

磨石子地坪龜裂原因診斷及防治策略之研究

王和源* 黃兆龍**

關鍵語 磨石子地版、龜裂、養護

摘要 結構物樓地版磨石子表面常有裂縫的產生，不僅妨礙觀瞻，更影響使用性，然而其產生之原因並未被真正探討過，本研究即針對某一建築物之地坪，透過現場勘察、破壞、非破壞檢測試驗分析，及界面顯微觀測等進行全面性診斷，以探討產生翹曲龜裂之原因，作為爾後磨石子施工技術改進的參考。結果指出，產生磨石子翹曲及龜裂的因素主要係 (1)未按合約規範施工；(2)磨石子層及砂漿層之水灰比控制不適當；(3)磨石子層澆置後未適當養護。建議採用下列防治方式：(1)施工規範應明確指出材料配比、水灰比或流度要求、養護狀況等；(2)確保材料品質，採用新鮮水泥，(3)嚴格要求施工品質，新舊層混凝土黏結界面之浮水、雜質應徹底清潔、打毛濕潤，並以較佳配比的水泥漿作妥善的界面處理，(4)加強施工及監工者之協調，並於施工前製作標準試版以求能公平認定同一品質。

一 緒言

樓地版本體混凝土雖然具有優良的抗壓強度及耐久性；但是潛在的也具有抗張力低及多孔隙的缺點，容易受到外在環境（風、濕度、氣溫）變化或載重之影響，而產生差異應力，導致內部或外部產生龜裂，進而擴大為大裂縫，故通常必須適當加以控制，以維持其美觀及耐久性。本研究有鑑於結構物磨石子樓地版常有不同程度的翹曲龜裂現象，因此特探討造成其翹曲剝離之原因及謀求防治對策，以確保其施工品質，並提供爾後磨石子地坪施工技術改進的參考。

二 樓地版構造界面剝離的引因

樓地版構造包括混凝土本體結構、中間

的砂漿調整層以及表面層等三種材料所組成，而其材料品質、施工良窳、環境因素以及界面的處理與黏結力等均與樓地版裂縫的產生有關，茲將界面剝離的可能基因簡敘而下：

(1)水泥系材料乾縮的影響

水泥系複合材料中由於水分的蒸散而導致體積的改變稱為收縮 (shrinkage) [Mindess and Francis, 1985] 現象，此時若各層水泥系材料間收縮性質不同，將導致差異變形，倘變形能力大於材料拉力強度，則發生界面剝離 [Kuma, 1986]。一般而言，水泥系複合材料中用水量越高則收縮量越大，如果未適當設置控制縫 (control joint) 時，則甚易導致界面剝離，或造成表面不規則而不雅觀的裂縫，甚至可能造成混凝土構材的

*國立高雄工專講師, **國立台灣技術學院教授

1989年12月10日受稿, 1990年 1月11日初審修改, 同年 2月27日再審修改通過

破裂 [Fledman and Beaudoin, 1981]。

(2) 水泥系材料表面浮水及乳皮的問題

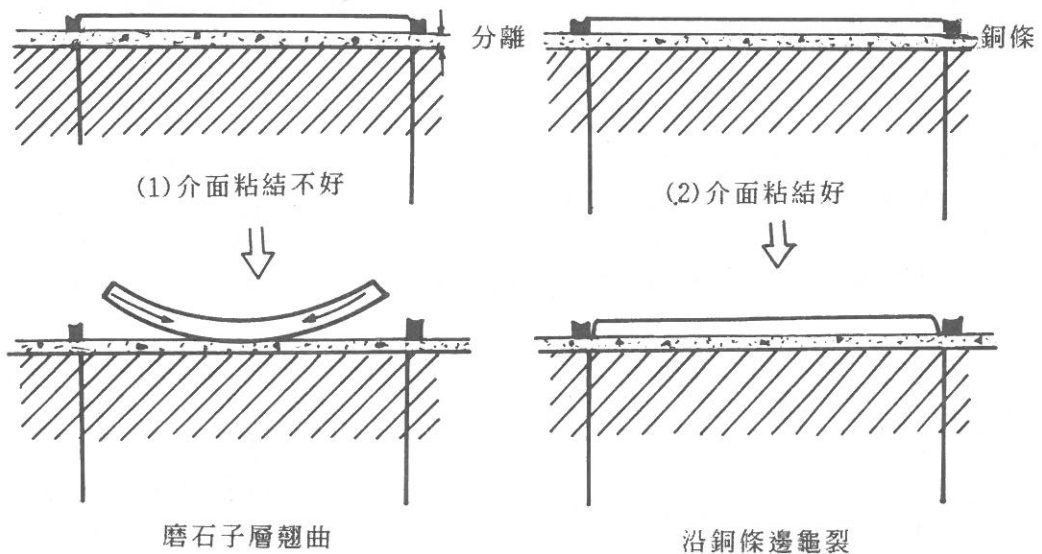
水泥系材料的基本性質為應具可工作性但不可過度析離或過度浮水，如果在水泥系材料表面上尚有其他覆蓋料時，而未能將該浮水引起的白色乳皮徹底清除，則將影響新舊界面間之黏結力。(3) 兩種水泥系材料間界面黏著力的影響 在磨石子地板中，從結構層至表面層，皆屬複合材料；而影響複合材料力學性質與變形，一般包括組成材料性質、組成成份、體積比、塑性化、填充或加強材質之顆粒形狀、大小、分佈、及內部界面之結合狀況等，均須透過內、外應力作用，才能具體詮釋，而應力之行爲，非源於單一機理，係組合了各種材料機理而成，且與微結構之物理特徵有關 [Hwang, 1983; Young, 1981]，理論上，原子鍵結力越大，則粘結力越佳 [Mindess and Francis, 1985; 黃兆龍, 1983]，且粘著強度破壞之發生起自

材料相中強度較弱之處 [Dougill, Wand, 1982; 黃兆龍, 吳東昇, 1986; Hobbs, 1984; 陳新火, 1970]。一般結構物上之瓷磚爲了使界面能確實粘結，必須使用水泥砂漿調整層作爲其界面鍵結之媒介材料 [黃兆龍, 吳東昇, 1986]，但此粘貼界面必須相當清潔方才有足夠的粘結強度，否則極易產生界面剝離的問題，而導致表面層薄版產生翹曲的現象，見圖1 所示。

