



台灣省土木技師公會



新北市土木技師公會

聯合辦理

速度型阻尼器製程及驗證注意要點

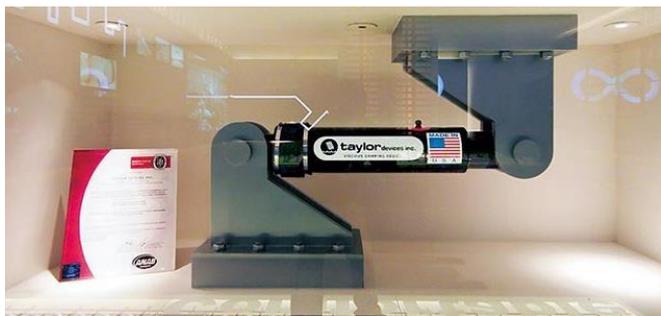
研討會

主講人：新北市土木技師公會
結構審查委員會主委

陳哲生技師

中華民國107年12月8日

PART-1 目前在國內常見之國內外廠商速度型阻尼器



美國Taylor阻尼器(建築用)



美國Taylor阻尼器(橋梁用)



德國Mauler阻尼器



義大利FIP阻尼器



美國ENIDINE阻尼器



德國Alga阻尼器



法國Jarret阻尼器

日本油壓(Oil)阻尼器系列



日本川金

台灣FVD阻尼器系列



新康卓科技



日本KYB



中興工程顧問社

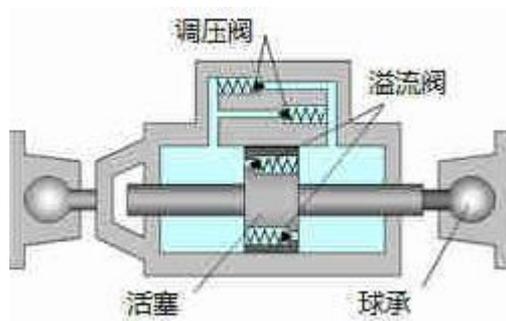


日本SENQICIA株式會社

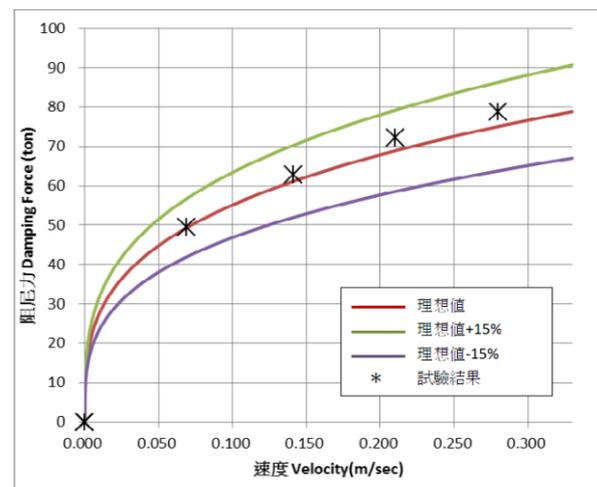
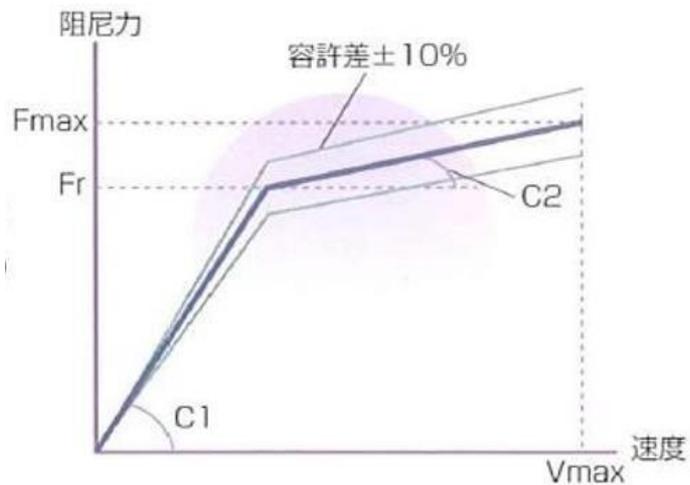
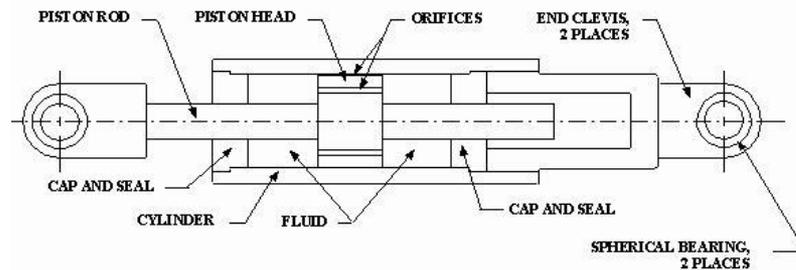


邦特液壓科技

日本油壓(OVD)黏彈性阻尼器系列



液流(FVD)黏彈阻尼器系列



大陸阻尼器系列(目前共有68家生產)



上海材料所SRIM阻尼器



上海瑪格巴megabe阻尼器



南京丹普阻尼器(東南大學研發)



PART-2 阻尼器於設計上的應有概念

第一章 摘要

速度型液流阻尼器(Fluid Visics Damper)或稱黏滯性阻尼器，自民國88年921地震後陸續應用於民間建設公司新建工程，近10年內也開始應用於公共工程之補強，另耐震設計規範自民國94年也加入第十章：被動消能設計專章，可謂蔚為風氣，另為工程界另闢一條新的設計施工方式，國內各學術界近十年內也發表不少有關之學術論文，但根據本人多年的實務經驗，在國內不管是規範、學術界、設計界(含技師、建築師、顧問公司)，多著墨於如何設計，對於阻尼器的品管要求著墨甚少，只著重於力平衡、阻尼比、層間變位..等，殊不知本身阻尼器的製程與選用更為重要(溫度、速度、頻率、衝程、疲勞、耐久、靜耐壓..等)否則所使用之棒子過硬 (不會動、不會作功、反而變斜撐行為); 或亦或過軟(漏油、爆缸)，皆為消能設計施工失敗之現象，此現象已在國內外有甚多案例，是故FVD客製化是必需且必要的。

