

第二章 鐵筋混凝土の特長

第一節 混凝土及び鐵筋混凝土の耐火性

混凝土の耐火性を述ぶるに先きだちて、先づ火災に對する世界各國の被害の程度を承知することが興味ある問題である。不幸にして日本では調査をしたものを見ないが歐米諸國の例によると次の如くである。

獨逸	98 錢 (一年一人に對し)
佛蘭西及瑞西	60 錢
奧地利	58 錢
丁抹	52 錢
伊太利	24 錢

斯の如く世界各國に於て火災の爲に受くる損害の程度は決して少なくない、従つて耐火的の建造物の必要が起つて來たのである。

さて混凝土の耐火性に就ては先づ實例に依て説明した方が明瞭である。米國 ニュージャージー の ボラックス 會社にて千九百二年に火災が起つた、此會社は四階建て屋根を除くの外全部鐵筋混凝土で出來て居た。而して其火災の爲め屋根の上に有つた十八噸の タンク が落ちて床を破損したが、夫以外は火災の爲め格別の損害はなかつた。實際内部の眞鍮や他の金具は全部溶解鐵柱は飴の如くに曲れることから見ると其温度は華氏千二三百度より千四百度に達したであらう。

又最近の例では一昨年(千九百十四年)十一月 エヂソン 電氣會社の バラフィン を蓄へる倉庫に起つた火災で、温度が華氏の二千度に達した従て桁等の角のある所は火災の爲め丸められた。此倉庫は其時全部に火が廻つたが格別の損害が無く其後一ヶ月計りて修理し再び用ふることが出來た。此時の報告によれば柱の一部に割れが入つたが、之は火の爲めと云ふより寧ろ設計の悪かつた爲めで軸鐵筋を横に繋ぐ タイバー が無かつたからである。

又先年 バルチモア に起つた火災に就ては詳細な報告があつた。之は セウエル 氏が米國政府の命により調査をして技監に報告したものである。之によると此建造物は全部鐵筋混凝土で花崗岩の碎石を用ひ、床は鐵桁に混凝土を巻き壁も鐵筋混凝土であつた。此時の火災の温度は華氏千五百度から二千度で其結果桁と桁との間に龜裂が入り柱桁の角あるものは三吋位丸められ、床壁は四分の一吋變質し表面より四分の三吋位變色して居たと云ふ。而して セウエル 氏の意見によれば建築費の約二割の修繕費で舊の如く用ひられたと云ふて居る。同氏は火災後床一平方呎に對し三百封度(設計荷重が百五十封度なら試験荷重は三百封度にするのが米國建築條令の規定である)の荷重試験を行ふた結果僅に一分以内の撓度に過ぎないので更に使用に差支え無い事を示した。

此等の實例から見ても鐵筋混凝土が火災に耐える爲めには鐵筋の外に混凝土が六分あれば充分と思ふ、又四角の柱とか桁は火災の爲めに前述の如く角を痛めらるるから、圓形又は八角のものを

用ふる方が宜しい。セウエル氏は少なくとも半径二寸乃至二寸五分の丸味を付けよと云ふて居る。

耐火用の爲めに耐火瓦を鐵筋混凝土に並用する事があるが其結果の良否を決定する爲めノルトン教授が保險協會の依頼を受け研究せる結果によると、混凝土或は鐵筋混凝土と瓦を並用することは宜しくないと云ふ事が解つた。之は混凝土或は鐵筋混凝土と瓦との膨脹率が異なる爲め副應力 (Secondary stress) が働きて龜裂を生ずるのである。然るに鐵と混凝土とは膨脹係數がよく近似して居るのでなじみがよく従て副應力を生じない。

第二節 鐵筋混凝土の傳熱度

實驗によると表面千二三百度ならば内部二寸位の處は五六百度である。鐵錐を挿入せる混凝土を作り外部に露出せる鐵筋を千七百度に熱した時二吋内部では千度五吋内方では四百度八吋内方では水の沸騰點に達しないのである。斯く急激に温度が降下するものであるから、よし鐵筋が外に出て居ても格別の影響はないのであるが然し實際の設計に當りては鐵筋は外部に露出せしめぬ様にならねばならぬ。何となれば鐵錐が膨脹する爲め混凝土が割れる事があるからである。

建築物防火要項。

“Royal Institute of British Architects” の指名せる委員は、鐵筋混凝土建築防火につき次ぎの如き要項を報告して居る。

(1) 鐵筋混凝土より成る床、壁等は混凝土の調合比、其の部分の厚さ及び被覆物の量により防火の効力を異にすれども共に火災の蔓延を避くるに充分なり。

(2) 實驗及び火災後の經驗より見るに、石灰碎石を使用せる混凝土は強烈なる火災に遭へば表面多少碎離せられ相互凝着力を失ふ。又砂岩 (Sand stone) を使用せるものも同結果を呈すれども其の損傷の程度少なり。砂利及び碎石は其の粒大の大なるもの程損傷の度大なり。鐵筋は部材を其の位置に保たしむるに充分なれども部材としての強度は少しく減少せらるるを以て其の部分の混凝土を取り除き修理する事肝要なり。

