

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

落石邊坡之災害潛在危險度評估

The Evaluation of Potential Rockfall Hazard

計畫編號：NSC 87-2211-E-009-032

執行期限：86年8月1日至87年7月31日

主持人：潘以文、廖志中 國立交通大學土木工程學系

一、中文摘要

落石坡的危險度受到許多參數的非線性影響。本研究利用類神經網路所具有之平行處理能力，來處理各項參數對落石坡危險度之影響，並進行危險度之分析。以中橫谷關至德基間的路段邊坡為例，綜合十年前之調查資料（地形地質）及近年來上述路段的災害記錄，利用類神經網路程式加以訓練並利用其結果加以分析預測。分析結果證明了類神經網路具有客觀準確評估落石坡危險度之能力。又因一般邊坡相關參數不免具有隨機性，因此落石危險度評估亦有必要以機率與統計之觀念與方法來探討。本研究亦嘗試利用統計方法探討邊坡潛在落石危險度分級之可能範圍與可能發生機率，期望能對落石潛在危險度提供更完整而合理之評估方法。

關鍵詞：落石、類神經網路、落石危險度、不確定性、

Abstract

Rock falling is affected by several factors. The relations between these factors and rockfall hazards are complicated and highly nonlinear. In this research, an artificial neural network (ANN) model is proposed for assessing the rockfall potential. Hundreds of potential rockfall sites along the Central Cross-Range Highway are collected to evaluate the feasibility of the new model. The results obtained by ANN are compared with those obtained by the conventional methods to examine the suitability of the ANN rockfall model.

The rock-fall problem has a higher degree of uncertainty. In the conventional approach, however, the factors determining the hazard potential of

rock-fall are usually evaluated in a deterministic manner. This research also attempted to investigate the aspects for determining the probability and statistics of rock-fall hazard. The uncertainty and reliability of the hazard classification of rock-fall potential is elaborated.

Keywords: rockfall, artificial neural network, rockfall hazard, uncertainty

二、緣由與目的

在大地工程中，落石坡研究相較於其他範疇，明顯有高不確定性之特徵。類神經網路是一種新一代的電腦架構，它有累積經驗及平行處理資料的能力。以往對不穩定邊坡評估中，各項評估因子一般都採用絕對確定性之分級劃分原則，然而幾乎所有之邊坡相關參數卻多具有隨機性，因此落石危險度評估實有必要以機率與統計之觀念與方法來探討。

本研究之目的在以發展成熟之類神經網路資料處理系統，來評估落石坡之危險等級。此類神經網路乃藉由（1）十年前落石邊坡影響因子資料，（2）現場實地勘察的結果及（3）收集前五年該路段落石坍方量及發生頻率（觀察路段：中部橫貫公路谷關德基段台八線 41K+250—62K+140 台八甲線 0K+000—16K+640）來訓練一可供評估落石危險度之分析模式。其最終目的是希望能訓練電腦能利用類神經網路資料處理系統，在經過足夠資料的訓練後，能擁有良好的資料評估能力，進而可擔任對落石坡各個項目之一切分析與等級評估。

現有之國內外落石坍方危險度評估方法通常大多考慮落石之成因，訂出影響因子，根據經驗給予權重，最後再將所觀測之資料加以計算，算出總分再給予分級[1-4]。傳統之落石坡危險度分級，雖然由專家提出，但是主觀意識仍然十分的強烈，

準則在提出後多未有後續的觀測追蹤修訂及討論。本研究利用類神經網路來評估落石坡之危險度，以電腦程式之分析，改善加權指數訂定之不客觀性。

類神經網路(Artificial Neural Network, ANN)模式較廣泛的定義為：「類神經網路是一種計算系統，它是用大量的人工神經元來模擬人腦神經系統、神經細胞的生物行為，強調自我學習、歸納判斷、累積經驗的能力。人工神經元之定義是生物神經元的簡單模擬。」[5]，其主要基本構件為神經細胞，也就是人工神經元(Artificial Neural)又稱為處理單元(Process Element)，每一處理單位皆以匯流輸入扇狀輸出[5]，多個人工神經元再依需要以各種不同方式結合成神經網路，其中，輸入層及輸出層各只有一層，但可依不同之問題研究而有不同之節點數，隱藏層則可依問題型態及需求而有不同之層數及節點數。類神經網路依其學習模式的不同，可分為監督式學習(Supervised learning)與非監督式學習(Unsupervised learning)兩類。本研究採用監督式學習法則(Supervised Learning Algorithms)之類神經網路，其屬於誤差向後推導式學習演算法(Error Back-propagation Learning Algorithm，簡稱BP)，詳見[12]。