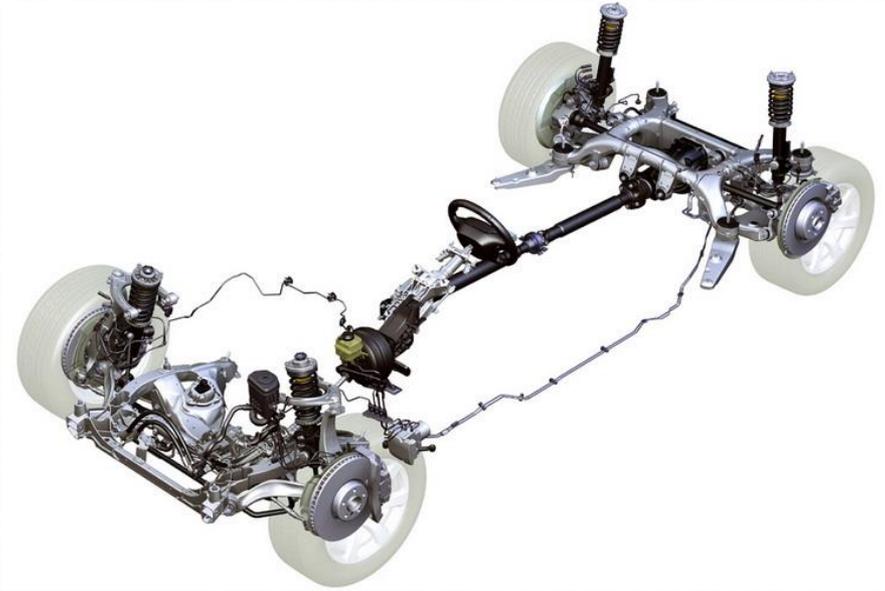
第二章 阻尼器於日常生活的應用

- 每件物品均有其設計需求，均經過產品化的客制化需求。



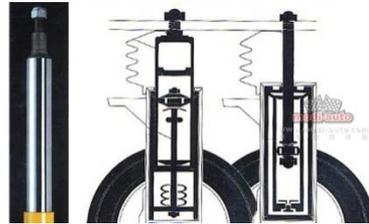
第三章 舒適性與安全性

- 但阻尼器僅僅只是安裝上去就可以了嗎?!
- 以懸吊系統來說，減振筒與懸吊彈簧之間配合相當重要，不論太軟、太硬都會造成不同的彈跳等反應，配置不當高速過彎時會有滾翻(ROLL)和旋轉(SPIN)的可能。



- 因此客制化的減震分析與動態振動分析是相當重要的，才能有效的提升安全性及舒適性。
- 車子都需要客制化，那麼耐震耐風的結構物客制化也勢在必行。

第四章 何謂客製化



短周期



中短周期



長周期



硬.. 如卡車避震器



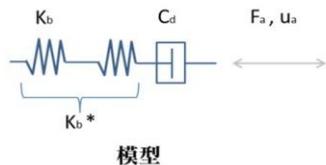
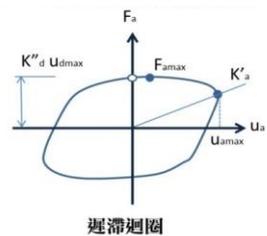
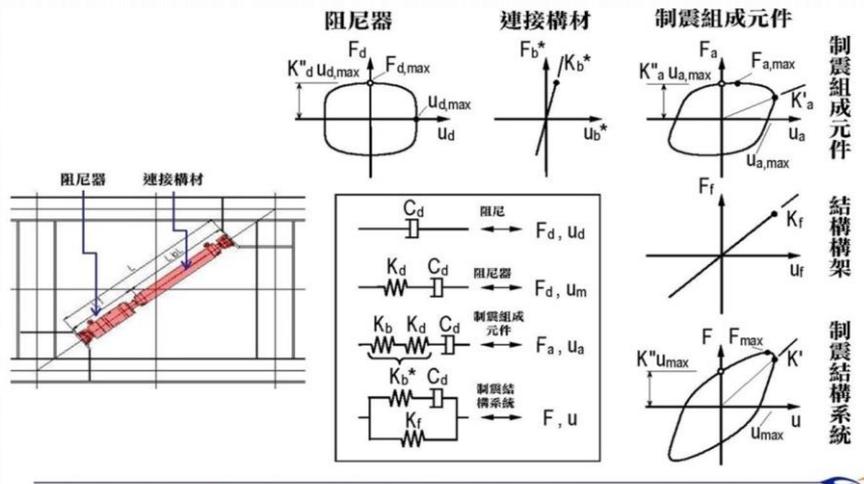
折衷.. 如休旅車避震器



軟.. 如小轎車避震器

PART-3 阻尼器於新建工程設計上
黏滯係數與速度的決定

FVD的設計應考慮安裝斜撐勁度的影響 (儲存剛度、損失剛度、實際能量變化)



