



DOI: 10.6653/MoCICHE.202004_47(2).0001

特別報導

2019 ASCE T.Y. Lin Award 論文分享

新型仿生模組化 預鑄橋墩系統之研發

宋裕祺／國立臺北科技大學工程學院 院長、中國土木水利工程學會 理事長

林冠禎／國立臺北科技大學土木與防災研究所 博士、台灣世曦工程顧問股份有限公司 工程師

洪曉慧／國家實驗研究院國家地震工程研究中心 研究員

江奇融／國家實驗研究院國家地震工程研究中心 技術員

張國鎮／國立臺灣大學土木工程學系 教授、國家實驗研究院國家地震工程研究中心 前主任

由國立臺北科技大學工程學院院長宋裕祺率領的研究團隊，以「新型仿生積木式預鑄橋墩系統」為論文主題，日前榮獲「美國土木工程師學會林同棧獎」(ASCE T.Y. Lin Award)。此獎項以預力混凝土工程先驅林同棧命名，此為該獎項 1969 年設立半世紀以來，首次由華人研究團隊獲獎！

美國土木工程師學會 (ASCE) 的學術期刊為全球土木工程學術領域的領航指標，1969 年該學會將「預力混凝土獎」更名為「林同棧獎」，為美國科技史上首度以華人名字命名的科學獎項。受到新冠疫情影響，原定 4 月頒獎典禮取消，獎牌已越洋送至 2019 年度獲獎者宋裕祺、國家地震工程研究中心研究員洪曉慧、北科大博士林冠禎、國家地震工程研究中心技術員江奇融、國家地震工程研究中心前主任張國鎮等團隊成員手中。

此獎每年精選一篇對預力混凝土研究領域深具影響力的文章，得獎者皆為對於國家工程具卓越貢獻的工程師、頂尖大學學者，如 1969 年得主 Robert F. Mast 曾設計西雅圖地標太空針塔 (Space Needle)；1994 年得主 Ned H. Burns 因對預力混凝土和高性能預力混凝土橋梁研究的傑出貢獻當選美國國家工程院院士；2014 年得

主 M. Lee Marsh 為美國耐震設計規範主要編訂者之一。

研究團隊於 2013 年開始投入「新型仿生模組化預鑄橋墩系統」研究，藉由「人體脊椎」與「積木堆疊」概念，透過具脊椎關節的剪力樺接合、節塊開合，達到消散地震力量的效果。經過兩年的理論推導與規劃，2015 年起在國家地震工程研究中心進行一系列大尺寸橋墩試體的測試實驗，結果顯示，新型橋墩可抵抗之地表加速度為傳統橋墩者的 1.2 倍，所開發的模組化橋墩適合預鑄、產品品質容易掌控、製作精度高、能快速組立降低施工期間對環境衝擊，同時兼具快速生產與便於保存等優點，適用於新建及緊急救災工程，此新型橋墩工法已取得美國、日本和台灣的發明專利。整個研究從發想、構思、規劃、試驗、分析、討論、文章擬稿、投稿、回覆到刊登，歷時多年，此次獲獎是對研究團隊多年來努力的肯定。

得獎文章

Sung, Y.C., Hung, H.H., Lin, K.C., Jiang, C.R. and Chang, K.C., "Experimental Testing and Numerical Simulation of Precast Segmental Bridge Piers Constructed with a Modular Methodology", *Journal of Bridge Engineering*, ASCE, Vol.22, November, 2017.

本文將簡要概述得獎內容以分享產官學研各界參考。

前言

一般而言預鑄混凝土節塊在設計時通常會考量施加足夠的鋼腱預力，以提供各節塊之間的正向力與伴隨而來的摩擦力，來抵抗外力造成混凝土節塊界面間之剪力。各混凝土節塊正如同人體的脊椎，在承受高軸力時，將因全身繃緊容易造成不適，進而影響活動性能。若能在混凝土節塊界面間設置合宜的剪力連結裝置有效提供混凝土節塊界面間之剪力強度，將可大幅降低對於鋼腱預力施加之依賴，除可避免應力集中外，也可降低混凝土潛變與乾縮以及鋼腱預力損失之影響。

