

鋼筋混凝土

建築物龜裂

理論與實際

楊逸詠
江永清
吳金能

合著

詹氏書局

鋼筋混凝土

建築物龜裂

—理論與實際

楊逸詠
江永清
吳金能

合著

詹氏書局

國家圖書館出版品預行編目資料

鋼筋混凝土建築物龜裂－理論與實際／楊逸詠、江永清
、吳金能著．一再版．—臺北市：詹氏，民 81
面； 公分

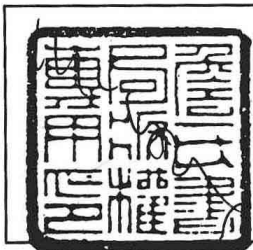
ISBN 957-9432-95-3(平裝)

1.鋼筋混凝土

441.556

87002289

版
權
所
有



翻
印
必
究

鋼筋混凝土建築物龜裂-理論與實際

著 者：楊逸詠、江永清、吳金能

發行人：詹文才

發行所：詹氏書局

登記證：局版台業字第三二〇五號

郵政劃撥：0591120-1

戶 名：詹氏書局

地 址：台北市和平東路一段一七七號九樓之五

電 話：(02)23918058・23967077・23412856

傳 真：(02)23964653・23963159

網 站：<http://archbook.com.tw>

E-mail:chansbok@ms33.hinet.net

E-mail:archbook@sparqnet.net

再版三刷 2002 年 10 月

定價：新台幣 330 元

I. S. B. N. 957-9432-95-3(平裝)

序 言

本書之大部份內容，乃將本人留日歸國後執教於國立成功大學建築研究所時，所指導之江永清君之「鋼筋混凝土建築物龜裂原因及對策之探討」以及吳金能君之「鋼筋混凝土龜裂實態及其原因之探討」兩篇論文加以整理及補充資料後潤飾而成。

影響混凝土之龜裂的原因，包括水泥、骨材之品質、設計內容、施工方法、養護、使用狀況等，幾乎混凝土建築的形成過程中所有的因素都與其龜裂有關，可謂複雜萬端，防不勝防，故龜裂為鋼筋混凝土無可避免之宿命一言並不為過。

然而，若事先得悉如何將龜裂之發生所在控制於不影響建築結構安全之部位，以及如何控制混凝土之龜裂寬度以避免降低建築物物理性能，又如何能當龜裂發生後研判其原因並加之適當的修補，則龜裂事實上並不足懼。

本書從實際及理論兩方面探討混凝土龜裂之問題，第一章及第二章針對龜裂發生之基本原理模式及其對建築物性能之破壞及影響，屬於較理論性之探討。在實際方面，第三章以下則有龜裂之調查，龜裂發生之原因、現象、及防止對策，事後之修補方法之探討等。

龜裂之發生極為複雜，其原因往往為複數原因之相乘效果為多，且每個個案均因其特殊情況而有不同結果。故本書於最後附有龜裂原因及對策之檢覆表，以提供讀者於實際龜裂發生時依其現象，研判其原因及修補對策之基本根據。

在台灣，絕大多數建築物均屬鋼筋混凝土造，然觀之坊間，有關龜裂之資料卻相當匱乏，本書極願為讀者諸君一盡棉薄之力充當此領域之基本資料，然恐才疏學淺經驗不足，況且龜裂實為一門錯綜至極之學問，雖已全力以赴，不敢怠忽，但錯誤、疏漏之處必在所難免，尚祈讀者先進賜予指正。如能進一步收拋磚引玉之效，更是吾等所衷心企盼者。

楊逸詠 謹識于台北

民國七十四年元月

鋼筋混凝土建築物龜裂—理論與實際

目 錄

■序 言

■目 錄

■圖表目錄

■第一章 概論	1
§ 1-1 混凝土龜裂之定義	1
§ 1-2 混凝土龜裂之原理	2
§ 1-3 龜裂之模式	4
§ 1-3-1 乾燥收縮應變龜裂發生模式	5
§ 1-3-2 溫濕度變化及化學作用之發生模式	7
§ 1-3-3 外力作用龜裂發生模式	9
§ 1-3-4 振動疲勞龜裂發生模式	10
§ 1-4 龜裂之型態	12
§ 1-5 龜裂之特性	19
§ 1-5-1 龜裂之變動性	19
§ 1-5-2 龜裂之方向性	20
§ 1-5-3 龜裂之不可避免性	20
§ 1-5-4 龜裂之危險性	21
■第二章 龜裂對建築物性能之破壞及影響	23
§ 2-1 建築物之日常性能概論	23
§ 2-2 結構強度之影響	24
§ 2-2-1 剛性的降低	25
§ 2-2-2 強度的降低	27
§ 2-3 耐久性能之影響	28
§ 2-3-1 中性化與龜裂寬度、深度	29
§ 2-3-2 鋼筋腐蝕模式及腐蝕破壞	32

