

### 第三章 崩壞地之地形、地質特性-以西仕、納莉颱風為例

西仕、納莉颱風後的總崩壞地數目相當多，在空間分布上呈明顯的差異。因此，本章以西仕和納莉颱風後的崩壞地為例，分析崩壞地的地形和地質特性。地形特性分析的因子包含強颱風西仕和納莉颱風後崩壞地所在坡度等級、發生區位。在地層特性的分析中，透過不同地層的崩壞特性，以及不同地層內崩壞地坡度等級分布，以瞭解影響崩壞地空間分布之原因。

#### 第一節 崩壞地之坡度等級和區位

##### 一、崩壞地之坡度等級分布

許多研究都指出，坡度是崩壞的重要控因之一( Brardinoni *et al.*, 2002 ; Zhou *et al.*, 2002 )，故選以坡度因子作為地形特性的重要指標。

根據統計，西仕和納莉颱風後不論崩塌地或沖蝕溝，坡度分布在 20~40°間達五成以上，以 20~30°的坡度等級所占比例最高，係因 20~30°所占面積較 30~40°廣(表 3-1)。若考慮排除臺地邊坡各坡度等級的面積比例，由全區相對集中度來看(該坡度分級崩壞地網格數/該坡度分級總網格數)，則以 30°以上的坡度等級崩壞狀況最顯著，其中 30~40°坡度等級多數均高於 0.008 以上，40°以上的坡度分級漸增，但 40°以上的邊坡面積比例甚少(約 4.7%)。

陳榮河(1990)、張文濤(2004)進行林口臺地的邊坡穩定分析中，皆得到在約坡度 30°以上，安全係數小於 1，亦符合本研究所得崩壞地相對集中度在 30°以上較 20°~30°為高。而 70~80°的相對集中度又降低，概因坡度愈陡，雨水入滲不易，僅有表面沖刷，故不易崩壞(洪如江等，1985)。

進一步計算西仕、納莉颱風後崩塌地和沖蝕溝在三分區之坡度等級的分配狀況，所得結果和崩壞地在全臺地邊坡之坡度等級的分布趨勢一致，並無顯著差別(表 3-1)。由上述崩壞地比例及相對集中來看，邊坡防治上以 20~40°坡度等級最需關注，其次則為 40~50°坡度等級。

