

# 中華民國國家標準

## C N S

### 遊戲場設備使用範圍內鋪面材料衝擊衰減 性能試驗法－第 1 部：實驗室試驗法

Method for determining impact attenuation of  
surfacing materials within the use zone of  
playground equipment – Part 1 : Laboratory test

CNS 12643-1:2021  
A1044-1

中華民國 110 年 3 月 22 日制定公布  
Date of Promulgation:2021-03-22

中華民國 年 月 日修訂公布  
Date of Amendment: - -

本標準非經經濟部標準檢驗局同意不得翻印



## 目錄

節次	頁次
前言 .....	3
1. 適用範圍 .....	4
2. 引用標準 .....	4
3. 用語及定義 .....	4
4. 性能要求事項 .....	8
4.1 鋪面性能參數 .....	8
4.2 性能準則 .....	8
4.3 臨界墜落高度 .....	8
5. 試驗方法概要 .....	9
6. 重要性及用途 .....	9
7. 設備操作員資格 .....	9
8. 試驗裝置 .....	9
8.1 溫度量測裝置 .....	9
8.2 衝擊試驗系統 .....	9
8.3 加速度量測系統 .....	10
8.4 量測落下高度 .....	12
8.5 電池供電設備 .....	13
8.6 系統完整性檢查 .....	13
8.7 設備性能查證 .....	13
9. 計算 .....	13
9.1 理論落下高度 .....	13
9.2 g-max 值 .....	14
9.3 平均 g-max 值 .....	14
9.4 投射物角度之決定 .....	14
9.5 頭部傷害指數(HIC)值 .....	14
10. 設備檢查 .....	14
11. 衝擊試驗步驟 .....	15
11.1 數據記錄 .....	15
11.2 數據檢查 .....	16
11.3 數據分析 .....	16
12. 臨界墜落高度試驗之溫度調節 .....	16
12.1 遊戲場鋪面或鋪面材料之臨界墜落高度 .....	16
12.2 溫度狀態調節 .....	16
12.3 溫度穩定性要求 .....	16

(共 35 頁)

13. 一體化鋪面臨界墜落高度試驗 .....	17
13.1 試樣數 .....	17
13.2 樣本製備 .....	17
13.3 一體化鋪面性能參數 .....	17
13.4 臨界墜落高度試驗 .....	17
14. 鬆填式鋪面臨界墜落高度試驗 .....	17
14.1 材料樣本數量 .....	17
14.2 樣本製備 .....	17
14.3 樣本狀態調節 .....	17
14.4 鬆填式鋪面性能參數 .....	18
14.5 臨界墜落高度試驗 .....	18
15. 臨界墜落高度試驗步驟 .....	18
15.1 試驗步驟 .....	18
15.2 臨界墜落高度 .....	18
16. 報告 .....	18
17. 精密度及偏差 .....	20
附錄 A (規定)濕潤/凍結狀態調節 .....	22
附錄 B (規定)設備查證步驟 .....	24
附錄 C (參考)傷害風險曲線 .....	30
附錄 D (參考)量測誤差影響 .....	32
參考資料 .....	35

## 前言

本標準係依標準法之規定，經國家標準審查委員會審定，由主管機關公布之中華民國國家標準。

依標準法第四條之規定，國家標準採自願性方式實施。但經各該目的事業主管機關引用全部或部分內容為法規者，從其規定。

本標準並未建議所有安全事項，使用本標準前應適當建立相關維護安全與健康作業，並且遵守相關法規之規定。

本標準之部分內容，可能涉及專利權、商標權與著作權，主管機關及標準專責機關不負責任何或所有此類專利權、商標權與著作權之鑑別。

## 1. 適用範圍

- 1.1 本標準規定對安裝在遊戲場設備使用區內的遊戲場鋪面材料衝擊衰減建立基本性能要求。
- 1.2 本標準適用於與遊戲場設備結合使用的鋪面材料，例：CNS 12642、CNS 15913、ASTM F1148<sup>[1]</sup>、ASTM F1487<sup>[2]</sup>標準中所述鋪面材料。
- 1.3 本標準建立遊戲場鋪面材料的衝擊衰減性能標準，以臨界墜落高度表示。
- 1.4 本標準建立在實驗室條件下測定遊戲場鋪面材料臨界墜落高度的步驟。對於鋪面符合本標準的要求應遵循實驗室試驗。
- 1.5 本標準規定實驗室試驗為乾鋪面材料之性能。
- 1.6 本標準亦提供在濕潤狀態及/或凍結試驗條件下測定臨界墜落高度之選項步驟。
- 1.7 在實驗室條件下測定之遊戲場鋪面材料的臨界墜落高度，並無考量潛在可能影響所安裝之鋪面材料實際性能的重要因素。已知影響鋪面材料性能的因素包括惟不限於老化、水分、維護、暴露於極端溫度(例：凍結)、暴露於紫外線、其他材料污染、夯實、厚度損失、收縮、浸入水中等。
- 1.8 本標準建立特定於頭部傷害風險的衝擊衰減試驗法及試驗法內容。只有很少證據說明，符合本標準要求可降低其他嚴重損傷的風險(例：長骨骨折)。  
備考：可使用附錄 C 之資訊估計致命及不同程度的頭部傷害的相對風險，上述資訊顯示頭部傷害指數(HIC)值與頭部傷害機率之間的關係。
- 1.9 本標準僅與遊戲場鋪面材料的衝擊衰減性質有關，並未涵蓋導致墜落相關傷害的其他因素。雖認為符合本標準要求將降低嚴重傷害及墜落死亡的風險，惟遵守本標準並不能防止所有傷害與死亡。

## 2. 引用標準

CNS 12642	公共兒童遊戲場設備
CNS 12643-2	遊戲場設備使用範圍內鋪面材料衝擊衰減性能試驗法－第 2 部：現場試驗法
CNS 15913	軟質封閉式遊戲設備

## 3. 用語及定義

### 3.1 遊戲場安裝相關用語及定義

#### 3.1.1 臨界墜落高度(critical fall height, CFH)

量測遊戲場鋪面或鋪面材料之衝擊衰減性能，定義為符合本標準規定之衝擊衰減性能指數的最高理論落下高度。臨界墜落高度接近預期不會發生致命性頭部傷害之最大墜落高度。

#### 3.1.2 指定遊戲平面(designated play surface)

任何可供站立、走動、坐或攀爬之架高平面，或一個寬與長均大於 50 mm 且傾斜角度小於 30°之平臺。

#### 3.1.3 墜落高度(fall height)

指定遊戲平面與下方遊戲場鋪面之垂直距離。

### 3.1.4 遊戲場設備(playground equipment)

裝設在指定遊戲區中，兒童可在其中活動，例：攀爬、擺盪、滑行、搖晃、旋轉、爬行、匍匐或前述活動組合的一種任何固定之物理結構。

### 3.1.5 遊戲場鋪面(playground surface)

以加工製造或天然材料覆蓋遊戲場設備下方地面(包含地基及底材)，及以任何柔性減緩衝擊的鋪面材料。

### 3.1.6 遊戲結構物/遊具(play structure)

具有單一或多種組件，及其支撐構件之獨立式結構。

### 3.1.7 公共兒童遊戲場設備(public use playground equipment)

用於學校、公園、幼兒園、社區公共區域(例：中庭)、休閒娛樂場所、餐廳、飯店，或其他供公眾使用場所的遊戲區，不移動或採用錨定於地面之遊戲結構物。

### 3.1.8 規格指定人(specifier)

負責提出遊戲場鋪面性能要求的人或實體(例：遊戲場之建築師或預期採購者、擁有者或經營者)。

### 3.1.9 鋪面材料(surfacing materials)

用於覆蓋遊戲場使用區表面的材料。

#### 3.1.9.1 鬆填式鋪面(loose-fill surface)

小而獨立、可移動組分的柔性表層，例：木質纖維、樹皮、木片、發泡體碎片、碎橡膠片、砂、礫石等。

#### 3.1.9.2 一體化鋪面(unitary surface)

一個或多個材料組分的柔性表層，結合在一起形成連續的表面；例：聚氨酯及橡膠複合材料、模製發泡材、模製橡膠墊。

### 3.1.10 使用區(use zone)

緊鄰遊戲結構物或遊戲場設備並在其下方的區域，該區域指定為設備周圍開放區並預期使用者自設備墜落或離開時降落在其表面。

## 3.2 衝擊試驗相關用語及定義

### 3.2.1 加速度(acceleration)

速度隨時間的變化率，單位為  $m/s^2$ 。

### 3.2.2 落下高度(drop height)

衝擊試驗期間投射物掉落高度，為架高投射物之最低點與受測鋪面間量測之垂直距離。

### 3.2.3 重力加速度( $g$ )

加速度之常用符號，單位為標準重力加速度， $1g = 1$  標準重力加速度。

### 3.2.4 最大重力加速度( $g$ -max)

投射物於衝擊期間之最大加速度，單位為  $g$ 。

### 3.2.5 頭部傷害指數(head injury criterion, HIC)

為明確規定之衝擊加速度曲線積分值，用以判斷頭部傷害之相對風險。參見附錄 C。

### 3.2.6 頭部傷害指數間隔時間(HIC interval)

用於計算 HIC 積分值之衝擊加速度－時間歷程中的時間間隔。

### 3.2.7 衝擊(impact)

運動中之物體(例：衝擊試驗用之投射物)撞擊另一物體(例：鋪面)導致之接觸，此時一方或雙方均承受高加速度。

### 3.2.8 衝擊衰減(impact attenuation)

遊戲場鋪面之性質，能透過局部變形或位移方式吸收衝擊之能量，以降低最高衝擊力與加速度之大小。

### 3.2.9 衝擊試驗(impact test)

藉由量測投射物掉落鋪面上之加速度，以測定遊戲場鋪面或鋪面材料之衝擊衰減的步驟。

#### 3.2.9.1 自由落體衝擊試驗(free-fall impact test)

投射物軌跡不受各種導軌、鋼線、裝置或任何類型結構物所限制之衝擊試驗。

#### 3.2.9.2 導向衝擊試驗(guided impact test)

投射物軌跡受到各種導軌、鋼線、其他裝置或結構物所限制之衝擊試驗。

#### 3.2.9.3 衝擊試驗結果(impact test results)

自一次或多次衝擊試驗之一次或多次的量測或計算值，用以規定遊戲場鋪面或鋪面材料之衝擊衰減性能。

#### 3.2.10 衝擊試驗位置(impact test site)

在已安裝之遊戲場鋪面的表面選定一個點作為衝擊試驗之撞擊標的。

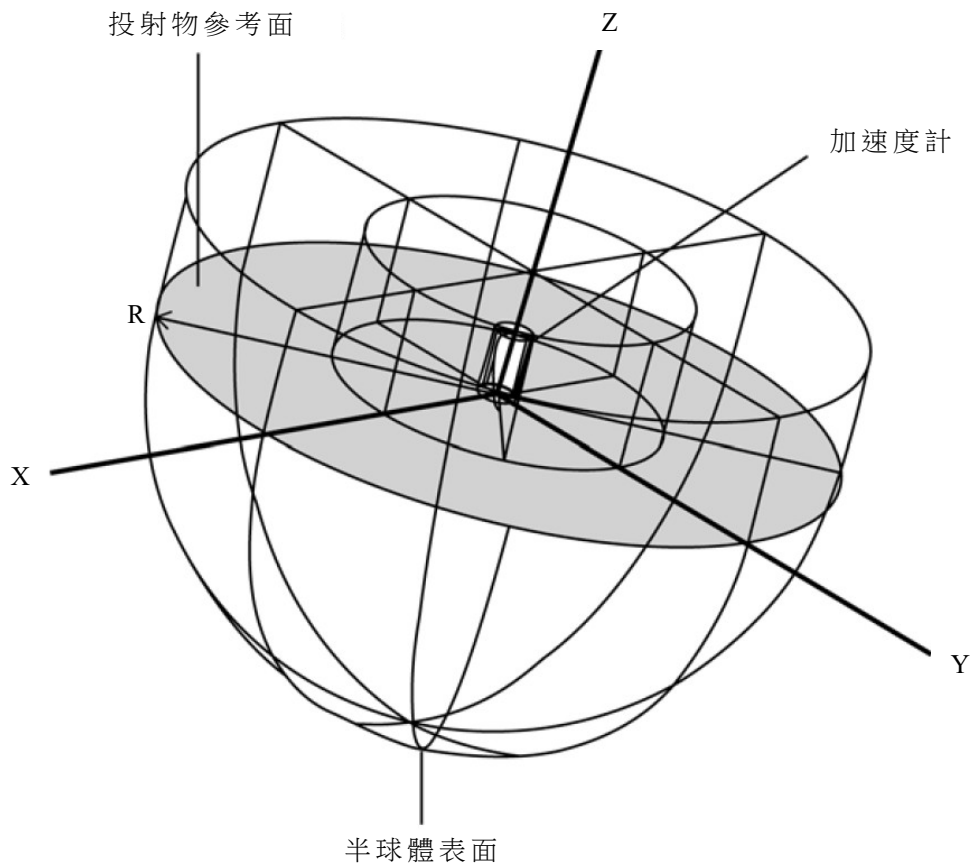
#### 3.2.11 衝擊速度(impact velocity)

