

第14章 硬化したコンクリートの性質

§ 303. 概 説

コンクリートの性質は、材料及び造り方によつて異なるのみならず、之を造つてからの経過時間、温度、乾燥の程度、等によつて、絶えず變化して居るものである。

コンクリート材料及び造り方がコンクリートの性質に及ぼす影響は、既に之を説明した。本章に於ては、コンクリートの一般的性質を纏めて説明する。

第1節 コンクリートの強度及び重量

§ 304. 概 説

コンクリートは、主として、圧縮強度が最も大切である所に用ゐられる。それで、單にコンクリートの強度と言へば、圧縮強度を指すのが普通である。

普通に言ふコンクリートの圧縮強度は、圧縮強度試験標準方法 (§ 446 参照) によつて試験した、圧縮強度のことである。

コンクリートがプラスチックである範囲に於て、與へられたセメントに對し、コンクリートの強度に最も大きい關係を有するものは、セメント糊の水セメント比であつて、水セメント比又はセメント水比とコンクリートの圧縮強度との關係は、§ 101 に述べた通りである。そして、此の關係は、曲げ強度其の他の強度に對しても成立つものである。舗装工事の現場に於ては、水セメント比と試験梁に於ける曲げ引張強度との關係を示す曲線を利用することがある。

セメントの使用量、骨材の性質及び粒度は、水セメント比に影響を及ぼし、従つて、コンクリートの強度に大きい影響を及ぼす。コンクリート中に於けるセメント糊の水セメント比が同じでも、骨材が異れば強度に差を生ずる。其の理由は、主として、セメント糊と骨材との附着力の差、骨材の弾性的性質の差、及び、水の上昇 (§ 97 参照) が骨材の底部でとめられるために出来る水膜の分布の差、等に因るものと考へられる。此の差は、一般に、餘り大きくない。粗骨材として、砂利と碎石との比較については、§ 69 に述べてある。

§ 305. 圧縮強度

コンクリートの圧縮強度は、一般に、材齡 28 日の圧縮強度 (σ_{28}) を標準とする。

一般に、今日、使用されて居るコンクリートの圧縮強度は、材齡 28 日に於て、普通ポルトランドセメントを使用する時、100 kg/cm² 乃至 400 kg/cm² である。150 kg/cm² 乃至 250 kg/cm² の圧縮強度のコンクリートが、最も多く用ゐられて居る。

(1) コンクリートの圧縮強度と材齡との關係 之は、セメントの水和の速度に關するものである。強度の増進は、1 週乃至 2 週の間にて最も急激である。そして、コンクリートが乾燥しなければ、一般に、材齡 6 ヶ月乃至 1 年まで、強度が増進する。

コンクリートの早期強度に大きい關係を有するものは、セメントの種類と粉末度とである。粉末度及び珪酸 3 石灰の高いセメントは、早期強度が大きい。粉末度が高ければ水和が早く起るから、早期強度が大きいのである。普通ポルトランドセメントの見懸け表面積が 1 グラムにつき 1400 cm² 乃至 2000 cm² の範囲に於て、見懸け表面積 100 cm² の増加は、材齡 28 日に於て、普通のコンクリートの圧縮強度を約 21 kg/cm² 増加する。

第 4 表 に示してある 4 種のポルトランドセメントに對する材齡と圧縮強度との關係は、大體、第 29 表 の如くである。

第 29 表 コンクリートの圧縮強度と材齡との關係

ポルトランド セメントの種類	比 較 強 度				
	3 日	7 日	28 日	3 月	1 年
早 強	50	65	83	93	100
普 通	38	58	81	90	100
中 庸 熱	35	51	77	93	100
低 熱	16	28	58	92	100

第 29 表 は、材齡 1 年の強度を 100 としたものである。材齡 1 年に於て、普通、中庸熱及び低熱セメントで造つたコンクリートの強度はほぼ相等しいが、早強セメントを使用するコンクリートの強度は、是等のものよりも約 15% 大きい。

普通ポルトランドセメントを使用するコンクリートに於て、材齡 7 日の圧縮強度 (σ_7) から、材齡 28 日の圧縮強度 (σ_{28}) を推定するには、次式が役に立つ。

$$\sigma_{28} = 1.5 \sigma_7 + 3 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

(2) コンクリートの乾濕と圧縮強度との關係 コンクリートの乾濕は、セメントの硬化に大きい影響を及ぼし、コンクリートの強度に非常に大きい影響を與へる。濕潤養生の期間

