



# 政府開放資料之應用 — 以利用 高速公路電子收費資料 (ETC) 評估震後路網阻斷衝擊為例

楊承道 / 國家實驗研究院國家地震工程研究中心 副研究員

林祺皓 / 國家實驗研究院國家地震工程研究中心 助理研究員

黃為學 / 國立清華大學統計學研究所 研究助理

林旭信 / 中原大學土木工程學系 副教授

高速公路系統（以下簡稱，路網）平時即為民眾日常生活與經濟活動之維生線，地震發生後更是對外聯繫、急難救援與物資運輸的重要管道。若因地震而造成損壞，將會嚴重衝擊日常生活與救災活動之進行。直覺上，震後道路損失是以交通設施的損壞為主要考量（例如若干座橋梁因地震倒塌，所需的修復總金額與時間）。但單純以交通設施的損失是無法呈現道路阻斷所帶來的社會衝擊，因此另一種評估方法是以用路人的需求出發，評估如果道路狀態因地震發生改變，將有多少車輛被迫改道，以及這些改道車輛需比地震前多付出多少旅行成本（旅行距離、旅行時間、或旅行費用）才可完成原本預定的旅程。再者改道車輛的替代路徑是否會因車輛增加而壅塞進而付出更多的旅行成本，這些層面都是這個評估法產生的實質議題。故進一步而言，個別道路元件阻斷，除了代表有多少車輛被迫改道外，再往後探究則是某些都會區的日常經濟活動受道路阻斷的影響程度。不論是在震前防災規劃或震後快速應變，更細緻的路網衝擊評估能提供更多的決策參考依據。以交通運輸的角度出發來討論震後路網阻斷衝擊，需要路網狀態與運輸需求為基礎。在無政府開放的高速公路電子收費（Electronic toll collection, ETC）車流資料（以下簡稱，ETC 資料）前，這方面的探討只能運用粗略的推估數據<sup>[1]</sup>；而利用 ETC 資料這樣詳盡的大數據庫，可更細緻化地評估震後路網阻斷衝擊。

## 前言

開放資料（Open Data）是網際網路蓬勃發展後經常被提及的新名詞，但其概念則已存在許久，與開放原始碼（Open Source）與開源硬體（Open Hardware）等非常相似。開放相對於不開放的迷人之處在於取得資料時所要付出的代價相對極小甚至幾乎為零，且加值並重製後的重新出版與發佈不會因為著作權、專利權或其它管制的限制而無法實行或者繼續發展。處於資訊決勝的時代裡，開放資料提供了所有個體與組織

一個相對較平等的起跑點，讓各領域的使用者可以在起始階段就能以真實世界為模型與驗證各種創新發想。政府為推動開放資料，建立了政府資料開放平台 (<https://data.gov.tw/>)，其目標與精神係藉由開放公眾資源與集體活動所建置之資料，創造有利於整合民間創意與跨機關交流之環境；並因應雲端運算及行動服務的趨勢，推動政府資料的開放與加值應用，進而促進公眾福祉之提升。

建置電子收費的最初目的是為了自動化收取用路

人的過路費，其計費方式是在特定的位置設置感應門架（以下簡稱，門架），每一個門架訂定依照里程推算出來的價格，車輛通過門架後就按照每個門架的定價計費。每一個利用高速公路完成的旅次，其過路費即以所有通過門架的定價加總計算。通過一個門架收一次錢，與傳統收費站點人工收費非常相似。為了讓計費與用路人的車輛確實連結、落實使用者付費以及確保日後不會發生交易爭議，ETC 額外紀錄每一輛車通過門架的時間與識別碼，這是人工收費時無法做到的動作。這個改變使得我們有機會追蹤每輛行經高速公路車輛的旅行軌跡，甚至可比對車輛通過兩個門架的時間判斷是否有超速行為。雖然 ETC 僅記錄車輛的軌跡，但由於台灣的高速公路主要是串接人口密集的都會區、高度發展的工業區與提供農產的農業區，其實 ETC 資料也紀錄了台灣大部分人口的日常動態與主要經濟活動。因此 ETC 資料除了直接應用於解決交通問題外，也可衍生應用來解決其它課題。例如，本文將簡要介紹的相關理論技術；並舉例應用 ETC 資料於評估路網震後阻斷衝擊。

