

“鋼筋混凝土危機”

陳文源

一混凝土發生之各種異狀現象於各界引起了關心，如日本 NHK 電視自去年到今年陸續播這幾件混凝土被害狀況，以致建設業界與社會上引起了顧慮，逐漸認識了被害事態的嚴重性是真實的。

到底目前混凝土構造發生了什麼事情，就日本的各項報導集粹來說明，以喚起大家的關心與預防，進而提高鋼筋混凝土的耐久年限。

從來大家都認為鋼筋混凝土構造是半永久性的，目前為止大家仍然認為鋼筋混凝土優異的耐久性是複合材料中排行第一。

鋼筋混凝土構造物除建築物外，橋樑、高架道路、公路、隧道、地下管類等都使用它。

一般對它的認識是“一旦建造了是永久的”，這些觀念深植於人們心中，不料經電視、報紙、雜誌等陸續報導混凝土構造物的損傷情形，使人們對混凝土的信賴感頓受挫折，急激下降，隨著科學進步，近年來，對開發而製造出來的機械、設備、日用品都有明示其使用期限，

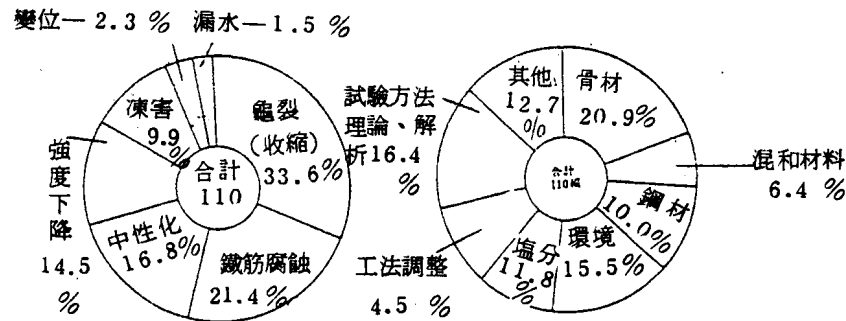
但鋼筋混凝土構造物却因大家一直認為是高耐久性者而無特別註明。

於稅法上折舊率上，法定耐用年數下，依用途例如：製造工場、倉庫折舊年數為 25 年，住宅是 40 年。但到底這是法定的問題，與實際建築物耐久是否符合一致從沒對照過。

因此，必須急速確立考慮了耐久性的設計法，並且積極的設定耐用年數。

如何設定建築物的耐用年數，並且如何來建立此保證下的設計是一重大課題。近年來資源枯竭化，對鋼筋混凝土構造物有深刻影響，例如：河川骨材的枯竭與採掘規定，良質的混凝土用骨材很難得到，又重視效率的混凝土工法的推展，使混凝土品質越下降，把日本 1982 ~ 1984 年日本建築學會大會概要所刊載的混凝土與鋼筋混凝土耐久性報告如下圖，圖一。

圖一：日本建築學會大會發表的 1982 ~ 1984 年之混凝土構造物耐久性問題研究



(1)劣化現象的分類。 (2)劣化要因的分類。

根據圖一之研究可看出下面幾項問題：

損傷混凝土構造物耐久性的現象不外是混凝土的中性化、龜裂、凍害損傷、強度下降、鋼筋生銹，部材的偏轉變化。其中，龜裂一項佔了 33.6%，其內容都為混凝土乾燥收縮而來。另一問題為補強鋼筋的腐蝕問題，蓋因鋼筋腐蝕最大原因為混凝土的中性化各為 21.4% 與 16.8%，檢討此原因中，骨材的影響佔了全體的 20.9%。這問題表示了近來河川骨材枯竭，使用多種骨材。其中使用海砂及異常膨脹骨材特別要注意。

