

## コンクリートの劣化原因

鉄筋コンクリート構造物の劣化は、コンクリートの劣化と鉄筋の腐食が引き金となり、それらが相互に関連して起こります。最近、特に社会問題化している塩害、アルカリ骨材反応などに起因する劣化の多くは化学的劣化外力によるものです。化学的劣化外力は気体と液体に分類でき、それらを中心に劣化外力が鉄筋コンクリート構造物の劣化に及ぼす影響をまとめると、下表のように整理できます。下表から明らかなように、化学的劣化外力による鉄筋コンクリート構造物の劣化は、酸素（ $O_2$ ）、二酸化炭素（ $CO_2$ ）及び水分（ $H_2O$ ）をコンクリート中においてどのように制御するかということに大きな意味があるものと考えられます。以下に、最近問題視されている塩害及びアルカリ骨材反応（ASR）、並びに鉄筋コンクリート構造物の代表的劣化要因としての中酸化及び凍害による劣化機構について述べます。

劣化外力	劣化要因	劣化要因が引き起こす作用	劣化現象
気体の浸透	$CO_2$ の浸透	コンクリートの中酸化	鉄筋の発錆
	$O_2$ の浸透	鉄筋の腐食に寄与	鉄筋の発錆
液体の浸透	$H_2O$ の浸透 (雨水)	鉄筋の腐食に寄与	鉄筋の発錆
		ASRに寄与 ASR生成物の吸水	コンクリート中の 膨張圧発生
		コンクリートの凍結融解	コンクリートの凍害
	コンクリート中に成分の溶出	コンクリート組織の破壊・ 汚れ	
	Cl <sup>-</sup> を含んだ $H_2O$ の浸透 (融雪剤、飛来塩)	鉄筋の腐食に寄与	鉄筋の発錆

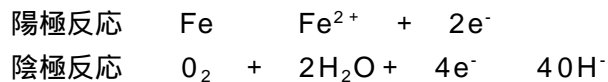
表 化学的劣化外力がコンクリート構造物に及ぼす影響

ASR・・・アルカリ骨材反応(アルカリシリカ反応)

## 鉄筋の腐食

コンクリートの強アルカリ環境下において、鉄筋はその表面が、厚さ20～60 の水和酸化物(  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  )から成る不動態皮膜に覆われており、腐食から保護されています。しかしながら、コンクリートが中性化してアルカリ度が低下したり、コンクリート中にある種の有害成分が存在すると不動態皮膜が破壊され、鉄筋は活性化して腐食しやすくなります。

コンクリート中の鉄筋の不動態皮膜を破壊する有害成分としては、ハロゲン化物イオン(  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Br}^-$ 、 $\text{I}^-$  )、硫酸イオン(  $\text{SO}_4^{2-}$  )、硫化物イオン(  $\text{S}^{2-}$  )などがありますが、特に塩化物イオン(  $\text{Cl}^-$  )の作用が強く、従って、鉄筋コンクリート構造物中の鉄筋の腐食は、コンクリートの中性化と塩害が引き金となって生じます。下図に、鉄筋腐食に基づく鉄筋コンクリート構造物の劣化過程を示します。コンクリートの中性化や塩害によって、鉄筋表面の不動態が破壊されると、鉄筋表面に局部電池が形成され、次のような反応が生じて、陽極領域から鉄イオン(  $\text{Fe}^{2+}$  )が遊離し、鉄筋の腐食が進行します。



