

玻璃材料於球擊實驗的驗證

黃富國¹

(1.鴻海精密工業股份有限公司/New PCEBG/DTSA, 台灣省)

摘要：本文旨在討論玻璃適用的網格模型和材料模型的正確性，應用於靜態響應和動態響應上，並經由模擬和實驗的比對，確認了方法的可靠性。首先我們透過資料搜尋和自做實驗，分別取得康寧 Gorilla、康寧 Gorilla2 和強化 Soda-Lime 的基礎材料實驗資料；接著以這些實驗資料為基礎，找出了三種玻璃的破壞標準；最終，將此破壞標準應用於一體機的球擊實驗破壞預測上，並得到很好的準確性。

關鍵字：玻璃；斷裂；球擊；康寧 Gorilla；康寧 Gorilla2；強化 Soda-Lime；實驗驗證

The Verification of Glass-like Material in Ball Drop Test

Kerry Huang¹

(1.HON HAI PRECISION IND.CO.,LTD/New PCEBG/DTSA, Taiwan)

Abstract: In this thesis, we discussed the suitable mesh and material model when we do glass-like material simulation and use results to get good static and dynamic response. By comparison between the simulation results and experimental data, we have high confidence in using this method. First we get Corning Gorilla, Corning Gorilla 2 and Strengthen Soda-Lime glass material experimental data by searing on the web and do some test. Then based on these data, we get the failure criteria of these three kinds of glass. And we do a ball drop test simulation of All-in one product and to check if the glass would be broken or not. The results are good and it show us our method is good enough to predict the glass failure happened under static and dynamic response.

Key words: Glass ; Failure ; Ball Drop ; Corning Gorilla ; Corning Gorilla 2 ; Strengthen Soda-Lime ; Verification

0 引言

經由玻璃材料於模擬上的建模工作基礎研究後，我們確認此類型材料於靜態問題和於動態問題(本文以球擊實驗為基礎)的判斷標準以及建模方法。我們進行了後續研究，透過實驗方法比對模擬結果和實際結果的差異性，藉以確認模擬手法的可靠度以及可持續修訂的破壞標準。依序進行了以下工作

- (1) 模擬模型的變異性
- (2) 單一材料實驗
- (3) 材料參數校正和破壞標準
- (4) 系統級分析驗證

1 模擬模型的變異性

由先前的研究可得知，關於玻璃材料的破壞標準，可使用最大主應力或是以元素是否發生消滅兩種方法，最大主應力的方法適用於線彈性模型、而元素消滅的方法必須搭配 **Brittle Cracking** 材料模型使用。在建立網格模型上，此兩種方法所對應到的適合元素類型以及元素尺寸也有所不同，(表一)為以 0.5mm 厚玻璃進行的網格模型適用性研究。

	元素類型	四點彎矩	球擊
最大主應力	S4R	5mm	1mm
	SC8R	5mm	1mm
	C3D8I	5mm	1mm
元素消滅 Brittle cracking	S4R		
	SC8R		
	C3D8I	5mm/雙層	1mm/雙層

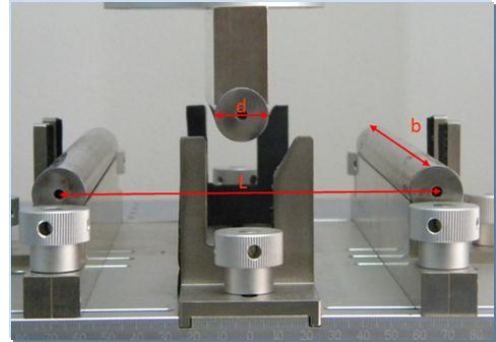
(表一)

2 單一材料實驗

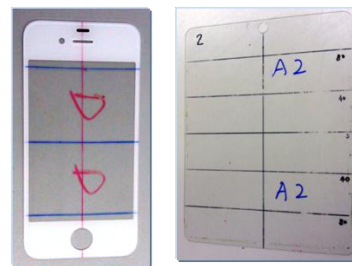
為了降低模型複雜程度以及釐清影響模擬結果的因素，必須針對玻璃單體進行材料實驗，而根據響應時間的不同，可分成靜態響應的三點/四點彎矩實驗，以及動態響應的球擊實驗。於本文中我們針對康寧公司的 **Gorilla** 系列玻璃以及強化 **Soda-Lime** 玻璃進行研究。考慮資源取得的容易性，除了自行進行實驗外，我們還於網路上搜尋到康寧公司的研究資料，並予以引用，藉由這些基礎實驗，搭配模擬模型變異性的研究，我們將可以制定出此兩種玻璃材料於不同響應下的破壞標準。

