

六角形金屬網編織與接合型式之拉伸與貫入試驗

謝啓萬* 劉仁聖 劉英偉

摘 要 本研究以手工編製模型三圈與四圈六角形金屬網(以下簡稱金屬網)執行其拉伸與貫入特性試驗,除完整試片試驗外,進而將金屬網剪斷中央部位一支金屬線後執行其拉伸與貫入試驗,以模擬金屬網受碰撞斷裂後之行為。實務上金屬網常因接合處斷裂而失效,因此本研究亦針對金屬網接合方式進行試驗。試驗結果顯示,採用三圈與四圈六角形金屬網之極限拉伸強度大致相同。但金屬網達極限荷載時,其中一金屬線斷裂後,三圈六角形金屬網之拉伸量增加較快速,拉伸強度降低亦較明顯。貫入試驗情形亦類似。針對四圈六角形金屬網,拉伸與貫入試驗達尖峰強度後,後續施加應力則由周遭金屬網吸收承擔,因而具較佳之破壞拉伸阻抗。針對接合型式試驗結果顯示,金屬線以六角形凸邊絞接合方式比以直金屬線串接相鄰兩金屬網之接合方式,較能吸收較大之拉力與拉伸量,為較佳之接合型式。

關鍵詞: 六角形金屬網、箱籠、蛇籠、拉伸試驗、貫入試驗。

Tensile and Punch Tests of Hexagonal Wire Meshes with Different Weaving and Connection Patterns

Chiwan-Wayne Hsieh* Ren-Sheng Liu Ying-Wei Liu

ABSTRACT Triple-twist and fourth-twist model hexagonal wire mesh panels were weaved for tensile and punch tests. The test samples consisted of unbroken wire mesh panels and one central cut wire mesh panels. The binding-joint and twist-joint for the connection of wire mesh panels were also evaluated. The results of the experiments indicated the ultimate tensile strength or punch resistance for triple-twist or fourth-twist hexagonal wire mesh panels was similar. As the test reached the peak tensile force and after one steel wire broke, the tensile force was quickly reduced and the elongation rapidly increased for the triple-twist hexagonal wire mesh. Similar results were also observed for punch tests for triple-twist wire mesh. However, the fourth-twist hexagonal wire panels showed higher tensile and punch resistance after the wire was broken at the center or other locations. In addition, twist-joint enables the provision of higher tensile resistance than for binding joint.

Key Words : Hexagonal wire mesh, box gabion, roll gabion, tensile test, punch test.

一、前 言

箱籠與蛇籠工法已廣泛應用於治山及河溪整治工程。箱籠與蛇籠所採用之金屬網在早期皆為手工編造。但工業革命影響,工程用箱籠與蛇籠金屬網之編

織由人工演進至機械生產。機械生產編織之工程用金屬網並未較為耐用,仍見應用於河川護岸之工程用蛇籠金屬網因洪水沖刷及床基掏空,網內石塊因重力作用及河床巨石衝擊等因素引起金屬網鐵絲斷裂,接著金屬網內部填充塊石由網線斷裂處開始崩壞,致使金

屬網片發生全面拉扯破壞。目前國內使用之箱籠及蛇籠金屬網之實際使用年限及破壞機制仍然難以確認，因此本文藉由模型六角形金屬網片之拉伸及貫入試驗來探討其力學及受力變形機制。

二、前人研究與文獻回顧

箱籠與蛇籠為邊坡穩定及河川護岸工程常採用之柔性結構物工法，其金屬網多為六角形，箱籠與蛇籠之工程用途如表 1 所示。

表 1 箱籠與蛇籠結構之工程用途一覽表 (L.Y. Tsai, 2005)

Table 1 Engineering applications of gabion

工程類別	工 法
水土保持工程	野溪整治流工、山坡地擋土工、跌水工、防護坡。
水利工程	河堤、溢洪道、堰、護岸、跌水工。
海洋工程	防波堤、海牆。
搶修工程	崩塌地處理、決堤處理。
其他	廢物處理廠擋土工、坍方地重力式擋土工、橋台翼牆、橋墩及河床保護。

表 2 六角形金屬網之金屬線相關測試法一覽表

Table 2 Reference standards of hexagonal wire mesh gabions and revet mattresses and steel rods

機構名稱	標準編號	標準名稱
ASTM	A975-97	Double-Twist Hexagonal Mesh Gabions and Revet Mattresses
	A370-97a	Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products
CNS	2111	金屬材料拉伸試驗法
	1247	熱浸法鍍鋅檢驗法

