

建築物消能元件等構件性能試驗標準之研究

Study of performance test standard of energy dissipation devices for building

主管單位：內政部建築研究所

翁健煌¹ 紀宛君² 陳昱志² 邱天宏² 張權³
Weng, Jian-Huang Chi, Wan-Chun Chen, Yu-Chih Chiu, Tien-Hung Chang, Chyuan

¹財團法人中興工程顧問社 正研究員

²財團法人中興工程顧問社 副研究員

³財團法人中興工程顧問社 組長

摘要

目前國內工程採用建築物消能元件須符合國內耐震設計規範之要求，然而，作為土木建築類產品，建築物消能元件之品質管控目前並無國家標準可依循。本研究蒐集黏滯阻尼器、黏彈性阻尼器及挫屈束制斜撐等 3 種消能元件之各國相關試驗規定，參考國內現行建築物耐震設計規範及解說第 10.7 節消能元件所需之試驗，同時綜合國內試驗設備能力與常規試驗報告內容，研提我國建築物耐震消能元件之國家標準草案，以提供業界消能元件產品品質的檢驗依循，亦作為實驗室申請 TAF 認證之試驗方法依據。

關鍵字：消能元件、阻尼器、挫屈束制斜撐、CNS、耐震設計

Abstract

At present, the energy dissipation devices used in buildings are required to meet the code “Seismic Design Specifications and Commentary of Buildings” issued by the Construction and Planning Agency Ministry of the Interior. According to the code, the criteria for prototype test and production test are determined by professional engineers. However, there is no Chinese National Standard (CNS) available for such products until now. Therefore, the objective of this study is to collect domestic and foreign literature relevant to three kinds of energy dissipation devices such as viscous damper, viscoelastic damper and buckling restrained brace and then develop the draft CNS standards for product certification and qualification. And also, it can provide product testing methods for TAF Laboratory accreditation. Literature analysis is the major work of this study. And also, expert opinions on test method of damper are collected through expert forum to ensure that draft regulations are suitable for domestic engineering technology environment and the capacity of test equipments is sufficient to the draft test methods.

Keyword : energy dissipation device, damper, buckling restrained brace, CNS, seismic design.

一、前言

近年來世界各國地震災害頻傳，使得人民生命財產備受威脅，尤其臺灣位於環太平洋地震帶上，處於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊交界處，由於兩板塊相互碰撞、擠壓造成地殼與板塊的運動，導致臺灣地區地震十分頻繁。臺灣地震史上不乏規模 6 以上之地震，其中 1999 年發生的 921 集集大地震與 2016 年發生的高雄美濃大地震，重創了臺灣中、南部地區，造成巨大的人員傷亡與財產損失，也讓民生居住安全議題再度受到重視，除了探討現今耐震法規訂定的適切性外，對於老舊建築的耐震能力是否足夠也打上一個大問號，許多補強方法便基於如此的需求下孕育而生。

現今耐震設計強調，若能降低輸入結構內的地震能量或以其他裝置增加消散地震能量的能力，可降低地震帶給結構物之損害與財產之損失，亦較能符合預期之設計要求，因而被認為是滿足功能設計法的有效方法之一。但目前相關隔、減震元件之試驗標準，僅能參考國外或國內規範之規定，例如，挫屈束制斜撐之性能試驗參考 AISC 341-16 [1] 規定；速度型阻尼器之性能試驗參考 AASHTO[2] 規定、國內建築物耐震設計規範第 10 章「含被動消能系統建築物之設計」[3] 或國家地震工程研究中心減震消能元件測試方法 (NCREE-LT-TQM-B-R01, 2011 年, 2.2 版) 之建議。

以上規範皆從工程單位的角度規定阻尼器的工程驗收標準，然而，對於阻尼器製造單位而言國內目前並無相關國家標準作為產品品質標準的參考，有鑑於此，本研究彙整中國、日本、美國及歐盟最新消能元件之相關試驗規定並考慮國內試驗設備之適用性，提出建築物耐震用黏滯阻尼器、黏彈性阻尼器及挫屈束制斜撐等 3 種消能元件之國家標準草案。

二、各國消能元件試驗規定

2.1 臺灣：建築物耐震設計規範及解說(2011)

根據建築物耐震設計規範及解說第 10.7 節規定，在被動消能系統之設計中所假設之受力與變形關係與阻尼值均應在生產前經過實體試驗及性能保證測試證實，其中，實體試驗之功能類似產品開發過程所需要的原型試驗(Prototype test)，作為驗證新型產品性能之用途，試體數量要求固定且試驗項目完整；而性能保證測試之功能則類似產品出貨前的抽樣檢驗，抽樣率可視業主需求調整且通常僅挑選重要試驗項目施作。

表 2-1 為實體試驗之試驗項目，包含風力試驗、地震力試驗、基本性能試驗、溫度試驗及頻率試驗等共 5 項試驗，其中，消能元件之性能具溫度相依性時才須進行溫度試驗，而頻率試驗通常僅適用在速度型消能元件。實體試驗須分別施作於設計中各類型及各尺寸之消能元件各 2 個全尺寸試體；此外，消能元件於現場安裝之前應依技師所訂抽樣比例與測試內容進行性能保證測試，挑選每一類型與每一尺寸具代表性之元件進行測試，以確保其力-速度-位移之特性符合設計預期。

表 2-2 為對應上述實體試驗結果的檢核要求，其中，消能元件之力學性能主要可藉由檢核力-位移曲線中零位移對應之最大、最小力以及遲滯迴圈面積予以確認，每次循

環所表現的特性必須穩定，且所有循環之平均表現與設計值之差異，參考各國規定，通常以 15% 為限。除此之外，對於位移型元件或黏彈性元件等具有勁度貢獻之元件，必須根據規範定義計算其有效勁度並檢核之；而對於黏滯元件，應根據頻率試驗之結果繪製力-速度曲線，同時根據阻尼係數與阻尼指數標示其設計曲線，兩曲線之間的差異亦不得超過 15%。

另根據第 10.1.2 節「被動消能設計基本原則」之規定，相較於最大考量地震分析所得位移，位移型消能元件應能承受更高的位移；此要求對於速度型消能元件之速度亦然。其中，若可於建築物某一樓層主軸方向提供 4 組以上消能元件，且樓層剛心兩側各配置 2 組以上時，則消能元件只須能承受最大考量地震反應的 1.3 倍；但若某一樓層主軸方向提供少於 4 組，或樓層剛心兩側配置少於 2 組時，則消能元件必須能承受最大考量地震反應的 2.0 倍。事實上，配合第 10.1.2 節之要求，表 2-1 應增加有關極限位移或速度之試驗項目，但此項目目前並未列入規範的實體試驗項目。

表 2-1 建築物消能元件之試驗方法(台灣—建築物耐震設計規範及解說)

