

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為顯著

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，將之複合為鋼筋混凝土，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，成為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，一為隱在的，另一為顯在的。

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

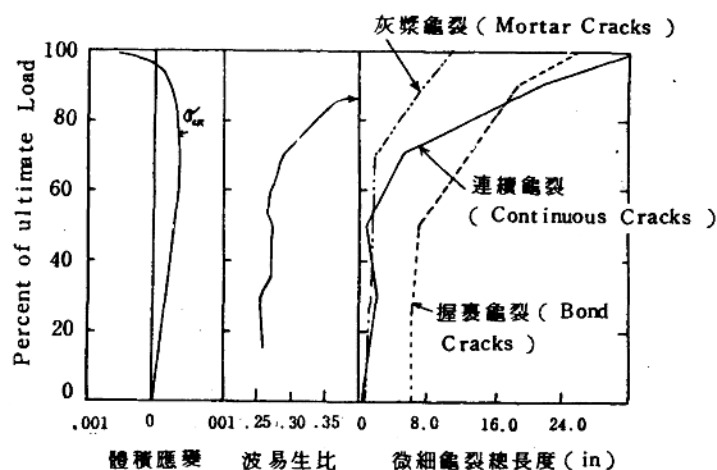


圖1—2 混凝土之微細龜裂及毀壞過程

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。

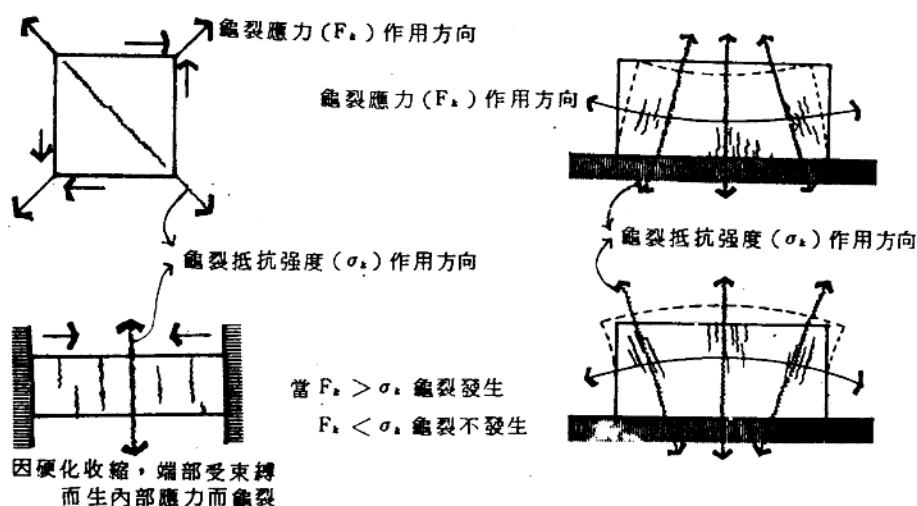