## 如何評估劇烈地震後道路阻斷所帶來的衝擊

劇烈地震後路網發生阻斷除影響災區救災外，也將對非災區的日常生活與經濟活動造成衝擊。因衝擊層面非常廣泛，必須運用理論工具與配合數據將衝擊合理量化，才能有效評估地震對路網造成的影響。路網的震後衝擊評估是一種整合地區內地震風險特性、運輸需求、網路平衡、道路元件與路網分布的多種學科整合技術。

現有的評估工具中，以美國 Risks from Earthquake Damage to Roadway Systems（以下簡稱，REDARS2）<sup>[2]</sup> 為代表。REDARS2 是一套用於高速公路的震災風險分析工具。這個分析工具是由美國 FHWA（Federal Highway Administration）於 1993-2000 年間支持 MCEER（Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research）執行的地震研究計畫所衍生出來的成果。REDARS2 主要由四個模組組成，如圖 1。REDARS2 的構成要件分別是：

- Hazards（地震災害潛勢）：評估地震發生時伴隨而來的地表震動、土壤液化、和斷層破裂可能引致的地表永久變形。

- Component（震損評估）：評估道路鋪面、橋梁、隧道等各項基礎設施，因震災引致的損壞程度、修復時間與成本、和交通狀態（如橋梁未修復前行經車輛是否需要降低速限、部分封閉或全部封閉）。
- System（路網分析）：用於評估路網服務效能是否受震災影響而降低。例如，路網內是否因為某一座橋梁受到地震損壞需要封閉維修，而造成系統內整體的行車時間與行車距離增加。
- Economic（經濟損失）：計算路網的基礎設施受震災衝擊所需的維修成本、旅次消失與車行延滯等各種經濟損失。

國內相關技術可以財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心（以下簡稱，本中心）自行研發的「台灣地震損失評估系統」為代表<sup>[3]</sup>。該系統英文全名為 Taiwan Earthquake Loss Estimation System（以下簡稱，TELES），其子系統 T-Highway 可用於評估台灣地區的高速公路與主要公路系統，大致包含三個與 REDARS2 相同模組功能，如圖 1。T-Highway 為了能從整體路網的宏觀角度來檢視路網的地震風險，近年也與外部合作利用 T-Highway 的輸出資料結合商用運輸規劃軟體完成路網的地震風險評估<sup>[4,5]</sup>。

總結相關文獻<sup>[2-6,8,9]</sup>，路網震後衝擊評估的流程可以用圖 2 表示。工程結構物的損壞主要來自於強烈的地震動與地震引致的地層破壞（如土壤液化、斷層破裂或山崩等）。在震損評估階段，考慮道路元件本身的抗震能力與所在區域內的地質特性、活斷層震源和區域震源分佈。透過將活斷層震源和區域震源予以離散化，推估各個離散模擬地震的年發生率，進行公路橋梁的震災境況模擬，以評估個別橋梁之損害狀態機率、阻斷機率、修復時間、修復金額等。當道路元件

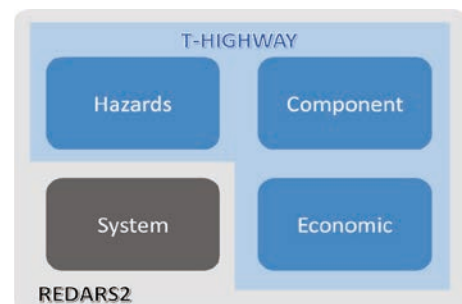


圖 1 REDARS 與 THIGHWAY 模組示意圖

發生損壞時，損壞程度大致可區分為 (1) 輕微損壞：車輛依然可通行，但車道須縮減或限速；(2) 嚴重損壞：如發生落橋、塌陷等現象，橋梁需封閉而導致交通阻斷。在路網分析階段，需透過使用者均衡指派 (User Equilibrium) 或系統最佳化指派 (System Optimum Assignment) 等方法論將日常運輸需求重新分配給震後部分受損的路網，求解總體的旅行時間延遲。藉由旅行時間增加車流量減少的動態需求理論推估可能消失的旅次。在經濟損失計算階段，主要是計算工程損失、旅行時間增加、旅次消失三個方面：

