



RPC

應用於軍事機場跑道搶修或修補之研究

教授 陳振川 鄭瑞濱 博士 備役上校 梁賢文

摘要

活性粉混凝土(Reactive Powder Concrete，以下簡稱 RPC)一詞係指法國 Bouygues Corp.於 1990 年開始研發，至 1994 年公開發表之超高強度鋼纖水泥砂漿材料。由於微結構之特殊性，RPC 能同時具備多項優良的材料特性，包括力學性質、韌性及施工性等。

本研究透過 RPC 之配比實驗，發現 RPC 優良之性質，可運用於剛性鋪面搶修及修補，俾利戰機起降或快速通車。本研究初步所達成之 RPC 性質包括：初凝時間 36 分鐘、終凝時間 48 分鐘、2 小時齡期的抗彎強度 693 psi（較現行跑道 28 天齡設計抗彎強度 650 psi 高）及抗壓強度達 3,125 psi 等，並兼具持續成長的長齡期強度特性，較一般早強水泥之修補材料有非常顯著的效益。

從實驗結果顯示，RPC 搶修材料之韌性（Toughness），其 2 小時的韌性指數 $I_5 > 4.5$ 、 $I_{10} > 9.0$ ，符合 ASTM C 1116-96 的第三級規定，此表示 RPC 砂漿鋪面在受到戰機或車輛的反覆載重作用之下，能夠在變形的過程中吸收大量的變形能，展現出優良的韌性能力。

此外，本研究中亦採用 ASTM C78、ASTM C882 規範所規定的三分點抗彎試驗、斜剪試驗來進行新舊混凝土界面的黏裹力試驗，試驗結果顯示 RPC 砂漿可祛除新舊水泥質材料界面黏裹問題的疑慮，是一良好搶修及修補應用的水泥質材料；而其搶修作業時間與所需人力，較搶修包鋪設工法更為快速、節省，最適合作為機場跑道、滑行道及停機坪等處所緊急修復，快速恢復機場戰備功能，俾利空軍戰力之發揚。

Key word：機場搶修、活性粉混凝土（Reactive Powder Concrete, RPC）、剛性鋪面修補、韌性（Toughness）

前言

美國國防部 2005 年 7 月 19 日公布的《中共軍力報告》顯示，台海兩岸軍力失衡，中共軍事力量已超越台灣。報告指出，中共正戮力發展遠程戰略導彈、建設先進戰鬥機和艦艇部隊，目前對準台灣的機動短程飛彈已有 650 至 730 枚，並以每年 100 枚的速度增加；臺海一帶的地面兵力約為 37.5 萬人，且部署了 700 多架戰機，並有一支日益現代化的遠程彈道飛彈部隊。報告中並首度以彩色圖表說明了中共的軍力，包括中共地對空飛彈射程涵蓋台海區域圖、短程和中程彈道飛彈射程涵蓋區域圖等，可一目了然其威脅區內安全之嚴重程度【1】。

中共從不放棄武力犯台，戰時國軍各機場將為敵攻擊之首要目標之一，空軍戰力遭受創傷似可預判。近年來，科技日新月異，無論是空對地或地對地各式武器，其精準度及破壞力均較傳統武器之危害程度更大，尤值得注意的是，中共近期已在廣西雒容地區

部署精密攻擊巡弋飛彈，並積極進行各項測試，根據判斷攻擊目標精準度已達誤差 10 公尺之內的水準，將對我重要政、軍、經設施形成嚴重威脅【2】。另中共亦加強對台各基地進行各項攻擊模擬，例如：國軍 1999 年透過衛星遙測獲得情報，得知中共在甘肅省嘉峪關東北方約 120 公里的鼎新軍用機場附近，已設置一座仿我台中清泉崗機場的模擬機場；由衛星影像顯示，中共所設的模擬機場，不但與我清泉崗機場大小一致、形狀相同，連跑道、機堡、機坪數目、配置的位置也完全一模一樣，研判應為中共飛行員及 M 族飛彈假想攻擊的訓練目標；國防部復於 2005 年公布廣東「大鑊島」上，設有模擬我軍機場供共軍炸射演練，如圖 1、2【3】，其奪我之心，已甚為明顯。

從我國歷次演訓及情蒐研判，兩岸一旦爆發戰事，機場被敵攻擊之可能性幾乎無法避免，當敵之飛彈或飛機攻擊跑道、滑行道及停機坪等處所，雖然國軍可以運用機場內屯儲之搶修包，快速修復，俾利戰機起降，