2.1 Gorilla 三點彎矩

此部分實驗由鴻海公司進行，我們取得了 **Gorilla** 的實驗樣品並進行三點彎矩實驗，如(圖一)，實驗樣品分成兩種尺寸，如(圖二)，共進行了五次實驗。於實驗中都將玻璃壓到破壞，如(圖三)，並且記錄受壓時的力量-位移曲線資料以供破壞標準的建立。



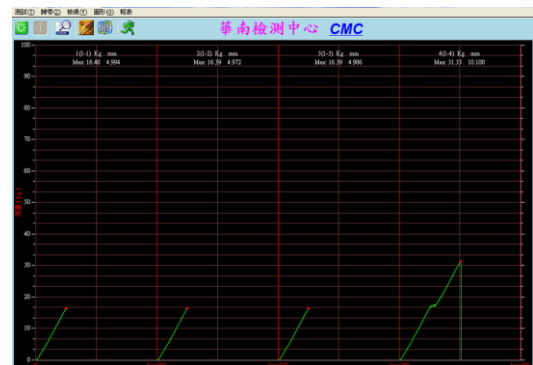
(圖一)



(圖二)



(圖三)



(圖四)

2.2 強化 Soda-Lime 三點彎矩

此部分實驗資料是引用康寧公司網站了測試影片，於測試中 Gorilla 於下壓量達 70mm 時仍未產生破壞，如(圖五)；而強化 Soda-Lime 於下壓量達 14mm 時即發生破壞的情形，如(圖六)。



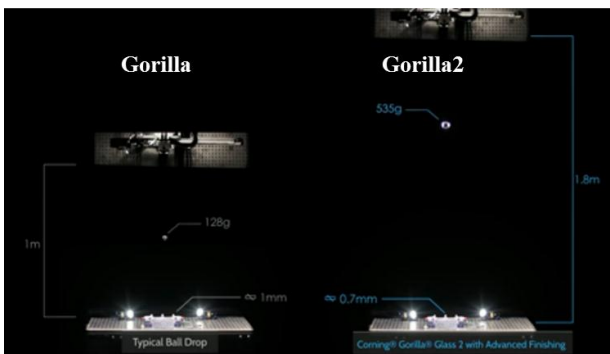
(圖五)



(圖六)

2.3 Gorilla & Gorilla2 球擊實驗

此部分實驗資料是引用康寧公司網站了測試影片，於影片中分別測試了 Gorilla 和 Gorilla2 兩種系列的玻璃，如(圖七)。兩種玻璃於球擊過程中均未產生破壞，詳細的測試參數可見(表二)。



(圖七)

	鋼球重量(g)	高度(mm)	玻璃厚度(mm)	狀態
Gorilla	126	1000	1	PASS
Gorilla2	535	1800	0.7	PASS

(表二)

2.4 Gorilla & 強化 Soda-Lime 球擊實驗

此部分實驗資料是引用康寧公司網站了測試影片，於影片中分別測試了 Gorilla 和強化 Soda-Lime 兩種系列的玻璃。於球擊過程中，強化 Soda-Lime 產生破壞，如(圖八)，而 Gorilla 未發生，如(圖九)，詳細的測試參數可見(表三)。



(圖八)



(圖九)

	鋼球重量(g)	高度(mm)	玻璃厚度(mm)	狀態
Gorilla	126	1000	1	PASS
Gorilla2	535	1800	0.7	PASS

	20inch	30inch	46inch
Soda-Lime	PASS	NG	-
Gorilla	PASS	PASS	PASS

(表三)

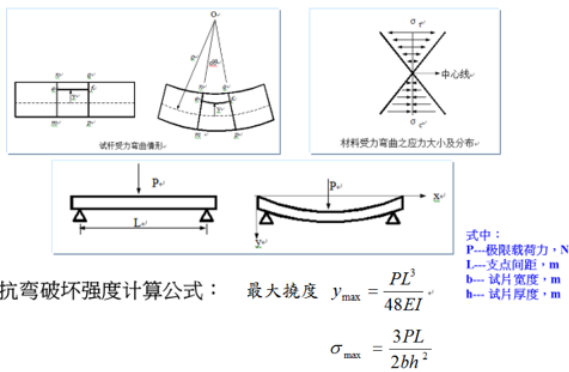
3 材料參數校正和破壞標準

利用收集到的單一材料實驗資料，我們可以運用材料力學公式以及有限元素法模擬方法，分別取得各種玻璃於靜態響應和球擊的動態響應的破壞標準。而除了由鴻海公司進行的實驗之外，我們大幅利用了 Abaqus/CAE 所提供的工具，藉由比對康寧網站上取得圖片或影片，取得模型的