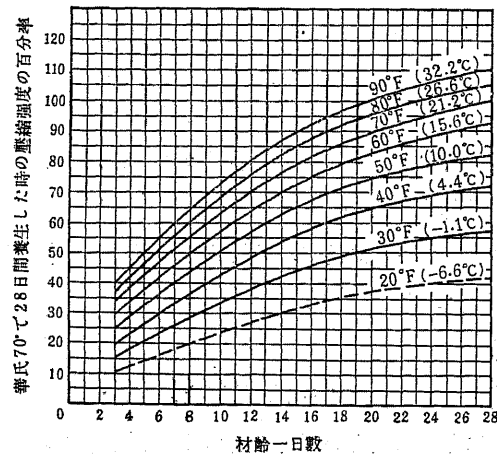
が長いほど、各材齢に於ける圧縮強度が大きい。

濡潤状態のコンクリート供試体を 1 週間乃至 3 週間空气中で乾燥すると、標準養生を行った供試体よりも 20% 乃至 40% 大きい圧縮強度を示す。即ち、乾燥して居るコンクリートは、飽和して居るコンクリートよりも、圧縮強度が大きい。其の原因は、(a) コンクリートが乾燥する時、硬化したセメント糊が収縮して、密度が大きくなること、(b) セメント糊の収縮により、骨材粒のまわりのセメント糊に引張応力を生ずる傾向があり、圧縮応力が生ずる前に、此の引張応力に打ち勝たなければならないこと、(c) 飽和したコンクリート中の自由水が圧縮力の下に於て静水圧を生ずること、等であると考へられる。然し、コンクリートが乾燥すれば、硬化が進まないから、一旦空气中で乾燥した供試体を再び飽和状態にして、直ちに試験すれば、乾燥する前まで標準養生をした供試体に等しいか、又は、之よりも幾分小さい圧縮強度を示すものである。空气中で乾燥した供試体を水で飽和させて直ちに試験すると、乾燥して居る時の強度の 80% 乃至 60% の強度を示す。但し、乾燥した供試体を長く濡潤状態で養生すれば、強度が増加する。

(3) 養生中の温度と圧縮強度との関係 之は、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、4°C 乃至 35°C の範囲に於て、養生中に於ける温度が高い程、圧縮強度が大きい。又、或る一定温度に於ては、材齢による圧縮強度の増加率は、材齢の増加に伴つて減少するが、低温度で硬化させたもの程、此の強度の増加率が小さい。

第 145 圖 は、コンクリートの硬化中に於ける温度及び材齢と圧縮強度との関係についての、Mc. Daniel 氏の實驗の結果を示したもので、15°C 乃至 21°C の温度に於て硬化させ

第 145 圖 養生中の温度と圧縮強度との関係



たコンクリートの圧縮強度は、0°C 乃至 10°C で硬化させたものゝ大凡 2 倍になつて居る。

普通の鉄筋コンクリート用コンクリートに對しては、材齢 28 日に於て、養生中の平均温度 1°C につき、圧縮強度に大約 2 kg/cm² 乃至 4 kg/cm² 位の差を生ずるものと考へてよい。

§ 306. 引張強度

コンクリートの引張強度に影響する事

項は、圧縮強度に於けると同じであるが、引張強度が材料の性質及び施工の影響を受けることは、圧縮強度の場合よりも一層大きい。

極く大體に就いて言ふと、引張強度は、圧縮強度の $\frac{1}{10}$ と考へてよい。但し、此の値は、種々の事情により、大分異なるものである。

§ 307. 曲げ強度及び押貫剪断強度

コンクリート梁に於けるコンクリートの曲げ引張強度は、之を梁に關する普通の計算式で計算する時、コンクリートの圧縮強度の 15% 乃至 20% である。

曲げ強度の場合に於ては、§ 305 に述べた圧縮強度の場合と反對に、乾燥したコンクリート梁の強度は、飽和したコンクリート梁の強度よりも低い。之は、乾燥により収縮したセメント糊に於ける引張応力の存在に、因るものである。

押貫剪断に對するコンクリートの強度は、大約、圧縮強度の $\frac{1}{2}$ である。

§ 308. コンクリートのヤング係数及びポアソン比

コンクリートの圧縮應力に對する弾性歪は、コンクリートの材料及び造り方、應力度の大きさ、永久歪の取扱ひ方、試験の方法、等によつて異なるものである。それで、從來、實驗の結果として示されたヤング係数の値にも、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圧縮應力度の附近に於て、歪歪を考慮する時、17 500 kg/cm² 乃至 240 000 kg/cm²、平均 210 000 kg/cm² 位であり、極限圧縮強度の附近に於て、平均 140 000 kg/cm² 位と考へることが出来る。

引張應力に對するコンクリートのヤング係数は、簡單のために、圧縮應力に對すると同じであると假定するのが普通である。

コンクリートのポアソン比の値は、大約、 $\frac{1}{6}$ 乃至 $\frac{1}{12}$ である。

§ 309. コンクリートの重量

コンクリート 1 m³ の重量は、骨材の比重及び粒度、粗骨材の最大寸法、配合及び水量、コンクリートの乾燥の程度、等によつて異なる。

今、セメントの使用量を c kg、使用水量を w kg、細骨材の使用量を s kg、粗骨材の使用量を g kg、セメント、細骨材及び粗骨材の比重を夫々 g_s 、 g_c 及び g_g とすれば、§ 56 に述べた様に、コンクリートの出来上り容積 V (m³) は、

$$V = \frac{c}{1000 g_c} + \frac{w}{1000} + \frac{s}{1000 g_s} + \frac{g}{1000 g_g}$$

である。依つて、此のコンクリート 1m³ の重量 G(kg) は、

$$G = \frac{c + w + s + g}{V}$$

である。之は、混合した直後のコンクリートの重量で、コンクリートが硬化して乾燥すれば、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。

鉄筋コンクリート構造や、コンクリート舗装などに於て、普通に使用されて居る材料及び配合のコンクリートの 1m³ の重量は、2340 kg 乃至 2430 kg である。近似的の計算には、コンクリート 1m³ の重量を、2350 kg と假定してよい。