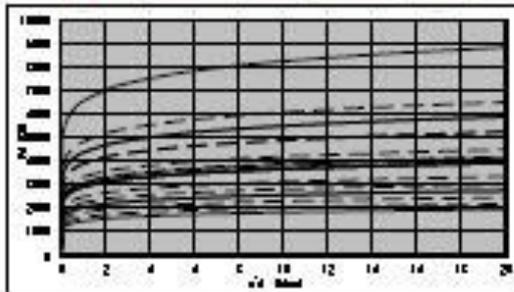
	黏滯單元	附加體系	系統
滯回曲線			
儲存剛度	$K'_d = 0$ 式(1)	$K'_a = K_b^* \frac{(K_d''/K_b^*)^{1+\alpha}}{1 + (K_d''/K_b^*)^{1+\alpha}}$ 式(2)	$K' = K'_a + K_f$ 式(3)
損失剛度	$K_d'' = \frac{C_d \omega^\alpha}{u_{d,max}^{1-\alpha}}$ 式(4)	$K_a'' = \frac{\min(K_d'', K_b^{1-\alpha} K_d''^\alpha)}{1 + (K_d''/K_b^*)^{1+\alpha}}$ 式(5)	$K'' = K_a''$ 式(6)
最大變形	$u_{d,max}$ 式(7)	$u_{a,max} = u_{d,max} \left[1 + (K_d''/K_b^*)^{1+\alpha} \right]^{1-0.5\alpha}$ 式(8)	$u_{max} = u_{a,max}$ 式(9)
最大力	$F_{d,max} = K_d'' u_{d,max}$ 式(10)	$F_{a,max} = F_{d,max}$ 式(11)	$F_{max} = \sqrt{K'^2 + \alpha \cdot K''^2} \cdot u_{max}$ 式(12)
能量	$E_d = 4e^{-0.24\alpha} K_d'' u_{d,max}^2$ 式(13)	$E_a = E_d$ 式(14)	$E = E_a$ 式(15)

4. 變異係數 C_v 【圖 4-10 變異係數 C_v 的計算與圖解】、計算等次或條件別、最大變異、最大變異、最大變異】

序	平均 數 \bar{x}	標準 差 σ	標準 差 σ	變異係數 $C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$					
1	8	0.001	0.0001	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125
2	18	0.002	0.0004	0.0222	0.0222	0.0222	0.0222	0.0222	0.0222
3	28	0.003	0.0009	0.0333	0.0333	0.0333	0.0333	0.0333	0.0333
4	38	0.004	0.0016	0.0444	0.0444	0.0444	0.0444	0.0444	0.0444
5	48	0.005	0.0025	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556
6	58	0.006	0.0036	0.0667	0.0667	0.0667	0.0667	0.0667	0.0667
7	68	0.007	0.0049	0.0778	0.0778	0.0778	0.0778	0.0778	0.0778
8	78	0.008	0.0064	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889
9	88	0.009	0.0081	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
10	98	0.010	0.0100	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111

4. 圖解法 C_v 【圖 4-11 變異係數 C_v 的圖解法】

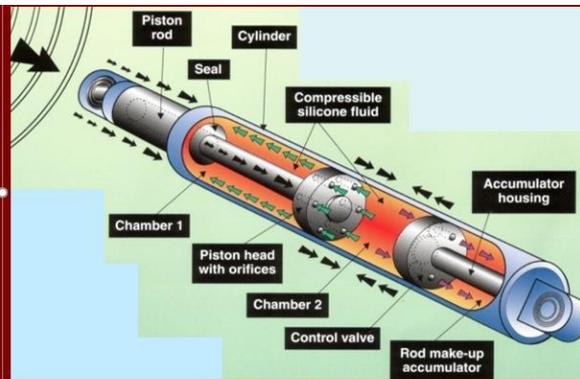
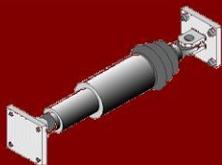
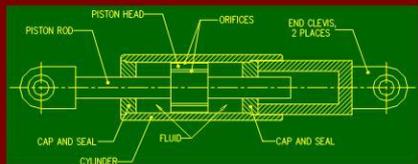
序	平均 數 \bar{x}	標準 差 σ	變異係數 C_v								變異係數 $C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$	變異係數 $C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$	變異係數 $C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$
			12.5%	25%	37.5%	50%	62.5%	75%	87.5%	100%			
1	8	0.001								0.0125	0.0125	0.0125	
2	18	0.002								0.0222	0.0222	0.0222	
3	28	0.003								0.0333	0.0333	0.0333	
4	38	0.004								0.0444	0.0444	0.0444	
5	48	0.005								0.0556	0.0556	0.0556	
6	58	0.006								0.0667	0.0667	0.0667	
7	68	0.007								0.0778	0.0778	0.0778	
8	78	0.008								0.0889	0.0889	0.0889	
9	88	0.009								0.1000	0.1000	0.1000	
10	98	0.010								0.1111	0.1111	0.1111	



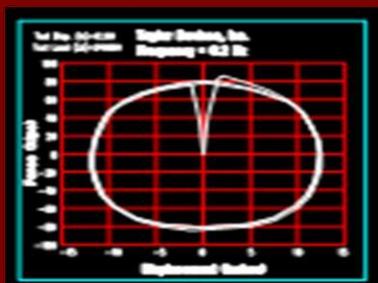
表格式 (例)

序	平均 數 \bar{x}	標準 差 σ	變異係數 $C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$
1	8	0.001	0.0125
2	18	0.002	0.0222
3	28	0.003	0.0333
4	38	0.004	0.0444
5	48	0.005	0.0556
6	58	0.006	0.0667
7	68	0.007	0.0778
8	78	0.008	0.0889
9	88	0.009	0.1000
10	98	0.010	0.1111

Viscous Damper



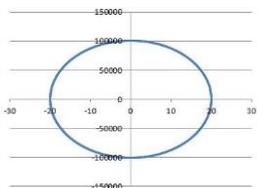
黏滯勁度 (viscous stiffness)



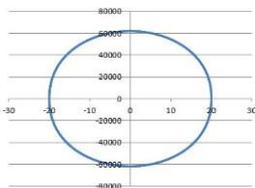
$$F = CV^\alpha$$

F = FVD之輸出阻尼力(t)
 C = 阻尼常數(t·sec^α/cm^α)
 V = 速度(cm/sec或m/sec)
 α = 常數值 · 0.3~1.0

