

論文

[1162] アルカリ骨材反応抑制型補修材に関する一研究

正会員 立松 英信 (鉄道総合技術研究所)

正会員 ○高田 潤 (鉄道総合技術研究所)

半田 実 (電気化学工業)

飯田 達郎 (電気化学工業)

1. まえがき

アルカリ骨材反応に起因したコンクリートの劣化が顕在化して以来ほぼ10年を経過し、この間コンクリート構造物の耐久性を維持・向上させるために、材料的にも施工的にも幾多の補修法が試みられてきた。補修後の構造物の追跡調査からすると、表面コーティング材としてはコンクリート内部の水を外部へ排出する機能を有する透湿性の無機質の材料が有利であることが判ってきた。また、無機質のものはコンクリートと同質で躯体とのなじみがよく、耐久性や再補修性が優れていることから、ひびわれ注入材や断面修復材にも利用されるようになってきている。

劣化の進行を抑制する方法としては、防水処理の他にコンクリート中のフリーなアルカリ金属イオン ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) を軽減することが有効である。そこで、筆者らはアルカリ金属イオンを吸着するようゼオライトを改質し、セメントをベースとしたバインダーに混入してひびわれ注入材や断面修復材などの劣化抑制型の補修材として活用するため、その基本的な物性について検討を行った。本報告では断面修復材について試験した結果について報告する。

2. 試験概要

2.1 ゼオライトの改質

ゼオライトは大きな陽イオン交換能を有するアルミノ珪酸塩の一種で、一般に、2価金属イオン ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) と比べて1価金属イオン ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) の吸着選択性に優れている [1]。ゼオライトを劣化抑制型の補修材として利用するため、ナトリウム型ゼオライトを陽イオン交換処理し、1価金属イオンを吸着するよう高カルシウム型に改質した (以下、これを改質ゼオライトと呼ぶ)。改質ゼオライトの形態および組成を図-1および図-2に示す。

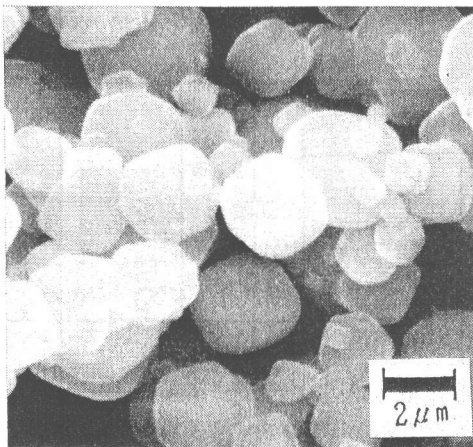


図-1 改質ゼオライトの形態

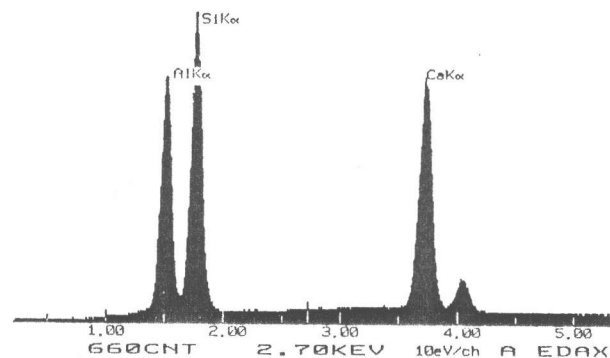


図-2 改質ゼオライトのX線分析結果

## 2. 2 促進膨張試験

### (1) 供試体の作製

供試体は、寸法40×40×160mm のモルタルとし、両端に長さ変化測定用のゲージプラグを埋め込んだ。骨材は反応性のものとしてオパール（化学法による判定：有害、Sc=522mmol/l、Rc=168mmol/l）、非反応性のものとして新潟県産の川砂を使用し、反応性骨材混入率は15%とした。また、使用したセメントはアルカリ量が0.60%R<sub>2</sub>O（0.25%Na<sub>2</sub>O、0.53%K<sub>2</sub>O）の普通ポルトランドセメントで、試薬のNaOHを添加して全アルカリ量が3.0%R<sub>2</sub>O に調製した。供試体は、セメント100重量部に対し改質ゼオライトを0、10、30重量部混入した3種類とし、水/粉体比は50%とした。

### (2) 膨張率の測定

各々の供試体は脱型後ただちに基長を測定し、その後温度40℃、相対湿度95%以上の雰囲気中で養生した。各材令においては20℃、95%RH以上の雰囲気に24時間保存してから膨張率の測定を行った。なお、膨張率はJIS A 1129のダイヤルゲージ法に準拠し、各材令において長さ変化率として求めた。