落下物體(例：投射物)在衝擊瞬間之速度( $V_0$ )。

#### 3.2.12 投射物(missile)

具有規定半徑的半球形表面之規定質量剛性體，作為對遊戲場鋪面施加衝擊之用(參照圖 1)。





說明

R=80 mm

圖 1 投射物參考面與主軸圖例

### 3.2.13 投射物參考面(missile reference plane)

半球體投射物之圓形平面。

### 3.2.14 性能準則(performance criterion)

一次或多次衝擊試驗結果之限制值，旨在規定最低之衝擊衰減性能。

### 3.2.15 具資格人員(qualified personnel)

具現有知識、訓練、技能、教育及經驗的人員，成功展現藉應用專業判斷以解決或解析與主題及工作相關問題之能力。

### 3.2.16 參考落下高度(reference drop height)

衝擊試驗之理論落下高度規定。

### 3.2.17 參考墊(reference pad)

具一致且已知衝擊衰減性質之彈性墊(elastomer pad)，用以查證衝擊試驗設備是否妥善運作。

### 3.2.18 參考溫度(reference temperature)

進行衝擊試驗時鋪面材料之溫度狀態調節規定。

### 3.2.19 樣本試驗點(sample test point)

樣本表面上的點被選為衝擊試驗之標的。

### 3.2.20 標準重力加速度(standard gravity)

海平面重力加速度的標稱值，其國際標準值為  $9.80665 \text{ m/s}^2$ 。

### 3.2.21 理論落下高度(theoretical drop height)

標準條件下之衝擊速度等於投射物之衝擊速度( $V_0$ )時之落下高度( $h$ )。

備考：在標準條件中假設摩擦力及空氣阻力，均不影響投射物之加速度，重力加速度則等於海平面標準值  $g$ 。在自由落體衝擊試驗中，實際落下高度約等於理論落下高度。在導軌式衝擊試驗中，基於導軌裝置之摩擦力效應，理論落下高度會小於實際落下高度。

## 3.3 加速度測定相關的用語及定義

### 3.3.1 加速度計(accelerometer)

量測加速度用之轉換器(transducer)。

#### 3.3.1.1 轉換器(transducer)

數據通道上之第一項裝置，用於欲量測之物理量轉換為可以由通道的其餘組件處理的第二種物理量(例：電壓)。

#### 3.3.1.2 三軸加速度計(triaxial accelerometer)

一種轉換器或轉換器組合，用以量測相對於 3 個正交空間軸在三維空間 3 個加速度分量。

#### 3.3.1.3 單軸加速度計(uniaxial accelerometer)

用於量測相對於單一空間軸的加速度分量轉換器。

### 3.3.2 加速度計數據通道(accelerometer data channel)

將加速度物理量之資訊由起始點傳送至顯示點之所有儀器及步驟。數據通道包括傳訊用之所有轉換器、信號調節器、放大器、濾波器、數位轉換器、記錄裝置、電纜及連接器，以及可變換頻率、振幅或數據同步之分析軟體或步驟。

## 4. 性能要求事項

### 4.1 鋪面性能參數

從連續 3 次衝擊試驗中之最後 2 次試驗結果，由其算出  $g\text{-max}$  值及頭部傷害指數(HIC)之平均值，作為遊戲場鋪面性能之量。

### 4.2 性能準則

符合本標準規定之性能準則  $g\text{-max}$  值應不超過 200  $g$  及 HIC 值應不超過 1,000。

### 4.3 臨界墜落高度

#### 4.3.1 遊戲場鋪面之臨界墜落高度依第 15 節之規定，使用 $-4 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 及 $49 \text{ }^\circ\text{C}$ 之參考溫度、鋪面性能參數及性能準則測定。

備考 1. 規定參考溫度變化範圍為大多數遊戲場的溫度經驗範圍，若使用之遊戲場溫度高於或低於此範圍，可以規定在此較高或較低溫度下進行額外試驗。

備考 2. 濕潤/凍結試驗：規格指定人可要求鋪面材料在濕潤或凍結下的臨界墜落高度測定之試驗。試驗步驟依附錄 A 規定。

- 4.3.2 用於測定臨界墜落高度之實驗室試驗應在鋪面材料樣本上進行，該鋪面材料須與實際安裝的遊戲場鋪面中的設計、材料、組成、厚度及製造方式完全相同。
- 4.3.3 用於測定特定使用在遊戲場之臨界墜落高度材料的實驗室試驗，應在遊戲場鋪面安裝之日前 5 年以內進行。
- 4.3.4 CNS 12643-2 試驗法為一種用於在安裝的遊戲場鋪面上進行  $g$ -max 值與 HIC 值測試，以確保安裝之鋪面品質控制的試驗方法。

## 5. 試驗方法概要

### 5.1 臨界墜落高度試驗

採用衝擊試驗以量測鋪面材料之衝擊衰減，該試驗係將投射物從預定之落下高度掉落至遊戲場鋪面。使用加速度計及關聯之數據記錄設備，量測投射物於衝擊期間之加速度。分析加速度歷程以確定  $g$ -max 值及 HIC 值。對於在各種參考溫度及落下高度之每個遊戲場鋪面樣本，將 3 次連續落下試驗中之第 2 次與第 3 次試驗值平均後，得出平均值。在 3 次衝擊之間，不允許改變遊戲場鋪面樣本。

- 5.2 鋪面材料之臨界墜落高度以一系列落下高度範圍內之衝擊試驗代表性樣本決定。鋪面材料於  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  及  $49\text{ }^{\circ}\text{C}$  之溫度試驗。鋪面性能參數符合性能準則之最高理論落下高度為其臨界墜落高度。

## 6. 重要性及用途

- 6.1 本標準目的在建立遊戲場鋪面材料之最低衝擊衰減性能之要求，以降低墜落造成頭部嚴重受創之風險。
- 6.2 本標準提供量化遊戲場鋪面材料衝擊衰減性能一致的方法，適用於比較不同遊戲場鋪面材料之相對性能。
- 6.3 本標準可作為指定遊戲場鋪面材料衝擊衰減性能時之參考。
- 6.4 若配合衝擊試驗值及頭部傷害之相關數據，應用本試驗法而產生之數據資料，就能用以評估墜落導致頭部嚴重受創之相對風險。

## 7. 設備操作員資格

- 7.1 測試應為具資格人員所執行。

## 8. 試驗裝置

### 8.1 溫度量測裝置

量測鋪面溫度用之溫度計、數位溫度計或其他感測器，其作用範圍至少為  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  至  $+54\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，解析度為  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，準確度為  $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。測溫器應能插入遊戲場鋪面至少 25 mm 處。

### 8.2 衝擊試驗系統

用於執行衝擊試驗用之裝置或系統，使量測儀表的投射物從預定之落下高度，掉落至遊戲場鋪面或鋪面材料上。

### 8.2.1 砧座

對於在實驗室中鋪面樣本上進行的試驗，其鋪面樣本安裝在質量至少為投射物質量 100 倍以上的剛性砧座或底座上。

### 8.2.2 投射物

8.2.2.1 投射物具有外徑為 $(160 \pm 2)$  mm 半球體衝擊表面，質量為 $(4.6 \pm 0.02)$  kg 之剛性物。投射物之水平位置定義為其參考面位於最上方並處於水平表面時。

8.2.2.2 投射物上得有孔洞或外接組件以供應感測器之連結或支撐組件之附接。任何孔洞或外接組件之形狀，應一般約與水平投射物之 Z 軸對稱，水平投射物質量中心在 Z 軸之 2 mm 內，且任兩個水平軸之慣性矩差不得超過 5 % (參照圖 1)。

8.2.2.3 當將支撐組件(例：吊柄或球形臂)牢固連接投射物上，做為連接至外部導向系統之一種方式。落下組件之總質量，亦即投射物、加速度計及組件之合計質量，應為 $(4.6 \pm 0.02)$  kg。單獨支撐組件本身之質量不應超過總質量的 30 %。

#### 8.2.2.4 投射物軸

貫穿投射物質量中心垂直於投射物參考平面之軸，且其朝上正向點應指定為 Z 軸。該軸名義上與受測平面成垂直。兩個相互正交與投射物參考面成平行，並貫穿投射物質量中心之軸，則指定為 X 軸及 Y 軸(參照圖 1)。

備考：此參考架構中，由重力引起的加速度為負值，衝擊期間之頭模(headform)加速度為正值。

### 8.2.3 導向衝擊試驗用之導向機構

導向衝擊試驗可使用定向件(follower)或其他機構將投射物連接至低摩擦導件或其他導向機構(例：單軌、雙軌或導線)，以便將投射物之墜落軌跡限制在下降路徑。導向系統須使投射物在落下前呈水平狀態，落下期間之投射物亦須維持水平( $\pm 5^\circ$ )位態。導向機構除本身摩擦力造成之必要阻抗外，不得在投射物墜落或與受測鋪面接觸期間阻礙投射物的軌跡。

### 8.2.4 自由落體衝擊試驗之支撐結構

自由落體衝擊試驗應使用支撐結構(例：三腳架)以確保可重複的落下高度及位置。支撐結構應十分堅固，以支撐投射物重量而無目視可及之變形處。支撐結構豎立時，不得在投射物墜落或與受測鋪面接觸期間阻礙投射物的軌跡。

### 8.2.5 落下高度控制機構

導向衝擊試驗用之導向機構(8.2.3)或自由落體衝擊試驗之支撐結構(8.2.4)應具備在預定落下高度之重複定位投射物的方法。

### 8.2.6 釋放裝置

釋放機構應提供手動或電子操作的快速釋放引發投射物掉落的方法。釋放機構之操作，不應影響釋放投射物後之墜落軌跡。

## 8.3 加速度量測系統

係指單一轉換器或多個轉換器與相關設備構成之系統，用於量測及記錄投射物於

衝擊期間之加速度，準確度為真值之 $\pm 1\%$ 之間。

### 8.3.1 加速度計

加速度計應牢固定連接在投射物之質量中心處。加速度計之感測軸或多個感測軸，應貫穿投射物之質量中心。

**8.3.1.1** 自由落體試驗應使用三軸加速度計。三軸加速度計之 3 個軸，應對準對正( $\pm 5^\circ$ ) 投射物之 Z 軸、X 軸及 Y 軸。

**8.3.1.2** 導軌試驗得使用 1 個單軸加速度計或三軸加速度計。加速度計應牢固定連接在投射物之質量中心( $\pm 2\text{ mm}$ )上，其感測軸與投射物的 Z 軸對準( $\pm 5^\circ$ )，並穿過投射物的質量中心。

**8.3.1.3** 加速度計之最低感測範圍為 $\pm 500\text{ g}$ ，並沿任何軸向容許加速度至少為 $1,000\text{ g}$ 之能力。

### 8.3.2 校正加速度計

校正加速度計之校正應追溯至國際或國家標準，利用加速度計製造廠商認定適用之震動台所激發頻率及振幅範圍校正。校正程序至少應涵蓋( $20\sim 2,000$ ) Hz 之頻率範圍。

