

コンクリートの炭酸化判定方法に関する問題点と考察

近藤 照夫
森 永 繁

§ 1. はじめに

わが国において、鉄筋コンクリート構造物が本格的に建設されるようになってから、現在までに50年以上を経過している。そのような鉄筋コンクリート構造物の寿命については、従来コンクリートの炭酸化説が支配的である。

現在、コンクリートの炭酸化の一般的な判定方法としては、コンクリートの新しい破断面にフェノールフタレインの1%エタノール溶液を塗布して、その呈色変化を観察している。すなわち、フェノールフタレイン溶液で赤く呈色する部分は未炭酸化領域であり、この領域にある鉄筋はさびないが、一方、非呈色域は炭酸化領域であるため、この部分では鉄筋はさびるとされている。

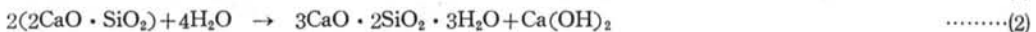
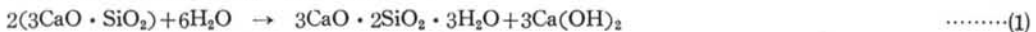
しかし、実際の構造物の調査をしてみると、フェノー

ルフタレイン溶液で炭酸化領域を判定している限り、未炭酸化領域でも鉄筋がさびているケースがたびたび経験されている。未炭酸化領域で鉄筋がさびた理由については明瞭ではないが、一因としては、従来からのコンクリートの炭酸化モデルの考え方に疑問があること、およびフェノールフタレイン溶液による炭酸化領域の判定方法に問題があると考えられる。

したがって、フェノールフタレイン溶液で呈色しても、その部分の鉄筋がさびるような部分的に炭酸化の進行した“部分炭酸化領域”というものを仮定して、コンクリートの新しい炭酸化モデルを提案し、酸塩基指示薬による炭酸化判定方法の問題点や使用の際の注意事項等を実験的に検討した。酸塩基指示薬としては、一般的に使用されているフェノールフタレインの他に、数種の酸塩基指示薬についても検討を加えた。

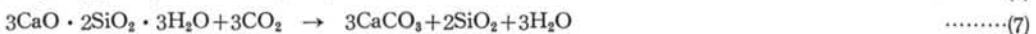
§ 2. コンクリートの炭酸化と鉄筋の腐食

セメントの水和反応は次の式(1)~(5)で示される¹⁾。



これらの水和反応のうち、式(1)、(2)の反応生成物として水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) が遊離される。

したがって、打設直後のコンクリートは、強いアルカリ性 (pH12~13程度) を示している。このような状態では、図-1に示すように、その内部に埋め込まれた鉄筋の表面には安定な不動態皮膜が形成されており、有害量の塩素イオン Cl^- 等の腐食促進因子が含まれていない限り、鉄筋は腐食から防がれるものと考えられている。しかし、硬化コンクリートは表面から次第に空気中の炭酸ガス CO_2 と反応して、式(6)、(7)に示すように、炭酸カルシウム (CaCO_3) となりアルカリ性が低下していく。



このようになると、鉄表面の不動態化の条件がくずれて鉄筋が腐食しやすい状態となる。内部の鉄筋が腐食すれば、その体積膨張によってコンクリートに亀裂を生じて、構造物の耐力低下を招くこととなる。したがって、コンク

リートの炭酸化が鉄筋の位置まで到達すると、鉄筋の腐食の危険性が大きくなるため鉄筋コンクリート構造物の寿命であるとされている。

フェノールフタレイン溶液によるコンクリートの炭酸化判定方法についてはすでに岸谷の詳細な研究報告³⁾があり、その呈色反応は炭酸化しないで残存している $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を検出しているのではあるといわれている。しかし、未反応の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ではなく、 CO_2 との反応生成物である CaCO_3 をとらえることを目的として行なわれた Crossed nicols の偏光顕微鏡観察⁴⁾、放射性同位元素 ^{14}C ⁵⁾、化学分析手法による CO_2 の定量⁶⁾、X線回折^{6,7)}、示差熱分析⁷⁾ を用いた研究では、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が存在していても CaCO_3 が存在している両者の混在領域があること、すなわち CO_2 の侵入による炭酸化反応は、フェノールフタレイン溶液で呈色する領域よりもさらに深くまで進行していることがすでに証明されている。

