



CONSTRUCTION  
INDUSTRY COUNCIL  
建造業議會



# 外牆瓷磚及批盪黏合技術研究 研究報告

# 外牆瓷磚及批盞黏合 技術研究

## 研究報告

目錄	頁碼
行政摘要	
<b>1 簡介.....</b>	<b>1</b>
1.1 背景資料 .....	1
1.2 工作目標和範圍 .....	1
<b>2 研究範圍.....</b>	<b>2</b>
<b>3 檢討結果.....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 探討文獻及以往研究結果 .....</b>	<b>3</b>
3.1.1 本地（香港）研究.....	3
3.1.2 日本文獻探討.....	8
3.1.3 新加坡文獻探討.....	9
3.1.4 亞太地區（除新加坡和香港之外） .....	10
3.1.5 澳洲 .....	10
3.1.6 歐洲 .....	10
3.1.7 美國 .....	12
<b>3.2 國際標準和海外經驗.....</b>	<b>14</b>
3.2.1 環境與設計.....	15
澳洲環境.....	18
3.2.2 工人技術.....	20
施工過程與材料 .....	22
3.2.3 檢修 .....	24
維護和檢查.....	25
修復.....	26
維修與保護.....	26
3.2.4 香港方面可借用的經驗.....	27
3.2.5 異同 .....	28
3.2.6 其他國際標準.....	34

<b>3.3</b>	<b>地方條例和實踐，包括建築物條例、PNAP'S（認可人士、註冊結構工程師及註冊岩土工程師作業備考）和當前實踐案例</b> .....	<b>39</b>
3.3.1	設計.....	39
3.3.2	工人技術.....	41
3.3.3	維修.....	45
	<b>外牆瓷磚和批盪系統修復/修補工作</b> .....	<b>47</b>
	<b>(c) 維修</b> .....	<b>50</b>
	<b>維護檢查和測試</b> .....	<b>50</b>
	<i>目測</i> .....	<b>50</b>
	<i>離層剝落測試</i> .....	<b>51</b>
	<i>黏合強度測試</i> .....	<b>52</b>
	<i>實驗室測試</i> .....	<b>52</b>
<b>3.4</b>	<b>相關人士諮詢</b> .....	<b>54</b>
3.4.1	資料收集.....	54
3.4.2	諮詢建築專業人員和行業持份者.....	54
3.4.3	諮詢結果.....	54
<b>4</b>	<b>地點檢查和測試</b> .....	<b>56</b>
<b>4.1</b>	<b>地點概述</b> .....	<b>56</b>
4.1.1	地點 1—衛理道的一所官立學校.....	56
4.1.2	地點 2—長沙灣的一幢住宅建築.....	56
4.1.3	地點 3—元朗的一個住宅區.....	56
4.1.4	地點 4—紅磡的一幢重建大廈.....	56
<b>4.2</b>	<b>實地檢查介紹</b> .....	<b>57</b>
4.2.1	地點 1—衛理道的一所官立學校.....	57
4.2.2	地點 2—長沙灣的一幢住宅建築.....	57
4.2.3	地點 3—元朗一個住宅區.....	57
4.2.4	地點 4—紅磡的一幢重建大廈.....	57
<b>4.3</b>	<b>案例和測量方法介紹</b> .....	<b>58</b>
4.3.1	地點 1—衛理道的一所官立學校.....	58
4.3.2	地點 2—長沙灣的一幢住宅建築.....	58
4.3.3	地點 3—元朗的一個住宅區.....	58
4.3.4	地點 4—紅磡的一幢重建大廈.....	59
<b>4.4</b>	<b>測試結果</b> .....	<b>59</b>
<b>5</b>	<b>脫粘的主要原因</b> .....	<b>60</b>
<b>6</b>	<b>實驗測試</b> .....	<b>62</b>

<b>6.1</b>	<b>前期研究成果</b> .....	<b>62</b>
<b>6.2</b>	<b>研究團隊所進行的測試</b> .....	<b>62</b>
6.2.1	測試目標.....	62
6.2.2	測試結果.....	63
6.2.3	測試發現.....	64
<b>6.3</b>	<b>備註</b> .....	<b>64</b>
<b>7</b>	<b>建議</b> .....	<b>65</b>
<b>7.1</b>	<b>改進區域和擬解決方案</b> .....	<b>65</b>
7.1.1	設計.....	65
7.1.2	工人技術.....	66
7.1.3	維修.....	71
<b>7.2</b>	<b>基準建築物高度</b> .....	<b>75</b>
<b>8</b>	<b>結論</b> .....	<b>76</b>
<b>9</b>	<b>參考文獻:</b> .....	<b>77</b>

## 行政摘要

### 研究背景和範圍

本報告就香港外牆瓷磚黏合技術的相關問題進行研究。多年來，香港和其他地區均有建築物外牆批盪和瓷磚損毀事故。各個國家對這些事故的處理對策也不盡相同，例如在中國和新加坡，就對超出特定高度的建築物在外牆瓷磚的使用上加以限制。其他國家包括英國和澳洲則透過培訓、材料規格和檢驗等方式處理，而避免限制建築物高度。

針對即使是最新竣工的項目，亦有濕式鋪砌外牆瓷磚剝落的事例，建造業議會了解到業界持份者的關注，認為有需要就香港的建築物（尤其是高層建築）使用濕式鋪砌外牆瓷磚及批盪，以及現有設計和工人技術標準作出檢討。根據內容概要，本研究項目涵蓋以下主要範疇：

1. 探討文獻及以往研究結果。
2. 檢討海外工程經驗、相關文獻和研究。
3. 持份者在技術層面、社會層面、執行和相關問題上的意見摘要。
4. 檢討本地法規和守則。
5. 在四個選定工地進行的現場視察和測試的調查結果。
6. 探討導致剝落的主要原因。
7. 進行測試以驗證建議中瓷磚鋪砌方式的應用。
8. 瓷磚鋪砌方式的改進建議。
9. 制定設計和施工手冊，涵蓋外牆瓷磚和批盪的規格、設計、工人技術和維護等範疇。

在海外經驗檢討上，本研究涵蓋了澳洲、新加坡、日本和英國的相關經驗。這些檢討可有助了解其他地區面對的各種問題，以及找出可考慮在香港應用的解決方案。

### 外牆瓷磚和批盪的損毀或剝落

在香港，許多建築物的濕式鋪砌外牆瓷磚和批盪損毀事故，都可歸咎於施工不當，或原本的設計或規格存在缺陷。這些問題會導致整個建築物在使用期間，為確保安全和功能而需要增加保養與維修的工作量。

多年來，由於未能提供與原施工耐用程度相應的保養與維修，已導致多宗瓷磚和批盪剝落事故。

## 建議解決方案與未來方向

通過諮詢與外牆瓷磚和批盪相關的持份者，包括政府官員、學者和水泥產品製造商，已完成當前情況的檢討，並獲得相關資訊。由這些途徑獲得的資料，已經與由四個選定工地獲得的相關文獻材料、海外研究、現場視察和測試，以及對通用瓷磚黏合和批盪材料的黏合性能的測試資料相結合。

本研究建議採用組合方法，向持份者提供重要的資料，當中包括有關技術、組織和非技術問題，務求容易取得和易於明白，並將有關資料包括在設計和施工手冊中。

建議的未來方向如下：

1. 向持份者提供資訊，包括設計、規格、材料、工人技術和維護等各方面的指引；
2. 促進人力培訓，以提高批盪和瓷磚鋪砌的工程品質；
3. 對現有瓷磚鋪砌的指引進行檢討及改善，以融入目前的最佳做法，並且遵循國際標準的建議；
4. 對於不同基準的建築高度，為瓷磚和批盪建議適用的材料設計和規格，以及可接受的安裝方式；
5. 向相關持份者包括業主、發展商、設計和施工人員、操作人員和建築物管理/維護專業人員發佈手冊內所包含的資訊。

## 1 簡介

### 1.1 背景資料

在香港，建築物外牆常會使用瓷磚作為飾面。施工人員會使用水泥砂漿（有或沒有黏合劑）或底層專用黏合劑，將陶瓷磚或紙皮石會黏合固定在一層水泥批盪（有或沒有黏合劑）上。然後，該水泥批盪就會透過粗塗底和/或黏合劑，黏合固定在外牆的表面。

針對即使是最新竣工的項目，亦有濕式鋪砌外牆瓷磚剝落的事例，建築業議會了解到業界持份者的關注，認為有需要就香港的建築物（尤其是高層建築）使用濕式鋪砌外牆瓷磚及批盪，以及現有設計和工人技術標準作出檢討。

### 1.2 工作目標和範圍

艾奕康有限公司（AECOM）於 2010 年 6 月受建築業議會委託，按內容概要的指定範疇進行研究。

參考濕式鋪砌外牆瓷磚剝落或損毀的常見原因、相關國際國家標準、業界最新技術研發和期望，檢討濕式鋪砌外牆瓷磚和批盪的設計及工人技術標準；

研究香港建築物（尤其是高層建築物）使用濕式鋪砌外牆瓷磚和批盪的適合程度，並在適當的情況下，在設計和工人技術要求上，說明外牆瓷磚和批盪的改良黏合技術和鋪砌方式；

考慮改良黏合技術和鋪砌方法的適用性，並在有必要時制定建築物高度基準，如超過該高度則不建議外牆瓷磚使用有關黏合技術和鋪砌方法，及；

主要成果包括問題識別、適用指南，以及參考本地和海外有關濕式鋪砌外牆瓷磚及批盪的經驗後所作的建議。

研究範圍將在以下章節詳細闡述。

## 2 研究範圍

由於日程緊迫，本研究採用了系統方法以完成任務指定的目標。具體包括：

為獲得與本研究相關的公開可用資訊，開展了廣泛的背景資料案頭研究。研究資訊包括從學術類圖書館或通過互聯網搜尋所獲得的報紙、多個政府部門的技術刊物、技術文獻、期刊和書籍。

通過建造業議會的介紹和聯繫，安排與政府和非政府工作人員進行會議和諮詢，以綜合相關的資訊。對我們進行了多項探討，包括他們以往的研究結果、調查，以至研究和創新的措施。我們亦分別邀請一位學者和一位瓷磚黏合及批盪生產商進行諮詢，以了解有關問題所涉及的層面，並從他們的角度來看可如何解決這些問題。

為取得持份者更為廣泛和具有針對性的意見，設計了一套問卷收集他們對部份技術層面、社會層面、執行和相關事宜的意見。

對外牆批盪和瓷磚鋪砌的方法展開了技術調查。對於改善外牆瓷磚鋪砌和批盪方式，進行了重要細節和材料運用的評估。

外牆瓷磚/批盪方式同樣應用於海外，他們也跟香港面對相同的問題。本研究收集了澳洲、新加坡和英國在外牆瓷磚鋪砌/批盪方式上相關問題的經驗。我們檢討了個別海外情況的異同，並就他們解決和減少問題出現機會的措施，進行了識別和探討的工作。

根據檢討結果，為所有業界持份者編寫精簡的外牆瓷磚/批盪施工手冊。該手冊將會以所有業界持份者為目標，編寫方式務求簡單易明。



### 3 檢討結果

在 1970 年代之前，髹漆和批盪曾是香港常見的外牆飾面。然後瓷磚飾面漸成潮流，Ho 等人（2004）指出，在 1970 年代初期，紙皮石尤其是玻璃紙皮石廣受歡迎。自 1980 年代起，尺寸較紙皮石大的陶瓷磚和花崗岩磚越來越普遍。外牆瓷磚之所以如此流行，全因它們十分耐用及幾乎不用維護的特性，更見美觀之餘，亦能夠為牆身提供更好的保護。對於本地高層建築來說，這些特性尤為重要。

然而，近期多個城市由外牆瓷磚剝落所導致的大量事故，對在高層建築物使用外牆瓷磚的可行性引起慎重的關注。Tatlow（1994）和 Wallis（1995）報告了香港的情況，Chew（1992）亦報告了新加坡的情況。Ho 等人（2005）探討了香港發生的外牆瓷磚剝落事故，進而在問題潛在原因上提出 4x4 矩陣。

以下章節將會探討各個地區的相關文獻，嘗試得出這些外牆瓷磚事故原因的調查結果，是否存在某些規律。以下各節按照地區編排，包括本地（香港）、亞太區、歐洲及美洲。

#### 3.1 探討文獻及以往研究結果

##### 3.1.1 本地（香港）研究

香港高層住宅建築物普遍使用外牆瓷磚並事故頻繁，因此有需要就此問題展開調查與研究。2003 年，在房屋委員會研究基金（HARF）資助下，對外牆瓷磚進行了一項大型研究。研究結果在多家國際期刊和研討會上發表了，其中包括 Lo 等人（2005），Yiu 等人（2006，2007）。他們分別就靜荷載、風化和循環荷載對外牆瓷磚表現的影響進行研究。

Lo 等人（2005）透過實驗室研究和數值模擬，發現靜荷載會造成瓷磚、黏合劑和基底不同的移動。該實驗中，16 塊尺寸為 3 米 x 1 米 x 0.1 米的牆磚板塊（如圖 3.1）豎立放置，並在中間位置以推桿持續增加橫向力，直至板塊崩塌。結果說明，可以承受的橫向荷載為 28 千牛頓至 60 千牛頓，最大偏移為 11 毫米至 51 毫米。而且，大量板塊在粗塗底層崩塌，即批盪和水泥基底間的表面，並全部由邊緣位置開始剝落。

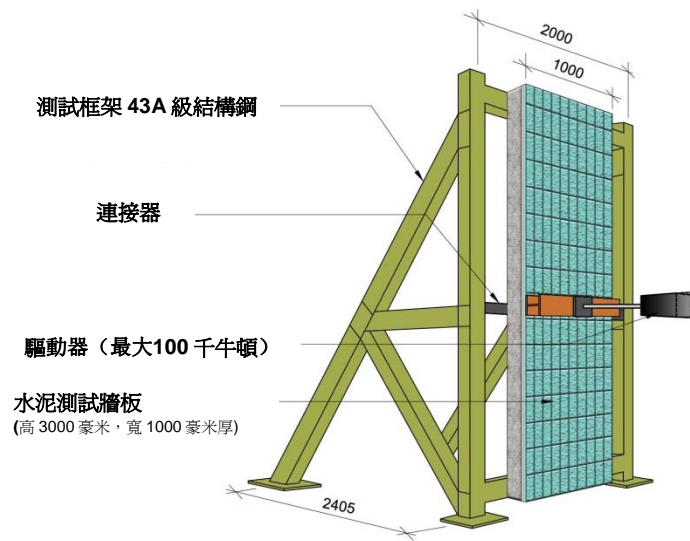


圖3.1—Lo 等人 (2005) 安裝示意圖

Yiu 等人 (2006) 透過經驗分析，風化作用如會熱力、風力和雨水對外牆瓷磚的黏合強度，會造成重大的影響。他們在 11 棟樓齡約 20 年的高層 (27 至 33 層) 住宅樓宇，進行了外牆瓷磚敲打試驗，藉此鑑定風化作用對瓷磚離層剝落的影響。

研究發現，在這些樓齡超過 20 年的建築物上，外牆瓷磚剝落的可能性平均為 14%，而建築物的方位和明暗屬性都會對此可能性帶來重大影響。例如，與建築物的東北正面牆相比，西和西南正面牆剝落的可能性分別高 4.8%和 3.5%。設置遮陽裝置也可以降低 10%的剝落可能性。

Yiu 等人 (2007) 透過實驗室研究發現，熱力和水分的循環可大幅度降低黏合力。他們裝設 10 塊 300 毫米 x150 毫米 x100 毫米的牆磚，並進行 200 次熱力和水分的循環 (圖 3.2)。剪應力測試結果顯示，在 100 次循環後，瓷磚批盪面的連膠黏合力會降低逾 50% (A 點從 1.7 降到 0.8 兆帕斯卡，B 點從 1.2 降到 0.6 兆帕斯卡)。

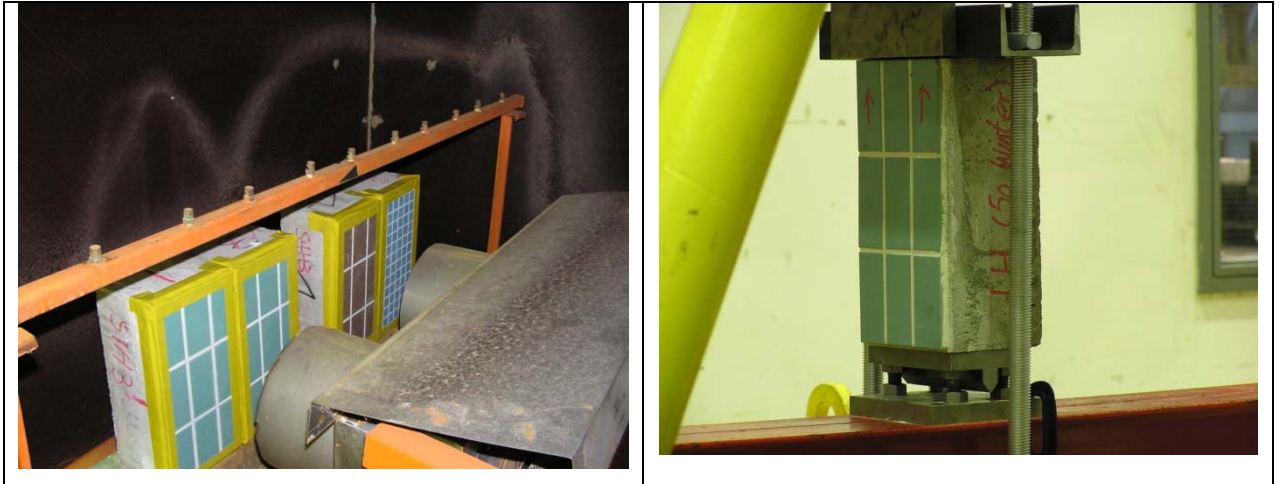


圖3.2 Yiu 等人 (2007) 熱力及水分循環測試及剪應力測試

除香港房屋委員會研究基金對外牆陶瓷磚研究專項外，最少還有兩項關於香港牆磚剝落原因的深入研究。第一項是Bowman及其工作團隊於(2000)年向香港持份者會提交，關於房屋委員會住宅大廈的陶瓷牆磚表現的研究報告。另一項是Lo及其工作團隊於(2007)年就香港公共屋邨走廊牆磚剝落成因的研究。然而，這些研究均針對內牆瓷磚，並在房屋委員會的屋邨進行。前者方法使用現場勘察，後者則使用半隨機訪問與及規格比較。前一項研究發現，不同材料間的差異移動，是導致牆磚剝落的成因；而後一項研究則發現，過底磚可能過大過重，令黏合劑無法承受。

Bowman 及其工作團隊於(2000)年的研究報告中強調瓷磚填縫劑的重要性，它可作為伸縮縫，並可解釋紙皮石一般能夠應付惡劣環境的原因。他們指出在舖砌的紙皮石中，有多於 20%的表面面積是接位，而牆磚尺寸的增大也會削弱填縫劑接位吸收和擴散拉力的作用，並做成負面影響，見表 3.1：

瓷磚尺寸 (毫米)	填縫劑接位寬度 (毫米)	瓷磚填縫劑接位佔總飾面面積的百分比 (%)
20 毫米 x20	2	21%
50 毫米 x50	2	8%
100 毫米 x100	2	4%
200 毫米 x200	3	2%

表 3.1： 牆磚尺寸和瓷磚填縫劑接位間的關係 (百分比%)

資料出處：Bowman 及其工作團隊 (2000)

Lo 及其工作團隊於 (2007) 年提供了一個列表，比較香港公營和私營房屋之間的標準差異 (表 3.2)。透過對比，我們發現私營房屋通常不會使用過底磚，而兩個界別使用黏合劑的標準也不盡相同。

瓷磚種類	公共範疇	部分	年份	備註	私人範疇	部分	年份	備註
陶瓷磚					BS 5383	1	1990	
					BS 5383	3	1989	
	BS 6431	1	1983	AIII級/BIII級	BS 6431	1	1983	
	BS 6431	5	1986		BS 6431	2	1984	
	BS 6431	9	1984		ANSI A108.1 A		1992	
紙皮石					ANSI A108.6		1992	
					ANSI A137.1		1988	
					BS 5383	1	1990	
					BS 5383	3	1989	
一釉面磚	BS 6431	8	1986					
一無釉面磚	BS 6431	1	1983	B1級				
	BS 6431	6	1984					
過底磚	BS 6431	1	1983	B1級				
	BS 6431	6	1984					
<b>其他材料</b>	<b>公共範疇</b>	<b>部分</b>	<b>年份</b>	<b>備註</b>	<b>私人範疇</b>	<b>部分</b>	<b>年份</b>	<b>備註</b>
瓷磚填縫劑	ANSI A118.6		1992		ANSI A118.6		1992	
					ANSI A108.10		1992	
					ANSI A118.1		1992	
水泥砂漿	BS 5385	1	1995		ANSI A118.4		1992	
黏合劑	BS 5980		1980		BS 5980		1980	AA級：2-3毫米
	BS EN 12004		2001	0.5牛頓/平方毫米	ANSI A136.1		1992	
					BS 6920	1		
建議黏合劑	雷帝國際				雷帝國際3030			
	Mapei—中國				Mapei-Granirapi			
	E-Mix				E-Mix Marble Fix			
伸縮縫/虛位	BS 5385	1	1995		7.3-11m			
一直接暴露於陽光或潮濕之中					3.6-4.9m			
工人技術水平 (安裝方法)	BS 5385	1	1995		BS 5385			
瓷磚定型時間 (灌填縫劑前)	24小時				48小時			

表 3.2： 香港公營和私營房屋內牆瓷磚規格的初步比較 (來自 Lo 及其工作團隊於 2007 年發表的論文，資料來源聲稱如下：香港房屋委員會，2004 年；與私營界別持份者的訪問)

一位名叫 Lo 的學生還開展了一項黏合劑強度實驗室試驗（1998），該試驗在（1）循環荷載和（2）單向抗剪強度條件下進行。試驗以通用試驗機（UTM）完成。三類試驗黏合劑包括：（1）傳統水泥漿（混合比：0.5 千克水泥對 200 毫升水），簡稱 CP；（2）已混合的專用黏合劑，簡稱 KM 和（3）製造商提供的袋裝成品，簡稱 TB（添加聚合物的基底水泥，混合比：50 千克粉劑對 5 升水）。

在循環荷載試驗中，試驗樣本經過如下養護與製備：

1. 養護時間表：1 小時、2 小時、4 小時、8 小時、18 小時、24 小時、3 天、7 天、10 天和 14 天。
2. 樣本製備：於兩塊 100 毫米 x100 毫米的牆磚之間，於 10 毫米外懸中使用 2 毫米厚度的黏合劑；並且
3. 荷載和變形標準：
  - 0.49 千牛頓>荷載>0.001 千牛頓
  - 0.55 毫米>拉伸>0.01 毫米。

在抗剪強度試驗中，破壞性抗剪強度實驗的規格和程序參考了 BS 5980:1980—陶瓷牆磚和紙皮石的黏合劑使用，附錄 E—黏合劑抗剪強度強度的計算。試驗樣本採用以下流程進行養護與製備：

1. 養護時間表：1 天、3 天、5 天、7 天、10 天和 14 天；
2. 樣本製備：在兩塊 100 毫米 x100 毫米的牆磚之間的¼覆蓋區域使用 2 毫米厚黏合劑；
3. 荷載和變形標準：
  - 0.49 千牛頓>荷載
  - 拉伸>0.01 毫米。

實驗結果顯示，有聚合物添加劑的黏合劑在 7 天養護後可獲得最大強度。CP 錄得 2.58 千牛頓，而 KM 和 TB 分別錄得 1.67 和 2.96 千牛頓。BS 5980:1980:9 要求黏合劑在實驗室環境養護 14 天後，抗拉強度中位數達 $\geq$ 950 牛頓；在實驗室環境下養護 7 天再浸水 7 天後，抗拉強度則需達 $\geq$ 560 牛頓。