圖 1—3 龜裂應力作用與龜裂抵抗作用應力之基本原理

§ 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。

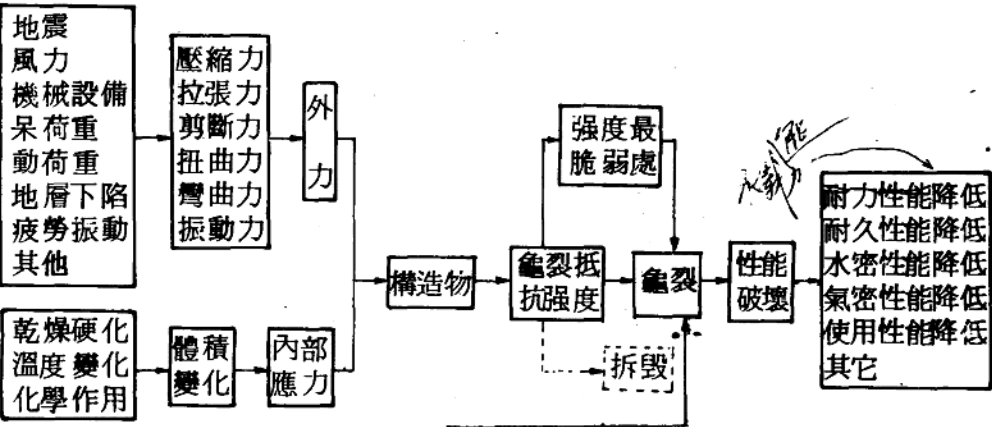


圖 1—4 龜裂發生模式及影響

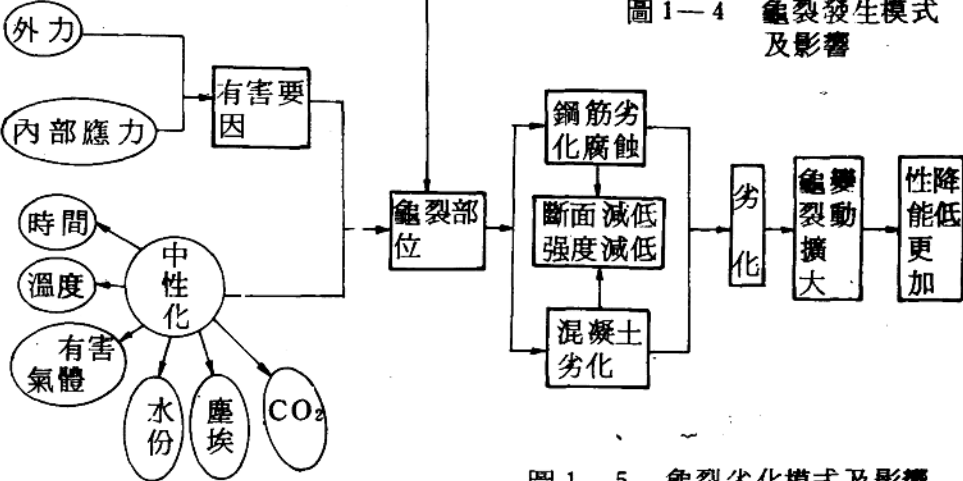


圖 1—5 龜裂劣化模式及影響

§ 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。

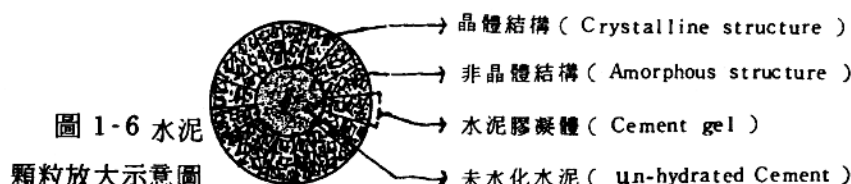


圖 1-6 水泥
顆粒放大示意圖

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，乃至發生斷裂。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。