§ 2-3-3	混凝土剝落與剝落模式·····	37
§ 2-3-4	耐久性能與龜裂寬度·····	42
§ 2-3-5	耐久年數之縮短·····	44
§ 2-4	水密性能之影響·····	46
§ 2-4-1	易漏水部位·····	46
§ 2-4-2	水密性能與龜裂寬度·····	48
§ 2-4-3	漏水破壞·····	52
§ 2-5	氣密性能之影響·····	54
§ 2-5-1	氣密性能與龜裂寬度·····	54
§ 2-5-2	氣密性能之破壞·····	55
§ 2-6	綜合性能之影響·····	56
§ 2-6-1	美觀性能之影響·····	56
§ 2-6-2	使用性能之影響·····	57
§ 2-6-3	安全可信度之影響·····	57

■第三章 建築物龜裂調查····· 59

§ 3-1	龜裂調查的重要性·····	59
§ 3-2	龜裂調查方法·····	59
§ 3-2-1	外觀調查·····	60
§ 3-2-2	設計圖說與施工記錄調查·····	61
§ 3-2-3	使用環境及履歷調查·····	61
§ 3-2-4	詳細調查·····	62

■第四章 龜裂發生原因及現象····· 63

§ 4-1	影響混凝土龜裂之條件·····	63
§ 4-1-1	材料性質·····	63
§ 4-1-2	施工狀況·····	66
§ 4-1-3	使用、環境狀況·····	66
§ 4-1-4	結構、外力·····	67
§ 4-1-5	其他·····	67

§ 4-2	與材料性質有關之龜裂原因及現象	67
§ 4-2-1	水泥之異常凝結	67
§ 4-2-2	混凝土的沈陷、浮水	68
§ 4-2-3	水泥的水和熱	69
§ 4-2-4	水泥之異常膨脹	70
§ 4-2-5	骨材含有泥分	71
§ 4-2-6	使用反應性骨材或風化岩	72
§ 4-2-7	混凝土的乾燥收縮	72
§ 4-3	與施工狀況有關的龜裂原因及現象	74
§ 4-3-1	材料拌合不均勻	74
§ 4-3-2	拌合或待澆時間太長	75
§ 4-3-3	泵浦 (Pump) 壓送時，水量、水泥量增加	75
§ 4-3-4	澆置順序錯誤	76
§ 4-3-5	澆置速度太快	76
§ 4-3-6	澆置不均勻	76
§ 4-3-7	配筋紊亂、被覆厚度不足	77
§ 4-3-8	接續部處理不當	78
§ 4-3-9	模板變型	78
§ 4-3-10	模板漏水或漏漿	79
§ 4-3-11	支撐沈陷	79
§ 4-3-12	提前拆模	80
§ 4-3-13	硬化前的振動或載荷	80
§ 4-3-14	初期養護不良	81
§ 4-3-15	粉刷過度	81
§ 4-3-16	鋼筋搭接、錨定不良	81
§ 4-4	與使用、環境狀況有關的龜裂原因及現象	82
§ 4-4-1	環境溫、濕度變化	82
§ 4-4-2	構材兩面之溫、濕度差	83
§ 4-4-3	交替凍融	83
§ 4-4-4	凍脹	83