圖 1、2 共軍模擬我軍機場供共軍炸射演練之相關報導

如圖 3、4，惟作戰模擬中均未對「搶修包」若遭受攻擊而破壞時，做過相關演練，且搶修包鋪設法有轍痕損壞、基層平整度要求較高及前置作業時效長等缺點。而空軍平日機場跑道搶修演練，亦僅是侷限於搶修包之鋪設作業，而未對其他可行之搶修方式，如：快乾水泥法、預鑄版塊法等【4】作過演練，當戰爭爆發，將嚴重折損空軍戰力。目前國軍雖已建構搶修包能量，惟其數量是否足以因應戰爭所需？屯儲方式是否能有效分散風險？遭受攻擊時是否能迅速修復或再整補？除了搶修包，是否須建構其他搶修方式？這些問題，值得國軍深思。

平時，機場跑道剛性鋪面因戰機反覆荷重與超載、基底層結構及應力變化、施工不良及自然環境影響等因素而產生破壞。一旦剛性跑道發生了裂縫、破碎、脫落及凹陷等問題，將影響戰機起降之安全，是以必須適當的加以修補，目前其修補方式大都採用具快速膠結效果、可及早發揮力學強度之環氧樹脂砂漿（Epoxy）修補工法。該工法使用材料之低彈性模數引致與底層混凝土諧和性之

不良黏結，加上容易因日曬雨淋等天候因素引致老化、破裂問題等耐久性缺憾，使得補了再修、修了再補、不斷的補補填填成為剛性鋪面的夢魘，更是機場維護人員心中永遠的痛。戰時，跑道或搶修包一旦被破壞，而跑道搶修作業則是分秒必爭，必須運用一切可能的作為，儘速修復，否則空軍戰力將無法發揚；所以，如何開發一個能夠達到快速搶修、與底層材料間具有良好黏結效果且兼具長期耐久使用的材料，實為一刻不容緩的課題。

活性粉混凝土(Reactive Powder Concrete，以下簡稱 RPC)自 1990 年研發以來，已為美國、加拿大、法國等歐美先進國家廣泛運用於軍事用途【5】，筆者參與歷屆演訓，深感研發軍事機場跑道搶修材料或方式之迫切。經過本研究群年來的研究，確立了 RPC 具備有優良的物理及力學特性，可祛除目前剛性鋪面所使用快速修補材料的缺點，勢將引領鋪面修補問題的思維變革，並提供國軍機場跑道搶修之最佳選擇。



圖 3、4 機場跑道搶修包鋪設演練【4】

跑道搶修材料的要求與既有之鋪面修補材料

2.1 跑道搶修材料的要求

在進行跑道鋪面搶修或修補時，通常希望使用的材料能快速達到戰機起降所需的強度，以符合作戰或戰備的需求。但是實務上卻常發生修補後再破壞的耐久性問題，其中，環氧樹脂材料的修補後再遭破壞便是一例，雖然其初期強度發展較快，但是各齡期的彈性模數卻低於普通混凝土底材，如此一來，當修補材料受外力作用時，將發生兩者之間因為彈性模數的差異而導致變形不均產生破壞（如圖5所示）；所以，修補材料之採用，應以修補成效的耐久性為前提。針對修補之耐久性，有學者提出了所謂的相容性概念，所謂的相容性，便是考量到修補材料與混凝土底材間的物理、化學及體積穩定性間有相當的一致性，若修補材料與混凝土底材的變形不一致時，修補材料與混凝土底材的界面處便會因兩者的變形不均而產生應力，再



圖5 剛性道面修補後再破壞

次破壞。

而修補材料與混凝土底材間的變形相容性，通常又以乾縮、熱膨脹、潛變及彈性模數等四種性質考慮之：

(A)乾縮

乾縮指的是當混凝土材料受到外界溫濕度作用下，導致混凝土材料內部水分的蒸發，而產生收縮之現象；而修補材料在收縮方面的需求最好是能夠達到零收縮的目標，因為混凝土底材經過長期的使用年限之後，收縮的狀態已經逐漸趨於平緩。所以當修補材料澆置完成之後而開始乾縮，此時受到周圍材料的束制作用，於修補材料內部產生張應力，因而使修補材料發生張力裂縫而破壞。因此，修補材料之收縮量值愈低愈佳。

(B)熱膨脹

剛性鋪面由於其處於暴露狀態，所以容易受到外界溫度的影響而產生體積變形，若修補材料之熱膨脹係數與混凝土底材間有明顯的差異時，則兩者受到溫度的影響將產生不均勻的熱漲冷縮，而在界面處產生應力，亦即修補材料最好能與剛性鋪面材質相同，則可減低此項因素對修補成效之影響。

(C)潛變

跑道混凝土底材由於長期受到戰機載重的作用，潛變量幾乎已達一穩定值，所以在修補材料的選擇上，應以潛變量較小者為佳。

(D)彈性模數

修補材料應選擇與混凝土底材彈性模數相近的材料，因為當結合斷面受力時，低彈性模數材料的變形會大於高彈性模數材料之變形，當荷重方向與修補界面平行時，應力



由低彈性模數的材料傳遞至高彈性模數的材料，由高彈性模數的材料承受大部分的荷重，而產生應力集中的現象，進而造成高彈性模數材料的破壞，當受力方向與修補界面垂直時，高彈性模數材料會因為側向變形較小，而對低彈性模數材料之側向變形產生束制作用，在修補界面導致應力集中而破壞。

