

不銹鋼爐渣含量對 CLSM 材料抗壓強度之影響

沈永年*、孫德和、鍾文豪

Compressive Strength of Controlled Low Strength Materials Containing Stainless Steel Slag

Y. N. Sheen*, T. H. Sun, W. H. Chung

摘 要

本研究係探討以氧化渣取代細骨材及以還原渣取代膠結料，對高流動性低強度材料 (CLSM) 之強度發展影響。研究變數包括水膠比為 1.1、1.3 與 1.5；CLSM 膠結料固定為 130 kg/m³；還原渣取代膠結料比例為 0%、25% 及 50%，一般型 CLSM 之氧化渣取代細骨材比例為 0%、50%、75% 及 100%，早強型 CLSM 之氧化渣取代細骨材比例為 0%、50% 及 100%。研究結果顯示，利用氧化渣與還原渣可製作出坍度大於 20 cm、28 天齡期抗壓強度小於 30 kg/cm² 之 CLSM 材料。當氧化渣取代細骨材比例愈高時，不銹鋼爐渣 CLSM 之超音波波速亦愈高，並且凝結時間相對減少。不銹鋼爐渣 CLSM 之還原渣取代膠結量愈高時，其凝結時間愈長，而超音波波速與抗壓強度則相對降低。

關鍵字：不銹鋼氧化渣；不銹鋼還原渣；CLSM；抗壓強度。

ABSTRACT

The purpose of this research is to determine the compressive strength of the Controlled Low Strength Materials (CLSM) containing both the Stainless Steel Oxidizing Slag (SSOS) and the Stainless Steel Reducing Slag (SSRS). The test variables include the general type (28-day compressive strength < 30 kg/cm²) and the early type (1-day compressive strength > 5 kg/cm²). The binder amount is 130 kg/m³, and water to binder ratio (W/B) are 1.1, 1.3 and 1.5. The weight ratios of SSOS replacing the fine aggregate are 0%, 50%, 75% and 100%. The weight ratios of the SSRS replacing the binder are 0%, 25%, and 50%. The results show utilizing SSOS and SSRS can produce CLSM which slump larger than 20 cm. The compressive strength of 28 days of CLSM consists of the Stainless Steel Slag less than 30 kg/cm². As the SSOS replace the fine aggregate more, the unit weight and pulse velocity of CLSM raise, but the setting time reduce. As the SSRS replace the binder more, the pulse velocity and the compressive strength of CLSM reduce, but the setting time of CLSM increase relatively.

Keywords: SSOS; SSRS; CLSM; Compressive strength.

1. 前言

近年來世界各國為提昇填方工程品質、降低人力成本與交通影響之衝擊，發展出一種低強度且具高流動性、自充填性之回填材料，稱為控制性低強度材料(Controlled Low Strength Materials; CLSM)。ACI 229R^[1]將 CLSM 定義為一種 28 天抗壓強度不超過 84 kg/cm² (1200 psi) 的材料，可使用於包括管線埋設回填工程、路基更新整修或背填擋土等工程。在最近營建工程技術的發展上，CLSM 已可取代一般常用的級配料作為開挖後回填之材料。但目前 CLSM 之設計應用仍無相關規範可遵循，且為避免受限於行政規章約束，各工程單位使用意願低且採用較寬鬆之規定值。由於 CLSM 材料對於骨材之要求無特殊限制，在骨材資源日益匱乏情況下，若採用天然骨材製作 CLSM 似乎不符合經濟效應，且在政府推廣綠建築的政策下，再生骨材為綠建築與永續發展的一項新思維。廢棄土石方、水庫淤泥、廢棄混凝土、廢鑄件料、水泥窯底灰等，皆可作為拌製 CLSM 的材料^[2-6]。在煉鋼工業中不銹鋼業佔相當重要的地位，但不銹鋼爐渣之回收應用的相關研究較少。本研究之目的係探討以不銹鋼爐渣取代細骨材與膠結料，來產製不銹鋼爐渣 CLSM 之可行性，並探討其抗壓強度發展，及應用超音波及低強度反彈錘，建立非破壞檢測評估方法，期能達到不銹鋼爐渣資源回收再利用與提昇產業競爭力之目的^[7]。

2. 研究計畫

本研究之 CLSM 包含不銹鋼氧化渣(SSOS)與不銹鋼還原渣(SSRS)兩種材料，由於至目前並無 CLSM 材料之標準配比設計方法，故依重量比例方式設計 CLSM 材料之配比，以坍度大於 20 cm、1 天抗壓強度大於 5kg/cm²(早強型)以及 28 天抗壓強度不超過 30 kg/cm²(一般型)為設計目標。研究中將 CLSM 之膠結料用量固定為 130 kg/m³，並添加 25% 飛灰量取代膠結料以增加流動性，水膠比 W/B 為 1.1、1.3 與 1.5；而膠結料：粗骨材：細骨材為 1：4：8。CLSM 配比中使用輸氣劑及速凝劑，使用輸氣劑目的為增加 CLSM 工作性；而速凝劑則使用於早強型 CLSM。氧化渣取代細骨材部份，一般型不銹鋼爐渣 CLSM 之氧化渣取代細骨材比例為 0%、50%、

75%及 100%；早強型不銹鋼爐渣 CLSM 之氧化渣取代細骨材比例為 0%、50%及 100%。還原渣取代膠結料部份，取代比例為 0%、25%及 50%，希望能降低水泥用量以節省成本，本研究之 CLSM 配比資料，如表 1 及表 2 所示。在資源再生利用及永續發展之目標下，求出不銹鋼爐渣 CLSM 之最佳工程性質配比，並應用非破壞檢測技術探討不銹鋼爐渣 CLSM 之強度發展特性，以有效評估施工時程與品質，以達到縮短工期之效益，並提升不銹鋼爐渣的經濟價值，降低對環境污染的衝擊與達到資源回收再利用目的。

3. 結果分析

3.1 CLSM 坍流度與修正流度之相關性

CLSM 之特性為低強度與具充填性，即藉由材料之自流动性、免夯實性能，使 CLSM 可作為回填夯實的替代性材料來完成現地回填施工。在道路工程常使用抗壓強度為 140 kg/cm² 的混凝土作為回填材料，並常利用坍(流)度試驗作為判斷現場工作性良窳的依據。對結構鬆散的 CLSM 而言，配比常添加過量拌合水，使能達到相當高的流動性，若要達到高流動性且不產生析離，則須添加細粒料以提供足夠的凝聚性。又 ASTM 判斷 CLSM 工作性係以修正流度試驗作為依據，故本研究乃要建立坍(流)度試驗與修正流度試驗之關係性，以作為評估現場 CLSM 工作性之參考。就 CLSM 新拌工程性質而言，可求得坍(流)度與修正流度之相關性，則可由坍(流)度試驗來判斷 CLSM 工作性良窳。圖 1(a)與(b)為一般型與早強型不銹鋼爐渣 CLSM 之坍(流)度與修正流度關係，圖中顯示流度與修正流度具有較佳的相關性。表 3 為一般型不銹鋼爐渣 CLSM 工程性質分析，表中*者為符合研究設計目標，即坍度大於 20 cm、坍流度大於 40 cm，28 天抗壓強度小於 30 kg/cm² 等工程性質，並符合不產生析離現象，其初凝時間介於 4 至 16.7 小時。表 4 為早強型不銹鋼爐渣 CLSM 工程性質分析，表中*者為符合研究設計目標，即坍度大於 20 cm、坍流度大於 40 cm、1 天抗壓強度大於 5 kg/cm² 以及 28 天抗壓強度不超過 30 kg/cm² 等工程性質，在拌製過程中無析離現象，其初凝時間介於 3.6 至 11.5 小時，可供工程單位作為施工參考。