(3) シンダー (Cinders) 又はスラッグ (Slag) を使用せる混凝土は強烈なる火災に遭ふも其の表面を害せらるるに止まり強度を減少する事なし従て修理頗る容易なり。

(4) 肋筋 (Stirrups) 及び曲上筋 (Bent-up bars) 等の如く桁又はスラブの上下縁を連絡する鐵筋は一般に火災により害を被むる事なし。

(5) 大梁等に於ては鐵筋を被覆するに一寸二分乃至一寸六分の混凝土を以てすれば、經驗上頗る強烈なる火災に對しても防火効力充分なり。又スラブ壁等の如き廣き表面を有する場合には鐵

筋被覆混凝土の厚さを八分に減じて可なり。

(6) 桁梁其他構造各部は角を存すれば火災の爲め剥げ落ちる事多きを以て、此等を丸み付きと爲すか或は隅切りとする事必要なり。

(7) 最も強烈なる高熱に對し防火の効力を完全ならしむるには將來容易に交換し得べき耐火材を用ひ建造物の表面を被覆するを可とす。

(8) 支柱の表面は裝飾と防火との用を兼ねテラコッタ (Terracotta) 又は其他の耐火材を張り付けるも可なり。

シカゴ市建築條例 (1912 年改定) によれば梁及び桁の下縁に於ては鐵筋外被覆混凝土の厚さは二吋同兩側に在りては一吋半、スラブに於ては一吋、支柱に在りては二吋の防火混凝土を要すと規定して居る。但し混凝土支柱に防火用として鐵網を使用する場合には外面より半吋の位置に挿入する事を得る規定であるが、此の場合には鐵網を鐵筋と考ふる事が出来ないと定められて居る。

其他各國の建築條例も其の規定する處概ね是れと大同小異である。

第三節 鐵筋混凝土は火災に會ひ如何に其強度を減ずる

米國の National Fire Protection Association にて千九百五年に鐵筋混凝土の桁を作り、之を火に投じて強度の變化を實驗した。其結果によると二千度(華氏)の熱を一時間加へたとき鐵筋を表面から一時内方に挿入した桁は加熱の爲め二割五分其の強度を減じた。又鐵筋を二吋内方に挿入した桁が何時間二千度の熱に遭へば二割五分丈け強度を減ずるかを試験した處が二時間二十分を要した。而して火熱が混凝土の強度に影響した部分は外面から四吋位まで、あつた。普通の火災に於て二千度の熱になることは大抵の場合には無い。又二時間も此様な火熱に續いて遭ふことは無いから鐵筋混凝土の効力は火災によつて減ずることは極僅少であると云ふてよい。

第四節 混凝土が耐火性を有する理由

ウールソン教授は千九百六年頃混凝土を火中に投じて温度の高まる具合を調べた。其結果温度を縦軸、時間を横軸にとると、面白い結果となる、即ち熱を加へ始めて最初の内は時間と共に温度が上昇すれ共華氏二百十二度に達する時は其後四十分乃至一時間は温度が上昇せず。而して其後は再び時間と共に温度は上昇す

ることを示した。

ニユーベリー氏は去る千九百二年に此耐火性の理論に就て次の如く發表した。即第一の理由は混凝土内にある水分が熱の爲めに發散する事により温度の上昇を防ぐのである、第二には水分の發散した後其跡に空氣が入り氣胞が出来る。而して熱に遭へば氣胞内の空氣は膨脹して外に出て冷い空氣が入り換り循環して、矢張り温度の上昇を防ぐのである。元來混凝土中には初め練り合せの時に入れた水が、混凝土の硬化せる後でも尙一割二三分（セメント重量の）は残つて居る。此水は天然状態及び化合状態で存在する。此化合状態の水は沸騰點では蒸發しない、之が出る迄には五百度を要し九百度に至らざれば全部水分が蒸發し盡さないのである。斯く水の蒸發して居る間は、壁自身は熱を内部に傳達しないから九百度迄は熱は内部に進まない。九百度を超すと水分の發散した跡へ前述の如く空氣が入つて氣胞を生じ、之が熱の爲めに外氣と新陳代謝して比較的溫度を上昇させないのである。

英獨米で實際に建造物を作り、火災を起して實驗をしたが、要するに火災によりて鐵筋混凝土は多少強度を減ずるが、一向差支へない程度のものであると云ふことが確認されるに至つた。

但し施工上の注意を缺く時は、海綿質混凝土が出来て思はぬ損害を受ける事がある。故に充分注意をせねばならん。

第五節 混凝土の透水性及び吸水性

混凝土が水を透し且つ吸收することは或度迄事實である。然し歐米では鐵筋混凝土を以てタンクを作る事が盛に行はれて居る。シカゴのメンチと云ふ人はタンクを作るに妙を得て居て此人の造れるものは未だ一度も水の漏れた事がないのである。但し此人は概ねモルタル或は 1:1:2 混凝土を用ひて居る。

