

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

岩石隧道受震行為及破壞模式之研究(1/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-002-048-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

計畫主持人：黃燦輝

計畫參與人員：陳正勳

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 31 日

岩石隧道受震時之行為及破壞模式研究

A study on the behavior and failure modes of rock tunnels due to earthquake

計畫編號：NSC 92-2211-E-002-048

執行期間：92年8月1日至94年7月31日

計畫主持人：國立台灣大學土木工程系黃燦輝教授

一、摘要

1999年921集集大地震後，台灣有多座岩石隧道遭受損壞，除洞口段受損外，隧道襯砌亦產生了裂縫，然岩石隧道目前並無可靠量化之規範可供參考使用。鑑於台灣地震發生頻繁，且隧道總長度已逾數百公里，岩石隧道之耐震分析與設計課題之研究，甚為殷切。

本計畫為二年期研究計畫，第一年之工作內容包括：「國內外震後隧道破壞案例蒐集」、「隧道受震時之破壞模式、力學機制與影響因素探討」、「土壤隧道耐震分析設計之應用及適用範圍探討」、「岩石與土壤隧道耐震分析之差異」、「隧道受震分析模式之建立與驗證」、「不同覆蓋深度隧道之受震行為初步研究」、「隧道襯砌與岩盤互制對於隧道受震影響初步探討」等；本計畫第二年之預期工作項目，除延續「不同覆蓋深度隧道之受震行為研究」及「隧道襯砌與岩盤互制對於隧道受震影響探討」外，另包括：「地質弱帶與隧道相對位置，對於地震時隧道影響分析」、「隧道一次及二次支撐(襯砌)受震行為研究」、「地形效應(地表起伏之影響)」、「含節理等值岩體之波傳特性」、「案例分析與比較」、「岩石隧道耐震分析與設計建議」等。本報告為針對第一年(九十二年八月~九十三年七月)提出之期中進度報告。

Abstract

After the 921 Chi-Chi Earthquake, many tunnels in Taiwan suffered damages. Besides damages in the portal portion, the inner lining also suffered damages that occurred in the portion with higher overburden which usually gives no damages in accordance with past experiences. It has no seismic design and also has no seismic code to be abided by. Taiwan is an earthquake-prone country and many tunnels stretch a few hundred kilometers long. Therefore, the study on the earthquake resistant analyses and designs of rock tunnels has become increasing important.

This project is 2-year long. The work scope for the first year include the collection of local and overseas rock tunnel failure cases due to earthquakes, the analysis of the various factors causing the earthquake effects, rock tunnel failure mode during earthquake and its mechanisms, evaluation of the suitability and limitations of the use of soil tunnel seismic resistant design specifications to rock tunnel design, establishment of appropriate analysis model, preliminary analysis of tunnel's behavior with different overburden during earthquake, preliminary analysis of influence of interaction between lining and surrounding rock on rock tunnel. Besides continuing analysis work of tunnel behavior with different overburden during earthquake and influence of interaction between lining and

surrounding rock on rock tunnel, the work scope for the second year include influence of distance between weakness zone and tunnel ,study on behavior of primary and secondary lining during earthquake ,topographic effect ,characteristics of wave transmission for equivalent jointed rock mass,case studies and comparison with analysis results,suggestion for analysis and design for rock tunnel seismic resistant design.

This report is submitted as mid-term report for the first year job(2003/8~2004/7).

二、前言

台灣已完工之岩石隧道工程總長度已逾 670 公里，但目前國內對於岩石隧道於地震發生時之行為，較少深入探討，對於震後隧道之相關探討，亦多引自日本資料。長期以來，土壤隧道如地下捷運系統之設計，均需考慮耐震分析，且有明確可行之規範可供依循，然岩石隧道，多即無耐震設計之考量，且無可靠量化之規範可供參考使用。1999 年 921 集集大地震後，台灣有多座岩石隧道遭受損壞，除洞口段受損外，隧道襯砌亦產生了裂縫，如鐵路山線三義壹號隧道、台 16 線新集集隧道與新天輪電廠頭水隧道等著名案例。