表 3 箱籠或蛇籠工法失敗案例一覽表

Table 3 Failure cases of box gabion and roll gabion structures

編號	型式	破壞型式	圖
1	箱籠	基礎掏空導致拉扯破壞及脹裂破壞	2(a)
2	箱籠	基礎掏空導致拉扯破壞與接合處分離	2(b)
3	蛇籠	基礎掏空導致拉扯破壞	2(c)
4	箱籠	基礎掏空導致箱籠脹裂破壞	2(d)
5	箱籠	金屬網與混凝土接合處不當導致內部石塊外露	2(e)
6	蛇籠	金屬網銹蝕斷裂 基礎掏空導致金屬線拉扯破壞	2(f)

目前工程用之金屬網以菱形與六角形為主，其用途包括圍籬、防落石、護坡、擋土及河川護岸等，其中菱形網則多應用於不需太高拉伸強度之圍籬、及防落石護坡等案例，而需求較高抗拉及抗脹強度之金屬網時，則多採用六角形之金屬網。目前 ASTM 國際標準，已訂定金屬網相關之規格、需求性能及試驗方法，對金屬網與其包覆材及金屬網拉伸強度、金屬網連接處之接合強度及貫入強度測定均有詳細規定，然國內國家標準目前僅訂定金屬線之規格、強度與鍍鋅含量測試法，對金屬網規格、特性與測試方法則仍未規範。各機構金屬網相關標準之編號及名稱摘要如表 2。

義大利 Maccaferri (1988) 公司曾研究菱形及六角形金屬網之拉伸及貫入強度試驗結果，其試驗結果如圖 1，未破壞六角形金屬網拉伸強度較菱形金屬網者高出兩倍，當於兩種試片中央部位分別剪斷一金屬線條件下，六角形金屬網拉伸強度則較菱形網試片明顯高出三倍左右。菱形金屬網與六角形金屬網兩者貫入行為亦不同，六角形金屬網貫入試驗應力與變形則呈現線性關係，貫入盤能穩定吸收貫入能量反之菱形金屬網貫入試驗應力應變曲線則呈現凹弧形，貫入盤需要一段變形量才開始吸收能量，因此在貫入模式下菱形金屬網較六角形金屬網變形量高。

雖然採用金屬線編製之箱籠與蛇籠廣泛應用於擋土與護岸工程，但亦常發生破壞現象而失去功能，本研究收集代表性金屬箱籠與金屬蛇籠保護工法，其失敗案例彙整如示表 3，由表上顯示大部分失敗案例多數箱籠或蛇籠金屬網因基礎掏空導致金屬網片金屬線拉斷與脹裂破壞，或接合處分離破壞，進而引起石塊繃出，最終造成功能失效。

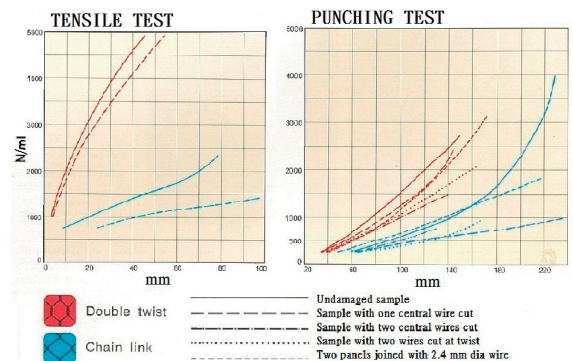


圖 1 菱形金屬網與六角形金屬網拉伸與貫入試驗結果 (Maccaferri, 1988)

Fig.1 Tensile and punch test results of chain link and hexagonal wire meshes

因此本研究針對金屬箱籠與蛇籠工法常使用之六角形金屬網，分析奇數或偶數交叉編織方法對其拉伸強度與抗脹強度之影響，及金屬網接合處採用金屬線串繞方式，或以六角形金屬網凸出部位絞接接合方式，對拉伸及抗脹強度之影響度進行評估，以提供工程界參考。

三、研究方法與設備

由於國內現地使用金屬網孔尺寸包括 10×12cm、12×15cm 及 15×20cm 等，然目前國內施作箱籠或蛇籠工之金屬網，採用金屬線線徑以 $\phi 3.0\text{mm}$ 或 $\phi 4.0\text{mm}$ 編織成網目 20×15cm 為主，採用此種線徑金屬線編織



