

汽車安全座椅吸震泡棉之材料模型建立與驗證

明門工程團隊

明門實業股份有限公司

摘要

研究證實，幼童乘坐汽車安全椅能夠減少在重大車禍中所受的傷害。為了降低車禍過程中，撞擊加速度對幼童造成之傷害，一種吸震泡棉被安裝在安全座椅上用來吸收撞擊所產生之動能。本文使用ABAQUS有限元素分析軟體針對此吸震泡棉，進行材料參數之擬合，並透過能量吸收試驗驗證，建立可預測此泡綿材料機械行為之材料模型，以期提昇安全座椅相關測試模擬之精確度。

關鍵字：汽車安全座椅、有限元素法、泡棉材料

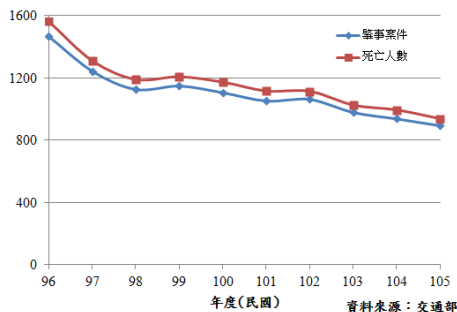
ABSTRACT

In the past studies, the children using safety car seat can reduce injury effectively in severe car accident. In order to decrease impact acceleration toward children during car accident, a specific energy-absorbing foam has been used to absorb kinetic energy during impact. In this paper, we attempted to use commercial finite element software, ABAQUS, to perform this foam material behavior. Furthermore, energy absorbing test will be carried out to validate the material model so as to enhance the accuracy of the car seat simulation.

Keywords: Safety car seat, Finite element method, Low density foam

一、緒論

明門實業股份有限公司(以下簡稱明門公司)專注於嬰兒車、安全座椅、嬰兒床、高腳椅等嬰幼兒產品之全球市場需求與產品設計研發改良。二十世紀以來，汽車成為人類移動的重要交通工具，但是也衍生出許多交通意外，圖一為台灣十年內汽車交通統計，平均死亡人數達 1163 人，故提升汽車行駛之安全性更是當今社會的重要議題。



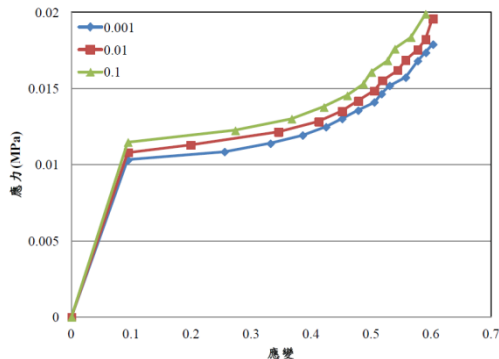
圖一：汽車事故統計

相較於成人，幼童更容易在交通事故中產生嚴重的傷害，例如兩歲以前的幼童，其支撐頭部的頸部肌肉尚未發展成熟，當車禍發生時，因慣性力造成的擺盪經常導致幼童頭部及頸部的傷害，而安全座椅利用安全帶將幼童妥善固定於安全座椅內，研究證實，安全座椅能有效減少汽車撞擊時對幼童造成的危害。除此之外，車禍過程所產生的撞擊加速度將同時對安全座椅本體及幼童造成嚴重損傷，為了改善此情況，吸震泡棉被安裝於安全座椅內，用來吸收衝擊所產生的動能，減緩衝擊加速度對安全座椅本體及幼童造成之傷害。

本文旨在透過有限元素分析擬合安全座椅所使用之吸震泡棉材料參數，並透過能量吸收試驗驗證，建立可預測此泡綿材料機械行為之材料模型，以提昇分析安全座椅相關產品之精準度，並且有效節省開發成本及縮短開發時間。