試驗項目	試驗方法	目的
風力試驗	頻率：結構基本週期之倒數(f_1) 振幅：設計風暴位移 循環數：2000 次	確認消能元件於設計風暴下之性能符合設計預期，且不發生疲勞破壞。
地震力試驗	頻率：最大考量地震下之結構頻率特徵 振幅：最大考量地震位移 循環數：20 次	確認消能元件於最大考量地震下之性能符合設計預期，且不發生疲勞破壞。
基本性能試驗	頻率：結構基本週期之倒數 振幅：最大考量地震位移 循環數：5 次	確認消能元件於最大考量地震下之性能符合設計預期。
溫度試驗	若消能元件具溫度相依特性，則須至少在最小、週遭及最大溫度下進行前述基本性能試驗。	確認消能元件之溫度相依特性符合設計容許範圍。
頻率試驗	若消能元件具速度或頻率相依特性，則須至少在 $0.5f_1$ 、 $1.0f_1$ 及 $2.0f_1$ 下再進行前述基本性能試驗。	確認消能元件之速度或頻率相依特性符合設計容許範圍。

資料來源:本研究製作

表 2-2 建築物消能元件之要求(台灣—建築物耐震設計規範及解說)

項目	要求
零位移對應之最大、最小力	任一循環所得實測值與所有循環所得平均值的差異應小於平均值的 15%；所有循環所得平均值與設計值的差異應小於設計值的 15%。
遲滯迴圈面積	
有效勁度(僅對具有勁度貢獻之元件)	
力-速度關係(僅對黏滯元件)	變化量不應超過設計值的 15%。

資料來源:本研究製作

2.2 中國：建築消能阻尼器(JG/T 209-2012)

中國建築物用消能元件之規定主要可參考「建築消能減震技術規程(JGJ 297-2013)」[4]和「建築消能阻尼器(JG/T 209-2012)」[5]，其中，JGJ 297 主要規定新建與既有建築結構的消能減震設計、施工、驗收及維護，適合設計、監造及施工等工程單位參照引用；而 JG/T 209 主要規定消能元件的分類、要求、試驗方法、檢驗規則及標示，適合消能元件製造廠與供應商作為產品品質控管之參照。JGJ 297 之消能元件驗收規定大部分呼應 JG/T 209 之產品品質控管要求，且 JG/T 209 之適用範圍較符合本案 CNS 草案需求，故以下選擇以 JG/T 209 為基礎說明中國建築物消能元件之規定。

JG/T 209 將建築消能阻尼器分為 4 大類：黏彈性阻尼器、黏滯阻尼器、金屬降伏型阻尼器及挫屈束制斜撐，各類型阻尼器之定義如下：

(1) 黏彈性阻尼器

由黏彈性材料和約束層組成的速度相關型阻尼器。

(2) 黏滯阻尼器

以黏滯材料為阻尼介質的速度相關型阻尼器，一般由缸體、活塞、阻尼通道、阻尼材料、導杆和密封材料等部分組成。

(3) 金屬降伏型阻尼器

利用金屬的塑性變形來消能的位移相關型阻尼器。

(4) 挫屈束制斜撐

一般由核心單元、約束單元和位於二者間的無黏結材料及填充材料組成的具有設定初始剛度的位移相關型阻尼器，通過核心單元不挫屈塑性變形消耗結構動能。

JG/T 209 根據阻尼器類型之不同規定其各自適用的試驗方法與要求，其試驗方法包含對於外觀、材料及阻尼器性能之試驗項目，其中，外觀試驗通常係指對於產品外觀上的目視檢測或精度量測；材料試驗則是對於產品原料之物理或化學特性的試驗驗證，一般可由材料供應商提供檢驗報告予以驗證，但對於阻尼器性能具有重要影響性的材料特性，則必須確實取一部分材料試體進行試驗驗證；而阻尼器性能試驗則類似國內規範所稱的實體試驗，通常係對於阻尼器整體進行設計所需性能的試驗驗證。

表 2-3~2-8 分別為黏彈性阻尼器、黏滯阻尼器及挫屈束制斜撐之性能試驗項目與要求，其中，黏彈性阻尼器之試驗項目包含基本性能、極限剪切應變、老化性能、疲勞性能、振幅相依性、頻率相依性及溫度相依性；黏滯阻尼器之試驗項目包含基本性能、極限位移、速度相依性、疲勞性能、密封性能、頻率相依性、溫度相依性；挫屈束制斜撐則包含基本性能和疲勞性能。

相較於其他國家規定，中國 JG/T 209 具有兩個特點：(1)規定阻尼器的設計使用年限；(2)產品出貨檢驗的抽樣率較高。根據 JG/T 209 第 5 章「一般要求」規定，黏彈性阻尼器、金屬降伏型阻尼器及挫屈束制斜撐的設計使用年限應為 50 年；黏滯阻尼器則為 30 年。根據 JG/T 209 第 8 章「檢驗規則」規定，阻尼器產品檢驗分為型式檢驗與出廠檢驗，型式檢驗之功能與前述原型試驗類似，而出廠檢驗之功能則為產品出廠前的品質抽樣檢驗，其中，對於黏彈性阻尼器、金屬降伏型阻尼器及挫屈束制斜撐，抽樣率為同一工程同一類型同一規格數量的 3%；對於黏滯阻尼器，抽樣率與建築物之重要性有

關，標準設防類之抽樣率為 20%，重點設防類為 50%，特殊設防類則為 100%。

表 2-3 黏彈性阻尼器之性能試驗方法(中國—JG/T 209)

試驗項目	試驗方法	目的
(1) 基本性能	頻率：結構基本頻率 f_1 振幅：阻尼器設計位移 u_0 循環數：5 次	確認黏彈性阻尼器於耐震或耐風等相關設計條件下之性能符合設計預期。
(2) 極限剪切應變	頻率： f_1 振幅： $1.1u_0$ 、 $1.2u_0$ 、 $1.3u_0$ 、 $1.4u_0$ 、 $1.5u_0$ 循環數：每一振幅執行 1 次循環，取破壞時之振幅為極限值依據。	確認黏彈性阻尼器於耐震或耐風等相關設計條件下之剪切應變極限值符合設計預期。
(3) 老化性能	將材料試體放入鼓風電熱恆溫乾燥箱中，保持溫度 80℃，經 192hr 後取出，按本表試驗項目(1)~(2)再試驗。	確認黏彈性阻尼器之老化性能符合設計預期。
(4) 疲勞性能	頻率：結構基本頻率 f_1 振幅：阻尼器作為耐震用途時振幅為 u_0 ；作為耐風用途實則為 $0.1u_0$ 。 循環數：阻尼器作為耐震用途時應連續加載 30 次；作為耐風用途時每次連續加載不應少於 2000 次，累計加載 10000 次。	確認黏彈性阻尼器於耐震或耐風等相關設計條件下不發生疲勞破壞。
(5) 振幅相依性	頻率：結構基本頻率 f_1 振幅： $1.0u_0$ 、 $1.2u_0$ 、 $1.5u_0$ 循環數：每一振幅 5 次	以每一振幅計算所得最大阻尼力為基準，確認黏彈性阻尼器之振幅相依特性符合設計容許範圍。
(6) 頻率相依性	頻率：0.5、1.0、1.5、2.0Hz 振幅： u_0 循環數：每一頻率 5 次	以每一頻率計算所得最大阻尼力為基準，確認黏彈性阻尼器之頻率相依特性符合設計容許範圍。
(7) 溫度相依性	溫度：-20、-10、0、10、20、30、40℃ 頻率： f_1 振幅： u_0 循環數：每一溫度 5 次	以每一溫度計算所得最大阻尼力為基準，確認黏彈性阻尼器之溫度相依特性符合設計容許範圍。