§ 4-4-5	內部鋼筋銹蝕	84
§ 4-4-6	火災、表面加熱	85
§ 4-4-7	酸、塩類的化學作用	86
§ 4-5	與結構、外力有關的龜裂原因及現象	86
§ 4-5-1	荷重	86
§ 4-5-2	超荷重	87
§ 4-5-3	地震	87
§ 4-5-4	斷面、鋼筋量不足	87
§ 4-5-5	建築物不均勻沈陷	88
§ 4-5-6	扭力	89
§ 4-6	其他的龜裂原因及現象	89
§ 4-6-1	增建	89
§ 4-6-2	拘束力—構材四周之拘束狀況	90
§ 4-6-3	不同材料接合	90
§ 4-6-4	撓曲變形	91
§ 4-7	混凝土龜裂原因綜合分類表	92
第五章	龜裂之防止對策	96
§ 5-1	導言	96
§ 5-1-1	龜裂寬度控制	96
§ 5-1-2	容許龜裂寬度之限定	97
§ 5-1-3	龜裂寬度之分散	98
§ 5-1-4	龜裂寬度之集中	98
§ 5-2	設計、計劃上的防止對策	99
§ 5-2-1	適切的平、立面設計	99
§ 5-2-2	合理的基礎設計	99
§ 5-2-3	預鑄	100
§ 5-2-4	預力	100
§ 5-2-5	設置伸縮縫	100
§ 5-2-6	設置誘發縫(收縮縫)	100

§ 5-2-7	利用鋼筋控制龜裂寬度·····	103
§ 5-2-8	加設小梁·····	104
§ 5-2-9	充足構材斷面積·····	104
§ 5-2-10	減低溫、濕度之影響·····	104
§ 5-2-11	利用材料的時間變化特性·····	105
§ 5-3	材料、調合上的防止對策·····	105
§ 5-3-1	使用適當的水泥·····	106
§ 5-3-2	使用乾淨、堅實的骨材·····	106
§ 5-3-3	減低單位用水量·····	107
§ 5-3-4	使用附加劑·····	107
§ 5-3-5	降低坍度·····	109
§ 5-3-6	適當的水灰比·····	109
§ 5-4	施工上的防止對策·····	110
§ 5-4-1	強固模板組立·····	110
§ 5-4-2	加固模板支撐·····	111
§ 5-4-3	足夠的鋼筋搭接及錨定長度·····	113
§ 5-4-4	避免鋼筋太密·····	113
§ 5-4-5	正確的鋼筋保護層厚度·····	114
§ 5-4-6	預埋補強鋼筋或附加鐵件·····	116
§ 5-4-7	適當的拌合、待澆時間·····	119
§ 5-4-8	考慮澆置順序及速度·····	119
§ 5-4-9	澆置區畫·····	120
§ 5-4-10	完善的接續處理·····	120
§ 5-4-11	充分搗固·····	121
§ 5-4-12	適切的養護·····	123
§ 5-4-13	避免硬化前之振動、載荷·····	123
§ 5-4-14	謹守拆模時限·····	123

■第六章 龜裂之修補對策····· 126

§ 6-1	前言·····	126
-------	---------	-----

§ 6-2 龜裂的修補材料.....	130
§ 6-2-1 嵌縫材料.....	130
§ 6-2-2 接著材料.....	131
§ 6-2-3 填充材料.....	131
§ 6-2-4 被覆材料.....	132
§ 6-3 龜裂的修補方法.....	132
[1]酸洗 [2]噴砂 [3]鑿除 [4]填縫 [5]塗刷	
[6]置換 [7]注入 [8]被覆 [9]縫合 [10]預力	
[11]增設橫梁 [12]增埋鋼筋或鋼絲網	
[13]加大構材斷面 [14]噴漿	
§ 6-4 龜裂的修補實例.....	137
■第七章 結論.....	149
附錄一 局部預力龜裂防止器.....	151
附錄二 水泥砂漿龜裂之防止工法.....	153

第一章 概 論

任何材料構成的建築物皆有龜裂現象，如木造、磚造、鋼骨構造、鋼筋混凝土造等，其組成構材由於歷經時日的風化、外力作用，設計、施工、材料之缺陷，及外在、內在環境的作用，都會發生材料的劣化而龜裂，但因材質的不同，各構造之龜裂在表現上皆有差異，其中以鋼筋混凝土造建築物之龜裂最爲顯著。

鋼筋具有良好的抗張、抗壓性，然在大氣中易氧化腐蝕，又不耐高溫；混凝土則有較佳的抗壓、耐火、耐氧化的優點，唯獨抗張能力特別弱，僅有其抗壓強度的 $1/10$ 。利用這兩種材料的特性，取長補短，將之複合爲鋼筋混凝土，而同時具備了耐火性、耐久性、耐壓及耐腐蝕性；此外，它可以製造成任意形狀的結構體，各構材的接頭沒有明顯的界限，而且不受材料市場尺寸及形狀的限制，因而被廣泛應用於建築工程，成爲近代建築的主要建材。