このような事実にもとづいて筆者らは、図-2に示すようなコンクリートの炭酸化モデルを考えた。すなわち、図-2においてOA部分は完全に炭酸化して CaCO_3 のみで構成されており、Bから深い部分は全く炭酸化されておらず $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のみで構成されている領域である。さらにこの两部分の中間にかなり広範囲にわたって CaCO_3 と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が混在する“部分炭酸化領域”ABが存在しており、この領域ではフェノールフタレイン溶液で呈色するが鉄筋はさびる可能性があると仮定した。したがって、鉄筋のさびの問題に関連してコンクリート中で重要と考えられる点は、A点および炭酸化フロントB点である。

先に述べたとおり、岸谷の研究³⁾ではフェノールフタレイン溶液で検出されるのは残存している $\text{Ca}(\text{OH})_2$ であるとされているから、筆者らの仮定した図-2におけるA点と考えられる。しかし、同報告では CaCO_3 の粉末度と含水率によっては、 CaCO_3 も呈色してA点が見出せない可能性があることも暗示されている。

本報告は、仮定した炭酸化モデルにもとづき酸塩基指示薬を用いて、コンクリートの炭酸化程度を判定するにあたり、 CaCO_3 を呈色させずにA点を確実に検出する方法、さらに炭酸化フロントB点を呈色の有無ではなく呈色の濃淡から判定できないかを検討したものである。

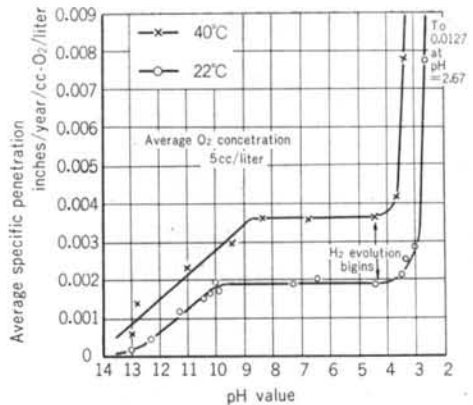


図-1 水溶液の pH と軟鋼の腐食²⁾

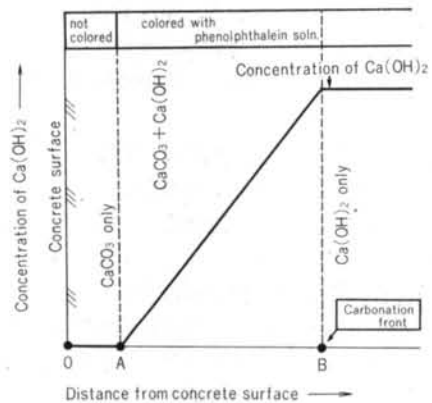


図-2 コンクリートの炭酸化モデル (“部分炭酸化領域”の仮定)

§ 3. 実験と考察

3.1 セメント硬化体中に埋め込んだ鉄筋のさびの経時変化

実際に施工される鉄筋は、一般にはコンクリート打設がなされるまで屋外放置されているため、さびているケースが非常に多い。

フェノールフタレイン溶液で呈色して未炭酸化と判定された領域内でさびていた鉄筋は、打設される前からさびていたのではないかという疑問が持たれる。この疑問を明らかにする意味でさびた鉄筋を種々の調合のセメントペーストやモルタル中に埋め込み、経時的に鉄筋を取り出して鉄表面のさびの状態を観察した。その結果、次第に赤さびが消失してゆき、数ヶ月でほぼ黒皮の表面状態にもどることが判明した。さびがセメント硬化体中で消失していく理由については、現在検討中であり、まだ明らかではないが、一因としてはセメント水和生成物と腐食生成物との反応が考えられる。同様なさびの消失現

象は、実際の構造物中でも見られた。したがって、長年月を経過した後にコンクリート中の未炭酸化領域でさびている鉄筋は、打設前から生じていたさびではなく、打設後に改めて生じたものであると推定される。