## 2. 3 アルカリ吸着試験

### (1) 供試体の作製

供試体の形状および寸法は図-3のとおりで、最初に、中空状のモルタルを普通ポルトランドセメントを使用して打設し、全アルカリ量を試薬のNaOHにより3.0%R<sub>2</sub>O に調製した（これを、高アルカリモルタルと呼ぶ）。24時間経過した後、中空箇所に劣化抑制型の補修用モルタルとして特殊セメント100重量部に対して改質ゼオライト30重量部を混入したモルタルを充填した。特殊セメントの主成分は表-1のとおりであり、施工時の乾燥収縮を考慮して膨張材を添加したものである。また、比較検討のため、中空箇所に特殊セメントのみを充填した非抑制型のモルタルも作製した。なお、これらの配合は表-2のとおりで、骨材としては、アルカリを分析することを考慮してアルカリ成分を含まない珪砂を使用した。

表-1 特殊セメントの主成分

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
19.0	5.1	3.1	64.0	0.7	7.5	0.17	0.31

単位:Wt%

表-2 供試体の配合

	高アルカリモルタル			特殊セメントモルタル（補修材）			
	セメント	珪砂	水	特殊セメント	改質ゼオライト	珪砂	水
抑制型	100	200	55	100	30	200	55
非抑制型				100	0	200	55

単位:重量部

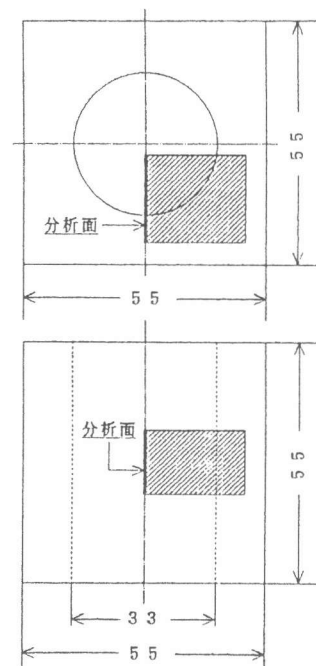


図-3 供試体の形状と寸法

## (2) アルカリ量の分析

作製したモルタル供試体を40°C、95%RH以上の雰囲気中で90日間養生した後、図中の斜線で示す部分を切り取って分析用試料とした。次に、走査電子顕微鏡 (SEM) とそれに付加されたエネルギー分散型X線分析装置 (EDXA) を用いて、特殊セメントモルタル部分 (補修材) について、高アルカリモルタルとの界面から中心部までセメント硬化体中の $\text{Na}_2\text{O}$ 量を分析した。なお、 $\text{Na}_2\text{O}$ の分析は、S/N比を上げるために1000秒の測定時間とし、標準長石による検量線 [2] を用いた。

## 2. 4 物理的特性試験

### (1) 供試体の作製

膨張材を含む特殊セメントに改質ゼオライトを混入し、表-3に示す補修用モルタル供試体を作製した。供試体寸法は40×40×160 mmで、骨材は新潟産の川砂を用いた。

### (2) 物理的特性の測定

供試体は脱型後、20°C、60%RHで養生し、基準材令においてJIS A 5201に準拠して曲げ強度と圧縮強度、JIS A 1129に準拠して乾燥収縮量を測定した。

表-3 供試体の配合

セメント	改質ゼオライト	骨材	水
100	0	200	48
100	20	200	58
100	30	200	62

単位：重量部

## 3. 結果および考察

### 3. 1 膨張抑制効果試験

改質ゼオライトの混入の有無によるモルタル供試体の膨張特性は図-4に示すとおりで、材令24週で膨張率は無混入のものが0.45%、10%混入が0.27%、30%混入が0.10%となっている。このように、改質ゼオライトの混入による膨張抑制効果は無混入のものと比較すると、10%混入で約1/2、30%混入で約1/4に抑制されており、改質ゼオライトがモルタル中のアルカリ金属イオンを吸着し、アルカリ骨材反応による劣化を抑制できることが示された。

