

地工技術

由台灣監測案例探討邊坡位移量之管理值

廖瑞堂 陳昭維

青山工程顧問有限公司

紀宗吉 林錫宏

經濟部中央地質調查所

摘 要

在防災意識抬頭下，目前台灣邊坡監測案例正快速成長中，多數個案在初期階段，因缺乏完整的監測成果可供參考，故在操作實務上，往往參考日本的相關建議訂定管理值。由於台灣地質條件與日本不同，加上監測系統大都為手動監測方式，與日本多採自動化監測有甚大出入，故監測管理值訂定有必要重新思考。

本文彙整台灣10餘處邊坡的監測案例，同時比較國外的監測案例，選擇與邊坡穩定性有直接關係的位移量測，就傾斜觀測管、地表伸縮計及孔內伸縮計等三種常用的地層位移監測儀器，綜整監測成果加以分析研判，以對有關邊坡位移量之管理值訂定，進行探討並提出建議，以避免不必要之誤用。

關鍵字：管理值，邊坡位移監測案例，自動監測系統。

Study of Slope Displacement for Management from Landslide Monitoring Cases in Taiwan

Liao Jui-Tang Chen Chao-Wei

Land Engineering Consultants Co. Ltd.

Chi Chung-Chi

Lin Hsi-Hung

Central Geological Survey, Moea

Abstract

Landslide monitoring sites are growing with the raising awareness of hazard prevention. Many landslide monitoring cases are still at initial stage thus cannot provide sufficient information for reference. Therefore the monitoring values for landslide management are adopted with Japan regulations. However, the values for Taiwan's landslide management need to re-considerate with different geological conditions and manual monitoring system comparing with Japan's automatic monitoring system.

More than 10 landslide monitoring sites are collected in this study. Displacement measurements such as slope indicator, ground extensometer, and in-hole extensometer that have direct relationship with landslide stability are selected to analysis comparing with landslide monitoring cases in other countries. The displacement monitoring results of these instruments are analyzed and proposed displacement values for management to prevent the misuse of monitoring values.

Key Words : monitoring values for management, landslide displacement monitoring cases, automatic monitoring system.

一、前 言

台灣早期於颱風來襲時，政府多要求民眾盡量待在家裡，避免外出而發生意外，而要求

人民離開家園到安全的地方避難，相對困難。但近年來，台灣因發生多起重大坡地災害，造成嚴重傷亡，因此各級政府相當重視坡地防災，每逢颱風豪雨，對於高風險的坡地均會啓動疏散避難措施，而部份道路也實施預警性封

閉，以減少人命傷亡，民眾對於勸離及避難政策也相對容易接受。

此一防災政策在短期內，已收到不錯的成效，大幅降低災害損失，但付出的社會成本亦相當高，因此如何妥適利用防災監測系統，提昇預警防災功能，讓避災的執行更精緻，更可長可久，其中自動化監測功能的提昇及訂定合理的管理值乃是重要關鍵。

本文彙整多處國內與國外的邊坡監測案例，就邊坡穩定性有直接關係的位移量測，加以分析比較，對有關邊坡位移量之管理值訂定，進行探討並提出初步的建議。

二、台灣坡地監測管理值訂定現況

2.1 自然邊坡的災害型態

自然邊坡的災害型態，依位移速率及發生機制不同，可概分為「山崩」、「地滑」及「土石流」等三大類。其中「土石流」的運動型態較接近流體，與「山崩」及「地滑」則較接近固體或塑性體，二者明顯不同，故預警機制亦有所差異。其中「山崩」及「地滑」二者之坡體運動型態較為接近，可一併討論。本研究主要針對「山崩」及「地滑」的坡地災害，探討邊坡位移量監測管理值訂定之合理性。

「山崩」係指中小規模、快速的邊坡破壞，常見的破壞模式包括順向坡平面滑動、高角度節理的傾倒破壞及落石災害等，多屬於脆性破壞，在較小位移量或位移速率下，即有加速破壞可能。

「地滑」係指滑動規模較大、滑動深度較深(通常為10~30公尺，少數案例達100公尺以上)的滑動邊坡，其發生災害的滑動速率，通常在產生滑動初期較為緩慢，部份邊坡甚至走走停停，部份則呈等速率滑移，但發展至後期，則會加速直到破壞。

2.2 常見的坡地監測儀器

坡地安全監測儀器種類繁多，約數十種，包括量測氣候、水文、應力及位移等各類儀器。常見的坡地安全監測儀器如表一所示，其中因為土

石流之運動型態及發生機制與山崩、地滑不同，故採用監測儀器型式差距較大。

各種儀器之量測結果與坡地安全的相關性不盡相同，可概分為直接及間接量測。坡地監測管理值訂定，宜以直接量測的地層位移為主，再輔以地下水位(或水壓)、雨量等間接物理量。

台灣較常用之地層位移監測儀器，包括傾斜觀測管(Inclinometer)、地表伸縮計(Surface Extensometer)、孔內伸縮計(Borehole Extensometer)、裂縫計(Crackmeter)及地表傾斜計(Surface Tiltmeter)等儀器，其中裂縫計及地表傾斜計，僅能代表地表局部徵兆之變化，受溫度或外力影響較大，故代表性相對較低。

表一 常見的坡地自動監測儀器

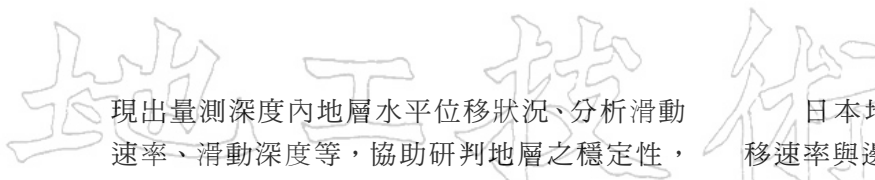
監測儀器名稱	量測之物理量	坡地災害型態適用性*		監測方式**
		山崩及地滑	土石流	
傾斜觀測管 Inclinometer	地層水平位移量	○	△	M
定置型孔內傾斜計 In-Place Inclinometer	地層水平位移量	△	△	A
地表伸縮計 Surface Extensometer	地表相對位移量	○	×	M、A
孔內伸縮計 Borehole Extensometer	地層相對位移量	△	×	A
地表傾斜計 Surface Tiltmeter	地表傾斜量	○	×	M、A
地錨荷重計 Anchor Load Cell	地錨預力	○	×	M、A
裂縫計 Crackmeter	裂縫寬度變化量	△	×	M、A
水位觀測井 Water-level Observation Well	地下水位	○	△	M、A
水壓計(Piezometer)	地下水壓力	○	△	M、A
流量計(Flowmeter)	地下水流量	△	×	A
雨量計(Rain gauge)	降雨量	○	○	A
液位計(Level meter)	溪溝水位高度	×	△	A
鋼索感測器 Steel Wire Sensor	鋼索完整性	×	○	A
地聲感測器 Geophone Sensor	大地聲波	×	○	A