表 3-1 林口臺地崩壞地坡度等級之面積比例和相對集中度

分區	坡度等級	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	全區		
全區	各坡度等級所占面積(%)	34.17	29.85	21.47	9.79	3.43	1.01	0.24	0.04	0.00	100.00		
	西仕颱風	崩塌地比例(%)	12.1	19.0	<b>27.7</b>	<b>23.8</b>	12.7	3.9	0.7	0.1	0.0	100.00	
		相對集中度	0.0013	0.0022	0.0046	<b>0.0086</b>	<b>0.0131</b>	<b>0.0135</b>	<b>0.0104</b>	<b>0.0085</b>	0.0000	0.0035	
		沖蝕溝比例(%)	8.6	19.7	<b>30.5</b>	<b>24.7</b>	11.3	4.2	0.9	0.1	0.00	100.00	
		相對集中度	0.0009	0.0023	<b>0.0050</b>	<b>0.0088</b>	<b>0.0115</b>	<b>0.0146</b>	<b>0.0125</b>	<b>0.0076</b>	0.0000	0.0035	
	納莉颱風	崩塌地比例(%)	8.3	19.2	<b>30.0</b>	<b>26.7</b>	12.8	2.6	0.4	0.0	0.0	100.0	
		相對集中度	0.0007	0.0019	0.0042	<b>0.0082</b>	<b>0.0112</b>	<b>0.0077</b>	<b>0.0044</b>	<b>0.0013</b>	0.0000	0.0030	
		沖蝕溝比例(%)	4.2	18.6	<b>39.4</b>	<b>26.9</b>	8.4	2.2	0.4	0.00	0.00	100.00	
		相對集中度	0.0001	0.0007	0.0021	0.0032	0.0029	0.0025	0.0018	0.0000	0.0000	0.0012	
	東區	各坡度等級所占面積(%)	22.73	26.15	25.55	15.52	6.64	2.62	0.69	0.10	0.00	100.00	
		西仕颱風	崩塌地比例(%)	7.2	14.3	<b>29.4</b>	<b>25.4</b>	15.3	6.6	1.6	0.2	0.0	100.0
			相對集中度	0.0017	0.0029	<b>0.0061</b>	<b>0.0087</b>	<b>0.0122</b>	<b>0.0134</b>	<b>0.0124</b>	<b>0.0097</b>	0.0000	0.0053
沖蝕溝比例(%)			7.0	19.8	<b>30.7</b>	<b>24.8</b>	12.0	4.7	1.0	0.1	0.0	100.0	
相對集中度			0.0033	0.0080	<b>0.0127</b>	<b>0.0169</b>	<b>0.0190</b>	<b>0.0191</b>	<b>0.0150</b>	<b>0.0109</b>	0.0000	0.0106	
納莉颱風		崩塌地比例(%)	10.8	19.6	<b>31.0</b>	<b>25.6</b>	9.6	3.0	0.5	0.0	0.0	100.0	
		相對集中度	0.0017	0.0027	0.0044	<b>0.0060</b>	<b>0.0053</b>	0.0042	0.0025	0.0000	0.0000	0.0037	
		沖蝕溝比例(%)	4.3	17.3	<b>35.5</b>	<b>27.7</b>	11.0	3.5	0.6	0.0	0.0	100.0	
		相對集中度	0.0004	0.0016	0.0033	0.0042	0.0039	0.0032	0.0022	0.0000	0.0000	0.0023	
西區		各坡度等級所占面積(%)	39.60	32.86	19.62	5.98	1.55	0.30	0.07	0.02	0.00	100.00	
		西仕颱風	崩塌地比例(%)	9.6	<b>23.9</b>	<b>28.0</b>	<b>21.8</b>	13.1	3.2	0.1	0.2	0.0	100.0
			相對集中度	0.0002	0.0007	0.0013	0.0034	<b>0.0078</b>	<b>0.0101</b>	<b>0.0017</b>	<b>0.0082</b>	0.0000	0.0009
	沖蝕溝比例(%)		14.1	<b>23.5</b>	<b>29.6</b>	<b>22.5</b>	9.4	0.2	0.7	0.0	0.0	100.0	
	相對集中度		0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	
	納莉颱風	崩塌地比例(%)	7.3	<b>20.3</b>	<b>33.2</b>	<b>25.5</b>	11.3	2.0	0.2	0.1	0.0	100.0	
		相對集中度	0.0004	0.0014	0.0039	<b>0.0099</b>	<b>0.0170</b>	<b>0.0157</b>	<b>0.0074</b>	<b>0.0061</b>	0.0000	0.0023	
		沖蝕溝比例(%)	3.8	<b>21.4</b>	<b>46.6</b>	<b>24.8</b>	3.2	0.1	0.0	0.0	0.0	100.0	
		相對集中度	0.0001	0.0006	0.0023	0.0040	0.0020	0.0004	0.0006	0.0000	0.0000	0.0010	
	北區	各坡度等級所占面積(%)	37.10	29.17	20.29	9.75	3.07	0.53	0.07	0.01	0.00	100.00	
		西仕颱風	崩塌地比例(%)	16.9	<b>21.9</b>	<b>26.2</b>	<b>22.9</b>	10.4	1.6	0.1	0.0	0.0	100.0
			相對集中度	0.0025	0.0040	<b>0.0070</b>	<b>0.0127</b>	<b>0.0183</b>	<b>0.0163</b>	<b>0.0050</b>	0.0000	0.0000	0.0054
沖蝕溝比例(%)			16.9	18.8	<b>29.9</b>	<b>24.4</b>	7.9	1.9	0.2	0.0	0.0	100.0	
相對集中度			0.0007	0.0011	0.0024	0.0041	<b>0.0042</b>	<b>0.0058</b>	0.0050	0.0000	0.0000	0.0016	
納莉颱風		崩塌地比例(%)	6.8	17.9	<b>26.0</b>	<b>28.8</b>	17.3	2.8	0.4	0.0	0.0	100.0	
		相對集中度	0.0006	0.0020	0.0042	<b>0.0097</b>	<b>0.0185</b>	<b>0.0171</b>	<b>0.0166</b>	0.0000	0.0000	0.0033	
		沖蝕溝比例(%)	4.7	16.0	<b>37.0</b>	<b>29.1</b>	11.4	1.8	0.1	0.0	0.0	100.0	
		相對集中度	0.0001	0.0002	0.0007	0.0012	0.0015	0.0014	0.0007	0.0000	0.0000	0.0004	