因此，具快速強度發展的水泥質材料兼具韌性、並具與基材相近的彈性模數與低收縮特性、高強的界面黏裹特性以及良好的施工特性等，是理想的修補材料之考量條件。

2.2 既有之修補材料

目前剛性鋪面的修補材料，依材料性質來區分，可分為聚合物（Polymer）型修補材料及水泥質修補材料兩大類。分述如下：

1. 聚合物型修補材料

(A)環氧樹脂（Epoxyes）

環氧樹脂系大多為A、B劑形式，一為環氧樹脂，另一為硬化劑，由於環氧樹脂砂漿的黏結力高且強度成長快速，相當適合於混凝土結構的快速修補，不過環氧樹脂容易受到紫外線的長期照射而產生脆性劣化的情形，所以需注意其耐久性的問題。

(B)聚脂（Polyesters）

聚酯系統亦包含兩種成分，一為聚酯樹脂，另一為硬化劑，通常為有機之過氧化物，此過氧化物在較高溫度會喪失其活性，故需儲存於陰涼處。

(C)甲基丙烯酸脂（Methacrylates）

甲基丙烯酸酯亦包含兩種組成系統，一為催化樹脂，另一為有機過氧化物，當高黏滯性砂漿與骨材結合時，適合於 3.2~9.5mm

修補厚度之低彈性模數材料。

(D)聚氨脂（Polyurethanes）

具有硬橡膠特性，可與大量之骨材一併拌和，通常適用於一般車庫、破損橋面版或水中結構物修補之用，成本高、老劣化問題嚴重是其在應用上的障礙。

2. 水泥質修補材料

水泥質修補系統與混凝土底材間具有較佳的相容性，但若使用一般的水泥質材料便受限於其強度發展緩慢，而無法達到快速修補的目的，所以可藉由添加早強水泥（ASTM TYPE III）或硫鋁酸鹽水泥（ASTM TYPE K）等特殊水泥，來達到提升水泥質材料早期強度的目的。而所謂的早強水泥一般指鋁酸三鈣（ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{C}_3\text{A}$ ）及矽酸三鈣（ $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{C}_3\text{S}$ ）的含量較一般波特蘭水泥稍多而且水泥的細度較高，因為 C^3A 及 C^3S 的水化速度最快，但因為其水化速度快，所以收縮量大，故施工養護工作需確實依規範要求施作。

綜上所述，環氧樹脂砂漿的黏結力高且強度成長快速，相當適合於混凝土鋪面的快速修補，不過脆性、劣化等耐久性問題有待克服；聚脂在較高溫度會喪失其活性，具施工上的障礙；甲基丙烯酸脂為低彈性模數材料，與修補基材之相容性不佳；聚氨脂具有硬橡膠特性，成本高、老劣化問題需予克服。而一般水泥質材料其強度發展緩慢，無法達到快速修補的目的；添加早強水泥（ASTM TYPE III）或硫鋁酸鹽水泥（ASTM TYPE K）等特殊水泥，雖可達到提升早期強度的目的，但水化速度引致收縮量大是應用上需突

破的癥結。因此目前上述市面上剛性鋪面所採行之修補材料，對於機場跑道之快速搶修，均非理想方式。

RPC 剛性鋪面修補材料的特性

Epoxy 砂漿修補工法雖為業界普遍採用，惟其在日曬雨淋狀況下耐久性能容易喪失，對於跑道上大面積之彈坑，則不適合使用，係其重大缺憾；而 RPC 水泥質材料的特性，保有水泥質材料可耐久的特性，恰可改善 Epoxy 砂漿修補工法之缺失；RPC 作為剛性鋪面修補材料的特性，包括：快速的強度發展、具韌性的表現、與基材相近的彈性模數、低收縮的特性、高強度的界面黏裹能力、便利的施工特性、搶修時效快速等項，是其他修補材料或搶修包鋪設所無法相與比擬，詳如下列說明：

3.1 快速的強度發展

一般而言，水泥混凝土具備有方便取得、容易成形以及絕佳抵抗侵蝕的耐久能力，為土木工程界使用最廣、應用最為普及的材料之一。但混凝土材料力學性質的發展得具備一定的時間，使之應用於需要與時間競賽