更に、陽極領域で生じた鉄イオンは、陰極領域で生じた水酸化物イオン(  $4\text{OH}^-$  )と反応し、次のような反応を生じて、赤錆が生成されます。

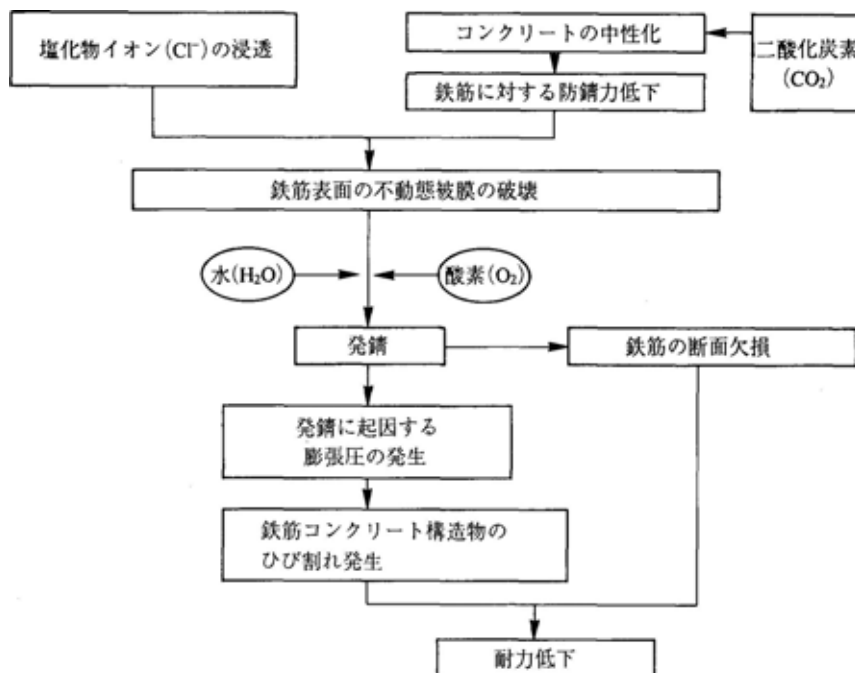
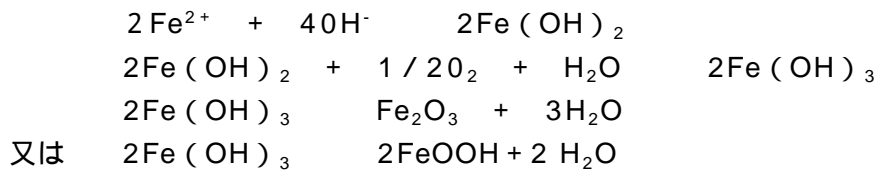


図 鉄筋腐食に基づく鉄筋コンクリート構造物の劣化過程

## 塩 害

塩害とは、コンクリート中に浸透した塩化物イオンによって鉄筋表面の不動態皮膜が破壊され、鉄筋の腐食が進行することです。従って海岸近辺の飛来塩による塩害対策で使用されるコンクリート保護材料の要求性能は、「しゃ塩性」「酸素透過阻止性」「水蒸気透過阻止性」「防水性（ひび割れ追従性）」が重要となります。また、道路や鉄道などの交差箇所等でのコンクリート片の落下による第三者への影響度が大きい場合、「耐押し抜き性」も加わります。

## 中性化

中性化とは、大気中の二酸化炭素とセメントの水和生成物である水酸化カルシウムが反応することによって起こり、鉄筋表面の不動態皮膜が破壊され鉄筋の腐食が進行することです。コンクリートが中性化して、コンクリート中の水酸化カルシウムが炭酸カルシウムに変化しても、コンクリートの物理的、機械的性質はほとんど影響されません。しかし鉄筋コンクリート構造物中においては、コンクリートの高アルカリ環境（pH12～13）下において、鉄筋表面には不動態皮膜が形成されていますが、コンクリートが中性化し、pHが10程度以下に低下すると、不動態皮膜の破壊が生じやすくなり、鉄筋腐食の進行が容易になります。従って中性化を防ぐには、コンクリート自体のかぶりを厚くする事のほかにコンクリート保護材料で中性化を進行させないことが大切です。この測定項目として「中性化阻止率」等の試験項目があります。

## 凍 害

凍害とは、一般的には水と直に接する機会が多く気象の厳しい地方に多く発生します。水が凍結すると拘束のない場合、約9%膨張します。コンクリート内で水が凍結した場合、未凍結水が微細な細孔を通してコンクリート内部に浸入します。凍害は昼夜で温度変化が激しく凍結融解が繰り返される箇所が発生し、それを受けたコンクリートは一次的には表面にひび割れが発生しますが、このひび割れが二次的に浸水あるいは中性化を促進させ、三次的に鉄筋を腐食します。従って凍害を防ぐには、コンクリート自体を緻密な構造にするとともにコンクリート保護材料の「防水性（ひび割れ追従性）」が重要となります。