3.2 A点の検出

フェノールフタレイン溶液に対する検討において、岸谷は CaCO_3 粉末に milky state 以上になるまで水を加えた場合、フェノールフタレイン溶液を添加すると、添加量が多ければ呈色しないが、微量添加の際には呈色が認められることを示した⁹⁾。したがって、A点を検出する場合に注意すべき点は CaCO_3 を呈色させないような試験方法をとることである。 CaCO_3 の呈色に影響する主要な因子は、 CaCO_3 の粉末度と含水率および水とエタノール（フェノールフタレインを溶解している溶媒）の比率であると考えられる。

a) 粉末度の影響

平滑に磨かれた大理石は、表面が乾燥状態であっても湿潤状態であっても、フェノールフタレイン溶液によって呈色反応を示さない。また、乾燥した平滑な大理石表面をサンドペーパーで軽くこすり面荒した状態ではやはり呈色しないが、表面を湿らせれば呈色が認められる。これは、ある程度の粉末度をもって水に溶解すれば水溶液中で CaCO_3 が電離して呈色反応を示すからであると考えられる。フェノールフタレイン溶液を塗布するコンクリートの表面状態がどの程度であるかは一概にいえず、固体と粉末との中間であると考えられるが、表面の平滑度ないしは粉末度が呈色反応に影響を与えていることは確実である。

b) 含水率の影響

i) 粉末による実験

Ca(OH)_2 、 CaCO_3 の乾燥粉末各 10gr を別々に精秤して、メスピペットを用いて一定水量を添加して攪拌した後、フェノールフタレイン溶液 2 滴を加えてその呈色の有無を観察した。水溶液であれば比色計を用いて透過率を測定可能であるが、この実験では透過率は測定不可能なため、肉眼観察によって呈色の有無を識別した。

この結果、 Ca(OH)_2 は乾燥粉末状態でも呈色する。 Ca(OH)_2 は強塩基で溶解度や電離度が比較的大きいため、通常のエタノール中に含まれている 5% 程度の水量で、十分溶解して電離可能と考えられる。したがって、 Ca(OH)_2 が微量でも存在していれば、フェノールフタレインのエタノール溶液を滴加すると鮮明な呈色を示すことになる。

一方、 CaCO_3 は乾燥粉末状態では呈色しない。実験

物質	分子量	溶解度※	解離定数
Ca(OH)_2	74.09	0.129	—
CaCO_3	100.09	0.014	—
H_2CO_3	62.02	—	$K_1=4.45 \times 10^{-7}$ $K_2=4.69 \times 10^{-11}$

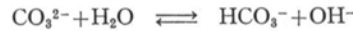
※ 100gr の飽和水溶液中に溶解する物質のgr 数

表一 1 Ca(OH)_2 、 CaCO_3 、 H_2CO_3 の物性⁹⁾

ふるいの呼び寸法 (μ)	300	150	125	105	88	53
ふるいを通過するもの の重量百分率(%)	100	99.4	97.7	96.0	94.3	91.4

表一 2 実験に供した特級試薬 CaCO_3 の粉末度

的には、乾燥した粉末試薬の CaCO_3 量に対して、38 wt% 以上の水を含めば呈色することが認められた。一般に、炭酸アルカリは水溶液中で加水分解して、水酸イオン (OH^-) を生ずることにより呈色が認められる。



CaCO_3 は溶解度が小さく弱電解質であるため、ある程度の比率以上に水が存在すれば加水分解を起こし、水酸イオンを生じて呈色反応を示すことになると考えられる。

この実験結果から得られた含水率を通常の建築工事に使用されている調合のコンクリート（単位セメント量：300kg/m³）が、式(1)~(7)に従って完全に水和し、完全に炭酸化した時の含水率に換算すると、コンクリート重量に対して約 5% となる。したがって、コンクリート表面の CaCO_3 が今回の実験に用いた試薬程度の表一 2 に示すような粉末度を有していると仮定すれば、含水率が 5% 以上のコンクリートでは炭酸化していても呈色を示すことになる。

ii) コンクリートによる実験

材令 3~4 年の屋外放置コンクリートの円筒供試体 (10 ϕ ×20cm) をディスク状 (厚さ 25mm) にスライスして約 30 時間水中に浸漬して十分吸水させた後 105 $^{\circ}\text{C}$ で乾燥させた。経時的に乾燥器から取り出して、できる限り空気を取り除いたポリエチレン袋の中に約 80 時間封入して seasoning を行ない、含水率を変化させた。これらの各試験体を破断してフェノールフタレイン溶液による呈色変化を観察し、コンクリートの含水率の影響を調べた。

