

# 鋼筋腐蝕造成混凝土梁及柱之品質惡化

譯者：蔡得時

中國工商專校建築科講師

## 一、前言

由鋼筋腐蝕所造成混凝土結構之品質惡化，乃為當今土木工程最重要一環之一，造成混凝土結構品質惡化之主要原因乃為此結構處於含有氯離子之環境中，諸如受到海水或去冰鹽之侵蝕等，關於此問題有很多報告及論文均有所提及，但大部份報告主要著眼於腐蝕機理、腐蝕防制及混凝土結構腐蝕之現場觀測，僅有一小部份之報告討論及混凝土結構品質惡化之機理乃由於鋼筋腐蝕所造成。

對一在使用年限內之混凝土結構的維護，包括了其品質惡化防制之量測及瞭解混凝土結構品質惡化之情況，對現存混凝土結構，最重要乃必須瞭解其品質惡化之程度，並判斷此結構是否須作維修，為達此目的，則必須瞭解下述兩點：

- (1)由於鋼筋腐蝕造成混凝土結構品質惡化之機理。
  - (2)考慮混凝土結構品質惡化之程度，並選取一適當且有效的方法來作維修。
- 上述兩點皆很重要，但前者比後者更為重要，假如不瞭解混凝土結構品質惡化之程度，則無法在適當的經費中選取一維修方法。

本文之目的乃在於瞭解，於含有氯離子環境中之混凝土結構，由於鋼筋腐蝕所造成混凝土梁及柱之品質惡化的機理。

## 二、試驗概要

有很多方法均可使包裹於混凝土內之鋼筋造成腐蝕，假使將混凝土置於海水侵蝕地區，則經一較長時間亦會使鋼筋產生高程度之腐蝕，為了能在短期間內瞭解混凝土品質惡化之機理，則有必要以加速試驗方法為之，此可參考 K. Takewaka 及 S. Matsumoto 所使用的靜電流腐蝕試驗方法，這種方法對於瞭解混凝土品質惡化之研究工作甚為方便，此乃因於試驗開始之短短數天即可觀測到試驗之情形。

本研究試驗係採用鋼筋混凝土梁及柱之試體，其尺寸分別為  $10 \times 10 \times 70$  cm 及  $10 \times 10 \times 40$  cm，如圖 1 及圖 2 所示。至於梁鋼筋之混凝土保護層為 1 cm 及 2 cm，而柱鋼筋之混凝土保護層為 2 cm，鋼筋係採用標稱直徑為 6 mm、10 mm、16 mm 及 19 mm 尺寸，混凝土拌和之水灰比為 0.70，而所使用之單位水泥量為  $185 \text{ kg/m}^3$ ，另外，氯化鈉 (NaCl) 對拌和水之重量比分別為 0%、0.5% 及 3.3%。

當鋼筋混凝土試體製作完成，並經置於  $20^\circ\text{C}$  溫度中濕養二星期後，即可進行靜電流腐蝕試驗，於試驗期間之混凝土強度約為  $286 \sim 306 \text{ kg/cm}^2$ ，當進行靜電流腐蝕試驗之前，每根梁皆承受靜態之載重，如圖 1 所示，使施加之撓曲載重達到鋼筋之降伏應力，最後此梁即產生撓曲裂縫。

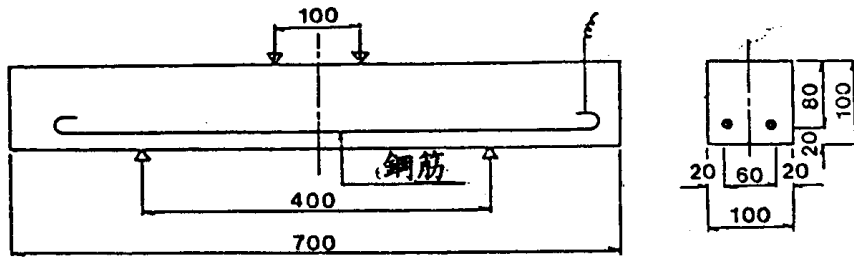


圖 1 混凝土梁試體 (單位: mm)