鋼筋和混凝土複合的本意是要各盡所能，由鋼筋司抗張，混凝土司抗壓之責，但無論混凝土部份是如何地設計不令其抵抗張力，但終究會在混凝土部份產生張力。張力的產生原因繁多，可能係由於建築物某部份所產生的沈陷較大而造成偏心所致；或因材料內部發生收縮作用，而構造物兩端或四周固定，形成拘束狀態不得隨意伸縮，也可能產生張力；其他如溫、濕度變化，超出設計的外力作用等，同樣使混凝土承受張力，這種張力若大於混凝土的抗張強度時，混凝土就會發生龜裂。

§ 1-1 混凝土龜裂之定義

混凝土龜裂有二種方式，一爲隱在的，另一爲顯在的。

所謂隱在的龜裂，其或存於物體內部，無法從表面得知，或表現於外，但因過於微細，無法以肉眼看出，必須利用放大鏡或顯微鏡方能得知者，這種龜裂普遍存在於混凝土構造體，是顯在龜裂變動擴大中的一個過程，也可能保持原狀於物體內。舉凡二種以上不同成分的異

質物質之結合體，皆存在着這種龜裂，對於鋼筋混凝土構造物而言，這些龜裂，並不造成建築物的危害，而且是一種必然的現象。

所謂顯在的龜裂，大部分發生於物體表面，也可能存在於內部，而在視覺上已能引起吾人的注意，其對構造物性能的危害，視龜裂大小、長短、深淺及發生部位，外氣環境及使用條件而各有差異。

依邁可羅·希爾 (Mcgraw-Hill) 之“科技大辭典 (Dictionary of Scientific and Technical Terms)”，對龜裂之定義為“藉着熱量、接觸反應、氫碳化作用之方式，造成分子間握裹作用之破壞，使分子間之力量減低的一種過程 (A process used to reduce the molecular Weight of hydrocarbons by breaking molecular bonds by thermal, Catalytic or hydrocracking methods)”由此可知，龜裂為一種分子間相互脫離的過程。又云“龜裂為一種超過結構材料本身之應力，而發生擴張至結構內部的現象 (Presence of Relatively large cracks extending into the interior of a structures, usually produced by overstressing the structure material)”；鋼筋混凝土構造物龜裂，乃因超過材料斷面強度至無法承受而發生的一種應變行為。又“一種裂縫，複合分子間的破壞 (A fissure to break a compound into simpler molecules)”；龜裂必有空隙，而且分子間之引力必遭致破壞。

綜合上述，就鋼筋混凝土構造物而論，龜裂之定義為“一種分子間的破壞行為與過程，使構造物產生異質性的變化；乃因受到內部應力或外部作用，致使材料本身具有之抗應力無法承受，而發生的一種應變行為”。

§ 1-2 混凝土龜裂之原理

混凝土硬化後，從未受力至受力以至破壞的整個過程中，共有三種龜裂行為，分別為①握裹龜裂 (Bond cracks)，②灰漿龜裂 (Mortar cracks)，③骨材龜裂 (Aggregate cracks)。

如圖 1—1 所示，握裹龜裂乃是混凝土未受力前之龜裂，最主要原因是在乾燥硬化之水化作用過程中，由於骨材與灰漿之乾燥收縮係

數不同，因此在骨材與灰漿附着之間，產生極為微細的分離龜裂，這種龜裂之多寡，與骨材材質、灰漿品質與含水量有關，若含水量越多，則硬化後，所遺留在構造體內之空隙越多，握裹龜裂也就越顯着。當混凝土受力後，其握裹龜裂會慢慢擴大，而深入附近之灰漿，此時之龜裂稱為灰漿龜裂（Mortar cracks）如圖(b)。負載漸漸增加時，其灰漿龜裂就擴大連貫而成為連續性龜裂（Continuous cracks）如圖(c)，混凝土並層層剝落，而至整個破裂；此時，若細細觀察破壞後之骨材，可以發現有些骨材破裂，此乃骨材龜裂（Aggregate cracks）。