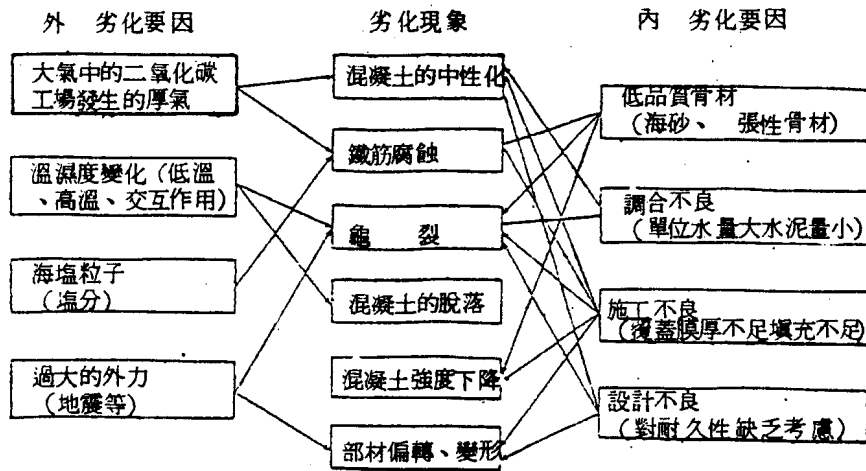
又環境因素如溫度、濕度、特殊環境如溫泉區域的混凝土劣化佔全體的 15.5%。使用海砂混凝土在海洋環境下即佔 11.8%。

鋼材等補強材料的防蝕或加腐蝕抑制劑的研究為 10%。

二鋼筋混凝土建築物的耐久性之損傷及腐蝕問題：

把影響鋼筋混凝土建築物之耐久性之損傷、腐蝕之主要劣化要因與劣化現象關係，如圖二。

圖二 鋼筋混凝土建築物劣化要因與劣化現象之關係：



劣化現象中①中性化現象使鋼筋腐蝕進而使建築物永久性遭受損傷，這是本質的劣化。

另一方面②低品質骨材或海塩粒子的侵入混凝土中，並於特殊環境有腐蝕氣體下，混凝土或鋼筋的腐蝕進行，建築物遭受破壞。

前者①之建築物劣化進行緩慢，要經數十年後才發生實際損傷，但後者②其劣化速度極快，十年內即發生大損傷，茲把鋼筋混凝土劣化狀況指出如下：

(1) 中性化問題：

建築物的鋼筋混凝土之混凝土中性化是不可避免的現象，要使其中性化遲延的方法：

- ① 排除二氧化碳的影響。
- ② 抑制混凝土中二氧化碳的擴散。
- ③ 提高滲透入混凝土中之二氧化碳之吸收能力。

排除或減低大氣中二氧化碳之影響方法是施工被覆體於混凝土表面，被覆體抑制中性化效果大，例如石材，磁磚等緻密材料，可使混凝土中性化幾乎停止進行。

另外，中性化之進行情形與混凝土強度有關。壓縮強度小的混凝土一般的水泥量少，滲透入混凝土中的二氧化碳吸收力小，這是中性化到內深部變成的。

在混凝土中性化區域的鋼筋比在未中性化區域的鋼筋腐蝕多。全體而言，腐蝕進行是有層次之差，亦即補強鋼筋週邊的混凝土中性化。在鋼筋混凝土構造物的耐久性上來說是表示以顯出紅灯狀態了。

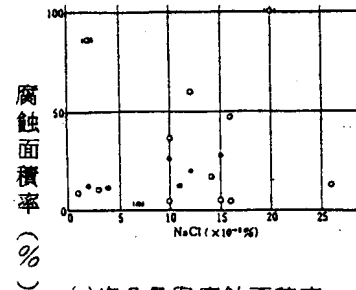
總而言之，通常混凝土中的水泥膏受空氣中CO₂的碳酸化而中性化，其碱性由pH 12~13，降到pH 8.5~9.5甚至pH 7，此中性化進度到鋼筋的時間即為其劣化的指示。