- **工程損失**：總和道路元件震後損壞所需要的修復金額。
- **旅行時間增加**：因為道路受損致使車輛須減速或繞道所增加的旅行時間與距離。透過時間價值及行車耗損等貨幣化之轉換，可將旅行時間增加、距離增加轉化為等值的貨幣。
- **旅次消失**：如某風景區於假日通常有眾多出遊及返家旅次，但因為災情傳出而使民眾取消旅遊計畫。計算旅次消失主是為了避免真實世界觀察到的現象與評估模式出現偏誤。道路受損讓車輛變少，而車輛變少使得本來壅塞的路段反而變成行車順暢，道路的服務水準看起來在災害後反而提高。

單以交通設施的工程損失來評估地震的衝擊，無法像總體用路人的旅行時間損失或有多少人因地震災害放棄出遊的旅次消失更能描述災害所帶來的社經衝擊。在沒有政府開放的 ETC 資料前，要推估路網阻斷對交通運輸的衝擊只能運用粗略的推估數據；而現在可利用 ETC 資料的大數據庫，可做到之前純理論推估無法完成的項目，例如於震後實際觀測阻斷區域鄰近的交通變化 (請參閱第四節)，或以近期實際觀測資料為基準推估路網阻斷所帶來的衝擊 (請參閱第五節)。

### 高速公路現況與 ETC 資料概述

目前台灣的高速公路有九條路線，其中國道一號與國道三號為聯結臺灣西部南北的兩大主線，國道一號有 2 個高架拓寬路段，分別是汐止五股高架道路與五股楊梅高架道路。兩大主線的支線除國道三號甲線及國道八號部分路段的道路等級為快速道路外，其餘均為高速公路。快速道路是指服務品質介於高速公路與一般公路之間的汽車、大型重型機車專用道路。快速道路以車輛的區域性移動為主，設計服務水準較高速公路為低，部份快速道路甚至沒有路肩設計。在台灣一般將高速公路與快速道路依管理單位區分為國道與省道。歸為國道的公路，由交通部高速公路局管理 (以下簡稱，高公局)；歸為省道者，由交通部公路總局管理 (以下簡稱，公路局)。前述國道三甲線雖然是快速道路等級，但管理單位是高公局。