研究借鏡人體中脊椎與肌肉的組成方式，人體活動是藉由多塊骨骼相互支撐與各自變形所達成，如同預鑄節塊與鋼腱或鋼筋的搭配組合，在地震力作用之下節塊變形帶動鋼腱的受力以維持節塊的整體性，並提供回復能力使預鑄節塊能回復至初始狀態，讓殘餘變形降至最低，本研究以脊椎為發想加入剪力樺增加節塊間的抗剪強度，取代鋼腱施加大預力所提供的摩擦力如圖 1 所示，確保整體結構在地震作用下具備更優良的結構性能。

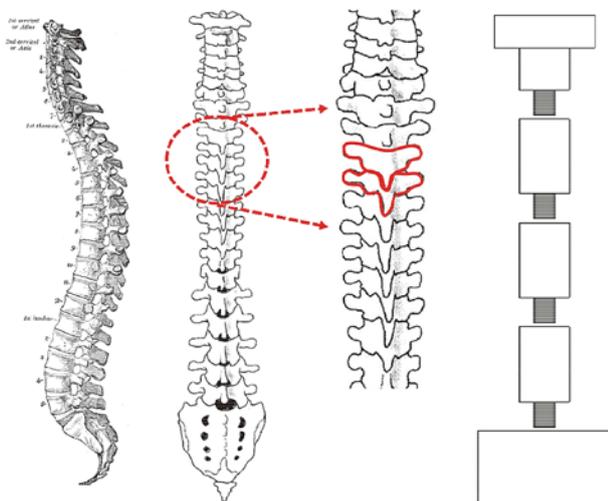


圖 1 人體的脊柱與預鑄節塊發想

模組化概念

以往預鑄橋墩多以單一節塊作為單一層構件，此種工法對於工程進度的提升會有所貢獻，但大斷面節塊須面臨節塊運送與節塊製作精度之要求，所以常需要於施工現場周邊建立臨時的戶外預鑄場，對於降低環境衝擊的優勢稍顯不足如圖 2。



a. 運送不易



b. 吊裝困難



c. 額外開設預鑄廠



d. 現地施作預鑄節塊

圖 2 傳統預鑄節塊施作方式

模組化概念為前述剪力樺預鑄節塊概念的延伸與改良，單一層預鑄節塊採用積木組合方式，將大節塊化整為零分割為數個模組化的小節塊，加入剪力樺型式後便成為如積木般的節塊如圖 3。小節塊的尺寸可有效地縮小且便於存放及運送，不必於施工現場額外開闢預鑄場。除此之外，其節塊型式如同積木可與上下層節塊進行結合，形成抗剪機制，且保有節塊之間的束制能力如圖 4，不僅如此，更可於緊急狀況迅速搬運至現場，並根據現場實際狀況，可組成各種可能的結構型式如圖 5。