(2) 鋼筋腐蝕問題：

建造物中鋼筋混凝土的鋼筋腐蝕可如下分別之：

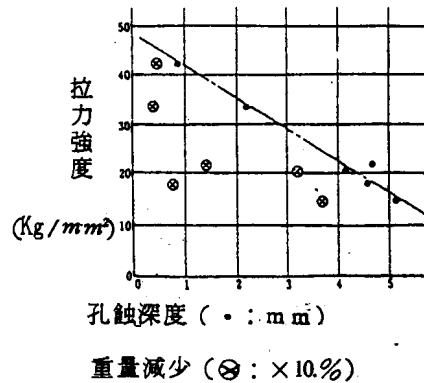
- ① 由於中性化以致混凝土對鋼筋失掉防銹保護效果。
- ② 使用於混凝土材料中含有的塩分或於海洋環境下，海塩成份滲透入混凝土中，如後者的海洋環境下的高溫多濕地域被害報告尤多。

圖3. 混凝土中塩分量與鋼筋生銹量之關係



(a) 塩分量與腐蝕面積率

圖4. 生銹量與拉力強度關係



孔蝕深度 (. : mm)

重量減少 (⊗ : × 10.%)

圖3、圖4.是竣工後經過25年後的鋼筋混凝土構造物中的塩份含有量與鋼筋腐蝕情形。

由此記錄可知混凝土中塩分量0.1% (2.3 Kg/m³) 此時補強鋼筋的腐蝕進行顯著，同時鋼筋的降伏點及拉力強度都下降，因腐蝕使得有效斷面減少，與健全的鋼筋比較降伏荷重及最大拉力即變小是當然的。有關含於混凝土中細骨材三塩份 JASS 5 I 級骨材是規定0.04%以下。II 級及 III 級骨材規定0.1%以下。況且在海岸地帶海塩自然容易從外面滲透混凝土中，增加其塩份量。調查了竣工後經過28年的距離海岸800m的構造物，其結果如圖5。從圖5.可清楚的看出於混凝土表面有0.1~0.4% (2-8 Kg/m³) 的塩份從外部入侵內面，越接近海岸構造物，其含量越高。又調查混凝土路橋，如圖6，混凝土表面含有20 Kg/m³以上的塩份。所以為抑制海塩之滲透在表面施塗被覆材料或含浸材料是必要的。

通常室內側混凝土其中性化進度比外面來的大，使鋼筋失去保護效果部份的塩份浸透，可使人了解鋼筋腐蝕速度因而加強，故這些部份的腐蝕防止對策是十分重要的。

總而言之，混凝土受中性化且鋼筋混凝土中有水份，其腐蝕即開始。倘若混凝土中鹼性度仍高，但若有氯離子等有害物質存在，仍然會腐蝕鋼筋的。鋼筋若腐蝕，其體積膨脹為三倍，鋼筋的腐蝕面積、腐蝕深度是其指標。

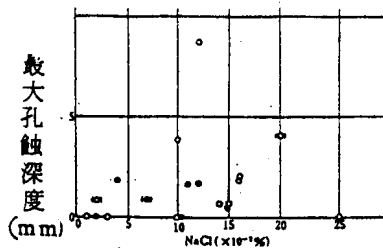


圖5. 混凝土壁內塩份之分佈

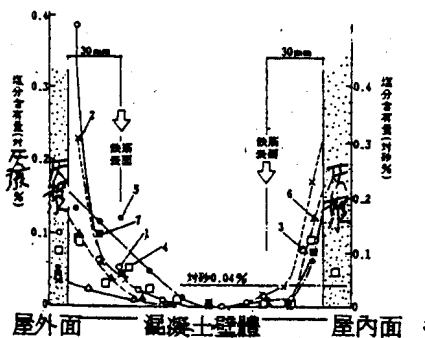
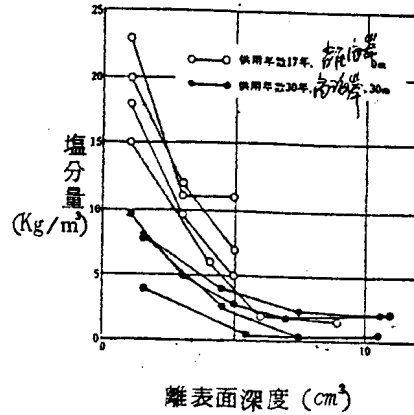