3.2 不銹鋼爐渣 CLSM 強度發展

圖 2 為還原渣取代不同比例膠結料一般型 CLSM 於 1 天與 28 天齡期之抗壓強度。結果顯示還原渣取代膠結料比例愈大，則抗壓強度相對愈低；以取代膠結料 0% 的抗壓強度為最高，其次為取代膠結料 25%，最低為取代膠結料 50%。當 W/B=1.1 及取代膠結料 0% 於時，其 1 天的抗壓強度皆可達到 5

kg/cm² 以上，且隨著 W/B 愈大，所獲得之抗壓強度則明顯降低許多。齡期 28 天時，大部分抗壓強度皆低於 30 kg/cm²，達到預定的設計目標，能有助於工程的再開挖性。圖 3 為還原渣取代不同比例膠結料早強型 CLSM 於 1 天與 28 天齡期之抗壓強度。結果顯示隨取代膠結料比例愈大，抗壓強度相對降低，其中以取代膠結料 0% 的抗壓強度為最高，其次

表 1. 一般型不銹鋼爐渣 CLSM 配比資料。

Table 1 Mixture proportions of general type CLSM containing stainless steel slag.

W/B	還原渣 取代比例(%)	氧化渣 取代比例(%)	配比材料(kg/m ³)							
			W	C	SSRS	F	G	S	SSORS	AE
1.1	0	0	143	97.5	0	32.5	520	1040	0	0.13
		50	143	97.5	0	32.5	520	520	520	0.13
		75	143	97.5	0	32.5	520	260	780	0.13
		100	143	97.5	0	32.5	520	0	1040	0.13
	25	0	143	73.12	24.38	32.5	520	1040	0	0.13
		50	143	73.12	24.38	32.5	520	520	520	0.13
		75	143	73.12	24.38	32.5	520	260	780	0.13
		100	143	73.12	24.38	32.5	520	0	1040	0.13
	50	0	143	48.75	48.75	32.5	520	1040	0	0.13
		50	143	48.75	48.75	32.5	520	520	520	0.13
		75	143	48.75	48.75	32.5	520	260	780	0.13
		100	143	48.75	48.75	32.5	520	0	1040	0.13
1.3	0	0	169	97.5	0	32.5	520	1040	0	0.13
		50	169	97.5	0	32.5	520	520	520	0.13
		75	169	97.5	0	32.5	520	260	780	0.13
		100	169	97.5	0	32.5	520	0	1040	0.13
	25	0	169	73.12	24.38	32.5	520	1040	0	0.13
		50	169	73.12	24.38	32.5	520	520	520	0.13
		75	169	73.12	24.38	32.5	520	260	780	0.13
		100	169	73.12	24.38	32.5	520	0	1040	0.13
	50	0	169	48.75	48.75	32.5	520	1040	0	0.13
		50	169	48.75	48.75	32.5	520	520	520	0.13
		75	169	48.75	48.75	32.5	520	260	780	0.13
		100	169	48.75	48.75	32.5	520	0	1040	0.13
1.5	0	0	195	97.5	0	32.5	520	1170	0	0.13
		50	195	97.5	0	32.5	520	585	585	0.13
		75	195	97.5	0	32.5	520	292.5	877.5	0.13
		100	195	97.5	0	32.5	520	0	1170	0.13
	25	0	195	73.12	24.38	32.5	520	1170	0	0.13
		50	195	73.12	24.38	32.5	520	585	585	0.13
		75	195	73.12	24.38	32.5	520	292.5	877.5	0.13
		100	195	73.12	24.38	32.5	520	0	1170	0.13
	50	0	195	48.75	48.75	32.5	520	1170	0	0.13
		50	195	48.75	48.75	32.5	520	585	585	0.13
		75	195	48.75	48.75	32.5	520	292.5	877.5	0.13
		100	195	48.75	48.75	32.5	520	0	1170	0.13

為取代膠結料 25%，最低為取代膠結料 50%。當 W/B 為 1.1、1.3 及 1.5 及取代膠結料 0% 時，氧化碓取代不同比例細骨材之 1 天抗壓強度皆可達到 5 kg/cm²，符合預定的設計目標，但隨著還原碓取代膠結料愈高，所獲得之抗壓強度相對降低。雖添加速凝劑於 CLSM 中，由於還原碓本身膠結能力差且具斥水現象，使得添加速凝劑無法發揮早強的功能，添加還原碓量愈高，其膠結能力與抗壓強度皆會隨之降低。當還原碓取代膠結料 0% 時，其 1 天抗壓強度皆可達到 5 kg/cm² 以上，且隨著 W/B 愈大，所獲得之抗壓強度則明顯降低許多，顯示早強型不銹鋼爐碓 CLSM 在取代膠結料 0% 時，早期強度能符合預期目標。在 28 天抗壓強度方面，大部分皆低於 30 kg/cm²，顯示