資料來源:本研究製作

表 2-4 黏彈性阻尼器之性能要求(中國—JG/T 209)

試驗項目	檢核項目	要求
(1) 基本性能	最大阻尼力、剪切儲存模數、耗損因子	實測值之偏差應在產品設計值的 15% 以內；實測值之平均偏差應在產品設計值的 10% 以內。
	遲滯迴圈面積	同一測試條件下，任一循環實測值之偏差應在產品設計值的 15% 以內；實測值之平均偏差應在產品設計值的 10% 以內。
(2) 極限剪切應變	剪切應變極限值	實測值之偏差應在產品設計值的 15% 以內；實測值之平均偏差應在產品設計值的 10% 以內。
(3) 老化性能	最大阻尼力、剪切儲存模	變化率不應超過 15%。

(4) 疲勞性能	數、耗損因子	
(5) 振幅相依性	振幅-最大阻尼力之關係	應具有規律性
(6) 頻率相依性	頻率-最大阻尼力之關係	
(7) 溫度相依性	溫度-最大阻尼力之關係	

資料來源:本研究製作

表 2-5 黏滯阻尼器之性能試驗方法(中國—JG/T 209)

試驗項目	試驗方法	目的
(1) 基本性能	頻率：結構基本頻率 f_1 振幅：阻尼器設計位移 u_0 循環數：5 次	確認黏滯阻尼器於耐震或耐風等相關設計條件下之性能符合設計預期。
(2) 極限位移	採用靜力加載，使阻尼器均速緩慢運動，記錄其伸縮運動的極限位移值。	確認黏滯阻尼器之位移極限值符合設計預期。
(3) 速度相依性	頻率：結構基本頻率 f_1 振幅： $0.1u_0$ 、 $0.2u_0$ 、 $0.5u_0$ 、 $0.7u_0$ 、 $1.0u_0$ 、 $1.2u_0$ 循環數：每一振幅 5 次	確認黏滯阻尼器之速度相依特性符合設計預期。
(4) 疲勞性能	頻率：結構基本頻率 f_1 振幅：阻尼器作為耐震用途時振幅為 u_0 ；作為耐風用途實則為 $0.1u_0$ 。 循環數：阻尼器作為耐震用途時應連續加載 30 次，振幅大於 10cm 時僅須加載 5 次；作為耐風用途時應連續加載 60000 次，每 20000 次可暫時休整。	確認黏滯阻尼器於耐震或耐風等相關設計條件下不發生疲勞破壞。
(5) 密封性能	以 1.5 倍的最大阻尼力作為控制力持續加載 3min。	確認黏滯阻尼器之密封性能符合國家行業標準要求。
(6) 頻率相依性	頻率： $0.4f_1$ 、 $0.7f_1$ 、 $1.0f_1$ 、 $1.3f_1$ 、 $1.6f_1$ 振幅： $u = f_1 u_0 / f$ 循環數：每一頻率 5 次	以每一頻率計算所得最大阻尼力為基準，確認黏滯阻尼器之頻率相依特性符合設計容許範圍。
(7) 溫度相依性	溫度： -20 、 -10 、 0 、 10 、 20 、 30 、 40°C 頻率： f_1 振幅： u_0 循環數：每一溫度 5 次	以每一溫度計算所得最大阻尼力為基準，確認黏滯阻尼器之溫度相依特性符合設計容許範圍。

資料來源:本研究製作

表 2-6 黏滯阻尼器之性能要求(中國—JG/T 209)

試驗項目	檢核項目	要求
(1) 基本性能	最大阻尼力	實測值之偏差應在產品設計值的 15% 以內；實測值之平均偏差應在產品設計值的 10% 以內。
(2) 極限位移	位移極限值	實測值不應小於設計容許位移的 1.5 倍，當最大位移大於或等於 10cm 時則不應小於 1.2 倍。

(3) 速度相依性	阻尼係數、速度指數	實測值之偏差應在產品設計值的 15% 以內；實測值之平均偏差應在產品設計值的 10% 以內。
	遲滯迴圈面積	同一測試條件下，任一循環實測值之偏差應在產品設計值的 15% 以內；實測值之平均偏差應在產品設計值的 10% 以內。
(4) 疲勞性能	最大阻尼力、阻尼係數、速度指數、遲滯迴圈面積	變化率不應超過 15%。
(5) 密封性能	阻尼力	衰減值不應超過 5%，且無滲漏。
(6) 頻率相依性	頻率-最大阻尼力之關係	應具有規律性
(7) 溫度相依性	溫度-最大阻尼力之關係	

資料來源:本研究製作

表 2-7 控屈束制斜撐之性能試驗方法(中國—JG/T 209)

試驗項目	試驗方法	目的
(1) 基本性能	採用力-位移混合控制加載，試體降伏前，採用力控制並分級載入，接近降伏載重前宜減小級差加載，每級載重反復 1 次;試件降伏後採用位移控制，每級位移加載幅值取降伏位移的倍數為級差進行，每級加載可反復 3 次。	確認控屈束制斜撐之性能符合設計預期。
(2) 疲勞性能	採用固定位移循環載重試驗，位移採用控屈束制消能斜撐所在位置相應的設計位移。試驗中所採用的極限狀態包括:(a)發生斷裂破壞;(b)最大承载力下降;(c)能量吸收量減少;(d)喪失穩定的遲滯曲線形狀。將最大承载力下降 15%的次數確定為疲勞循環次數。	確認控屈束制斜撐之疲勞性能符合國家行業標準要求。

資料來源:本研究製作

表 2-8 控屈束制斜撐之性能要求(中國—JG/T 209)

試驗項目	檢核項目	要求
(1) 基本性能	降伏力、最大拉壓力、降伏位移、彈性勁度、降伏後勁度	實測值之偏差應在產品設計值的 15% 以內；實測值之平均偏差應在產品設計值的 10% 以內。
	遲滯迴圈面積	同一測試條件下，任一循環實測值之偏差應在產品設計值的 15% 以內；實測值之平均偏差應在產品設計值的 10% 以內。
	位移極限值	實測值不應小於產品設計值的 1.2 倍。
(2) 疲勞性能	疲勞循環次數	30 次以上

資料來源:本研究製作

2.3 日本：パッシブ制振構造設計・施工マニュアル(2013)