尺寸參數以供破壞標準的制定。同時由於各種材料實驗資料間彼此有一定的相關性，我們進行交叉比對來確認參數的合理性。

3.1 Gorilla 三點彎矩

計算破壞應力的公式可見(圖十)，透過計算，五組實驗資料所得出的破壞應力值可見(表四)。我們採用最小值 626Mpa 作為判斷標準。



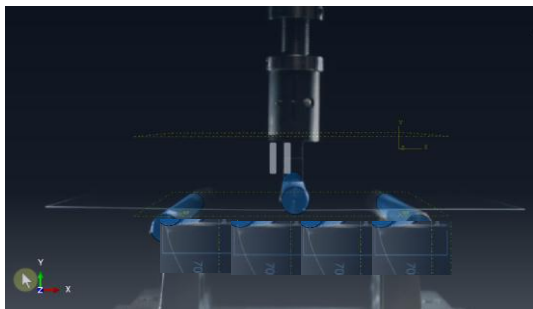
(圖十)

	Force	t	L	b	Stress (MPa)
6 (Ipad1)	62.58	0.8	80	183.6	626.95
8 (Ipad1)	62.52	0.8	80	183.6	626.34
9 (IPhone4)	40.26	1	70	56	739.77
10(IPhone4)	39.87	1	70	56	732.61
11(IPhone4)	36.42	1	70	56	669.21

(表四)

3.2 強化 Soda-Lime 三點彎矩

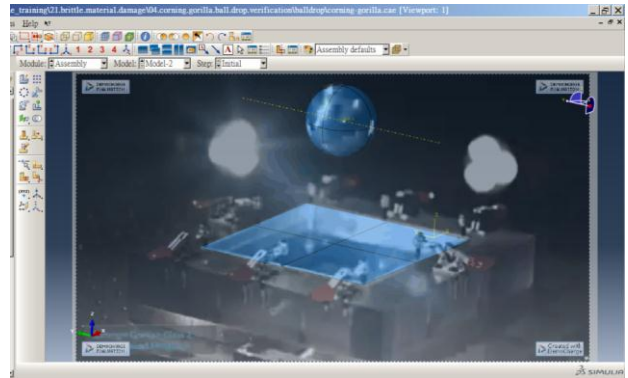
模型尺寸和實驗照片的對比可見(圖十一)，而計算破壞應力的公式同樣如(圖十)，透過計算可以得出強化 Soda-Lime 於靜態響應的破壞應力值約為 67.26Mpa；而 Gorilla 於下壓 70mm 時的應力值為 336Mpa，小於我們之前得出的破壞標準 626Mpa，因此結果有高的可靠度。



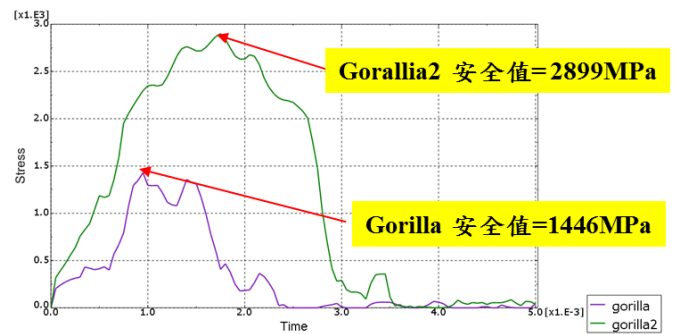
(圖十一)

3.3 強化 Soda-Lime 三點彎矩

模型尺寸和實驗照片的對比可見(圖十二)，利用有限元素方法建立模型以及搭配實驗條件，取得 Gorilla 和 Gorilla2 兩種玻璃於球擊實驗的安全應力值。



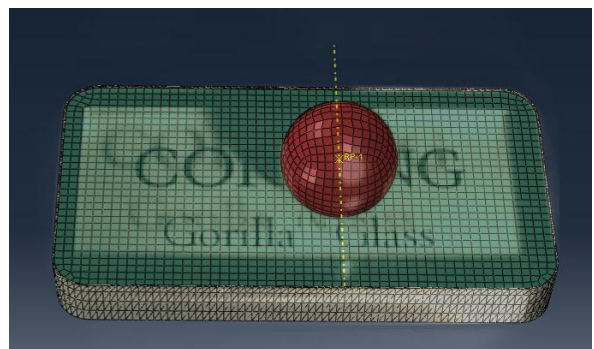
(圖十二)