三 研究範圍與方法

本研究包括現有施工規範的分析及檢討，現場勘察，工地水泥材料品質檢測及施工品質分析等，研究流程如圖2 所示，研究方法如下所述：

- (1) 規範評估：先就施工單位所提供之陸軍後勤司令部工兵署之施工規範及施工說明書等有關磨石子地坪的各項規定進行評估及分析，以瞭解其合理性與可執行性。



〔圖1〕 混凝土材料界面狀況對薄版面層
翹曲之影響及控制縫的控制作用

- (2)現場觀測：觀察水泥之堆置，施工過程、養護方法及分析龜裂模式，並探討產生龜裂之可能原因。
- (3)水泥品質檢測：取不同風化程度的水泥進行各種物理性質之比較及化學成分分析。
- (4)乾縮裂縫試驗：依 CNS 1258 規範規定，水泥與寒水石以1:1 之配比，並嘗試其他不同比例之水泥寒水石，在固定流度的狀況下經由氣乾自然養護方式測定其長度變化，再計算收縮率以比較其乾縮程度。
- (5)試錘試驗：在磨石子地坪於銅條四周有龜裂之典型位置，每10公分見方繪置方格網，再依據 CNS 10732方法依序在每方格點上進行試錘強度，進而描繪等值圖，如此可測定出磨石子與底層界面之品質及預測可能剝離及翹曲的現象。
- (6)鑽心試驗：在磨石子地坪方格內中間帶附近、及近銅條有翹曲處或經試錘測試結果強度被懷疑之處，皆依據CNS 1238規定作

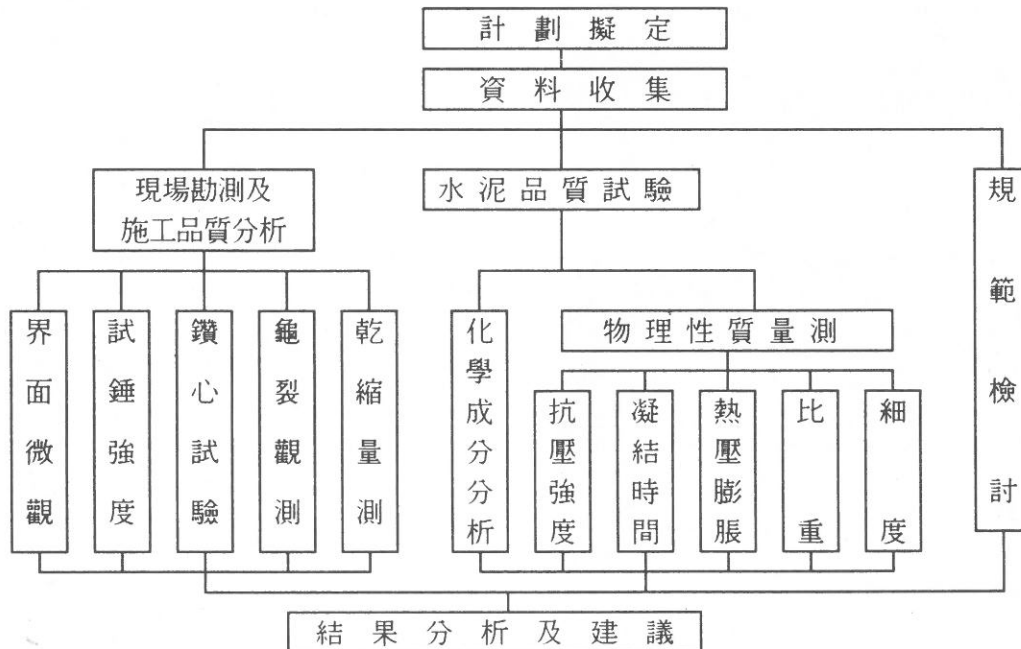
鑽心取樣，並加以裂縫及外觀描述，瞭解其二材料間界面黏結之情形並加以描繪其外觀。

- (7)顯微觀測：取鑽心試驗之試體，於磨石子表面層與砂漿層，及砂漿層與混凝土間的界面，經過試片處理後，以掃瞄式電子顯微鏡進行觀測及EDAX(Energy Dispersive X-ray Analysis) 分析。

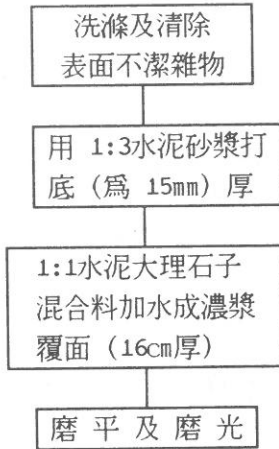
四 結果與分析

1. 施工規範之評估

由施工單位所提供之施工說明書對於磨石子粉刷的工作程序可簡單歸納如圖3 所示。步驟一的目的在確保磨石子層與底層混凝土界面之粘結良好，惟並無定量的說明應清潔至何種程度，此易造成廠商僅用水隨便沖洗即算已清理淨潔的可能性發生。步驟二之目的為作調整層用，其後才以 1:1水泥大理石子混合料加水混合成濃漿，鋪築其上並以木



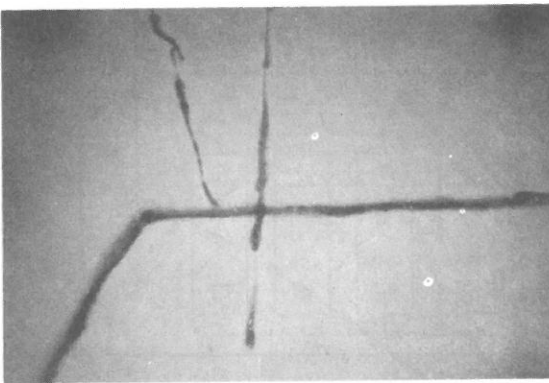
(圖2) 磨石子地板表面翹曲剝裂原因分析及診治方法建議研究流程圖



〔圖3〕 施工單位所提供磨石子地坪粉刷程序圖



〔圖4a〕 角隅翹曲



〔圖4b〕 版面龜裂

〔圖4〕 磨石子地坪龜裂之模式

條拍打使寒水石陷入水泥砂漿中，基本上即會與 1:3之水泥砂漿密切結合，此程序在該規範上並未能詳細說出。同時未設定用水量，以致易產生隨意添加水而造成強度遞減的問題，故似乎應該標明採用之水灰比或使用之流度 (Flow)，才能適當控制品質之標準。依據黃兆龍等研究成果〔黃兆龍，吳東昇，1986〕，建議流度在 50~70%間，其 1:3水泥砂漿及 1:1水泥寒水石灰漿之水灰比分別大約在 0.78及 0.4之值附近為佳。另外該規範無詳細說明養護的方法，很可能即會因廠商未加以適當養護，而提高塑性收縮 (Plastic Shrinkage) 的發生機率。