根據日本建築基準法第 37 條規定，建築物之基礎與主構造所使用的材料，與安全、防火或衛生有關的部分應符合國土交通省首長之認證，這些材料在規定上稱為「指定建築材料」。指定建築材料通過上述認證的方法有 2 種：(1)通過國土交通省首長認定之 JIS(日本工業標準)或 JAS(日本農林標準)標準的認證；(2)通過國土交通省首長認定之技術標準的認證。日本建築基準法第 37 條之指定建築材料包含隔震材料但不包含制震材料，因此，國土交通省僅針對隔震系統使用的阻尼器進行認證，國土交通省對於制震用阻尼器並無認證責任。因此，日前日本發生 KYB 油阻尼器試驗數據造假事件，國土交通省係將造假產品分為兩部分進行調查，第一部份係屬通過國土交通省認證的隔震用阻尼器，第二部分則為無國土交通省認證的制震用阻尼器，前者係違反國土交通省之認證規定，而後者則違反與業主之間的工程契約要求。

日本免震構造協會(The Japan Society of Seismic Isolation, JSSI)為研究基礎隔震以外的地震反應控制技術，因此於 2002 年 2 月成立結構反應控制小組，當時日本已開始導入建築物的性能設計概念，但減震結構性能設計的技術體系仍不如傳統結構設計發達，因此結構反應控制小組於 2001 年 4 月開始研擬「パッシブ制振構造設計・施工マニュアル」(被動減震結構設計及施工手冊)[6]。該手冊提供關於減震技術的各種基礎資訊，以促進研究發想與技術提升，同時盡量避免限制新技術的發展。

手冊中阻尼器類型有油壓阻尼器、黏滯阻尼器、黏彈性阻尼器、鋼材/摩擦阻尼器等 4 種，並未包含挫屈束制斜撐，表 2-9~2-10 分別為黏彈性阻尼器和黏滯阻尼器之試驗方法，手冊稱該表為案例解說，意指相關內容僅具參考用途，讀者仍須根據自己的設計條件決定阻尼器的試驗方法，此外，表內雖有試驗的檢核項目，但並未說明其要求。根據手冊建議，製造商對其製造的減震構件，在出貨前應先進行自主性的性能確認試驗以檢核產品性能，施工廠商則根據設計文件或製作要領書所規定的檢查率進行現場檢查以確認品質，原則上，結構設計者根據檢查報告書確認品質，必要時進行現場試驗以確認性能。性能檢查可以採取抽查或全數檢查的方式實施，若採取抽查，原則上則須根據設計文件所規定之抽查率實施。關於試驗條件、試驗項目及合格判定方法，必須充分掌握設計文件與製作要領書並依相關規定實施，同時也應取得結構設計者和施工廠商的認可。

表 2-9 黏彈性阻尼器之性能試驗方法(日本—パッシブ制振構造設計・施工マニュアル)

試驗項目	試驗方法	檢核項目
(1) 動態基本性能	使用雙面剪切試體進行動態加載試驗 溫度：20℃ 頻率：0.2Hz 振幅：50%(剪切應變) 循環數：建議 10 次以上	(1)遲滯曲線 (2)剪切儲存模數 (3)阻尼係數 (4)耗損因子(如有必要)
(2) 靜態基本性能	使用單面或雙面剪切試體進行單向拉伸試驗 溫度：10℃ 速度：50mm/分鐘	(1)黏著強度 (2)剪切應變極限值
(3) 各種相依性	使用雙面剪切試體進行動態加載試驗 溫度範圍：10~30℃	(1)溫度、頻率及應變相依性 (2)遲滯曲線

	頻率範圍：0.2~3.0Hz 振幅範圍：20~200%(剪切應變) 循環數：同一條件建議 10 次以上	(3)剪切儲存模數 (4)阻尼係數 (5)耗損因子(如有必要)
(4) 疲勞性能	使用雙面剪切試體進行動態加載試驗 溫度：20℃ 頻率：0.3Hz 振幅：根據設計值決定 循環數：根據設計條件決定 大地震≤10 循環 暴風≤1000 循環 日常風≤1000000 循環(允許推測)	疲勞曲線(維持初始性能的 70% 以上)
(5) 耐久性	使用雙面剪切試體進行動態加載試驗 溫度：20℃ 頻率：0.2Hz 振幅：50%(剪切應變) 循環數：根據設計條件決定	(1)阿瑞尼斯方程式(Arrhenius equation)之推估結果 (2)剪切儲存模數的維持率 (3)阻尼係數的維持率 (4)耗損因子的維持率(如有必要)
(6) 耐水性	耐水性試驗方法參照 JISK6258 使用雙面剪切試體進行動態加載試驗 溫度：20℃ 頻率：0.2Hz 振幅：50%(剪切應變)	剪切儲存模數的維持率
(7) 耐火性	使用黏彈性材料試片進行燃燒試驗	(1)軟化點或分解起始溫度 (2)燃燒產生之氣體量
(8) 耐候性	耐候性試驗方法參照 JISK6259 使用雙面剪切試體進行動態加載試驗 溫度：20℃ 頻率：0.2Hz 振幅：50%(剪切應變)	剪切儲存模數的維持率

資料來源:本研究製作

表 2-10 黏滯阻尼器之性能試驗方法(日本一パッシブ制振構造設計・施工マニュアル)

試驗項目	試驗方法	檢核項目
(1) 基本性能	溫度：20℃ 頻率：依設計值決定 振幅：依設計值決定 循環數：3 次以上	最大速度對應之阻尼力
(2) 頻率相依性	在基本性能的試驗方法中，固定速度或振幅，變化頻率。	頻率-最大阻尼力之關係
(3) 速度相依性	在基本性能的試驗方法中，固定頻率變化振幅；或固定振幅變化頻率。	速度-最大阻尼力之關係
(4) 振幅相依性	在基本性能的試驗方法中，固定頻率或速度，變化振幅。	振幅-最大阻尼力之關係
(5) 溫度相依性	在基本性能的試驗方法中，變化溫度。	溫度-最大阻尼力之關係

(6) 疲勞性能	同基本性能的試驗方法，惟循環數依設計條件決定。	循環次數-最大阻尼力之關係
(7) 耐久性	熱劣化加速試驗	(1)阿瑞尼斯方程式(Arrhenius equation)之推估結果 (2)黏性材料試體之黏度變化
(8) 耐水性	參照 JISK6258	黏性材料試體之重量變化
(9) 耐火性	參照 JISK2265	黏性材料試體之閃點
(10) 耐候性	參照 JISK6259	黏性材料試體之黏度變化
(11) 耐熱性	熱分解試驗	黏性材料試體之重量變化
(12) 溫度穩定性	耐熱黏度特性試驗	黏性材料試體加熱與冷卻時的黏度變化