【註：崩塌比例(%) =  $\frac{\text{該區某坡度分級崩壞網格數}}{\text{該區總崩壞網格數}} \times 100$ ；相對集中度 =  $\frac{\text{該區某坡度分級崩壞網格數}}{\text{該區該坡度分級總網格數}}$ 】

## 二、崩壞地分布之區位

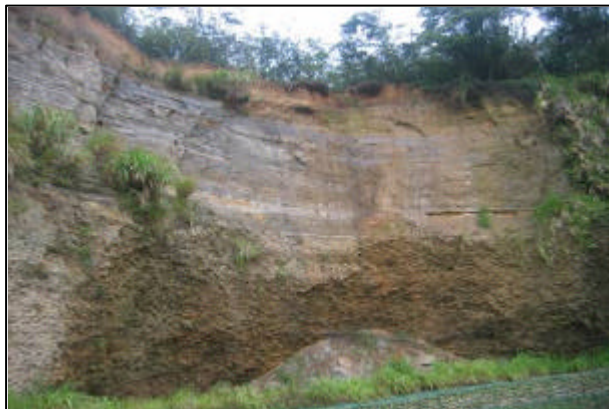
就崩壞地的分布區位而言，西仕和納莉颱風造成的多數崩塌地與沖蝕溝位於一級、二級河谷內，少部分位於高等級（3級以上）河谷內的崩塌地，則多受河流淘刷作用所造成的（表 3-2）（照片 3-1、3-2）。此種現象以在西區和北區較盛行，而東區相對少許多。廖大牛等（1987）亦認為林口臺地西區與北區主要不安定區分布於河道彎曲處之攻擊坡，原因則受日常降雨或豪雨所引發崩塌。這些受

河流淘刷所造成的崩塌地,由於所在的地點人煙罕至,不是災害防治的重要地區。

此外,在本區各主流內的源頭,均有密集的崩塌地出現,這些崩塌地多是自沿著臺地崖面發生,推測與臺地面能提供範圍較廣的集水面積有關(圖 2-2、2-6)。

表 3-2 西仕颱風和納莉颱風崩壞地之水系等級

颱風	崩壞類型	水系等級					合計
		1	2	3	4	5	
西仕颱風	崩塌地(個)	588	229	61	13	4	895
	崩塌地比例(%)	65.7	25.6	6.8	1.5	0.4	100
	沖蝕溝(個)	1209	377	160	17	9	1772
	沖蝕溝比例(%)	68.2	21.3	9.0	1.0	0.5	100
納莉颱風	崩塌地(個)	461	131	50	6	2	650
	崩塌地比例(%)	70.9	20.2	7.7	0.9	0.3	100.0
	沖蝕溝(個)	398	102	42	5	0	547
	沖蝕溝比例(%)	72.8	18.6	7.7	0.9	0.0	100



◀照片 3-1

河岸淘刷造成的崩塌地(下方為河流流經)

地點: ? 尾崎, 2005/02 攝



照片 3-2 河岸旁間隔的大型崩塌地 地點: 員林坑溪, 2004/01 攝

## 第二節 主要地層之崩壞地的頻度和坡度等級

本區各地層別中以礫石層和大南灣層（扣除臺地頂面後）占本區之七成以上的面積，兩者為本區最主要的地層。由於地質特性為影響崩壞地分布的主要因子之一（Cruden and Varnes, 1996; Selby, 1982），本節計算西仕和納莉颱風後崩壞地所在主要地層別內（礫石層與大南灣層）之崩壞地頻度，以及兩地層內崩壞地所在坡度等級之差異，以瞭解礫石層和大南灣層崩壞特性之差異。

### 一、主要地層別內崩壞地頻度

雖然本區所有地層別中在西仕、納莉兩次颱風後，崩壞地頻度（包含崩塌地頻度及沖蝕溝頻度）均在林口層內的紅土層最高，這是因為紅土層在臺地周緣邊坡出露的總面積僅佔 5%，所以頻度值顯得很高（附錄 3-2）。崩壞地頻度次高的地層為礫石層和大南灣層，而這兩地層為本臺地周緣溪谷邊坡最主要的地層，當發生崩壞或土石流災害時，影響的範圍也最廣，為瞭解此兩地層的崩壞特性，下文分別說明西仕和納莉颱風後的崩壞地頻度說明之。