的鋪面快速修補問題上受到限制，而無法發揮應有的特色，RPC 恰是此一想法下的一大突破。該材料透過配比的緻密堆積設計、鋼纖維的摻用以及化學添加劑添加等混凝土技術研究，發展而為如表 1、表 2 及圖 6 所示，初凝時間 36 分鐘，終凝時間 48 分鐘，兩小時齡期抗彎強度 693 psi、抗壓強度 3,125 psi，且兼具晚期強度的水泥質快速修補材料。

RPC 修補砂漿短齡期（2~24 小時）之抗壓及抗彎強度成長如圖 6 所示，在 2 小時齡期 RPC 修補砂漿的抗壓及抗彎強度分別超過了可通車標準 20.7MPa（3,000psi）及 4.5MPa（650psi），尤其抗彎強度更超過了國軍現行跑道 28 天齡設計抗彎強度 650 psi，可見其優越之性能。

3.2 具韌性的表現

RPC 材料特性破壞能達到 11,000~30,000J/m²，有如同鋁合金般的韌性，此效能將使剛性鋪面在受到戰機降落等衝擊作用時，可以應變能、破壞能等兩種形式來吸收衝擊能量，達到消能的效果。相較於完全脆性行為之 Epoxy 砂漿而言，無疑是更可耐衝擊的。

表 1 使用原始材料之重量比

I 型水泥黏結料	石英骨材	鋼纖維	化學摻料	W/B
1	1.25	0.08	0.01	0.23

表 2 RPC 修補砂漿各齡期之抗彎及抗壓強度

齡期	2 小時	1 天	7 天	28 天
抗彎強度(psi)	693	991	1,591	2,036
抗壓強度(psi)	3,125	4,690	8,842	15,306

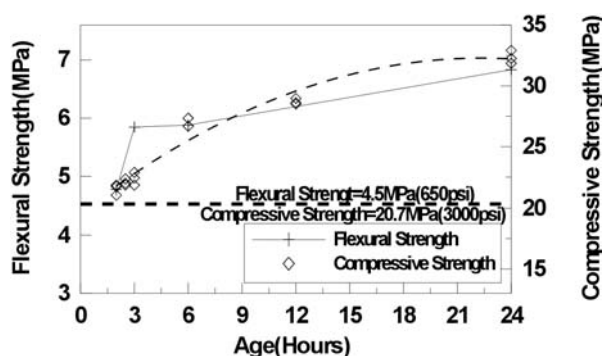


圖 6 RPC 修補砂漿 2~24 小時之抗壓及抗彎強度成長曲線

RPC 由於鋼纖維的添加而兼具韌性，韌性表現的試驗結果整理如表 3 所示。其完全符合民國 82 年中正機場【6】所採用的 ASTM C1116-96 的第三級規定(即 $I_5 > 4.5$ ， $I_{10} > 9.0$)，充分說明 RPC 修補砂漿在受到戰機的載重作用之下，能夠於變形的過程中吸收大量的變形能，展現出優良的韌性。

上述具快速的強度發展、兼具韌性的材料特性，較之目前常用的 Epoxy 快速修補砂漿而言，除可提供戰機快速起降的目的外，

尚且提供了足夠的韌性，避免了 Epoxy 砂漿硬、脆的缺點。

3.3 與基材相近的彈性模數

在修補材料與修復底層的物理諧和問題上，RPC 修補材料為一水泥基質材料，與一般鋪面使用混凝土底層具有一致的諧和性，是一般 Epoxy 修補砂漿所難以望及項背的。

表 4 為透過 ACI 318 之彈性模數預測公式，換算國內兩個重要剛性鋪面設計案例之抗壓強度為彈性模數並與 7 天齡期 RPC、Epoxy 修補砂漿之實測彈性模數的比較結果。由比較中可以看出 RPC 修補材與泰山收費站、中正機場使用混凝土材料彈性模數的比值分別為 0.9 與 0.8。而 Epoxy 砂漿與二者之比值分別為 0.46 與 0.41，Epoxy 砂漿彈性模數較底層混凝土小上許多。此彈性模數的差異顯示 Epoxy 修補材料容易在修補後因為與混凝土底材的變形不均而於界面產生太大的應力而破壞，而 RPC 材料與一般底層混凝土相近的彈性模數，則與底層混凝土有一致均

表 3 RPC 修補砂漿各齡期之韌性指數

齡期	2 小時	24 小時	7 天	28 天
I_5	5.6	5.4	5.0	4.7
I_{10}	12.7	12.0	10.9	9.7
I_{20}	26.6	24.9	24.6	22.3
I_{30}	40.6	36.9	40.8	36.3
I_{50}	70.8	60.6	73.0	63.8

表 4 7 天齡期 RPC、Epoxy 修補砂漿之彈性模數與實例換算模數比較表

	彈性模數 (GPa)	修補材／中山高案例之 彈性模數比值[6]	修補材／中正機場案例 之彈性模數比值[6]
RPC	23.62	0.9	0.8
Epoxy Mortar	12.01	0.46	0.41