類神經網路落石評估方法

本研究將落石成因約略歸納為地形、地質，誘因及其他等四種因素，參考文獻[6]所建議之評估因子等級，並將其正規化後(表一)進行評估。本系統之架構主要分為輸入層，隱藏層以及輸出層三大部份，並依其需要以及條件之不同而給予不同之節點數，而其各層之狀況敘述如下：

輸入層：此層共有八個節點，分別代表八個正規化後危險度影響因子(1.坡高 2.平均坡度 3.突懸 4.坡面危石穩定程度 5.地下水滲出 6.植生 7.岩石強度及風化性 8.節理狀況或破碎程度)。

隱藏層：此層又包含數層，在經過反覆的測試後我們發現當隱藏層在3層(節點數12:12:12)時經過4000回的學習，網路有最佳之學習效果。

輸出層：此層只有一個節點，即為正規化後落石坡之危險度。

因為類神經網路輸入資料時必須正規化至0與1之間，根據上述各影響因素(輸入層)之分級，整理得調查項目評估表如表一，共有八項(即八個節點)，作為類神經網路之輸入資料。

根據現場實地踏勘觀察，十年間前後同一點相片之比對，以及綜合來自中部橫貫公路第二工務處所記錄81年至85年間坍方災害資料等對落石坡加以分級，以作為學習及預測之目標。在將上述資料依其定義危險度等級分類將資料正規化(為0.05:0.35:0.65:0.95的I, II, III, 和IV四級)以進行學習分析。將237個落石坡之影響因子正規化，依隨機方式分成150個學習用及87個預測用，並根據在類神經訓練時所獲得之經驗，150個學習用之落石坡根據表四給予評估等級，以便讓類神經網路去學習，學習所得之模式，不需考慮傳統之權數，而用於預測另外87個落石坡。

除此之外，本研究亦嘗試利用統計方法探討邊坡潛在落石危險度分級之可能範圍與可能發生機率。一般在落石邊坡危險度分級上各參數幾乎都採用絕對確定性之分級原則，然而各參數實際上不免具有其隨機性。本研究嘗試採用仿照模糊邏輯(Fuzzy Logic)中隸屬度函數(Membership Function)觀念之分級方法[8]，不硬性對每個參數分級後給予一個絕對分級值，而假設每次評斷分級時必然存在不確定性。對每一級得分均以一特定隸屬度函數來表示，隸屬度函數之概念似同某一分數出現之可能機率。因此可視如機率密度函數(Probability Density Function)。關於落石危險度不確定性評估之影響因素與評估準則，以九項評估因子，加權後分數加總，得到坡段評估落石危險度之總得分(Y)。對危險度分級原則亦採用模糊邏輯之隸屬度函數觀念來考量。由各項評估因子分級得分之統計參數配合每個項目對應之加權指數，最後可得到落石危險度評估之『落石危險度指標』。在本研究中，嘗試將判斷某處落石可能發生之機率亦運用模糊邏輯之隸屬度函數觀念來進行，將落石可能發生之危險度門檻指標(Threshold Index)(X)亦設定成一隸屬度函數。

進一步可再針對門檻指標(X)與危險度指標(Y)之分佈型態進行可信度加以討論。仿照供需

觀念 (Supply-Demand)，分別將門檻指標與危險度指標視為供給量與需求量，則可將此問題表示為安全餘額 (Safety Margin: $M=X-Y$) 之函數。引入可信度指標 (Reliability Index: β) 來評估落石破壞發生之機率。利用可信度分析之方法 [9]，基於安全餘額之考慮，可計算可信度指標。再可藉由可信度指標求得破壞機率 (Probability of Failure)。

