



# 論水利防災之價值與績效

顏清連／國立臺灣大學土木工程學系名譽教授、水工試驗所特約研究員

水利防災工作包括水災、旱災與水關聯環災之防治，而災損的減輕即為其價值與績效所在，因此防災工作事前與事後的災損評估為必要工作。本文用意在於拋磚引玉，故由防災價值觀之論述出發，進而建議：採用六個價值指標大項、各大項由若干指標細項所構成，並以危害度、曝露度及脆弱度等因素之考量來篩選指標細項，建構評量系統，用以評量各大項之指標值並轉化成貨幣單位，再與成本比較、顯示其價值與績效，期能以社會大眾有感的方式呈現。

## 前言

當人們看到「水利防災」這四個字時，很可能在腦子裡首先浮現的是一幅住家和社區淹水的圖像，再接下來可能是路斷、橋垮、堤潰…等等。這些都是一般人在生活當中常有機會遭遇到水災的真實情況；就他們的經驗來說，「水利防災」就是設法防止水災發生或減輕水災所造成的生命財產損失至最低程度。雖然根據人們的生活經驗為「水利防災」下的這個定義相當符合經驗法則，但嚴謹來看可以說是屬於狹義的「水利防災」。

事實上，從一個較廣的角度來看，水利防災工作就是在處理解決水太多、水太少和水太髒的問題。水太多造成洪水氾濫，所以要建造堤防、抽水站、排水系統、建立洪水預報系統、成立救災應變機制等等，以儘量減少災損與生活不便。水太少就會形成旱災風險，所以要興建蓄水庫、海淡廠、輸配水系統，以蓄豐濟枯互通有無、降低缺水機率、滿足生產與生活之需求。水太髒不但造成環境污染、破壞生態平衡等環境災害（以下簡稱環災），並且可能會減少可用水量而連帶引發缺水問題，所以要興建污水處理廠、淨水廠、污水下水道系統等，以減輕污染、維持生態環境永續。總而言之，廣義的「水利防災」應該包括水災、旱災及環災等三個面向。

由各類水問題的立場來看，台灣是位於不利的地理與地質環境中，颱風每年有三至四次侵台的機會，而且在春夏之交還有梅雨來襲，颱風雨與梅雨之強度高、雨量大，原已容易造成洪水氾濫。近年來，全球溫室氣體排放量急速攀升，造成全球暖化與氣候變遷。異常天氣日益加劇，以致短延時強降雨造成洪澇、土石流等災害頻率升高，除導致難以估計的生命財產損失之外，更使基礎設施如道路、橋樑、堤防、維生管線等受到嚴重的破壞。尤其是在強震之後土石鬆動的坡面再遭到強風豪雨侵襲時，引發大量土石崩塌，其中部份隨著洪水進入河道、水庫及平原地區形成複合型災害。例如水庫因淤砂減損庫容可能導致未來缺水而演變成旱災風險；又如集水區的大規模崩塌和沖刷可能導致生態平衡的破壞而變成環災。這些複合型災害問題的處理解決難度更高、時間更長、投資更多。

水利防災工作同時亦受到許多社會經濟活動的影響或制約。一方面，由於經濟快速發展、人口增加且大規模都會化，使土地開發的密度與強度均不斷升高、水資源過度利用以及廢污水大量排放…等人為因素的衝擊，以致水關聯災害的問題更形嚴重。另一方面，在人們累積更多財富、提高生活水準之後，對於保護生命財產安全以及用水量的需求亦即跟著水漲船高。另外，多年來在環保運動以及永續理念推行之下，社會的環保意識已經抬頭，因而對環境生態保育之要求

已是日趨嚴格。顯然地，人們對上述「水利防災」三個不同面向的需求之間是有互相矛盾、制約關係的。換言之，若要完全滿足某一方面的需求，則必須犧牲另一或兩方面的水準，因此只能在三者之間尋求某一程度的平衡。然而平衡位置的選擇又牽涉到解決問題所需投入社會資本的多寡。

在台灣社會開放、民主意識高漲、公共事務參與熱烈的情況下，水利防災這樣的公共建設（包括軟、硬體）所需要社會資本投入及其所產生的效益，不論事前或事後都必須接受嚴格的民意（包括民意機關、民間團體及公眾媒體等）問責考驗。水利防災工作的價值並不是一般市場交易產品的價值，因此主政機關／構如何將水利防災工作之投入成本、產出價值與績效，以社會大眾有感的方式呈現，是目前最具挑戰性而且有重大意義的任務之一。