粗骨材の最大寸法が 1 cm 位であるコンクリートに於ては、重量が 2300 kg/m³ 位のこともあり、粗骨材の最大寸法が 10 cm 乃至 15 cm である様な大塊のコンクリートに於ては、2500 kg/m³ に達することがある。

軽重量骨材を使用すれば、1m³ が 1450 kg 乃至 1600 kg のコンクリートが得られる。

鉄鑛の砂を用ゐる、鉄孔をパンチした時の鉄屑を粗骨材として用ゐれば、4300 kg/m³ 位のコンクリートが得られる。

第 2 節 コンクリートの水密性

§ 310. 概 説

コンクリートは、本質的に、有孔な材料である。セメントの粒子と水との化学作用によつて、コンクリートが硬化すると言ふことは、骨材粒の間の總ての間隙が、固體の結合材で填充されると言ふことを意味しない。それは、

(1) コンクリートの製造に於ては、ウオーカブルなコンクリートを得る爲に、セメントの水和に必要である以上の水量を使用すること (§ 5 参照)、

(2) セメントと水との化学作用が進むとき、化合するセメント及び水の絶體容積は減ずるから、或る水セメント比のセメント糊が、全く、それ丈の容積の固體となることは出来ないこと、

(3) コンクリートを混合して打込む時、締固めたコンクリート内に多少の空気が残らない様にすることが出来ないこと、等に因るのである。

それで、硬化したコンクリートは、(1) 空気及び水を含有する骨材粒、(2) 水和したセメントと水和しないセメント (セメントは全部水和することはない)、及び、(3) 空気及び水から成立ち、多孔質のものとなるから、水を吸収し、又、水が滲透する性質を有するのである。

依つて、(1) 是等の孔の大きさ及び数を減ずること、並びに、孔の分布を適當にすること、(2) 骨材の性質及び粒度を適當にすること、(3) 使用セメント量を十分にすること、(4) 齊等性のコンクリートを造ること、(5) 出来る丈け多量のセメントを水和させること、等が、水密性の大きいコンクリートを造る手段となるのである。

§ 311. コンクリートの滲透性

コンクリートの滲透性は、水が單位面積、單位厚さのコンクリートを單位時間に通過する量によつて測られるもので、水壓、コンクリートの厚さ及び時間に關係する。

コンクリートの滲透性は、之を測定すべき標準法もまだ出来て居ないし、其の實驗も容易でない爲に、壓縮強度試験によつて必要な強度を有するコンクリートの材料及び配合を決定する様に、滲透試験によつて必要な水密性を有するコンクリートの材料及び配合を決定するまでに、コンクリートの研究が進むて居ない。コンクリートの透水試験に就いては、§ 473 に述べてある。

今日までに行はれた試験の結果によると、コンクリートの滲透性と、材料、配合、等との關係は、大體次の如くである。

(1) コンクリートの滲透性は、使用セメント量の増加に伴ひ減少し、其の割合は著しく大きい反比例をする。(2) 滲透の度は、時日の経過と共に著しく減退する。(3) 滲透の度は、壓力の増加に正比例して増加する。(4) 滲透の度は、コンクリートの厚さの減少と共に増加し、然かも其の割合は著しく大きな反比例をする。(5) 砂及び砂利を以て造つたコンクリートは、碎石及び其の石粉を骨材とした同一配合のコンクリートよりも滲透の度が小さい。即ち、同一の滲透に對しては、砂利を用ゐた方が、使用セメントの量が小でよい。(6) 大小粒混合の碎石及び砂を骨材としたコンクリートは、砂利及び砂を用ゐたものよりも滲透の度が大きい。但し、碎石及び其の粉末を用ゐたものに較べれば、其の度が小さい。(7) セメントの同量を用ゐる時、砂の大小粒の割合を異にしたモルタルは、其の砂の大粒と小粒との割合約同一なる時に最も不滲透である。(8) 同一な配合のモルタルに於て、海水の滲透に依つて起る破壊は、其の砂が細粒を有することが大きいもの程大きい。(9) 中軟練り若くは軟練りのものは、硬練りのものに較べて水密性が大きい。(10) 型枠内で突固めたコンクリートの上面は、其の底面よりも水密性が大きい。之は、突固めによつて、セメント及び砂の細粒が多く上面に集

まるからである。

又、従來の経験によると、富配合のコンクリート又はモルタルは非常に大きい水密性を有するものであつて、初めに水が滲透しても、之は漸次減少し、或る時日を経過すれば、實際上全く不滲透となる場合が多い。故に、周到な設計及び施工に依つて出来上つたコンクリート構造物に於ては、初めに僅少な滲透を認めたとにしても、深く恐るゝに足らない場合が尠くない。

第 3 節 コンクリートの容積變化

§ 312. 概 説

コンクリートの容積變化は、コンクリートに含まれる水分の變化、温度の變化、荷重、等によつて起るものである。

コンクリートに於て普通に起る容積變化は、長さに於て、100 万分の 2 乃至 3 位から、100 万分の 1000 位の範囲である。

§ 313. 水分の變化によるコンクリートの容積變化

總てのコンクリートは、乾濕によつて収縮膨脹する。其の原因は、主として、セメント糊のゲル構造によるものである (§ 27 参照)。乾濕によるコンクリートの容積變化が、構造物に及ぼす影響をなるべく尠くすること、又、此の影響が實際上無害である様にするには、コンクリートの施工上に於ても、頗る大切なことである。