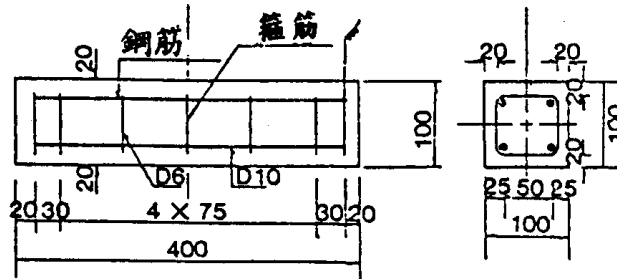
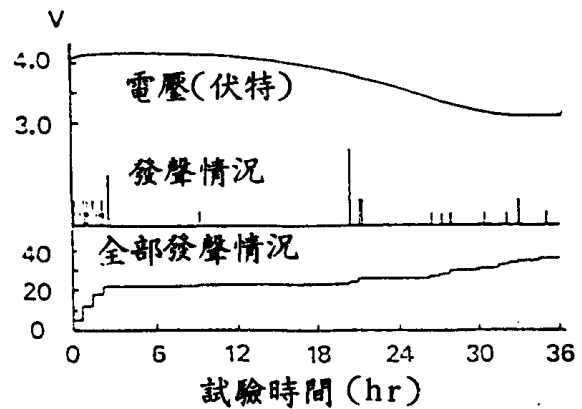


圖 2 混凝土柱試體 (單位: mm)

靜電流腐蝕試驗係採用如圖 3 所示之靜電流測定裝置儀器，試驗時將鋼筋混凝土試體置於濃度 5% 之 NaCl 溶液中，並將鋼筋接到儀器作為陽極，而置於試體下面之銅板作為陰極，梁作試驗時將靜電流固定於 167 mA，而柱作試驗時則固定於 45 mA 至 180 mA 間，將靜電流腐蝕試驗持續進行 2 天至 10 天，並可用發聲偵測器偵測試體之裂縫。



### 三、靜電流腐蝕試驗時試體之變化

圖 4 發聲情況及電壓

圖 4 所示為發聲偵測器之記錄例子

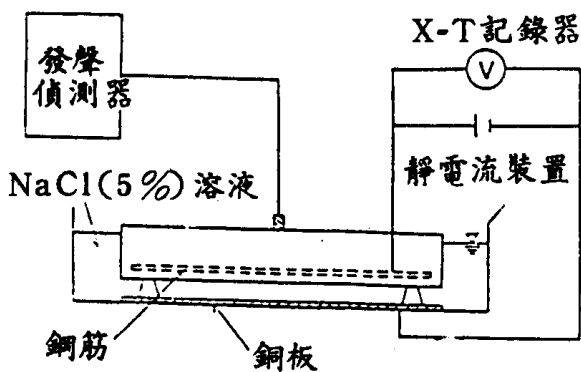


圖 3 靜電流腐蝕試驗方法

及梁試體作靜電流腐蝕試驗時之電壓，此圖亦顯示，試驗剛開始時，電壓升高。當鋼筋產生腐蝕時，會使鋼筋膨脹而致混凝土有裂縫發生，圖 5 所示為混凝土沿著鋼筋方向產生裂縫（此種裂縫稱為縱向裂縫），當裂縫產生以後，電流逐漸減小，而此時試驗繼續進行。當試驗剛開始時，發聲情況可以偵測之，至縱向裂縫產生以後，則僅有一點點的聲響可以偵測得到。

當發聲情況與混凝土裂縫間有良好

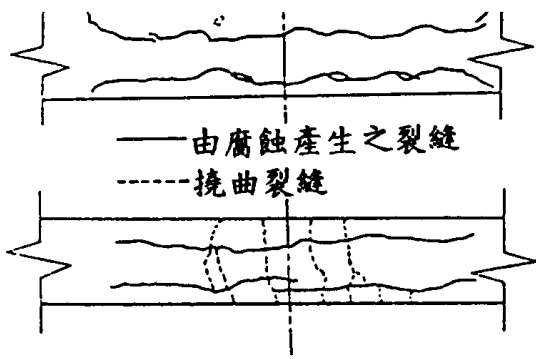


圖5 梁之裂縫(底部)

