

【第 I 編 設計・施工基準】

1. 概 要

1. 1 アルカリ骨材反応

アルカリ骨材反応 (AAR; *Alkali-Aggregate Reaction*) とは、セメントと骨材の反応によってコンクリートが膨張する現象を1940年に発見者のT. E. Stantonが名付けたものである。当初、AARはアルカリ・シリカ反応 (ASR: *Alkali-Silica Reaction*) と同意義に用いられていたが、その後の研究により、現在では一般に下記の3種類に分類されている。この中で日本において最も多く見られるのは、アルカリ・シリカ反応 (ASR) である。

① アルカリ・シリカ反応 (ASR: *Alkali-Silica Reaction*)

- ・1940年にStantonにより発見 (アメリカ)
- ・骨材岩石中のシリカ成分とアルカリ金属イオン (Na^+ 、 K^+) が化学反応を起こし (反応リング)、吸水膨張性のゲル状物質を生成する (反応生成物)。これが、水分の供給を受けることにより局部的容積膨張を生じ、コンクリートにひび割れを発生させる。(図1.1-1～図1.1-3参照)

② アルカリ炭酸塩岩反応 (ACR: *Alkali-Carbonate Reaction*)

- ・1957年にSwensonにより発見 (カナダ)
- ・ドロマイト質石灰岩とアルカリ金属イオンが反応

③ アルカリ・シリケート反応 (*Alkali-Silicate Reaction*)

- ・1975年にGillottにより発見 (カナダ)
- ・骨材岩石中の粘土成分 (シリケート) とアルカリ金属イオンが反応 (アルカリ・シリカ反応の一種とする見解もある)

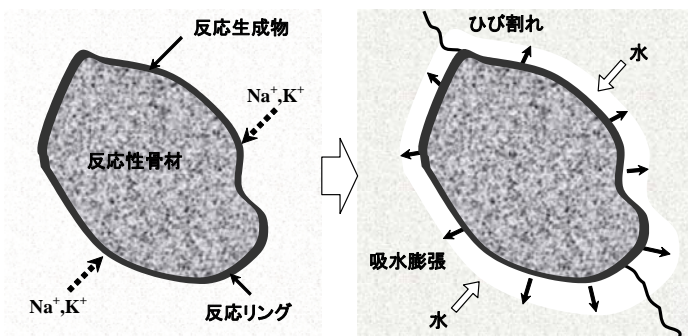


図 1.1-1 アルカリ骨材反応のメカニズム

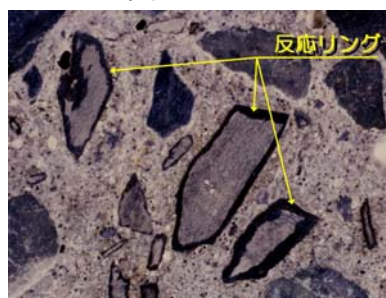


図 1.1-2 反応リング



図 1.1-3 反応生成物

一般にASRに起因する劣化は、膨張作用によりコンクリート表面に亀甲状あるいは部材拘束方向のひび割れが発見されることで初めて確認されることが多い。図1.1-4～図1.1-6に劣化事例を示す。



図1.1-4 劣化事例①(アバット)



図 1.1-5 劣化事例②(擁壁)



図 1.1-6 劣化事例③(橋脚)