資料來源:本研究製作

2.4 美國：ANSI/AISC 341-16

美國含消能系統的結構與其相關部份之設計建造主要應參考 ASCE 7-16 第 18 章含消能系統結構耐震設計要求(Seismic Design Requirements for structures with Damping Systems)[7]，惟其內容為我國建築物耐震設計規範及解說第 10 章的主要參考對象，因此相關試驗規定相似度高，在此不再贅述。

美國 ANSI/AISC 341 明確規範鋼結構地震力抵抗系統中構件與連接件之設計、製造與安裝，其中結構系統包含彎矩框架系統、斜撐與剪力牆系統、複合式彎矩系統、複合式斜撐與剪力牆系統，而此規範將挫屈束制斜撐視為具備消能功能的結構構件，並在第 K.3 節規定其試驗方法與要求，該規定亦為目前國內試驗室進行挫屈束制斜撐性能試驗的主要依據。根據第 K.3 節規定，挫屈束制斜撐之驗證應包含對於安裝構件測試試體(Subassembly Test Specimen)與斜撐測試試體(Brace Test Specimen)等 2 種試驗，前者意指包含挫屈束制斜撐與安裝構件組合後的試體試驗；後者則為挫屈束制斜撐本體的試驗。斜撐測試試體的試驗目的是確認挫屈束制斜撐滿足強度與非彈性變形之要求，亦可確定相鄰元件的最大承载力需求；安裝構件測試試體的試驗目的則是確認斜撐的組裝設計可滿足位移與轉角需求，亦證明試體中挫屈束制斜撐的遲滯行為與斜撐測試試體一致。

表 2-11~2-12 分別為挫屈束制斜撐之試驗方法與要求，其中，基本性能試驗為位移控制之靜態加載試驗，衝程漸增至 2 倍設計層間位移，期間所得最大拉力與最大壓力應大於斜撐標稱強度，由於挫屈束制斜撐常有遲滯曲線拉壓不對稱的現象，故特別規定其壓拉的比值不得超過 1.5。累積非彈性位移之計算應包含基本性能試驗與疲勞性能試驗，且應達到降伏位移實測值的 200 倍以上，其中， Δ_{by} 降伏位移應由送驗單位於試驗前與試驗單位確認，試驗單位依此安排試驗，並於衝程漸增的過程獲得降伏位移的實測值。

表 2-11 挫屈束制斜撐之試驗方法(美國—ANSI/AISC 341)

試驗項目	試驗方法	目的
(1) 基本性能	採用靜態加載試驗，歷程如下：	確認挫屈束制斜撐之性能符合設計預

	(1)衝程等於 Δ_{by} ，循環 2 次。 (2)衝程等於 $0.5\Delta_{bm}$ ，循環 2 次。 (3)衝程等於 $1.0\Delta_{bm}$ ，循環 2 次。 (4)衝程等於 $1.5\Delta_{bm}$ ，循環 2 次。 (5)衝程等於 $2.0\Delta_{bm}$ ，循環 2 次。	期。
(2) 疲勞性能	衝程等於 $1.5\Delta_{bm}$ ，連續循環加載直至破壞或累積非彈性位移(含前置基本性能試驗)達到降伏位移實測值的 200 倍以上。	確認挫屈束制斜撐之疲勞性能符合規範要求。
Δ_{by} ：降伏位移； Δ_{bm} ：至少等於設計層間位移		

資料來源:本研究製作

表 2-12 挫屈束制斜撐之要求(美國—ANSI/AISC 341)

試驗項目	檢核項目	要求
(1) 基本性能	遲滯曲線	具穩定性和可重複性，且具正向增量勁度之行為。
	最大拉力、最大壓力	在衝程大於 Δ_{by} 的循環中，最大拉力與最大壓力不應小於標稱強度。 最大壓力與最大拉力的比值不得超過 1.5。
(2) 疲勞性能	累積非彈性位移	降伏位移實測值 200 倍以上。

資料來源:本研究製作

2.5 歐盟：EN 15129:2009

歐洲標準委員會(European Committee for Standardization, CEN)於 2009 年針對抗震元件提出 EN 15129: 2009[8]，此標準涵蓋安裝於結構上的各類型抗震元件，具體規定其基本抗震需求、耐震設計、材料特性、製造要求與試驗標準，其中，第 7 章規定速度型元件(Velocity Dependent Devices)之相關設計與試驗細節，並將其分為兩大類型：(1)不具勁度的液態黏滯阻尼器(Fluid Viscous Damper, FVD)；(2)具有勁度的液態彈簧阻尼器(Fluid Spring Damper, FSD)。根據 EN15129 規定，當新型產品的承載力與既有試驗過的產品差異超過 20% 或新型產品之設計速度更大時，則應進行原型試驗，表 2-13~2-14 分別為速度型元件之試驗方法與要求，試驗項目包含壓力試驗、低速試驗、組成律試驗、阻尼效能試驗、風力試驗、油封磨損試驗及衝程驗證試驗等，其中，低速試驗的主要目的在於評估阻尼器受溫度影響下的軸力阻抗，此點對於橋梁而言尤其重要，特別是阻尼器作為橋梁地震力分散裝置使用時，因橋梁受溫度變化影響所產生的位移量較高，若阻尼器在此速度條件下之出力很大，則可能導致與其連接之橋墩承受超出設計預期的水平力。此外，滲漏是黏滯阻尼器常見的失敗原因之一，故此標準特別藉由壓力試驗與油封磨損試驗對阻尼器之密封性能達到雙重檢核功效，其中，油封磨損試驗係針對密封件之耐磨性能，考慮設計年限內之溫度變化影響可用 10000 次循環加載等效模擬，同時為合

理減少試驗時間，容許移除黏性材料以避免試體溫度過高，試驗後補回黏性材料並再次進行阻尼效能試驗以驗證油封狀態合格。

表 2-13 速度型元件之試驗方法(歐盟—EN 15129)

試驗項目	試驗方法	目的
(1) 壓力試驗	加壓達到 1.25 倍最大出力對應之壓力並持續 120 秒	確認阻尼器的最大出力與密封性能符合標準要求。
(2) 低速試驗 FVD	採用位移控制之低速循環加載 溫度：23±5°C 振幅：溫度引致之最大位移，且不得小於 10mm 速度：0.1mm/s 以下 循環數：1 次	評估阻尼器受溫度影響下的軸力阻抗。
低速試驗 FSD	採用位移控制之低速循環加載 溫度：23±5°C 振幅：溫度或其他準靜態載重(如剎車或風等)引致之最大位移，且不得小於 10mm 速度：0.1mm/s 以下 循環數：1 次	評估阻尼器受溫度或準靜態載重影響下的軸力阻抗。
(3) 組成律試驗	溫度：最小、週遭及最大溫度 振幅：設計位移 速度：1%、25%、50%、75%及 100%最大設計速度 循環數：每一溫度每一速度條件下均進行 3 次	確認阻尼器的力-速度關係符合設計要求。
(4) 阻尼效能試驗	頻率與振幅由專業技師決定，惟其消耗的能量不得超過設計地震的 2 倍。 循環數：5 次，惟若因試驗設備能力限制，則可分為 2 階段進行，每階段至少 3 次循環，階段之間不可冷卻降溫。	評估阻尼器消散能量的能力與穩定性。
(5) 風力試驗	頻率與振幅由專業技師根據耐風設計條件決定。 循環數：200 次	確認阻尼器於耐風設計條件下之性能符合設計要求，且其疲勞性能符合標準要求。
(6) 油封磨損試驗	採用位移控制之低速循環加載 振幅：溫度引致之最大位移 循環數：10000 次 為使試驗時間合理，允許移除全部或部分黏性材料以避免溫度過高。	確認阻尼器之密封件在設計年限內可承受溫度引致之位移影響而不滲漏。
(7) 衝程驗證試驗	振幅：大於設計衝程 循環數：1 次 允許移除全部黏性材料	確認阻尼器符合設計衝程之要求。

