

# 目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
表目錄.....	VII
圖目錄.....	IX
第一章 緒論.....	1
1-1 研究動機.....	1
1-2 研究目的.....	2
1-3 研究方法及流程.....	2
1-4 本論文之架構.....	4
第二章 文獻回顧.....	5
2-1 Epoxy Coated Reinforcement相關文獻.....	5
2-1-1 Epoxy簡介.....	5
2-1-2 ECR簡介.....	5
2-1-3 Epoxy的玻璃相位轉換與熱劣解現象.....	6
2-2 握裹力基本原理.....	7
2-2-1 握裹破壞模式及影響因素.....	9
2-2-2 環氧樹脂防蝕披覆對握裹強度之影響.....	11
2-2-3 混凝土性質對握裹強度之影響.....	12
2-3 混凝土之一般性質及熱學性質.....	14
2-3-1 水泥之組成成分及其性質.....	14
2-3-2 水泥漿體與水泥砂漿受熱後之變化.....	14

2-3-3	骨材之熱學性質.....	15
2-3-4	骨材熱學性質對混凝土性質的影響.....	16
2-3-5	混凝土之熱學性質.....	17
2-4	混凝土受高溫作用下之性質變化.....	18
2-4-1	高溫作用下混凝土之物理化學變化.....	18
2-4-2	高溫作用下混凝土之抗壓強度.....	19
2-4-3	混凝土之爆裂與剝落.....	19
2-4-4	升溫速率及延時對混凝土之影響.....	20
2-4-5	火害後混凝土之應力應變關係.....	21
第三章	試驗計畫與試驗方法.....	24
3-1	試驗計畫.....	24
3-2	試驗變數.....	24
3-3	試驗材料.....	25
3-4	試體規劃.....	26
3-4-1	試體製作.....	27
3-4-2	試驗養護、烘乾.....	29
3-4-3	抗壓試驗.....	29
3-5	試驗設備.....	30
3-6	試驗設置及步驟.....	31
第四章	試驗結果與討論.....	33
	前言.....	33
4-1	試體的破壞模式.....	33
4-1-1	常溫下拉拔試驗試體之破壞模式.....	34
4-1-2	100°C下拉拔試驗試體之破壞模式.....	34

4-1-3	200°C 下拉拔試驗試體之破壞模式.....	35
4-1-4	D19 400°C (D13 300°C) 下之破壞模式.....	35
4-1-5	D19 600°C (D13 400°C) 下之破壞模式.....	36
4-2	試驗拉出後之鋼筋外觀比較.....	36
4-2-1	埋置於加熱與未加熱試體的一般鋼筋在拉出後之外觀.....	36
4-2-2	埋置於加熱與未加熱試體的 ECR 鋼筋在拉出後之外觀.....	37
4-2-3	常溫下 ECR 與一般鋼筋拉出後之外觀.....	38
4-2-4	各種溫度下 ECR 與一般鋼筋拉出後之外觀.....	38
4-3	拉拔試驗之握裹力.....	38
4-3-1	各種埋深下握裹強度與溫度變化的關係.....	39
4-3-2	各種塗層厚度下握裹強度與溫度變化的關係.....	39
4-3-3	握裹強度的折減情形.....	40
4-4	ECR 與鋼筋的外觀幾何形狀對握裹行為之影響.....	40
4-5	拉拔試驗之握裹滑移量.....	41
第五	結論與建議.....	43
5-1	結論.....	43
5-2	建議.....	44
	參考文獻.....	46

## 表目錄

表 3-1 本試驗所使用混凝土配比資料.....	50
表 3-2 本試驗所使用混凝土配比資料.....	50
表 3-3 D19(#6)節頂環氧樹脂單層塗層厚度.....	51
表 3-4 D19(#6)節頂環氧樹脂雙層塗層厚度.....	52
表 3-5 D19(#6)節底環氧樹脂單層塗層厚度.....	53
表 3-6 D19(#6)節底環氧樹脂雙層塗層厚度.....	54
表 3-7 D13(#6)節頂環氧樹脂單層塗層厚度.....	55
表 3-8 D13(#6)節頂環氧樹脂雙層塗層厚度.....	56
表 3-9 D13(#6)節底環氧樹脂單層塗層厚度.....	57
表 3-10 D13(#6)節底環氧樹脂雙層塗層厚度.....	58
表 3-11 鋼筋化學成分表.....	59
表 3-12 D13、D19鋼筋幾何形狀相關尺寸.....	59
表 4-1 常溫下拉拔試驗試體之破壞模式.....	60
表 4-2 100°C 下拉拔試驗試體之破壞模式.....	60
表 4-3 200°C 下拉拔試驗試體之破壞模式.....	61
表 4-4 D19:400°C (D13:300°C) 下拉拔試驗試體之破壞模式.....	62
表 4-5 D19:600°C 以及 D13:400°C) 下拉拔試驗試體之破壞模式.....	62
表 4-6 D19 試驗組的極限拉拔力(T).....	63