今日では 1:2:4 混凝土で相當の厚さがあれば、心配する程水が漏るものでないと云ふことを一般に認められて居る。

混凝土の透水性はセメントの量を増すに従て其反比以上に好結果を得るのである。又砂利の粒を大きくする程強度を増し透水量を減ずる、又砂利と碎石とでは砂利を用ふる方が結果がよい。混凝土も月日を重ねる程透水すること少なくなる。厚さに於ては厚さの増す反比以上の好結果を得る、又堅練りのものより軟かく練りたるものが透水せない。屋根等には 1:1:2 位がよいが壁等には 1:2:4 で充分である。

軟かいものが宜いと云ふても水を必要以上入る時は、後に述べる如く急に強度を減じ軟性混凝土になるから、無闇に水を増すことは頗る危険である。

混凝土の厚さと水の高さの割合を次の如くすれば 1:2:4 混凝土で透水しなかつた實例がある。

水の高さ

混凝土の厚さ

四呎	四吋
四十呎	十五吋
百呎	六十六吋

カーン、システムでは透水を防ぐ爲め薬品を混用する。

又石灰を5%以内混ずることもある。要するにセメントを害する如き薬品は決して用ひてはならぬ。

又實際タンクを造る場合に如何に施工上に注意を要するかは次の例によりて明であらう。

米國アイオワ州の給水用タンクは現今米國では最大なるものである。直徑約五十尺高さ約四十尺あり、厚さは頂上で八吋、最も厚い處は三十吋あり 1:2:4 混凝土を以て造つた。此設計には混凝土の抗張力を度外し、鐵丈けて應張力を取る様にしたことは慣例の如くであつた。

此工事を受負に附して千九百十三年七月に竣工し、之を市に渡し水を入れて使用を開始したのである、然るに其後十月迄は何事も無かつたが十月一日二日三日となつたら水が漏り始めた。然し其表面に接近して見た丈けでは少しも漏りそうな所を見出すことは出来なかつた。そこで此審査員としてタルボット教授が調査を委託された。教授の話しによるとタンクに水を張りて遠方より見た時に八本の縦龜裂と横に波状をなす漏水面のあるのを發見した。依て漏水部の處を少し切出さして見たら全く海綿質の混凝土であつたとの事である。

一方測候所にて十月一日二日三日の氣候の狀態を問合せた所が、此三日間は其前日に比して非常な急激に温度の下降があつたことを知つた。

審査の結果タルボット教授は次の如く斷定したのである。即ち縦に龜裂の生じたのは天候の變化より起る應張力に對する鐵筋を缺いて居た結果である。何となれば該設計にて鐵筋はタンク側壁の中央部に近く集められてあるから、温度の變化が混凝土の抗張力以上になれば龜裂を生ずるのである。又側壁の或部分を軟弱なる海綿質混凝土ならしめたのは施工方法の不完全な爲めであつた。即ち施工に當り貯水池の中央に混凝土配布塔を建て其の樋を四十五度づつ廻旋して貯水池壁の枠内に混凝土を投入した爲めに樋の直ぐ下部には砂利のみ集まり砂とセメントが兩側に分離する結果となり茲に不等質混凝土が出来上り水が滲透するの原因を作つたのである。之れを要するに前者は設計上の粗漏で責任は設計者に在り、後者は施工法の不備な爲め請負人の責任となつた様である。尙ほ混凝土の鬆性と之れを不滲透性ならしむる方法の詳細に就ては本書 467 頁乃至 473 頁を参照せよ。

第六節 鐵筋混凝土の其他の特長

鐵筋混凝土は耐火耐水の特長ある外に成形容易なることは何人も知る所である。又他の築造物と異り接合線の無き一體的の建造物であるから、著しき耐震性を有することは彼の千九百六年の

サンフランシスコ大地震に於て鐵筋混凝土建築物のみが残つたことに依ても明白である。

耐久力に於ても他のものに勝る。是れ混凝土は年月が經つ程強度を強す爲めである。之に就ては後に詳しく説明をしよう。鐵とても常にペイントの塗り換へを要し、其都度多少傷を生ずるが鐵筋混凝土に於ては施工上注意を怠らないならば實に無限の壽命を有するものと云ふてもよいのである、又價格の點から云ふても、歐米に於ては他の耐久的な材料を用ふるよりも、二割乃至二割五分安く出来るし又鐵で出来ないもの迄も作ることが出来る特長がある。

現今我國では鐵筋混凝土は比較的高價に付いて餘り用ひられないが、是れ過分の安全を計り餘計な材料や手間をかける爲めであらうと思ふ。著者の設計して實際施工した經驗に依ると、會社及び學校建築で相等の大きさのものなれば、鐵筋混凝土部は大抵坪當百五六十圓に止つて居る。