圖6. 混凝土橋的塩份含有量



(3) 龜裂問題:

發生於鋼筋混凝土構造物的龜裂有各色各樣，有起因於混凝土乾燥收縮者，鋼筋腐蝕所引發者，過大外力的作用而發生龜裂者。其中隨著混凝土硬化乾燥的收縮而發生的龜裂於混凝土性質上是不可避免的。

經調查200件以上建築物，針對牆壁發生的龜裂幅度，已有漏水危險的0.15 m/m以上龜裂痕跡者佔全體之42%，且已到規定的耐久性容許界限龜裂0.3 m/m以上者11%。

這些龜裂的發生導致浸透建築物內部的漏水或空氣的作用，使混凝土中性化漸進並致使鋼筋腐蝕，故其防止與減低腐蝕對策是極重要的。

圖7.與圖8.是表示壁厚及單位水量的龜裂關係。壁厚若18 cm以上，即龜裂之發生大幅減少，又單位水量若能控制在210 Kg/m³以下者，使龜裂度減低極有效。以上都是經調查結果才明白的。

圖7. 壁厚與龜裂係數

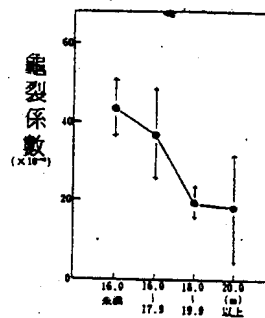
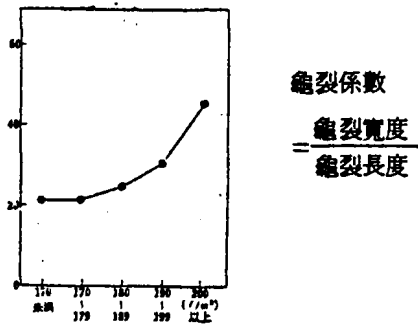


圖 8. 單位水量與龜裂係數



總而言之，所謂之龜裂是指混凝土的收縮、溫度應力、構造體的不等下沉、過大荷重及鋼筋腐蝕等，其龜裂的寬度、深度、單位面積的龜裂長度 (cm / m²) 為其指標。

(4) 漏水問題：

所謂的漏水是指混凝土的龜裂、接着處、水密性不足等引起之漏水，其漏水量、漏水面積為其指標。

(5) 強度減低問題：

經年累月混凝土強度會慢慢降低，同時凍解溶解，水壓比過高，骨材使用不當、水泥之溶解、氣密性低都是強度降低原因，針對設計 準強度，現場臨時抽驗強度為其指標。

(6) 大幅歪變問題：

整個混凝土床板會發生歪變，如樑柱之歪變，不等下沉之歪變，車輛的移動時，中央上下的振動數等都是床板歪變的指標。

(7) 表面劣化問題：

鋼筋混凝土覆蓋厚度之不足，因含有氯離子而腐蝕所引起之剝離、剝落，漏水使表面污穢，銹汁流出，粗化，粉化，污塵沾住，發霉等問題須發生，尤其混凝土之剝離、剝落會使構造物耐力受影響。

(8) 巨大電池作用問題：

於混凝土內部或外部環境的不均一性，鋼鐵表面發生電位差，形成腐蝕電池，這樣的電池作用其電位差距大，故稱為巨大電池作用，有下列情形作用。

① 不同的金屬作用：

混凝土構造物中有不同金屬接觸時，二金屬間會構成電池，卑金屬部份為陽極而腐蝕，濕潤環境下或有氯化物存在時，特別要避免不同金屬接觸的局部電池作

用強弱與其影響程度，受二金屬間之電位差，面積比，混凝土含水量，針孔度來支配。

② 活性—不動態電池作用：

混凝土中的鋼鐵一部份不被混凝土被覆的裸鋼體狀態下 (例如大裂痕發生處)，混凝土被覆處與不被覆的裸鋼間發生形成所謂的活性—不動態電池，這樣的電池產生數百 mV 的大電位差，裸鋼部份 / 被覆部份的面積小時，裸體的鋼鐵腐蝕顯著性受促進而增大。