鑑於岩石隧道之圍岩之波傳特性、構築方式與地形效應等，迥異於土壤隧道者，因此岩石隧道受震行為如何？破壞模式為何？土壤隧道之耐震規範是否仍能應用於岩石隧道，應作如何修改？皆是值得探討之課題。

本研究為二年期計畫，透過國內外震後岩石隧道破壞案例之蒐集與整理，探討隧道受震時之破壞模式、力學機制與影響因素等，並探討土壤隧道耐震規範應用於岩石隧道之適用性與限制性。俟後進行數值分析模式建立與驗證，藉由適當 2D 及 3D 分析模式瞭解隧道受震時之支撐應力與變形；釐清岩石隧道之受震行為如破壞模式、支撐行為、動態應力大小等，建立不同岩盤狀況(岩體分類)下隧道之受震行為與耐震能力，並提出岩石隧道耐震設計之建議，以供工程界之參考應用。

三、研究方法及內容

本研究首先為透過國內外震後岩石隧道破壞案例之蒐集與整理，探討隧道受震時之破壞模式、力學機制與影響因素等，檢討岩石隧道與土壤隧道耐震分析方法之差異性，探討土壤隧道耐震規範應用於岩石隧道之適用性與限制性。本研究經由蒐集之隧道受震分析案例，針對這些情況以數值方法加以探討，並先進行數值分析模式建立與驗證。本研究藉由適當 2D 及 3D 分析模式瞭解隧道受震時之支撐應力與變形，釐清岩石隧道之受震行為如破壞模式、支撐行為、動態應力大小等，其中含節理岩盤將考量其波傳特性，構想以等值勁度及阻尼行為(damping ratio)岩體為代表進行研究，地震弱帶鬆弛區及空洞將以勁度弱化之元素或元素移除或界面元素(interface element)等進行模擬，地質弱帶與隧道相對位置對於隧道受震行為影響亦將加以探討。另外，

隧道上方之地形起伏是否影響震波傳遞及隧道受震行為，本研究將深入加以探討。至於國內隧道震波破壞案例如鐵路山線三義壹號隧道亦發生隧道交叉段襯砌破壞，本研究採用 FLAC 3D 或適當之簡化分析模式 PLAXIS 進行研究。本研究分析模式將與九二一地震鐵路山線三義壹號隧道破壞例進行比較，最後提出岩石隧道耐震分析與設計建議。

本計畫之研究流程如圖 3-1，研究內容如下：

- 1、文獻蒐集與整理分析(含設計規範、案例、破壞模式、力學機制與影響因素探討)
- 2、隧道受震時之破壞模式、力學機制與影響因素探討
- 3、土壤隧道耐震分析設計之應用性與適用性檢討
- 4、隧道受震分析模式之建立與驗證
- 5、不同覆蓋深度隧道受震行為研究
- 6、隧道襯砌與岩盤互制對於隧道受震之影響
- 7、地質弱帶與隧道相對位置，對於地震時隧道行為之影響。
- 8、隧道一次支撐(如岩栓、噴凝土、鋼支保)等及二次支撐(混凝土襯砌)之受震行為
- 9、地形效應(地表起伏之影響)
- 10、含節理等值岩體之波傳特性
- 11、案例分析與比較
- 12、岩石隧道耐震分析與設計建議

四、執行進度

4.1 執行情況

本年度各研究子題執行情況說明如下：

(一) 文獻資料整理與分析

本研究計畫已先將蒐集及整理相關文獻資料及研究報告，以利後續研究之進行。資料蒐集之對象及方向主要包括隧道震後問題研究成果、國內外震後隧道破壞案例、國內地下結構物於集集地震時之監測結果、隧道受簡諧波作用之相關解析解、隧道數值分析模擬途徑等，相關資料之蒐集已可透過歐美期刊如 *Tunnelling and Underground Space Technology*、*Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*、*Rock Mechanics and Rock Engineering*、*Tunnels & Tunnelling*，*Earthquake Engineering and Structural dynamic*；日本期刊如 *隧道與地下*、*基礎工*、*Soil and Foudation* 等進行瞭解本課題，有關開炸波及振動波對於地下結構物影響之研究成果，也可供本研究參考。目前蒐集彙整之隧道受震破壞案例彙整如表 4-1，蒐集之隧道受簡諧波作用解析解案例彙整如表 4-2。