早強型不銹鋼爐碓 CLSM 在 28 天的抗壓強度能符合預期目標，對於未來工程的再開挖性是有利的。本研究之 CLSM 材料水泥用量低，具有降低成本之經濟功用。

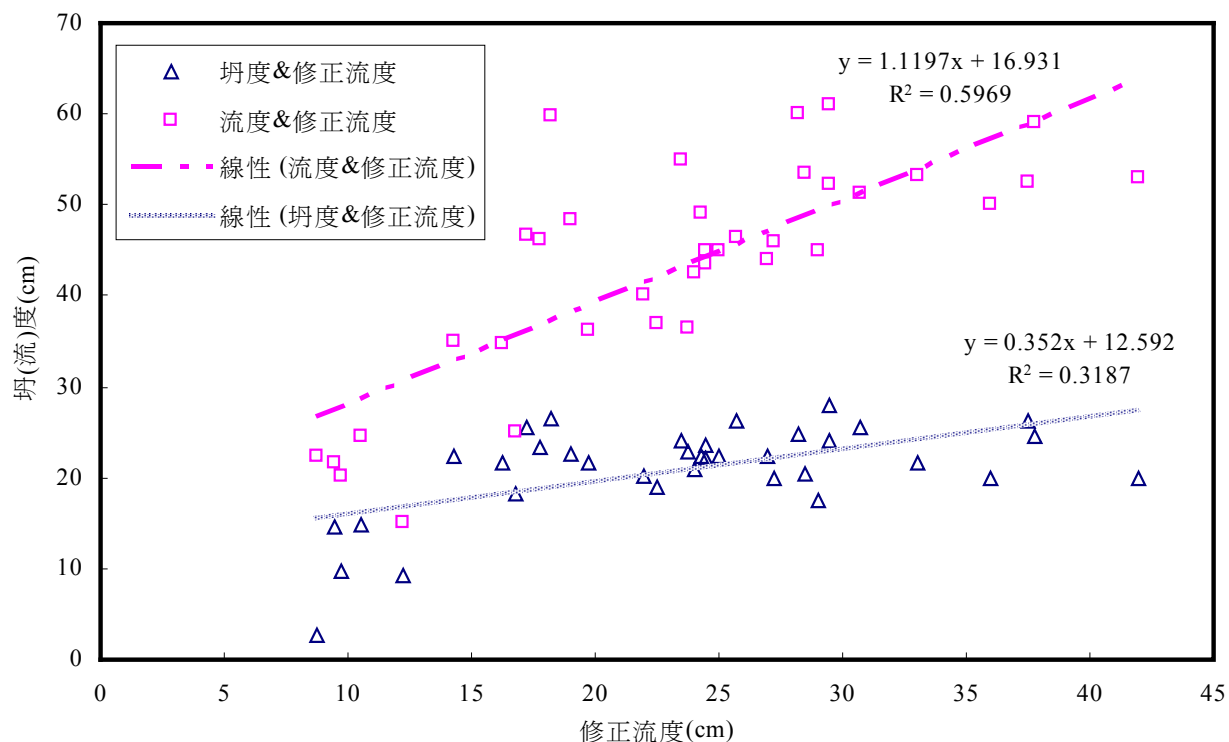
3.3 CLSM 超音波波速與反彈錘數

圖 4(a) 為氧化碓取代不同比例細骨材之一般型 CLSM 超音波發展情形，其相關係數 R² 皆介於中度至高度相關間，具有良好的相關性；圖 4(b) 為氧化碓取代不同比例細骨材早強型 CLSM 之超音波發展情形，其相關係數 R² 皆在高度相關，具有高度的相關性。隨著氧化碓取代細骨材量愈大，則一般型與早強型不銹鋼爐碓 CLSM 超音波波速愈高。

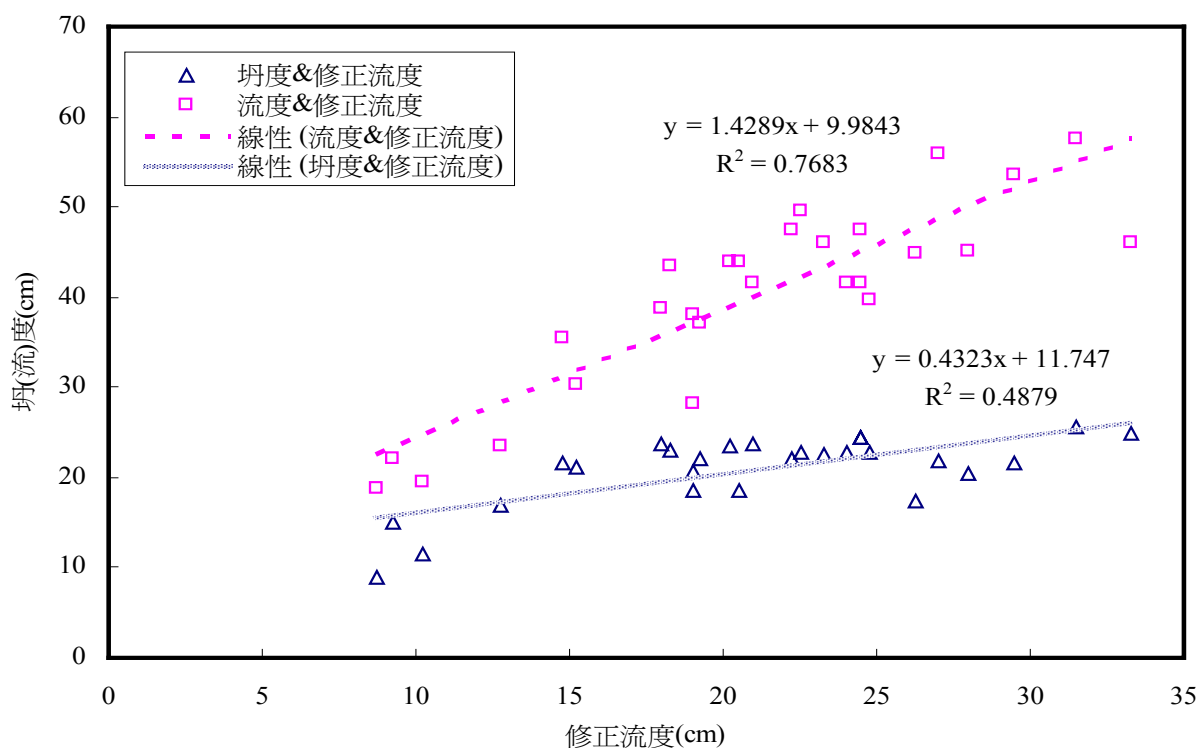
表 2. 早強型不銹鋼爐碓 CLSM 配比資料。

Table 2 Mixture proportions of early type CLSM containing stainless steel slag.

W/B	還原碓 取代比例(%)	氧化碓 取代比例(%)	配比材料(kg/m ³)								
			W	C	SSRS	F	G	S	SSORS	AE	速凝劑
1.1	0	0	136.37	97.5	0	32.5	520	1040	0	0.13	6.5
		50	136.37	97.5	0	32.5	520	520	520	0.13	6.5
		100	136.37	97.5	0	32.5	520	0	1040	0.13	6.5
	25	0	136.37	73.12	24.38	32.5	520	1040	0	0.13	6.5
		50	136.37	73.12	24.38	32.5	520	520	520	0.13	6.5
		100	136.37	73.12	24.38	32.5	520	0	1040	0.13	6.5
	50	0	136.37	48.75	48.75	32.5	520	1040	0	0.13	6.5
		50	136.37	48.75	48.75	32.5	520	520	520	0.13	6.5
		100	136.37	48.75	48.75	32.5	520	0	1040	0.13	6.5
1.3	0	0	162.4	97.5	0	32.5	520	1040	0	0.13	6.5
		50	162.4	97.5	0	32.5	520	520	520	0.13	6.5
		100	162.4	97.5	0	32.5	520	0	1040	0.13	6.5
	25	0	162.4	73.12	24.38	32.5	520	1040	0	0.13	6.5
		50	162.4	73.12	24.38	32.5	520	520	520	0.13	6.5
		100	162.4	73.12	24.38	32.5	520	0	1040	0.13	6.5
	50	0	162.4	48.75	48.75	32.5	520	1040	0	0.13	6.5
		50	162.4	48.75	48.75	32.5	520	520	520	0.13	6.5
		100	162.4	48.75	48.75	32.5	520	0	1040	0.13	6.5
1.5	0	0	188.37	97.5	0	32.5	520	1170	0	0.13	6.5
		50	188.37	97.5	0	32.5	520	585	585	0.13	6.5
		100	188.37	97.5	0	32.5	520	0	1170	0.13	6.5
	25	0	188.37	73.12	24.38	32.5	520	1170	0	0.13	6.5
		50	188.37	73.12	24.38	32.5	520	585	585	0.13	6.5
		100	188.37	73.12	24.38	32.5	520	0	1170	0.13	6.5
	50	0	188.37	48.75	48.75	32.5	520	1170	0	0.13	6.5
		50	188.37	48.75	48.75	32.5	520	585	585	0.13	6.5
		100	188.37	48.75	48.75	32.5	520	0	1170	0.13	6.5



(a) 一般型



(b) 早強型

圖 1 不銹鋼爐渣 CLSM 之坍(流)度與修正流度相關性。

Figure 1 Relationship between slump and modified slump of CLSM containing stainless steel slag.