普通のコンクリートを水中に養生しておく、100 万分の 100 乃至 200 程度の膨脹を示す。之は極めて緩慢に起り、之がために、構造物が危険になる様なことはない。コンクリート供試體に於ける水分の變化がない様に、供試體を封じておけば、容積變化は甚だ小さいものである。

コンクリート供試體を完全に飽和した状態から、完全に乾燥した状態にすると、100 万分の 500 乃至 600 程度の収縮を生ずる。之は、約 55°C の温度變化に相當する。之を更に飽和させると、殆ど前と同じ位膨脹する。

コンクリートの収縮によつて生ずる龜裂を避けることが、設計上及び施工上、今日に於て、最も重要な問題の 1 つである。實際の構造物に於けるコンクリートの乾燥は、實驗室の供試體ほどに十分乾燥することはないし、又、大きいコンクリート體に於ける乾燥は、小

い供試體に於けるよりも非常に遅い。然し、薄い壁や、版などに於ては、日光、風、煖房などのために、ひどく乾燥することもある。

鉄筋を多量に使用しても、龜裂を防ぐことは出来ない。唯、小さい龜裂を小間隔に分布し、大きい有害な龜裂の出来るのを防ぐについて、頗る有効な丈けである。

水セメント比、セメントの使用量、セメント及び骨材の種類、等が、コンクリートの収縮に大きい關係を有する。

収縮の尠いコンクリートを造る爲には、次の事項に注意しなければならない。

(1) 出来る丈けコンクリートの水セメント比を小さくする。コンクリートの収縮は、主としてセメント糊の収縮によるものであるから、セメント糊が濃いほど、即ち、セメント糊の密度が大きいほど、コンクリートの収縮が尠い。

(2) コンクリートの収縮の大部分は、セメント糊に於て起るものであるから、なるべく水セメント比を小さくし、ウオーカブルなコンクリートが得られる範囲に於て、出来る丈け、セメント糊の使用量、従つて、セメントの使用量の尠い貧配合を用ゐる。然し、非常に貧配合になると、所要の流動性を得る爲に、水セメント比が大きくなるので、之がために、セメント使用量の減少による収縮の減少の効果が、打消されることになる。

(3) 作業に適するウオーカビリチーが得られる範囲に於て、出来る丈け粒度の粗な骨材を使用する。それは、骨材の粒度が粗である程、貧配合のコンクリートを造るに適するからである。

(4) 出来る丈けコンクリートの乾燥を防ぐことに努める。コンクリートの収縮の直接の原因は、硬化したセメント糊の乾燥に因るものである。依つて、適當な方法によつて、コンクリートの乾燥を防ぐことが、コンクリートの収縮を尠くするための有効な手段となるのである。

§ 314. コンクリートの温度上昇及び温度變化による容積變化

コンクリートの温度上昇が、コンクリートの容積變化に及ぼす影響に就いては、§ 102 (5) に述べてある。

コンクリートの硬化の際に於けるコンクリートの最高温度上昇は、打つた時のコンクリートの温度、セメントの使用量及び發熱量、水セメント比、氣象、コンクリートの熱的性質、等によるものである。

1 m³ につき 220 kg 位のセメントを使用するコンクリートに於て、斷熱養生 (§ 190 参照) をするときの温度上昇は、普通ポルトランドセメントの場合 33°C 乃至 42°C、低熱セメ

ントの場合 25°C 乃至 30°C である。

実際のコンクリート構造物に於て、温度上昇の最大値は、上記の値よりも小さい。其の程度は、コンクリート打ちの速度、コンクリート體の大きさ、熱の擴散の状態、等によるものである。

厚さ 25 cm 位の鋪裝版に於ける温度上昇は、5.5°C 乃至 11°C の程度のものである。但し、早強セメントを使用する場合に於ては、16.5°C 位の温度上昇を示すことがある。

コンクリート堰堤に於ては、22°C 乃至 33°C 程度の温度上昇が観測されて居る。堰堤に於て普通に使用されるよりも使用セメント量の大きい、大塊のコンクリートに於ては、55°C 以上の温度上昇を示した例がある。

コンクリートは、温度が上昇すれば膨脹し、冷却すれば收縮する。

セメント糊の膨脹係数は、1°C につき 100 万分の 15 乃至 18 である。

普通の温度變化の範圍に於て、コンクリートの熱膨脹係数の値は、1°C につき、100 万分の 7 乃至 13 である。膨脹係数の値は、主として、骨材の性質によるもので、石英質の骨材が最高値を示し、其の次は、砂岩、花崗岩、玄武岩、石灰岩の順序である。

富配合のコンクリートの係数は、貧配合のものよりも幾分大きい。

膨脹係数の平均値としては、1°C につき 100 万分の 10 にとつてよいことが、一般に認められて居る。

§ 315. 大塊のコンクリート構造物に於て、温度變化による容積變化を 軽減する方法

コンクリートの最高上昇温度と、冷却した時の最低温度との差を小さくすれば、有害な龜裂の發生を軽減し、又、收縮繼目 (§ 376) の間隔を大きくすることが出来る。

大塊のコンクリート構造物に於ける温度變化を軽減するため、種々の方法が行はれて居る。其の主なもの、次の如くである。

- (1) 低熱セメントを使用すること、
- (2) コンクリートを打つた後、コンクリートを冷却すること。之によつて、單に、最高上昇温度を低くすることが出来るのみならず、コンクリートを打つてから、比較的早く、收縮繼目にグラウチングを行ふことが出来る。