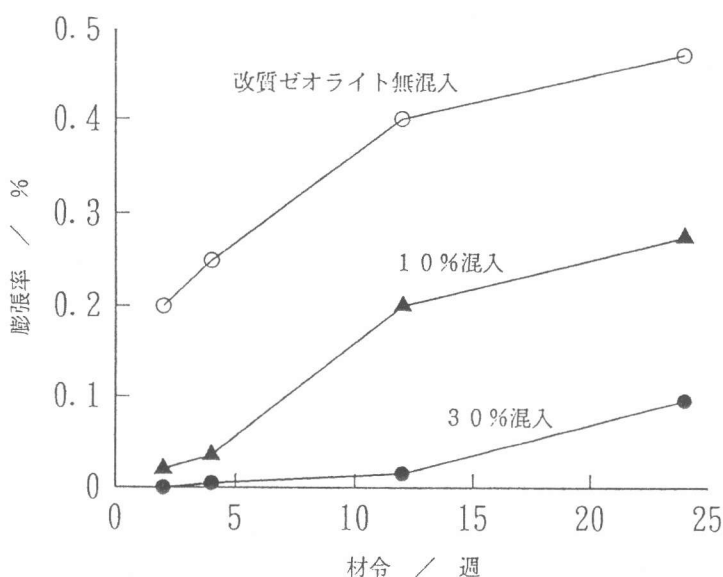


図-4 改質ゼオライトの膨張抑制効果

### 3. 2 アルカリ吸着試験

供試体中心部の補修材について、周囲の高アルカリモルタルとの界面、すなわち、接合面から中心部へかけての $\text{Na}_2\text{O}$ の重量濃度変化を図-5に示す。改質ゼオライトを混入したものは、 $\text{Na}_2\text{O}$ として界面付近では3.0%以上、界面から6mm程度の深さまでは2.0%以上となり、無混入のものと比較して明らかに高くなっており、大きな濃度勾配を有している。また、無混入のものでは拡散により内部まで浸入しているが、濃度勾配はほとんどなく浸入量も1.5%程度で低くなっている。セメント硬化体にフリーなアルカリが過剰に存在すると骨材と化学反応を引き起こすが、補修材

に改質ゼオライトを混入すると、躯体中に存在する過剰なアルカリの一部は、水分の移動に伴って補修材に取り込まれて固定されるため、反応を引き起こすアルカリの軽減により劣化の抑制が期待される。

### 3. 3 物理的特性試験

モルタル供試体の強度および収縮量の測定結果は表-4のとおりで、材令28日で改質ゼオライトを混入した供試体の圧縮強度は500Kgf/cm<sup>2</sup>以上となっており、断面修復材として十分な強度が得られている。また、いずれの材令においても強度および乾燥収縮量は無混入の場合と大きな違いはなく改質ゼオライトの混入による悪影響は認められない。

なお、普通ポルトランドセメントを使用したモルタルの収縮量は通常0.1%程度であり、本補修材はそれより小さいことが判る。

### 4. まとめ

高カルシウム型に改質したゼオライトを添加したモルタル供試体のアルカリ骨材反応抑制効果、補修材としてのアルカリ吸着効果、物理的特性などについての試験の結果、次のことが明らかになった。

- ①高カルシウム型ゼオライトを添加すると、硬化体中のフリーなアルカリ金属イオンと陽イオン交換反応を生じ、アルカリ金属イオンはこのゼオライトに固定されて膨張を抑制する。
- ②膨張材を含む特殊セメントからなる補修材に高Ca型ゼオライトを混入しても、強度低下や施工時の乾燥収縮量も小さく、アルカリ吸着性能を付加することができる。

また、筆者らは、断面修復材のほかセメント・スラグの微粉末に改質ゼオライトを混入したひびわれ注入材についても検討し、現在、これらの劣化抑制型補修材を実構造物で試験的に施工しているが、より性能のよい材料に発展させたいと考えている。

#### [参考文献]

- 1) 立松英信：青函トンネルにおける粘土鉱物と湧水水質に関する研究、鉄道技術研究報告、No. 1256、pp71-74、1984. 3
- 2) 立松英信・高田潤・滝永進：アルカリ骨材反応生成物のキャラクタリゼーション、粘土科学、Vol. 26、No. 3、1986. 8

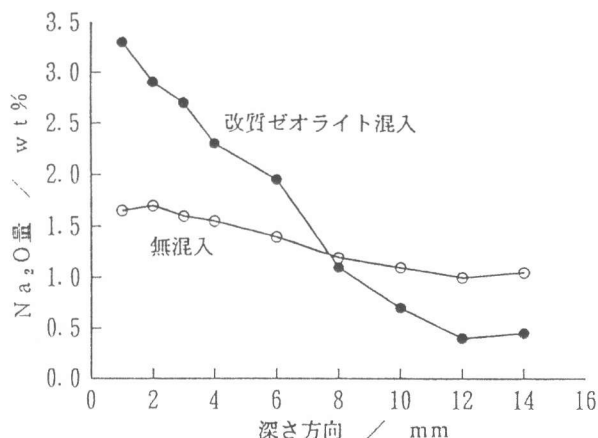


図-5 アルカリ吸着能の比較

表-4 モルタルの物理特性

材令 (日)	改質ゼオライト 混入率 (%)	圧縮強度	曲げ強度	乾燥収縮量
		kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	×10 <sup>-4</sup> cm
1	0	109	28.1	2.1
	20	75	24.0	3.8
	30	92	23.9	3.8
7	0	453	71.4	3.4
	20	448	80.7	4.6
	30	448	78.9	4.2
28	0	598	98.3	6.6
	20	536	78.7	7.2
	30	567	84.2	6.6