就每 0.88 米 x0.98 米面積的最終抗剪力強度而言，TB 在 7 天養護後錄得的強度高達 14.22 千牛頓，相比之下，KM 和 CP 錄得的強度分別為 3.36 千牛頓和 2.21 千牛頓。近 90%的樣本均是由於黏合劑剝落而崩塌。BS 5980:1980:10 要求黏合劑在實驗室環境養護 14 天後，平均抗拉強度達 $\geq$ 8.9 千牛頓；在實驗室環境下養護 7 天再浸水 7 天後，抗拉強度則需達 $\geq$ 4.5 千牛頓。

香港的早期研究包括 Davies（1998）和 Wilkins（1991），但是，這些研究較不嚴謹，並傾向於一般性和敘述化。然而，這些研究也指出荷載和風化會導致不同位移



的相同觀點。例如，Davies（1998）特別指出長期不可逆的位移，與環境、設計和原材料因素密切相關。例如，不同的位移可能是在荷載狀態下出現的偏轉，以及陶瓷牆磚遇潮濕出現的膨脹現象。而且，這些位移可透過設計適當的伸縮縫來調節。Davies（1998）還曾報導一項由 Casimir 開展的研究（1994），指出吸力控制不良是瓷磚剝落的一個主要原因。這些研究還說明吸水不足的水泥無法達到應有的黏合強度。因此，建議在瓷磚各個層次的任何施工階段，均進行吸力控制的監察。

Wilkins（1991）指出：「這是品質控制程序未能達到適當的標準，而並非設計規格的問題。不良工人技術加上多變的氣候，是導致光滑高密度表面出現剝落的原因。」Wilkins（1991）還認為混凝土品質的提升，促成了低滲透的高密度表面，因而造成低孔隙率和極低的吸力。在混凝土基底上的瓷磚飾面黏合表現，很大程度上取決於拆除模板後手工製作的粗糙表面（粗塗底）。

據 Wallis（1995）的報告，在 1994 年 11 月、1994 年 12 月和 1995 年 1 月，分別發生約 90 宗、100 宗和 129 宗牆磚剝落事故。

香港的高密度與高層建築環境，進一步加劇了這些事故的嚴重性。根據房屋委員會研究基金 2005 年資助的第 CB20030020 號研究項目，研究小組發現新加坡也曾出現類似現象，該地高層建築物亦十分普遍（Chew，1992）。在調查期間（2001 年 4 月至 2006 年 11 月），共發生 104 宗外牆飾面剝落事故，導致一人死亡及 47 人受傷。此現象分佈於各個地區，而非某些區份特有的問題。此研究項目沒有這些事故成因的相關資訊。

很多其他本地的外牆瓷磚研究，都集中於試驗與監控方法，例如，Lomas（1997）、Lo（1999）和 Ho 等人（2003）研究熱像測量，Hung（2003）研究抗剪強度測量，Yiu 和 Chan（2009）研究光纖光柵傳感器等。

### 3.1.2 日本文獻探討

日本對外牆瓷磚和黏合劑進行了大量研究，但可惜的是，這些研究大部分以日語編寫，例如 Kumagai 等人（1997）、Makoto 和 Yasunori（2003）。其中一些研究非常全面，例如，Ozkahraman 和 Isik（2005）根據 EN 1348 和 EN 12004 標準，測試 10 種水泥黏合劑在乾燥、潮濕、炎熱和結冰融化條件下的黏合強度。這些研究發現，含大量二氧化矽  $\text{SiO}_2$ （80–95%）和少量碳酸鈣  $\text{CaCO}_3$ （0.5–3.4%）的黏合劑樣本具有最大拉力強度。

日本對牆磚剝落的研究，著重混凝土基底和黏合砂漿之間表面所承受的熱應力，日本外牆瓷磚結構剝落大多由此原因造成。由 Mahaboonpachai 和 Matsumoto 帶領的其中一個主要研究團隊指出，由於各種原材料熱膨脹的程度不同而產生的剪應力，是破壞外牆瓷磚結構的主要因素之一。

Rumbayan (2006) 在日本東京大學Matsumoto教授的監督下，Rumbayan對牆磚結構中的溫度分佈展開了詳細的研究。研究發現，當牆磚表面溫度達到攝氏 50 度時，混凝土層和牆磚層的最大溫差約為攝氏 12 度，認為這樣的環境導致黏合砂漿達到 2.6 兆帕斯卡的剪應力，而這正是破壞牆磚耐用性的主要因素之一。

Mahaboonpachai等人 (2008) 曾開展一項實驗室規模的加熱實驗，旨在模擬實際外牆磚結構受到太陽照射，以研究在熱荷載條件下，混凝土和聚合物水泥砂漿 (PCM) 之間的離層剝落情況。這些研究發現，當牆磚表面溫度達到攝氏 100 度時，混凝土和PCM之間的介面裂縫長度擴散到近 3 毫米。當牆磚表面溫度達到攝氏 105 至 120 最高溫度時，可見裂縫沿介面進一步擴散。

實驗結果表明，各種材料的熱膨脹程度不同，是破壞外牆瓷磚結構的主要因素之一。

最近，Mahboonpachai等人 (2010) 進一步斷定，由裂縫擴散引發的介面剝落情況，有望透過介面剝落韌性解決 (而非黏合強度)。他們在介面剝落力學原理的基礎上，進行了四點彎曲試驗。

### 3.1.3 新加坡文獻探討

MichaelChew 已發表最少 4 篇有關外牆瓷磚的論文或專著章節，分別是 Chew (1992、1999a、1999b) 和 Chew 等人 (1998)。通過實驗室研究，他們發現黏合劑在施工過程中，黏合強度會受到溫度影響；但在黏合劑添加聚合物，可顯著提高其黏合強度 (當儲存於高溫如 60 °C 時，提高 28%到 46%不等)。

Chew (1999a) 更特別開展了全面的實驗，評估溫度對四種黏合劑強度的影響：  
(1) 黏合劑 A：水泥：砂：水=1:4:0.8，(2) 黏合劑 B：與 A 相同，50%的水用聚合物代替，用作添加劑 (3) 黏合劑 C：水泥：砂：水=1:3:0.4；(4) 黏合劑 D：與 C 相同，100%的水用聚合物代替，用作添加劑。結果顯示黏合劑 B 的剪應力較黏合劑 A 高出 10%。添加聚合物的增強作用得到肯定。但是，黏合劑 D 的剪應力比黏合劑 C 低 8%，與上述結果相矛盾。研究中分析，因過量使用聚合物會導致黏合劑乾燥過快，而造成強度降低。

研究還發現無論黏合劑是否使用聚合物作為添加劑，當在高溫 (攝氏 40 度) 和低溫 (攝氏 10 度) 環境下使用時，黏合強度都會降低 (降低 10%到 47%不等)。該研究推斷，已預熱表面會呈乾燥並快速吸收黏合劑的水分，阻礙了水合作用。

最終，研究發現高溫和潮濕對黏合劑強度影響非常之大。熱力循環會導致拉脫強度下降 18%到 21%，而加濕循環則會導致拉脫強度下降 6%到 37%。

Chew (1999b) 在下面引用了 Ohama 等人的 (1986) 溫度對黏合劑強度的影響理論：

「水泥的水合過程中會抽去水分（由於較高儲存溫度而加速），水泥水合物上的緊密聚合物顆粒會形成連續的薄膜，薄膜與水泥水合物混合後形成一個整體網路，聚合物相與水泥水合相在其中相互交錯。」

另外兩次新加坡的研究由 Guan 等人 (1997a, 1997b) 進行，這兩項研究也有關溫度的影響。Guan 等人 (1997a) 的研究指出，高溫會加速黏合劑中聚合材料的熱降解，當溫度增加 10 °C，就很可能會使力學反應速率提升一倍。

Guan 等人 (1997b) 認為，降雨帶來的快速冷卻效果會產生熱衝擊，在牆磚平面上產生很高的垂直正向應力。這會不利於膠黏效果，導致出現裂縫和離層剝落。濕度的變化同樣會對牆磚產生影響。

### 3.1.4 亞太地區（除新加坡和香港之外）

Zhao 和 Zhang (1997) 在中國進行了有關工人技術對外牆瓷磚黏合強度影響的研究。

### 3.1.5 澳洲

根據澳洲皇家建築師學會 (1991) 和 Hartog (2000) 的研究發現，結構框架縮短可能是引起高層建築物牆磚剝落的主要原因之一。研究認為應定期量度磚柱的漸進應變程度，這對外牆磚飾面的進一步表現研究非常有用。Bowman 等人 (2000) 的研究也是由澳洲專家編寫的。

### 3.1.6 歐洲

研究發現，牆磚系統中的材料相容性，對減低應力的積聚有重要的作用。Greminger 等人 (2009) 透過現場研究，發現瓷磚剝落的兩個主要原因：（1）少孔光滑的牆磚導致砂漿的黏合性能差；（2）大尺寸牆磚使中央到水泥薄漿的距離顯著增大，從而加大了牆磚邊緣的應變力。Zurbruggen 等人 (2008b) 還透過電子顯微掃描，確定黏合劑中的聚合物，是黏合劑用在瓷磚上時的黏合表現關鍵因素。

Zurbruggen 等人 (2008a) 也就 Reinmann (2001) 針對戶外牆磚使用的三項建議普遍實用性不佳的原因作出解釋，具體說明如下：

第一條建議為通過砂漿採用浮動塗灰技術 (DIN 18157) 給予牆磚適當濕化，與簡單浮動技術相比，這種方法需要更多原材料，並且耗時更長。



第二條建議是使用彈性薄膜（如砂漿底層），以克服基底和牆磚之間收縮差異，這種方法成本較高，耗時更長；

第三條建議是使用開放時間更長的黏合砂漿，這種方法成本較高。

Herwegh 等人（2009）通過數值模擬方法發現，基底的收縮會導致應力集中在砂漿上，這樣會特別容易引起牆磚邊緣發生力學剝落。Zurbruggen 等人（2008a）的研究同時說明，牆磚、黏合劑和基底之間不同的收縮膨脹性能，會在牆磚和砂漿介面，特別是牆磚邊緣形成很大的位移偏差和剪應力。

早期研究較不嚴謹並傾向描述性，但它們指出了荷載和風化產生位移偏差的相同研究方向。例如，Fintel 等人（1987）報告表示「由重力荷載和收縮而致的牆柱彈性和非彈性縮短，可達每米 1.04 毫米。超高層建築可能較大的絕對高度結構，最終會對外牆飾面構成影響。」

Simmons（1990）還曾推斷混凝土基底的位移會對表面的飾面產生較大影響。由於基底會有不可避免的位移，例如高溫位移、徐變、混凝土收縮和振動，頂層飾面應能夠承受這些位移。

Aitkenhead（1995）列出了黏合剝落、水泥批盪和其他批盪斷裂的 29 個原因，但並未進行分類和論證。Wallis（1995）的報告表示「多數建築物使用的紙皮石飾面，會由於城市環境污染和惡劣的熱帶氣候，從結構的混凝土核心剝落。Simpson 和 Horbin（1970）的研究對影響牆磚性能的各種風化因素進行了探討，例如耐用性、滲透性、增強表面、防結霜、抗化學反應能力、結構因素、變形、收縮和徐變。風化因素包括溫度、濕度、風力、陽光、氣壓等。Addleson（1991）還考慮了氣候因素對建築物性能的影響，例如濕度、溫度、降雨、風力，以及長期暴露於風和雨之中。Briffett（1991）認為降雨致使水分通過極細的裂縫滲進瓷磚系統，減低了跟水泥墊層之間的黏合強度。Ransom（1987）還認為建築物表面的厚度會出現溫度梯度，從而導致外牆飾面和基底間形成很大的位移差。由於外立面通常不能形成自由位移，增加的熱應力會導致斷裂或變形。而且，如果各個部件的熱膨脹程度不同，外牆表面的循環溫度變化則會造成損害。因而，在牆磚系統介面內部會形成抗剪強度。如果這些剪應力無法透過適當的伸縮縫應付，它會超過各部件間的黏合強度，導致黏結合剝脫的情況。Seah（1992）表示，伸縮縫通過空氣吸收污染物，會對砂漿墊層構成影響。再加上水分的因素，會對牆磚墊層和砂漿產生不利影響。

Coad (1985) 根據 BS 5980 標準對不同條件下的瓷磚膠抗剪強度進行評估。他發現接位組裝隨時間增加的抗剪強度，很大程度上取決於溫度、在較小程度上則取決於相對濕度。而且，他表示牆磚接位後期的水滲透，對接位性能有重大的影響。

Baziard 等人 (1995) 通過 ASTM D2293-69 試驗，對單搭黏合接位的剝落情況進行研究。研究發現，為接位黏合劑剝落所應變力能量釋放速率，比黏合劑剝落所計算的高出 10 倍。

根據 DIN 53265 (DIN, 1998) 標準試驗，Riunno (1992) 利用抗剪強度試驗對各種牆磚黏合劑和砂漿系統的柔韌性進行研究。他表示，含有液體添加聚合物的乾性黏合劑，和具化學反應混合黏合劑最具柔韌性。

Coad 和 Rosaman (1986) 找到了引發黏合劑剝落的三種可能原因：

某個基底出現裂紋；

黏合劑本體出現裂紋（黏合劑剝落）；和

黏合劑和黏合物（牆磚或基底）之間界面的分離，而導致黏合劑剝落。

Adams 和 Wake (1984) 對剝落樣本進行了顯微鏡分析，並總結出以下黏合劑問題：

- 孔性和空隙—在混合或鋪設過程中產生的氣隔造成；或黏合劑不足；
- 養護不良—黏合劑混合不正確等因素造成；
- 表面鬆脫—黏合劑塗抹不均勻；
- 零體積鬆脫—應力不足，無法達到黏合強度。

### 3.1.7 美國

普遍認為，造成牆磚系統剝落的原因，是系統本身產生的應力過大。Toakley 和 Waters (1973) 製作了幾個理想的牆磚系統數理模型，以解釋實際中儘管正向應力很低，仍有可能出現剝落。他們認為「介面上形成的剪應力和牆磚系統本身的壓縮應力非常高（並導致最終剝落）。」然而，剪應力有多個成因，包括熱應力和潮濕應力。

### 3.1.8 長期加速耐久度測試

該研究隊伍擁有進行外牆瓷磚長期加速耐久度測試項目的經驗。其中一個專案是由香港房屋委員會研究基金 (HARF) 資助的 CB20030020 號項目，其長期耐久度測試由香港大學和香港測量師學會在 2005 年聯合進行。在完成報告書檢討後，該研究隊伍認為除了欠佳的工人技術外，風化也可能是造成外牆瓷磚剝落的原因之一。因此，該項目對當前外牆瓷磚系統應對風化影響的措施進行了調查。本報告已對香港房屋委員會研究基金的調查結果進行探討，在此不建議再次進行。

根據香港房屋委員會研究基金項目的經驗，設計和組建人造風化設備需要 12 個月（2003 年 12 月到 2004 年 11 月）；實施人造風化測試需要 7 個月（2004 年 12 月到 2005 年 6 月）；另外，為了節約時間，通過重疊程序進行黏合強度抗剪強度測試，又需要 6 個月（2005 年 4 月到 2005 年 9 月）。總結來看，香港房屋委員會研究基金項目針對 4 種瓷磚規格共 40 個樣本的人工風化實驗室研究，經歷了 200 個夏季循環和 50 個冬季循環，共耗時 22 個月。要從規模如此龐大的快速耐久度測試專案中評估結果，其中一個問題就是大量的變數，即是說結果不能單獨來看或從中完成總結。對該研究，建議將主要試驗工作的重心，放在典型香港天氣環境的風化情況下，批盪和牆磚黏合系統與不同材料之間的黏合強度上。

該研究在鋪砌瓷磚的混凝土樣本上進行了一項人工風化測試。300 毫米 x 150 毫米的瓷磚貼在 300 毫米（長）x 150 毫米（寬）x 100 毫米（厚度）的混凝土樣本上。有關測試樣本包括瓷磚飾面處理在內，均由經驗豐富的合格工人在可控制的室內環境中準備。跟樣品製作相關的氣候差異並沒有計算在內。

樣品被分成 4 組：（1）用 1:3 的水泥砂漿鋪砌的陶瓷牆磚；（2）用瓷磚膠鋪砌的陶瓷牆磚；（3）按照香港房屋委員會規格鋪砌的紙皮石；（4）用 1:3 水泥砂漿鋪砌的釉面陶瓷磚。

實驗室室溫受控；實驗過程中室溫為攝氏 24 度。為了模擬風化循環，樣品被加熱器加熱到攝氏 45 度，並由機械風扇降到室溫。樣品分別經過了 50，100，或 200 次的風化循環來研究風華對外牆貼飾的抗剪強度受力狀況。每個風化循環由 30 分鐘的加熱、10 分鐘的冷卻、20 分鐘的加濕和最後 10 分鐘的乾燥組成。

接下來，樣品要經過 50，100 或 200 次的冬季循環，之後被放入 3 台家用冰櫃的冷凍室進行風化試驗以便測定冷卻影響下的外牆裝飾面抗剪強度。每個冬季循環由 40 分鐘的冷卻和之後 40 分鐘的暖化組成。

風化循環完成之後，樣品裝飾面的殘存抗剪強度由一台特殊設計的設備測定。該設備由一個致動器和一組在抗剪強度測試過程中用來固定混凝土樣品位置的鋼制固定器組成。瓷磚/批盪和批盪/混凝土接觸面之間的抗剪強度在該測試中被測出。

實驗結果表明外牆裝飾面抗剪強度在風化循環測試後有所下降。與未經風化處理的初始數值相比，其下降比例高達 67%。批盪/混凝土接觸面與瓷磚/批盪接觸面相比普遍更脆弱。

報告中提及的香港房屋委員會研究基金專案中的人工風化測試有幾項局限性：

- 測試樣品數量和測試變化數量有限；
- 實施的人工風化循環次數有限；
- 靜態負載測試中的 16 個樣品只檢測了抗剪強度黏度測試；
- 加熱、加水和冷卻效果為綜合性，並且使用循環的次數不受系統老化程度的直接影響；
- 當 4 組樣品經歷 200 次風化循環的時候，其抗剪強度有所上升，而這一點並非預期的變化趨勢；
- 不同批次樣品間的工人技術差異不能得到完全精確控制；
- 不同批次樣品所用的材料（如混凝土）之間的差異不能完全精準控制；
- 粗塗底的力度和品質是由申領人的主觀判斷和技術而決定的。

然而，人工風化測試仍不失為外牆裝飾面長期耐久度測試最適合的實驗室研究方法之一。

### 3.2 國際標準和海外經驗

外牆瓷磚/批盪在建築物中的應用不僅僅局限於香港。那麼，我們不妨看一看，在香港之外的其他地方是否也有過類似的問題發生？如有，其問題是如何解決？若無，又是如何被避免問題？這對我們來說有很有價值。

考慮到澳洲、新加坡和英國等海外經驗可能被引進香港，所以我們首先看了一下上述幾國的經驗。大量研究表明，香港與海外地區擁有的相同問題，都受到關注和討論。

澳洲、新加坡和英國之間的氣候大不同，而且由於人口密度和可用建築用地總面積的差異，導致三國間的社會住房需求也不盡相同。和香港地區類似，新加坡國土面積小，人口密度高，屬溫熱、潮濕的熱帶氣候，香港地區同樣也是人口密度大，而且近乎半年的時間都是潮濕、溫熱的氣候。

與香港地區相比，澳洲土地遼闊，人口密度遠低於香港，大部分人口都分佈在海岸線稀疏的城市。興建高層建築的原因不同，並且大多數高層住宅建築都是地產市場中有著盡可能多海景的豪華產品。在澳洲，外牆瓷磚的應用並不廣泛，相反，批盪或牆面漆會更受歡迎。

英國和香港地區的氣候大相徑庭，經常是陰冷潮濕，但像澳洲一樣，外貼牆轉的應用並不常見。各海外經驗的例子突顯在設計、工人技術和維護方面的發現，該部分內容能夠針對香港的具體情況帶來益處。

### 3.2.1 環境與設計

#### a) 新加坡

##### *新加坡環境*

在緯度位置上，香港大概位於北緯 22 度，而新加坡大概位於北緯 1.5 度。因其地理位置和四面環海的特徵，新加坡的氣候也很有特點，氣溫和氣壓均勻，濕度大且雨量充沛。新加坡的氣候可以劃分為東北季風季節和西南季風季節，其間間隔兩個相對較短的季風過渡季。

##### *東北季風季節— 十二月至三月初*

當東北季風盛行時，風速往往高達 20 公里/小時。在十二月和一月多是多雲天氣，午後經常伴有降雨。廣泛地區的降雨從小到大會持續一到三天。二月份到三月初相對乾燥。而且，在一月和二月一般都會颶風，風速往往可達 30-40 公里/小時。

##### *西南季風前的過渡季— 三月底至五月*

常有多變的微風，午後傍晚常有陣雨，且常是雷暴。

##### *西南季風季節— 六月至九月*

東南/西南季風。正午傍晚常有局部地區性降雨。初晨常見蘇門答臘線颶。霧霾期。

##### *東北季風季前的過渡季— 十月至十一月*

多變的微風。午後多海風。傍晚前和初夜常有局部地區性雷暴。

**溫度：**日氣溫範圍：最低溫範圍為攝氏 23 至 26 度；最高溫範圍為攝氏 31 至 34 度；最低溫攝氏 19.4 度；最高溫攝氏 35.8 度。



**相對濕度：**日濕度範圍，初晨濕度幾乎可達 100%，到下午三點左右，濕度在 60% 左右。平均濕度在 84%，若是趕上持續的大雨，濕度通常達到 100%。

**降雨：**沒有明顯的濕季或乾季。十二月和四月降雨最多。二月和七月通常較為乾燥，每年平均降雨量約 2350 毫米。

### **外牆瓷磚和批盪面臨的問題**

據報導，瓷磚脫黏牆面並從高空墜落正成為新加坡一項重大的安全隱患。該問題在八十年代末和九十年代初的一些瓷磚高空墜落事故發生後第一次走進公眾視線。外牆瓷磚在新加坡的使用始於 20 世紀 70 年代，在 1987 年以前因其美觀的外表和「未見剝落」的官方報導而風靡一時。直至 20 世紀 90 年代初發生的一系列高空瓷磚剝落和碎裂的事故高調發生，促使有關當局簽署了一份備忘錄，呼籲減少在四層以上的建築物上使用外牆瓷磚。與此同時，其他替代性外牆裝飾材料，例如鋁板、石材和幕牆開始進入市場並迅速成為了建築行業專人士避免外牆瓷磚相關問題的普遍選擇。

1993 年，外貼瓷磚在一棟名叫 HawParTechnocentre 的低層商用建築上出現剝落問題，這幾乎可以標誌著外貼類建築物牆磚在新加坡的使用告一段落，時至今日仍然很少使用外牆瓷磚。

當一些有瓷磚問題的建築逐不斷上新聞頭條，新加坡的許多建築其實依然還包裹在各種各樣的瓷磚中，這些瓷磚狀況依然合格，而且依然發揮著基本上無缺陷的功能，並且只需最少限度的維護。

新加坡外牆瓷磚剝落問題的經驗可以簡要的概括成以下幾點：

- 地區性和個別事故（問題很可能是由於地區性差劣工人技術，導致個別事故在建築過程或完成施工後發生）
- 普遍性和偶然性（也很有可能是工人技術差異造成）
- 常發與持續（例如，建築拐角、接位伸縮縫或內嵌鐵件周邊等位置，這通常與設計或建造圖紙有關）

### **b) 英國**

#### **英國環境**

香港所處的緯度位置較低，其緯度幾乎比倫敦低 30 度，距赤道很近，僅約有北緯 22 度，因此其天氣情況與英國有顯著差異。另外，香港與亞洲所處地理位置所獨有的極端天氣狀況如季雨、颱風和熱帶氣旋等在英國難覓蹤跡。英國與香港地區的天氣差異對照表 3.3 如下：

列表 3.3 英國與香港地區天氣對照表

		倫敦	香港
平均氣溫 (°C)	夏季	18 (最高超過 30)	31.5
	秋季	11 至 15	27.9
	冬季	6 (最小值<0)	12.3
	春季	11 至 15	28.7
平均 年降水量		600 至 800 毫米	1300 至 3000 毫米
平均 月降水量	夏季	50 毫米	390 毫米
	冬季	90 毫米	20 毫米