勻變形而避免界面應力的發生。

3.4 低收縮的特性

且由於剛性鋪面混凝土底材經過長期使用之後，其收縮量幾乎已達一穩定值，若修補砂漿有較大的收縮量，則由於收縮的不一致，將容易於界面處產生過大應力造成破壞，所以修補砂漿的選擇以收縮量低者較佳。圖 7 顯示本材料依據 ASTM C531 的規定方式，在相對濕度 50 %、23°C 狀況下所進行 RPC 修補砂漿乾縮試驗結果。由圖中可以發現在試體齡期 25 天時其乾縮量為 133×10^{-6} 。此量值較之表 5 中顯示之其他數種修補材料在 20 天齡期、相對濕度 68 % 狀況下的乾縮量值，可以發現 RPC 修補砂漿的收縮量值甚小，此說明 RPC 材料將可以達到與現地混凝土收縮諧和一致的目的。

上述低收縮量的原因，乃是由於 RPC 的配比以顆粒級配堆積方式達到漿體最大的密實性，佐以鋼纖維的抑制效果，形成 RPC 體積穩定，不容易收縮。相較於高分子砂漿的高收縮特性，對於新、舊交界面產生的不正常應力而言，將可大大的減少。

3.5 高強度的界面黏裹能力

修補材料與原混凝土材料間界面黏裹能力的優劣，通常是決定一個修補系統耐久性的重大因素，若新舊材料間未能緊密的結合

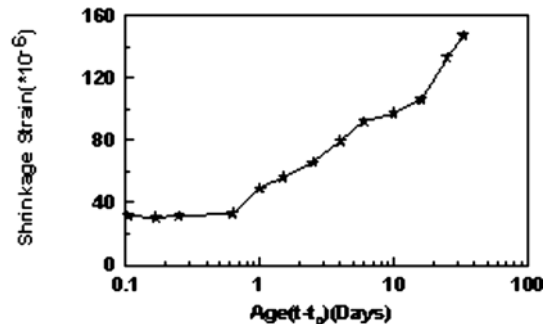


圖 7 RPC 修補砂漿之乾縮量【7】

為一體，則在受到載重作用後，其界面將成為整個修補系統之弱面而分離。所以界面的黏結強度，亦是評估修補材料良窳的重要指標。以任何一種試驗方式來評估修補材料的界面黏裹能力，可以試體的破壞狀況來區分為下列兩類：

(A)黏著界面破壞 (Adhesive Failure)：黏著界面破壞發生於修補材料及混凝土底材界面處，如圖 8 中所示之 AB、AB_S、AB_M 皆為黏著界面破壞之狀況，為修補材料與基材間黏裹強度不足所致。

(B)結合性破壞 (Cohesive Failure)：結合性破壞發生於修補材料或基材之現象，如圖 8 中所示之 CM 為修補材、CS 為基材破壞之狀況。

相關黏裹試驗進行後，透過觀察基材顆粒附著於修補材上之面積比例、修補材附著

表 5 修補砂漿的收縮量 (16°C、68RH)【7】

材料	環氧樹脂砂漿	聚酯砂漿	丙烯酸砂漿	混凝土砂漿	高鋁水泥砂漿
20 天齡期收縮量 ($\times 10^{-6}$)	50	250	240	600	460