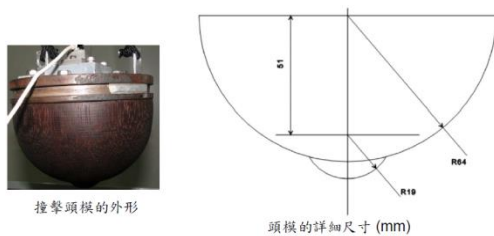
二、分析程序及邊界條件

當車禍發生時，車輛間通常以極快之速度互相撞擊，因此須考慮吸震泡棉在高應變率下之材料性質，以準確模擬其力學行為。利用萬能材料試驗機進行吸震泡棉的壓縮試驗，所得到的應力應變曲線如圖二所示，發現隨著應變率增加，泡棉材料呈現硬化的情形。



圖二：吸震泡棉之應力應變曲線

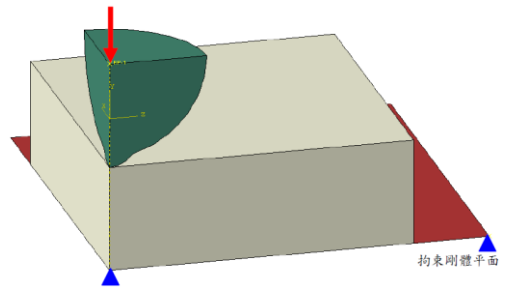
由於萬能材料試驗機無法進行高應變率的壓縮試驗，本文以能量吸收試驗 (Test of energy absorbing material) 作為驗證，試驗設備如圖三所示，由一實心撞擊頭模，於特定高度(100mm)釋放，使其自由落下並且撞擊待測試之吸震泡棉，頭模內部設有加速規儀器，能夠量測試驗過程中頭模之加速度歷程，最後的結果將與模擬結果進行對比。



圖三：能量吸收試驗設備[1]

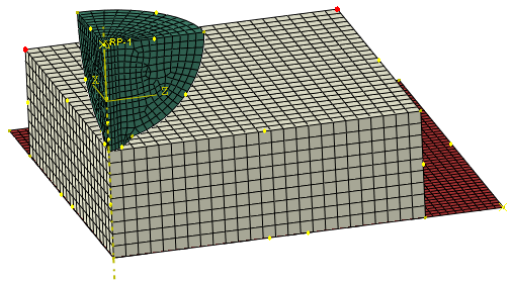
此頭模為一接近半圓球體，測試用泡棉則被裁切為一 400mm×400mm×64mm 大小之六面體，頭模撞擊位置為泡棉之正中心。在有限元素模型中，我們將頭模及泡棉模型簡化為四分之一對稱模型，並於對稱面上施加對稱邊界條件進行模擬。為節省計算時間，利用能量守恆公式將位能轉換為動能，計算出撞擊瞬間之初速度為 1400 mm/s；並於試驗設備加速規安裝位置上設置參考點以記

