

5.3.2 互援路網之陳述

若將單一救援單位之責任分區路網視為微觀路網、多救援單位之多責任分區為巨觀路網，則互援路網乃利用交互救援的方式，來滿足巨觀最佳路網連結之條件。

互援路網與責任分區路網之差異，在於以系統繞路模行構建之責任分區路網，為預期道路破壞的路網；而以巨觀最小擴張樹之互援路網，為預期救援單位失靈的路網。互援路網之目標與責任分區路網之目標，同為救援單位與需求點之間的最小救援時間；不同之處，在於責任分區路網為一對多之組合，而互援路網為多對多之情境。然而，理論上，就使用觀點而言，如能不採用繞路的替代路線、而直接走最短路線，才應是最佳的策略；因此，在每個分區中討論連結度時，不應直接以連結度的思考邏輯來討論；反之，應先保留路網中，任意供需節點對之間的最短路徑之路網結構，再來考慮連結度的問題。因此，系統繞路路徑之定位，次於責任分區之最短路徑樹結構；而互援路網之定位，次於系統繞路路徑。此乃由於最具時間效率之路網為責任分區內之最短路徑樹結構，而交互救援行為，發生於責任分區內救援單位失靈或供給量能不足之情況。

由於路網中任一節點，必歸屬於某一責任分區；因此，巨觀之防災路網具有分區層級的結構。責任分區層級內之路網為系統繞路模型所構建，因而「道路破壞預期」的觀點使各責任分區層級內的路網，皆具有至少二邊連結度以上的品質。交互救援採取同級分區層級間之路網為「設施破壞預期」的觀點，因此各分區層級間的路網，將對分區層級內的需求點而言，提供了具有至少二供給點連結度以上的品質。由以上觀點，巨觀防災路網的結構雛形，可以如下概念圖所示。

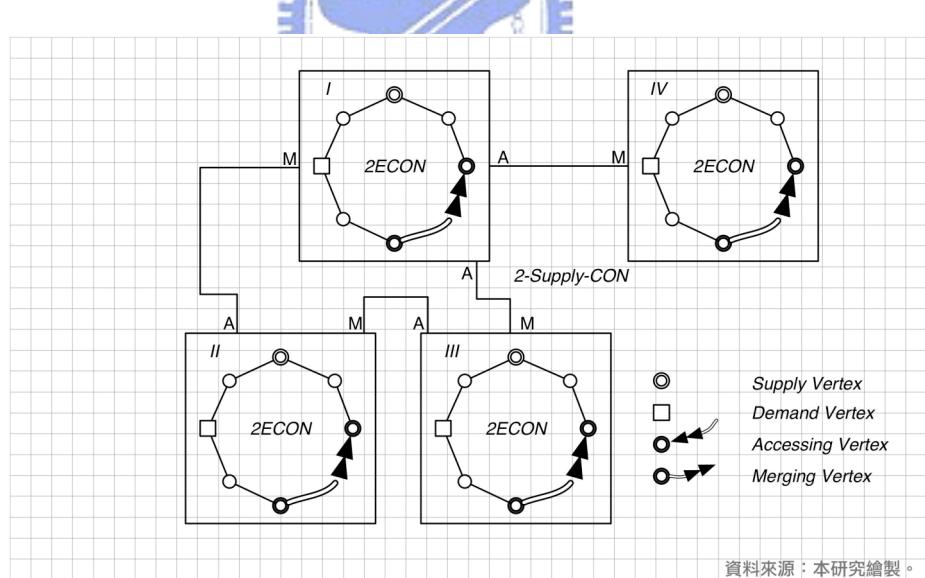


圖5.7 防災路網結構

在每個責任分區內，都存在有以供給點為根而發展、最短路徑樹的結構，以及套用系統繞路模型，所構建的橋段之結構；另一方面，責任分區之間，以各責任分區為單位，套用互援路網模型，構建分區間的橋段結構。因此在圖5.7中，區域I、II、III、與IV被視為同樣的層級，因此在連結四個區域的時候，將之視為獨立無關的區域，來進行同層級的路網連結。

5.3.3 互援路網之原理

互援路網之目的，乃在提高救援單位與不同責任分區間之連接。以巨觀路網角度，責任分區被簡化為單一節點，目標即在求取連接各責任分區之最有效率的路網。因此，每一責任分區將可能扮演兩種角色：1.於其他責任分區之救援單位供給量能不足時，交互救援其他責任分區的供給單位角色；2.於自己供給量能不足時，待其他供給單位救援的需求單位角色。以圖5.8為例，在甲責任分區內，自有一救援單位；此救援單位正常運作時，將還可作額外為其他乙區、丙區、及丁區等責任分區之候選交互救援單位。然而，連結至其他分區之方法，則需透過區內特定聯外點。聯外點係為區內具有連結另外分區之特定點。作為供給單位角色時，該聯外點以單線圓圈表示之；作為需求單位角色時，該點則以雙線圓圈表示之。兩種性質之聯外點亦可能為同一點。