(a) 箱籠擋土工法破壞案例 1
(a) Box gabion retaining walls failure case No.1



(b) 箱籠擋土工法破壞案例 2
(b) Box gabion retaining walls failure case No.2



(c) 蛇籠護岸工程破壞案例 3
(c) Roll gabion bank failure case No.3



(d) 箱籠擋土護岸破壞案例 4 (廖根遠2006)
(d) Roll gabion revetment failure case No.4



(e) 箱籠擋土牆破壞案例 5
(e) Box gabion slope protection failure case No.5



(f) 蛇籠護岸工程破壞案例 6
(f) Roll gabion revetment failure case No.6

圖 2 蛇籠與箱籠工程破壞案例

Fig.2 Failure cases of gabion structures

為 20×15cm 之金屬網於試驗時，強度甚高不易夾持，執行試驗困難，因此研究中僅部份測試採用全型試片進行試驗，而另一部分試驗則以線徑為 $\phi 1.2\text{mm}$ 之金屬線編製，網孔為 5.0×4.3cm 之模型金屬網試片，並採用此金屬網試片執行拉伸與貫入強度及接合處強度特性試驗。

由於採用六角形金屬網製作之箱籠或蛇籠需求增加，因而自動化機械生產設備因應而生，然而機械生產之機制，金屬線交叉次數多採用奇數交叉扭轉製網，例如金屬線單次交叉則為菱形金屬網，生產金屬線三次交叉則為六角形網，早期在手工編織金屬網時期，則常採用金屬線偶數交叉方式編織。本文之研究範圍將包括採用實驗室編製之模型六角形金屬網，分析金屬網奇數與偶數交叉機制對金屬網拉伸及抗脹強度之影響。然於應用時，金屬線可能因外力作用斷裂後，其受張力與脹裂等外界因素下之強度與破壞機制亦值得深入探討。因此，本研究同時亦安排一組試驗，在試驗前將試片中心一條金屬線剪斷後，進行拉伸與貫入試驗，了解金屬線斷裂後金屬網受力後之工程特性及力學與變形行為。另外，對於金屬網串繞及絞繞接合方式對金屬網受力後之工程特性之探討，除模型金屬網試驗外，亦另購買工程實務運用之全型金屬網，來執行相關試驗，並進行比對。

除萬能試驗機為制式設備外，本研究開發之設備包括應用於不同尺寸試片之夾片、拉伸試驗夾具及貫入試驗基座，模型試片編織機台。此外，為後續大尺寸試驗需求，亦設計大型反力架及相關力學試驗系統。

四、試驗結果與討論

本研究之試驗項目包括：金屬網基本性質試驗、不同編織型式模型金屬網拉伸試驗、貫入試驗及相對應試片中心部位，金屬線斷裂情況下之拉伸及貫入試驗；此外，亦採用線徑為 $\phi 1.2\text{mm}$ 網孔為 5.0 cm×4.3 cm 金屬網試片。本研究執行一系列金屬網接合處特性試驗，試驗結果依序討論如下。

1. 金屬線基本試驗

本研究金屬線之基本試驗僅包括鍍鋅含量及拉伸強度試驗，鍍鋅含量對金屬線抗銹特性影響甚巨，本研究依據 CNS 1247 標準，採用三氧化二錫試驗溶液分析金屬線鍍鋅含量，而金屬線拉伸試驗依 CNS 2111 執行，試驗結果如表 4。本研究以兩批 $\phi 1.2\text{mm}$ 之金屬線

製作模型六角形金屬網，圖 3 為其拉伸試驗之拉力位移對應圖，同批金屬線之特性均雷同，但兩批金屬線之拉伸曲線有明顯差異，此可能因不同供應商之材料成分不同造成。

2. 三圈與四圈拉伸試驗結果

為考量尺度效應，本研究之拉伸試驗試片經初步試驗結果，考量採用寬幅為 500mm 及拉伸方向尺寸為 300mm 之試片，六角形金屬網交叉次數則包括三次與四次兩種，分別定義為三圈與四圈六角形金屬網，每個試片將實施三次以上重複性試驗，再由其中將最具代表性結果，提出並進行分析討論。代表性拉伸試驗結果見圖 4。由於三圈六角形金屬網編織過程金屬線為左右相對交換，但試片中某一金屬線斷裂後並持續拉伸，則應力會集中於此斷裂金屬線周圍，金屬線於交叉處產生反向退轉現象，因此可見其拉伸試驗之拉力達高峰值後，金屬線適時斷裂，拉力驟減，隨後拉伸