(二) 隧道受震時之破壞模式、力學機制與影響因素探討

經由上述(一)之資料，就國內外研究案例予以分門別類，藉由圖表之統計方式，初步釐定岩石隧道受震時之破壞模式、力學機制以及重要之影響因素。依據目前整理及研析之國內外隧道受震破壞案例結果，隧道受震之破壞模式主要為洞口破壞、隧道襯砌產生裂縫、隧道遭受斷層剪切破壞等三種。其中洞口破壞主要為洞口邊坡滑動，鑑於隧道洞口邊坡常為複雜 3D 問題，並非一般平面應變之 2D 邊坡穩定，且邊坡中有隧道存在，而地震波由下層上傳至隧道洞口附近，其地震波將因深層之 P 波及 S 波，轉變為表面波引致洞口邊坡產生滑動，產生之問題甚為複雜。

隧道受震產生縱向及橫向裂縫，主要因地震波之 S 波及 P 波由深層上傳，其產生之動態應力造成襯砌於隧道縱向或橫向應力集中，當其應力值大於允許強度及產生裂縫，因地震引致錯動，將使隧道襯砌沿斷層向產生主要裂縫。本研究子題後續將配合數值分析，探討綜整之破壞模式及力學機制及比對驗證。

(三) 岩石隧道與土壤隧道受震特性比較

經由蒐集之土壤隧道耐震分析設計方法，如台北大眾捷運系統及日本潛盾隧道規定，檢討其應用及適用範圍，瞭解岩石與土壤隧道耐震分析之差異。目前蒐集彙整之國內外土壤及岩石隧道耐震規範如表 4-3。

目前土壤隧道耐震分析設計主要採用強制表位移(racking)，即地震 SH 波由土層下基盤上傳，造成土層及隧道產生剪應變及衍生之應力。但岩石隧道位於所謂基盤內，由此強制變位所得之剪應變及衍生應力較小，常不會產生破壞，此結果雖可符合大部份位於深層岩石隧道之情況，但

對部份隧道受震時破壞案例則無法完全解釋，而且土層隧道亦未考量含斷層或節理，故目前土層隧道完全適用於岩石隧道耐震設計規範。

(四) 隧道受震分析模式之建立、驗證與子題研究

目前蒐集之隧道受震分析案例如表 4-4，經由評估結果，本研究將以有限元素分析程式 PLAXIS (2D 問題)及 FLAC 3D 為基本分析架構，考量岩體之波傳特性與岩石隧道構築方式等特性，建立一套岩石隧道受震行為分析之模式，並與現存一些解析解進行驗證工作，再透過所建立之分析模式，探討不同覆蓋深度隧道受震行為、隧道襯砌與岩盤互制對於隧道受震之影響、地質弱帶與隧道相對位置對於地震時隧道行為之影響、隧道支撐(混凝土襯砌)之受震行為、地形效應與含節理等值岩體之波傳特性等研究子題。

首先就未含隧道之二層岩盤，其下基盤受簡諧 SH 波上傳時之地盤變形及放大效用，以 SHAKE 程式(解析解)與 PLAXIS 程式分析結果比較及驗證。其次就位於無限域岩盤中之圓形隧道(不含襯砌支撐)受簡諧 S 波或簡諧 P 波上傳時之隧道面變形及應力解析解，與以有限元素分析程式 PLAXIS 加以比較，以就隧道受震分析模式之建立與驗證，進而以無限域圓形隧道(含襯砌)受簡諧 S 波或簡諧 P 波時之解析解與 PLAXIS 分析結果驗證。

基於驗證分析模式之正確性，本研究進一步探討實際情況，即探討隧道位於半無限域之受震行為，並先採用頻率 $f=1、2、5、10\text{Hz}$ (一般地震波作用之主要頻率)之簡諧 S 波或簡諧 P 波進行分析，分析之岩體參數採用公共工程委員會委辦之「台灣地區隧道岩體分類系統建立暨隧道資料庫建立」研究成果，經由彙整國內外實際案例建議之各種岩體分類及對應之岩體彈性模數(已包含考量節理)，俟後依彈性波理論由岩體彈性模數，推得岩體剪力及縱波波速，作為數值分析之輸入參數。另考量地震波由地下深層上傳，其波傳方向與隧道縱向及橫向並非成正交，可能夾一角度，故亦進行簡諧 P 波或 S 波與垂直軸夾 45° 之分析。