備考：加速度計之校正通常由製造廠商執行。

加速度計校正週期應以設備製造廠商建議之時間間隔或每隔 2 年執行再校正。

### 8.3.3 加速度計之連接

提供與加速度計的電源及信號連接的裝置(例：纜線)的方式構造應使連接裝置在衝擊試驗之前或期間不會影響投射物的軌跡。

### 8.3.4 加速度計信號調節

為加速度計之妥善作業，所需之電力放大信號調節裝置，應採用加速度計製造廠商推薦之型號，其阻抗與頻率響應特性，應與加速度計相容。額外的信號調節要求參考附錄 B。

### 8.3.5 加速度計信號過濾

#### 8.3.5.1 去頻疊濾波器(anti-aliasing filter)

為避免數位化加速度數據中出現混疊，應在數位化之前，先以類比低通濾波器過濾加速度信號。去頻疊濾波器之角頻率為( $5,000\pm 500$ ) Hz，或最大為單通道取樣頻率之 0.25 倍。

#### 8.3.5.2 數據通道濾波器(data channel filter)

應使用符合 SAE 通道等級 1000 數據通道規格之 4 階巴特沃斯濾波器(Butterworth Filter)過濾數位化數據。若類比濾波器具有 4 階且符合數據通道規格，亦可使用。

### 8.3.6 紀錄裝置

使用數位紀錄裝置以擷取衝擊期間之加速度時間訊號，此類裝置如數位儲存示波器、配備類比數位轉換器之電腦上專用波形分析器，不應使用類比示波器及



其他類比紀錄裝置。

### 8.3.7 解析度

將加速度計之類比信號轉換成數位數據時，須使用解析度為 0.25 g 或更小的數值轉換器完成(例：跨距範圍為±500 g 的 12 位元數位轉換器之解析度為 0.244 g)。

### 8.3.8 取樣率

記錄裝置之最低取樣率為每道加速度計通道 20.0 kHz。使用三軸加速度計時，建議 3 個獨立數位轉換器(每個加速計軸使用 1 個)之最低取樣率為 20.0 kHz。此外，每個加速計軸若能提供同步軌跡(simultaneous track)及保持放大器，則得採用 60.0 kHz 作為最低取樣率。

### 8.3.9 容量

從衝擊開始前至少 5 ms，直到衝擊終止結束後 5 ms 內，數位轉換器應能連續記錄及儲存至少 50 ms 的數據。

### 8.3.10 顯示器

記錄系統應能顯示記錄之加速度－時間數據的能力，以允許操作員檢查。建議採用圖形顯示，亦得接受列印成書面表格或其他顯示方式。顯示器應允許檢查從衝擊開始前至少 5 ms，直到衝擊終止結束後 5 ms 內之數據記錄點。顯示器應允許檢查從-10 g 至最高記錄加速度值範圍內之所有數據點的方式，顯示加速度數據。

### 8.3.11 加速度計數據通道

#### 8.3.11.1 準確度

每個數據通道之準確度應為衝擊期間記錄之最大加速度記錄的真值±1%以內。

#### 8.3.11.2 頻率響應

在信號過濾之前，所有加速度數據通道應具有平坦之頻率響應±0.1 dB，其範圍為上限 1.0 Hz，下限 2,000 Hz。

#### 8.3.11.3 通道頻率等級

所有加速度數據通道，包括信號過濾在內，至少應符合規定之通道頻率等級 1,000 數據通道之要求，而 SAE J211/1<sup>[6]</sup>亦有(1~1,000) Hz 增加準確度之額外要求(參照附錄 B)。

## 8.4 量測落下高度

具解析度為 25 mm，準確度為真值±1%之要求的重複決定投射物落下高度之方法。

8.4.1 自由落體衝擊試驗，在釋放投射物之前，應先使用量尺、鋼捲尺或其他適用工具，直接量測落下高度。亦得使用間接方式決定出理論落下高度，此間接方式包括 8.4.2 所規定之速度量測系統，或為量測投射物釋放至開始衝擊之時間間隔(墜落時間)的方法，此時之時間間隔量測應具有 1.0 ms 之解析度及準確度。測得之落下高度及理論落下高度都應報告。

8.4.2 導軌衝擊試驗須以在衝擊剛發生之前量測投射物的速度決定出理論落下高度；投

射物軌跡上之測速位置，須在投射物與受測鋪面間之第一接觸點上方 50 mm 內。速度量測系統得由量測不透明擋光板遮斷光線感測器時間之光閘裝置或其他適當方法構成。速度量測裝置不應干擾或阻礙投射物軌跡，並具 0.03 m/s (0.1 ft/s) 之解析度及  $\pm 1\%$  真值之準確度記錄衝擊速度。

備考：由於理論落下速度與衝擊速度平方值成正比，因此落下高度量測值  $\pm 2\%$  許可差，相當於速度量測值  $\pm 1\%$  許可差。對於準確度達到  $\pm 1\%$  之標準擋光板及光閘設計速度量測計，擋光板寬度之準確度為  $\pm 0.5\%$ ，並具  $\pm 20\ \mu\text{s}$  之準確度量測切換時間(換言之，測時裝置之時標速率至少為 50 kHz)。

## 8.5 電池供電設備

電池供電設備應有監控電池電壓之方法(例：電壓計或指示器)。

## 8.6 系統完整性檢查

每次使用前後，應檢查試驗設備是否運作正常。系統完整性檢查至少涵蓋下列步驟。

**8.6.1** 檢查每項電池供電設備之電力狀態，確保現有電力供應及電壓位準正常。

**8.6.2** 進行第 10 節規定之設備檢查，測試試驗設備是否正常運作。

## 8.7 設備性能查證

依本標準之要求，測試機構應取得及維持下列文件，以供檢驗之用。

### 8.7.1 每個加速度計

**8.7.1.1** 製造廠商保證書：顯示加速度計之頻率響應值，符合 8.3.11.2 之規定。

**8.7.1.2** 合格機構出具之校正證書：顯示加速度計之感測範圍及校正係數具三位有效數字的精密度。

### 8.7.2 每臺信號調節裝置(signal-conditioning device)

製造廠商證明書顯示裝置之頻率響應符合 8.3.11.2 之規定。

### 8.7.3 加速度量測系統(acceleration measurement system)

由加速度量測系統製造廠商出具文件，證明每個加速度數據通道均符合本標準之規定。此外，若有測試機構組裝或生產自己的加速度量測系統，應依附錄 B 執行測試以查證其符合本節要求，並出示結果。

### 8.7.4 落下高度量測系統(drop height measurement system)

由落下高度或衝擊速度量測系統製造廠商出具文件，查證符合本標準之要求。此外，若有測試機構組裝或生產自己的加速度量測系統，查證其符合本節要求之方法為依附錄 B 執行測試，並出示結果。

## 9. 計算

### 9.1 理論落下高度

**9.1.1** 理論落下高度( $h$ )應從量測衝擊速度( $v$ )，再使用公式( $h=v^2/2g$ )算出，式中  $g$  為重力引起的加速度。

**9.1.2** 在自由落體試驗中，須以量測墜落時間( $t$ )，再使用公式( $h=gt^2/2$ )之方法，算出理論落下高度( $h$ )。

9.1.3 合成加速度(resultant acceleration)：若使用三軸加速度計，衝擊歷時各點之合成加速度，應使用公式 $[A_R=(A_x^2+A_y^2+A_z^2)^{1/2}]$ 算出，式中  $A_R$  為合成加速度， $A_x$ 、 $A_y$  及  $A_z$  為加速度計對準 x、y 及 z 投射物軸所記錄之加速度。

## 9.2 g-max 值

為衝擊期間所記錄之最大加速度值。若使用三軸加速度計，g-max 應為合成力加速度之最大值。

## 9.3 平均 g-max 值

將連續 3 次衝擊試驗中之第 2 次與第 3 次 g-max 值平均後，得平均 g-max 值。

## 9.4 投射物角度之決定

在自由落體衝擊試驗中，應計算投射物於開始衝擊時及那一瞬間之最大加速度之角度。為算出這些數值，衝擊的開始應為合成加速度首次等於或超出 5 g 界限值(threshold value)時之數據樣本。投射物角度應從分量加速度算出，投射物角度餘弦值計算如下。

$$\cos(\theta_{\text{頭模}}) = \frac{A_z}{A_R}$$

## 9.5 頭部傷害指數(HIC)值

衝擊造成之 HIC 值應計算如下。

9.5.1 衝擊之加速度時間歷程中，將時間點  $T_0$  定在直接衝擊發生之前的位置，時間點  $T_1$  定在直接衝擊中止之後的位置。

9.5.2 在每項時間間隔( $t_1, t_2$ )中，若  $t_1 \geq T_0$ 、 $t_2 > t_1$  且  $t_2 \leq T_1$ ，則計算並記錄試驗 HIC 整數值。

$$\text{HIC}(t_1, t_2) = (t_2 - t_1) \left[ \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a_t dt \right]^{2.5}$$

式中， $a_t$  = 時間  $t$  之加速度，若使用三軸加速度計，則為合成加速度。

9.5.3 對每個時間間隔( $t_1, t_2$ )，計算並記錄試驗 HIC( $t_1, t_2$ )值。

9.5.4 該次衝擊之 HIC 值為所有試驗 HIC( $t_1, t_2$ )值之最大值。

9.5.5 計算 HIC 值所用之計算方案，應提供真值  $\pm 1\%$  以內之結果。

## 10. 設備檢查

10.1 在一開始執行測試前及試驗完成後 24 h 內，對參考墊(reference pad)進行一系列衝擊試驗，以檢查試驗設備是否正常運作。

10.2 參考墊應由設備製造廠商提供，或由有能力確保再現性參考墊之其他機構提供，並應指定其參考落下高度及標稱 g-max 值。

10.3 從參考落下高度對參考墊執行 3 次衝擊試驗，2 次衝擊之間隔為  $(1.5 \pm 0.5)$  min。

10.4 將第 2 次與第 3 次落下之 g-max 值平均，計算出平均 g-max 值。

10.5 比較平均 g-max 值與參考墊提供之標稱 g-max 值。



10.6 若測得出之  $g$ -max 值與標稱  $g$ -max 值間之差，超過製造廠商規定之許可差或超過標稱  $g$ -max 值之 5%，則該設備不符合本試驗法之要求事項而不應使用。

## 11. 衝擊試驗步驟

### 11.1 數據記錄

11.1.1 決定狀態調節後樣本之試驗點。

11.1.1.1 若樣本性質不均勻(厚度不均、接縫、緊固件或其他因素所致)，試驗點應位於預期最不利衝擊衰減性能之樣本表面處，並與樣本邊緣相距 75 mm 以上之區域內。

11.1.1.2 量測最不利之衝擊位置步驟。

- (a) 最不利的衝擊位置應在所有適用位置，於 23 °C 下衝擊，使用衝擊中的 3 次衝擊之最後 2 次衝擊之平均值確定。
- (b) 計算平均值後，將  $g$  值除以 200，然後將 HIC 值除以 1,000。所得的計算結果是  $g$  值與 HIC 值的最高許可值百分比。
- (c) 確定所有測試位置的最高許可  $g$  值或 HIC 值之最高百分比，計算所得最高許可值的最高百分比應視為最不利衝擊位置。
- (d) 在確定最不利的衝擊位置之後，應僅在確定的最不利的衝擊位置進行其他溫度測試(-4 °C 及 49 °C)。
- (e) 對 11.1.1.1 之豁免事項

現場澆注(例：具有 EPDM、TPV 或草皮頂蓋的 SBR)及黏結安全鋪面，豁免最不利的衝擊點。實驗室測試已提供證明，在這此類鋪面位置之間獲得之最高許可值是極小/不顯著的。

11.1.1.3 若樣本具均勻性質，試驗位置應為樣本上表面層中央。

11.1.2 將受測樣本放在衝擊試驗系統下方之平坦剛性砧座或地板。

11.1.3 將樣本試驗位置對準投射物衝擊位置，並使用不會改變樣本之衝擊衰減性能的適當方法，將樣本固定在砧座或地板上(例：使用雙面膠固定)。

備考：一體化鋪面樣本的試驗顯示，若未將樣本固定在下方砧座或地板之表面， $g$ -max 值及 HIC 值之變異性會增加 4 倍以上。

11.1.4 進行連續衝擊試驗時，在首次落下投射物之前，先將投射物提高至參考落下高度。在接續落下衝擊時，仍應將投射物提高至同一點，即使受測鋪面形成凹陷或其他高度變化之亦然。3 次落下中的每次落下，應自相同的高度至相同位置。