## 防災價值觀

事實上，我國自 1982 年國科會啟動「大型防災研究計畫」以來，經過「國家型防災科技計畫」、「強化研發與落實方案」到目前的「應用科技方案」，學術界與實務界一直都非強調科技研發成果必須落實應用於防災施政計畫，而防災計畫實現後的災損減輕就等於是防災工作的價值。因此，就有了「颱風洪水災損評估系統」<sup>[1]</sup>及「地震災損評估系統」<sup>[2]</sup>之研發與建置。災損受到諸多自然、經濟、社會及生態…等因素的影響，因而災損及防災價值評量工作，不論事前預估或事後評估，都是一件相當複雜且困難的工作。為使防災工作的價值評量更趨完整且能使社會大眾更有所感，筆者亦曾倡議防災工作的價值評量應包含學術面、技術面、經濟面及社會面的指標<sup>[3]</sup>，並應進一步考慮將環境生態安全與世代公義等因素納入整合性防災計畫（如國土保育治理計畫）的價值評量指標<sup>[4]</sup>

在國際上，防災工作及其所帶來的價值亦受到高度的關注。聯合國相關組織於 2015 年 3 月份在日本仙台市舉行的第三屆世界減災會議，通過 2015~2030 減災綱領（以下簡稱仙台綱領），宣示未來 15 年內期待在各國共同努力之下，可以獲得下列成果<sup>[5]</sup>：

具體降低個人、企業、社區以及全國的災害風險與損失，特別是在人命、生計和健康，以及經濟、實體、文化和環境資產等項目。

為能取得這些成果，仙台綱領呼籲世界各國不同層級的政治領導人在防災工作的落實執行與績效追蹤上，必須有重大的承諾與高度的投入，並領導創造有利的條件，以追求減輕對災害的曝露量（exposure）與脆弱度（vulnerability）、強化應變及復原重建整備度，進而提升耐災能力等目標之達成。

為協助評估各國在達成以上所述的各項成果與目標的進展，仙台綱領指出國家層級的防災工作成效指標共七項，其中與防災價值直接關聯者有五項：

減少死亡人數（以每 10 萬人口數為單位）；

減少受影響人數（以每 10 萬人口數為單位）；

降低直接經濟損失（以 GDP 百分比為單位）；

降低基礎設施損壞與服務中斷損失（如交通、水電、醫療、教育等）；

提升防災資訊可級性（如早期預警、災害風險等）。

以上五項指標皆以未來一段時間（如 2020~2030）預估（或實測）數據與過去一段時間（如 2005~2015）實測數據作評量與比較，並以具體量化指標值來呈現防災工作價值；而且防災價值可隨防災技術／方法之改進與投入資源之增加而提升，因此可適合用作水利防災價值指標大項。不過，各個價值指標大項的評量作業還須由其影響因子所構成之指標細項來達成。

由引用仙台綱領而來的五個防災價值指標大項中並沒涵蓋降低環災相關的項目。實際上，水利防災工作可以強化水環境保育，因而降低水災、旱災、環災的衝擊，具有相當重要的價值<sup>[6]</sup>，故應列為第六個價值指標大項。

具體量化之後的水利防災價值可考慮經由「願付價格法」的轉換程序予以貨幣化。雖然減少死亡人數的價值是否可以用貨幣化方式表示一直存在很多爭議，但有不少研究文獻顯示已初步歸納出一個以貨幣為單位的價值<sup>[7,8]</sup>。貨幣化價值加總之後，就可以「等同效益」的結果呈現，等同效益必須與投入成本比較才能顯現水利防災績效。因此，對於投入成本亦須作深入的分析，成本的構成因子相當明確具體，故其分析應是相對容易的。

## 價值與績效指標

水利建設之績效向來是以益本比作為評量指標，顯然績效指標可分成效益指標及成本指標兩類來思

考，成本一般是以貨幣單位來衡量，所以效益當然也要用貨幣單位來表達。效益指標包含有可量化部份與所謂的不可量化部份。前者之分析一般而言都有相當明確的規範可依循；後者通常以前者的一個百分比來作簡化處理，雖具有相當大的彈性，但卻因而常引起熱烈討論、爭論甚至嚴重質疑，故應儘量設法將原為不可量化部份的相關價值指標項目予以量化並進而貨幣化成為效益的一部份。