* 符號說明：○：經常使用 △：偶而使用 ×：甚少使用

** 符號說明：A：自動監測 M：手動監測

2.2.1 傾斜觀測管(或稱插入式傾斜管、測傾管、傾度管)

傾斜觀測管為邊坡監測實務運用上最常用之地層位移觀測儀器，其監測成果能清楚表



現出量測深度內地層水平位移狀況、分析滑動速率、滑動深度等，協助研判地層之穩定性，係為有效的地層位移觀測技術。

該儀器係利用鑽探完成之鑽孔，埋設具十字溝槽之傾斜管，再採測傾儀量得每一深度之傾斜角度，進而推得相對於孔底假設不動點之各深度水平位移量。然而傾斜觀測管以採用人工監測為主，雖可採於管內安裝多支「定置型傾斜計」，達到自動監測目的，但因其安裝間距及總數量有所限制，會影響整體量測精度，故在防災預警的運用上仍有其侷限性。

2.2.2 地表伸縮計(或稱伸縮計、地滑計)

地表伸縮計係用來量測邊坡的地表二點間之相對位移，地表伸張計之鋼索一端固定於不動之地表上，另一端設置在滑動塊體內，當兩端產生相對位移時，將伸張拉動鋼索，量測其伸張量可求得兩端之相對變位置。

2.2.3 孔內伸縮計

對於邊坡地層監測而言，地表伸縮計常因相對兩點間均座落於滑動塊體內，無法監測其絕對水平位移量。為克服此一問題，可採用孔內伸縮計，將其錨碇段之不動點向下錨碇在滑動面下方之穩定地層內，由於連接於錨碇端之鋼繩將因地層滑動而在孔口端產生相對變位，可於孔口端裝設變位計，量測鋼繩頭部之位移量，以代表地層之變位情形。而依裝設的角度不同，又分為斜向孔內伸縮計及垂直向孔內伸縮計。

2.3 邊坡滑動管理值之相關規範

2.3.1 國外規範

美國墾務局(USBR,1987)針對邊坡之滑移，分別從總滑移量、位移速率、滑移加速度等三個項目，訂定警戒標準值。若邊坡之總滑移量>25mm，或位移速率>6mm/日，或滑移加速度>0.0025mm/日/日，則代表該邊坡之滑移行為已超過警戒基準。

日本高速道路調查會(1986，1988)針對「維持管理階段」及「施工階段」訂定不同管理值，並對於不同之監測儀器訂定判定基準，提供判斷邊坡是否滑動的定性與定量標準，詳表二及表三所示。

日本地滑對策技術協會(1978)則提出位移速率與邊坡穩定性判斷建議表，詳表四，該表可作為邊坡是否需進行整治之重要參考，但與預警防災的管理值相關性不高，不宜直接作為預警疏散避難的依據。

表二 日本高速道路調查會管理值建議表(1986)

比較項目	維持管理階段		施工階段	
	伸縮計	傾斜觀測管	伸縮計	傾斜觀測管
加強觀測	10mm /30日	1mm /10日	5mm /10日	1mm /10日
對策之檢討	5~50mm /5日	5~50mm /5日	5~50mm /5日	5~50mm /5日
警戒應變措施	10~100mm /日	-	10~100mm /日	-
嚴重警戒暫時疏散	>100mm /日	-	>100mm /日	-

表三 日本高速道路調查會之地滑判定基準(1988)

監測儀器	定量的判定標準	定性的判定標準
地表伸縮計	>0.5mm/日	觀測值隨時間而累積增加多個監測儀器顯示同樣的地滑趨勢與降雨、下雪有連動性之累積變化觀測結果可確認地滑面
孔內伸縮計	>0.5mm/日	
光波測距儀	>5mm/回(固定式)	
	>10mm/回(移動式)	
傾度盤	>10秒/7日	
管式應變計	>50~100μ/7日	
傾斜觀測管	>1mm/10m/回	

表四 滑動速率與邊坡穩定性判斷建議表(日本地滑對策技術協會，1978)

變動種別	日變位置量 (mm)	月變位置量 (mm)	一定方向的累積傾向	活動性判斷	摘要
緊急變動	20以上	500以上	非常的顯著	急速崩壞	崩壞型 泥石流型
確定變動	1以上	10以上	顯著	活潑運動中	崩積土滑動 深層滑動
準確定變動	0.1以上	2以上	略顯著	緩慢運動中	黏土滑動 回填土滑動
潛在變動	0.02以上	0.5以上	稍稍有	有待繼續觀測	黏土滑動 崖積滑動

2.3.2 台灣規範

台灣目前並無政府單位明確規定邊坡滑動之管理值，而各單位因應個別管理維護需求，於自頒之養護管理規定中訂定管理基準，內容常參考日本地滑對策技術協會(1978，表四)之判定標準。

水土保持局以統計方式，計算台灣各行政區發生土石流機率70%之累積降雨量，作為土石流警戒基準。至於邊坡滑動之管理值，則依個案分別訂定之。

三、邊坡安全管理值案例探討及比較

3.1 管理值分級

台灣於邊坡進行安全監測時，每個個案之執行初期，大都根據相似案例之監測成果訂定管理值，做為預警防災發佈之依據，後續則於累積更多監測成果後再持續檢討修正，故選取之管理值初期可能較為保守。至於管理值大都以邊坡位移的速率作為主要指標，並視所安裝儀器之種類，加入地下水位、降雨量等參考指標。

台灣與日本坡地安全的管理基準分級大致相似，大都分為三個等級，分別為注意值(注意體制)、警戒值(警戒體制)及行動值(避難體制)，如表五所示，但仍有少數個案分為二個或四個等級。但在不同案例中管理值代表的意義及因應對策不一定相同，故不同案例不一定能直接對應，使用上需先釐清不同管理值的意義及因應對策，再訂定管理值。

目前台灣有關管理值之定義與日本則有較大出入。以注意值為例，台灣多定義為邊坡略有不穩定徵兆階段，日本則定義為邊坡開始出現滑動之階段，但台灣則多將邊坡開始產生滑動時，定義為警戒值，意即日本訂定的注意值大都為台灣訂定的警戒值；日本訂的警戒值大都為台灣訂定的行動值。

3.2 個案管理值之比較

蒐集台灣及日本邊坡不同監測案例訂定之管理值加以比較，如表六及表七所示。由於地層位移或位移速率最能代表邊坡的穩定性，故不論台灣或日本案例均採用，但取得位移變化之監測儀器，台灣多採用手動方式監測之傾斜觀測管，日本則多為自動監測之地表伸縮計。至於降雨量或地下水位，雖然與邊坡穩定之關係密切，但係為間接物理量，代表性相對較低，因此並非每個案例均有採用，其中台灣較常使用水壓計或水位觀測井，但日本則較多採用雨量計。