西仕颱風後的崩塌地頻度在礫石層為 7 個/km<sup>2</sup>、大南灣層 8 個/km<sup>2</sup>，沖蝕溝頻度在礫石層為 18 條/km<sup>2</sup>、大南灣層 6 條/km<sup>2</sup>。納莉颱風後的崩塌地頻度在礫石層為 6 個/km<sup>2</sup>、大南灣層 3 個/km<sup>2</sup>，沖蝕溝頻度在礫石層為 6 條/km<sup>2</sup>、大南灣層為 1 條/km<sup>2</sup>（表 3-3 圖 3-1~3-4）就這兩次颱風後的狀況來看，兩地層的崩塌地頻度差異不大，但礫石層的沖蝕溝頻度明顯高於大南灣層，即礫石層的崩壞型態以沖蝕溝為主，但崩塌地頻度亦不低，與大南灣層相當；大南灣層則是以崩塌地為主。

礫石層的崩壞型態以沖蝕溝為主，可能原因為高強度的降雨下，本區原本就蝕溝發達，因此逕流容易匯集凹坡，結果導致原本的蝕溝再度受到沖刷，而出現高密度且再度被作用後沖蝕溝。就兩地層的崩塌地，大南灣層含泥岩、粉砂岩、頁岩及砂岩互層，由於滲透率不一，易形成不透水層，當地下水上升，易導致崩塌（陳榮河，

表 3-3 礫石層與大南灣層之崩壞頻度和相對頻度

颱風	崩壞類型	地層名稱	崩壞個數	頻度(個/km <sup>2</sup> )
西仕	崩塌地	礫石層	515	6.89
		大南灣層	242	7.48
	沖蝕溝	礫石層	1361	18.20
		大南灣層	207	6.40
納莉	崩塌地	礫石層	429	5.74
		大南灣層	102	3.15
	沖蝕溝	礫石層	448	5.99
		大南灣層	29	0.90

【註：地層面積：礫石層 74.79 km<sup>2</sup>，大南灣層 32.36 km<sup>2</sup>。】

1987), 作者觀察大南灣層在豪雨後, 極易受沖刷而出現崩塌現象, 航照判讀結果也支持本地層崩壞類型以崩塌地為主。林口礫石層的岩性則以礫石為主、細砂填充其間, 洪如江等 (1985) 陳榮河 (1990) 認為礫石層雨水入滲快, 易於坡體表面形成濕潤帶, 使得下部礫石層先行破壞, 而使上部地層失去支撐, 造成淺層平面破壞, 也因此礫石層崩塌地的頻度亦不低, 與大南灣層相當。(照片 3-3、3-4)。

