



CONSTRUCTION
INDUSTRY COUNCIL
建造業議會



混凝土和水泥砂漿 生產用河砂替代品研究 (第一階段) 最終報告

行政總結

過量開採河砂會產生負面的環境影響和導致河堤不穩。基於此原因，限制河砂開採已經成為全球趨勢。對於香港本地而言，由於從大陸入口的河砂受到限制，導致在混凝土和砂漿生產中作為細骨料使用的河砂銳減。有鑑於此，建造業議會開展本項研究項目，探索可用於混凝土和砂漿生產的河砂替代品。

在研究之初，就已發現對用於混凝土和砂漿的細骨料需要區分，因為它們對混凝土/砂漿性能的影響是不同的，同時對它們的要求也是不同的。事實上，通常關於它們的標準也是區分開的。

從對混凝土和砂漿用骨料的英國標準，歐洲標準，中國標準以及香港建築標準的文獻綜述中，可以看到在歐洲標準中的篩孔徑和粗細骨料劃分與在英國標準（香港也使用）中的是完全不同的。由於在中國標準中，篩孔徑和粗細骨料劃分與在英國標準中的非常接近，且由於一些石礦場同時向香港和大陸市場供應骨料，從市場運作的角度，使用英國標準更好。為此，香港政府已為混凝土用骨料起草了一部本地建築標準《CS3》，該標準基本上遵循現時的英國標準。

在各類標準中，對微細粉含量的極限值規定和對微細粉含量有害性的評估是主要關注的問題。由於尚未制定方法對骨料中的微細粉進行有害性的評估，也沒有對微細粉的無害性制定驗收標準，因此通常的做法是限制微細粉含量，希望以此降低在骨料中存在有害物的風險。對於微細粉含量，由於受到流水的沖洗，河砂的微細粉含量較低，而石粉（即從碎石得來的細骨料）的微細粉含量較高。另一個重要問題是，由於要求的不同，為混凝土用骨料訂立的建築標準《CS3》並不適用於砂漿用骨料。因此，有需要為砂漿用骨料訂立一部新的建築標準（《CS4》？）。更為重要的是，由於較高的微細粉含量已經對砂漿工程造成影響，因此對砂漿用骨料的微細粉含量的極限值要比對混凝土用骨料的微細粉含量極限值設得更低。

通過對持份者的訪問，很顯然，石粉已經作為河砂替代品在混凝土生產中被當做細骨料使用了，但由於較高的微細粉含量，石粉不適合作為河砂替代品在砂漿中使用。即使可用於混凝土，石粉中較高的微細粉含量也可能產生問題。最好的方法是對石粉進行加工以降低和控制它的微細粉含量來配合不同的應用。同時，石粉也需要加工來改善粒形和級配從而提高性能。經過這些處理後的石粉，稱之為機製砂。作為混凝土和砂漿的骨料，機製砂或許是比河砂和石粉更好的替代品。但是，需要指出的是，適合砂漿的機製砂與適合混凝土的機製砂是不同的，因此開展一些研究以確定它們的要求是有需要的。對於其他可能的河砂替代品，爐底灰和高爐礦渣並不是可行的方案，而廢玻璃骨料則有很大的潛力。

一項分別使用河砂、石粉和機製砂作為砂漿骨料來進行抹灰工程的現場試驗已經完成。試驗結果顯示，用微細粉含量 2.5%的機製砂作為骨料的砂漿適合牆面和樓底的抹灰工程。除了因為存在粒徑大於 2.36 毫米的顆粒而導致抹平時有一定的困難外，機製砂似乎比微細粉含量 0.6%的河砂更易於使用。另一方面，微細粉含量 8.6%同時需水量相對較高的石粉明顯不適合作為砂漿用細骨料用於抹灰工程。

通過以上的研究和關國雄教授的分析，確定了以下幾個可能的河砂替代品：(1) 機製砂；(2) 廢玻璃骨料；以及(3) 再生骨料。作為河砂的仿製品，機製砂已在市面上可以買到。但是，機製砂最佳的微細粉含量尚未清楚，而且是否需要將材料按不同的規格要求進行加工和分類從而適應不同應用也尚無定論。因此，關於確定機製砂的不同性質要求以適合不同應用的深入研究是需要的，也希望這些研究可以推動機製砂相關規範的發展。對於廢玻璃骨料，每年香港都有大約 12 萬噸廢玻璃產生，但當中只有很少一部份回收再用。理論上，將玻璃粉碎至砂粒大小並作為砂漿用骨料使用是可能的。所需要做的，是進行產品試製和試應用來評估這種可能的河砂替代品的可行性。由於生產成本較高，政府需要給回收產業更多的支持。對於再生骨料，可以設想，機製砂相關的生產工藝也應該適合再生骨料，從而可以除去再生骨料顆粒表面上的硬化水泥漿以及降低再生骨料的微細粉含量到一個可接受的水準。雖然這只是設想，但相信有嘗試的價值。

最後，對於整個研究的第二階段，建議如下幾個任務（按優先級別從高到低排列）：

- 任務 1：研究起草一部適用於砂漿骨料的建築標準。
- 任務 2：研究微細粉含量對混凝土的影響，從而確定最優的和容許的微細粉含量。
- 任務 3：機製砂的規範和分類。
- 任務 4：砂漿中作骨料用廢玻璃骨料的研究。
- 任務 5：砂漿中作骨料用再生骨料的研究。

目錄

	<u>頁碼</u>
1. 背景	1
2. 研究目標簡述	1
3. 河砂以及河砂替代品概述	1
4. 現行標準綜述	3
5. 訪問持份者	7
6. 關於使用河砂、石粉和機製砂於抹灰工程的現場試驗	9
7. 潛在的河砂替代品	11
7.1 混凝土用河砂替代品	11
7.2 砂漿用河砂替代品	12
7.3 機製砂	13
7.4 廢玻璃骨料	13
7.5 再生骨料	14
7.6 爐底灰	14
7.7 高爐礦渣	15
8. 未來展望 – 對第二階段研究的建議	15
8.1 優先級 1 – 砂漿用骨料建築標準	15
8.2 優先級 2 – 微細粉含量對混凝土影響性研究	16
8.3 優先級 3 – 機製砂的規範和分類	17
8.4 優先級 4 – 砂漿中作骨料用廢玻璃骨料的研究	17
8.5 優先級 5 – 砂漿中作骨料用再生骨料的研究	18
附錄 A 對混凝土和砂漿用骨料現行標準的文獻綜述	19–35
附錄 B 就潛在河砂替代品的問題，對供應商、生產商、用家和政府官員的訪問	36–48

1. 背景

在香港，河砂是一種被廣泛使用的建築材料，尤其在混凝土和水泥砂漿的生產中。但是，鑒於河砂潛在的短缺問題和大陸有限的供應量，建造業議會已經意識到這一問題，並積極考慮河砂替代品的研究。最終，建造業議會委託香港大學土木工程系關國雄教授開展本項“混凝土和水泥砂漿生產用河砂替代品研究”。

爲了找到合適的替代材料以填補河砂的不足，該項研究將包括兩個階段，而研究的最終目的是發展一系列關於河砂替代品在香港公共和私人工程項目中混凝土和砂漿生產的應用指南和規範。研究的第一階段，旨在確定可在本地建築行業實際應用的河砂替代品；研究的第二階段，將著重於有系統地制定可用於香港的河砂替代品的解決方案以及發展河砂替代品相關的標準和規範。本報告闡述的是第一階段的研究成果。

2. 研究目標簡述

研究目標包括：

- (1) 回顧從內地和其他國家入口的河砂在香港建築行業的使用情況；
- (2) 回顧和探索在本地和其他國家最廣泛使用的河砂替代品；
- (3) 探索混凝土和水泥砂漿生產所用河砂替代品的情況以及確定其在本地應用的可行性；
- (4) 回顧現時香港建築行業所使用的混凝土和水泥砂漿用河砂替代品的規範；
- (5) 確定在混凝土和水泥砂漿中可以實際應用的河砂替代品；以及
- (6) 就第二階段的研究，建議一系列實驗和現場試驗以確認河砂替代品在混凝土和水泥砂漿生產中的技術可行性。

3. 河砂以及河砂替代品概述

在建築行業中，河砂主要被用於混凝土和水泥砂漿的生產。在混凝土的生產中，它作為細骨料 (**fine aggregate**) 被使用，而在砂漿的生產中，它作為唯一的骨料 (**aggregate**) 被使用。基本上，河砂是通過挖掘河床所得。河砂有如下兩個特點：由於受到常年的磨蝕，它的粒形較為圓滑；也由於常年的沖刷，含泥量較低。

這兩個特點使得河砂能夠比起其他材料（例如石粉）更好地提高混凝土和砂漿的和易性 (**workability**)。基於這個原因，在特定的和易性要求下，河砂的使用可以減少需水量和高效減水劑需要量，從而可以在配合比設計中減少含水量和水泥含量。此外，由於太多的泥會對混凝土和砂漿的

和易性以及強度產生負面影響，而河砂的含泥量較低，因此河砂的使用可以提高混凝土或砂漿生產的質量。

但是，河砂同樣具有兩個缺點：第一，由於河砂是從河流上游不同地方由流水攜帶而來，如果上游地方存在不同的礦物學情況，那麼對確定是否所使用的河砂會引起鹼骨料反應存在一定困難。第二，從接近海域的河口處開採的河砂可能受到鹽污染，從而導致所生產的混凝土或砂漿的氯化物含量增加。

但是，香港本地的建築行業，有如其他地方一樣，已經使用了河砂幾十年。事實上，香港混凝土或砂漿的生產經驗主要是基於河砂的。以特性可能與河砂存在很大不同的河砂替代品來取代現有的河砂，對本地建築行業而言，是需要一段適應時間的。因此，除了要確定合適的河砂替代品以外，確定河砂替代品的特性以及確定河砂替代品對混凝土或砂漿性能的影響也是非常重要的。當瞭解了這些，河砂替代品的潛在用家將會對河砂替代品與河砂的不同情況有更好的認識。

藉此發展河砂替代品的難得契機，找到的可能不僅僅是河砂的替代品，甚至還可能是比河砂更好的材料。例如，通過篩分和混合來控制粒徑的分佈情況，是有可能優化粒徑分佈，從而獲得混凝土或砂漿最好的整體性能的。此外，也可以通過對骨料顆粒進行一定的研磨，使其形狀更加圓滑，從而提高細骨料的填充密度（提高填充密度可以減少所用水泥漿體體積，從而減少水泥的消耗和碳足跡，以及提高尺寸穩定性）和提高混凝土或砂漿的和易性。這種通過加工處理並稱之為“機製砂”的細骨料，或許能為我們帶來更綠色、更高性能的混凝土和砂漿，而這正是普通河砂所不能做到的。

4. 現行標準綜述

已研究過的骨料相關標準如下：

- (1) 英國標準《BS 882: 1992 – 混凝土用天然骨料規範》
- (2) 英國標準《BS 1199 和 1200: 1976 – 天然建築用砂規範》
- (3) 英國標準《BS EN 12620: 2002 – 混凝土骨料》
- (4) 英國標準《BS EN 13139: 2002 – 砂漿骨料》
- (5) 英國標準學會發表文檔《BSI PD 6682-1: 2009 骨料 – 第一部份：混凝土骨料 – 標準 BS EN 12620 使用指南》
- (6) 英國標準學會發表文檔《BSI PD 6682-3: 2003 骨料 – 第三部份：砂漿骨料 – 標準 BS EN 13139 使用指南》
- (7) 中國標準《GB/T 14684 – 2001 建築用砂》
- (8) 中國標準《JGJ 52 – 2006 普通混凝土用砂、石品質及檢驗方法標準》
- (9) 香港建築標準《CS3: 2012 – 混凝土骨料》（草案）

附錄 A 是詳細的文獻綜述報告。為求簡明，在此謹為簡單小結。

由文獻綜述可知，在不同的標準中，標準篩孔徑和粗細骨料劃分均有不同。特別是，歐洲標準中的標準篩孔徑和粗細骨料劃分與英國標準中的完全不同。由於英國標準中的標準篩孔徑和粗細骨料劃分已經在香港使用多年，也和中國標準幾乎相同，同時考慮到有些石礦場同時提供骨料給香港和中國大陸市場，從市場運作的角度來看，需要讓標準篩孔徑和粗細骨料劃分與英國標準保持一致（雖然英國標準將逐步被歐洲標準所取代）。這同時也免卻了由目前生產模式轉變為一個全新生產模式的麻煩，節約了購買新設備的費用，也有利於利用已有生產經驗用於未來生產。為此，香港政府已經起草了一部本地使用的混凝土用骨料建築標準《CS3》來取代英國標準。

總的來說，混凝土用骨料和砂漿用骨料有不同的要求。這源於混凝土和砂漿有不同的性能，以及細骨料的品質對混凝土和砂漿的影響不同。因此，混凝土用骨料和砂漿用骨料應該區分開來。

無論是混凝土用骨料還是砂漿用骨料，最大爭論點是微細粉含量的極限值和微細粉有害性的評估。微細粉由於以下的原因需要限制其含量。

- (1) 任何有害的物質，例如微細粉中的泥，都會影響混凝土/砂漿的耐磨性、可能達到的最高強度和耐久性。
- (2) 由於微細粉有非常大的比表面積，其含量會影響需水量和減水劑需求量，進而影響混凝土的和易性。
- (3) 較高的微細粉含量也會導致混凝土/砂漿更粘稠。雖然黏聚性的增加對混凝土的實際作業影響不大。但是對砂漿而言，黏聚性的增加會使砂漿過於粘稠而不利於抹平，因為砂漿更傾向於粘在抹子上而不是基面上。

另一方面，目前仍然沒有評估骨料中微細粉有害性的方法，也沒有確定微細粉是否無害的驗收標準。文檔《BSI PD 6682-1》建議微細粉的無害性可根據微細粉量低於容許值或者過去使用的滿意程度來評估。這似乎是一個可以避免評估方法和驗收標準方面的爭議的切實可行的解決方法。另外一個限制微細粉含量的原因是為了降低骨料中含有害物質的風險。

對不同標準中的混凝土用骨料的微細粉含量極限值可見於表 1，而對不同標準中砂漿用骨料的微細粉含量極限值見於表 2。從表 1 和表 2 中，可以看到英國標準和歐洲標準對微細粉含量極限值要求相對較為寬鬆，而中國標準要求則相對較為嚴格。

基於以上總結，建議《CS3》草案中混凝土用細骨料的微細粉含量極限值可做以下修改：

- (1) 普通混凝土（即一般用途的混凝土）用細骨料的微細粉含量從現有的 16%（在標準《BS 882》中的規定）降至 14%。
- (2) 海工混凝土（即用於海洋環境的混凝土）、高強度混凝土（混凝土強度 > 60 MPa）、高耐久性混凝土（設計壽命 ≥ 100 年）、高耐磨混凝土（用於重載地面）用細骨料的微細粉含量：10%。