③ 濃淡電池作用：

於混凝土中的氧氣濃度，氯化物濃度或鹼性濃度部份不同時，這時濃度低處的鋼鐵為陽極，濃度高處變為陰極而形成所謂的濃淡電池，陽極部的鋼鐵腐蝕即受促進，氧氣濃淡電池，亦稱通氣電池，於混凝土中鋼鐵之腐蝕扮演了重要角色。

④ 應速謀求之對策：

要防止鋼筋混凝土劣化問題，應從沒什着手，選擇良好的材料，嚴格的施工管理才能得到理想耐久的鋼筋混凝土。

(1) 設計問題：

應對新建築物時時刻刻有正確之耐久性設計與材料標準以及施工基準之確定。

並且確定維持、管理、維護、補修的技術準則與監工規準之制定。

(2) 材料問題：

對異狀混凝土解決問題如然在肩隨者，為鹼性骨材反應、海砂、海水的飛濺致害等之項，尤其龜甲狀裂縫是鹼性骨材反應所引起，可說是混凝土的癌症，其元凶是混凝土中的未結晶砂砂與水泥之鹼性物質發生化學反應，生成矽酸鈉，再加以混凝土中之多量水，使其生成玻璃狀結晶，這時的結晶體膨脹，使混凝土龜裂進而爆裂，像含有未結晶砂砂的岩石有很多種，應該使用河川的砂石才好。

第一個問題是今天用海砂、山砂、鑄渣骨材、碎石、碎砂等多種不同材料來代替良質的河川骨材、並沒採取仔細的對應，對這些骨材的品質需適當的評價，訂定基準，因混凝土是高耐久的材料，切不可掉以輕視這些問題。

第二個問題是低鹼性水泥之開發。最近因注意水泥粉塵製造時發生公害，遂產生了水泥製造業者的改進 程，設道電氣集塵設備。雖然公害減低了，但水泥燒成 改 SP 或 NSP 化，燒成燃料亦改為煤炭，使產生之水泥為高鹼性化，此高鹼性化水泥易與不良材料反應而造成

劣化原因。在日本方面，建設省、通產省確立新對策規定水泥中之氧化鈉等鹼性量為0.6%以下(重量比)若能抑制水泥鹼性度即低鹼性水泥之出現將減低劣化問題。

第三個問題是水泥添加劑問題，為配合作業速度採取高水壓比而不得不加一些混合劑來改善其流動性。與添加防水劑，減少劑等提高拌水泥性質，若不慎重選擇，反而影響水泥強度、收縮性含水性、鹼性、氣密性等問題。

第四個問題：鋼筋混凝土中所持用鋼筋為防其他材料之配合性不良與腐蝕增快。可採用環氧樹脂粉體塗裝者，或經鋅鐵合金(Zinfeing)處理者，或加防銹劑於混凝土中，以防止內部的腐蝕。