而台灣之管理值多以「日」或「月」為時間比較單位，但日本則多以「時」為單位，二者差異甚大。此一差異研判應與監測系統自動化程度有關，在自動化程度較高的個案，方能以較密集之頻率觀測，得到較短時間間隔之觀測成果。

3.3 監測管理值差異探討

綜合上述台灣及日本相關案例就「位移速率」之管理值加以比較，其主要差異如表八所示，二者之主要差別歸納如下：

日本坡地監測案例之自動化程度較高，有許多連續性之監測紀錄；至於台灣案例則多以手動監測為主。故日本位移速率管理值多以每時或每日之滑動量為單位，但台灣目前則多以每月或每日之滑動量為單位。

表五 台灣與日本邊坡監測案例之管理值代表意義

		管理值代表意義		
		注意值(注意體制)	警戒值(警戒體制)	行動值(避難體制)
台灣 案例	九份地滑區	邊坡已略有不穩定徵兆，觀測結果已超出設計標準，具較高潛在之危險。	邊坡已確定為不穩定。	邊坡已發生滑移或已瀕臨破壞。
	廬山溫泉北側邊坡	現場環境出現不利於邊坡穩定之情形。(如豪大雨，造成地下水位開始上昇)	1.不利於邊坡穩定之情形持續惡化。 2.可能造成邊坡開始產生滑動或邊坡已發生初期滑動現象。(如開始產生邊坡滑動時之地下水位)	確認邊坡已經發生滑動，危害性極高。(如滑移量持續增加，或有加速現象)
	台北市順向坡	可接受之變化量，應該是安全之範圍。	可接受之變化量，但可能接近臨界值。	有發生邊坡滑動或危及結構物之可能性。
	台電鐵塔邊坡	1.變化量略有持續之異常變化或現象，但仍在安全範圍內。 2.環境已有不利邊坡穩定之改變。	1.變化量有持續之異常變化，但可能已接近安全之臨界值。 2.不利於邊坡穩定之環境因素持續惡化。	1.變化量持續增加，且變化速率加速，有立即之安全疑慮。 2.變化量已超出電纜可正常運作之設計限度。
	白沙灣安樂園區	1.當觀測值大於注意值，表示邊坡已略有不穩定徵兆。 2.觀測結果已超出設計標準，具較高潛在之危險。	邊坡或擋土牆已確定為不穩定。	未規定
日本案例	邊坡開始產生滑動，邊坡已脫離正常狀態。	邊坡滑動速率增加，邊坡崩壞可能性大增。	邊坡滑動速度快，邊坡瀕臨崩壞。	

表六 台灣11處邊坡監測案例之管理值彙整表

編號	案例名稱	管 理 值		
		注意值	警戒值	行動值
T1	五灣仔地滑區	SIS：略有一定位移趨勢1mm/月 BE：略有一定位移趨勢1mm/月 TI：略有一定傾斜方向60秒/月 OW：較常時水位上昇5m R：24小時累積雨量>150mm或時雨量>30mm	SIS：有一定位移趨勢10mm/月 BE：有一定位移趨勢10mm/月 TI：向固定方向傾斜120秒/月 OW：較常時水位上昇15m	BE：3mm/日
T2	中間解說站	SIS：0.5mm/月，略有一定位移趨勢 BE：近30日累積位移量>1mm，並具一定位移變化趨勢 TI：150秒/月，略有一定位移趨勢 OW：較常時上昇5m LC：≥1.2倍設計預力或≤0.8倍設計預力 R：30mm/時或累積100mm/日	SIS：2mm/月，有一定位移趨勢 BE：近7日累積位移量>20mm，並具一定位移變化趨勢 TI：300秒/月，有一定位移趨勢 OW：較常時上昇10m LC：≥1.4倍設計預力 R：50mm/時或累積200mm/日	SIS：2mm/日 BE：24小時累積位移量>5mm或有加速現象 TI：60秒/日
T3	九份地滑區	TI：略有一定傾斜傾向100秒/月 OW：較常時上昇5公尺 LC：大於1.2倍設計預力(72T)或小於0.5倍設計預力(30T) R：30mm/時或100mm/24小時	SIS：有一定位移趨勢2mm/月 S：有一定位移趨勢2mm/月 TI：向固定方向傾斜300秒/月 LC：大於1.5倍設計預力(90T)或小於0.3倍設計預力(18T)	SIS：1mm/日或10mm/月 S：1mm/日 TI：40秒/日
T4	廬山溫泉北側邊坡	R：近24小時累積降雨量>200mm	BE：日平均位移速率>5mm/day並具一定位移變化趨勢	BE：日平均位移速率>32mm/day並具一定位移變化趨勢
T5	台62線順向坡	OW：較常時上昇7m TI：±100秒/日，持續朝下邊坡傾斜 R：25mm/時	IC：單點最大位移量20mm OW：較常時上昇10m LC：上昇3T且噸數有持續增加 TI：±200秒/日，持續朝下邊坡傾斜 R：50mm/時	IC：單點最大位移量30mm OW：較常時上昇15m LC：上昇5T且噸數有持續增加 TI：±300秒/日，持續朝下邊坡傾斜 R：75mm/時
T6	梨山地滑區	R：20mm/時；累積100mm/日；	R：累積150mm/日；累積200mm/2日 S：10-6(%/分)	S：Tr<5(小時)
T7	台北市順向坡	SIS：2mm/月，且有一定位移傾向 TI：角變量1/500(413")	SIS：2~10mm/月，且有一定位移傾向 TI：角變量1/360(572")	SIS：>10mm/月，且有一定位移傾向 TI：角變量1/250(825")
T8	台電鐵塔邊坡	SIS：2mm/月，有一定位移趨勢	SIS：10mm/月，有一定位移趨勢	SIS：5mm/日，有一定位移趨勢
T9	白沙灣園區	SIS：5mm/月，略有位移傾向 TI：30秒/月，略有一定傾斜趨勢 CR：0.5mm/月 OW：較常時水位上昇5公尺	SIS：20mm/月，有一定位移傾向 TI：60秒/月，向固定方向傾斜 CR：2.0mm/月	
T10	貓纜塔柱邊坡	SIS：0.02mm/日、0.5mm/月 TI：206"	SIS：0.1mm/日、2.0mm/月 TI：412"	SIS：1.0mm/日、10mm/月 TI：1031"
T11	太和地滑區	SIS：略有一定位移趨勢1mm/月 OW：高於常時水位3m以上 R：24小時累積雨量>150mm或時雨量>30mm	SIS：有一定位移趨勢，10mm/月 OW：高於常時水位6m以上	SIS：有一定位移趨勢，平均1mm/日

符號說明：SIS(傾斜觀測管)；LC(地錨荷重計)；BE(孔內伸縮計)；R(雨量計)；TI(地表傾斜儀)；IC(安置型孔內傾斜計)；OW(地下水位計)；S(地表伸縮計)；CR(裂縫計)

表七 日本16處邊坡監測案例之管理值彙整表(節錄自T. Kimura等人, 2006)