由於各自的要求並不一樣，混凝土用骨料標準，例如《CS3》草案，其實並不適用於砂漿用骨料。因此從長遠來看，建議制定一部適用於本地砂漿用骨料的建築標準（《CS4》？）。與此同時，砂漿用細骨料可被劃分為 3 個類別。類別 1：用於地坪和修補砂漿，微細粉含量 ≤ 3%；類別 2：用於打底和抹灰砂漿，微細粉含量 ≤ 5%；類別 3：用於砌築砂漿，微細粉含量 ≤ 8%。

表 1 混凝土用細骨料微細粉含量極限值

標準	微細粉含量極限值
《BS 882》和 《BSI PD 6682-1》	一般用途：16%； 重載地面層：9%
《BS EN 12620》	未提供
《GB/T 14684》	天然砂： 高強度混凝土：< 1.0% 中等強度混凝土：< 3.0% 低強度混凝土：< 5.0%
	機製砂：如果亞甲藍試驗合格， 高強度混凝土：< 3.0% 中等強度混凝土：< 5.0% 低強度混凝土：< 7.0%
	機製砂：如果亞甲藍試驗不合格， 高強度混凝土：< 1.0% 中等強度混凝土：< 3.0% 低強度混凝土：< 5.0%
《JGJ 52》	天然砂： 高強度混凝土：< 2.0% 中等強度混凝土：< 3.0% 低強度混凝土：< 5.0%
	機製砂：如果亞甲藍試驗合格， 高強度混凝土：< 5.0% 中等強度混凝土：< 7.0% 低強度混凝土：< 10.0%
	機製砂：如果亞甲藍試驗不合格， 高強度混凝土：< 2.0% 中等強度混凝土：< 3.0% 低強度混凝土：< 5.0%
《CS3》（草案）	一般用途：10%， 如果亞甲藍試驗值合格，允許增加至 14%

表 2 砂漿用細骨料微細粉含量極限值

標準	微細粉含量極限值
《BS 1199 和 BS 1200》	打底和抹灰用碎石砂： 5% 砌築砂漿用 S 類砂： 10% 砌築砂漿用 G 類砂： 12%
《BS EN 13139》	分類 1（地坪、噴射、修補砂漿）： ≤ 3% 分類 2（打底和抹灰）： ≤ 5% 分類 3（無石粉的砌築工程）： ≤ 8% 分類 4（含石粉的砌築工程）： ≤ 30%
《BSI PD 6682-3》	地坪砂漿： ≤ 3% 打底和抹灰砂漿： ≤ 5% 用 S 類砂的砌築砂漿： ≤ 5% 用 G 類砂的砌築砂漿： ≤ 8%
《GB/T 14684》	天然砂： < 5.0%
	機製砂： 如果亞甲藍試驗合格： < 7.0% 如果亞甲藍試驗不合格： < 5.0%
《JGJ 52》	無建議

5. 訪問持份者

關國雄教授（關教授）已完成的訪問包括：

- (1) 訪問《CS3》編撰工作組主席
- (2) 訪問建築業承建商聯會
- (3) 訪問礦業學會香港分會
- (4) 訪問混凝土製造商協會
- (5) 訪問進口石材供應商協會
- (6) 訪問香港建造業分包商聯會、泥水商協會、註冊小型工程承建商僱員協會、香港泥水建築業職工會
- (7) 訪問中華電力香港有限公司，關於爐底灰的問題
- (8) 訪問嘉華建材有限公司，關於廢玻璃的問題
- (9) 訪問環保署，關於廢玻璃回收問題
- (10) 諮詢嘉華建材有限公司，關於高爐礦渣的問題

附錄 B 是詳細的訪問報告。為求簡明，在此謹為簡單小結。

石粉作為混凝土用細骨料的適用性：

根據工務中央試驗所、礦業學會香港分會、混凝土製造商協會以及進口石材供應商協會的說法，幾年前香港的混凝土生產商已經開始使用石粉代替河砂來生產混凝土。以石粉作為細骨料應用於普通強度混凝土並沒有太大的問題。雖然使用石粉代替河砂對混凝土的和易性和強度有一定的影響，但這可以通過增加水泥量和水量來補償。不過，一些混凝土生產商還是更願意用河砂作為細骨料來生產強度高於 80 MPa 的混凝土。有些會面人士認為，石粉可以被加工成粒形和粒徑分佈都更好的機製砂，而機製砂可能是河砂與石粉更好的替代品。兩個石礦場營運商已經開始生產機製砂，但目前業界並無機製砂的標準。對不同應用下機製砂的最佳粒徑分佈範圍和微細粉含量仍然有待進一步的研究。

石粉作為砂漿用細骨料的適用性：

訪問中各方均有一個共識，即由於細骨料在混凝土中和砂漿的影響不同，適合混凝土的細骨料未必適合砂漿。建築業承建商聯會、香港建造業分包商聯會、泥水商協會、註冊小型工程承建商僱員協會以及香港泥水建築業職工會，均認為石粉不適合作為砂漿用河砂替代品，因為用石粉生產的砂漿非常粘稠，因而很難抹平。此外，用石粉生產的砂漿需水量更大，塗抹後更容易滴落，砂漿硬化後產生縮裂的風險也更大。此外，還有一個問題是用石粉生產的砂漿可能含有粒徑大於 2 毫米的顆粒，這些顆粒會使砂漿表面變得粗糙且很難抹平。他們堅持認為河砂是生產打底、抹灰和砌築砂漿必不可少的材料。不過，如果被稱為機製砂的材料可以進行加工，使其微細粉含量降至河砂的水準，且剔除粒徑大於 2 毫米的顆粒，他們也會歡迎這類機製砂產品。由於機製砂有不同的特性，因此也有必要對工人進行再培訓。

機製砂作為混凝土和砂漿用細骨料的適用性：

機製砂分兩種，一種是通過水洗法（濕製法）生產，一種是通過風力篩選法（乾製法）生產。濕製法和乾製法的目的都是為了減少機製砂的微細粉含量。此外，有些機製砂在被破碎時再加以研磨來增加顆粒的圓滑度。不同來源的機製砂會有不同的微細粉含量、粒徑分佈和顆粒圓滑度，這取決於不同的加工工藝。然而，目前業界並沒有機製砂的標準。兩個石礦場營運商已經開始生產機製砂來滿足香港的市場。根據他們的說法，機製砂目前是模擬河砂來加工，並可直接取代河砂來使用。值得一提的是，河砂的性能會隨著挖掘位置和挖掘深度的變化而變化，而機製砂在工廠是在控制的條件下生產的，因而性能更穩定。此外，通過對機製砂各種性質的管理，能夠根據不同需要生產出相應的機製砂，從而能比使用河砂和石粉生產出更好的混凝土和砂漿。這需要進一步的研究來確定機製砂適用於不同應用所需要的性質，從而發展機製砂的標準和規範。

砂漿用骨料獨立標準的需要性：

既然混凝土用骨料的標準並不一定適用於砂漿，我們需要一個專門適用於砂漿用骨料的標準。在砂漿用骨料的標準中，微細粉含量極限值應比混凝土用骨料的要低。除了設置一個相對低的微細粉含量極限值，也有必要將砂漿用骨料進行分類以適應不同的用途。我們需要開展研究和試驗來確定地坪、打底、抹灰和砌築砂漿的微細粉含量極限值和粒徑分佈要求。而建立本地的砂漿用骨料標準可能需要一段時間。與此同時，我們還應嘗試使用微細粉含量不同的骨料來確定地坪、打底、抹灰和砌築工程合適的微細粉含量極限值，從而可制定出臨時性指引來指導骨料供應商。

爐底灰作為河砂替代品的適用性：

根據中華電力公司所說，燃煤發電生產出來的爐底灰目前被作為水泥生產的一種原料使用。當前並無處理爐底灰的問題。因此，研磨和篩分爐底灰作為混凝土和砂漿用河砂替代品並非可行的方案。

廢玻璃骨料作為河砂替代品的適用性：

目前香港每年產生的廢玻璃約為 12 萬噸，而只有 4% 到 5% 被回收利用作為骨料用於預製混凝土地磚。環保署非常希望增加廢玻璃的回收利用率到至少 50%。研磨廢玻璃到砂粒大小然後將其作為砂漿用河砂替代品使用是增加回收利用率的一個方法。由於顧慮到可能發生的鹼骨料反應，現階段由廢玻璃骨料生產的混凝土只限於非承重結構。我們有需要開展關於廢玻璃骨料用於砂漿的可行性研究以及研究可能出現的鹼骨料反應。不過，為使將廢玻璃骨料用作河砂替代品的方案成功，更多政府的支援是需要的。

高爐礦渣作為河砂替代品的適用性：

根據嘉華建材有限公司所說，粒化高爐礦渣（研磨至水泥粒徑大小）的價格大概為水泥價格的 90%。因此，生產商更願意把高爐礦渣研磨到一個較高的細度，這樣的售價會比研磨至砂粒大小而作為河砂替代品來賣的價格高。由於可以被研磨加工成輔助性膠凝材料來提高混凝土的性能，高爐礦渣不再是廢料。因此，使用粒化高爐礦渣作為河砂替代品不是一個可行的方案。

6. 關於使用河砂、石粉和機製砂於抹灰工程的現場試驗

關於使用河砂（RS）、石粉（CRF）和機製砂（MS）於抹灰工程的現場試驗已完成。該試驗是在合源建材有限公司屬下的訓練中心於 2012 年 5 月 10 日和 5 月 22 日進行的。

2012 年 5 月 10 日，進行了三次試驗。在前兩次試驗中，使用了最大粒徑為 5 毫米以及微細粉含量 2.5% 的機製砂，並生產了兩個砂漿試樣，分別命名為 MS1 和 MS2。它們的配比如下：

MS1 – 水：水泥：砂 = 0.4：1.0：2.5（按重量計算）

MS2 – 水：水泥：砂 = 0.5：1.0：2.5（按重量計算）

試驗發現，MS1 的粘稠度很適合抹灰工程（即不是太乾也不是太濕）。首先，MS1 被用於垂直混凝土牆面抹灰（抹灰前，牆面先用水預濕然後擦乾）。結果發現，抹好一層厚度 20 毫米的抹灰層並不存在困難。接著，MS1 被用於混凝土板樓底抹灰（抹灰前，該樓底用水預濕然後擦乾）。結果發現，摸好一層厚度 10 毫米的抹灰層亦不存在困難。總之，結果令人滿意。

對於 MS2，則發現過於濕潤。當 MS2 被抹於垂直牆面抹灰（抹灰前，牆面先用水預濕然後擦乾），砂漿便開始往下落。但是，其仍可以抹好一層厚度為 20 毫米的抹灰層。接著，嘗試將 MS2 用於混凝土板樓底抹灰（抹灰前，該樓底用水預濕然後擦乾）。但是，由於砂漿較高的含水量和過於濕潤，無法將砂漿抹於樓底（在抹灰過程中，砂漿不斷地滴落）。總之，結果差強人意。

在第三次試驗中，使用了最大粒徑為 2.36 毫米以及微細粉含量為 0.6% 的河砂，並生產了一個砂漿試樣，命名為 RS1。RS1 的配比如下：

RS1 – 水：水泥：砂 = 0.4：1.0：2.5（按重量計算）

結果發現，RS1 雖然握在手中並不感覺有粘性，但也仍是非常濕潤。不過，當 RS1 被用於垂直混凝土牆面抹灰（抹灰前，牆面先用水預濕然後擦乾）時，抹好一層厚度 20 毫米的抹灰層並未發現任何困難。另一方面，當 RS1 被用於混凝土板樓底抹灰（抹灰前，該樓底用水預濕然後擦乾），雖然仍可以抹好一層厚度 10 毫米的抹灰層，但抹灰過程中會有相當一部

份的砂漿滴落而造成抹灰一定程度的困難。總之，結果令人滿意，但遜於 MS1。

2012年5月22日，進行了三次試驗。試驗使用了最大粒徑為 5 毫米以及微細粉含量 8.6% 的石粉，並生產了三個砂漿試樣，分別命名為 CRF1、CRF2 和 CRF3。它們的配比如下：

CRF1 – 水：水泥：砂 = 0.40：1.0：2.5（按重量計算）

CRF2 – 水：水泥：砂 = 0.45：1.0：2.5（按重量計算）

CRF3 – 水：水泥：砂 = 0.55：1.0：2.5（按重量計算）

試驗發現，CRF1 太乾、無粘性，因此不適用於牆面和樓底抹灰。試驗結果不令人滿意。

CRF2 則較乾，粘性也稍欠。當 CRF2 被用於混凝土牆面抹灰（抹灰前，該牆面用水預濕然後擦乾），雖然仍可以抹好一層厚度 20 毫米的抹灰層，但抹灰過程中會有小一部份的砂漿滴落而造成抹灰稍微的困難。接著，嘗試將 CRF2 用於混凝土板樓底抹灰（抹灰前，該樓底用水預濕然後擦乾）。但是，由於砂漿較乾，根本無法將砂漿抹於樓底（在抹灰過程中，砂漿不斷地滴落）。總之，結果差強人意。

CRF3 則稍微過於濕潤。當 CRF3 被用於混凝土牆面抹灰（抹灰前，該牆面用水預濕然後擦乾），雖然仍可以抹好一層厚度 20 毫米的抹灰層，但抹灰過程中會有小一部份的砂漿滴落而造成抹灰稍微的困難。接著，嘗試將 CRF3 用於混凝土板樓底抹灰（抹灰前，該樓底用水預濕然後擦乾）。雖然可以摸好一層厚度為 10 毫米的抹灰層，但由於砂漿不易粘附於混凝土表面且不斷滴落，抹灰存在很大的困難。總之，結果差強人意。

綜上所述，對抹灰工程試驗的結論如下：

- (1) 機製砂似乎在抹灰工程中可作為砂漿細骨料使用。當使用機製砂作為砂漿細骨料，砂漿可按水灰比 0.4 至 0.5 進行設計。當水灰比為 0.4（或任何可以達到合適粘稠度的水灰比）時，砂漿可用於牆面和樓底的抹灰工程。當水灰比為 0.5（或相對較高的水灰比）時，砂漿可能太濕而只可用於牆面的抹灰工程。但是，在抹灰試驗過程中，也發現相對較粗的顆粒（粒徑達到 3 至 4 毫米）會對抹平造成一定的困難。因此，建議將機製砂的最大粒徑控制在 2.36 毫米。
- (2) 河砂，作為建築行業十分普遍使用的材料，也同樣適合在抹灰工程中作為砂漿細骨料使用。使用河砂時，砂漿可按水灰比大約 0.4 進行設計。當使用合適的水灰比時，砂漿可用於牆面和樓底的抹灰工程。但是，在抹灰試驗過程中，發現使用河砂的砂漿的粘性傾向於不足，砂漿也較使用機製砂的砂漿難使用。另外，從聲稱擁有超過三十年經驗的工人口中瞭解到，河砂的特性（主要是細度和水分含量）波動較大，因此所加的準確水量需要在攪拌的過程中自行判斷，也需要較好的經驗和技能才能生產出合適濕度（或更準確地說，合適的粘稠度）的砂漿。