11.1.5 進行連續衝擊試驗時，先於首次投下投射物之前，量測及記錄落下高度。

11.1.6 釋放投射物並記錄加速度量測系統及落下高度量測系統之輸出值(輸出信號)。投射物在衝擊之前及期間之軌跡，若遭到任何定位裝置、人為干擾或其他方式所阻礙，該次試投之數據資料應捨棄不用。

11.1.7 記錄該次衝擊在鋪面形成凹陷之深度。

備考：量測高舉投射物之最低點與受測鋪面之距離，以方便確定深度。凹陷深度為此項量測數據與原先量測之落下高度之差值。

## 11.2 數據檢查

11.2.1 檢查每次落下後螢幕顯示之加速度。記錄之加速度脈波應符合以下要求事項。

11.2.1.1 加速度脈波應由單一 1 次衝擊作用構成。

11.2.1.2 開始衝擊前，記錄之加速度值須為 $(0 \pm 2) g$ 。

11.2.1.3 加速度波形應從最大值往下降至 $(0 \pm 2) g$ 之穩定值，在零基線之過衝幅度不得超過  $2 g$ 。

備考：衝擊後之加速度信號過度過衝(overshoot)情形，表示轉換器或信號處理發生錯誤。過衝常為加速度計數據通道出現不當低頻率響應之徵兆。

11.2.2 若記載之加速度脈波不符合 11.2 之規定，該項試驗應使用新狀態調節過之試樣重新試驗。

## 11.3 數據分析

11.3.1 計算並記錄  $g$ -max 值及 HIC 值。

11.3.2 計算及記錄理論落下高度。若算出之理論落下高度與實際量出之落下高度之差大於  $\pm 76 \text{ mm}$ ，或大於量測落下高度之  $\pm 2.5 \%$ ，該次試驗之數據應捨棄不用。

備考：理論落下高度與實際落下高度之差若超過規定限值，表示可能在衝擊速度量測之錯誤或落下時間量測之錯誤或投射物之墜落經過導向機構之過度摩擦而受阻。

11.3.3 若使用自由落體衝擊試驗時，則依 9.4 規定計算在開始衝擊時及最大合成重力加速度瞬間計算投射物角度。若計算出之投射物角度在任一點超過  $10^\circ$  (換言之，投射物角度餘弦值小於 0.966)，則該次試驗之數據應捨棄不用。

## 12. 臨界墜落高度試驗之溫度調節

### 12.1 遊戲場鋪面或鋪面材料之臨界墜落高度

應在實驗室條件下，以 $(-4 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、 $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ 及 $(49 \pm 1)^\circ\text{C}$ 之參考溫度，進行一連串衝擊試驗測定。

### 12.2 溫度狀態調節

12.2.1 樣本在開始測試前，應於 $(50 \pm 10) \%$ 之相對濕度與 $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$ 之溫度下，至少預狀態調節 24 h。

12.2.2 為在每個參考溫度下進行試驗，應將 3 個樣品分別在 $(-4 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、 $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ 及 $(49 \pm 1)^\circ\text{C}$ 下狀態調節至少 8 h。從狀態調節環境取出樣本後，須在 1 min 內開始試驗，並於 7 min 內完成試驗。未於指定時間間隔內開始或完成試驗時，樣本須再狀態調節 8 h。

### 12.3 溫度穩定性要求

12.3.1 鋪面溫度應利用 8.1 中規定之溫度量測裝置量測。在任何連續衝擊試驗的第 1 次衝擊前及第 3 次衝擊後，均應在樣本試驗位置進行溫度量測。測溫探針之插入深度至少 25 mm 深或樣本厚度之 50%，兩者以較小者為準。

12.3.2 在參考溫度 $-4^\circ\text{C}$ 進行試驗期間，樣本溫度不得超過 $-1^\circ\text{C}$ 。若溫度超過 $-1^\circ\text{C}$ ，

樣本須在參考溫度再狀態調節 8 h 後，重新開始試驗。

- 12.3.2** 在參考溫度 49 °C 進行試驗期間，樣本溫度不得低於 46 °C。若溫度低於 46 °C，樣本須在參考溫度再狀態調節 8 h 後，重新開始試驗。

### **13. 一體化鋪面臨界墜落高度試驗**

#### **13.1 試樣數**

特定的一體化鋪面材料最少應送交 9 件試樣進行試驗，每件樣本之表面積至少有 460 mm×460 mm。每件試樣代表預定用於遊戲場之鋪面柔性組件，包括接縫、隔板、角落、緊固件、錨固件或其他損及最佳衝擊特性之其他特徵。鋪面材料欲與其他材料(例：耐磨墊)一起安裝，則須與安裝時一同對這種組合進行試驗。

備考：若涵蓋接縫與其他相關特性，樣本尺度可要求大於 460 mm×460 mm。

#### **13.2 樣本製備**

一體化鋪面樣本應依 11.1.3 規定，固定在衝擊試驗設備下方之混泥土地面或平坦之鋼製砧座上。

#### **13.3 一體化鋪面性能參數**

實驗室於進行衝擊試驗之前，從上方及側面拍攝試驗樣本，以證明符合 11.1.1.1 及 11.1.1.2 規定。側面照片應以直尺顯示樣本的參考深度，此照片應列入報告中。依第 11 節規定步驟，針對同一樣本試驗位置，從相同之落下高度，進行 3 次衝擊試驗，決定每件樣本於各個參考溫度及參考高度下之性能。衝擊試驗之間隔時間應為(1.5±0.5) min。以第 2 次及第 3 次衝擊試驗之平均結果，分別算出平均  $g$ -max 值及 HIC 值。

#### **13.4 臨界墜落高度試驗**

依第 15 節規定之步驟，決定臨界墜落高度。

### **14. 鬆填式鋪面臨界墜落高度試驗**

#### **14.1 材料樣本數量**

鬆填式鋪面材料之送測樣本體積，至少為覆蓋 460 mm×460 mm 區域至規定深度所需體積之 2 倍。可使用相同材料在一個以上的落下高度或溫度下進行測試，惟該材料須恢復到其原本的鬆填狀態並在 2 次測試之間進行重新狀態調節。

#### **14.2 樣本製備**

將鬆填式鋪面材料之樣本裝入內側尺寸為(457±12) mm×(457±12) mm 之堅固容器，其側壁應有足夠的高度以將鬆填材料維持在預定使用之厚度，並在狀態調節及測試過程中將鬆填材料保持固定位置。盒子的側面至少一面應為透明的塑膠或玻璃，以利於如 14.4 所述，自側面拍攝照片。盒子依 11.1.3 的規定安裝在衝擊試驗設備下方的剛性地板或平砧座上。盒子的構造應使投射物能衝擊樣本中心。材料應倒入至一定深度，以便壓實至代表該材料使用狀態的深度。

#### **14.3 樣本狀態調節**

溫度狀態調節前，應使用無壓實鬆填式的樣本，以壓實器施加(21.1±0.7) kPa 均

勻壓力進行狀態調節(1.0±0.1) min。對於 460 mm×460 mm 大小之容器，達到此壓力所需之施力為(455.4±14.5) kgf。無壓實及壓實材料之深度均應列入報告。若有規定壓實材料之深度，實驗室應測定並提供鬆散材料壓實前後之深度。

#### 14.4 鬆填式鋪面性能參數

實驗室於進行衝擊試驗前，從上方及側面拍攝樣本，以證明符合 11.1.1.1 及 11.1.1.2 規定。側面照片應以直尺顯示樣本的參考深度，此照片應列入報告中。依第 11 節規定步驟，針對同一樣本試驗位置，從相同之落下高度，進行 3 次衝擊試驗，決定每件樣本於每個參考溫度及參考高度下之性能。衝擊試驗之間隔時間為(1.5±0.5) min。以第 2 次及第 3 次衝擊試驗之平均結果，分別算出平均 g-max 值與 HIC 值。

#### 14.5 臨界墜落高度試驗

依第 15 節規定之步驟，決定臨界墜落高度。

### 15. 臨界墜落高度試驗步驟

#### 15.1 試驗步驟

15.1.1 依第 10 節規定，在每個規定的參考溫度下進行規定之衝擊試驗次數，以決定一系列參考落下高度之性能。惟新樣本時，則應進行每個參考溫度及每個參考落下高度組合的衝擊試驗。

15.1.2 一系列之參考落下高度應由相隔 0.3 m 之遞增順序的高度構成。參考落下高度增加至衝擊試驗之結果無法達成 4.2 規定之性能準則為止。衝擊試驗之最小試驗高度，至少須在理論落下高度之(0.30±0.15) m 以上及理論落下高度之(0.30±0.15) m 以下之範圍進行，此範圍內之衝擊試驗結果應接近性能準則限值。記錄每個參考溫度及每個參考落下高度組合的衝擊試驗之平均理論落下高度、平均 g-max 值與平均 HIC 值。

#### 15.2 臨界墜落高度

遊戲場鋪面或鋪面材料之臨界墜落高度，應確定在所有參考溫度下，衝擊試驗結果均符合性能準則之最高理論落下高度，並取等於或低於實際數值之最接近遞增高度 0.3 m。

備考：選項之濕潤及凍結鋪面臨界墜落高度，在濕潤、凍結或兩者兼具之模擬條件下另行測試以決定臨界墜落高度。狀態調節步驟除在第 11 節～第 14 節說明外，另於附錄 A 說明。

### 16. 報告

16.1 所有報告應包括下列資訊。

16.1.1 送測機構之資訊：送測者或送測機構之名稱、地址及電話號碼。

16.1.2 測試機構之資訊：依下列規定。

16.1.2.1 測試機構之名稱、地址及電話號碼。

16.1.2.2 試驗操作員之姓名及簽署。

- 16.1.2.3 試驗進行日期。
- 16.1.2.4 報告核發日期。
- 16.1.3 試驗設備之資料：依下列規定。
- 16.1.3.1 試驗設備機型及製造廠商。
- 16.1.3.2 最近一次校正加速度計之日期。
- 16.1.4 試驗結果：每次系列連續衝擊試驗應提供下列資料。
- 16.1.4.1 採用乾燥、濕潤或凍結樣本。
- 16.1.4.2 完成每次連續試驗之最後一次落下試驗後，環境溫度、參考溫度及鋪面溫度之量測值。
- 16.1.4.3 落下高度、衝擊速度或墜落時間，以及理論落下高度。
- 16.1.4.4 每次落下試驗之  $g\text{-max}$  值及 HIC 值，以及每次連續試驗中，最後兩次落下試驗之平均  $g\text{-max}$  值及平均 HIC 值。
- 16.2 實驗室試驗之臨界墜落高度測定：本報告亦應包括下列資訊。
- 16.2.1 樣本敘述：依下列規定。
- 16.2.1.1 送測樣本數。
- 16.2.1.2 製造樣本之個人姓名或機構名稱。
- 16.2.1.3 遊戲場鋪面產品之商品名稱(若有)。
- 16.2.1.4 樣本製造日期。
- 16.2.1.5 測試機構接收樣本之日期。
- 16.2.1.6 製造廠商或送測者所提供之樣本與敘述間差異。
- 16.2.2 樣本材料及構造敘述：依下列規定。
- 16.2.2.1 試驗樣本之敘述，應足以詳細分辨影響性能之結構及材料差異。此類敘述至少應包括每層試樣組成，每層厚度之表示應取至最接近 1 mm。
- 16.2.2.2 對於含鬆填材料之鋪面，相關說明應包括每層中顆粒材料(例：砂、礫石、碎大理岩、緩衝橡膠、橡膠碎片、木屑或樹皮)之類型、約略尺度或粒徑分布。
- 16.2.2.3 鋪面材料如符合 ASTM F2075<sup>[3]</sup>要求，以及提供可接受證明或其他此類符合性文件，則僅允許以工程木纖維(engineered wood fiber)稱之。
- 16.2.2.4 對於一體化鋪面材料，樣本說明應包括預製組件(例：模製橡膠、橡膠碎片或塑膠磚)之設計及材料成分，以及製造廠商名稱及/或組件品名。實驗室應拍攝試驗物件以證明測試位置是在 11.1.1.1 或 11.1.1.2 中描述的最不利衝擊緩衝區域。
- 16.2.2.5 報告中應包括 13.3、14.4 及 16.2.2.4 所述的照片。
- 16.2.3 試驗結果：臨界墜落高度以量測值取至最接近 0.1 m 表示。
- 16.2.4 特定聲明：如下列聲明
- 「本報告所呈現之結果，反映上述樣本於試驗時間及報告溫度下之性能。此結果僅針對上述樣本，若與上述樣本之鋪面材料樣本之性能並不完全相符合，將有所差異。」。