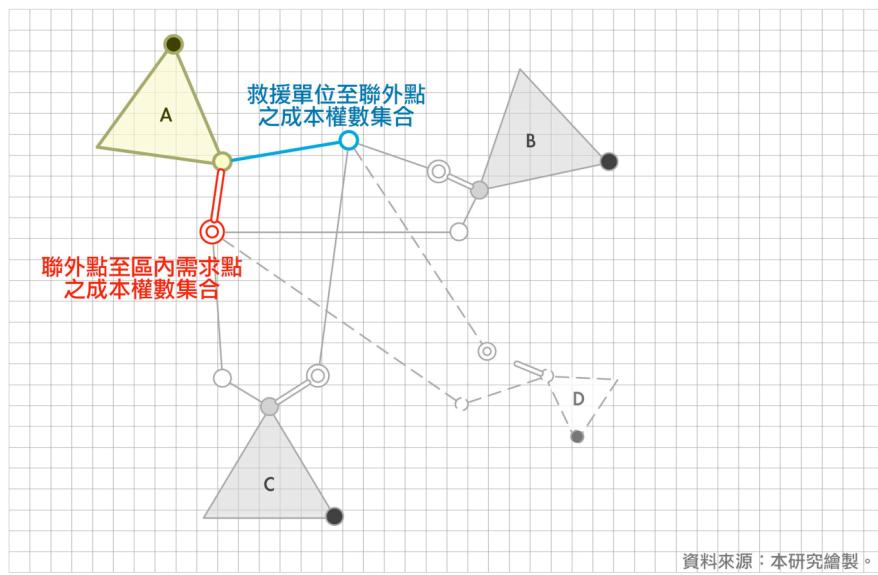


圖5.8 互援路網原理

互援路網之原理，係以最小旅行時間成本之目標，找出各責任分區間之合適橋段，以使各責任分區間能有效連結。基於各責任分區之兩種相異角色，連結橋段也有所不同。由於災害未發生時，無法確切知道災點所在位置，因此作為需求單位角色設計路網時，採以總體觀點。即先求取聯外點至區內所有可能需求點之總成本，再考量聯外橋段成本。作為供給單位角色時，係指責任分區內明確之救援單位，即先求取聯外點至區內救援單位之總成本，再考量聯外橋段成本。最後，將至區內所有可能需求點之總成本、聯外橋段成本、至區內救援單位之成本此三方成本同時考量，最小之成本組合，即建構出供給、需求兩種角色，成本皆最小之互援路網。

5.3.4 互援路網之演算法

互援路網之演算法，共分為五個步驟。

1. 步驟一：確認候選聯外點與區間橋段

由5.1節之責任分區路網模型程序，可將路網區分為獨立不相連的多個分區。此時，找出各分區內可連接到其他分區的節點，以作為各責任分區間進出的候選聯外點。各聯外點之間的路網，為不歸屬任何責任分區之路網；尋找彼此的最短路徑並記錄其成本，以作為各責任分區間的候選橋段。其候選橋段 $B(C_{i,k}, C_{j,k'})$ ，為由責任分區 S_i 的聯外點 $C_{i,k}$ ，依成本最佳化原則循經責任分區間之路網，而到達責任分區 S_j 的聯外點 $C_{j,k'}$ 之最短路徑。

2. 步驟二：求取候選聯外點指標

首先，建立兩個指標來顯示候選聯外點之特性。包括供給面、需求面之指標。

(1) 聯外點供給面指標：用以衡量各聯外點至區內供給點距離。

$$SI_{S_i, k} = d_{2ECON_{S_i}}(C_{i,k}, S_i) \quad (5-9)$$

(2) 聯外點需求面指標：用以衡量各聯外點至區內所有需求點最短路徑權數總和。

$$DI_{S_i, k} = \sum_n d_{2ECON_{S_i}}(C_{i,k}, D_n) \quad (5-10)$$

3. 步驟三：尋找最佳配對組合

尋找責任分區 S_i 的最佳互援單位 S_j ；透過 S_j 責任分區的聯外點 $C_{j,k'}$ ，經由橋段 $B(C_{j,k'}, C_{i,k})$ 連接至自己責任分區內之聯外點 $C_{i,k}$ ，再連接至區內的各需求點，求得責任分區 S_i 之最有效率之互援旅行成本 MAC_{S_i} 。

$$MAC_{S_i} = \min_{k', k, j} [SI_{S_j, k'} + d(B(C_{j,k'}, C_{i,k})) + DI_{S_i, k}] \quad (5-11)$$