在每一個價值指標大項之下，一般都會有多個相關指標細項。例如受淹水災害影響的人數明顯地與淹水範圍、深度及延時等致災因子成正相關。因此，可藉由提高排水系統及抽水站的容量等防災工作來降低致災因子，以減少受淹水災害影響的人數。受影響人數減得越多當然效益就越大，但可能成本也會跟著升高。由此可見，雖然把這些致災因子全部降到最低可得到最大效益，但並不見得是最好的績效。

降低淹水範圍、深度及延時等因子的防災工作是以硬體設施來降低保護對象的曝露度及脆弱度。其實，採用若干軟體措施，例如提供即時的適當防災資訊，可以提升居民的應變能力或容受度，亦即降低了曝露量及脆弱度。同樣地，透過管理措施，例如遷離部份居民與設備，亦可以降低曝露量及脆弱度。

由以上所述可知，就減少淹水災害而言，降低淹水面積、深度、延時等因子就可以減少受影響人數（第二大項指標值），表現了防災工作所產出的價值，因此可以採用這些因子或其組合作為指標細項。同時，這些因子的降低程度也代表了防災工作所需投入成本的額度。顯然這組指標細項適合用於第二指標大項，但不見得可適用於其他五個指標大項，例如在第四指標大項之下，對堤防或橋樑損壞而言，選擇尖峰流量及流速作為細項指標可能較為合適，因為堤腳或橋墩的沖刷與流量及流速等因子都有接關係，而與淹水範圍及深度等因子的關係相對較少。

另外，降雨總量、強度及延時等因子同樣會影響淹水災害或其他災項的致災因子，連帶地也改變了防災工作的價值與績效。換言之，不同規模的降雨事件形成不同的危害度（hazard），而不同的危害度對於已定的防災工作計畫會產出不同的價值與績效。因此，在水利防災價值與績效評估時，降雨事件發生機率必須納入考量。

綜合而言，災害事件的危害度（ $H$ ）、受災區域的曝露量（ $E$ ）、以及受災對象的脆弱度（ $V$ ）等因素對於災損有直接關係。這三個因素的相互關係如圖 1 所示，圖中三個大圓圈的大小分別代表  $H$ 、 $E$ 、 $V$  的高低，其交集  $L$  代表災損風險；當  $H$ 、 $E$  及  $V$  三者都很大時， $L$  也跟著變大。換言之，高危害度（如降雨量大）搭配高曝量（如人口數或工廠數多）及高脆弱度（如老人及幼童人口比例高）就會造成高災損風險。相反地，若將  $E$  和  $V$  降低到小圓圈，則兩者與  $H$  的大圓圈就沒交集，亦即無災損風險；若  $E$  和  $V$  維持大圓圈，則與  $H$  的小圓圈一樣沒交集。由此可知，防災工作的目標就是要設法將  $E$  和  $V$  的圓圈縮小，使交集  $L$  變小，以提高其價值。

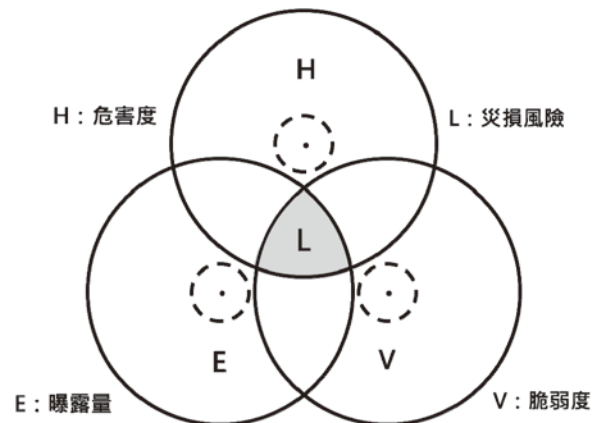


圖 1 災損風險與危害度、曝露量及脆弱度之關係示意圖

## 評量系統構建

如上所述，水利防災工作多以益本比為績效指標，而績效評量過程將涉及諸多因子，且彼此互相關聯，故將其間相互關係先以簡化之架構呈現，如圖 2 所示，再分別依序說明如下：

### 成本評量

水利防災工作計畫的成本可分成兩大類，其一為硬體設施成本，如堤防、抽水站、蓄水庫…等；另一為軟體運行成本，如應變整備與操作、教育訓練、資訊溝通…等。不論硬體或軟體，成本分析計算都已有相當嚴謹的規範可依循，只要計畫之規模、規劃及設計已經確定，即可按照規範進行分析計算，取得結果。