その結果、コンクリートの含水率は乾燥時間により、図一 3 に示すような変化をした。

コンクリートを破断して、その表面に付着している粉

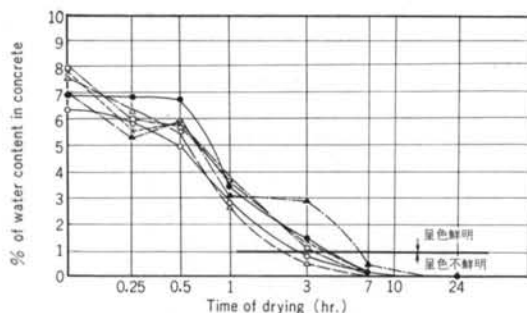


図-3 乾燥時間によるコンクリートの含水率の変化

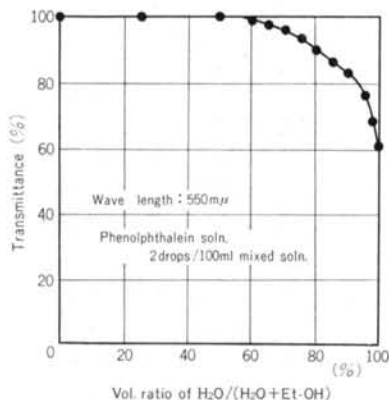


図-4 CaCO₃ 飽和溶液とエタノールの混合溶液にフェノールフタレイン溶液を添加した時の透過率

末をとり除いてフェノールフタレイン溶液を塗布した状態では、吸水飽和である6~8%程度の含水率であっても、2~3%程度の含水率のものと比較して、非呈色域の明確な変動は認められなかった。したがって、今回の実験では含水率の差によってCaCO₃の呈色や、Ca(OH)₂の溶出による呈色域の変化を確認することはできなかった。

また、含水率が1%以下になると呈色が不鮮明になってきた。粉末試薬の場合には、Ca(OH)₂は乾燥状態でもエタノール中に含まれている水だけでも十分電離して、鮮明な呈色反応を示した。しかし、コンクリート中に存在しているCa(OH)₂程度の粉末度になると、CaCO₃と類似した挙動を示すようである。ある程度の水が存在していれば、溶解して電離可能となり鮮明な呈色反応を示すことができ、それ以下の水分量では鮮明な呈色反応を示すに至らないものと考えられる。

このように、Ca(OH)₂やCaCO₃の呈色挙動はコンクリートの性質によってかなりの影響を受けるため、さらに検討が必要であろう。

c) 水とエタノールの比率の影響

CaCO₃ 飽和溶液とエタノールの混合比率を変えた溶液100mlに、フェノールフタレイン溶液2滴を添加した。その呈色状態を比色計を用いて測定して、透過率と混合比率との関係を示したのが図-4である。溶液が呈色しない範囲は、両者の比率がCaCO₃ 飽和溶液/(CaCO₃ 飽和溶液+エタノール)<0.65となるときであり、0.65の値は岸谷の結果³⁾と一致している。エタノール量が増加すると混合溶液中のCaCO₃量が減少するし、またフェノールフタレインは水には不溶でありエタノールのみで溶けるため、フェノールフタレイン溶液はエタノールで希釈されることになる。したがって、呈色反応が弱くなり透過率が上昇したものと考えられる。