圖 1—1 龜裂進行三過程

若以受力大小來論述這些龜裂的進展行為，如圖 1—2 所示。從

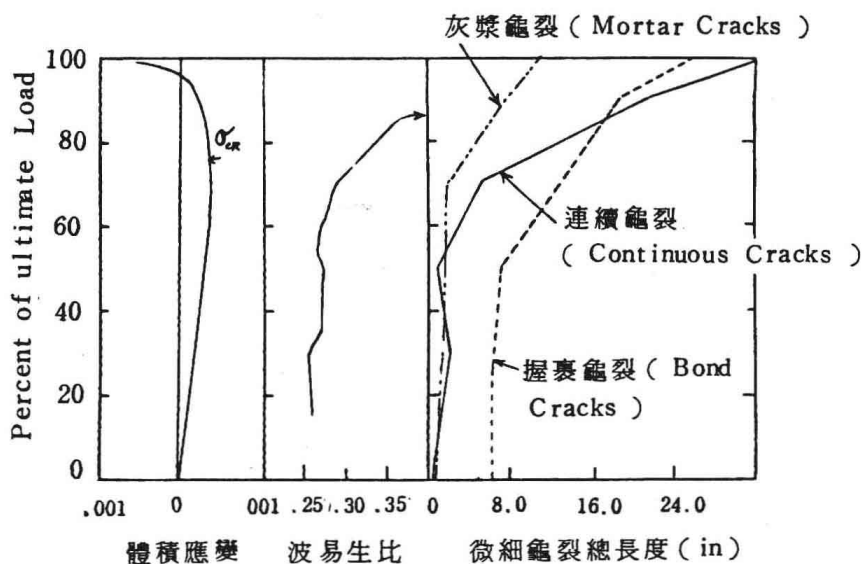


圖 1—2 混凝土之微細龜裂及毀壞過程

零荷重至極限荷重之 30% 階段，握裹龜裂成比例增加，並且有些侵入灰漿部份，混凝土也由彈性階段進入非彈性階段。而後荷重繼續增加至極限荷重之 70% 時，灰漿龜裂連貫起來，其長度、寬度也急速增加，體積也漸漸增加，而成為連續龜裂（Continuous cracks）。此時

荷重繼續增加的話，混凝土體積急速膨脹，而表層也剝落至破壞。

鋼筋混凝土的力學特性，就是複合抗拉強度很低而抗壓強度甚大的混凝土及抗拉強度大的鋼筋，而形成抗拉、抗壓強度皆大的構造體。

由圖 1—3 中，當構材受到內部應力及外力作用時，其值大於混凝土及鋼筋所複合的構材抵抗強度，就必定沿着龜裂抵抗應力方向產生龜裂，不論任何的龜裂，必定是依此龜裂原理而進行。