(3) 石粉，比起機製砂或河砂，顯然不適合在抹灰工程中作為砂漿細骨料使用。使用石粉的砂漿需要較多的水來達到合適的粘稠度，即水灰比需要在 0.45 至 0.55 之間。當使用合適的水灰比時，砂漿可用於牆面的抹灰工程，但稍有困難。但是，無論採用哪個水灰比，砂漿通常都很難用於樓底的抹灰工程。抹灰試驗後，工人也表示，以他的經驗來說，在砂漿中使用石粉最大的困難是合適的含水量的範圍太窄。經常遇到的情況是，攪拌好的砂漿不是太乾就是太濕。因此，所加的準確水量需要在攪拌的過程中自行判斷。

7. 潛在的河砂替代品

從以上的研究和研究顧問的分析，確定了以下幾個潛在的河砂替代品。

7.1 混凝土用河砂替代品

香港的混凝土生產商已經在混凝土生產中使用石粉作為河砂的替代品。對於生產普通混凝土，一般來說，用未經加工的石粉（石粉未經加工來控制微細粉含量和級配或改善粒形）作為細骨料使用是可以接受的，不過，水量、膠凝材料量和高效減水劑劑量需要向上調整。對於生產高性能混凝土（如：高強度混凝土、高流態混凝土和高耐久混凝土），經過加工的石粉（石粉通過加工來控制微細粉含量和級配或改善粒形），或所謂的機製砂，可能會更好（關於機製砂的問題，將在後文討論）。

香港建築標準《CS3: 2012 – 混凝土骨料》的草案已經由混凝土技術督導委員會完成並已開始向持份者進行公眾諮詢。該標準主要基於現行的英國標準，因此對石礦場營運商和生產商而言，並無太大的遵守難度。骨料的產品認證也包含於《CS3》的草案中。可能需要給石礦場營運商一至兩年時間去獲得相關的產品認證。而之後，相信香港的混凝土骨料的質量將會有顯著提高。

和英國標準中一樣，在《CS3》草案中，細骨料有三種細度等級是被允許的。對於生產高強度混凝土和高流態混凝土（通常其膠凝材料含量較高），使用中級至粗級的細骨料較好。而對於生產泵送混凝土和自密實混凝土（通常其需要較高的通過性和黏聚性），使用細級至中級的細骨料較好。雖然選擇怎樣的細度等級是混凝土生產商的自由，但是石礦場營運商也有必要說明所供應的細骨料的細度等級，以及需要遵守相關的級配限制。為不同類型的混凝土找到合適或最優的骨料級配和配比是一個很值得研究的課題，需要鼓勵和支援。其實，只要所生產的混凝土的性能達到規範要求，並不需要對骨料採取過於嚴格的級配限制。

另外一個至今仍頗具爭議性的問題是對微細粉含量的限制問題。不同標準對微細粉含量的限制有較大的差異。由於微細粉部份有較大的比表面積，因此對混凝土需水量和高效減水劑需要量影響顯著。而它也可能含有泥或其他有害物質，從而影響混凝土的質量。因此，對微細粉含量和

含泥量有一定的限制是必要的。在《CS3》草案中對微細粉含量的限制比起中國標準來得寬鬆。只要求微細粉含量中不含有泥，這樣相對寬鬆的限制使得石礦場營運商對石粉的生產有著更大的自由度。但是，假如微細粉部份確實含有較多的泥，這樣寬鬆的限制有可能對混凝土生產造成隱患。一個現實的問題是，從微細粉中區分出泥是不容易的。雖然歐洲標準和中國標準都建議採用亞甲藍測定法來測量泥的含量，但是該方法實際上只是測量在微細粉中某種化學物質的含量，而不是對含泥量的直接測量。對測量含泥量所合適的直接測量方法尚未建立。有需要對這方面開展更多的研究。

7.2 砂漿用河砂替代品

在砂漿中使用未經加工的石粉的一個主要問題是，未經加工的石粉經常含有大量的微細粉，這會使得砂漿過於黏稠而難以進行抹平。實際上，香港建築業承建商聯會堅持認為石粉（準確地說，他們所指的是未經加工的石粉）是不適合作為砂漿用河砂替代品的。由於在《CS3》草案中所規定的微細粉含量的上限較高，且對細骨料的級配限制寬鬆，有可能存在符合《CS3》草案規定的石粉，但其仍不適用於砂漿。換句話說，將來的《CS3》標準是不適用於砂漿用骨料的。制定砂漿用骨料的獨立標準是需要的。不過這可能需要兩至三年的時間（需考慮到公眾諮詢也可能超過一年）來建立。

砂漿用河砂替代品需要儘快解決。一個可能的方案是對石粉進行加工來減少微細粉含量，以及在供應市場之前，便在石礦場進行細骨料級配的提升。該方案的效果如何仍需現場確認，因此對有不同微細粉含量和級配的已加工石粉進行試驗是需要的。如果該方案被證明可行，建議與此同時，將砂漿用細骨料分成三類：類別 1，微細粉含量 $\leq 3\%$ ，用於地坪砂漿和修補砂漿；類別 2，微細粉含量 $\leq 5\%$ ，用於打底和抹灰；類別 3，微細粉含量 $\leq 8\%$ ，用於砌築砂漿。從長遠來說，根據不同類型砂漿的需要來定制的機製砂是一個更好的解決方案（關於機製砂的問題，將在後文討論）。由於砂漿工程通常是非結構工程，在砂漿中使用廢玻璃骨料也是可能的（關於廢玻璃骨料的問題，將在後文討論）。這樣一來，將有助於解決廢玻璃導致的環境問題。

7.3 機製砂

相比使用直接由石礦場生產而未經加工的石粉作為河砂的替代品，使用經過加工而使得性質有所改善的石粉作為細骨料或許是一個更好的選擇。而經過加工的石粉就是所謂的“機製砂”。石粉的加工有以下幾個方面：研磨（將顆粒的棱角磨平、磨圓），篩分並重新混合（以此優化微細粉含量和粒徑分佈，從而獲得最好的混凝土和砂漿整體性能），清潔（以除去石粉中有害的物質，如泥）。事實上，生產機製砂的技術和設備都是已有的。問題只在於機製砂的市場是否足夠大以吸引投資者對其投資。

在混凝土中，由於機製砂較好的粒形和級配，細骨料的填充密度可以被提高，從而減少需要用水泥漿來填充的空隙體積。在給定的和易性要求下，這將減少水泥的消耗和碳足跡，以及提高混凝土的尺寸穩定性。而在給定的水泥漿體含量下，這將提高混凝土的流動性和泵送性。最後，由於機製砂潔淨度更高，這有助於進一步提高高強度混凝土的強度。

在砂漿中，由於機製砂的微細粉含量較低，可以降低砂漿的粘性，從而使抹平更加容易。而機製砂較好的粒形和級配也可以提高填充密度，從而減少水泥漿的體積以減少乾縮和減輕砂漿縮裂。另外，機製砂還可用於預包裝抹灰砂漿、打底砂漿、地坪砂漿和修復砂漿。

但是，現時並沒有關於機製砂的標準或規範。沒有認可的相關標準或規範，很難期望石礦場營運商會銷售機製砂，因為明顯機製砂比未加工的石粉要貴得多。我們一方面需要用幾年的時間建立機製砂的相關標準或規範，另一方面也要對機製砂的一些樣品進行測試和評估。

7.4 廢玻璃骨料

每年香港都要產生超過 10 萬噸的廢玻璃（主要是玻璃樽）。只有其中很小的一部份（大約 4%）被粉碎並作為骨料被用於預製混泥土磚。其中的大部份都被當做廢棄物傾倒於堆填區。

在混凝土中使用廢玻璃骨料作為骨料使用的一個主要問題是，可能存在鹼骨料反應而影響混凝土的耐久性。另一個主要問題是，玻璃的脆性較大，使得由其生產的混凝土不適合作為結構性應用。

但是，廢玻璃骨料或許可以作為細骨料和粗骨料，用於混泥土磚、非承重牆的混凝土砌塊、透水路面的混凝土砌塊以及小型工程的現澆混凝土。

理論上，廢玻璃骨料同樣可以作為砂漿用骨料，用於抹灰、打底、地坪抹平和砌築等工程中。其實，廢玻璃骨料作為砂漿用河砂替代品的可行性是非常值得探索的。因為一旦可行，將提高廢玻璃回收利用率至少 50%。但是，受收集和運輸成本的影響，生產廢玻璃骨料的成本非常高。

因此，確實需要給予回收產業更多的支援（例如對研究提供支援，給廢玻璃收集提供更多幫助，以及推動廢玻璃骨料的使用以促進可持續發展等），否則生產砂漿用廢玻璃骨料將很難有市場。

7.5 再生骨料

香港每年都要產生數百萬噸的廢舊混凝土。政府一直都在推動將廢舊混凝土粉碎來生產再生骨料，再用於新的混凝土工程中。但是，由於再生骨料，尤其是較小的再生骨料，容易在顆粒表面粘附著舊的硬化水泥漿，從而影響新生產的混凝土質量。因此，許多工程師對使用再生骨料存在顧慮，從而導致很多年來再生骨料僅被用於一些非結構性混凝土和低等級混凝土中。目前來講，再生骨料的使用率是非常低的，而大部份的廢舊混凝土都只是作為廢棄物被傾倒或以一定的成本運到其他地方處理。

即使再生骨料被使用，也只是較粗的部份被作為混凝土的粗骨料使用。較細的部份，由於含有較多的微細粉（一部份微細粉來自原來的細骨料，一部份微細粉來自舊的硬化水泥漿），不能被使用，只能當做廢棄物被傾倒。所以，不經加工，再生骨料的較細部份是不適合作為混凝土或砂漿用河砂替代品使用的。但是，現在一種常用於機製砂生產，利用風力篩選的方法來降低微細粉含量的加工工藝已被採用。是否這種加工工藝可被用來提高再生骨料較細部份的質量從而使其可用於混凝土和砂漿，是一個值得研究的課題。

為進一步推動再生骨料的使用，政府應採取更多積極的舉措。例如，由於回收廢舊混凝土來生產骨料是需要在本地進行，政府可以考慮提供可以負擔的土地以用作再生骨料的生產之用。政府也可以要求在某些公共工程項目中使用再生骨料。但是，對再生骨料質量存在普遍的擔憂依然是一個技術上需要解決的問題。大部份對再生骨料混凝土的研究都只停留在對使用乾淨的再生骨料的混凝土的性質研究上。似乎沒有研究者對測定再生骨料的潔淨度以及建立一個再生骨料的質量體系有興趣。除非關於再生骨料的相關產品認證制度可以施行，否則很多的工程師仍將不會使用再生骨料。

7.6 爐底灰

利用煤炭發電不僅會產生粉煤灰，還有爐底灰。比起粉煤灰，爐底灰更粗糙，也含有更多雜質。因此，爐底灰不適合像粉煤灰一樣，直接作為膠凝材料使用。有建議認為，爐底灰可以被粉碎並加工成可用於混凝土和砂漿的細骨料。但是，從中華電力公司得到的反饋稱，所有香港的爐底灰都已經被作為水泥生產的原材料使用了，因此香港暫時沒有可用於細骨料生產的爐底灰。所以，將爐底灰用作混凝土和砂漿用河砂替代品的可能性被排除，關於這一方面的研究也將不再進行。

7.7 高爐礦渣

理論上，將高爐礦渣研磨至砂粒大小並作為混凝土和砂漿用河砂替代品是可行的。不過，高爐礦渣可以被進一步研磨至水泥的細度並作為輔助性膠凝材料使用。從香港一個主要的礦渣供應商處瞭解到，作為輔助性膠凝材料銷售的粒化高爐礦渣的價格大概有水泥價格的九成。這是因為粒化高爐礦渣可以被用來提高混凝土的性能和耐久性，因此需求量大。由於高爐礦渣是可以被研磨到較高的細度來賣到與水泥差不多的價格，因此高爐礦渣本身的價格也不便宜，所以拿高爐礦渣作為河砂替代品來賣，比起其他河砂替代品是不具有競爭力的。因此，使用高爐礦渣作為河砂替代品並不是一個可行的方案。

8. 未來展望 – 對第二階段研究的建議

本份研究只是第一階段，關於河砂替代品的全面研究將在之後進行。為使全面研究更具連貫性，對第二階段的研究有如下幾個建議（按優先級別從高到低排列）。

8.1 優先級 1 – 砂漿用骨料建築標準

對尋找混凝土和砂漿用河砂替代品而言，現時最迫切的任務是為砂漿確定和生產合適的河砂替代品（在混凝土生產，河砂已被石粉取代。雖然並非最理想的選擇，但是將石粉作為混凝土細骨料使用是可接受的）。由於未經加工的石粉並非是合適的砂漿用河砂替代品，而且最新的建築標準《CS3》草案也並不適合於砂漿用骨料，一部針對砂漿用骨料的建築標準（《CS4》？）是需要的。雖然起草建築標準是政府的工作，但是建造業議會同樣可以幫忙研究相關國際標準作為香港借鑒，進行實驗室測試或現場試驗（如研究微細粉含量和級配對在不同應用下的砂漿性能的影響）和起草初步指引，為相關討論和政府起草標準奠定基礎。

對制定砂漿用骨料的初步指引，先借鑒英國標準《BS EN 13139: 2002 – 砂漿骨料》（實際上，該標準是歐洲標準的英文版本）是一個不錯的開始。由於歐洲標準中的標準篩孔徑、粗細骨料劃分和微細粉定義都與其在香港所用的英國標準有很大出入，而香港建築標準《CS3: 2012 – 混凝土骨料》建議沿用英國標準的標準篩孔徑、粗細骨料劃分和微細粉定義。因此，在借鑒歐洲標準時，需要將歐洲標準中的微細粉含量限制和級配限制按英國標準等效轉化。

對於實驗室測試或現場試驗，有一系列的試驗項目可以進行，如：嘗試不同的微細粉含量（從相對較低的 2% 至較高的 10%），嘗試不同的最大顆粒粒徑（如 1.18 毫米、2.36 毫米和 5 毫米），和嘗試不同的級配（如粗級、中級和細級。細度等級可按歐洲標準定義；也可按英國標準定義，以配合英標中的篩孔徑）。對於現場試驗，邀請對砂漿工程有豐富經驗的建造業夥伴合作，也是不錯的選擇。

通過實驗室測試或現場試驗，我們可以對用於不同砂漿工程的骨料訂立微細粉含量和級配的極限值。這些極限值有助於制定相關指引，為石粉加工成為合適的砂漿用河砂替代品提供依據。在歐洲標準中，粒徑小於 63 微米的顆粒被定義為微細粉；而在英國標準中，粒徑小於 75 微米的顆粒被定義為微細粉。可見，兩標準的定義相差不算太大。因此，對微細粉含量的限制，或許可以參考歐洲標準中的要求，即：微細粉含量 $\leq 3\%$ ，用於地坪砂漿和修補砂漿；微細粉含量 $\leq 5\%$ ，用於打底和抹灰砂漿；微細粉含量 $\leq 8\%$ ，用於砌築砂漿。