この結果を湿潤状態のコンクリートにフェノールフタレイン溶液を塗布した場合に適用したとすると、CaCO₃を呈色させないための条件は、

$$\frac{W_E + W_C}{W_E + W_C + E} < 0.65 \quad \dots\dots(8)$$

ここで、E:塗布したフェノールフタレイン溶液中のエタノール量

W_E:塗布したフェノールフタレイン溶液中の水の量

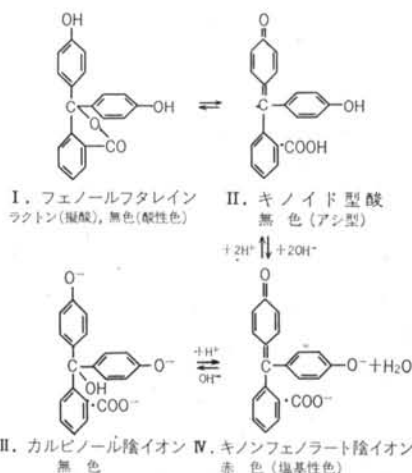
W_C:塗布したフェノールフタレイン溶液と混ざり合うと予想されるコンクリート中の水の量

であり、一般的にはエタノールの含水量がW_E/E=5/95であるから、式(8)は0.50W_C<E+W_Eとなる。すなわち、コンクリートが湿っているときにCaCO₃を呈色させないためには、塗布したフェノールフタレイン溶液と混ざり合うと予想されるコンクリート中の水の量W_Cの0.5倍以上のフェノールフタレイン溶液量を塗布しなければならない。しかし、あまり多量に塗布するとフェノールフタレイン溶液中の溶媒であるエタノールから導入される水の量W_Eがコンクリートの含水率を高めることになり、このために前項で検討した理由からCaCO₃が呈色反応を示す可能性も出てくるため、フェノールフタレイン溶液の塗布によるA点の検出にも疑問は残る。

3.3 B点の検出

a) Ca(OH)₂濃度とpHとの関係

一般にフェノールフタレイン溶液の呈色反応は、pHと密接な関係があるとされている。フェノールフタレイン分子の通常の構造は、ラクトン型であって擬酸であると考えられる。pH8.2以下では無色であるが、8.3以上になるとアシ型(まだ無色である)の濃度が増して、OH⁻の影響で後者が解離してキノンフェノレート型の



赤色の陰イオンを形成する。さらに強アルカリ性になると、無色のカルビノールフェノラト型陰イオンになるため脱色してくると説明されている⁹⁾。

コンクリートの炭酸化現象は $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の濃度が低下していく過程であると考えて、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 飽和溶液を CaCO_3 飽和溶液および水で希釈していったときの pH 値の変化をガラス電極 pH メーターを用いて測定した。その際、pH メーターのアルカリ誤差の補正には十分留意した。

その結果は、図-5 に示すように $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液の pH 値は希釈されるに従い 12.6 から約 10 まで低下してゆく。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ がまったく含まれていない場合を除き、pH は水で希釈したときと、 CaCO_3 飽和溶液で希釈したときと差異は認められず、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のモル濃度 C のみによって定まり、式(9)で示される理論値と一致する。

$$\text{pH} = 14 + \log 2C \quad \dots\dots(9)$$

式(9)は、コンクリートの pH を測定する際コンクリートの粉末を水溶液にして測定したのでは粉末と水の比率で濃度が変化し、コンクリートの pH というものが定まらないことを示している。

また、 CaCO_3 は弱酸強塩基よりなる塩と仮定して、その加水分解を考えて表-1 の数値から次の式(10)によりその飽和溶液の pH 値を求めると、一次解離の状態では 8.7、二次解離の状態では 10.6 であり、ほぼ実測値と一致している。

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2} \log \frac{1}{K_{HA}} + \frac{1}{2} \log C \quad \dots\dots(10)$$

ここで、 K_{HA} : 酸の解離定数

しかし、 CaCO_3 飽和溶液に微量でも $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が含まれていれば、pH は 11~12 に上昇する。フェノールフ