鐵管を通して冷却水を送り、コンクリートを冷却する方法は、低熱セメントを使用する時に、最高上昇温度を低くするについて最も有效である。それは、低熱セメントは、發熱の速度が比較的遅いからである。早強セメントを使用するコンクリートの様に、急激に多量の發

熱をするものは、普通の冷却装置では、コンクリートを十分に冷却することが出来ないから、最高上昇温度を低くするについて、餘り有效でないのである。

(3) なるべく、低温度に於てコンクリートを打つこと。之によつて、硬化した時のコンクリートの温度が、コンクリートの發熱により、其の地方の年平均温度と殆ど同じになる様に出来れば、理想的である。

(4) 打つ時のコンクリートの温度を低くする爲に、コンクリート材料を冷却すること。

(5) コンクリート打ちの速度を制限して、コンクリートの熱を空氣中に擴散させること。

(6) コンクリート體の内部に於て、セメントの使用量を減ずること。

重力堰堤に於けるコンクリート打ちに就いては、§ 175 に述べてある。

§ 316. コンクリートのクリープ

定温度及び定湿度の下に於ても、コンクリートに荷重を加へておくと、時日の経過に伴ひ、コンクリートの歪は増加する。應力度の變化がないのに、時日の経過に伴つて歪度が増加する性質を、コンクリートのクリープと言ふ。

クリープは、加へられた應力により、硬化したセメントゲルから、水が追出されることに因るものと、考へられて居る。それで、クリープは、水分の變化によるコンクリートの容積變化にも、密接な關係がある様である。

クリープは、應力度及び之の持続時間の増加に伴つて増加し、大體に於て、荷重直後の弾性歪に比例する。

一般に、壓縮強度の大きいコンクリートのクリープは小さい。又、弾性係数の大きいコンクリートのクリープは、弾性係数の小さいものよりも小さい。

56 kg/cm² の壓縮應力度の持続により、空氣中に於けるコンクリートのクリープは、100 万分の 800 乃至 1500 程度の長さの變化である。クリープの値は、材料、水セメント比、セメント骨材比、等にも關係がある。濕潤養生をしたコンクリートのクリープは、空氣中で養生したコンクリートのクリープの、約 $\frac{1}{2}$ 乃至 $\frac{1}{3}$ である。

コンクリートが引張應力を受けて破壊せずに伸び得る能力は、コンクリートの引張應力に對するヤング係數、引張強度及びクリープによるもので、コンクリートに生ずる龜裂を軽減するためには、伸び能力の大きいコンクリートを造ることが大切である。而して、コンクリートのクリープは、コンクリートの伸び能力の増大に對して、頗る有效な因子である。

コンクリートのクリープは、鐵筋コンクリートに於ける應力の分布を齊等ならしめ、又、如何なる原因によるにしても、コンクリートに生ずる龜裂の發生を軽減するものであるか

ら、コンクリートのクリープをうまく利用することは、鉄筋コンクリート構造を成功させる上に於て、頗る大切なことである。

第 4 節 耐 久 性

§ 317. 概 説

コンクリートの耐久性は、コンクリートが使用に耐へ得る年月によつて定められる、コンクリートの性質である。コンクリートが使用に耐へ得る年月は、コンクリートが種々の物理的及び化学的作用によつて、腐蝕又は破壊される程度で定まる。

コンクリートを腐蝕又は破壊する原因の主なもの、気象作用、水の作用、海水の作用、酸、アルカリ、油類、等の化学作用、火熱及び磨耗作用、電流の作用、等である。

本節に於ては、之等の作用に対するコンクリート及び鉄筋コンクリートの耐久性に就いて述べる。

§ 318. 気象作用に対する耐久性

總ての材料は、気象作用、即ち、風雨、寒暑の作用によつて腐蝕する。コンクリートも其の例外ではない。

コンクリートが、構造材料として盛んに用られる様になつてからの年月は、比較的短いから、種々の天候、気候、等の下に於て、コンクリートが何程の壽命を有するかは、解つて居ない。然し、現今、標準として居る材料及び施工によつて製造したコンクリートは、気象作用に對し、他の構造材料と同程度の耐久性を有するものと、一般に、信じられて居る。気象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、總て、是等のコンクリートの材料及び施工が、現今の標準に適合しないものであることを示して居る。

気象作用によるコンクリートの腐蝕は、水と炭酸ガスとの作用、コンクリート中に吸収された水の凍結融解、温度及び乾濕の變化によるコンクリートの容積變化、等によるものであるから、密度及び水密性が大きく、容積變化が少いコンクリートほど、耐久性が大きいのである。

現今は、まだ、絶対に水密なコンクリート又は容積變化の全くないコンクリートを作ることは出来ないが、水密性が大きく、容積變化の少いコンクリートを作ることは出来る。

激しい気象作用を受けるコンクリートは、特に耐久的に之を造らなければならないが、コ

ンクリートの耐久性を數字的に示すことはまだ出来ない。それで、気象作用に類似する凍結融解試験 (§ 474 参照) と従來の経験とによつて、コンクリートの耐久性を判断して居る。

コンクリートに吸収された水の凍結による被害が、コンクリートの強度及び多孔性に関することは明白である。依つて、水セメント比の小さいコンクリートを適當に打ち、十分に養生することが、気象作用に對して耐久的なコンクリートを造る手段となるのである。猶ほ、コンクリート表面に防水工を施し、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ことは明白である。

