

III-320

人工軟岩材料の開発（その2）

— 水和生成物と長期安定性 —

東京電力株式会社 ○正会員 百瀬和夫

正会員 岸 清

鹿島建設株式会社

山本博之

1. まえがき

筆者らは、重要構造物基礎地盤の置換材料として、周辺岩盤と同等物性を有し、長期的に安定である人工軟岩材料を開発・実用化した。本人工軟岩材料は、現地発生材の泥岩を特殊な解こう機で湿式粉碎して“泥岩スラリー”を作り、これに砂及び固化材を混合し、固化するものである。ここで、使用する固化材は、クリンカー（62%）、高炉水砕スラグ（20%）及び石膏（18%）を混合粉碎したもので、水和反応は基本的には高炉セメントと同様であるが、特に、石膏の混合比率を多くしていることから、ケイ酸カルシウム水和物とエトリンガイトの生成が主体となる。さらに、人工軟岩材料中の水和反応としては、固化材の水和反応に加えて、材料中の泥岩に含まれる粘土鉱物とのポゾラン反応によって、ケイ酸カルシウム水和物が生成される。

本文では、本人工軟岩材料の水和生成物と長期安定性試験の結果について示す。

2. 使用材料

試験に使用した材料は、現地発生材料である泥岩と砂及び固化材である。これら材料の組成及び成分を表-1に示す。

3. 試験方法

試験に供した材料配合を表-2に示す。本配合は、密度は $1.70 \sim 1.80 \text{ g/cm}^3$ 、強度（一軸圧縮強さ）は $35 \sim 45 \text{ kgf/cm}^2$ を目標としたものである。人工軟岩材料の水和物の生成については、ごく初期材令から長期材令にわたって、電子顕微鏡観察とX線回折によって調べた。

長期安定性試験は、海水、地下水、中性化等に対する抵抗性をみるために、各種の浸漬試験を実施し、材料の劣化の有無を調べた。

4. 試験結果及び結果の検討

(1) 水和生成物の追跡試験結果

電子顕微鏡観察による水和生成物追跡試験結果の代表例を写真-1～4に示す。これらの結果から、以下のことが明らかとなった。

- 本材料の水和生成物は、材令12時間では、少量の針状結晶（エトリンガイト）が認められ、材令7日を経過すると針状結晶は発達し、また、ゲル状の物質（C-S-Hゲル：けい酸カルシウムのゲル状水和物）も認められるようになる（写真-1、2）。
- 材令91日では、針状のエトリンガイトは空隙を埋めるように発達し、これに絡むような形でC-S

表-1 使用材料の組成・成分

組成・成分 材料	土和子の比重 G	粒 度 組 成					コンステンシー			
		砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)	Dmax (mm)	土質分類	W _L (%)	W _p (%)	I _p	
泥 岩	2.68	12	40	48	2.0	MH	78	46	32	
砂	2.67	96	4	—	2.0	SPU	—	—	—	
固 化 材	混合割合 (%)		化 学 成 分 (%)							
	クリンカー	スラグ	石膏	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	
	62	20	18	20.4	6.4	2.0	53.6	2.0	9.4	

表-2 試験に供した人工軟岩材料の配合

単 位 量 (kg/m ³)				湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)
泥 岩	砂	固化材	水	
230	700	180	597	1.71

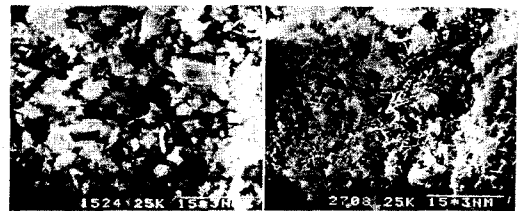


写真-1 材令12時間電子顕微鏡写真

写真-2 材令7日電子顕微鏡写真

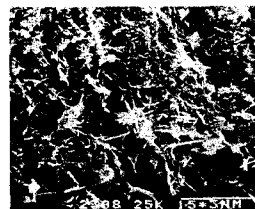


写真-3 材令91日電子顕微鏡写真

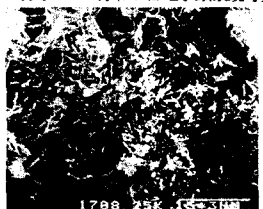


写真-4 材令4年電子顕微鏡写真

—Hゲルが生成している（写真—3）。

c. 材令4年を経過しても水和物の生成状況は、材令91日と同様であり、エトリンガイト及びC—S—Hゲルが主体をなしている（写真—4）。

また、X線回折による水和生成物追跡試験結果は図—1に示すとおりであり、材令の経過に伴ってエトリンガイトとC—S—Hゲルの生成が認められ、6ヶ月以降においては、ほとんど変化していない。