另外，香港地區有一特殊現象，這在英國很少發生，即便是有也會少得多，那就是地震。香港鄰近「太平洋火圈」，火圈中火山排列成弧形，環繞著太平洋海盆，這就意味著在香港地區比在英國任何地方發生地震的頻率會更大，地震更加猛烈，且更容易對財產造成損失。

#### 外牆瓷磚和批盪面臨的問題

在英國，人們使用很多不同種類的外牆批盪和外貼牆轉。正常來講，大家都是將瓷磚貼在鋼筋混凝土基底上。自 1996 年起，關於此操作的所有方面的問題，BS5385 第二部分有所規定。瓷磚可以包含陶土、彩陶、陶瓷和玻璃原料，尺寸從 15 毫米乘 15 毫米，大到 250 毫米乘 250 毫米以上，但很少超過 500 毫米。

自 1960 年開始外牆批盪有關事項就由 CP221 標準規管。後來，該標準被 1991 年版本的 BS5262 替代。

儘管外牆批盪可以實現其他類型系統諸如噴鍍所不能達到的可接受或理想的表面效果而被普遍使用，但是絕大多數的建築物在外牆批盪上幾乎無一例外地沒使用外牆瓷磚。

事實情況表明，在英國某些地區貼有瓷磚的建築多年來完好無缺、黏貼完好而且效果依然近乎完美，而在其他地區情況卻很糟糕。實際上沒有一座建築物能夠做到外牆毫無缺陷。

c) 澳洲

**澳洲環境**

澳洲土地遼闊，所以在香港地區由稠密的低成本房屋帶來的住房壓力在該國並不存在。多數廉價房屋都是低層建築，多為建在城市周邊和市中心低成本地段的木質結構建築。高層建築更趨向於建在如市中心或海濱地區等理想地段，而且此類物業都是市場中的高端或豪華產品。此類物業售價高昂，而且在同樣情況下，較之低成本房屋，此類物業的開發商為了避免未來出現問題，在外牆裝飾上願意投入更多成本。

下表 3.4 對比了澳洲不同城市和香港地區的天氣情況。列表 3.4 體現了南北半球相同季節下，而不是同月份的季節性天氣差異。總體我們可以看出，雖然香港地區和澳洲的某些城市日平均氣溫很相似，但香港地區的風速、降雨量和濕度都比澳洲正常情況下的數值高。伴隨著尤其是外牆瓷磚受到的風吸力，溫熱和潮濕的環境會讓建築材料加速老化，總體上看，香港地區的環境狀況比澳洲惡劣。然而，根據澳洲水泥和混凝土協會（C&CA）的說法，導致外牆批盪碎裂和剝落的收縮是引起外牆批盪剝落的主要原因之一。因其較高的平均濕度和較低的平均風速，這種情況在香港地區的發生機會會大大降低。

**列表 3.4 澳洲和香港地區季節性天氣對比**

天氣	季節	地點				
		布里斯班	悉尼	墨爾本	珀斯	香港
最大月均降水量 (毫米)	夏季	123.8	131.2	47.4	18.5	391.4
	秋季	58.8	128.1	46.8	148.8	144.8
	冬季	41.1	98.1	48.4	183.5	66.9
	春季	101	83.1	57.8	50.6	316.7
平均日最高溫 (°C)	夏季	29	25.8	26.5	31.3	31.5
	秋季	25.9	22.4	20.1	26	27.9
	冬季	24.3	19.9	16.4	20.1	12.3
	春季	26.6	23.6	21.6	26.4	28.7
最高月均相對濕度 (%)	夏季	66.5	69	58.5	48	82
	秋季	63	66	75	68.5	73
	冬季	58	61.5	73.5	68.5	81
	春季	60.5	61.5	61	51.5	83



天氣	季節	地點				
		布里斯班	悉尼	墨爾本	珀斯	香港
最高平均風速 (公里/小時)	夏季	20.5	14.7	20.4	17.2	10.7
	秋季	16.3	12.8	19.5	12.8	12.2
	冬季	19.6	15.5	22.9	14.8	12.6
	春季	20.6	15.7	22.4	16.7	11.7
最高陣風速 (公里/小時)	夏季	120.6	150.1	137.2	57.2	259
	秋季	70.2	135.4	107.6	70.2	175
	冬季	83.5	131.4	124.2	72.4	108
	春季	81.4	118.4	139	55.4	166

#### d) 相關國際標準

以下是 BS 5385-第二部份 20.1 節（伸縮縫——一般）中關於伸縮縫的要求，說明伸縮縫容易受溫度和濕度影響：

「在設計階段時即應考慮到伸縮縫的相關因素。它的類型和位置應考慮到建築、墊層材料系統、預期溫度和濕度、設計區域和瓷磚放樣對其影響。」

BS 5385-2:20 節規定了瓷磚系統中對伸縮縫（膨脹）的要求。例如，其規定伸縮縫需要穿透批盪連接到到基底混凝土上。過往曾發現某些伸縮縫只連接到批盪面上。

在此之前的很多研究都指出伸縮縫與及瓷磚填縫劑接位的重要性。一個穿透到基底混凝土上的伸縮縫對瓷磚的熱脹冷縮提供充足的空間尤為重要，而且可以將外牆飾面產生的壓力降到最小。還可以適應基底和瓷磚之間的不同移動幅度。但是關於伸縮縫的細節，例如兩條伸縮縫之間間距等問題都留給設計人員決定，該標準並未提及。

BS 5385-2:20.1 節（伸縮縫 - 一般）說明：「正確的伸縮縫設計只能減輕由收縮、濕度和熱變化和漸變所做成的瓷磚剝落、脹形及碎裂，卻不能完全消除這些應力」。換言之，沒有深入測試之前我們不能將鋪設瓷磚出現的問題簡單地歸結到伸縮縫上。

此外，在瓷磚系統裡，要求的黏合強度沒有公認標準。而且存在兩個黏合層。一個是批盪和基底混凝土表面之間的黏附層，另外一個是牆磚和批盪之間的黏附層。香港業界普遍採用香港房屋委員會（HKHA）做出的規格，內容如下：

「完成鋪砌 200 毫米 x200 毫米 x7 毫米瓷釉面牆磚在帶有防潮膜的板間牆/原身混凝土 28 天後的平均抗拉黏力強度不小於 0.168 牛頓/平方毫米。」（參閱香港房屋委員會 2000 年建築規格文庫規格條款 FIN 5.T080.3 第 5 項測試）

這平均值可能是來自 BS 5980<sup>1</sup> 中要求的平均抗拉黏力強度。該值是一個平均值，而不是最低要求。大家都認為，就像幕牆、玻璃和鋁板等的設計和測試所要求的那樣，瓷磚要求的最低強度應該於考慮安全系數後從風壓計算而來。此外，BS 5980 的要求低於 ISO 13007 (ISO, 2004)，而 ISO 13007 對基本 1 級黏合劑的最低要求抗拉黏力強度為 0.5 牛頓/平方毫米。

儘管各種規格規定了一些標準，但在實際情況下，人們通常不會嚴格遵守。例如：「鋪砌外牆瓷磚時，應儘量使用黏合劑，儘量不使用水泥砂漿作為外牆瓷磚鋪貼的墊層...」（BS 5385-2:21.2 節—選擇墊層方法）。BS5980 規定了陶瓷瓷磚和紙皮石黏合劑的抗拉黏力強度。然而，在香港，使用水泥砂漿進行鋪砌外牆磚卻很普遍。

批盪層混合物比例不當也是瓷磚系統損壞的主要原因之一。水泥太少會使黏合力降低，太稠會導致收縮過度。然而，這是沒有簡單成規去決定水泥和砂土的混合比例。BS 5385-2:19.3 節（用於不同本底批盪的水泥砂土比例）強調不同的本底需有相關不同水泥砂土比例的批盪要求。密緻、堅固的本底，建議按重量比例 1:3.5 到 1:4.5；中軟性且透水性好的本底，建議使用按重量 1:4.5 的比例。同樣，BS 5385-2:27.2 節（水泥砂漿墊層）建議使用內聚性和保水性的水泥砂漿，而批盪的混合比例以體積比率不高於 1:3 及不低於 1:4 的水泥與乾砂之比（重量比例則為 1:3.4 到 1:4.5）。這建議與 Davies (1998) 1:1 到 1:1.5 的比例明顯不同。

### 3.2.2 工人技術

#### a) 新加坡

經過調查發現，引起新加坡許多建築外牆瓷磚/批盪剝落和脹裂的原因發生在夾層系統中任何一個可能的地方。無論黏貼問題出在批盪和基底接觸面上，或出在墊層的內嵌面上，抑或是墊層和批盪的接觸面上。問題或許和混凝土基底表面處理有關，但都是很典型地由瓷磚和批盪系統自身問題引起的。然而，例如鋼筋腐蝕和表層混凝土碎裂之類的混凝土基底問題也經常發現。

---

<sup>1</sup> 條款 9- 如果使用 AA 級、A 級或 B 級的黏著劑（安裝兩塊 75 毫米 x75 毫米 x9 毫米的瓷磚），經過正常實驗室情況下 14 日的預先處理後，不低於 950 牛頓。

問題的出現可能是由某一個或者多個在建築施工過程中各種環節引起的，此類環節包括設計、繪製詳圖、工人技術環節、材料、規格和維護。新加坡的環境條件，如降雨、颶風、溫度、濕度和溫度急升等，也是引致各種問題的因素。

20 世紀 80 年代中期到 90 年代早期之間的建築都出現了外牆瓷磚/批盪過早剝落（建成後五年之內）的問題。對此現象，有以下幾種可能的解釋：

- 建築行業不景氣，造成了較低的投標價格，而這又造成工人技術品質低下和採用廉價建築材料。
- 施工速度的提升導致修補工作不足和工人技術粗略。
- 20 世紀 90 年代初期，由於熟練技工的短缺，使市場嚴重依賴泰國、印度和孟加拉等地輸入的低技術工人。

#### **b) 英國**

在英國，沒有單一或主要的原因導致問題，而事實是，一直以來，各種可能導致問題的原因都曾出現。導致問題出現的潛在原因包括了材料、設計和工人技術相關問題，而且每個工地引起問題的原因都不盡相同。

引發問題的潛在原因包括：

- 品質指標規定不足
- 表面預處理不當
- 熟練操作人員不足或者監管不力
- 修補不當
- 乾燥過快並且批盪和瓷磚墊層之間過早出現幹縮
- 瓷磚本身的生產缺陷
- 關於伸縮縫的規格和詳細說明不足
- 灌漿鋪磚的規格與實施提供水份移動的機會
- 混凝土基底問題和鋼筋退化
- 金屬板條或者批盪上內嵌的牆磚腐蝕
- 受設備（如吊船和施工架等）等物體的撞擊
- 批盪層之間的強度差異引起的碎裂

### *c) 澳洲*

#### *工人技術*

澳洲有著嚴格的移民控制政策，這就使得該國所有的建築工作都是由澳洲本地居民完成，而非外來的低成本勞工，相反在香港地區卻很常見。澳洲工人須完成要求的適當職業培訓才能上工地。行業內的職業聯盟為保護會員利益，會要求工人必須加入為會員而且要有適當的正規職業培訓。

在澳洲，技術工人受人尊敬，收入頗豐，與專業人員的收入相當。在香港地區存在的工匠和專業人士之間的差別在澳洲就沒那麼明顯，而且家長們常常鼓勵他們的孩子傳承手藝，而不是接受高等教育，然而，香港地區的行業專業資格要求學生有一定的能力。

以上種種因素相結合造成澳洲有能力和富競爭力的人加入施工行業，然而受職業聯盟活動和朋輩壓力的影響，這些人也會接受職業技術教育學院（TAFE）正規的專門培訓，以便加強工作品質和穩定性。

#### *監督*

在澳洲批盪批灰隊伍通常由一位泥水匠出身的領班負責監督，因此監督一般擁有豐富實際經驗。領班是和泥水匠屬同一公司，領班全權負責包括施工、品質等所有工作。

除了有負責內部監督的領班之外，通常還有一位工作人員負責協調和檢查工作。這位工作人員會檢查註冊水泥匠與負責參與執行混合及其他工作的非技術助理的人數比例，的申請數量。此比例無需固定，但須經過小心判斷。

#### *施工過程與材料*

澳洲以預製組件構建的高層建築正面牆的批盪工作（包括鋪磚）允許進行。

在澳洲運用黏結增強材料例如粗塗底和黏合層並不常見，大部份批盪工程直接塗抹至基底，或者適當濕潤基底塗抹。沒有批盪脫黏下工人技術的程度可以接受。

舊式建築的批盪方式中採用的材料的水泥和砂料比例是 1:3，而專用商業材料也是近三至五年才開始被廣泛採用。

在澳洲主要城市進行的建築物情況調查中顯示批盪缺陷相對少見，批盪剝落與離層剝落多由鋼筋銹蝕引起的混凝土脫落導致。香港的相關問題的出現原因大致相同，包括基底準備不充足、濕潤度不夠，基底濕潤與批盪時間相距太遠、批盪固化不足。

氯化或碳化作用引發鋼筋銹蝕造成混凝土基底惡化是致使批盪剝落與惡化的原因。在沿海地區，氯化物腐蝕嚴重，含鹽的霧氣在建築物上凝結，乾熱天氣令水分蒸發，鹽分殘留於建築物表面。隨著時間推移，鹽被吸收並擴散至鋼筋。

#### **d) 相關國際標準**

英國的外牆瓷磚的標準廣泛被香港採用。基於上述發現，英國標準中的具體要求通常取決於環境因素。比如，BS 5385-第二部分 22.4（黏合劑與瓷磚的使用）中缺口抹平要求視乎環境條件的影響。

「黏合劑應用泥刀鬆動地塗到本底上，然後用黏合劑製造商推薦類型的凹口泥刀向下抹壓使其貼合基底表層，做好外瓷磚鋪貼準備...抹好黏合劑後約需等待 20 分鐘等到基底準備充分可以鋪磚，但實際時間受當時的環境天氣因素決定。」

此外，BS 5385-第二部分 19.1（水泥：砂漿批盪—總則）明確規定牆磚批盪需要達到適當厚度批盪。

*「裝飾批盪材料總厚度不應超過 20 毫米，因為這可能會導致收縮應力過高引致的開裂。裝飾批盪材料厚度都應保持 8 毫米至 16 毫米厚」*

然而，「曾經找到 70 毫米厚的批盪」。（Davies，1998）

進行批盪的一個原因是改進混凝土表面的凹凸不平，可想而知。但是，仍未發現裝飾批盪厚度如何導致表面承受過度壓力的原因。因此建議研究「批盪材料厚度與脫黏所需力度之關係的實驗室測試。」（Davies，1998）

劣等表面處理歷來被視為瓷磚剝落的主要原因之一。普遍採用粗塗塗底護層或機械式鍵槽。最近包括由水泥與泥漿攪拌形成的黏合劑開始代替傳統的粗塗塗底護層。上述全部可參考 BS 5385-第二部分 18.2.1（基底批盪前的準備處理—一般規定），其中推薦了以下基底準備處理方法：

- 機械準備
- 縮進鑰匙
- 粗塗底
- 阻滯物
- 鋼絲網和鋼筋
- 黏合劑

然而，這些黏連劑如何影響混凝土和批盪之間的黏貼連力尚未明確。

### 3.2.3 檢修

#### a) 新加坡

維修最大的問題是，評估瓷磚的情況，尤其是大多老建築並不容許使用吊船。法定要求每五年對商業大廈進行一次定期檢查，10 年對住宅進行一次類似的檢查。這些檢查包括關鍵構件，如橫樑和圓柱，但不包括建築物外牆。目前還沒有強制建築物外牆瓷磚/裝飾批盪檢查。

外牆瓷磚/批盪的狀況調查包括敲擊或紅外線溫度記錄的辦法檢查脫黏程度，目視檢查污染情況、伸縮縫不足、凸出或凹陷等調查還需要對混凝土基底進行侵入性測試確認表面準備情況，檢查伸縮縫穿過批盪層的完全深度，審核所有施工材料和施工規格。常用的測試方法包括：

用錘敲擊（用錘或類似的工具敲擊瓷磚表面並記錄空振聲位置）

紅外線檢查（測量和分析建築表面溫度，評估外牆磚離層剝落可能性）

粘合力測試（用於評估基底混凝土的現有裝飾批盪和瓷磚的黏合度）有批盪在下的表層最少需能承受 0.4 牛頓/平方毫米的拉扯力。

採樣後進行實驗室分析（岩石學廣泛應用於新加坡探測陶瓷磚瑕疵）。

在保留原貌前提下外牆瓷磚/裝飾批盪的兩個修理系統。在某些情況下，對於瓷磚的脫粘處，可裁掉並更換（根據故障類型和每個項目不同情況），或可用打金屬針的方法將脫粘的材料裝回到混凝土基底上。



如建築物外觀需要改變或者改良的地方，我們分四個體系進行闡述：

- **重鋪/覆蓋鋪**—在最表面有問題的瓷磚和灰泥層上再加鋪一層，爲了更加牢固，通常使用鋁合金板或者石板將重鋪層直接安裝在建築物基底上。
- **纖維增強塑膠包裝**—這種情況是指原始表層使用了環氧基樹脂層，能夠保持一定的原有外觀。這一體制的本質是，建築物表層用編織的環氧基樹脂層高分子纖維薄板鋪蓋，這種薄板要牢固的固定到混凝土基底層。
- **外表塗層**—將塗有泥漿的瓷磚鋪到瓷磚輪廓上去，最後加上油漆塗層。
- **整體拆除**—整個外牆裝修全部拆除重新裝修，重新裝修的方法系統，由業主選擇。

## b) 英國

### 維護和檢查

檢查可分爲兩個大類；近距離審查和遠距離審查。近距離審視通常需要準備檢查裝置，近距離審查是檢查外牆瓷磚/批盪系統重要過程。以下是測量方法：

- 目測（包括滴水線、伸縮縫、防水板和所用設備做衝擊力測試等等）
- 反彈錘測試
- 超聲波測試
- 瞬間動力反應
- 衝擊回音
- 紅外線熱量記錄法
- 拉力測試

評估結果表明，外牆早期損毀很大程度上是因爲不良施工。年齡較久的外牆問題的可能跟技術規格或者設計細節方面有關。

英國的經驗顯示，在建造初期多加投入鋪設瓷磚，可影響日後對維護的需求。精確的設計方案，準確的技術規格，正確的鋪設瓷磚/打底層，這樣就需要更少的大範圍的修改重建或者維修，反之則不行。這在初期需要花更多的資金，可從後期較低的維護和重修成本補償。

若要儘早發現瓷磚外牆/打底層的退化，建議定期對其進行維修和審查。在細小缺陷引起重大問題之前，進行完整合理的修護，以免導致更多的嚴重的問題。

維護的另外一個要點就是要確保維修方式的安全，特別是維修裝置的使用，要確保所使用的裝置不會對瓷磚或者打底層造成額外的損害。施工架的系牆鐵或者桅杆，或者吊船的影響等等，這些都可能帶來新的損壞。任何維修計畫若要避免這些問題，必須經過深思熟慮，然後做出精確的設計方案。

### **修復**

在英國主要有三類修復方法。簡單地說這些方法是：

- 更換瓷磚/ 批盪修復（適用於鋪磚與無磚情況）
- 真空輔助化學樹脂穩定（僅用於瓷磚）
- 塗層覆蓋（僅用於瓷磚）

據推測，由於採用無磚裝飾的系統與外牆磚相比原始價格相對更低，複雜的修復系統一般被捨棄。有缺陷的批盪僅能用移除與替換的方法進行修補，同時伴隨與顏色和紋理的匹配問題。

### **c) 澳洲**

#### **維修與保護**

修復批盪離層剝落的問題通常將全部材料移除，露出基底，其次是批盪的碎片修補。批盪缺陷在澳洲相當少見，目前沒有新的解決方案提出。預製正面牆組件和其他類型的使用進一步改進，有望不斷減少外牆裝飾工程。

無論是陽臺還是外牆，混凝土基底惡化所導致的鋼筋銹蝕都採用相同方法進行修補。清除混凝土露出乾淨的鋼筋，然後利用修復泥漿和氯化物隔離層，盡可能減少未來水和氯化物的侵入。預防措施（尤其是陽臺）包括採用更厚的鋼筋外水泥層和優良的保護塗層，並對惡化過程有一個清楚的認識，更加注意保養和檢查，在缺陷嚴重化之前進行提前修復。在過去採用犧牲陽極電源系統修復受到限制，原因在於只考慮原始成本而不考慮將來的情況。



#### d) 相關國際標準

BS 5385 - 2:32：解決牆磚清理與維護要求

「由於環境氣候的變化會導致乾燥收縮，鋪設一般定期檢查磚面和連接縫隙的輕微瑕疵位隙的輕微瑕疵接位。小的殘缺應當及早發現，令修理更簡便。擱置問題會導致進一步惡化，令水從縫隙滲入瓷磚基底或結構，加速瓷磚剝落。」

#### 3.2.4 香港方面可借用的經驗

總結國外經驗發現，香港也有同樣問題，主要是發生頻率有所不同。在處理維修方法以及為防止問題發生上採取的保護措施存在很大差異。香港可以借鑒某些預防和可能的修復和維護方法。

新加坡的經驗表明，通過限制使用外牆磚/批盪可阻止問題發生，但是不建議使用這種方法。澳洲的經驗表明，提供相應的培訓、監督施工人員可以減少缺陷發生機率和缺陷的嚴重性。這種方法可以應用在老舊建築的修復上以防止發生問題重複出現，對於新的建築它可以防止未來缺陷影響建築使用壽命。

據英國報導，另一類真空輔助化學樹脂（環氧樹脂局部缺陷注射方法的一種類似方案）可以作為現階段使用的修復方法，供香港借鑒。

香港關於老舊建築的維護與修復，最直接了當可借鑒的海外經驗為新加坡的強制要求對現有建築進行結構的週期檢查。根據新加坡建築控制法律第二十八項條例，除了分層、半分層、出現階梯或連房，臨時建築物需要結構工程師定期進行檢查。檢查的目的在於確保因維護不足造成的結構缺陷得到及早檢查和修補，從而保持結構良好，採取合適的方法有效阻止更大規模的惡化。

現階段，新加坡的建築物定期檢查計畫要求每隔十年對住宅樓進行檢查，而商業、工業、公共設施類建築則為五年。要求的檢查範圍僅涉及建築結構部件，不包括對外牆瓷磚或批盪的檢查或研究。

解決香港外牆批盪或瓷磚剝落問題，最有效的途徑是結合澳洲和新加坡的方法，也就是加強工人培訓，立法強制檢查與維護，加強懲治，減少剝落事故。

### 3.2.5 異同

外國經驗顯示，縱使澳洲、香港、新加坡和英國因地理位置差異而在天氣上有明顯的分別，各地的老舊建築外牆瓷磚或批盪剝落問題均類同各地的類同。

除了錄得較少關於批盪損壞報告的澳洲外，新加坡、英國、香港分別錄得涉及外牆瓷磚或批盪剝落掉落方面的問題都基本相同。引起損壞的原因多牽涉設計、細節設計、材料採購和工人技術，同樣與香港的經驗相似。引起損壞的原因中，天氣只是其中一個，而並不是主要原因。

由於澳洲土地廣闊和可用性高，低造價的房屋通常都是矮層和建於城市邊緣。由於澳洲木材成本低，木材常被用作低層低成本建築的基礎建築材料。高層的建設大多用於城市中心地帶較昂貴的住所較的住所或是海岸邊要求視野無阻的地方。相對香港土地緊絀、造成低造價房屋多為高層高密度，形成鮮明對比。其結果就是香港現在出現大量老化建築，於最初建造時用時極短、成本很低，而且建成後很少甚至沒有進行維護或修復。