表 4-7 D19 試驗組的極限拉拔力(T).....64

表 4-8 D13 試驗組的平均握裹應力.....64

表 4-9 D19 試驗組的平均握裹應力(kgf/cm<sup>2</sup>) .....65



## 圖目錄

圖 1-1 鋼筋銹蝕反應示意圖.....	66
圖 2-1 環氧樹脂塗佈鋼筋之幾何形狀【38】.....	66
圖 2-2 鋼筋混凝土握裹應力分布.....	67
圖 2-3 梁終端拉拔試驗圖【14】.....	67
圖 2-4 水泥漿體之受熱長度變化【43】.....	68
圖 2-5 水泥漿體的熱膨脹係數與相對濕度之關係【44】.....	68
圖 2-6 不同齡期水泥砂漿之膨脹係數【44】.....	69
圖 2-7 矽質骨材(石英)之溫度與線性膨脹關係【45】.....	69
圖 2-8 溫度與石英質混凝土【46】.....	70
圖 2-9 被加熱混凝土強度之自然回復【36】.....	70
圖 2-10 火害後應力應變圖【35】.....	71
圖 2-11 混凝土強度折減圖【37】.....	71
圖 2-12 火害後混凝土應力應變圖【43】.....	72
圖 2-13 鋼筋握裹應力元素圖【38】.....	72
圖 2-14 各種材料熱分解過程的“重量-溫度關係”圖.....	73
圖 3-1 Surface Testing Instruments manufactured by ElektroPhysik Company.....	73
圖 3-2 普通鋼筋在環氧樹脂塗佈前後之外觀.....	74
圖 3-3 K Type Thermocouple.....	74
圖 3-4 拉拔試驗試體規格及鋼筋埋置方式.....	75
圖 3-5 灌漿模具(實體).....	75
圖 3-6 拉拔試驗試體實體圖.....	75

圖 3-7 油壓千斤頂.....	76
圖 3-8 電動油壓泵浦.....	76
圖 3-9 電熱式圓桶高溫爐.....	77
圖 3-10 拉拔試驗特製夾具.....	77
圖 3-11 LVDT 模組及套圈.....	78
圖 3-12 UCAM10B 型資料擷取器及 USB20A 型擴大器.....	78
圖 3-13 移動式資料擷取器.....	79
圖 3-14 實驗設備架設示意圖 .....	79
圖 3-15 架上圓柱墊塊.....	80
圖 3-16 安置千斤頂.....	80
圖 3-17 放上一號墊片.....	80
圖 3-18 安置 Load Cell.....	80
圖 3-19 放上二號墊片.....	80
圖 3-20 上夾具.....	80
圖 3-22 安置 LVDT, 裝設完成開始加熱.....	81
圖 3-23 實驗設備架設完成圖.....	81
圖 3-24 拉拔後的試體外觀.....	81
圖 4-1 未加熱的 D13 試體拉拔破壞模式(上視圖) .....	82
圖 4-2 未加熱的 D13 試體拉拔破壞模式(側視圖) .....	82
圖 4-3 未加熱的 D19 試體在各個塗厚下的開裂程度.....	83
圖 4-4 未加熱的 D19 雙層塗裹厚度 ECR 試體其破壞模式(爆裂式劈裂破壞) .....	83
圖 4-5 100°C 下 D19 未塗裹埋深 10 φ 試體的破壞模式.....	84