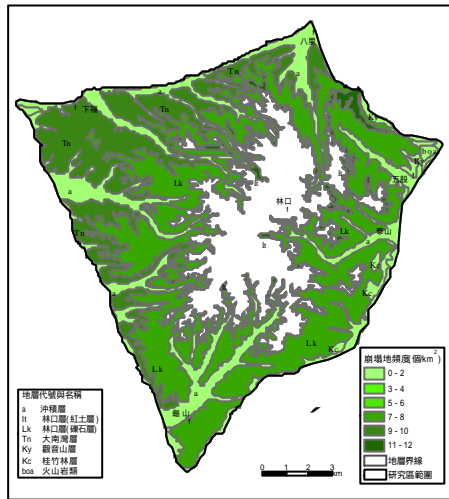


圖 3-1 西仕颱風後各地層崩塌地頻度

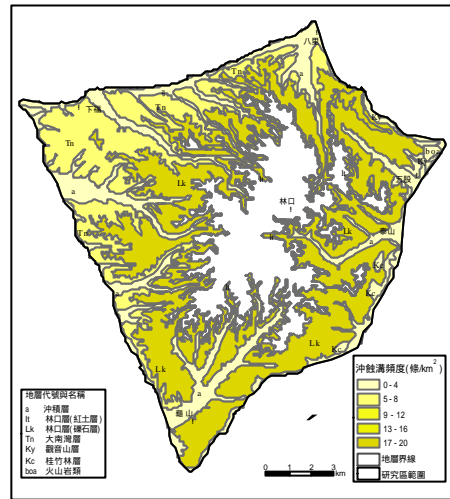


圖 3-2 西仕颱風後各地層沖蝕溝頻度

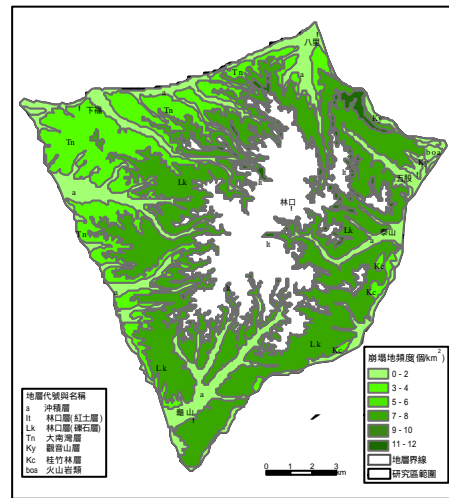


圖 3-3 納莉颱風後各地層崩塌地頻度

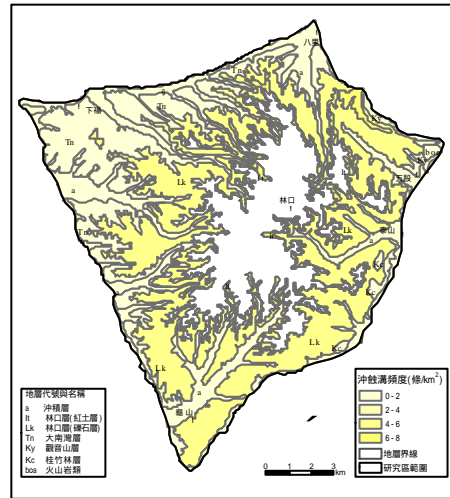


圖 3-4 納莉颱風後各地層沖蝕溝頻度



照片 3-3 西仕颱風後礫石層的崩塌地  
攝影：師大地理系楊萬全教授 (1982/12)



照片 3-4 大南灣層的崩塌地  
地點：出水坑溪出海口, 2004/11 攝

## 二、礫石層與大南灣層內崩壞地的坡度分布

為瞭解礫石層與大南灣層內崩壞地與坡度之間的關連，分別計算兩地層內崩壞地所在坡度分級。

根據統計，西仕颱風後和納莉颱風後的崩壞地和沖蝕溝在礫石層或大南灣層多數集中在 20~40°間。以相對集中度來看，仍以 30°以上為主。顯示崩壞地在全臺地邊坡之坡度等級的分布趨勢一致，並不因地層類別的差別（表 3-4）。

表 3-4 礫石層與大南灣層崩壞地坡度等級之面積比例和相對集中度

分區	坡度等級	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	合計	
礫石層	坡度網格數比例	21.2	31.1	28.4	13.1	4.5	1.4	0.3	0.0	0.0	100.0	
	西仕 颱風	崩壞地比例(%)	9.8	16.5	<b>28.8</b>	<b>25.6</b>	13.8	4.5	1.0	0.1	0.0	100.0
		相對集中度	0.0019	0.0022	0.0042	<b>0.0082</b>	<b>0.0128</b>	<b>0.0136</b>	<b>0.0141</b>	0.0000	0.0000	0.0042
		沖蝕溝崩塌比例	9.2	<b>21.5</b>	<b>30.4</b>	<b>19.9</b>	8.7	8.5	1.8	0.0	0.0	100.0
		相對集中度	0.0014	0.0022	0.0034	0.0048	<b>0.0061</b>	<b>0.0195</b>	<b>0.0186</b>	0.0000	0.0000	0.0032
	納莉 颱風	崩壞地比例	8.2	19.1	<b>30.7</b>	<b>27.1</b>	12.0	2.5	0.3	0.0	0.0	100.0
		相對集中度	0.0015	0.0024	0.0043	<b>0.0082</b>	<b>0.0106</b>	<b>0.0072</b>	0.0043	0.0000	0.0000	1.0000
		沖蝕溝崩塌比例	3.9	17.8	<b>40.5</b>	<b>27.4</b>	7.6	2.2	0.5	0.0	0.0	100.0
		相對集中度	0.0004	0.0011	0.0028	0.0041	0.0033	0.0032	0.0030	0.0000	0.0000	1.0000
	大南灣層	坡度網格數比例	34.6	35.6	19.2	8.1	2.2	0.3	0.0	0.0	0.0	100.0
西仕 颱風		崩壞地比例	18.0	<b>25.4</b>	<b>28.0</b>	<b>21.3</b>	6.7	0.7	0.0	0.0	0.0	100.0
		相對集中度	0.0019	0.0026	<b>0.0054</b>	<b>0.0098</b>	<b>0.0114</b>	<b>0.0088</b>	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
		沖蝕溝崩塌比例	20.4	19.2	<b>33.2</b>	<b>21.8</b>	4.9	0.5	0.0	0.0	0.0	100.0
		相對集中度	0.0007	0.0006	0.0020	0.0031	0.0026	0.0019	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
納莉 颱風		崩壞地比例	6.9	<b>20.2</b>	<b>33.2</b>	<b>29.7</b>	9.1	0.9	0.0	0.0	0.0	100.0
		相對集中度	0.0004	0.0012	0.0036	<b>0.0076</b>	<b>0.0085</b>	<b>0.0061</b>	0.0000	0.00	0.00	1.00
		沖蝕溝崩塌比例	6.8	<b>25.2</b>	<b>32.3</b>	<b>22.0</b>	12.1	1.6	0.0	0.0	0.0	100.0
		相對集中度	0.0000	0.0002	0.0004	0.0007	0.0014	0.0013	0.0000	0.00	0.00	1.00