新加坡的情況與香港類似，同樣因時代所需，面對著人口增長下低成本快速建設成的舊建築問題。新加坡的處理方法是採用結構檢測方案，對商業建築每隔五年檢測一次、居民住宅為十年一次。這些檢測僅在結構方面，而不包括外牆瓷磚或批盪的安全性檢測。香港二零一一年建築物有關條例（修訂）引進強制性建築物檢查計劃，並於二零一一年六月開始執行。在該條例下，擁有超過三十年的建築（三層以下的除外）的業主每隔十年都必須聘用註冊檢測師對建築物進行規定性檢查和有需要的收復。

外牆瓷磚或批盪剝落的標準/描述	詳細經驗				有關香港方面經驗
	澳洲	香港	新加坡	英國	
混凝土基底剝落，例如鋼筋銹蝕、城矽反應（ASR）等	據報導，這是引起剝落最常見的原因，尤其對於靠海的陽臺，氯化物引起鋼筋腐蝕、混凝土覆蓋不充分和未提供防水處理的地方。報導中未提及城矽反應（ASR）或混凝土惡化。	混凝土剝落多是因混凝土覆蓋不充分而引起碳酸化，而較少因氯離子腐蝕。城矽反應（ASR）可引起問題但未見影響外牆瓷磚或批盪的報道。	報導顯示，鋼筋銹蝕與混凝土城矽反應（ASR）惡化都是導致瓷磚或批盪脫粘的原因。原因另外還有設計工人技術或者材料選擇。	記錄顯示，混凝土基底惡化是導致瓷磚或批盪脫粘的原因。歸結於工人技術或設計上的問題。諸如城矽反應（ASR）的混凝土惡化未有記錄。	定期檢查去及早發現問題並作出修復可防止進一步惡化、混凝土剝落及其他因結構問題而產生的缺陷，如瓷磚或批盪破碎。
混凝土墊層的脫粘	曾有所報導，但認為是由於工人培訓和使用不當材料和方法引起，少見並且具有局限性。	引起瓷磚批盪系統剝落的常見原因在於墊層表面製備不良、黏膠劑增強方法使用不當，例如在黏合層或粗塗底，表面濕化不足或批盪不適合。另外，缺乏移動空間也是導致剝落的原因。	引起瓷磚批盪系統剝落的主要原因在於基底表面的製備不充分、黏合劑使用不當，例如在黏合層或粗塗底，表面濕化不足或批盪不適合以及缺乏移動空間。	與其他潛在原因一讓能導致瓷磚/批盪離層剝落。	在材料離層剝落之前進行檢查，並且對已確認問題的地方進行修復。

外牆瓷磚或批盪剝落的標準/描述	詳細經驗				有關香港方面經驗
	澳洲	香港	新加坡	英國	
批盪內部的黏膠剝落	並非常見剝落類型。	脫粘的其中一個模式，多見於使用多層批盪時黏合劑在層間剝落。	記錄為剝落模式的一類，與其他原因共同存在。	記錄為剝落模式的一類，與其他原因共同存在。	在材料剝落之前進行檢查，並且對已確認問題的地方進行修復。
瓷磚底層與批盪的黏膠剝落	並非常見剝落類型。	一種脫粘模式，但批盪從基底或瓷磚剝落或牆磚從墊層剝落更為常見。製作牆磚底層之前濕化不足或其他表面製備不足以及缺乏移動空間都是導致脫粘的潛在原因。	與在香港出現的原因類似，是一種缺陷並有圖像記錄。	記錄為剝落模式的一類，與其他原因共同存在。	在材料剝落之前進行檢查，並且對已確認問題的地方進行修復。

外牆瓷磚或批盪剝落的標準/描述	詳細經驗				有關香港方面經驗
	澳洲	香港	新加坡	英國	
瓷磚與其底部的剝落	一種局部性及僅可能由於工人技術不同或缺乏移動空間而引起的缺陷。	引起剝落的常見原因，特別會因玻璃紙皮石和水泥墊層產生作用而引至膨脹與脫粘。使用不當的墊層材料也會產生此類問題，如應當使用黏合劑時把泥灰底部與過底磚共同使用。	與香港情況類似，同樣是引起剝落的常見原因。熱力衝擊也被認為是可能引起剝落的原因之一。瓷磚表面溫度可高達 70°C，而驟降大雨會引起溫度驟降，雨停後又會迅速重新升溫。	剝落的原因與香港類似，另冷凍融化活動也會造成該現象。	在材料離層剝落之前進行檢查，並且對已確認問題的地方進行修復。
瓷磚剝落	並非常見原因。	由於瓷磚製造問題或是不適當的暴露環境，釉面會剝落或從瓷磚基底剝落。瓷磚與黏結底作用影響，造成玻璃紙皮石惡化。	與香港情況類似。	瓷磚缺陷並非為常見剝落原因。	在材料離層剝落之前進行檢查，並且對已確認問題的地方進行修復。

外牆瓷磚或批盪剝落的標準/描述	詳細經驗				有關香港方面經驗
	澳洲	香港	新加坡	英國	
伸縮縫接位	並非常見剝落原因。	常見原因，特別是在沒有提供伸縮縫的情況下（有可能是設計師希望避免接位帶來的視覺影響）伸縮縫沒有穿過整個磚底層和批盪厚度，或位置不正確。隨著時間過去，本應被替換的密封料出現惡化，從而導致接位剝落。	與香港情況類似。	與香港情況類似。	檢測以確認可能會引起滲水和相應缺陷的地方。另外檢測應確認接位細節以確定效力（詳細在 BS 5385 第二部分）
設計不妥善	鋼筋的覆蓋與保護準備不足，如缺少防水措施導致鋼筋銹蝕和瓷磚批盪剝落。	未按要求正確設計出伸縮接位。未有詳細指定合適且相容的材料。忽略建築上的細節會帶給瓷磚與批盪系統的問題。	建築上的細節所帶來的問題，這與香港類似。	儘管英國標準提供了設計指導，諸如材料選擇、細節設計、遮雨板的使用等與設計相關的問題仍然會引起缺陷。	對老舊建築進行適當檢查和修復，彌補任何設計不足，實現建築的安全性。

外牆瓷磚或批盪剝落的標準/描述	詳細經驗				有關香港方面經驗
	澳洲	香港	新加坡	英國	
<b>檢測</b>	由業主或租賃人自願組織檢測、查找問題並承擔相應費用。	一般由業主委員會或大樓管理者自願協調組織檢查，以修復缺陷。在日久失修或發現僭建物的情況下，屋宇署可發出檢查指令。	自願基礎上要求業住進行每隔十年一次的建築檢測。	未制定強制檢查或保養要求。任何檢查都出於大樓業主或住戶的自願行為。	考慮進行強制性檢測計劃，包含外牆瓷磚或批盪的建築方面的檢測。
<b>維護保養與修復</b>	修復瓷磚或批盪離層剝落通常發生在局部剝落。	常常是修理時才想到保養。修復採用切除與替換、與基底黏合的方法。更完整的修復或翻修包括塗層、覆蓋以及整體移除。	保養上與香港類似，通常只是清理瓷磚、具體剝落發生之後進行修復。	與香港、新加坡情況類似。批盪系統通常採用剔除和更換的方法進行修補。含有瓷磚的會採用更換瓷磚、真空輔助化學樹脂穩定穩定和外敷的方法。	老舊建築現有的問題在於普遍缺乏保養意識以及對保養方法的無知。業主需要更多有關保養與修復的相關資訊。

### 3.2.6 其他國際標準

列表 3.5 列出與國際標準的一些聯繫，表格 3.6 列出牆面瓷磚的相關國際標準。

列表 3.5： 與國際標準間的聯繫

國家：	標準：	縮寫：	聯繫：
澳洲	澳洲標準	AS	<a href="http://www.standards.com.au">http://www.standards.com.au</a>
歐洲	歐洲標準	EU	<a href="http://www.cenorm.be/">http://www.cenorm.be/</a>
國際	國際標準	ISO	<a href="http://www.iso.org/iso/home.html">http://www.iso.org/iso/home.html</a>
日本	日本標準	JIS	<a href="http://www.jsa.or.jp/default_english.asp">http://www.jsa.or.jp/default_english.asp</a>
新加坡	新加坡標準	SS	<a href="http://eshop.spring.gov.sg/cgi-bi/singaporestandards.pl">http://eshop.spring.gov.sg/cgi-bi/singaporestandards.pl</a>
英國	英國標準	BS	<a href="http://bsonline.techindex.co.uk">http://bsonline.techindex.co.uk</a>
美國	美國標準	ASTM	<a href="http://www.astm.org">http://www.astm.org</a>

列表 3.6： 相關牆面瓷磚的國際標準

國家	標準代碼	標題
國際標準化組織	ISO 13007-1:2004	陶瓷磚 — 填縫劑和黏合劑 — 第一部分：黏合劑的名詞、定義與規格
國際標準化組織	ISO 13007-2:	陶瓷磚 — 填縫劑和黏合劑 — 第二部分:黏合劑測試方法
國際標準化組織	ISO 13007-3:	陶瓷磚 — 填縫劑和黏合劑 — 第三部分：泥漿的名詞、定義與規格
國際標準化組織	ISO 13007-4:	陶瓷磚 — 填縫劑和黏合劑 — 第四部分：泥漿測試方法
國際標準化組織	BS 1348:2007	瓷磚膠 — 水泥黏貼劑的拉黏力測定



英國	BS 5262:1991	外部批盪的實務守則
英國	BS 5385-2:1991	牆面和地板瓷磚 — 第二部分：設計及安裝外部牆面陶制瓷磚和紙皮石的實務守則
英國	BS 5980:1980	用於陶瓷牆磚和紙皮石的黏合劑規格
英國	BS 6431-1:1983 EN 87:1991	陶瓷地板和牆面瓷磚 — 第一部分：包括定義與特性在內的分類和標示規格
英國	BS 8000-10:1995	建築工地的工人技術 — 第十部分：批盪的實務守則
英國	BS 8000-11.1:1989	建築工地的工人技術 — 第十一部分：牆面和地板瓷磚實務守則 — 十一章一節陶瓷牆磚、水磨石和紙皮石
英國	BS EN 12004:2007	瓷磚膠—規格、分類及設計的要求與評定

新加坡	CP 68:1997	陶瓷牆面和地板瓷磚的實務守則
新加坡	SS 301:1985	陶瓷地板與牆面磚
新加坡	CONQUAS 21	增強系列 — 良好業界做法的實踐指南：優秀陶瓷磚慣例

澳洲	AS2358-1990	黏合劑 — 用於修理陶瓷磚
澳洲	AS3958.1-2007	陶瓷磚 — 瓷磚鋪設指導
澳洲	AS3958.2-1992	陶瓷磚 — 瓷磚系統選用指導

澳洲	AS4459.1-161997-2005	陶瓷磚抽樣與檢測辦法
澳洲	AS4662-2003	陶瓷磚 — 定義、分類、特性和標記
澳洲	AS4992.1-2006	陶瓷磚 — 填縫劑和黏合劑—黏合劑的名詞、定義和規格
澳洲	AS4992.2-2006	陶瓷磚 — 填縫劑和黏合劑—黏合劑的測試辦法 (ISO13007-2:2005)
歐洲聯盟	CEN EN 100-91	陶瓷磚 — 剝落係數測定
歐洲聯盟	CEN EN 101-91	陶瓷磚 — 莫氏劃痕硬度測定
歐洲聯盟	CEN EN 102-91	陶瓷磚 — 抗磨損測定 — 釉面磚
歐洲聯盟	CEN EN 103-91	陶瓷磚 — 線性熱膨脹測試
歐洲聯盟	CEN EN 104-91	陶瓷磚 — 耐熱衝擊測試
歐洲聯盟	CEN EN 105-91	陶瓷磚 — 釉面磚開裂阻力測試
歐洲聯盟	CEN EN 106-91	陶瓷磚 — 耐化學腐蝕測試 — 無釉面磚
歐洲聯盟	CEN EN 12002-97	瓷磚膠 — 黏合劑和水泥薄漿的橫向變形測定
歐洲聯盟	CEN EN 12003-97	瓷磚膠 — 反應樹脂黏合劑的抗剪強度測定
歐洲聯盟	CEN EN 122-91	陶瓷磚 — 耐化學腐蝕測試 — 釉面磚
歐洲聯盟	CEN EN 12808-1-99	瓷磚膠和水泥薄漿 — 第一部分：反應樹脂抗化學反應測試歐洲批准文本
歐洲聯盟	CEN EN 1308-96	瓷磚膠 — 歐洲防滑認證
歐洲聯盟	CEN EN 1308-96	瓷磚膠 — 防滑認證包括 A1:1998 修正案
歐洲聯盟	CEN EN 1322-96	瓷磚膠 — 歐洲定義與術語批准文本
歐洲聯盟	CEN EN 1322-96	瓷磚膠 — 定義與術語包括 A1:1998 修正案
歐洲聯盟	CEN EN 1323-96	瓷磚膠 — 混凝土板測試歐洲批准文本

歐洲聯盟	CEN EN 1323-96	瓷磚膠 — 混凝土板測試包括 A1:1998 修正案
歐洲聯盟	CEN EN 1324-96	瓷磚膠 — 分散黏合劑的剪切強度測定歐洲批准文本
歐洲聯盟	CEN EN 1324-96	瓷磚膠 — 分散黏合劑的抗剪強度測定包括 A1:1998 修正案
歐洲聯盟	CEN EN 1346-96	瓷磚膠 — 測試歐洲批准文本
歐洲聯盟	CEN EN 1346-96	瓷磚膠 — 黏貼時效測試包括 A1:1998 修正案
歐洲聯盟	CEN EN 1347-96	瓷磚膠 — 潤濕能力測試歐洲批准文本
歐洲聯盟	CEN EN 1347-96	瓷磚膠 — 潤濕能力測試包括 A1:1998 修正案
歐洲聯盟	CEN EN 1348-97	瓷磚膠 — 膠凝黏合劑的拉伸結合力測定歐洲標準文本
歐洲聯盟	CEN EN 1348-97	瓷磚膠 — 膠凝黏合劑的拉伸結合測定包括 A1:1998 修正案
歐洲聯盟	CEN EN 14099-01	空間產品保證 — 運用壓敏膠帶對塗層與飾面脫黏拉力進行測試
歐洲聯盟	CEN EN 154-91	陶瓷磚 — 表面抗磨損測定 — 釉面磚
歐洲聯盟	CEN EN 155-91	陶瓷磚 — 使用沸水進行濕膨脹測定 — 釉面磚
歐洲聯盟	CEN EN 163-91	陶瓷磚 — 抽樣和驗收基礎
歐洲聯盟	CEN EN 202-91	陶瓷磚 — 抗寒性測定

歐洲聯盟	CEN EN 87-1-83	地板和牆面陶瓷磚 — 第一部分：分類、標示包括定義、特徵的規格
歐洲聯盟	CEN EN 87-91	地板牆面陶瓷磚 — 分類、定義、特徵和標示
歐洲聯盟	CEN EN 98-91	陶瓷磚 — 尺寸和表面品質測定
歐洲聯盟	CEN EN 99-91	陶瓷磚 — 吸水性測定
歐洲聯盟	CEN EN ISO10545-13-97	陶瓷磚第十三部分：耐化學性測定
歐洲聯盟	CEN EN ISO10545-15-97	陶瓷磚第十五部分：釉面磚鉛和銅釋放量確定 ISO10545-15:1995
歐洲聯盟	CEN EN ISO10545-16-00	陶瓷磚第十六部分：微小色彩差異測定 ISO10545-16:1999
歐洲聯盟	CEN EN ISO10545-4-97	陶瓷磚第四部分：斷裂強度係數確定 ISO10545-4:1994
歐洲聯盟	CEN EN ISO10545-5-97	陶瓷磚第五部分：通過量度限制係數測試抗衝擊力 ISO10545-5:1996，包括技術勘誤 1:1996
歐洲聯盟	CEN EN ISO10545-6-97	陶瓷磚第六部分：未上釉瓷磚抗深度磨損測定
美國	ASTM C 1026-87 (重新批核 2002)	陶瓷磚抗凍融標準循環測試
美國	ASTM C 1027-99	釉面磚可視耐磨性標準測試
美國	ASTM C 1028-96	通過水準拉力測力計對陶瓷牆磚和其他類似表面進行靜態摩擦係數標準測試
美國	ASTM C 1212-98	製作含空隙瓷磚參照樣本的標準做法
美國	ASTM C 126-99	黏土結構面磚、面磚和砌磚標準規格
美國	ASTM C 1274-00	高級陶瓷磚的表面物理吸附標準測試

美國	ASTM C 1505-01	通過三點加荷進行陶瓷磚斷裂強度標準測試
美國	ASTM C 212-00	黏土結構面磚的標準規格
美國	ASTM C 482-02	陶瓷磚與波特蘭水泥薄漿的黏結強度標準測試方法
美國	ASTM C 483-95 (重新批核 2000)	導電瓷磚的電阻測試標準方法
美國	ASTM C 484-99	釉面磚耐熱衝擊力的標準測試方法
美國	ASTM C 485-83 (重新批核 1999)	陶瓷磚彎曲標準測量方法
美國	ASTM C 488-83 (重新批核 1998)	外部暴露飾面的隔熱度標準測試方法
美國	ASTM C 499-78 (重新批核 1999)	矩形陶瓷磚牆和地磚表面尺寸和平面厚度的標準測試方法
美國	ASTM C 502-93a (重新批核 1999)	楔入板、矩形陶瓷磚牆和地磚的標準測試方法
美國	ASTM C 609-90 (重新批核 2000)	陶瓷磚或地板磚之間微小色差的標準測試方法
美國	ASTM C 627-93 (重新批核 1999)	用 Robinson 型地板測試方式檢測陶瓷地磚安裝系統的標準方法

### 3.3 地方條例和實踐，包括建築物條例、PNAP'S（認可人士、註冊結構工程師及註冊岩土工程師作業備考）和當前實踐案例

外牆瓷磚的鋪設和打底過程中所遇到的大部分錯誤都可以歸咎為設計的失誤或建設過程出現的問題。這些錯誤出現於從設計至工程結束的整個建設過程中。這些錯誤所產生的問題被分為兩類，即設計和工人技術。這次評估設計的主要目標為要包括各個方面，例如材料的選擇、規格、設計、資源的細化和提供。工人技術涵蓋現場工人控制下的工程建設的各個方面，例如表層備製、混合、使用時間和材料的正確使用等。

#### 3.3.1 設計

外牆瓷磚/批盪的設計指導基於英國標準（British Standard or BS）。以下英國標準為目前提供必要的設計指導，而亦出於歷史原因，這些標準是香港經常參考的國際標準：

- BS 5385-第二部分:2006 牆和地板瓷磚鋪貼。外牆陶瓷磚和紙皮石的設計和鋪貼操作守則。
- BS EN 12004:2007 瓷磚膠。定義和技術規格（用於陶瓷磚和紙皮石的黏合劑舊使用規格 BS 5980:1980 的替代規格）。
- BS EN 13914-1:2005 外牆批盪的操作守則。

大多數的香港技術規格（例如，房屋協會規格和建築署通用規格）都以這些英國標準和那些以被廢除的舊規格為基礎制定。

香港的相關建築條例和 PNAP 包括：

- 建築物(建造)規例第 38 條—建築物的外牆
- 認可人士、註冊結構工程師及註冊岩土工程師作業備考編號 ADV-31 建築物外牆飾面—濕式鋪砌飾面磚
- 建築物（小型工程）規例
- 認可人士、註冊結構工程師及註冊岩土工程師作業備考編號 APP-147—小型工程監管制度
- 強制驗樓計畫及強制驗窗計畫作業守則擬稿

一般情況下，強化混凝土（包括大部分瓷磚/批盪基層）按照 2004 年混凝土結構作業守則（第二版）或者 BS 8110 第一部分：1997 混凝土的結構使用。設計和建設守則。

外牆瓷磚/批盪的規格和標準綜述。綜述的主要條例縱使在細節上有所變化，但本質上是一個二重結構的合成體：

- 把瓷磚墊層塗到基本混凝土基底層的直接應用，或者利用批盪介質層抹平基本基底。
- 三層交替把瓷磚底層直接塗到基本混凝土墊層層，或者間接（通過批盪介質層）抹到基本混凝土基底層的應用。

對於採用濕固定的方法處理的外牆表層，在傳統黏合處理體制中並沒有這種處理方式的性能和限制方面的科學調查細節，也沒有證據證明這種處理方式的設計目的/使用壽命範圍。

儘管有認為工人技術是外牆表面材料離層剝落的主要成因（例如，潮濕固定的處理方式），承包人卻持不同意見，因為他們認為造成這種失誤的原因很複雜。設計錯誤、錯誤規格、材料選擇、伸展縫缺漏、本底材料位移差異、風力循環、震動、扭動、彈性縮短、徐變、收縮、可接受的誤差、濕度和溫度的變化等因素亦會對這一問題產生影響。

### 3.3.2 工人技術

以下依次是對瓷磚系統層的討論。給出的所有混合比率都用體積單位計量配料。

#### (a) 根源基底

一般情況下，混凝土建築物或者磚造物必須滿足某些特定需求，例如，清潔、堅固/完整和空間上的平整。大部分技術規格和技術標準中對這些條件都有明確規定，一些內容寬泛的條款中還專門規定了平整/平滑標準。如果達不到平整/平滑標準，就有必要使用批盪基底做媒介層。

BS 5385-2 建議，批盪或者鋪設瓷磚之前，提供 6 個星期給混凝土墊層變乾。這樣做的目的是為了降低收縮和脫粘的風險。

#### (b) 粗塗底(撒砂仔)

因混凝土層表面平滑，塗粗塗底用在混凝土與批盪連接面可增強黏合強度，另外，粗塗底只部份鋪蓋混凝土的表面。這是本地普遍使用的規格，但是，在國際規格中，選擇比較多，亦可以用黏合層代替，或兩者混合使用。通常，香港會採用 1:2 比例的水泥花崗石碎末混合物（與高分子聚合物乳膠調和）。香港房屋委員會規格也明確規定粗塗底的效能要求標準。香港房屋協會規格也有粗塗底規範。由於粗塗底是由工人現場調配混合，品質難於控制而水準也未盡相同。在過往案例中，混凝土牆使用了品質不好或不符合標準的粗塗底，導致批盪層的黏合強度大大降低。

#### (c) 黏合層

在批盪之前，黏合層用於已潔淨的混凝土層表面/粗塗底表面（如果使用了）。一般的規格說明書強調：「當黏合層還有黏性的時候就開始批盪。」黏合層通常是水泥和水的混合物，同時以高分子聚合物乳膠作為添加劑。

因為通常失敗的地方就是在混凝土基底和批盪層的接觸面上，所以，加工一層黏合層是提高批盪和瓷磚系統黏合強度的其中一種有效的方法。然而，如果黏合層使用不合理的話，它就可能變成一個脫粘層，就會對之後的批盪層的黏合強度產生影響。



#### (d) 批盪

批盪形成一個中間基底，通常根據水泥與砂/碎石混合物 1:3 的比例調和，塗抹最厚不能超過 20 毫米，通常是 15 毫米或者再薄一些。地盤混合比例 1:3 的水泥砂混合物只是運用於一些小工程。工人們提前準備好袋裝的幹石灰粉或者調和好的灰泥，用這些灰泥做介質，把瓷磚貼到牆上。它們不可跟瓷磚墊層泥漿摻或者瓷磚膠黏劑混淆。

在香港，由於灰泥漿的一般是由供應商所產生的，所以，已預備的灰泥漿只可能在清晨或傍晚生產。在工程建設中，為了確保灰泥漿的可持續使用，供應商們會大量使用緩凝劑或者之類的添加劑，這些緩凝劑可以減緩灰泥漿的水化，一般可以延緩 20 甚至是 30 個小時。結果，塗到混凝土牆上的灰泥漿可能在緩凝劑失效之後馬上開始水化。所以，在水化結束之前，一些灰泥漿中失去的水分可能已被混凝土基底吸收和蒸發到空氣中去了。因此，灰泥漿中並沒有足夠的水分來滿足水化作用了來建立預期的黏合強度。所以，用提前準備好的灰泥漿做的牆打底層的黏合強度微弱，這些已經在一些扯拽試驗中被瞭解和證實了。批盪對混凝土基底的黏合力一般約為 0.2 兆帕斯卡。