§ 319. 水の滲透に対する耐久性

静水中に置かれたコンクリートは、腐蝕を起さないのみならず、却つて、長年月に亙りて其の強度が増加する。然し、水が絶へずコンクリートを滲透して居れば、長い年月の後には、コンクリートは全く腐蝕するものと考へられる。それは、セメントの水和によつて生ずる水酸化石灰が、水に溶解するものであるからである。

それで、水密性の大きいコンクリートを造ること、適當な防水工を施すことが、壓力ある水又は流水の作用に對し、コンクリートを耐久的ならしめるために極めて大切な手段となるのである。

§ 320. 海水の作用に対するコンクリート及び鉄筋コンクリートの耐久性

今日まで海中に施設されたコンクリート及び鉄筋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、海水の爲めに徐々に侵蝕されたものもあり、又、海水のための急激な被害を示したものもある。是等海水の作用による被害のうちには、其の原因の明白でないものもないではないが、多くは、材料及び施工が悪かつたことが證明されて居る。殊に、骨材の性質が悪かつたこと、使用水量が過多であつたこと、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こと、等の爲に、コンクリートの腐蝕を來した例が多い。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、其のうちで、主な原因である海水とコンクリートとの化学作用は、コンクリート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。總てのコンクリートは多少水を滲透させるから、化学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、硫化物を含むて居る。従つて、セメントの成分、殊に、石灰と海水との化学作用によつて、コンクリートの強度は減するものと考へられる。但し、此の化学作用は極めて緩慢であるから、之が爲に、左程コンクリートの耐久性を減することは

ない様である。それで、材料及び施工に就いて、十分注意を拂つて造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えられる人が多いのである。

全く海中にあるコンクリート又は鉄筋コンクリートの耐久性に就いては、一般に、異論がない。被害の多いのは、一般に、海水と空気との作用を受ける最高潮位と最低潮位との間で、寒冷な時には、凍結作用が一層其の被害の度を大ならしめる。

海水がコンクリートに及ぼす化学作用に就いての研究によると、海水中に極めて少量に存在する重炭酸アムモニアが、コンクリートに害を及ぼす様である。重炭酸アムモニアは、海水を蒸発する時、アムモニアと炭酸ガスとに分解して失はれるので、普通の化学分析では、之の存在が認められない。重炭酸アムモニアは、海水中に棲息する二枚貝其の他と密接な関係を有するもので、二枚貝は之を多量に発生する。依つて、二枚貝を除去すること、又は、之の成長を防ぐに適する材料をコンクリートの附近に捨てること、などが、海水によるコンクリートの被害を減ずることになる。

海水の物理的作用が、化学的作用よりも一層有害であるか否かは、今日まだ判かつて居ない。いづれにしても、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積が大きくなり、海水がコンクリート中に侵入して、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ことの最も少い材料を用ゐ、密度及び水密性の大きいコンクリートを造り、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、適當に保護するにある。

海中に於ける鉄筋コンクリートの破壊は、鉄筋の酸化によるものが非常に多い。鉄筋の酸化は、コンクリートの水密性が十分でなかつたり、鉄筋保護の厚さが十分でなかつたり、設計又は施工が悪い爲にコンクリートが鉄筋の間に十分行き互らないうで、セメント糊が十分に鉄筋の保護をしない様な場合に、空気と海水との作用によつて生ずるものである。又、海岸の鉄筋コンクリート構造物に於ては、多量の鹽分を含んだ強壓の海風が長年月の間にコンクリートを通して鉄筋を酸化し、錆が出来て容積が増大し、コンクリートを破壊せしめる様な場合も尠くない。之は、暑い地方で、鹽分を含む強壓の海風と強い日光の直射とを交互に受ける様な場合に於て、殊に甚だしい。

海水の作用を受けるコンクリート及び鉄筋コンクリートの施工に就いては、第 16 章第 1 節に述べてある。

§ 321. 酸及びアルカリの作用に對する耐久性

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。

材齡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、十分に養生した材齡の大きいコンクリートは、酸の腐蝕作用を受けることが大分小さい。酸を含有する肥料などは、新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面を保護するから、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い。

酸性土壌又は之の中を流れて來た地下水などがコンクリートに接觸すると、セメントが溶かされて、骨材が露出し、甚だしい時は、粗骨材が崩落することがある。日本には酸性土壌が多いから、之に對して注意する必要がある。

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

酸の作用を受けるコンクリートの施工に就いては、§ 362 に述べてある。

外國の乾燥地方に於ては、硫酸鹽又は炭酸鹽などを含む土壌又は地下水の爲に、コンクリートが腐蝕した實例が尠くない。之を普通に、アルカリの作用と言つて居る。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び炭酸鹽の化学作用によつて、容易に分壊する様である。

アルカリの作用を受けるコンクリートの施工に就いては、§ 363 に述べてある。

§ 322. 油類の作用に對する耐久性

鑛油は、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、絶へず鑛油がかゝつて居つても、格別の被害を示さない。

植物性及び動物性の油は、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、適當な保護工を施す必要がある。

