

## 第一編 総論

### 第一章 鐵筋コンクリートの本質及發達

#### § 1. 鐵筋コンクリートの定義

土木學會鐵筋コンクリート標準示方書第二條には、鐵筋コンクリートの定義を次の如く與へて居る。

『鋼材を以て補強したるコンクリートにして、外力に對し兩者が一體として作用するものを云ふ。鐵筋コンクリートに使用する鋼材を鐵筋と稱す。』

即ち、鐵筋コンクリートはコンクリート中に、普通に、鋼材を埋込み、此の2種類の材料を其の特質に應じて協同的に利用し、以て一體として外力に抵抗せしめる様に作つた建築材料である。

鐵筋コンクリートに於けるコンクリートは主として壓應力を受け、コンクリート中に埋込んだ鋼材は主として張應力を受ける様に配材するが、鐵筋コンクリート柱や、抗壓鐵筋を有する桁及アーチなどの様に、鋼材が壓應力を受ける場合も尠くない。何れにしても、鋼材は直接又は間接にコンクリートを補強する役目を果す様にコンクリート中に埋込まれ、コンクリートが常に主で、鋼材は從である。故に形鋼をコンクリート中に埋込んだ柱に於て、形鋼とコンクリートとが協同して外力に抵抗するにしても、形鋼の分擔する荷重の方が、コンクリートが分擔する荷重よりも大きい場合には、之は鐵筋コンクリート柱ではなく、“コンクリートで補強した鋼柱”と稱すべきである。故に、防火及防鎧の目的で、鋼柱や、鋼桁をコンクリートで包み、全荷重を鋼材のみで受けさせる様なものは、鐵筋コンクリートではない。

鐵筋コンクリートに使用される鋼材を鐵筋と云ふのであるから、上述の“コンクリートで補強した鋼柱”などに於ける鋼材は、鐵筋ではない。

#### § 2. 鐵筋コンクリートの歴史

鐵筋コンクリートの發明者として知られて居るのは、J. L. Lambot 氏である。氏は、1850年に、コンクリートに鐵網を入れた側壁を有する小船を造り、1855年の巴里の博覽會に出品した。

巴里の植木師である Joseph Monier 氏はセメントモルタルの植木鉢を鐵網で補強する事を發

明し、1861年此の工法を水槽に應用する事に成功した。後、種々改良を加へ、格子形に鐵筋を配置する Monier 式を案出し、1867年に專賣特許を得た。

Monier 式工法の特許権を買ひ取つた獨逸の G. A. Wayss 氏は、J. Bauschinger 及 M. Koenen 兩氏と共同して、此の工法の學術的研究を爲し、Koenen 氏は、桁に於て、張應力を鐵筋で受けさせ、壓應力をコンクリートで受けさせる様に、兩材料を配置すべき事に着想し、1887年鐵筋コンクリート桁の理論的計算方法を發表し、現在の鐵筋コンクリート桁の應力計算の基礎を作つた。

佛人 François Hennebique 氏は、肋筋及曲鐵筋の使用に關する特許を受け、鐵筋コンクリートの進歩に貢獻する所が大であつた。

以上の Lambot, Monier, Koenen 及 Hennebique の諸氏は、鐵筋コンクリートの歴史に永く残る人々である。

其の後、世界の澤山の學者が、鐵筋コンクリートの研究をして、現今ではどんな構造物でも、鐵筋コンクリートで造る事が出来る迄に進むで居る。

現代で、世界で有名な鐵筋コンクリートの學者は、墳國の F. Emperger 氏、獨逸の Otto Graf 氏及 E. Mörsch 氏、米國の A. N. Talbot 先生等である。

鐵筋コンクリートが日本で初めて使用されてから約30年になる。最近10年間に非常に發達して、今日では、我國でも鐵筋コンクリートは殆ど凡ての構造物に應用されて居る。それで、鐵筋コンクリートの設計及施工に關する規準を與へる標準示方書も出來て居る。

建築學會は、昭和4年に、「コンクリート及鐵筋コンクリート標準示方書」を制定して、鐵筋コンクリートの施工法を規定した。

土木學會は、昭和3年に、コンクリート調査委員會を設置し、昭和6年に「鐵筋コンクリート標準示方書」を發表した。

本書は、土木學會の「鐵筋コンクリート標準示方書」に基く鐵筋コンクリートの設計に就いて述べたもので、以下本書に於て單に標準示方書と云ふのは、上記土木學會の標準示方書を指すのである。

### § 3. 鐵筋コンクリート成立の理由

鋼とコンクリートとは、其の性質が大に異なつて居る2材料であるが、是等が協同して外力に抵抗し、有利な建築材料となり得るのは、次の三つの主要な事實によるものである。

(1) 鋼は空氣中では錆びるけれども、コンクリート中に埋込むものは錆びない事。之は、鋼をコンクリートに埋込む古い構造物を破壊して見たり、又直接に實驗によ

つて、證明されて居る事實である。但し、此の事實が成立する爲には、コンクリート中のセメント糊狀體が、十分に鐵筋を包むで居る事が極めて大切である。

(2) 鋼とコンクリートとの間の附着強度の大きい事。コンクリートと鋼とが、協同して外力に抵抗し得るのは、此の2材料が確固に附着する事に依るのである。

鋼とコンクリートとの間の附着強度は、鋼の面積  $1 \text{ cm}^2$  につき大約 18 kg 乃至 37 kg 位である。之丈の附着強度がある爲に、鐵筋コンクリートが成立し得るのである。

故に、此の附着強度を發揮せしめる事、及之を保持せしめる様に設計、施工する事が、鐵筋コンクリートが成立する爲の主要條件の一つである。

(3) 鋼とコンクリートとは溫度に對する膨脹係数が實際上相等しい事。此の事實によつて、溫度の變化の爲に、鋼とコンクリートとが分離しないのである。又、コンクリートは熱の不良導體であつて、中に埋込むだ鋼に於ける溫度の變化を小ならしめるから、コンクリートの耐火性と相俟つて、鐵筋コンクリートが耐火的の建築材料となるのである。

### § 4. 鐵筋コンクリートの利點

鐵筋コンクリートの應用は極めて廣い。殊に土木建築の構造物で、鐵筋コンクリートの應用されないものは殆どない。之は、鐵筋コンクリートが、次に述べる様な利點を有する事に因るのである。

(1) 經済的な事。コンクリートは抗壓強度が大きいから、抗壓材としては、多くの場合に、甚だ經濟的な建築材料である。然し其の抗張強度は、大約抗壓強度の  $\frac{1}{10}$  に過ぎないし、又此の抗張強度に信頼しない方が安全である場合が多い。故に、コンクリートを張應力に抵抗する材料として使用するのは適當でない。

鋼は、抗張強度が非常に大きい。鋼に張應力を受けさせるには、之を單に針の形で使用する事が出来るから、鋼は抗張材として、最も經濟的な材料である。然し、鋼を抗壓材として使用するには、一般に複雑な形狀及加工を要するばかりでなく、許容應力も、普通に抗張材として用ゐる場合よりも、小さい値に取らなければならぬ。故に、鋼を抗壓材として用ゐる事は、抗張材として用ゐる場合の様に經濟的でない。

そこで、例へば、桁を作るに、桁に生ずる壓應力を受けさせるには、之に對して甚だ經濟的であるコンクリートを使用し、張應力を受けさせるには、之に對して最も經濟的な鋼針を使用すれば、非常に經濟的な桁が出来る事は明白である。斯くの如き主旨で設計されたものが、鐵筋コンクリートであつて、各材料の特長を發揮させ、材料を經濟的に使用するものである。

故に、鐵筋コンクリートは、其の耐久性、耐火性等を考へず、單に最初の工費丈から云つても、他の建築材料を使用する場合に較べて、甚だ經濟的に構造物を造り得るものである。

(2) 耐久的な事。コンクリートは一種の人造石であつて、風雨寒暑の影響を受ける事が比較的難い様に作り得る材料である。鋼は空氣中では錆を生ずるけれども、十分確實にコンクリート中に埋めれば、錆を生じない。故に鐵筋コンクリートは、木材、鋼材等に較べて、頗る耐久的である。又木材の様に、白蟻・鼠・諸種の黴菌等の害を蒙る事も無い。

(3) 耐火的な事。鐵筋コンクリートが、凡ての建築物に應用されるに到つて居る主な理由の一つは、鐵筋コンクリートが、耐火構造を作るに對して、最も有效適切な建築材料である事に因るのである。

鋼は耐火性の乏しい材料であるけれども、コンクリートは頗る耐火的の材料であつて、其の中に埋込んだ鋼を、火災に對して十分保護するから、鐵筋コンクリートは耐火的に造り得る材料である。大約 5 cm の厚さのコンクリートで、鋼を被覆すれば、普通の火災に對して十分安全である事が、多くの實驗の結果と、實際火災に於ける經驗とから、證明されて居る。

(4) 震動衝撃に對する抵抗力の大きい事、耐震的な事。是等は、從來の経験によつて、十分證明されて居る事柄である。

俗に、鐵筋コンクリート構造は耐震的であると云ふ事の意味は、鐵筋コンクリート構造は十分耐震的に築造し得ると云ふ意味である。耐震構造を容易に築造し得ると云ふ點からすれば鐵筋コンクリートは到底鋼構造に及ばない。然し、大地震には必ず火災が伴ふものであると云ふ事を考へると、鐵筋コンクリートは、多くの場合に、耐震耐火の構造物を經濟的に作るに對して、最も有效適切な材料であると云ふ事になるのである。

(5) 材料を得る事が容易な事。現今、コンクリート材料を手に入れる事は、他の建築材料に較べて、一般に容易である。又、コンクリート材料は、如何なる小量としてでも、之れを運搬する事が出来ると云ふ利點がある。

鐵筋コンクリートに使用される鋼は、一般に、直徑 6 mm 乃至 40 mm の針であつて、市場に澤山の在庫品があるから、之を購入する事は容易である。又鋼針 1 本の重量は、左程大きくならないから、其の運搬も、形鋼などに較べれば、餘程楽である。

故に、山間僻地に於てすらも、鐵筋コンクリート材料を得る事は、一般に、他の建築材料を手に入れよりも容易である。

(6) 構造物の形狀、寸法等が、材料の市場販賣寸法によつて左右されない事。

コンクリートは其材料を混合し、之を型に填充すれば出来るのであるから、どんな形のものでも、大きさのものでも、自由に造る事が出来る。

鐵筋は前述の如く、普通の場合に鋼針であるから、其の取扱ひ及加工は甚だ容易である。又、鋼針を接合するには、普通、單に、針端を鉤形に曲げて重ね合せ、コンクリートの填充中に針が移動しない様に、鐵線で緊結する丈でよいから、縫手を作る事も極めて容易である。

故に、鐵筋コンクリートは、之によつて、どんな形のものでも、大きさのものでも欲する様な單體的の構造物を、比較的容易に造る事が出来るものである。従つて、他の建築材料の様に、材料の市場販賣寸法の制限を受ける事が殆どない。

(7) 軽快な事。鐵筋コンクリート構造は、石材・煉瓦又はコンクリート構造に比して軽快である。従つて、構造物が占有する面積を小ならしめる事が出来る。之は地價の高い場所に建築物を造る時などに、有效床面積を大ならしめる事に就いて、甚だ利益のある事である。

(8) 殆ど修繕がいらない事。

(9) 修繕が比較的容易な事。

以上に述べた鐵筋コンクリートの利點を、最も多く利用し得る構造に、鐵筋コンクリートを應用する程、其の效果が大きい事は勿論である。鐵筋コンクリート構造にしなければならない様な場合も尠くない。然し、如何なる構造物でも、鐵筋コンクリート構造にするのが常に利益であると云ふ事は、一般に、あり得ない事であるから、鐵筋コンクリートの利用に就いては、十分其の利點及次に述べる缺點を考慮し、其の利點を十分發揮せしめる様に、構造物の設計及施工をする事が肝要である。

之を要するに、鐵筋コンクリートの利點は、譬へ美觀其他の點に於て他の建築材料を使用するものに比較して劣る所があるにしても、耐久的・耐火的・耐震的で、構造物建設の目的を十分に達し得るものと、多くの場合に、最も經濟的に築造する事が出来ると云ふ點にあるのである。

## § 5. 鐵筋コンクリートの缺點

鐵筋コンクリートは、既に述べた様な多くの利點を有するけれども、次の様な缺點もある。

(1) 重量の大きい事。鐵筋コンクリート構造が、鋼構造に劣る點の一つは、其の重量の大きい事にある。同じ荷重を受けるものとして、鐵筋コンクリート構造物の重量は、極くざつと言つて、鋼構造物の 10 倍である。故に、基礎地盤が軟弱である場合には、鐵筋コンクリート構造は、鋼構造に比して、基礎工に非常に多額の經費を要し、従つて鐵筋コンクリート應用の範囲が制限される。例へば、橋梁にしても、基礎地盤さへよければ、桁橋でも、支間 30 m 位迄は、鐵筋コ

ンクリート橋の方が、鋼橋よりも經濟的である事が多いけれども、基礎地盤が非常に悪い時には、重量の點で、鋼筋コンクリート橋が全く不適當になる場合もある。

又、重量の大きい事が、地震に對して、鋼筋コンクリート構造が、鋼構造に較べて甚だ劣る點である。

それで、軽い鋼筋コンクリート構造を作る事が、鋼筋コンクリートの應用範圍を大ならしめる點からして、極めて大切である。

軽い鋼筋コンクリート構造を作る一つの方法は、軽いコンクリートを使用するにある。輕量の骨材を使用すれば、比較的軽いコンクリートを作る事が出来るが、一般に強度が小さい缺點がある。輕量で、しかも相當に強度の大きいコンクリートを作るために、特に人工的に造られた骨材もあるが、價格が高いから、廣く用ゐられるに到つて居ない。

軽い鋼筋コンクリート構造を造る爲の目下の良策は、現今セメントの強度が著しく増大して居る事を利用して、成る可く強度の大きいコンクリートを作り、之によつて、構造物に於ける各部材の斷面を減少し、従つて、構造物全體としての所要鋼筋コンクリート量を小さくするにあると思はれる。

(2) 施工が粗雑に流れ易い事。 鋼筋コンクリート構造物は、設計施工を通じて、一貫した條件に従つて築造されなければ、完全に、能率のよいものが出来ない。設計の方は、設計者の技能に相當する丈のものが出来る。之は他の建築材料を使用する構造物の場合と同様である。然し、施工の方は、とかく示方書が満足に勧行されず、粗雑に陥り易い。其の主なる原因を挙げれば、

(a) 従来、土木建築の工事をする人の間には、コンクリート其の他に關する示方書は、確實に勧行されないのが當然であると考へる習慣がある。従つて、工事請負者は、示方書通りの施工をしない事を豫想して、法外に安い價格で工事を落札し、工費の上から、正當で必要な施工をなす事が出来ない事になる。

(b) 作業手や、工事監督者が、鋼筋コンクリートに關する十分な智識を有たない爲に、主としてコンクリートの重量を利用する構造物の場合に於ける施工の習慣に捕はれて、故意でないにしても、示方書に従つて、完全な施工をする事に努力しない場合がある。

(c) 鋼筋コンクリート構造は、出來上りさへすれば、其の施工の良否は、後から容易に判らないと云ふ事が、知らず知らず作業手などの頭に働いて、各自の労力を省く事のみを考へる様になり易い。

事等であると思はれる。

斯く施工が粗雑に流れ易い結果として、設計者が完全な施工を豫想して設計した構造物に於ては、構造物の安全率が大いに減ずるか甚だしければ構造物の破壊を惹起するし、若し設計者が施工の粗雑を把憂して、安全率を大きく取つて設計すれば、満足な施工が行はれた場合に頗る不經濟な構造物になると云ふ、困つた事になるのである。

(3) 龜裂を生じ易い事。 適當な材料の選擇、周到な設計施工をしても、尙ほ、鋼筋コンクリート構造物には龜裂が生じ易いものである。

龜裂が生じたらば、構造物が必ず破壊する譯では決してないけれども、龜裂が漸次増大する傾向にあれば、構造物破壊の前兆であるかも知れない。故に、斯くの如き場合には、直ちに其の原因を調査し、専門家の判断により、適當な所置をする事を怠つてはならない。

龜裂が靜力學上何等惧れるに足りないものであつても、之から水が浸入して、コンクリート及鋼筋を腐蝕したり、又は、其の水が冰結膨脹して、構造物破壊の原因となる事もある。

譬へ、以上の様な惧れがないにしても、龜裂は人に不安の念を懷かせ、少くとも體裁を損するものであるから、之に適當な修繕を加へる事が必要である。

(4) 局部的に破損し易い事。 鋼筋コンクリートは、鋼とコンクリートとの各特長を發揮させ、協同して外力に抵抗する様に作られるものであるから、鋼筋コンクリート構造全體としては、非常に堅牢なものであるけれども、コンクリートが比較的脆い材料である爲に、構造物の縁端や、伸縮接合の角などが、擊衝其の他の原因によつて、破損し易い。之が爲に、鋼筋が露出し、構造物の局部的破壊を來す事になる。

コンクリートの角が破損した時に、之を修繕する事は左程困難でない場合も少くないが、面倒な仕事があるので、兎角怠りがちになり易い。其の結果、少くとも、美觀を害する事になる。

コンクリートの縁端に丸味をつけるとか、面を取るとか、特別の場合には、隅角を特種の金物で保護するかすれば、餘程此の缺點を補ふ事が出来る。

(5) 檢査及改正の困難な事。 鋼筋コンクリート構造が出來上つた後は、之を検査して缺點を見出し、龜裂の發生及破壊等を未然に防ぐ事が頗る困難である。又、一旦出來上つた上は、設計施工の缺點を發見しても、之れを改正する事が殆ど出来ない。

(6) 傳音度の大きい事。 鋼筋コンクリートは、比較的傳音度の大きい材料である。故に、鋼筋コンクリート建築物に於ては、之れに對して、特に適當な處置をしなければならない場合が多い。

(7) 型枠費の見積に就いて困難のある事。 鐵筋コンクリートの型枠費は、全工費の15%乃至40%位を占めるものである。現今では、鐵筋コンクリートの施工が非常に進歩して、大きな請負會社になると、普通の構造物に對する型枠の標準設計が出來て居る程であるから、普通の場合には、型枠費の見積に就いて大した困難はない。然し、少し變つた構造物になると、型枠費を正確に見積る事が非常に困難な場合が數くない。従つて、正確な工費見積が出來ない爲に、種々の不便を生ずる。但し此の缺點は、鐵筋コンクリート工事が進歩するに従つて、漸次除かれ得る性質のものである。

(8) 破壊するに困難な事。 鐵筋コンクリートは、譬へ適當な器具機械を使用するにしても、之れを破壊する事が、他の材料に較べて、甚だ困難である。又、破壊した材料は潰しがきかない。

#### § 6. 鐵筋コンクリートの設計と施工との關係

鐵筋コンクリートをして、十分に其の特長を發揮させる爲には、適當な設計と同時に周到な施工が極めて大切である。いくら設計がよくても、施工が悪ければ、鐵筋コンクリートの特長を充分に發揮させる事が出來ない。實際、設計は少しあ手でも、施工がよければ、上手な設計が亂暴に施工された場合よりもよいのである。凡ての材料の検査及試験、型枠の適當な設計・組立及び除去、鐵筋を正しい位置に移動しない様に組立てる事、コンクリート材料の正しい計量、充分な混合、コンクリートの入念な打方及養生等は、鐵筋コンクリートが其の構造物建設の目的を完全に、又最も經濟的に達する事が出来る爲に、必要缺く可らざる條件である。即ち、鐵筋コンクリートは其の材料・設計・施工を通じて一貫した條件に依つて製作されなければ、完全な構造を能率よく作り上げる事が出來ない。従つて設計者が施工の監督まですれば一番良い。然し、之は實際上困難の場合も數くない。依つて、施工の監督者は、少くとも相當に設計を理解して其の要所を誤たず、完全に工事を施工させる能力ある人でなければならない。之と同時に、施工に理解のない人は、良い設計をする事が出來ない事も明白である。

## 第二章 コンクリートの製作

### 第一節 総 説

#### § 7. 鐵筋コンクリート用コンクリートに必要な性質

鐵筋コンクリート使用の目的は千差萬別である。従つて、鐵筋コンクリート用のコンクリートに要求される性質も、構造物の種類其の他によつて大分異なる譯であるが、一般に就いて言へば、强度・耐水性・耐火性及び磨耗に對する抵抗力等が其の主なものである。

鐵筋コンクリート構造物が、與へられた外力に耐へ得る爲に、コンクリートに相當な強度が必要である事は明白である。

鐵筋コンクリート水槽・地下室等に於て、水密性の大きいコンクリートを必要とする事は明白であるが、コンクリートが鐵筋防錆の目的を達し、構造物が風雨、有害な瓦斯等の影響に對して耐久的である上からも、コンクリートが十分耐水的である事が大切である。

鐵筋コンクリートの特長の一つは、其の耐火性にあるのであるが、耐火構造に於ては、特に耐火的のコンクリートを作る必要がある。

磨耗に對する抵抗力は、鐵筋コンクリート道路とか、波浪の影響を受ける海中工事などに於て、特に大切な性質である。

是等の大切な性質の内で、强度及び耐水性は、主として、コンクリートの配合及び水量に關係し、耐火性は主として使用する骨材の性質に關係し(§ 54 參照)、磨耗に對する抵抗力は、主として、配合・水量・骨材の性質及搗固め等に關係するものである。

鐵筋コンクリート用コンクリートの品質及び強度を示す基準として、簡単の爲に、コンクリートの抗壓強度を用ゐる事が、今日一般に行はれて居る。

鐵筋コンクリート用のコンクリートに必要な強度は、其の抗壓強度のみではなく、抗張強度・抗剪強度・鐵筋との附着強度等も極めて大切である。而して是等のものは、必ずしもコンクリートの抗壓強度に正比例する性質のものではないが、適當な設計及施工によつて製作されたコンクリートの強度は、大體に於て、その抗壓強度で表はす事が出来るものである。

又、コンクリートの水密性、磨耗に對する抵抗力等も、直接抗壓強度に關係する性質のものではないが、普通の場合、相當な抗壓強度を有するコンクリートでなければ、矢張り是等の性質を

充分具備する事が出来ないと云ふ點と、是等の試験をする事は容易でないと云ふ關係等からして、コンクリートの品質を示す標準として、抗圧強度を用ゐる場合が多いのである。

鐵筋コンクリート用のコンクリートとして、コンクリートの抗圧強度と同様に必要なのは、コンクリートが齊等質で密度の大きいものである事である。之は、無鐵筋コンクリートの場合でも大切ではあるが、鐵筋コンクリート部材は、無鐵筋コンクリート部材に較べて比較的小さいし、一局部に於けるコンクリートの弱點が構造物の強度に大きな影響を及ぼすから、鐵筋コンクリートに於て、特に大切なである。

以上の、コンクリートの强度・水密性・耐火性・磨耗に對する抵抗力及齊等質、等は、出來上つたコンクリートに就いて必要な性質であるが、鐵筋コンクリート用のコンクリートとして、施工上からは、作業に適するウォーカビリチーを有する事と、粘性に富む事が極めて大切である。

ウォーカビリチーとは、標準示方書第二條に定義してある様に、コンクリートの流動性に依る施工容易の程度を云ふのであつて、コンクリートが齊等質のものとなり、型枠及鐵筋の間によく行き渡りて鐵筋防鏽の役目を果す事が出来る様な施工が、容易に且つ安全に出来る爲に極めて大切な性質である。

又、コンクリートは粘性に富んで居るものでなければならない。そうでないと、材料の分離を來すから、コンクリートが不齊等になつたり、鐵筋の下側に空隙を生じたりする。コンクリートの粘性が大きい事と、ウォーカビリチーがよい事とは、或る程度まで相反する性質であるが、兩者共極めて大切であるから、工事に最も適當したウォーカビリチー及粘性を有するコンクリートを使用する様に努力しなければならないのである。

以上述べた、鐵筋コンクリート用コンクリートとして必要な諸性質を有するコンクリートを作成するには、材料・配合及水量・混合・填充及養生其の他の施工を適當にしなければならない。是等の點に就いて詳述する事は、本書の主旨でないから、之れを拙著「鐵筋コンクリート施工法」に譲り、本書に於ては、鐵筋コンクリートの設計につき、施工に關する最も大切な事項として、標準示方書の條項と、其説明文を掲げる事にする。

## 第二節 セメント

### § 8. ポルトランドセメント及高爐セメント

現今我國に於て、鐵筋コンクリートに普通に使用されるセメントはポルトランドセメント及高爐セメントであつて、是等のセメントの品質に關して、標準示方書は次の様に規定して居る。

### 『第七條 ポルトランドセメント及高爐セメント』

ポルトランドセメント及高爐セメントは昭和五年八月商工省告示第四十一號日本ポルトランドセメント規格及同第四十二號高爐セメント規格に合格せるものたるべし。ポルトランドセメントに關する同規格（JES第28號）の要點を抜萃すれば次の如くである。

### 『第一章 製造法』

第一條 「ポルトランドセメント」へ主成分トシテ珪酸、礫土、酸化鐵及石灰ヲ含有スル原料ヲ適當ノ割合ニテ十分ニ混和シ之ヲ殆ド熔融セムトスル迄灼熱シタル後粉碎シテ粉末ト爲シタルモノトス。  
「ポルトランドセメント」（以下單ニ「セメント」ト稱ス）ニハ他ノ物質ヲ混和スルコトヲ得ス。但シ其ノ重量ノ3%以下ノ石膏ヲ混和スルハ此ノ限ニ在ラス。

### 第二章 試験法

#### 比重

第二條 「セメント」ノ比重ヘ 3.05 以上ナルコトヲ要ス。

#### 粉末ノ程度

第三條 「セメント」ヘ 1 cm<sup>2</sup> = 付 4900 孔ヲ有スル篩ヲ以テ篩ヒ別ケ其ノ残滓量 12% ヲ超エサルコトヲ要ス。

#### 凝結

第四條 普通ノ用途ニ供スル「セメント」ヘ 15°C 乃至 25°C = 於テ注水ヨリ 1 時間以後ニ凝結ヲ始メ 10 時間以内ニ凝結ヲ終ルコトヲ要ス。

#### 膨脹性龜裂

第五條 「セメント」ハ次ノ試験ニ於テ膨脹性龜裂（歪曲ヲ含ム以下同シ）ヲ生セサルコトヲ要ス。  
膨脹性龜裂ヲ試験スルニハ浸水法ニ依ルモノトス。但シ浸水法ニ依ル試験時日ヲ有セサル場合ニ沸煮法ニ依ルコトヲ得。

浸水法 優頭形體 2 個ヲ成形後凡ソ 24 時間ヲ經テ水中ニ浸シ 27 日間ニ於テ膨脹性龜裂ノ有無ヲ檢スルモノトス。此ノ期間ニ於ケル水ノ溫度ヘ 15°C 以下ニ降ラシメサルコトヲ要ス。

煮沸法 優頭形 2 個ヲ成形後凡ソ 24 時間ヲ經タル後水ヲ充タセル鍋中ニ沈メ徐々ニ熱シテ凡ソ 1 時 30 分間沸騰セシメ漸次ニ冷却シタル後膨脹性龜裂ノ有無ヲ檢スルモノトス。

#### 強度

第六條 「セメント」ノ強度ハ第七條乃至第十條ニ依リ製作シタル供試體ヲ用キ耐壓試験ニ依リ之ヲ定期モノトス。但シ抗張試験ヲ以テ之ニ代ウルコトヲ得。

耐壓試験及抗張試験ヘ成形後 7 日（空氣中 24 時間、水中 6 日間）及 28 日（空氣中 24 時間、水中 27 日間）ヲ經タル供試體ニ付之ヲ行ヒ次表ノ規定ニ合格シ且 28 日ノ力ハ 7 日ノ力ヨリ大ナルコトヲ要ス。

成形後ノ日数	7日	28日
耐 壓 力 kg/cm <sup>2</sup>	220以上	300以上
抗 張 力 kg/cm <sup>2</sup>	20以上	25以上

試験ハ各6箇ノ供試體ニ付之ヲ行ヒ平均値ヲ以テ其ノ成績ヲ表ハスモノトス。

第十一條 第六條ニ依ル試験ヲ行フ時日ナキ場合ニハ第七條乃至第十條ニ依リ製作シタル供試體ニ付成形後3日(空氣中24時間,水中2日間)及7日(空氣中24時間,水中6日間)ヲ經タル後耐壓試験ヲ行ヒ強度ヲ定ムルコトヲ得。其ノ耐壓力ハ次表ノ規定ニ合格シ且7日ノ力ハ3日ノ力ヨリ大ナルコトヲ要ス。

成形後ノ日数	3日	7日
耐 壓 力 kg/cm <sup>2</sup>	150以上	220以上

試験ハ各6箇ノ供試體ニ付之ヲ行ヒ平均値ヲ以テ其ノ成績ヲ表ハスモノトス。

#### 試験用水

第十三條 「セメント」ノ試験ニ用ウル水ハ淡水トス。

但シ海水工事ニ用ウルモノニ付テハ之ヲ海水トス。

#### 第三章 試料及受渡

##### 試 料

第十四條 「セメント」ノ試料ハ50瓶又ハ其ノ端數毎ニ其ノ平均品質ヲ表様5箇ノ包装ヨリ之ヲ採り能ク混和シタルモノトス。

##### 包装及重量

第十五條 「セメント」ノ受渡ニ用ウル重量ノ単位ハ瓶トス。

第十六條 「セメント」ハ袋入トスル場合ニハ正味50kg,樽入トスル場合ニハ正味170kgトス。』

昭和五年八月商工省告示條四十二號の高爐セメントの規格(JES第29號)の要點を抜萃すれば次の如くである。

#### 『第一章 製造法

第一條 高爐「セメント」ハ冷碎シタル鐵熔鑄煉ノ鍊滓ノ重量100=對シ「ポルトランドセメント」燒塊45以上ヲ混和シ粉碎シテ粉末ト爲シタルモノトス。

高爐「セメント」ニハ他ノ物質ヲ混和スルコトヲ得ス。

但シ其ノ重量ノ5%以下ノ石膏及3%以下ノ石灰ヲ混和スルハ此ノ限リニ在ラス。

#### 第二章 試験法

第二條 高爐「セメント」ノ比重ハ2.85以上ナルコトヲ要ス。

但シ2.85=達セサル場合ニハ試料ヲ暗赤色ニ熱シタル後更ニ試験スルモノトス。』

第三條以下第十七條に至るまでは、前記のポルトランドセメントの規格と殆ど同様である。

標準示方書は、特種のセメント及規格に不合格なセメントを使用する場合には触れて居ない。斯かるセメントの使用に就いては特別の注意を要する事を忘れてはならない。

#### 第三節 細骨材

##### § 9. 概 説

標準示方書第二條によると、骨材とは、砂・砂利・碎石其の他に類似の材料で、セメント及び水と混合してモルタル又はコンクリートを造るものである。

細骨材とは、「骨材の篩分け試験に關する標準方法」(附録第一章)に規定する第四番節(篩目4.76 mm)を通過する骨材である。

鐵筋コンクリートに使用する細骨材として必要な性質は、(1)堅硬、強固、耐久的の石質である事、(2)清潔で不純物を含有しない事、(3)粒の形、大きさ及大小粒混合の程度が適當である事等である。(1)及(2)に就いて、標準示方書は次の様に規定して居る。

