

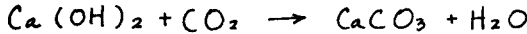
1. まえがき

コンクリートが種々の外的作用によって、その強度、耐久性を損われることを「劣化」と言う。一般に、この外的作用の中には、構造関係や荷重作用を含まないで、化学薬品、汚染水、海水、気象、大気、火災、電食などの使用・環境条件によるものを指して言うことが多い。

本報告は、これらの作用のうち炭酸ガスによる中性化、海水による浸食、火災による被害の劣化が見られるコンクリート構造物について、その現象、成因、過程などを調査したものである。

2. 炭酸ガスによる中性化

セメントと水とが反応して生成される水和物の中には水酸化カルシウムがあるために、コンクリートはpH 12~14の強アルカリ性を有している。水酸化カルシウムは、水の存在下で空気中の炭酸ガスと次のような反応をする。



ここに生成される炭酸カルシウムは中性である。そのためにこの反応を中性化または炭酸化と呼んでいる。

鉄筋コンクリート構造物では、コンクリートの炭酸化が進み水酸化カルシウムが消費されると鉄筋に対しての防錆作用が失われ、空気中の水分と酸素の作用によって鉄筋は錆を発生する。鉄筋のさびは、元の鉄筋より体積が大きく、かぶりコンクリートに膨張圧が作用しひびわれ、剥離、鉄筋露出などの欠陥を生じさせる。

中性化の進行度は、平均中性化深さで表われ、経過年数との関係は一般に次の式であり多くの実験式が導かれている。

$$x = A \sqrt{t}$$

ここで x : 平均中性化深さ t : 経過年数 A : 使用材料、配合などより定まる係数

中性化の進行度は、使用材料、配合、施工状態、環境条件など多くの要素に関係するが、なかでも水セメント比が最も重要である。いま普通ポルトランドセメント、川砂川砂利、減水剤を使用し通常に施工が行はれたとし水セメント比を変化させて上式の x を計算すると図-1の破線で示しによる進行度となる。

さて、首都高速道路の鉄筋コンクリート壁式高欄のうち中性化によるひびわれや鉄筋露出の被害が見られる箇所について、フェノールフタレンの着色反応を利用して実際に中性化深さの範囲を図-1に示した。使用したコンクリートの示方配合や採取試料の配合が新より水セメント比は約50%である。実験式より求めると、

14年経過の平均中性化深さは5mm以下であるが、実際値は3年経過でも5mm以上、13年経過で最大27mmにも達していた。これは、施工状態が悪く気密性、水密性に劣っていたのが原因と考えられる。

次に鉄筋のかぶり厚さの実測値も図示したが、ほとんどが20mm以下であって、中には0~5mmのものもある。中性化深さがかぶり厚さよりも大きいところでは、鉄筋は異形のフシが欠けたり断面が減少するほど激しく腐食しており、コンク

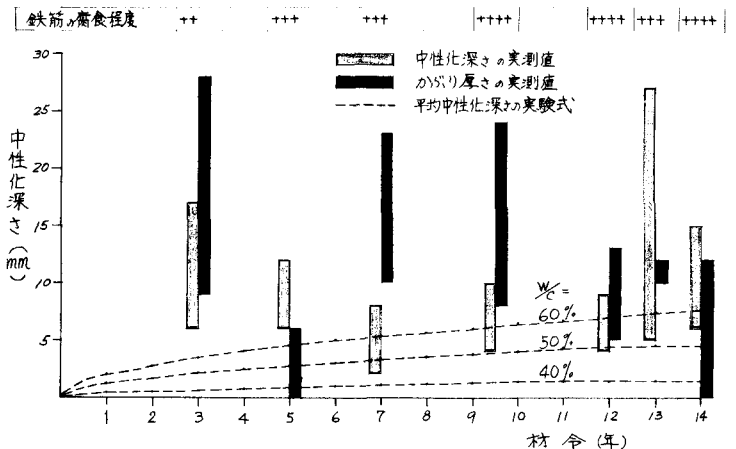


表-1 コンクリートの材令と中性化深さ

りートは膨張圧によってひびわれたり剥落を生じている。しかし、かぶり厚さが中性化深さより大きいところでも鉄筋の発錆程度はかぶり進んでいる。これは空隙、ブリージングの水みち、ひびわれはどから木、空気が浸入しにためであらう。