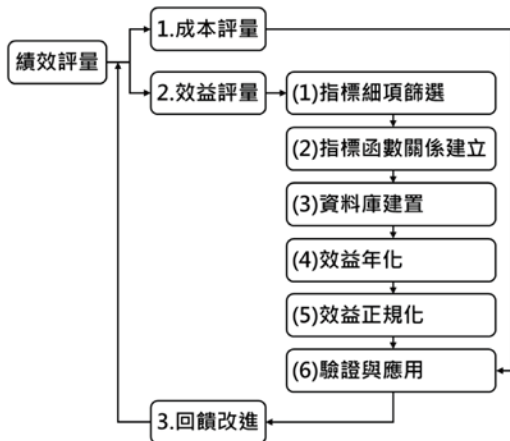


圖 2 水利防災績效評量系統架構示意圖

硬體建設成本多為一次性的投入，而且有一定的使用年限限制（或稱生命週期），而軟體運行則是每年進行，故其成本為經常性的年成本。因此，通常將硬體建設及其維運成本轉換成年成本，然後再加上軟體年成本成為該防災工作計畫的年成本，以方便與年效益作比較。

針對一個地區（如縣或市）而言，可能同時有許多項防災工作計畫。在進行全面性的防災績效評量之前，應按平時減災、災前整備、災時應變及災後復原重建等階段所投入的各項成本（甚至包括技術研發、資訊監測等）逐項詳細盤點並且深入分析，以力求完整。

## 效益評量

### (1) 指標細項篩選

針對於個別指標大項，首先列出相關的可能指標細項，然後依照可否降低曝露度及脆弱度（或提高容受度）以及細項之間是否具互相獨立性的原則，一一檢視斟酌後，再來選擇其應否被涵括之指標細項。例如曝露量隨淹水面積之增加而增加，脆弱度隨淹水深度、延時之增加而增加，而且對一個指定地區來說，淹水深度及延時會隨淹水面積之增加而增加，因此減少淹水面積亦同時降低了脆弱度。顯然經過這個檢視斟酌歷程，就可選擇淹水面積為災損細項指標之一，但捨去淹水深度及延時。

至於旱災與環災相關的水利防災工作，亦可運用同樣的思考邏輯，針對台灣的特殊的水文、地文、生態、經濟與社會環境，來篩選出適合用於評估各大項指標之下的細項指標。

### (2) 指標函數關係建立

防災工作計畫實施前、後的災損指標值差額經貨幣化即為防災工作的效益，因此在進行效益評量之前必須先分別建立個別指標大項與其相關指標細項的災損函數關係，可表如下：

$$L_j = f(I_{j1}, I_{j2} \cdots I_{jk}) \quad (1)$$

其中  $L_j$  代表第  $j$  個指標大項的災損指標值； $j = 1 \sim 6$ ； $I_{j1} \sim I_{jk}$  分別代表第  $j$  大項之各災損指標細項； $k$  為細項個數，依指標大項而異。

災損函數關係建立之後，再以防災工作計畫實施前與實施後之相關細項指標值代入，分別求得其災損指標值，兩者之差額乘以貨幣化轉換係數  $C_c$  即為其效益指標值  $B_j$ ，故效益函數關係可表如下：

$$B_j = C_c [(L_j)_b - (L_j)_a] \quad (2)$$

其中  $(L_j)_b$  及  $(L_j)_a$  為計畫實施前、後之第  $j$  項災損指標值。有些災損指標值如經濟損失及基礎設施損壞可直接以貨幣值計算，因此這部份的效益就直接以貨幣單位呈現，亦即  $C_c = 1$ ；其餘非貨幣單位的效益指標值則須透過各種方法，例如以願付價格法求得貨幣化係數  $C_c$ ，轉換成貨幣單位效益指標值。最後將貨幣化之六大項效益加總即為水利防災計畫之效益。

運用願付價格法將防災價值貨幣化須透過問卷查訪來瞭解受訪者的感受與意願，因涉及受訪者的教育、社會、經濟及心理…等因素，故問卷設計及查訪作業必須納入這些因素的考量，以力求貨幣化係數準確反應受訪者的意願。