8.2 優先級 2 – 微細粉含量對混凝土影響性研究

雖然微細粉含量超過 10% 且未經加工的石粉可作為混凝土用河砂替代品，但是對石粉所允許或最優的微細粉含量應是多少仍然存在爭議。例如，英國和歐洲標準對微細粉含量的限制較為寬鬆，但中國標準卻比較嚴格，這說明對微細粉含量的限制尚無一個廣泛的共識。同時，在實際應用中，想要控制未經加工的石粉的微細粉含量也是不容易的。因此，在建築標準《CS3 – 混凝土骨料》中，把微細粉含量的限制定為 14% 已經是對質量把關和實際操作所做的可以接受的折中了。

但是，研究微細粉含量對混凝土整體性能的影響（例如：需水量、高效減水劑需要量、和易性、黏聚性和強度等）仍然是需要的。而研究微細粉含量對骨料填充密度和比表面積的影響也是需要的，因為由此我們可以研究混凝土性能的變化是否也受到填充密度和比表面積變化的影響。可以相信，對於每一組水灰比和水泥漿體體積組合，都應該會有一個最優的微細粉含量令到混凝土的性能達到最佳。而對於混凝土不同水灰比和水泥漿體體積下的最優微細粉含量，可以通過試驗，嘗試不同的水灰比（從 0.30 至 0.60），水泥漿體體積（從 25% 至 35%）以及微細粉含量（從 6% 至 14%）找到。

其實，最好是對石粉進行加工，以令微細粉含量盡可能達到最優或在推薦的範圍內。對最優微細粉含量相關知識的瞭解，有助於石礦場營運商將石粉加工成為機製砂。而微細粉含量的推薦範圍也可以寫入相關指引和規範中，以指導機製砂的不同應用。當機製砂成為符合相關規範的商品材料後，工程師或混凝土生產商將可以對普通石粉（即未經加工的石粉，相對便宜且適用於普通混凝土）和機製砂（即經過加工的石粉，較貴但適合於高性能混凝土）做出選擇。

從長遠來說，為機製砂訂立標準也是有需要的。

8.3 優先級 3 – 機製砂的規範和分類

由於要求的不同，砂漿用機製砂和混凝土用機製砂是不一樣的。通常，砂漿用機製砂的微細粉含量較低（在 3% 到 8% 之間，具體根據需要而定），而混凝土用機製砂的微細粉含量較高（在 6% 到 10% 之間，具體根據配合比設計而定）。但是，制定一部可同時用於混凝土和砂漿的機製砂一般規範也未嘗不可。而規範中對機製砂的分類可根據微細粉含量、最大粒徑和粒形來決定。歐洲標準《BS EN 13139》指出，微細粉含量 $\leq 3\%$ ，可用於地坪砂漿和修補砂漿；微細粉含量 $\leq 5\%$ ，可用於打底和抹灰砂漿；微細粉含量 $\leq 8\%$ ，可用於砌築砂漿。建築標準《CS3》也指出，對未經加工的石粉，微細粉含量 $\leq 14\%$ 。根據以上兩部標準，建議機製砂可以有如下分類：

類別 1：微細粉含量 $\leq 3\%$ ；最大粒徑 = 2.36 毫米

類別 2：微細粉含量 $\leq 5\%$ ；最大粒徑 = 2.36 毫米

類別 3：微細粉含量 $\leq 8\%$ ；最大粒徑 = 2.36 毫米

類別 4：微細粉含量 $\leq 6\%$ ；最大粒徑 = 5.0 毫米

類別 5：微細粉含量 $\leq 10\%$ ；最大粒徑 = 5.0 毫米

以上的分類只是初步的建議。在最終確定微細粉含量和最大粒徑的限制之前，廣泛的公眾諮詢以及對機製砂不同分類進行實地試驗是必不可少的。希望在不久的將來，經過幾年的使用，該規範可以發展為一部標準。

8.4 優先級 4 – 砂漿中作骨料用廢玻璃骨料的研究

對廢玻璃循環利用的一個難題是收集和運輸的成本太貴。從一間回收公司瞭解到，收集到的玻璃通常會先運回公司，再在公司進行清洗和粉碎。但是，由於大部份收集到的廢玻璃都是以玻璃樽的形式存在，而玻璃樽會佔用較多的空間，令到每次運送的玻璃總量不多，從而導致成本增加。但是，如果有方法可以在回收站的卡車上就將所收集到的玻璃樽粉碎，然後回到工廠後再清洗，這可能也不失為一個好選擇。雖然先碎再洗比起先洗再碎困難，但是所節省的運輸費用或許已可以補償先碎再洗的高昂成本，因此是值得的。同時，政府也應對廢玻璃樽回收給予更多的支持，這不但可以降低成本，也會刺激回收工業的發展，從而提高回收率。

對如何將廢玻璃骨料變成可用於砂漿的河砂替代品，需要一定的研究。由於玻璃是一種脆性的、均質的材料（從某種意義上說，這裡的均質是指在玻璃裡只存在少量較弱的礦物或類泥物質），這使得它在粉碎後，微細粉含量可能偏低。而偏低的微細粉含量可令廢玻璃骨料成為不錯的砂漿用河砂替代品。開展這類關於廢玻璃骨料的研究，希望有廢玻璃回收公司的參與。可以讓回收公司生產一些廢玻璃骨料樣本來做試驗。試驗包括測定廢玻璃骨料的微細粉含量、粒徑分佈、填充密度和需水量。同時，實地測試也可以進行，來驗證廢玻璃骨料是否可以作為河砂替代品用於不同的砂漿（例如地坪砂漿、打底砂漿、抹灰砂漿和砌築砂漿等）。

8.5 優先級 5 – 砂漿中作骨料用再生骨料的研究

再生骨料較細的部份，由於附在其顆粒表面的舊的硬化水泥數量不少，且微細粉含量較高，通常作為廢棄物處理。所以，如果沒有適當的加工，再生骨料並不適合作為砂漿用河砂替代品。可以設想，舊的硬化水泥可能可以通過研磨（該研磨技術已在機製砂的生產中被應用，並可以提高顆粒圓滑度）除去，同時微細粉含量可以通過風力篩選（該方法也常用於機製砂的生產）的方法降低。換句話說，將石粉加工成機製砂的加工工藝完全是可以用在再生骨料中的。雖然相關工藝尚未用於再生骨料，但是開展一些現場試驗來研究機製砂所用的加工工藝是否在再生骨料生產中也可行，是值得的。同樣地，在進行再生骨料的相關研究時，能有機製砂生產商的參與會更好。

– 全文完 –

附錄 A

對混凝土和砂漿用骨料
現行標準的文獻綜述

1. 關於混凝土和砂漿用骨料的現行標準

作為河砂替代品研究的一部份，已經對混凝土和砂漿用骨料的現行標準做了研究。已研究過的標準如下：

英國標準《BS 882: 1992 – 混凝土用天然骨料規範》

- (1) 英國標準《BS 1199 和 1200: 1976 – 天然建築用砂規範》
- (2) 英國標準《BS EN 12620: 2002 – 混凝土骨料》
- (3) 英國標準《BS EN 13139: 2002 – 砂漿骨料》
- (4) 英國標準學會發表文檔《BSI PD 6682-1: 2009 骨料 – 第一部份：混凝土骨料 – 標準 BS EN 12620 使用指南》
- (5) 英國標準學會發表文檔《BSI PD 6682-3: 2003 骨料 – 第三部份：砂漿骨料 – 標準 BS EN 13139 使用指南》
- (6) 中國標準《GB/T 14684 – 2001 建築用砂》
- (7) 中國標準《JGJ 52 – 2006 普通混凝土用砂、石品質及檢驗方法標準》
- (8) 香港建築標準《CS3: 2012 – 混凝土骨料》（草案）

2. 英國標準《BS 882: 1992 – 混凝土用天然骨料規範》

這是一部已經在香港使用多年的關於混凝土用骨料的英國標準。直至其被香港建築標準《CS3》代替，它都依然適用於香港。

該規範的標準篩孔徑包括了 75 微米、150 微米、300 微米、600 微米、1.18 毫米、2.36 毫米、5.00 毫米、10.00 毫米、20.00 毫米、37.50 毫米和 50.00 毫米。對粒徑小於 75 微米（即可以漏過 75 微米篩）的顆粒被定義為微細粉。對石粉的微細粉含量有如下規定：一般使用：16%；用於重載地面層：9%。

對於砂的級配極限值規定可見於表 1。表中將砂的級配分為 C（粗），M（中）和 F（細）三類，並對其進行了兩組極限值的規定，一組是總體極限值，一組是附加極限值。總極限值的的要求是較為寬鬆的，兩組粒徑分佈很不同的砂也有可能符合總極限值的的要求。除了要符合總極限值，砂還需要符合 C，M 和 F 中任一個的附加極限值規定。而對 C，M 和 F 的附加極限值的的要求是相對嚴的。基本上，級配為 C 的砂一般含有 15% 小於 600 微米的顆粒和 85% 大於 600 微米的顆粒；級配為 M 的砂一般含有 25% 小於 600 微米的顆粒和 75% 大於 600 微米的顆粒；級配為 F 的砂一般含有 55% 小於 600 微米的顆粒和 45% 大於 600 微米的顆粒。對於滿足總極限值卻不符合 C，M 和 F 中任一附加極限值的砂，一個獲得認可的包封界線也可以使用，但供應商必須證明可滿足混凝土用砂的品質要求。

表 1 在標準《BS 882:1992》中的級配極限值規定

篩孔徑	過篩質量百分數			
	總體極限值	級配附加極限值		
		C	M	F
10.00 毫米	100	100	100	100
5.00 毫米	89 – 100	89 – 100	89 – 100	89 – 100
2.36 毫米	60 – 100	60 – 100	65 – 100	80 – 100
1.18 毫米	30 – 100	30 – 90	45 – 100	70 – 100
600 微米	15 – 100	15 – 54	25 – 80	55 – 100
300 微米	5 – 70	5 – 40	5 – 48	5 – 70
150 微米	0 – 15 ^a	0 – 15 ^a	0 – 15 ^a	0 – 15 ^a
說明 1：對於滿足總極限值卻不符合 C，M 和 F 中任一附加極限值的砂，一個獲得認可的包封界線也可以使用，但供應商必須證明可滿足混凝土用砂的品質要求。				
說明 2： ^a 對石粉，增加至 20%，除非用於重載地面層。				

3. 英國標準《BS 1199 和 1200: 1976 – 天然建築用砂規範》

這部關於砂漿用骨料的標準已經在香港使用了多年。該標準太舊也太過於簡略，以至於除了微細粉含量極限值外，對天然砂（例如河砂）和石粉並沒有在要求上做出區分。

該規範的標準篩孔徑包括了 75 微米，150 微米，300 微米，600 微米，1.18 毫米，5.00 毫米和 6.30 毫米。

對於室外打底工程以及室內水泥和石灰抹灰工程，砂的類型需為 A 類或 B 類（其級配極限值可參考表 2）。A 類相對較粗，而 B 類相對較細。由於它們的級配區間有重疊，因此某一種砂有可能同時滿足兩種類型。

表 2 在標準《BS 1199: 1976》中關於室外打底工程以及室內水泥和石灰抹灰工程用砂漿砂級配表

篩孔徑	過篩質量百分數	
	A 類	B 類
6.30 毫米	100	100
5.00 毫米	95 – 100	95 – 100
2.36 毫米	60 – 100	80 – 100
1.18 毫米	30 – 100	70 – 100
600 微米	15 – 80	55 – 100
300 微米	5 – 50	5 – 75
150 微米	0 – 15	0 – 20
75 微米	0 – 5	0 – 5

對一般和配筋砌體工程、砌塊牆工程和砌築工程，砂的類型需為 S 類和 G 類（對其級配極限值，請參考表 3）。S 類相對較粗，而 G 類相對較細。由於它們的級配區間有重疊，因此某一種砂有可能同時滿足兩種類型。

表 3 在標準《BS 1200: 1976》中關於一般和配筋砌體工程、砌塊牆工程和砌築工程用砂漿砂級配表

篩孔徑	過篩質量百分數	
	S 類	G 類
6.30 毫米	100	100
5.00 毫米	98 – 100	98 – 100
2.36 毫米	90 – 100	90 – 100
1.18 毫米	70 – 100	70 – 100
600 微米	40 – 100	40 – 100
300 微米	5 – 70	20 – 90
150 微米	0 – 15	0 – 25
75 微米	0 – 5 ^a	0 – 8 ^b

說明：^a 對碎石砂：0 – 10；^b 對碎石砂：0 – 12

通過比較在標準《BS 1199 和 1200》中砂漿用砂和在標準《BS 882》中混凝土用砂的情況，可以看到砂漿用砂通常更細，且含有較少微細粉（可漏過 75 微米篩）。因此，對混凝土用砂標準是不適用用於砂漿用砂的。

4. 英國標準《BS EN 12620: 2002 – 混凝土骨料》

這部是關於混凝土骨料新的歐洲標準。它最近已在英國取代了英國標準《BS 882: 1992》，但還未被香港所採用。

在該部歐洲標準中，標準篩孔徑改為 63 微米，125 微米，250 微米，0.5 毫米，1 毫米，2 毫米，4 毫米，8 毫米，16 毫米，32 毫米和 63 毫米，這與香港所用的英國標準完全不同。對粗細骨料的劃分已經改為 4 毫米（即粗骨料被定義為粒徑大於 4 毫米的骨料；而細骨料被定義為粒徑小於 4 毫米的骨料）。此外，對微細粉的定義已改為粒徑小於 63 微米的顆粒（即可漏過 63 微米篩）。對在舊英國標準中的術語“砂”（意指細骨料），已不再使用。

對宣稱最大粒徑值為 D 的細骨料，如下的一般要求需要遵守：100% 可漏過 $2D$ 尺寸的篩，至少 95% 可漏過 $1.4D$ 尺寸的篩，以及 85 至 99% 可漏過 D 尺寸的篩。由此可見，最多只允許有 15% 的細骨料大於宣稱最大粒徑值。除了這些規定，便沒有對細骨料的級配有更多額外要求。

骨料生產商允許對所生產的的細骨料典型級配進行說明，但細骨料的變化需符合公差極限值的相關規定。對一般用途細骨料的公差極限值，可參考表 4。

表 4 在標準《BS EN 12620: 2002》中對生產商所說明的一般用途細骨料的典型級配公差表

篩孔徑	過篩質量百分數公差		
	0/4 (最大粒徑 4 毫米)	0/2 (最大粒徑 2 毫米)	0/1 (最大粒徑 1 毫米)
4 毫米	± 5 ^a	–	–
2 毫米	–	± 5 ^a	–
1 毫米	± 20	± 20	± 5 ^a
250 微米	± 20	± 25	± 25
63 微米 ^b	± 3	± 5	± 5