圖 5 為還原渣在取代不同比例膠結料之一般型與早強型 CLSM 之超音波發展趨勢，結果顯示還原渣取代膠結料愈多，於各齡期之超音波波速值均呈現下降現象。還原渣取代量愈多時，還原渣與骨材結合會產生較多孔隙並且不緻密，導致超音波波速

傳導速率降低，但多孔隙且鬆散骨材結構亦符合 CLSM 之低密度特性。圖 6 為不銹鋼爐渣 CLSM 之超音波與抗壓強度關係趨勢，結果顯示超音波波速與抗壓強度成正比關係，具有非常高相關性，故利用超音波檢測作為不銹鋼爐渣 CLSM 強度之初步評

表 3. 一般型不銹鋼爐渣 CLSM 工程性質分析。

Table 3 Engineering properties of general type CLSM containing stainless steel slag.

W/B	還原渣 取代比例(%)	氧化渣 取代比例(%)	坍度 (cm)	坍流度 (cm)	抗壓強度(kg/cm ²)		初凝 (min)	修正流度 (cm)	
					1 天	28 天			
1.1	0	0	18.25	25	6.54	23.63	345	16.75	
		50*	26.25	46.5	8.88	29.51	420	25.75	
		75	22.25	44	9.91	22.52	310	27	
	25	100	20.25	40	7.34	34.23	260	22	
		0	9.25	15	4.13	20.87	680	12.25	
		50	22.75	36.5	4.38	22.84	520	23.75	
	50	75	21	42.5	4.64	15.78	315	24	
		100	25.5	46.75	2.33	31.8	330	17.25	
		0	2.75	22.25	2.01	8.86	700	8.75	
	1.3	0	50*	24.75	60	1.84	11.76	870	28.25
			75	19	37	2.35	8.5	515	22.5
			100	23.25	46.25	1.26	23.03	350	17.75
1.3	0	0	14.5	21.75	2.12	20.45	445	9.5	
		50*	26.25	52.5	2.47	22.15	410	37.5	
		75	22	45	8.59	27.2	300	24.5	
	25	100	26.5	59.75	2.18	23.07	410	18.25	
		0	22.25	35	1.38	9.97	630	14.25	
		50*	28	61	1.27	14.44	550	29.5	
	50	75	20	53	3.9	14.56	360	42	
		100	22.5	48.25	1.53	17.77	440	19	
		0	21.75	36.25	0.69	6.79	850	19.75	
	1.5	0	50*	23.5	43.5	1.03	9.3	800	24.5
			75	20	50	1.6	5.55	745	36
			100	24	52.25	1.89	8.29	1000	29.5
25		0	21.75	34.75	1.72	18.91	500	16.25	
		50*	25.5	51.25	2.75	26.64	510	30.75	
		75	20	46	5.91	21.33	315	27.25	
50		100	22.25	45	3.32	33.58	500	25	
		0	14.75	24.5	1.49	9.06	580	10.5	
		50*	24	55	1.38	11.8	570	23.5	
1.5		25	75	17.5	45	4.13	17.6	240	29
			100	22.25	49	0.75	12.43	540	24.25
			0	9.75	20.25	0.46	4.53	930	9.75
1.5	50	50*	24.5	59	0.24	5.58	540	37.75	
		75	20.5	53.5	1.27	7.45	350	28.5	
		100	21.75	53.25	0.84	9.43	780	33	
備註	* 表示符合下述條件：坍度 > 20 cm；坍流度 > 40 cm；28 天抗壓強度 < 30 kg/cm ² ；漿體與骨材無析離現象。修正流度值 > 20 cm 為高流動性。一般型不銹鋼爐渣 CLSM 凝結時間在 4 ~ 16.7 小時。								

估實為可行。圖 7 為一般型及早強型不銹鋼爐渣 CLSM 之抗壓強度與反彈錘數關係，結果顯示不銹鋼爐渣 CLSM 之相關係數 R^2 分別為 0.6923 與 0.7301，均屬於良好的相關性，即可利用低強度反彈錘作為不銹鋼爐渣 CLSM 初步強度評估。而圖中後半段抗壓強度與低強度反彈錘點位，較前半段的點位趨勢有發散情形，研判其原因為當還原渣取代膠結料大於 50%後，其抗壓強度不高；加上氧化渣取代細骨材後，使得反彈錘因打擊到比重較大之氧化渣而升高，造成後半段之發散情形。

4. 結論

本研究係探討以不銹鋼氧化渣取代細骨材及以不銹鋼還原渣取代膠結料，對 CLSM 抗壓強度發展之影響，經由試驗結果與分析獲得以下結論：

1. 利用不銹鋼氧化渣與不銹鋼還原渣可製作出坍度大於 20 cm、坍流度大於 40 cm，28 天抗壓強度小於 30 kg/cm² 之 CLSM。
2. 水膠比 W/B 為 1.1、還原渣取代膠結料 0%及 50%時，氧化渣取代細骨材 50%；水膠比 W/B 為 1.3、1.5，還原渣取代膠結料 0%、25%與 50%時，氧

表 4. 早強型不銹鋼爐渣 CLSM 工程性質分析。

Table 4 Engineering properties of early type CLSM containing stainless steel slag.

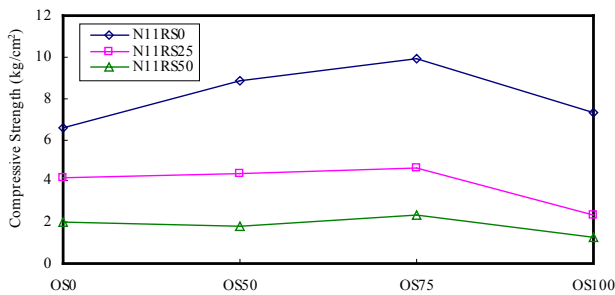
W/B	還原渣 取代比例(%)	氧化渣 取代比例(%)	坍度 (cm)	坍流度 (cm)	抗壓強度(kg/cm ²)		初凝 (min)	修正流度 (cm)
					1 天	28 天		
1.1	0	0	21.25	30.25	8.65	22.45	385	15.25
		50	23.75	41.5	6.19	37.36	335	21
		100	22	37	5.04	31.68	245	19.25
	25	0	15	22	2.41	17.99	460	9.25
		50	20.75	28.25	2.18	30.77	355	19
		100	22.75	41.5	4.41	23.44	280	24
	50	0	11.5	19.5	0.99	12.1	610	10.25
		50	22.75	39.75	1.01	9.79	330	24.75
		100	22.75	49.5	2.87	12.69	270	22.5
1.3	0	0*	23.5	44	6.88	28.45	200	20.25
		50*	24.5	47.5	6.65	30.18	320	24.5
		100	22.5	46	6.71	27.83	215	23.25
	25	0	21.5	35.5	3.9	18.25	425	14.75
		50*	20.5	45	5.16	23.64	400	28
		100	21.75	56	4.42	15.96	470	27
	50	0	9	18.75	2.33	10.23	490	8.75
		50	17	23.5	2.95	15.27	460	12.75
		100	18.5	38	4.46	16.48	400	19
1.5	0	0	22	47.5	4.23	16.23	435	22.25
		50*	21.5	53.5	5.8	24.82	265	29.5
		100	18.5	44	6.76	20.63	215	20.5
	25	0	23	43.5	3.61	11	340	18.25
		50	24.5	41.5	4.5	16.92	345	24.5
		100	25.5	57.5	5.1	24.19	475	31.5
	50	0	23.75	38.75	1.2	5.56	565	18
		50	25	46	1.63	8.62	475	33.25
		100	17.5	44.75	1.44	7.48	690	26.25
備註	* 表示符合下述條件：坍度 > 20 cm；坍流度 > 40 cm；1 天抗壓強度 > 5 kg/cm ² ；28 天抗壓強度 < 30 kg/cm ² ；漿體與骨材無析離產生。修正流度值 > 20 cm 為高流動性。早強型不銹鋼爐渣 CLSM 凝結時間在 3.6 ~ 11.5 小時。							