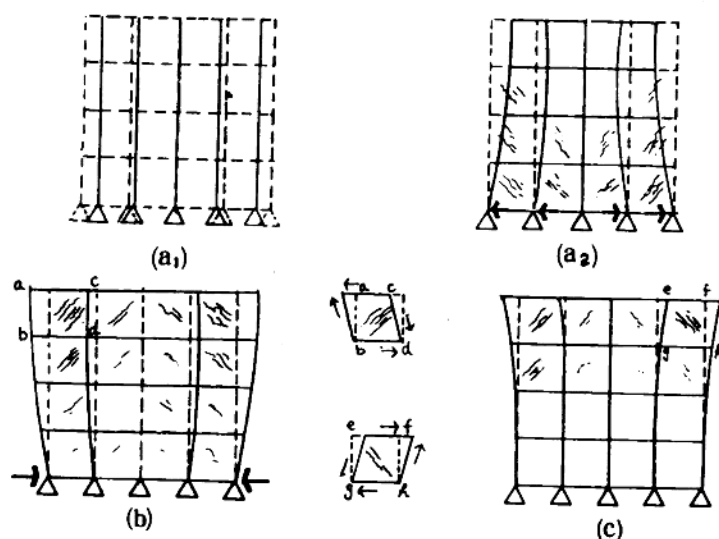


圖 1-7 因乾縮及溫度變化而引起之整體架構變形狀況

(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。

(c)圖為屋頂面受到直接日射而產生溫度上昇，架構之變形示意圖，越上層變形越烈，外壁越容易發生八字型龜裂。

以上推論在實際的建築物中，皆可以得到應證，並且可以由外觀之龜裂型態來判定龜裂要因。例如，在建築物上層有八字型龜裂，其原因可能就是屋頂受日射而膨脹的結果。

溫濕度變化除了引起構造物發生龜裂外，也常因而造成建築物表面裝修材料的變形、龜裂、甚至於剝離現象，這是由於各種材料因溫濕度變化而產生線性變化所導致的結果。

(2) 因化學作用而引起的體積變化

以上所述皆是物理作用而引起體積的變化，但由於構材成分，及所處環境之有害成分的影響，混凝土也會起化學作用而生體積變化，這種化學變化大部份是產生新生物質和原物質成分體積不同，而材料又被束縛，因而產生破裂。

化學作用不外乎以下四種：鹼質骨材反應、硫酸鹽作用及碳化作用以及鋼筋生銹。

① 鹼質骨材反應：混凝土之化學分解最常見者為水泥中之鹼質（Alkali）與含有大量矽質成份骨材發生化學作用所導致，作用結果為強度損失及過度膨脹，因而使混凝土發生破裂。此種龜裂類型大部份為不規則型態。大面積且暴露於外之混凝土為最烈。

② 硫酸鹽作用：土壤與地下水中含有鹼類時，可能使混凝土構造物發生損壞，其中主要有害之效應為硫酸鎂、硫酸鈉、碳酸鉀與碳酸鈣之作用，上述鹽類與混凝土中之水化鋁酸鈣發生反應，形成結晶狀之Calcium-Sulfoaluminates，同時發生膨脹而使混凝土破裂。

若地下水中硫酸鹽含量愈大及溫度愈高，則混凝土受損速度愈甚，若處於乾燥的情形，其反應就銳減變小。

③ 碳化作用（Carbonation）：混凝土暴露於含有二氧化碳之空氣中，因其重量比空氣大，會從空隙滲入混凝土中，而發生碳化收縮。其碳化收縮量之大小與混凝土之含水量、密度、溫度、 CO_2 濃度、構材大小均有關，混凝土的碳化作用，會造成構造物的劣

化，其關係相當複雜。

- ④鋼筋生銹：混凝土若保護層厚度太小，或水灰比太大造成空隙率大，或施工不良造成外部、內部蜂巢現象，則外氣中之水份、 CO_2 及有害成分就會滲入，造成鋼筋化學或電化學作用而生銹，造成體積局部膨脹，並生內部應力，混凝土與鋼筋間之附着力減弱，斷面積減小，而使表層破裂、剝離。

§1-3-3 外力作用龜裂發生模式

構材受到外力作用不外乎是壓縮力、拉張力、彎矩力、剪斷力及扭力等，產生這些力的因素大致上為靜載重及活載重、地震、風力、及機械振動所發生的振動作用力，及地層不均勻沉陷。

建築物完成後，因為地盤土層及基礎先天性的無法達到完全理想的固定，常會因鄰房施工，而造成地盤的壓密及滑動。在常態的情況下，就數地層下陷所造成的建築物破壞，最為強烈。所以針對此點，來論述其對建築物影響，造成龜裂的發生模式。