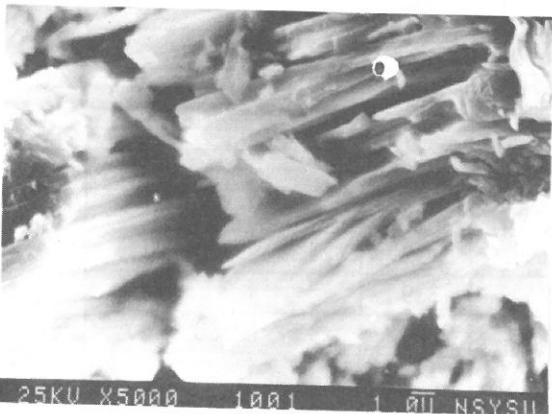
2. 現場觀測評析

現場磨石子地坪龜裂模式有二大類，見圖4，即 (1)角隅翹曲及(2)版面龜裂。角隅翹曲與乾縮量及界面 (磨石子 / 混凝土底層) 鍵結性有密切關係。乾縮為水泥系材料的基本特性之一〔黃兆龍，1985〕，但必需設置控制縫使龜裂沿控制縫下方產生，方不致呈零亂龜裂之形式，磨石子地板之銅條即是當作控制縫來限制裂縫使之沿銅條邊緣產生裂縫，惟此須在界面良好的情況下才成立；然而乾縮產生，或若磨石子 / 混凝土底層介面鍵結不佳時，則磨石子變成薄版結構，當其上方因風力、溫濕度變化等造成收縮現象，而下方仍保持潮濕狀況，此刻磨石子層會在角隅處呈懸空翹曲 (Warping) 的現象，見圖 1。至於版面龜裂，則可能係塑性收縮裂縫。若按該工程施工說明書上之規定加以清理即可預防角隅翹曲的發生，而版面龜裂，則可利用浸水養護的方法加以阻止。另外工地所用水泥常未作好防護措施，任令置放易吸收大氣中之水份而呈局部水化現象，亦會影響磨石子地坪面之強度，以致乾燥後即產生龜裂現象。

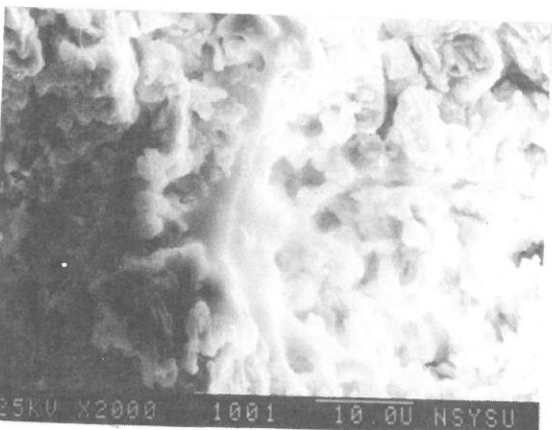
3. 材料品質及配比成分分析

(1) 水泥品質之分析

水泥取樣時 A 廠水泥採取之樣品編號為 (1)、(2)、(3) 三種，而 B 廠水泥編號 (4) 一種，其中編號 (1) 水泥取樣時大部分已呈硬塊狀，顯示有嚴重風化狀態，此由電子顯微鏡照片可清晰看出已大量水化產物及氫氧化鈣產生之跡象，見圖5，水泥之基本化學成分及物理性質詳列如表1 所示。由表中化學成分分析並不能顯示出水泥品質的優劣狀況，惟可觀察其中有害成分的含量，試驗結果顯示兩廠水泥之基本化學成分並無不良組成。同時可看出風化愈嚴重的水泥 (A 廠編號 (1) 及 (2))，其燒失量越大、細度越小、比重越小、強度越小、凝結時間會加



〔圖5a〕已風化水泥顯示氫氧化鈣之方向性結晶



〔圖5b〕已風化水泥顆粒顯示局部水化

〔圖5〕已硬化水泥之顯微圖片〔編號5a之水泥〕

長。

(2)材料配比分析

由實驗室試拌及分析該施工說明書上之規定，可獲得表2 之結果，當配比達到 1:2.5水泥大理石漿時拌和相當困難，比較該規範如圖6 詮釋之圖形知砂漿層與磨石子層之厚度至少在 31 mm以上，而其中水泥寒水石漿厚16mm以上對 90cm~ 100cm 見方之地版面而言，並非為薄版，故如在確實施工狀況下應不會有翹曲的問題發生。

(3)乾縮量分析

基本上，水泥漿用量愈高，則其乾縮越大，即 1:1水泥寒水石漿較 1:2水泥寒水石漿之乾縮量大，因骨材有抑制乾縮的發展，且風化較大的水泥，其乾縮量較小，圖7 比較中水泥 (1)所示。如果合格的施工狀況下，則磨石子面層僅能利用 1:1水泥大理石漿，而其抑制作用完全靠其 1:3砂漿調整層之結合上，使之結合成為31mm之面版，表面乾縮的產生應可受到銅條的控制。

4.施工品質分析

(1)試錘強度測試

依據試驗結果求得平均反彈強度 (X) 與標準偏差 (σ)，用以分析磨石子地版之基本強度品質，並比較中央與角隅數據，進而推測是否會產生翹曲剝離之可能，如圖8 所示之試錘強度等值曲線圖與立體試錘強度圖。其 $X = 32.5$ 及 $\sigma = 3.3$ ，顯示品質普遍低劣，即配比不良、拌合不均勻、推測磨石層將完全剝離。翹曲之可能原因，為水泥砂漿底層頂面未適當清洗潔淨及有泌水乳膜現象以致磨石子層與水泥砂漿底層界面鍵結不良，換言之，即施工品質欠佳所致。