化渣取代細骨材 50%，均可符合一般型不銹鋼爐渣 CLSM 性質標準。

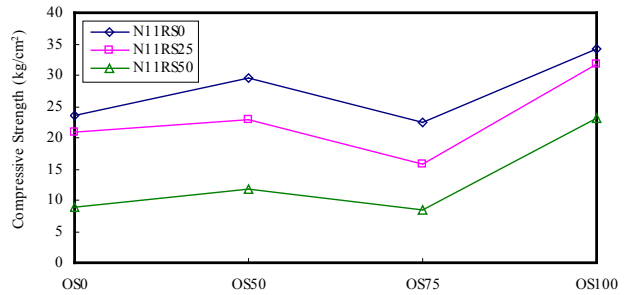
3. 水膠比 W/B 為 1.3、還原渣取代膠結料 0%時，氧化渣取代細骨材 0%與 50%，及還原渣取代膠結料 25%且氧化渣取代細骨材 50%；水膠比 W/B 為 1.5 及還原渣取代膠結料 0%時，氧化渣取代細骨材 0%，均可符合早強型不銹鋼爐渣 CLSM 性質標準。
4. 一般型與早強型不銹鋼爐渣 CLSM 之坍(流)度與修正流度關係，相關性屬於較佳。
5. 不銹鋼爐渣 CLSM 氧化渣取代細骨材愈高，其超

音波波速亦隨之升高，而凝結時間相對減少。

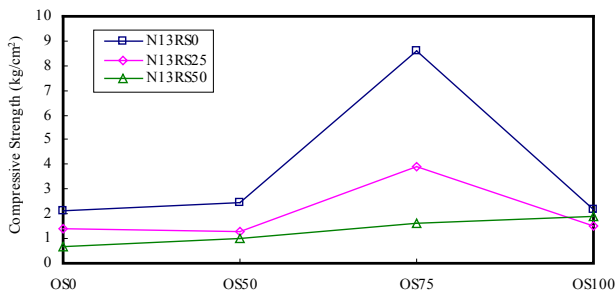
6. 還原渣取代膠結量愈高，凝結時間隨之延長，所獲得之抗壓強度與超音波波速則相對降低。
7. 不銹鋼爐渣 CLSM 之抗壓強度與反彈錘數相關係數 R^2 分別為 0.6923 與 0.7301，屬於良好相關性，即可利用低強度反彈錘作為不銹鋼爐渣 CLSM 初步強度評估。
8. 利用超音波、反彈錘數與抗壓強度所建立之相關模式，均可獲得高度相關性，顯示利用超音波與反彈錘初步評估不銹鋼爐渣 CLSM 之強度實為可行。



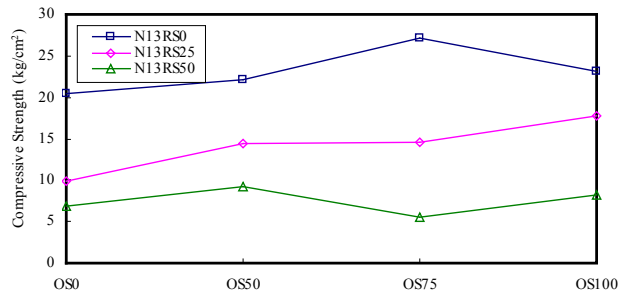
(a) 水膠比1.1



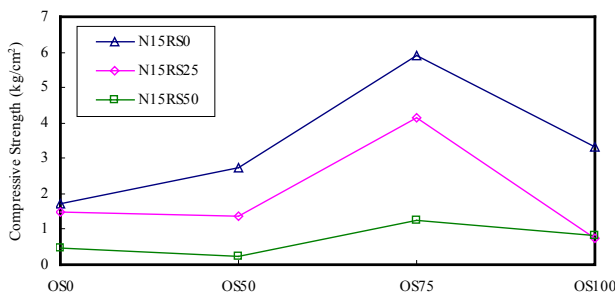
(a) 水膠比1.1



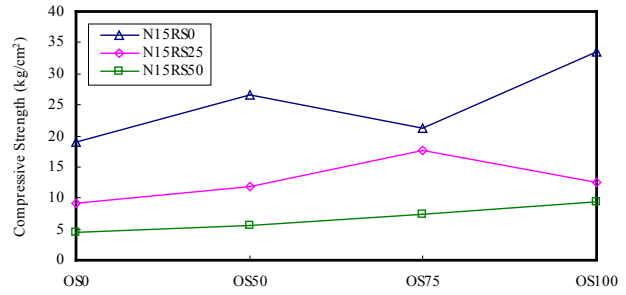
(b) 水膠比1.3



(b) 水膠比1.3



(c) 水膠比1.5



(c) 水膠比1.5

(a) 1 天

(b) 28 天

圖 2 還原渣取代不同比例膠結料一般型 CLSM 之抗壓強度。

Figure 2 Compressive strength of general type CLSM containing stainless steel slag.

誌謝

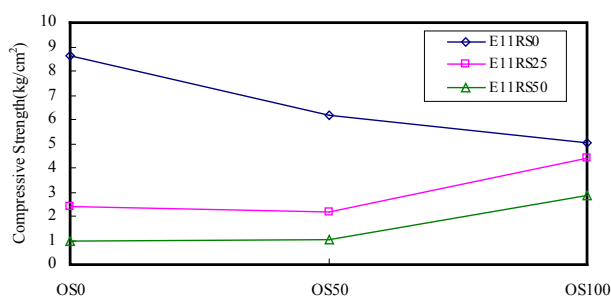
感謝國科會專題研究計畫(NSC 94-2211-E-151-011)提供研究費用。

參考文獻

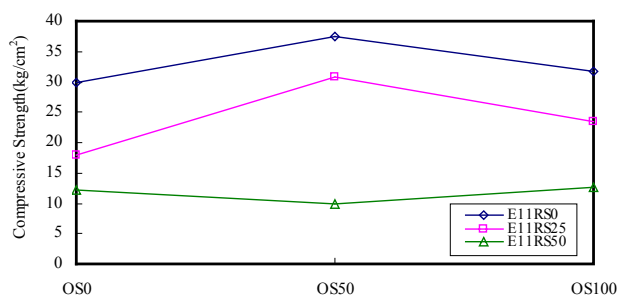
1. ACI 229R-94 Report, "Controlled Low Strength Materials (CLSM)", Concrete International (1994) 55 ~ 64.
2. 沈永年、王和源、林仁益、郭文田, in: "混凝土

土技術" (ISBN 957-21-4045-X), 全華圖書(台北, 2006), 第 723 ~ 733 頁。

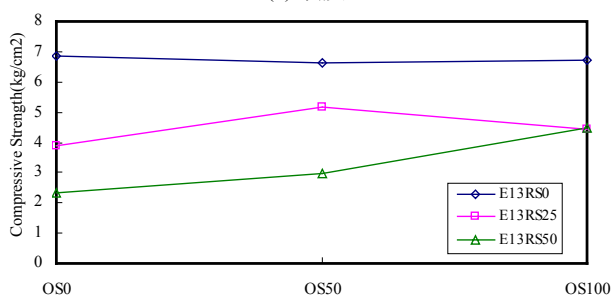
3. P. Tikalsky, M. Gaffney, and R. Regan, "Properties of Controlled Low-Strength Material Containing Foundry", ACI Materials Journal, Vol. 97, No. 6 (2000) 698 ~ 702.
4. S. L. Gassman, C. E. Pierce, and A. J. Schroeder, "Effects of Prolonged Mixed and Retampering on Properties of CLSM", ACI Materials Journal, Vol. 98, No. 2 (2001) 194 ~ 199.