目前本年度研究亦依預定進度建立 PLAXIS 分析模式，初步探討「不同覆蓋深度隧道之受震行為」及「隧道襯砌與岩盤互制對於隧道受震之影響」，藉由建立不同覆蓋深度隧道之半無限域網格及襯砌與岩盤間設置界面元素(interface element)分別探討，主要在研析何種臨界覆蓋深度下(幾倍隧道直徑)，隧道受震作用及影響較小，以作為隧道耐震設計之不同路段區隔，避免保守之全路段一致性設計，而經由襯砌與岩盤間互制影響研究，除亦可探討不同岩盤互制對於隧道影響，同時經由界面元素材料參數探討，以作為減震及隔震材設計之參考。以上「不同覆蓋深度隧道之受震行為」及「隧道襯砌與岩盤互制對於隧道受震之影響」等二研究子題將依預定進度於下年度延續完成

另，下年度研究將針對地質弱帶(斷層)與隧道相對位置對於隧道受震影響之課題，經由建立數值模型，加以探討上述研究子題，其中斷層之傾角與厚度，將依台灣常遭遇之斷層型態檢討選定，於設定斷層與隧道不同距離情況下進行分析檢討。經由上述各種數值分析過程，同時將藉由輸出之一次及二次支撐之應力及變形，探討隧道支撐受震行為。下年度

研究亦將針對岩石隧道相對於土層隧道之受震特性，針對地形效應及含節理等值岩體之波傳特性，加以探討。

(五) 案例分析與比較

研選隧道案例之相關資料，透過本文建立之分析模式，將其所得與隧道震後裂縫分佈或襯砌破壞情況等，加以比對，以確立本文模式之應用性。上述研究子題之數值分析結果，將與綜整研判之實際岩石隧道受震破壞案例及破壞模式，加以比對驗證，目前已蒐集及彙整國內鐵路三義隧道九二一地震時破壞之相關詳細資料。包含隧道斷面、地質、施工遭遇特殊地質路段、發生破壞之里程位置、襯砌裂縫種類(含裂縫長度及深度)等，足以提供比對驗證。

(六) 岩石隧道耐震分析與設計建議

經由上述之研究成果，提出岩石隧道耐震分析與設計建議。

本研究擬以 FLAC 3D 進行岩石隧道受震行為研究，配合目前已有可進行靜態分析之 FLAC 3D，已增購 FLAC 3D Dynamic option。

4.2 執行進度

本研究計畫預定進度如表 4-5。

五、結語

本計畫目前第一年已完成之工作項目包括：「國內外震後隧道破壞案例蒐集」、「隧道受震時之破壞模式、力學機制與影響因素探討」、「土壤隧道耐震分析設計之應用及適用範圍探討」、「岩石與土壤隧道耐震分析之差異」、「隧道受震分析模式之建立與驗證」等，已進行但正在執行中尚未完工工作項目包括「不同覆蓋深度隧道之受震行為初步研究」、「隧道襯砌與岩盤互制對於隧道受震影響初步探討」。

未來第二年將延續第一年研究進行「不同覆蓋深度隧道之受震行為研究」、「隧道襯砌與岩盤互制對於隧道受震影響探討之研究」，隨後進行「地質弱帶與隧道相對位置對於地震時隧道影響分析」，並彙整上述工作項目之隧道一次及二次支撐(襯砌)彎矩及應力，檢討其受震行為。針對岩石隧道相對土層隧道可能遭遇之「地形效應」，進行檢討其對地震波傳及隧道之影響，並瞭解「含節理等值岩體之波傳特性」，最後進行「案例分析與比較」及「岩石隧道耐震分析與設計建議」。