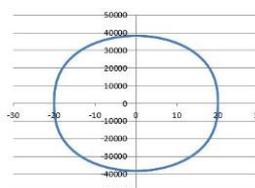
理論黏滯圖形



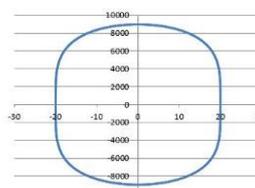
α = 1



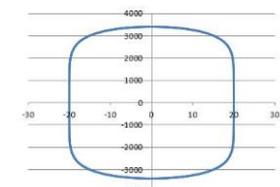
α = 0.9



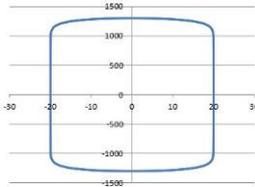
α = 0.8



α = 0.5



α = 0.3

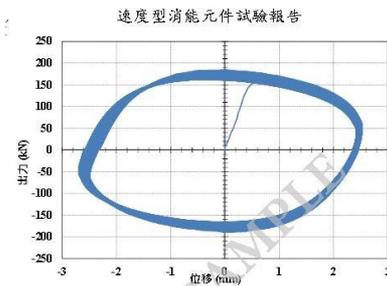
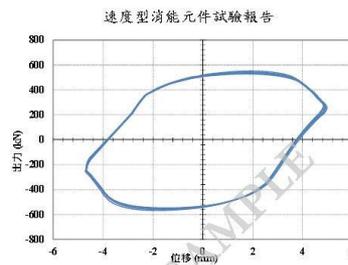
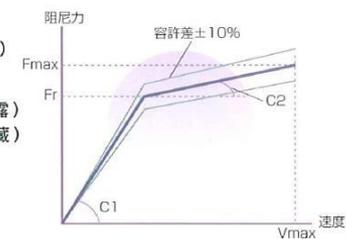


α = 0.1

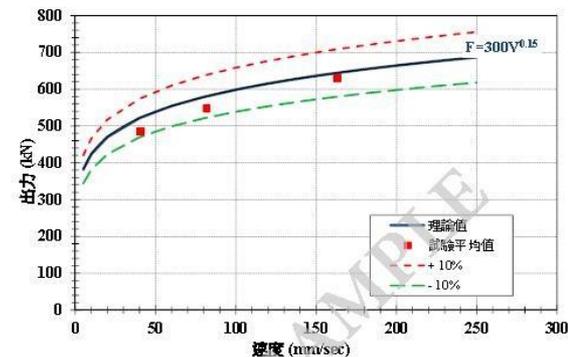
202P1215

- 最大速度 (150mm/sec)
- 衝程 (120mm (片衝程± 60mm))
- 被動式制震阻尼器
- 阻尼器種類 1: 剪力連接型 (閘門外露)
- 2: 剪力連接型 (閘門內藏)
- 4: 斜支撐型
- 5: 閘柱型
- 最大阻尼力 (2000kN)
- (株)

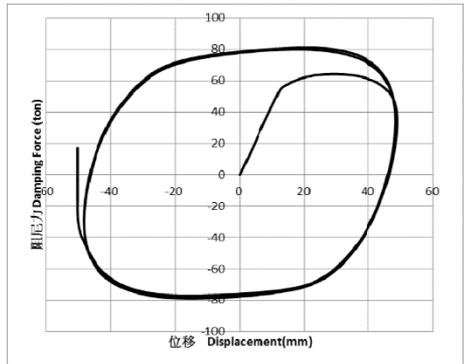
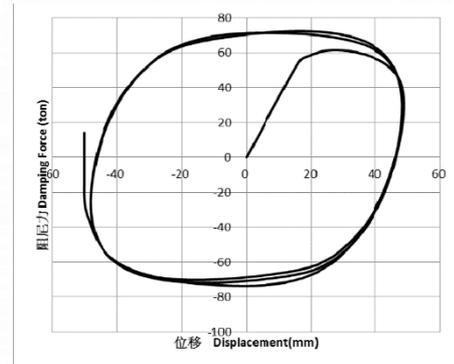
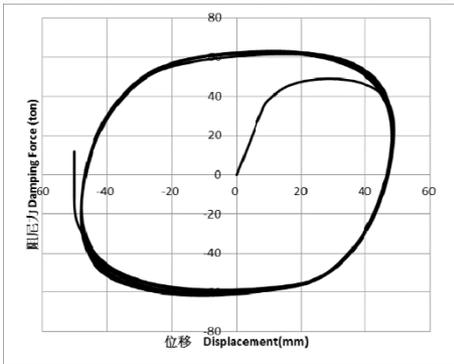
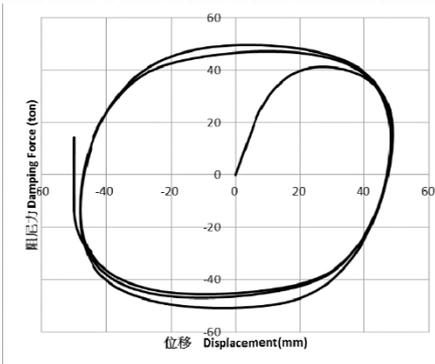
油壓阻尼器_力-位移曲線