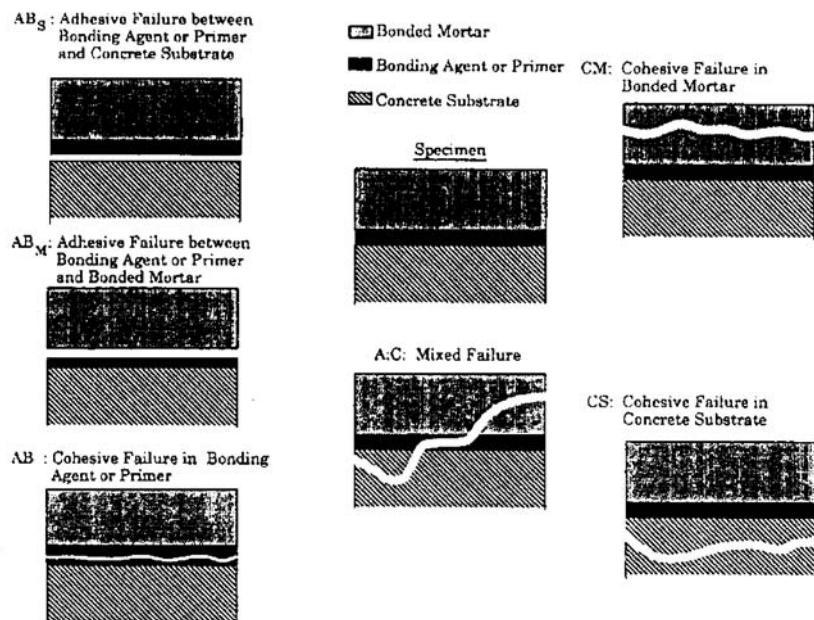


圖 8 結合性破壞發生位置

於基材之面積比例並取二者之和，即可得知修補系統為結合性破壞的百分比，獲致界面黏裹強度的指標，評估修補材料的成效。

界面黏裹能力亦為評估剛性鋪面修補材料的一大重點，若修補材料與舊材料之界面結合能力優良，則修補材料不會因為界面受到過大的剪應力而分離喪失其修補的效能。RPC 材料的界面黏裹能力測試採抗彎黏裹試驗進行，採用 ASTM C78 所規定的三分點抗彎方式來測試，試驗裝置如圖 9 所示。試驗結果顯示一半普通混凝土、一半 RPC 修補砂漿的抗彎黏裹試驗試體，七天齡期的抗彎強度為 357 psi，甚至超過了相同基材強度條件下，環氧樹脂砂漿的結合試體抗彎強度與加上樹脂及聚合物的水泥砂漿，圖 10 的比較可明確顯示出 RPC 與其他修補材料間的優劣【7】；表 6 為十四天齡期 RPC 修補砂漿的結

合斷面抗彎強度，其中試體 3 及試體 4 甚至超越了相同尺寸的一般混凝土（OPC）的抗彎強度。

此外，由圖 11 的破壞狀況來看，基材顆粒附著於修補材上之面積比例約從 79%~100% 間，抗彎黏裹試驗試體之破壞皆屬結合性破壞（Cohesive Failure）模式，而非從黏結處破壞，充分展現 RPC 修補砂漿的界面抗彎黏裹優良能力。

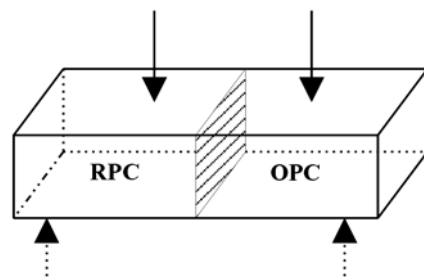


圖 9 抗彎黏裹試驗

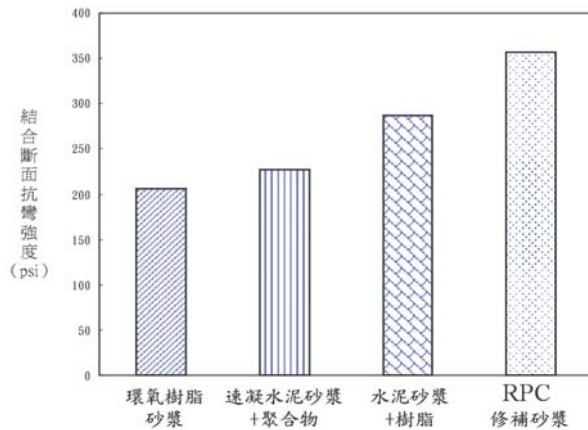


圖 10 結合斷面抗彎試驗比較【7】

除抗彎黏裹試驗外，依據 ASTM C882-78 進行之斜剪黏裹試驗之試驗結果如圖 12 所示，由照片中可看出在 RPC 端試體的破壞有甚大比例的基材顆粒附著於其上，而且試體基材產生部分壓碎。

上述黏裹試驗之基材顆粒附著於修補材上之面積比例約從 44 %~55 %之間，基材附著修補材之面積比例約從 2 %~7 %之間，其餘面積為界面破壞。試驗之試體 1 及 3，界面破壞區域百分比低於修補材/基材彼此附著之百分比，斜剪黏裹試驗試體之破壞屬結合性

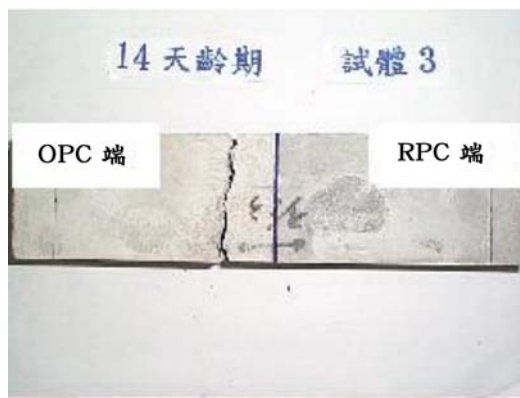


圖 11 RPC 修補砂漿的結合斷面試體破壞狀況

表 6 十四天齡期 RPC 結合斷面試體抗彎試驗結果

試體編號		1	2	3	4
粘裹試體抗彎強度 (psi)		383	560	562	619
破壞區域 面積百分比 (%)	修補材黏結於基材	-	-	-	-
	界面	21	2	0	0
	基材黏裹於修補材	79	98	100	100
與控制試體抗彎強度比%		68.3	99.9	100.3	110.5