16.3 摘要報告：若送測機構與測試機構均保管符合 16.1~16.2.4 規定之完整報告，可接受其所提供之摘要報告。

16.3.1 所有摘要報告應包括 16.1.1 規定之送測機構與 16.1.2 規定之測試機構之資訊。

16.3.2 實驗室試驗之摘要報告，尚須包括下列內容。

16.3.2.1 受測鋪面之商品名稱及簡短敘述。

16.3.2.2 受測鋪面之平均厚度。

16.3.2.3 對於每個參考溫度、濕潤或凍結條件，或兩者皆具，列出之系列衝擊試驗的平均理論落下高度、平均  $g$ -max 值、平均 HIC 值的最高符合值。

16.3.2.4 臨界墜落高度以等於或低於量測值取至最接近 0.1 m 表示。

16.3.2.5 若對鋪面或鋪面系統執行附錄 A 之濕潤/凍結步驟，臨界墜落高度以等於或低於量測值取至最接近 0.1 m 表示。

16.3.2.6 特定聲明(參照 16.2.4)。

## 17. 精密度及偏差

17.1 此試驗法因不存在絕對參考樣本，故不能獲致偏差之陳述。

17.2 在附錄 D 中敘述不同類型的量測誤差，對  $g$ -max 值、HIC 值及臨界墜落高度的相對影響。

17.3 在初步實驗室間的研究中，5 間實驗室對 3 個樣本(2 個參考墊及 1 個一體化鋪面樣本)，採不同的衝擊測試系統共 7 種測試。經上述研究，試驗之實驗室間再現性限值，估計對  $g$ -max 值為  $\pm 5\%$  及 HIC 值為  $\pm 10\%$ 。此估計為假設實驗室的設備符合本標準要求及試驗件的變異性極小。

17.4 在 1996 年~1997 年所執行的一項實驗室間研究中，7 間實驗室使用 ASTM F355<sup>[4]</sup> 試驗法步驟 C(程序 C 使用的是“C”頭模，用於測試遊戲場鋪面材料的原始投射物，在試驗法 ASTM F355<sup>[4]</sup>中不再引用。)對 8 個鋪面材料執行成對檢定，相同實驗室亦對相同鋪面材料使用自由落下試驗法執行成對檢定，在雙系列試驗中測得  $g$ -max 值及 HIC 值。從上述之試驗結果，參考 ASTM E691<sup>[5]</sup>計算精密度統計，該試驗採用實際之遊戲場鋪面材料(包括鬆填式材料)而非標準材料。因此，精確度報告包括樣本的變異性及試驗法本身變異性。

備考：基於在本試驗法發展期間進行初步的實驗室間能力試驗，本試驗法之精密度，估計對  $g$ -max 值為  $\pm 5\%$  及 HIC 值為  $\pm 10\%$ 。換言之，未來之試驗結果，在實驗室內、實驗室間或現場，可期望  $g$ -max 值結果在  $-5\% \sim +5\%$  範圍內，HIC 值結果在  $-10\% \sim +10\%$  範圍內(例：180  $g$ -max 值代表  $g$ -max 值在 171~189 之間，A900 HIC 值表示 HIC 值在 810~990 之間。)。本試驗法的使用者在建立臨界墜落高度時應注意這個事項。

表 1 g-max<sup>(a)</sup>精密度統計

材料	平均	重複性 標準差 (Sr)	再現性 標準差 (SR)	重複性 限值 (r)	再現性 限值 (R)
D	53.4	4.8	8.6	13.5	24.1
E	57.2	10.1	11.2	28.2	31.4
H	104.1	3.9	7.4	10.8	22.6
A	121.5	2.4	7.9	6.6	22.0
C	146.4	3.8	8.9	10.5	24.8
G	186.9	10.5	13.1	29.3	36.7
B	207.5	5.3	15.5	14.7	43.3
F	240.7	7.1	16.1	19.8	45.1

註<sup>(a)</sup>ASTM F355<sup>[4]</sup>試驗法步驟 C 之平均與 CNS 12643-1 自由落下試驗法之平均。

表 2 HIC 值<sup>(a)</sup>精密度統計

材料	平均	重複性 標準差 (Sr)	再現性 標準差 (SR)	重複性 限值 (r)	再現性 限值 (R)
D	144.7	19.1	33.1	53.4	92.7
E	166.0	46.6	63.6	130.4	178.1
H	592.7	24.3	95.3	67.9	266.9
A	592.9	80.6	123.7	225.7	346.2
C	749.0	28.8	107.2	80.7	300.0
G	1,212.0	59.9	185.9	167.6	520.5
B	1,381.5	110.1	191.4	308.1	535.9
F	1,849.0	156.6	293.5	438.5	821.7

註<sup>(a)</sup>ASTM F355<sup>[4]</sup>試驗法步驟 C 之平均與 CNS 12643-1 自由落下試驗法之平均。

## 附錄 A

### (規定)

#### 濕潤/凍結狀態調節

##### A.1 一般

指定人可選擇要求實驗室測試包括模擬在濕潤或凍結或兩者兼具條件下遊戲場鋪面的性能之額外試驗。如安裝的鋪面在上述情況下使用，建議進行此額外試驗。為得實驗室之間的一致性，建議依下述步驟執行濕潤/凍結試驗。

備考：此試驗模擬具最佳排水的遊戲場鋪面，排水不良的遊戲場鋪面的性能會受積水的不利影響。

##### A.2 裝置

**A.2.1** 圖 A.1(a)為用於濕潤/凍結試驗狀況調節的裝置圖例。樣本置於可自由排水、鑲嵌在保水容器內的 460 mm×460 mm 支撐架(例：金屬格網、多孔金屬薄板或多孔金屬板)上進行狀態調節。容器的高度應使受測樣品的頂表面上方至少有 20 cm 的淨空間，容器應襯有柔性多孔材料(例：粗平布)，其可使水自由排出，惟不允許鋪面材料顆粒通過。

**A.2.2** 在支撐架下方，需要至少 20 cm 的垂直空間收集水。或者，亦可使用另一適當體積的容器或排水系統，只要所使用的方法不允許水積聚在支撐架上方。

##### A.3 樣本預製備

**A.3.1** 鬆填式鋪面材料：將試樣材料倒入容器中，將其均勻分布至所需的深度，如圖 A.1(b)。

**A.3.2** 一體化鋪面材料：將鋪面試樣放入容器中，使用防水膠帶或其他適當的方式密封容器壁與樣品頂部外緣之間的邊緣，如圖 A.1(c)。

##### A.4 水體積計算

本狀態調節步驟使用相當於試樣暴露表面 15.24 cm 深度的水量，量測暴露表面的面積，以確定所需的水量。對於方形的矩形一體化鋪面試樣，此面積為試樣長度與寬度的乘積。對於鬆填式鋪面，該面積為方形或矩形容器的內部長度與內部寬度的乘積。表面積(SA)以  $\text{cm}^2$  表示，所需水量為  $15.24 \times \text{SA} \text{ cm}^3$ ，相當於  $15.24 \times \text{SA}$  g 水。

##### A.5 水的應用

**A.5.1** 噴灑或以其他方式逐漸將所需量的潔淨水均勻分布在試樣表面上。

**A.5.2** 排水 15 min。

**A.5.3** 從容器中取出樣品，使殘留在樣品表面上的水全部排出。

**A.5.4** 鬆填式鋪面材料，將潮濕樣本連同襯墊置入試驗箱，依 14.2 及 14.3 規定狀態調節。

##### A.6 濕潤試驗



狀態調節鋪面於 5 min 內開始試驗。

#### A.7 凍結試驗

如對樣本進行凍結試驗，則在試驗前將樣本置於溫度為 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷凍箱中狀態調節至少 24 h。樣品自狀態調節箱中取出 5 min 內開始試驗。在試驗過程中，樣品的溫度不應超過 $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

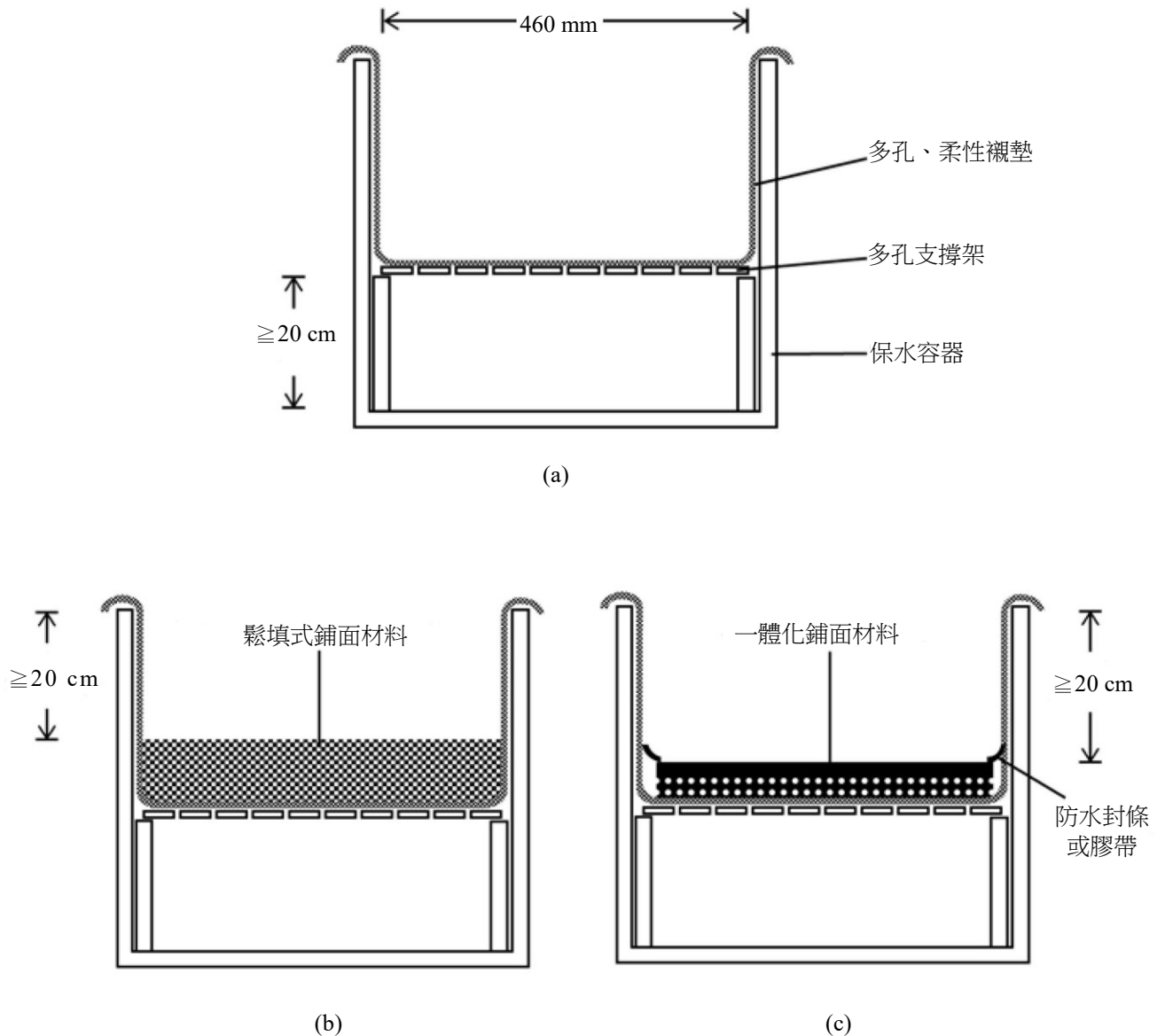


圖 A.1 濕潤/凍結狀態調節裝置圖例

## 附錄 B

## (規定)

## 設備查證步驟

**B.1** 為使實驗室間與實驗室內重複性及再現性達可接受的水準，依本標準進行試驗的設備須符合解析度、準確度、精密度以及校正之特定要求。實驗室間之設備差異，已確認為再現性差的主要原因。本附錄敘述查驗設備符合本標準要求之步驟。

**B.2** 本標準要求測試機構保留文件，證明設備之頻率響應、準確度及解析度符合本標準的要求。選擇包括校正證書或計量實驗室報告形式的文件。

**B.3** 加速度計數據通道查驗－端對端校正

加速度計、信號調節器、數據擷取裝置等設備的頻率響應可從校正證書中確定。惟上述裝置組合的設備頻率響應是未知的，因系統的互連電纜、連接器及其他組件會影響頻率響應。(使用同一製造商的相容組件，此外來影響通常可最小化)。建議使用整個數據擷取及處理系統的端對端校正程序，對加速度計數據通道進行校正。建議此程序由認可的計量實驗室進行。為符合本標準的要求，系統的頻率響應須落在表 B.1 及圖 B.1 所示的限制範圍內。