(2)鑽心取樣分析

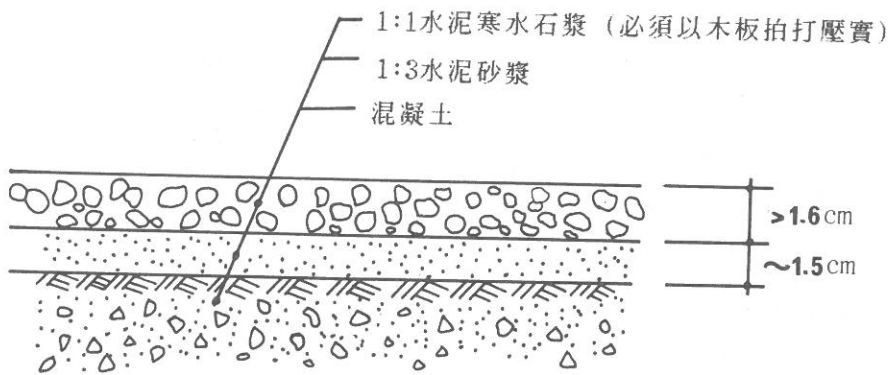
為能徹底瞭解建築物樓地版構造之本體混凝土與砂漿層，以及砂漿層與表面磨石子層之間的粘結強度及應力互制之行為，取樣鑽心試體之描述如表3 所示，磨石子層與砂

[表 1] 水泥化學成分及物理性質

項 目		廠				美國材料及試驗協會 標準 (ASTM C 150)	
		A	B	廠	廠		
		(1)	(2)	(3)	(4)		
化 學 成 分 (%)	SiO	20.75	21.72	21.06	21.84		
	Al O	5.36	5.25	5.49	6.30		
	Fe O	3.30	3.08	7.22	2.85		
	CaO	62.78	62.08	62.07	61.44		
	MgO	1.22	1.24	1.51	2.04	< 6.0	
	SO	2.39	2.46	2.42	1.72	< 3.0	
	Na O	0.26	0.26	0.28	0.13	(Na O+0.658K O)	
	K O	0.86	0.85	0.91	0.63	< 0.6	
	free CaO	0.60	0.60	0.54	1.00		
物 理 性 質	燒失量	4.90	2.86	1.11	0.96	< 3.0	
	熱壓膨脹(%)	0.05	0.03	0.04	0.05	< 0.8	
	細 度(cm /g)	2740	3140	3440	3230	> 2800	
	比 重	3.04	3.12	3.15	3.16		
抗 壓 強 度 kg / cm	3 天	工地砂*	200	207	198	299	—
		標準砂	177	196	193	193	> 126 (1800 Psi)
	7 天	工地砂*	358	328	252	339	—
		標準砂	211	237	290	280	> 197 (2800 Psi)
	28 天	工地砂*	384	390	301	518	—
		標準砂	342	365	417	400	> 281
凝 結 時 間 (m i n)	初 凝	330	290	290	200	> 45 min	
	終 凝	456	390	360	330	< 375 mins	

*工地砂用以瞭解採用現場之砂與標準砂之差異程度，並非測定水泥品質之依據，此僅供參考。

+為在工地暴露大氣中已量風化之水泥。



〔圖6〕磨石子粉刷地坪之示意圖(依據施工單位所提供之施工說明書曲繪)

〔表2〕磨石子地坪材料配比分析

棟 號	廠商使用配比*		實 驗 室 配 比				規 範 規 定
	水泥	石 子	W / C	水泥	石 子	工作情形	
A	1	1.9	0.4	1	2 (加石粉)	良	打底層採用1:3 水泥砂漿厚度1.5cm；磨石子層採用1:1水泥寒水石混合料厚度1.6cm
B	1	1	0.35	1	1	良	
C	1	1					
D	1	1.4					
E	1	2.4	**	1	2.5	不良	
F	1	2.4	**	1	2.5	不良	

* 廠商使用之配比並無規定水灰比(W/C)，依工人之習慣及經驗。

**石子／水泥比例過高，無法施工。

漿層之總厚度均未達到規範規定的 3.1mm 標準。由鑽心試體周面層展開圖，如圖9 所示，版中心附近的骨材級配的分佈均勻，各層分明，且粗骨材以碎石級配居多，可減少翹曲的機會。

(3) 顯微晶相

由掃描式電子顯微鏡作微觀結構觀測，配合EDAX之成分分析佐證，如圖10及12顯示，砂漿層與混凝土層之界面因含有大量的泥土或磚屑雜物，以致於造成界面分離的現象。圖11所示係磨石子表面層與砂漿調整層界面之關係，雖可看出已有水泥的水化產物，且其黏結之界面並不完整，造成兩者界面之分

散因此容易翹曲剝離。

五 結論及建議

(一) 結論

1. 由研究標的所提供之施工規範分析，施工者未能確實遵行最後性能之規定，以致造成翹曲及裂縫之產生。
2. 現場勘察歸納基本龜裂模式為角隅翹曲及版面龜裂，前者推估為磨石子層變為薄版未與下層 1:3砂漿密切結合，而後者推估係未作適當養護及水泥風化所造成。
3. 水泥材料堆置現場受到潮氣之影響致部份

產生水化現象，然而該風化之水泥基本上沒有嚴重影響水泥之強度，但其比重及終凝時間受到較大影響，其燒失量大為增加。

4. 廠商之配比與施工規範略有出入，並且磨石子層與 1:3 砂漿層分離，而磨石子層變成薄版結構，受到表面與下層砂漿未能同步水化而產生翹曲之現象。
5. 依廠商配比製作乾縮試體，結果受風化之水泥其乾縮量並未因而增加。
6. 現場反彈錘強度分析獲知地坪如產生翹曲裂縫時顯示該施工品質及均勻性均不佳，由鑽心試體及 SEM 觀測更可觀察出嚴重泌水及材料分離現象和品質不佳之事實。

(二) 建議

1. 施工規範內容應加以修正：
 - (1) 加列工作性，水灰比或流度之大小，建議水灰比對 1:3 砂漿層為 0.78，而 1:1 水泥大理石層 0.4，或流度為 50 ~ 70% 間。
 - (2) 應指明地坪之清洗應至無鬆散物質，且以白色布塊擦拭無明顯之粉沫存在為止。
 - (3) 應明顯指出磨石子層鋪設完成後馬上加以保護蓄水或鋪濕砂養護以防止塑性裂縫之產生。
2. 加強現場品管作業篩選材料，嚴格控制施工程序及施工規範，確保鋪設厚度及施工品質。
3. 材料拌和應確實且均勻，配料之原則應使施工時無表面明顯之泌水及材料析離的問題產生。
4. 加強施工前，監工者及施工者之再職訓練，以建立共識，並先試做磨石子層試版 (Test panel) 加以性能認定才可容許實際施工。