### (3) 資料庫建置

建立效益指標函數關係有賴過去發生災害事件的紀錄資料。由於效益指標值受到各種自然、社會及經濟因子的影響，因此資料蒐集應以能適度反映危害度、曝露量及脆弱度者為準，才能使指標值函數關係之建立系統化。

資料庫建置開始之前，應事先就所需資料項目，按災害類別、指標大項及細項，一一盤點並加以確認，以方便進行有系統的蒐集及品管。例如淹水事件災區的各项相關資料為：

- 降雨：雨量、雨強、延時；
- 淹水：面積、深度、延時；
- 災損：基礎設施、家戶財產、工商產值；
- 人口：死亡人數、受影響人數、受影響程度或等級。

(4) 效益年化

上述式 (1) 中之細項指標值，如淹水面積會隨降雨量而變，當然災損指標值  $L_j$  亦隨降雨量之增加而增加。因此，在社經因子條件給定的情況下，式 (2) 表明  $B_j$  是對應於某一定規模降雨量的效益，而該降雨量可能一年發生數次或許多年才發生一次。換言之，防災工作計畫之效益及績效評量必須將降雨量的發生機率納入考量。在防災計畫實施前並不是每一個降雨事件都會造成災害，而是在降雨量大於某一門檻值以上才會致災，因此應先將歷年的各事件雨量 ( $R$ ) 紀錄超過致災門檻值 ( $R_0$ ) 者挑出，然後進行機率分析，並將結果繪成致災的事件雨量發生機率分布圖，如圖 3 所示。

將圖 3 各個區間的代表雨量代入式 (1) 即可分別求得各該區間的  $(L_j)_b$  及  $(L_j)_a$ ，再由式 (2) 求得其對應的效益  $(B_j)_i$ ，並將之乘以各降雨量之發生機率  $p_i$  後加總即可得年化效益如下：

$$\bar{B}_j = \sum_1^n p_i (B_j)_i \quad (3)$$

其中  $\bar{B}_j$  為第  $j$  項指標大項之年化效益； $n$  為超過門檻值的事件雨量發生機率分布圖之區間數。

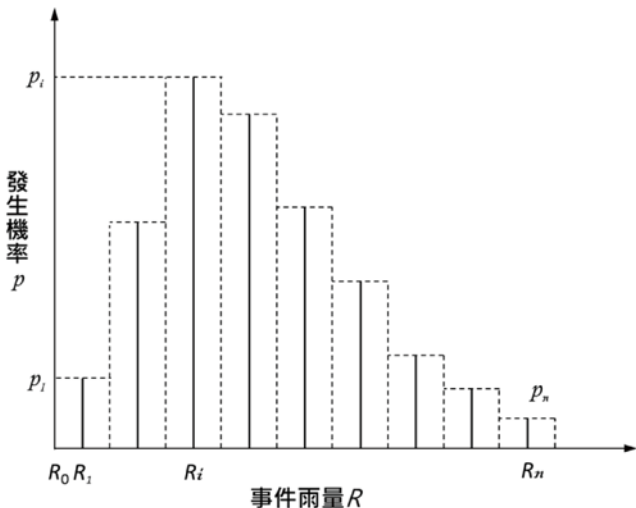


圖 3 超過致災門檻值 ( $R_0$ ) 之事件雨量機率分布示意圖

(5) 效益正規化

績效評量結果常用於跨時段的比較或跨區域的比較。在同一個區域的不同時段可能會因為自然因子（如雨量、雨強、地形、地貌等），或社經及環境因子（如人口密度、產業密度、生態保育等）的不同，而致評量結果不全然反映防災工作的效益（或績效）。因此，評量所得的效益應先予以正規化 (normalization) 再作比較。

所謂效益正規化，是將不同時段或不同區域影響因子的條件調整成一樣的情況下之效益。在評量某項防災計畫之效益時，就是要比較計畫實施前、後各一時段（如 10 年）的實際災損差額，但此一差額可能包含了前、後時段因事件雨量不相同（假設社會、經濟條件相同）的影響在內，因此必須將此結果加以修正，才能真正反映該防災計畫實施後的效益。修正方式可以將前一時段的事件雨量調整成和後一時段者相同，然後由已建立的災損函數關係推估修正災損量及正規化效益。如果社會及經濟因子在前、後時段有所不同，亦可用同一方式修正。