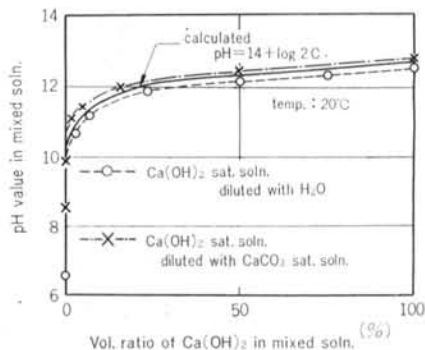


図-5 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液の pH 変化

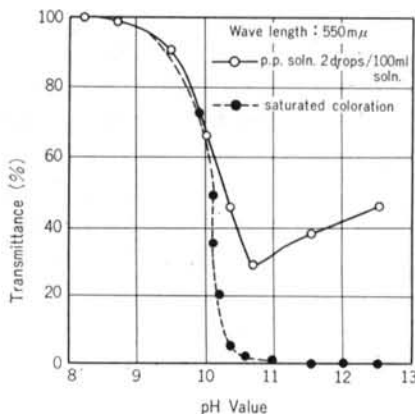


図-6 水溶液の pH とフェノールフタレイン溶液を添加した時の透過率との関係

タレイン溶液による呈色域と非呈色域とを境にして pH が著しく変化していることを根拠に、炭酸化の判定方法としてはフェノールフタレイン法が適していると述べている報告¹⁰⁾もあるが、pH 値がこの点で急変するのは上記の結果から当然であり、フェノールフタレイン溶液で検出しているのは図-2 における A 点であることを示している。

b) pH と透過率との関係

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 飽和溶液を水で希釈していったときの pH と、フェノールフタレイン溶液を添加したときの透過率との関係を示したものが図-6 である。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 飽和溶液 100ml に対してフェノールフタレイン溶液 2 滴を加えたものは、pH 10.5 あたりに透過率の極小値が存在するが、最小の透過率が得られるまで多量にフェノールフタレイン溶液を加えたものは、pH が增大するに従い透過率は単調に減少していく。この呈色挙動の差を生ずる理由については明らかではないが、前項で述べたフェノールフタレイン分子の構造変化により次のように考えられる。フェノールフタレイン溶液 2 滴を添加したときには、pH 10.5 をこえるとカルビノール陰イオンの構造を

とる分子が多くなり、呈色が薄くなっていき、フェノールフタレイン溶液を多量に加えた場合には、呈色を示すキノンフェノラート陰イオン構造をもつ分子が大過剰に存在することになるため、透過率が減少していくものと推定される。

本実験の主眼は図-2の AB 間、すなわち pH10~12.6の範囲で呈色の濃淡の程度の差を検出できないかという点である。水溶液に対しては、比色計を用いれば確かにある程度の差は認められるが、この色の差を肉眼観察によって判別することは不可能である。

コンクリートの炭酸化程度を水溶液の pH で置換することに1つの問題はあるが、CaCO₃とCa(OH)₂の粉末の混合体であってもCa(OH)₂が微量存在していればフェノールフタレイン溶液で鮮紅色を示し、Ca(OH)₂とCaCO₃の場合、比率による呈色の程度の差は肉眼観察では判別不可能である。

コンクリートは粉末と溶液との中間であると考えられるため、フェノールフタレイン溶液を用いる限り呈色の度合で炭酸化フロントB点を検出するのは不可能であろう。

また、フェノールフタレイン溶液の呈色変化が前述のとおり水溶液中の pH に基づいており、pH というものが水溶液中での概念であり、またコンクリート中の pH が水との比率で一定になり得ないことから、炭酸化現象の検討には多くの問題点が残る。

3.4 その他の酸塩基指示薬の検討

酸塩基指示薬は、フェノールフタレイン以外にも表-3に示されるように種々のものがある。これらの指示薬の中から、フェノールフタレイン溶液では検出不可能である炭酸化フロントB点を検出することを目的として、フェノールフタレインより pH の大きい部分に変色範囲を有するものについて検討した。指示薬の選択の際には次の2点が要求される。

①変色範囲が炭酸化過程の pH 変化をカバーしていること。

②色の変化が鮮明であること。とくに水溶液の場合とは異なり、コンクリートの表面へ塗布してその色の変化を肉眼観察するのであるから、色の変化が鮮明であることが重要である。

以上の要求条件に従い、フェノールフタレインより pH の大きい部分に変色範囲を有するチモールフタレイン (pH9.3~10.5無→青)、ニトラミン (pH11.0~13.0無→褐)、1.3.5-トリニトロベンゼン (pH11.5~14無→褐) を選択して検討した。変色範囲が適していても色の