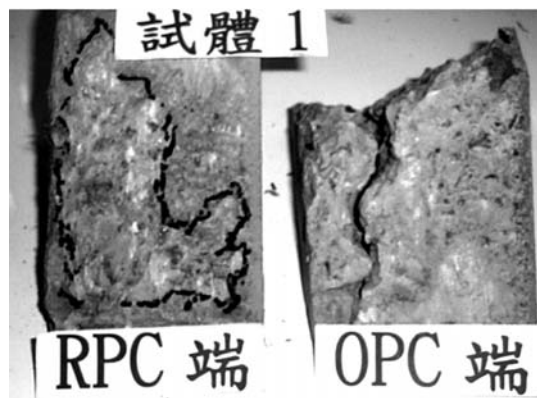


圖 12 斜剪黏裹試驗結果

破壞（Cohesive Failure）模式；而且，試驗之強度資料如表 7 所示，試體 7 天齡期的抗壓強度分別為 32.4MPa、22.8MPa、29.6MPa 所有試體的抗壓強度均大於規範所規定的七天齡期抗壓強度 19.3MPa（2800psi）【7】，因此可以評定 RPC 修補砂漿具有良好的結合

3.6 便利的施工特性

就施工的便利性而言，一般的剛性鋪面快速修補方式，是先將破損的部分予以切除成一凹槽，再澆置修補砂漿以填滿整個修補孔洞，若修補砂漿的流動性佳，則可以免震動擣實，而達到便利施工的目的。透過配比調整之後，RPC 修補砂漿的流度桌流動性可

達到 20 公分以上，如圖 13 所示，比起一般工程上常用的環氧樹脂砂漿（環氧樹脂：砂 = 1：5）的流度 14.5 公分大，更可解決一般混凝土因坍度小不易澆置，工作度不良，滋生蜂窩、材料析離、沁水、強度不足等缺失；而施工機械並無特殊要求，一般業界所使用之預拌設備及車輛即可使用。所以，用 RPC 修補砂漿來搶修或修補剛性鋪面施工極為便利。

3.7 機場跑道搶修時效快速

作戰時，戰場狀況瞬息萬變，唯有掌握主動，爭取時效方能克敵制勝；故機場跑道搶修作業，其時效愈短愈佳。空軍平日機場跑道搶修演練，係採搶修包鋪築法，依「空軍機場跑道搶修作業程序」跑道搶修包鋪築法搶修人時與使用 RPC 之人時比較，如表 8 所列：

以機場跑道重損為例，搶修包鋪築法修復時間（包含各型彈坑填補及搶修包鋪設完成所需作業時間）約需 4 小時，而採用 RPC 施工僅需 3 小時即可供戰機起降。另採搶修包鋪築法須將軍勤隊人數納入國軍年度「輔助軍事勤務人力動員準備計畫」動員，依規定俟國防部勤務召集令發布後 24 小時內完成

表 7 斜剪黏裹試驗

試體編號		1	2	3	平均
抗壓強度(MPa)		32.4	22.8	29.6	28.3
破壞區域 面積百分比 (%)	修補材黏結於基材	7	3	2	4
	界面	49	52	43	48
	基材黏裹於修補材	44	45	55	48
OPC 抗壓強度(MPa)		31.2、33.2			

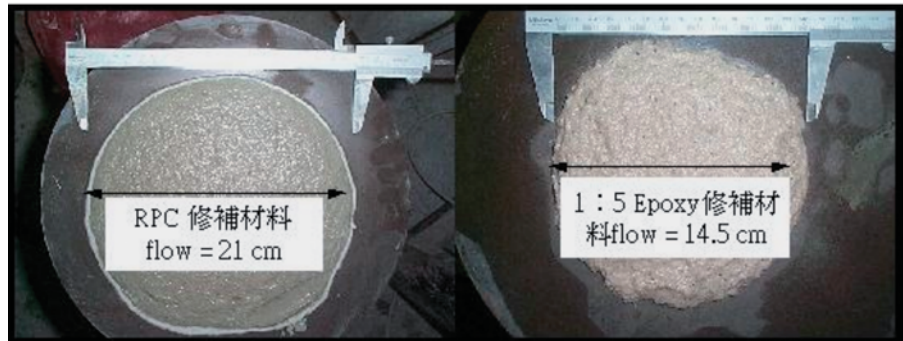


圖 13 RPC 修補砂漿的流度

二組輔助軍事勤務隊勤務召集，並完成勤前訓練，在敵情顧慮下，其搶修作業是否可於時限內完成，不無疑問；而採用 RPC 施工，所需專長人力為民間一般土木營建專長人員即可，市場機制成熟，來源充沛，不須特別訓練即可迅速投入跑道搶修作業。