資料來源:本研究製作

表 2-14 速度型元件之要求(歐盟—EN 15129)

試驗項目	檢核項目	要求
(1) 壓力試驗	出力、外觀	出力達到 1.25 倍最大阻尼力，且不得發生滲漏、物理折減或效能下降等情況。
(2) 低速試驗 FVD	出力	整個循環內之最大出力應小於設計額定力的 10% 或專業技師規定的較小值。
低速試驗 FSD	出力	整個循環內之最大出力應小於設計作用力的 $(1 + t_d)$ 倍或專業技師規定的值。 $(t_d$ ：設計載重偏差)
(3) 組成律試驗 FVD	零位移對應之出力、阻尼係數、速度指數	應落在容許偏差範圍內。
組成律試驗 FSD	50% 設計位移對應之出力、有效勁度、阻尼係數、速度指數	應落在容許偏差範圍內。
(4) 阻尼效能試驗	出力、遲滯迴圈面積	每次循環阻尼器之出力應落在容許偏差範圍內，且遲滯迴圈面積應大於最小設計值。
(5) 風力試驗	出力、外觀	試驗中阻尼器不得卡住或破壞，試驗後不得滲漏。
(6) 油封磨損試驗	—	試驗後補回黏性材料，再次進行阻尼效能試驗並符合其要求。
(7) 衝程驗證試驗	衝程	至少應達到設計衝程，偏差須小於 1mm。

資料來源:本研究製作

2.6 各國消能元件試驗規定之特色

我國建築物耐震設計規範第 10 章對於試驗項目之差異僅分位移型阻尼器與速度型阻尼器 2 種，設計條件以耐震設計規範定義之最大考量地震為主，試驗目的為確保此條件下阻尼器之性能符合設計預期，同時亦能考慮建築物基本週期和阻尼器運轉溫度之不確定性，以及承受相當設計風暴或最大考量地震狀況時的基本性能保證甚至疲勞性能保證。

中國行業標準 JG/T 209 將阻尼器分為 4 大類：黏彈阻尼器、黏滯阻尼器、金屬降伏型阻尼器及挫屈束制消能斜撐，各自規定其外觀、材料及性能上的要求，並詳細提供要求事項所對應的試驗方法，該標準亦規定產品的設計使用年限，黏滯阻尼器為 30 年，其他類型阻尼器為 50 年。

日本「パッシブ制振構造設計・施工マニュアル」屬於技術手冊性質，無強制性，該手冊將阻尼器分為 5 類：鋼材阻尼器、摩擦阻尼器、油壓阻尼器、黏滯阻尼器及黏彈性阻尼器，對於各類型阻尼器的試驗項目考慮得相當完整，幾乎可以涵蓋阻尼器所有使用狀況下的性能要求驗證，然而，對於阻尼器的要求項目和抽樣方法並無強制規定，僅交付與專業技師決定。

AISC 341-16 第 K3.節中詳述挫屈束制斜撐的試驗方法、基本要求、測試控制、合格與驗收標準，當中試驗程序只有標準循環測試與疲勞循環測試兩種，標準循環測試目的是為了確認挫屈束制斜撐之能量消散性能與材料應變硬化行為；疲勞循環測試則是為了確認該構件之韌性容量。

EN 15129: 2009 第 7 章訂定速度相依裝置之試驗項目包含壓力試驗、低速試驗、組成律試驗、阻尼效能試驗、風力試驗、油封磨損試驗與衝程驗證試驗，試驗過程中須確保阻尼器溫度不會過度升高，尤其對於油封磨損試驗，係考量活塞桿作動對密封件磨損之影響，故可以排除造成阻尼器內壓與溫度上升之因素，故內部流體可以全部或部分移除。

三、建築物耐震阻尼器國家標準草案

根據「國家標準草案構成及格式指引(CNS 3689)[9]」，目前國家標準的編寫原則已習慣將產品的型式定義與試驗方法合為一體，尤其對於產品的要求事項，為不阻礙未來技術發展，應儘可能以性能上的要求為主，而不得限制其外觀、形狀、尺度及材料。此外，對本案建築物消能阻尼器產品而言，國家標準的構成要素係以技術性規定要素為重點，其中包含用語及定義、符號及縮寫、種類、要求事項、取樣、試驗法、標示及附加文件、附錄（規定）。有關國家標準與耐震設計規範之相關性，依其目的區分，耐震設計規範的主要對象是結構設計者，結構設計者必須根據規範設計建築物，同時也必須根據規範第 10 章之規定決定阻尼器的要求事項、試驗方法、抽樣方法及合格判定原則等，規範對於結構設計者具有強制性；而國家標準的主要對象是產品製造者，惟其驗證制度係採自願性質，由產品製造者自願實施工廠品質管理，並依國家標準生產製造產品後，方得申請正字標記認證，產品製造者藉由認證取得消費者信賴以拓展市場，消費者經由認證辨識優良產品以保障權益。由於國家標準並無強制性，故就法規層級而言，耐震設計規範絕對較國家標準優先，然而，若國家標準受耐震設計規範引用，則該國家標準始亦具有強制性。有鑑於上述考量，本案所研擬草案之內容架構主要依循 CNS3689 規定之編排方式，而產品要求與試驗方法則仍以現行耐震設計規範為主要依循，並考量各國規定之優點予以加強補充；另外，挫屈束制斜撐之試驗規定係依循目前國內工程實務上主要參考的 AISC 341。表 3-1~3-6 分別為本案研擬之建築物耐震用黏滯阻尼器、黏彈性阻尼器及挫屈束制斜撐之試驗方法與要求，其適用範圍僅限於安裝在建築物上且作為耐震設計用途之阻尼器，安裝在橋梁上或作為耐風設計用途之阻尼器因其設計需求上之差異，故不一定能夠適用本草案。