造成地盤不均勻的沉陷因素，歸納為以下各點：

- ① 在軟弱地盤上，建造長度大或重量大的建築物時。
- ② 地盤下部地層為傾斜時。
- ③ 建築在不同種類之地盤的建築物。
- ④ 建築在傾斜坡地或是接近坡地附近的建築物。
- ⑤ 地盤下有埋設物或空洞時。
- ⑥ 混用不同種類基礎構造時。
- ⑦ 基礎底面積、長度、根數有顯著不整時。
- ⑧ 在既有建築物增建，而沒考慮基礎荷重時。
- ⑨ 地下水位產生變化時。
- ⑩ 鄰房正在施工開挖地下室，支撐不足時。
- ⑪ 在軟弱地盤上，建築物重量顯著的偏於一邊時。

地層下陷，造成建築物的破壞，其破壞模式如圖 1—8 所示，當長度甚大的建物建築於軟弱地盤上時，其中央部分會下陷，龜裂會與應力作用方向交叉，在中央下部產生拉張力而垂直龜裂，二端會發生

八字型龜裂，從中取出一自由體如(b)圖可以得知，因下陷而使構造體產生一相對應的應力，這應力的大小須視建築物下陷量及其拘束度而定。若其下陷量太大，則上層中央部也可能受壓而破裂。若是二端下陷時，則其龜裂恰與上述相對應，二端為逆八字型，中央上部產生垂直龜裂，如圖1—9所示。若只有一端下陷的話，如圖1—10，必在下陷的地方產生龜裂。

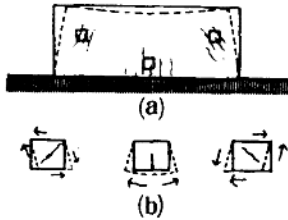


圖 1-8 建築物中央下陷龜裂

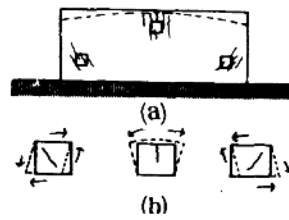


圖 1-9 建築物二端下陷龜裂



圖 1-10 建築物單邊下陷龜裂

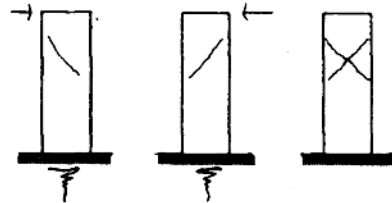


圖 1-11 水平力作用龜裂

當受到地震或風力作用時，其龜裂如圖1—11，因地震力常是左右二方向造成構材成波浪狀，而發生×型龜裂。而風力往往只有一個方向，所以造成單邊斜向龜裂。其主因仍是水平剪力值大於鋼筋混凝土本身的龜裂抵抗強度所致。

§ 1-3-4 振動疲勞龜裂發生模式

材料之疲勞破壞在力學上早已被認定為一種事實，將它拿到構造物上時，也可獲得同樣的結果，只是其破壞成因乃至於破壞過程，將異於單純材料的行為，這種理論，最早起源於土木工程，如道路及橋梁、和機械工程等。

在實際應用上，造成混凝土構造物疲勞破壞的原因，必為反覆的振動作用，如有機械走動的構造物，車庫建築物，或是由機械房機械振動傳遞於建築物的脈動，甚至於鄰房施工打樁或交通道路傳到建

築物的振動，對構材反覆施加於低於靜態極限強度之荷重，造成構材失敗的現象，稱為振動疲勞破壞，而其相對之應力為構材的振動疲勞強度。鋼筋混凝土建築物，在重覆承受這種振動應力作用時，若作用次數超過某一特定數值時，就會產生破壞龜裂。若未超過次數，則龜裂會因振動作用，而會發生一開一閉的現象，並使龜裂寬度產生變動並且擴大，此種振動疲勞破壞足以縮短構造物的使用年數。

造成構材疲勞破壞之荷重作用不外乎為拉力、壓力及彎矩三種，不論三種作用力為單獨或聯合作用，使構材產生疲勞破壞的荷重作用次數，將與作用力大小（即疲勞破壞強度）成正比，如圖 1—12 所示，作用力愈小，疲勞破壞的振動次數愈大。達到疲勞破壞的振動次數，關係到構造物的壽命。若構造物因振動疲勞導致龜裂破壞，則其使用壽命將取決於振動作用次數。