## アルカリ骨材反応

一般的にコンクリートにおけるアルカリ骨材反応は、アルカリシリカ反応による鉄筋コンクリート構造物の劣化がほとんどであるため、アルカリシリカ反応をアルカリ骨材反応と称することにします。アルカリ骨材反応が生じた場合でも、コンクリート自体の耐久性には本質的にはあまり問題ではなく、アルカリ骨材反応によって生じる反応生成物（アルカリシリカゲル）が吸水して膨張し、コンクリートの劣化をもたらします。その過程を下図に示します。アルカリ骨材反応を引き起こす反応性シリカ鉱物としては、オパール、クリストバライト、トリジマイトなどが挙げられ、コンクリート用骨材として使用される安山岩や玄武岩に含まれて供給されます。これらの反応性シリカ鉱物を含む骨材を反応性骨材と称します。アルカリ骨材反応に起因するコンクリートの膨張は、反応生成物であるアルカリシリカゲルの吸水によるものであり、アルカリ骨材反応の量そのものには必ずしも比例せず、反応生成物であるアルカリシリカゲルの吸水量に比例すると考えられています。従って、これを防ぐには反応成分に水分を補給させないことが重要です。しかしながら、膨張の終了しているものあるいは膨張量の小さいものであれば補修も可能だが進行中のものに対する補修はきわめて難しいことです。

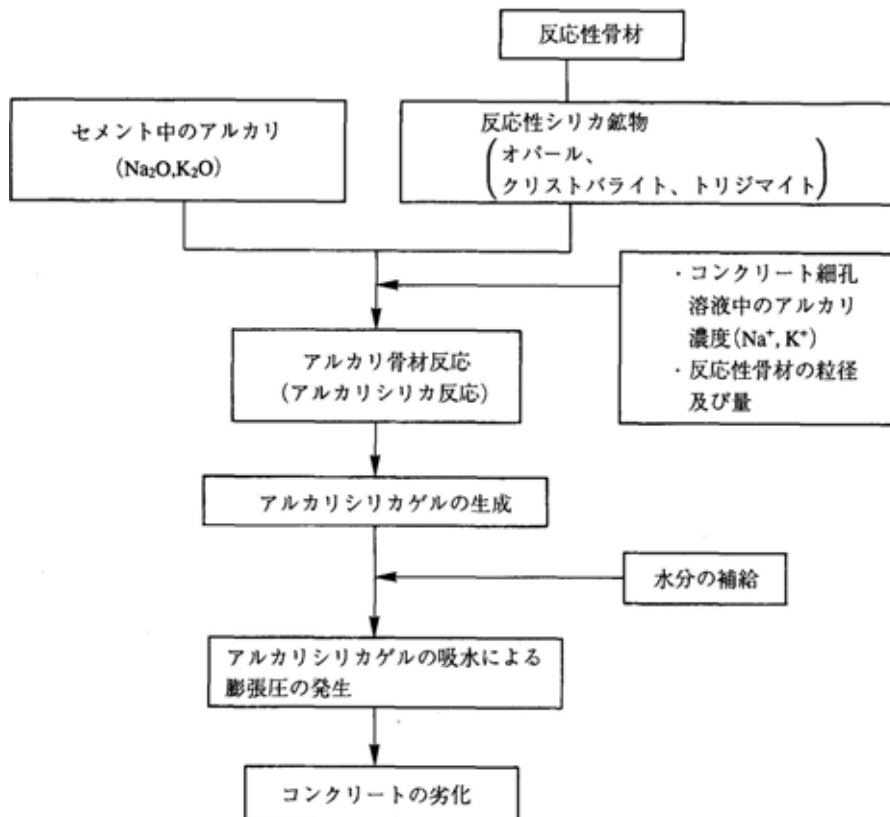


図 アルカリ骨材反応によるコンクリートの劣化過程