本案研擬黏滯阻尼器之試驗項目包含基本性能試驗、溫度試驗、高循環數試驗、低循環數試驗及油封耐磨試驗等，其中，基本性能試驗(25°C)與溫度試驗(10、40°C)之溫度條件係對應耐震設計規範要求之週遭、最小及最大溫度給予明確定義，基本性能試驗之頻率與振幅組合($(0.5f_1, 0.65^{-1}u_0)$ 、 (f_1, u_0) 和 $(2f_1, 0.65u_0)$)係對應耐震設計規範中頻率試驗之頻率要求，同時亦對應第 10.1.2 節中極限速度應達到設計速度之 1.3 倍的基本要求；高循環數試驗與低循環數試驗分別對應耐震設計規範之風力試驗與地震力試驗，由於規範要求之循環次數與阻尼器在實際設計風力或設計地震力下所經歷的次數可能存在差異，因此特別修改其名稱為高循環數試驗與低循環數試驗以避免誤解，此外，高循環數試驗之振幅取 $0.1u_0$ 以上係考慮試驗設備能力之限制給予彈性調整；而油封耐磨試驗係參考歐盟 EN 15129 規定，於耐震設計規範要求之外特別增加以確保黏滯阻尼器之密封

性能。

黏彈性阻尼器與黏滯阻尼器同屬速度型阻尼器，因此試驗項目幾乎相同，惟黏彈性阻尼器無滲漏問題故不需要油封耐磨試驗，此外，因黏彈性阻尼器對結構具有勁度貢獻，故通常取最大、最小位移對應之阻尼力為檢核項目，據以計算其有效勁度，有別於黏滯阻尼器取零位移對應之正、負阻尼力為檢核項目。除了表 3-3 所列針對阻尼器整體的試驗項目之外，本案參考中國與日本之規定，增加針對黏彈性阻尼器之黏彈性材料的老化性能試驗，由於國內黏彈性阻尼器所使用的黏彈性材料以橡膠居多，而橡膠之耐久性直接影響阻尼器之使用年限，因此，本案最後參考公共工程施工綱要規範第 05823 章「人造橡膠支承墊」[10]規定，要求根據 CNS 3556 K6347「硫化橡膠老化試驗法」[11]進行溫度 100°C 且持續 72 小時之老化試驗，並要求試驗後橡膠之抗拉強度的變化率不得超過 15%，且斷裂伸長率的變化率不得超過 40%。

挫屈束制斜撐屬於位移型阻尼器，本案試驗方法係參考 AISC 341，惟檢核項目則參考中國 JG/T 209，必須額外檢核彈性勁度、降伏位移、降伏後勁度、極限位移及遲滯迴圈面積之實測值與設計值之差異，以完整掌握挫屈束制斜撐對於結構勁度和阻尼的影響。另外，在外觀檢測部分參考中國規定，要求產品的彎曲變形應小於其長度的 1/1000；扭轉變形則應小於斷面高度的 1/250。

有關產品的出廠檢驗規定，黏滯阻尼器應根據表 3-1 進行頻率與振幅組合為 (f_1, u_0) 之基本性能試驗，且試驗溫度得等於環境溫度，而抽樣件數不得小於同一批次同一種類同一規格產品件數的 2%，且至少為 1 件；黏彈性阻尼器應根據表 3-3 進行頻率與振幅組合為 (f_1, u_0) 之基本性能試驗，且試驗溫度得等於環境溫度，而抽樣件數不得小於同一批次同一種類同一規格產品件數的 2%，且至少為 1 件；挫屈束制斜撐應根據表 3-5 進行基本性能試驗之加載歷程(1)~(5)，而抽樣件數不得小於同一批次同一種類同一規格產品件數的 2%，且至少為 1 件。

表 3-1 建築物耐震黏滯阻尼器之試驗方法(本案研擬)

試驗項目	試驗方法
(1) 基本性能試驗	溫度：25°C 頻率與振幅組合： $(0.5f_1, 0.65^{-1}u_0)$ 、 (f_1, u_0) 和 $(2f_1, 0.65u_0)$ 循環數：每一組合連續 5 次 f_1 ：設計頻率，設計時考慮阻尼器參與結構振動的主要頻率。 u_0 ：設計位移，設計時考慮阻尼器由平衡狀態(活塞位於油壓缸長度中央位置之狀態)伸長或縮短的位移量。
(2) 溫度試驗	溫度：10、40°C 頻率： f_1 振幅： u_0 循環數：每一溫度連續 5 次
(3) 高循環數試驗	溫度：環境溫度 頻率： f_1 振幅：0.1 u_0 以上 循環數：連續 2000 次
(4) 低循環數試驗	溫度：環境溫度

	頻率： f_1 振幅： u_0 循環數：連續 20 次
(5) 油封耐磨試驗	溫度：環境溫度 頻率：不限制 振幅： $0.1u_0$ 以上 循環數：10000 次，得不連續進行。 允許移除全部或部分黏性材料以避免溫度過高，完成 10000 次循環後補回黏性材料，再次進行低循環數試驗，惟僅連續進行 5 次循環。

資料來源:本研究製作

表 3-2 建築物耐震黏滯阻尼器之要求(本案研擬)

試驗項目	檢核項目	要求
(1) 基本性能試驗	零位移對應之正、負阻力	同一頻率條件下，任一循環所得實測值與所有循環所得實測值之平均值相比，其差異不得超過平均值的 15%；所有循環所得實測值之平均值與設計值相比，其差異不得超過設計值的 15%。 遲滯曲線應平滑無異常。
	遲滯迴圈面積	
(2) 溫度試驗	零位移對應之正、負阻力	同一溫度條件下，任一循環所得實測值與所有循環所得實測值之平均值相比，其差異不得超過平均值的 15%；所有循環所得實測值之平均值與設計值相比，其差異不得超過設計值的 15%。 遲滯曲線應平滑無異常。
	遲滯迴圈面積	
(3) 高循環數試驗 (4) 低循環數試驗	零位移對應之正、負阻力	任一循環所得實測值與所有循環所得實測值之平均值相比，其差異不得超過平均值的 15%。 遲滯曲線應平滑無異常。
	遲滯迴圈面積	
(5) 油封耐磨試驗	零位移對應之正、負阻力	所有循環所得實測值之平均值與低循環數試驗前 5 次循環所得實測值之平均值相比，其差異不得超過後者的 15%。 遲滯曲線應平滑無異常。
	遲滯迴圈面積	

資料來源:本研究製作

表 3-3 建築物耐震黏彈性阻尼器之試驗方法(本案研擬)

試驗項目	試驗方法
(1) 基本性能試驗	溫度： 25°C 頻率與振幅組合： $(0.5f_1, 0.65^{-1}u_0)$ 、 (f_1, u_0) 和 $(2f_1, 0.65u_0)$ 循環數：每一組合連續 5 次
(2) 溫度試驗	溫度： 10 、 40°C 頻率： f_1 振幅： u_0 循環數：每一溫度連續 5 次

(3) 高循環數試驗	溫度：環境溫度 頻率： f_1 振幅： $0.1u_0$ 以上 循環數：連續 2000 次
(4) 低循環數試驗	溫度：環境溫度 頻率： f_1 振幅： u_0 循環數：連續 20 次