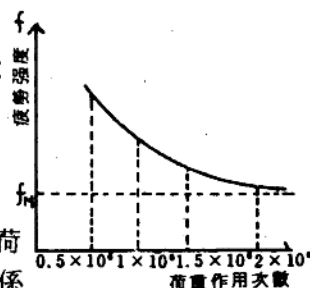
目前世界各國工程界對鋼材和混凝土之振動疲勞強度已採用一致性的定義及規定。在鋼材方面，承受反覆拉力作用後，達到疲勞破壞的容許振動寬度稱為疲勞強度，但須經 2×10^6 次作用後，鋼材才會破壞。 2×10^6 次為各國規定橋梁等土木工程壽命終止的振動次數。在一般使用之建築物，因造成建築物的振動要因比較小，所以應予適當修正。

在實用上會產生振動荷重的例子很多，除了土木工程以外，如機械工廠內機器振盪，對於廠房構件的振動作用、車庫建築等等，其它如風力、地震，也會因脈動而生振動荷重。

構成疲勞失敗的成因及型式，約有下列幾點：

- (1) 撓曲壓力造成混凝土破壞。
- (2) 斜拉力或剪斷力造成混凝土破壞。
- (3) 撓曲拉力造成鋼材破壞。
- (4) 握裹失效引起構材破壞。

圖 1-12 疲勞強度與荷重作用次數之關係



混凝土構材由握裹失效產生疲勞破壞的情形，通常都因裂縫先行形成，然後二種因素惡性循環導致整體的失敗。在未產生裂縫之前，構材不會因受振動作用產生疲勞破壞，除非其破壞次數已達破壞點，即使構材產生髮狀裂縫，但若能繼續維持細小狀態不再擴大或惡化時

，其疲勞強度將不受太大影響。不過一般在裂縫出現後，由於構材剛度的降低，其撓度即顯著增加，裂縫附近的握裹將因應力集中作用先行失效，從而導致裂縫寬度的擴大，如此一再惡性循環，終於造成破壞。這種因構件開裂，繼而由握裹失敗引起疲勞破壞的失敗方式，在混凝土構件上最為普遍。

§ 1-4 龜裂之型態

根據上述各種龜裂發生模式，加上構材性質的不同，混凝土會出現各種不同型態的龜裂，依龜裂所呈現的幾何形狀，可將龜裂分為垂直龜裂、橫斷龜裂、斜向龜裂、逆八字型龜裂、八字型龜裂、×字型龜裂、網狀龜裂、不規則龜裂等八種型態。

① 垂直龜裂

垂直龜裂通常發生在牆壁及女兒牆等垂直構材，梁的中央下緣也偶有細微垂直龜裂出現。

(1) 牆壁的垂直龜裂

通常發生在開口部下方的腰牆，與地平面約成垂直，粗細長短沒有一定規則。腰牆的中央部或端部均可能發生，然中央部由於拘束大，出現龜裂的頻度較高。

導致牆壁垂直龜裂的原因，有牆厚度太薄，鋼筋量太少，或窗下腰牆的形狀過於橫長（見圖 1-13），或建築物輕微變形等。

另一種垂直龜裂出現在牆壁與柱的交接處，有時非常明顯而深，甚至貫通牆厚，也有較細短呈斷續狀。前者大多由於不

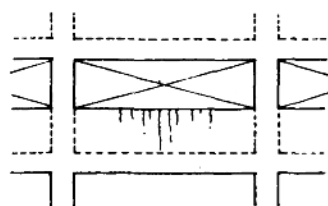


圖 1-13 窗下腰牆之龜裂

同材料接合不當所致，例如磚牆與 R C 柱之交接處，後者則可能是混凝土乾燥收縮或室內外溫、濕度差影響所致。

(2) 女兒牆的垂直龜裂

較長而薄的女兒牆，受混凝土收縮及外氣溫、濕度變化的影響，常有龜裂發生，其中垂直龜裂大多發生在中央部位，從上端往下，約在梁、版交接處消失。龜裂寬度常有大至 2 ~ 3 mm 以上者，