編號	發生時間	案例名稱	是否發生崩壞	管理值		
				注意值	警戒值	行動值(避難)
F1	2004	大塔村字井	是		S: 2mm/h, 2時間	
F2	2003	くろしお鉄道	有	S: 2mm/h	S: 2mm/h	
F3	1979	柳谷	是		S: 20mm/day S: 2mm/h R: 連續 50mm	S: 4mm/h R: 連續 100mm
F4	2004	市瀬	是	S: 2mm/h S: 50mm/day R: 10mm/h R: 35mm/day WL: 2m(河川水位)	S: 2mm/h S: 75mm/day WL: 3m(河川水位)	S: 10mm/h S: 100mm/day WL: 4m(河川水位)
F5	2004	大呂	無		S: 5mm/day S: 1mm/h } and	S: 10mm/day S: 2mm/h R: 20mm/h } and
F6	2004	上松	無	R: 10~15mm/h R: 累計 50mm	S: 4mm/h R: 16~25mm/h R: 累計 70mm	S: 4mm/h 2回 R: 16~25mm/h R: 累計 70mm
F7	2003	錦ヶ浦	無	S: 2mm/h	S: 2mm/h 2回 R: 15mm/h R: 60mm	
F8	2003	仙山峠	無	S: 2mm/h R: 30mm/day R: 連續 100mm	S: 10mm/h	S: 40mm/h
F9	2002	横平	無		S: 10mm/day	S: 4mm/h IC: 10mm/h
F10	1999	下石川	無	S: 1~4mm/h R: 10~20mm/h	S: 4mm/h R: 20mm/h R: 連續 80mm	S: 4mm/h R: 30mm/h R: 連續 130mm
F11	1993	落シ	無	S: 變動發生 R: 20mm/h R: 30mm/3h R: 50mm/day R: 連續 80mm	S: 4mm/h S: 2mm/h, 3時間 R: 30mm/h R: 60mm/3h R: 100mm/day R: 連續 200mm	
F12	1990	松尾	無	S: 1cm/day	S: 2mm/h	S: 4mm/h R: 連續 100mm
F13	1987	山際	無		S: 4mm/h S: 20mm/day R: 20mm/h R: 50mm/3h R: 連續 80mm	
F14	2003	大瀧ダム白屋	無		S: 10mm/day	S: 2mm/h, 連續 2小時
F15	2000	宇奈月ダム	無	TI: 10 秒/day 以上 或 5 秒/day 3日連續同一方向 IC: 0.5mm/day 或 0.2mm/day 3日連續同一方向 LC: 荷重明確增加 SS: 應變及累積變動明確增加		
F16	1989	寒河江ダム	無	TI: 5 秒/day 連續 3日 一定方向累積 TI: 10 秒/day 只要一日 BE: 1mm/day 連續 3日		

符號說明: S(地表伸縮計);BE(孔內伸縮計);R(雨量計);WL(河川水位計);TI(地表傾斜計);IC(定置型孔內傾斜計);
LC(地錨荷重計);SS(鋼管樁應變計)

表八 日本與台灣在不同地滑案例管理值主要差異表

比較項目 管理值	日本案例		台灣案例	
	地表伸縮計	傾斜觀測管	伸縮計(含地表型及孔內型)	傾斜觀測管
注意值(注意體制)	1~4mm/時	無此項目	0.5~1mm/月	0.5~2mm/月
警戒值(警戒體制)	1~10mm/時	無此項目	2~10mm/月；20mm/7日；0.5mm/日	2~20mm/月
行動值(避難體制)	4~40mm/時	10mm/時(孔內傾斜計)	1~32mm/日	1~5mm/日；10mm/月

伸縮計在日本已普遍使用(蒐集之16處案例均有採用)，在裝設得宜的情形下，伸縮計所量得之結果，能直接快速反應該坡地之穩定狀況，故日本案例常針對自動記讀的伸縮計訂定管理值。台灣裝設伸縮計之案例較少，大都以手動量測的傾斜觀測管量測之位移量訂定管理值。

台灣邊坡訂定之管理值明顯較日本案例建議值偏低，常有數十至數百倍以上之差異。主要原因可能地層滑動係為一反覆多階段潛變行為，監測頻率較低之手動監測，無法得到完整且連續的變形行為，而是兩次監測間的平均變形速率，相對於連續性的自動監測成果位移速率自然偏低。

管理基準若採用以自動化監測之短時間位移速率，直接換算作為手動監測之長時間位移速率使用，可能造成偏向危險側之結果。故在台灣目前以手動監測為主的情形下，不宜貿然使用以自動監測為主所推算出之管理基準。

台灣目前通常將位移速率開始加速時之第三次潛變速率，作為行動值。日本則大都將此一速率視為警戒值，此部分差異最大。

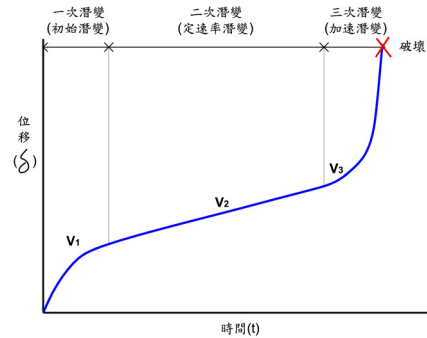
四、相關邊坡監測案例探討

4.1 邊坡位移過程

邊坡從開始發生滑動到最後發生崩壞之過程(包括山崩及地滑)，可由時間及位移之歷時曲線示意圖，如圖一，加以說明。

依位移速率之差異，大致可分為三階段。第一階段係位移走走停停的黏彈性變形，稱為一次潛變(初始潛變)，第二階段則為等速率位移的黏性流動，稱為二次潛變(定速率潛變)，第三階段為位移加速至破壞的三次潛變(加速潛變)。

4.2 邊坡監測案例成果探討



圖一 邊坡崩壞過程歷時曲線示意圖

為探討邊坡於滑動過程中不同階段的變形關係，本文共蒐集台灣及國外共21處邊坡之監測成果加以探討。

國外9處邊坡案例均曾發生破壞，滑動型態包括3處地滑區、2處為順向坡，另外1處為開挖施工中坍塌案例，其他2處案例則因資料不足，其滑動型態無法分類。破壞前不同滑動階段之邊坡位移速率監測成果，統整如表九所示。