以上のように、中性化の進行度や鉄筋の腐食は、コンクリートの打込み、締固め、養生、かぶりの確保など施工状態によって大きく影響される。

3. 海水による侵食

コンクリートに対する海水の影響は、(1)海水の化学的作用 (2)波、潮流、浮遊物などによる物理的作用 (3)乾湿および凍結融解の繰返し作用 である。海水の化学的作用は、海水中の塩類がセメントペースト中のカルシウム分を溶出するとともに、大きな水和物(カルシウムスルフォアルミネート水和物またはエトリンガイト)を生成しコンクリートを膨張崩壊させ順次組織を破壊させる。海水による構造物の被害の大きいのは、感潮部および低水のかかる部分で、ここでは化学的作用のほか上記の(2)および(3)の作用を同時に受け侵食が促進される。

海水による侵食作用の激しい構造物の感潮部および空中部より試料を採取し、その化学分析とX線回折の結果を表-1に示す。セメント以外の成分は、骨材からの溶出成分とコンクリートへの浸入成分と考えられる。骨材の化学分析値は岩種により異なるが主な成分は、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 であるから残りの MgO 、 SO_3 は浸入成分である。感潮部では表面に硫酸分が多く、海水から浸入したものと考えられるが、空中部では逆に内部にかなり多くの硫酸分が認められる。これは、試料採取した部分にひびわれ、ブリージングの水みちなどがあり、そこから海水が浸入したものであろう。このことは、X線回折の結果からも推測でき、空中部のコンクリート内部では水酸化カルシウムが少く炭酸カルシウムが多く認められ中性化が進行している。また空中部ではカルシウムスルフォアルミネート(エトリンガイト)が検出されているが、これは海水がコンクリートに浸透したあと水分が蒸発し硫酸分が除去に多く残ったことが原因と推定される。

表-1 試料の化学分析とX線回折結果

試料	試験	化学分析(セメント以外成分)%					X線回折				
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	SO_3	水酸化カルシウム	炭酸カルシウム	エトリンガイト	未反応セメント	硫酸カルシウム
空中部	表面	+23.1	+10.6	+5.8	+2.8	-0.1	++++		+	+	+
	内部	+11.8	+7.9	+4.6	+2.2	+0.8	++	++	+	+	++++
感潮部	表面	+13.1	+8.5	+4.1	+1.2	+0.5	++++	++		+	+
	内部	+13.7	+8.2	+3.9	+0.6	-0.2	++++			+	+

感潮部では表面に硫酸分が多く、海水から浸入したものと考えられるが、空中部では逆に内部にかなり多くの硫酸分が認められる。これは、試料採取した部分にひびわれ、ブリージングの水みちなどがあり、そこから海水が浸入したものであろう。このことは、X線回折の結果からも推測でき、空中部のコンクリート内部では水酸化カルシウムが少く炭酸カルシウムが多く認められ中性化が進行している。また空中部ではカルシウムスルフォアルミネート(エトリンガイト)が検出されているが、これは海水がコンクリートに浸透したあと水分が蒸発し硫酸分が除去に多く残ったことが原因と推定される。

4. 火災による被害

写真は車輛が衝突炎上し火災を受けた鉄筋コンクリート橋脚である。表面が剥落しかぶりのひびわれを生じた。遊離石灰量より受熱温度を推定すると400℃程度であるが、コアを採取し試験を行ったところ圧縮強度526 kg/cm^2 、ヤング係数 $30 \times 10^4 kg/cm^2$ と所要の強度を保持しており、中性化深さは7~12 mmであり全体的に材質の低下は少なかった。コンクリートが高温に加熱された場合、骨材は膨張し逆にセメントペーストは収縮する。骨材とセメントペーストの膨張係数差により相互の結合が弱体化し組織が劣化する。またコンクリートの耐火性には、骨材の種類の影響が大きいことが多くの研究で報告されている。

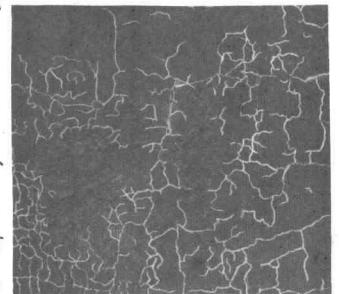


写真 火災を受けた構造物表面

今回の火災を受けた構造物を観察すると頁岩粒がかなり割れており、これに対して耐火性に富む珪岩や砂岩などの骨材粒は割れることはなく骨材とセメントペースト間の付着が外れている。このような状態から、コンクリート表面のうち頁岩粒が集中して分布しているような場所で、頁岩が急激に膨張、爆裂現象をおこし、骨材とセメントペーストとの付着がはくはれたためにコンクリートの表面部分が剥落したものであると考えられる。

火災の恐れのあるような構造物では、耐火性のすぐれた骨材を選択することや、かぶりを十分に確保することが必要である。