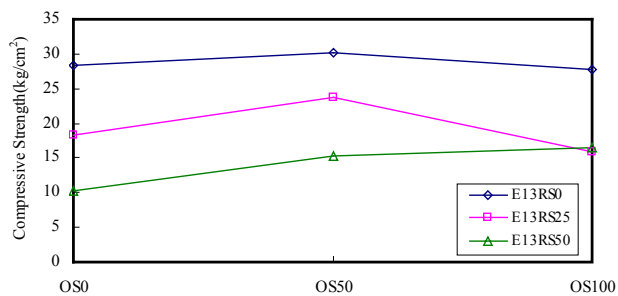
(a) 水膠比1.1



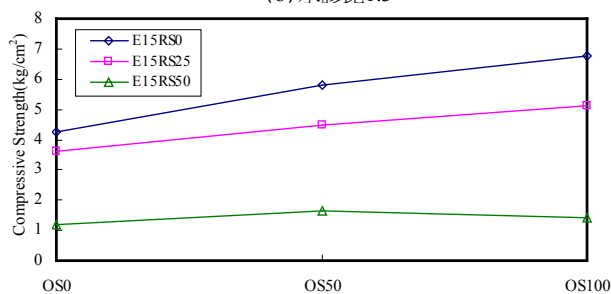
(a) 水膠比1.1



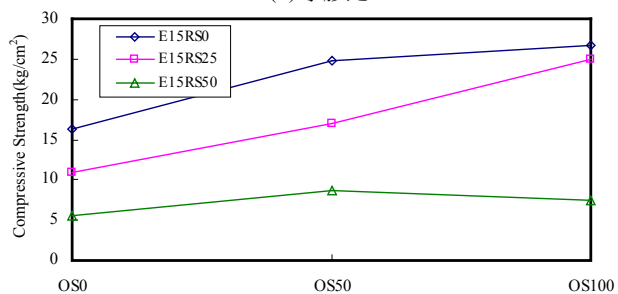
(b) 水膠比1.3



(b) 水膠比1.3



(c) 水膠比1.5



(c) 水膠比1.5

(a) 1 天

(b) 28 天

圖 3 還原渣取代不同比例膠結料早強型 CLSM 之抗壓強度。

Figure 3 Compressive strength of early type CLSM containing stainless steel slag.

5. C. E. Pierce, S. L. Gassman, and T. M. Richards, "Long-Term Strength Development of Controlled Low-Strength Material", ACI Materials Journal, Vol. 99, No. 2 (2002) 157 ~ 164.
6. T. R. Naik, R. N. Kraus, and R. Siddique, "Controlled Low-Strength Material Containing Mixtures of Coal and New Pozzolanic Material", ACI Materials Journal, Vol. 100, No. 3 (2003) 208 ~ 215.

7. 沈永年、鍾文豪，「不銹鋼爐渣含量對 CLSM 材料工作性之影響」，防蝕工程，第 21 卷第 1 期，2007 年，第 49 ~ 56 頁。

收到日期：2006 年 8 月 17 日
 修訂日期：2007 年 10 月 9 日
 接受日期：2008 年 5 月 6 日

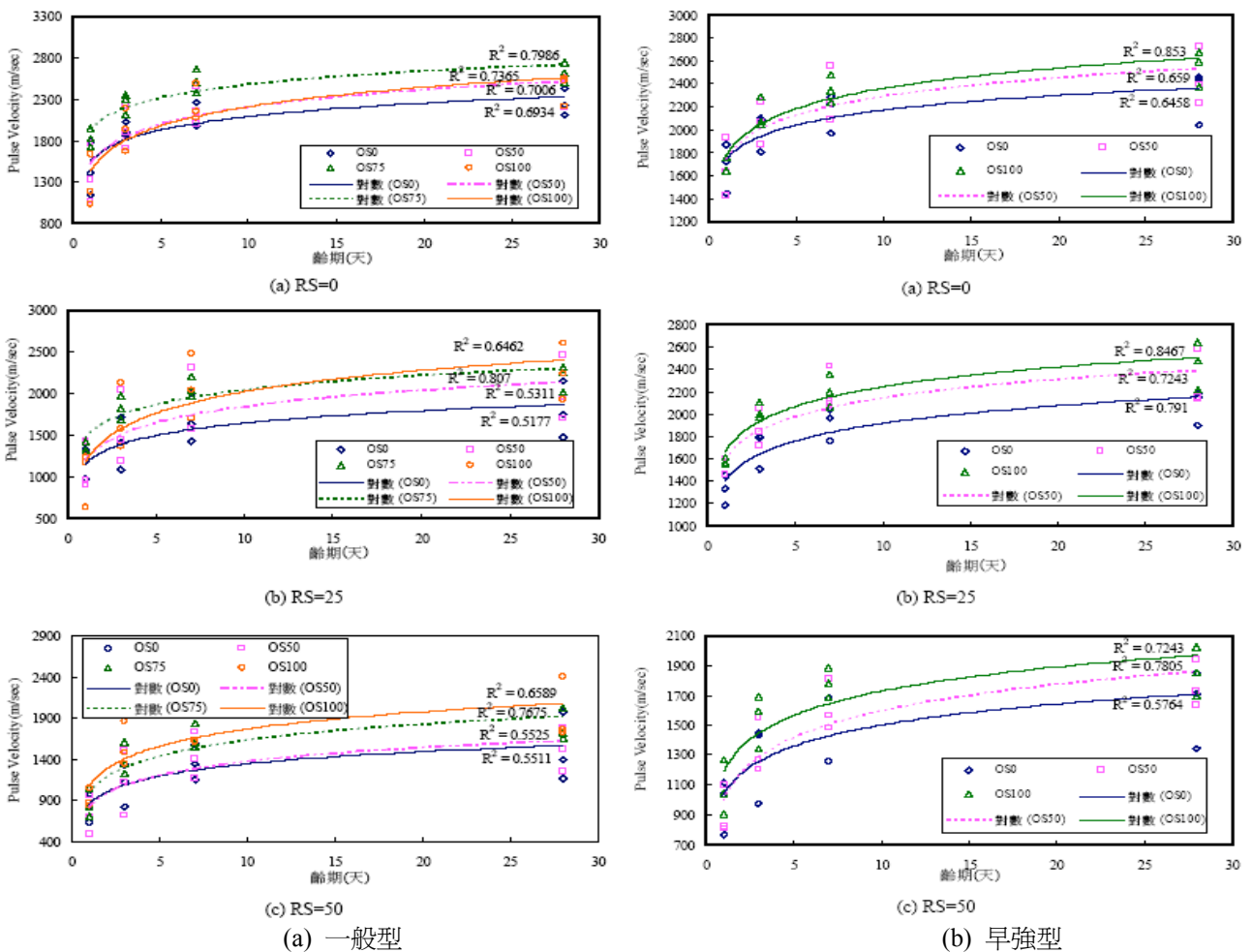


圖 4 氧化矽取代不同比例細骨材 CLSM 之超音波發展情形。

Figure 4 Ultrasonic velocity of CLSM containing stainless steel slag (SSOS replacement sand)