第五個問題：混凝土外面塗裝附着性優異而有彈性體之被膜，一方面隨混凝土龜裂而不脫落而可防水，防止塩份的滲透，且優異的耐候性來保護混凝土粉化。

(3)施工問題：

最近混凝土泵浦工法普遍化已很久，這工法的亂使用使混凝土品質下降，促使耐久性受到威脅。

施工效率良好的混凝土泵浦的魅力極大。但若對品質無法提高反而有害。

如今，混凝土建築物的龜裂增多，混凝土中性化比預期還來得快的原因，可說是採用泵浦工法來的。

以前的施工者遵守規定之水壓比，且施工後每日澆或使得養生期間，混凝土得逐步硬化。

施工問題若只顧作業速度與容易施工，忽略了正確的施工技術，多好的設計技術與材料的使用到底還是無法得到優良的混凝土。

四結論：

要提高混凝土中鋼鐵的耐蝕性，即要使腐蝕作用因子的水份，氧氣或腐蝕性鹽類不易浸透，而不發生裂痕為要，故

1. 要施工的水與水泥比要小，而氣密性高的混凝土。
2. 充分的混凝土厚度。
3. 盡量降低裂痕寬度，若要更提高其耐蝕性，可採用下列方法。

(1)鋼鐵的防蝕被覆

從來在鋼鐵表面施工金屬或有機物的防蝕處理，近來實用上採用鍍鋅，關於鋅、鎳、鎘、銅、鉛、錫等比較試驗中，鎘或鋅是最實用的⁹，因鎘高價多採用鍍鋅，鍍鋅對鋼鐵有陰極防蝕效果，且鋅的腐蝕生成物會包圍氫離子，有了比鋼多6倍量的氫化物許容量之好處⁹。但鋅在鹼性環境中腐蝕發生氫氣，降低鋼鐵的附着性之可能性，因此鍍鋅表面還要鉻處理，經過試驗47種有機被覆材料結果¹⁰環氧樹脂粉體電着塗裝的防蝕性與蠕變性最優良，不會使混凝土中鋼鐵之附着力降低。

(2)防銹劑

於混凝土中添加無機質或有機質防銹劑，由其反應機構把防銹劑分3種：

1. 陽極型防銹劑(不動態化劑)可在鋼鐵表面形成不動態被膜，抑制陽極腐蝕反應，如鉻酸鹽、亞硝酸鹽、安息香酸鹽等氧化劑，又鹼類、磷酸鹽等亦可協助氧之不動態化作用，陽極型防銹力大，少量即可得相當好的效果。

2. 陰極型抑制劑在陰極部形成難溶性鹽類，被膜達到保護目的，如碳酸鹽、磷酸鹽、矽酸鹽及聚磷酸鹽等，比陽極型防銹力差，故需添加大量。

3. 吸着型防銹劑係吸付在鋼鐵表面阻止腐蝕性物質接觸鋼表面，主要為N.S.OH等極性基的有機高分子化合物，陽極型防銹劑，若添加量不充分時，使局部集中腐蝕之可能性發生，陰極型與吸着型防銹劑，即無此顧忌，2種以上之防銹劑的混合，使用可防止局部腐蝕，而且有相乘的防銹效果，最近多以亞硝酸鈣為主要成份再加聚磷酸鹽、高分子脂肪酸鹽、多價醇類，添加於鋼筋混凝土中。

(3)電氣防蝕法

鋼筋混凝土中連續的鋼鐵材料，故採用電氣防蝕法：

1. 連接鋅或鋁合金，利用二者間之電位差通防蝕電流的流電陽極法。

2. 使用直流與補助電極為正極，鋼鐵材料為陰極通以防蝕電流的外部電源方式，使防蝕電流通入鋼鐵表面，使鋼鐵的電位如圖4以陰分極使其電位比孔蝕電位或孔蝕停止電位卑(即低電位)，保持在不動態區域，即可防止孔蝕之發生，對生銹的鋼表面，以陰分極使其電位更卑低，保持比圖4的防蝕電位還低卑。實用上後者的防蝕電位是達成防蝕的基準電位，但過大的防蝕電流的使用，可能發生過防蝕亦即產生碱

性的混凝土軟化或PC 鋼的氫脆化，故應避免，但流電極一式即無此顧忌，電氣防蝕法，若設計適當、施工正確、管理正確、對鋼筋混凝土的壽命延長是有效的。

(4)其他

亦有以聚乙烯或環氧柏油塗料來塗裝混凝土表面或混凝土中含有高分子體來防蝕的方法。

建設良質的建築物對次世人來說是最好的贈禮。反之，若沒價值不良的混凝土建築物是一大污穢，只有留給次世代困苦而已。故我們要恢復到原點，從頭開始，為社會、為下一代做好有價值而耐久的混凝土構造物才對。