表 4 金屬線 $\phi 1.2\text{mm}$ 基本特性一覽表

Table 4 Basic properties of metal wire with diameter of 1.2 mm ($\phi=12$ mm)

項目	標準	Type1	Type2
線徑(mm)	卡尺量測	1.18	1.27
鍍鋅含量(g/m^2)	CNS 1247	45	102
拉伸強度(N)	CNS 2111	439.04	629.31

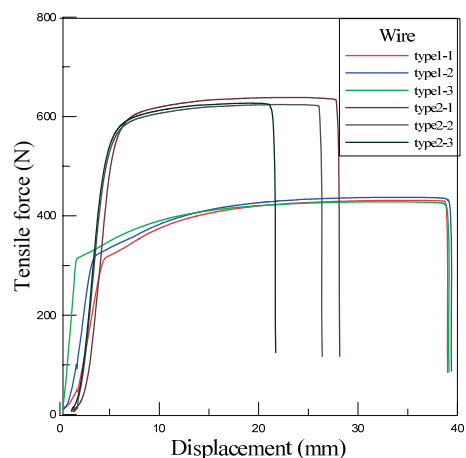


圖 3 金屬線 ($\phi 1.2\text{mm}$) 拉伸試驗拉力~拉伸量關係圖

Fig.3 Tensile force vs. tensile elongation relationship of metal wire with diameter of 1.2 mm ($\phi=1.2$ mm)

阻抗再次增高，經由數次反覆過程，試片拉伸強度下降，試片之拉伸位移量較四圈六角形金屬網試驗者為大；然四圈六角形金屬網之拉伸模數較高，金屬網拉伸初次斷裂後，拉力阻抗隨拉伸位移量之增加而逐漸降低。

3. 金屬網中央金屬線斷裂前後之拉伸試驗

六角形金屬網常應用於蛇籠或箱籠工法案例中，金屬網常受大石塊衝擊而產生斷裂，或人為施工因素導致金屬線斷裂。因此，有必要了解三圈與四圈編織方式，在完整金屬網與金屬網中某金屬線斷裂後，其受行為之差異。圖 5 為三圈與四圈金屬網，於中央

一金屬線剪斷後進行拉伸試驗。由試驗結果得知，兩者之極限強度相似，但三圈拉伸強度隨延伸率呈漸增之現象，表示金屬網在拉伸過程中，數次於斷裂線之扭絞處反轉脫繞，使試片於斷裂處一分為二，導致網孔破裂擴大，但其拉力阻抗漸增（如圖 6(a)）。因此，當三圈六角形金屬網需要較大之拉伸量來達到極限拉伸強度。反之，四圈六角形金屬網為交叉編織而成，在拉伸試驗拉伸強度達尖峰後，不會由斷裂金屬線處產生反轉脫繞現象（如圖 6(b)），拉伸阻抗可由斷裂處附近金屬線之其他金屬線承擔，後續金屬線斷裂處，多由原斷裂金屬線斜向延伸發展，大面積延續性破網之情形較不易發生。

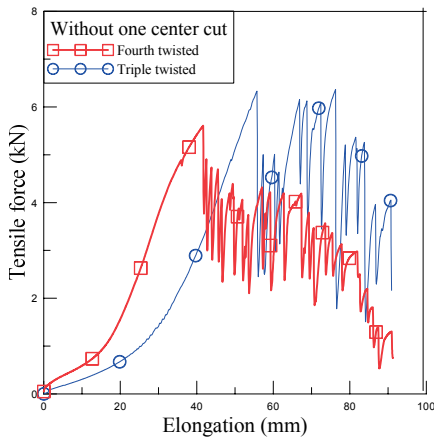


圖 4 Type I 三圈與四圈六角形金屬網拉伸試驗結果之比較

Fig.4 Comparison the tensile test results for Type I triple-twisted and fourth-twisted wire meshes