^a 對過 D 尺寸篩質量百分數的進一步公差限制。
^b 由所允許的最大微細粉含量所要求的進一步公差限制。

爲了按一定的級配極限值來對細骨料的粗度和細度進行描述，對細骨料有以下符號描述： C （粗級）， M （中級）或 F （細級）。對細骨料的以上描述，可以參考表 5 或表 6 中的任一個（但不可同時使用）。

表 5 在標準《BS EN 12620》中基於過篩質量百分數的粗度/細度

過 0.5 毫米篩的質量百分數		
CP	MP	FP
5 至 45	30 至 70	55 至 100

表 6 在標準《BS EN 12620》中基於細度模數的粗度/細度

細度模數		
CF	MF	FF
4.0 至 2.4	2.8 至 1.5	2.1 至 0.6

標準中，對細骨料微細粉（指可漏過 63 微米篩的顆粒）含量並沒有限制。骨料生產商允許根據所規定的分類對最大微細粉含量進行說明。對於細骨料，對最大微細粉含量有如下分類： f_3 – 微細粉含量 ≤ 3%； f_{10} – 微細粉含量 ≤ 10%； f_{16} – 微細粉含量 ≤ 16%；以及 f_{22} – 微細粉含量 ≤ 22%。因此，有別於英國標準，只要骨料生產商說明最大微細粉含量，並加以嚴格控制，新歐洲標準允許較高的微細粉含量。

不過，歐洲標準對微細粉質量做出了一項新要求。即標準要求對細骨料中微細粉的危害性進行評估。根據標準《BS EN 12620》的附錄 D，當符合以下四個條件中任一個，微細粉被認為是無害的：

- (1) 細骨料的總微細粉含量小於 3% 或者根據骨料使用所在地規定的其他值；
 - (2) 砂當量試驗值高於規定的下限值；
 - (3) 亞甲藍試驗值低於規定的極限值；或者
 - (4) 表現出與合格骨料相同的性能或者按經驗判斷證明可滿足使用要求。
- 標準並未提供明確的總微細粉含量、砂當量試驗和亞甲藍試驗的極限值。這些極限值應根據骨料使用所在地當地的相關標準確定。

5. 英國標準《BS EN 13139: 2002 – 砂漿骨料》

這是新的砂漿用骨料的歐洲標準。最近它已在英國取代了標準《BS 1199 和 1200: 1976》，但該標準仍不適用於香港。

該標準中，對標準篩孔徑的規定，將粒徑小於 4 毫米的顆粒定義為細骨料，將將粒徑小於 63 微米的顆粒定義為微細粉的規定，與標準《BS EN 12620: 2002》中的相關規定一樣。

對宣稱最大粒徑值為 D 的細骨料，如下的一般要求需要遵守：100% 可漏過 $2D$ 尺寸的篩，至少 95% 可漏過 $1.4D$ 尺寸的篩，以及 85 至 99% 可漏過 D 尺寸的篩。由此可見，最多只允許有 15% 的細骨料大於宣稱最大粒徑值。除了這些規定，便沒有對細骨料的級配有更多額外要求。而這些規定和標準《BS EN 12620: 2002》中的一樣。

骨料生產商允許對所生產的的細骨料典型級配進行說明，但細骨料的變化需符合公差極限值的相關規定。對一般用途細骨料的公差極限值，可參考表 4（該表與標準《BS EN 12620: 2002》中的一樣）。

爲了按一定的級配極限值來對細骨料的粗度和細度進行描述，對細骨料有以下符號描述： C （粗級）， M （中級）或 F （細級）。對細骨料的以上描述，可以參考表 7 或表 8 中的任一個（但不可同時使用）。需要注意的是，雖然表 7 和表 5 一致，但表 8 和表 6 有一點區別。因此，在標準《BS EN 13139》中對粗度或細度的描述與在標準《BS EN 12620》中的不完全一致。

表 7 在標準《BS EN 13139》中基於過篩質量百分數的粗度/細度

過 0.5 毫米篩的質量百分數		
CP	MP	FP
5 to 45	30 to 70	55 to 100

表 8 在標準《BS EN 13139》中基於細度模數的粗度/細度

細度模數		
<i>CF</i>	<i>MF</i>	<i>FF</i>
3.6 至 2.4	2.8 至 1.5	2.1 至 0.6

標準中，對細骨料微細粉（指可漏過 63 微米篩的顆粒）含量並沒有限制。骨料生產商允許根據所規定的分類對最大微細粉含量進行說明。對於細骨料，對最大微細粉含量有如下分類：分類 1 – 微細粉含量 ≤ 3%；分類 2 – 微細粉含量 ≤ 5%；分類 3 – 微細粉含量 ≤ 8%；以及，分類 4 – 微細粉含量 ≤ 30%。該分類與在標準《BS EN 12620: 2002》中的不一樣。對不同分類的最終應用舉例如下：

- 類別 1：地坪砂漿，噴射砂漿，修補砂漿，灌漿（適用於全部骨料）
- 類別 2：打底砂漿，抹灰砂漿（適用於全部骨料）
- 類別 3：砌築砂漿（石粉除外）
- 類別 4：砌築砂漿（石粉）

與標準《BS EN 12620: 2002》一樣，該標準對微細粉質量做出了一項新要求。根據標準《BS EN 13139: 2002》的附錄 C（與標準《BS EN 12620》的附錄 D 非常相似），要求對細骨料中微細粉的有害性進行評估。當符合以下四個條件中任一個，微細粉被認為是無害的：

- (1) 細骨料的總微細粉含量小於 3% 或者根據骨料使用所在地規定的其他值；
- (2) 砂當量試驗值高於規定的下限值；
- (3) 砂當量試驗值小於規定的下限值但亞甲藍試驗值低於規定的極限值；
- 或者
- (4) 亞甲藍試驗值低於規定的極限值

又或者，當表現出與合格骨料相同的性能或者按經驗判斷證明可滿足使用要求的，細骨料中的微細粉也可被認為是無害的。雖然標準《BS EN 13139: 2002》附錄 C 的用詞與標準《BS EN 12620》附錄 D 的有些許出入，但是兩個附錄其實是等效的。

6. 英國標準學會發表文檔《BSI PD 6682-1: 2009 骨料 – 第一部份：混凝土骨料 – 標準 BS EN 12620 使用指南》

BSI PDs（英國標準學會發表的文檔）雖然不是英國標準，但他們確實為歐洲標準在英國的操作提供了建議。某些給出的建議或許可適用於香港，其概述如下。

英國的微細粉含量分類包括：對碎石粗骨料： f_4 （微細粉含量 ≤ 4%）；對非用於重載地面的碎石細骨料： f_{16} （細微顆粒含量 ≤ 16%）；對用於重載地面的碎石細骨料： f_9 （細微顆粒含量 ≤ 9%）。這些建議事實上等同於英國標準《BS 882: 1992》。

同時，歐洲標準《BS EN 12620: 2002》為確保微細粉的無害性列出了一些要求（例如對膨脹性黏土的規定）。但《BSI PD 6682-1: 2009》指出，在英國只要骨料經過加工處理並使微細粉含量符合上一文段中提到的極限值則可以認為是無害。該文檔也指出，對確定英國骨料微細粉含量的有害性，砂當量試驗和亞甲藍試驗並不十分準確。該文檔建議對骨料和填充骨料應根據微細粉量少於容許值或者過去使用的滿意程度來評估其有害性。

7. 英國標準學會發表文檔《BSI PD 6682-3: 2003 骨料 – 第三部份：砂漿骨料 – 標準 BS EN 13139 使用指南》

BSI PDs（英國標準學會發表的文檔）雖然不是英國標準，但他們確實為歐洲標準在英國的操作提供了建議。某些給出的建議或許可適用於香港，其概述如下。

根據《BSI PD 6682-3: 2003》的建議，選擇歐洲哪種骨料粒徑類別和哪種微細粉含量類別可參考該文檔的附錄 A（即表 9）。

表 9 在《BSI PD 6682-3》中對骨料的描述和建議的歐洲類別表

砂漿類別	等效的英國標準	建議的歐洲類別
打底或抹灰砂漿	《BS 1199》，A 類	0/2（CP 或 MP） 類別 2 (微細粉含量 ≤ 5%)
	《BS 1199》，B 類	0/2（FP 或 MP）分 類 2 (微細粉含量 ≤ 5%)
砌築砂漿	《BS 1200》，S 類	0/2（FP 或 MP） 類別 2 (微細粉含量 ≤ 5%)
	《BS 1200》，G 類	0/2（FP 或 MP） 類別 3 (微細粉含量 ≤ 8%)
地坪砂漿	《BS 882》，C 級配 的偏細範圍 或 M 級配 的偏大範圍	0/4（CP 或 MP） 類別 1 (微細粉含量 ≤ 3%)

值得注意的是：對地坪砂漿，只允許類別 1（微細粉含量 ≤ 3%）；對打底或抹灰砂漿，只允許類別 2（微細粉含量 ≤ 5%）。類別 3（微細粉含量 ≤ 8%）可能只適用於砌築砂漿；而類別 4（微細粉含量 ≤ 30%）根本不允許使用。

8. 中國標準《GB/T 14684 – 2001 建築用砂》

該標準適用於混凝土用砂和砂漿用砂。換句話來說，混凝土用砂和砂漿用砂在該標準中並未做出區分。

標準篩孔徑為：75 微米，150 微米，300 微米，600 微米，1.18 毫米，2.36 毫米，4.75 毫米，9.50 毫米。因此，除了 4.75 毫米和 9.50 毫米的篩孔徑外，其餘篩孔徑與香港當前在用的英國標準一致。粗骨料和砂（細骨料）的分界為 4.75 毫米（也就是說，粗骨料被定義為粒徑大於 4.75 毫米的顆粒，而砂被定義為粒徑小於 4.75 毫米的顆粒）。

天然砂（自然界獲取且未經過粉碎的砂）中小於 75 微米的部分被稱為泥。而機製砂（通過粉碎獲得的砂）中小於 75 微米的部分被稱為石粉（值得注意的是，這種材料在其他絕大部分規範裏就稱為微細粉）。

該標準規定了三個級配區，包括級配區 1、級配區 2 和級配區 3。它們的級配極限值可參考表 10。

表 10 在標準《GB/T 14684 – 2001》中顆粒級配表

篩孔徑	累計篩餘百分數		
	級配區 1	級配區 2	級配區 3
9.50 毫米	0	0	0
4.75 毫米	10 – 0	10 – 1	10 – 0
2.36 毫米	35 – 5	25 – 0	15 – 0
1.18 毫米	65 – 35	50 – 10	25 – 0
600 微米	85 – 71	70 – 41	40 – 16
300 微米	95 – 80	92 – 70	85 – 55
150 微米	100 – 90 ^a	100 – 90 ^b	100 – 90 ^c
說明： ^a 對機製砂：100 – 85； ^b 對機製砂：100 – 80； ^c 對機製砂：100 – 75			

砂按細度模數分為三類，即：粗、中、細三種規格，可參考表 11。

表 11 在標準《GB/T 14684 – 2001》中按細度模數的細度規格表

細度模數		
粗	中	細
3.7 至 3.1	3.0 至 2.3	2.2 至 1.6

砂按技術要求分為三個類別，即：類別 1、類別 2、類別 3。類別 1 宜用於強度等級大於 C60 的混凝土；類別 2 宜用於強度等級 C30 至 C60 及抗凍、抗滲或其他要求的混凝土；類別 3 宜用於強度等級小於 C30 的混凝土或水泥砂漿。

對天然砂含泥量的極限值，有以下規定：對類別 1，含泥量 < 1.0%；對類別 2，含泥量 < 3.0%；對類別 3，含泥量 < 5.0%。

對機製砂微細粉含量的極限值，有以下規定：(1) 如果亞甲藍試驗合格，對類別 1，微細粉含量 < 3.0%；對類別 2，微細粉含量 < 5.0%；對類別 3，微細粉含量 < 7.0%。(2) 如果亞甲藍試驗不合格，對類別 1，微細粉含量 < 1.0%；對類別 2，微細粉含量 < 3.0%；對類別 3，微細粉含量 < 5.0%。

9. 中國標準《JGJ 52 – 2006 普通混凝土用砂、石品質及檢驗方法標準》

該標準是一部混凝土用骨料的標準。在標準中，細骨料稱為砂，定義為顆粒粒徑小於 5 毫米的骨料；而粗骨料稱為碎石或者砂礫，定義為顆粒粒徑大於 5 毫米的骨料。

標準篩孔徑包括 80 微米，160 微米，315 微米，630 微米，1.25 毫米，2.50 毫米，5.00 毫米，10.00 毫米。圓形孔徑和方形孔徑均被採用，其孔徑可參考表 12。

表 12 在標準《JGJ 52 – 2006》中篩孔尺寸

砂的公稱粒徑	圓孔直徑	方孔邊長
5.00 毫米	5.00 毫米	4.75 毫米
2.50 毫米	2.50 毫米	2.36 毫米
1.25 毫米	1.25 毫米	1.18 毫米
630 微米	630 微米	600 微米
315 微米	315 微米	300 微米
160 微米	160 微米	150 微米
80 微米	80 微米	75 微米

粗骨料和砂（細骨料）的劃分界限為 5.00 毫米（也就是說，粗骨料被定義為顆粒粒徑大於 5 毫米的骨料；而細骨料被定義為顆粒粒徑小於 5.00 毫米的骨料）。

粒徑小於 80 微米的材料定義為泥。在機製砂（通過粉碎岩石獲得的砂）中，如果泥的礦物性質和獲得它的母岩一致，可被稱為微細粉。

該標準規定了三個級配區，包括級配區 1、級配區 2 和級配區 3。它們的級配極限值可參考表 13。

表 13 在標準《JGJ 52 – 2006》中砂顆粒級配表

篩孔徑	累計篩餘百分數		
	級配區 1	級配區 2	級配區 3
5.00 毫米	10 – 0	10 – 0	10 – 0
2.50 毫米	35 – 5	25 – 0	15 – 0
1.25 毫米	65 – 35	50 – 10	25 – 0
630 微米	85 – 71	70 – 41	40 – 16
315 微米	95 – 80	92 – 70	85 – 55
160 微米	100 – 90	100 – 90	100 – 90

該標準規定了四個細度等級，包括：粗、中、細、特細，可參考表 14。

表 14 在標準 JGJ 52 – 2006 中基於細度模數的細度等級

粗	中	細	特細
3.7 至 3.1	3.0 至 2.3	2.2 至 1.6	1.5 至 0.7

該標準對天然砂的含泥量有如下規定：對強度高於 C60 的混凝土，含泥量 ≤ 2.0%；對強度在 C30 和 C55 之間的混凝土、抗凍混凝土和抗滲混凝土，含泥量 ≤ 3.0%；對強度低於 C25 的混凝土，含泥量 ≤ 5.0%。