相關時，則由發聲情況偵測之結果即可評估試體裂縫之形式，基於此，發聲情況大部份集中於試驗剛開始而縱向裂縫尚未觀測到之前，故由於鋼筋之腐蝕，試體內部將有很多微細裂縫產生，當試體之縱向裂縫形成以後，其電壓將降低，亦即由於裂縫之增加，而致鋼筋與銅板間之混凝土電流抵抗將減少。由於電壓之逐漸降低，則所產生之裂縫將逐漸延伸而達試體之表面。

當靜電流腐蝕試驗剛開始進行 10 小時之內，裂縫將沿著柱之箍筋方向產生，在這些裂縫形成以後，接著在沿著柱之主鋼筋方向會有縱向裂縫產生，如圖 6 所示。

將試驗之結果與柱品質實際惡化情況作一比較，發現其裂縫之形式有所不

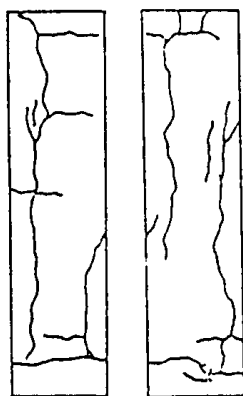


圖6 柱之裂縫(側邊)

沿著箍筋方向之許多裂縫，則難以觀測得到。造成此種不同的原因乃在於作用於柱之軸向載重不同之故，亦即實際柱承受有軸向壓力，而作腐蝕試驗之試體並沒有承受軸向載重，此軸向載重限制了鋼筋作垂直方向之膨脹，結果，由於載重之增加可能造成垂直裂縫增加，同時亦可能減少水平裂縫之產生。

#### 四、氯含量之影響及縱向裂縫

圖 7 所示為當拌和水中所含氯離子濃度不同時，將造成鋼筋腐蝕及梁裂縫形式之稍許不同，當拌和水中含有 NaCl 時，則不論撓曲裂縫是否存在，於拌和期間，包裹於混凝土內之鋼筋會有整根皆腐蝕之現象，當試體內有 2 根標稱直徑 10 mm 之鋼筋，且混凝土保護層為 2 cm，則鋼筋之間距為 4 cm，此時在 2 根鋼筋間亦會有裂縫產生，同時在貫穿裂縫處亦會產生腐蝕。但當包裹鋼筋之混凝土內沒有含任何氯離子時，則僅在混凝土之保護層為 1 cm 時，才會有整根鋼筋皆腐蝕之現象，對混凝土保護層為 2 cm 之梁，僅於靠近銅板這一側之鋼筋發現有腐蝕現象，但在鋼筋間並無裂縫產生。而且，在撓曲裂縫斷面處皆可發現全面腐蝕之現象。

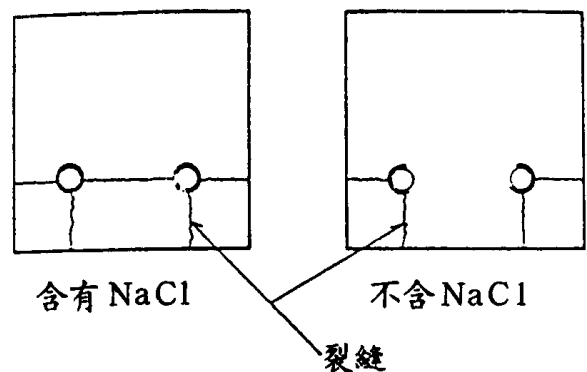


圖7 梁裂縫之模式(斷面)

梁試體間作比較，其較顯著之處為(a)柱箍筋之腐蝕速率較主鋼筋之腐蝕速率為快。(b)沿著主鋼筋方向之箍筋垂直裂縫亦會產生。即使腐蝕試驗僅進行短期間，箍筋腐蝕之情況較主鋼筋還嚴重，結果造成大部份腐蝕試驗試體於混凝土表面沿著箍筋方向有水平裂縫，而沿著主鋼筋方向有垂直裂縫。