##### 『第八條 總則

細骨材は、清潔、耐久、強硬にして、塵芥、土壤、有機物等の有害量を含有すべからず。』

細骨材の清潔、耐久、強硬の程度に就いて、絶對的の標準を示す事は困難であるから、責任技術者の判断に俟つ外ない。土壤や有機物が全く無いと云ふ様な細骨材は、滅多に得られない。どれ丈が有害量であるかは、責任技術者の判定又は試験の結果に俟たなければならない。

細骨材に於ける有機不純物の試験に就いて、標準示方書は次の様に規定して居る。

##### 『第十條 細骨材に於ける有機不純物

天然砂は「砂の有機不純物試験に關する標準方法」(附録第三章)に依りて試験すべし。

試験溶液の色合が標準色より濃き場合には、其の砂を使用したるコンクリート又は、モルタルの抗壓強度が所要強度を下らざる場合に限り之を骨材として使用することを得。』

標準示方書の附録第三章に示してある天然砂の有機不純物試験に關する標準方法によつて試験すれば、或る天然砂に含まれて居る有機不純物の程度を大約知る事が出来る。試験溶液の色合が標準色よりも濃い場合には、其砂を使用しないのが一般に安全である。然し、此の試験方法は有機不純物の含有される程度を、極く大體に示す丈で、此の試験に不合格な天然砂が、コンクリート又はモルタルの細骨材として全く不適當であると断定し得る程、確定的の結果を與へるものではない。故に、假令此の試験に不合格な天然砂でも、之れを使用して作つたコンクリート、又はモルタルの抗壓強度が所要の強度を下らない場合には、之れを細骨材として使用してよいの

である。

### § 10. 細骨材の粒度

細骨材の細粗粒が適當に混合して居れば、細粒のみが揃つて居るものよりも、セメント使用量を減じ、著しく經濟的に强度其の他所要の性質を有するコンクリートを製作し得るものである。故に經濟的見地からして、成る可く細粗粒が適當に混合して居る細骨材を使用する様に勉めなければならない。然し、實際現場附近で斯くの如き細骨材が得られない場合も尠くない。斯かる場合、他から細粗粒が適當に混合して居るものを取り寄せて使用するのが適當であるか否かは、主として、經濟上から判断すべき事柄である。

細骨材の粒度に關し、標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 〔第九條 粒 度〕

細骨材は第一表の範囲内に於て、細粗粒適度に混合せるものを標準とすべし。

第一表

	重量百分率
第四番篩（篩目 4.760 mm）を通過する量	100
第五十番篩（篩目 0.297 mm）を通過する量	30 以下 10 以上
第一百番篩（篩目 0.147 mm）を通過する量	6 以下
注瀝試験に依りて失はる量	3 以下

篩及篩分け試験方法は「骨材篩分け試験に關する標準方法」（附録第一章）に依るべし。

注瀝試験方法は「骨材注瀝試験に關する標準方法」（附録第二章）に依るべし。

以上の第一表は、細骨材の細粗粒が適度に混合して居る程度の標準を示したもので、實際及び經驗上、此の程度のものを使用すれば、普通の場合、經濟的に、所要の目的を達するコンクリートが得られるものである。

### § 11. 細骨材の選擇

細骨材は、要するに、抗壓強度其の他、鐵筋コンクリート用コンクリートとして必要な諸性質を有するコンクリートを最も經濟的に作り得るものであればよい。

一般の場合に、經濟的に、目的を達するコンクリートが得られる爲に、細骨材が有すべき標準條件は、前述した通りであるが、細骨材がそれ等の標準條件に適合しないにしても、コンクリートの配合及使用水量の加減等によつて、其の缺點を補ふ事が出来る場合も決して尠くない。例へば、セメントの使用量を増加して、單價の安い、標準以下の細骨材を使用する方が、單價が高くて、標準に適合する細骨材を用ひて、セメント使用量を節約するよりも有利な場合がある。是等の

問題は、一に、責任技術者が試験の結果により、經濟的の考慮から判断すべき事である。それで、此の點に關し、標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 〔第十一條 特別の場合〕

細骨材にして上記の條件に適合せざるものと雖も、責任技術者の承認せる場合に限り、その指示せる配合及使用水量のコンクリート又はモルタルに之を使用する事を得。』

## 第四節 粗骨材

### § 12. 概 説

粗骨材とは、標準示方書第二條によると、「骨材篩分け試験に關する標準方法」に規定する第四番篩（篩目 4.76 mm）に殘留する骨材を言ふのである。

鐵筋コンクリートに使用する粗骨材として必要な性質は、(1) 堅硬強固、耐久的である事、(2) 清淨で不純物を含まない事、(3) 粒大及細粗粒混合の程度が適當である事等、細骨材の場合と同様である。(1) 及(2)に就いて、標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 〔第十二條 總 則〕

粗骨材は清淨、耐久、強硬にして、軟質、脆弱、扁平、細長なる石片又は有機物等の有害量を含有すべからず。粗骨材は少くとも、コンクリート中のモルタルと同程度の強度を有することを要す。

特に耐火性を必要とするコンクリートに於ては、コンクリート中に於て耐火的なる粗骨材を使用すべし。』

粗骨材が清淨・耐久・強硬であるべき程度及び脆弱、扁平、細長な石片又は有機物の含有量が有害である程度は、責任技術者の判断に俟つより仕方がない。

又、コンクリートの強度が、之れに使用される粗骨材の強度によつて定まる事は、一般に甚だ不經濟であるから、粗骨材は少くとも、コンクリート中のモルタルと同程度の強度を有すべき事を規定したのである。尚ほ、標準示方書第二十四條、第3表（§ 21 参照）の材齡 28 日に於けるコンクリートの抗壓強度と水—セメント重量比との關係は、粗骨材の強度が、コンクリート中のモルタルの強度以上の場合に使用し得るものである。

耐火的目的に使用するコンクリートの粗骨材としては、石英質及花崗岩質の砂利又は碎石は不適當で、玄武岩及石灰石等がよい。標準示方書第五十八條（§ 293 参照）には、特に構造物を耐火構造として造る場合には、玄武岩若しくは石灰石程度の膨脹率を有する骨材を使用すべき事

が規定してある。

### § 13. 粗骨材の粒度及最大寸法

所定の強度其の他の性質を有するコンクリートを經濟的に製作する爲には、粗骨材に於ても、細骨材に於けると同様に、大小粒が適當に混合して居る事が必要である。粒大の揃つて居るものは空隙が大きいから、同一强度のコンクリートを製作する爲に多量のモルタルを必要とし、從つてコンクリートの單價が高くなる。

粗骨材の大小粒混合の程度の適當な標準は、標準示方書に次の如く規定してある。

#### 『第十三條 粒 度

粗骨材は第二表の範囲内に於て、細粗粒適度に混合せるものを標準とすべし。

第二表

	重量百分率
最大目の筋を通過する量	95 以上
最大目の $\frac{1}{2}$ の目の筋を通過する量	75 以下 40 以上
第四番筋（筋目 4.76 mm）を通過する量	10 以下

尚ほ、標準示方書第十三條(1)には、粗骨材の最大寸法の定義が與へてある。即ち、『粗骨材の最大寸法は、重量にて骨材の 95% が通過すべき筋目の空間隔を以て示すものとす』依つて、粗骨材の一番大きい粒を取つて、其の最大寸法を其の粗骨材の最大寸法と云ふのでは無い事に就いて注意を要する。

鐵筋コンクリートに使用すべき粗骨材の最大寸法に就いては、標準示方書第十三條(2)に、次のような規定がある。

『粗骨材の最大寸法は 7.5 cm 以下にして、コンクリートを填充すべき部材の型枠の最小内幅の  $\frac{1}{5}$ 、又は鐵筋の最小間隔の  $\frac{3}{4}$  を超過すべからず。

筋及筋分け試験方法は「骨材筋分け試験に關する標準方法」(附録第一章)に依るべし。』

抗壓強度の大きいコンクリートを經濟的に作るには、事情の許す限り、最大寸法の大きい粗骨材を使用するのが、一般に有利である。併し、最大寸法が 7.5 cm 以上もある様な粗骨材を使用するのは、假令、鐵筋相互の間隔及鐵筋と型枠との間隔の方からは差支へないにしても、コンクリートとして完全な混合が得られるか否かが疑問であり、又材料の分離を起して不齊等質のコンクリートになり易く、且つ、普通の場合、コンクリートの取扱いにも不便が多い。それで、粗骨材の最大寸法を 7.5 cm 以下と規定したのである。

最大寸法の大きい粗骨材を使用するコンクリートを、小さい型の中に入れると、齊等質のコン

クリートを作り、且つ上面を平面に作る事が甚だ困難である。故に、型の大きさに應じて、使用すべき粗骨材の最大寸法に制限をおく事は、コンクリートの填充を容易に且つ安全にする爲に必要である。経験によると、粗骨材の最大寸法が型枠の最小内幅の  $\frac{1}{5}$  以下であれば差支へない。

粗骨材は、鐵筋の間を自由に通過し得べき大きさのものでなければならない事は明白である。標準示方書で云ふ粗骨材の最大寸法は、粗骨材の一番大きい粒の最大寸法を云ふのではないか、粗骨材の最大寸法を、鐵筋の最小間隔まで許す事は危険である。それで、安全を取つて、最大寸法を鐵筋最小間隔の  $\frac{3}{4}$  以下と規定したのである。

標準示方書第七十八條(2)(§ 352. 参照)に、桁に於て並行な抗張主鐵筋相互間の純間隔は 2.5 cm 以上と規定してあるから、此の最小間隔を用ゐる時には、此の方から、使用すべき粗骨材の最大寸法は 1.9 cm となる。

### § 14. 粗骨材の選擇

粗骨材は細骨材と同様に、抗壓強度其の他の鐵筋コンクリート用コンクリートとして必要な諸性質を有するコンクリートを最も經濟的に作り得るものであればよい。依つて特別の場合として、標準示方書の條件に適合しない様な粗骨材でも、責任技術者が試験の結果により、所定の性質を有するコンクリートを經濟的に製作し得る事を判断した時は、此の粗骨材を使用してよい譯である。此の點に就いて、細骨材の場合と同様に、標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 『第十四條 特別の場合

粗骨材にして上記の條件に適合せざるものと雖も、責任技術者の承認せる場合に限り、其の指示せる配合のコンクリートに之を使用する事を得。』

## 第五節 水

### § 15. 水の良否

實驗及び経験に依ると、水が砂糖を含む場合の外は、汚いと思はれる水を使用しても、コンクリートの強度に大きな影響を及ぼさない様である。標準示方書には、

#### 『第十五條 総則

水は油・酸・アルカリ・有機物其の他のコンクリートの硬化及強度に影響を及ぼす物質の有害量を含有すべからず。疑ある場合には試験を行ひ其の使用の可否を決定すべし。』と規定してある。

油・酸・アルカリ・有機物其の他の物質を含む水が、コンクリートに、どの程度に有害な影響

を及ぼすかは、一般に試験して見なければ解らない、故に水の性質に就いて疑ある時は、清淨な水を用ひた時との強度を比較して、使用の可否を決定するのが安全である。

海水を使用したが爲に、鐵筋コンクリートが破壊したと云ふ實驗の結果は無い様であるが、海水を使用した事が、鐵筋コンクリート破壊の一原因ではないかと考へられる實例はある。少く共、電流の影響を豫想し得る鐵筋コンクリート構造物に於ては、海水を使用しない方が安全である。それで標準示方書には、

#### 『第十六條 海 水

『鐵筋コンクリートには海水を使用すべからず。』

と規定し、鐵筋コンクリート工事には海水を使用しない事を原則として居る。

### 第六節 セメント及骨材の貯藏

#### § 16. セメントの貯藏

セメントの貯藏に就いて、標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 『第十七條 セメントの貯藏

(1) セメントは地上 30 cm 以上に床を有する防濕的の倉庫に貯藏し、検査に便利なる様配置すべし。

(2) 幾分にても凝結したるセメントは工事に使用すべからず。』

(1)に就いて セメントの貯藏上最も注意を要するのは、濕氣を防ぐ事である。特に、地面からの濕氣を防ぐ事が大切であるから、倉庫の床と地面との間には相當の空きを作る事が必要である。地面から 30 cm 以上あける事に規定してあるのは、普通の現場に於ける倉庫に就いての標準を示したものである。

セメントを各荷毎に識別し得る様、又検査に便利な様に貯藏する事は、新らしく入庫したセメントばかりを使用する様な事が無い事、在庫の數量を知る事、貯藏によるセメントの性質の變化を知る事等の爲に極めて大切である。

(2)に就いて 貯藏中に幾分でも凝結を起したセメントは、其のセメントが濕氣を受けた證據である。斯の如きセメントは強度も低減して居つて、規格に不合格の場合が多い。故に、斯の如きセメントを使用してはならないのである。

#### § 17. 骨材の貯藏

骨材の貯藏につき、標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 『第十八條 骨材の貯藏

(1) 細粗骨材は各別に貯藏し且つ塵埃、雜物等の混入を防ぐべし。粗骨材の取扱ひに際しては細粗粒が分離せざる様注意すべし。

(2) 凍結せるか又は氷雪の混入せる骨材、若くは長時間炎熱に曝されたる粗骨材を、其の儘使用すべからず。』

(2)に就いて 酷寒の際、屋外に貯藏してある骨材には、霜・氷等を混じて居る場合が多い。斯の如き骨材を其の儘使用すれば、出来上りコンクリートの温度を低下し、コンクリートが凍結する惧がある。故に、斯の如き骨材は之を熱して、氷を融かした後でなければ、使用してはならない。

酷暑の際に、長く炎天に曝した粗骨材を其の儘使用すると、コンクリートが急結する惧がある。故に、粗骨材に覆ひをするか、使用前に冷水をかけるかして、其の温度を下げる必要がある。

### 第七節 配合及水量

#### § 18. 概 説

鐵筋コンクリート用コンクリートとして必要な性質は、一般に、必要な強度を有する事、作業に適するウォーカビリチーを有する事、粘性に富む事、鐵筋防鏽の目的に適する事、耐水的である事、等である事は § 7. に説明した通りである。是等鐵筋コンクリート用のコンクリートとして必要な諸性質に、最も大きい關係のあるものは、配合及水量であるから、配合及水量は、是等必要な諸性質を具備する様に決定しなければならない。此の點に關して標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 『第二十一條 總 則

コンクリートの配合及水量は、必要な強度及作業に適するウォーカビリチーを有し、粘性に富み鐵筋防鏽の目的に適し水密性を有する様定むべし。』

#### § 19. 配合の表はし方

コンクリートの配合を示すに色々の方法がある。此の點に就いて標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 『第二十二條 配合の表はし方

配合は通常、セメント、細骨材及粗骨材の容積比を以て表はすものとす。セメントの容積は重量 1500 kg を以て  $1\text{m}^3$  とし、骨材の容積は「骨材の単位容積重量試験に關する標

準方法(附録第四章)に依りて測定したるものを標準とす。現場に於ては細骨材の水分に依る膨み、材料計量方法其の他を考慮して定めたる配合比を、現場配合比として示すことを要す。使用水量は使用セメントの重量百分率を以て示すものとす。』

コンクリートの配合は、1:2:4、又は 1:3:6 と云ふ様に、セメント、細骨材及粗骨材の容積比を以て示すのが、従来最も普通であるから、標準示方書も、通常此の表はし方に従ふべき事を規定したのである。

セメント一定量の容積は、其の測り方により非常な差があるから、セメントを容積で正確に計量する事は、非常に困難である。依つて、標準示方書第二十六條(1) (§ 23. 参照)に、セメントは重量に依りて計量すべしと規定してある。故に、配合が容積比で與へられた時、セメントを計量するため、又配合を容積比で表はす爲に、使用すべきセメント量を容積に換算する目的に對して、セメント単位容積の重量を定める必要がある。之は一定量のセメント重量を容積に換算する手段に過ぎないのであるから、1 m<sup>3</sup> のセメントの重量は、ある程度迄従來の習慣によつて、便宜的に定めて差支へない譯である。

市街地建築物施工規則には、セメント重量を 1500 kg/m<sup>3</sup> と規定してある。従来、我國では、英米の例に倣つて、セメント 1 立方呎の重量を 94 封度とするのが普通で、之を換算すると約 1500 kg/m<sup>3</sup> にあたる。又 1500 kg/m<sup>3</sup> と云ふ數字を用ひれば、セメント 30 袋で 1 立方米のセメント容積になるから、種々の計算上にも便利である。是等の諸關係から、標準示方書に於て、1500 kg/m<sup>3</sup> と云ふ數字を採用したのである。建築學會のコンクリート及鐵筋コンクリート標準示方書(昭和四年四月)第21條1.にも、セメントは 1500 斤を以て 1 立方米とする事が規定してある。

一定量の骨材の容積も、其の計量方法に依つて異なるものであるから、之を容積で測る時には、其の計量方法を一定する必要がある。依つて、「骨材の単位容積重量試験に關する標準方法」によつて容積を測定するのを標準とする事に規定したのである。然し、現場で骨材を容積で計量する時に此の方法による事は、殆ど不可能であるから、實際他の計量方法を用ひなければならぬ。然るに、配合比に示される骨材の容積は、前記標準方法に依つて計量される容積を指すのであるから、之を現場に適用する爲には、現場で實際用ひられる計量方法による容積に換算して、現場配合比として示し、現場で材料計量の際に混雜を起さない様にする事が必要である。猶

ほ、細骨材は水分を含むと、容積が増大するから、細骨材の容積計量に當つて、此の膨みの影響をも考慮しなければならない。従つて現場配合比の決定に就いても、此の影響を考慮に入れる事を要する。

使用水量を使用セメントの重量百分率で表はすのは、之によつて大體コンクリートの抗壓強度を判断し得る便利の爲である。使用水量を使用セメントの容積百分率で表はす人もあるが標準示方書は、セメントを重量で計量する事を規定して居るから、重量百分率を用ひる方が、水量の計算にも便利である。

### § 20. セメントの最小使用量

§ 7. に述べた、鐵筋コンクリート用のコンクリートとして必要な諸性質を有するコンクリートを製作する爲には、コンクリート 1 m<sup>3</sup> につき、一定量以上のセメントを使用しなければならない。强度は兎も角として、完全な鐵筋の防鏽と、鐵筋とコンクリートとの間の附着強度とが十分である爲には、セメント糊状體が十分鐵筋を包む事が出来る丈のセメントがコンクリート中になければならないし、又コンクリートが耐水的である爲にも、相當なセメント量が必要である。それで、標準示方書はセメントの最小使用量を次の様に規定して居る。

#### 『第二十三條 セメントの最小使用量

鐵筋コンクリートに於ては出來上りコンクリート 1 m<sup>3</sup> に就き、少く共 300 kg のセメントを使用すべし。但し橋梁、其の他の構造物にして、煤煙・乾濕・鹽分・其の他に對し特に鐵筋の防護を必要とする場合には前記のセメント使用量を増大すべし。  
又寸法大なる構造物にして、其の受くる應力が許容應力より特に低く、鐵筋防鏽に支障なき場合に於ては前記の使用量を減少することを得。』

1 m<sup>3</sup> に就き 300 kg のセメントを使用するコンクリートと云ふのは、セメント 1 m<sup>3</sup> の重量を 1500 kg とする時、大約配合 1:2 $\frac{1}{2}$ :5 位のものに相當する。之以下のものでは普通の場合、經驗上、安全に目的を達するコンクリートを得る事が困難である。骨材が良質であり、粗骨材の最大寸法が大きく、且つ骨材の大小粒が適度に混合して居る場合であれば、コンクリート 1 m<sup>3</sup> に就いてのセメント使用量が 300 kg 以下でも、工事の種類によつては、目的を達するコンクリートが得られる事は事實であるけれども、之は寧ろ特別の場合である。

セメント重量を 1500 kg/m<sup>3</sup> とすれば、鐵筋コンクリートに於て、極めて普通に用ひられて居る配合 1:2:4 のコンクリートは、1 m<sup>3</sup> に就き 300 kg 以上のセメントを必要とするものであるが、1:2:4 コンクリートと稱しながら、セメントの計量を正確にしないで、コンクリート 1 m<sup>3</sup> に

就き、300 kg 以下のセメントを使用して居る現場もままある様であるから、此の點に就いて充分な監督が是非必要である。

コンクリート 1 m<sup>3</sup> に就き 300 kg と云ふ數字は、セメントの最小使用量を規定したものであるから、橋梁其の他の構造物で、媒塵・乾燥・鹽分・其の他に對し、特に鐵筋を防護する必要がある場合には、之よりも多量のセメントを使用すべき事は當然である。

併し反対に、寸法の大きい構造物で、其の受ける應力が許容應力よりも特に低く、且つ鐵筋防護に支障のない特別の場合に於ては、セメント使用量をコンクリート 1 m<sup>3</sup> につき 300 kg 以下にしても差支へない譯である。

### § 21. 使用水量

コンクリートの抗壓強度に影響する事項は非常に澤山あつて、配合及使用水量丈に就いても、使用水量の重量と使用セメント量の重量との比、即ち水—セメント重量比のみで、抗壓強度が決定されるものではない。然しコンクリートの配合及使用水量と抗壓強度との關係を、極めて大體に就いて云へば、コンクリートの抗壓強度は、水—セメント重量比に依るものであると云ふ事が出来る。從つて使用水量を表はすに、水—セメント重量比を用ゐれば、之によつて、コンクリートの抗壓強度の大略を評價し得る利益がある。それで、標準示方書は、使用水量を表はすに、水—セメント重量比を用ひて居る。

水—セメント重量比に就いて、標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 『第二十四條 水—セメント重量比

使用水量と使用セメント量との重量比はコンクリートの所要抗壓強度に應じて試験の上之を定むるものとす。

但し試験に依らざる場合には第三表の値を標準とすべし。

第三表

材齡28日に於けるコンクリートの抗壓強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	175	140	105
使用水量の使用セメント量に對する重量比 (%)	55	60	70

コンクリートの抗壓強度は、前述の如く、水—セメント重量比のみによつて定まるものではないから、水—セメント重量比を定めるには、必ず試験の上決定すべき事を原則としたのである。尚ほ、使用水量はコンクリートの抗壓強度ばかりでなく、ウォーカビリチーにも大きな關係があるから、水—セメント重量比を試験の上定める事は、實際上、其の方からも必要なのである。

然し現場の事情によつては、試験に依り難い場合も勘くないから、斯かる場合の爲に第三表に

### 第七節 配合及水量

[§ 22, 23] 23

材齡 28 日に於けるコンクリートの抗壓強度と水—セメント重量比との關係を示したのである。第三表の數値は、標準示方書に規定した、材料・セメント使用量及び施工法に従つて製作したコンクリートが、一般に之以上の抗壓強度を確かに有すると云ふ事實に基いたものである (§ 59. 参照)。

### § 22. ウオーカビリチー

コンクリートのウォーカビリチーに關し、標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 『第二十五條 ウオーカビリチー

(1) 鐵筋コンクリートに使用するコンクリートは、相當の搗方に依りて、型枠の隅々及鐵筋の周囲に充分行き渡る程度のウォーカビリチーを有するものたるべし。

ウォーカビリチー試験は「ウォーカビリチー試験に關する標準方法」(附錄第五章)に依るべし。

(2) ウオーカビリチーの調節は、責任技術者の指示に従ひ細又は粗骨材使用量の増減に依りて行ふべし。』

(1) に就いて 之は、標準示方書第二十一條 (§ 18. 参照) の「作業に適するウォーカビリチー」と云ふ意味を、詳しく説明したものである。

ウォーカビリチーを試験する爲の完全な方法は、未だ考案されて居ないが、標準示方書の附錄第五章には、普通に行はれるスランプ試験、フロー試験及落下試験が、標準方法として示してある。

(2) に就いて コンクリートの抗壓強度が大體水—セメント重量比によつて定まると假定すれば、コンクリートの抗壓強度に關係を及ぼさない様にウォーカビリチーを調節するには、セメント糊状體使用量の調節、即ち細又は粗骨材の使用量の増減に依るのが便利である。骨材の最大寸法、大小粒混合の程度を變へる事も、有效な方法ではあるが、前方法に依る程簡単でない。

### § 23. 材料の計量

材料を正確に計量する事は、鐵筋コンクリートの施工に於て、最も注意を要する事柄の一つである。如何に材料を精選し、欲する強度、ウォーカビリチー、其の他の性質を具備するコンクリートの配合及水量を設計しても、現場でコンクリートを混合する時に、材料の計量が正確でなければ、目的を達するコンクリートを得る事が出來ない事は明瞭である。

材料の計量を正確にする爲に、標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 『第二十六條 材料の計量

(1) 骨材は各一練り毎に指定されたる配合及水量に従ひ計量すべし。セメントは重量

に依りて計量すべし。

骨材は細粗別々に重量又は容積に依りて計量すべし。

容積に依る時は、指示されたる配合比を實驗に依りて現場配合比に換算して計量すべし。

(2) 水は指定されたる水—セメント重量比を得る如く、骨材の含水量及吸水量を考慮して計量すべし。

骨材の吸水量及含水量の測定は責任技術者の指示する處に従ふべし。』

(1) に就いて セメントはコンクリートにとり最も大切な材料であるから、最も正確な計量を必要とする。セメントを容積で正確に計量する事は非常に困難であるから、特に重量に依つて計量すべき事を規定したのである。

骨材も重量に依つて計量するのが理想である。併し、骨材を重量で計量する事は困難である場合が多いし、又工事の種類に依つては、それ程正確に計量しないでもよい場合も多いから、容積で計量してもよい事を規定したのである。但し、容積で計量する時には、§19.に述べた様に標準の容積計量方法に依る時の配合比を、現場で實際行ふ便宜な計量方法に依る現場配合比に直す事が必要である。

(2) に就いて 使用水量は使用セメント重量の百分率で示されるが、現場で之を正確に計量するには、水—セメント重量比から計算した水量から、骨材の含む水量又は減じ、逆に骨材の吸水量又は増さなければならない。水は、重量又は容積いづれで計量してもよい。

骨材の吸水量及び含水量を測定するのに、種々の方法があるが、簡単で實用的で、然も一般の場合に便利である様な標準方法は未だ決つて居ないから、現場の事情に應じ、責任技術者が指示する方法に依らなければならぬ。

## 第八節 混 合

### § 21. 概 説

コンクリート材料は之を十分に混合して、骨材の表面が普くセメント糊状體で包まれ、且つ各材料混合の状態が何處も齊等で、同様の色合を呈する様にしなければならない。コンクリートの或る配合に對して、最大強度、最大密度を得させる爲には完全な混合をなす事が極めて大切である。

コンクリートが均一に混和されて居るや否やを一見して知る事は困難な場合が多い。殊にセ

メントと同色の骨材を用ゐる時にそうであるから、機械練りの場合には必ず一定時間混合機を運転する事、手練りの場合には一定の回数切り返す事が必要である。

鐵筋コンクリートの部材は、無鐵筋コンクリートの部材に較べ比較的寸法が小さく、コンクリートの強度、水密性等が特に大切であるから、現今、鐵筋コンクリート工事に於けるコンクリートの混合には、機械練りを用ゐるのが原則になつて居る。唯、小工事か、又は特別の場合には手練りを用ゐる事がある。

### § 25. 機 械 練

標準示方書は機械練りに就いて特に注意すべき事項を次の様に規定して居る。

#### 『第二十七條 機 械 練

(1) コンクリートの混合は特に責任技術者の指示なき限りは、バッヂ・ミキサーを使用すべし。

(2) コンクリート材料は充分混合せられ、其の出來上りは色合一様にして粘性に富みその質齊等たるを要す。

(3) 混合はミキサー内に全部材料を入れたる後毎秒 1m の回轉外周速度に於て一分間以上回轉すべし。

(4) ミキサー内のコンクリート全部を排出したる後にあらざれば、新たに材料をミキサー内に供給すべからず。ミキサーは之が作業の前後に於て充分掃除を行ふべし。』

(1) に就いて 時間にも工費にも無関係に、唯、最良のコンクリートを作る事が必要であると云ふ場合には、手練りは機械練りに優るものと私は信じて居る。然し、一般の鐵筋コンクリート工事に於て、手練りで大量のコンクリートを完全に混合する事は期待出来ないから、機械練りを原則としたのである。

機械練りでも、コンチニアスミキサー、重力式ミキサー等に依る混合に就いては、種々の不安を伴ふから、責任技術者の指示なき限りは、バッヂ・ミキサーを使用すべき事を規定したのである。

(3) に就いて ミキサーの外周回轉速度が餘り大きいと、材料が遠心力の爲に、混合胴と共に回轉する傾向を生じて、却つて混合作用を妨げる事になる。逆に餘り遅いと、混合の能率が悪くなる。それで、今日のところ、一般に適當だと認められて居る毎秒 1m の速度を指示したのである。此の速度は、普通のミキサーで、1 分間の回轉數約 20 に相當する。

普通のミキサーを用ひて、完全な混合をする爲には、凡ての材料をミキサーに投入してから、2 分間乃至 5 分間位混合を繼續する事が必要である。標準示方書では、現場に於ける種々の事情

を考慮して、混合の最小時間を1分間と規定したのであるから、事情の許す限り、混合時間を、之よりも長くするのが適當である。

### § 26. 手練り

手練りに就いて、標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 『第二十八條 手練り』

- (1) 責任技術者の承認を得たる時は、手練りを用ふる事を得。手練りは水密性練臺上に於て之を行ふべし。
- (2) 手練りの順序は先づモルタルを造り次に粗骨材を加へ充分混合してコンクリートを造るものとす。其の出來上りは前條機械練りに準すべし。』
- (1) に就いて 標準示方書では、バッチ ミサキーによる機械練りを原則とし、唯、小工事其の他特別の場合に、責任技術者の承認を得た時に限り、手練りを用ゐる事を許したのである。手練りに水密性の練臺を用ゐる事は、練臺から漏水しない爲に大切である。

(2) に就いて 手練りを行ふ順序は色々あるが、鐵筋コンクリート用のコンクリートを混合する場合には、完全な混合が得られる方法を採用しなければならないから、普通に用ゐられる方法よりも、多少入念な方法を規定したのである。そして、完全な混合状態が得られる迄、何回でも切り返へさなければならぬ。

### § 27. 練返し

幾分凝結したコンクリートに水を加へずに、又は少量の水を加へて、更に混合したものと練返しコンクリートと云ふ。水を加へずに練返しを行へば、コンクリートの抗壓強度は或る程度迄増加するけれども、鐵筋とコンクリートとの間の附着力は減るものであるから、鐵筋コンクリートの場合には、練返しコンクリートの使用を禁じなければならない。それで標準示方書は、

#### 『第二十九條 練返し』

一部凝結したるコンクリート又はモルタルは、之を練返すとも使用する事を得ず。』と、規定して居る。依つて一部凝結したコンクリート又はモルタルは、之を捨てなければならないのである。