油類の作用を受ける場合のコンクリートの施工に關する注意は、酸類に對する場合と同じである。

§ 323. 油類、酸類、鹽類、等がコンクリートに及ぼす影響と之が對策

第 30 表 は、各種の礦物油、タール系蒸溜液、無機酸類、有機酸類、鹽類、其の他が、ポルトランドセメントコンクリートに及ぼす影響、並びに、之が対策としての保護工法を示す。之は、米國の聯合委員會の標準示方書(1940)の附録に掲げてあるものである。

第 30 表 油類、酸類、鹽類、等がポルトランドセメントコンクリートに及ぼす影響並びに之が対策としての保護工法

物 質	コンクリートに及ぼす影響	保 護 工
礦 物 油		
ボイメ 30° 以上の輕油	無一多少滲透する	弗化珪酸、スパーワニス、あまに油、珪酸ナトリウム
揮發油—ケロシン、ベンゼン、ナフサ、ガソリン	無一相當多量に滲透する	弗化珪酸、スパーワニス、珪酸ナトリウム、石炭酸フォルマリン、ベークライト系ワニス
ボイメ 30° より重い重油	無一極く僅か滲透する	不要
タール系蒸溜液		
フェノール、クレゾール、リゾール、クレオソート、石炭酸	徐々にコンクリートを侵す	弗化珪酸、珪酸ナトリウム、スパーワニス、石炭酸フォルマリン、ベークライト系ワニス
ベンゼン、トリオール、キシロール、クモール	無一多少滲透する	弗化珪酸、珪酸ナトリウム、あまに油、スパーワニス
ピッチ、アンストラシン、カーボンゾール、パラフィン	無	不要
無 機 酸 類		
硫酸、硝酸	分壊させる	酸化鉛、鉛、ゴムの上にガラス、燒過煉瓦或はタイルを並べて、45°C 以下の温度に於て濃度 50% 以下のものに對し有效
亞硫酸	分壊させる	酸化鉛、鉛、ゴムの上にガラス、燒過煉瓦、タイルを並べて、すべの濃度に對して有效
鹽 酸	分壊させる	鉛、ゴムのみで 45°C 以下の温度に於て濃度 50% 以下のものに對し有效
弗化水素	分壊させる	
有 機 酸 類		
醋 酸	徐々に分壊させる	アスファルト、ベークライト系ワニス、スパーワニス、ゴム
炭 酸	徐々に侵す	アスファルト、タール、弗化珪酸、珪酸ナトリウム、スパーワニス、ベークライト系ワニス、樹脂
乳酸又はタンニン酸	徐々に侵す	上記のもの、あまに油、パラフィン
魚 油	極めて僅か侵す	弗化珪酸、珪酸ナトリウム、あまに油
ラード、ラード油	極めて僅か侵す	同上
あまに油	僅かに侵す	不要
樹 脂	僅かに侵す	不要
椰子油	僅かに侵す	弗化珪酸、珪酸ナトリウム、あまに油
オリーブ油	僅かに侵す	上記のもの、スパーワニス、ベークライト系ワニス
菜種油	僅かに侵す	上記のもの
綿 油	僅かに侵す	不要
巴旦杏油	僅かに侵す	弗化珪酸、珪酸ナトリウム、あまに油、ワニス
罌粟油	極めて僅かに侵す	同上

クルミ油	極めて僅かに侵す	弗化珪酸、珪酸ナトリウム、あまに油、ワニス
大豆油	極めて僅かに侵す	同上
南京豆油	極めて僅かに侵す	同上
カタバミ油	無	不要
炭酸(乾いた)	無	不要

鹽 類

可溶性鹽類は 硫酸鹽、亞硫酸鹽、硝酸鹽、鹽化物、炭酸鹽の順にコンクリートを侵す

カルシウム、カリウム、ナトリウム、マグネシウム、銅、亜鉛、アルミニウム、マンガン、鐵、ニッケル、コバルトの硫酸鹽	コンクリートを活潑に侵す	弗化珪酸、珪酸ナトリウム、あまに油、アスファルトの塗布、酸化鉛、ゴム上にガラス、タイル、燒過煉瓦を並べる
アムモニアの硫酸鹽	分壊する	同上
マグネシウム、鐵、水銀、銅、アムモニアの鹽化物	僅かに侵す	同上
アムモニア硝酸鹽	分壊する	同上
硫化鐵石、黄鐵鐵	僅かに侵す	同上
酸性硫酸鹽	激しく侵す	弗化珪酸、珪酸ナトリウム、あまに油、アスファルト塗布、ガラス、燒過煉瓦、タイルを酸化鉛及びゴムの上に貼る
ナトリウム、カリウム、カルシウム、ストロンチウムの鹽化物	無	不要
カルシウム、カリウム、ナトリウムの硝酸鹽	無	不要
アムモニア硫化物以外の可溶硫化物	無	不要
炭酸鹽	無	不要
弗素鹽	無	不要
珪酸鹽	無	不要

其 の 他

糖 蜜	僅かに侵す	弗化珪酸、珪酸ナトリウム、あまに油、アスファルト塗布、ガラス、燒過煉瓦、タイルを酸化鉛及びゴムの上に並べる
亞硫酸溶液	僅かに侵す	同上
牛 乳	徐々に侵す	同上
甘蔗汁、葡萄糖	僅かに侵す	同上
野菜汁	徐々に侵す	同上
アムモニア	無	不要
バルブ溶液	無	不要
タンニン液	無	不要
アルコール	無	不要