另一方面對於乾灰泥漿，它們是在使用之前才調和，調和好之後再馬上塗抹到牆上。沒有添加任何的緩凝劑，其水化作用和黏合強度的變化完全是正常的化學反應。因此，其黏合強度是相對較高的，比較符合混凝土基底的要求，經常運用到混凝土基底中。這種情況下的黏合強度一般是 0.5 兆帕斯卡或者更高。

新加坡當前的外牆打底層膠黏劑條款中還包含了油漆（新加坡外牆並不使用瓷磚，所以這並不適用於瓷磚打底層）。根據相關標準要求，這些外部塗抹層的黏合強度要求在 0.25 至 0.4 兆帕斯卡之間。

在英國標準下，鋪設瓷磚之前，這些打底層需要 2-3 周的時間來晾乾。也就是說，至少 8-9 周之後，混凝土層和打底層的收縮到了一個合適的程度之後，才能把瓷磚黏到批盪上。

給外牆上塗抹打底層需要遵守 BS EN 13914-1:2005 無論瓷磚是否要貼到打底層上。對於瓷磚鋪貼到批盪的操作，BS 5385-2:2006 列有補充規定，主要有關伸縮縫定位，即伸縮縫必須穿過瓷磚墊層和批盪的整個深度。

在黏貼瓷磚或用批盪修整牆面之前，在瓷磚黏貼處，通常用批盪來使表面平整符合規定（在香港並不常見）。作為平整表面的要素，在進行一般批盪之前，通常需要刮平明顯不合規格的局部牆面。通常需要在模具板之間的接合處進行修平處理，混凝土澆築過程中，此處模具板的移動已造成連接處兩側產生明顯的平面差。刮平應在進行一般分層批盪之前完成，厚度不超過 8 毫米，最大許可厚度約為 20 毫米（BS EN 13914-1:2005）。

外用批盪為分級的細砂石（砂或粉碎的岩石顆粒）與水泥和添加劑混合或者為含有添加劑和細砂石與水泥的專用外批盪產品。泥漿打底層是水泥和細砂石的混合物，其混合比例應該是體積比 1:3。過細的砂石要形成可使用的泥漿材料就需要更多的水，而這樣就會導致過度乾燥縮水從而開裂脫粘，所以，砂石的等級就非常重要。

### **(e) 瓷磚墊層**

在多樣性和術語上，瓷磚使用也許最容易混淆。瓷磚墊層的兩個主要種類：

- 厚薄底層膠黏劑
- 水泥和砂漿瓷磚

瓷磚和墊層的性質決定了其應用的墊層類型。通常情況下有兩種基本的瓷磚分類：陶瓷磚和紙皮石。本地和英國標準規格中，兩種瓷磚與不同墊層系統之間的關係在下面進行討論。

### **(f) 紙皮石墊層系統**

BS 5385 強烈推薦用黏合性強的（濃稠且細薄）黏合劑塗抹外牆。唯一的例外是水泥的使用：將砂灰和砂漿批盪用於紙皮石。兩種系統都作為本底的塗層。水泥：水泥砂漿墊層不可超過 10 毫米，在鋪貼瓷磚之前須輕微硬化。將 1:1 水泥砂漿混合的薄漿提前在紙皮石平面上灌漿，或者是在合成條網狀紙皮石的灰泥面灌漿。

在紙皮石的使用方面，這三種本地規格（HKHS（香港房屋協會）、HA（香港房屋委員會）和 ASD（建築署））非常相似，但是與英國標準有所不同。

### **(g) 香港房屋協會紙皮石規格**

香港房屋協會規格允許對紙皮石使用薄層黏合劑（而非厚層黏合劑）或者厚層水泥：水泥砂漿。香港房屋協會規格要求墊層（即浮層）為 10 毫米厚（水泥與花崗岩碎石的比例為 1:3），並在混合前將泥漿塗在牆磚背面和浮層上。因而，與 BS 的關鍵差異在於用泥漿代替了 1:1 的水泥薄漿或砂漿，泥漿塗抹在浮層上，而泥漿厚度尚未確定。

### **(h) 香港房屋委員會紙皮石規格**

香港房屋委員會規格（SL 2008 版本）與香港房屋協會在規範紙皮石和水泥砂漿墊層的使用有相類似。先在本底塗上頭道墊層（不超過 10 毫米），再將未有明確規定厚度的水泥砂漿塗在紙皮石磚背面及頭道墊層面上。

在香港房屋委員會規格中也可選擇使用水泥漿墊層方法，主要分別是以水泥漿墊層代替水泥砂漿墊層。在香港房屋協會規格中，塗在本底和紙皮石磚背面的水泥漿厚度未有明確規定：根據薄墊層定義，厚度很可能不超過 3 毫米。

### **(i) 建築署紙皮石規格**

建築署規格與上述兩種使用厚層灰泥方法相似，但應特別指出墊層批盪泥的使用厚度應最少為 10 毫米。此外，在固定瓷磚前先將水泥漿塗在瓷磚背面和灰泥塗層表面。像香港房屋協會規格就是依廠商的建議的薄層專利黏合方法。

#### (j) 陶瓷磚系統

如上所述，由於專利產品有更好的品質監管，BS 5385-第二部分:1991 建議陶瓷磚使用厚薄層底層專利黏合系統。因為認為陶瓷磚的水泥砂漿墊層系統不夠牢固，因此不再建議使用或進行說明。

因為有很多類型的專利黏合劑可用，因此規格規定應依據廠商的建議選擇一切可用產品。獲得廠商的質保尤其重要。

與水泥砂漿系統不同，規定實驗室性能標準用以區分和測試五種不同類型黏合劑。這些標準規定了抗剪強度和黏合劑檢驗標準。預設情況下，這三種地方標準都依 BS 5385 為標準，可以肯定 BS EN 12004:2007 標準適用於相關要求。BS EN 12004:2007 規定實驗室黏合強度測試最低 0.5 兆帕斯卡。這一數值高於拉拔測試的新加坡規格中應用的數值（0.18 兆帕斯卡）。然而，應該指出的是實驗室測試和現場測試性能很難相匹配（例如，袋裝批盪的實驗室黏合強度測試資料無法在現場得到）。因此，不能將實驗室測試標準設為適用於現場。

從初期的討論看來，當地標準中使用的泥漿這一專業術語指用於厚層水泥：砂漿底層系統中的水泥和水（有或沒有添加物）。它並非確定或稱為黏合劑。因為它不屬於黏合劑系統的一部分，所以它不適用於性能或品質控制標準。

#### (k) 本地鋪砌陶瓷磚規格

本地三種規格都容許選擇使用薄墊層黏合劑鋪砌陶瓷磚。首要條件是要符合廠商的基本要求，且在陶瓷磚固定之後，塗抹瓷磚填縫劑並針對瓷磚尺寸形成接位。

本地規格中並沒有厚層黏合劑體系。唯一規定的厚層黏合體系包括水泥砂漿墊層系統及/或水泥漿系統。

香港房屋協會及建築署對厚墊層規格的要求是將 5-15 毫米厚的水泥砂漿或水泥碎石漿（1:3 比例）塗在瓷磚背面，然後再將陶瓷磚固定在牆上。相比之下，香港房屋委員會鋪砌外牆陶瓷磚的規格（SL 2008 版本）參考 BS 5385-2:1991 的標準，而 BS 5385-2:1991 建議用瓷磚膠去鋪砌外牆瓷磚。

觀察發現，水泥砂漿墊層在 BS 5385 中並未被劃分為厚或薄層。按照定義（厚達 10 毫米）的屬於厚墊層，即所有墊層厚度都超過 3 毫米。

沒有在牆身塗抹頭道墊層，卻直接將 1:3-4 水泥砂漿墊層塗抹於陶瓷磚背面去鋪砌瓷磚的‘塗牛油’方法，砂只在適用於內牆瓷磚的 BS 5385-1 裏有詳細規定（非外牆瓷磚）。

#### (l) 過底磚

由於過底磚的使用，瓷磚規格問題變得更為複雜，並且在安裝中需要特別預防。過底磚的吸潮性低，而水泥漿或液壓硬化灰漿需要一部分滲透進瓷磚表面，因而，使

用這些材料不能很好地固定牆磚。過底磚磚需要用瓷磚膠做基底，避免瓷磚介面離層脫離。

### **(n) 伸縮縫**

在建築物的使用壽命內，出現某些結構內的移動為合理現象；如瓷磚/批盪等相對穩固的飾面不能有所移動，這一點非常重要。隨著時間變化，建築物縮短（高層混凝土結構中不可避免）、熱效應（表面溫度可達 70°C，而相比之下內部空調溫度可能為 20°C）、結構承重偏斜、地震、風壓負荷和其他環境因素都可引起位移。這些因素導致的建築物移動為合理可預料的，因此設計應足以適應此類因素，且瓷磚/批盪無明顯缺陷。

按照慣例，一般通過使用伸縮縫來適應這些位移。為使伸縮縫有效，必須正確安置並且合理分派。在相關英國標準操作規格中給出了伸縮縫使用設計的指導。

### **(o) 外牆批盪（無瓷磚）**

BS 5262 涵蓋外牆批盪操作規格，並闡述了批盪開裂的控制措施，包括第二十七節的伸縮縫。根據 BS 5262，在建築物內和不同背景使用本批盪的情況下，例如從橫樑到內牆，結構背景本批盪要求伸縮縫和結構伸縮縫一致。如果不能將伸縮縫放在不同背景之間的接位上，那麼可以將金屬板條放在接位上，用本批盪覆蓋，以將這些區域內裂紋的影響降到最低。

### **(p) 外牆瓷磚批盪**

BS 5385-第二部分:20 涵蓋有外牆鋪磚中的伸縮縫內容。伸縮縫要求如下：

- 成型與現有結構伸縮縫一致不同背景接合位
- 不同本底的連接
- 鋪磚區周邊
- 位於樓層水平高度
- 垂直伸縮縫間隔約為 3–4.5 米
- 在建築物的外角處

BS 8000-11.1:1989 建築現場工人技術中介紹了外牆磚/批盪的鋪貼/塗抹方法的工人技術。牆壁和地板瓷磚實施守則。陶瓷磚、水磨石、紙皮石和 BS 8000-10:1995 建築現場工人技術。批盪和裝飾批盪實施守則。

這些規格描述了現場工人從事批盪和鋪瓷磚過程中所遵循的標準及建議慣例。

### **3.3.3 維修**

每棟新建築物完工後，所有人便有責任為購買者、使用者和路人維護創建一個安全的環境。關於將建築物維護在安全條件下有三個主要方面：它的使用方式、檢查以識別缺陷/惡化和及時地完成適當的維修。

本節討論各方面修理和維護情況。根據建築物條例，鋪設、修葺或拆除建築物的外牆牆磚可視為小型工程。應查閱參考建築物（小型工程）規例、小型工程監管制度之一般指引、小型工程監管制度之技術指引和認可人士、註冊結構工程師及註冊岩土工程師作業備考編號 APP-147 小型工程監管制度。此外這裡應當注意，強制驗樓計劃包括必要的樓宇外部檢查和維修。有關檢查要求和維修方法，應參考強制驗樓計劃及強制驗窗計劃作業守則擬稿。

### (a) 檢查

監督和檢查外牆瓷磚/批盪情況是維持安全工作環境重要的第一步。未經檢驗，缺陷很可能就被忽略且未得到修補，進而又導致其有可能進一步惡化並且最終從建築物上碎裂崩塌。

由於外牆瓷磚/批盪檢查要求專業性和設備，而一般大部分公眾只能完成簡單的目檢，以檢測如材料散裂、裂紋、污染、甩膠等明顯問題，於是只有提供足夠的維修通道方能進行檢查。因此相信有必要聘請第三方，比如房屋管理者或建築專家，每年檢查內牆瓷磚/批盪，並且每五年再聘請一位建築專業人員採用調查發現完成詳細調查及修繕建議。

每年的檢查，預計會找出潛在問題用作修復或更為詳細的調查：

- 碎瓷磚、批盪和混凝土
- 污點（鏽，水，風化）
- 重大的裂縫
- 瓷磚/批盪的膨脹
- 違建工程/超重
- 主要密封缺陷
- 變色，黴變等等

五年一次的更加深入的調查將檢查出以上所有問題及：

- 瓷磚、批盪或混凝土離層剝落範圍
- 包括的鋼筋混凝土狀況
- 瓷磚/批盪的黏合強度
- 外牆瓷磚/批盪（只需要一次）建設系統
- 提供修復規定和其他推薦規格



## (b) 修復

業主或居住者不太可能具有修復自己外牆磚/批盪所必要的技能、設備或意願。香港沒有自己動手（DIY）文化，而該文化在其他國家則非常普遍，因此一般會聘用修理承包商完成修復。

安排具有技術能力的人員專門完成該工作，應特別謹慎地雇用獨立機構（在修理工作中有必要的技術），以監督維修外包商，包括完成適當的品質控，這一點很重要。

混凝土修復、批盪、瓷磚墊層和瓷磚灌漿所用的材料品質差別很大（因此價格有很大差異）。一方面，現場混合砂和水泥可用於製備修補砂漿、批盪、牆磚墊層和泥漿，而製成品的原材料和混合比例可能存在很大差異而給出相似的完成結果。另一方面，可使用只需要現場加水的袋裝專有乾粉原料。這些材料特別混合成一些特殊應用（例如混凝土修復、瓷磚膠、批盪等等。）是較少受工人技術影響及為使結果一致而設計。這些材料也包括易性添加劑可防止現場錯誤加水，但如果加水過量或過少，從可使用性方面來說這些材料將只能是無法使用。

修理規格經常忽略的關鍵一步（尤其是如果顧問沒有從事監督修復工作）是品質控制測試。修復結束後，須經品質監控測試以保證其實際符合規格要求。用於外牆瓷磚/批盪修復的適當品質控制檢測可以包括以下幾種：

- 瓷磚和批盪的黏結強度測試
- 混凝土碎片修補，瓷磚和批盪離層脫落測定
- 在裝置中取出瓷磚，檢查瓷磚背面墊層的豐滿度
- 混凝土修補砂漿的立方體抗壓強度測試
- 防水膜的注水或針空檢驗測試

### 外牆瓷磚和批盪系統修復/修補工作

在修復有問題的外牆瓷磚/批盪系統時，可以選擇很多不同的修復系統，這將取決於若干因素，包括：現有的安裝條件、預期樓宇壽命、成本和業主偏好。多個維修系統可以結合使用，以最有效的方式達到要求的結果，例如大金屬釘固定修復結合塗層或覆層。

每處離層剝落的批盪厚度和離層剝落大小將大大影響所選的修復工程；特別是打金屬釘固定（選項 B、D 和 E，如下所列）的最小批盪厚度應為 15 至 20 毫米，視批盪質量而定。

以下修復選項可供選擇：

- 選項 A - 不修復。由於剝落的瓷磚/批盪層而引起的安全隱患，此選項通常不可行
- 選項 B - 打金屬針固定有問題範圍
- 選項 C - 於有問題範圍填補環氧樹脂
- 選項 D - 打金屬針固定結合環氧樹脂填縫
- 選項 E - 打金屬針固定附近完好範圍加固
- 選項 F - 更換脫黏範圍
- 選項 G - 清除所有外牆瓷磚/批盪層，並重新貼上牆磚/批盪層
- 選項 H - 外牆塗層
- 選項 I - 外牆覆層

#### 選項 A – 不修復

如果已經發現離層剝落現象，由於剝落的材料會導致其他損壞或受傷，因而此選項通常不可能。但如果計劃在不久的將來拆除建築，並採取了及格的保護措施，如防護柵、安全網和簷棚，直到隱患消除，則可以選擇此選項。

#### 選項 B - 打金屬針固定有問題範圍

現有的厚度大於 15 至 20 毫米的瓷磚/批盪層離層剝落，可以按照以下步驟固定到混凝土基底：

- a) 穿過瓷磚縫隙與批盪層，或拆下然後重新鋪上一塊瓷磚，經結構性評估夠於基底混凝土鑽孔，對間隙進行結構分析。
- b) 仔細清潔該孔。
- c) 以黏合劑或不用黏合劑輔助，安裝不銹鋼針（即乾燥或緊固針）。
- d) 在批盪層 4 毫米的凹處塗上環氧聚合物密封劑，堵上乾燥固定針的孔。
- e) 對表面進行必要的清理和修復。

打金屬針固定系統的設計應該是修理規格的部分內容。檢查保留的批盪層是工程師監管工作的一部分。



### 選項 C - 環氧樹脂填縫有問題範圍

可使用環氧樹脂將現有離層剝落瓷磚/批盪層固定到基底混凝土。如果發生大範圍脫黏，必須首先固定瓷磚/批盪層，以防因樹脂的壓力而脫落。步驟如下：

- a) 穿過瓷磚/批盪層上呈格網狀鑽孔（於瓷磚交接處，或拆下瓷磚，鑽孔後重新鋪上）。
- b) 仔細清潔每個孔。
- c) 安裝注漿孔。
- d) 對脫黏邊緣預先處理，密封批盪層與混凝土之間的任何間隙。
- e) 從修復區底部開始注入低黏度的環氧樹脂，直到旁邊的孔中可發現樹脂。
- f) 封堵第一個孔，繼續注入下一個孔，用錘輕敲檢查樹脂填充的進度。
- g) 完成後卸下注漿孔，修復表面輪廓。

### 選項 D - 打金屬針固定結合環氧樹脂填縫

此選項將 B 選項與 C 選項相結合，進行更全面的修復（即選項 B 在批盪層與混凝土界面留下空隙，而選項 C 只使用環氧樹脂但不加固定）。

### 選項 E - 完好範圍打金屬針固定

此選項包括固定目前的黏合區，尤其是緊鄰現有離層剝落的範圍，可降低將來出現離層剝落並最終導致自由脫落的風險。

### 選項 F - 更換脫黏範圍

應按照以下步驟拆卸現已脫黏的瓷磚/批盪層：

- 鋸切瓷磚/批盪層的邊緣並移走，在混凝土基底上鑿 3 毫米（必須鋸切完整瓷磚）。
- 清除鋸切範圍內的所有瓷磚/批盪。
- 用鋼絲刷和高壓噴水清理混凝土表面和所有污染物及剩餘的黏合層。
- 塗上含聚合物的黏合層和含聚合物批盪重塑表面。
- 以規定方式塗上替換瓷磚。

## 選項 G – 卸下所有外牆瓷磚/批盪層，重新裝設牆磚/批盪

這將包括從混凝土基底上完全清楚所有材料，打磨混凝土表面，修復其表面裂縫，然後按照規定方式重刷批盪層和重貼瓷磚之前，此方法可完全消除現存瓷磚/批盪中的隱患範圍出現問題的風險，如果材料、方法與工藝符合標準，此方法能夠帶來長遠效益。

### (c) 維修

#### 維護檢查和測試

修正任何問題的第一步必須先發現問題，否則不可能改正。因此檢測問題是外牆瓷磚/批盪維修和維護的非常重要的一環。

外牆瓷磚/批盪的檢測主要涉及目測識別表面異狀、檢查瓷磚/批盪表面下的離層剝落、確認瓷磚/批盪系統接縫處經由合格工序完成，以及瓷磚系統的黏合狀況。

完成的調查和測試的確實數據應保留作為以後監測建築物退化的依據。這些記錄在評估樓宇惡化方面將非常重要，可用以確定建築物正退化抑或仍然穩定。

#### 目測

目測檢查是最簡單的檢查方法，只要求知道需要檢查甚麼，以及必要的設備如接近外牆的設備、望遠鏡（可能）等。儘管目測檢查是所有檢查和測試方法中最簡單且侵入性最低，但它卻是最有用的方法。有經驗的檢查員能夠識別或「推測」（即指出可能問題）出如下問題：

- 瓷磚/批盪的裂紋
- 瓷磚/批盪的膨脹
- 有缺陷的伸縮縫處密封劑（裂開、脫膠、褪色）
- 污痕（風化、生鏽、流水、發黴等）
- 瓷磚膠周圍、批盪或瓷磚褪色
- 材料剝落（破爛、鋼筋腐蝕等）

詳細的目測檢查能夠識別重要缺陷並能夠對建築物的破損狀態給出有意義的綜合意見，決定是否需要進行緊急的跟進的檢查，還是能夠等到下一次的定期維護。目測檢查也可以識別褪色、污痕、發霉、風化等相對輕微不會直接引致材料墜落的問題，但這類小問題卻代表存在可能會導致墜落事件的問題，如離層剝落和水分淤積。

### 離層剝落測試

瓷磚/批盪從建築物上剝落時，他們必會先離層剝落或失去黏力，因而失去與基底的黏合。一旦出現離層剝落，他們可能會被周圍的材料保留在原位，導致長期的隱憂。另外，一旦離層剝落，外牆可能會快速惡化或擴散，進而導致瓷磚/批盪剝落，這會導致嚴重或致命的後果。因此，儘早檢查並處理（維修或監視）離層剝落很有必要。

離層剝落檢查一般以錘敲的方式檢查，使用金屬物體（一般是小錘子或金屬棍，末端附有球體）輕輕敲打瓷磚/批盪的表面，然後聽其發出聲音的分別。黏合處會發出「實」音，若將手放在敲打處相鄰的表面不會感覺到振動。相反，離層剝落處會發出音調較高的「浮」音，將手放在敲打處附近的表面，會發現表面振動。現有各種在瓷磚/批盪表面滾動或摩擦的設備加速此種十分繁複的檢查方法，但是原則仍是聽空音。

儘管錘敲被認為是識別和確認離層剝落面積最準確和最可靠的方法，但是需要與所有測試表面有近距離接觸。就高層建築來說，此種近距離檢查的要求可能需要搭建昂貴（而且可能不方便）的臨時接觸系統（平台、吊車、或棚架）。為解決時間、成本和損害問題，紅外線溫度記錄法已發展成為測量建築物外牆瓷磚、批盪的既快且便宜。

紅外線熱圖像技術以紅外輻射的方法，非常精確地測量牆壁表面的溫度。有離層剝落問題的牆面會有不同溫度，因為層面的斷開導致牆面材料向建築物內部散熱的效率降低，從而導致表面溫度上升。為了不受陰影、陽光效果、室內空調或來自其他建築物產生的熱量等的誤導，操作員需要高度的圖像分析技能。建議將紅外線溫度記錄法配合有限的錘敲法實施，以校準並確認拍攝的熱掃描的精確性。

目前香港正研發一項用於檢查離層剝落的瓷磚/批盪的新技術，即剪切干涉法（Shearography）。該技術目前還未完成，且未進入商業化階段。此項技術採用最初用於全方位檢查部件表面張力，採用激光干涉測量方法。樣本檢查的裂痕或瑕疵通常會增加周圍的張力密度，剪切干涉法（Shearography）可用於發現這些問題。目前正在香港進行研發的設備其實是一個放在輪架上的攝像系統，從牆壁表面掠過後，能夠表示出可能的表面下問題。該技術還可以融入自動機械人技術，讓其能夠自動檢查牆壁表面。在應用剪切干涉法

(Shearography) 檢查外牆瓷磚/批盪離層剝落方面目前沒有進一步的資料 (機密研究除外)。

### 黏合強度測試

黏合強度測試用於確認目前黏合的瓷磚/批盪的黏合強度，並考慮維修計劃中是否保留現有瓷磚/批盪。

按照以下步驟完成主要黏合強度測試：

- 掘透外牆瓷磚/批盪并深入基底混凝土約 5 毫米。一般情況下，鑽心直徑為 50 毫米，但是根據使用的檢測器類型不同，鑽心直徑在 20 至 75 毫米之間。
- 將該切割圓心保留在原地，即不從圓心孔中移除，各層面彼此之間及與基底之間保持黏合。如果選取圓心的時候，圓心偏離，這表示圓心選取方法不正確或者瓷磚/批盪層壓系統的黏合力低。
- 圓心樣本底部借助環氧黏合劑附著一個金屬「墊座」。該墊座允許黏合強度檢測器附屬裝置「拔出」圓心樣本。
- 一旦墊座上的環氧基樹脂掉落，黏合強度檢測器就附在墊座上，並用於拔出樣本，直至失敗。
- 缺陷位置的負荷會被記錄並除以圓心的切面面積，得出以兆帕斯卡為單位的測試結果。