## 第九節 填充及養生

### § 28. 準備

標準示方書はコンクリート填充の準備に就いて、特に注意すべき事項を次の様に規定して居る。

### 『第三十一條 準備』

- (1) コンクリートの填充を始むるに先立ち、輸送装置の内面に附着せる硬化コンクリート又は雑物は之を除去すべし。
- (2) コンクリートの填充に先立ち、填充すべき場所は掃除をなし、凡ての雑物を除去し、鐵筋を正しき位置に固定せしめ、氷結の虞れある場合を除き、堰板は充分之を濕潤するか又は塗油すべし。
- 鐵筋の配置につきてはコンクリート填充前に責任技術者の承認を要くべし。
- (3) 根據中の水はコンクリート填充前に之を排除すべし。又根據中に流入する水は新規に填充せるコンクリートを流さざる様、適當なる側溝に依り之を水溜りへ導くか又は他の承認を得たる方法に依り之を排除すべし。』

(1) に就いて ミキサーを其の作業の前後に於て十分掃除する事及輸送装置の掃除をする事は、コンクリートに、硬化したコンクリート又は雑物の混入するのを防ぐ爲の注意である。

(2) に就いて 堰板を十分濕潤する事は、堰板とコンクリートとの附着を防ぐ爲に必要であるばかりで無く、完全な掃除をする上からも大切である。嚴寒の際に、堰板を充分濕潤せしめると、コンクリートの氷結する惧を大らしめるから、必要あれば塗油するのがよいのである。コンクリート填充前、鐵筋の配置に就いて、責任技術者の検査及承認を受ける事は、工事施工者の忘れてならない事である。工事施工者が、設計に示された鐵筋量の  $\frac{1}{4}$  しか使用しなかつた爲に、構造物が破壊して非常な災害を起した實例さへある位である。故に、コンクリート填充前に鐵筋配置の検査をする事は、責任技術者に取つても、重要な任務である。

(3) に就いて 鐵筋コンクリートに對し、水中コンクリートの施工を爲す事は、一般に嚴禁すべきである。故に、根據中の水は、コンクリート填充前に、必ず之を排除しなければならない。又、コンクリートが十分硬化する迄、根據中に流入する水がコンクリートと接觸しない爲に必要な、一切の準備をしなければならない。

### § 29. 取扱ひ

標準示方書はコンクリートの打方に就いて、特に注意すべき事項を次の様に規定して居る。

#### 『第三十二條 取扱ひ』

- (1) コンクリートは材料の分離又は損失を防ぎ得る方法により、速に運搬し直ちに填充すべし。
- 特別なる事情に依り直ちに填充する事を得ざる場合に於ても、混合してより填充し

終る迄の時間は温暖にして乾燥せる時に於て 1 時間、低温にして温潤なる時に於て 2 時間を超過すべからず。

此の時間中コンクリートは日光、風雨等に對し之を保護し、又相當時間経過せるものは使用前水を加へずして之を練返すべし。

如何なる場合と雖も填充し終る前に凝結を始めたるコンクリートは之を使用すべからず。

(2) 運搬中又は填充中に材料の分離を認めたる時は練直して齊等のコンクリートとなすべし。

鉄筋コンクリート構造物の型枠内に、コンクリートを樋卸しにより填充する場合には特に責任技術者の承認を受くる事を要す。

(3) コンクリートは型枠内に於て目的の位置に成可く近く填充すべし。

(4) コンクリートは其の表面が一區割内に於て略水平面となる様填充すべし。但し拱の如き場合は此の限りにあらず。

(5) 小なる断面を有する部材の型枠の高さ大なる場合には、型枠に投入口を設くる等適當の方法に依りコンクリートを填充し、型枠又は鉄筋にコンクリートの附着硬化するを防ぐべし。

(6) コンクリートは責任技術者の承認せる作業区劃を完了する迄連續して速に填充すべし。』

(1) に就いて コンクリートに於ける材料の分離を最小ならしめる運搬方法としては、今日のところベルトコンベイラーが最も良いと考へられて居る。

運搬して來たコンクリートを直ちに填充しなければ、コンクリートが凝結を初める惧がある。如何なる場合でも、填充し終る前に凝結を始めたコンクリートは之を使用してはならない。假令之を練返しても使用してはならない (§ 27. 参照)。

コンクリートは混合してから、温暖で乾燥してゐる時期で 1 時間、低温で温氣の多い時期で 2 時間位迄は、實際上凝結を初めないものと考へてよい。工事中には種々の事情で、直ちに填充する事が出來ない場合があるが、此の場合に、以上の時間を経過しないコンクリートなら填充を許して差支へない。但し此の経過時間中、暑い時にはコンクリートが急結しない様に日光の直射を避け、又、寒い時には温度が低下し、或は氷結しない様風當りを防ぐ等の保護が必要である。又混合してから相當時間を経過したコンクリートは、材料の分離を起して居るものであるから、使

用前水を加へずに練直す事が肝要である。

(2) に就いて コンクリートの材料・配合・水量・混合及運搬等に周到な注意を拂つても、コンクリートは材料の分離を起し易いものである。故に、材料の分離を認めた時は、填充の際に、十分練直して齊等質のコンクリートを得る様にしなければならない。樋卸しで運搬したコンクリートは、殊に材料の分離を起し易い。故に、樋卸しで運搬したコンクリートを直接型枠内に填充する事は、極く特別の場合で責任技術者が差支へなしと認めた場合の外は、許す事が出来ないものである。

(3) に就いて コンクリートを目的の位置から遠い處に填充すれば、更に目的の位置まで運搬する為に 2 度手間となる。又、一箇所に填充したコンクリートを單に流し送る様な悪い施工をすれば、材料が甚だしく分離し、コンクリートに斜の縞が出来たりする。故に、目的の位置に成る可く近く填充する事が肝要である。

(4) に就いて コンクリート表面が一區割内に於て略ば水平面となる様に填充する事は、材料の分離を防ぎ、齊等質のコンクリートを作る為に大切な事である。但し、アーチの場合には、コンクリートの表面がなるべく、アーチの軸に直角な様に施工しなければならない。アーチのコンクリートを其の表面が水平である様に施工した為に、亀裂を生じた實例がある。

(5) に就いて 断面が小さく、高さの大きい柱などに於けるコンクリートを、上から填充すると、コンクリートが鉄筋に衝突して、コンクリート材料の分離を起し、且つ鉄筋を移動せしめる惧がある。又、鉄筋の上部及型枠に附着して硬化したコンクリートは、型枠及鉄筋の間にコンクリートが十分行き亘る妨害となる。故に、斯の如き部材のコンクリート填充には、型枠に適當な投入口を設けなどして、是等の悪影響を受けない様にするのが適當である。

(6) に就いて 施工接合は構造物の弱點となり易いから、出来る丈け構造物を、施工接合なしの單一體に造る為に、定められた作業区劃を打ち終るまで、コンクリートは連續して之を填充しなければならない。

### § 30. 樋 卸 し

樋卸しによつて、コンクリートの運搬をすると、コンクリートの流下を良くする為に、使用水量を増加する様な悪い施工が行はれ易く、従つて不均一で強度の低いコンクリートが出来易い心配がある。外國の示方書には、此の缺點の為に、樋卸しを禁じて居るものもある程である。故に、樋卸しを用ゐる時には、粗雑な施工が行はれない様、特に注意しなければならない。

樋卸しに就いて、標準示方書は次の様に規定して居る。

### 『第三十三條 棚 卸 し

- (1) 棚卸しに依りコンクリートを流下せしむる場合には、コンクリートの材料が分離する事なく連續して棚内を滑る様設備をなすべし。
- (2) 棚の吐口には受臺を設け一旦コンクリートを之に受けたる後、成可く練返して型枠内に填充すべし。
- (3) 棚の傾斜は普通鉛直1に對し水平2の割合を適當とす。
- (4) 断續的に作業する場合には棚の吐口に漏斗を設け、一旦コンクリートを之に溜めて後填充をなすべし。
- (5) 棚はその使用の前後充分水にて洗滌すべし。洗滌に用ゐたる水は型枠外に排出すべし。』

(1)に就いて 棚卸しを用ゐる時には、コンクリートが之に適するウォーカビリチーを有すべき事は勿論であるが、コンクリート材料が分離する事無く、コンクリートが全體として棚内を滑動する様に、設備並に構造各部の大きさを定める事も大切である。

(2)に就いて 充分の注意を拂つても、棚卸しで運搬されたコンクリートは多少、材料の分離を起して居るものであるから、之を直接型枠内に填充せずに（標準示方書第三十二條(2), § 29. 参照）、棚の吐口に受臺を設けて、一練りのコンクリートを一旦之に受け、更に混合しながら、型枠内に填充しなければならない。

(3)に就いて 棚の勾配が約20度以下であると、コンクリートは都合よく流下しないで、材料が分離を起す傾向があり、逆に、勾配が餘り急であると、重い粗骨材が先に落下して、矢張り材料の分離が起る。普通鐵筋コンクリート工事に使用されるウォーカビリチーのコンクリートに對しては、棚の勾配を鉛直1に對し水平2の割合（約27°）にするのが、經驗上、適當である。

(4)に就いて 棚卸しで運搬したコンクリートを、受臺に受けて後直ちに填充しない場合、例へば、此のコンクリートを更に手押車などで運搬する様な場合には、棚の吐口に漏斗を設け、一旦コンクリートを之に溜めてから後に使用しなければならない。之も材料の分離の影響を避ける爲に必要な事である。

### § 31. 搗 固 め

標準示方書はコンクリートの搗固めに關する一般の注意事項を次の様に規定して居る。

### 『第三十四條 搗 固 め

- (1) コンクリートは填充中及其の直後、適當なる器具を以て充分に搗均し、コンクリー

トをして、鐵筋の周圍、型枠の隅々まで行き亘らしむべし。

- (2) 薄き壁又は型枠の構造上搗均し困難なる箇所に於ては、責任技術者の指示に従ひ填充後直ちに型枠の外側を輕打してコンクリートの落付をよくすべし。
- (3) 硬練りコンクリートを使用する場合には一層の厚さを15cm以下に填充し、充分搗固めを行ふべし。』

(2)に就いて 薄い壁又は型枠の構造上搗均しが困難である箇所に於て、コンクリートの填充後直ちに型枠の外側を輕打する事は、コンクリートをして型枠の隅々まで行き亘らせ、表面が完全なモルタルの面となる爲に、有效な方法である。然し餘り強く叩いたりすると、型枠を變形せしめたり、或は凝結を始めたコンクリートに害を與へる惧があるから、此の方法を用ゐる時には、場合に應じ、責任技術者は適當な方法を指示する必要がある。

### § 32. 打 足 し

コンクリートの填充を中止して居る間に、型枠は其の膨脹、收縮其の他の原因で、多少の變形をするものであるから、多くの場合、打足し前に型枠の締直しをする必要がある。又、堰板に附着硬化したモルタル等の掃除も必要である。

硬化したコンクリートと新コンクリートとを附着せしめるには、少くとも舊コンクリートの表面を奇麗に掃除し、十分水を吸收させる事が必要である。但し新コンクリートを填充する時に、舊コンクリートの表面に水の層が無い様に注意を要する。打足しをする前日位から十分水を吸收させ、打足しの際に表面丈が少し乾いて居る程度が適當である。

舊コンクリートの表面に出來たレイタンスは、時日が経つと、之を除去するのが困難になるから、中止後、成る可く早く之を取り去るがよい。

硬化したコンクリートの表面を粗にすれば、新舊コンクリートの附着が非常に確實になる。硬化したコンクリートの表面を粗にするには、種々の方法がある。その何れに依るかは、構造物の種類、接合の所要水密度等に關する事であるから、責任技術者は、之を指示する必要がある。

以上の方法で仕上げた舊コンクリートの面に、セメント糊状體、又は配合の良いモルタルを塗り付け、之が凝結し初める前に新コンクリートを打つて、兩者が十分密着する様に搗固めを行へば、完全な接合が得られる。

以上に述べた事柄を、標準示方書は次の様に規定して居る。

### 『第三十五條 打 足 し

既に硬化せるコンクリートに接して新規のコンクリートを打足す場合には、その填充

に先立ち型枠を締直し、硬化せるコンクリートの表面を責任技術者の指示に従ひて粗にし、レイタンス及雜物を完全に掃除し、過剰ならざる程度に充分に潤すべし。次にコンクリート面にセメント糊状體又は配合よきモルタルを塗り付け、之が凝結し初めざる前にコンクリートを填充し舊コンクリートと密着する様施工すべし。』

### § 33. 寒中コンクリートの施工

寒中コンクリートの施工に就いて、標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 『第三十六條 寒中コンクリートの施工

- (1) コンクリートの温度は填充の際 5°C 以上 50°C 以下たるべし。
- (2) 氷結せる材料は其の儘之を使用すべからず。
- (3) 氷結氣温に於てコンクリートを施工する時には、コンクリート填充後 72 時間以上若くはコンクリートが充分硬化する迄、少く共氣温を 10°C に保たしむる爲め適當の手段を講すべし。
- (4) 材料の加熱方法及保護方法に就ては責任技術者の承認を受くべし。
- (5) 鋼筋コンクリートに於てはコンクリートの冰結を防ぐ爲め鹽其の他の薬品を混入すべからず。
- (6) 氷結に依りて害を受けたるコンクリートは之を除去すべし。』

(1) に就いて 填充するコンクリートの温度が 5°C 以下であると、凝結硬化が甚だ遅いのみならず、急に氣温が低下する時、コンクリートが凍結する惧がある。

寒中コンクリートの場合には、骨材及水を熱して、填充の際に於けるコンクリートの温度を高める事が多く、此の際、コンクリートの温度が 50°C 以上になると、セメントが急結して、コンクリートに害を及ぼす惧がある。

依つて、填充の際に於けるコンクリーの温度（大氣の温度ではない）を、5°C 以上、50°C 以下と規定したのである。

(3) に就いて 経験によれば、酷寒の際でも、コンクリートを填充してから、最初 3 日間、都合よく硬化させれば、其の後は餘り被害がない。それで、72 時間若しくはコンクリートが十分硬化する迄、コンクリートが冷却しない様に、之を取り囲み其の内部を温める等適當の方法に依り、コンクリートの周囲の氣温を絶えず 10°C 以上に保つ必要がある。

(4) に就いて 骨材及水を熱するのに種々の方法があるが、材料を過熱したり、50°C 以上のコンクリートを作つたりする事を避ける爲に、材料の加熱方法及保護方法に就いては、責任技

術者の承認を受けなければならない。尚ほ、混合されたコンクリートが運搬及填充中に冷却しない爲に、之を保護する方法に就いても、周到な注意が必要である。

(5) に就いて 無鐵筋コンクリートでは、コンクリートの凍結溫度を低下する爲に、水に食鹽又は鹽化カルシューム等を溶かして用ゐる事がある。鐵筋コンクリートでは、斯の如き鹽類を使用する時は、鐵筋を腐蝕させる惧があり、又電流の作用を受け易くする危険もあるから、是等鹽類其の他の薬品の混入を禁ずるのである。

#### § 34. 養生

コンクリートを打ち終つてから、之を保護して、其の硬化作用を充分に發揮せしめると同時に、コンクリートの收縮による龜裂及鐵筋コンクリート部材に生ずる初應力を出来る丈僅小ならしめむとする作業をコンクリートの養生と云ふのである。

コンクリート養生の作業は、(1) 霜・日光・風及大雨等に對してコンクリートの露出面を保護する事、(2) コンクリートが十分硬化する迄擊衝及過分の荷重を加へ無い様に保護する事、(3) コンクリートの硬化中相當の溫度に保つ事、(4) 硬化中に十分に濕氣を與へる事、等である。コンクリート養生作業の中で、普通の場合には、コンクリートが過早に乾燥しない様に、硬化中に十分の濕氣を與へる事が最も大切である。

養生について、標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 『第三十七條 養生

- (1) コンクリートは填充後、過早の乾燥、溫度、之に加はる荷重及擊衝等の有害なる影響を受けざる様充分に保護すべし。
- (2) コンクリートの露出面は筵・布・砂等を以て之を覆ひ、之に撒水して少くとも 7 日間常に濕潤状態を保たしむべし。
- (3) 養生日數に就ては責任技術者の指示に従ふべし。』

## 第十節 接合

#### § 35. 概説

鐵筋コンクリート構造物に於て、設計又は施工計畫に依りて定められた接合の位置及構造は、計算上の假定が成り立つ事、施工が安全に行はれる事、構造物が十分な安全度を有する事等を考慮して、特に設計者が決定したものであるから、構造物の他の部分と同様、現場の都合などで、濫

りに變更すべきものではない。此の點に就いて、標準示方書は次の様に規定して居る。

### 『第三十八條 総 則

設計又は施工計畫に依りて定められたる接合の位置及構造は之を嚴守すべし。』

### § 36. 施工接合

施工接合につき、標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 『第三十九條 施工接合

(1) 設計又は施工計畫に指示せられる施工接合を設くる場合には其の位置、方向及施工は構造物の強度及外觀を害せざる様注意すべし。

水平なる施工接合に於けるコンクリート表面は作業を中止したる時、レイタスを除去し表面を充分粗にすべし。又必要なる場合には楔又は柄を作るか、或は接合の面に直角に鐵筋材を挿入すべし。

(2) 水平なる接合に於てレイタスの發生を防ぐ爲め、コンクリートの填充を終りたる後接合に於ける過剰の水を排除すべし。

(3) 梁、桁又は版が壁又は柱と單一體として働く様設計せられたる場合には、壁又は柱のコンクリートの收縮又は沈下に備ふる爲め、その施工後4時間以上、其の他の場合には2時間以上を経過したる後に非ざれば、梁、桁又は版のコンクリートを填充すべからず。』

(1)に就いて (3)に示された施工接合を設ける場合の外は、一般に、設計又は施工計畫に指示されない施工接合は、之を作らないのを原則とする。然し現場の都合で、施工接合を設ければならない場合には、責任技術者の指示に従はなければならない。

施工接合に於けるコンクリートの施工法は、標準示方書第三十五條打足し(§ 32. 参照)の規定に準すればよい。

(2)に就いて コンクリートの配合及水量に就いて、周到な注意を拂つても、鐵筋コンクリート用のコンクリートでは、其の填充を終つた時、表面に相當の水が出て来る。此の水はレイタスの出來る原因となるから、之を取り去る必要がある。若しレイタスが出來たら、成る可く早く、之を取り去るべき事は既に述べた通りである。

(3)に就いて コンクリートは、填充し終つてから後、數時間の間に、材料の分離、沈下等の爲に、可なりの收縮を爲すものである。其の收縮の量は、打つたコンクリートの高さが大きい程、又填充が迅速である程大きい。故に壁又は柱のコンクリートの填充を終つた後、直ちに桁又は版のコンクリートを打つと、壁又は柱のコンクリートが收縮する爲に、柱又は壁と、桁又は版

との間に、空隙の出来る惧がある。故にラーメンの如く、桁又は版が、壁又は柱と單一體として働く様設計された場合には、柱又は壁のコンクリートを打ち終つた後相當な時間を経過しなければ、桁又は版のコンクリートを填充してはならないのである。

コンクリートを填充してから大約2時間以上経てば、コンクリートが其の間に相當に收縮するから、柱又は壁と桁又は版との間に空隙を生ずる様な惧は先づ無い。然し、單一體として働く様設計された構造物に於ては、特に十分の安全を見込むで、4時間以上と規定したのである。

### § 37. 柱に於ける施工接合

柱に於ける施工接合は、之を柱の高さの中央附近に設けると、柱の強度を減ずる惧が大きいから、床組の下側に設けなければならない。

柱が床組と單一體になつて居る場合のコンクリートの填充は、標準示方書第三十九條(3)の規定(§ 36. 参照)に依らなければならぬ。

ハウチ及柱頭に於けるコンクリートは、柱又は壁の高さに較べて比較的小さく、直接型枠で支へられて居るから、支柱又は壁のコンクリートと同様に收縮又は沈下する事が出来ない。故に、ハウチ又は柱頭は、床組の一部として、之と連續的に働くものと考へるのが至當である。

以上の事柄を、標準示方書は次の様に規定して居る。

### 『第四十條 柱に於ける施工接合

柱に於ける施工接合は床組の下側に設くべし。

ハウチ及柱頭は床組の一部とし且つ床組と連續的に働くものと考ふべし。』

### § 38. 床に於ける施工接合

床組に於ける施工接合は、之を桁又は版の徑間中央附近に設けるのが普通である。之は、此の所で剪應力が小さく、壓應力が鉛直な接合面に直角に働くから、施工接合を設けても、桁又は版の強度を減ずる事が小さいと云ふ理由に依るのである。併し、桁の徑間中央部で、之に小桁が交叉して居る場合には、剪應力の急變する位置に接合を作るのを避ける爲に、小桁の幅の2倍離した處に施工接合を設けるのが適當である。尚ほ、剪應力の大きい所に施工接合を設ける時は、鉛直な接合面に對して、傾斜した鐵筋を挿入するがよい。

以上の事柄を標準示方書は次の様に規定して居る。

### 『第四十一條 床に於ける施工接合

床組に於ける施工接合は梁、桁又は版の徑間中央附近に設くべし。但し梁が其の徑間中央に於て桁と交叉する場合には、梁の接合を桁の幅の2倍の距離丈距て設くべし。』

責任技術者の指示ある場合には鉄筋を使用し剪應力に對して相當の補強をなすべし。』

### § 39. 伸縮接合

伸縮接合は、其の目的から考へて、相接する構造物の兩部を完全に絶縁すべき事は明白であるが、間々誤つてコンクリート丈を絶縁し、鐵筋を連續する様な事が行はれるから、特に注意を要する。

露出する伸縮接合の間隙を其の儘にしておくと、其の間に土砂等が入り込むで、伸縮接合の作用を妨げる惧があるから、必要に應じ、適當な填隙材を挿入しなければならない。

伸縮接合につき、標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 『第四十二條 伸縮接合

伸縮接合に於ては鐵筋を連續せしめず相接する構造物の兩部を絶縁すべし。露出せる伸縮接合には必要に應じ責任技術者の承認を得たる填隙材を挿入すべし。』

### § 40. 滑り面接合

滑り面接合を作る簡単な方法は、コンクリートの受け面を平滑に仕上げ、接合の面にアスファルト又は之に類似のものを塗るか、或は防水紙又はアスファルト フエルトの類をコンクリート面に釘付けして後に、他の部のコンクリートを打つのである。

滑り面接合に就いて、標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 『第四十三條 滑り面接合

滑り面接合に於けるコンクリートの受け面は平滑に仕上げ、硬化後責任技術者の指示に従ひ適當なる絶縁材を置き、上部のコンクリートを打つべし。』

### § 41. 水密施工接合

水密施工接合に就いて標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 『第四十四條 水密施工接合

施工接合が水密なるを要する場合には次の方法に依りて施工すべし。

(1) 水平接合に於ては下部のコンクリート面に連續せる溝を造るべし。但し之に依り難き場合には責任技術者の指示に従ひ、本條(2)の方法に依る事を得。次のコンクリート填充に先立ちコンクリート面を充分清掃し、レイタンス及雜物を完全に除去し、過剰ならざる程度に充分濕潤し、セメント糊状體を塗り付け、その凝結前接合の全面にモルタルが充分行き亘る様施工すべし。

(2) 鉛直接合は責任技術者の指示に従ひ銅板、其他腐蝕に耐へ得る金屬製の水止めを使用し前項に準じて施工すべし。』

## 第十一節 型 枠

### § 42. 概 説

#### 『標準示方書第四十九條 総則

(1) 型枠は設計に示されたるコンクリートの位置、形狀及寸法に正しく一致せしめ、堅牢にして荷重、乾湿等に依りて狂ひを生ぜざる構造となすべし。又其の形狀及位置を正確に保たしむる爲め適當の施設をなすべし。

(2) 型枠は容易に且つ安全に之を取り外し得られ、その縦手は成可く鉛直又は水平とし、且つモルタルの漏出の虞れなき構造となすべし。』

(1) に就いて 鐵筋コンクリート構造物をして、設計通りの位置、形狀及寸法を有せしめるためには、型枠を正しい位置・形狀及寸法に作らなければならない事は明白であるが、充分堅牢であつて、填充されたコンクリートの重量及其の他の荷重の爲に、實際上變形を生じないものである事が、極めて大切である。

木製の型枠を使用する場合には、之が乾燥の爲め、或はコンクリートより水分を吸收して膨脹する爲に狂ひを生ずるから、十分注意しなければならない。

型枠の形狀及位置を正確に保たせるには、楔・貢材・支柱・突張り・繩材等を十分に使用して、型枠を固定せしめる事が肝要である。

(2) に就いて 型枠は實際上變形を起さ無い程度に堅牢のものでなければならぬから、型枠の各部を出来る丈確固に固定する事は必要であるが、之と同時に、型枠取外しの作業が、構造物に震動、衝撃を及ぼし、或は堰板を破損する事無く、靜かに、安全且つ容易に行はれ得る様な構造とする事も考へなければならない。取外しが容易である事は、型枠を反覆使用する上からも大切な事である。

堰板の縦手が水密でないと、使用水量の多いコンクリートでは、コンクリートの一部が砂又は砂利のみになつてしまふ危険がある。

型枠各部の縦手を鉛直又は水平にする事は、型枠を正しい位置、形狀及寸法に作り、且つ堰板の縦手を水密にする作業を容易ならしめるものである。

### § 43. 堤 板

#### 『標準示方書第五十條 堤 板

(1) 木材堰板には死節其他の缺點なきものを使用し、そのコンクリート露外面に接する

表面は平滑に鉋仕上げをなすべし。但し粗面にて差支へなき露出面に對してはこの限りに非ず。

(2) 一度使用したる堰板は、再び之を使用するに先立ちコンクリートに接する面を清掃すべし。』

(1)に就いて 木材堰板として死節其の他の缺點なきものを使用し、其のコンクリート露出面に接する表面を平滑に鉋仕上げする事は、コンクリートと堰板との附着を防ぎ、コンクリートの露出面が平滑で完全なモルタルの面となる爲に必要な事である。

(2)に就いて 一度使用した堰板の面には、必ず多少のモルタルが附着して居るものであるから、再び之を使用するに先立ち、其の面を奇麗に掃除し、必要あれば之に塗油する。

#### § 44. 型枠及支保工

##### 『標準示方書第五十一條 型枠及支保工

型枠及支保工は充分なる支持力を有することを要す。重要な型枠及支保工に對しては强度計算を行ふべし。特に支柱は沈下せざる様、其の受くる荷重を適當なる方法に依り地盤に一様に分布せしめ、又長さ大なる場合には繫材及筋違を設くる事を要す。』

型枠が變形移動を生じ無いものである爲には、充分な支持力を有する事が必要である。

型枠及支保工は、普通、経験から各人勝手な標準によつて設計されて居るが、重要な型枠及支保工は、安全を期する爲め、其の强度と變形とを検算して見る必要がある。

支柱を弱い地盤に直接載せると、沈下し易いから、適當な方法で、支柱からの荷重を地盤に分布しなければならない。

支柱の長さが大きい場合には、バックルしない様に、繫材及筋違等で固定しなければならない。

#### § 45. 組立

##### 『標準示方書第五十二條 組立

(1) 堰板を締付くるには成可くボルト又は棒鋼を使用すべし。之等の締付材は、型枠取外し後コンクリート仕上げ表面より 2.5 cm の間に残存せしむべからず。鐵線を締付材として使用する場合には責任技術者の承認を受くべし。

(2) 支承・支柱及假構等は、楔・砂箱・扛重器等にて支へ、振動、衝撃等を與ふる事なく徐々に型枠を取り外し得る様にすべし。

(3) 必要ある場合には型枠に適當なる反りを附すべし。』

(1)に就いて 堰板を正確に十分に締付け、コンクリート填充中に狂ひを起きない様に

する爲には、締付材としてボルトを用ゐるのが適當である。

鐵線を締付材として使用する利益は、唯工費の節約にあるのであつて、一面には缺點も多い事であれば、責任技術者の承認を受けて使用を決しなければならない。

締付材として用ゐるボルト又は鐵線の端が、工事完成後コンクリートの表面から出て居ると、之から湿氣を誘つたり、之が錆びてコンクリート表面に汚點を生じたり、コンクリートに龜裂を生ぜしめたりする惧があるから、コンクリート表面に出ない様に取去り、出来たコンクリート面の穴は、モルタルで埋めて置く必要がある。此の埋める穴の深さが餘り淺いと、モルタルが剥落するから、2.5 cm 以上にしなければならない。

(2)に就いて 型枠は、其の取外しに際し、構造物に震動、衝撃を及ぼす事なく、其の作業が極めて静かに安全且つ容易に行はれ得る様に、組立てなければならない。之が爲に支承・支柱及センターリング等は、楔・砂箱・扛重器等で支へる必要がある。尚ほ、是等の楔・扛重器等は、型枠を正しい位置に据ゑ、位置の修正をなし、又適當な反りを與へる爲にも必要である。

(3)に就いて 型枠は之を十分堅牢に作り、填充コンクリートの重量などで、實際上狂ひが無い様な構造とするけれども、全然撓度無しに作り得るものでは無いし、又工事の種類によつては、型枠の相當な撓度を覺悟しなければならない場合もあるから、場合に應じて適當の反りを附する必要があるのである。

#### § 46. 面取

##### 『標準示方書第五十三條 面取

特に指定なき場合には、型枠の隅角に面取をなす爲め適當の三角材を取付くべし。』

型枠の隅角に面取をする事は、構造物の美觀上又耐火性を大にする上からのみならず、型枠取外しの際に、コンクリートの角が破損しない爲にも必要である。

#### § 47. 塗油

##### 『標準示方書第五十四條 塗油

(1) 型枠の内側に塗る油は汚色を残さざる礪油又は責任技術者の承認を受けたるものを使用すべし。

(2) 油は鐵筋の配置前に塗布すべし。』

(1)に就いて 木製の堰板に塗油する事は、堰板とコンクリートとが附着するのを防ぐ爲に有效なばかりで無く、堰板が水を吸收して膨脹する爲に生ずる型枠の歪を防ぐにも效果がある。

鐵製の堰板には、是非塗油しなければならない。

堰板に塗る油は重油・機油・石油とリンシード油との混合物等がある。是等の内どれが適當であるかは、工事の種類其の他の事情による事であるから、責任技術者の判断に俟たねばならない。

(2) に就いて 型枠内に鉄筋を配置してから、堰板に塗油すると、其の作業中に鉄筋に油がついて、鉄筋とコンクリートとの附着を妨げる惧がある。

コンクリートを打つ時に、塗つた油が可なり乾いて居ないと、油がコンクリート中に流れ込む惧がある。

#### § 48. 一時的開口

##### 『標準示方書第五十五條 一時的開口

柱及壁の型枠底部、その他必要なる箇所には一時的開口を設け、型枠の掃除、検査及コンクリートの填充に便ならしむべし。』

型枠の内部は、特別の場合の外、コンクリートを打つ前に、壓力ある水で掃除し、堰板を充分水で濕す事が大切である。此の場合の汚水を流す爲と、型枠及鉄筋配置の検査を容易ならしめる爲とに、柱・壁などの型枠の脚部又は大きな桁の底部等には、豫め適當な大きさの穴をあけて置く必要がある。之をコンクリートを填充する時に、塞ぐ事は勿論である。