圖 4-6	100°C 下 D19 未塗裹鋼筋埋深 15 $\phi$ 試體破壞模式.....	84
圖 4-7	100°C 下 D19 未塗裹鋼筋埋深 20 $\phi$ 試體破壞模式.....	84
圖 4-8	100°C D19 試體單層及雙層塗裹 ECR 在埋深 20 $\phi$ 時的破壞模式.....	85
圖 4-9	200°C D19 未塗裹鋼筋埋深 10 $\phi$ 試體的燒裂情形.....	85
圖 4-10	200°C D19 未塗裹鋼筋埋深 15 $\phi$ 試體的燒裂情形.....	86
圖 4-11	200°C D19 單層塗裹 ECR 埋深 10 $\phi$ 試體的劈裂情形(左圖).....	86
圖 4-12	200°C D19 單層塗裹 ECR 埋深 15 $\phi$ 試體的劈裂情形(右圖).....	86
圖 4-13	200°C D19 雙層塗裹 ECR 埋深 15 $\phi$ 試體的劈裂情形.....	87
圖 4-14	中心溫度 400°C，D19 一般鋼筋埋深 10 $\phi$ 試體的劈裂情形.....	87
圖 4-15	中心溫度 400°C，D19 一般鋼筋埋深 15 $\phi$ 試體的劈裂情形.....	88
圖 4-16	中心溫度 400°C，D19 ECR 埋深 15 $\phi$ 試體的劈裂情形.....	88
圖 4-17	600°C D19 15 $\phi$ 試體頂面外觀.....	89
圖 4-18	600°C D19 15 $\phi$ 試體側面外觀.....	89
圖 4-19	加熱與未加熱試體埋置的一般鋼筋拔出後外觀.....	89
圖 4-20	各種加熱溫度下 ECR 鋼筋拔出後的外觀.....	90
圖 4-21	常溫下 ECR 與一般鋼筋拔出後的外觀.....	90
圖 4-22	D19 試體組在各溫度下鋼筋及 ECR 拉拔後之外觀.....	91
圖 4-23	D13 試體組在各溫度下鋼筋及 ECR 拉拔後之外觀.....	91

圖 4-24 D13 5 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的極限握裹強度變化圖.....	92
圖 4-25 D13 10 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的極限握裹強度變化圖....	92
圖 4-26 D13 15 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的極限握裹強度變化圖....	92
圖 4-27 D19 10 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的極限握裹強度變化圖....	93
圖 4-28 D19 15 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的極限握裹強度變化圖....	93
圖 4-29 D19 20 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的極限握裹強度變化圖....	93
圖 4-30 D13 普通鋼筋在各種中心溫度下的極限握裹強度變化圖.....	94
圖 4-31 D13 單層塗厚 ECR 在各種中心溫度下的極限握裹強度變化圖.....	94
圖 4-32 D13 雙層塗厚 ECR 在各種中心溫度下的極限握裹強度變化圖.....	94
圖 4-33 D19 普通鋼筋在各種中心溫度下的極限握裹強度變化圖.....	95
圖 4-34 D19 單層塗厚 ECR 在各種中心溫度下的極限握裹強度變化圖.....	95
圖 4-35 D19 雙層塗厚 ECR 在各種中心溫度下的極限握裹強度變化圖.....	95
圖 4-36 D13 5 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的握裹強度殘餘率.....	96
圖 4-37 D13 10 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的握裹強度殘餘率.....	96
圖 4-38 D13 15 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的握裹強度殘餘率.....	96
圖 4-39 D19 10 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的握裹強度殘餘率.....	97
圖 4-40 D19 15 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的握裹強度殘餘率.....	97

圖 4-41	D19 20 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的握裹強度殘餘率.....	97
圖 4-42	D13 試體組在各種中心溫度下的握裹強度殘餘率.....	98
圖 4-43	D19 試體組在各種中心溫度下的握裹強度殘餘率.....	98
圖 4-44	D13 5 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的握裹強度折減率.....	99
圖 4-45	D13 10 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的握裹強度折減率.....	99
圖 4-46	D13 15 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的握裹強度折減率.....	99
圖 4-47	D19 10 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的握裹強度折減率.....	100
圖 4-48	D19 15 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的握裹強度折減率.....	100
圖 4-49	D19 20 $\phi$ 試體在各種中心溫度下的握裹強度折減率.....	100
圖 4-50	D13 試體組在各種中心溫度下的握裹強度折減率.....	101
圖 4-51	D19 試體組在各種中心溫度下的握裹強度折減率.....	101
圖 4-52	ECR 以及一般鋼筋竹節的幾何形狀比較.....	102
圖 4-53	微觀下鋼筋竹節處的握裹應力元素及其關係.....	102
圖 4-54	拉出破壞時的握裹滑移曲線.....	103
圖 4-55	劈裂破壞時的握裹滑移曲線.....	103
圖 4-56	爆裂式劈裂破壞時的握裹滑移曲線.....	104
圖 5-1	試體中心及試體外部爐溫的升溫歷時.....	104