速度型消能元件試驗報告



性能測試數值輸出成果

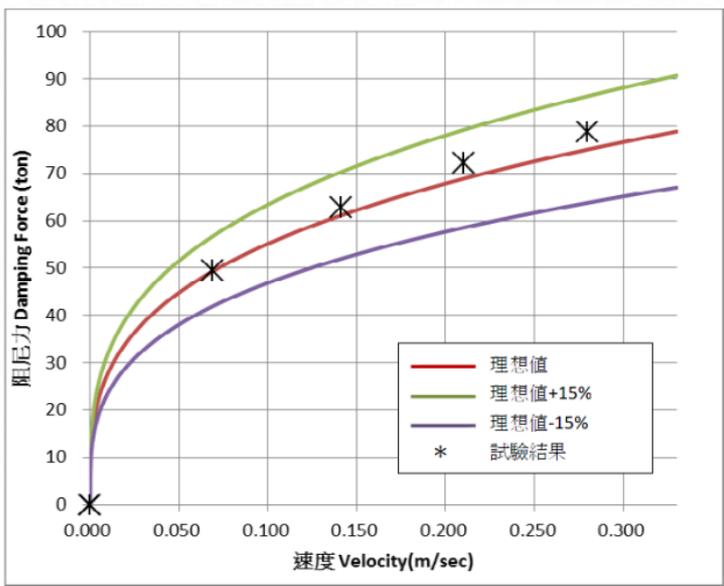


試驗頻率(Frequency): 0.5f(0.22Hz)
試驗振幅(Amplitude): ±50mm

試驗頻率 1.0f (0.45Hz)
試驗振幅±50mm

試驗頻率1.5f(0.67Hz)
試驗振幅±50mm

試驗頻率2.0f(0.89Hz)
試驗振幅±50mm



力量與位移曲線

理想噸數	75	ton	α 值	0.3	理想C值	110
頻率	試驗振幅	迴圈數	速度	理想力量	測得力量	誤差
(Hz)	(mm)	(cycles)	(m/sec)	(ton)	(ton)	(%)
0.5f	±50	6	0.07	49.35	49.45	0.21
1.0f	±50	6	0.14	61.16	62.89	2.82
1.5f	±50	6	0.21	68.92	72.15	4.69
2.0f	±50	6	0.28	75.05	78.74	4.92

PART4-簡報內容

- 第4部分:液流阻尼器(FVD)製程注意要點
- 第一章 前言
- 第二章 FVD的基本概念和性能要求
- 第三章 FVD不必要的容許和極限位移概念和要求
- 第四章 FVD的安全系數
- 第五章 FVD參數的合理取值範圍
- 第六章 FVD不漏油的保證
- 第七章 FVD的連接構造

第一章 前言

(一)從產品上看台灣、美國、日本及大陸等國對生產廠家有限的
阻尼器，均沒有制定國家的統一產品標準美國ASSTO規範應該
是對鎖定裝置(我們把它也看成阻尼器的一種)是僅有的也相
對的對此有最全面的產品要求，此基本局限於產品的材料要
求及其相應測試兩部分作為質量保證。但它不是「國際規範」
。在美國，應用阻尼器保護結構的耐震設計規範中都對產品
的最終檢驗作出明確規定，最後一道把關，這當然是十分重
要的。ASCE-7-05規範是其中最新版本。

(二)FVD目前在我國市場上**公共工程(補強)**及**建設公司(新建)**被有被採用，起碼自己稱為阻尼器的廠家有將近十幾家，其中大概國產和進口產品各半，以後可能還會更多。如果國內真有一本科學、嚴格、實事求是的**國家生產標準**，把好質量關卡，未嘗不可，也至關重要。

(三)但是，在討論問題前，有三點需要考慮：

1. 歸屬於結構保護系統的阻尼器，其工作原理看似簡單，產品的生產卻是十分複雜和困難。我們這些出身“結構”的專家，對產品本身的設計、生產理論和實踐；對產品的鑑定和測試到底了解多少？

2. 建築、橋梁結構結構用阻尼器是非常特殊產品。這近十家產品性能相差甚遠，**國家能否統一制定標準**，制定一個什麼樣的標準來統一管理，是個值得討論的首要問題。考慮到耐震的重要性，美國ASSHTO等規程是按世界最好的阻尼器來制定標準，最近幾年，多地震的我國、日本、韓國和墨西哥等國都對各國的產品作過大量試驗。
3. 我國在這種背景**尚無編制工廠生產標準**，將來是想和國際接軌，按高質量、高要求制定標準；還是按國內產阻尼器的最高水平制定一個標準；或者是僅希望所生產出來的產品只要做到阻尼器起碼的定性功能就可以。

第二章 FVD的基本概念和性能要求

(一)大家公認的速度型阻尼器的基本公式：

$$F = CV^\alpha$$

F-阻尼力；C-阻尼系數； α -速度指數。

速度指數為1時，為線性阻尼器，不等於1 時通稱非線性阻尼器。我們國內工程中通常的範圍0.1~1之間。

我國尚無《工廠生產標準》，但未來不如學習FEMA356規範，將標準列於規範中，對阻尼器的設計和檢驗都有好處。

第三章 不必要的容許和極限位移概念和要求

(一)近年起，我國和世界其它先進國家一樣開始引入結構位移計算和用位移判斷結構的安全性。作為位移控制結構的一個鑒定標準，也像強度控制一樣，引出了允許位移和極限位移的概念。基礎隔震結構和位移相關型阻尼器的位移，它是工作能力和安全與否的一個重要指標，引出了允許位移和極限位移的概念有其意義。但作為速度型阻尼器，其最大衝程只不過是考慮到其工作範圍的一個簡單指數，我們的耐震計算可能有小震、中震和大震，結構分析中也有容許位移和極限位移。

(二)相應對應的阻尼器位移也可以有小震衝程、中震衝程、大震衝程、容許位移和極限位移。特別應指出的是：對於一些大跨度結構而言，真正控制阻尼器位移的往往是溫度變形引起的，如許多的橋梁用阻尼器，由此，產生的位移往往遠大於動力位移。但是，作為阻尼器的生產廠家只有各種衝程中的最大值對其生產有意義。其它的因素只要結構設計者考慮清楚給出最大值就可以。在美國HITEC 的安全儲備測試中就是按這個原則處理的。對於速度型阻尼器提出按「極限速度」，來測試。