參考文獻

(一)國內研究方面

- [1] 張吉佐等人(2001),「台灣地區隧道岩體分類系統暨隧道工程資料庫之建立(一)」,公共工程委員會研究報告
- [2] 王文禮、王泰典、蘇灼謹、林峻弘、譚家瑞、黃燦輝(2000年10月),「台灣中部岩石隧道之震害與修復」,地工技術,第81期,第5-18頁
- [3] 蔡宜璋(1998年),「半無限域中散射體承受傾斜入射波引起之散射現象」,國立台灣大學土木工程研究所博士論文。
- [4] 台灣鐵路管理局(2000),「921集集大地震鐵路災害復舊記錄」,台北。
- [5] 張勝旺、陳俊宏、余明山(2002),「潛盾隧道耐震設計之探討」,第三屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會
- [6] 日本土木學會(1996),「日本隧道工程標準規範及解說[山岳工法篇]」,財團法人中興工程科技研究發展基金會(2001譯)。

(二)國外研究方面

- [1] Asakura, T. and Sato, Y., (1998), "Mountain tunnels damage in 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake", Quarterly Reports of RTRI, Vol. 39, No. 1, Feb. P.9-16.
- [2] C.A.Daris, V.W.Lee and J.P. Bar det(2001), "Transverse response of underground cavities and pipes to incident SV waves", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol30, P383~410.
- [3] Hashash, Y. M. A., J. J. Hook, B. Schmidt and K. I. C. Yao, (2001), "Seismic design and analysis of underground structures," Tunnelling and Underground Space Technology, Vol 16, P247-293.Geotechnical Society, P283-300.
- [4] J.G.Cai & J. Zhao(2000), "Effects of multiple parallel fractures on apparent attenuation of stress waves in rock masses", Int. J. Rock, Mech, Sci, Vol37, P661~682.
- [5] J.Zhao & J.G. Cai(2001), "Transmission of elastic P-waves across single fractures with a nonlinear normal deformational behavior", Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol34, No.1, P3~22
- [6] Joseph Penzien(2000), "Seismically induced racking of tunnel linings", Earthquake Engineering and structural Dynamics, Vol29, P683~691.
- [7] PB, (1991), "Trans-bay tube seismic joints post-earthquake evaluation". Parson, Brinckerhoff, Quade and Douglas Inc. Report prepared for the Bay Area Rapid Transit District.
- [8] Sharma, S. and W. R. Judd, (1991), "Underground opening damage from earthquakes," Engineering Geology, 30, P263-276.
- [9] Sun-Hoon kim and kwang-Jin Kim(2001). "Three-dimensional dynamic

vesponse of underground openings in saturated rock masses", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol30 , P765~782.

- [10] Wang, W. L., T. T. Wang, J. J. Su, C. H. Lin, C. R. Seng and T. H. Huang, (2001), " Assessment of damages in mountain tunnels due to the Taiwan Chi-Chi Earthquake," Tunnelling and underground Space Technology, Vol16 , P133-150.
- [11] 朝倉俊弘，野城一榮(2000)，山岳トンネルの地震被害と耐震設計への提言，基礎工，Vol.28，No.4.
- [12] 細井秀憲，鈴木健，西村和夫(2000)，山岳トンネルの地震時挙動に関する一考察，トンネルと地下。
- [13] 小長井一男(2001)，トンネル地下結構物の耐震設計への提言(土木學會)，基礎工，Vol38，No.4，P8~P11