【註：崩壞比例(%) =  $\frac{\text{該區某坡度分級崩壞網格數}}{\text{該區總崩壞網格數}} \times 100$ ； 相對集中度 =  $\frac{\text{該區某坡度分級崩壞網格數}}{\text{該區該坡度分級總網格數}}$ 】

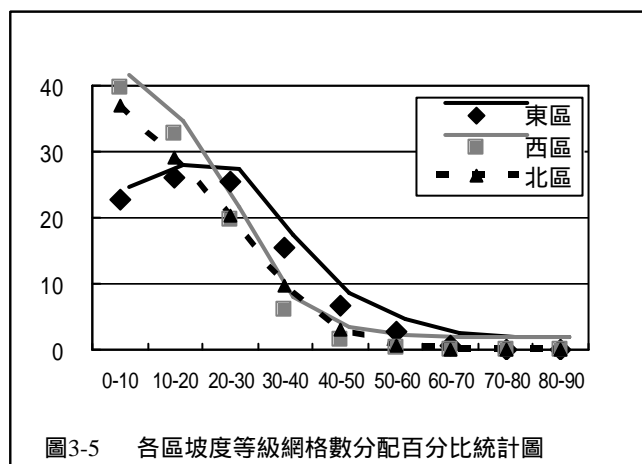
### 第三節 崩壞地的空間分布與臺地分區之地形、地質特徵

#### 1. 分區地形特徵之差異

林口臺地在各次颱風後的崩壞地分布不盡相同，以崩壞地的空間分布而言，兩次颱風的總崩壞數量在東區均為全臺地最高（圖 3-7）。為瞭解東、西、北區之地形差異與東、西、北三區之崩壞作用之關係，首先，透過 DEM 分別統計出林口台地東、西、北三區河流之縱剖面、坡降、流域之平均坡度以及水系密度，以瞭解過去為古扇洲環境抬升隆起後，所造成三區之地形差異。

林口臺地周緣邊坡（不計臺地頂面）0~40°四個等級的面積佔了九成，其中主流之谷床寬廣低緩，分布在 0~10°間。依三大區來看，東區最陡（平均坡度 21.83°），其次為北區（16.17°）和西區（14.69°），東區之 20-60°坡度的比例佔該區面積的 50.3%，而西區、北區僅佔 27.4、33.6%左右（圖 3-5）（表 3-5）。

河谷密度與頻度均為東區最高，吳正雄、江永哲（1985）判釋西仕颱風前後五股、泰山一帶 12 個小集水區崩壞與土石流的情形，得到谷密度和崩壞率成直線迴歸關係，崩壞率隨著谷密度增加而加大。



比較三區主要溪流之河谷縱剖面與坡降，亦是以東區最

高（表 3-5、圖 3-6）。無論從平均坡度、河谷密度與頻度、主流坡降，均顯示了東區的地形最為崎嶇，邊坡的穩定程度較其他二區更為脆弱，也符合本研究判釋出崩壞地在東區最為密集，林書毅（1998）的研究也呼應上述看法，他劃分林口臺地崩壞潛感分區，得到高潛感區亦是分布於臺地東側 南側鄰近侵蝕溝之陡坡。