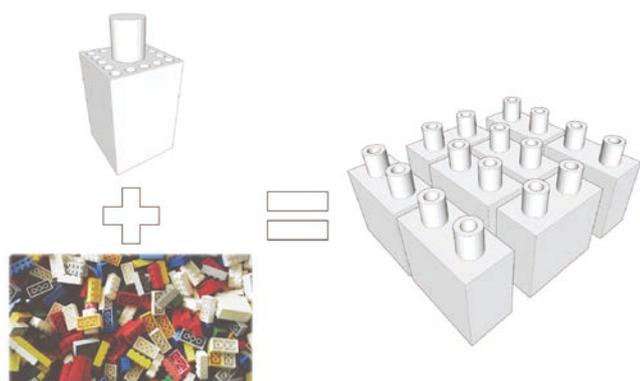


圖 3 模組化預鑄節塊橋墩之概念發想示意圖

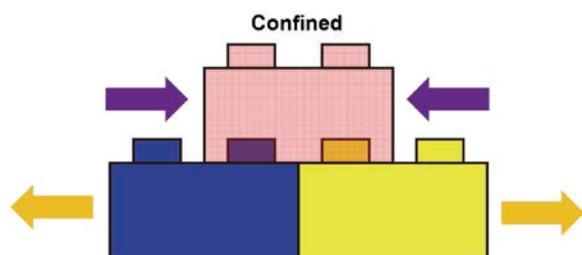


圖 4 模組化預鑄節塊抗剪機制及束制

模組化構想之實踐

利用針對本研究所提之模組化概念，設計兩種模組化型式之橋墩試體（如圖 6）：(1) 模組化 RC 剪力樺預鑄節塊橋墩試體 MRCSK，其剪力樺已於製作時與節塊結合，剪力樺採用的材料為 RC，並且在剪力樺中央放置旋楞套管使主筋與鋼腱直通，主筋則採用束筋的方式；(2) 模組化鋼棒剪力樺預鑄節塊試體 MSSK，其剪力樺則採用分離式的製作方式，剪力樺之材質為鋼材，並且組裝時再將剪力樺旋入節塊內部實踐全預鑄的概念，方便節塊的收納保存，與 MRCSK 不同之處在於採用多個旋楞套管保留主筋與鋼腱直通位置，並將主筋配置分布於斷面中。



a. 運送方便



b. 吊裝簡易



c. 精度可控



d. 全預鑄接合

圖 5 模組化預鑄節塊施作方式



(a) MRCSK

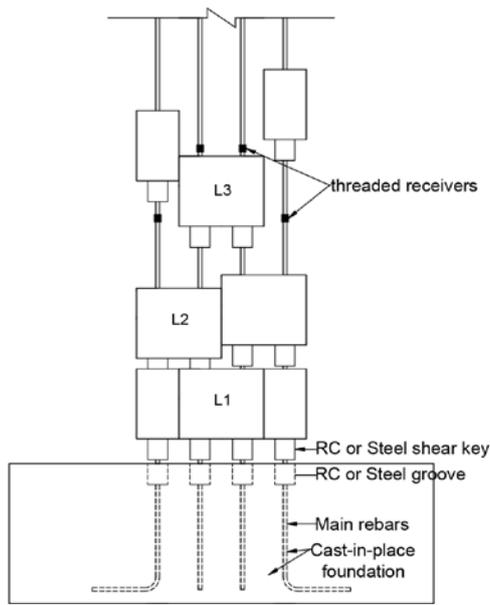


(b) MSSK

圖 6 MRCSK 單一節塊型式與 MSSK 分離式剪力樺

試體組立

MRCSK、MSSK 預鑄節塊橋墩組裝過程中，採用加壓灌漿，將所預留除了鋼腱以外的主筋孔位全部填滿，所以避免在加壓灌漿時壓力過大導致水泥漿體由節塊縫隙噴出，以及防止水泥漿流入鋼腱所預留的旋楞鋼管，組裝四個節塊時均於節塊間先於旋楞套管周圍利用矽利康 (Silicone)，可避免水泥漿體漫流。待 L1、L2 節塊組立完成便可將主筋續接，接著即可組立 L3、L4 至 L7 節塊如圖 7 所示，鋼腱的安裝 MRCSK 及 MSSK 在試體組立時一併完成如圖 8 所示。最後將預力鋼腱將錨定於橋墩柱頭表面上並施拉預力，接著再進行加壓灌漿，使所有小節塊可透過水泥漿體與主筋的握裹合為一體。



(a) 試體各組裝構件

實驗成果

傳統場鑄混凝土橋墩在受到大地震力作用下，多集中在橋底塑鉸區產生破壞 (如圖 9 所示)，亦即是以集中有限的塑鉸區域來吸收地震能量，然而試體 MRCSK 破壞情況則有明顯不同，橋墩裂縫是以分布式的方式分散產生於整個試體的各位置，每個小節塊均有些許裂縫與混凝土破損的情形產生，顯示此種型式的預鑄節塊橋墩可以藉由每個小節塊界面間的開合將地震能量以分布的方式吸收掉 (如圖 10 所示)。試體 MSSK 破壞情況與 MRCSK 相似。