(圖十三)

3.4 Gorilla & 強化 Soda-Lime 球擊實驗

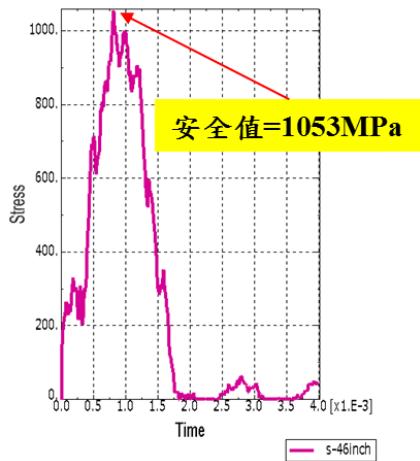
模型尺寸和實驗照片的對比可見(圖十四)，利用有限元素方法建立模型以及搭配實驗條件，取得 Gorilla 和強化 Soda-Lime 兩種玻璃於球擊實驗的應力值。由於實驗資料中未說明玻璃厚度的資訊，因此我們先假設厚度為 1mm，利用交叉比對其他實驗資料的方法，進行厚度的確認。



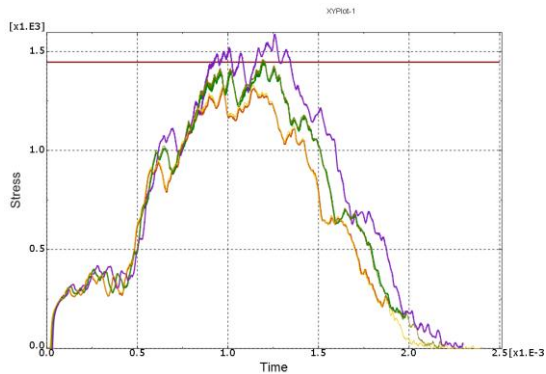
(圖十四)

由實驗結果可得知 Gorilla 玻璃於 46inch 的球擊條件下未發生破壞，但模擬得出的應力值為 1053Mpa，可見(圖十五)，此遠小於先前得出的結果。我們假設 46inch 為臨界應力值，即超過 46inch 的球擊後，Gorilla 將會發生破壞，藉由調整玻璃模型的厚度，找出適當的玻璃厚度，最後可以確認玻璃厚度應該為 0.75mm。

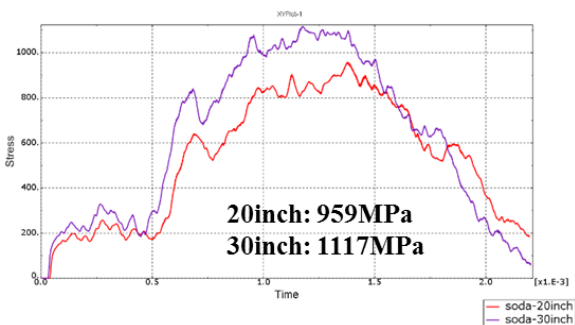
使用玻璃厚度為 0.75mm 的模型進行 20inch 和 30inch 的球擊實驗後，可以得出強化 Soda-Lime 於球擊實驗的破壞標準約為 1110Mpa，可見(圖十七)



(圖十五)



(圖十六)



(圖十七)

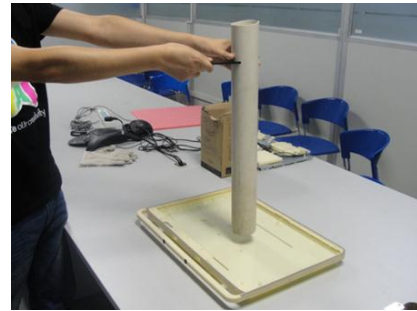
最終我們確定了三種玻璃材料於靜態響應和動態響應的破壞標準，可見(表五)。

	靜態(Mpa)	球擊(Mpa)
Gorilla	626	1446
Gorilla2		2899
強化Soda-Lime	67	1110

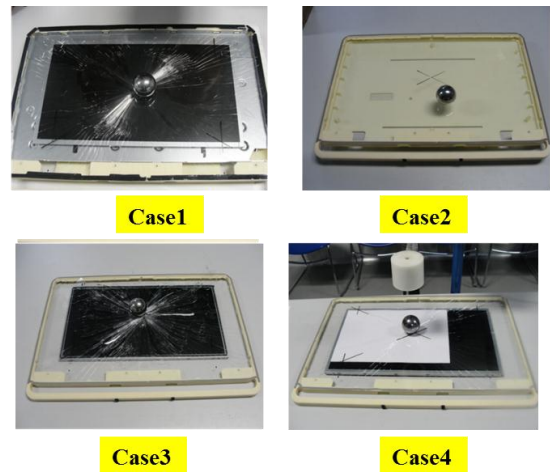
(表五)