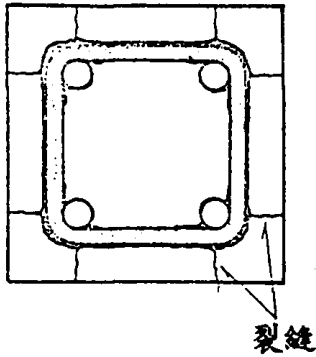


圖 8 柱裂縫之模式(斷面)

### 五、腐蝕以後鋼筋及試體之強度

圖 9 所示為經靜電流腐蝕試驗後鋼筋之強度，由圖中可知經靜力載重後，無論腐蝕鋼筋之降伏強度及最大強度均為未腐蝕鋼筋強度之 90% 至 95%，此圖同時亦顯示，無論鋼筋之降伏強度或最大強度，在相同水灰比之條件下，皆

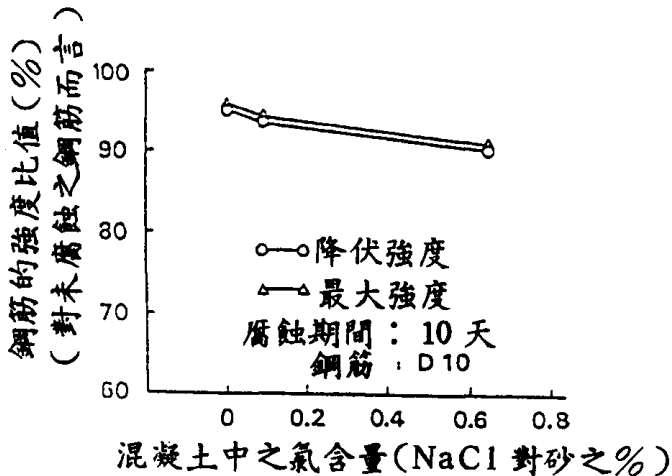


圖 9 鋼筋之腐蝕強度

蝕而對梁及柱強度之影響，由圖亦可知，因鋼筋腐蝕而對梁及柱強度之影響大致上均大於鋼筋本身強度之減少，其中鋼筋腐蝕後之強度約為未腐蝕者之 90% 至 95%，而梁及柱因鋼筋腐蝕後之強度各分別為其未腐蝕者之 67% 至 95% 及 80% 至 95%。造成梁及柱強度減少之不同亦許可歸因於兩者破壞機理不同之故。