表 3-5 林口臺地三分區之地形特徵

各區 (扣除臺地頂)	面積(km <sup>2</sup> )	平均坡度	河谷密度 (km/km <sup>2</sup> )	河谷頻度 (個/km <sup>2</sup> )
東區	42.0	21.83	5.3	17.7
西區	62.5	14.69	5.2	14.3
北區	47.8	16.17	4.9	13.8

【註：詳細之河流坡降數值見附錄 4-1】

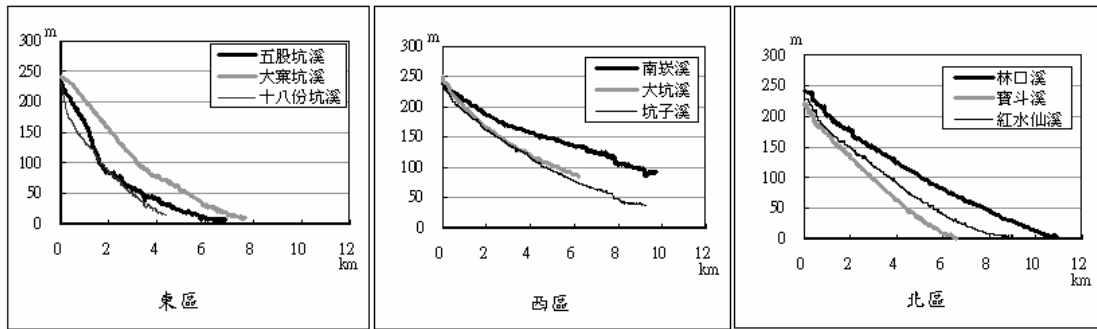


圖 3-6 各分區主要溪流縱剖面

探究造成林口臺地東、西、北三區之地形差異，應該和本臺地過去為一古扇洲 (fan-delta) 之環境有關，依據陳文福 (1989) 所推測本臺地的沈積面以東區為高，向西北漸緩，而泰山一帶是過去扇頂之位置，故東區原始地貌本就高。而相對抬生後，西側以約 100 m 的階崖與桃園臺地相接，北側亦以高約 100 m 的海蝕崖直接濱海，東側則與台北盆地形成 200 m 高的落差，為三區中落差最大 (鄧國雄，1979)，因而東區能提供較高的侵蝕位能。

## 2. 分區之地層特性

各地層與各區崩壞地的分布比較，顯示礫石層為沖蝕溝主要分布區。三區中西區的礫石層出露面積最大(30.6 km<sup>2</sup>)、東區次之 (27.3 km<sup>2</sup>)，北區最小 (16.9 km<sup>2</sup>)；但東區位於古扇洲扇頂位置，出露地層幾乎全為林口礫石層，北區、西區的礫石層和大南灣層的比例各約為 1 : 1、2 : 1 (表 3-6)。比較位於扇頂東區礫石層和位於扇端及扇央的西區礫石層，東區礫石層在西仕和納莉颱風時的沖蝕溝頻度均高於西區和北區，特別在降雨強度特大的颱風 (如西仕颱風) 後會出現數量眾多的沖蝕溝。似乎東區沖蝕溝的好發性遠高於西區和北區。

根據圖 3-7 西仕和納莉崩壞地密度等值圖與古水流方向、等粒度線表示，東區在地層上與其他二區最大的不同，係位於古扇洲之扇頂，在先天上提供巨

表 3-6 各地層別內之分區崩壞頻度值

地層	分區	面積 km <sup>2</sup>	平均 坡度	西仕颱風崩壞頻度		納莉颱風崩壞頻度值	
				崩塌地	沖蝕溝	崩塌地	沖蝕溝
礫石層	東區	27.3	24.5	11.6	<b>43.2</b>	6.0	<b>8.5</b>
	西區	30.6	17.2	1.9	1.1	5.3	5.9
	北區	16.9	19.5	8.3	9.0	6.2	2.1
大南灣層	西區	15.3	14.7	1.9	1.5	1.4	0.6
	北區	17.1	16.7	12.5	10.8	4.7	1.2