不銹鋼爐渣含量對 CLSM 材料抗壓強度之影響

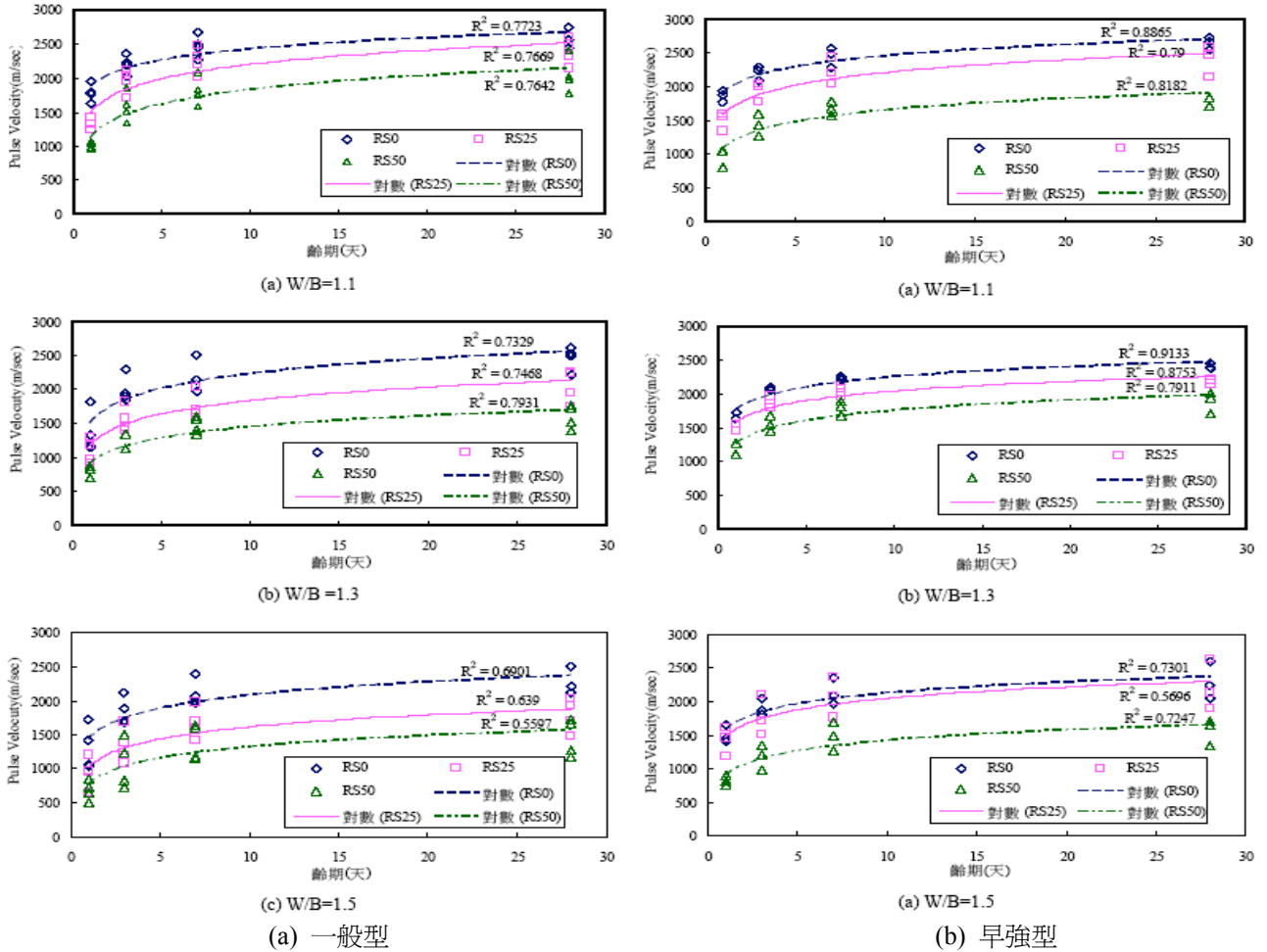
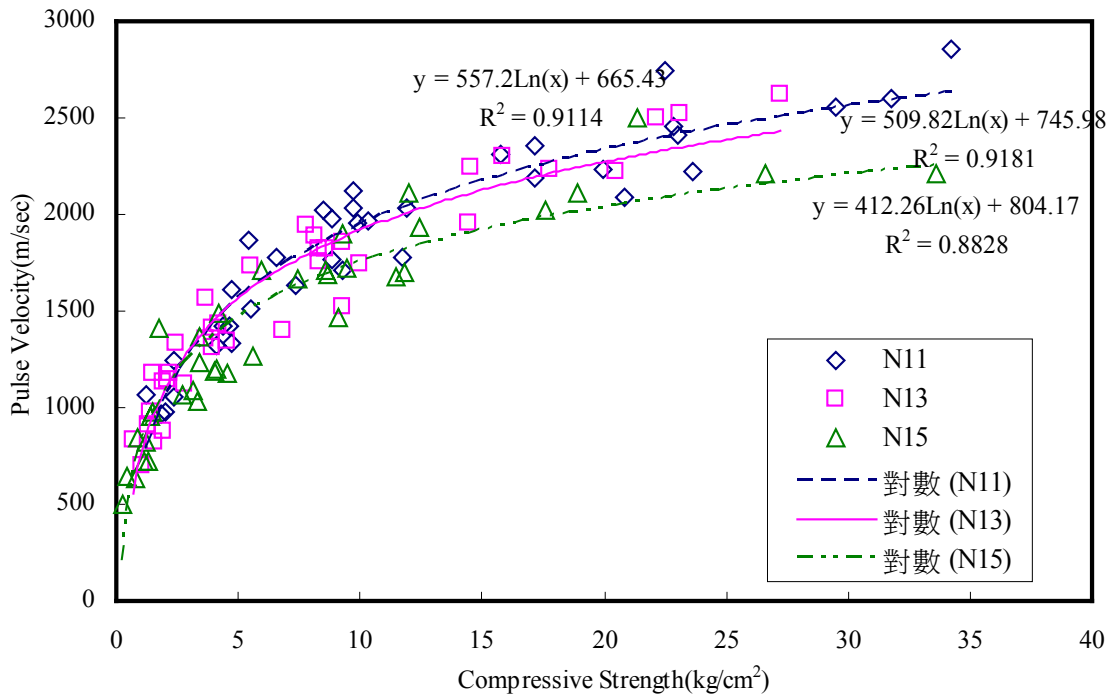
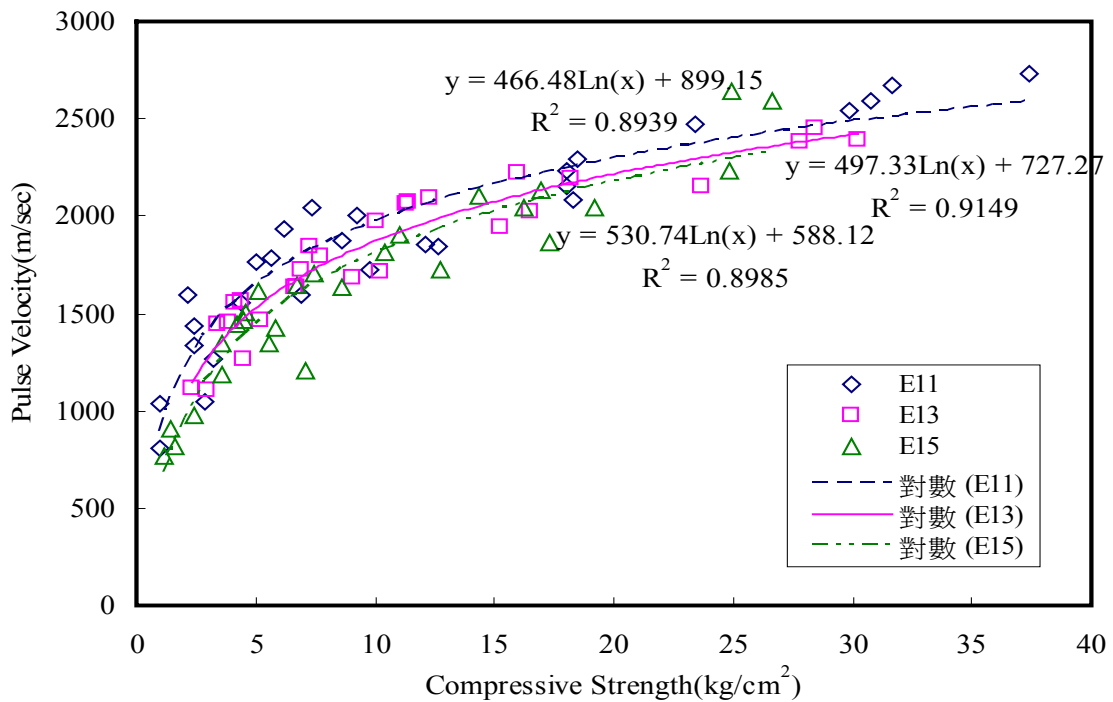