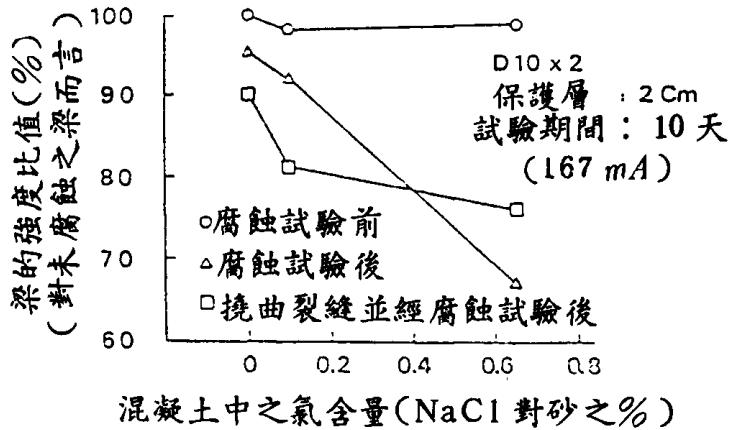


圖 10 試驗梁之腐蝕強度

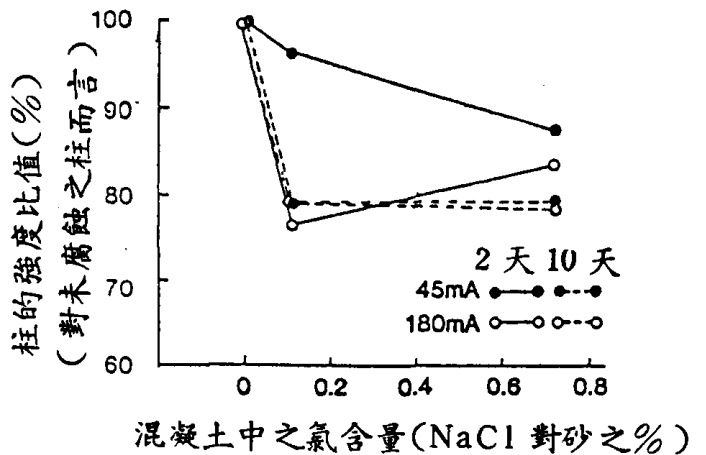


圖 11 試驗柱之腐蝕強度

圖 12 所示為未腐蝕梁之撓曲破壞及腐蝕梁破壞之情況，腐蝕梁之側邊會產生剪力裂縫，且沿著鋼筋方向會有縱向裂縫產生，最後導致梁破壞。通常，

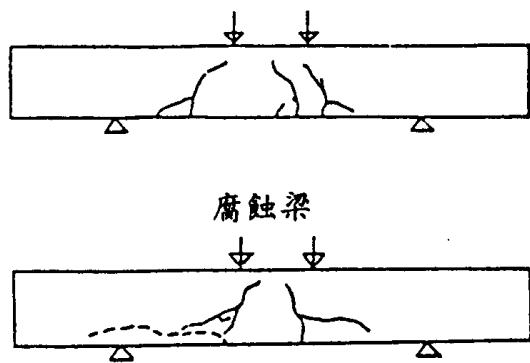


圖 12 靜力載重後梁產生之裂縫

當梁於撓曲作用下破壞時，將可獲得最大強度。假如此梁發生剪力握裹破壞，則與因撓曲作用而破壞之強度作比較，將大大地減少。

未腐蝕之柱將因受壓力而破壞，而腐蝕柱之破壞發生於柱之側邊，且沿著主鋼筋之方向有縱向裂縫，此結果顯示，由於裂縫之產生，故腐蝕柱比原來未腐蝕柱有較小的有效面積，如圖 8 所示。結果，與無任何裂縫之柱比較起來，腐蝕柱之強度較小。

#### 六、鋼筋腐蝕產生裂縫之有限元素法 (F.E.M) 分析

本試驗研究之結果非常符合混凝土結構現場腐蝕量測之情況，吾人可使用有限元素法 (F.E.M) 來分析，以瞭解混凝土內鋼筋所產生之裂縫，作分析計算時須瞭解下述條件，(a)由 T. Uomoto 及 T. Minematsu 以靜電流腐蝕試驗所研究之水灰比為 0.70，強度為 306 kg/cm<sup>2</sup> 之混凝土的裂縫準則。(b)計算含有充份氯離子混凝土中鋼筋之腐蝕情況及由於鋼筋腐蝕熱膨脹所產生之膨脹壓力。

圖 13 所示為實際計算結果之一例子，結果顯示，在混凝土與鋼筋間會產生握裹破壞，裂縫會由鋼筋之邊界成放

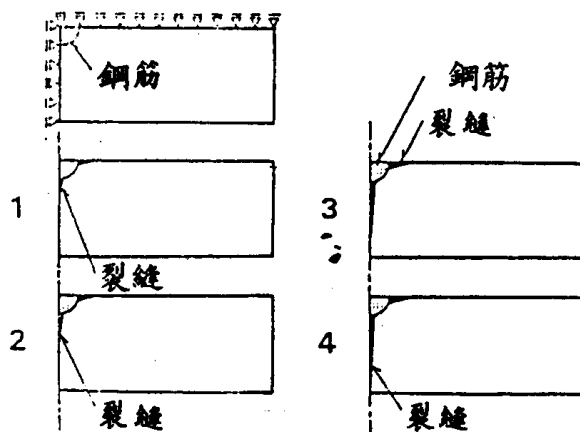


圖 13 有限元素法 (F.E.M) 分析結果 (D 10 × 1，保護層 = 2 cm)