厚、粒徑大之礫石層，加上本身地形坡陡、及蝕溝特多的環境，造成東區崩壞型態以沖蝕溝為主，崩壞頻度為三區之最。林口臺地地層材料組成的不同，以及地表侵蝕營力不同，即使在 190 km<sup>2</sup> 同是紅土礫石台地的區域內，造成崩壞類型與趨勢有空間差異。

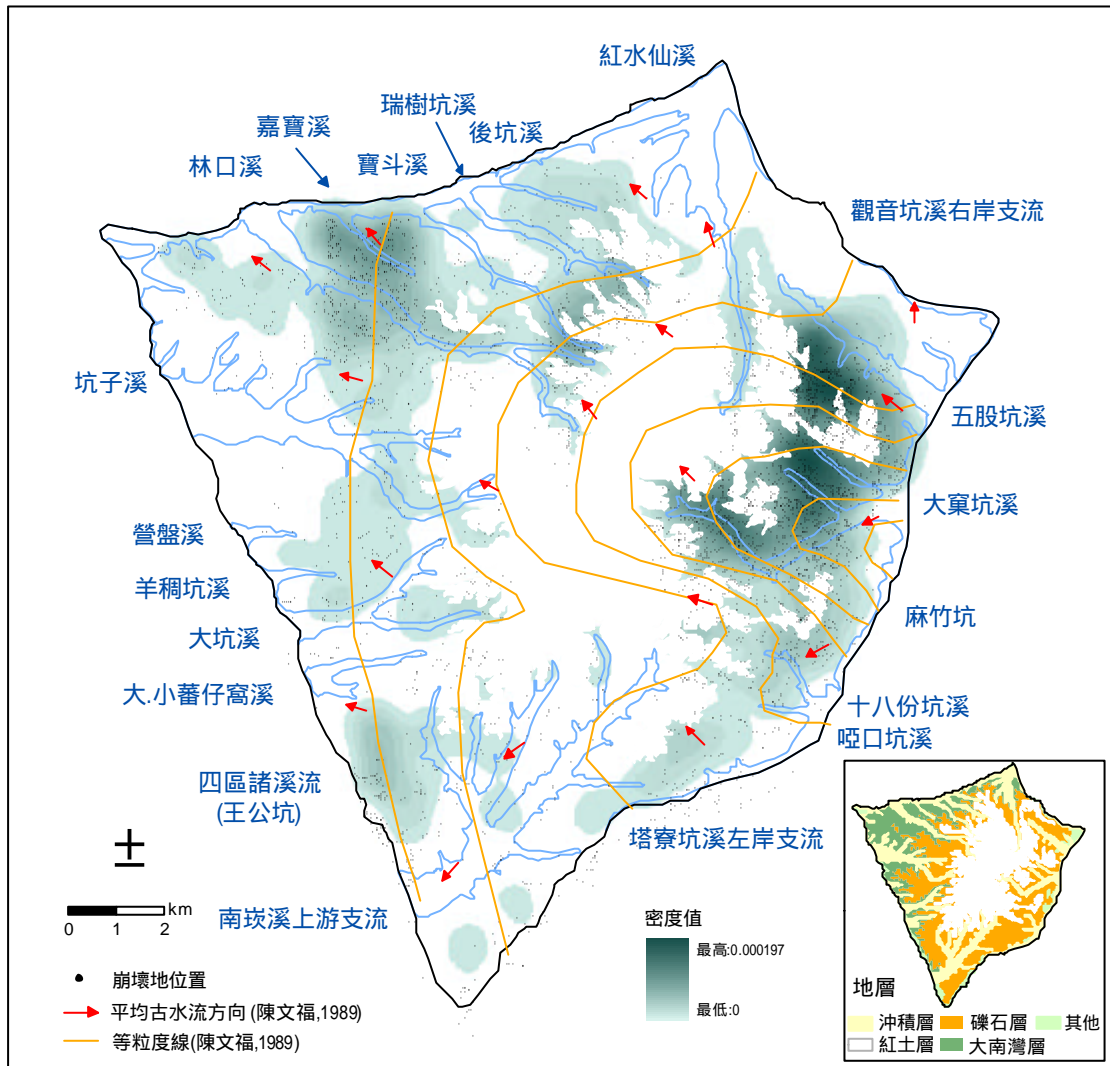


圖 3-7 古水流方向、等粒度線與西仕和納莉總崩壞地密度等值圖疊合