圓心黏合強度測試 (如上所述) 是最常見的外牆瓷磚/批盪的黏合強度測試方式，但是有時會以方形的墊座在瓷磚/批盪上的進行切割。

完成黏合強度測試之後，取得的圓心樣本可用於直觀檢視建築的瓷磚/批盪系統的建造。從批盪厚度、批盪層數、批盪材料的質量和緊密度、其他建築異常現象可以獲得確定維修方法的重要資料 (如打金屬針)。

### 實驗室測試

關於檢查外牆瓷磚/批盪的安全狀況；正常情況下，目測檢查、離層剝落測試和黏合強度測試已足夠。但是，如果需要關於使用材料的額外資料 (對確定失敗原因，以及進一步惡化的可能性有幫助)。

合適的測試可包括：

- 批盪和瓷磚墊層材料的砂灰比例測試
- 檢查水泥質材料與批盪和瓷磚墊層材料中是否存在有機物檢測聚合物含量
- 對水泥質材料進行岩石學分析，提供成份、破裂的可能成因、潛在的碱矽反應（ASR）等

### 3.4 相關人士諮詢

評審報告闡明，爲了評估下墜瓷磚和染料的影響，本節摘要認爲該意見可諮詢建築專業人員和行業產業持份者的見解。

#### 3.4.1 資料收集

通過諮詢建築專業人員和產業持份者收集資料，相關專業包括建築署、屋宇處、房屋署、香港建設商會、承辦商商會、學術機構、香港建築師學會、香港工程師學會、香港測量師學會和其他建造業的組織。

#### 3.4.2 諮詢建築專業人員和行業持份者

回顧相關文章和包括英國、澳洲和新加坡在內的海外經驗之後，有人指出，這些國家的各類問題和香港在出現頻率方面變化相似。問卷旨在獲取較少一群人的觀點，來檢索更多的關於外牆磚/裝飾批盪濕固定失敗各個問題的技術觀念。在諮詢階段，至少安排一場上述各持份者都會參加的會議。

#### 3.4.3 諮詢結果

顧問已向持份者諮詢有關於「建築物外牆飾面 – 濕式鋪砌飾面磚」PNAP 303 (之後修改爲 PNAP ADV-31) 發出前後的瓷磚剝落事件或其他有關事項。這建議於 2003 年發出，但被訪的所有持份者都認爲此建議並未爲瓷磚剝落的問題或者針對瓷磚鋪砌的工作帶來改變。

然而，顧問發現政府工程已少用外牆瓷磚，此持份者的舉動直接影響瓷磚剝落事件的數量。不過，私人計劃仍然很大程度上仍然依賴外牆瓷磚，但持份者們並沒有察覺到「建築物外牆飾面 – 濕式鋪砌飾面磚」PNAP 303 帶來的改善，因爲可能要經過多年之後才能顯示出此建議對 2003 年之後所建的建築物的影響。2003 年之前所建的建築物可能會持續出現外牆瓷磚剝落等問題，而這些事故在多年後仍不能反映此建議的影響。

大多數人認爲，在香港解決這種瓷磚剝落裂縫的最好的辦法就是把澳洲和新加坡的方法結合起來，如把工人們組織起來進行額外的培訓以提高他們的技能，及增加或加強立法來加強檢查及維修並對失效意外使用更嚴格的刑罰。

持份者針對這些問題的發生以及發生原因作了總結，這個總結表放在附錄 B 裡。我們想通過這些總結找出和固定一些共通模式。

在海外國家，工程建設的過程包括很多個因素，例如，圖紙設計、細節問題、工人技術問題、建築材料、規格和修護問題等。所以，超過 50%的持份者都同意這樣一個說法，外牆瓷磚所產生的問題由這些因素中的一個或幾個因素共同造成。舉個例子說明，新加坡的外部條件有，雨，風，溫度，濕度，熱衝擊等等，這些都會給外牆瓷磚造成影響。在過去的許多年裡，各種建築中外牆瓷磚使用失敗案例有很多。當這種情況發生在巨型建築上的時



候，公共安全將會受到嚴重威脅。

超過 50%以上的持份者認為，粗劣的表面預處理是產生瓷磚事故的一個重要原因。在香港，人力潑濺或者機械調節經常被運用到工業建設中。水泥/砂和牆壁瓷磚也都普遍用作建築物外牆修飾批盪。瓷磚上抹上灰泥或者砂，灰泥和砂中有的會添加黏合劑，有一些沒有。然後，抹上灰泥或者砂的瓷磚再貼到建築物的外牆上。牆壁、底層、砂漿層和瓷磚，四者互相之間有任何的不合適黏合，都會增加失敗的風險。因為外牆修飾乾燥處理法有科學根據，其失敗率也比較低，所以，失敗的原因有可能是採用了潮濕處理法。從傳統黏合方法的角度看，這種外牆潮濕處理法並沒有經過科學的調查研究或論證，也就是說沒有證據證實它的設計理念和使用壽命。

儘管大多數的持份者都認為，工人技術是外牆鋪砌失敗的一個主要原因，可是，建築商卻有不同觀點，因為他們覺得導致失敗的原因多種多樣，比較複雜。例如，設計失誤、材料甄選失誤、伸縮縫缺漏、本底材料位移差異、風力循環、震動、扭動、彈性縮短、徐變、收縮、可接受的誤差，濕度和溫度的變化，都有可能對這個問題產生影響。

大多數的持份者認為，應該給批盪技工們提供相關的培訓課程和研討班，教導他們執行指導書及守則的重要。持份者們還認為給水泥匠們頒發職業測試證書也十分必要。

一些持份者宣稱，降低外牆瓷磚作業的高度，如建築簷片/特徵，可能降低失敗風險。為了使瓷磚鋪設工作達到標準要求，必須在合同中詳細說明考核方法，如現場拉力測試、紅外線掃描等。



## 4 地點檢查和測試

建造業議會提議，可以使用四種經常使用地瓷磚對四幢建築在各個階段進行不間斷地批盪和鋪設。其評判標準如下：

以下建設階段，所有建築場所都必須處於連續建設過程中，或者有較強的可查性。

- a) 無準備或者曝光狀態下的混凝土外牆基底；
- b) 準備充足的混凝土基底，包括擠壓、黏合在內的各種增強黏力的方法，都是為批盪和鋪瓷磚做準備；
- c) 批盪和瓷磚鋪設工作要連續進行以監督材料的分批次處理、泥砂調和、各種準備工作和實施過程；
- d) 對已經完成批盪和瓷磚鋪設的區域進行現場測試/審查。

大綱提要要求諮詢者對 5 所建築進行審查和測試，可是因為第五所沒有找到，所以建造業議會只列舉了四所。所以，只審查和測試了 4 所建築。

### 4.1 地點概述

#### 4.1.1 地點 1—衛理道的一所官立學校

這個政府小學，包括所有課室和會議室等，共有 8 層樓。它的外立面主要使用的是 225 毫米 x 19.5 毫米人工花崗岩瓷磚和 45 毫米 x 45 毫米陶瓷磚。

#### 4.1.2 地點 2—長沙灣的一幢住宅建築

這是一幢由私人開發商開發的居民住宅樓，共有 29 層。其外立面主要使用 95 毫米 x 45 毫米的陶瓷磚。

#### 4.1.3 地點 3—元朗的一個住宅區

這是一個私人住宅區，23 層的高樓有 3 幢，還有 8 幢稍微低一些的樓房。這些樓房的外表主要使用的是 145 毫米 x 45 毫米陶瓷磚。

#### 4.1.4 地點 4—紅磡的一幢重建大廈

這幢建築是一幢 25 層的重點恢復建築，其使用的是 95 毫米 x 45 毫米陶瓷瓷磚。

## 4.2 實地檢查介紹

審查團選擇五個安全的外牆位置對批盪和瓷磚鋪設進行檢查：

- 1) 輕錘五個位置檢查是否發生脫黏現象，輕錘區域最大為 100 平方米；
- 2) 目測五個位置（最大 100 平方米）。在該五個位置中選擇至少一個位置，目測其連接點、內外角落、瓷磚的開口和邊緣；

### 4.2.1 地點 1—衛理道的一所官立學校

選擇進行審查的區域，分別是地面（三個地方）和頂樓（兩個地方）。瓷磚鋪設地一般條件可以接受，目測沒有找到重大明顯的缺陷。然而，用錘子輕輕錘擊這五個定位點，發現細小空音區域，其區域面積由 0.07 至 0.005 平方米合共 0.0975 平方米（審查區域 100 平方米之外）。

### 4.2.2 地點 2—長砂灣的一幢住宅建築

被選中的五個審查區域是 6 樓（兩處）、16 樓和 31 樓（兩處）。分別進行目測和錘擊測試。瓷磚審查基本合格，沒有發現重大明顯缺陷，只有瓷磚黏接處有些細小裂痕。另外，錘擊測試沒有發現空音區域（審查區域 100 平方米之外）。

### 4.2.3 地點 3—元朗一個住宅區

由 6 樓到 17 樓，每一層都選擇一個大約 10 平方米的區域進行目測和錘擊測試。瓷磚表面審查基本合格，沒有發現重大明顯缺陷。然而，敲擊測試共發現 36 處有輕微空音，面積從 0.165 到 0.005 平方米不等，共計 0.648 平方米（檢查區域共 100 平方米）。

### 4.2.4 地點 4—紅磡的一幢重建大廈

選擇三樓平台進行審查。瓷磚鋪設的一般情況可以接受，目測沒有找到重大明顯的缺陷。然而，錘擊測試發現 9 處有輕微空音，面積從 0.029 至 0.004 平方米不等，共計 0.0903 平方米（整個審查區域 74.2 平方米）。

### 4.3 案例和測量方法介紹

對批盪和瓷磚鋪設進行測試，必須是在選中的地方安全的進行，具體測試列表如下：

- 1) 伸縮縫處要選擇兩個地方進行開啓審查，主要審查接位處的建造方法和測量尺寸。
- 2) 卷尺測量接位地點和大小，卷尺還可以測量這五個地方的可記錄的一些顯著的特徵；
- 3) 圓心樣本的膠水強度測試。每個測試點由三個獨立的拖拽瓷磚來測試膠水黏度。採用樣本提取的方式測量混凝土層的厚度。

#### 4.3.1 地點 1—衛理道的一所官立學校

所選擇的五個打開審查的地方都位於地面。審查時伸縮縫的長度大約為 100 毫米，其寬度和伸縮度分別處於 20 至 46 毫米和 12 至 22 毫米之間。伸縮延伸到混凝土基層，建造方式為可接受。

四處選擇進行審查為地面（三處）和 5 樓的位置，主要採用三個獨立的拉拽的方式審查膠水的黏合強度。審查發現，其失誤問題主要出現在批盪/底層的接觸面和瓷磚/瓷磚膠黏劑的接觸面上，這些接觸面所使用的膠黏劑的黏合強度只在 0.06 至 1.49 兆帕斯卡之間。

#### 4.3.2 地點 2—長砂灣的一幢住宅建築

在 6 樓和 16 樓選擇四處位置進行打開審查。打開伸縮縫最長大約為 100 毫米，寬度和伸縮度分別在 18.5 至 20 毫米和 17 至 22 毫米。然而，審查發現伸縮縫沒有延伸到混凝土基層。另外，審查團還測量了四個位置的伸縮縫之間的距離，水平距離沒有超過 3.5 米，垂直距離沒有看見。這種建造方式不可接受。

選擇外牆瓷磚的五處區域進行膠黏劑黏合強度的測試，同樣採取三個獨立的拉拽的方式。其主要失誤主要出現在批盪層和批盪/混凝土層的接觸面，膠黏劑的黏合強度在 0.06 至 1.32 兆帕斯卡之間。

#### 4.3.3 地點 3—元朗的一個住宅區

選擇 8 樓和 9 樓的五個區域進行打開審查，打開伸縮縫最長大約為 150 毫米，寬度

和伸縮度分別是 30 毫米和 20.25 至 20.62 毫米之間。所有的打開審查都擴展到了批盪層之外，伸縮縫的建造方式是可接受的。另外，選擇了四個地方的伸縮縫進行距離測量，水準距離沒有超過 3.2 米，垂直測量沒有看見。

選擇 6 樓和 8 樓的三個地方採用三個獨立的拉拽的方式進行膠黏劑黏合強度測試。主要失誤出現在批盪層和瓷磚/瓷磚膠黏劑的接觸面上，其膠黏劑的黏合強度在 0.12 至 0.63 兆帕斯卡之間。

#### 4.3.4 地點 4—紅磡的一幢重建大廈

選擇 3 樓平台的五個區域進行打開測試。打開伸縮縫大約為接位 150 毫米，寬度和伸縮度分別在 24 至 31 毫米和 18 至 27 毫米之間。伸縮縫延伸到了混凝土基層，建設方法為可接受。選擇了四個地方的伸縮縫進行距離測量，水平距離沒有超過 2 米，沒有發現垂直伸縮接位。

在 3 樓、17 樓和 25 樓選擇了三個地方採用三個獨立的拉拽方式進行膠黏劑黏合強度測試。主要失誤出現在批盪層和批盪/混凝土層接觸面上，其膠黏劑黏合強度在 0.01 至 0.83 兆帕斯卡之間。

#### 4.4 測試結果

參考實地審查結果，只是發現一些較小範圍的脫粘和細小裂痕，對於一個新建造的瓷磚鋪設來說，那些重大的缺陷並沒有被調查出來是可以理解。膠黏劑黏合強度值的測試結果範圍是很寬的，可是，測試結果中的一些數值低於推薦的黏合強度 0.2 兆帕斯卡。黏合強度較低的主要失誤的案例不是失誤在批盪與混凝土層接觸面（16 個中有 12 個），就是出現在瓷磚和瓷磚膠黏劑接觸面（16 個中有 4 個），而批盪與混凝土層接觸面的粗塗底護層也可能已經合併了。造成黏合強度較弱的一個原因可能是，施工在粉刷層或者塗膠黏劑層之前沒有做好充分的表層準備工作。另外，審查還發現，大部分的瓷磚表層沒有設置垂直伸縮縫。有關脫粘原因的細節，會在下面的章節討論。

## 5 脫粘的主要原因

我們主要通過文獻綜述和持份者會談的方式來研究造成批盪和瓷磚脫粘的因素。無論是因為應用材料層和基層之間的黏合強度不夠，或是因為建造體制的個體元件的通過黏性太弱，材料都可能會從建築外牆上剝落下來。通過研究發現膠黏劑脫粘是最常見的失誤，而批盪剝落或者瓷磚膠黏劑剝落並不常見。

脫粘的原因就是，無論與粗塗底粗塗底護層可能已經被合併的批盪與混凝土接觸面膠黏劑剝落有關，或是與瓷磚和瓷磚膠黏劑接觸面膠黏劑剝落有關。膠黏劑剝落失誤發生在三種情況中一種或者兩種以上情況下，就認為是重大失誤案例。

膠黏劑剝落的隱性原因：

1. 黏附層之間出現的不同移動幅度造成比黏附層黏力更大的拉力；
2. 各層不同材料之年的黏合強度不足，工人技術、水質退化或其他機制退化都可能導致板層之間的膠黏劑剝落。膠黏劑黏合強度支撐不起所需負荷，例如，批盪和瓷磚的固定負荷、風引力荷載等等。

脫粘很大機會由上述原因相結合引致，所以研究一套解決移動和加強黏合強度的方案特別重要。如果能夠充分解決建築物移動、材料選用和膠黏劑黏合強度弱等問題，脫粘事故就會減至最低。

包括外牆元素在內的混凝土建築物由於超負荷而引起變形移動，如果這種移動超過了批盪和瓷磚之間的移動範圍，材料會承受巨大壓力，就容易造成剝落。混凝土建築物也會受到慢移和乾收縮的影響，由於受到橫樑和懸臂的重荷壓力或者變形，建築物會產生結構收縮。潮濕程度會影響混凝土的凝固速度，又會影響混凝土的收縮度，因此，在這種情況下，建築品質和建築時間的失誤都有可能發生。與相對乾燥的環境相比，潮濕狀態下，乾收縮的程度會較少，但是，如果沒有適當設計適應收縮移動，也會導致剝落。

建築物表層的熱氣流同樣會導致批盪、瓷磚和混凝土基層之間的移動幅度不同。直接受太陽光照下，建築表面、批盪或者瓷磚表面的位移速度比在裝有空調的室內環境下要快。混凝土牆、外牆瓷磚和批盪之間溫度差距會導致他們連接面的膨脹不一致，從而增加連接面的負荷。

即使在相同溫度下，混凝土層和批盪層依然以不同的速度各自膨脹，因為砂石的大小和數量比不一樣，正常情況下，混凝土大小和數量比例是 6:1，而批盪比例是 3:1。

上述幾個方面表明，如果在外牆批盪和瓷磚工人技術之間預留出適當的移動空間或幅度，剝落是可以避免的。應根據預計的移動幅度正確配置和調整移動接縫。BS 5385-2:2006 對移動接縫的配置和調整做出了一些準則，謹守這些準則有助降低失敗率。

在此研究學習的案例中選擇的四處建築，可能就是香港一般不按有關建議進行批盪和瓷磚鋪設的典型例子。有些位縫並不準確地從批盪層一直刺穿到混凝土基層。在建議下，垂直接位縫應保持 3 至 4.5 米距離之內，或於建築物外牆角。層高之間有水平接位縫，卻沒有垂直接位縫。

綜合上所述，建築物需要適應批盪、混凝土基層、瓷磚之間不同的移動幅度會導致變形和拉伸壓力。因此，為了使各種材料能夠承受因結構移動和溫度變化而產生的巨大壓力，獲得較強黏合強度的膠黏劑就顯得相當重要。

對於香港地區經常使用的幾種材料的測試，這項研究的一個重要內容，這個測試表明，較佳的建築工人技術可以適當增強膠黏劑的黏合強度。關於完成了的批盪和混凝土接觸面的膠黏劑黏合強度的測試結束了，樣本包括有粗塗底護層和無粗塗底護層兩種。測試表明，有粗塗底護層和無粗塗底護層並無重大區別。然而，如果室外牆壁表面塗抹的是較薄的水泥材料層，尤其是那種較高建築物，要控制好粗塗底護層的品質和稠度是非常困難的，如果控制不合理，其黏合強度就比較弱，容易剝落。



## 6 實驗測試

檢討主要採取實驗測試，測試資訊主要來源於前人研究、科技評估和前人資料。測試結果將在以下章節闡述。這項研究只會對那些沒有現有測試結果的項目進行實驗室測試。

### 6.1 前期研究成果

經回顧和評估前期研究中獲取的實驗室測試資訊如 3.1 章，主要結果總結如下：

- 1) Yiu 等人（2007）經實驗室研究發現，熱衝擊和水循環可以在很大程度上降低黏合強度。案例表明，10 個 300 毫米 x150 毫米 x100 毫米的瓦管排水樓樣本要經歷 200 熱衝擊和濕氣循環。切變力測試表明，循環 100 圈之後，瓷磚和批盪連接面的膠黏劑黏合強度會降低 50%以上（A 點從 1.7 降到 0.8 兆帕斯卡，B 點從 1.2 降到 0.6 兆帕斯卡）。
- 2) Yiu 等（2006）通過經驗分析發現，風化作用會對外牆瓷磚黏合強度造成重大影響，例如，熱力，風和雨的衝擊。分析還發現，壽命超過 20 年的建築，外牆瓷磚剝落的概率平均為 14%，而建築的方位和材質屬性在很大程度上影響著這個概率。例如，與向東北的建築物相比，向西和西南的建築物外表剝落概率分別高達 4.8%和 3.5%。設置遮陽裝置也可以降低 10%的剝落可能性。

### 6.2 研究團隊所進行的測試

除由前期研究所得到的測試結果之外，這項研究還運用到了實驗室測試。實驗室測試法主要是為了證明指南中所陳述和推薦的瓷磚規格的採用。測試細節將在下面章節闡述。

#### 6.2.1 測試目標

批盪之前，混凝土基層使用粗塗底護層的效果，三種經常使用的瓷磚材料（紙皮石、陶瓷磚和人工花崗岩）混合體對黏合強度的影響，主要通過建立五種實體模型來評估。

除了批盪之前在混凝土基層使用粗塗底護層之外，前兩個面板建造相同。採用拖拽方式測試基層批盪的黏合強度。



其他三個面板使用同樣的批盪和膠黏劑，但是使用不同瓷磚建造。採用拖拽方式測試其黏合強度。

## 6.2.2 測試結果

列表 6.1 和列表 6.2 為實驗室測試結果：

**列表 6.1：使用粗塗底護層的平均黏合強度效果表**

批盪材料類型	平均黏著力 (兆帕斯卡)	
	使用粗塗底護層	不使用粗塗底護層
預混合批盪類型一 (設計黏合強度 0.5 兆帕斯卡)	0.61	0.59
預混合批盪類型二 設計黏合強度 0.5 兆帕斯卡 借助水阻力	0.76	1.01
預混合批盪類型三 設計黏合強度 1.0 兆帕斯卡 借助水阻力	2.10	1.65
預混合批盪類型四 借助熱絕緣裝置	0.20	0.34
配料後混合 5 小時的砂漿	0.90	0.72
配料後混合 25 小時的砂漿	0.47	0.24

**列表 6.2：不同瓷磚的平均黏著力列表**

批盪材料類型	平均黏著力 (兆帕斯卡)		
	人造花崗岩 (100 毫米 x100 毫米 x18 毫米)	陶瓷磚 (45 毫米 x95 毫米 x7 毫米)	紙皮石 (20 毫米 x20 毫米)
預混瓷磚膠黏劑第 1 類 BS 5980 標準	1.03	0.79	0.76
預混瓷磚膠黏劑第 2 類 BS EN 12004 C1	1.17	0.98	0.95
預混瓷磚膠黏劑第 3 類 BS EN 12004 C2	1.24	0.95	0.75
預混瓷磚膠黏劑第 4 類 BS EN 12004 C2 S1	1.02	1.42	1.19

批盪材料類型	平均黏著力 (兆帕斯卡)		
	人造花崗岩 (100 毫米 x100 毫米 x18 毫米)	陶瓷磚 (45 毫米 x95 毫米 x7 毫米)	紙皮石 (20 毫米 x20 毫米)
預混瓷磚膠黏劑第 5 類 BS EN 12004 C2 S2	1.06	1.80	0.68
水泥漿	0.82	0.44	0.53

### 6.2.3 測試發現

以上結果說明，粗塗底的作用因情況而異，它並不能顯著提高黏結強度。而且，使用的瓷磚類型也並不影響各個不同類型黏合劑的黏著力，多數黏合劑都能達到預期目標黏附值。但是，仍有一些結果值在其黏附類型目標值以下，如類型 4 和類型 5，玻璃紙皮石和人造花崗岩的黏合劑結果值，低於目標值 1.5 兆帕斯卡，這可能是由於嵌板準備過程中現場條件的變化和基底介面的故障造成的。

### 6.3 備註

以上所有測試都在實驗室控制環境下完成（即在不斷的監控、恒定的工人技術條件和適量固化條件下），在施工現場使用其資料時允許有適度變化。

根據對以往研究的回顧和本研究的時間局限性，本研究未進行加速耐久性測試，但使用了以往及目前長期大氣暴露測試的結果。前期房屋委員會的報告已經確認，在研究參數和時間框架中，很難獲得有意義的確定性結果。

## 7 建議

### 7.1 改進區域和擬解決方案

#### 7.1.1 設計

設計步驟是後續所有步驟的基礎，在設計的初步階段需做出一系列關鍵決策，包括選定外牆正面牆系統。決定使用批盪和瓷磚系統將影響建築物的基礎設計，而且一旦做出使用批盪和瓷磚，建築物設計理念也隨之確定。