小さい断面を有する部材の型枠の高さが大きい場合には、型枠に適當な投入口を設けて、コンクリート填充の際、型枠又は鉄筋にコンクリートの附着硬化するのを防ぐ必要がある。(§29 参照)

#### § 49. 型枠の取外し

##### 『標準示方書第五十六條 型枠の取外し

(1) 型枠はコンクリートが相當硬化する迄之を存置すべく、責任技術者の承認を得るにあらざれば、之を取外すべからず。

(2) コンクリート填充後型枠取外しに到る期間は、氣温・天候・使用セメントの性質、構造部分及其の寸法等を考慮し適當に之を定むべし。

大體の標準は第四表に依るものとす。

第四表

氣温	側面の型枠	柱類の型枠	床版の底面の型枠	支間6m未満の桁・批及ラーメン床版の型枠	支間6m以上の桁・批の型枠
最低溫度15°C以上の場合	2日乃至3日	4日乃至6日	6日乃至9日	10日乃至15日	14日乃至21日
最低溫度3°C以上の場合	3日乃至6日	6日乃至10日	9日乃至14日	14日乃至21日	18日乃至28日

コンクリート硬化中、最低溫度3°C以下となりたる場合には、其の一日を半日に換算して型枠存置期間を延長せしむべし。氣温0°C以下に下る場合には適當なる防寒装置を施すべし。

(3) 工事中餘分の荷重を受くる部材に於ては、適當なる支柱を設け、該部材の荷重及施工中に加はる荷重を支持せしめ、該部材が是等荷重の爲めに害せらるる事を防ぐべし。斯かる支柱は部材が其の重量及其の上に来る荷重を負擔するに充分なる強度を得る迄之を存置すべし。』

(1) に就いて 型枠はコンクリートが相當硬化して、型枠に壓力を及ぼさない様になる迄、之を存置するのが原則である。それで、假構は、鉄筋コンクリート部材が安全に其の自重及の上に来る荷重を負擔するに十分な強度に達する迄、之を取外してはならない。

型枠取外しの時期を誤つた爲に、災害を惹起した例は甚だ多いから、型枠取外しに就いては、是非責任技術者の承認を得なければならぬ。

重要な工事に於ては、責任技術者は自ら現場に於て、コンクリート硬化の程度を調査して後に、型枠取外しの承認を與ふべきである。

(2) に就いて コンクリートの強度を大ならしめ、コンクリートの硬化に際してなす收縮の爲に起る固有初應力及構造物全體としての初應力(第五章第三節参照)を減少し、收縮龜裂の發生を防ぐ上からして、型枠は事情の許す限り永く、之を存置する必要がある。

型枠を存置すべき最小期間は、(1) 使用セメントの性質、(2) コンクリートの配合及水量、(3) 構造物の種類とその重要の程度、(4) 部材の種類、(5) 部材の受ける荷重、(6) 部材の大きさ、(7) 養生中の溫度、(8) 養生中の天候及風通し、等に依るもので、之の決定は非常に複雑な問題である。故に、型枠を存置すべき最小期間に就いて、一定の規準を示す事は甚だ困難であるから、型枠取外しの時期は、責任技術者の判断に依るを原則とする。

第四表は、極く大體の標準を示すに過ぎない。

(3) に就いて 型枠を取外すには、一般に全體を同時に取外さず、先づ比較的荷重を受けない部分を取外し、更にある期間をおいて構造物が計畫した強度に達した後に、残りの重要な部分を除去すべきである。部材の重量及工事中に加へられる餘分の荷重を支持する爲に設けられる支柱等は、最後まで之を存置し、部材が自己の重量及之に加はる荷重を安全に負擔し得る強度に達する迄は、之を除去してはならない。

## 第十二節 表面仕上げ

### § 50. 表面仕上げ

#### 『標準示方書第六十五條 表面仕上げ

- (1) 露出面となるべきコンクリートは堰板に密接して完全なるモルタルの表面が得られる様適當なる填充及搗固めをなすべし。
- (2) コンクリートの表面に生じたる稜線又は突出部は除去して平滑ならしめ、空隙又は缺損したる箇所は直ちに水にて潤したる後、コンクリートと同一配合のモルタルを填充して平滑に仕上ぐべし。
- (3) コンクリートの上面は過剰の水を存せざる様注意し、表面に滲出せる水は迅速に之を排除し、木鎌にて平滑に均すべし。
- (4) コンクリート上面にして特に磨耗に抵抗せしむる必要ある場合には、セメントと骨材との配合を容積比にて  $1:2\frac{1}{2}$  以上とし、水量を成可く少くして充分に搗均すべし。
- (5) モルタル仕上げをなす場合には施工を終りたる後 1 時間以内にコンクリート上面にモルタルを塗り均すべし。既に硬化せるコンクリートの表面は、鑿又は適當なる工具にて粗にし、水にて充分に濕したる後、セメント糊状體を薄く塗り直にモルタル仕上げを行ひ適當なる養生をなすべし。』

(1)に就いて コンクリート表面に特種の仕上げを行はない場合、露出面となるべきコンクリートの表面は、之に砂利や砂があらはれない完全なモルタルの表面でなければならない。之は、美観上必要であるばかりでなく、表面が耐水的であつて、構造物の耐久性を大ならしめる上からも甚だ大切である。

コンクリートの露出面が完全なモルタルの面となる爲には、堰板の表面が平滑である事、堰板の縫手が水密である事、等に注意すべきは勿論、尙ほ填充及搗固めにも注意が大切である。

(2)に就いて 型枠の製作、コンクリートの材料、配合・混合・運搬・填充及搗固め、型枠の除去等に周到な注意を拂つて施工しても、大きな構造物に於ては、堰板を取外した時、コンクリート表面に、稜線・突出部・空隙・又は缺損した箇所等が絶対に出来ない様にする事は、一般的の場合、まづ不可能である。斯の如き缺點の生じない様に努力すべきは勿論であつて、標準示方書に於ても、積極的に斯の如き缺點の生ずるのを認めたのではなく、萬一出来た場合の修正方法を示したのである。斯かる缺點箇所を其の儘に残しておく事は、よく見受ける事であるが、美

觀上は兎も角として、構造物の耐久性に非常な悪影響を及ぼすものであるから、必ず本項の注意に従つて手直しなければならない。型枠除去後直ちに此の手直しを行へば、作業も容易であり且つ有效である。

(3)に就いて 鐵筋コンクリートの施工に對して、満足なる結果を與へる様な配合及水量のコンクリートの上面には、一般に水が出て来る。上面に過剰の水が出ない様に、施工中に使用水量の加減をする事は極めて大切であるが、水が表面に澤山出て来た時には、迅速に之を排除する必要がある。さうしないと、レイタンスが出來たり、又、表面に細かい龜裂を生じたりする惧がある。

(4)に就いて 橋梁の路面であるとか、工場の床であるとか、特に磨耗に抵抗させる必要ある場合の表面仕上げの標準を示したものである。

(5)に就いて モルタル仕上げをなす場合に、モルタルがコンクリート面とよく密着する爲には、コンクリートを打ち終つてから、成る可く早くモルタルを塗る事が必要である。

コンクリートが硬化して居る場合は、表面を粗にし、十分に濕し、セメント糊状體を薄く塗つて、直ちにモルタル仕上げを行ふ事が肝要である。セメント糊状體は、之を厚く塗ると、却つてモルタルが剥落する事がある。

## 第十三節 現場に於けるコンクリートの試験及載荷試験

### § 51. 抗壓強度及ウォーカビリチー試験 載荷試験

標準示方書第四條によると、鐵筋コンクリート構造物の各部は、材齡 28 日に於けるコンクリートの抗壓強度を基準として設計する事に規定してあるから、コンクリートは、基準とした抗壓強度を有しなければならない。而してコンクリートの抗壓強度は施工の如何に依つて著しく異なるものであるから、現場で所定の抗壓強度を有するコンクリートが製作されて居るや否やを屢々試験して見る事は、施工が満足に行はれて居るや否やを検する上丈からも、極めて大切な事で、之は又、責任技術者として重大な職務の一つである。自分が製作して居るコンクリートが何程の抗壓強度を有するものであるかを知らずに、コンクリート構造物を造つて居るのは、鋼の強度を知らずに鐵橋を作る様なもので、誠に危険な事と云はなければならぬ。併し、今日では、まだ、此の當然の試験が閑却されて居るのは歎すべき事である。

現場に於けるコンクリートの試験に關し、標準示方書は次の様に規定して居る。

### 〔第三十條 試験〕

コンクリート工事中は責任技術者の指示に従ひ其の品質を確むる爲めに、ウォーカビリーテ試験及抗圧強度試験を行ふべし。

ウォーカビリーテ試験及抗圧強度試験は、夫々附録第五章及第六章に規定せる標準試験方法に依るものとす。』

### 〔第六十六條 現場に於ける抗圧強度試験〕

責任技術者は現場に於て屢々コンクリートの抗圧強度試験を行ひ、所要の強度を有するや否やを検査すべし。

抗圧強度試験は「コンクリート抗圧強度試験に關する標準方法」(附録第六章)に依るべし。』  
載荷試験に關し標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 『標準示方書第六十七條 載荷試験』

- (1) 載荷試験は責任技術者が特に其の必要を認めたる場合に限り之を行ふものとす。
- (2) 載荷試験はコンクリートの最終填充後 45 日以上經過するに非れば、之を行ふべからず。試験荷重は一般に設計荷重を超ゆべからず。
- (3) 構造物の最大撓度は、試験荷重を 6 時間以上載荷したる後、残留変形は荷重を除きて 12 時間以上經過したる後、之を測定すべし。支承の沈下の影響を除き、残留変形は最大撓度の  $\frac{1}{4}$  以下たる事を要す。』

(1)に就いて 載荷試験は、構造物が從来なかつた新らしい設計方法によつて設計された場合であるとか、特種のセメント又は骨材等を使用した場合であるとか、施工中にコンクリートが霜害を受けた懸念があるとか等、設計及施工から来る種々の影響の程度を知り度い場合に、責任技術者が特に其の必要を認めた場合に限り、之を行ふものであつて、平常必ず行ふものではない。

(2)に就いて 載荷試験の主な目的は、前述の如くであるから、過早過大の荷重を加へて、此の試験の爲に、却つて構造物に弱點を作る事のない様にしなければならない。それで、コンクリートが十分硬化するのに必要な時日を與へる爲に、コンクリートの最終填充後 45 日以上經過した後に、又過大の荷重を加へない様に、一般に設計荷重迄の載荷によつて、試験を行ふべき事を規定したのである。

(3)に就いて コンクリートは荷重を受けると、時日が経つにつれて、荷重は増加しないでも、其の変形が増加する。故に鐵筋コンクリート構造物に荷重を加へる時にも、其の変形は時

日の経過に伴つて増加する。又、荷重を取去つた時に、元の状態に戻るにも相當の時日が必要である。経験によると、大約 6 時間以上たてば、普通の場合に試験の目的を達する事が出来る最大変形が得られるから、最大撓度を測るには、試験荷重を加へた後 6 時間以上を経過した後にすべしと規定したのである。又、変形が元に戻る場合には、前者よりも一層時間がかかるものであるから、残留変形を測るには、荷重を除いた後 12 時間以上経過した後にすべしと規定したのである。

コンクリートは比較的小さい應力を受けた時でも、残留変形を生ずるものであるから、鐵筋コンクリート構造物の載荷試験に於ては、幾分の残留変形を生ずるのが普通である。然し最大試験荷重が設計荷重であれば、コンクリート及鐵筋に於ける最大應力は許容應力以下である。許容應力の附近では、鐵筋もコンクリートもまだ十分彈性的である筈であるから、残留変形が最大撓度の  $\frac{1}{4}$  以上もあると云ふ事は、構造上に缺點のある事を示すものである。

## 第三章 コンクリートの性質

### 第一節 コンクリートの重量・水密性・耐火性・膨脹及收縮

#### § 52. コンクリートの重量

コンクリート  $1\text{m}^3$  の重量は、骨材の比重及單位容積の重量、配合及水量、コンクリートの乾燥の程度等によつて異なる。今、セメントの重量を  $1500\text{ kg/m}^3$ 、比重を、3.12 とし、

$$W = \text{使用するセメントの重量 (kg)}$$

$$W_f = \text{使用する細骨材の重量 (kg)}$$

$$S_f = \text{細骨材の比重}$$

$$W_c = \text{使用する粗骨材の重量 (kg)}$$

$$S_c = \text{粗骨材の比重}$$

$$w = \text{水—セメント重量比}$$

とすれば、普通鐵筋コンクリートに使用される配合及水量の範囲に於て、コンクリートの出來上り容積  $V(\text{m}^3)$  は、次式で計算する事が出来る。(拙著鐵筋コンクリート施工法第六章第五節参照)

$$V = \frac{W}{1500}(0.48 + 1.5w) + \frac{W_f}{1000 S_f} + \frac{W_c}{1000 S_c}$$

依つて、出來上りコンクリート  $1\text{m}^3$  の重量  $G(\text{kg})$  は、

$$G = \frac{W + w \cdot W + W_f + W_c}{V}$$

となる。若し、骨材の比重が知れて居ないならば、普通の骨材の比量は 2.60 乃至 2.70 であるから、平均 2.65 と假定してよい。

例へば、 $1\text{m}^3$  の重量が夫々 1450 及 1500 kg である砂及砂利を用ひ、配合容積比で 1:2:4、水セメント重量比が 0.6 であるコンクリート  $1\text{m}^3$  の重量を求めて見ると次の様になる。

配合容積で 1:2:4 であるから、セメント  $1\text{m}^3$  ( $W=1500\text{ kg}$ ) に對して、砂  $2\text{m}^3$  (重量  $W_f=2 \times 1450=2900\text{ kg}$ )、砂利  $4\text{m}^3$  (重量  $W_c=4 \times 1500=6000\text{ kg}$ ) を用ひればよい。骨材の比重を 2.65 と假定すれば、

$$\begin{aligned} V &= \frac{W}{1500} (0.48 + 1.5w) + \frac{W_f + W_c}{2650} \\ &= \frac{1500}{1500} (0.48 + 1.5 \times 0.6) + \frac{2900 + 6000}{2650} = 4.74 \text{ m}^3 \\ \therefore G &= \frac{W + w \cdot W_f + W_c}{V} = \frac{1500 + 0.6 \times 1500 + 2900 + 6000}{4.74} = 2380 \text{ kg} \end{aligned}$$

以上は、出来たてのコンクリートの重量であつて、コンクリートが乾燥すれば、重量が減少する。而して、使用水量の多いコンクリートが乾燥する時の重量の減少は、使用水量の小さいものよりも大きい。

構造物の設計に關する計算に於ては、特別の場合の外は、簡単のために、コンクリート  $1\text{m}^3$  の重量を 2200 kg 乃至 2300 kg と假定するのが普通である。

### § 53. コンクリートの水密性

コンクリートは、其の材料・配合・水量・ウォーカビリチー・混合・運搬・填充・養生、其の他に關し、周到な注意を拂つて施工すれば、普通の構造物に對しては、其の强度に對して必要なコンクリートの厚さで、同時に十分目的に適する丈の水密性を有するものである事が今までの経験から知られて居る。

コンクリートの混合を完全にし、材料の分離を起さない様に運搬填充し、十分な養生をする事は適當な材料の選擇及び配合並に水量の決定と同様に大切である。

セメントは、粉末度の高いもの程、水密性の大きいコンクリートを作るに適して居る。骨材は大小粒適度に混合して居つて空隙の小さいものを使用する事が殊に大切である。コンクリートの配合及水量は、所要の抗壓强度に適應すべきは勿論、水密性の大きいコンクリートを容易に作り得る様なウォーカビリチーを有する様に決定しなければならない。

コンクリートは、濕氣と接觸させて硬化させると、材齡の増加に伴つて、水密性が増大するもの

であるから、コンクリートに龜裂の發生するを防ぎ、抗壓强度を大ならしめる上からのみでなく、コンクリート自體の水密性を大ならしめる上からも、十分濕氣を與へて養生する事が極めて大切である。

之を要するに、標準示方書に示してある様な、材料・配合・水量・ウォーカビリチー・混合・填充其の他に關する施工法を嚴守すれば、所要の水密性を有するコンクリートを作る事が出来る。此の點に就いて標準示方書は次の様に規定して居る。

### 『第六十條 總 則

水密を要するコンクリートは、其の材料の選擇、配合、使用水量、ウォーカビリチー、填充、養生、其の他の作業に關し、總て本示方書の規定を嚴守して製作すべし。』

以上の如く、コンクリート材料の選擇・配合・水量・施工等に就いて、十分の注意を拂へば、所要の水密性を有するコンクリートを作る事が出来るけれども、出来る丈密度の大きいコンクリートを作つて、比較的容易に且つ安全に水密性を大ならしめる目的で、防水成分を混合する事がある。混和物を使用する事が有利であるか、使用セメントの量を増加する事が有利であるかは、實際の場合に就いて、充十比較研究の上決定すべき事柄である。

尚ほ、コンクリートの水密性を増加する爲に、之に混入すべき材料として、市場に非常に澤山の種類の防水剤がある。是等の中で、どれが最も有效であるかは、今日未だ解つて居ない。效力の確實なものもある様であるが、一般に效果は永續しない。中にはコンクリートの强度を減ずるものもある。故に、防水剤を使用する時には、之がコンクリート及鐵筋に及ぼす影響、其の效果に就いて試験を行つて、有效である事が證明された場合に限り、使用する事が安全である。標準示方書は防水剤を使用しない事を原則として居る。

### 『標準示方書第六十一條 防水剤の混和

特に責任技術者の承認を得るにあらざれば、防水剤を混入すべからず。』

防水工の施工に就いては、拙著「鐵筋コンクリート施工法」第九章を参照され度い。

### § 54. コンクリートの耐火性

コンクリートは不燃性で且つ熱の不良導體であつて、耐火の目的に對して極めて有效適切な建築材料である事は、實際の火災に於ける経験及澤山の實驗で證明されて居る。

コンクリートの耐火性の大きいのは、コンクリートが熱の不良導體である事、コンクリートが結晶水を含む事、及コンクリート中に氣孔があつて、其の耐火度を増す事等に依るものと考へられて居る。

コンクリートを熱して、約260°Cに到ると脱水作用が初まり、約480°Cで脱水作用を終るものである。而して、脱水する際コンクリートから熱が吸收されるから、コンクリートの温度の昇るのを防ぐ。又、コンクリートの気孔中の空気は熱の傳導を妨げるから、コンクリートの耐熱度を増す事になる。

コンクリートが脱水し初めれば、分子間の凝集力が減じ、質が段々脆くなり、全く脱水するに到れば、龜裂が出来、遂には崩壊する。然し、脱水したコンクリートは普通のコンクリートよりも更に熱の不良導體であつて、脱水したコンクリートの層が出来ると、其の内部の温度の上昇を防ぐから、之が其の位置を保つ間は、外部が高熱にさらされても、其の内部は容易に温度が昇らない。

コンクリートの耐火性は使用骨材の石質に最も大きな關係がある。氣孔の多い火山岩質の骨材を使用するコンクリートが、一般に耐火性が大きい。即ち炭灰・鑛滓等を骨材とするコンクリートは、耐火性が最も大きく、煉瓦屑など之れにつき、石英質に富む砂利又は碎石を骨材とするコンクリートは耐火性が最も小さい。

粗骨材の最大寸法の大きいものを用ゐる程、各方向に於ける膨脹の差が大きいから、コンクリートが崩壊し易くなり、従つて耐火性が減少する。

コンクリートに氣孔の多い程熱の傳導が悪い。従つて、氣孔の多いコンクリートを作る程一般にコンクリートの耐火性が大きい。

材齢の小さいコンクリート又は多分の水を含有するコンクリートは耐火性が小さい。

それで、一般に云ふと、氣孔の多い、強度の小さいコンクリートが耐火の目的には適當する事になるけれども、鐵筋コンクリート用コンクリートとしては、耐火性が大きい事のみが必要ではなく、强度の大きい事及び鐵筋防錆が確實に出来る事が極めて大切であるから、耐火性のみが大きいコンクリートを使用する事は出来ない。依つて、耐火を必要とする鐵筋コンクリート構造に使用するコンクリートに於ては、骨材の石質丈に就いて注意を拂ふのが一般である。

火熱を受けた後のコンクリートの强度の大きい事、及、火熱に對して鐵筋を十分保護すると云ふ點からしては、今日の處、脈岩が骨材として、最も適當なものと考へられて居る。石灰質の骨材を使用するコンクリートは、石灰石が加熱分解を起し易いから、火熱を受けた後の强度は餘程減するけれども、之は加熱分解を起した後に崩壊せずに鐵筋を十分保護するから、石英質に富む骨材の様に、膨脹してコンクリートを崩壊せしめ、鐵筋を直接火熱にさらす様な事がない點が、後者より餘程優つて居るのである。

標準示方書第五十八條(§ 293. 参照)には、特に構造物を耐火構造として造る場合には、玄武岩若くは石灰石程度の膨脹率を有する骨材を用ふべき事が規定してある。

### § 55. コンクリートの膨脹係数

コンクリートの温度に對する膨脹係数は、一定のものではなく、種々の事情によつて變化するものであるが、平均1°Cにつき100萬分の10に取つてよい事が一般に認められて居る。標準示方書には、

#### 『第六十九條 (3)

コンクリート及鐵筋の膨脹係数は1°Cにつき10/1,000,000とす。』

と規定してある。

### § 56. 硬化及乾燥によるコンクリートの收縮及膨脹

コンクリートは水中で硬化すれば膨脹し、空氣中で硬化すれば收縮する。此の膨脹率及收縮率の差は、硬化の初期に於ては餘り大きくなが、材齢が大きくなると、收縮率の方が遙かに大きくなる。

空氣中で硬化させたコンクリートを水中に漬けると、1日以内にかなり大きな膨脹を示し、時の経過するに従つて其の量を増加するけれども、初めから水中で硬化させたものよりも膨脹は小さい。

濕氣と接觸して硬化させたコンクリートを空氣中におくと收縮を初めるが、其の收縮は初めから空氣中で硬化させたものに較べれば甚だ小さい。之が、コンクリートの收縮を小さくするために、硬化の初期に於て、特に十分に水を與へる必要のある理由である。

濕氣と接觸させたコンクリートを空氣中におく時に收縮するのは、コンクリートの乾燥に依るものである。乾燥は先づコンクリートの表面から初まり、漸次内部に及ぶものである。内部が乾燥する迄の時間は、コンクリート體の大きさ、コンクリートの有孔性、セメント及骨材の性質、空氣の湿度及溫度、風の方向及速さ等に依て異なるが、可なりの長時日を要するもので、断面20×20cm位のコンクリート體でも、中心が外部とほぼ同じ程度に乾燥するには數ヶ月を要するものである。斯く、外部は乾燥しても、内部は容易に乾燥しないから、外部は收縮するが、内部は餘り收縮しない。依つて、外部に張應力、内部に壓應力を生ずる事になる。此の張應力がコンクリートの抗張强度を超過すれば、表面に所謂收縮龜裂が現はれる。之は打繼ぎの層などの施工上缺點のある所、又は構造物の斷面が急變する所などに先づ現はれるのが普通である。永い時日の後に、コンクリート體の内部も十分乾燥するに到ると、外部に於ける張應力は消失し、場合によつては、

収縮龜裂は肉眼では見えない位に小さくなる。

空氣中で硬化するコンクリート部材の収縮率は、セメントの性質、骨材の石質及細骨材に於ける細粒の多寡・配合・水量・コンクリート部材の大きさ・材齡等によつて異なるが、普通の鐵筋コンクリート構造用のコンクリートで、材齡約1年に於て、1mに就き0.2mm乃至0.4mm、平均1mにつき0.3mm位収縮するものと考へてよい様である。

乾燥によるコンクリートの収縮膨脹に大きな關係のあるのは、セメントの性質であるが、セメントの種類とコンクリートの収縮膨脹との關係は、まだよく解つて居ない。唯、粉末度の高いセメントを使用するコンクリートの収縮は、幾分大きい様である。

火山灰・石灰などの混和は、コンクリートの収縮を大ならしめる様である。

骨材の乾燥による容積の變化は、セメントが硬化に際しなす収縮に較べて甚だ小さいから、之がコンクリートの収縮膨脹に及ぼす影響も甚だ小さいけれども、骨材の石質が十分強固であれば、骨材がセメントの硬化に際してなす収縮膨脹を妨げる事になるから、コンクリートが乾燥する時にはセメントに張應力、骨材に壓應力を生じ、コンクリートが水を吸收して膨脹する時には、以上と反対の應力を生ずる譯である。それで、骨材の使用量にもよるが、骨材の石質が強固である程、コンクリートの収縮膨脹が小さくなる譯である。

細骨材に細粒を含む事が大きい程、コンクリートの収縮が大きくなる。

配合に關しては、セメントの使用量の多い程コンクリートの収縮が大きい。故に、収縮率の小さいコンクリートを作る爲には、必要な强度とウォーカビリチーとの得られる範圍に於て、出来る丈小量のセメントを使用する必要がある。

使用水量の多いコンクリートは、硬化の初期に於ては、収縮が小さいけれども、後には、使用水量の小さいコンクリートよりも餘計に収縮するものである。

コンクリート部材が大きい程、部材全體としては乾燥が遅いから、収縮も小さいが、既に述べた様に、表面は容易に乾燥するから、表面に水を與へなければ、収縮龜裂が出来る。

## 第二節 コンクリートの强度

### § 57. 概 説

鐵筋コンクリート用コンクリートの品質を示す標準として、コンクリートの抗壓强度を用ゐる事が一般に行はれて居る事は、§ 7. に述べた通りである。又、單にコンクリートの强度と云へば、抗壓强度を指すのが普通である。

コンクリートの抗壓强度に關係する事項の主なるものを擧げると、

- (1) 部材の大きさ、形及鐵筋の配置,
- (2) 使用セメントの强度,
- (3) 骨材の石質及大小粒混合の程度,
- (4) 配合及水量,
- (5) 混合の程度,
- (6) 混合してからの運搬方法  
打方に於ける搗固めの程度,
- (7) 材 齡,
- (8) 養生中に於ける温度及湿度,
- (9) 試験の方法,

等である。

斯の如く、コンクリートの抗壓强度は、多くの事項に關係するものであるから、コンクリートの抗壓强度を一般的に、然も簡単に云ひ表はす事は不可能であつて、或るコンクリートの抗壓强度を正確に知るには、試験によるより外に途はないのである。

或る鐵筋コンクリート構造物に於けるコンクリートの抗壓强度を知るには、正確に云ふと、此の構造物からコンクリートを切り取つて標準の大きさの供試體を作り、之を試験しなければならない。然し、實際出來て居る構造物から、コンクリートを切り取る事は、道路の様な場合を除いては、一般に不可能の場合が多いから、構造物のコンクリートを打つ時にコンクリートを取つて供試體を作り、之を構造物に於けるコンクリートとなるべく同じ様な状態に養生して、抗壓强度を試験するのが普通である。幸な事には、今日迄行はれた實驗の結果によると、實際構造物から切り取つたコンクリートの抗壓强度は、以上の如くして作つた供試體の抗壓强度よりも、一般に幾分大きい。依つて、現場で作つた供試體の示す抗壓强度を以て、實際の構造物に於けるコンクリートの抗壓强度と考へて安全である事になる。之は實際の構造物に於ける堰板は多く木材であつて、コンクリートから幾分か水分を吸收するし、又、水が堰板の縫目から洩れたりするけれども、標準供試體の型は多く金属性で、水分を吸收したり、漏水したりしない事にも依るが、又實際の構造物は供試體に較べて容積が非常に大きいから、材料の分離が極く著しいコンクリートの場合の外は、壓力のために供試體よりも强度の大きいコンクリートが出来る事、容積が大きいから温氣を永く保つ事、低溫度の影響を受ける事が小さい事等に依るものである。

### § 58. 部材の大きさ、形及鐵筋の配置と抗壓强度との關係

鐵筋コンクリート部材の大きさ、形及鐵筋の配置が、コンクリートの十分な搗固めに適するものであれば、ウォーカビリチーの悪いコンクリートを使用する事が出来る。従つて、水—セメント重量比の小さい比較的硬練りのコンクリートを使用する事が出来る。而して、比較的硬練りのコンクリートでは材料の分離を生ずる事が少いから、コンクリートの抗壓强度が水—セメント重量比によつて定まるものと假定する事は大體正しい。従つて、鐵筋コンクリート部材の大きさ、

形及鐵筋の配置がコンクリートの十分な搾固めに適するものであれば、同一單價に對して、抗壓強度の大きいコンクリートが得られる事になる。

普通に鐵筋コンクリート部材を作る作業に適する様なウォーカビリチーのコンクリートを厚さ 20 cm 乃至 30 cm も打てば、表面に水が出て來、表面に近い部分に於てセメントの量が多くなる事は周知の事である。之は明かにコンクリート材料の分離を示すものである。表面に水が出て來れば、コンクリートの内部に於ける水—セメント重量比は小さくなる。材料の分離を生じて居るコンクリートに對して、其の抗壓強度が水—セメント重量比によつて定まると假定する事は、甚だ事實に遠い事ではあるが、部材全體として考へれば、水が出て來て、水—セメント重量比の小さくなつたコンクリート體の方が、水を失はないものよりも抗壓強度が大きい事は事實である。

故に一般に、コンクリートの抗壓強度は、部材の大きさ、形及び鐵筋の配置によつて支配される事になるのである。

### § 59. セメントの强度及水—セメント重量比と コンクリートの抗壓強度との關係

コンクリートの配合・水量及び抗壓強度に関する理論に就いては、拙著「鐵筋コンクリート施工法」第六章を参照され度い。

コンクリートの抗壓強度に關係する事項は、§ 57. に述べた様に澤山あるが、其の内で、直接コンクリートの强度に大きな關係のあるものは、セメントの强度、配合及び水量である。

骨材・配合・水量及其の他の事情が同じであれば、コンクリートの抗壓強度はセメントの耐壓强度に直接の關係を有するものである。例へば、昭和五年八月商工省告示第四十一號日本「ボルトランドセメント」規格の試験法によつて試験したセメントの耐壓强度が、材齡 28 日に於て 600 kg/cm<sup>2</sup> であるセメントを使用するコンクリートの抗壓强度は、300 kg/cm<sup>2</sup> の耐壓强度を有するセメントを使用する場合の約 2 倍である事が實驗で示されて居る。それで、一定の抗壓强度を有するコンクリートを作る目的に對しては、耐壓强度の大きいセメントを使用すれば、耐壓强度の小さいセメントを使用する場合よりも、セメントの使用量を減じてよい譯になる。