六 謝辭

本研究進行期間承蒙中山大學材研所陳貴香小姐、台泥公司高雄廠管理課之協助、

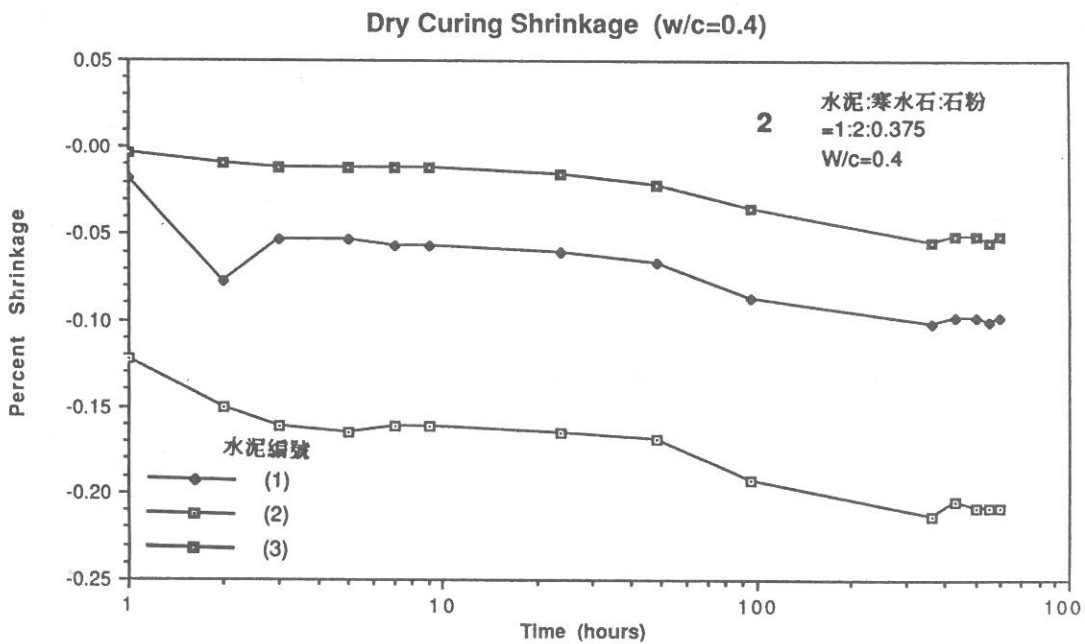
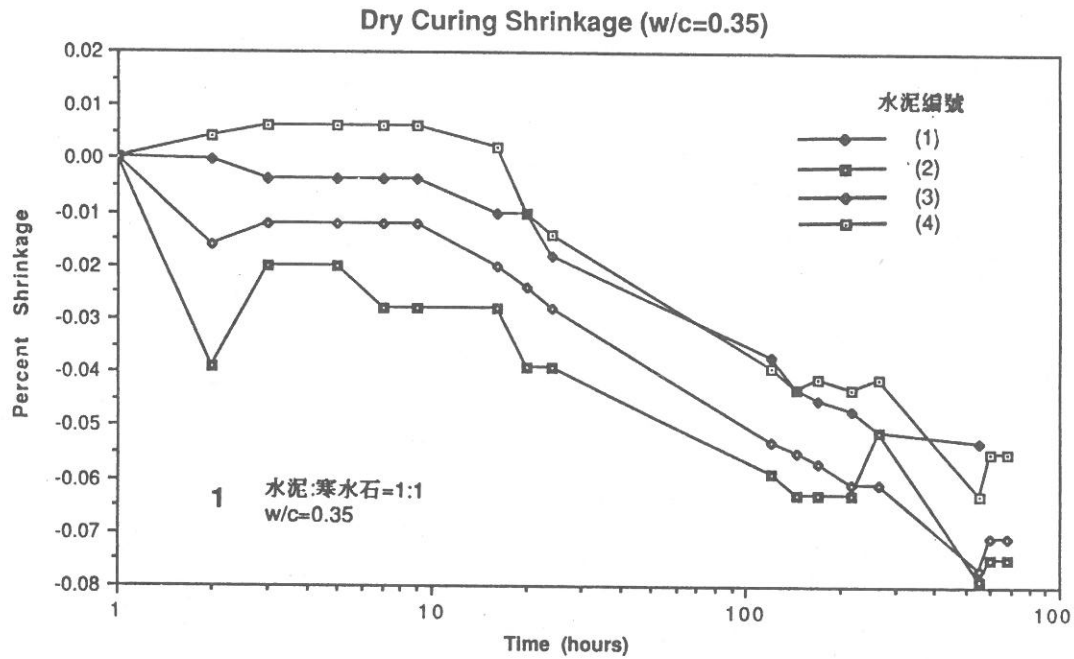
國立台灣技術學院營建材料研究室廖肇昌、Tim Lin 及助理群們；國立高雄工專土木科沈永年老師、曾燈聰老師以及李師義、吳欣翰、許玉常、陳燕青、阮淑鵬、蔡慰龍、呂威璋等諸位同學在試驗及資料整理之幫忙，使得本研究能順利完成，特此致謝。