通過與持份者面談和其他形式的行業交流，一個關鍵點得到確認：在設計過程中，設計師需要考慮外牆批盪和瓷磚鋪設的可行性和可維護性。

外牆磚系統的詳細設計指南在 BS 5385-2:2006《牆磚和地磚鋪貼-2：一般條件下外牆瓷磚和紙皮石鋪貼設計與安裝-實施規格》中清楚列出。而對於不鋪設瓷磚批盪，可參考 BS EN 13914-1:2005《設計、製備和外牆批盪及內牆批盪施工 1：外部批盪》批盪只要遵照這兩個標準中所列的規格，就可以形成設計合理、合乎標準的批盪和瓷磚鋪設系統。在這個過程中要注意按照操作規格裡的要求，預留出精確計算的伸縮縫，以適應建築物的移動。

1. 現有的和/或結構性伸縮縫；
2. 鋪貼瓷磚毗鄰其他材料的位置；
3. 不同本底材料相接，瓷磚連續鋪貼的交叉點；
4. 樓層高度約 3 到 4.5 米的垂直接位；
5. 垂直外角位置。

對正確安裝伸縮縫做出規定並進行詳細說明將大大影響建築物在使用壽命期內的可維護性及脫粘事故的發生概率。

接下來設計師需要考慮外牆批盪和瓷磚鋪設的可行性。可行性的主要影響因素是施工區域的入口、施工的乾淨空間、材料運輸及專案後勤安排。一般來說安排臨時施工、入口和後勤等是承包商的責任，但同時設計師必須確保現場對於工程、臨時入口、出現運輸材料設備如起重機的限制不會妨礙承包商完成施工。現在普遍設計師會在設計階段和有經驗的承包商溝通，確保在設計時考慮可行性。這樣的溝通會帶來施工階段時間和成本上的節約，應加以鼓勵，因為雙方都會從中受益。

在設計階段還要考慮建築物的維護，不同系統的具體維護設備應該與業主/使用者的預期相一致。此外，在設計階段還要規定外牆入口，以便出現故障時，可以進行維護檢測或維修。其通常通過一個固定安裝的建築物維護裝置或吊板來實現。另外一種方案就是將臨時吊板安裝在屋頂上（需要有足夠的空間）。當入口足夠進行檢測時，任何大的維修工作都需要安裝棚架或工作平臺，在設計/建築物安排時必須容許此類的臨時入口。

隨著建築物高度的上升，設計中的可行性和可維護性變得越來越重要/意義重大。對於高層建築，設計師在設計階段必須仔細考慮這些方面以便最大程度的減小建築物施工和經營階段的困難/成本和不便。

### 7.1.2 工人技術

工人技術是一個複雜概念，涉及很多不同相互影響因素。

#### a) 監督和培訓

瓷磚鋪設和批盪作業是一項專業技術服務，需要工作人員具備適當的培訓和經驗。若工作人員在施工和監督方面均不具備適當的技術和經驗，則不可能完成合格的批盪和鋪裝作業。

其他一些國家（包括英國和澳洲）的慣例是批盪和鋪磚作業需要漫長的實習培訓（幾年）才可完成，他們會由經驗豐富的工作人員監督和培訓。職工培訓期間將包括理論和實踐兩方面，從而為工人提供其行業的工作原理、材料、方法和技術的相關知識。工人通常受工會的進一步規範，以確保不與最新技能脫節。這些系統類型並未在香港開發，但相關行業應努力學習關鍵的培訓和施工經驗等。

建造業議會訓練學院（CICTA）（前稱建造業訓練局）為批盪及不同類型的瓷磚鋪設提供行業技能測試。這些行業測試包括實踐和書面測評兩方面。此行業測試意在為工匠設定資格標準，以幫助工業挑選技能熟練的工匠、幫助獲取認可資格證明以及提高技能熟練工匠的地位並幫助其獲得良好的職業發展。

CICTA 同樣為工匠以及批盪和鋪磚作業人員提供為期兩年的全日制課程培訓，名為砌磚，同時還可接受批盪及貼磚培訓。同樣提供單日的批盪或貼磚培訓課程。沒有專為特定行業監管人提供的特定培訓，但設有一般監管級別員工培訓課程。

如以上所述，可在香港接受當地行業技能測試和培訓，並建議如有可能所有的現場作業人員都應在行業內完成認可的培訓和技能測試，並在其從事行業內具備適當的經驗。管理人員應同樣完成認可的培訓和行業技能測試，並完成管理級別的培訓。若因行業內供應不足，而無法聘請具備認可資格證明及培訓的員工，應只聘請經驗豐富的員工，其能表現出完成規定工作所需的技術和經驗。

如果需要使用專利產品，則所有的作業人員以及技能管理人員都應接受產品製造商的適當培訓。此舉有助於確保能夠完全理解並實施製造商的推薦規格，其可能因產品的不同而各有差異。

應配備有充分授權的督查人員檢查施工操作員，要求他們完全遵從規格標準，並確保工程按照行業最優方法完成。

## **b) 工地組織和管理**

建築工地的組織和管理方式對於施工者可以接受的標準完成批盪和瓷磚工作的能力來說影響很明顯。工地管理部門有責任根據良好的工作條例提供有利於完成批盪和瓷磚工作的環境。

建築行業吸引學校畢業生非常困難，它們要面臨與建築工地工作環境完全不同的其他行業的競爭。工地管理部門需要提高安全、福利、廁所、休息室和其他設施，這樣建築工地可以是安全和具有回報的工作場所，擺脫了不必要的不適感。這對於處於前線的工地組織和管理部門是一個長期的行業目標，建築行業需要改進其形象，而良好的組織管理和有計劃的工地對形象改進有幫助。此終極目標將會吸引並留住有能力的人才改進整體工作品質包括批盪和瓷磚。

人員的運輸、工地周圍的材料、用材料存儲的充足清潔空間的規定、材料準備和混合、施工者的新混合材料的分配也需要考慮。電力規定、工地要求的足夠數量的燈和水將明顯改進施工者和監工者按要求完成工作的能力。

排列和安排建築工程的工地工作順序，以便批盪和瓷磚作業和同工地、同時段的其他作業不衝突。這不僅可改進工作品質、效率和生產力，還會避免破壞區域內其他工作的完成。



瓷磚的工作區域應盡可能地清潔，以便施工者無障礙地工作。特別重要的是避免混凝土斷裂和其他可能導致批盪和瓷磚振動和受干擾並影響其黏合強度和長期性能的工作。

作為外牆最後一項工作，批盪和瓷磚工作講求實際非常重要。建築過程應以此種方式進行管理，以便此收尾工作不會在工程結尾時超出可能的預期時間。批盪前需要的時間、批盪層之間的時間、瓷磚黏合應用之前的時間等不應不合理的壓縮。不合理的工程要求對於施工者完成可接受的瓷磚是不利的，並且可能導致維護/維修成本增加以及將來的故障事故。

### c) 混凝土基底的準備

若想使混凝土和批盪之間達到可以接受的黏貼強度，適合使用中間批盪基底或瓷磚膠的操作面至關重要。如果處理外牆，表面通常為無模混凝土，預製或現場澆築均可，在正常情況下，會要求某種形式的混凝土的表面預先處理。

金屬或塑膠飾面模具生產的光滑混凝土表面的光滑混凝土具滲透性，表面或透水，極易損壞；但表面粗糙的混凝土也不一定獲得令人滿意的批盪。在打開脫模擋窗後使用的範本釋放劑、脫模油或養護劑也會抑制批盪與混凝土的膠黏度。所以諮詢廠家以確定這些汙物可以留在其中還是可以在批盪之前完全清理掉非常重要。在製作批盪之前，混凝土表面必須乾淨且無塵、無浮漿、無油或任何黏結性弱的材料。

當拌好的砂漿用作批盪材料或其他批盪需要依賴於液壓砂漿作用的專門材料如非聚合物用作批盪抹面用料時，一個有必要的竅門就是將混凝土的表面處理的粗糙一些。用粗磨或噴射式處理可以清除掉混凝土表面的任何污染物，並使其表面粗糙。這樣的處理有助於提高批盪的黏度，但不會增加表面的吸力，而且光靠這樣的處理或許還不足以防止批盪出現問題。

網密、質地緊密而且透水性低的混凝土表面是由金屬或其他類型的模具做成的，而且光靠液壓砂漿作用不能獲得足夠的黏貼力，所以要求使用含有聚合物乳化劑的專門批盪材料，以便提高黏貼力，達到可以接受的效果。

粗塗底是另一種提高混凝土表面粗糙度的方法，但是作為混凝土表面上的附加層，剝落或其對混凝土較差的膠黏力，可能會對批盪的成功黏貼產生不利影響。因此，如果使用粗塗底的話，很重要的一點是，儘快將粗塗底正確地調配、混合並塗到敲掉模具後乾淨、濕潤但無表層水的混凝土上，最好在 24 小時內完成操作。粗塗底是混凝土表面一層很薄的塗層，在無保護的情況下，它會在水泥水化之前變乾，在混凝土表面出現一個脆弱的黏性很差的薄層—這與使用粗塗底的初衷正好相反。粗塗底材料應混合於水，或者至少在塗上的前三天採取保護措施，以便水泥能正常地水化。作為此次研究項目的一部分，分別在採用和不採用粗塗底的情況下進行實驗室黏著力測試，觀察批盪的黏附效果。實驗結果顯示，使用適當的粗塗底層不能顯著提高批盪對混凝土的黏附。從批盪黏合強度的角度看，粗塗底層對提升混凝土基底樣品黏合力並沒有顯著效果，但是，若不按照規格區分、操作和養護，很有可能降低批盪和混凝土之間的黏合強度。所以在適當的情況下，設計師如果發現粗塗底操作不當，應找機會去掉粗塗底層，從而避免給批盪和混凝土基底黏連帶來的不良影響。

批盪前混凝土表面最穩妥的準備措施可能是，採用機械的方式，將不銹鋼網固定到混凝土表面。BS 5385-2 中建議一層以上的作業以及在可能有差異移動的情況下



採用此方法。這種方法的缺點是成本昂貴。如果採用此方法，則需使用合適的帶有開放式鋼筋網的耐腐蝕材料，其可將混凝土基材隔開約 5 毫米，以便能穿過鋼筋網推抹批盪至全部封裝，並黏接在混凝土表面，以抵抗若批盪未能黏接到牆面可產生大問題的水分運動。

批盪應沿著混凝土基材的表面輪廓進行，並且必須為批盪塗抹提供達合理水準的基材。百葉窗鑲板、混凝土空隙、浮露砂石、連接螺栓孔以及其他混凝土修繕等之間的階梯狀接合，都需要在塗抹批盪之前修理或磨光，以便塗上的批盪能夠合理保持厚度一致，這可以避免由不同固化速率或熱效應等而導致開裂或剝落等問題。

#### d) 批盪

批盪應施用於預製混凝土基材上，根據製造商建議中使用專用批盪材料，或根據良好批盪手法，使用預製混合水泥。批盪前，混凝土基材應幹透並且在至少為 6 周的最初收縮期之後。此 6 周時間可用於完成必要的表面準備，固定鋼網或修復混凝土/表面準備活動。

批盪前，應潤濕混凝土表面，防止新批盪散失過多水分。潤濕操作應與批盪同步進行，這樣當批盪時，表面保持濕潤，但確保表面沒有多餘水分與批盪混合。

如果沒允許使用專利材料，施用的批盪總厚度不得超過 20 毫米，塗層通常厚度約為 8 至 16 毫米。後續塗層施工前，應待每個塗層養護、乾透和硬化，批盪表面上的後續塗層施工時，應打磨粗糙以為後續塗層打下基礎。

與此同時，批盪塗層的養護將要求表面防護，特別是在外部批盪暴露在炎熱、乾燥或多風環境中。如果要求維護表面水分含量，可於噴水的同時做出遮擋。

最後的批盪層飾面應以合格工人技術水準完成，為直接黏附瓷磚的批盪（通常約 3 毫米厚）能夠塗在達到指定水準的平面上。

施用瓷磚膠和瓷磚前，最後批盪塗層並一層批盪至少需 2 周時間乾令其透。此部分提及的時間範圍符合批盪的最佳慣例，但如果使用專利材料，可能根據製造商建議有所改動。

#### e) 瓷磚膠和瓷磚的施工

材料進場時，尤其是瓷磚應認真檢查。有必要對顏色、厚度、樣式進行一般性檢查是有必要，以避免非正確安裝瓷磚後的浪費成本和時間的重新施工。支撐瓷磚的網格應黏在瓷磚的背面，重要的是，網格和膠不能過多地覆蓋瓷磚背面，防止瓷磚與瓷磚膠接觸。如果網格和膠覆蓋瓷磚背面面積超過 25%，則這些瓷磚不可使用。

現場材料的處理和管理始終是一個重要問題，在此方面，應嚴格遵照製造商建議。處理瓷磚應特別注意避免損壞或污染，通常瓷磚應乾燥保存並保持原包裝。如果瓷磚在儲存中受到污染，例如灰塵、污垢、油污、黴菌滋生或其它可能影響黏合或外觀的汙物，應在使用前清潔或將瓷磚廢棄。

貼磚時，應按照從高到低的樓層進行。這樣可避免已完成的工程受到污染，給予更多時間建造下層的移動台/坡道。

瓷磚使用之前，應檢查批盪表面精度，作為一般規則，外牆瓷磚如使用瓷磚膠固定而邊緣長度不多於 2 米下，接位不得超過 3 毫米。如果存在有大間隙，將需使用大量的膠（可能引起熱脹冷縮問題）或在瓷磚背面將出現空隙。使用瓷磚膠之前，還

應根據要求通過洗刷、真空等方式清潔底面。

在多個施工活動中，如果想取得與規格相符合的飾面，瓷磚施工的放線和規劃非常重要。瓷磚間的接位或瓷磚之間的寬度應一致，應將節點對齊，特別是不同平面之間，例如，內角或外角。

使用瓷磚膠之前，應嚴格按照瓷磚膠製造商建議為底表面做最後準備。一般情況下，瓷磚膠將要求背面乾燥，不允許底面或瓷磚背面潮濕。根據需要，可能要求底表面施用底漆應根據製造商的建議施用底漆。

應使用平頭鏟刀將瓷磚膠塗在牆壁上至要求的厚度，然後根據製造商建議使用缺口鏟刀單向勾勒出紋路。缺口鏟刀不可劃過深度不可超過膠層厚度，以免膠層損壞，露出底表面。刻痕提供均等的膠層厚度，使空氣從瓷磚背面溢出，因此避免瓷磚背面出現空隙。瓷磚膠上的刻痕應是單方向持續的並且刻痕之間不能呈現不同方向的交叉狀。

應僅使用足夠的膠，以便於在瓷磚膠有效時間內黏合瓷磚。不同產品的施工時限不同，但通常為 20 或 30 分鐘，在熱、乾燥以及多風環境中，施工時限將減少。如果瓷磚膠「乾透了」，則不可貼瓷磚，膠表面已乾透且通過加水不能恢復。必須移除此材料並塗裝新膠層上。

單片瓷磚（去除了背面襯網和前面蓋紙的瓷磚）在黏貼時，應在其背面抹泥，即在瓷磚安裝就位前，應在瓷磚背面塗上一層瓷磚膠，並且安裝瓷磚應以扭動或滑動的動作操作，然後按壓入位，形成寬度至少 1 毫米的接位。

對背有網格或前面貼紙的紙皮石或陶瓷磚來說，不可能在多片瓷磚陣列背面塗抹黏合劑。如果是這樣的話，瓷磚應牢固按壓入位，確保每個瓷磚背面與牆體上施用的黏合劑全面貼合。

如果是紙貼面的紙皮石，根據瓷磚灌漿製造商的建議，安裝瓷磚前，建議預灌漿瓷磚先。安裝瓷磚後，就無需進行單獨的灌漿操作，因此節省時間、成本以及清潔工作。

#### f) 填縫

如果使用灌漿，應確保填縫材料（特別是磨砂和色素灌漿）可與所使用的瓷磚結合。可採取製造商建議，但最好對已認證的瓷磚和制定的灌漿進行灌漿試驗，確保可取得滿意的灌漿效果。這個簡單的試驗可驗出一些已知的問題，其中包括瓷磚表面劃傷（可能由磨砂灌漿導致）或彩色灌漿可引起瓷磚表面沾污。

完成瓷磚安裝後應儘快灌漿以防止接位處污垢積聚，更好保證灌漿和瓷磚膠同時進行風乾，完成結合。通常情況，瓷磚安裝後，應在三天時限內完成填縫。

灌漿應嚴格按照製造商建議進行批配料混合並在使用時限內使用。灌漿材料應填入接位，應完全填滿填縫和瓷磚膠之間不可留有縫隙。將要求使用適當的灌漿工具，如靈活的邊鏟，便於將灌漿注入接位。

填縫可能是凌亂的操作，在工作進行中，應使用濕布或同類物品清潔瓷磚表面（灌漿完全變硬前）。清潔操作中儘量少使用水，這樣未固化的灌漿就不會因過多潮氣受到影響。

外牆貼磚時應主要異常氣候防護，直到膠和灌漿全部完成，灌漿後將要求約 2 周時間的防護。通常借助腳手架提供充分的防護，寬大的登船網和安全網提供遮擋和一

定程度的氣候防護。在一些情況下，不能提供最低程度的防護或氣候異常超出預期，應考慮提供額外的防護措施。

一旦灌漿和膠已固定貼磚，就可使用幹布或其它適當方法清潔/拋光以去除灌漿薄膜，否則貼磚牆表面暗淡或塵土飛揚會變得佈滿。使用專用清洗材料亦可，但必須遵守製造商建議。多屬此類產品為性，需要在使用後徹底沖洗，並且採取護理，不可影響其他工地活動，如窗/玻璃安裝工程可能因瓷磚清潔操作而受到不利影響。

### 7.1.3 維修

#### a) 檢測與維修設計

在工程的設計階段，將會做出關於建築面積、使用、結構系統等關鍵決策。在設計階段，考慮如何實現建築物生命週期的其他階段也同樣重要。例如，建築設計師應考慮施工能力，以能更加確保建築物在工程預期內能完工。完工後，建築物生命中的使用階段開始，一般說來，這是大多數建築物生命裡的最長階段。此階段期間，有必要實施建築物的維護工作。與考慮施工能力相似，設計師還應考慮如何保護建築物，因為設計階段的決策對建築物的可維護性影響深遠。在設計階段針對外牆系統需要做出的關鍵決策包括外觀系統的選擇。如果已選擇批盪和瓷磚系統，設計過程中將需要考慮外觀系統如何維修。本節提出了將來需要的維護檢查類型方面的指引，以及如果檢查出現問題時可能使用的維修系統。

外牆批盪和瓷磚系統其中最重要的問題包括離層剝落、黏合失敗和散裂問題。在本研究項目中，已經確定一個系統內的材料層之間的黏合（或黏合失效）是黏合失敗的主要原因，而並非是材料內部黏合失效。在些界面層中，混凝土界面的批盪可能是最弱的黏合劑，因為批盪材料的黏合力可能減小，基底也非常可能被污染和活動，兩者都可以降低混凝土批盪的黏合力。

混凝土界面的批盪除了黏合力可能較弱外，還是系統的第一層界面，例如它比瓷磚承擔著更多的載重量（批盪、瓷磚膠和瓷磚），瓷磚黏合面只支撐瓷磚的重量。

所以，設計過程應注重在這些界面中如何提供足夠的黏合劑，以減小將來的事務即維護問題。外牆設計應考慮去除可能出現問題的範圍，或可能導致外牆批盪和瓷磚系統維護問題的方面。

活動適應性調節的規定是特別應在設計時考慮的領域，它將會對很多情況包括建築物的建築外觀產生影響。應配置伸縮縫以適應預期活動，並對其作出詳細說明，BS 5385-2 中給出了伸縮縫和詳細說明指引。其中包括樓層高度的水平接縫、和 3 至 4.5 米間隔的垂直接縫、不同本底材料之間的交叉點外角、以及目前所有結構性伸縮縫。材料和方法的選擇也應考慮維修離層剝落的難度和失效後果。批盪材料中打金屬針固定的不銹鋼網絲會顯著降低散裂事故發生的可能性和維修的潛在需要。BS 5385-2 中推薦在一層以上高度的批盪和瓷磚系統中使用不銹鋼網絲，設計師應考慮採用。



批盪和瓷磚組成的外牆系統也應考慮避免在批盪和瓷磚完工區包含一些建築特點，如鱗片、有蓋雨篷、以其他建築有關的項目。這些類型功能周圍的瓷磚會造成問題，瓷磚必須只能使用塗砂漿黏合，且牆壁上不能使用可能導致質量問題的浮層。此類功能令周圍的活動距離難以調節，在建築層面上不吸引或易被忽略。這類功能上的瓷磚通常證明會導致維修問題，如果非常想要此類功能，那麼應考慮使用替代品，如打金屬針固定覆面或在該功能上修整。

#### b) 通道提供

設計師應考慮外牆清潔、維護檢查、潛在維修的通道提供。特別是當建築物較高，或建築物樓頂難於接近/多個樓頂所有者的情況。高層建築物檢查和清潔的通路一般由外牆清潔裝置(BMU)提供，BMU 可能是永久性安裝的，也可能為提供所需通路而臨時安裝的。二者都需要安排樓頂空間/通道。

BMU 或吊籃通常是一塊通過纜線從樓頂上懸下來的小平台，一般情況下約能承載 2 人，但是確實容量須根據承載的材料或其他重物有不同的限制。BMU 移動較慢，除了在樓頂或地面的時候都不方便或不容易重新添加材料。此類外牆通道安排對清潔和維護檢查可以接受，但是要在完成維修或保護物件/碎片不墜落到地面卻頗有難度。所以，設計師可能必須考慮需要提供可選的臨時通路安排（用於檢查的 BMU 除外），如實施維修的棚架或桅桿攀登工作平台。這是在設計階段肯定需要考慮的問題，如安裝棚架或桅桿攀登平台的空間，以及為此類臨時通路提供的足夠的場地、墩座牆平台或牆壁固定架及其所需負荷能力。

#### c) 維護檢查和測試

修正任何問題的第一步必須先發現問題，否則不可能改正。因此檢測問題是外牆瓷磚/批盪維修和維護的非常重要的一環。

外牆瓷磚/批盪的檢測主要涉及目測識別表面異狀、檢查瓷磚/批盪表面下的離層剝落、確認瓷磚/批盪系統接縫處經由合格工序完成，以及瓷磚系統的黏合狀況。

完成的調查和測試的確實數據應保留作為以後監測建築物退化的依據。這些記錄在評估樓宇惡化方面將非常重要，可用以確定建築物正退化抑或仍然穩定。

目測檢查是最簡單的檢查方法，只要求知道需要檢查甚麼，以及必要的設備如接近外牆的設備、望遠鏡（可能）等。儘管目測檢查是所有檢查和測試方法中最簡單且侵入性最低，但它卻是最有用的方法。有經驗的檢查員能夠識別或「推測」（即指出可能問題）出如下問題：

- 瓷磚/批盪的裂紋
- 瓷磚/批盪膨脹
- 有缺陷的伸縮縫處密封劑（裂開、脫膠、褪色）
- 污痕（風化、生鏽、流水、發黴等）
- 瓷磚膠周圍、批盪或瓷磚褪色
- 材料剝落（破爛、鋼筋腐蝕等）

詳細的目測檢查能夠識別重要缺陷並能夠對建築物的破損狀態給出有意義的綜合意見，決定是否需要進行緊急的跟進的檢查，還是能夠等到下一次的定期維護。目測檢查也可以識別褪色、污痕、發霉、風化等相對輕微不會直接引致材料墜落的問題，但這類小問題卻代表存在可能會導致墜落事故的問題，如離層剝落和水分淤積。

瓷磚/批盪從建築物上剝落時，他們必會先離層剝落或失去黏力，因而失去與基底的黏合。一旦出現離層剝落，他們可能會被周圍的材料保留在原地，導致長期的隱憂。另外，一旦離層剝落，外牆可能會快速惡化或擴散，進而導致瓷磚/批盪剝落，這會導致嚴重或致命的後果。因此，儘早檢查並處理（維修或監視）離層剝落很有必要。