結 論

當戰事爆發機場為敵攻擊時，任何人都無法保證機場仍可完整地供戰機起降，更不敢把握機場內屯儲之搶修包完好無缺，俗語說「機會是留給有準備的一方」，唯有就戰

爭可能引發之各種狀況，多加演練，並運用各種可能的方式，強化機場搶修作為，多一分準備，便有多一分生存的機會。

本研究初步所達成之 RPC 性質包括：初凝時間 36 分鐘、終凝時間 48 分鐘、2 小時齡期的抗彎強度 693 psi 及抗壓強度達 3,125 psi 等，並兼具持續成長的長齡期強度特性，較一般早強的修補材料有顯著的效益；另外，其 2 小時的韌性指數 $I_5 > 4.5$ 、 $I_{10} > 9.0$ ，新舊水泥質材料界面黏裹力性能優越，提供了理想的鋪面修復問題解決之道，此快速的強度發展、具韌性的表現、與基材相近的彈性

表 8 跑道搶修包鋪築法【4】與使用 RPC 之人時比較

區 分		修 復 範 圍	修復時間	作業人力	備 考
搶修包鋪築法	訓練編組 R-T	修復 1 – 2 處直徑 50 呎彈坑	4 小時	約 60 員	修復時間包含各型彈坑填補及搶修包鋪設完成所需作業時間
	輕損編組 R-1	修復 3 處直徑 50 呎彈坑		約 100 員	
	中損編組 R-2	修復 6 處直徑 50 呎彈坑		約 125 員	
	重損編組 R-3	修復 12 處直徑 50 呎彈坑		約 150 員	
RPC 施工		修復 12 處直徑 50 呎彈坑	3 小時	約 30 員	修復時間包含各型彈坑填補及 RPC 鋪設完成，達到抗彎強度 650psi 之時間。



模數、低收縮的特性、高強度的界面黏裹能力、便利的施工特性、搶修時效快速等項特性，是一良好搶修及修補應用的水泥質材料，最適合作為機場跑道、滑行道及停機坪等處所緊急修復，快速恢復戰備功能，俾利空軍戰力之發揚。

參考文獻

1. 世界新聞報，"中國軍力報告很誇張"，2006.7.20
2. 青年日報，"中共情資面面觀"，2006.1.20 第3版
3. 聯合報，"廣東大鑊島 模擬我軍機場炸射"，94.9.23A4 要聞版，相關報導：自由時報 3 版、中國時報 4 版、蘋果日報 12 版、台灣日報 1 版、台灣時報 1 版，2005.9.23
4. 空軍司令部，"空軍機場跑道搶修程序"，93.7.28 宙壩字第 0930006363 號令，2004.7.28
5. 陳振川、鄭瑞濱、梁賢文，「活性粉混凝土防護性能之研究」，軍備季刊，第6期，2005.11，P105~P124
6. 吳學禮，房性中，「剛性道面修補工程使用鋼纖維材料之成效探討」，台灣公路工程，第22卷，第11期，第18~42頁，1996。
7. 黃偉慶、陳金任，「剛性道面修補之材料及成效評估研究」，國防科技發展推行委員會學術合作研究計畫成果報告，1994
8. California Test 551 "Method of Test for Determining Suitability of materials for Overlayment and Repair of Portland Cement Concrete Pavement and Structure", pp. 4，2000
9. 簡嘉男（陳振川教授指導），"活性粉混凝土於剛性鋪面修補之應用研究"，台灣大學土木工程學研究所，碩士論文，2001。
10. 營建研究院，「超高強高性能混凝土配比及性質研究」期末報告，1996。
11. Chanvillard, G., P.C. Aitcin, and C. Lupien, "Field Evaluation of Steel Fiber Reinforced Concrete Overlay with Various Bonding Mechanism", Transportation Research Record 1226, pp. 48~56，1992.
12. Dobrowolski, J.A. "Materials And Methods of Repair", Concrete Construction, 4th Edition，1995.
13. Gibergues, A.C., F. Saucier, J. Grandet, and M. Pigeon, "New-to-Old Concrete Bonding: Influence of Sulfates Type of New Concrete on Interface Microstructure", Cement And Concrete Research, Vol. 23，pp. 431~441，1993.
14. Joseph, E.P., and P. Haas, "Evaluate Alternative Solutions to Reflective Cracking Through Asphalt Overlays", Transportation Research Record 1215, pp. 282~285，1989.

作者簡介

陳振川，美國西北大學土木工程博士，現任職於台灣大學總務長。

鄭瑞濱，台灣大學土木工程研究所博士，現任職於台灣營建研究院工程技術組組長。

梁賢文，備役上校，國立中央大學土木工程研究所碩士，國防部參謀本部後次室退伍。