參考文獻

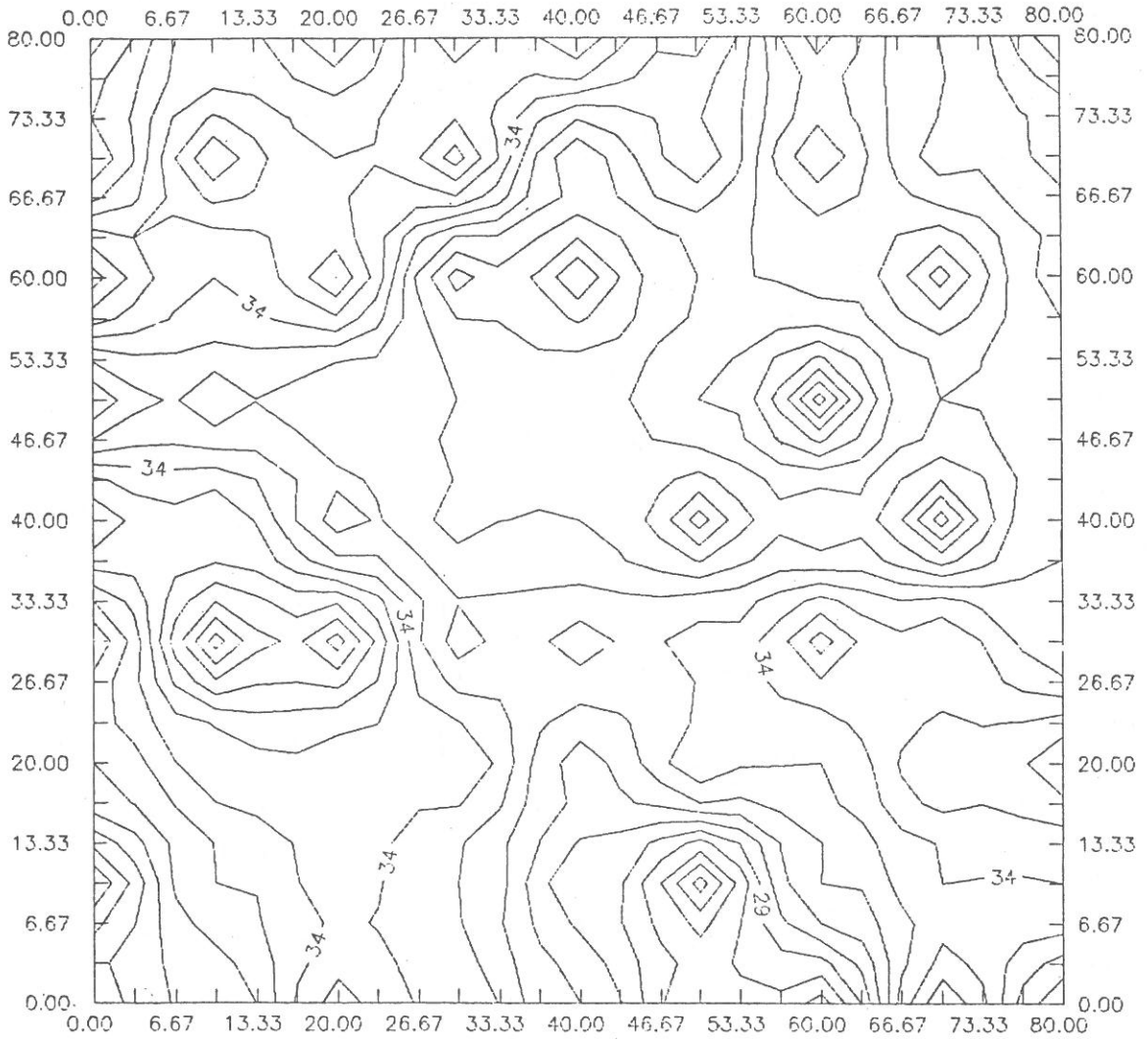
1. 黃兆龍，1983，<<工程材料淺論>>，營建世界，第 31 期，台北。
2. 黃兆龍，吳東昇，1986，"瓷磚工程手貼式施工法與所用材料對粘著強度影響之研究"，私立淡江大學建研所碩士論文。
3. 陳新火，1970，" 混凝土的瞬時及長期應力應變性能 "，土木水利第七卷第二期，台北。
4. 黃兆龍，1985，" 混凝土破裂原因分析及診治建議 "，台灣營建研究中心混凝土技術講習會，台北。
5. Dougill, J. W., Wand Teddy, J. Hirsch, 1982, "Modulus of Elasticity of Concrete Affected by Elastic Modulus of cement Matrix and Aggregate", ACI Journal, Vd. 59, No 3, ACI.
6. Hobbs, D. W. , 1984, "The Dependence of the Bulk Modulus, Young's Upon aggregate Volume Concentration", ACI Journal, Vol. 71.
7. Hwang Chao-Lung, 1983, Drying Shrinkage and Microstructure of Hardend Cement Pastes, Ph. D. thesis, University of Illinois.
8. Mindess S. and J. Francis Young, 1985, Concrete, Prentice -Hall, N.J.
9. Mehta, P. kuma ,1986, << Concrete Structure, Properties, and Materials >>, 民全書局，台北。
10. Ramachandran, V.S., R.F.Fledman, J. J.

Beaudoin, 1981. <<Concrete Science>>. National Research Council, Canada.

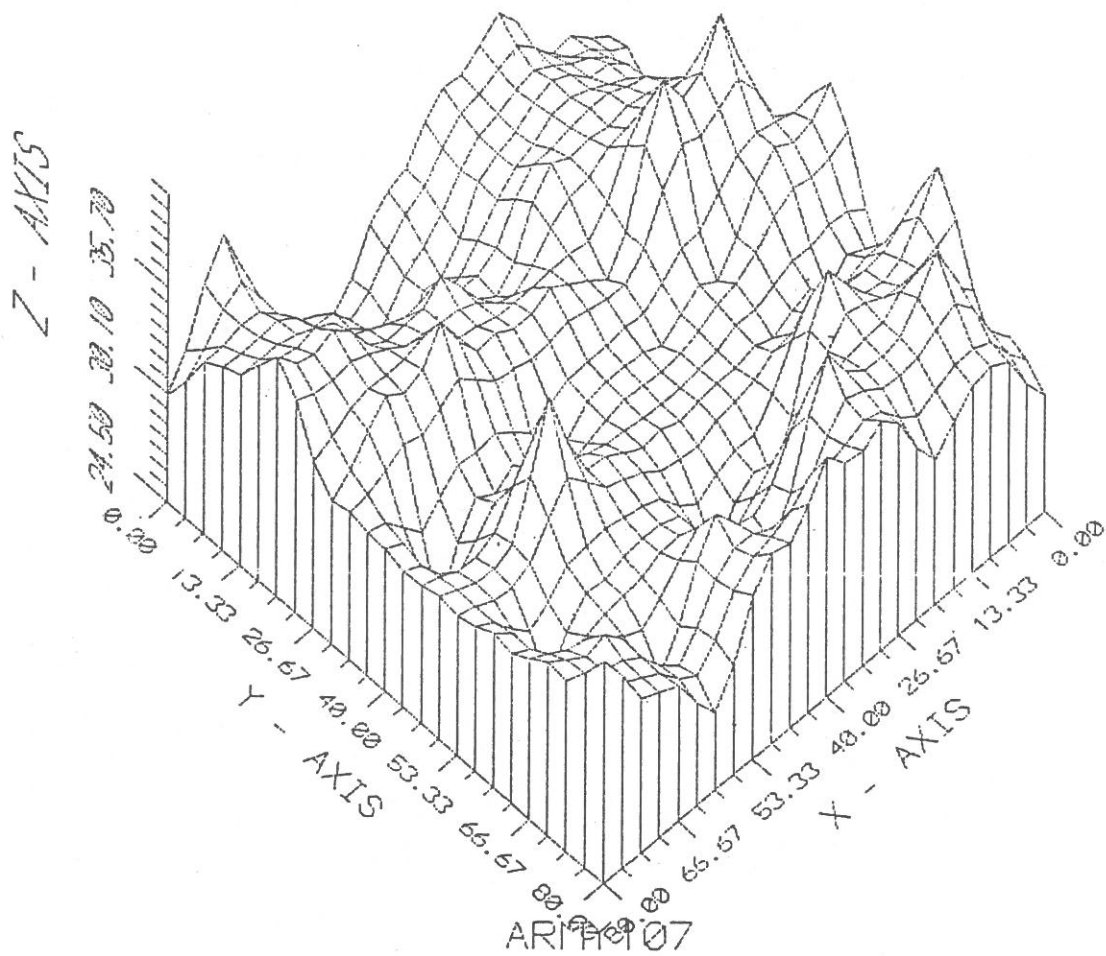
11. Young, J.F., 1981. Hydration of Portland and Cement. EMMSE, Materials Research Laboratory.