一旦龜裂即會出現鐵銹或石灰質的流痕，破壞建築物的美觀。

(3) 梁的垂直龜裂

依構材的結構行為，梁中央部下緣屬張力作用區，理應由鋼筋完全承受張力，混凝土只負責保護鋼筋。事實上構材的撓曲及混凝土乾燥收縮，令此部位的混凝土不得不承受張力，因而發生由下向上的垂直龜裂，寬度大多細微有絨，通常在 0.2mm 以內屬可容許範圍。

② 橫斷龜裂

依幾何形狀來看，橫斷龜裂又可叫水平龜裂，為別於樓版隅角龜裂而專指與梁材平行之龜裂，故稱之。

可能發生橫斷龜裂的構材有樓版、牆壁。

(1) 樓版的橫斷龜裂

發生在樓版的龜裂除隅角龜裂外，就是橫斷龜裂，其特徵為與梁約略平行而且橫斷整個跨距，甚至穿過橫梁延伸到另一跨距的樓版內（見圖 1—14）。平面狹長的建築物最

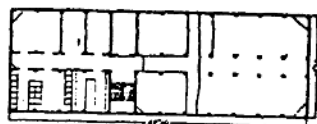


圖 1-14

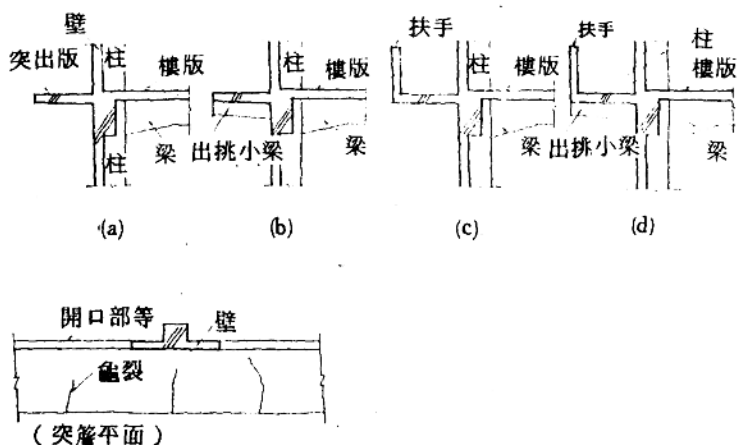
樓版之橫斷龜裂及隅角龜裂

容易發生這種貫穿橫斷龜裂，因為狹長方向的伸縮拘束特別大的緣故；單向版^(•1-1)易生短向橫斷龜裂的道理亦同。

樓版橫斷龜裂不只發生在張力側，連壓縮側也常見到，例如樓版面的中央部所見到的橫斷龜裂。又，沿梁側發生的橫斷龜裂，除受張力斷裂外，樓版鋼筋搭接、錨定的不足，或異形平面轉折處的水平力作用，亦為龜裂原因之一。

另外，根據調查結果顯示，出挑的突簷、陽台或露台，因於構造上的不同，會出現或多或少的水平龜裂。下圖所示的(a)(b)(c)(d)四種構造中，(a)型構造最容易出現龜裂，其龜裂型態如“突簷平面”所示；(b)(c)型構造則較不會出現龜裂，主要是出挑小梁或擋版增強其結構性的關係。(d)型構造兼具前二者之結構性，故很少會產生龜裂。