(2) 長期安定性試験結果

長期安定性試験結果の代表例を図—2～3に示す。試験結果から以下のことが明らかとなった。

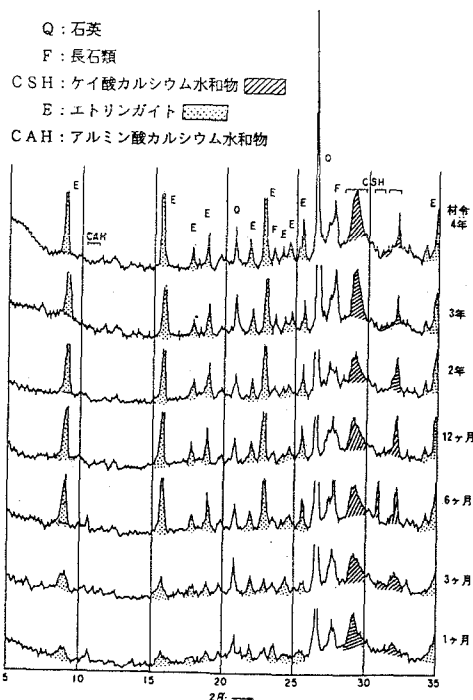
a. 硫酸ナトリウム水浸漬試験は、海水中の硫酸塩の化学作用に伴う膨張に対する安定性を確認するために実施したものであるが、浸漬供試体の重量変化は1.8%増、長さ変化は膨張で 100×10^{-6} 程度であり、強度変化はほとんど認められなかった（図—2）。

b. 重炭酸ナトリウム水浸漬試験は、地下水中の炭酸物質の化学作用による中性化に対する安定性を確認するために実施したもので、浸漬供試体の重量変化は0.4%増、長さ変化は膨張で 90×10^{-6} とわずかな変化であり、強度変化もほとんど認められなかった（図—3）。

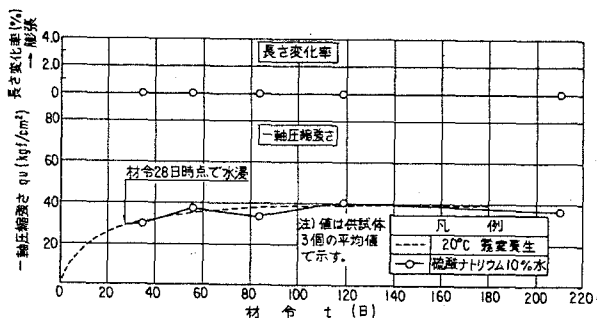
また、これらの試験以外に塩化ナトリウム水浸漬試験、イオン交換水浸漬試験等を実施しており、長期的に安定していることを確認している。

5. あとがき

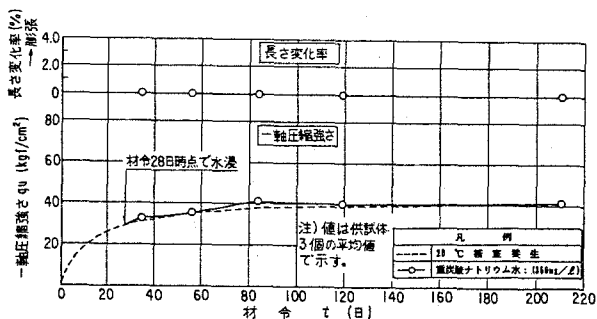
以上、本人工軟岩材料の水和生成物の生成状況及び長期安定性に関する試験結果の一例を示したが、本材料の水和反応は、基本的には、高炉セメントと同様であり、水和生成物は材令の経過と共にけい酸カルシウム水和物、エトリンガイトが発達し安定化していくことが明らかになった。また、長期安定性については、一連の試験結果より海水、地下水、中性化等に対し、十分安定であることが確認された。



図—1 人工軟岩材料のX線回折結果



図—2 硫酸ナトリウム水浸漬試験結果



図—3 重炭酸ナトリウム水浸漬試験結果