離層剝落檢查一般以錘敲的方式檢查，使用金屬物體（一般是小錘子或金屬棍，末端附有球體）輕輕敲打瓷磚/批盪的表面，然後聽其發出聲音的分別。黏合處會發出「實」音，若將手放在敲打處相鄰的表面不會感覺到振動。相反，離層剝落處會發出音調較高的「浮」音，將手放在敲打處附近的表面，會發現表面振動。現有各種在瓷磚/批盪表面滾動或摩擦的設備加速此種十分繁複的檢查方法，但是原則仍是聽空音。

儘管錘敲被認為是識別和確認離層剝落面積最準確和最可靠的方法，但是需要與所有測試表面有近距離接觸。就高層建築來說，此種近距離檢查的要求可能需要搭建昂貴（而且可能不方便）的臨時接觸系統（平台、吊船、或棚架）。為解決時間、成本和損害問題，紅外線溫度記錄法已發展成為測量建築物外牆瓷磚、批盪的既快且便宜。

紅外線熱圖像技術以紅外輻射的方法，非常精確地測量牆壁表面的溫度。有離層剝落問題的牆面會有不同溫度，因為層面的斷開導致牆面材料向建築物內部散熱的效率降低，從而導致表面溫度上升。為了不受陰影、陽光效果、室內空調或來自其他建築物產生的熱量等的誤導，操作員需要高度的圖像分析技能。建議將紅外線溫度記錄法配合有限的錘敲法實施，以校準並確認拍攝的熱掃描的精確性。

目前香港正研發一項用於檢查離層剝落的瓷磚/批盪的新技術，即剪切干涉法（Shearography）。該技術目前還未完成，且未進入商業化階段。此項技術

採用最初用於全方位檢查部件表面張力，採用激光干涉測量方法。樣本檢查的裂痕或瑕疵通常會增加周圍的張力密度，剪切干涉法（**Shearography**）可用於發現這些問題。目前正在香港進行研發的設備其實是一個放在輪架上的攝像系統，從牆壁表面掠過後，能夠表示出可能的表面下問題。該技術還可以融入自動機械人技術，讓其能夠自動檢查牆壁表面。在應用剪切干涉法（**Shearography**）檢查外牆瓷磚/批盪離層剝落方面目前沒有進一步的資料（機密研究除外）黏合強度測試用於確認目前黏合的瓷磚/批盪的黏合強度，並考慮維修計劃中是否保留現有瓷磚/批盪。

按照以下步驟完成主要黏合強度測試：

- 掘透外牆瓷磚/批盪并深入基底混凝土約 5 毫米。一般情況下，鑽心直徑為 50 毫米，但是根據使用的檢測器類型不同，鑽心直徑在 20 至 75 毫米之間。
- 將該切割圓心保留在原地，即不從圓心孔中移除，各層面彼此之間及與基底之間保持黏合。如果選取圓心的時候，圓心偏離，這表示圓心選取方法不正確或者瓷磚/批盪層壓系統的黏合力低。
- 圓心樣本底部借助環氧黏合劑附著一個金屬「墊座」。該墊座允許黏合強度檢測器附屬裝置「拔出」圓心樣本。
- 一旦墊座上的環氧基樹脂掉落，黏合強度檢測器就附在墊座上，並用於拔出樣本，直至失敗。
- 缺陷位置的負荷會被記錄並除以圓心的切面面積，得出以兆帕斯卡為單位的測試結果。

圓心黏合強度測試（如上所述）是最常見的外牆瓷磚/批盪的黏合強度測試方式，但是有時會以方形的墊座在瓷磚/批盪上的進行切割。

完成黏合強度測試之後，取得的圓心樣本可用於直觀檢視建築的瓷磚/批盪系統的建造。從批盪厚度、批盪層數、批盪材料的質量和緊密度、其他建築異常現象可以獲得確定維修方法的重要資料（如打金屬針）。

關於檢查外牆瓷磚/批盪的安全狀況；正常情況下，目測檢查、離層剝落測試和黏合強度測試已足夠。但是，如果需要關於使用材料的額外資料（對確定失敗原因，以及進一步惡化的可能性有幫助）。



合適的測試可包括：

- 批盪和瓷磚墊層材料的砂灰比例測試
- 檢查水泥質材料與批盪和瓷磚墊層材料中是否存在有機物檢測聚合物含量
- 對水泥質材料進行岩石學分析，提供成份、剝落的可能成因、潛在的碱矽反應（ASR）等

#### d) 維修/補救工作

在修復有問題的外牆瓷磚/批盪系統時，可以選擇很多不同的修復系統，這將取決於若干因素，包括：現有的安裝條件、預期樓宇壽命、成本和業主偏好。可以結合使用多個維修系統，以最有效的方式達到要求的結果，例如，分組和固定修復結合塗層或覆層。

## 7.2 基準建築物高度

### 建築物高度的影響

本諮詢亦考慮到是否就外部用飾面和貼磚的建築物給予高度限制建議。此類限制見於新加坡及中國內地，但在香港執行此類限制是不必要的。

就可用的材料和施工方法而言，設計師沒有理由不選擇適用於高層建築外牆飾面的批盪和貼磚系統。當然，在設計階段應考慮將如何在實地進行粉刷如果批盪和瓷磚安裝。在工人數量、所需人們材料數量、混合、移動、養護和防護各方面都必須提供充分。在整體開發拓展規劃中應為這些所須程序和材料提供適當支援。通過若能把這些條件與材料選擇、施工工人技術一併一同，便可建出合規格的外牆批盪和瓷磚系統。

在建高層建築時特別須要認真考慮脫粘以及剝落材料的風險和後果特。在策劃過程中應考慮的不止於潛在失效的後果，還須注意到其他問題如在維修檢查和事故後進行維修工程時能否容易查看外牆。BS 5385-2:2006 建議使用錨去加固一層高度以上的批盪，所以應考慮以上建議或從一開始就刪掉有關批盪中間墊層的要求。批盪如果可製造出通過認證等級的混凝土表面，無需去除批盪層，瓷磚膠可直接塗於混凝土墊層。即使要直接將瓷磚鋪設在混凝土基底上，也需預留出較寬的，為預期移動做好準備接位。

在設計階段還將須要考慮維修問題，其中包括在檢查和維修工程中能否容易查看外牆。在這些情況下的檢查工作通常在永久安裝的維護單元（BMU）或安裝在屋頂的吊船上完成，從而可快速、安全地查看外牆所有區域。此類型的查看方式適用於檢查和小型維修，但未必適用於可須運用到棚架的大面積失效維修。

建議對在高層建築物外牆潤飾中使用濕式鋪砌飾面磚的適合度進行進一步調查。此調查中應包含基於數學/電腦模擬的高層建築物批盪和瓷磚鋪設系統模型。此項調查的結果隨後便可以用來建立運用濕式鋪砌飾面磚的建築高度限制標準，或者確認在此類瓷磚的使用中不存在高度限制。

## 8 結論

本研究討論和回顧了過往的研究、調查、科研討論及創新措施。本研究就所討論的問題亦分別邀請了一位學者和一個瓷磚膠及批盪生產商去增加有關容範圍的理解及從他們各自角度出發去了解如何減少此類問題。

設計調查問卷並向持份者分發後，獲得更廣泛、客觀的回饋，並收集了他們在工人技術技術、社會影響、工人技術操作及相關方面的意見和看法。

海外國家在使用外牆瓷磚鋪設/批盪系統過程中也遇到了很多和香港同樣的問題。本研究收集了澳洲、新加坡和英國在使用外牆瓷磚鋪設/批盪系統中所遇到困難之相關經驗。比較他們個別情況的相同和差異後，分析討論了他們所採取的減小缺陷發生幾率的預防及緩和措施。

本研究展開了有關外牆批盪和瓷磚塗裝方法的工人技術技術調查，並在選定的建築工地進行實地考察和測試。用實物模型面板進行實驗室測試，對可改進外牆瓷磚/批盪系統塗裝的關鍵細節以及使用材料做出評估。

濕掛外牆瓷磚及批盪的剝落事故的發生是發起本研究的原因之一。本研究回顧部分確認了種種剝落問題一般發生在黏連介面間（批盪與混凝土，瓷磚黏連劑與批盪和瓷磚與瓷磚黏連劑），而並非是各個材料層內，因此，隨後所進行的測試重點就集中在黏連力上。特別細緻檢查的是批盪和混凝土間的黏連，因為在回顧階段和持份者諮詢過程，這部分被確認為最常出錯的位置，同時經測試也是確認最薄弱的黏連，特別是在使用現成的混合批盪時。為確保各個介面間牢固黏連，特別是針對高層建築，應使用專用批盪材料運用聚合乳劑來提高黏著力，還應同時配以合適的工人技術，進行確認測試。

用金屬或其它範本系統生成的光滑、密緻表面會降低液漿的黏連力，這時需要把它變成粗糙、紋理開放的表面才能達到合格的黏合。針對這樣的表面還可以用合適的工人技術把批盪裡的批盪聚合乳膠黏附其上，以產生足夠黏著力。

為保持施工中形成的黏合力（通過採用合適的材料和工人技術），需留出伸縮縫以適應預期移動。也要考慮得是對抗天氣影響的保護以減少濕度的影響或其他可能影響各個黏連介面的污染（如向瓷磚伸縮縫灌漿及密封伸縮縫和自由邊）。

根據回顧和調查結果會為所有行業持份者編寫外牆瓷磚鋪設／批盪的設計和施工指南（單獨發行）。指南會針對所有行業持份者，用易於理解的格式編寫。指南是本研究的主要成果，應向所有感興趣的行業持份者，包括業主、開發商、設計和施工專業人員、操作和建築管理／維修人員廣泛派發，讓上述人士參考和使用相關資訊與指引。

## 9 參考文獻：

### 聲明

本項目由建造業議會提供完全資金支持。

特別鳴謝房屋委員會（協議號：CB20030020）總結報告。

### 參考文獻

1. Adams, R.D., and Wake, W.C. (1984), *Structural Adhesive Joints in Engineering*, Elsevier Applied Science, London.
2. Addleson, L., and Rice, C. (1991), *Performance of Materials in Buildings*, Butterworth, Heinemann.
3. Aitkenhead, K. (1995), “An informative guide to the specification of plasters and renders.” *Structural Survey*, Vol. 13, No. 1, pp. 12-17.
4. Baziard, Y., El Abdi, R. Amara, D., Petit, J.A., and Levallois, F. (1995), “Study of critical failure parameters for an adhesive-bonded single lap joint with ceramic adherends”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol. 15, No. 3, pp. 155-160.
5. Bowman, R., Cass, C. and Hartog, P. (2000) Report to Hong Kong Construction Association: Investigation of the performance of ceramic wall tiling in Housing Authority residential buildings, Hong Kong SAR, CSIRO.
6. Briffett, C. (1991), “The performance of external wall systems in tropical climates”, *Energy and Buildings*, Vol. 15-16, pp. 917-924.
7. Casimir, C. (1994), “Testing, evaluation and diagnostics”, *Proceedings of the International Conference on Building Envelope Systems and Technology*, Singapore, Dec., pp. 79-83.
8. Chew, M.Y.L, Wong, C.W., and Kang, L.H. (1998), *Building Facades: A Guide to Common Defects in Tropical Climates*, World Scientific, Singapore.
9. Chew, M.Y.L. (1992), “The study of adhesion failure of wall tiles”, *Building and Environment*, Vol. 22, No. 4, pp. 493-499.
10. Chew, M.Y.L. (1999a), “Adhesion of tiles for external cladding”, *Structural Survey*, Vol. 17, No. 1, pp. 12-17.
11. Chew, M.Y.L. (1999b), Factors affecting ceramic tile adhesion for external cladding. *Construction and Building Materials*, 13(5): 293-296.
12. Coad, J.R. (1985), “Dry and wet strengths of emulsion-based ceramic tile adhesives”, *ASE* 85, pp. 216-229.
13. Coad, J.R., and Rosaman, D. (1986), “Site-applied adhesive – failures and how to avoid them”, *Building Research Establishment Information Paper*, June, IP 12/86.
14. Davies, H. (1998), “Repair methods for tile-clad buildings in Hong Kong” *Structural Survey*, Vol. 16, No. 1, pp. 34-38.
15. Fintel, M., Ghosh, S.K. and Iyengar, H. (1987), “Column Shortening in Tall Structures – Prediction and Compensation”, Publication EB 108.01D, Portland Cement Association, Skokie, IL.

16. Greminger, A., Wetzel, A., Zurbruggem, R., Pass, K. and Waser, H. (2009) Characteristic failure histories for tile damages in the exterior, Proceedings of the 17th ibausil, 23-26 Sep., 2009, Weimar, Germany.
17. Guan, W.L., Alum, J., Liu, Z.J., and Yang, T. (1997a), "Performance of external tiled-wall systems under tropical weathering", Journal of Performance of Constructed Facilities, February, pp. 24-34.
18. Guan, W.L., Alum, J., Zhao, Z.Y., Zhang, W.L., and Liu, Z.J. (1997b), "Impact of workmanship on performance of tiled-wall systems", Journal of Performance of Constructed Facilities, May, pp. 82-89.
19. Hartog, P. (2000), "How not to learn from mistakes: recurrent and forthcoming defects in installation of ceramic tiles", Proceeding 6th World Congress on Ceramic Tile Quality, Castellon, Spain, Vol. 1, pp. 93-123.
20. Heraeus Industrietechnik (1995), "Simulation of natural exposure in the SUNTEST CPS/CPS+", *Operating Manual of the SUNTEST CPS/CPS+*, Germany.
21. Herwegh, M., Mettier, R., Zurbruggem, R., Wetzel, A., Winnefeld, F., Kaufmann, J. (2009) Critical stress concentrations in tile adhesive mortars: A numerical modeling approach, Proceedings of the 17th ibausil, 23-26 Sep. 2009, Weimar, Germany.
22. HKHA (2000), "Tile adhesive", Specification Library for Building Works 2000, Hong Kong Housing Authority, Hong Kong Government, Hong Kong.
23. HKHA, 2004, Specification library 2004: Floor and Wall Tiles and Slabs Materials, Hong Kong Housing Authority, Hong Kong.
24. HRF (2003) Developing Performance Specifications and Testing and Acceptance Criteria of External Wall Finishes in High-rise Residential Buildings, Housing Authority Research Fund – CB20030020, Hong Kong Housing Authority, Hong Kong.
25. Ho, D.C.W., Lo, S.M. and Yiu, C.Y. (2003) Evaluation of Infra-red Thermography on the Diagnosis of External Wall Tile Delamination, HRF CB20030020 Summary Report, Hong Kong Housing Authority, Hong Kong.
26. Ho, C.W., Lo, S.M., Yiu, C.Y., Yau, L.M. (2004) A Survey Of Materials Used In External Wall Finishes In Hong Kong, Hong Kong Surveyors, Dec, 15(2), 7-11
27. Ho, D.C.W., Lo, S.M. and Yiu, C.Y. (2005), A Study On The Causes Of External Finishes Defects In Hong Kong, Structural Survey, 23(5), 386-402.
28. Hung, Y.Y., Liu, L. and Yiu, C.Y. (2003) Shearography: a novel technique for inspecting tile-wall bonding integrity, Housing Authority Research Fund – CB20030022, Hong Kong Housing Authority, Hong Kong.
29. Lo, S.M. (1999) The use of thermography for the detection of external finishes defects of buildings in Hong Kong, Structural Survey, 17(1), 22-26.
30. Lo, S.M., Ho, C.W., Yiu, C.Y., Yang, D.Q. and Man, S.K. (2005) A Study On The Debonding Of External Wall Tiles For High-Rise Buildings In Hong Kong, Tall Buildings: From Engineering To Sustainability, 700-706.
31. Lo, A.A.C., Yam, M., Yiu, C.Y., Chan, C., Hao, J., Kong, W.K., Lo, K.K., Tsang, S., and Wong, E. (2007) A Pilot Study of Causes of Internal Wall Tile De-bond in the Public Housing Estates in Hong Kong, Proceedings of the XXXV IAHS World Congress on Housing Science, 2007.
32. Lo CK. (1998) Experimental study on tiles adhesives by using an universal testing machine. Unpublished undergraduate dissertation. Department of Building and Real Estate, The Hong Kong Polytechnic University,
33. Lomas, D. (1997) External wall tiling defects in Hong Kong buildings: three defects diagnosis options examined, Structural Survey, 15(1), 39-41.

34. Ohama, Y., Demura, K., and Nagao, H. (1986), "Adhesion of Polymer Modified Mortars to Ordinary Cement Mortar by Different Test Methods", Adhesion between Polymer and Concrete Symposium, Rilem Technical Committee 52, Sept.
35. Ransom, W.H. (1987), Building Failures, Diagnosis and Avoidance, E&FN, Spon, New York.
36. Reinmann, Ch. (2001) Vermeidung von Frostschaden, Vaterchen Frost aussperren, Fliesen und Platten, 10, 18-21.
37. Riunno, V. (1992), "How flexible are flexible mortars", Tile and Decorative Surfaces, June, pp. 44-55.
38. Royal Australian Institute of Architects (1991), "Wall Tiling Failures", Cautionary Note AN14.01.607.
39. Seah, C.K.H. (1992), An Architect's View of Wall Tile Bonding Systems in Singapore, in Adhesives Technology in the Architectural Application of Ceramic Tiles, Trade Link Media Pte Ltd, Singapore.
40. Simmons, H.L. (1990), Repairing and Extending Finishes, Van Nostrand Reinhold, New York.
41. Simpson, J.W., and Horrobin, P.J. (1970), The Weathering and Performance of Building Materials, Department of Building, University of Manchester Institute of Science and Technology, UK.
42. Stanley, C.C., and Balendran, R.V. (1994), "Non-destructive testing of the external surfaces of concrete buildings and structures in Hong Kong using infra-red thermography", Concrete, May/June, pp. 35-37.
43. Tam, C.T., Loo, T.H., Quek, S.T., and Saw, W.H. (1993), "Simulated thermal fatigue of testing wall-to-tile bond", Proceedings of the 6th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Omiya, Japan, 26-29 October, pp. 715-723.
44. Tatlow, D. (1994), "Risk of falling tiles at Sha Tin", Eastern Express, Hong Kong, Nov. 12.
45. Toakley, A.R., and Waters, E.H. (1973), "Stresses in ceramic tiling due to expansion and shrinkage effects", Building Science, Vol. 8, pp. 269-281.
46. Wallis, K. (1995), "Buildings crumbling at rate of three each day", South China Morning Post, Hong Kong, Feb. 20.
47. Waters, E.H. (1951), "Failures of wall and floor tiling – their causes and prevention", CSIRO Report No. R5, Division of Building Research, CSIRO.
48. Wilkins, B. (1991), "Guidelines for the selection of external protective wall finishes for smooth concrete surfaces in Hong Kong", Energy and Buildings, Vol. 16, No. 3/4, pp. 957-962.
49. Yiu, C.Y., Lo, S.M. And Ho, D.C.W. (2006) Failure Probability of External Wall Tiling Systems – An Empirical Study Of Weathering Impacts, Structural Survey, 24(5), 397-404.
50. Yiu, C.Y., Ho, C.W. And Lo, S.M. (2007) Weathering Effects on External Wall Tiling Systems, Construction And Building Materials, 21(3), 594-600.
51. Yiu, C.Y. and Chan, I.K. (2009) A Wall Tile Stress Monitoring System – A 'Nerve Fibre' on the Skin of a Building, ISSF Conference, 13 January 2009.
52. Zhao, Z.Y., Zhang, W.L., 1997, Influence of workmanship on the bonding strength of tiles to external walls, Journal of International Journal Adhesion and Adhesives, 17, 47-53.
53. Zurbriggen, R., Pass, K., Waser, H., Elotex AG, Wetzel, A., Herwegh, M. (2008) Failure mechanisms of outdoor applied large sized fully-vitrified tiles, Technical Bulletin 03 MEDMA, Proceedings of the Middle East Drymix Mortar Association MEDMA conference, 24.11.08, Dubai, 36-42.
54. Zurbriggen, R., Duss, R., Waser, H., Elotex AG. (2008) Wet strength and durability, two key properties for outdoor tile applications, Drymix Mortar Yearbook 2008, Germany. 94-99.

55. Kumagai, T., Nakamura, M. and Irino, K. (1997) Study on temperature distribution and repetitive thermal stress at interface between tile and bedding mortar of ceramic tile finished external wall by solar radiation, Research report, Shimizu corporation, 60, 15–28 [in Japanese].
56. Mahaboonpachai, T., Kuromiya, Y. and Matsumoto, T. (2008) Experimental investigation of adhesion failure of the interface between concrete and polymer-cement mortar in an external wall tile structure under a thermal load, *Construction and Building Materials*, 22, 2001-2006.
57. Mahaboonpachai, T., Matsumoto, T. and Inaba, Y. (2010) Investigation of interfacial resistance of the interface between concrete and adhesive mortar in an external wall tile structure, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 30(1), 1-9.
58. Makoto, T. and Yasunori, W. (2003) One consideration about the character of adhesive mortar for ceramic tile on external wall, *Technical Research Reports of Konoike Construction Co.*, 13, 63-69. [In Japanese]
59. Ozkahraman, H.T. and Isik, E.C. (2005) The effect of chemical and mineralogical composition of aggregates on tensile adhesion strength of tiles, *Construction and Building Material*, 19, 251–255.
60. Rumbayan, R. (2006) Study of Mechanism Failure of Tile Structure by Thermal Stress Analysis, *Journal of P & PT*, 4(1), 192-200.



表 9 外牆磚和批盪濕掛設計、施工及保養參考和研究報告的交叉參考說明

設計、建築以及外牆磚和批盪濕掛保養參考		報告
參考章節：	內容說明	參考章節：
<b>1</b>	簡介	<b>1</b>
<b>2</b>	使用範圍及建議	不適用
<b>3</b>	一般可用材料及選擇指南	<b>3.1, 3.2, 3.3, 4, 6, 7.1, 8</b>
3.1	材料選擇	6
3.2	混凝土基材	3.3.2a), 7.1.2c)
3.3	粉刷	3.3.2d), o), p), 7.1.2d)
3.4	瓷磚膠	3.3.2e)-l), 7.1.2e)
3.5	瓷磚	7.1.2e)
3.6	瓷磚薄漿	7.1.2f)
<b>4</b>	外牆磚膠黏劑的設計與規格和批盪系統	<b>3.2.1, 3.2.6, 3.3.1, 4, 5, 6.2, 7.1.1, 8</b>
4.1	批盪和瓷磚鋪設系統	3.3.1, 3.3.2
4.2	接位	3.3.2n), 7.1.1
4.3	測試和驗收標準	3.2.6, 6.2.2
4.4	試驗設備	6.2
<b>5</b>	工人技術與現場組織/管理指南	<b>3.1, 3.2.2, 3.2.5, 3.3.2, 3.4, 5, 7.1.2, 7.2, 8</b>
5.1	最佳實踐指南	3.3.2, 7.1.2
5.2	監督和培訓	3.4.2
5.3	工地組織和管理	3.1, 7.2
5.4	混凝土基材的準備	7.1.2c)
5.5	批盪應用	7.1.2d)
5.6	批盪和瓷磚鋪設	7.1.2e)
5.7	填縫	7.1.2f)
5.8	貼磚完工驗收	無（可進行接受度測試）
5.9	建築物高度的影響	7.1.2b), 7.2
<b>6</b>	現場品質控制測試和檢查	<b>3.3, 4.2, 4.3, 4.4, 6.2, 8</b>
6.1	測試類型	3.3.3c), 4.3
6.2	測試或檢查頻率	不適用（可考慮參考頻率測試的相關

		統計分析資料)。
6.3	評估結果	4.4
6.4	對結果的行動	不適用
<b>7</b>	<b>建成後為減少瓷磚脫粘事故的檢測與維修實用指南</b>	<b>3.2.3, 3.3.3, 7.1.3, 7.2, 8</b>
7.1	檢測與維修設計	7.1.3a), 7.2
7.2	通路規定	7.1.3b), 7.2
7.3	維護檢查和測試	7.1.3c)
7.4	維修/補救工作	3.2.3, 3.3.3b)
<b>8</b>	<b>參考文獻</b>	<b>9</b>