此外，實驗結果顯示此種新型橋墩可抵抗之地表加速度為傳統橋墩者的 1.2 倍。



(b) MRCSK 組裝



(c) MSSK 組裝

圖 7 模組化預鑄節塊之組裝



(a) MRCSK

(b) MSSK

圖 8 試體與儀器實際組裝

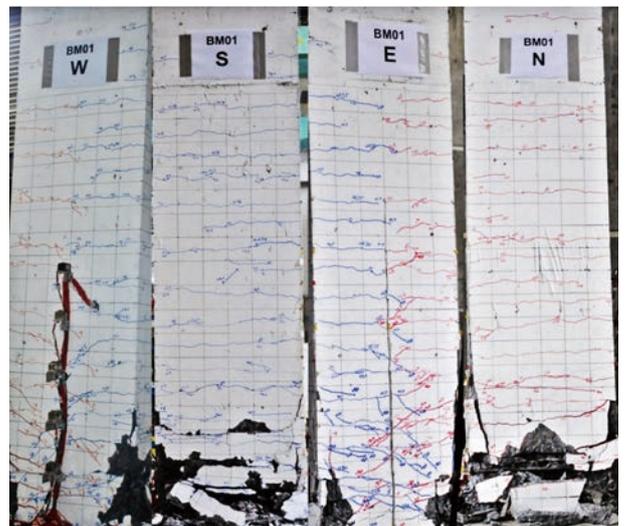
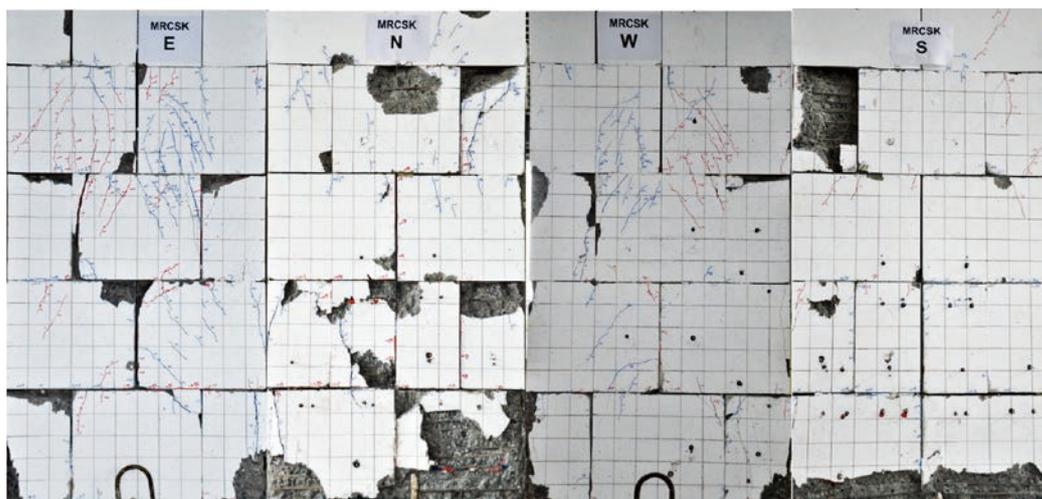
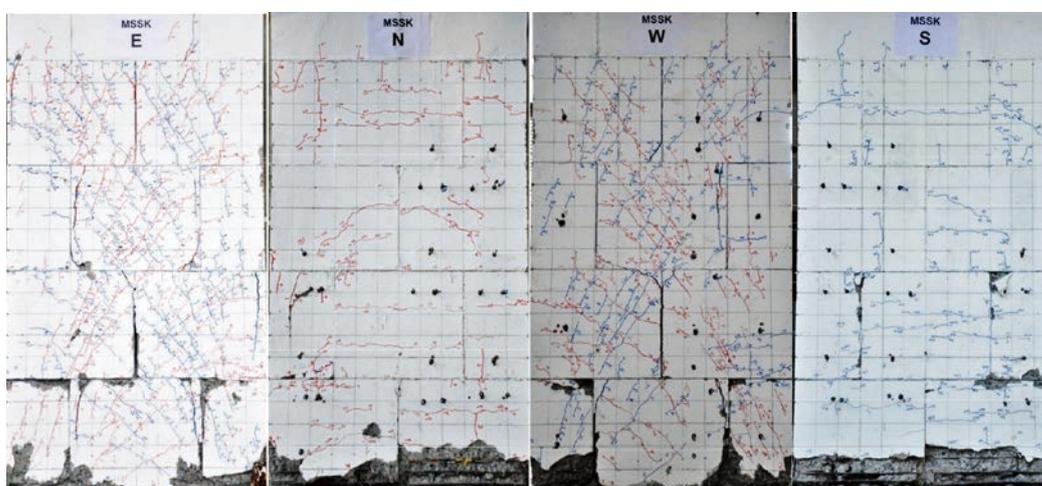