セメントの耐壓强度と其のセメントの使用量の變化に依るコンクリートの抗壓強度との關係は、まだ明かにされて居ないが、或る耐壓强度のセメントを使用したコンクリートの抗壓强度が知れて居れば、骨材・配合及水量が之と同じで、他の耐壓强度を有するセメントを使用するコンクリートの抗壓强度は、大體以上に述べた關係によつて評價する事が出来るのである。

コンクリートがプラスチックでウォーカブルである範圍内に於ては、大體に於て、コンクリ

ートの抗壓强度が、水—セメント重量比によつて定まる事は、多くの實驗で證明されて居る。

Graf 氏の研究の結果によると、コンクリートの抗壓强度と、セメントの耐壓强度及水—セメント重量比との關係は、材齡 28 日に於て、大體次式で示す事が出来る。

$$\text{最小 } \sigma_{28} = 0.094 \frac{K_n}{w^2} \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{最大 } \sigma_{28} = 0.188 \frac{K_n}{w^2} \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{平均 } \sigma_{28} = 0.125 \frac{K_n}{w^2} \text{ kg/cm}^2$$

茲に、 $\sigma_{28}$  はコンクリートの標準供試體(高さが直徑の 2 倍の圓筒)の材齡 28 日に於ける抗壓强度、 $K_n$  は材齡 28 日に於けるセメントの耐壓强度、 $w$  は水—セメント重量比である。

今、 $K_n = 400 \text{ kg/cm}^2$  のセメントを使用し、水—セメント重量比  $w = 0.6$  とすれば、材齡 28 日に於けるコンクリートの抗壓强度は、

$$\text{最小 } \sigma_{28} = 0.094 \frac{400}{0.36} = 104 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{最大 } \sigma_{28} = 0.188 \frac{400}{0.36} = 209 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{平均 } \sigma_{28} = 0.125 \frac{400}{0.36} = 139 \text{ kg/cm}^2$$

それで、標準示方書に規定された材料及施工法によつて作られたコンクリートの材齡 28 日に於ける抗壓强度は、大體、第二十四條第三表(§ 21. 參照)に示される値を標準としてよいのである。

### § 60. 骨材の最大寸法及大小粒混合の程度、配合及ウォーカビリチーと抗壓强度との關係

粗骨材の石質がコンクリート中のモルタルの强度よりも大く、且つ其の大小粒が適當に混合して居れば最大寸法の大きい粗骨材程、抗壓强度の大きいコンクリートを與へる。

骨材の大小粒が適當に混合して居る事は、§ 10. 及 § 13. に述べた様に、所要抗壓强度のコンクリートを經濟的に製作する上から極めて大切である。

粗骨材の最大寸法、細粗骨材の大小粒混合の程度、配合及ウォーカビリチーとコンクリートの抗壓强度との關係を、一般的に示す事は不可能であるが、極く大體の關係は第 I 表の如くである。

第 I 表は米國聯合委員會のコンクリート及び鐵筋コンクリート標準示方書の附錄に掲げられた表の抜萃で、普通鐵筋コンクリート用コンクリートとして作業に適するウォーカビリチー

(スランプ 15 cm 乃至 18 cm) を有し、材齢 28 日に於て  $105 \text{ kg/cm}^2$ ,  $140 \text{ kg/cm}^2$ ,  $175 \text{ kg/cm}^2$  及  $210 \text{ kg/cm}^2$  の抗壓强度のコンクリートに於ける、骨材の最大寸法及配合の関係を示すものである。之に依つて、與へられた骨材の大きさに對し、所要抗壓强度に對するコンクリートの配合を大體求める事が出来る。此の表を用ゐるには、先づ此の表に示された番号の篩 (No. 28, No. 14, No. 8, No. 4,  $\frac{3}{4}$  in.,  $1\frac{1}{2}$  in. 及  $2\frac{1}{2}$  in.) の一組を用ひて篩分析試験を行ひ、次の規則に従つて細粗骨材の最大寸法を定める。或る篩番號を骨材の最大寸法とする爲には、此の篩番號より小さい。

第 1 表

材齢 28 日に於て、 $105 \text{ kg/cm}^2$ ,  $140 \text{ kg/cm}^2$ ,  $175 \text{ kg/cm}^2$  及  $210 \text{ kg/cm}^2$  の抗壓强度を有するコンクリートの配合(容積比)

スランプ 15 cm—18 cm

粗骨材の大きさ	細骨材の大さき			
	0~No. 28	0~No. 14	0~No. 8	0~No. 4
抗 壓 強 度 $105 \text{ kg/cm}^2$				
No. 4 より $\frac{3}{4}$ in. まで	1:1.8:3.4	1:2.0:3.2	1:2.3:3.1	1:2.6:2.8
No. 4 より 1 in. まで	1:1.6:3.9	1:1.8:3.8	1:2.1:3.7	1:2.4:3.5
No. 4 より $1\frac{1}{2}$ in. まで	1:1.6:4.4	1:1.8:4.3	1:2.0:4.3	1:2.3:4.1
No. 4 より 2 in. まで	1:1.4:5.1	1:1.6:5.0	1:1.8:5.0	1:2.0:5.0
抗 壓 強 度 $140 \text{ kg/cm}^2$				
No. 4 より $\frac{3}{4}$ in. まで	1:1.3:2.7	1:1.4:2.6	1:1.7:2.5	1:1.9:2.3
No. 4 より 1 in. まで	1:1.2:3.1	1:1.3:3.1	1:1.5:3.0	1:1.8:2.9
No. 4 より $1\frac{1}{2}$ in. まで	1:1.1:3.5	1:1.3:3.5	1:1.4:3.5	1:1.7:3.4
No. 4 より 2 in. まで	1:1.0:4.1	1:1.1:4.1	1:1.2:4.1	1:1.4:4.1
抗 壓 強 度 $175 \text{ kg/cm}^2$				
No. 4 より $\frac{3}{4}$ in. まで	1:1.0:2.2	1:1.1:2.2	1:1.3:2.1	1:1.5:2.0
No. 4 より 1 in. まで	1:0.9:2.6	1:1.0:2.5	1:1.1:2.5	1:1.3:2.4
No. 4 より $1\frac{1}{2}$ in. まで	1:0.9:2.9	1:0.9:2.8	1:1.1:2.8	1:1.3:2.8
No. 4 より 2 in. まで	1:0.7:3.3	1:0.8:3.3	1:0.9:3.4	1:1.1:3.3
抗 壓 強 度 $210 \text{ kg/cm}^2$				
No. 4 より $\frac{3}{4}$ in. まで	1:0.7:1.7	1:0.8:1.7	1:0.9:1.7	1:1.1:1.6
No. 4 より 1 in. まで	1:0.6:2.0	1:0.7:2.0	1:0.8:2.0	1:0.9:1.9
No. 4 より $1\frac{1}{2}$ in. まで	1:0.6:2.2	1:0.7:2.2	1:0.8:2.2	1:0.9:2.2
No. 4 より 2 in. まで	1:0.5:2.6	1:0.6:2.6	1:0.6:2.7	1:0.7:2.6

目を有する次の篩番號の篩に 15% 以上止まなければならぬ。例へば、或る砂の篩分析試験を行つて、砂の 16% が No. 8 の篩に止まつたとすれば、其の砂の最大寸法は No. 4 の大きさであるとする。若し 14% 又はそれ以下が No. 8 に止まれば、No. 8 を其の砂の最大寸法とする。同様に、 $1\frac{1}{2}$  in. の篩に 16% 以上止まつた砂利の最大寸法は 2 in. である。

### § 61. コンクリートの抗壓强度と材齢との關係

コンクリートの抗壓强度と材齢との關係は、使用セメントの性質、コンクリートの硬化中に濕氣を與へるか否か、及養生中に於ける溫度の高低によつて大いに異なるものである。

普通のポルトランドセメントコンクリートを濕氣と接觸させて硬化させれば、1 年位迄急激に抗壓强度が增加する。1 年以後に於ける强度の増加も大きいけれども、强度増加の割合は、前者に較べて甚だ小さい。空氣中で硬化させれば、コンクリートは比較的早く最後の强度に達し、材齢の増加による强度の増進は甚だ小さい。

材齢 28 日に於ける抗壓强度と養生法との關係は、H. W. Green 氏の實驗によると次の如くである。1 日間濕砂中に、27 日間空氣中に貯藏したコンクリートの抗壓强度は、28 日間濕砂中に貯藏したもの 60% であり、1 週間濕砂中に貯藏し 2 週間空氣中に貯藏したものは、4 週間濕砂中に貯藏したもの抗壓强度に等しい。又、25 日間濕砂中に貯藏した後 3 日間空氣中に貯藏したものは、28 日間濕砂中に貯藏したものより 40% 抗壓强度が大きい。之は、供試體に含まれる水分が、コンクリートの抗壓强度に大きな影響を及ぼす事を示すものである。

Gonnerman 氏の實驗によると、材齢 7 日に於けるコンクリートの抗壓强度は、濕砂中に貯藏したものも、空氣中に貯藏したものも、材齢 28 日に於けるものの 70% であり、又材齢 1 年及 5 年に於て、濕砂中に貯藏して硬化させたコンクリートの抗壓强度は、材齢 28 日のものの夫々 2 倍及び 2.5 倍になつて居るが、空氣中で硬化させたものは夫々 1.1 倍及 1.3 倍である。空氣中に貯藏したコンクリートの材齢 8 年に於ける抗壓强度は、材齢 6 ヶ月のものより僅かに大きい丈である。又、永く空氣中に硬化させたものを水中に入れて置くと、急に强度が増加する事を示して居る。

コンクリートの硬化は、セメントと水との緩慢な化學作用によるものであるから、硬化中之に必要な水分がなければ、此の化學作用が起り得ないのである。従つて、コンクリートが乾燥して硬化に必要な水分を失へば、材齢による强度の増加は望み難いものである。コンクリートの强度が年月の経過と共に増加するのは、コンクリートが濕氣と接觸して居る場合に限るのである。

普通の鉄筋コンクリート構造物に於てコンクリートを永く濕氣と接觸させて硬化させる事は、一般に困難であるから、永い年月を経ても材齡28日の抗壓強度よりも餘り増加しないものと考へるのが安全である。依つて、實際荷重を加へるのは、コンクリートを造つて後數ヶ月であるにしても、大體材齡28日に於ける抗壓強度を以て、コンクリートの抗壓強度の基準とするのが安全であり、又抗壓強度の試験をする上からも、餘り長期の抗壓強度を基準とするよりも便利である。

それで、標準示方書は第四條に、

『構造物の各部は材齡28日に於けるコンクリートの抗壓強度を基準として設計すべし。』と規定して居り、又第七十三條(第三編第二章参照)に於て、コンクリートの許容應力の主なものが、材齡28日に於けるコンクリートの抗壓強度の割合で與へてある。

アルミナセメントの様な急硬性のセメントを使用するコンクリートは、濕氣と接觸して硬化させても、材齡28日以後に於て、殆ど強度が増加しないのみならず、多少強度が減するものもある様である。

急硬性の所謂高級ボルトランドセメントを使用するコンクリートも、以上と同様な傾向を有するものが少くない様である。現今日本で製造されるボルトランドセメントの内でも、此の傾向を有するものがある。之は、セメント及びコンクリートの品質を示す標準として、材齡28日の抗壓強度が用ゐられる爲に、セメント製造業者としては、材齡28日に於て高强度を得る事を努力し、其の後に於ける強度の増加については、比較的注意を拂はない事によるものと思はれる。此の點から言つても、コンクリートの抗壓強度の基準として材齡28日の抗壓強度を取るのが、一般に安全なのである。

コンクリートの抗壓強度と、材齡との關係を示す實驗式は、數個發表されて居るが、以上に述べた理由で、實際上は、あまり價値のない様に思はれる。

材齡7日の抗壓強度から、材齡28日の抗壓強度を推定する事は、實際現場で屢々必要がある。此の點に關しては、今日の所、Graf氏の實驗式によればよいと思ふ。即ち、

$$K_7 = \text{材齡7日に於けるコンクリートの抗壓強度},$$

$$K_{28} = \text{材齡28日に於けるコンクリートの抗壓強度},$$

とすれば、

$$K_{28} = 1.4 K_7 \quad \text{乃至}$$

$$K_{28} = 1.7 K_7 + 60 \text{ kg/cm}^2$$

而して、使用水量の大きいコンクリートでは  $\frac{K_7}{K_{28}}$  の値が小さくなる。

### § 62. 養生中の溫度と抗壓強度との關係

コンクリートの抗壓強度と養生中の溫度との關係は、使用セメントの性質・配合・水量其の他によつて異なるものであるが、一般に就いて言へば、養生中に於ける溫度が高い程抗壓強度が大きい。又、或る一定溫度に於ては、材齡による抗壓強度の增加率は、材齡の增加に伴つて減少するが、低溫度で硬化させるもの程、此の強度增加率が小さい。

普通の鉄筋コンクリート用コンクリートに對しては、材齡28日に於て、養生中の平均溫度攝氏1°につき、抗壓強度に大約  $2 \text{ kg/cm}^2$  乃至  $4 \text{ kg/cm}^2$  位の差を生ずるものと考へてよい。

### § 63. コンクリートの抗壓強度と試験方法との關係

他の材料に於けると同様に、コンクリートの抗壓強度は其の試験方法によつて異なるものである。即ちコンクリートの抗壓強度は、其の供試體の形狀・寸法・コンクリート填充の方法・養生・荷重を加へる方法等、供試體の製作から抗壓強度試験を終るまでのあらゆる階梯に於ける處理方法によつて異なるものである。故に、コンクリートの抗壓強度試験の結果を比較する爲には、他の材料に於けると同様に、コンクリートの抗壓強度試験に關する標準方法による事が必要である。それで、世界各國に於て、コンクリートの抗壓強度試験に關する標準方法が制定されて居る事は、セメントに於けると同様である。

標準示方書附錄第六章に、コンクリート抗壓強度試験に關する標準方法が示してある。本書に於けるコンクリートの抗壓強度は、凡て此の標準方法で試験した時の抗壓強度を云ふのである。

標準示方書の試験方法は、米國の材料試験協會の標準試験方法に準據したものであるから、米國の著書及び雑誌などに示されて居るコンクリートの抗壓強度は、直ちに我國に於けるコンクリートの抗壓強度と比較する事が出来る。

歐洲各國の標準試験方法は、日本の標準示方書の試験方法と異つて居るから、單に抗壓強度の数字丈で、コンクリートの強弱を比較する事は出来ない。

著者の實驗(九州帝國大學工學彙報第二卷第四號、昭和二年十二月)の結果によると、日本の標準試験方法による時と、獨逸の標準試験方法による時とに於ける同一コンクリートの抗壓強度の比は、硬練りコンクリートの場合に於て約0.6、普通、鐵筋コンクリート工事に使用される配合及水量のコンクリートに於て平均0.75位である。

### § 64. コンクリートの抗張強度

コンクリートの抗張強度が、材料・配合・水量其の他によつて異なる事は、抗壓強度に於けると

同様であるが、材料の性質及施工の影響を受ける事が、抗圧強度の場合よりも甚だ大きい。

極く大體に就いて言へば、コンクリートの抗張强度は抗圧強度の  $\frac{1}{10}$  位と考へてよい。但し此の値は種々の事情によつて大いに異なるものである事に注意を要する。

無筋のコンクリート桁に就いて破壊弯曲張應力を齊等質材料の桁に関する普通の公式で計算すると、抗張强度の大約 1.8 倍乃至 2 倍に出て来る。之は、コンクリートは Hooke の法則に従はない材料であるのを、Hooke の法則に従ふ材料に對する計算式を用ゐる爲に起る誤差であつて、桁として働く時コンクリートの抗張强度が増加するのではない。

鐵筋コンクリートの設計に於ける計算に於ては、安全と計算の容易との爲に、コンクリートの抗張强度を無視するのが普通である。(§ 185 参照)。然し、鐵筋コンクリートの破壊は、コンクリートの抗張强度と密接な關係を有する場合が多いのであつて、コンクリートの抗張强度は、抗圧强度と同様に大切なものである。

#### § 65. パンチング シアに対するコンクリートの強度

パンチング シアに対するコンクリートの強度は、理論上からも、實驗上からも、抗圧强度の約  $\frac{1}{2}$  である。

#### § 66. 磨耗に対するコンクリートの抵抗力

床面又は道路面のコンクリートは、磨耗に対する抵抗力の大きい事を必要とする。

一般に云つて、密度・抗張强度及抗圧强度の大きいコンクリートは磨耗に対する抵抗力が大きい。磨耗に対するコンクリートの抵抗力は、セメントの性質に大きな關係がある。

骨材は、コンクリートに使用されるセメント糊状體と同程度に磨耗するものを選ぶ事が出来れば、表面が平滑に磨耗する利益がある。骨材は清潔である事が殊に大切である。

磨耗に抵抗すべきコンクリート中のモルタルの配合は、1:1 乃至 1:2 とする必要がある。1:3 の配合では、抵抗力が一般に不足である。使用水量は、事情の許す限り小量にし、十分な搾固めをする程、磨耗に対するコンクリートの抵抗力が大きくなる。此の點に關する標準示方書の規定は § 50. に述べた通りである。

又、十分に温氣を加へて養生すれば、著しく、コンクリートの磨耗に対する抵抗力を大きくする事が出来る。

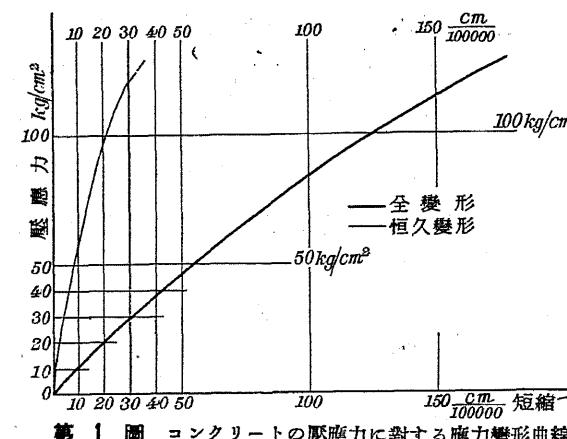
コンクリート表面の磨耗に対する抵抗力を特に大きくする必要ある時は、鐵粉を混じたモルタルの表層を設けるのが甚だ有效である。

### 第三節 コンクリートの彈性

#### § 67. 概 説

コンクリートに於ける應力と變形との關係は、材料・配合及水量・施工法・材齡等によつて差異ある事、抗圧強度に於けると同様であつて、之を簡単に一般的に述べる事は出來ない。次には、コンクリートの彈性に關する大體を述べるに留める。

#### § 68. 壓應力に對する應力變形曲線



第 1 圖 コンクリートの壓應力に對する應力變形曲線

第 1 圖は、コンクリートの壓應力變形曲線の 1 例である。圖で見る様に、コンクリートの應力變形曲線は、殆ど始めから曲線をなして居り、その曲率半径は應力の大きくなるに従つて漸次に減少する。此の曲線は極強度の點を頂點とする拋物線に近い。

コンクリートは完全な彈性體でなく、壓應力が比較的小さい時でも、恒久變形を生ずる事、第 1 圖に示す通りである。

コンクリートの抗圧強度の約 50% 乃至 60% 以下の壓應力を生ずる荷重を加へ、一旦之を取り去り、再び此の荷重を加へれば、應力變形曲線は前よりやや直線的となり、再び荷重を取り去れば、恒久變形の增加する量は、初めの恒久變形よりも小さい。斯の如き作業を數回繰返して居る間に、恒久變形は増加しなくなり、應力變形曲線は繰返し加へた荷重までは、殆ど直線的になるものである。然し、コンクリートの抗圧強度の約 50% 乃至 60% 以上の壓應力を生ずる荷重を繰返し加へると、恒久變形は漸次に増加し、遂にコンクリートは破壊するに到るものである。

#### § 69. コンクリートの壓應力に對する彈性係數

或る材料の彈性係數とは、應力を増加する場合に、應力の増加に對する變形量の増加の比を云ふのである。コンクリートの壓應力と變形との關係は、第 1 圖に示す様な曲線で表はされるから、コンクリートの彈性係數は、壓應力の大きさによつて異り、一般に、壓應力の大きい場合に小

さい値を有する。

又、コンクリートの弾性係数は、セメント及骨材の性質、配合及水量、材齢等によつて異なるが、Graf 氏、Walker 氏、及坂静雄博士等の研究によると、圧應力が小さい時には、コンクリートの抗壓強度の函数として示す事が出来る。抗壓強度の大きいコンクリートは、一般に、弾性係数も大きい。

§ 68. に述べた如く、コンクリートは完全な弾性體ではなく、應力が小さい時でも恒久變形を伴ふものであるから、弾性係数の數値を計算するに當りて、此の恒久變形を考慮するか否かに依つても、弾性係数の數値が異なる譯である。

以上の如く、コンクリートの圧應力に對する弾性變形は、コンクリートの材料及製作、應力の大きさ、恒久變形の取扱ひ方、試験の方法等によつて異なるものであるから、從來實驗の結果として示された弾性係数の値にも非常に大きな差がある。然し、極く大體を言へば、コンクリートの普通の許容壓應力の附近に於て、全變形を考慮する時、 $175\,000\text{ kg/cm}^2$  乃至  $240\,000\text{ kg/cm}^2$ 、平均  $210\,000\text{ kg/cm}^2$  位であり、コンクリートの抗壓強度の附近に於て、平均  $140\,000\text{ kg/cm}^2$  位と考へる事が出来る。

鐵筋コンクリートの設計に使用する弾性係数の數値に就いては、更に、§ 112. に述べてある。

#### § 70. コンクリートの弾性限度

§ 68. に述べた様に、コンクリートは應力の小さい時でも恒久變形を伴ふものであるから、コンクリートには、正しい意味の弾性限度がないと云はなければならぬ。普通にコンクリートの弾性限度と云ふのは、反覆荷重を無限に加へても、恒久變形の増加を繼續しない應力の限界を云ふのである。此の應力の限界は、今日迄の實驗の結果によると、大約コンクリートの抗壓強度の 50% 乃至 60% である。

以下本書に於てコンクリートの弾性限度と云ふのは、以上の意味に於ける弾性限度を指すのである。

#### § 71. コンクリートのボアソン比

軸應力を受けるコンクリート部材に於て、横方向の單位變形と軸方向の單位變形との比即ちコンクリートのボアソン比は、材齢の增加と共に増加するけれども、其の増加の割合は材齢と共に減小する。ボアソン比の値は、骨材の性質及コンクリートの配合にはあまり大きい關係がない様であるが、壓應力の大きさに關係し、壓應力の小さい時の方が大きい時よりも大きい。

極く大體に就いて云ふと、コンクリートのボアソン比の値は  $\frac{1}{6}$  乃至  $\frac{1}{12}$  位である。

#### § 72. 張應力に對するコンクリートの應力變形曲線

張應力に對するコンクリートの應力變形曲線は、壓應力に對するものとは、多少異つて居る。然し、コンクリートの張應力に對する彈性に就いて考慮する必要ある場合には、簡単の爲に、張應力に對する應力變形曲線は、壓應力に對するものと同じであると假定しても、實用上差支へないと認められて居る。

### 第四節 コンクリートの腐蝕

#### § 73. 概 説

物質が水の媒介で他のものの化學作用を受けて變質して行く事を普通に腐蝕と云ふ。

コンクリートを腐蝕せしめる作用の主なものを擧げれば、

- (1) 風雨寒暑の作用、
- (2) 水の滲透による作用、
- (3) 海水の作用、
- (4) 酸の作用、
- (5) アルカリの作用、

等である。密度及水密性が大きく、十分硬化したコンクリート程、以上の諸作用に對する抵抗力が大きい。

#### § 74. 風雨寒暑の作用に依るコンクリートの腐蝕

凡ての材料は、風雨寒暑の作用に因つて、多少腐蝕する。コンクリートも其の例外ではない。

コンクリートが建築材料として盛んに用ゐられる様になつてからの年月は、比較的短かいものであるから、種々の天候、氣候の下に於て、コンクリートが何程の壽命を有するものであるかは解つて居ない。又、現今製造されて居るセメントの成分は、昔のセメントとは大分異つて居るから、昔、作られたコンクリートの結果から、現在のコンクリートの壽命を判断する事は、あまり適當でないと云ふ事情もある。然し、今日吾人のコンクリートに関する智識の範囲に於ては、現今標準として居る材料及施工によつて製作したコンクリートは、普通の氣候及天候の下に於て、コンクリートの競争者である他の建築材料と同程度の耐久性を有するものであると一般に信じられて居る。風雨、寒暑の作用によつて腐蝕したコンクリートに就いて、今日迄行はれた研究の結果は、凡て是等のコンクリートの材料及施工が、現今の標準に適合しないものである事を示して

居る。

風雨寒暑の作用によるコンクリートの腐蝕は、水と炭酸瓦斯との作用、コンクリート中に吸収された水の凍結作用等によるものであるから、密度及水密性の大きいコンクリート程壽命が永い譯である。故に、コンクリート表面にアスファルト又はパラフィンの溶液を塗布する等の防水工を施し、コンクリートと水との接觸を絶てば、著しくコンクリートの壽命を大きくする事が出来る事は明かである。

### § 75. 水の滲透によるコンクリートの腐蝕

静水中に置かれたコンクリートは、一般に、腐蝕を起さないのみならず、却つて長年月に亘りて其の強度が増加する。然し、コンクリートが一側から水圧を受け、他方からは水圧を受け無い場合、兩側から水圧を受けても兩側の水位に差のある場合、又は流水中にある場合等に於て、水がコンクリートを滲透する時は、永い年月の後には、コンクリートが全く腐蝕するものと考へられる。

セメントが長年月に亘りて硬化する際に於ける化學變化は、強石灰珪酸鹽が、弱石灰珪酸鹽と水酸化石灰とに分解するのであると考へられる。水酸化石灰の結晶は、コンクリートを水密性とし、強度を保有せしめるものであるが、水に溶解するものである。それで、若し水がコンクリート中の小孔又は割れ目を通りて流れれば、水は水酸化石灰を溶解して、之を流送する。水酸化石灰は、空氣中に出で炭酸瓦斯と化合すれば、炭酸石灰となつて、吾人の目に觸れる様になる。依つて、水が絶えずコンクリートを滲透して居れば、長い年月の後には、多量の水酸化石灰がコンクリート中から失はれる譯である。而して、強石灰珪酸鹽の分解は之が水と接觸する間は起るものであつて、水酸化石灰が流出されるに従つて、また新に之を生じ、之が又滲透する水によつてコンクリートの外に流送される。依つて、水が絶えずコンクリートを滲透して居れば、遂にはコンクリートが全く崩壊するに到る筈である。

コンクリートが水を滲透させなければ、以上の様な事は起らない。故に、水密性の大きいコンクリートを作る事、適當な防水工を施す事等は、壓力ある水又は流水の作用に對して、コンクリートを耐久的ならしめる爲に極めて大切な事である。

### § 76. 海水の作用によるコンクリートの腐蝕

今日迄海中に施設されたコンクリートを見るに、長い年月の間海水の作用を受けて、何等の缺點を示さないものもあり、海水の爲に徐々に侵蝕されたものもあり、又、海水の爲の急激な被害を

示したものもある。是等海水の作用に因る被害の中には、其の原因の明白でないものもないではないが、多くは材料及施工が悪かつた事が證明されて居る。殊に、骨材の性質が悪かつた事、混合用水が過多であつた事、コンクリート表面に於ける炭酸石灰の皮膜の保護を怠つた事、等の爲に、コンクリートの腐蝕を来たした例が多い。海中工事に於けるコンクリートの腐蝕には種々の原因があらうが、其の内主なる原因である海水とコンクリートとの化學作用は、コンクリートの表面に於ける炭酸石灰の皮膜が、物理的作用で除去される迄は、殆ど起らない様である。然し、凡てのコンクリートは多少水を滲透せしめるから、化學分析の結果によると、海水に接するコンクリート面又は之に近い部分のコンクリートは、硫化物を含んで居る。従つて、セメントの成分、殊に石灰と海水との化學作用によつて、コンクリートの強度は減るものと考へられる。但し、此の化學作用は極めて緩慢のものであるから、之が爲に、左程コンクリートの耐久性を減ずる事はない様である。それで、材料及施工に就いて、十分注意を拂つて作つたコンクリートは、海水の作用を受けても、十分な耐久性を有するものと考へる人が多いのである。

全く海中にあるコンクリートが非常に腐蝕したと云ふ實例はまだない様である。腐蝕の多いのは、一般に、海水と空氣との作用を受ける最高最低潮位間及波の作用を受ける部分であつた、寒冷時には、冰結作用が一層腐蝕の度を大ならしめる。

海水がセメントに及ぼす化學作用に就いては、學者の意見が一致して居ないが、セメント中の遊離石灰（セメントの硬化に伴つて遊離される石灰）と海水中の硫酸との化學作用がコンクリート分壊の主因であると云ふ點に就いては異論がない様である。依つて、海水中に含まれる硫酸の量が多い程、分壊が劇しい。又、コンクリートが粗鬆であり、且つ水密性が小さい程、コンクリートと海水との接觸する面が大きくなり、海水がコンクリート中に自由に浸入して、益々其の分壊を大ならしめる。

海水の作用に對して、コンクリートを耐久的ならしめる爲の、最も有效確實な方法は、海水の作用を受ける事の最も少い材料を用ひ、密度及水密性の大きいコンクリートを作り、十分に養生し、海水に接するコンクリート表面を、物理的作用に對して適當に保護する事にある。

海水の作用に對して、鐵筋コンクリートを耐久的ならしめるに必要な事項は第五章第五節に述べてある。

### § 77. 酸の作用によるコンクリートの腐蝕

セメントは、硬化した後でも、多くの酸に溶けるから、コンクリートは酸の作用によつて腐蝕する。

材齢の若いコンクリートは、極めて稀薄な酸の作用を受けても腐蝕するが、十分に養生した材齢の大きいコンクリートでは、酸の腐蝕作用を受ける事が大分小さい。酸を含有する肥料などは、新らしいコンクリートには損傷を與へるけれども、十分硬化したものには餘り影響を及ぼさない。

下水中に含まれる酸は通常稀薄であり、且つ下水管には直ちに下水の皮膜が附着してコンクリートを保護するから、下水中に含まれる酸がコンクリートに及ぼす影響は大きくな。

酸性土壤又は之中を流れて來た地下水等は、コンクリートを腐蝕する。日本の土地は到る處酸性土壤で覆はれて居るから、之に對して注意する必要がある。嘗て、臺灣で灌漑用のコンクリート管が壊れたのは、酸性土壤の作用によるコンクリートの腐蝕の適例である。酸性土壤には、珪酸の一變種で僅かに水に溶解する所謂アクチヴシリカを含むもの、植物が菌に侵されて分解した残物としての腐蝕酸を含むもの等があるが、是等の酸は孰れもセメントを溶かすものであるから、是等の酸を含む水とコンクリートとが接觸すると、セメントが溶かされて、骨材が露出し、甚だしくなると、粗骨材が崩落する様になる。