指示薬商品名	略字	変色範囲	酸性色	塩基性色
クレゾールレッド(酸性側)	CR	0.2~1.8	赤	黄
メタクレゾールパープル(酸性側)	CP	1.2~2.8	赤	黄
チモールブルー(酸性側)	TB	1.2~2.8	赤	黄
トロペオリン OO		1.3~3.0	赤	黄
2.6-ジニトロフェノール		2.4~4.0	無	黄
メチルエロー	MY	2.9~4.0	赤	黄
コンゴレッド		3.0~5.0	青紫	赤
ブロムフェノールブルー	BPB	3.0~4.6	黄	青紫
メチルオレンジ	MO	3.1~4.4	赤	橙黄
ブロムクレゾールグリーン	BCG	3.8~5.4	黄	青
2.5-ジニトロフェノール		4.0~5.8	無	黄
メチルレッド	MR	4.2~6.3	赤	黄
リトマス		4.5~8.0	赤	青
クロルフェノールレッド	RCP	5.0~6.6	黄	赤
パラニトロフェノール		5.0~7.6	無	黄
ブロムクレゾールパープル	BCP	5.2~6.8	黄	青紫
ブロムチモールブルー	BTB	6.0~7.6	黄	青
ニュートラルレッド	NR	6.8~8.0	赤	黄橙
フェノールレッド	PR	6.8~8.4	黄	赤
ロゾール酸		6.8~8.0	橙	紫赤
クレゾールレッド(塩基性側)	CR	7.2~8.8	黄	赤
ナフトールフタレイン		7.3~8.7	無	青
メタクレゾールパープル(塩基性側)		7.4~9.0	黄	紫
チモールブルー(塩基性側)	TB	8.0~9.6	黄	青
クレゾールフタレイン	CP	8.2~9.8	無	赤
フェノールフタレイン	PP	8.3~10.0	無	赤紫
チモールタフレイン	TP	9.3~10.5	無	青
アリザリンエロー GG		10.0~12.1	無	橙
トロペオリン O		11.0~13.0	黄	橙
ニトラミン		11.0~13.0	無	褐
ポアリエブルー C4B		11.0~13.0	青	紫赤
1.3.5-トリニトロベンゼン		11.5~14.0	無	橙赤褐

(太字は汎用のものである)

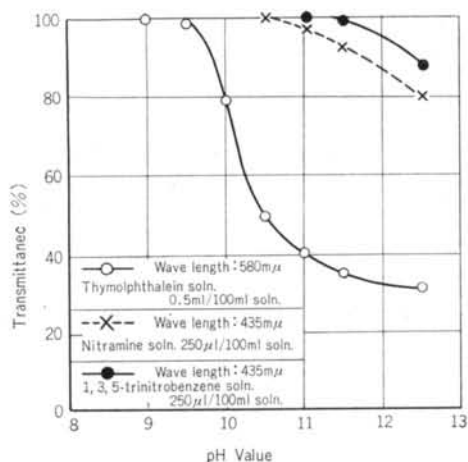
表-3 酸塩基指示薬の変色範囲(室温)⁹⁾

変化が不鮮明なアリザリンエロー-GG、トロペオリンO、ポアリエブルー-C4Bについては予備実験の段階で除外した。

水溶液の pH 値と、選択した各指示薬を添加して呈色させた後の透過率との関係を示したのが図-7であり、フェノールフタレイン溶液を添加した場合と同様、水溶液の pH の上昇とともに透過率は減少してゆくことを確認した。

また、コンクリートの試験体を割裂して一方の破断面にフェノールフタレイン溶液を、他方の破断面に他の指示薬を各々塗布してその呈色変化を観察した。

その結果、チモールフタレインではフェノールフタレインと大きな差異は認められなかった。しかし、ニトラ



図一七 水溶液の pH と各種指示薬を添加したときの透過率との関係

pH値	4	5	6	7	8	9	10	11
呈色	赤	黄橙	黄	緑黄	緑	青緑	青紫	赤紫

表一四 汎色指示薬の pH と呈色の関係

ミンおよび1・3・5-トリニトロベンゼンでは、フェノールフタレインで鮮明な呈色を示す部分でも肉眼では呈色は認められなかった。この事実は、最初にも述べたとおりコンクリートへのCO₂の浸入はかなり深くまで進んでおり、フェノールフタレインで呈色する領域でも、打設直後のpH12前後の強いアルカリ性は保持されていないことを示すものと考えられる。また、これらの指示薬はB点の検出にはある程度使えるようである。しかし3.3の項で検討したとおり、コンクリート表面の粉末度や含水率によってpHが一定しないことや、Ca(OH)₂の呈色挙動に不明な点があるためB点の検出には多少の疑問がある。また、1・3・5-トリニトロベンゼンは無水物は爆発性であり、実験には40%の含水物を使用するため、ここからも水分の導入がありさらに問題が深まる。