三、結果與討論

評估結果

以隨機選取 150 組之 ANN 模式訓練，便可趨於穩定及成熟。利用學習後所獲得的網路架構，再將未學習過的 87 組 (隨機選取) 邊坡數據進行危險度分級之的評估，發現 87 組評估數據中只有 12 組評估結果有差誤，誤差大於 0.15，但是除了這 12 組外，其餘幾組之誤差並不算太大，對於落石坡危險度的評估來說，仍有相當不錯之參考價值。

類神經網路評估法與傳統方法之比較

我們將上述用來評估本系統評估能力之 87 組數據利用文獻 [6] 所訂出的危險度傳統評估法加以評估，並將其分類等即予以正規化。利用正規化後之數據，現地觀察到的數據以及類神經網路所評估出來的數據三者去進行比對。其所獲得之比對頗為吻合，可以發現利用類神經網路來預測落石坡危險度其評估能力要比利用傳統評估法來評估要佳。並且可以發現如果給的資料越接近實際的狀況的話，其評估出來的結果也會越接近實際的狀況，誤差越小。這證明了此套系統是十分適合於現場實際狀況之應用。

在落石坡危險機率之評估方面，除了以往單純評分之分級得分結果外，進一步取得各評估因子所屬隸屬度函數經等值常態分佈轉換後之分級得分平均值、標準差與中間值，然後將各項評估因子之相關統計值乘上該因子所屬之加權指數，雖然在本研究中假設加權指數為絕對確定之定值，其實亦可以考量其不確定性。之後將各項評估因子乘上加權指數後所得之統計值加總，取得危險度指標之統計分析結果，並決定其可能分佈型態與範圍，並以本研究中假設之門檻指標，即可計算各評估坡段之可信度指標與預測落石之發生機率。

四、計畫成果自評

本研究利用類神經網路所具有之平行處理能力來進行對落石坡危險度的分析。證明了在類神經網路中，只要利用現場環境的實際資料，不需要加上任何個人的主觀意識，就可以進行對落石坡危險度的分析，而且明顯優於傳統加權式之評估法。本文又嘗試利用統計方法探討邊坡潛在落石危險度分級之可能範圍與可能發生機率，期望能對落石潛在危險度提供較合理之評估方法。本研究之成果有潛在之實用價值。

五、參考文獻

- [1] Oregon State Highway Division(1990): "The Rockfall Hazard Rating System Implementation Manual".
- [2] 日本土砂災害之預知與對策編輯委員會 (1985): 『土砂災害之預知與對策』, 日本土質工學會。
- [3] 日本道路土工委員會 (1986): 『道路土工斜面安定工指針』, 日本道路協會。
- [4] 日本建設省河川局砂房部 (1982): 『面崩壞防止工事之設計實例』, 日本全國治水防砂協會。
- [5] David E. Rumelhart, James L. McClelland, and the PDP Research Group (1986): "Parallel Distributed Processing" Copyright by the MIT, Chapter 8 pp.318-392.
- [6] 亞新工程顧問股份有限公司 (1987): 『公路局中部橫貫公路邊坡維護管理系統建立工作服務報告』。
- [7] 盧建昌 (1997): 『應用類神經網路評估落石坡』, 交大思源獎。
- [8] 謝明志 & 賴聖耀 & 李豐博, "以模糊邏輯推估地震強度實例研究," 地工技術雜誌第 37 期, pp18-25, 民國 81 年 3 月
- [9] Scheaffer, Richard, L., McClave, James, T., Probability and Statistics for Engineers, 1986.
- [10] 潘以文、莊士弘、廖志中, 1998, 『落石潛在危險度不確定性評估模式』, 1998 岩盤工程研討會, 新竹, 中華民國 86 年。
- [11] 廖志中、謝獻仁、洪士林、潘以文, 1998, 『類神經網路落石坡危險度分析—以中部橫貫公路谷關至德基為例』, 1998 岩盤工程研討會, 新竹, 中華民國 86 年。
- [12] 謝獻仁, 1998, 『類神經網路於落石坡危險度評估』, 國立交通大學土木工程系碩士論文。
- [13] 莊士弘, 1998, 『落石潛在危險度之不確定性評估初探』, 國立交通大學土木工程系碩士論文。