孰れにしても、酸はコンクリートの大敵であるから、コンクリートの腐蝕を防ぐ爲には、酸がコンクリートに接觸しない様にする必要がある。

酸に對する抵抗力の大きいコンクリートを作るには、

- (1) 成る可く耐酸的の骨材を使用する事、
- (2) 富配合を用ひ、密度及水密性の大きいコンクリートを作る事、
- (3) 十分に硬化させる事、

等に注意しなければならない。

#### § 78. アルカリの作用によるコンクリートの腐蝕

日本では、まだ例が無い様であるが、外國の乾燥地方に於ては、硫酸鹽及炭酸鹽などを含むた土壤又は地下水のために、コンクリートが腐蝕した實例が數多くある。之を普通にアルカリの作用と云つて居る。コンクリート中のセメントは、濃度の比較的高い硫酸鹽及炭酸鹽の化學作用によつて、容易に分解する様である。

アルカリの作用に對して抵抗力の大きいコンクリートを作るには、次の注意が必要である。

- (1) 堅硬で、粒度が適當である骨材を使用し、密度及水密性の大きいコンクリートを作る事。
- (2) 成る可く富配合にする事。コンクリート  $1\text{m}^3$  に就き 400 kg (8袋) 以上のセメントを使用する事。水量は、水密性のコンクリートを容易に作り得る程度に於て、小量とする事。

(3) 地下水面附近に施工接合を作らない事。又コンクリート打ちの際に、水平又は傾斜した層の出來ない様に、特に注意する事。

(4) コンクリートは之を事情の許す限り永く濕氣と接觸させて養生し、アルカリ鹽類を含む土壤又は地下水に接せしめる前に、十分空氣中で乾燥させる事。工場製品の場合には  $100^\circ\text{C}$  以上の水蒸氣中で養生すると有效であるが、それ以下の溫度では有害である事。

(5) 大切な構造物の基礎などに於ては、排水設備をよくする事。

(6) 排水が不十分である時には防水膜工を用ゐる事。

#### § 79. 油類の作用によるコンクリートの腐蝕

鑄油は、一般に、コンクリートに對して大きな害を及ぼさない。機械室のコンクリート床などは、絶えず鑄油がかかつて居つても、格別の被害を示さない。

植物性及動物性の油は、容易に有機酸を生じて、コンクリートを侵すから、是等の油の作用を受ける床の表面又は油槽の内面には相當の保護工を施す必要がある。

油類の作用を受ける事が歎いコンクリートを作るに就いての注意は、酸類に對する場合と同様である。

### 第四章 鐵 筋

#### § 80. 鐵筋の材質

鐵筋としては一般に鋼が使用される。標準示方書は、

##### 「第十九條 材 質」

鐵筋として使用する鋼材は JES 第 20 號 G 9 構造（橋梁建築其の他）用壓延鋼材の規格中、責任技術者の指示するものに合格せるものたるべし。』と規定して居る。

同規格中、鐵筋用棒鋼として大切な事項を摘出すれば次の如くである。

##### 抗張強度及伸び

『第九條 抗張試験ニ在リテハ標準抗張試験片ヲ用キ次表ノ規定ニ合符スルコトヲ要ス。

種類	抗張力 $\text{kg/mm}^2$	標準抗張試験片	伸%
鐵筋コンクリート用棒鋼	39—52	第二號 第三號	21 以上 25 以上

第二號試驗片——標點距離 L ハ徑(又ハ對邊距離) D ノ 8 倍; 兩端ヲ太クスルモノニ在リテハ平行部ノ長 P ハ D ノ約 9 倍。

第三號試驗片——徑(又ハ對邊距離) 25 mm ヲ超ユル試驗片。標點距離 L ハ徑(又ハ對邊距離) D ノ 4 倍; 兩端ヲ太クスルモノニ在リテハ平行部ノ長 P ハ D ノ約 4.5 倍。

第八條 抗張試驗片ハ……棒鋼ニ在リテハ長ノ方向ヨリ之ヲ採取シ若シ矯正ノ必要アルトキハ常溫ノママ之ヲ行フモノトス。

試驗片ニハ成ルハク壓延肌ヲ残スモノトス。但シ徑又ハ對邊距離 75 mm 以下ノ棒鋼ニ在リテハ適宜機械仕上ヲ爲スコトヲ得。

第十五條 抗張試驗ニ於テ試驗片ガ標點間ノ中心ヨリ標點距離ノ  $\frac{1}{4}$  以外ニ於テ切斷シタルトキハ其ノ試驗ヲ無効トシ更ニ最初ニ試驗片ヲ採取セル鋼材ニ付再試驗ヲ行フコトヲ得。』

#### 屈曲試験

『第十一條 常温屈曲試験ニ在リテハ試驗片ニ壓力ヲ加ヘ又ハ鏈打ニ依リ其ノ厚径又ハ對邊距離ノ 1.5 倍以下ノ内側半徑ニテ 180 度タケ屈曲スルモ外側ニ裂疵ヲ生セサルコトヲ要ス。』

第十條……徑又ハ對邊距離 35 mm 未満ノ棒鋼ノ試驗片ハ壓延セルママノ材料ヲ用ウルモノトス。』

#### 抗張及屈曲試験片ノ數

『第十三條 試験片ノ數ハ次表ニ依ルモノトス。

種類	抗張試験片ノ數	常温屈曲試験片ノ數
棒鋼	1 箇鋼毎 = 1 箇 但シ其重量 25 瓉ヲ超ユルトキハ 25 瓉又ハ其ノ端數毎 = 1 箇ヲ増シ又徑若ハ對邊距離 2 種以上ニシテ註文者又ハ検査員ノ要求アルトキハ断面ノ寸法ヲ異ニスル毎ニ更ニ 1 箇ヲ加フ	同 左

第十六條 抗張試験又ハ曲屈試験ノ成績カ規格ニ合セサルトキハ其ノ試験片各 1 箇ニ付更ニ 2 箇ノ試験片ヲ採取シ再試験ヲ行フコトヲ得。此ノ場合ニ於テ其ノ内 1 箇タリトモ合格セサルトキハ其ノ試験片ニ依リ代表セラルル鋼材ハ全部之ヲ不合格トス。』

#### 寸法及重量ノ公差

『第十九條 鋼材ノ公差ハ別ニ定ムル鋼材ノ寸法及重量ノ公差規格ニ依ル。』

鋼材ノ重量ハ  $1 \text{ cm}^3$  ヲ鋼ヲ 7.85 g トシテ算出スルモノトス。』

壓延鋼材の寸法及重量の公差は JES 第 24 號 G 18 に示されて居る。鐵筋として多く用ゐられる棒鋼に関する事項を摘出すれば次の如くである。

『第二條 鋼材ノ寸法ノ公差ハ次表ニ依ル。』

種類	公	差
棒鋼	徑、邊又ハ對邊距離	± 2% 但シ最小値 ± 0.5 mm
	7 m 以下	+ 40 mm
	7 m ヲ超ユルモノ	長 1 m ヲ増ス每ニ上記ノ公差ニ更ニ 5 mm ヲ加フ 但シ最大値 + 120 mm
	常温ノママ切斷シタルモノ	+ 10 mm

第三條 鋼材ノ重量ハ  $1 \text{ cm}^3$  ヲ鋼ヲ 7.85 g トシテ算出シ其ノ公差ハ次表ニ依ル。』

種類	公	差
棒鋼	1 箇 = 付計量スル場合	± 6 %
	同一寸法ノモノ 10 箇以上ヲ 1 組トシテ計量スル場合	± 5 %

#### 検査

『第二十條 訂文者又ハ検査員ハ隨時註文鋼材ノ製造工場及關係工場ニ出入シ註文鋼材ノ製造ヲ検査スルコトヲ得。』

第二十一條……鋼材ニハ適當ナル記號ヲ附シ其ノ製造ニ供シタル鎔鋼トノ關係ヲ明カナラシムルモノトス。』

鋼材ニハ製造所名又ハ商標及製鋼番號ヲ明示スルモノトス。但シ小ナル鋼材ハ之ヲ結束シ 1 束毎ニ適當ノ方法ニヨリ上記ノ記號ヲ表示スルコトヲ得。』

試験片採取ニ先タチ製造者ハ鋼材ノ製鋼法、製鋼番號、壓延番號、寸法及重量ヲ明記セル鋼材ノ明細表ヲ註文者又ハ検査員ニ提出スルモノトス。』

註文者又ハ検査員ノ要求アルトキハ前記ノ諸記號ノ外鋼材ノ種別ヲ示スヘキ塗色ヲ施シ且本規格ニ合格セルコトヲ證明スル記號ヲ鋼材毎ニ明示スルモノトス。』

第二十二條 鋼材ヲ壓延スル製造所ニ於テ鋼塊ヲ製造セサル場合ニ於テハ鋼材ノ製造ニ使用セル鋼塊ノ製造所名、製鋼法及製鋼番號ヲ明記セル證明書ヲ註文者又ハ検査員ニ提出スルモノトス。……』

標準示方書第七十四條(§ 275 参照)に與へられて居る鐵筋の許容張應力は  $1200 \text{ kg/cm}^2$  であるから、JES 第 20 號 G 9 の規格に合格する鋼であれば、其の抗張力の大小に拘らず、 $1200 \text{ kg/cm}^2$  の許容應力を使用し得るのである。それで、抗張力の大きい鐵筋を使用しても、計算上、所要鐵筋斷面積を減ずる事は出来ない。唯、鐵筋コンクリートの安全度を増加する丈である。尚ほ、抗張力の大きい鐵筋は、一般に抗張力の小さいものに較べて、取扱及加工が幾分困難である。

規格に合格する範圍内に於て、抗張強度何程の鋼を鐵筋として使用するのが有利であるかを判断するには、軟鋼と硬鋼との優劣に就いて考へなければならない。

### § 81. 鐵筋として軟鋼と硬鋼との得失

鐵筋として使用される鋼を、其の抗張强度の大きさによつて、大體、軟鋼と硬鋼との2つに分ける事が出来る。兩者の區別に就いて、日本ではまだ規定がないが、抗張强度が大約  $4800 \text{ kg/cm}^2$  以下である時は軟鋼、之以上である時は硬鋼と考へてよい。

鐵筋として、軟鋼と硬鋼と何れが優つて居るかと云ふ事に就いては、未だ定説がない。

今日のところ、日本では軟鋼を推賞する人が多い様である。軟鋼を使用する事の利點は、次如くである。

(1) 軟鋼は一般に其の性質が均齊で、脆弱である惧が少いから、安心して使用出来る事。

(2) 軟鋼は一般の鋼構造物に使用されるものであるから、市場で之を得る事が容易である事。

(3) 取扱及加工が容易である事。

(4) 震動及擊衝等に對して安全である事。

(5) 焊接及熔接が容易である事。

(6) 靜力學上、コンクリートに生ずる龜裂を小ならしめる事が出来る事。硬鋼と軟鋼とは、其の抗張强度には差があるけれども、其の彈性係数は殆ど相等しいから、単位應力に對する變形は兩者相等しい。故に、軟鋼を使用して許容應力を小さく取れば、鐵筋量は大きくなるけれども、硬鋼を使用して大きい許容應力を用ゐる場合よりも、コンクリートに龜裂の生ずる事を小ならしめる事が出来る。

之に反して、硬鋼の使用を薦める人は、硬鋼の利點として、

(1) 降伏點が高いから、大きい許容應力を用ゐる事が出来る。依つて、鐵筋の使用量が少くなる事。

(2) 鐵筋用の硬鋼は、鐵道軌條の古物を再び壓延して製造される場合も少くないが、斯の場合には軟鋼よりも 10% 乃至 15% 廉價である事。

(3) 降伏點が大きいから、溫度の變化に依つて生ずるコンクリートの龜裂を防ぐ鐵筋として甚だ有效である事。

等を擧げ、軟鋼を推賞する人が、硬鋼の缺點として擧げる點に對しては、

(1) 鋼構造に於ては、硬鋼は脆弱である危険があるを云ふ理由から、之の使用が推賞されないにしても、鐵筋コンクリート部材に於ては、コンクリートが震動及び擊衝を吸收して鐵筋を保護するから、鋼構造の場合程、此の點に就いて大事を取る必要はない。

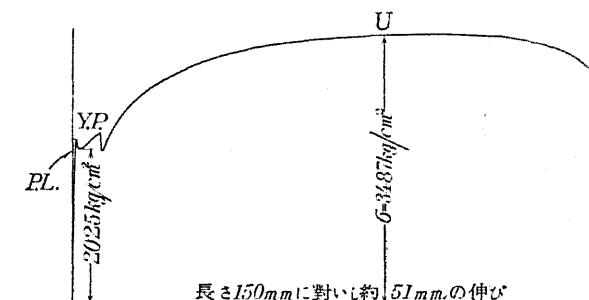
(2) 大きい許容應力を用ゐるために、軟鋼を用ゐる場合よりも、靜力學上コンクリートに生ずる龜裂が大きくなると云ふ事は、實際問題として大した事ではない。

と論じて居る。外國では硬鋼の使用が漸次増加する傾向にある。

何れにしても、硬鋼を使用する時には、嚴密な試験が必要であり、少くとも屈曲試験は之を行ふのが安全であると云ふ事に就いては異論がない。

要するに、鐵筋として使用すべき鋼の抗張强度の選定は、構造物の種類とその使用の目的、構造物の建造費等を基として設計者の判断に依つて決定されるものであるが、實際問題としては、多くの場合、JES 第 20 號 G 9 の規格に合格するものであれば、値段の安い容易に得られる鋼を使用する事になるのである。

### § 82. 鐵筋の應力變形曲線



第2圖 鐵筋用鋼の應力變形曲線

第2圖は鐵筋用鋼の張應力に對する應力變形曲線の1例である。

P.L. 點は比例限度、Y.P. は降伏點、U は抗張強度の點である。

鋼を鐵筋として使用する時、鋼の品質と、應力變形曲線との關係に就いて、注意すべき事項を擧げれば次の如くである。

- (1) 降伏點も抗張強度も、鋼鉢の直徑が小さい時は、直徑が大きい時よりも大きい。
- (2) 硬鋼では、軟鋼よりも、比例限度が降伏點に近づく。
- (3) 炭素の含有量の多い硬鋼、又は角鉢を捩りて使用する場合の如く、鋼が硬くなると、降伏點は抗張強度に近づく。それで、硬い鋼を鐵筋として使用すれば、許容應力を大きく取る事が出来ると云ふ利點はあるが、鐵筋コンクリートの破壊が急激に起ると云ふ缺點がある。

鋼の降伏點強度と許容應力との關係に就いては、§ 275. を参照され度い。

### § 83. 鐵筋の彈性係數

鋼の強度は、其の品質によつて、著しく異つて居るけれども、彈性係数は、各種の鋼に於て殆ど相等しい。

鐵筋コンクリートの計算に於ても、他の場合に於けると同様に、鋼の彈性係数を  $2100000 \text{ kg/cm}^2$  と假定するのが普通である。

標準示方書第七十一條 (2) (§ 112. 参照)には、 $E_s = 2,100,000 \text{ kg/cm}^2$  と規定してある。

彈性係数が大きい程、或る荷重の下に於ける變形が小さいから、鐵筋用の鋼として有效を譯で

ある。然るに、現在では、各種の鋼に於ける弾性係数の値が殆ど一定であつて、弾性係数の大きい鋼がまだ出来て居ない事は残念である。

#### § 84. 鐵筋の膨脹係数

鋼構造などに於ては、鋼の温度に對する膨脹係数として、 $1^{\circ}\text{C}$  につき 100 萬分の 12 と云ふ數字が一般に用ゐられて居る。然し、鐵筋コンクリートに於ては、鐵筋とコンクリートとが實際上相等しい膨脹係数を有するものと假定して差支へ無い事が、一般に認められて居るので、鐵筋の膨脹係数をコンクリートの膨脹係数  $1^{\circ}\text{C}$  につき 100 萬分の 10 (§ 55 参照) に等しいと取るのが普通である。それで標準示方書第六十九條(3)に、

『コンクリート及び鐵筋の膨脹係数は  $1^{\circ}\text{C}$  につき  $10/1,000,000$  とす。』

と規定して居る。

#### § 85. 高溫度と鋼の強度との關係

鋼は、之を温度  $400^{\circ}\text{C}$  位迄熱しても、左程其の強度に變化がないが、 $600^{\circ}\text{C}$  に熱すると、其の強度及弾性係数は  $20^{\circ}\text{C}$  の時の夫々、28% 及 55% 位に減少する。火災に於ける温度( $1000^{\circ}\text{C}$  乃至  $1200^{\circ}\text{C}$ )に於ては、保護されない鋼は、殆ど全く其の強度を失ふものである。

#### § 86. 鐵筋の形

鐵筋を形によつて分けると、

(1) 棒鋼—圓鉗・角鉗・變形鉗

(2) 平鋼

(3) 形鋼

(4) 特殊の鐵筋

とする事が出来る。此の中で、棒鋼が最も多く用ゐられる。其の理由は、

- (a) 鋼とコンクリートとで、成る可く單一體の鐵筋コンクリートを造るに適して居る事。
- (b) コンクリートに餘り大きな應力を集中させない様に、必要な箇所に鐵筋を配置するに便利である事。
- (c) 鐵筋とコンクリートとを充分附着せしめ、是等の間の附着強度を發揮せしめるに都合がよい事。
- (d) 取扱ひ、加工及組立が容易である事。
- (e) 無駄の出來ない様に經濟的に使用し得る事。

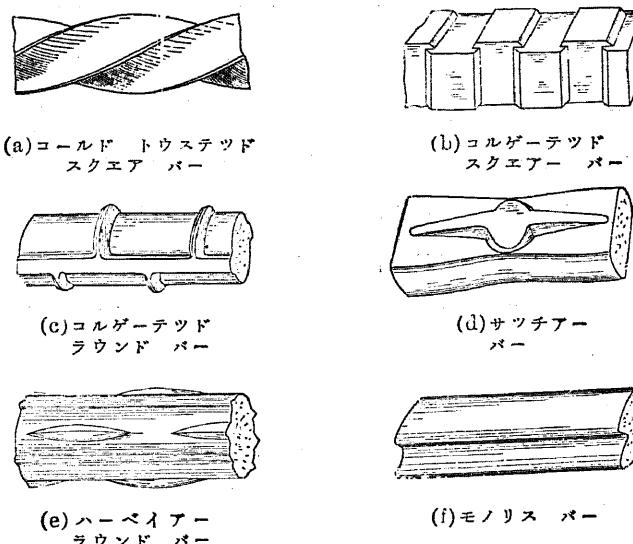
等である。

**圓鉗** 棒鋼の中で、圓鉗は鐵筋として最も適當なもので、古くから最も多く用ゐられて居る。單に鐵筋と云へば圓鉗を指す場合が多い。

**角鉗** 角鉗は取扱、加工、及組立が、圓鉗の様に便利でない。長さの長い角鉗は握れが出來易いから、鐵筋の組立に際して、正しい位置を保たせるに困難を感じる事が多い。それで、角鉗は特別の場合の外用ゐられない。

**變形鉗** 是鉗を輶壓する際に、輶子に所要の型を打込むにおいて、鉗の表面に凹凸を作つたものである。その目的は輶壓を繰返す事によつて、鋼の抗張強度を大ならしめるのみならず、コンクリートと鉗とを機械的によく結合させて、兩者の間の滑動を出来るだけ小さくする事にある。

變形鉗は米國で發達したもので、非常に澤山の種類がある。第3圖は代表的の數種を示したものである。



第3圖 變形鉗

第3圖の(a)は單に角鉗を捩つたものである。角鉗を捩る装置及手間は左程費用を要しないから、必要あれば、現場で角鉗を捩つて作る事が出来る。長さ 1m につき、角鉗を捩るべき數は次の値を標準としてよい。

角鉗の大きさ	鉗の長さ 1m に於ける捩りの數
6 mm × 6 mm	16
12 mm × 12 mm	15

24 mm × 24 mm	3
32 mm × 32 mm	1.6
38 mm × 38 mm	1.2

角鉄を捩れば、單に表面積が大きくなるのみならず、鋼の降伏點を高める。但し、捩る角度が大きくなる程、鋼の伸びが減する。

種々の變形鉄の中で、どれが最もよいかと云ふ事はまだ解つて居ない。廣く用ゐられて居るのが一番よいとも限らない。それは、廣告・販賣の巧拙其の他に關係があるからである。變形鉄の使用の最も盛んな米國ですらも、變形鉄の示方について、まだ、研究中であつて、1924年の米國の標準示方書にも、“承認されたる變形鉄は、相當断面積の並圓鉄よりも 25% 以上大なる附着能力を有するものたるべし。變形鉄の断面積は、その最小断面積に依つて決定す。”とある丈である。

標準示方書は變形鉄に觸れて居ない。

變形鉄は、大きい荷重を受ける短支間の桁に於て屢々起る様に、附着強度が不足するために鐵筋の許容張應力を利用し盡す事が困難である場合とか、特に激しい震動を受ける構造物などに使用すれば甚だ有效である。又溫度の變化によつて、コンクリートに生ずる龜裂を防ぐための鐵筋としても有效である。それは、變形鉄の附着強度が大きいために、小さい龜裂を小間隔に生ぜしめて、有害な大きさの龜裂の發生を防ぐからである。同様な理由で、變形鉄は、鐵筋コンクリート道路に使用する鐵筋として、好成績を示して居る。

變形鉄は、一時程ではない様であるが、米國で盛んに使用されて居る。英國でも相當用ゐられるが、歐洲大陸及び日本では特別の場合の外殆ど使用されない。其の理由は、並の圓鉄に較べて値段の高い事、加工其の他に於て不便ある事等の外に、圓鉄の端を鉤形に曲げるとか、曲鐵筋を使用するとかの手段によつて、變形鉄を使用しないでも、一般に、目的を達する鐵筋コンクリートを造る事が出来る事に因るのである。

**平鉄** 平鉄とコンクリートとの附着強度は、棒鋼とコンクリートとの附着強度よりも小さいから、平鉄は形鋼と鍛接して使用する場合の外は、殆ど用ゐられない。但し、平鉄に近い變形鉄は、水槽・管・下水道管等に對する鍛の鐵筋として用ゐる時、他の形の鐵筋よりも有利であるとされて居る。

**形鋼** 山形鋼其の他の形鋼を鐵筋として用ゐるのは、

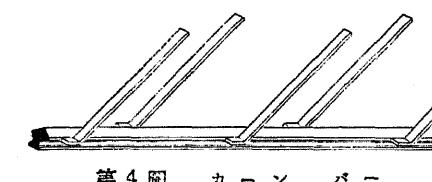
- (1) 鐵筋自身で其の組立てた形を維持させる事。
- (2) 鐵筋を足場に代用する事。

等の必要ある場合であるが、形鋼を鐵筋として使用すると、次の様な缺點を伴ふものである。

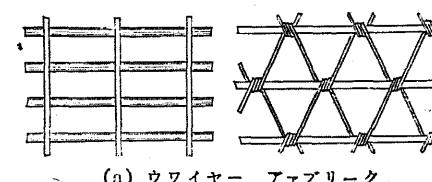
- (a) コンクリートと鐵筋とで、成る可く單一體の鐵筋コンクリートを造ると云ふ事に不便である事。
- (b) 形鋼の角が、コンクリートの破損する原因となり易い事。
- (c) 形鋼は廣い平面を有するから、コンクリートと形鋼との間に隙が出来易い事。従つて、鋼とコンクリートとの附着強度を充分に發揮させる事が困難である。殊に形鋼を水平の位置に用ゐる場合には、其の下縁に空隙が出来易く、之が鋼を腐蝕させる原因となる。
- (d) 無駄の出ない様に、經濟的に使用するについて不便である事。

以上の様な缺點があるために、特別の場合の外は、形鋼の使用が避けられて居る。

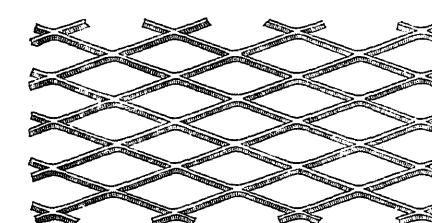
**特種の鐵筋** 特に鐵筋として作られた種々の形の鋼がある。第4圖に示してあるカーンバーは其の1例で、腹鐵筋と抗張鐵筋とを合體せしめる主旨で作られたものである。床版用の鐵筋として多く用ゐられる。



第4圖 カーンバー



(a) ウワイヤー アップリーク



(b) エクスパンデッド メタル  
第5圖 特種の鐵筋

第5圖に示してあるウワイヤー アップリーク、エクスパンデッド メタル等は、床版、管などの鐵筋として、又溫度の變化、震動及び擊衝等のためにコンクリートに生ずる龜裂を防ぐための鐵筋として、多く用ゐられるものである。

### § 87. 鐵筋の標準寸法

標準示方書は鐵筋の標準寸法を次の様に規定して居る。

#### 〔第二十條 標準寸法〕

鐵筋用棒鋼の寸法及断面積は JES 第 25 號 G 14 標準棒鋼及同第 26 號 G 15 標準形鋼の規格に依るべし。丸鋼は通常次の各種を標準とする

直徑 (mm)

6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32

JES (日本標準規格) 第 25 號 G 14 は、徑 6 mm 乃至 200 mm の丸鋼(圓鉄)、邊が 6 mm 乃至 150 mm の角鋼(角鉄)、及び對邊距離が 15 mm 乃至 40 mm の八角鋼の断面積 ( $\text{mm}^2$ )、重量

(kg/m)を與へた表である。

JES 第 26 號 G 15 は、標準形鋼（等邊山形鋼、不等邊山形鋼、I 形鋼、溝形鋼、T 形鋼及び球山形鋼等）の寸法(mm), 断面積(mm<sup>2</sup>), 重量(kg/m), 重心の位置(cm), 惯性モーメント(断面 2 次率)(cm<sup>4</sup>), 回転半径(断面の最小及最大環動半径)(cm), 断面係数(cm<sup>3</sup>)を示した表である。

鐵筋コンクリートに使用される鐵筋は、§ 86. に述べた様に、圓鉄が最も普通であるから、標準示方書は圓鉄 14 種を標準として示し、特別の場合の外は、此の標準に従ふべき事を規定して居るのである。直徑が 2 mm おきになつて居るのは、計算に於て 1 mm 以下の小數が出ない事と、記憶に便利である事との考慮に依るのである。

此の準標寸法が一般に採用される事は、鐵筋の製造業者及販賣業者に便利であるのみならず、之によつて鐵筋の在庫が豊富になるから、鐵筋の使用者にも非常に便利である。

日本では、現今、まだ、英式度量衡が用ひられて居るから、此の標準に従ふ事が多少困難である場合もあるが、之が一般に採用される様になれば、數年を出でずして、此の不便は無くなる事と思はれる。

標準圓鉄 14 種の断面積及重量は、JES 第 25 號 G 14 によると、第 2 表の如くである。

尚ほ、種々の直徑の圓鉄 1 本乃至 10 本の断面積は、卷末の第 24 表に示してある。

第 2 表 標準圓鉄の断面積及重量

徑 mm	斷面積 mm <sup>2</sup>	重 量 kg/m	徑 mm	斷面積 mm <sup>2</sup>	重 量 kg/m
6	28.27	0.222	20	314.2	2.47
8	50.27	0.395	22	380.1	2.98
10	78.54	0.617	24	452.4	3.55
12	113.1	0.888	26	530.9	4.17
14	153.9	1.21	28	615.8	4.83
16	201.1	1.58	30	706.9	5.55
18	254.5	2.00	32	804.2	6.31

### § 88. 鐵筋の名稱

標準示方書は第二條に鐵筋の名稱につき、次の定義を與へて居る。

『正鐵筋』—版又は桁に於て正彎曲率より生ずる張應力を受くる様配置されたる鐵筋を云ふ。

『負鐵筋』—版又は桁に於て負彎曲率より生ずる張應力を受くる様配置されたる鐵筋を云ふ。

主鐵筋—主鐵筋とは設計荷重に依り直應力を受くる鐵筋を云ふ。

横鐵筋—主鐵筋の位置を確保し、且つ外力及内力を平等に傳播するため主鐵筋と普通直角の方向に配置せる補助の鐵筋を云ふ。

軸鐵筋—抗壓材の軸の方向に配置せる主鐵筋を云ふ。

斜張應力鐵筋—斜張應力を受くる主鐵筋を云ふ。

腹鐵筋—版又は桁の斜張應力鐵筋を云ふ。

肋筋—主鐵筋に對し直角又は直角に近き角度をなす腹鐵筋を云ふ。

曲鐵筋—主鐵筋を曲上げ又は曲下げる腹鐵筋を云ふ。

帶鐵筋—軸鐵筋を所定の間隔毎に繫結する横方向の補助の鐵筋を云ふ。

螺旋鐵筋—軸鐵筋を螺旋状又は環状に繫結する主鐵筋を云ふ。

組立鐵筋—コンクリートの填充に際し、主鐵筋の位置を確保する目的を以て挿入する補助の鐵筋を云ふ。

用心鐵筋—コンクリートの硬化、溫度の變化等による膨脹、收縮及び振動等に依りて生ずるコンクリートの龜裂を防止する目的を以て挿入する補助の鐵筋を云ふ。』

主鐵筋—鐵筋コンクリート構造の一部をなす部材、即ち柱・床版及び桁等に於て、設計荷重によつて是等に生ずる軸力・彎曲率等に抵抗させるために、計算上から断面が算定される鐵筋を主鐵筋と云ふのである。鐵筋は常に直應力を受けるもので、張應力を受ける時は抗張鐵筋、壓應力を受ける時は抗壓鐵筋と云ふ。

抗壓材の軸方向に配置される軸鐵筋は抗壓主鐵筋であつて、肋筋・曲鐵筋・螺旋鐵筋等は抗張主鐵筋である。

主鐵筋と云ふ語は、設計荷重による應力の計算から断面が算定されない横鐵筋・帶鐵筋・組立鐵筋及用心鐵筋等の様な補助の鐵筋、即ち從鐵筋との區別を示すために用ひられるものである。

正鐵筋及負鐵筋—水平位置に置かれた版又は桁に於ては、その下側に張應力、上側に壓應力を生ずる彎曲率を正彎曲率、上側に張應力、下側に壓應力を生ずる彎曲率を負彎曲率と稱する事が一般に認められて居る。是等の彎曲率による張應力を受ける様に配置される鐵筋を正鐵筋及負鐵筋と云ふのである。従つて、正鐵筋及負鐵筋は、共に、抗張主鐵筋である。版又は桁として働く鐵筋コンクリート部材の位置が鉛直である様な場合には、正負彎曲率の區別を決定するために一般に認められた規則がないから、此の名稱が一般的に適用されない。但し、正負彎曲率の定義が與へられた場合に、此の名稱を使用し得る事は勿論である。

**斜張應力鐵筋及腹鐵筋** 斜張應力は彎曲張應力と剪應力との合成應力である。之を受けるための鐵筋が斜張應力鐵筋であつて、斜張應力から、斷面及び配置が算定される主鐵筋である。版又は桁に於ては之を腹鐵筋と云ふ。

**腹鐵筋** として普通に用ゐられる鐵筋は、肋筋と、曲鐵筋である。肋筋は其の普通の形から鎧鐵などとも稱せられ、普通鉛直の位置に配置される。曲鐵筋は、一般に、水平線に對して 45 度内外の傾斜に用ゐられるもので、肋筋を鉛直腹鐵筋と云ふに對して、傾斜腹鐵筋と稱する事がある。