(•1-1) 單向版指長向 / 短向 > 2 之樓版。



(2) 牆壁的橫斷龜裂

牆壁橫斷龜裂的主要起因在於地震水平力的作用，牆壁中段形成反曲點，受往復剪力以致龜裂（見圖 1—15）。此類龜裂大多呈貫通狀。

另外，磚牆與 R C 梁或樓版交接處也會有水平龜裂，這是因為不同材料的接合處置不當所致。



圖 1-15 牆壁之橫斷龜裂

③ 斜向龜裂

與柱梁構架呈傾斜角度的龜裂，均稱為斜向龜裂，包括隅角龜裂。易生斜向龜裂的構材有樓版、牆壁、梁、女兒牆及柱等。

(1) 樓版隅角龜裂

樓版隅角龜裂的原因在於周圍構材的拘束力太大，樓版本身因乾縮或撓曲欲變形却不得，於是在拘束最大的角落產生對角線的張力，混凝土抗張能力抵擋不住而生隅角龜裂（見圖 1—16）。

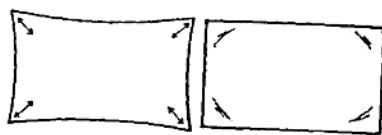


圖 1-16

樓版隅角之張力方向及龜裂型態

最容易發生樓版隅角龜裂的地方是建築物周圍的轉角處，其發生的原因除了上述因素外，還包含較大彎矩力作用的因素。

(2) 開口部隅角龜裂

開口部隅角龜裂的特徵爲：由開口部隅角向與開口部邊框呈 135° 角的方向龜裂（見圖 1-17），不管牆壁或樓版的開口部，均有此種傾向。理由如下：因開口部各邊的應力作用方向，是以各邊交點爲頂點，與各邊呈 135° 的方向爲界，向各方向作各異的垂直應力， 135° 的界線不但集合兩個邊的應力，又與乾縮所發生的拉應力界線相同，因而龜裂容易在界線上發生，而成爲“開口部隅角龜裂”（見圖 1-18）。

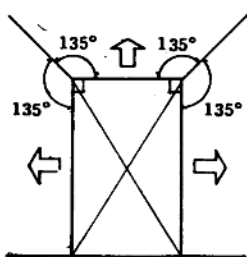


圖 1-18 開口部周邊之受力情形



圖 1-17 開口部隅角龜裂

通常在開口部各隅角配置 45° 的斜向補強筋，雖然可以減少龜裂寬度，但無法完全防止龜裂發生，是可想見的。

(3) 梁的斜向龜裂

爲剪力作用所造成，龜裂的位置在梁構材長的 $1/4$ 處，呈 45° 角由下向上斜裂（見圖 1-19）。

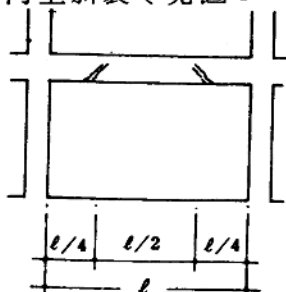


圖 1-19 梁之斜向龜裂

(4) 柱之斜向龜裂

亦屬剪力破壞所致，在柱的中央呈 45° 角斜裂。有單斜和 $\times$ 字型兩種情況，前者見於 L 型平面的內轉角柱（見圖

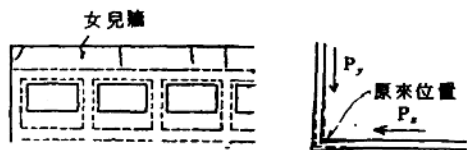


圖 1-20 柱之斜向龜裂

1—20)，或基礎不均勻沈陷的柱，後者常見於受震害後的柱。

(5) 女兒牆的斜向龜裂

當外界溫度上昇時，女兒牆並不是全體一致膨脹伸張；因為女兒牆與柱梁構架之間有溫度差，於是女兒牆的膨脹伸張受到構架的拘束，造成女兒牆上、下端的伸張差，而在隅角部產生向交角外方推出的作用力。當溫度下降時，女兒牆的