表 B.1 修改之 CFC 1000 數據通道動態準確度限值

頻率 Hz	動態準確度	
	Min dB	Max dB
0.1	-0.1	0.1
1	-0.1	0.1
100	-0.1	0.1
1,000	-0.2	0.1
1,650	-4	0.1
2,000	-10	0.1
3,500	-30	-19.4
5,000		-31.7
10,000		-55.7

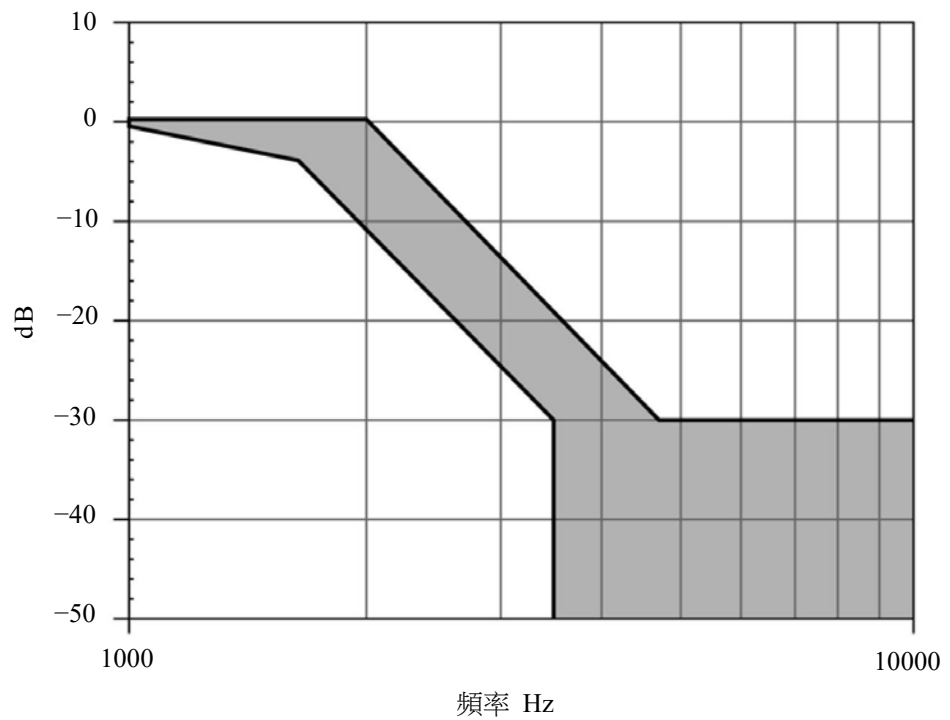
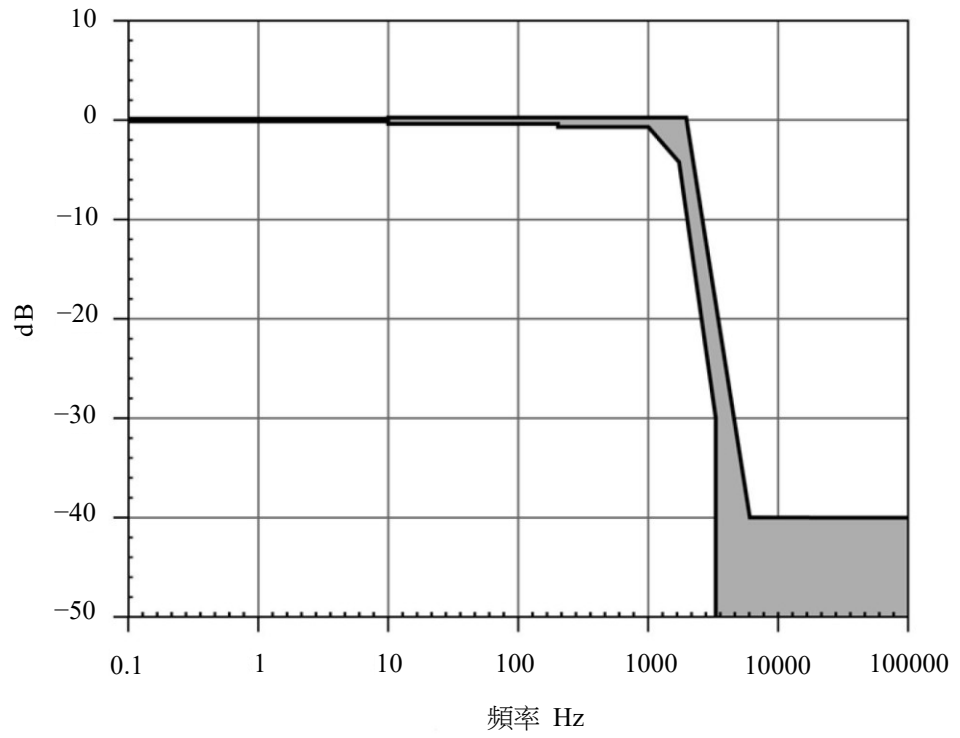


圖 B.1 CFC 1000 數據通道動態準確度圖例

**B.4** 加速度計數據通道－最低查證要求：若未執行端對端校正，測試機構至少應經由執行以下測試，以確定其測試設備符合本標準的低頻響應與精密度要求。

**B.4.1** 加速度計低頻響應(時間常數)測試：本測試的目的為確定加速度計、信號調節器及類比濾波器在低頻率時有足夠的響應，可接受在 2.0 s 的最小時間常數指定所需的低頻回應(8.3.11.2)。附錄 D 描述不正常的；錯誤的不適當的時間常數對加速度計信號的影響，執行下列程序以量測時間常數。

**B.4.1.1** 將正常輸入至數據擷取系統的加速度計信號與記錄裝置(例：數位示波器或電腦數據擷取系統)連接。信號需表示加速度計信號調節器及類比濾波器的合量輸出(參照圖 B.2)。數據記錄裝置需能以 ±1 mV 的解析度在信號調理器的整個輸出範圍內，最小取樣速率為 100 s<sup>-1</sup> 時，至少記錄 10 s。加速度計應固定，並在進行量測時不受運動或振動的影響。

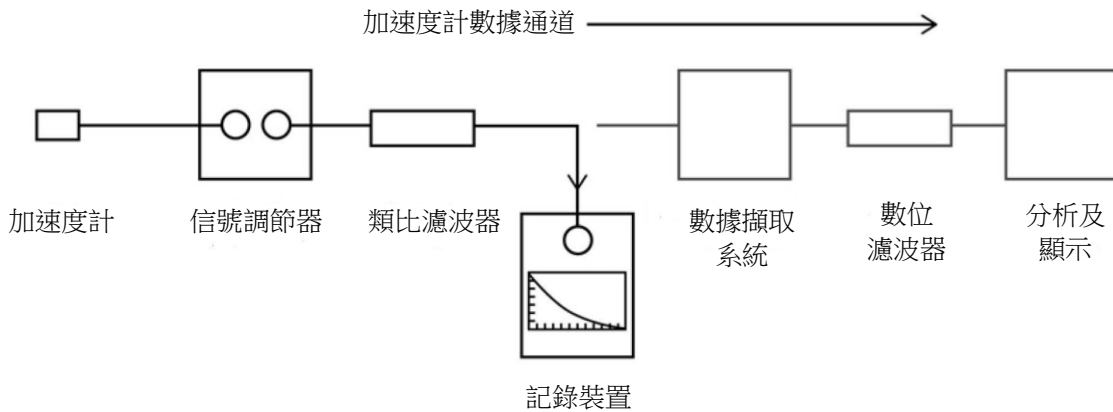


圖 B.2 時間常數試驗圖例

**B.4.1.2** 依製造商之建議，啟動信號調節器、記錄裝置及其他必要的電子設備進行暖機。

**B.4.1.3** 準備記錄裝置以接收信號。先關閉信號調節器，(5 ± 1) s 後再打開信號調節器，記錄輸出至少 10 s。可能須較長記錄時間方能得到較滿意的紀錄。

**B.4.1.4** 如加速度計、信號調節器或類比濾波器具有限的低頻響應，則當信號“安定”時(參照圖 B.3)，記錄信號將呈指數衰減趨近於零。

**B.4.1.5** 在記錄的數據中選擇落在指數曲線上的 2 個點，這 2 個點時間間隔至少 2 s 及至少為信號調節器輸出範圍的十分之一(例：對於 ±5.0 V 輸出範圍為 1.0 V)。記錄 2 點的時間及電壓各為 (T<sub>0</sub>, V<sub>0</sub>) 及 (T<sub>1</sub>, V<sub>1</sub>)。

**B.4.1.6** 使用下列公式決定時間常數。

$$T_c = -\frac{(T_1 - T_0)}{\log_e(V_1/V_0)}$$

以圖 B.3 的 (T<sub>0</sub>, V<sub>0</sub>) 及 (T<sub>1</sub>, V<sub>1</sub>) 範例值代入計算。

$$T_c = -\frac{(6.0-2.0)}{\log_e(1.839/0.249)} = -\frac{4.0}{\log_e(7.386)} = 2.0 \text{ s}$$

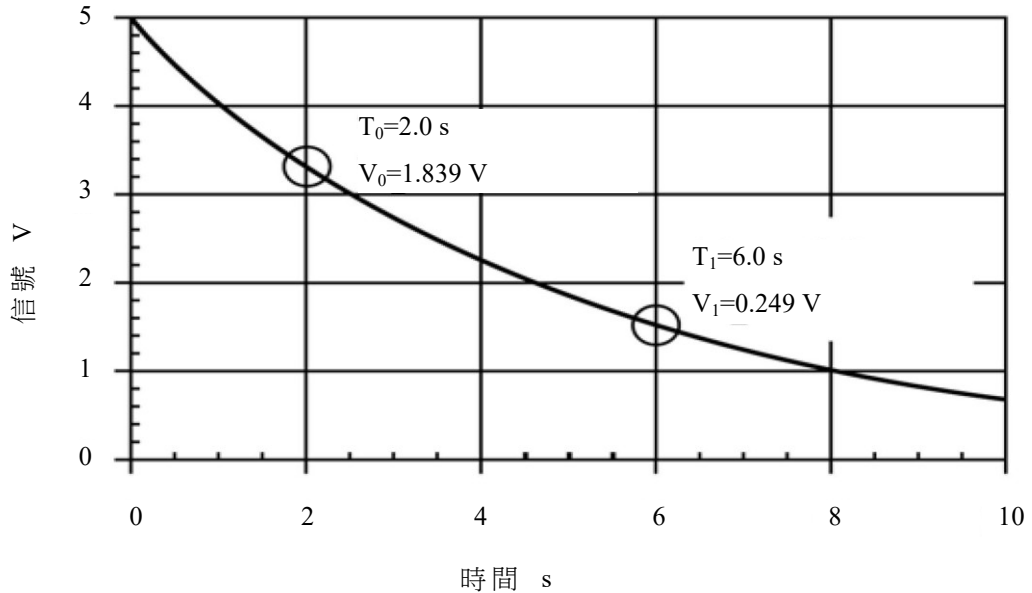


圖 B.3 時間常數試驗之記錄圖例

**B.4.1.7** 如量測的時間常數小於 2.0 s，則設備不符合本標準的頻率響應要求。

**B.4.2** 使用已知輸入查證  $g$ -max 值及 HIC 值計算：本試驗確定試驗系統的數據擷取系統、數位濾波器及計算程序是否符合本標準的要求。本試驗要求將加速度計輸出替換為預定形狀、寬度及幅度的合成脈衝(參照圖 B.4)。產生脈衝的選擇包括可程式信號發生器、計算機連接的數位至類比轉換器或其他適當輸出的裝置，只要其輸出範圍與信號調節器輸出相等，解析度至少為  $\pm 1 \text{ mV}$ ，且具在 50 kHz 之最小速率更新生成信號的能力。