該標準對機製砂中微細粉含量有如下規定：(1) 如果亞甲藍試驗合格，對強度高於 C60 的混凝土，微細粉含量 ≤ 5.0%；對強度在 C30 和 C55 之間的混凝土，微細粉含量 ≤ 7.0%；對強度低於 C25 的混凝土，微細粉含量 ≤ 10.0%；(2) 如果亞甲藍試驗不合格，對強度高於 C60 的混凝土，微細粉含量 ≤ 2.0%；對強度在 C30 和 C55 之間的混凝土，微細粉含量 ≤ 3.0%；對強度低於 C25 的混凝土，微細粉含量 ≤ 5.0%。

10. 香港建築標準《CS3: 2012 – 混凝土骨料》（草案）

該標準是由香港政府混凝土技術督導委員會的一個工作組負責編撰的，現時仍處於公眾諮詢的起草階段。相信在未來幾年，該標準會是唯一一部混凝土用骨料的建築標準，仍未有砂漿用骨料的建築標準。

《CS3》草案是在香港目前使用的標準《BS 882: 1992》的基礎上編撰的。和新的歐洲標準不同的是，微細粉被定義為能通過 75 微米篩的的顆粒。對於天然細骨料，微細粉含量極限值不能高於 16%（該極限值最初參照標準 BS 882: 1992 並出現在的最初草案中；隨後在改版本中減小至 14%）。

在標準《BS 882: 1992》中，細骨料的總體級配極限值規定非常寬鬆。然而，對於每一種細骨料，其級配情況超出級配粗、中、細三類任一類的附加級配極限值的概率不得高於在十個連續樣本中出現一個，這和原來的英國標準一樣。因此，為了更好的做好級配控制，我們需要要求骨料

生產商說明細骨料屬於粗、中、細中的哪種類別，之後讓細骨料符合總體級配極限值和相對應的更嚴格的附加級配極限值（注：《CS3》草案最後做了修改，要求骨料生產商或者供應商需按標準《BS EN 12620》的規定說明細骨料的級配情況）。

目前並無檢查細骨料中微細粉潔淨度和無害性的規定。由於香港的細骨料有時會含泥（從細骨料濕潤後變黃可以看出），更為穩妥的做法是對細骨料中微細粉的潔淨度和無害性做出附加的規定。另外，由於檢測細骨料中微細粉含量的無害性較困難，而且各種檢測微細粉無害性的方法並無驗收標準，因此通過降低最大微細粉含量的極限值或許對降低骨料中含有有害物質的風險起到一定作用。

在 2012 年 1 月提交的文獻綜述報告中提到，《CS3》草案中混凝土用細骨料的微細粉含量應該受到如下限制：對普通混凝土，細骨料最大微細粉含量為 10%。如果能證明微細粉並無有害物質或者證明適合使用，上面提到的限制可放寬至 16%。這些建議已上報《CS3》編撰工作組。隨後，《CS3》草案做了相應修改，即普通混凝土用細骨料微細粉含量極限值從 16%改為 10%。但混凝土製造商協會認為 10%的限制會太嚴格且對於石粉而言不實際，因此提議將極限值定為 14%。最終，《CS3》草案做出了如下修訂：兩種天然細骨料可被允許，第一種為微細粉含量不超過 10%，第二種為微細粉含量不超過 14%且亞甲藍試驗值不超過 1.4（也就是說，如果細骨料通過亞甲藍試驗，最大微細粉含量可放寬到 14%）。

11. 現行混凝土和砂漿用骨料標準概述

以上提及的標準將就以下幾個方面進行對比。

標準篩孔徑：英國標準和中國標準的標準篩孔徑較為相似，但新歐洲標準的篩孔徑完全不同於香港目前所採用的英國標準。事實上，英國標準的標準篩孔徑並無不妥。新歐洲標準中的標準篩孔徑很可能是妥協歐洲各國各標準篩孔徑而定出的。這也解釋了為什麼香港特區政府混凝土技術督導委員會不跟隨歐洲標準而編寫一個本地骨料標準《CS3》。

粗骨料和細骨料的劃分：英國標準和中國標準中粗骨料和細骨料的劃分較為相似，但新歐洲標準的粗骨料和細骨料的劃分則完全不同。把粗骨料和細骨料的劃分由原來與英國標準一致的 5.0 毫米改為符合新歐洲標準的 4.0 毫米，會令我們參考過往經驗來指導生產造成困難。這也是香港不跟隨歐洲標準的原因。

細骨料的級配極限值：英國標準和中國標準中，三種不同級配等級或者區域的細骨料（中國標準中的級配區域 1、2、3 等同於英國標準中的粗、中、細）的級配極限值有明確的規定。然而，在歐洲標準中，級配限制

無明確的規定。取而代之的是，骨料生產商允許說明每種細骨料的典型級配情況，但需要控制細骨料的變化在規定的公差極限值範圍內。

微細粉含量：英國標準和中國標準定義骨料中的微細粉為粒徑小於 75 毫米或者 80 毫米的顆粒，而歐洲標準定義骨料中的微細粉為粒徑小於 63 毫米的顆粒。這在微細粉定義中關於粒徑上的微小區別影響並不大。然而，其對最大可允許的微細粉含量的差異卻很大。根據標準《BS 882》，一般用途的混凝土用石粉中的微細粉含量極限值為 16%，而對用於重載地面層的極限值為 9%。根據標準《BS 119 和 BS 1200》，石粉中的微細粉含量，在打底和抹灰砂漿中的極限值為 5%，在砌築砂漿用 S 類砂中的極限值為 9%，在砌築砂漿用 G 類砂中的極限值為 12%。在標準《GB/T 14684》和《JGJ 52》中，對細骨料中微細粉含量的規定是根據細骨料的來源和用途來制定的。標準《GB/T 14684》（《JGJ 52》）給出的天然砂的規定是：對高強度混凝土，微細粉含量 < 1.0%（≤ 2.0%）；對中等強度混凝土，微細粉含量 < 3.0%（≤ 3.0%）；對低強度混凝土，微細粉含量 < 5.0%（≤ 5.0%）。而標準《BS EN 12620》則沒有限定混凝土用骨料的微細粉含量。《BS EN 13139》規定砂漿用細骨料能被分為四類：類別 1（微細粉含量 ≤ 3%），類別 2（微細粉含量 ≤ 5%），類別 3（微細粉含量 ≤ 8%），類別 4（微細粉含量 ≤ 30%）。這些跟類對應以下使用方法：類別 1：地坪砂漿，噴射砂漿，修補砂漿，灌漿；類別 2：打底砂漿，抹灰砂漿；類別 3：不使用石粉的砌築砂漿；類別 4：使用石粉的砌築砂漿。標準《GB/T 14684》（《JGJ 52》）中對機製砂的規定是：(1) 如果亞甲藍試驗合格，對於高強度混凝土，微細粉含量 < 3.0%（≤ 5.0%）；對於中等強度混凝土，微細粉含量 < 5.0%（≤ 7.0%）；對於低強度混凝土，微細粉含量 < 7.0%（≤ 10.0%）；(2) 如果亞甲藍試驗不合格，對於高強度混凝土，微細粉含量 < 1.0%（≤ 2.0%）；對於中等強度混凝土，微細粉含量 < 3.0%（≤ 3.0%）；對於低強度混凝土，微細粉含量 < 5.0%（≤ 5.0%）。

微細粉有害性評估：英國標準不需要對骨料中微細粉的有害性進行評估或試驗。歐洲標準雖然要求對骨料中微細粉的有害性進行試驗，但未提供任何驗收標準。另一方面，中國標準要求對骨料中微細粉的有害性進行試驗，也規定了驗收標準。關於微細粉有害性的試驗，是具有爭議的。文檔《BSI PD 6682-1》指出，對於檢驗骨料微細粉的有害性，砂當量試驗和亞甲藍試驗的精度並不足夠。該文檔建議，對骨料和填充骨料應根據微細粉量少於容許值或者過去使用的滿意程度來評估其有害性。對經過處理後確定符合文檔《BSI PD 6682-1》所規定微細粉含量極限值的骨料，則可以被認為無害。

混凝土用骨料和砂漿用骨料的區分：英國標準和歐洲標準均對混凝土用骨料和砂漿用骨料做出了明確的區分，但兩部中國標準並未對混凝土用骨料和砂漿用骨料定出明確的區分。明顯地，兩部中國標準著重於混凝土用骨料多於砂漿用骨料。由於混凝土用骨料和砂漿用骨料的性能要求並不相同，最好還是將其區分開來。

12. 總結和建議

由上面的文獻綜述可知，在不同的標準裏，標準篩孔徑和粗細骨料劃分均有不同。英國標準中的標準篩孔徑和粗細骨料劃分已經在香港使用多年，也和中國標準幾乎相同。考慮到有些石礦場同時提供骨料給香港和中國大陸市場，從市場運作的角度來看，也需要讓標準篩孔徑和粗細骨料劃分與英國標準保持一致。這也免卻了由目前生產模式轉變為一個全新生產模式的麻煩，節約了購買新設備的費用，也有利於利用已有生產經驗用於未來生產。

總的來說，混凝土用骨料和砂漿用骨料有不同的要求。這源於混凝土和砂漿有不同的性能，以及細骨料的品質對混凝土和砂漿的影響不同。因此，混凝土用骨料和砂漿用骨料應該區分開來。

無論是混凝土用骨料還是砂漿用骨料，最大爭論點應該是微細粉含量的極限值 and 微細粉有害性的評估。微細粉由於以下的原因需要限制其含量。對混凝土而言，任何有害的物質，例如微細粉中的泥，都會影響混凝土的耐磨性、可能達到的最高強度和耐久性。此外，由於微細粉有非常大的比表面積，其含量會影響需水量和減水劑需求量，進而影響混凝土的和易性。較高的微細粉含量也會導致混凝土更粘稠，但這個對混凝土的實際作業影響不大。對砂漿而言，泥和過多微細粉的存在會影響砂漿的耐磨性、可能達到的最大強度以及和易性。更重要的是，過多微細粉的存在會使黏聚性增加，而黏聚性的增加會使砂漿過於粘稠而不利於抹平，因為砂漿更傾向於粘在抹子上而不是基面上。

另一方面，目前仍然沒有評估骨料中微細粉有害性的方法，也沒有確定微細粉是否無害的驗收標準。文檔《BSI PD 6682-1》建議微細粉的無害性可根據微細粉量低於容許值或者過去使用的滿意程度來評估。這似乎是一個切合實際的解決方法來避免評估方法和驗收標準方面的爭議。另外一個限制微細粉含量的原因是為了降低骨料中含有害物質的風險。

就混凝土用骨料和砂漿用骨料進行分開考慮，以上標準中的混凝土用骨料的微細粉含量極限值可見於表 15，而砂漿用骨料的微細粉含量極限值見於表 16。

從表 15 和表 16 可見，英國標準和歐洲標準對微細粉含量極限值要求較為寬鬆，而中國標準要求較為嚴格。

基於以上總結，建議《CS3》草案中混凝土用細骨料的微細粉含量極限值可做以下修改：普通混凝土用細骨料的微細粉含量：14%。海工混凝土（用於海洋環境）、高強度混凝土（混凝土強度 > 60 MPa）、高耐久性混凝土（設計壽命 ≥ 100 年）、高耐磨混凝土（用於重載地面）用細骨料的微細粉含量：10%。

同時也建議，長遠來講，應當制定一部適用於本地砂漿用骨料的建築標準（《CS4》？），因為混凝土用骨料建築規範《CS3》並不適用於砂漿用骨料。與此同時，砂漿用細骨料可被劃分為 3 個類別。類別 1：用於地坪和修補砂漿，微細粉含量 $\leq 3\%$ ；類別 2：用於打底和抹灰砂漿，微細粉含量 $\leq 5\%$ ；類別 3：用於砌築砂漿，微細粉含量 $\leq 8\%$ 。

表 15 混凝土用細骨料微細粉含量極限值

標準	微細粉含量極限值
《BS 882》和 《BSI PD 6682-1》	一般用途：16%； 重載地面層：9%
《BS EN 12620》	未提供
《GB/T 14684》	天然砂： 高強度混凝土：< 1.0% 中等強度混凝土：< 3.0% 低強度混凝土：< 5.0%
	機製砂：如果亞甲藍試驗合格， 高強度混凝土：< 3.0% 中等強度混凝土：< 5.0% 低強度混凝土：< 7.0%
	機製砂：如果亞甲藍試驗不合格， 高強度混凝土：< 1.0% 中等強度混凝土：< 3.0% 低強度混凝土：< 5.0%
《JGJ 52》	天然砂： 高強度混凝土：< 2.0% 中等強度混凝土：< 3.0% 低強度混凝土：< 5.0%
	機製砂：如果亞甲藍試驗合格， 高強度混凝土：< 5.0% 中等強度混凝土：< 7.0% 低強度混凝土：< 10.0%
	機製砂：如果亞甲藍試驗不合格， 高強度混凝土：< 2.0% 中等強度混凝土：< 3.0% 低強度混凝土：< 5.0%
《CS3》（草案）	一般用途：10%， 如果亞甲藍試驗值 ≤ 1.4，允許增加至 14%

表 16 砂漿用細骨料微細粉含量極限值

標準	微細粉含量極限值
《BS 1199 和 BS 1200》	打底和抹灰用碎石砂：5% 砌築砂漿用 S 類砂：10% 砌築砂漿用 G 類砂：12%
《BS EN 13139》	分類 1（地坪、噴射、修補砂漿）：≤ 3% 分類 2（打底和抹灰）：≤ 5% 分類 3（無石粉的砌築工程）：≤ 8% 分類 4（含石粉的砌築工程）：≤ 30%
《BSI PD 6682-3》	地坪砂漿：≤ 3% 打底和抹灰砂漿：≤ 5% 用 S 類砂的砌築砂漿：≤ 5% 用 G 類砂的砌築砂漿：≤ 8%
《GB/T 14684》	天然砂：< 5.0%
	機製砂： 如果亞甲藍試驗合格：< 7.0% 如果亞甲藍試驗不合格：< 5.0%
《JGJ 52》	無建議

- 附錄 A 結束 -

附錄 B

就潛在河砂替代品的問題，
對供應商、生產商、用家和政府官員的訪問

1. 訪問

作為河砂替代品研究的一部份，關國雄教授（關教授）會見了供應商、生產商、用家以及政府官員並和他們分別交換了意見。訪問包括（按聯繫時間排序）：

- (1) 訪問《CS3》編撰工作組主席
- (2) 訪問建築業承建商聯會
- (3) 訪問礦業學會香港分會
- (4) 訪問混凝土製造商協會
- (5) 訪問進口石材供應商協會
- (6) 訪問香港建造業分包商聯會、泥水商協會、註冊小型工程承建商僱員協會、香港泥水建築業職工會
- (7) 訪問中華電力香港有限公司，關於爐底灰的問題
- (8) 訪問嘉華建材有限公司，關於廢玻璃的問題
- (9) 訪問環保署，關於廢玻璃回收問題
- (10) 諮詢嘉華建材有限公司，關於高爐礦渣的問題