〔圖7〕 水泥/寒水石配比及水泥品種不同之乾縮量發展圖


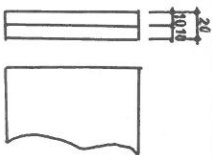


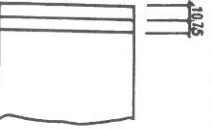
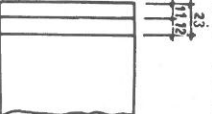
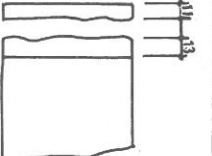
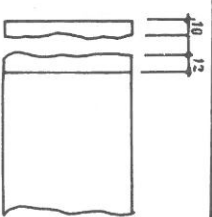


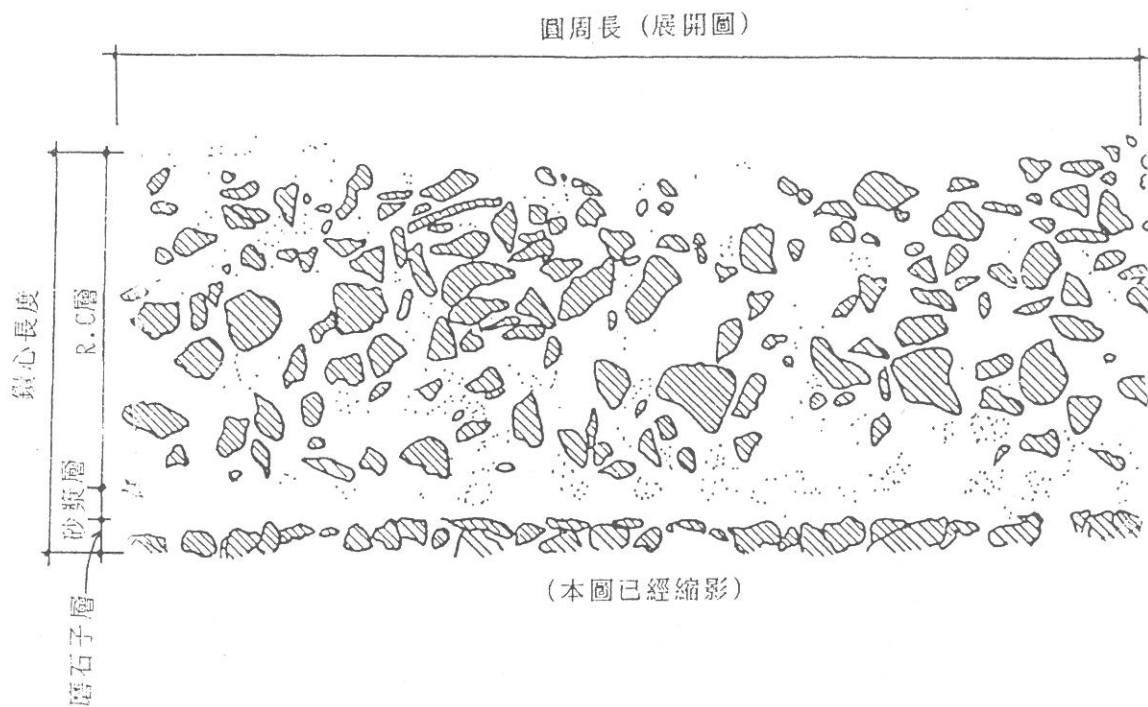
(圖8a) 位於編號E棟之試錘測試等值圖(在四隅有翹曲處之磨石子地坪進行多面之測試)