圖 9 傳統場鑄混凝土橋墩多集中在橋底塑鉸區產生破壞



(a) 試體 MRCSK 最終破壞情況



(b) 試體 MSSK 最終破壞情況

圖 10 模組化預鑄節塊試體藉由各小節塊界面間的開合吸收地震能量

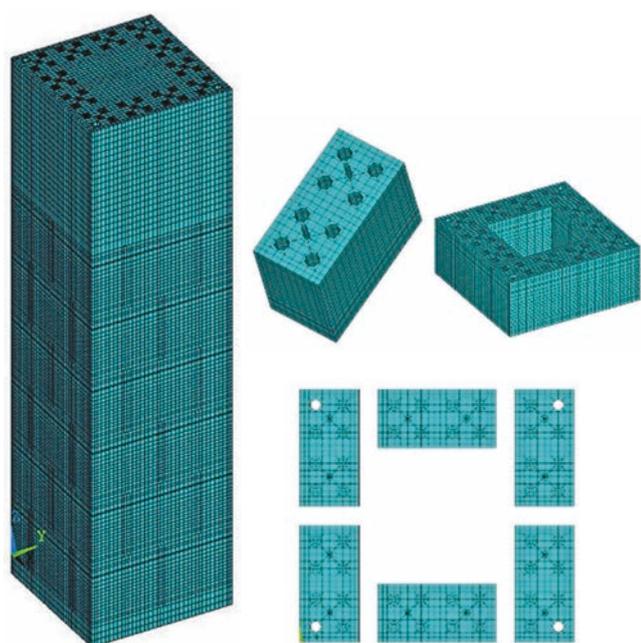


圖 11 結構分析模型示意

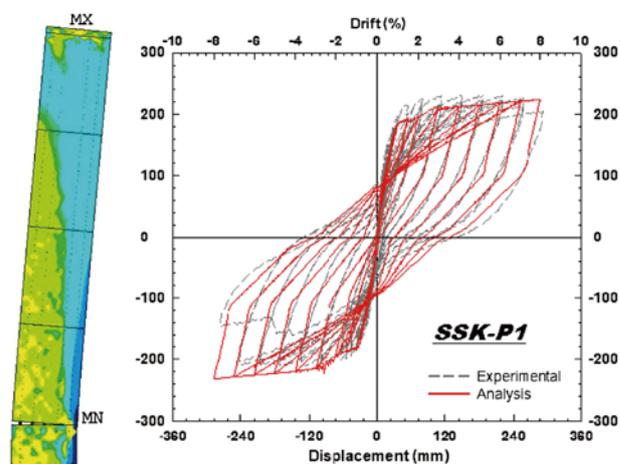


圖 12 模組化預鑄節塊數值分析方法可有效掌握其真實行為

本研究亦開發數值分析模型（如圖 11），針對分析結果與實驗結果進行比對，結果顯示所研擬的數值分析方法可有效掌握其真實行為（如圖 12）。

結論

本研究改良一般預鑄節塊橋墩在節塊間的組合型式，將節塊組合方式重新設計，並搭配鋼棒及 RC 兩種剪力樺形式，以人體脊椎的概念來接合上下各個小節塊，分別採用實心與空心斷面，以及相同的主筋配置及預力大小進行實驗比對，透過實驗結果比較得到兩者之間的差異與優點，針對本研究提模組化剪力樺預鑄節塊橋墩在前述各項實驗所獲致之結果簡述如後：