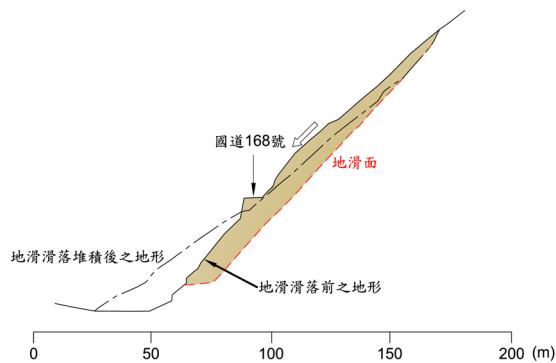
其中案例編號F1之日本奈良縣大塔村為順向坡滑動(平面破壞)代表，其滑動斷面示意圖如圖二，滑動面積約1.5公頃，最大滑動深度約為10m，地層位移歷時曲線如圖三所示，崩壞前第二次等速率潛變速率為0.04mm/時(即0.96mm/天)，至崩壞時刻之最大位移速率達17.35mm/時；案例編號F18之日本高場山為地滑深層滑動之代表，滑動深度約為25m，其滑動剖面示意圖如圖四，至於整個滑移曲線如圖五所示，崩壞前之第二次等速率滑動為4.37mm/時(即104.9mm/天)，崩壞時刻之最大位移速率達30.21mm/時。

由國外案例得知，邊坡在二次潛變階段，地表滑移速度約在0.04~5.08mm/時；當邊坡進入三次潛變階段，地表滑移速度約在1.48~18mm/時。若依滑動型態分類，深層滑動在尚未破壞前之位移速率約為1.76~18mm/時，平面滑動則為1.48~3.44mm/時之間，不同滑動型態之位移速率監測成果，整理如表十所示。

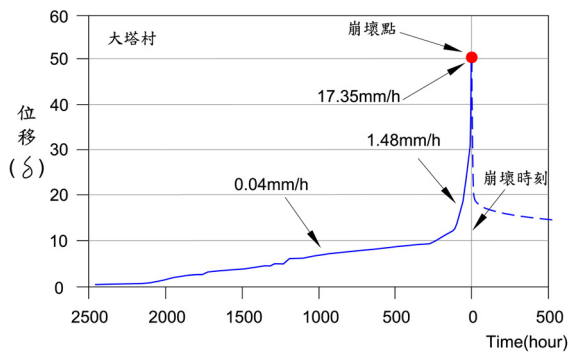
地工技術

表九 國外已破壞邊坡位移速率監測成果表(統計自 T. Kimura 等人, 2006)

編號	地區名	二次潛變速率, V2 (mm/時)	三次潛變開始速率, V3(mm/時)	地質狀況	滑動型態	滑動深度(m)
F1	日本奈良縣大塔村	0.04	1.48	砂頁岩互層	順向坡(平面滑動)	10
F2	日本高知縣くろし鐵道	2.71	4.60	不明	不明	不明
F3	日本愛媛縣柳谷地滑	1.74	3.44	砂岩、板岩	順向坡(平面滑動)	10
F17	日本長野市地附山	5.08	18.03	凝灰岩	地滑(深層滑動)	65
F18	日本高場山	4.37	7.29	砂頁岩互層	地滑(深層滑動)	25
F19	日本大井川	0.58	5.88	不明	不明	不明
F20	義大利バイオントダム	0.04	2.01	不明	不明	不明
F21	法國 La Clapiere	0.54	1.76	片麻岩	地滑(深層滑動)	100(推估)
F22	智利Chuquicamata鑛山	1.02	7.10	結晶斑岩	施工中滑動	不明

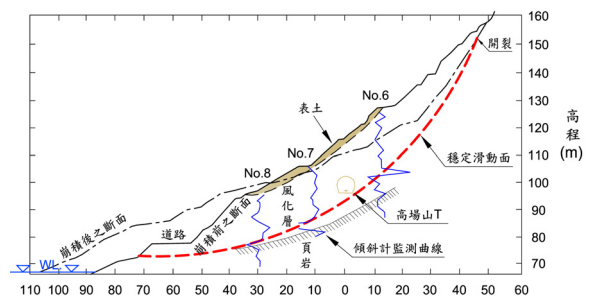


圖二 日本大塔村邊坡滑動剖面示意圖(順向坡平面滑動)

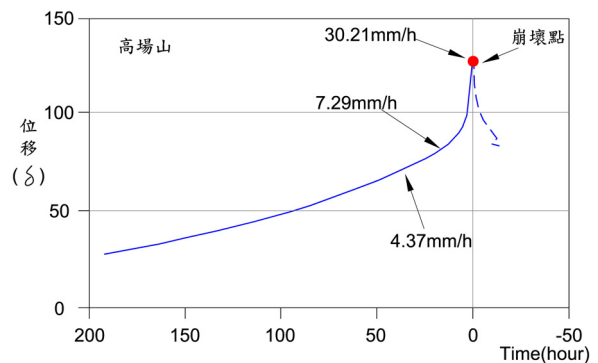


圖三 日本大塔村邊坡位移歷時曲線圖(順向坡平面滑動)

台灣案例計有12處，其中8處屬深層滑動之地滑、1處為順向坡、1處為傾倒破壞及2處為填土邊坡，而其中4處曾發生崩塌，監測成果詳表十一所示，由於國內案例之監測多採手動監測，故監測頻率較低，因此表中所示之最大滑動速率係相隔二次手動監測成果之差值。以廬山溫泉北側地滑區為例，滑動面積約40公頃，滑動深度最深達108m，為一典型的地滑區，其剖面詳圖六所示，地層滑動位移歷時曲線如圖七(傾斜觀測管)及圖八(孔內伸縮計)，地層滑移情



圖四 日本高場山邊坡滑動剖面示意圖(深層滑動)



圖五 日本高場山邊坡滑動歷時曲線圖(深層滑動)

表十 不同破壞模式下邊坡之位移速率比較表

滑動型態	二次潛變 滑移速率, V2(mm/時)	三次潛變 滑移速率, V3(mm/時)
平面滑動型態 (F1、F3)	0.04~1.74 (平均: 0.89)	1.48~3.44 (平均: 2.46)
地滑深層滑動型 態 (F17、F18、 F21)	0.54~5.08 (平均: 3.33)	1.76~18.03 (平均: 9.03)
不分型態 (F1~F3、17~F22)	0.04~5.08 (平均: 1.79)	1.48~18.00 (平均: 5.73)

形走走停停，在2009年莫拉克風災時曾發生2cm/日的滑動速率，之後漸趨於平緩，至於2012年0610豪雨事件又發生更大滑動速率，達3.2cm/日(即1.3mm/時，如圖九)，之後又趨緩和，該邊坡迄今呈緩慢運動中，但在豪大雨時，即會有加速位移的現象。

台灣案例中有3處工址曾發生或瀕臨破壞，統計傾斜觀測管或伸縮計測得之最大地表位移速率如表十二所示。其中廬山溫泉北側邊坡(T4)之深層滑動案例中，邊坡之位移速率曾達3.2cm/日(採自動化監測)，但仍未發生大位

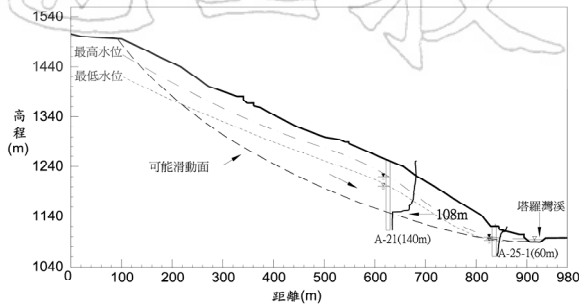
移破壞，相較順向坡平面滑動破壞案例(T16)，初期滑動速率僅有0.04cm/日，但最後發生大位移的破壞，顯示順向坡的平面滑動具脆性破壞傾向，亦即在破壞前不易發現明顯徵兆。此結果與日本案例相較具似有相同趨勢。