2. 訪問《CS3》編撰工作組主席

和《CS3》編撰工作組的主席、混凝土技術督導委員會成員並任職於工務中央試驗所（SCCT）的 Peter Leung 工程師的會面安排在 2011 年 11 月 11 日，會面地點是工務中央試驗所。

通過訪問，關教授瞭解到 SCCT 已經開展了一些河砂替代品的研究。目前，大部分在香港的預拌混凝土（或高於 99%）都採用石粉而不是河砂。實施上，在 2008 年頒佈的《土木工程通用規範》已經作出修訂，除非預先得到工程師的同意，否則不允許使用天然砂。河砂的使用範圍僅局限於泡沫混凝土和高強混凝土等特殊用途。此外，SCCT 屬下的一個工作組已經草擬了新的建築標準《CS3: 2012 混凝土骨料》，該標準於 2011 年 11 月底前開展公眾諮詢。

Peter Leung 工程師也向關教授展示了石粉、天然砂和機製砂的篩分實驗結果。實驗結果表明，石粉 150 微米以下顆粒的含量高於 16%，但 0.6 毫米以下顆粒的含量低於 40%；天然砂 150 微米以下顆粒的含量低於 10%，但 0.6 毫米以下顆粒的含量高於 70%。相對地，機製砂顆粒分佈介於石粉和天然砂之間。此外，從石粉，天然砂和機製砂的樣本可見，石粉粒形尖銳有棱角，天然砂粒形圓潤，機製砂粒形則介於尖銳和圓潤之間。

3. 訪問建築業承建商聯會

會面安排在 2011 年 12 月 5 日，出席人士包括：建築業承建商聯會前主席 W.W. Ho 先生，建築業承建商聯會理事會成員 David S.H. Tse 先生，建築業承建商聯會秘書長 K.K. Pun 先生，以及建築業承建商聯會成員 Anthony Y.T. Chan 先生。

建築業承建商聯會（GBCA）表示河砂是打底、抹灰和砌築砂漿不可或缺的材料，但近期河砂有短缺、價格有升高的趨勢。GBCA 認為石粉並非河砂合適的替代材料。這是因為用石粉生產的砂漿非常粘稠而難以用於抹平，而且容易滴下而導致每次實際抹層的厚度減少。此外，用石粉生產的砂漿經常出現縮裂。GBCA 表示他們仍然傾向於使用河砂，希望政府能夠幫助業界入口河砂。如果將來只能使用碎石粉來生產砂漿，他們希望可以把石粉中細於 75 微米或者 100 微米的部分能部分或者全部剔除，從而避免了這些微小顆粒在砂漿塗抹過程中帶來的問題。而對於混凝土生產中可能的河砂替代品，他們並無特別的意見。

關教授承諾會將他們的意見反應給建造業議會和通過建造業議會反應給政府。關教授也表示他會嘗試使用較低微細粉含量的石粉，並研究微細粉含量較低（例如 5% 或者 10%）的石粉是否合適作為砂漿用河砂的替代品。

4. 訪問混凝土製造商協會

會面安排在 2011 年 12 月 19 日，出席人士包括礦業學會香港分會的主席 Ross Chow 先生，礦業學會香港分會成員 Sam Yip 先生，合約石礦商會成員 Andy Kwok 先生。

礦業學會香港分會（IoQHK）和合約石礦商會（CQA）表示他們非常明白現時河砂短缺的問題，也非常希望能夠幫忙解決該問題。他們均認為混凝土用細骨料和砂漿用細骨料並不一樣，因為這兩種細骨料的要求並不相同。

對用於混凝土的細骨料，他們建議微細粉含量最好能夠得到控制，但由於缺乏這方面的研究，他們也不清楚最佳的微細粉含量應為多少。他們亦建議，降低細骨料的含泥量有助於提高所生產的混凝土品質，這在高強度混凝土和高性能混凝土的生產中尤其重要。有些石礦場營運商採用了亞甲藍試驗來檢驗石粉的含泥量，但值得注意的是亞甲藍試驗是只能夠檢測特定幾種泥的含量的化學試驗。此外，目前並沒有一個統一的亞甲藍試驗驗收標準。因此，亞甲藍試驗只適合於生產同種石材的石礦場用來檢測含泥量的變化情況。

如果有市場需求，他們可以通過加工石粉來改善石粉的粒形和粒徑分佈（對於加工後的石粉，他們認為稱為機製砂更為合適）。由於加工增加了生產成本，機製砂會比普通的石粉的價格貴。不過由於天然河砂的價格一直上漲，將來或許使用機製砂作為河砂替代品會比使用河砂更經濟。到目前為止，業界還沒有細骨料和機製砂性能的標準。因而，業界有必要制定一個細骨料的標準，標準會把細骨料分成不同的等級（例如按不同級配極限值、不同微細粉含量，甚至於不同粒形等）。如果所有的細骨料都不分等級，石礦場營運商就沒動力去生產更好的細骨料來滿足市場需要。

他們認為砂漿用細骨料和混凝土用細骨料並不可混為一談，因為混凝土用細骨料不一定適用於砂漿用細骨料。砂漿用細骨料的微細粉含量是一個大問題，因為較高的微細粉含量往往會導致砂漿很難抹平。而他們也收到過由於石粉的粒形尖銳而導致打底、抹灰砂漿面層不平整的投訴。此外，存在大於 2 mm 的顆粒也給碎石細骨料的應用帶來問題。然而，如果有市場需求，他們能夠進行加工使石粉變得更好（加工成機製砂），從而使石粉成為合適的砂漿用河砂替代品。到目前為止，業界還沒有這類材料的規範或標準。因而，業界有必要制定一個細骨料的標準。標準可把細骨料分成不同的等級（例如按不同級配極限值、不同微細粉含量，甚至於不同粒形等）。又或者，承建商或砂漿用細骨料的用家，應當明確指出他們對細骨料的要求，從而讓石礦場營運商生產出符合用者需要的產品。

關教授感謝 IoQHK 和 CQA 提出的寶貴意見。關教授表示他並無亞甲藍試驗的經驗，Sam Yip 先生便向關教授展示了該試驗的實驗儀器，並稱亞甲藍試驗的操作並不困難。Sam Yip 先生也解釋亞甲藍試驗只能測試泥中某些特定的化學成分，並不是含泥量的直接測量方法。關教授補充說，微細粉不能假設全部是泥，因為有大部分的顆粒其實是粒狀材料。以他所接觸的石粉可知，石粉濕水後會變成黃色，用其生產高強度混凝土會帶來 10% 左右的強度下降。關教授猜想石粉濕水後變黃的原因可能是它含有了一定數量的泥。關教授進一步解釋，認為有必要控制石粉的含泥量或者微細粉含量。生產機製砂是個好事情，但業界需要一到兩年的時間去編寫機製砂的標準。關教授建議可以生產一些機製砂的樣本來做測試。至於機製砂這種材料是否受到市場的歡迎則有待觀察。

5. 訪問混凝土製造商協會

會面安排在 2011 年 12 月 20 日，出席人士均為混凝土製造商協會的成員 Jaime Yeung 先生，David Chan 先生，Sam Yip 先生，Henry Tai 先生，C.W. Ko 先生，Alan Wu 先生和 Y.P. Szeto 先生。

混凝土製造商協會（CPA）表示他們早於幾年前就已經開始使用石粉來替代河砂。在普通強度混凝土的生產上，使用石粉並沒有太大的問題。雖然使用了石粉會對混凝土的和易性和強度產生一定的影響，但這些影響能夠簡單地通過提高水泥量和水量來消除。一個稍微困難的問題是高效減水劑的效果受到石粉品質的影響。總的來說，使用石粉代替河砂生產混凝土的方法是可以接受的。然而，有些混凝土生產商仍然更願意使用河砂作為細骨料來生產 80 MPa 以上強度的混凝土。

關於級配極限值和微細粉含量等因素的問題，CPA 希望有一些關於這些因素對混凝土和砂漿的需水量、流變性、強度影響的研究。一些混凝土生產商也反應，由於不同生產商會對生產不同類型混凝土的細骨料級配有不同見解，骨料級配不應該限制得太死。

他們也對石粉微細粉含量的控制上持不同的意見。爭論焦點是，認為微細粉所含不一定全是泥，因而並非必然有害。執行過緊的微細粉含量控制會引起混凝土生產商和細骨料供應商之間的矛盾，該矛盾短時間內難以解決。此外，他們還對骨料是否需要產品認證的問題上持不同意見。但無論如何，業界都需要至少一年的時間去建立產品認證制度和另一年的時間讓石礦場營運商/混凝土生產商去拿到產品認證。

關於砂漿用細骨料，CPA 成員提醒目前已經有英國的砂漿用細骨料標準《BS 1199 和 1200: 天然建築用砂規範》。對砂漿的生產，或許需要新的細骨料。但他們對砂漿用河砂替代品並無特別意見。

關教授感謝 CPA 提供的寶貴意見。關教授說混凝土技術督導委員會已經編寫了基於英國標準的建築標準《CS3: 混凝土骨料》的草案。骨料或許需要產品認證，CPA 可將他們對《CS3》的意見直接反映給混凝土技術督導委員會。關教授補充說，本次研究完結後，他會建議建造業議會開展關於級配和微細粉含量對混凝土各方面性能影響的研究。他個人所在香港大學也會做些實驗來幫助解決這個問題。

6. 訪問進口石材供應商協會

會面安排在 2012 年 3 月 18 日，出席人士包括了進口石材供應商協會（IASA）主席 David Chan 先生，建和石業有限公司（文輝泰集團有限公司的子公司）代表 Jason To 先生，港九 – 中國混凝土有限公司代表 Eric Chiu 先生和 Alan Wu 先生，以及越秀混凝土有限公司代表 Ricky Wong 先生和 Jaime Yeung 先生。

IASA 解釋說，混凝土用細骨料和地盤用砂漿（例如抹灰、打底和地坪）中的細骨料並不相同。他們補充說，雖然在混凝土的生產中，河砂已被石粉所取代，但地盤用砂漿的細骨料仍然無合適的河砂替代品（石粉並不認為是砂漿用河砂替代品）。目前的河砂消耗量（主要用於砂漿生產）大概為每月 13 萬噸，即為每年 150 萬噸，消耗量巨大。此外，河砂近幾個月的價格已經增加至超過每噸港幣 100 元。

IASA 建議，目前有兩個石礦場營運商，建和石業有限公司和友盟建築材料有限公司在生產機製砂，而機製砂被認為是比石粉更好的河砂替代品。機製砂是通過一種新的粉碎/研磨技術生產的，該技術不僅可以減小骨料的粒徑而且可以改善粒形（主要是增加圓滑度）。研磨之後，通過風力篩選可以篩出多餘的微細粉含量並控制細骨料的級配。整個過程是在乾燥環境下進行的，因而不會造成水污染。IASA 指出機製砂可以根據不同的應用需要而訂制，比河砂和石粉更好。當然，探索機製砂的最優性能還需要一段時間。

關於機製砂的標準，他們不希望加入嚴格的規定；反而，他們更希望可以按特性和性能來將機製砂進行分種類和分等級，並讓用家來決定選擇哪個種類和等級。關教授認為，當我們將機製砂分種類和等級時，我們已經為機製砂訂立了特定的標準要求。為了更廣的適用性和達至公平競爭，我們需要一個標準。然而，目前並沒有一個合適的國際標準可供我們使用。

7. 訪問香港建造業分包商聯會、泥水商協會、註冊小型工程承建商僱員協會、香港泥水建築業職工會。

會面安排在 2012 年 6 月 25 日，出席人士包括香港建造業分包商聯會和泥水商協會的代表 Eric C.Y. Tse 先生，註冊小型工程承建商僱員協會的代表 L.M. Chow 先生以及香港泥水建築業職工會的代表 L.S. Chow 先生，P.T. Yeung 先生，W.H. Tse 先生和 P. Wong 先生。會面開始前，Eric Tse 先生對關教授表達謝意，感謝關教授給予僱員協會和職工會這次機會表達他們對河砂短缺問題和砂漿用石粉相關問題的意見。

會議中關於將石粉用作抹灰和打底砂漿用河砂替代品的觀點如下：

- (1) 由於微細粉含量的增加，配置砂漿的用水量通常也需要增加，這導致所拌砂漿容易滴落，也使砂漿硬化後的乾縮增大，導致縮裂更容易產生。
- (2) 對作為砂漿用河砂替代品使用的石粉，最好在使用前篩走多餘的微細粉。有些工人已經嘗試過該種做法並發現可行，但對石粉的篩分處理非常費時費力。
- (3) 然而，微細粉含量應為多少才最適合抹灰和打底工程仍然是個未知數。為了真正解決砂漿用石粉的應用問題，我們建議對不同微細粉含量的石粉進行試驗，來確定砂漿用石粉的最佳微細粉含量。

此外，會議中大家也表達了關於抹灰和打底砂漿用河砂的如下觀點：

- (1) 雖然理論上中國大陸已經停止向香港供應河砂，但目前香港市場上仍能購買到河砂，只是河砂的價格已經飆升到每噸港幣 160 元。
- (2) 在香港砂漿用河砂的消耗量約為每年 100 萬噸，這數字還將隨著基建工程的興旺而上升。
- (3) 由於河砂的細度（顆粒大小）可能變化很大，砂漿的用水量需要不時調整來適應河砂細度的變化。因而，處理好細度的問題需要良好的經驗和技術。
- (4) 即使是河砂也應當經過處理以維持穩定的品質。

關於最適合砂漿用細骨料問題的討論，有觀點如下：

- (1) 適合用於混凝土的細骨料並不一定適合用於砂漿。混凝土用細骨料的尺寸可以為 5.0 毫米，但砂漿用細骨料的尺寸只能為 3 毫米（精確來說是 2.36 毫米）。因而，用於砂漿的石粉應當通過加工以篩走大於 2.36 毫米的顆粒。
- (2) 雖然目前已有工藝可以將細骨料研磨至球狀，但這種工藝並非必要，因為有棱角的細骨料與球狀的細骨料一樣，都適用於抹平。

關於機製砂是否可作為河砂替代品的討論，有觀點如下：

- (1) 機製砂可分為兩種：一種是在水濕的條件下通過水洗細骨料來移除多餘的微細粉製得；一種是在乾燥條件下通過風力篩選來移除細骨料中多餘的微細粉製得。

- (2) 雇員協會和職工會並不反對使用機製砂作河砂的替代品來生產砂漿。他們中的一些成員曾經使用過這類材料，他們對該材料並無負面的評價。
- (3) 但是，相比河砂和石粉，機製砂有著自己的特性。因而，有必要重新培訓工人以熟習在砂漿中使用機製砂。
- (4) 機製砂最好可以以兩種方式供應，一種為散裝供應（每卡車數噸），一種為袋裝供應（每袋 45 到 50 千克）。散裝供應適用於新的工程項目而袋裝供應適用於翻新和混凝土修補。