- (1) 預鑄節塊橋墩採用剪力樺的設計方式，在橋墩進行各層節塊組裝時其優點在於可透過公母頭來定位節塊位置，並可透過上下層剪力樺的互制效果，保持橋墩試體組裝過程中的自立性，此外，在斷面的設計上採用主筋、鋼腱配置對稱的形式，所以在組裝過程中僅需針對上下節塊的縱向角度進行微調，使節塊表面保持一致便可，在施工組立上可有效的簡化組裝流程並縮短工期，並減少施工人數。
- (2) 透過兩試體的比較，預鑄節塊橋墩因產生節塊間的開合可抵消掉部分的地震力，在此一系列的實驗結果中，其預鑄節塊 Drift 的發展均有 7% 以上，所以在韌性的發揮上較傳統橋墩為佳，此外，MSSK 預鑄節塊在未配置鋼腱的試體實驗結果，僅透過剪力樺與鋼筋本身的握裹能力，便足以提供節塊間的抗剪能力使節塊間不會產生橫向錯動，所以本研究改良的預鑄節塊橋墩結合了一般無剪力樺預鑄節塊的消能特性，也一併結合傳統橋墩對於主筋握裹能力

的重視，同時取其兩者間的優點並針對預鑄節塊的劣勢，加以改善設計出模組化剪力樺預鑄節塊橋墩。

- (3) 模組化剪力樺預鑄節塊實驗結果顯示，在單一層的小節塊變形中可觀察到側向的相對變形，顯示各個小節塊均能各自的轉動與變形來達到其消散能量的方式，因此透過每一小節塊的各自變形消能可有效避免橋墩的大多數破壞發生在塑鉸區內，小節塊的破壞情況大多為保護層剝落，並未產生箍筋剪斷的情況。並且搭配預力鋼腱可有效提供自復位功能，大幅地減少殘餘變形量。
- (4) 模組化預鑄節塊為本研究提的一項新概念工法，所探討之模組化試體均以此概念為發想，開發出模組化 RC 剪力樺預鑄節塊、模組化鋼棒剪力樺預鑄節塊此兩種不同剪力樺材質之模組化節塊，並就以排列方式組合出實心與中空兩種整體斷面型式，交叉排列後便有四種組合的方式，可以針對不同條件下的要求進行快速組裝。結合簡易的施工性與斷面的擴充性，以達到預鑄節塊快速施工的優勢，並可根據不一樣的工址、橋形組合成不一樣的斷面型式，即可大幅的節省施工時間並且顧及到環境、交通衝擊的影響。不僅用於新建橋梁，亦可供緊急救災之用，由於模組化節塊尺寸較小，便於平時的儲存，若遇緊急狀況可迅速搬運至現場，視現場狀況，將小節塊排列成符合現場之結構型式，有效將此概念運用於救災。



T.Y. LIN AWARD

The ASCE Prestressed Concrete Award was endowed in 1968 by T.Y. Lin, F. ASCE, to encourage the preparation of meaningful papers in the designated field of endeavor. The award was instituted by the Board of Direction in May 1968. By Board action in October 1969 the name of the award was changed to the "T.Y. Lin Award." The award is made in accordance with the policies of the Society and the following specific rules:

RULES

- I. All papers written or co-authored by members of ASCE that deal with prestressed concrete and which are in a print issue in the twelve-month period ending with June of the year preceding the year of award are eligible. Preference shall be given to papers written by younger authors.
- II. The American Concrete Institute and the Prestressed Concrete Institute will each be invited to nominate a single paper selected from their respective publications (which meet the foregoing criteria) for judging along with the single paper selected by the Structural Engineering institute (SEI) from any ASCE publication.
- III. Annually the three papers thus selected will be reviewed by a committee composed of one member each from the American Concrete Institute and the Prestressed Concrete Institute, and one or more members from the SEI - one of which shall be the chair. This committee shall select a nominee for final recommendation to the SEI Board of Governors. Final approval shall be the responsibility of the ASCE Executive Committee.
- IV. The lead author shall receive a plaque and a cash prize determined annually by and subject to the approval of the Executive Committee of the ASCE Board of Direction based on the income from the award endowment. All other authors shall receive only a certificate.



T.Y. LIN AWARD 介紹



歷屆 得獎人名錄