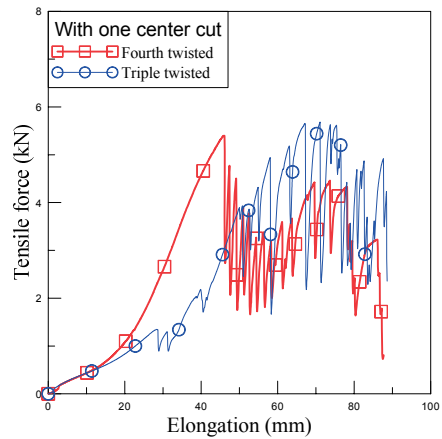
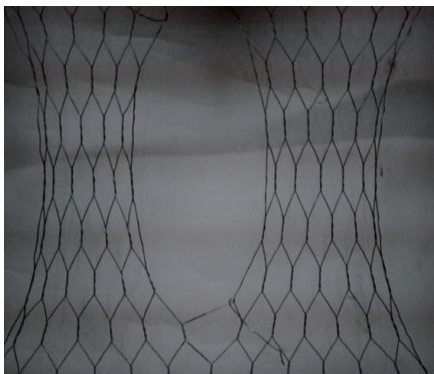
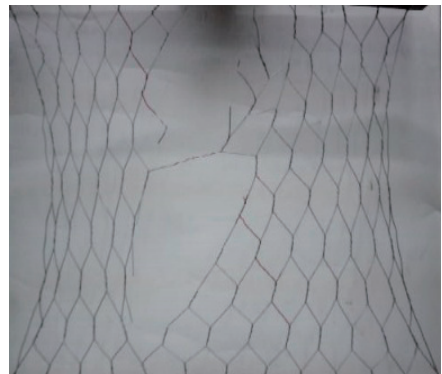


圖 5 Type I 三圈與四圈六角形金屬網於中央處剪斷金屬線後拉伸試驗結果之比較

Fig.5 Comparison the tensile test results for Type I triple-twisted and fourth-twisted wire meshes with one cut at sample center



(a) 三圈金屬網破壞型式
(a) Failure mode of triple-twisted mesh



(b) 四圈金屬網破壞型式
(b) Failure mode of fourth-twisted mesh

圖 6 Type I 金屬線 (Ø1.18mm) 六角形金屬網中央金屬線剪斷後拉伸試驗末期照片

Fig.6 Failure modes of tensile tests of Type I hexagonal wire meshes with one central wire cut at sample center

圖 7 所示為三圈完整試片與中央剪斷試片拉伸試驗結果比較。三圈金屬網編織方式屬於直向編織，其拉伸過程中，金屬網呈現應力集中現象。因此，在拉伸試驗中，完整試片雖拉伸過程為平滑曲線趨勢，但試片中央一條金屬線剪斷後拉伸之應力~應變結果為跳動漸增趨勢，試片斷裂之前後極限強度衰減約 1kN (16%)，極限延伸量增加約 17mm (18%)。整體曲線趨勢明顯下降，表示三圈六角形金屬網在拉伸試驗中，金屬線斷裂後較不易由其他金屬線分擔承受拉伸應力，使斷裂線端交叉處受力而反轉脫繞，而強度及延伸量易受金屬網之有無斷裂線影響，整體結構較不穩定。

圖 8 為四圈六角形金屬網試片之完整與中央金屬線剪斷後拉伸試驗結果差異。四圈金屬網因編織方式屬於交叉編製而成，其拉伸過程中金屬網受力較均勻，當金屬線斷裂後，應力仍可由其它金屬線分擔承受，而不致產生大量變形，當金屬網達極限拉伸強度時，極限延伸量略增 3mm (約 6%)，此完整試片與中央剪斷試片之拉伸強度及拉伸曲線之趨勢並無太大差異。因此，四圈六角形金屬網強度及延伸量不易受斷裂線影響，整體結構較為穩定。

4. 貫入試驗

六角形金屬網應用於箱籠或蛇籠工法時，內部裝填石塊，將對四周圍束金屬網片產生脹裂之外撐作用機制。因此，採用貫入試驗評估金屬網之抗脹特性。本研究之貫入試驗乃採用大於網孔三倍以上之半球型

金屬球，將金屬網頂破。金屬球直徑為 $\phi 200\text{mm}$ ，試驗採長方形金屬網，尺寸為 $40\text{cm}\times 100\text{cm}$ ，採用之金屬網在編織方向較長，以降低邊界效應。圖 9 為兩種編織方式六角形金屬網，執行貫入試驗之貫入阻抗與貫入位移圖。圖 9 顯示兩種編織型式金屬網之極限貫入阻抗及其對應之貫入位移相當接近，然由於三圈六角形金屬網因編織構造之影響，當達尖峰貫入阻抗後，阻抗瞬間降低，隨後貫入阻抗隨貫入量之增加而緩慢漸增，增至二次最高貫入阻抗。當阻抗達到第二次高峰貫入阻抗後，再次發生金屬線斷裂現象，貫入球則得