最後，雇員協會和職工會說出了他們的顧慮。他們擔心出現剝離破壞時，他們會被責怪工藝不佳。他們建議對抹灰/打底工程進行拔出強度和不同環境下的拔出強度退化性進行研究。在研究之後，能有標準或使用手冊可以頒佈，從而給工人提供相應指導。尤其是河砂、石粉和機製砂對砂漿拔出強度影響的研究應包括在內。關教授允諾會轉達他們的觀點給 CIC 以及相關機構。

8. 訪問中華電力香港有限公司，關於爐底灰的問題

關教授嘗試安排與中華電力香港有限公司（CLP）的會面以討論使用爐底灰作為河砂替代品的問題。不過，CLP 未安排會面而是直接用郵件回覆了關教授所提及的各個問題。

CLP 對使用爐底灰作為河砂替代品的相關提問的答覆如下：

- (1) 爐底灰是否已全部用於水泥的生產？
是的，CLP 生產的全部爐底灰都賣給了水泥公司。水泥公司主要使用爐底灰作為水泥生產的一種原料。
- (2) 是否仍有爐底灰被傾倒於煤灰湖或堆填區？
總的來說，CLP 不存在傾倒爐底灰的問題。此外，傾倒爐底灰於曾咀煤灰湖或其他填埋區並非 CLP 慣常的做法，除非水泥公司在爐底灰的處理上出現了問題（例如，主要設備故障或者長時間停機）。
- (3) 是否認為使用爐底灰做為細骨料或者填充料可幫助解決爐底灰處理和河砂短缺的問題？
根據 CLP 所知，中國政府並非完全禁止河砂的出口，而是給出口制定了一個非常嚴格的限制，例如出口限額和出口許可證等，出口限額很可能在不久的將來會被減小。總而言之，如果在河砂緊缺問題上 CLP 有任何能幫忙的地方，CLP 樂意提供幫助。

9. 訪問嘉華建材有限公司，關於廢玻璃的問題

會面安排在 2012 年 7 月 5 日，出席人士包括了嘉華建材有限公司的代表 Alex Lam 先生，Gilbert Lo 先生和嘉華混凝土有限公司的 Andy Kwok 先生。

嘉華公司在會面開始時就表示，目前香港每年生產 12 萬噸的廢玻璃，而只有其中 4% 的廢玻璃得到回收利用，主要用於生產混泥土磚的細骨料和粗骨料。而粉碎玻璃作為骨料來生產地磚的公司只有兩家。嘉華公司補充道，在使用廢玻璃生產地磚方面並無特別的技術難度。主要困難在於從各種管道收集廢玻璃。廢玻璃通常為玻璃樽的形式存在，運輸時佔據很大的體積。因此，用貨車每次只能運送一至兩噸廢玻璃到回收工廠。廢玻璃不能在運送前粉碎，因為廢玻璃裏有可能存在著垃圾，一旦廢玻璃經粉碎垃圾就很難分離掉。因此，嘉華公司只能首先運送廢玻璃到工廠，再在粉碎前把垃圾分離開來。如果政府，或者某些公司，能夠幫助收集廢玻璃並運送到回收工廠，更多廢玻璃就能得到回收利用。

嘉華公司正在研究利用粉碎廢玻璃作為細骨料和 10 毫米粗骨料來生產非承重結構混泥土塊的技術。嘉華公司已經嘗試利用粉碎廢玻璃來代替 20% 的普通石材骨料，結果非常讓人滿意。關教授建議，既然混泥土塊所需強度不高，利用壓碎廢玻璃來 100% 置換骨料或許可行。嘉華公司也在研究利用粉碎廢玻璃作為細骨料和粗骨料來製作透水混泥土。一些試樣已生產出來，而且結果也令人滿意的。

關教授問嘉華公司是否會考慮粉碎廢玻璃來生產砂漿用細骨料用於抹灰、打底和地坪工程。嘉華公司回應說，理論上碎玻璃骨料可作為砂漿用細骨料。然而，生產碎玻璃骨料的成本（包括交通運輸、剔除垃圾、粉碎和篩分等步驟）大概為每噸 1000 港元。在沒有補貼的情況下，採用碎玻璃骨料作為砂漿用細骨料很難市場化推廣。事實上，大部分的成本在於運輸。如果政府或者某些社會企業能幫助收集廢玻璃並運送到回收工廠，生產碎玻璃骨料的成本能大大降低。

關教授表達了他對棄置廢玻璃於堆填區的顧慮，這種做法會消耗掉寶貴且有限的堆填容量。雖然政府正在考慮興建垃圾焚化爐來處理固體垃圾，但是廢玻璃並不能被燒掉因而垃圾焚化爐的興建並不能幫助解決廢玻璃的棄置問題。目前並無方法解決廢玻璃的棄置問題。嘉華公司回應說，作為一個關懷社會的企業，嘉華公司非常願意在解決這個問題上做出貢獻。然而，政府似乎並沒長遠的政策，因而很難讓嘉華公司和其他資源回收公司做長遠投資的決定。

10. 訪問環保署，關於廢玻璃回收問題

香港政府環保署（EPD）獲知關教授正在開展建築業議會（CIC）關於尋找適合的河砂替代品的研究專案。他們建議是否可以考慮採用碎玻璃骨料作為砂漿和非承重混凝土的河砂替代品。他們安排了一個和關教授的非正式會談來交換關於回收利用廢玻璃瓶的意見。該非正式會談安排在2012年9月6日，在香港大學舉行，出席的人士包括首席環境保護主任Alain Lam博士，高級環境保護主任Stephen Siu先生，高級工程師Eddie Leung先生以及關教授。

EPD指出，香港每年產生的廢玻璃樽超過10萬噸。目前，只有4%到5%的廢玻璃得到回收利用並作為預製混凝土塊的骨料。由於缺乏廢玻璃的回收網點，大部分的廢玻璃被作為固體廢棄物棄置於填埋區。他們感謝關教授和CIC在探索更多廢玻璃再利用的可能性方面所做的努力，期望這些有助於建立可持續的玻璃樽回收體系，從而提高香港的廢玻璃回收利用率。

關教授說，預製混凝土地磚在香港的生產量相當有限，因此使用廢玻璃作為混凝土地磚骨料的方法並不能處理掉數量龐大的廢玻璃。在其他國家，關於研磨玻璃至砂粒大小以作為混凝土細骨料使用的研究已經開展。另一方面，鹼骨料反應也是一個業界擔心的問題，但目前尚無定論。鹼骨料反應是否出現可能取決於玻璃種類、廢玻璃骨料細度和混凝土的配合比設計等。同時，因為承重結構的混凝土不允許使用產生城骨料反應的骨料，把利用廢玻璃骨料的方向集中在非承重結構上或許會更好。碎玻璃骨料最有前景的用途可能是作為河砂替代品用於抹灰、打底、地坪和砌築砂漿。在香港，砂漿用細骨料的用量超過了每年100萬噸。如果有10%的砂漿用骨料採用廢玻璃骨料的話，即使不是全部，但大部分的廢玻璃瓶也能夠得到再用。EPD贊成這一想法，因為這方法能在不遙遠的將來增加廢玻璃瓶的回收利用率達到50%。

11. 諮詢嘉華建材有限公司，關於高爐礦渣的問題

通過多次的訪問討論，有建議提到高爐礦渣如果被研磨到砂粒大小（0.15 毫米至 5 毫米），或許能夠作為合適的河砂替代品用於混凝土和砂漿。目前，高爐礦渣主要被研磨至水泥大小（10 微米至 20 微米），作為輔助性膠凝材料。不過，研磨到水泥大小的成本十分昂貴。而如果作為河砂替代品，高爐礦渣只需要被研磨到砂粒大小，因而加工成本有可能大大降低。

為了研究研磨高爐礦渣至砂粒大小作為混凝土或砂漿用骨料使用的可行性，關教授就是否粒化高爐礦渣可作為河砂替代品諮詢了嘉華建材公司。嘉華公司是進口粒化高爐礦渣到香港的主要進口商。在 2012 年 12 月，作為嘉華公司代表的 Andy Kwok 先生回復的郵件中提到：雖然粒化高爐礦渣一般被作為輔助性膠凝材料使用來減少混凝土中的水泥量並能提高混凝土結構的耐久性；但理論上，被研磨到細度比水泥低的粒化高爐礦渣，或者乾脆不研磨的高爐礦渣均可作為細骨料使用。但是，粒化高爐礦渣的價格大約能達到水泥價格的 90%。因此，粒化高爐礦渣是一種昂貴的材料。它已經不是作為廢料，而是作為能增加混凝土性能的外加劑使用了。雖然研磨高爐礦渣到稍低的細度可以減少加工成本，但高爐礦渣原料和運輸到香港的費用加起來仍然相當昂貴，因此從成本上考慮，很難把高爐礦渣與其他河砂替代品相比。實際上，高爐礦渣供應商更願意研磨高爐礦渣至較高的細度，從而可以將其作為粒化高爐礦渣賣到更好的價格。此外，關於高爐礦渣在混凝土或砂漿中持續的火山灰反應的技術難題也依然存在。綜合考慮這些因素，研磨高爐礦渣到砂粒大小作為河砂替代品來使用並非是一個可行的方案。

12. 總結和建議

從這些訪問，我們可以總結出以下的觀點：

石粉作為混凝土用細骨料的適用性：

根據工務中央試驗所、礦業學會香港分會、混凝土製造商協會以及進口石材供應商協會的說法，幾年前香港的混凝土生產商已經開始使用石粉代替河砂來生產混凝土。以石粉作為細骨料應用於普通強度混凝土並沒有太大的問題。雖然使用石粉代替河砂對混凝土的和易性和強度有一定的影響，但這可以通過增加水泥量和水量來補償。不過，一些混凝土生產商還是更願意用河砂作為細骨料來生產強度高於 80 MPa 的混凝土。有些會面人士認為，石粉可以被加工成粒形和粒徑分佈都更好的機製砂，而機製砂可能是河砂與石粉更好的替代品。兩個石礦場營運商已經開始生產機製砂，但目前業界並無機製砂的標準。對不同應用下機製砂的最佳粒徑分佈範圍和微細粉含量仍然有待進一步的研究。

石粉作為砂漿用細骨料的適用性：

訪問中各方均有一個共識，即由於細骨料在混凝土中和砂漿的影響不同，適合混凝土的細骨料未必適合砂漿。建築業承建商聯會、香港建造業分包商聯會、泥水商協會、註冊小型工程承建商僱員協會以及香港泥水建築業職工會，均認為石粉不適合作為砂漿用河砂替代品，因為用石粉生產的砂漿非常粘稠，因而很難抹平。此外，用石粉生產的砂漿需水量更大，塗抹後更容易滴落，砂漿硬化後產生縮裂的風險也更大。此外，還有一個問題是用石粉生產的砂漿可能含有粒徑大於 2 毫米的顆粒，這些顆粒會使砂漿表面變得粗糙且很難抹平。他們堅持認為河砂是生產打底、抹灰和砌築砂漿必不可少的材料。不過，如果被稱為機製砂的材料可以進行加工，使其微細粉含量降至河砂的水準，且剔除粒徑大於 2 毫米的顆粒，他們也會歡迎這類機製砂產品。由於機製砂有不同的特性，因此也有必要對工人進行再培訓。

機製砂作為混凝土和砂漿用細骨料的適用性：

機製砂分兩種，一種是通過水洗法（濕製法）生產，一種是通過風力篩選法（乾製法）生產。濕製法和乾製法的目的都是為了減少機製砂的微細粉含量。此外，有些機製砂被進一步研磨來增加顆粒的圓滑度。不同來源的機製砂會有不同的微細粉含量，粒徑分佈和顆粒圓滑度，這取決於不同的加工的工藝。然而，目前業界並沒有機製砂的標準。兩個石礦場營運商已經開始生產機製砂來滿足香港的市場。根據他們的說法，機製砂目前是模擬河砂來加工，並可直接取代河砂來使用。值得一提的是，河砂的性能會隨著挖掘位置和挖掘深度的變化而變化，而機製砂在工廠是在控制的條件下生產的，因而性能更穩定。此外，通過對機製砂各種性質的管理，能夠根據不同需要生產出相應的機製砂，從而能比使用河砂或石粉生產出更好的混凝土和砂漿。這需要進一步的研究來確定機製砂適用於不同應用所需要的性質，從而發展機製砂的標準和規範。

砂漿用骨料獨立標準的需要性：

既然混凝土用骨料的標準並不一定適用於砂漿，我們需要一個專門適用於砂漿用骨料的標準。在砂漿用骨料的標準中，微細粉含量極限值應比混凝土用骨料的要低。除了設置一個相對低的微細粉含量極限值，也有必要將砂漿用骨料進行分類以適應不同的用途。我們需要開展研究和試驗來確定地坪、打底、抹灰和砌築砂漿的微細粉含量極限值和粒徑分佈要求。而建立本地的砂漿用骨料標準可能需要一段時間。與此同時，我們還應嘗試使用微細粉含量不同的骨料來確定地坪、打底、抹灰和砌築工程合適的微細粉含量極限值，從而可制定出臨時性指引來指導骨料供應商。

爐底灰作為河砂替代品的適用性：

根據中華電力公司所說，燃煤發電生產出來的爐底灰目前被作為水泥生產的一種原料使用。當前並無處理爐底灰的問題。因此，研磨和篩分爐底灰作為混凝土和砂漿用河砂替代品並非可行的方案。

廢玻璃骨料作為河砂替代品的適用性：

目前香港每年產生的廢玻璃約為 12 萬噸，而只有 4%到 5%被回收利用作為骨料用於預製混凝土地磚。環保署非常希望增加廢玻璃的回收利用率到至少 50%。研磨廢玻璃到砂粒大小然後將其作為砂漿用河砂替代品使用是增加回收利用率的一個方法。由於顧慮到可能發生的鹼骨料反應，現階段由廢玻璃骨料生產的混凝土只限於非承重結構。我們有需要開展關於廢玻璃骨料用於砂漿的可行性研究以及研究可能出現的鹼骨料反應。不過，為使將廢玻璃骨料用作河砂替代品的方案成功，更多政府的支援是需要的。

高爐礦渣作為河砂替代品的適用性：

根據嘉華建材有限公司所說，粒化高爐礦渣（研磨至水泥粒徑大小）的價格大概為水泥價格的 90%。因此，生產商更願意把高爐礦渣研磨到一個較高的細度，這樣的售價會比研磨至砂粒大小而作為河砂替代品來賣的價格高。由於可以被研磨加工成輔助性膠凝材料來提高混凝土的性能，高爐礦渣不再是廢料。因此，使用粒化高爐礦渣作為河砂替代品不是一個可行的方案。

– 附錄 B 結束 –