**組立鐵筋** コンクリートの填充に際し、主鐵筋の位置を確保する事が出来る様に、又鐵筋の組立を容易ならしめる目的で、特に挿入される鐵筋が、組立鐵筋である。

**用心鐵筋** コンクリートの硬化、溫度の變化等による膨脹收縮、及震動等によつて、構造物に生ずる應力を計算し、之に對して必要な鐵筋を配置する時には、此の鐵筋は、明かに主鐵筋である。然し、以上の様な原因によつて構造物に生ずる應力を計算し、之に應する様に鐵筋を配置すると云ふ事は、實際上不可能の事もあり、又不可能で無いにしても、一般に、非常に面倒であるから、斯かる計算を省略し、經驗上から充分安全であると認められる程度に、鐵筋を配置する事が多い。斯の如き場合、此の鐵筋は用心鐵筋の一種である。

標準示方書第七十八條(5) (§ 357. 參照) によると、T 桁に於て版の主鐵筋が桁に並行な場合には桁に直角に相當の用心鐵筋を配置すべし、とある。此の鐵筋は應力の計算から、其の斷面を求める事は出來ないが、安全の爲に必要であるとして、挿入される用心鐵筋である。

又、標準示方書第七十八條(4) (§ 242. 參照) によると、桁に於ては、計算上必要でない時でも、肋筋を使用しなければならない。斯かる場合の肋筋や、帶鐵筋の様なものは、廣い意味での用心鐵筋であるが、特に名稱のあるものは、用心鐵筋と云はない。

鐵筋コンクリート部材の隅角の缺損するのを防ぐ目的で、隅角に沿つて挿入される鐵筋などは、特別に名稱が無く、全く安全のために使用される鐵筋は凡て用心鐵筋と考へてよい。

以上に述べた鐵筋の名稱は大體使用の目的に依つて、便利を主としてつけられたもので、同時に數種の用途を兼ねる鐵筋もある。斯の如きものは、其の主要な用途の名稱を用ひればよい譯である。

### § 89. 鐵筋工に關する標準示方書の規定及其の説明

鐵筋の掃除・加工・組立及繼手に關し、標準示方書は第八章に次の様に規定して居る。

#### 『第四十五條 掃 除

(1) 鐵筋は組立に先立ちて清掃し浮錆、其の他コンクリートとの附着力を減する虞れるものは之を除去すべし。斷面積不足と認めらるる鐵筋は之を使用すべからず。

(2) 鐵筋組立後長時日を経過した場合には、コンクリートの填充に先立ち再び鐵筋の検査をなし必要に應じ之を清掃すべし。』

(1) に就いて 鐵筋は之を組立てる前に掃除して、槌で叩けばぼろぼろ剥落する様な浮錆や、表面に附着した泥・油・ペンキ等凡て鐵筋とコンクリートとの附着を妨げる惧あるものは、完全に取り去らなければならない。

如何なる原因にせよ、責任技術者が斷面積不足と認めた鐵筋を使用する事は出來ない。

(2) に就いて 鐵筋組立後、長時日を経過した場合には、鐵筋が錆びたり、其の位置が移動したりして居る事があるから、コンクリートの填充に先立つて、再び鐵筋の検査をなし、又、汚れて居れば掃除する必要がある。

#### 『第四十六條 鐵筋の加工

(1) 鐵筋は設計に示されたる形狀及寸法に正しく一致せしむる様、材質を傷けざる方法に依り加工すべし。

(2) 設計に示されざる場合鐵筋を曲ぐる場合には、其の端に於ては 鐵筋最小寸法の 1.5 倍以上、曲鐵筋の曲點に於ては 10 倍以上の半徑を有する圓形の型を用ふべし。

(3) 加熱して曲ぐる場合には其の全作業に就て、責任技術者の承認を受くる事を要す。

(4) 設計に相違せる屈曲又は急曲を有する鐵筋は使用すべからず。』

(1) に就いて 本項は鐵筋の加工に對して大切な一般的注意である。

(2) に就いて 鐵筋の端を鉤形に曲げる時、其の曲點の直徑が設計に示してない場合には、少くとも鐵筋の材質を害さない程度の内側直徑に曲げなければならない。之には鐵筋を其の直徑の 1.5 倍以上の半徑を有する圓形の型の周りに曲げるのが安全である (§ 280. 參照)。又、曲鐵筋の曲點に於て、鐵筋が餘り小さい半徑の圓弧に曲げてあると、§ 280. にも説明してある通り、曲點に於けるコンクリートが、過大な壓應力の爲に破壊する惧がある。此の場合、鐵筋が其の直徑の 10 倍以上の半徑を有する圓弧に曲げてあれば安全である。

(3) に就いて 鐵筋を加熱して曲げる必要のあるのは、鐵筋の直徑が、40 mm 内外もある様な場合であるが、熱する時の溫度が高すぎると、其の材質を害する惧があるから、それを防ぐために、加熱の全作業に就いては、責任技術者の承認を受ける事に規定したのである。

(4) に就いて 鐵筋の直線部は真直でなければならない。製造・運搬及加工等の間に出来た屈曲、急曲等が充分直されなければ、其の鐵筋を使用してはならない。

**『第四十七條 鐵筋の組立**

(1) 鐵筋は正しき位置に配置し、コンクリート填充の際に位置を變ぜざる様充分堅固に組立つる事を要す。之が爲め必要ある場合には適當なる組立鐵筋を使用すべし。

(2) 鐵筋の交叉點は直徑 0.9 mm 以上の燒鈍鋼線又は適當のクリップに依りて緊結すべし。

(3) 鐵筋と堰板との間隔はモルタル塊・鐵座・吊金物等に依りて正しく保持せしむべし。』

(1) **に就いて** 鐵筋を設計圖に示した通り正しい位置に固定し、コンクリート填充の際に少しも移動しない様にする事は、極めて大切である。鐵筋の位置が僅か移動しても、鐵筋コンクリートの強度に大きな影響を及ぼすのみならず、鐵筋保護としてのコンクリートの厚さを減じて、鐵筋コンクリートの耐久性を減することもある。依つて、鐵筋の位置を固定し、鐵筋の組立を容易にする爲に、組立鐵筋を用ゐる必要が屢々ある。組立鐵筋は、當然設計圖に示すべきものであるが、計算で求められる主鐵筋でない爲に、往々忘れられる事もあるから、現場施工者としても之に就いて充分注意を要する。

(2) **に就いて** 鐵筋相互の位置を固定する爲には、鐵筋の交叉點を鋼線で結び付けるのが普通である。之に用ゐる鋼線の直徑は最小 0.9 mm と規定してあるが、成る可く太いものを用ゐるがよい。鋼線を燒鈍せば軟くなるから、使用に便である。比較的太い鋼線を用ゐれば、作業が容易に、確實に出来る。

鐵筋の交叉點を固定する爲に種々の形の金物が考案されて居り、米國では大分用ゐられて居る。

(3) **に就いて** 鐵筋と堰板との間隔を正しく保たせる爲には、コンクリートのモルタルと同じ配合のモルタルで作つた棒形、圓弧形及環形等のモルタル塊を用ゐるのも一法である。是等の厚さは、鐵筋と堰板との所要間隔に等しくする。然し、大きな桁などに於ては、桁の抗張側にモルタル塊が残るのは面白くないし、又、モルタル塊を用ゐると、型枠の掃除及コンクリートが充分行き亘る事の妨害となるから、鐵筋を版の型枠等に支へた棒などで一時吊つておく方が適當な場合がある。

鐵筋と堰板との間隔を正しく保たせる爲に考案された種々の金物があるが、日本では未だ餘り用ゐられて居ない。

**『第四十八條 鐵筋の繼手』(第三編第三章第三節参照)**

尚ほ、鐵筋工に關する詳細に就いては、拙著「鐵筋コンクリート施工法」を參照され度い。

**第五章 鐵筋コンクリートの性質****第一節 鐵筋コンクリートの重量****§ 90. 鐵筋コンクリートの重量**

鐵筋の使用量は構造物の種類に依つて異なる事勿論であるが、極く大體を云へば、コンクリート容積の 2% 以下と考へてよい。コンクリート容積の 2% の鐵筋を使用するとすれば、コンクリート 1 m<sup>3</sup> に對して、157 kg の鐵筋を使用する事になる。依つて、§ 52. に述べた様に、コンクリート 1 m<sup>3</sup> の重量を 2200 kg 乃至 2300 kg と假定すれば、鐵筋コンクリート 1 m<sup>3</sup> の重量は 2357 kg 乃至 2457 kg 位である。それで、鐵筋コンクリートの設計に於ける計算には、簡単の爲に、鐵筋コンクリート 1 m<sup>3</sup> の重量を 2400 kg と假定するのが最も普通である。

**第二節 コンクリートと鐵筋との附着力****§ 91. 概 説**

セメントモルタルは膠と同じ様に、平な鋼の表面に膠着する。モルタルと鋼とが膠着して居る平面に直角の方向に是等を引き離して、純附着力を測つた實驗の結果は甚だ歎いが、1:3 のモルタルで、5 kg/cm<sup>2</sup> 乃至 7 kg/cm<sup>2</sup> 位で、比較的小さいものの様である。

然し、鋼鉗をコンクリート中に埋込むで、コンクリートが硬化した後に、鋼鉗を引抜くか、又は押出さうとすれば、かなり大きな抵抗力を呈するものである。此の抵抗力は、鋼とコンクリートとの間の純附着力と摩擦力によるものと考へられる。摩擦力は、コンクリートが硬化に際して爲す收縮の爲に、コンクリートが鋼鉗に及ぼす壓力と、鋼の表面が平滑でない事とに因るものである。而して、純附着力に因る抵抗力と、摩擦力による抵抗力とは別々に之を求める事が出來ないから、是等 2 者による抵抗力を、一般に、コンクリートと鋼との間の附着力と呼び、鋼鉗を引抜くか、又は押出す様に鉗に加へられる力を、コンクリートと鋼鉗との接觸する面積で割つたものを附着應力と呼んで居る。

鐵筋コンクリートに於て、コンクリートと鐵筋とが協同して外力に抵抗する事の出來るのは、全く此の附着力によるものである。又、コンクリート中に於て、單に鐵筋を重ね合せた丈で、鐵筋の繼手を作る事の出來るのも、此の附着力の賜である。

### § 92. 附着力の試験方法

コンクリートと鋼鉄との附着力を試験する普通の方法は、コンクリート中に埋込む鋼鉄を、コンクリートから引抜くに要する力を測るにある。此の試験方法を引抜き試験と呼んで居る。引抜き試験に於ては、鋼鉄は張應力を受け、コンクリートは壓應力を受ける。

コンクリート中に埋込む鋼鉄をコンクリートから押出すに要する力を測つて、附着力を求める事もある。之を押出し試験と云ふ。押し出し試験によると、鋼鉄が壓應力のために横方向に膨れ、コンクリートの鉄に及ぼす壓力が大きくなるから、引抜き試験に於て、鋼鉄が張應力の爲に横方向の寸法を減する場合に較べて、摩擦力が大きくなる。従つて、押し出し試験によつて示される附着力は、引抜き試験によるものよりも大きい。

桁に於て試験した、抗張鋼筋とコンクリートとの間の附着力は、引抜き試験の結果と大分異つて居る。其の理由は、§ 95. に述べてある。依つて、桁に於ける附着力を、引抜き試験の結果から直ちに判断する事は困難で、桁に於ける附着力を求めるには、桁に就いて試験しなければならない。

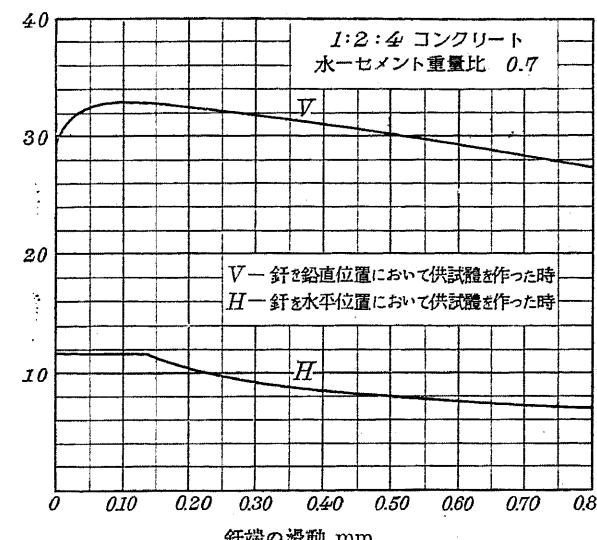
### § 93. 引抜き試験による附着强度

鋼鉄を鉛直位置におき、コンクリートを填充して供試體を作り、引抜き試験をすると、大約次の様な結果を示すものである。

コンクリートの抗壓強度及び他の事情によつて、附着力が大約  $14 \text{ kg/cm}^2$  乃至  $30 \text{ kg/cm}^2$  に達する迄は、鉄端に於て、コンクリートと鋼鉄との間に測り得べき滑動が起らない。即ち、コンクリートと鉄とが互に確固に附着する様である。附着力が以上の値よりも増加すると鉄端の滑動が初まり、滑動に對する摩擦力が働く様になる。此の摩擦抵抗は滑動が増加するに従つて増加し、鉄端に於て  $0.10 \text{ mm}$  乃至  $0.25 \text{ mm}$  の滑動を生じた時に最大値に達し、更に滑動が増加すれば、摩擦抵抗は漸次減少する。此の滑動に對する摩擦抵抗は、鉄表面の粗滑に大きい關係があるが、普通の鋼鉄で、鉄端に於て  $2.5 \text{ mm}$  位の滑動を生じた時にも、猶ほ、最大抵抗の  $\frac{1}{2}$  位の値を有するものである。鉄端の滑動の初まる時の附着强度は大約最大抵抗の  $60\%$  乃至  $80\%$  の所である。

第6圖の曲線 V は、鋼圓鉄を鉛直の位置において供試體を作り、引抜き試験を行つた時の附着力と鉄端の滑動との關係を示す1例である。

鋼鉄を水平の位置において作つた供試體に就いて引抜き試験を行ふと、鋼鉄を鉛直位置において供試體を作つたものとは大分違つた結果を示すものである。第6圖の H 曲線は其の1例である。



第6圖 引抜き試験に依る附着力と鉄端滑動との關係

第6圖の曲線 V と H とを比較してみると、V 曲線の方は、鉄端の滑動が初まつて後も附着力が増加し、 $0.10 \text{ mm}$  位の鉄端滑動に於て其の最大値に達して居るが、H 曲線に於ては、鉄端の滑動が初まると直に附着力が減する事を示して居る。

又、鋼鉄を水平の位置において供試體を作つて、引抜き試験をした時の附着强度と、鋼鉄を鉛直位置において供試體を作つて試験した時の附着强度との比は、比較的硬練りコンクリートの場合に於て大約  $\frac{1}{2}$ 、普通鋼筋コンクリート工事に使用される様な使用水量のコンクリートに於て  $\frac{1}{3}$  である（九州帝國大學工學彙報第四卷第六號参照）。

以上の様に、鋼鉄を鉛直位置におくか、水平位置におくかに依つて、附着强度に大きな差を生ずる理由は、鋼鉄が水平位置にある時は、鋼鉄の下部にあるコンクリートの沈下及材料の分離の爲に、鋼鉄の下面に充分コンクリートが附着しない事に因るのである。

附着力は、普通に、鉄に加へられた張力を、鉄の断面周長と埋込み長さとの積で割つて計算して居る事は、前に述べた通りであるが、實際の附着力は、鉄の埋込み長さの全長に亘つて齊等なものではなく、鉄が入込むコンクリートの表面に近い部分に於て、其の最大値を有するものであるから、鉄の埋込み長さが増大するに従つて、普通の計算方法による平均の附着强度は減する事になる。従つて、普通に云ふ附着强度は、或る定まつた試験方法に依る時の强度の比較丈に役立つもので、眞の附着强度が何程であるかは、未だ能く解つて居ない。

### § 94. 引抜き試験による附着强度に影響する主なる事項

普通、鋼筋コンクリートに使用される配合及水量のコンクリートに對し、鋼鉄とコンクリートとの附着强度は、コンクリートの抗壓强度に比例するものと考へてよい。極く大體を云へば、引抜き試験で得られるコンクリートと圓鋼鉄との附着强度は、標準試験方法によるコンクリートの抗壓强度の  $19\%$  位である。一般に、コンクリートの配合が富である程、使用水量が少い程、

充分温氣と接觸させて養生する程、材齡が大きい程、コンクリートと鋼鉄との附着強度が大きい。但し、配合が餘り富になると、附着強度は幾分減する様である。

鋼鉄の径の大小は、附着強度に餘り大きな影響を及ぼさない様であるが、鉄の径が小さい程附着強度が大きい事は事實である。

鋼鉄の断面形に就いては、圓鉄が一番大きい附着強度を有し、正方形鉄之につき、平鋼・山形鋼・I鋼等は附着強度が小さい。

鋼鉄の表面が平滑である程附着強度が小さい。従つて鉄の表面が鋸びて居る方が、普通の表面を有するものよりも附着強度が大きい。但し、叩くとぼろぼろ落ちる様な浮鏽のあるものは別である。

變形鉄の引抜き試験に於ける初期の状態は、普通の圓鉄と略ぼ同じで、普通の圓鉄に於けると略ぼ同じ附着應力に於て滑動を初める。然し、滑動の量が増すに従つて附着強度が大きくなる。即ち、相當量の滑動を生ずると、變形鉄の表面に於ける凹凸が非常に効果的に働く様になる。そして、コンクリートが破壊しなければ、附着應力は非常に大きな値に達するものである。然し、鐵筋コンクリートの桁などに於て、斯く大きい附着強度を利用し得る場合は少い。それは、斯く大きな附着應力が働く前にコンクリートが破壊するか、又は鉄の滑動量が大きくなるために、桁が他の原因で破壊するからである。

### § 95. 桁の試験によつて示される附着強度

桁に於て、コンクリートと抗張鐵筋との間の附着強度は種々の條件の影響を受けるもので、眞の附着強度を知る事は引抜き試験の場合に於けるよりも一層困難である。今日の所では、桁の試験の結果を研究して、附着強度の概念が得られるに過ぎない。

今日迄行はれた桁の試験の結果から、コンクリートと抗張鐵筋との附着應力を次式（§ 216. 参照）

$$\tau_0 = \frac{S}{U \cdot z}$$

で計算すると、之は引抜き試験で得られる附着強度の 50% 乃至 70% 位になつて居る。其の理由は、引抜き試験に於ては、コンクリートは壓應力、鋼鉄は張應力を受けるのに、桁の抗張鐵筋の場合には、コンクリートも鐵筋も張應力を受ける事の外に、§ 93. に述べた様に、コンクリートの沈下及材料の分離の爲に、水平な抗張鐵筋の下面とコンクリートとが充分附着しない事によるもの様である。

桁に於ては、附着強度を大きくする目的で、抗張鐵筋の端は、之を鉤形に曲げて、コンクリート

に碇着するのが普通である（第二編第十八章参照）。抗張鐵筋の端を鉤形に曲げて充分コンクリートに碇着すれば、端を曲げない場合に較べて、附着強度を 50% 乃至 100% 増加する事が出来る。

桁に於て、コンクリートと抗張鐵筋との間の附着強度は引抜き試験の場合に就いて § 94. に述べた事項の外に、腹鐵筋の影響を受けるもので、殊に曲鐵筋の影響を受ける事が非常に大きい。是等の影響に就いては、§ 251. に説明してある。

## 第三節 鐵筋コンクリートの初應力

### § 96. 鐵筋コンクリートの固有初應力

鐵筋コンクリートの固有初應力と云ふのは、荷重や反力等の爲に鐵筋コンクリート部材に生ずる應力とは無関係のもので、鋼とコンクリートとを結合させた爲に、鐵筋コンクリート部材に生ずる應力である。

鐵筋コンクリート部材に固有初應力の起る原因是、

- (1) コンクリートと鋼との温度に對する膨脹係数の差、
- (2) コンクリートの恒久變形、
- (3) コンクリートの硬化及乾燥による收縮、

の 3 つに分ける事が出来る。

コンクリートと鋼との温度に對する膨脹係数の差は小さいものである。故に、温度の變化のために鐵筋コンクリートに生ずる固有初應力は、之を無視して實際上差支へない程度のものである。

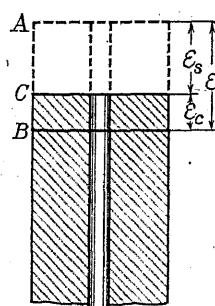
鐵筋コンクリート支柱に荷重を加へれば、コンクリートには恒久變形を生ずるけれども、鐵筋は其の彈性限度以下の應力では、荷重を取去つた時元の長さに戻らうとする。依つて、支柱に加へた荷重を取去つた時、鐵筋には壓應力が働き、コンクリートには之に相當する張應力が働く譯である。若し、鐵筋コンクリート桁の抗張部に於ける様に、荷重を加へた時にコンクリートに張應力が働けば、荷重を取去つた時、鐵筋には張應力が残り、コンクリートには壓應力が残る事になる。從來行はれた試験の結果によると、コンクリートの單位恒久變形は、普通の許容應力の程度に於て、0.000 01 乃至 0.000 02 位のものであるけれども、之は荷重の加へられる時間數に伴つて増加するから、實際の鐵筋コンクリートに於て、コンクリートの恒久變形の爲に、どれ程の固有初應力を生ずるものであるか、まだ能く解つて居ない。鐵筋コンクリート支柱の場合には、

コンクリートの恒久変形が、鐵筋に於ける壓應力を増加し、従つてコンクリートに於ける壓應力を減する様に働くて、柱の安全度を大ならしめる。コンクリートの恒久変形の値を假定すれば、之に依つて、中心軸荷重を受ける鐵筋コンクリート柱に生ずる固有初應力は、之をコンクリートの硬化及乾燥による收縮の爲に生ずる固有初應力と同様にして計算する事が出来る。然し、支柱以外の鐵筋コンクリート部材に於ては、コンクリートの恒久変形の値を假定するにしても、之によつて生ずる固有初應力を計算する事は甚だ困難である。依つて、鐵筋コンクリートの設計に関する計算等に於ては、一般に、コンクリートの恒久変形による固有初應力を無視し、之の影響を安全率で覆ふ事にして居るのである。

コンクリートは空氣中で硬化すれば收縮するが、鐵筋コンクリート部材に於ては、鐵筋がコンクリートの收縮を妨げるから、コンクリートが收縮する時、鐵筋は壓應力を受け、コンクリートは張應力を受ける事になる。鐵筋の使用量が大きい程コンクリートに働く張應力が大きくなり、従つて鐵筋コンクリート部材全體としての收縮は小さくなる。コンクリートの收縮によつて生ずる固有初應力は、かなり大きな値に達し得るもので、時にはコンクリートに龜裂を生じ、鐵筋コンクリート破壊の原因となる事もある。コンクリートの硬化及乾燥によつて生ずる收縮に就いては § 56. に述べた通りである。

### § 97. 鐵筋コンクリート部材の断面に齊等に分布する收縮固有初應力の計算

例へば、正方形断面の鐵筋コンクリート支柱に於て、軸鐵筋が支柱の中心軸に對して對稱に配



第7圖 齊等に分布する收縮固有初應力

置されて居る場合の様に、鐵筋コンクリート部材の重心軸が、鐵筋の重心軸と合致する時には、コンクリートの硬化及乾燥による收縮のために、部材の断面に齊等に分布する固有初應力を生ずる。即ち、コンクリートが收縮すれば、鐵筋は之に反抗して壓應力を受け、コンクリートは之に相當する丈の張應力を受ける。

今、鐵筋が無い時、コンクリートがなす単位收縮を  $\epsilon$ 、鐵筋を挿入した時、コンクリートに於て、単位伸びを  $\epsilon_c$ 、張應力を  $\sigma'_s$ 、斷面積を  $A_c$ 、彈性係数を  $E_c$ 、全張應力を  $N_c$ ；鐵筋に於て、単位收縮を  $\epsilon_s$ 、壓應力を  $\sigma'_s$ 、斷面積を  $A_s$ 、彈性係数を  $E_s$ 、全壓應力を  $N_s$ 、とすれば、第7圖に示す様に、

$$\epsilon_c + \epsilon_s = \epsilon$$

である。鐵筋コンクリート部材に外力が働くなければ、

$$N_c = N_s$$

であるから、

$$A_c \cdot \sigma'_c = A_s \cdot \sigma'_s$$

或は、

$$A_c \cdot \epsilon_c \cdot E_c = A_s \cdot \epsilon_s \cdot E_s$$

依つて、

$$\epsilon_c = \frac{A_s}{A_c} \cdot \frac{E_s}{E_c} \cdot \epsilon_s$$

今、

$$\frac{A_s}{A_c} = p, \quad \frac{E_s}{E_c} = n \quad \text{とおけば、}$$

$$\epsilon_c = n p \epsilon_s = \frac{n p}{1 + n p} \epsilon = \frac{n A_s}{A_c + n A_s} \epsilon$$

$$\epsilon_s = \frac{1}{1 + n p} \epsilon = \frac{A_c}{A_c + n A_s} \epsilon$$

$$\sigma'_s = \frac{1}{1 + n p} E_s \cdot \epsilon = \frac{E_s A_c}{A_c + n A_s} \epsilon$$

$$\sigma'_c = \frac{p}{1 + n p} E_s \cdot \epsilon = \frac{E_s A_s}{A_c + n A_s} \epsilon = p \sigma'_s$$

茲に  $\epsilon_s$  は鐵筋コンクリート部材の收縮を示す事になる。今、鐵筋の無いコンクリートの単位收縮  $\epsilon$  を 0.0003、即ち、コンクリート部材の長さ 1m に就き 0.3 mm の收縮をなすものとし、 $E_s = 2100000 \text{ kg/cm}^2$  及  $n = 10$  とすれば、 $p$  の種々の値に對して、 $\sigma'_s$ 、 $\sigma'_c$ 、 $\epsilon_s$  及  $\epsilon_c$  は第3表の如き値となる。

第3表

鐵筋コンクリート部材の断面に、齊等に分布する收縮固有初應力の値

$p = \frac{A_s}{A_c}$ (百分率)	$\sigma'_s$ 鐵筋に於ける壓應力 $\text{kg/cm}^2$	$\sigma'_c$ コンクリートに於ける張應力 $\text{kg/cm}^2$	$\epsilon_s$ 鐵筋コンクリートの長さ 1m に對する收縮 mm	$\epsilon_c$ 長さ 1m に對するコンクリートの伸び mm
0.5	600	3.0	0.29	0.01
1	570	5.7	0.27	0.03
2	525	10.5	0.25	0.05
3	485	14.5	0.23	0.07

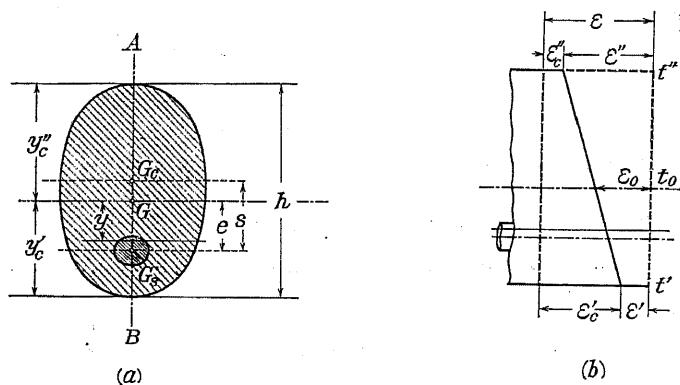
$p$  の値が大きい時、即ち、使用鐵筋断面積が大きい時には、コンクリートの收縮の爲にコンクリートに生ずる張應力は其の抗張强度（大約  $14 \text{ kg/cm}^2$ ）を超過し、コンクリートの伸びは其の最大伸び（1m につき 0.1 mm 位）を超過する様になる。然れば、コンクリートに龜裂が生ずる譯である。

以上の計算では、コンクリート部材の重心軸に鐵筋を有する鐵筋コンクリート部材に於て、コンクリートの收縮による固有初應力は、コンクリートの全断面に一様に分布すると假定したの

であるが、實際は鐵筋に近い部分のコンクリートに於ける收縮固有初應力は、自由に收縮し得る縁の部分に於けるよりも大きい。依つて、コンクリートの收縮による龜裂がコンクリートの表面に現れた時は、之は常に鐵筋の位置まで入込むで居る事が想像されるのである。

然し、コンクリートが硬化及乾燥によつて漸次收縮する時に、鐵筋があれば、コンクリートは、之によつて生ずる固有初應力を減する様にコンクリート自身が落着くものであつて、コンクリートの收縮によつて、實際に以上に計算した様な大きな固有初應力が起るかどうかは疑問である。

### § 98. 鐵筋コンクリート部材の重心軸が鐵筋の重心軸と合致しない場合の收縮固有初應力及部材變形の計算



第8圖 收縮固有初應力

第8圖はABなる對稱軸を有する鐵筋コンクリート部材の斷面を示す。コンクリートの斷面積を $A_c$ 、其の重心を $G_c$ 、 $G_c$ を通過して對稱軸に直角な軸に關するコンクリート断面積の断面2次率を $I_c$ 、鐵筋断面積を $A_s$ 、其の重心を $G_s$ 、 $G_s$ を通りて對稱軸に直角な軸に關する鐵筋断面積の断面2次率を $I_s$ 、 $G_c$ と $G_s$ との距離を $s$ とする。

今、簡単の爲に、コンクリートの彈性係数を常数と假定すれば、鐵筋とコンクリートとの彈性係数比 $n$ も常数になる。然れば、鐵筋は、其の點に於けるコンクリートの應力の $n$ 倍の應力を受ける事になるから、鐵筋コンクリート断面積は、コンクリート断面積と鐵筋断面積の $n$ 倍とから成る断面積と等値であると考へる事が出来る。今、此の等値全断面積を $A_i$ とすれば、

$$A_i = A_s + n A_c$$

である。此の等値全断面の重心を $G$ とすれば、 $G$ と $G_s$ との距離 $e$ は次式で求める事が出来る。

$$\epsilon = \frac{A_c \cdot s}{A_c + n A_s} = \frac{A_c \cdot s}{A_i}$$

$G$ を通過し、對稱軸に直角な軸に關する $A_i$ の断面2次率 $I_i$ は、

$$I_i = I_c + A_c (s - e)^2 + n (I_s + A_s e^2)$$

コンクリートが收縮すれば鐵筋も收縮する。今、無鐵筋コンクリートの単位收縮を $\epsilon$ とし、鐵筋がコンクリートの收縮に抵抗せずにコンクリートと同じ丈の收縮 $\epsilon$ を爲すと假定すれば、鐵筋断面に齊等に分布する應力

$$\sigma' = \epsilon E_s$$

を生じ、鐵筋の重心 $G_s$ に、

$$N = A_s \cdot \sigma' = \epsilon \cdot E_s \cdot A_s$$

丈の壓力が外力として働いたと同じ結果になる。今、此の鐵筋コンクリート断面の $G_s$ 點に壓力 $N$ と張力 $N$ とを働かせたと考へれば、此の鐵筋コンクリート部材は勿論平衡を保つ。 $G_s$ に張力 $N$ が働く時、 $G$ から $y$ なる距離にある點のコンクリートに生ずる張應力 $\sigma_{cy}'$ は、

$$\sigma_{cy}' = \frac{N}{A_i} + \frac{N e}{I_i} y$$

であつて、 $G$ から $y$ なる距離にある點の鐵筋に於ける張應力 $\sigma_{sy}$ は、

$$\sigma_{sy} = n \sigma_{cy}'$$

である。依つて、實際に鐵筋に生ずる應力 $\sigma_{sy}'$ は、 $G$ から $y$ なる距離の點に於て、

$$\sigma_{sy}' = \sigma' - n \sigma_{cy}'$$

である。然れば、 $I_i = A_i \cdot i^2$ とおき、第8圖の記號を用ゐる時、コンクリートの縁維に於ける張應力は、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_c' &= \frac{\epsilon E_s A_s}{I_i} (i^2 + e \cdot y_c') \\ \sigma_c'' &= \frac{\epsilon E_s A_s}{I_i} (i^2 - e \cdot y_c'') \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