4. 步驟四：建構互援路網

互援路網 MA ，即為所有區間橋段之集合路網。

$$MA = \bigcup_{i,j,k,k'} B(C_{i,k}, C_{j,k'}) \quad (5-12)$$

5.4 防災存活路網評估模式

本研究之路網模型，其廣泛性之原理，可運用於不同地域城市；然而，由於各地區之先天環境條件不同，若無統一之比較基準，難以判斷其路網規劃之優劣，未來資源之投入，無依據可循，方向亦難明辨。因而，本節以可靠、快捷、全面之目標，發展出可靠、快捷、全面效率衡量指標，可審視路網特性，並作為一套評估防災路網的模式，以助於判斷評估防災路網規劃配置方案之優劣比較。

5.4.1 防災存活路網模型

由5.1至5.3節可獲得防災路網模型 *RESCUE*；包含了，系統繞路之責任分區路網 *2ECON*，以及互援路網 *MA*。

$$RESCUE = 2ECON \cup MA \quad (5-13)$$

5.4.2 防災存活路網評估指標

1. 可靠

(1) 區內最長繞路成本 (Longest Detour, LD)：在不使用最短路徑的情況下，每對供需點間，使用其他路段所需繞路的時間，最長的繞路時間表示著最差的替代效率。


$$LD = \max_{S_i \in S} \left\{ \sum_{D_k \in V(2ECON_{S_i})} d_{2ECON_{S_i}}(P_{2ECON_{S_i}-e}(S_i, D_k)) \mid D_k \in D, e \in E(SPT_{S_i}) \right\} \quad (5-14)$$

(2) 區間平均互援成本 (Average Mutual Assistance Cost, AMAC)：互援條件係指區間救援的狀況。假若區內的救援單位發生失靈的現象，則需透過其它區域的救援單位來進行區內救援，因此互援條件可看做兩個不同救援單位間彼此的旅行時間距離。

$$AMAC = \frac{\sum_{S_i} MAC_{S_i}}{|S_i|} \quad (5-15)$$

2. 快捷

(1) 平均旅行成本 (Average Travel Cost, ATC)：每對供需點間，其最短旅行成本的平均值。

$$ATC = \frac{\sum_{D_k \in D} \left(\min_{S_i \in S} \{ d_{RESCUE}(D_k, S_i) \} \right)}{|D_k|} \quad (5-16)$$

(2) 最大旅行成本 (Maximum Travel Cost, MTC)：每對供需點間，其最小旅行成本路徑，即代表了救援的效率，而路網中，最大的旅行成本表示著最差的救援效率，因此作為衡量救援效率的重要指標。

$$MTC = \max_{S_i \in S} \left\{ d_{2ECON_{S_i}}(S_i, D_k) \mid D_k \in V(2ECON_{S_i}) \right\} \quad (5-17)$$

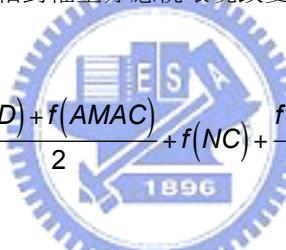
3. 全面效率

(1) 路網成本 (Network Cost, NC)：防災路網的考量中，路網成本並非首要考量的條件，然在相同防災路網品質條件下，成本愈低的路網，愈能付諸實現，因此路網成本為全面效率的參考。

$$NC = \sum_{e \in E(G)} w_e x_e, x_e = 1 \text{ if } e \in RESCUE, x_e = 0 \text{ otherwise} \quad (5-18)$$

5.4.3 防災存活路網之綜合評估

由於各地區條件有所不同，各準則相對權重亦應視環境改變，此處以平均法為之。總體評估結果值 E 如下式。



$$E = 1/3 \left[\frac{f(LD) + f(AMAC)}{2} + f(NC) + \frac{f(ATC) + f(MTC)}{2} \right] \quad (5-19)$$

其中， $f(x)$ 為標準化函數。

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \text{ is better than } RS_{l,x} \\ \frac{x - RS_{l,x}}{RS_{l,x} - RS_{U,x}}, & \text{if } x \text{ is between } RS_{l,x} \text{ and } RS_{U,x} \\ 0, & \text{if } x \text{ is worse than } RS_{U,x} \end{cases} \quad (5-20)$$

$RS_{l,x}$ ：專家針對 x 指標最理想的參考尺度值。

$RS_{U,x}$ ：專家針對 x 指標無法接受的參考尺度值。