1. 2 従来の補修方法

ASR を生じた構造物には従来、以下に示す劣化因子の遮断を目的として主に表 1.2-1 に示すような対策が講じられてきた。

- ① 外部からの水分の供給抑制
- ② 内部からの水分の散逸促進
- ③ 外部からのアルカリの供給抑制

その中で表面被覆工（呼吸型被覆材図 1.2-1）及び含浸材塗布工（シラン系撥水材）は上記①～③全てに対して有効であるため、多くの補修事例がある。

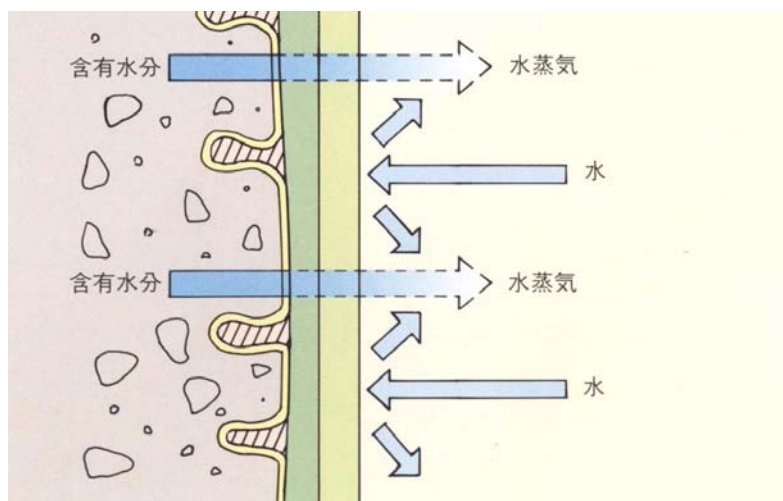


図 1.2-1 呼吸型被膜材のイメージ

表 1.2-1 ASRによって劣化した構造物の補修・補強一覧 「コンクリートの診断技術'05[基礎編] (日本コンクリート工学協会) に加筆」

		潜伏期 (I)	進展期 (II)	加速期 (III)	劣化期 (IV)	
		AAR そのものは進行するもの膨張およびそれに伴うひび割れがまだ発生しない。	水分とアルカリ供給下において、膨張が継続的に進行し、ひび割れが発生する。	AAR による膨張が顕著に現れ、膨張速度が最大を示す段階であり、ひび割れが進展する。	ひび割れの幅および密度が増大、鋼材腐食が進行するとともに、過大な膨張が発生したときには、鋼材の降伏や破断が発生して、耐荷力に影響を及ぼす。	
		膨張状態 Ia (潜伏期)	膨張状態 Ib (進展期)		膨張状態 Ib (進展期), II (収束期), III (終了期)	
		工 法	工 法	工 法	工 法	
耐久性 改善・ 向上	劣化因子の遮断		ひび割れ補修 (ひび割れからの腐食性物質の侵入防止)	ひび割れ補修 (ひび割れからの腐食性物質の侵入防止)	ひび割れ補修 (ひび割れからの腐食性物質の侵入防止)	
		表面被覆工 (表面からの水分の侵入防止)	表面被覆工 (表面からの水分の侵入防止)	表面被覆工 (表面からの水分の侵入防止, 及び剥落防止)	表面被覆工 (表面からの水分の侵入防止, 及び剥落防止)	
		含浸剤塗布+表面被覆 (撥水剤の含浸塗布+コンクリート中の水分が蒸発可能な表面被覆)	含浸剤塗布+表面被覆 (撥水剤の含浸塗布+コンクリート中の水分が蒸発可能な表面被覆)	含浸剤塗布+表面被覆 (撥水剤の含浸塗布+コンクリート中の水分が蒸発可能な表面被覆)		
	劣化部分の除去	断面修復 (劣化部分の除去と鉄筋の防食)	断面修復 (劣化部分の除去と鉄筋の防食)	断面修復 (劣化部分の除去と鉄筋の防食)	断面修復 (劣化部分の除去と鉄筋の防食)	
	劣化 速度 の 抑制	表面膨 張抑制	含浸材塗布・注入 (リチウム系化合物の塗布含浸・注入)	含浸材塗布・注入 (リチウム系化合物の塗布含浸・注入)	含浸材塗布・注入 (リチウム系化合物の塗布含浸・注入)	
		内部膨 張抑制	拘束 (FRP, 鋼板巻立, PC 巻立など)	拘束 (FRP, 鋼板巻立, PC 巻立など)	拘束 (FRP, 鋼板巻立, PC 巻立など)	
耐荷力, 変形性能の 改善・向上					補強 (FRP・鋼板巻立など)	
					補強 (3面鋼板接着工)	
			打ち換え (劣化した部材のコンクリートによる打ち換え)			

1. 3 最近のASR劣化状況及びASR抑制の重要性

ASRの膨張作用に起因するひび割れは、これまではコンクリート表面部分に発生し、鉄筋より内部には達していないと考えられていた。このため、前述のような表面部分に対する補修対策が行われてきた。しかし、昭和60年代に従来の工法で補修された構造物の中には劣化の進行によりひび割れの再発が見られるものもあり(図1.3-1)、橋脚等の部材断面の大きな構造物などでは、ASRの進行により内部においてもひび割れが発生している事例や(図1.3-2)、さらには、コンクリートの膨張により鉄筋(主筋・配力筋)が破断した事例も見られることから(図1.3-3)、従来の対策では構造物によっては十分な補修効果が得られていない場合もあることが明らかになってきた。また、コンクリート強度および弾性係数が著しく低下してきている構造物も見られ(図1.3-4)、このような状況に至ると耐荷力の回復に多大な補強対策が必要となるため、そのような事態に至る前でのASRによる膨張の抑制が重要であると考えられる。



図 1.3-1 補修後劣化事例

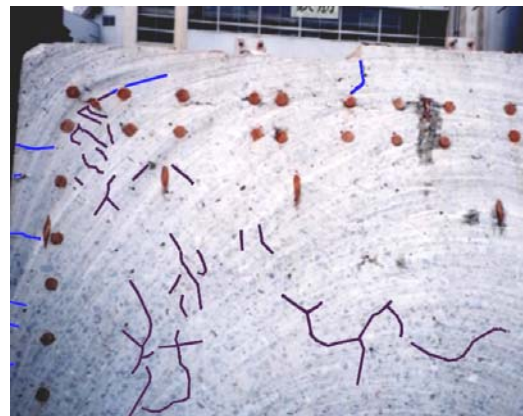


図 1.3-2 内部のひび割れ発生状況



図 1.3-3 鉄筋が破断した例

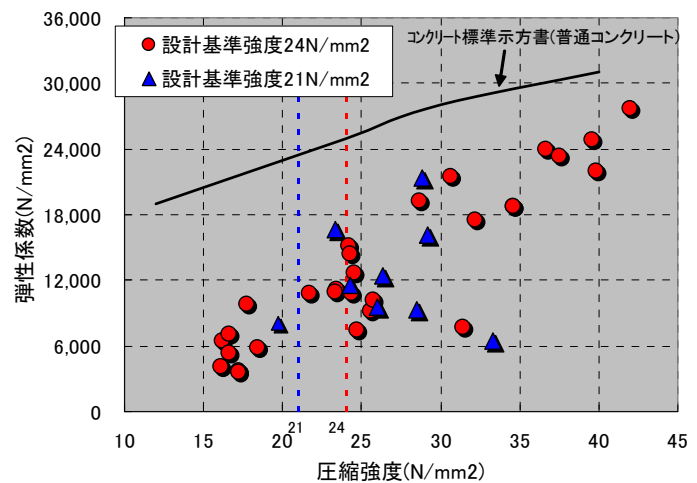


図 1.3-4 ASR劣化構造物の圧縮強度・