(三)毫無疑問，阻尼器的位移考慮也應該留有餘地。我們討論的是速度型阻尼器，**控制阻尼器安全的是速度(和出力)的大小**。衝程太大並沒有作用，衝程小了，阻尼器的運動可能超過，阻尼器的活塞頭會頂到頭，但只要出力不超過阻尼器最大力，並不會引起阻尼器破壞。因此，在阻尼器的訂貨和生產上，引出極限位移，允許位移的概念既沒有國際先例也沒有意義。當然，阻尼器頂到頭，阻尼器可能只能在一定範圍內發生正常作用，結構會有一定危險。因此，在計算完成，我們訂貨阻尼器時，**應該考慮放大其最大衝程**。因要按照最為不利條件下計算的結果，適當放大，考慮阻尼器的衝程位移量就可以，並且由結構工程師或阻尼結構設計時規範控制。僅此一個衝程指標就已經足夠。沒有必要再放到產品標準中特別考慮**(客製化)**。

(四) **美國FEMA356中規定最大位移取計算位移的1.3倍**，作為各種阻尼器設計的最大衝程。在美國目前的習慣是：設計人員被建議從計算結果中放大最大位移1.2~1.3倍處理。但阻尼器生產廠家僅對阻尼器最大衝程作很小的放大(一般+3MM)。

在前述參數一定時 ($V=2*\Pi*F*1.3\Delta$), 實際阻尼器運動的衝程大了, 如果在保持其他的參數不變(α 、 C), 阻尼器耗能也就可能更大, 若以容許位移和極限位移來作為它的安全係數, 就可能遺漏導致阻尼器真正的破壞的…超載能力。

第四章 FVD的安全系數

- (一)如果按我們建築結構位移控制指標來看，允許和極限位移的指標，把它理解為“安全係數”的概念，是不正確的。速度型阻尼器的荷載是速度，它安全與否和破壞完全取決於阻尼器的工作速度和出力的大小。阻尼器中無論活塞桿、活塞筒、密封裝置等部件的設計，都根據它的出力大小而定，也就是說當更大震度的地震荷載作用下，阻尼器兩端的相對運動速度快了，受力大了。而如上所述，**位移的大小是控制不了阻尼器本身的安全與否的**。
- (二)阻尼器的**安全儲備**主要取決於阻尼器各部件所能承受的外部荷載—速度和最終的出力大小。如前介紹，在美國HITEC的安全儲備測試中完全按速度的1.5倍或2倍來作測試安全的標準。

- (三)美國ASCE7-05規範是它將所有的安全儲備放到計算荷載中考慮，沒有涉及生產阻尼器時的安全儲備。也是另外種考慮問題的辦法。
- (四)阻尼器設計均考慮2到2.5倍的安全儲備。出廠產品均要確保1.5倍的安全係數。我們這裡所說的是阻尼器而不是結構的安全係數。考慮到我國實際生產五花八門的阻尼器，至少要設置1.5倍的安全係數。
- (五)每批應按不得低於20%的要求進行抽檢，且每批不應小於3件。
- (六)阻尼器的動力和疲勞測試主要有兩種：一種為地震荷載的測試，也就是大地震荷載下的低周波疲勞測試。另一種是最大風荷載下的高周波疲勞測試。

(七)其它

- 散熱能力和抗疲勞性能。間斷多了就失去試驗的目的。
- 不同頻率下的最大阻尼力的動力試驗。
- 內介質油的不穩定性， $\pm 15\%$ 以內的誤差是國際標準中所允許的。
- $F = 1000 \times 0.85 \times 1.5 = 1275kN$



第五章 FVD參數的合理取值範圍

- 阻尼器參數，速度指數(α)和阻尼係數C值是我們根據設計要求的兩個取值。原則上說，速度指數可以在0.1到2之間任意取值變化，但要注意，當小於0.2時我們計算結構動力歷時的SAP2000和ETABS程序都可能計算不收斂，而當大於1時，結構反應的收斂也很慢。最常用的是0.3到1之間。問題是，現階段，我們國內外產的阻尼器可以在這個範圍裡任意取值變化嗎？但國內外業者的產品目錄大都說自己可以達到這一要求，速度指數可以在0.1到1之間任意取值變化。建議國家應制定該產品的生產管理規範，且應設立第三方權威公立機構，依強制性的基本規範要求，事實求是地了解和鑑定一下，這些生產廠產品介紹中的事實是否可靠。



美國高速公路創新技術評估中心
大型集中對比試驗(HITEC)鑑定報告



美國科學基金會 (NSF) 組織的舊金山
金門大橋工程的對比檢驗 鑑定報告

第六章 FVD不漏油的保証

- 阻尼器是個內部壓力很大的高速運動中的密封體，任何泄漏都意味著阻尼功能的完全報廢。
- 更重要的是，先進的阻尼器是個安裝精確、緊密封、技術非常高的產品，離開工廠後是絕對不能拆開隨便處理的。無論是否是專業人員，脫離開阻尼器的生產控制和質量控制系統，**在工地上**的所謂“**排除故障**”是絕對禁止的。否則，阻尼器性能的所有測試都無法保証。再說，如果我們生產的阻尼器會出現這些問題，關係到我們建築安全可靠的這樣重要產品，我們能用嗎？

第七章 FVD的连接构造

- 阻尼器的規範內並沒有談到其連接構造，但它相對應的技術條件都有不可原諒的連接構造錯誤。生產阻尼器的人都應該知道，**阻尼器是個直線上雙向拉壓受力構件**，要確保阻尼器內部**不能有任何彎矩**的產生。這種彎矩會引起活塞桿變形，活塞桿與密封裝置之間位置的變化，這都非常容易引起阻尼器的漏油及其它破壞。通常專業廠商會做成阻尼器兩端球鉸和一端球鉸及遠端鉸接來確保阻尼器內沒有彎距產生。



