長

(da)與調查的乘上長度(f)比較以決定填方是否合理(圖A2)。不過在一些過陡的坡面棄土可能下滑甚遠,所以計算時再加上 $ca \leq 10m$ 的限制。在凹型坡,上坡面的延伸線不會與下坡面相交(圖A3),則填方量是以上坡面延伸線與林道路面相交點至路肩的距離(dy)與棄土的長度(f)來計算。相同的,如果f過高,則填方的長度亦限制在10m。整個的流程列於圖A4中。實際上調查時的經驗是上、下坡的坡度不是很容易測的很準,事後計算

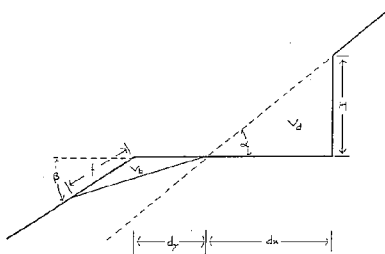
挖、填方量可能會得到極不合理的數值。本研究在第一次野外調查工作後發現此一困難,爾後的調查即使用一個手提的NEC8201A計算機當場計算挖、填方土石量與現場情況核對,如有疑問立即重測,可以減低估算的不確定性。當然此一方法在坡面微地形變化很大時可能有誤差,不過本省大部分丙種以下的林道挖、填方的估計在訂線時都很粗放,而臨時林道的定線亦不一定嚴格遵從。用事後的斷面調查來估算乃成爲唯一的可行方法。



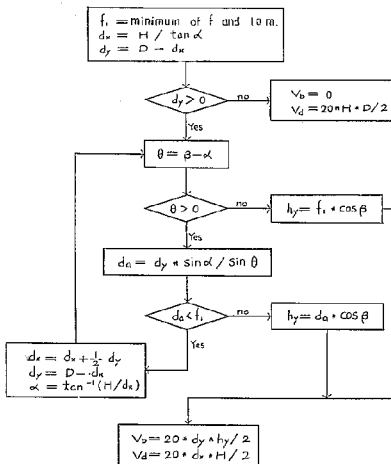
↑ 圖A1. 各種不同的林道斷面。a.爲凸型坡, b.爲直坡, c.爲凹型坡。Va爲填方, Vd爲挖方。



← 圖A2. 凸型坡的挖、填方計算。符號說明見內文



圖A3. 凹型坡的挖、填方計算。符號說明見內文



圖A4. 林道挖、填方估算的流程