表十一 國內 12 處邊坡監測成果彙整表

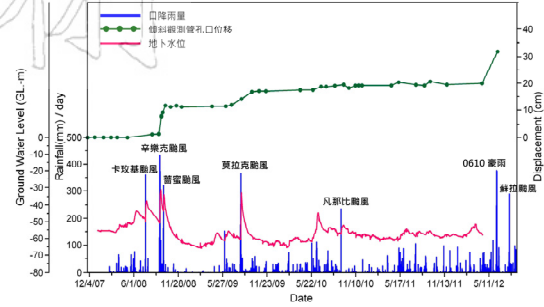
編號	鑽孔			滑動深度	滑動範圍				崩塌發生	平均滑動速率		最大滑動速率	量測間隔	地層狀況	滑動型態	量測日期		預警基準
	地區	儀器種類	孔號		H(m)	B(m)	L(m)	A(ha)		乾季 cm/月	雨季 cm/月					(cm/日)	(日)	
				前次								後次						
T1	台18線五灣仔地滑區	SIS	04-1	75	410	720	27	N	0.21	1.41	0.14	12	砂岩或泥質砂岩	深層滑動(逆向坡)	2005/8/26	2005/9/7	SIS 注意值:1mm/月 警戒值:10mm/月 行動值:- EO,ET 注意值:1mm/月 警戒值:10mm/月 行動值:3mm/日	
		SIS	B-3	45	230	340	5	N	0.15	1.13	0.17	26			2009/8/5	2009/8/31		
		SIS	B-5	10	190	560	7	N	-	-	0.23	14			2005/3/28	2005/4/11		
		SIS	B-12	10	125	220	2	Y	-	-	0.23	36			2008/5/24	2008/6/30		
		SIS	C-9	20	410	720	27	Y	0.08	0.81	0.59	52			2002/5/5	2002/6/26		
		BE	EO-2	-	-	-	-	N	-	-	2.00 (0.183mm/h)	連續性			2008/9/28	2008/9/29		
T2	中間解說站地滑區	SIS	A-3	28	200	300	5	N	1.50	3.00	0.11	13	硬頁岩或變質砂岩	深層滑動(逆向坡)	2007/5/25	2007/6/8	注意值:0.5mm/月 警戒值:2mm/月 行動值:2mm/日	
T3	九份地滑區	SIS	A-2	30	-	-	-	N	-	-	0.01	64	砂頁岩互層	深層滑動(斜交坡)	2005/5/24	2005/7/28	注意值:- 警戒值:2mm/月 行動值:1mm/日 或 10mm/月	
		SIS	SI-1	40	-	-	-	N	-	0.20	0.02	64			2008/8/1	2008/10/3		
T4	廬山溫泉北側邊坡	SIS	A12	50	650	685	27	N	0.03 62	1.91 9	1.81	10	板岩	深層滑動(逆向坡)	2008/9/10	2008/9/20	SIS 注意值: 警戒值:20mm/7日 行動值:- EO,ET 注意值:- 警戒值:20mm/7日 行動值:5mm/日	
		SIS	A13	41	650	685	27	N	0.14 44	4.80 4	1.58	10			2008/9/10	2008/9/20		
		SIS	A14	80	650	685	27	N	0.09 45	0.40 6	0.41	10			2008/9/10	2008/9/20		
		SIS	A15	108	650	685	27	N	0.01 22	1.44 22	0.65	10						
		SIS	A18	60	650	685	27	N	0.72 65	3.37 99	1.46	10			2008/9/10	2008/9/20		
		SIS	A21	125	650	685	27	N	0.28 99	3.32 96	0.19	63						
		S	S-2	-	-	-	-	N	0	-	1.20	連續性			2009/8/11	2009/8/12		
		BE	E-2	-	-	-	-	N	0	-	3.20 (1.33mm/h)	連續性			2012/6/12	2012/6/13		
T12	174線50k	SIS	CI-2	13	-	-	8	N	-	-	1.05	21	砂質泥岩	深層滑動	2008/7/10	2008/7/31	-	
T13	桃園雪霧隧道	SIS	B-8	8	170	310	10	N	0	-	0.15	14	板岩	深層滑動	2008/9/3	2008/9/17	-	
T14	高雄枝林道	SIS	A-5	12	-	-	3	N	0.08	0.17	0.44	16	板岩	深層滑動				
T15	台8線116K	SIS	B-2	28	-	-	13	N	-	-	0.04	48	板岩	深層滑動				
		SIS	B-4	28	-	-	13	N	-	-	0.06	48						
T16	基隆德街社區	SID	SID-2	13	-	-	<1	Y	-	-	0.04	36	砂頁岩互層	順向坡平面滑動	1998/5/9	1998/6/15	-	
T17	台北康寧街社區	SID	S-15	9	-	-	<1	Y	-	-	0.75	8小時	砂岩	傾倒破壞	2002/11/2	2002/11/2	-	
T18	汐止大尖山	SIS	B-12	15	-	-	<1	N	-	-	2.24	1	回填土	圓弧滑動	2000/11/23	2000/11/24		
T19	新店獅頭山	SIS	A-4	19	-	-	1	Y	-	-	0.52	7	回填土	圓弧滑動	2001/9/15	2001/9/22	-	

說明：儀器種類：SIS(土中傾斜觀測管);SID(壁內傾斜觀測管);BE(孔內伸縮計);S(地表伸縮計)