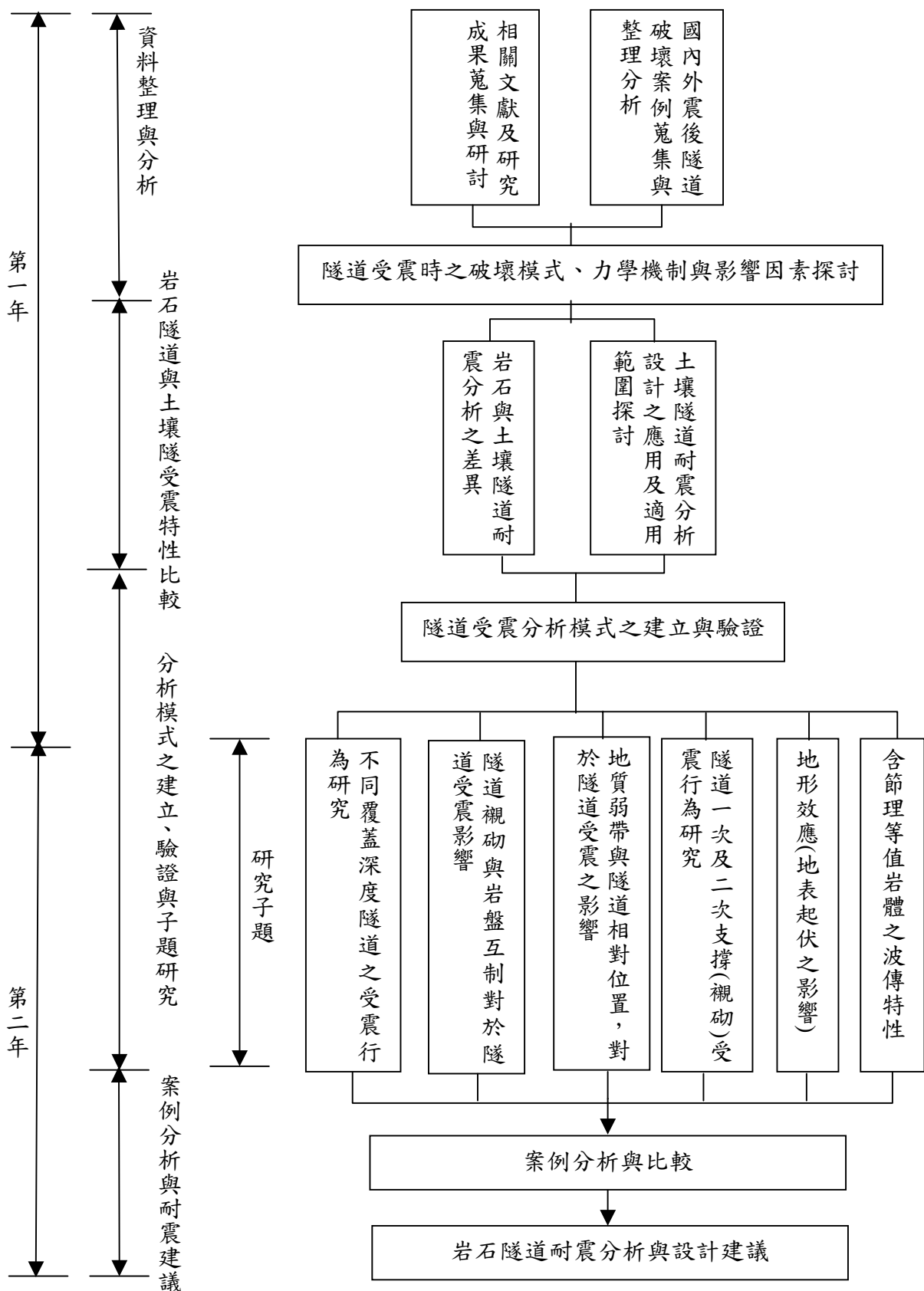


圖 3-1 本計畫之研究流程

表 4-1 蒐集之隧道受震破壞案例

1.	美國與日本 71 個隧道直徑 3~6m 案例(Dowding 與 Rozen, 1978)
2.	192 座隧道案例(Sharma 與 Judd, 1991)
3.	日本關東地震部份隧道案例(岡本舜三, 1973)
4.	日本木之浦隧道震後破壞案例(國田雅人, 1993)
5.	日本阪神地震 20 餘座隧道案例(阪神, 淡路大震災調查報告, 1996)
6.	日本關東地震至 2000 年間規模 ≥ 7.0 之案例(朝倉俊弘等人, 2000)
7	1923 年日本關東地震至 1993 年南西沖地震間隧道破壞案例
8.	1999 年土耳其 Bolu 隧道案例(Bolu 隧道網站, 1999)
9	1935 年新竹內埔庄八號隧道破壞案例(中國鐵道出版社, 1995)
9	蘇花公路舊清水隧道及阿里山鐵路隧道(黃燦輝等人, 1999)
10.	台灣集集地震後 57 座隧道案例(王文禮等人, 2001)
11	鐵路三義隧道檢測案例(中華顧問工程司, 2003)