長度收縮，上、下端又產生收縮差。如此反覆作用下，龜裂即自稜線向隅角斜向而下（見圖1—21）。

圖 1-21 女兒牆之斜向龜裂及垂直龜裂

④ 逆八字型龜裂

通常發生於外牆，以建築物的中心為軸，出現對稱的龜裂。中央部份大致為垂直龜裂，從中央向兩端逐漸形成斜龜裂——在建築物右端的龜裂是從左下約 45° 斜向右上；反之，左端的龜裂呈左上右下斜裂。從整體來看，對中央垂直軸呈現逆八字型的樣子，故稱之。（見圖1—22）。

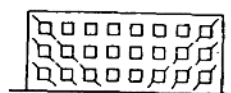


圖 1-22 逆八字型龜裂

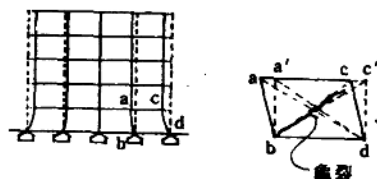


圖 1-23 逆八字型龜裂之構架解析

逆八字型龜裂的主因是乾燥收縮。在地盤下的部份諸如基礎、地梁等呈濕潤狀態幾乎不收縮，而地面層以上部分，在大氣中進行自然乾燥收縮，於是地面層一面進行乾縮，一面受地下部分不收縮的拘束，而產生內部應力致變形龜裂。（見圖1—23）。

外牆逆八字型龜裂通常有下列幾個特徵：

- 地面層的龜裂比上層的既多又顯著，而且寬度較大。
- 龜裂寬度是建築物端部的較大，中央部附近的較小。
- 建築物的南面比北面有較顯著的龜裂傾向，東、西面則無顯著的差別。
- 在夏季施工的混凝土龜裂最多，春、秋、冬三季施工的，龜裂較少。

- 設有伸縮縫的建築物，在縫的左右視為兩棟各自獨立的建築物，分別有逆八字龜裂發生。
- 混凝土澆置後 3 ~ 6 個月，逆八字龜裂即發展到可用肉眼辨識的程度。

⑤ 八字型龜裂

八字型龜裂的發生原理與逆八字龜裂類似，只不過後者的原因是乾燥收縮，前者是因溫度上昇而膨脹。

在混凝土澆置後初期，地上部份先是產生乾縮龜裂，後來受外界溫度上昇的影響而產生膨脹變形，却又受地下部份拘束而生八字型龜裂（見圖 1—24）。

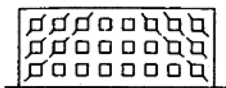


圖 1-24 八字型龜裂



圖 1—25 (a) 是考慮四季溫度變化的解析圖，圖 1—25 (b) 是考慮日間溫度變化，屋頂面受直接日射而溫度上昇的解析圖。

圖 1-25 八字型龜裂之構架解析

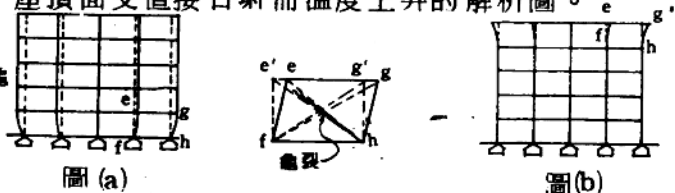


圖 (a)

圖 (b)

建築物外牆也可能同時出現逆八字型和八字型的龜裂，當混凝土澆置後即開始乾縮，使下層部份先生逆八字型龜裂；再因直接日光照射而溫度上昇，使上層部分再生八字型龜裂。其解析如圖 1—26。

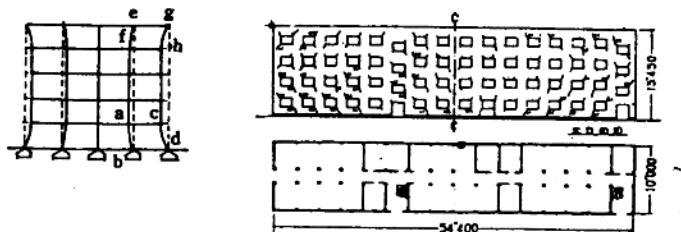


圖 1-26

上八字、下逆八字型龜裂之構架解析及實例