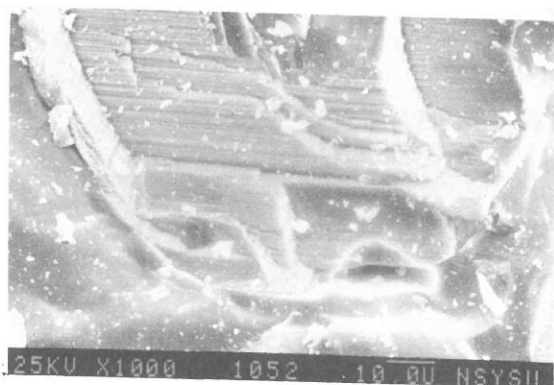
(圖8b) 試錘測試三維圖

[表3] 磨石子地板鑽心試體描述

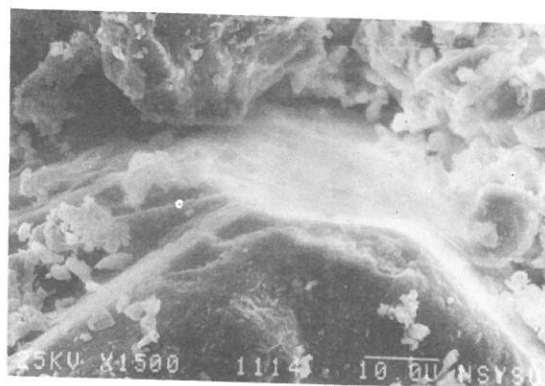
編號	示應圖	外觀描述
A-邊	磨石子 砂漿層 	<ul style="list-style-type: none"> · 1:3砂漿底層與RC層完全分離 · 砂漿底層有草灰、泥土等雜質 · 磨石子及砂漿層厚度21mm
A-中	磨石子 砂漿層 R.C層 #3鋼筋 	<ul style="list-style-type: none"> · PC底層有大量泥土，少量草灰、白灰及嚴重浮水 · 砂漿層與RC層分離 · 磨石子及砂漿層厚20mm
B-邊	磨石子 砂漿層 	<ul style="list-style-type: none"> · 磨石子與砂漿未分開 · 磨石子厚度10~14mm不等 · 砂漿層有少數蜂窩 · 砂漿底層有很多雜質、磚屑、土等 · 砂層及RC層漿完全分離
B-中	磨石子 砂漿層 	<ul style="list-style-type: none"> · 磨石子、砂漿層與RC層分離，且磨石子厚度11mm · 磨石子與砂漿層之黏結層略有浮水及雜質
C-中	磨石子 砂漿層 R.C層 	<ul style="list-style-type: none"> · 各層分明，黏接力良好 · 無裂縫，磨石子光滑 · RC層下方之級配下陷約5cm (淘空) · 厚度17.5mm
C-邊	磨石子 R.C層 	<ul style="list-style-type: none"> · 各層分明，黏接力良好 · 無裂縫，磨石子光滑 · RC層下方之級配下陷約5cm (淘空)
D-中	磨石子 砂漿 R.C 鋼絲網 	<ul style="list-style-type: none"> · 磨石子層與砂漿層分離 · 分離處無雜質略有浮水 · 砂漿、RC接觸良好 · 磨石子及砂漿層厚度24mm
D-邊	磨石子 砂漿 R.C 	<ul style="list-style-type: none"> · 磨石子層破裂 · 磨石子及砂漿層厚度22mm · 磨石子層與砂漿層分離 · 砂漿與RC層接觸良好 · 磨石子底層有粉層浮水 · RC座層有少許蜂窩 · 無鋼絲網



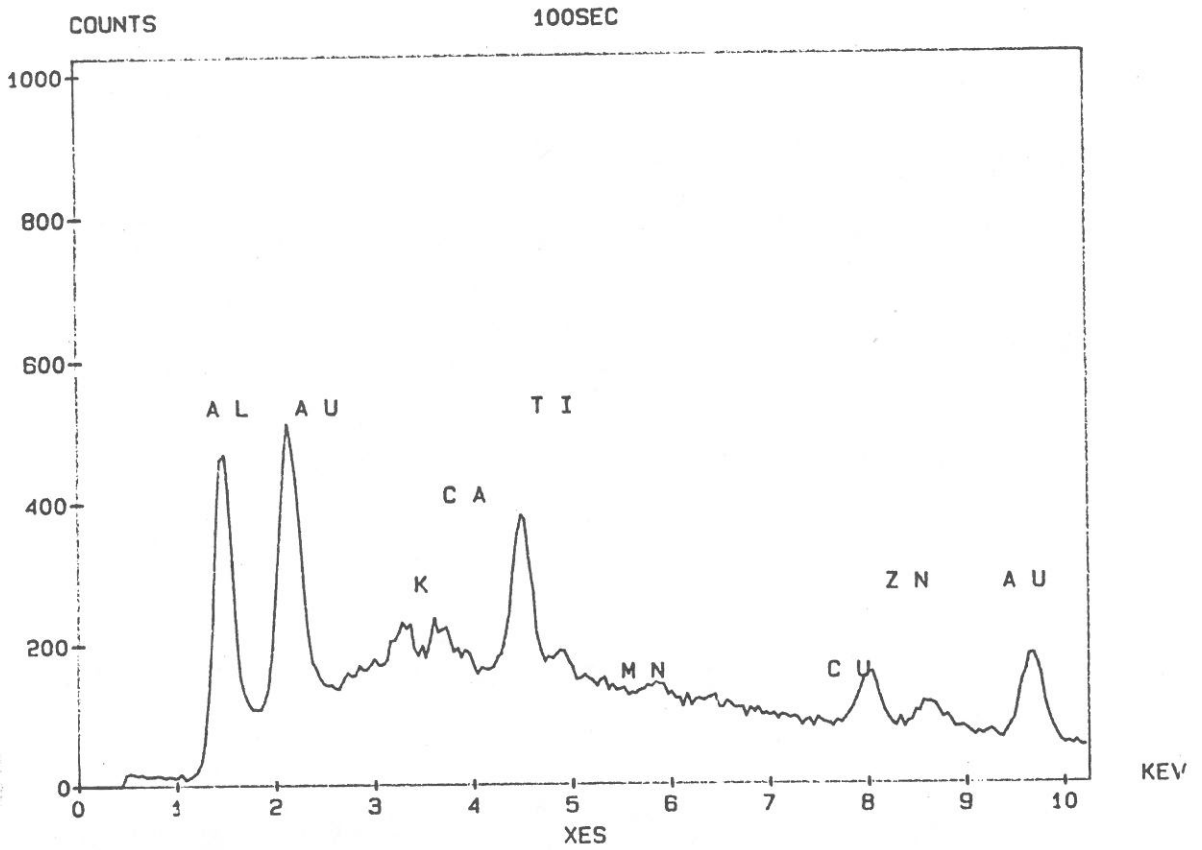
〔圖9〕 編號C-中心版銅條邊鑽心試體周面展開圖 (斜線部份表粗骨材)



〔圖10〕 編號B-邊鑽心試體砂漿層與混凝土
界面 (含有雜質) 之SEM顯微圖片



〔圖11〕 編號B-中鑽心試體砂漿層與磨石層
界面 (分離) 之SEM顯微圖片



[圖12] 編號B-邊鑽心試體砂漿與混凝土界面(有雜質)之EDAX分析

Causes and Restoration Strategy of Cracks on Terrazzo Floors

by **Her-Yang Wang**, Instructor, National Kaohsiung Institute of Technology and **Chao-Lung Hwang**,
Professor, National Taiwan Institute of Technology.

KEYWORDS Terrazzo Floors \ Crack \ Curing

ABSTRACT Cracks on terrazzo floor induce problems not only in serviceability of buildings , but in psychological effects of the inhabitants. This paper intends to study the possible causes of the cracks through on-site tests and laboratory investigation , such as destructive and non-destructive tests and microscope observation. This paper intends to build up practice criteria for preventing undesirable defeats in terrazzo floors. The test results indicate the possible defeats may be caused by: (1) construction practice unconfirmed with contract/specification , (2) unsuitable water/cement ratio , (3) inadequate curing , and (4) loose inspection program. The concerned straeegies for terrazzo floor design and construction are built up according to these possible causes of defeats..