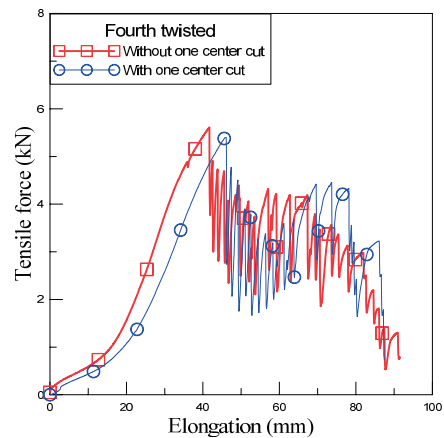


圖 8 Type I 四圈六角形金屬網試片之完整與中央金屬線剪斷後差異

Fig.8 Difference of tensile tests of Type I triple-twist hexagonal wire mesh samples with and without one central wire cut

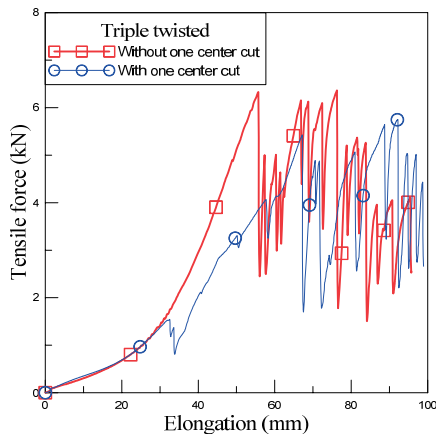


圖 7 Type I 三圈六角形金屬網試片之完整與中央金屬線剪斷後差異

Fig.7 Difference of tensile tests of Type I triple-twist hexagonal wire mesh samples with and without one central wire cut

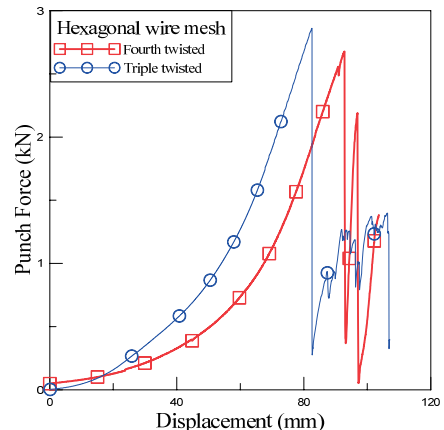


圖 9 Type II 六角形金屬網貫入試驗貫入阻抗與貫入位移量關係圖

Fig.9 Punch resistance versus punch displacement relationship of punch test of Type II hexagonal wire meshes

以壓迫斷裂金屬線於斷裂線處退轉及大量貫入，致使貫入球快速貫穿金屬網，且第二次高峰貫入阻抗僅為原先最高阻抗之半。反之，四圈六角形金屬網當試驗達尖峰貫入值後，貫入阻抗值亦會降低但迅即上升，阻抗仍有反覆升降之情形。由此可知金屬球於貫入擠壓過程中將金屬線依序擠斷，再逐漸將金屬網擠破，四圈六角形金屬網為較理想之編織型式。圖 10 則顯示此兩種型式六角形金屬網在貫入試驗末期。由金屬網試片破壞情形，如圖上可知，三圈六角形金屬網於貫入破壞後在試片中間形成一大破孔。反之，四圈六角形金屬網，當貫入球貫穿試片後，僅在貫入球部位產生不連續破孔現象，其於初次斷裂後之阻抗較三圈試片為高，綜合以上分析可知，四圈六角形金屬網具較佳之貫入阻抗。