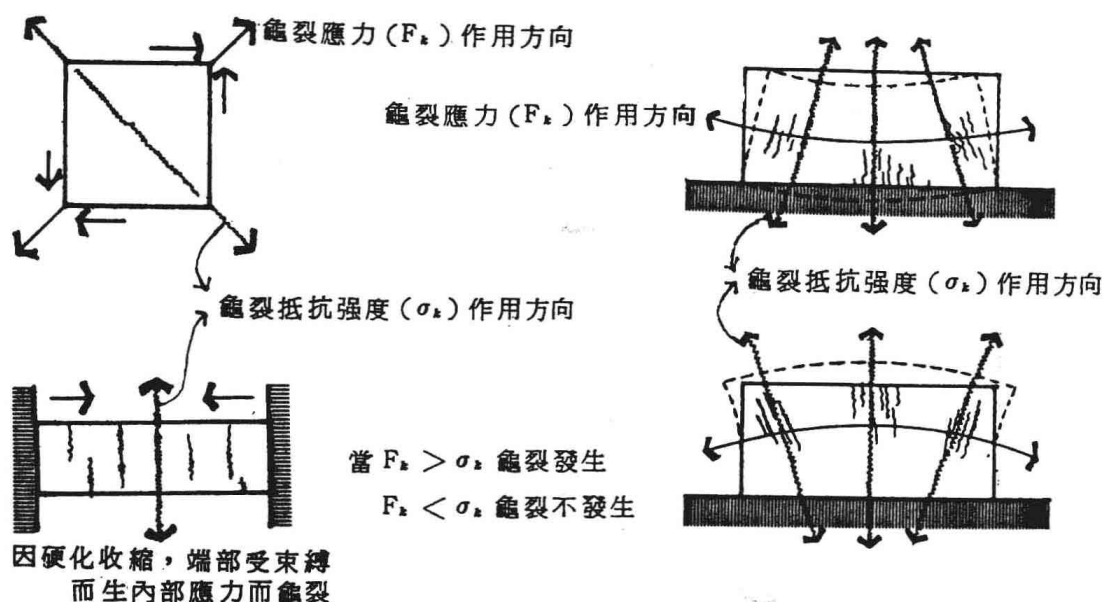


圖 1—3 龜裂應力作用與龜裂抵抗作用應力之基本原理

§ 1-3 龜裂之模式

龜裂模式可以分為二個過程，一為龜裂前之發生模式，一為龜裂後之劣化模式，這二個過程的連鎖影響，會造成建築物物理性能的降低，並造成建築物的破壞。當然，由於鋼筋混凝土的特性，會隨着時間而產生中性化之劣化現象，也可以不經龜裂過程而使建築物性能降低或破壞。圖 1—4 及圖 1—5 所示，為龜裂發生模式及發生後的劣化模式及其對建築物性能的影響。

鋼筋混凝土構造物發生龜裂，是由於應力作用的結果，其作用應力為內部應力及外部應力二種。內部應力是因混凝土的硬化收縮、乾燥收縮，及外氣條件，如溫濕度的變化、化學成分作用、而使構材內部組織產生變化而伸縮，復又因結構構材的束縛作用，使內部應力無

法緩和，於是構材被撕裂，以應變承擔應力作用。外力作用時，不外乎是壓縮力、拉張力、剪斷力、彎矩力及扭力、和特殊的振動疲勞作用，這些外力作用於構造體而產生一相對應的內部抵抗應力，當內部抵抗應力小於外力作用時，龜裂即發生。