PART-5 簡報內容

- 第5部分:液流阻尼器(FVD)測試注意要點
- 第一章 前言
- 第二章 FVD測試規範的完善
- 第三章 美國對FVD的核對總和測試
- 第四章 對FVD測試問題的建議

第一章 前言

(一) 上世紀八十年代中期，美國國家地震研究中心NCEER對流體控制阻尼器進行了一系列的動力測試和類比振動臺試驗研究，根據試驗結果建立了簡潔而準確的阻尼器計算模型下式：

$$F_D = CV^\alpha$$

九十年代中期，美國國家科學基金會(NSF)和美國土木工程協會(ASCE)等組織了兩次大型聯合測試：

(1) 1995年美國三藩市金門大橋抗震加固工程的對比檢驗，並由T. Y. LIN公司參與對測試結果進行評估；

(2) 1994年在美國高速公路創新技術評估中心(HITEC)主持下，由北美波音公司下屬的能源技術工程中心(ETEC)進行的大型試驗。

(二)這兩大測試的特點：

- (1)組織和評估單位由國家相關職能部門或協力廠商提出並執行，有客觀性和權威性。
- (2)測試內容及要求非常嚴格，測試內容涵蓋較為廣泛。
- (3)測試內容以技術報告的形式進行公示，透明度很高，並僅給出試驗結果，不給出結論，由使用者進行評判。
- (4)測試廠家不局限於美國，而是來自世界多個國家。
- (5)除隔震支座外，所測試的阻尼器均為液流及油阻尼器。

可以說，一個阻尼器產品是否能夠通過預檢測中所規定的測試內容，已經成為美國及國際工程界判定的標準和依據。

第二章 FVD測試規範的完善

(一)目前國內外很多規範或章程中對粘滯阻尼器的性能測試都提出了明確的要求，如美國聯邦緊急事務管理署的一系列推薦性規範FEMA273、FEMA368及FEMA450，美國加州結構工程師協會的SEAOC、美國土木工程師協會頒佈的ASCE-7，美國國家公路與運輸協會標準AASHTO-HITEC預檢驗測試以及我國的《建築物耐震設計規範及解說》等。這些測試規定的目的在於：

- (1)從根本上來說，產品性能是否符合液體粘滯阻尼器的技術要求。
- (2)驗證阻尼器的實際性能曲線與設計要求的吻合情況，並確保阻尼器可以達到設計中所要求的最大載荷。
- (3)驗證產品的品質是否可以適應自然環境下的惡劣條件，以決定是否可以用於實際工程中。

(4)檢驗阻尼器安裝到土木工程後的**耐久性及可靠性是否可以保證**。

從阻尼器在美國的發展及美國各類相應測試規範的要求可以看出，其強調的是阻尼器的產品性能和質量。這種要求也不難理解，因為對於精密加工的機械設備來說，其性能、耐久性是否能夠滿足相對於使用壽命50~100年、具有優良耐久性能的土木工程結構的要求，這的確需要通過嚴格的核對總和測試來保障。

第三章 美國對液體粘滯阻尼器的檢驗和測試

從總體上來看，在美國各類規程規範中關於阻尼器的測試可以概括為以下三個範疇。

3-1 產品的預檢驗(PREQUALIFICATION TEST)

- 下表為HITEC阻尼器預檢驗的測試項目列表，所測試的項目不僅包括阻尼器的一些基本特性，而且也考慮到阻尼器在使用過程中將會遇到的一些實際問題：如大風及車輛通過時引起的阻尼器低頻運動，外界複雜環境下(極限溫度、腐蝕環境)阻尼器的動力性能。

編號	測試項目	測試方法及試驗參數		說明
T1	基本性能檢驗/ 時變性測試 (Performance benchmark)	測試週期：2.0Sec (0.5Hz) 迴圈次數：10Cycles 測試位移：阻尼器設計最大位移		測試阻尼器衰減特性及動力穩定性；檢驗阻尼器滿足抗震的基本要求。
T2	頻率相關性測試 (Frequency Dependent Characterization)	測試頻率：0.05Hz～2Hz 迴圈次數：3Cycles 測試位移：控制最大位移確保阻尼器或設備在最大速度範圍內		測試阻尼器在頻率變化時的動力特性，驗證理論公式符合程度
T3	疲勞及磨損測試 (Fatigue and Wear)	長期環境模擬	測試週期：10.0Sec 迴圈次數：10000Cycles 測試速度： V≥114mm/min	模擬阻尼器在長期使用後遭遇地震作用，測試阻尼器的動力性能、檢驗抗疲勞及抗磨損性能。檢驗阻尼器在風荷載作用下的性能。
T4	環境老化測試 (Environment Aging)	在疲勞及磨損測試後，將測試樣品噴鹽1000小時；採用T2所示的測試方法及試驗參數；		模擬阻尼器在長期使用後並長期處於腐蝕環境後，遭遇地震作用，測試阻尼器的動力性能
T5	極限溫度下的動力測試 (Performance at Temperature Extremes)	低溫環境：-40°C/24小時 高溫環境：50°C/24小時 要求：75分鐘安裝就位，在4分鐘內完成動力測試		檢驗阻尼器在外界環境高溫及低溫下動力性能的穩定性
		測試週期：2.0Sec (0.5Hz) 迴圈次數：3Cycles 測試位移：阻尼器設計最大位移		
T6	耐久性測試 (Durability Test)	測試週期：2.0Sec (0.5Hz) 迴圈次數：20Cycles 測試位移：阻尼器設計最大位移		測試在強烈運動下阻尼器耐久性、量化阻尼器使用範圍
★ T7	超載測試 (Ultimate Performance)	作動器從-DD加速運動到+DD，然後由+DD反向加速運動到-DD。在次過程中施加0.5DV、1.0DV、1.5DV和2.0DV (DD為阻尼器設計位移、DV為設計速度)		測試在超過阻尼器設計速度情況下阻尼器的性能表現