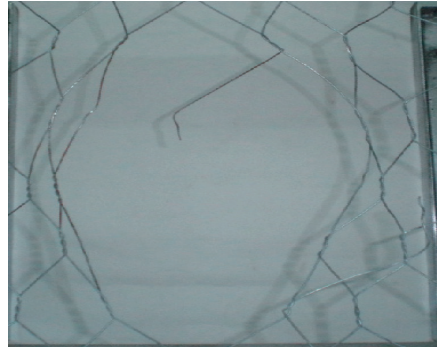
5. 接合處拉伸試驗

不論蛇籠金屬網於現地編織或於工廠生產，長型片狀之金屬網均須於現地接合形成一條狀之網狀物以填充石塊，目前常採用之接合方式不外乎將長型片狀金屬網兩邊編織為長方形狀網片，再採用金屬線將網片串接成條狀金屬網袋，另一方式則於長方形片狀金屬網兩側保持六角形凸凹邊線，再將兩邊六角形凸邊絞接合為一。雖然兩種接合方式均可將片狀長方形金屬網接合為條狀金屬網袋，但其承受拉力下之特性是否有差異，則於下列試驗結果進行分析討論。拉伸試驗之試片尺寸為 500×300mm，接合處位於試片中間部位，圖 11 顯示此二種不同型式接合方式之拉伸阻抗與拉伸位移關係圖，由圖 11 顯示，採用串接方式試片之金屬線承受拉力時，串接之金屬線首當其衝，單獨承受拉力而致使試片無法承受較高之拉伸阻抗而斷裂。反之，採用六角形凸邊絞接之試片，其接合性良好，執行拉伸試驗時，其荷載與位移情形與完整試片拉伸試驗之結果相似。由以上結果顯示，雖將金屬網二邊編造為二直線之構造，再採用串接方式結合，外觀較佳且施工容易，但其拉伸特性明顯不理想。因此，為不建議採用之接合方式。

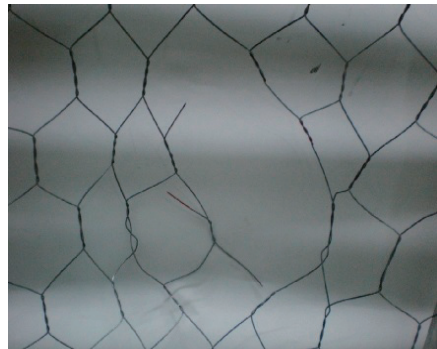
五、結論與建議

本研究以手工編製及機編金屬線，並針對交叉三圈與四圈六角形金屬網執行試驗，以分析測試不同編織方式對金屬網之拉伸強度與貫入強度之影響性。試驗中以金屬網試片之金屬線完整情況，與將中央部位之一支金屬線斷裂之情況下，進行拉伸與貫入試驗。

另執行金屬網接合機制之評估，探討以金屬線直接串接金屬網或金屬網側邊以絞接結合方式，何者有較佳之受力機制。研究結果與建議事項如下。



(a) 三圈金屬網貫入破壞情形
(a) Failure mode of triple-twist wire



(b) 四圈金屬網貫入破壞情形
(b) Failure mode of fourth-twist wire

圖 10 Type II (φ1.27mm) 六角形金屬網貫入試驗末期試片狀況

Fig.10 Failure modes at the final stage of punch test for Type II hexagonal wire meshes

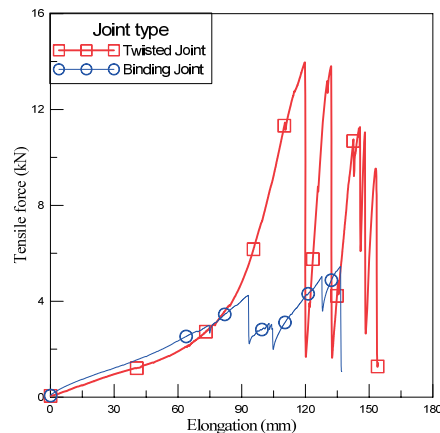


圖 11 不同型式接合之拉伸試驗結果比較圖

Fig.11 Comparison of tensile tests of wire meshes with different conjunction patterns

由於現地金屬網網目尺寸過大且強度過高，不易夾持，因而研製模型金屬網編製機台，可供製作奇數及偶數交叉之模型六角形金屬網。先以模型金屬網研究其拉伸與貫入特性，再採用全型金屬網來驗證研究之結果。

由小尺寸 5.0cm×4.3cm 模型六角形金屬網拉伸試驗結果顯示，三圈與四圈完整六角形金屬網之極限拉伸強度大致相似，但由完整試片與中央金屬線斷裂後比較，三圈六角形金屬網編織方式為直向編製，斷裂線之交叉處產生退圈脫繞現象，而四圈六角形金屬網編織方式為交叉編製，拉伸強度不易受斷裂線影響。另外，三圈極限強度衰減較大，且延伸量比四圈多，較容易產生破孔，因此在編織金屬網結構上四圈拉伸行為較三圈穩定。