資料來源:本研究製作

表 3-4 建築物耐震黏彈性阻尼器之要求(本案研擬)

試驗項目	檢核項目	要求
(1) 基本性能試驗	最大、最小位移 對應之阻尼力	同一頻率條件下，任一循環所得實測值與所有循環所得實測值之平均值相比，其差異不得超過平均值的 15%；所有循環所得實測值之平均值與設計值相比，其差異不得超過設計值的 15%。
	遲滯迴圈面積	
(2) 溫度試驗	最大、最小位移 對應之阻尼力	同一溫度條件下，任一循環所得實測值與所有循環所得實測值之平均值相比，其差異不得超過平均值的 15%；所有循環所得實測值之平均值與設計值相比，其差異不得超過設計值的 15%。
	遲滯迴圈面積	
(3) 高循環數試驗 (4) 低循環數試驗	最大、最小位移 對應之阻尼力	任一循環所得實測值與所有循環所得實測值之平均值相比，其差異不得超過平均值的 15%。
	遲滯迴圈面積	

資料來源:本研究製作

表 3-5 建築物耐震挫屈束制斜撐之試驗方法(本案研擬)

試驗項目	試驗方法
基本性能試驗	<p>在環境溫度下採用位移控制之靜態加載試驗，加載歷程如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 衝程等於u_y之下進行 2 次循環 (2) 衝程等於$0.5u_0$之下進行 2 次循環 (3) 衝程等於$1.0u_0$之下進行 2 次循環 (4) 衝程等於$1.5u_0$之下進行 2 次循環 (5) 衝程等於$2.0u_0$之下進行 2 次循環 (6) 衝程等於$1.5u_0$之下進行連續循環加載，直至達到極限狀態或整體基本性能試驗之累積非彈性位移達到降伏位移實測值的 200 倍以上。 <p>u_y：降伏位移，位移型阻尼器由平衡狀態(初始出力等於零之狀態)達到降伏時所伸長或縮短的位移量。</p> <p>u_0：設計位移，設計時考慮阻尼器由平衡狀態伸長或縮短的位移量。</p>

資料來源:本研究製作

表 3-6 建築物耐震挫屈束制斜撐之要求(本案研擬)

試驗項目	檢核項目	要求
基本性能試驗	彈性勁度、降伏位移、降伏後勁度	實測值與設計值相比，其差異不得超過設計值的 15%。
	遲滯迴圈面積	同一衝程條件下，任一循環所得實測值與所有循環所得實測值之平均值相比，其差異不得超過平均值的 15%；所有循環所得實測值之平均值與設計值相比，其差異不得超過設計值的 15%；遲滯曲線應平滑無異常。
	最大拉、壓力	任一循環所得最大拉力與最大壓力相比，其差異不得超過最大拉力的 15%。
	極限位移	實測值不得小於設計值。
	累積非彈性位移	實測值不得小於降伏位移實測值的 200 倍。

資料來源:本研究製作

四、結論

本案目的為擬定黏滯阻尼器、黏彈性阻尼器及挫屈束制斜撐等 3 類型消能元件之國家標準草案，其中，黏滯阻尼器與黏彈性阻尼器皆屬於現行耐震設計規範所稱速度型消能元件，因此，該類型阻尼器草案之性能要求與試驗方法主要依循現行耐震設計規範 10.7 節規定，共同的試驗項目包含：基本性能試驗、溫度試驗、高循環數試驗及低循環數試驗，其中，基本性能試驗用於驗證阻尼器性能在模擬最大考量地震條件下符合設計要求，亦確保其頻率相依性可支應結構模擬上的頻率不確定性；溫度試驗用於驗證阻尼器之溫度相依性可支應環境溫度之不確定性；高循環數試驗用於驗證阻尼器性能在模擬設計風力條件下符合設計要求，且疲勞壽命不耗盡；低循環數試驗用於驗證阻尼器性能在模擬設計地震力條件下符合設計要求，且疲勞壽命不耗盡。

挫屈束制斜撐在 AISC 341 中屬於一種結構系統而非消能元件，國內現行耐震設計規範 1.7 節亦有挫屈束制支撐構架之結構系統分類，但究竟挫屈束制斜撐屬於一般結構構件或消能元件，目前規範並無明確說明，有鑑於此，目前工程實務上挫屈束制斜撐多參考 AISC 341 第 K3 節規定進行實體試驗或性能保證測試，而非參考現行耐震設計規範，因此，本案挫屈束制斜撐草案之性能要求與試驗方法主要根據 AISC 341-16 規定訂定基本性能試驗，以驗證挫屈束制斜撐性能在模擬最大考量地震條件下符合設計要求，且斜撐之極限位移可達 2 倍設計位移以上，亦保證具備一定程度的疲勞壽命。

除了參考現行耐震設計規範與 AISC 341-16 以外，草案亦針對各類型阻尼器之特性訂定額外的要求，例如，黏滯阻尼器參考 EN15129:2009 增加油封耐磨試驗，以驗證阻尼器在其設計使用年限內油封耐磨壽命不耗盡；黏彈性阻尼器參考公共工程施工綱要規範第 05823 章增加橡膠類黏彈性材料之老化試驗，以驗證阻尼器在其設計使用年限內橡膠材料不因老化而變質；挫屈束制斜撐則參考中國 JG/T 209-2012 增加彎曲變形與扭轉

變形之外觀檢測，以確保阻尼器之抗挫屈能力不因製造誤差而降低。

本案已完成建築物耐震用黏滯阻尼器、黏彈性阻尼器及挫屈束制斜撐等 3 類型消能元件之試驗方法與要求的研究，並根據專家意見將研提之標準草案條文提供建研所作為提送國家標準建議之參考。

參考文獻

1. AISC 341-16, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, (2016).
2. LRFDCONS-4, LRFD Bridge Construction Specifications. American Association of State Highway and Transportation Officials, (2017).
3. 內政部營建署，建築物耐震設計規範及解說，台北，2011。
4. 中華人民共和國住房和城鄉建設部，中華人民共和國行業標準：建築消能減震技術規程(JGJ 297-2013)，北京，2013。
5. 中華人民共和國住房和城鄉建設部，中華人民共和國建築工業行業標準：建築消能阻尼器(JG/T 209-2012)，北京，2012。
6. 日本免震構造協會，パッシブ制振構造設計・施工マニュアル第 3 版，東京都，2013。
7. ASCE 7-16, Minimum Design Loads For Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, (2016).
8. EN 15129:2009, Anti-Seismic Devices, European Committee for Standardization, (2009).
9. 經濟部標準檢驗局，中華民國國家標準：國家標準草案構成及格式指引(CNS 3689)，台北，2011。
10. 經濟部標準檢驗局，中華民國國家標準：硫化或熱塑性橡膠—加速老化與耐熱性試驗(CNS 3556 K6347)，台北，2016。
11. 行政院公共工程委員會，公共工程施工綱要規範 第 05823 章：人造橡膠支承墊，2015。