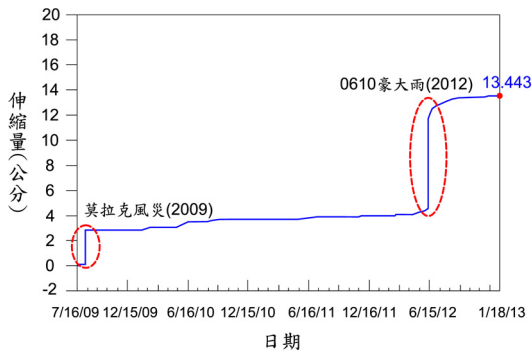
地工技術



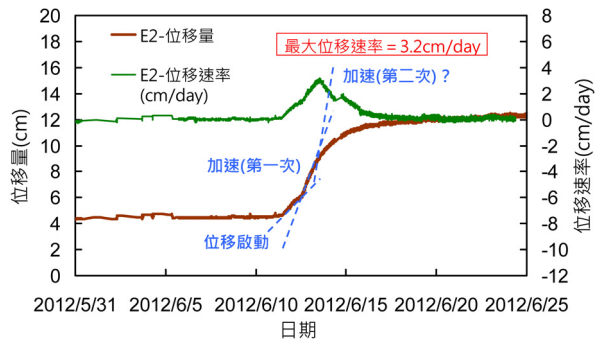
圖六 廬山溫泉北側邊坡滑動剖面示意圖



圖七 廬山溫泉北側邊坡傾斜觀測管觀測成果圖



圖八 廬山溫泉北側邊坡孔內伸縮計觀測成果圖



圖九 廬山溫泉北側邊坡在2012年610豪雨事件中邊坡位移速率圖

表十二 國內邊坡案例地表滑移速率統計表

案例	滑動型態	地表最大滑移速率 (cm/日)	說明	
			自動監測	現況尚無大崩壞
廬山溫泉北側邊坡(T4)	(深層滑動)	3.20	自動監測	現況尚無大崩壞
		1.81	手動監測	
基隆立德街社區(T16)	順向坡 (平面滑動)	0.04	破壞前62天量測 (最終發生崩壞)	
汐止大尖山(T18)	回填邊坡 (圓弧滑動)	2.24	曾瀕臨崩壞, 但已緊急補強穩定	

五、管理值訂定之考量因素

無論從相關規範或實際監測案例得知, 坡地安全管理值的訂定是一件不容易的事, 考慮因素甚多, 下面就如何訂定管理值的考量因素加以探討。

5.1 主要因素

1. 滑動型態：不同災害型態需訂定不同的管理值, 山崩、地滑或土石流的位移速率及滑動機制不同, 需分別訂定。以順向坡平面破壞為例, 其破壞型態係為一脆性破壞, 當累積位移量尚時, 即可能會產生加速破壞; 但若為

深層滑動之地滑時, 往往可以承受較大的邊坡位移量或位移速率而未破壞。

2. 保全對象及危害度：保全對象重要性不同, 於一旦發生災害時, 將造成不同程度之危害。例如：邊坡有高速公路或是高速鐵路通過, 相較於一般鄉鎮道, 若發生坡地災害時, 所造成之生命財產損失亦相對較高。

3. 儀器種類及自動化程度：常用監測地層水平位移的監測儀器有傾斜觀測管、地表伸縮計、孔內伸縮計等, 而傾斜觀測管又分為插入型傾斜觀測管、定置型傾斜觀測管及管式應變計等, 其中以手動插入型傾斜觀測管之監測精度最高, 亦最為常用, 但其自動化成本甚高, 故往往採用手動方式監測。而當自動化程度越高, 監測頻率亦越高, 其結果亦較能完整反應邊坡行為, 相較於手動監測, 在訂定位移速率管理值, 可較合理且精確地考量。

5.2 次要因素

1. 不同工程階段(施工中或管理維護階段)：一般施工中常有較多的監測儀器及專責人員進行監測, 加上施工中常會對地盤進行填

地工技術

土或開挖，只要有加壓及解壓，地盤自然會變形反應，故在施工階段大都容許略大的變形，故管理值較大。

2. 工程設施的種類：已施作工程設施（如地錨、抗滑樁、擋土牆等）之邊坡，可能在工程設施發揮作用後，而使得邊坡之滑動機制及可能破壞型態有所改變。故管理基準應根據工程設施完工後之邊坡可能滑動型態，加以檢討訂定。

3. 儀器精度、重複性或可能誤差：儀器精度高，表示監測值將接近實際值；儀器之重複性高，則表示於重複測讀時，每次結果將十分相近。故管理值訂定時，需要儀器之精度、重複性及可能誤差納入考量。如部分自動化監測之儀器受溫度效應影響甚大，管理基準應考慮溫度效應，以避免誤判或假警報情形發生。

六、邊坡預警基準之建議

統整台灣邊坡監測案例中之最大位移速率如圖十所示，顯示台灣多處深層滑動的邊坡，採用人工監測之傾斜觀測管量得最大位移速率介於10~20mm/日，且均未發生大規模破壞，亦即類似破壞模式在此位移速率下，仍不致於大規模的破壞。故建議地層位移之行動值暫訂為10mm/日，大致合理。

依據台灣地滑區案例經驗，警戒值大致落在0.067~2.86mm/日區間，同時參考日本高速公路調查會，伸縮計之地滑定量判定基準為0.5mm/日，故建議警戒值訂為0.5mm/日。

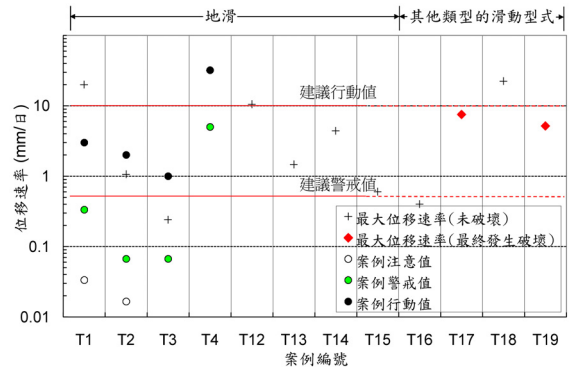
但考量常用位移監測儀器之量測精度、風險程度，建議執行初期之注意值可訂為2mm/月。

綜整上述管理值訂定之依據，國內採用手動監測方式之深層滑動地滑區或回填土滑動邊坡，在缺乏前期監測成果下，其管理值、代表意義及因應對策，執行初期可參考表十三之建議。而監測管理單位宜根據個案之地質、可能滑動型態等條件加以檢討，在執行過程中，根據實際監測成果加以回饋分析及修正，使管理值更有代表意義。

不同案例之管理值及本文歸納建議位移速率管理值的差異比較如圖十一，顯示台灣案例監測管理值明顯的低於國外案例，較偏向安

全側，其中國外案例多以mm/時為單位，為方便比較統一換成以mm/日為單位。

當管理值的定義及因應對策，有必要加以統一，可讓使用者在相同的認知下有效執行，目前台灣常用的邊坡安全管理值應可適度的提高，包括注意值的意義應非提醒管理者注意，而是邊坡正開始產生滑動的注意值。

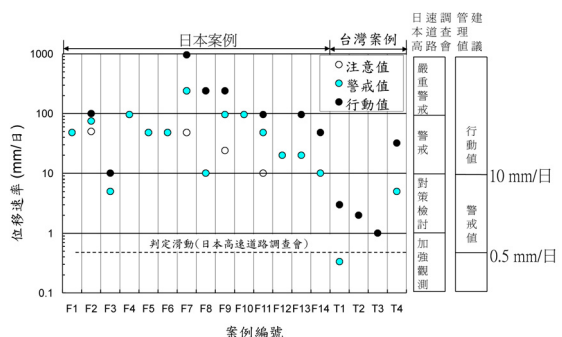


圖十 台灣案例之邊坡最大位移速率圖

表十三 深層滑動或填土邊坡執行初期之位移監測管理值建議

滑動型態	深層滑動或填土邊坡		
	注意值	警戒值	行動值
管理值建議	2 (mm/月)	0.5 (mm/日)	10 (mm/日)
代表意義	邊坡已開始台滑移或走走停停緩慢移動中	邊坡等速率滑移中	邊坡滑移速率加速，瀕臨破壞
監測對策 (建議範例)	檢查監測系統有無異常 加強目視檢視及監測	加強自動監測頻率	採嚴密之監測頻率及回傳
因應對策 (建議範例)	進行邊坡穩定調查及評估 提出補強改善規劃	研擬緊急應變對策 進行邊坡緊急補強 長期補修同時進行	人員車輛必須疏散 撤離