また、2種以上の指示薬を混合したもので色が急変することなく漸変する汎色指示薬 (universal indicator) としてメチルレッド、ブロムチモールブルー、 α -ナフトールフタレイン、フェノールフタレイン、およびチモールフタレインの5種の同量混合物のエタノール溶液につ

いても検討した。

この汎色指示薬は、表一四に示すようにpHによって各々の色を示して、その色の違いによりコンクリート表面からのpH変化はある程度判別できるが、上限がpH11程度であるため、炭酸化フロントを検出するには困難と思われる。しかし、強い酸性物質を浴びるような特殊環境にあるコンクリートのpH値測定用にはかなり有効と考えられる。

これらの種々の指示薬を用いても、結局は指示薬の呈色変化というものが水溶液中でのpHにもとづき、pHそのものは水溶液中での概念であるから、コンクリートの炭酸化現象に適用するとフェノールフタレインの場合に検討したと同様な問題点を含んでいる。

§ 4. あとがき

フェノールフタレイン溶液で呈色して未炭酸化と判定される領域にある鉄筋でも、実際にはさびているケースがあることに疑問をいただき、完全炭酸化領域と未炭酸化領域の中間に部分的に炭酸化された“部分炭酸化領域”が存在するという炭酸化モデルを仮定した。そして、これらの3つの領域の各境界点が、フェノールフタレインなどの酸塩基指示薬によって判別できるか否かについて検討した。

その結果、酸塩基指示薬による判定方法は、コンクリートの含水状態、コンクリート表面の粗滑度や粉末度の状態および酸塩基指示薬溶液の種類や塗布量によって影響されることが判明した。

未炭酸化と部分炭酸化領域の境界点である炭酸化フロントは、フェノールフタレイン溶液の呈色度合から肉眼観察によって判別するのは困難であるが、ニトラミンの呈色の有無によって、ある程度判定できる。

また、完全炭酸化と部分炭酸化領域の境界点は、炭酸化フロントの検出に比べれば比較的容易にフェノールフタレインで判定できる。

しかし、前述のような問題点を含んでいるため、今後判定方法を確立するためには、鉄筋の腐食機構の検討と並行して考えていく必要がある。

<参考文献>

- 1) W. Czernin (徳根吉郎訳)：“セメント・コンクリート化学” 技報堂 p. 39

- 2) G. W. Whitman, R. P. Rassell & V. J. Altieri: Industrial & Engineering Chemistsry Vol. 16, No. 7 (1924) pp. 665~670
- 3) 岸谷孝一: 日本建築学会学術講演梗概集(北海道) 昭和44年8月 pp. 95~96
- 4) 田代信雄, 是石俊文: コンクリート・ジャーナル Vol. 10, No. 11 (1972) pp. 12~23, セメント・コンクリート No. 304 (1972) pp. 14~23
- 5) 有泉昌, 近藤紀, 蒔田実: “セメント技術年報” XIV (1960) pp. 513~519, XVI (1962) pp. 296~300
- 6) E. Schober, V. Gaholow: “Baustoffindustrie” A 2 (1973) pp. 4~9
- 7) 浅野駿吉, 大岡陸夫, 井上嘉亀, 橋詰源藏: “セメント技術年報” XVI (1962) pp. 113~120
- 8) 東京天文台編: “理科年表(昭和49年)” 丸善
- 9) 高木誠司: “定量分析の実験と計算 2; 容量分析法” 共立出版
- 10) M. Hamada: “Proc. 5 th Intern. Symp. Chem. Cement, Tokyo, 1968” Vol. III (1969) pp. 343~384