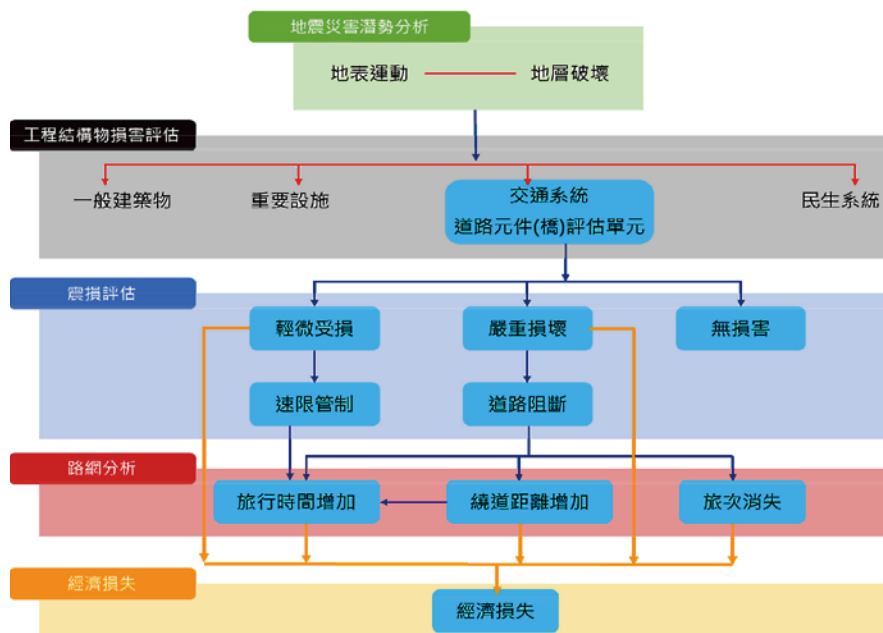


圖 2 路網震損評估求解流程



高速公路的 ETC 資料，是以 ETC 門架（以下簡稱，門架）偵測到每輛車通過門架的時間為基準經過統計運算產生。目前設置啟用約有 330 個門架，架設的位置包含：國道一號、國道三號、國道五號、國道三號甲線、汐止五股高架道路與五股楊梅高架道路。ETC 資料可至高公局「交通資料庫」(<http://tisvcloud.freeway.gov.tw>) 下載。ETC 資料的記錄時間起於 103 年 1 月 1 日，資料包含：各類車種通行量統計 (M03A)、站間各車種平均旅行時間 (M04A)、站間各車種平均行駛車速 (M05A)、各旅次路徑原始資料 (M06A)、各類車種旅次平均長度 (M07A)、各類車種旅次數 (M08A) 等六項報表。其中以 M06A 最為詳盡，而本文的案例即以 M06A 為基準。M06A 的紀錄來看待旅次，是從車輛被第一個門架偵測到的時間開始，到被最後一個門架偵測到的時間結束。旅次的歸檔以旅次通過第一個偵測站時間為基準，置於對應的日期檔案中，例如檔案名稱 M06A\_20180731.tar.gz 的資料檔記錄了 2018 年 7 月 31 日所有進入高速公路的車輛，被第一個門架偵測到的時間落於當日 0 時 0 分 0 秒至 23 時 59 分 59 秒之旅次軌跡。



圖 3 ETC 門架分布與交流道出入口對應關係圖

M06A 資料主要包含各旅次的：

- 車種：區分小客車、小貨車、大客車、大貨車、聯結車。
- 起點：通過第一個門架的時間（時間精確到秒）及門架編號。
- 迄點：通過最後一個門架的時間及門架編號。
- 路徑：旅次經過的所有門架（編號）與通過時間。
- 行駛距離：旅次的行駛距離，起迄點門架及對應交流道的距離計算。

在此特別為讀者說明兩個初期使用 ETC 資料可能會產生疑惑的地方：

- 門架並非設於出入口：門架的編碼方式為國道代號（3 碼）、里程數（4 碼）、方向（1 碼），門架（01F3398N）即為設置於國道一號（01F）北向（N）339.8 公里處的門架如圖 3。以（01F3398N）為例，其位置介於高科交流道與路竹交流道之間。由於門架的位置並非設置在高速公路的出入口，所以若某一個旅次由高科交流道北上入口進入國道一號，而後從路竹交流道北上出口離開，透過 ETC 資料，只能找到這個旅次通過門架（01F3398N）的時間，無法完全準確知道該旅次進入與離開高速公路的時間。而 M06A 中所記錄行駛距離，也是以門架相對應的前後交流道為基準計算所得。
- 中途離開收費區依然會被追蹤：門架雖然只設置於縱向國道上，但解讀 M04A、M05A 與 M06A 的資料，依然可以追蹤到旅次利用橫向高速公路或快速道路，從縱向高速公路跨越至另一縱向高速公路的軌跡。例如，ETC 資料記錄某旅次先在國道一號南下 328.6 公里處經過門架（01F3286S），之後轉為國道三號南下 358.8 公里處經過門架（03F3588S）。透過上下游門架的組合與旅行時間紀錄，可合理推測該旅次利用橫向 86 快速道路（簡稱台 86 線），由國道一號轉向東行至國道三號。