說明：順向坡平面滑動不宜採用。



圖十一 邊坡位移管理值彙整比較及建議

七、結語與建議

1. 台灣自1996年賀伯颱風以來，因發生

土坡工程技術

多處重大的坡地土石災害，造成嚴重傷亡，因此各級政府開始重視防災，目前採取之措施為在颱風來襲時，對於高風險的坡地或土石流影響地區啟動疏散避難措施，部份道路也啟動預警性的封閉，以減少人命傷亡，在民眾對於勸離及避難接受度提高之際，短期收到不錯的成效，但付出的社會成本亦相當的高。因此，如何利用防災監測系統，讓避災的執行更精緻，提昇預警防災功能，其中自動化功能的提昇及訂定合理的管理值乃是重要關鍵。

2. 目前台灣因缺乏完整的坡地安全監測成果，加上邊坡滑動行為複雜，實務上多參考日本的建議值訂定管理值。但台灣監測系統大都為手動監測，與日本自動化監測程度較高的監測方式，有甚大出入，故管理值的訂定意見分歧。本文係彙整台灣外21處邊坡及相關單位建議，對邊坡監測位移量，提供邊坡監測執行初期管理值訂定的參考。

3. 台灣目前坡地監測仍採手動監測為主，僅有少數個案採用自動化監測系統，遇有豪雨或颱風期間，考量人身安全大都無法進行量測，使得監測成果並不完整，同時也失去災害控制的黃金時間。對於保全對象較為重要或規模較大之崩塌地有必要採自動化監測，掌握邊坡持續性的行為反應，建立完整資料以有效管控坡地安全。

4. 台灣外坡地安全的管理值以三個等級為多，分別為注意值(注意體制)、警戒值(警戒體制)及行動值(避難體制)。但不同案例間管理值代表之意義及因應對策不一定相同，故不同個案間，不可直接採用。在使用上，需瞭解不同管理值的意義及因應對策。台灣現況訂的管理值大都偏小，此與台灣監測系統自動化程度不高及缺乏完整的監測成果有關。

5. 未破壞的深層滑動案例中的其位移速率明顯較順向坡平面滑動為大，顯示平面滑動屬於較脆性之破壞，在變形初期不易發現顯著之地表徵兆。本文探討的對象在地滑或填土邊坡較為適用，順向坡並不適用。

6. 邊坡安全的管理值應根據不同類型的地質及可能滑移型態加以訂定，考量其保全對象、自動化程度等，針對管理值所代表之因應

對策，個案分別檢討訂定合理之管理基準。

參考文獻

- 台北市大地工程技師公會 (1990)，基隆市信義區深澳坑路災變原因調查鑑定報告書。
- 行政院農業委員會水土保持局(2013)，土石流災害預報與警報作業手冊。
- 宏偉工程顧問有限公司 (2002)，台北縣A級山坡地社區設置監測系統工程—新店市大地世紀社區監測總報告。
- 青山工程顧問有限公司 (2006)，台18線28.9K~31.5K(五彎仔)地滑區調查、整治規劃及安全評估第三次總結報告。
- 青山工程顧問有限公司 (2009)，174線50K+650路基保護工程委託測量、設計及鑽探監測工作第二期監測成果總結報告。
- 青山工程顧問有限公司 (2009)，九份地區地層滑動監測與評析第五期計畫第二年年度觀測成果報告。
- 青山工程顧問有限公司 (2009)，中間解說站南側地滑區整治工程整體規劃暨第一期工程細部設計及監造技術服務。
- 青山工程顧問有限公司 (2009)，台7線31K+110雪霧隧道委託測量、鑽探、設計工作設計原則—隧道綜合研判及改善建議報告。
- 青山工程顧問有限公司 (2009)，南投縣廬山溫泉北坡監測及預警系統建置期末監測成果報告。
- 青山工程顧問有限公司 (2011)，藤枝國家森林遊樂區週遭整體地滑鑽探監測委託技術服務成果報告。
- 青山工程顧問有限公司 (2012)，台8線116k+700委託地滑調查、測量及設計服務工作—地滑調查分析及建議整治方案報告。
- 黃安斌、林志平、董家鈞、廖志忠、潘以文，(2002)，道路邊坡高效能監測系統研發與崩塌預警基準制定。
- 廖瑞堂、徐振煌、陳昭維，(2008)，「自動化監測系統於山坡地防災之應用」，土木水利，第35卷第2期。
- 日本高速道路調查會(1988)，危險地動態觀測施工相關研究(3)報告書，日本道路公團。
- 日本地滑對策技術協會(1978)，地滑對策技術設計實施要領 Vol.2。
- A. Fujimoto, Y. Tsuchiya, T. Oguma and S. Shiraiishi (2004), Surveillance and information of landslide activity in Shimoishikawa Landside, Nagano Pref., Central Japan. J. of the Jpn. Landslide Soc., Vol.40, No.5.
- A. Fujimoto, Y. Tsuchiya, T. Oguma and S. Shiraiishi (2004), Surveillance and information of landslide activity in Shimoishikawa Landside, Nagano Pref., Central Japan. J. of the Jpn. Landslide Soc., Vol.40, No.5.
- T. Kimura and N. Yokoyama (2006), Key points in field work for landslide engineers No.8. J. of the Jpn. Landslide Soc., Vol.43, No.3.
- T. Kimura and N. Yokoyama (2006), Key points in field work for landslide engineers No.9. J. of the Jpn. Landslide Soc., Vol.43, No.4.
- T. Kimura and N. Yokoyama (2006), Key points in field work for landslide engineers No.8. J. of the Jpn. Landslide Soc., Vol.43, No.3.
- T. Kimura and N. Yokoyama (2006), Key points in field work for landslide engineers No.9. J. of the Jpn. Landslide Soc., Vol.43, No.4.
- USBR, 1978, Embankment Dam Instrumentation Manual.
- Y. Momura, K. Fujisawa (2006), An analysis of landslide risk management on the basis of the movement characteristics — On landslide disaster that caused damage to a highway in Ohto Village, Nara Prefecture — J. of the Jpn. Landslide Soc., Vol.42, No.6.
- Y. Momura, K. Fujisawa (2006), An analysis of landslide risk management on the basis of the movement characteristics — On landslide disaster that caused damage to a highway in Ohto Village, Nara Prefecture — J. of the Jpn. Landslide Soc., Vol.42, No.6.