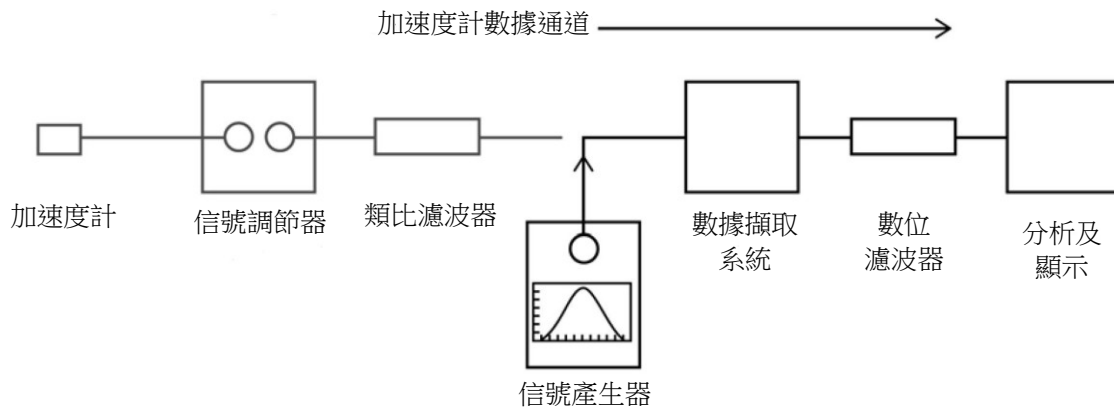


圖 B.4 計算查驗試驗之圖例

**B.4.2.1** 產生的脈衝為以下形式的餘弦(cos)波。

$$V = A \left( 1 - \cos \left( 2\pi \frac{t}{T} \right) \right)$$

式中， $V$ ：輸出的電壓

$A$ ：脈衝的高度(振幅)

$t$ ：時間

$T$ ：目標脈衝寬度

常數  $A$  由目標  $g_{\max}$  值及計算  $g_{\max}$  值與 HIC 值時，使用的加速度計靈敏度( $c$ )計算得出，方程式如下。

$$A = c g_{\max}$$

此功能產生如圖 B.5 所示類型的波形，且選擇此波形之理由為其與真實衝擊波形相似。此功能亦可依第一原則直接計算 HIC 值。

**B.4.2.2** 依下列步驟執行試驗。

- 可程式信號產生器產生 B.4.2.1 中描述的形式脈衝，並要求具有表 B.2 中所示的脈衝寬度( $T$ )及參考  $g_{\max}$  值的組合脈衝以完成試驗。在每種情況下，經由參考  $g_{\max}$  乘以加速度計靈敏度以確定波形的幅度( $A$ )。
- 將信號產生器的輸出端連接到數據擷取系統的輸入端。
- 準備數據擷取系統以接收信號，從信號產生器發送信號，以正常方式擷取及處理擷取的數據。
- 記錄試驗系統報告的  $g_{\max}$  值、HIC 值及 HIC 時距值。
- 在表 B.2 中，對脈衝寬度( $T$ )及參考  $g_{\max}$  值的 6 種組合中的每一種組合重複測試。
- 將試驗設備產生的  $g_{\max}$  值、HIC 值及 HIC 時距值與表 B.2 中的目標值進行比較。

**B.4.2.3** 若任何紀錄值與目標值相差超過  $\pm 1\%$ ，則試驗設備不符合本標準的要求。

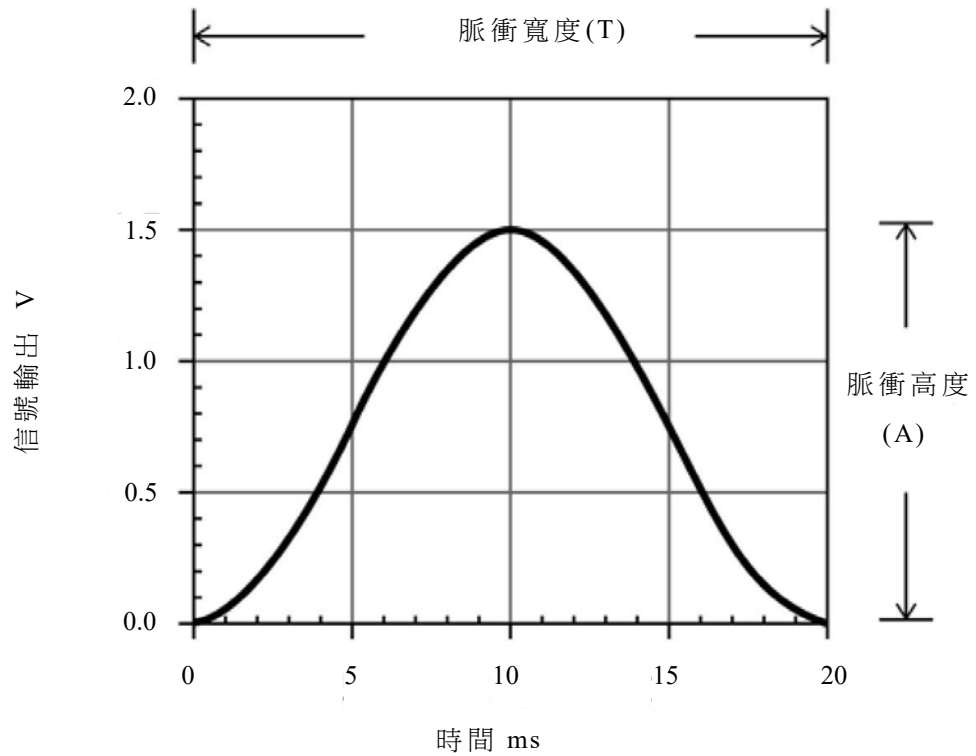


圖 B.5 合成衝擊波形圖例

表 B.2 輸入波形特徵及目標值

波形		目標值		
脈衝寬度 ms	參考 g-max 值	g-max 值 g	HIC 值	HIC 時距值 ms
10.0	100	100	302.9	5.08
10.0	150	150	834.8	5.08
10.0	200	200	1,713.7	5.08
20.0	100	100	605.9	10.15
20.0	150	150	1,669.6	10.15
20.0	200	200	3,427.4	10.15

## 附錄 C

### (參考)

#### 傷害風險曲線

- C.1** 關於衝擊大小與頭部傷害風險之間關係，其大部分知識源自實驗室條件下屍體與志願者受高加速度與衝擊的實驗，此實驗的數據構成汽車與飛機衝擊防護標準的基礎。目前尚無任何研究顯示遊戲場墜落的衝擊大小與所受傷害的嚴重程度直接相關。因此，仰賴源自汽車產業實驗的數據以從中了解傷害風險。
- C.2** 圖 C.1 顯示指定 HIC 值之情況下，由於衝擊而出現不同程度傷害的機率。此“展開普拉薩德/默茨曲線(Expanded Prasad /Mertz Curves)”乃基於屍體實驗的數據，其中觀察 HIC 值、顱骨骨折及腦損傷之間的關係。圖中的兩條實線曲線顯示無傷害及致命頭部傷害的機率。虛線表示輕度、中度及嚴重頭部傷害的機率，定義如下。
- C.2.1** 輕度頭部傷害：無意識喪失的顱骨創傷；鼻子或牙齒的骨折；顏面傷害。
- C.2.2** 中度頭部傷害：合併或不合併脫位顱骨骨折的顱骨創傷及短暫意識喪失。無脫位顏面骨骨折；深傷口。
- C.2.3** 嚴重頭部傷害：腦部挫傷、意識喪失超過 12 h 合併顱內出血及其他神經系統體徵；恢復不確定。
- C.3** 詮釋圖 C.1 的範例：如人的頭部受到的衝擊相當於 500 HIC 值，則其輕度傷害的機率為 79 %。其在此 HIC 值水準之中度傷害的風險亦相當大，機率為 38 %。然而，此衝擊產生嚴重或致命的頭部傷害的風險非常低。同時值得注意點，經歷 500 HIC 值衝擊下，不受任何傷害之機率僅為 21 %。
- C.4** 討論：在遊戲場墜落造成的傷害情況下，應謹慎詮釋 HIC 傷害風險曲線。普拉薩德/默茨曲線的數據，乃基於源自成人屍體受正面衝擊，此數據對受非正面衝擊頭部的兒童有效程度尚屬未知。此外，本標準規定的剛性投射物，其產生之 HIC 值稍高於屍體或具有像真人特性的頭型所產生值。如使用圖 C.2 解釋，傾向於高估，即依本標準測定之 HIC 值將高估頭部損傷的機率及嚴重程度，故本標準制定的準則比使用逼真的頭型更保守。由於欠缺兒童從遊戲場設備墜落的頭部傷害容忍度的具體數據，以及 HIC 標準限值 1,000 設置為致命傷害風險的低限值之事實，故更保守的準則是有保證的。正如普拉薩德/默茨曲線所示，1,000 HIC 準則限值致命傷害的機率，惟仍意味著嚴重、非致命傷害的重大風險，經歷 1,000 HIC 衝擊而無受傷的機率非常低(小於 1 %)。