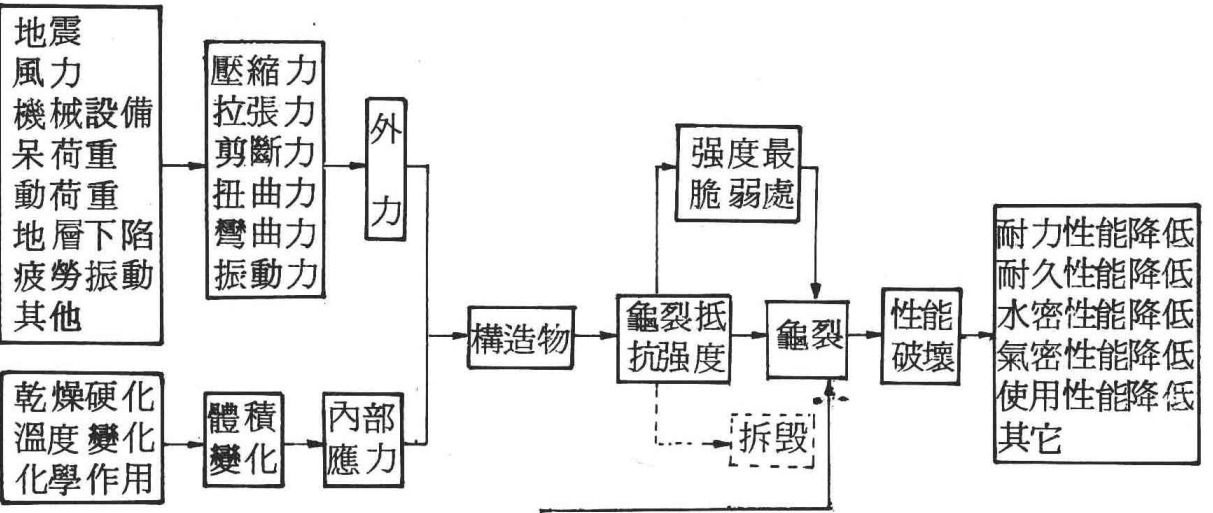


圖 1—4 龜裂發生模式及影響

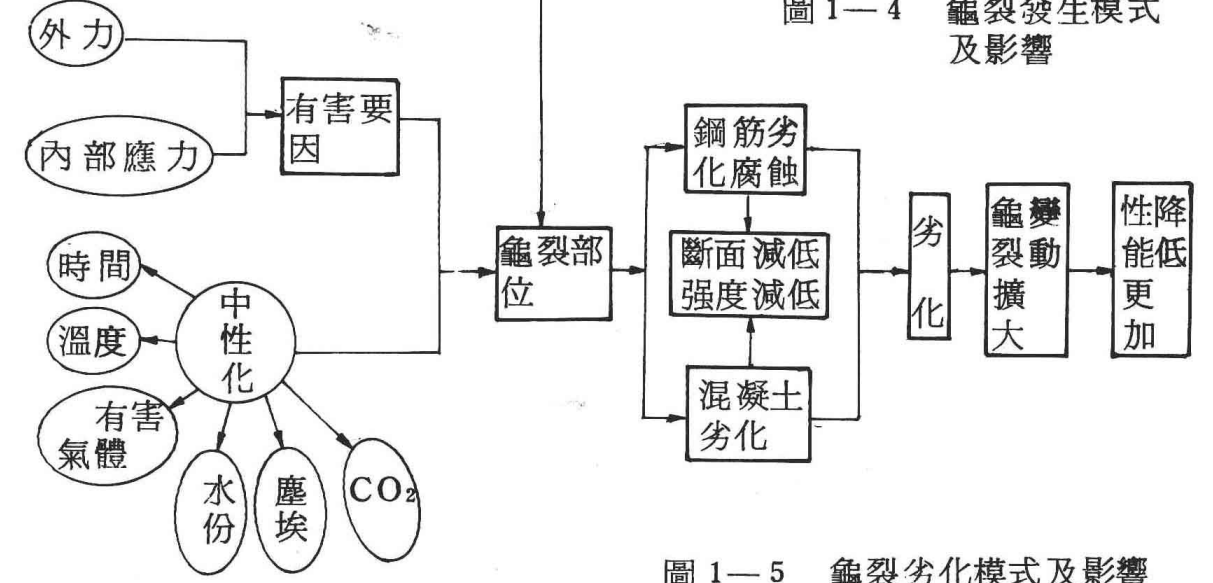
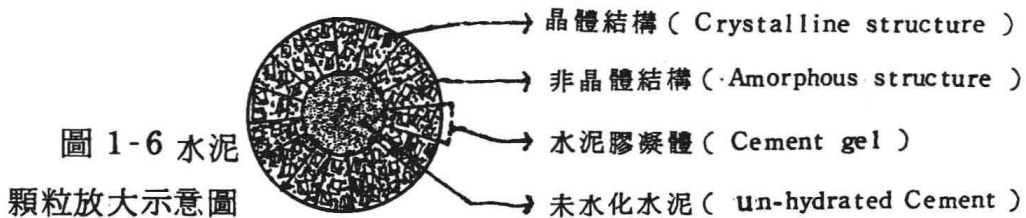


圖 1—5 龜裂劣化模式及影響

§ 1 - 3 - 1 乾燥收縮應變龜裂發生模式

混凝土進行乾燥硬化時會有收縮現象，稱之為乾燥收縮；有載重時，其瞬間會引起彈性應變，並隨時日而應變增加，稱之為潛變。以現行使用之水泥而言，是無法避免收縮及潛變的，這也是混凝土構造物造成龜裂的最大因素，在所有的龜裂中，以此佔最大部份，且難以避免，因其受材料性質、時間、外氣等等的影響而變化。

混凝土在水化作用過程中之所以會乾燥收縮，最主要是水份的蒸發及混凝土中分子與分子間之結構組織變化所造成，如圖 1—6，為水泥漿顆粒放大示意，水化過程中，晶體結構會越來越多，而非晶體結構漸漸消失，這就是混凝土功能造成的主因。但其成長過程，卻有一段很長時間，在未成熟的階段，若受到外在的影響，則會破壞其內部組織，使混凝土產生缺陷。



晶體結構乃水化作用之最後成長階段，經此階段混凝土品質算已完成，其由非晶體結構生長而產生，但非晶體結構，是處於半固體流動狀態，此部份之水份會持續蒸發，而造成乾燥收縮，使其體積收縮，初期時其水份蒸發很快，流動力也很大，而後愈來愈小，此種現象可以持續至二、三十年之久，百分之九十之乾縮，最主要是由此部份所造成；另百分之十之乾燥收縮是因表面之碳化作用。