## 利用 ETC 資料觀測美濃地震後鄰近路網交通變化

2016 年 2 月 6 日，凌晨 3 時 57 分，在屏東縣政府北偏東方 27.4 公里（高雄市美濃區）處，發生芮氏規模 6.4 地震，深度 16.7 公里。因發生在高雄美濃區附近亦稱為高雄美濃地震（以下簡稱，美濃地震）。此地震嚴重衝擊台南市，造成建築物倒塌、自來水系統損壞、人員傷亡與部分道路交通封閉等衝擊。其中台 86 線 16K 東行線（大潭～歸仁路段）24 號橋支承錯移，

於 6 日下午 5 時起進行封閉。台 86 線位於台南市，始於 17 號省道，向東與國道一號交會於仁德交流道，結束於國三號關廟交流道。台 86 線沿線附近有高鐵台南站、台南機場、安平港等重要的交通場站，為台南地區重要的橫向快速道路。根據公路局後續公告，台 86 線於同年 5 月 20 日 8 時後先開放 21 噸以下車輛通行，並於同年 7 月 20 日 17 時解除 21 噸以上車輛之限制。

本文以台 86 線為中心，追蹤從封閉前兩個月至東行線完全修復後一個月止，分析在此時段內鄰近區域所有門架收集到的數據，可發現車流有明顯變化的區域，如圖 4 所示，包含台 86 線封閉附近與其北邊的橫向國道八號。其中車流變化明顯的門架為 (A,B,C,D,E,F,G)，如圖 4 所標示。為了避免數據太多過於雜亂不易解讀，故圖 5 與圖 6 的橫軸與橫軸格線只標示這個時間段內所有星期三的日通行量。星期三的車流相較於一個星期的其他日子車流量最穩定，較不受前後假日之影響。門架 A 到 D 與 B 到 C 於這段時間的旅次日通行量標示於圖 5，明顯的可以觀察到特殊節日通行量異常增加和地震後通行量遽減，且在東行線修復開放後旅次有逐漸回復之狀態。另外一個比較有趣的觀察是在門架 E 到 F 與 E 到 G (圖 6) 的旅次通行量，台 86 線東行線封閉期間，從國道一號利用國道八號轉向東行至國道三號的旅次明顯變多，而東行線修復

後通行量即逐漸變少。因此本文利用 M06A 報表追蹤旅次的路徑軌跡，可以確立 ABCD 附近的旅次變化與 EFG 附近的旅次變化有直接相關。

解讀 M06A 報表可發現地震前車輛經過 B 門架到達 F 門架，可選擇的路徑有二，如圖 4 上標示的藍箭頭與綠箭頭。藍色路徑是國道一號北上，利用國道八號橫向切換到國道三號，路線長度 37.6 公里，平日過路費 18.2 元，行車時間約 23 分鐘。綠色路徑則是先利用台 86 快速道路橫向切換到國道三號，再由國道三道北上，路線長度 35.7 公里，平日過路費 12.1 元，行車時間約 24 分鐘。東行線封閉前，綠色路徑較短而且較便宜，且旅行時間差不多 (綠色路徑僅比藍色路徑多一分鐘)，但道路封閉後綠色路徑旅行時間大幅增加 (請參考表 1)。道路封閉後，利用 M06A 追蹤到同樣起迄點的旅次改走藍色路徑增加，但增加的旅次相對於國道一號平日旅次量算極少，所以藍色路徑上沒有因為交通量些微增加影響整體的行車時間。此外觀察到綠色路徑車流銳減，且低於藍色路徑，綠色路徑與藍色路徑旅次總和稍低於封閉前。