鐵筋断面積の重心 $G_s$ に於ける應力 $\sigma_s'$ は、

$$\sigma_s' = \epsilon E_s - n \frac{\epsilon E_s A_s}{I_i} (i^2 + e^2) = \epsilon E_s \left\{ 1 - \frac{n A_s}{I_i} (i^2 + e^2) \right\} \quad (3)$$

(2) 式から、コンクリートに於ける收縮固有初應力は、鐵筋断面積が大きい程、又鐵筋断面の重心とコンクリート断面の重心との距離 $e$ が大きい程、大きい事が解る。依つて、抗張鐵筋のみを有する鐵筋コンクリート桁に於ては、抗張及抗壓鐵筋を有する桁よりも大きい收縮固有初應力が起り、T形断面の桁に於ては、矩形断面の桁よりも大きい初應力が起る。抗張鐵筋のみを有

する断面に於ては、鐵筋の在る側のコンクリートの初應力は張應力であり、反対の側には、一般に壓應力が起る。

鐵筋断面の重心とコンクリート断面の重心とが合致すれば、(2)式及(3)式に於て  $e = 0$  であるから § 97. の (1) 式が得られる。

以上に於ては、 $E_c$  を常數と假定したのであるが、實際は  $E_c$  が常數でないから、コンクリートに於ける收縮固有初應力は断面に於て直線的に變化しない。それで、實際コンクリートに生ずる張應力は、(2)式で計算された値よりも小さいものである。

コンクリートの收縮のために曲がった鐵筋コンクリート部材に於ける應力の關係は、外力として部材が力率を受けた場合と同様であつて、以上の様にして計算したコンクリートの張應力は、彎曲張應力と考へる事が出来る。兎も角、此の張應力がコンクリートの抗張強度を超過すれば、コンクリートに龜裂が現はれる。

鐵筋コンクリート部材の重心軸に沿つて起る単位收縮  $\epsilon_0$  は、(第8圖参照)

$$\begin{aligned} \epsilon_0 &= \epsilon \left(1 - \frac{n A_s \cdot i^2}{I_e}\right) = \epsilon \left(1 - \frac{n A_s}{A_e}\right) \\ &= \frac{\epsilon A_c}{A_e} = \frac{\epsilon A_c}{A_c + n A_s} \end{aligned} \quad (4)$$

收縮固有初應力のために彎曲した部材の重心軸の曲率半径を  $r$  とすれば、(第9圖参照)

$$\begin{aligned} \frac{1}{r} &= \frac{M}{E I} = \frac{\epsilon'' - \epsilon'}{h} = \frac{N e}{E_c I_e} = \frac{\epsilon \cdot E_s \cdot A_s \cdot e}{E_c \cdot I_e} \\ &= \frac{\epsilon \cdot n \cdot A_s \cdot e}{I_e} \end{aligned} \quad (5)$$

第9圖 コンクリートの收縮による鐵筋コンクリート部材の彎曲

第9圖の様な彎曲は、鐵筋コンクリート部材の上側に於て  $t''$ 、下側に於て  $t'$  なる溫度の降下が起つて、 $t''$  から  $t'$  まで溫度が等變する場合にも生ずる。今、部材の重心軸に於ける溫度の降下を  $\Delta t$  とし、(第8圖 (b) 參照)、コンクリートの膨脹係数を  $\omega$  とすれば、

$$\begin{aligned} t_0 &= \frac{\epsilon_0}{\omega} = \frac{\epsilon A_c}{\omega A_e} \\ \Delta t &= t'' - t' = \frac{\epsilon'' - \epsilon'}{\omega} = \frac{\epsilon \cdot h \cdot e \cdot n \cdot A_s}{\omega \cdot I_e} \end{aligned} \quad (6)$$

即ち、コンクリートの收縮によつて鐵筋コンクリート部材がなす變形は、 $t_0$  及  $\Delta t$  なる溫度の降下があつた時に起る變形に等しい。

以上述べた所によつて見ると、コンクリートの收縮の爲に鐵筋コンクリート部材がなす彎曲

も、鐵筋断面積が大きい程、又鐵筋断面の重心と、コンクリート断面の重心との距離が大きい程

大きい。彎曲の突面は、鐵筋断面の重心のある側に来る。鐵筋断面の重心と、コンクリート断面の重心とが合致すれば、部材は彎曲しない。部材の重心軸の收縮は鐵筋の位置には無関係で、鐵筋断面積の大きい程、小さい。

第10圖に示す様に、小さい断面積の鐵筋を1側のみに有する鐵筋コンクリート部材に於ては、

$I_s = 0$  とおいてよい。此の場合、 $i_c^2 = \frac{I_c}{A_c}$ 、 $p = \frac{A_s}{A_c}$  とおいて、(2)式を求めたと同様の方法で、無鐵筋コンクリートの単位收縮  $\epsilon$  による固有初應力を求めれば、第10圖の記號を用ひて、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_c' &= \frac{\epsilon E_s A_s (i_c^2 + s y')}{I_c + n A_s (i_c^2 + s^2)} = \frac{\epsilon E_s p \left(1 + \frac{s y'}{i_c^2}\right)}{1 + np \left(1 + \frac{s^2}{i_c^2}\right)} \\ \sigma_c &= \frac{i_c^2 - s y''}{i_c^2 + s y'} \sigma_c' = \frac{\epsilon E_s A_s (i_c^2 - s y'')}{I_c + n A_s (i_c^2 + s^2)} = \frac{\epsilon E_s p \left(1 - \frac{s y''}{i_c^2}\right)}{1 + np \left(1 + \frac{s^2}{i_c^2}\right)} \\ \sigma_s &= \frac{\sigma'}{p \left(1 + \frac{s y'}{i_c^2}\right)} = \frac{\epsilon E_s}{1 + np \left(1 + \frac{s^2}{i_c^2}\right)} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

コンクリートの收縮による部材の變形に等しい變形を生ずる溫度の降下は、

$$\left. \begin{aligned} t_0 &= \frac{\epsilon_0}{\omega} = \frac{\epsilon A_c}{\omega (A_c + n A_s)} = \frac{\epsilon}{\omega (1 + np)} \left( \begin{array}{l} \text{コンクリート} \\ \text{の断面の重心} \\ \text{G}_c \text{に於て} \end{array} \right) \\ \Delta t &= t'' - t' = \frac{\epsilon'' - \epsilon'}{\omega} = \frac{\epsilon}{\omega} \frac{h s n A_s}{I_c + n A_s (i_c^2 + s^2)} \\ &= \frac{\epsilon}{\omega} \frac{h s n p}{i_c^2 + np (i_c^2 + s^2)} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

彎曲の凹面は鐵筋の無い方の側にある。

第11圖に示す矩形断面の場合に於て、幅を  $b$ 、高さを  $h$ 、鐵筋断面積を  $A_s$ 、コンクリート断面の重心を  $G_c$ 、鐵筋断面の重心と  $G_a$  との距離を  $s$ 、 $p = \frac{A_s}{bh}$  とおけば、(7)式及(8)式により、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_c' &= \frac{\epsilon E_s p \left(1 \pm \frac{6s}{h}\right)}{1 + np \left(1 + \frac{12s^2}{h^2}\right)} \\ \sigma_s' &= \frac{\sigma_c'}{p \left(1 + \frac{6s}{h}\right)} \\ t_o &= \frac{\epsilon}{\omega (1 + np)} \\ \Delta t &= \frac{12 \frac{s}{h} n p \epsilon}{\omega \left[1 + np \left(1 + \frac{12s^2}{h^2}\right)\right]} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

(9) 式に於て,  $E_s = 2100000 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\omega = 0.00001$ ,  $\frac{s}{h} = 0.42$ ,  $n = 10$  とすれば,

$$\left. \begin{aligned} \sigma_c' &= \frac{7400000 \epsilon p}{1 + 31.2 p} \quad (\text{張應力}) \\ \sigma_c &= \frac{3200000 \epsilon p}{1 + 31.2 p} \quad (\text{壓應力}) \\ t_o' &= \frac{2100000 \epsilon}{1 + 31.2 p} \quad (\text{壓應力}) \\ t_o &= \frac{100000 \epsilon}{1 + 10 p} \\ \Delta t &= \frac{5050000 \epsilon p}{1 + 31.2 p} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

コンクリートの単位收縮を  $\epsilon = 0.3 \text{ mm/m}$  として, (10)式によりて, 1 側に鋼筋を有する矩形断面の桁に生ずる收縮固有初應力を,  $p$  の種々の値に就いて計算してみると, 第4表の如くである。

第4表

1 側に鋼筋を有する矩形断面の部材に於ける收縮固有初應力  $\epsilon = 0.0003$ 

$p$ (百分率)	$\sigma_c'$ コンクリート に於ける張應 力 $\text{kg/cm}^2$	$\sigma_c$ コンクリート に於ける壓應 力 $\text{kg/cm}^2$	$\sigma_s'$ 鋼筋に於ける 壓應力 $\text{kg/cm}^2$	$t_o$ 断面の中心軸 に於ける温度 の降下度数( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta t$ 断面の上側と 下側との温度 の差度数( $^\circ\text{C}$ )	$\epsilon_c$ コンクリートの伸び $\text{mm/m}$
0.5	9.6	4.2	545	28	6.5	0.045
1.0	16.9	7.3	480	27	11.5	0.080
1.5	22.6	9.7	425	26	15.5	0.11
2.0	27.0	11.7	380	25	18.5	0.13
3.0	34.4	14.9	325	23	23.5	0.17

第4表から、餘り多量の鋼筋を使用するとコンクリートに龜裂が出来る事がわかる。

1 側に  $A_s$  なる鋼筋断面積、他側に  $A'_s$  なる鋼筋断面積を有する矩形断面の部材に於ける收

縮固有初應力を近似的に、 $A_s$  及  $A'_s$  の影響の和として求めて見れば、次の様になる。

$$p = \frac{A_s}{b h}, \quad p' = \frac{A'_s}{b h} \quad \text{とおき, } E_s, \omega, \frac{s}{h} \text{ を前と同じ値に取れば,}$$

$$\sigma_c' = \left( \frac{74 p}{1 + 31.2 p} - \frac{32 p'}{1 + 31.2 p'} \right) \times 10^5 \epsilon$$

$$\sigma_c = \left( \frac{74 p'}{1 + 31.2 p'} - \frac{32 p}{1 + 31.2 p} \right) \times 10^5 \epsilon$$

$$t_o = \frac{10^5 \epsilon}{1 + 10(p + p')}$$

$$\Delta t = \left( \frac{p}{1 + 31.2 p} - \frac{p'}{1 + 31.2 p'} \right) \times 50.5 \times 10^5 \epsilon$$

$\epsilon = 0.0003$  として、上下両側に鋼筋を有する矩形断面桁に於ける收縮固有初應力を、 $p$  及  $p'$  の種々の値に就いて計算すると第5表の如くである。

第5表

兩側に鋼筋を有する矩形断面桁に於ける收縮固有初應力  $\epsilon = 0.0003$ 

$p$ 百分率	$p'$ 百分率	$\sigma_c'$ $\text{kg/cm}^2$	$\sigma_c$ $\text{kg/cm}^2$	$t_o$ 度数( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta t$ 度数( $^\circ\text{C}$ )	コンクリートの伸び $\text{mm/m}$	
						$\epsilon_c'$	$\epsilon_c''$
1.0	0.625	12.7	5.1	25	3.7	0.06	0.03
1.5	1.875	13.5	18.6	22	-2.5	0.07	0.09
2.0	3.125	16.2	27.6	20	-5.4	0.08	0.13

第4表の値と第5表の値とを比較して見ると、兩側に鋼筋を配置する時は、同じ總断面積の鋼筋に對して、1 側に鋼筋を有する場合よりも、收縮固有初應力も、コンクリートの伸びも甚だ小さい事が解る。

(1) 式乃至(9)式によつて見ると、收縮固有初應力及部材の收縮は、 $n$  の値が大きい程、換言すれば  $E_c$  の値が小さい程、小さい。之に反して、鋼筋コンクリート部材の彎曲は、 $E_c$  の値が小さい程大きい。

コンクリートに龜裂が出來れば、收縮固有初應力も、部材の收縮も零になるが、彎曲は其の最大値に達する。龜裂を生ずる以前に於ては、收縮固有初應力も、部材の收縮も、コンクリートの伸長能力の大きい程小さい。

### § 99. 構造物全體としての初應力

鋼筋コンクリート部材に於ける固有初應力により、部材の重心軸の變長及部材の彎曲が起る。鋼筋コンクリート部材が、例へば單桁などの様に、靜定構造であれば、部材の變形は、構造物の他の部分に影響を及ぼさないけれども、若し、部材が自由に變形をする事が出来ない様に他

の部材と結合されて居る不静定構造などの場合に於ては、固有初應力による部材の變形の爲に、更に構造物全體としての初應力を生ずる。

構造物全體としての初應力を求めるには、固有初應力による部材の變形を、部材の軸に於て  $t_0 = \frac{\epsilon_0}{\omega}$ 、部材の上下兩側に於て  $\Delta t = t'' - t' = \frac{\epsilon'' - \epsilon'}{\omega}$  なる溫度の降下の影響によるものと考へ之れ丈の溫度の降下に依つて不静定構造に生ずる應力を計算すればよい。

コンクリートの收縮を 0.0003 (長さ 1m に就き 0.8 mm) とすれば、コンクリート斷面積の 1 %乃至 1.5 %の鐵筋斷面積を有する鐵筋コンクリート部材に對して、 $t_0$  は約 25°C の溫度降下に相當する。 $\Delta t$  の値は、通常の場合に於ける鐵筋の配置に就いて、0°C 至 15°C である。對稱な軸鐵筋を有する柱などの場合に於ては、 $\Delta t = 0$  であり、1 %の抗張鐵筋のみを有する桁などの場合に於て、 $\Delta t = 10^\circ\text{C}$  位である。

$t_0 = 25^\circ\text{C}$ 、 $\Delta t = 0 \sim 15^\circ\text{C}$  なる溫度の降下に相當する收縮固有初應力による部材の變形によつて、構造物に生ずる應力は、隨分大きい値になる事がある。之に固有初應力の影響が加つて、全體の初應力を生ずる。多くの鐵筋コンクリート構造で經驗して居る如く、死荷重の外に別に荷重が加はらないにも拘らず、屢々コンクリートに龜裂を生ずる事のある理由の 1 つは、確かに此の初應力に因るものである。

### § 100. 鐵筋コンクリートの初應力及之に因る龜裂發生の危險を減少する方法

(1) 收縮の小さいコンクリートを用ゐる事 § 56. に述べた様に、コンクリートの硬化及乾燥による收縮はセメントの性質に大きな關係があるから、出來れば、收縮の小さいセメントを選ぶがよい。尚ほ、コンクリートの收縮と骨材・配合及水量・養生その他との關係に就いては § 56. に述べた通りである。

(2) 抗張強度並びに伸長能力の大きいコンクリートを用ゐる事 コンクリートの抗張強度並に伸長能力が大きければ、初應力を安全に受けられるから、コンクリートに龜裂の發生する危險が減する。抗壓强度の大きいコンクリートは、一般に、彎曲抗張強度も大きいから、初應力による龜裂の發生を防ぐには、石質・粒度等が適當な骨材を選び、鐵筋の防錆その他に差支へない範圍に於て、最小のセメント使用量を以て、出来る丈抗壓强度の大きいコンクリートを製作する様に努力しなければならない。

(3) 固有初應力を小さくする事 コンクリートの一定な單位收縮に對しては、鐵筋の使用量が小さい程、又鐵筋が齊等に配置されて居る程、コンクリートに生ずる固有初張應力が小さい。依つて、部材の 1 側のみに鐵筋を配置する事を避け、成る可く兩側に配筋する様にす

れば、コンクリートに生ずる固有初張應力を減じ、コンクリートに龜裂の生ずる危険が減する。

(4) コンクリートに豫め壓應力を生ぜしめておく事 鐵筋に豫め張應力を起させて、之によつてコンクリートが壓應力を受ける様にしておく事は、コンクリートの收縮による初應力によつて生ずる龜裂を防ぐに有效な方法である。之は、常に出來る事ではないが、例へば、圓形の鐵筋コンクリート水槽であるとか、鐵筋として形鋼を用ひ、荷重の一部を豫め之で支へさせる様な或る種の構造物では、此の方法を利用する事が出来る。

(5) 不静定力の數を減する事 静定構造に於ては、構造物全體としての初應力は零であるけれども、鐵筋コンクリート構造は、不静定構造の場合が多いから、構造物全體としての初應力を受けるのが普通である。構造物全體としての初應力を減するには、構造の形式を適當にし、不静定力の數を減する事が必要である。不静定力の數を減するには、構造物の適當な位置に滑動又は鉸接合等を設けて、構造物を獨立した構造部分に分けるより仕方がない。近來、歐洲に於ける大きな鐵筋コンクリートアーチが、多く三鉸アーチとして作られる主な理由は、構造物全體としての初應力を避ける事にあるのである。

一般に言つて、コンクリート斷面に於て鐵筋が充分に且つ適當に配置されて居る程、構造物全體としての初應力による危險の度は減するものである。鐵筋が適當に配置されて居れば、細微な龜裂が數多く構造物全部に分布するから、大きな龜裂が數多く出来る場合の様に有害でない。

## 第四節 鐵筋の腐蝕

### § 101. 概 説

幾多の實驗の結果及經驗によると、良いコンクリート中に充分埋込む鐵筋は、空氣中にあると水中にあるとに關せず、腐蝕を生じない。之は、鐵筋コンクリートが耐久的の建築材料として應用される上に於て、最も大切な事柄である。若し、適當にコンクリート中に埋込まれた鐵筋が腐蝕するものであつたなら、鐵筋コンクリートが現に於ける様に、殆ど凡ての構造物に應用される様にならなかつた事は明白である。

然し、コンクリート中に埋込む鐵筋は、無條件に、腐蝕しないと云ふのではない。極度の硬練りコンクリートを用ひた場合の様に、空隙が多く、水密性の小さいコンクリートを通して、濕氣又は空氣が鐵筋と接觸すれば、鐵筋は腐蝕する。

コンクリート中に埋込む鐵筋が腐蝕しない爲には以下に述べる條件に適合する事が必要である。

### § 102. 鐵筋の腐蝕を防ぐ爲に必要な條件

コンクリート中に埋込む鐵筋が腐蝕しない爲に必要な條件は、セメントの皮膜が密に鐵筋を包むで居る事である。セメントの皮膜は、丁度、良い油を鐵の面に塗つた場合の様に、鐵筋の面を保護して、空氣及濕氣の爲に鐵筋が腐蝕するのを防ぐのである。鐵筋の周圍にあるコンクリートに依つて、此の皮膜が保持されて居る間は、鐵筋は腐蝕しない。鐵筋の腐蝕は、例へば、コンクリートと鐵筋との間に空隙があつて、セメントの皮膜が缺けた所、又は周囲のコンクリートがセメントの皮膜を保護する能力を失つて、セメントの皮膜が破れた所等から初まるのである。

セメントの皮膜を以て密に鐵筋を包み、此の皮膜を保持する爲に必要な條件は次の如くである。

(1) 比較的軟練りのコンクリートを用ゐる事 比較的軟練りのコンクリートでなければ、セメントの皮膜が完全に鐵筋を包む事が出来ない。

工事の都合によつて、軟練りのコンクリートを使用する事が出来ない場合、又は、一層完全なセメントの皮膜を以て鐵筋を包む事が必要な場合には、鐵筋を豫めセメント糊状體の中に漬けるか、若しくは、刷毛の類でセメント糊状體を鐵筋の表面に塗るがよろしい。

セメント糊状體を塗る事は、貯蔵中に於ける鐵筋の腐蝕を防ぐにも有效であり、又幾分コンクリートと鐵筋との間の附着強度を増加せしめる様である（九州帝國大學工學彙報第二卷第二號参照）。

(2) 相當に配合のよいコンクリートを用ゐる事 コンクリート中に於けるモルタルの配合が1:3又は1:4等では、實驗及經驗上、完全なセメントの皮膜を以て鐵筋を包む事が出来ないから、鐵筋が腐蝕する惧がある。それで、標準示方書には、鐵筋コンクリート用コンクリートに於けるセメントの最小使用量が規定してある（§ 20. 參照）。

(3) 粗骨材の最大寸法を適當に選ぶ事 コンクリートが堰板と鐵筋との間に充分行き亘り、密度が大きいコンクリートで、しつかり鐵筋を保護する事が出来る爲には、粗骨材の最大寸法を適當にする必要がある。粗骨材の適當な最大寸法に就いては、§ 18. に述べてある。

(4) 多孔質の砂利又は碎石・炭灰及鎧滓等を骨材として使用する時は、特別の注意を拂ふ事 多孔質の砂利又は碎石を骨材として用ひれば、是等が鐵筋と接する所に空隙が出来て、そこから、鐵筋の腐蝕が初まる惧がある。

炭灰・鎧滓などは、屢々硫黃を含むで居るために、鐵筋を腐蝕させる事がある。

多孔質の砂利又は碎石・炭灰・鎧滓等は、耐火性が大きい軽いコンクリートを作る目的で、骨材として多く使用されるものであるが、鐵筋を腐蝕する危険を伴ふものであるから、鐵筋の腐蝕に

對して充分安全な事が證明された場合の外は、是等の使用を避けなければならない。

(5) 適當な厚さのコンクリートで鐵筋を保護する事 鐵筋防鏽の爲に必要なコンクリートの厚さに就いては、§ 291. に述べてあるが、大體を云へば、少くとも1cm、煤煙及濕氣を受ける場合には少くとも2.5cm乃至3cmとしなければならない。硫黃を含む瓦斯と濕氣との作用を受ける様な悪い状態に於ては、3.5cm乃至4.5cmとする必要がある。

(6) コンクリートに於ける龜裂の發生を防ぐ事 コンクリートに龜裂が出來て、之から有害な瓦斯又は液體が浸入して鐵筋と接觸すれば、鐵筋が腐蝕する。此の場合に於ける鐵筋腐蝕の程度は、龜裂の大きさ及之に浸入する物質の性質によるのである。

鐵筋コンクリート部材に於て、抗張鐵筋が普通の許容張應力を受ける時に、周囲のコンクリートに龜裂を生ずる事は免れ難い。又、種々の原因による初應力から起るコンクリートの龜裂も、之を防ぐ事が出來ない場合が尠くない。然し、鐵筋の使用量及配置が適當であれば、斯の如き龜裂は一般に肉眼では見え無い程度に小さいものであつて、斯の如き龜裂は鐵筋を保護するセメントの皮膜を害しないから、特別に悪い状態の場合の外は此の龜裂が原因となつて、鐵筋が腐蝕する事は無い。

比較的大きな龜裂を生じたにしても、風雨寒暑に對して保護されて居る鐵筋コンクリートであれば、鐵筋は左程腐蝕しない。大きな龜裂から、濕氣又は有害な瓦斯が浸入する時には鐵筋がひどく腐蝕し、遂には鐵筋コンクリートが破壊する。

兎も角、コンクリートに生ずる龜裂を出来る丈小さくする事は、鐵筋の腐蝕を防ぐ爲に極めて大切である。之が爲に必要な事項は、鐵筋コンクリート構造全體をよく釣合の取れた形とし、構造物断面の急變を避ける事、鐵筋の配置を適當にしてコンクリートに過大の張應力の起らない様にする事、強度及密度が大きく且つ收縮の小さいコンクリートを作る様に施工する事、等である。

(7) 防水工を施す事 鐵道の橋梁などの様に、荷重に依る大きい擊衝を受ける外に、風雨、及有害瓦斯の影響を受ける鐵筋コンクリートに於ては、適當な防水工を施して、コンクリートの腐蝕を防ぐと同時に、比較的大きな龜裂の發生に備へるのが適當である。

### 第五節 海水の作用を受ける鐵筋コンクリート

#### § 103. 概 説

海水の作用によるコンクリートの腐蝕に就いては、§ 76. に述べた通りである。

海中工事に於ける鐵筋コンクリートの破壊は、鐵筋の酸化によるものが非常に多い。鐵筋の酸化は、コンクリートの水密性が充分でなかつたり、鐵筋保護としてのコンクリートの厚さが不充分であつたり、設計又は施工が悪い爲に、コンクリートが鐵筋の間及鐵筋と堰板との間に充分行き合らないで、セメント糊状體がよく鐵筋を包むで居ない様な場合に、空氣と海水との作用に依つて起るものである。又、海岸の鐵筋コンクリート構造物に於ては、多量の鹽分を含むた強壓の海風が、長年月の間にコンクリートを通して鐵筋を酸化し、鏽が出來て容積が増大し、コンクリートを破壊する様な場合も尠くない。之は、暑い地方で、鹽分を含む水蒸氣と、強い日光の直射とを交互に受ける様な鐵筋コンクリートの場合に於て殊に甚しいものである。

海水の作用に對して、鐵筋コンクリートを耐久的ならしめる爲には、海水の作用に對して出来る丈抵抗力の大きいコンクリート、即ち密度及水密性の大きいコンクリートを以て、充分に鐵筋を保護しなければならない。

海水の作用を受ける鐵筋コンクリートに於て、鐵筋の保護として必要なコンクリートの厚さ、及コンクリート表面の保護に就いては § 292. に述べてある。

#### § 104. コンクリートの配合

水密性が大きく、且つ鐵筋の間及型枠の隅々に行き合つて鐵筋防鏽の目的を果すに適するウオーカビリチーのコンクリートを作つて、海水の作用に對して鐵筋コンクリートを耐久的ならしめる爲には、コンクリートの配合は、普通の構造物の場合より富にするのが安全である。此の點に關し、標準示方書は次の様に規定して居る。

#### 『第六十二條 配 合

(1) 海水の作用を受くる鐵筋コンクリートにありては、其の  $1\text{m}^3$  につき 380 kg 以上のセメントを使用すべし。特に最高最低潮位間及波の作用を受くる部分は、更に富配合のコンクリートを使用すべし。

(2) 多孔質又は脆弱なる骨材を使用せざる様特に注意すべし。』

(1) に就いて 標準示方書は第二十三條に、鐵筋コンクリートに於ては出來上りコンクリート  $1\text{m}^3$  に就き、少くとも 300 kg のセメントを使用すべしと規定して居るが(§ 20. 参照)、海水の作用を受ける鐵筋コンクリートに於ては、安全の爲に 300 kg と云ふ最小使用量を 10% 増加して、380 kg 以上のセメントを使用する事に規定したのである。

最高最低潮位間及び波の作用を受ける部分は、海水の作用を受ける事が最も大きいから 特にコンクリートの密度及水密性を大ならしめるために、他の部分よりも一層富配合にする必要があ

る。

(2) に就いて 多孔質又は脆弱な骨材を使用したのでは、到底、密度及水密性の大きいコンクリートを作る事が出來ないから、特に此の點に就いて注意したのである。

#### § 105. コンクリートの填充

海水の作用をうける鐵筋コンクリートの施工につき 特に注意すべき事項を、標準示方書は次のように規定して居る。

#### 『第六十三條 填 充

(1) コンクリートは出來得る限り、水平又は傾斜せる打繕ぎ層を生ぜざる様填充すべし。

(2) 最高最低潮位間のコンクリートは出來得る限り一作業にて施工すべし。』

(1) に就いて コンクリートの填充に際し、水平又は傾斜した打繕ぎ層を生じない様にする事は、如何なる場合でも必要であるが、海水の作用をうける鐵筋コンクリートに於ては、特に此の弱點が禁物で、此の部分から被害が初まり、容易に鐵筋を鏽びさせる事になるから、特に注意を要するのである。

(2) に就いて 最高潮位と最低潮位との間に於て施工接合を作ると、之が打繕ぎ層と共に、弱點となり易いから、出来る限り一作業で施工する必要があるのである。

#### 第六節 電流が鐵筋コンクリートに及ぼす影響及其の豫防

#### § 106. 電氣分解

無鐵筋コンクリートは實際上電氣分解の危険が全くないが、鐵筋コンクリートは高い電圧の電流によつて損傷される。即ち、電流が鐵筋からコンクリートに向つて流れれば、鐵筋が腐蝕し其の容積が膨脹する爲にコンクリートに裂縫を生じ、コンクリートから鐵筋に向つて電流が流れると、鐵筋に近いコンクリートが軟化されて、鐵筋とコンクリートとの附着力が減殺される。前者は電圧が減ずると、其の比例以上に急激に減じ、普通起つて来る様な電圧では殆ど全く消滅するけれども、後者は極めて低い電圧でも尚ほ起るものであつて、實際上前者よりも注意を要するものである。コンクリートが鹽類を含有して居ると、其の量は極めて少くとも、之を含まないコンクリートに較べて、電流の作用を受ける事が大きい。

然し、以上の様な電氣分解は、鐵筋コンクリート構造物に普通に通るよりも遙かに高い電圧の電流が通る時に起るもので、鹽類を含まない普通の鐵筋コンクリート構造物は、普通の状態に於

て、電氣分解の惧は殆ど無いものと認められて居る。

### § 107. 電氣分解の豫防法

鐵筋コンクリート構造物に於て、電氣分解の起るのを豫防するには、次の事項に注意しなければならない。

- (1) 混合用水として海水を使用しない事（標準示方書第十六條 § 15. 参照）。又、コンクリートの氷結を防ぐ爲め、鹽・鹽化石灰等を混入しない事（標準示方書第三十六條 § 15. § 33. 参照）。
- (2) 鐵筋コンクリート構造物の地下の部分に防水膜工を施工するのが有效である事。
- (3) 鐵筋コンクリート構造物内に於ける直流電力線は地と接觸せしめない事。
- (4) 鐵筋コンクリート構造物内に引込むべき管は、出来る丈、構造物の外に於て絶縁接合を設ける事。又、管が構造物を通過する場合には構造物の兩側に於て絶縁接合を設ける事。
- (5) 被鉛電纜を構造物内に引込む場合には、直接の接觸を避ける爲め、木片其の他の支持物を設ける事。