混凝土乾燥收縮時，會產生體積變化，在自由伸縮的構造體而言，鋼筋的壓應力會越來越大，也因鋼筋與混凝土之間的握裹，會阻止混凝土收縮，而使混凝土之拉應力愈來愈大，終至產生拉裂現象。但因其可以伸縮，嚴重性還不致於太大。但在一般構造物，本身係受架構所束縛，而無足夠空間來緩和其本身的體積變化，則過度之收縮將使混凝土產生內部拉張應力作用，乃至發生撕裂。混凝土打灌後，水泥就開始水化作用，復又受外氣溫濕環境之影響，水份逐漸消失，故發生收縮，一般情形下，係外部先乾，內部後乾，致外部收縮，內部則未收縮，而外部受張力，在凝結或硬化初期，混凝土拉張強度甚低，故表面發生裂紋。其收縮愈大，龜裂亦愈甚。混凝土除了如上述乾燥收縮龜裂，在濕潤的外氣環境，其體積也會因膨脹遭致束縛，而使構造物因承受過度之壓應力，發生擠碎裂紋。

§ 1-3-2 溫濕度變化及化學作用之發生模式

一般建築物構造，皆不太重視溫度對大面積或屋頂受熱後之長度或體積改變而引起的裂縫或破壞，因濕度關係而引起之化學或物理上之變化使得混凝土或磚或粉刷層之破壞。尤其在台灣地區，因地居亞熱帶，溫濕度皆很高，更不得不加以重視之。

(1) 溫濕度變化與乾燥收縮組合狀況。

就整棟建築物受溫濕度變化所產生的結構行為而論，如圖 1—7 所示，(a)圖為混凝土的硬化收縮及溫度下降而造成整棟架構變動的示意圖，架構由上往下，收縮自由度，越來越小，若使其與基礎切離而可以自由伸縮，就如圖 (a₁) 所示，則不會發生龜裂；但一般基礎皆為固定並有繫梁，其實際的架構變形如 (a₂) 圖所示，越往下層，其變形角越大，因收縮而產生的內部應力，也越往下越大，在外壁、越下層越易發生逆八字型龜裂；而在樓板，容易在端部產生斜向龜裂，以抵消其收縮應力。

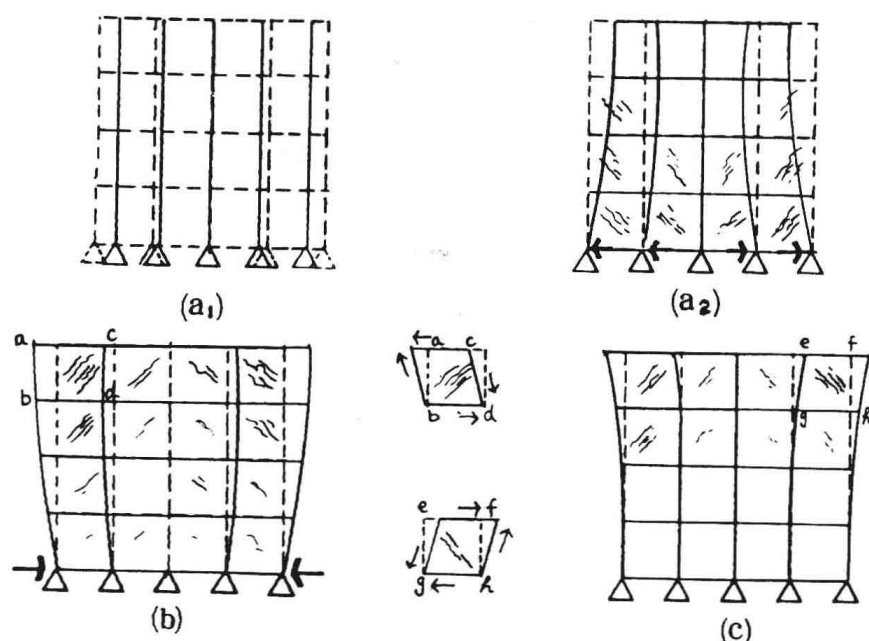


圖 1-7 因乾縮及溫度變化而引起之整體架構變形狀況

(b)圖為整棟架構因內外溫濕度差而產生膨脹之示意圖，如在冬季外氣溫濕度低，而內部有暖氣時，就可能發生這種膨脹內應力，其變動量越大，在外壁越易產生八字型龜裂。