貫入試驗結果顯示，三圈與四圈六角形金屬網之極限貫入阻抗雖相接近，但當貫入試驗貫入球貫穿金屬網後，三圈六角形金屬網則會於貫入球附近形成大洞。反之，四圈六角形金屬網貫入球僅能貫穿金屬網，而網身產生不連續破洞現象。其次，最高貫入阻抗較三圈六角形金屬網次最高阻抗，高出約 30%。四圈六角形金屬網所編製而成之箱籠或蛇籠應可提供較高之抗脹裂強度。

採用金屬線直接將六角形金屬線串接為一體之箱籠網，當承受軸向拉伸時，串接金屬線將先承受外力而斷裂，進而引起箱籠單元間之結合破裂。反之，如採用二端金屬凸線絞接而成一體之箱籠網，由於接合處為雙金屬線，較其他部份強韌，應為較佳結合機制，建議施工中採用。

建議金屬網廠商研製偶數交叉機制之六角形金屬網編織機具，並將生產之金屬網應用於箱籠或蛇籠工法中，以改善並提升其受力時之工程力學特性與變形行為。

六、誌 謝

本研究首要感謝國家科學委員會 (NSC 98-2622-E-020-003-CC3) 支持與贊助。感謝吳洽興技術指導與規劃設計之建議。感謝岡展股份有限公司提供材料與工程案例的經驗，使得本研究順利進行。

參考文獻

1. 吳瑞賢、廖根遠 (2006)，「河岸保護石籠工法之施工與破壞」，國立中央大學土木工程研究所碩

士論文。(Wu, R.S., and Liao, K.Y. (2006). *Construction and Failure Behaviors of the Gabion on River Bank*. Master thesis, National Central University, Taiwan, ROC. (in Chinese))

2. 陳俶奇、蔡良洋 (2005)，「金屬網石籠應用於護岸工程之研究」，國立台灣海洋大學河海工程學系碩士論文。(Chen, T.C., and Tsai, L.Y. (2005). *Research on Application of Wire Netting Gabion in Retaining Walls*. Master thesis, National Taiwan Ocean University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
3. CNS 國家標準 1247 (1995)，「CNS1247：熱浸法鍍鋅檢驗法」。(Chinese National Standard. (1995). CNS1247: Methods of Test for Hot Dip Galvanized Coatings. (in Chinese))
4. CNS 國家標準 2111 (1997)，「CNS2111：金屬材料拉伸試驗法」。(Chinese National Standard. (1997). "CNS 2111: Method of Tensile Test for Metallic materials." (in Chinese))
5. American Society for Testing and Materials A975. (2008). ASTM A975: *Double-Twist Hexagonal Mesh Gabions and Revet Mattresses. (Metallic-Coated Steel Wire or Metallic-Coated Steel Wire With Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Coating)*.
6. American Society for Testing and Materials A370. (2008). ASTM A370: *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of steel Products*.
7. Muhunthan, B., Shu, S., Sasiharan, N., Hattamleh, O., Badger, T., Lowell, S., and Duffy, D. (2005). *Analysis and Design of Wire Mesh/Cable Net Slope Protection*, Washington State Transportation Commission and U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. (www.wsdot.wa.gov/biz/mats/Geotech/WA-RD612.1WireMesh.pdf)
8. Officine Maccaferri, S.p.A., Agostini, R., Cesario, L., Conte, A., Masetti, M., and Papetti, A. (1985). *Flexible gabion structures in earth retaining works*, Labanti e Nanni, Bologna.
9. Officine Maccaferri, S.p.A., Agostini, R., Ferraiolo, F., and Papetti, A. (1988). *Flexible gabion and Reno mattress structures in river and stream training works*, Section two, Longitudinal structures, Bologna.
10. Officine Maccaferri, S.p.A. (1982). *Rock fall protection netting for roads. Railways and housing*, Labanti e Nanni, Bologna.
11. Officine Maccaferri, S.p.A., Agostini, R., and Mazzalai A, P. (1988). *Papetti Hexagonal wire mesh for*

rock-fall and slope stabilization, Labanti e Nanni,
Bologna.

2010 年 12 月 27 日 收稿

2011 年 08 月 17 日 修正

2011 年 10 月 18 日 接受

(本文開放討論至 2012 年 12 月 31 日)