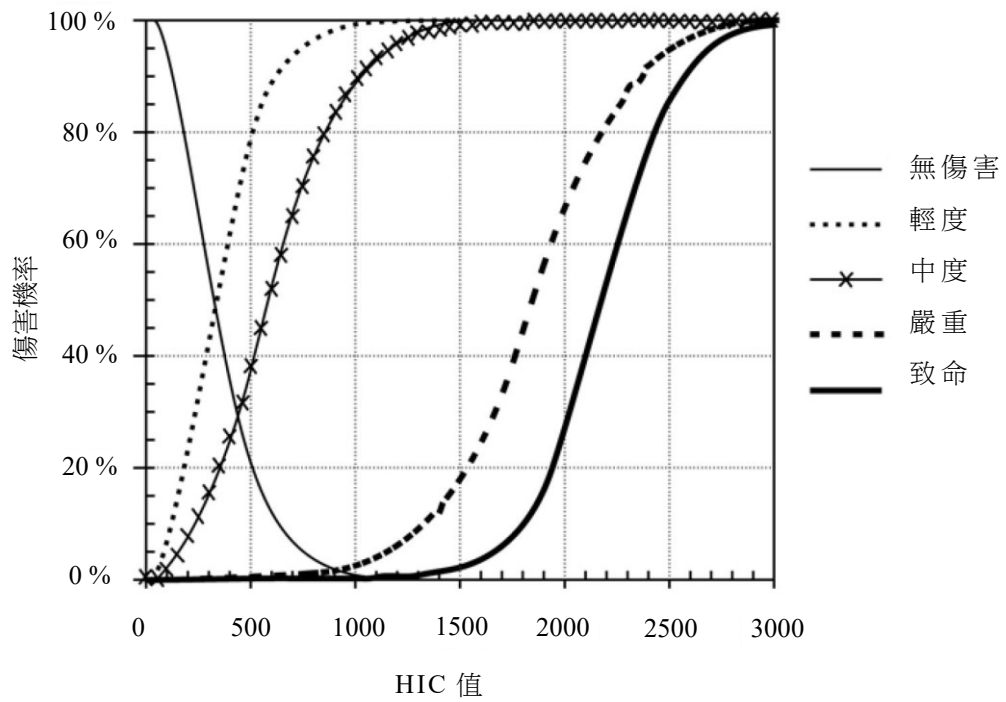
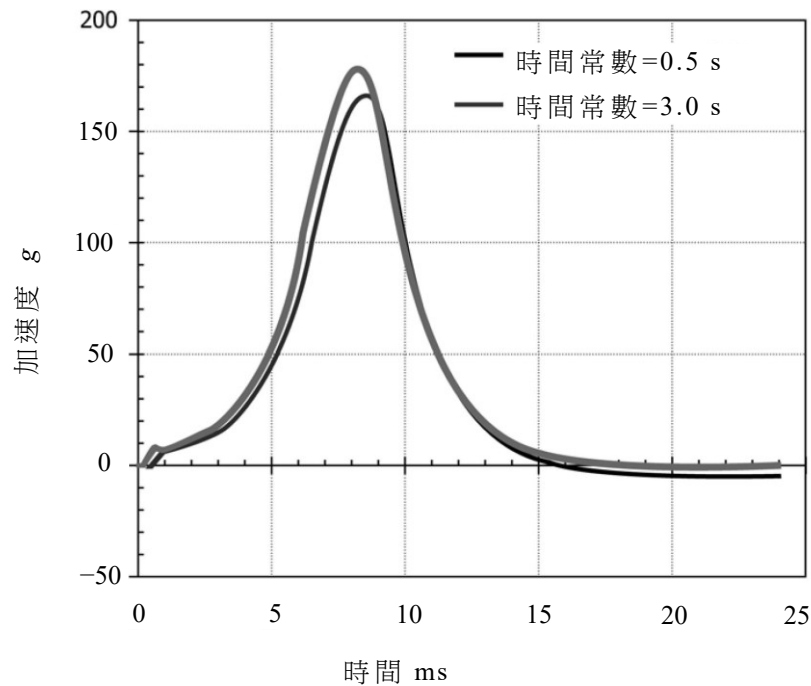


圖 C.1 指定 HIC 值之特定頭部傷害水準的機率圖例



備考：衝擊期間安裝在同一投射物上的兩個加速度計的加速度-時間曲線。具短(0.5 s)時間常數的加速度計在執行衝擊後，超過基線 5 g，並與具適當(3 s)時間常數的加速度計相比，低估  $g$ -max 值 11.5 g (6%)。

圖 C.2 加速度計時間常數之影響圖例

## 附錄 D

## (參考)

## 量測誤差影響

**D.1** 本附錄說明對不同量測誤差源試驗結果的靈敏度。

**D.1.1** 靈敏度及誤差估計值乃使用衝擊試驗模型計算，該模型假定剛性半球形頭型在 2438 mm (8 ft) 的高度落下，與線性彈性表面之間具有  $g\text{-max} = 200 g$  性質之赫茲衝擊(Hertzian impact)。

**D.1.2** 表 D.1 顯示每一組件量測中  $\pm 1\%$  誤差對  $g\text{-max}$  值、HIC 值及 CFH 值量測的影響，例：投射物半徑偏差  $1\%$  導致  $g\text{-max}$  值誤差為  $0.2\%$ ，HIC 值與 CFH 值誤差為  $0.5\%$ 。值得注意的是，在 HIC 值的計算中，將  $g\text{-max}$  值的任何誤差放大為  $2.5$ 。由於  $g\text{-max}$  值、HIC 值及 CFH 值之間的關係，CFH 值中的誤差大於  $g\text{-max}$  值及 HIC 值中的誤差。此外，在 HIC 值與速度量測中確定 CFH 值複合誤差的過程，使其對小誤差更為靈敏。通常，測試結果對投射物質量與幾何偏差最不靈敏，結果對衝擊速度量測組件的誤差特別靈敏。若使用擋光板/光柵系統，擋光板寬度量測或傳送時間( $\Delta t$ )的  $1\%$  誤差會導致臨界墜落高度估計誤差超過  $4\%$ 。在自由落下試驗中，下降時間量測誤差為  $1\%$ ，導致臨界墜落高度誤差為  $10.8\%$ 。

**D.1.3** 表 D.2 顯示每個組件量測中的誤差，導致計算出的 CFH 值中的誤差為  $\pm 76.2 \text{ mm}$  ( $\pm 3 \text{ in.}$ )。

**D.1.4** 表 D.3 列出本標準對  $g\text{-max}$  值、HIC 值及 CFH 值結果誤差所規定的量測容許差限值。顯示的數值假定試驗的墜落高度為 2438 mm (8 ft)， $g\text{-max}$  值為  $200 g$ 。儘管加速度與衝擊速度量測值的容許差為  $\pm 1\%$ ，惟在計算 HIC 值及 CFH 值時，此量測值中的任何誤差均被放大(為等於或大於  $2$ )。因此， $\pm 1\%$  的容許差意味著此兩種量測任一皆可能影響 CFH 值量測誤差為  $\pm 2.5\%$ 。如加速度與衝擊速度(或墜落高度)均處於其指定容許差限值內，則 CFH 值量測中的總誤差可能高達  $\pm 10\%$ 。

**D.2** 加速度計時間常數：依下列所示。

**D.2.1** 加速度計時間常數的差異已確定為實驗室間變異性的主要來源。時間常數決定加速度計對機械輸入的低頻響應，較長的時間常數表示較好的低頻響應。極短的時間常數( $\sim 0 \text{ s}$ )導致交流響應(ac response)及加速度計對恆定或緩慢變化的輸入不敏感。很長的時間常數( $>10 \text{ s}$ )表示近直流響應(near-DC response)及加速度計對低頻靈敏，包括其他隨時間變化很小的低頻。

**D.2.2** 本標準要求線性加速度計靈敏度低至  $1 \text{ Hz}$  或更低，時間常數為  $2 \text{ s}$  或更大的加速度計以及適當的信號調節，一般可滿足此要求。通常，加速度計是為量測振動而製造的，並具有比本標準所要求的衝擊加速度量測所需的最小時間常數( $<1 \text{ s}$ )更短的時間常數。為符合本標準的要求，許多加速度計須由製造廠商進行修

改。如圖 C.1 所示，時間常數過低的加速度計會產生一特徵信號，在衝擊後趨於“過衝”零基準線。缺乏適當的低頻響應亦導致  $g$ -max 值及 HIC 值的低估。

- D.3 衝擊時距：**在室溫試驗過程中，進行試驗所需時間的變化會導致材料恢復不同。在非室溫溫度試驗中，通過將樣品中加上改變溫度條件以增加材料的可變恢復，此一變化更為明顯。
- D.4 衝擊速度：**衝擊速度的變化為由落下導向裝置的落下高度或摩擦力的變化引起的。
- D.5 投射物：**使用本標準中引用的投射物以外的投射物可能導致結果發生重大變化，質量大於規定範圍的投射物將導致較低的  $g$ -max 值與 HIC 值。

表 D.1 1 %量測誤差對  $g$ -max 值、HIC 值及臨界墜落高度值結果之影響

組件 量測	投射物		加速度	擋光板 寬度	速度計	墜落 時間	衝擊 速度	落下 高度
	質量 lb	半徑 in.	$g$	in.	$\Delta t$ ms	s	fps	ft
標稱值	10.12	3.15	200	1.00	0.0037	1.188	22.70	8.00
±1 %誤差	±0.10	±0.03	±2.0	±0.01	±0.00004	±0.012	±0.23	±0.08
1 %量測誤差對 $g$ -max 值、HIC 值及臨界墜落高度值影響								
$g$ -max 誤差	±0.4 %	±0.2 %	±1.0 %	±1.2 %	±1.0 %	±2.5 %	±1.2 %	±0.6 %
HIC 誤差	±1.0 %	±0.5 %	±2.5 %	±3.0 %	±2.5 %	±6.4 %	±3.0 %	±1.5 %
臨界墜落高度誤差	±1.0 %	±0.5 %	±4.9 %	±5.1 %	±4.4 %	±10.8 %	±5.1 %	±2.5 %

表 D.2 臨界墜落高度結果誤差指定  $\pm 3$  in. 之量測誤差的大小

組件 量測	投射物		加速度	擋光板 寬度	速度計	墜落 時間	衝擊 速度	落下 高度
	質量 lb	半徑 in.						
標稱值	10.12	3.15	200	1.00	$\Delta t$ ms	s	fps	ft
%誤差	$\pm 3.0\%$	$\pm 6.3\%$	$\pm 1.0\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.3\%$	$\pm 0.6\%$	$\pm 1.2\%$
絕對誤差	$\pm 0.31$	$\pm 0.20$	$\pm 2.0$	$\pm 0.006$	$\pm 0.00002$	$\pm 0.004$	$\pm 0.14$	$\pm 0.10$
臨界墜落高度結果誤差指定 $\pm 3$ in. 之量測誤差的大小影響								
g-max 誤差	$\pm 1.2\%$	$\pm 1.2\%$	$\pm 1.0\%$	$\pm 0.7\%$	$\pm 0.7\%$	$\pm 0.7\%$	$\pm 0.7\%$	$\pm 0.7\%$
HIC 誤差	$\pm 3.1\%$	$\pm 3.1\%$	$\pm 2.0\%$	$\pm 1.9\%$	$\pm 1.9\%$	$\pm 1.9\%$	$\pm 1.9\%$	$\pm 1.9\%$
臨界墜落高度 誤差	$\pm 3.1\%$	$\pm 3.1\%$	$\pm 3.1\%$	$\pm 3.1\%$	$\pm 3.1\%$	$\pm 3.1\%$	$\pm 3.1\%$	$\pm 3.1\%$
臨界墜落高度 誤差	$\pm 3$ in.	$\pm 3$ in.	$\pm 3$ in.	$\pm 3$ in.	$\pm 3$ in.	$\pm 3$ in.	$\pm 3$ in.	$\pm 3$ in.

表 D.3 指定量測許可差對 g-max 值、HIC 值及臨界墜落高度結果的影響

組件 量測	投射物		加速度	擋光板 寬度	速度計	墜落 時間	衝擊 速度	落下 高度
	質量 lb	半徑 in.						
標稱值	10.12	3.15	200	1.00	$\Delta t$ ms	s	fps	ft
許可差	0.1	0.05	1.0	0.005	0.00002	0.001	0.227	0.2
%許可差	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 1\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 1.0\%$	$\pm 2.0\%$
指定量測許可差對 g-max 值、HIC 值及臨界墜落高度結果的影響								
g-max 誤差	$\pm 0.4\%$	$\pm 0.4\%$	$\pm 1.0\%$	$\pm 0.6\%$	$\pm 0.6\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1.2\%$	$\pm 1.5\%$
HIC 誤差	$\pm 1.0\%$	$\pm 1.0\%$	$\pm 2.5\%$	$\pm 1.5\%$	$\pm 1.5\%$	$\pm 0.9\%$	$\pm 3.0\%$	$\pm 3.0\%$
臨界墜落高度 誤差	$\pm 1.0\%$	$\pm 1.0\%$	$\pm 4.2\%$	$\pm 2.5\%$	$\pm 2.5\%$	$\pm 3.2\%$	$\pm 5.1\%$	$\pm 5.1\%$
臨界墜落高度 誤差	$\pm 1.0$ in.	$\pm 1.0$ in.	$\pm 4.1$ in.	$\pm 2.4$ in.	$\pm 2.4$ in.	$\pm 3.1$ in.	$\pm 4.9$ in.	$\pm 4.9$ in.

參考資料

- [1] ASTM F1148, Standard consumer safety performance specification for home playground equipment
- [2] ASTM F1487, Standard consumer safety performance specification for playground equipment for public use
- [3] ASTM F2075, Standard specification for engineered wood fiber for use as a playground safety surface under and around playground equipment
- [4] ASTM F355, Standard test method for impact attenuation of playing surface systems, other protective sport systems, and materials used for athletics, recreation and play
- [5] ASTM E691, Practice for conducting an interlaboratory study to determine the precision of a test method
- [6] SAE J211/1, Instrumentation for impact test – Part 1 – Electronic instrumentation