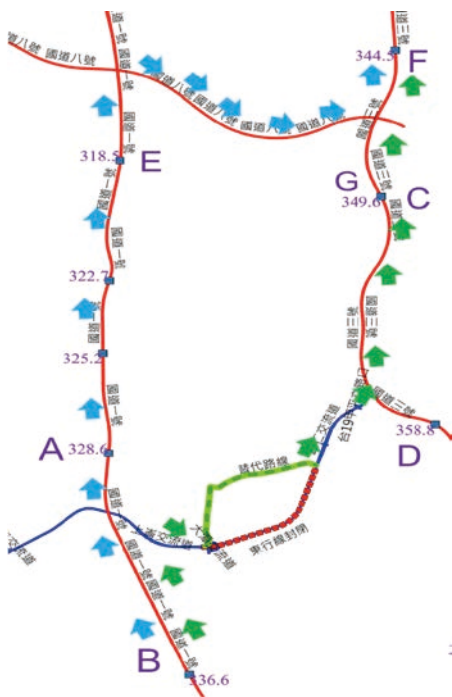


圖 4 美濃地震影響區域



圖 5 台 86 東行線車流變化

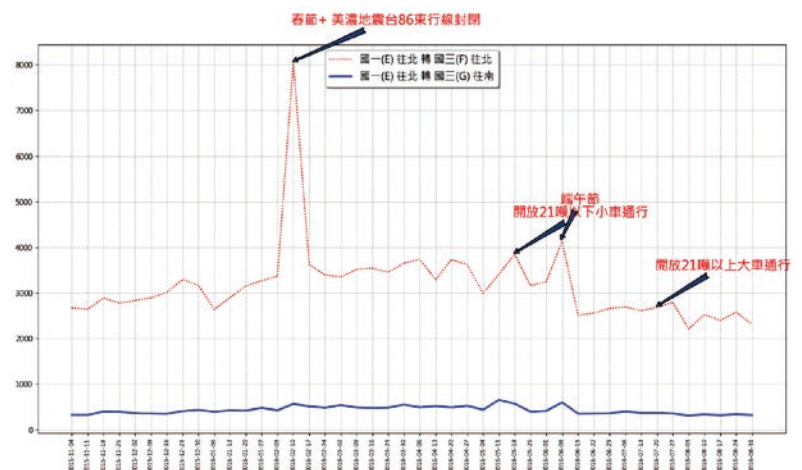


圖 6 國道八號橫向車流變化



表 1 藍路徑與綠路徑價格比較表

	藍箭頭路徑	綠箭頭路徑
路徑長度	37.6	35.7
過路費	18.2	12.1
行車時間(地震前)	約 23 分	約 24 分
行車時間(東行線阻斷後)	約 23 分	約 31 分
封閉前(平日)旅次	約 575 旅次	約 875 旅次
封閉後(平日)旅次	約 785 旅次	約 419 旅次

## 利用 ETC 資料推估路網阻斷衝擊地區

利用 ETC 資料亦可將地震後交通設施的點狀衝擊轉換為都會區域面狀分布來觀察阻斷所造成的衝擊。例如，從 ETC 資料中可以觀測到某周三早上通勤時間(6:00-8:30)有 22789 旅次由基隆地區的交流道進入高速公路。其中 7947 的旅次為在地活動車輛，會在基隆地區的其他交流道離開高速公路系統。而另外 14842 旅次跨過基隆河離開基隆地區往南前往其它都會區，如圖 7 藍圓圈所標示。圖上圓心標示旅次(大概的)目的地，半徑大小代表旅次數目，最大的交通量出現在台北市內湖區有 3192 旅次，而旅次數量小於 100 的地區忽略不計。若往南以淡水河為界，觀測同一天通勤時間，跨過淡水河南向離開台北市區車輛共有 18533 旅次，如圖 7 紅圓圈所標示。其中最大的交通量出現在新北市泰山區 3257 旅次與桃園龜山區 3399 旅次。比較基隆市與台北市南向的車輛，可觀察到台北市車輛的活動範圍比基隆市分布廣，有部分延伸到新竹。以標示的交通量來比較跨越基隆河與淡水河南向路段，若這些路段震後受到阻斷，可以推估出淡水河南向所影響的旅次相對較多。若以通勤日為基準，分析 ETC 資料可以發現若淡水河南向路段阻斷，受衝擊的地區並非只包含淡水河對岸的三重、蘆洲與泰山一帶，實際衝擊的影響範圍可達桃園與新竹；而跨越基隆河之路段若發生阻斷則衝擊相對較小。