備註：所測試的阻尼器樣品共5件，其中3件樣品完全相同(TA#2～TA#4均為150kip)，分別在上述測試時進行同一性檢驗，觀察產品的離散性。

3-2 產品原型測試(PROTOTYPE TEST)

原型測試是對工程上擬採用的阻尼器產品進行的實物檢驗，檢驗其是否滿足設計要求。一般的原型測試都根據相應的工程結構設計及工程現場實際情況制定，對所測試的專案要求也沒有預檢驗複雜。在美國FEMA、ASCE及SEAOC系列結構抗震及加固設計規程或規範關於阻尼裝置的相關章節中，均對阻尼器系統(阻尼器及連接件)提出了總體的控制要求，並對阻尼器需進行的原型測試進行規定，見下表：

編號	測試項目	測試方法及參數				判定標準
		頻率	循環N次	位移	其他	
T1	風載下 高周循環	$1NT_1$	2000	最大位移	a	沒有任何泄漏屈服或破裂等破壞
T2	地震下 低周循環	$1NT_1$	5	最大位移	如對溫度敏感需在最小、中間及最大溫度環境測試	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在測試的頻率和溫度下，任一循環中的阻尼器裝置在零位移的最大和最小阻尼力與各個循環中最大和最小力的平均值相比，誤差在15%以內任一循環中滯回耗能面積相比誤差小於15%。 2. 零位移下最大和最小阻尼力的平均值其等效剛度及每次測試的平均滯回面積在理論值的15%誤差內。
T3	頻率	$1NT_{1M} \ll 2.5NT_1$	5	振幅不大於地震作用的最大位移	如測試結果誤差超過±15%則同時在 $1NT_{1M}$ 和 $2.5NT_1$ 時測試	

T_1 : 為結構基本週期

T_{1M} : 為結構最大位移下，考慮倒塌屈服的結構有效週期

3-3 產品出廠質量驗收測試(QUALITY CONTROL TEST)

產品的品質接受度測試是在阻尼器應用到結構之前最為重要的測試環節。對於這部分測試，美國規範如ASCE-7，FEMA系列規程都做出了明確規定，即在經過結構工程師的批准後，但作為廠家品質控制的一部分，產品的出廠檢驗測試，可以作為阻尼器產品的質量的保證。最低測試內容應可以驗證阻尼器的力-速度-位移關係可滿足誤差控制的要求。測試的內容在業主及工程設計人的監督和認可下，可由廠家自行進行。每一個生產廠家由於產品特性不同，所進行的測試會有所區別。下面為的出廠品質檢驗基本要求：

(1)外形測試：檢查阻尼器外形幾何尺寸是否和設計要求一致，是否滿足設計允許誤差，檢查阻尼器有無漏油、油漆剝落、外殼損壞；

(2)超載耐壓測試：確保阻尼器在最大壓力甚至達到設計壓力的1.5倍時不能漏油，每一個阻尼器都必須經過這一檢驗；

(3)動力測試：所有阻尼器都要在類比動力的試驗設備上檢驗，要按設計要求做一個完整的滯回過程，給出阻尼力、衝程和速度的時程曲線、衝程和阻尼力的滯回曲線、不同衝程下的阻尼力與理論曲線的對比(要求在 $\pm 15\%$ 的誤差範圍內)。

第四章 對測試問題的建議

4-1 頻率相關性測試

對於測試的頻率設置範圍，應考慮到阻尼器的實際應用情況，如在 FEMA273、356 系列建築改造加固規範中規定(0.5~2.0F₁(F₁為結構基頻)之間，分別考慮到在地震振動作用下引起結構剛度下降和非結構構件引起的結構剛度加大兩種情況；而在 FEMA368、ASCE-7 對於新建結構用阻尼器的頻率測試範圍規定為 $1 T_{1M} \sim 2.5 T_{1M}$ 之間。

4-2 慢速位移測試

液體粘滯阻尼器是內部高壓密封系統，一般採用砂油作為介質，由於砂油所具有的可壓縮性而使其有別于普通液壓油，其密封裝置一般由動態密封和靜態密封兩部分組成，用於密封普通液壓油的普通橡膠密封裝置很難達到阻尼器密封的要求，如不經特殊處理，密封裝置在阻尼器內部一般均會產生一定的摩擦力。阻尼器內部摩擦力過大的缺點是：

- (1) 結構設計人員要求阻尼器在溫度荷載下可以自由變形，如果阻尼器內部摩擦力過大，將限制結構的溫度變形，從而引起結構溫度應力並產生裂縫，影響結構正常使用。
- (2) 摩擦力是由阻尼器內部密封裝置產生的，摩擦力過大使密封裝置的耐久性下降，降低阻尼器使用壽命。
- (3) 對於風振、車輛等微小振動，可能由於摩擦力過大而無法發揮阻尼器作用。

4-3 高週波疲勞測試

阻尼器安置到結構上開始服役後，每天面臨的動力荷載是結構日常運行所產生的微小振動，如脈動風對高聳結構產生的振動，頻繁通過的車輛或高速列車對大橋產生的振動。長期疲勞振動勢必造成阻尼器內部部件的磨損及老化。高周疲勞測試的目的在於：

- (1) 觀察在高周迴圈過程中阻尼器動力性能衰減情況。
- (2) 觀察在長期使用後如遇地震時阻尼器的工作情況。

類型	規章或規範中關於循環次數的規定		
分類項目	AASHTO LRFD	HITEC	ASCE、FEMA SEAOC
循環次數N萬次	10	1	0.2

高周疲勞測試循環次數

謝謝您的聆聽，請多指教