正規化的參數可考慮由組成危害度的自然因子以及組成曝露量或脆弱度的社經因子... 等篩選出來。

(6) 驗證與應用

依以上所述概念，建置完成各個項目之後，就構成一個績效評量系統。這個系統必須先經過驗證程序確認它可以作出合理的評量結果。為此目的，應選定若干合適的水利防災案例，如基隆河截彎取直計畫、員山子分洪計畫或其他類似計畫，試行績效評量並將評量結果公開，且由相關學者專家組成驗證小組深入討論，確認其合理性及實用性之後，才進一步推廣給各實務單位應用。驗證小組員應包含一定比例的實務單位專家。

應用這樣一個評量系統的最關鍵部份是效益指標，指標值則由指標函數關係來決定，而指標函數關係是隨受災區域的自然、社經及環境生態條件而變的，因此應用此系統的第一件要緊的事情就是這個指標函數關係的建立，而其所需資料庫的建置更是其中必須優先完成的工作。由於資料庫及指標函數關係都是隨著地區而變，建置的工作量相當大且費時，因此在推廣應用的過程宜先將水災方面逐步推進，俟其完備之後，再依序逐步擴展到旱災及環災方面。

## 回饋改進

在應用評量系統執行評量作業的過程中必然會遭遇到若干困難，並發現不少的缺點。這些困難和缺點將是未來改進此一系統的重要依據。因此各應用單位應將這些寶貴的經驗定期回饋給系統開發者，以便作為改進之用。

## 結語

1. 廣義的水利防災工作涵蓋水災、旱災及環災三個面向；雖然目前水災防治較受重視，但長遠而言，旱災及環災防治亦不可忽視。
2. 水利防災工作的具體貢獻常不為社會大眾所瞭解，或甚至有所誤解；建立有效的水利防災價值與績效評量系統將有助於向社會溝通釋疑、強化為政策辯護之基礎、導正防災資源之配置。
3. 水利防災價值指標可慮採用六大項，包括：減少死亡人數、減少受影響人數、降低經濟損失、降低基礎設施損壞與服務中斷損失、提升災害資訊可及性、以及降低水環境災害。
4. 評量系統主要包括成本與效益兩部份，後者需經由

指標細項篩選、指標函數關係建立、資料庫建置、效益年化、效益正規化、檢定與驗證等過程，工作量甚為龐大，須有適當資源投入。

5. 績效評量系統之建置宜考慮優先應用於水災方面的區域排水及河川防洪的計畫或方案；有成之後，再逐步擴大至淤砂治理、海岸防護、旱災防備、水環境改善等方面。

## 參考文獻

1. 李欣輯、陳怡臻、郭致君（2013），臺灣颱風災損評估系統之建置與應用，農工學報，第 59 卷，第 4 期。
2. 葉錦勳（2009），台灣地震損失評估的研發與地震早期損失評估暨風險評估應用，土木水利雙月刊，第 36 卷，第 4 期。
3. 顏清連、林翠儀、李文正（2014），淺談臺灣防災科技發展與挑戰，土木水利雙月刊，第 41 卷，第 1 期。
4. 顏清連（2014），莫拉克颱風災後保育治理思維—水利/水害觀點，土木水利雙月刊，第 41 卷，第 4 期。
5. United Nations, 2015, Sendai Framework for Disaster Reduction 2015-2030, UNISDR, Office for Disaster Reduction.
6. 顏清連（2015），論永續水利事業，土木水利雙月刊，第 42 卷，第 3 期。
7. Liu, K. F., Li, H. C. & Hsu, Y. C., (2009), Debris Flow Hazard Assessment with Numerical Simulation, Natural Hazards, Vol. 49, No.1.
8. 薛立敏、王素庭（1987），台灣地區人口「生命價值」之評估—工資風險貼水法之理論與實証，經濟專論，108 輯。

## 國際救援行動報導

近年因緬甸羅興亞人流離到孟加拉引起國際輿論，緬甸政府規劃在緬、孟邊界處興建短期組合屋，讓羅興亞人回到緬甸居住，進而讓羅興亞人藉自己的力量成立村落。Myanmar Engineering Society (MES) 接受緬甸政府要求，將協助此一建村計畫，唯礙於實質能力，MES 向 IEET (中華工程教育學會) 及 CICHE 提出贊助請求。

基於 CICHE 和 MES 友好關係，且於 2017 年簽訂 MOU，應給予支持。衡量學會的財務狀況，並與 IEET 研商，經內政部報核後，贊助額度為 IEET 及 CICHE 各捐助 5,000 美元，以行動表達 CICHE 對緬甸國際事件的救援。