4 系統級分析驗證

利用得出的破壞標準，我們將其應用於一體機的球擊實驗上，並比對模擬和實驗的結果。一體機的球擊實驗方法可見(圖十八)，是一個簡單的測試設備。根據不同的搭配，討論玻璃與螢幕之間的間距對於結果的影響，實驗結果可見(圖十九)、，詳細的測試參數可見(表六)



(圖十八)

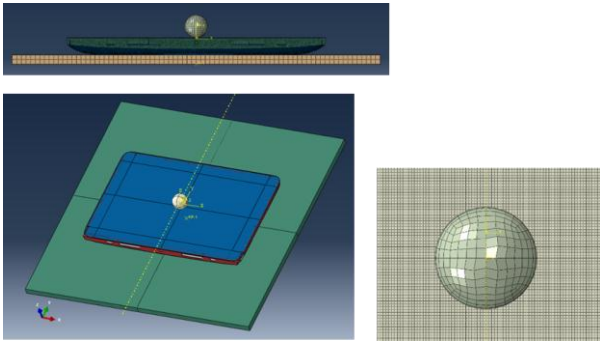


(圖十九)

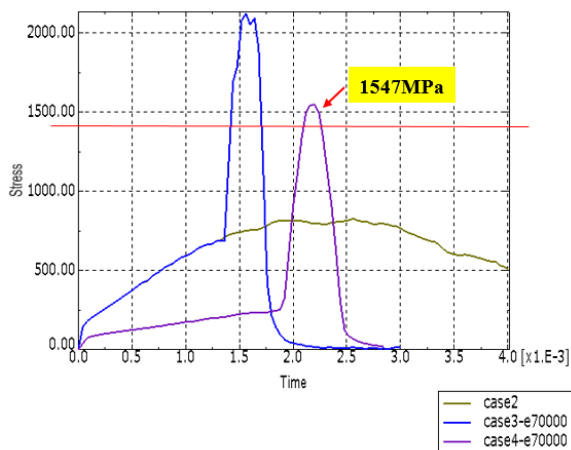
Case	Test Configure	Audio Glass	Gap	Ball weight	Ball Diameter	Drop Height	Test Result
1	Bare Chassis + 18.5" LCD Panel	Corning 0.55mm	2mm	500g	50mm	500mm	Fail
2	Bare Chassis	Corning 0.7mm	> 10mm	500g	50mm	500mm	Pass
3	Bare Chassis + 18.5" LCD Panel	Corning 0.7mm	4mm	500g	50mm	500mm	Fail
4	Bare Chassis + 18.5" LCD Panel	Corning 0.7mm	2.5mm	500g	50mm	100mm	Fail

(表六)

分析模型可見(圖二十)，使用的模擬條件如同測試使用的參數，於破壞是否發生的判斷上，我們使用(表五)的資料，對於 Gorilla 於球擊測試的響應進行評估，結果可發現實驗與模擬的結果趨於相同，於實驗發生破壞的工况下，模擬中的最大主應力值同樣超過了破壞標準，可見(圖二十一)。此代表了我們使用的建模方法和採用的破壞標準均具備可靠性。



(圖二十)



(圖二十一)

4 結論

透過現有的實驗資料搭配先前的模擬方法研究，成功地找出玻璃於靜態測試和球擊測試的破壞強度以及建模方法。此方法可先將表面缺陷造成的破壞因素先排除以簡化問題。

後續可用本文所述方法，研究其他系列或廠牌的玻璃破壞標準，並建立標準材料庫，如 Gorilla3、DragonTril 和藍寶石玻璃等，此外本文中只使用了球擊實驗作為動態響應的實驗方法，後續應進行其他動態測試的驗證工作使標準更全面性，如落摔測試等，同時可以進行考慮因表面缺陷造成的破壞，進行玻璃品質的檢驗。

5 參考文獻

5.1 使用數值方法討論 Brittle Cracking 材料模型應用於玻璃的適用性

5.2 康寧公司官方網站影片

<http://www.corninggorillaglass.com/gorilla-channel/How-Corning-Tests-Gorilla%C2%AE-Glass>

5.3 康寧公司官方網站影片

http://media.corning.com/flash/specialtymaterials/2008/Gorilla_Glass/index.html