表 4-2 蒐集之隧道受簡諧波作用解析解案例

1	Kuesel(1969)	1.自由域變形分析 2.未考慮隧道襯砌
2	Aoki 模式	1.自由域梁-彈簧模式 2.未考慮隧道襯砌
3	Wang(1993)	1.強制變位法(可考慮襯砌與地盤相對滑動) 2.考慮隧道襯砌
4	Penzien(2000)	1.強制變位法(可考慮襯砌與地盤相對滑動) 2.考慮隧道襯砌
5	Karl F. Gratt(1975)	1.位於無限域之隧道遭受 SH 波入射(波傳) 2.未考慮隧道襯砌
6	Davis, Lee, Bardet(2001)	1.位於半無限域之隧道遭受 SV 波入射(波傳) 2.未考慮隧道襯砌

表 4-3 蒐集之土壤隧道及岩石隧道耐震規範

台北及高雄大眾捷運	強制變位分析	無
台灣高鐵	無	覆蓋深度 $\leq 15m$
日本隧道工程標準規範及解說(山岳工程篇, 1996)	無	覆蓋深、地盤良好 \rightarrow 不考慮、施工中發生崩塌、膨脹壓、湧水斷層破碎帶、都市隧道或淺覆蓋土砂層隧道、交叉段、矢板工法施工之隧道(襯砌背面有空洞或地盤劣化)
日本鐵道構造物等設計標準·同解說(1997)	強制變位分析	斷面極端變化、地質變化極大處、覆蓋變化極大處、線形曲率變化極大處、軟弱地盤、液化(土層)
山岳隧道工程設計與實例手冊(中華民國隧道協會, 1999)	無	明挖覆蓋段隧道
山岳隧道工程技術準則及解說(工程會, 修訂中)	無	洞門
歐洲	甚少或無	-
美國(如舊金山捷運系統)	1. 強制變位分析(可考慮襯砌與地盤互制) 2. 自由場變形分析	(捷運系統案例使用於土層)
大陸川藏公路設計準則	-	洞門、淺覆蓋及偏壓段、活動斷層
大陸鐵路工程設計技術手冊—隧道	-	洞門、洞口、淺覆蓋及偏壓段(設計震度7(0.1g)、8(0.2g)、9(0.4g)時考量)

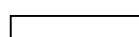
表 4-4 蒐集之隧道受震分析案例

分析案例	使用程式
瑞典 Norra Lanken 捷運隧道抗炸分析(Lars.Rosengren,1993)	UDEC
三維飽和岩體隧道抗炸分析(Sun-Hoon kim,2001)	FEM
半無限域中散射體承受傾斜入射波引起之散射現象→二維地下空洞承受震波的反應(蔡宜璋博士論文,1998)	BEM
隧道受震時之反應(Kirzhner and rosenhouse,2000)	FLAC
明潭地下電廠之受震分析(陳錦清等人,2000)	FLAC
山岳隧道受集集地震損害分析(曾威量,2000)	FLAC
山岳隧道地震時行為(細井秀憲等人,2002)	FEM
潛盾隧道耐震設計之探討(張勝旺等人,2002)	Beam-Spring SHAKE+Flush
台北盆地設計反應譜因應近斷層設計地震力需求之檢討(葉超雄等人,2000)	FEM

表 4-5 執行進度

研究項目	第一年						第二年					
	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12
一、文獻資料整理與分析	[Actual Progress]											
二、隧道受震時之破壞模式、力學機制與影響因素探討	[Actual Progress]											
三、岩石隧道與土壤隧道受震特性比較												
3.1 土壤隧道耐震分析設計之應用及適用範圍檢討。	[Actual Progress]											
3.2 岩石與土壤隧道耐震分析之差異	[Actual Progress]											
四、隧道受震分析模式之建立與驗證												
4.1 不同覆蓋深度隧道之受震行為研究		[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]						
4.2 隧道襯砌與岩盤互制對於隧道受震影響		[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]						
4.3 地質弱帶與隧道相對位置，對於地震時隧道之影響		[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]						
4.4 隧道一次及二次支撐受震行為研究		[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]						
4.5 地形效應(地表起伏之影響)		[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]						
4.6 含節理等值岩體之波傳特性		[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]						
五、案例分析與比較		[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]						
六、岩石隧道耐震分析與設計建議							[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]	[Actual Progress]

備註：



計畫預定進度



實際進度 (至九十三年五月止) 及預訂進度 (至九十三年七月止)