射性方向形成，僅有與混凝土表面成垂直之裂縫會傳達至表面，最後裂縫將以一最短距離由鋼筋傳至混凝土表面，至於其他的裂縫，則於到達混凝土表面之前即行終止，當 2 根鋼筋之間距小於或等於混凝土最小保護層時，鋼筋間亦會有裂縫產生。

#### 七、結論

由於鋼筋之腐蝕而造成混凝土梁及柱品質惡化之機理可摘列如下：

- (1) 由於氯離子等之侵蝕所造成鋼筋之腐蝕將使鋼筋與混凝土間之握裹破壞，且在鋼筋與混凝土之界面將產生裂縫。
- (2) 當裂縫傳達至混凝土表面，則沿著鋼筋方向亦會有裂縫產生，且隨著鋼筋腐蝕之速率而增加。
- (3) 若鋼筋之間距小於混凝土保護層時，鋼筋間亦會有裂縫產生，且當鋼筋產生腐蝕時，包裹之混凝土將會破碎。
- (4) 沿著鋼筋方向之裂縫產生或包裹之混凝土產生破碎以後，則鋼筋與混凝土間之握裹將減少，且此時梁之承載能力亦顯著減少，在此情況下，梁會產生剪力握裹破壞，而柱會因受壓力而破壞。

，混凝土結構品質惡化之臨界點即代表  
沿著鋼筋方向有裂縫產生。增加混凝土

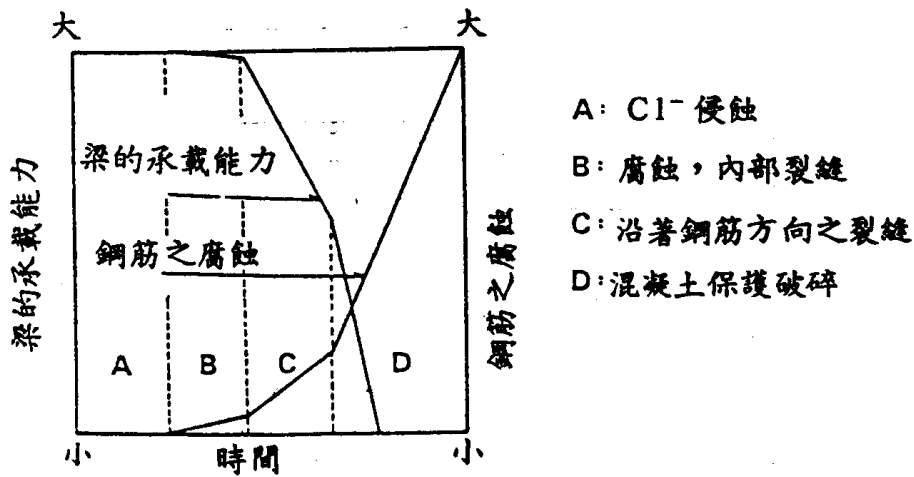


圖14 混凝土結構品質惡化之模式

保護層或降低水灰比乃為最常用之預防  
腐蝕之方法，此不僅可以預防氯離子之  
蔓延，且可以預防沿著鋼筋方向所產生  
之裂縫。

參考文獻

1. Brown, R.D., ACI SP-65, 1980
2. Kobayashi, K., Takewaka T., Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. 6, No.2, 1984
3. Beeby, A.W., Technical Report No.1, Cement and Concrete Association, 1978

4. Takewaka T. Matsumoto S., Annual Meeting of JSCE (No.38), 1983
5. Geymayr, G.W., ACI SP-65, 1980
6. Uomoto, T., Minematsu T., Concrete Journal, JCI, Vol. 19, No.4, 1981

本文係譯自“第四屆亞太地區防蝕會議  
論文集P.700 ~ P.707”，原作者為日  
本東京大學Taketo Uomoto等三位。