§ 324. 耐 火 性

コンクリートは不燃性であり、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構造材料であることは、實際の火災に於ける經驗及び澤山の實驗で、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こと、コンクリートが結晶水を含むこと、及び、コンクリート中に気孔があつて其の耐火度を増すこと、等に因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始まり、約 480°C で脱水作用を終るものゝ様である。而して、脱水する際コンクリートから熱が吸収されるから、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ことになる。

コンクリートが脱水し始めれば、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、龜裂が出來、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來ると、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。

骨材の石質は、コンクリートの耐火性に大きい影響を有するものである。気孔の多い火山岩質の骨材を使用するコンクリートは、耐火性が最も大きく、煉瓦片など之に亞ぎ、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。

コンクリートに気孔の多い程、熱の傳導が悪い。従つて、気孔の多いコンクリートを造る程、一般に、コンクリートの耐火性が大きい。

材齡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。

コンクリート體の大きい程、耐火力が大きいことは勿論である。尖つた角は丸い角に較べて、火災の際に損傷を受けることが大きい。

耐火性の大きいコンクリートを造るための粗骨材に就いては § 76 に、耐火性の大きい鐵筋コンクリートの施工に就いては第 17 章に、述べてある。

§ 325. 磨耗作用に對する耐久性

コンクリートの磨耗に對する抵抗力は、主として、コンクリートの強度に關係する。

コンクリートに磨耗を生ずる原因の主なもの、流水の作用と機械的の磨耗作用とである。

高速度の水が、導水管、排水路などを流れる時、水が砂其の他磨耗作用を與へる物質を含

む時は、コンクリートの磨耗を著しく大ならしめる。又、水の渦動によつて生ずる幾分の眞空が、コンクリートをむしり取る様な作用をなし、時としては、甚だしい損耗の原因となる。

床版、舗装、等に於ける各種の荷重、流水の衝突、風で砂が吹付けられること、等がコンクリートの磨耗を生ずる。

磨耗に對する抵抗力の大きいコンクリートを造るには、

- (1) 合理的にセメントの使用量を尠くすること、
 - (2) 微粒子の尠い、堅硬、強固な骨材の使用量をなるべく大きくすること、
 - (3) 水セメント比を小さくすること、
 - (4) コンクリートの空隙を尠くし、又、コンクリートの單位容積になるべく多量の骨材を使用し得るため、十分な締固めを行ふこと、
 - (5) 磨耗が均等であるために、出來る丈け齊等質なコンクリートを造り、衝撃を尠くするため、表面を平滑に仕上げること、
 - (6) 十分な濕潤養生を行ふこと、
- 等に注意しなければならない。

時としては、特殊の表面仕上げを行ふことも、コンクリートの磨耗に對する抵抗力を大ならしめるために、有効である。磨耗に抵抗すべきコンクリートの表面仕上げに就いては、第 12 章第 2 節に述べてある。

§ 326. 電 氣 分 解

無筋コンクリートは、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、高い電壓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、鐵の腐蝕するに従つてコンクリートに裂罅を生じ、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滅殺される。前者は電壓が減ると、其の比例以上に急激に減じ、普通起つて來る様な電壓では殆んど全く消滅するけれども、後者は極めて低い電壓でも猶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ても、是等を含まないコンクリートに較べて、電流の作用を受けることが大きい。

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壓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、電氣分解の虞れは殆どないと認められて居る。

電氣分解の豫防法に就いては、§ 364 に述べてある。

第 5 節 コンクリートの癒着

§ 327. コンクリートの癒着

材齢 7 日の壓縮強度試験供試體に破壊荷重を加へ、荷重歪曲線がほぼ水平になり、鉛直な龜裂が澤山あらはれ、表面がはげたものを、80 日間水中に貯藏した後、壓縮強度を試験したら、前の強度の 92% の強度を示した實驗の結果がある。又、コンクリート梁や、引張強度試験供試體を破壊し、破片を直ちに元通りに合せて水中に貯藏すれば、破片の接點に喰違ひがない限り、是等が癒着して、強度を再現する。斯の如き現象を、コンクリートの癒着と言ふ。

コンクリートが癒着作用をするのは、コンクリートの破壊面にはまだ水和しないセメントの新しい面が露出するから、水があれば之が水和すること、破壊面のゲルが水の爲に膨脹し、互に接觸して結合し、新しく出来るゲルによつて密度を増して、強度を出すこと、等に因るものと考へられる。

コンクリートの癒着作用は、コンクリート體の内部に於ても起るものである。即ち、收縮其他の原因により、コンクリート中に於て、ゲル自身、ゲルと骨材との間、又は、ゲルと鐵筋との間に、顯微鏡的の澤山の龜裂が生じ得るのであるが、十分な水と、まだ水和しないセメントとがあれば、そして、龜裂の幅が餘り廣くなければ、ゲルの成長が遂に其の龜裂の間を充して、龜裂の兩側を結合する。コンクリートの濕潤養生は、此の癒着作用を助け、コンクリートの強度及び水密性を増加する結果となる。之れが、濕潤養生がコンクリートにとつて極めて大切な理由の 1 つである。

コンクリートに打繼目を造つて、新舊コンクリートを結合し得るものも、コンクリートの癒着作用による所が多い。それで、打繼目を造る時は、舊コンクリート面のチップングを行つてから、なるべく早く新コンクリートを之に打繼ぐのが有效である。