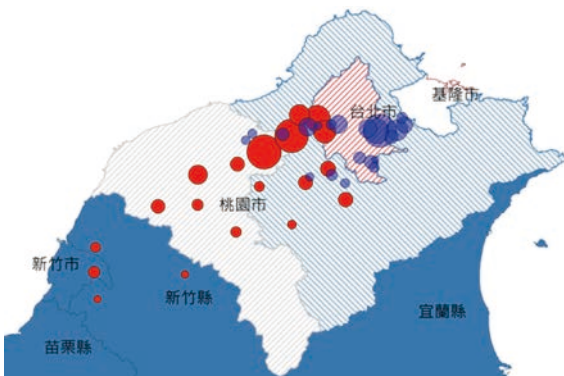


圖 7 通勤日離開基隆與台北地區的車輛數影響範圍示意圖

## 結論

本中心目前正以現有的 T-Highway 為基礎，配合 ETC 資料與運輸規劃技術發展新一代路網震後衝擊評估軟體 T-RoadNet。新一代軟體可評估在想定地震情境下，各路段發生阻斷可能衍生的旅行延遲與旅次消失外，也能標示實際受衝擊的社經區域。本軟體工具也可透過震後所得之 ETC 資料來觀測震後道路阻斷的鄰近區域交通量變化。高速公路平時即為台灣地區民眾生活與各種經濟活動之主要通道，若有重大災難發生時，更是救援物資、機具與人員快速應變的必要救援路徑。然而，台灣地形狹長且位處板塊交界，是地震頻繁的區域，若套疊經濟部中央地質調查所於民國 99 年公布的第一類與第二類活動斷層與現有高速公路系統，可以發現多條活動斷層與高速公路系統緊鄰或者相交。未來高速公路面對大規模地震災害的風險無法避免，T-RoadNet 可協助檢視各路段的地震風險與評估阻斷所帶來的衝擊，在震前防災規劃與震後應變提供決策參考。

## 參考文獻

- 交通部運輸研究所，「國家永續發展之城際運輸系統需求模式研究(4/4)」，民國 98 年 3 月出版。
- Werner, S. D., Taylor, C. E., Cho, S., Lavoie, J. P., Huyck, C. K., Eitzel, C. and Eguchi, R. T. (2006), Redars 2 Methodology and software for seismic risk analysis of highway systems (No. MCEER-06-SP08).
- Yeh, C. H., Loh, C. H. and Tsai, K. C. (2006), Overview of Taiwan earthquake loss estimation system. *Natural Hazards*, 37(1-2), 23-37.
- 林同棧工程顧問股份有限公司委託研究報告(2014)，「國道橋梁 TELES 系統地震損失評估之研究(含地震特別檢測時機建議)」，臺北。
- 台北市政府消防局委託研究報告(2004)，「台北市震後救援與避難道路規劃研究案期末報告書」，臺北。
- e Costa, C. A. B., Oliveira, C. S. and Vieira, V. (2008), Prioritization of bridges and tunnels in earthquake risk mitigation using multicriteria decision analysis: Application to Lisbon. *Omega*, 36(3), 442-450.
- Yang, C. T., Liu, X., Lin, C. H. and Tsai, C. Y., Impact of Meinong Earthquake on National Highway Traffic, 5th International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion, August 15-17, 2016, Taipei
- Chang, L., Peng, F., Ouyang, Y., Elnashai, A.S. and Spencer Jr, B.F. (2012), Bridge seismic retrofit program planning to maximize post-earthquake transportation network capacity. *Journal of Infrastructure Systems*, 18(2), pp. 75-88.
- Padgett, J.E., DesRoches, R. and Nilsson, E. (2010), Regional seismic risk assessment of bridge network in Charleston, South Carolina. *Journal of Earthquake Engineering*, 14(6), pp. 918-933. 