圖 5 還原渣取代不同比例膠結料 CLSM 之超音波發展情形。

Figure 5 Ultrasonic velocity of CLSM containing stainless steel slag (SSRS replacement binder).



(a) 一般型

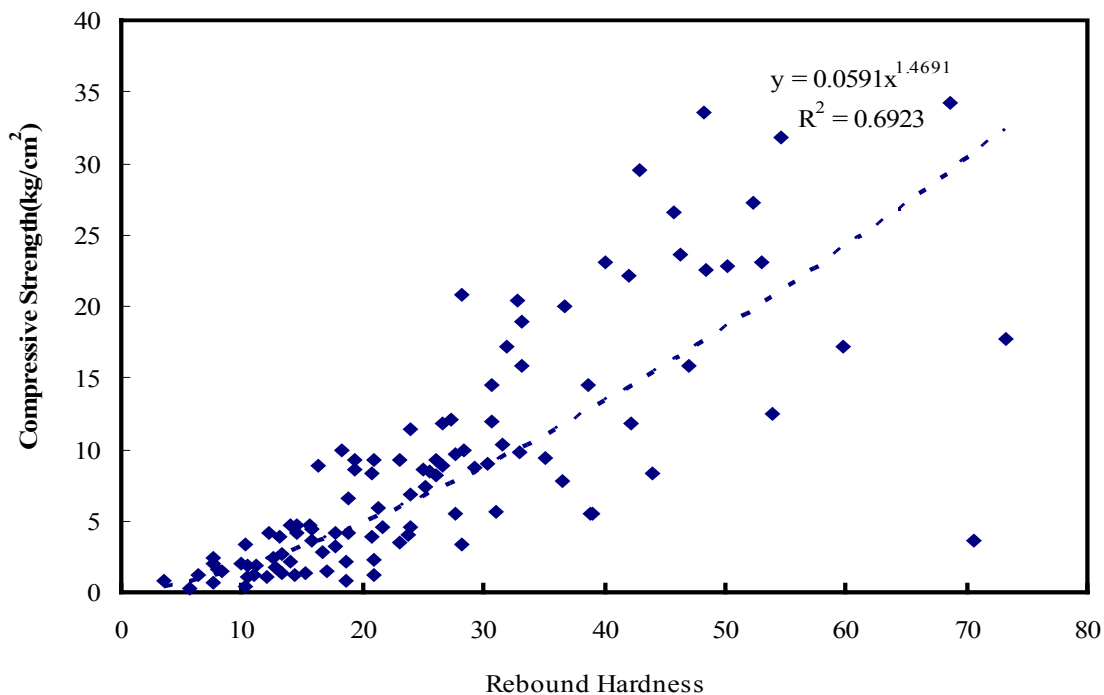


(b) 早強型

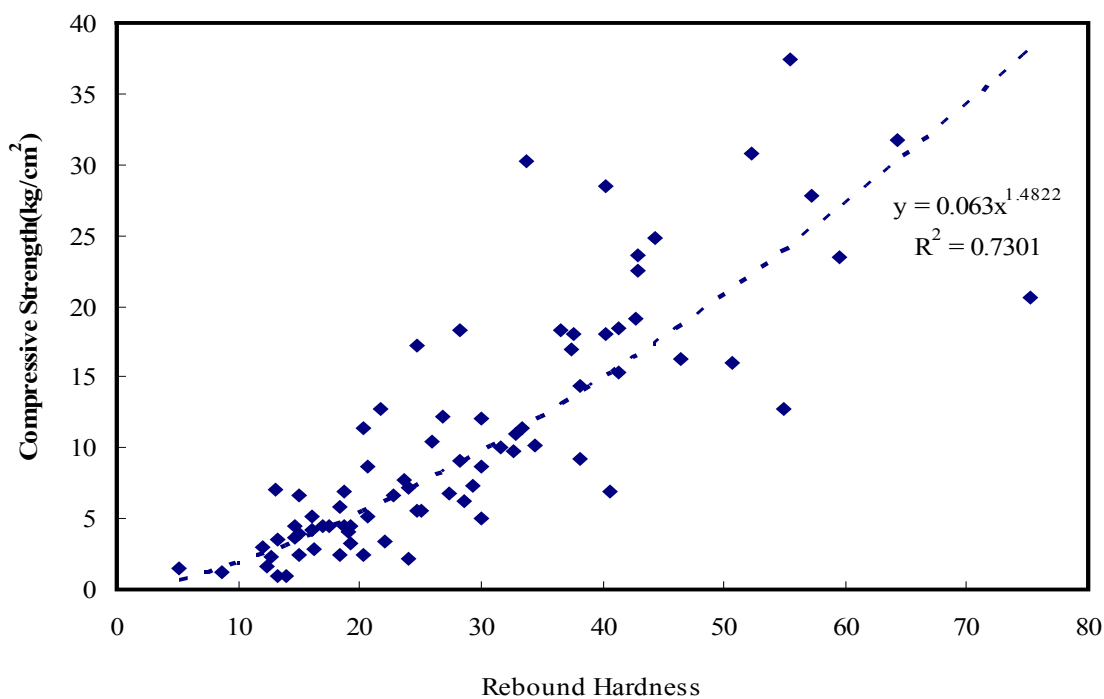
圖 6 不銹鋼爐渣 CLSM 之超音波與抗壓強度關係。

Figure 6 Relationship between compressive strength and ultrasonic velocity of CLSM containing stainless steel slag.

不銹鋼爐渣含量對 CLSM 材料抗壓強度之影響



(a) 一般型



(b) 早強型

圖 7 不銹鋼爐渣 CLSM 之抗壓強度與反彈錘數關係。

Figure 7 Relationship between compressive strength and rebond harmar of CLSM containing stainless steel slag.