錄模擬之加速度歷程。此外，頭模之勁度遠大於泡棉，因此以剛體拘束對頭模進行簡化，並於泡棉底部設置一剛性平面固定。有限元素模型設定如圖四所示。



圖四：有限元素模型設定

欲模擬之吸震泡棉形狀為規則六面體，使用 C3D8R(一階六面體減積分)進行網格切割，元素大小為 8mm，總共使用元素為 8625 個，網格模型如圖五所示。

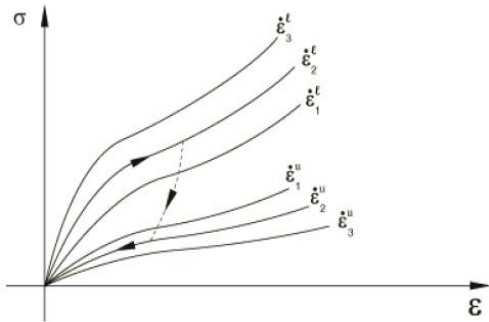


圖五：網格模型

三、材料設定

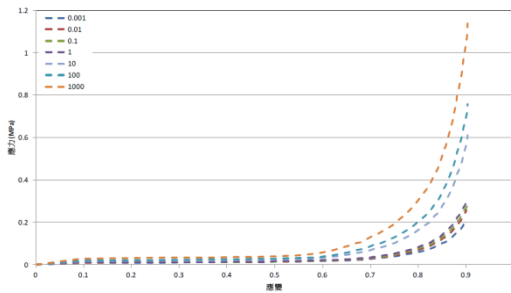
本文使用的吸震泡棉，其密度約為 30kg/m³，相較於一般材料(鐵約為 7800 kg/m³、塑膠約為 900-1200 kg/m³)，屬於低密度材料，同時觀察泡棉單軸壓縮試驗數據(圖二)，不難發現其隨著應變率增加，材料硬化的現象。根據上述材料行為，ABAQUS 內之 Low density foam 材料模型較適合用來模擬此材料之行為，此模型能夠模擬低密度、高壓縮性且對加載速率敏感之材料，其建立之材料應力應變曲線如圖六所示。

由於泡棉材料不易進行拉伸試驗，且使用在安全座椅上時，受力情況以壓縮居多，故在此我們假設材料的拉伸行為與壓縮行為為相同。



圖六：Low density foam 應力應變曲線 [2]

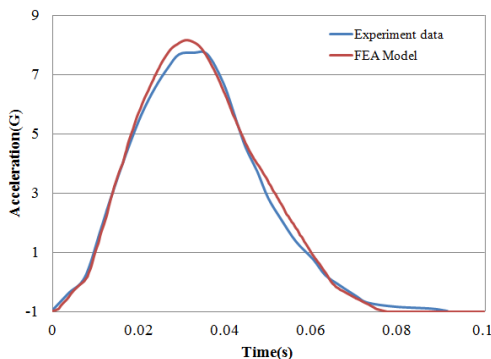
此外，因為泡棉的高應變率壓縮試驗不易進行，本文中使用的靜態萬能試驗機只能量測到最大0.1應變率之壓縮曲線，故我們參考D.V.W.M. de Vries(2009) [3]中提到的材料模型進行外插，其不同應變率之應力應變曲線如圖七所示，並以此數據輸入ABAQUS進行能量吸收模擬。



圖七：不同應變率之材料參數曲線

四、分析結果與討論

將頭模內部加速規量測到的數據與模擬所記錄之加速度歷時進行對比，結果如圖八所示，橫軸為時間(s)，縱軸為加速度(G)。



圖八：模擬與實驗之加速度歷時

如圖八所示，模擬與試驗結果之趨勢非常接近；模擬結果中頭模的最大加速度值約為 8.2G，實驗量測得到的頭模最大加速度值為 7.8G，誤差為 5.1%，屬工程應用可接受的範圍。顯示此材料模型之能量吸收行為與實際情況接近，能夠延伸應用於其他模擬分析。

五、結論與未來展望

本文以單軸壓縮試驗之應力應變曲線，假設材料的拉伸與壓縮行為相同，且因高應變率壓縮曲線難以取得，故使用外插的方式來建立材料模型。雖然以能量吸收試驗驗證模擬結果與實測相符，但缺少其他受力行為試驗驗證，較難評估模型之適用性，未來可以進一步量測吸震泡棉之拉伸行為以及高應變率下之應力應變曲線，使此泡棉材料模型更為完備。

除此之外，本文只針對固定尺寸(400mm × 400mm × 64mm)之泡棉在常溫(23°C)下進行分析，未來可以針對不同尺寸的泡棉，在不同溫度條件下，進行實驗與模擬結果之對照，以掌握泡棉材料之特性，來建立更精確的泡棉材料模型。

六、參考文獻

- [1] ECE Regulation 44.04, "Regulation no 44 of the economic commission for europe of the united nations (un/ece) — uniform provisions concerning the approval of restraining devices for child occupants of power driven vehicles ('child restraint systems')." Official Journal of the European Union, 2005.
- [2] ABAQUS 6.14, "Analysis User's Guide."
- [3] D.V.W.M. de Vries, "Characterization of polymeric foams," 2009, pp. 6-7.