

III-35

耐久性裏込め材（水ガラス系）の開発研究
（その1）

㈱シモダ技術研究所 正 下田 一雄
サンコーケミカル㈱ 木村 昌義
第一セメント㈱ 鯉淵 清

1. まえがき

最近、シールドトンネルの裏込め注入に於いて、モルタル等の一液性注入材の難点である充填性、止水性、早期強度の発現及び作業性等の施行面も大幅に改善した水ガラス系二液性裏込め材が多く用いられる様になった。しかし、その反面二液性は、裏込め材として最も重要な性質である耐久性に難点があると言われていた。そこで、この耐久性に関する問題点を解決すべく研究を行ったところ、耐久性に優れた硬化発現材（カルメントSS）を開発できた。

ここでは、この硬化発現材を用いた二液性（可塑状型）裏込め材の性質、及び同裏込め材を耐久性に最も影響を受けやすい海水に養生した場合の実験例について報告する。

2. 水ガラス系二液性裏込めに用いる耐久性硬化発現材

今回、新たに開発した耐久性硬化発現材は、スラグを主成分とし、これにセメントと石灰を適正配合した3成分とからなる。このスラグセメント-石灰系（以下スラグ系と称する）は表-1に示すようにセメントとほぼ同じ成分からなっており、また粉末度もセメントとほぼ同程度である。

3. 実験概要

表-1 スラグ系、セメントの成分と物性

品 種	化 学 成 分（％）					比 重	ブレン値 (cm ² /g)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO		
スラグセメント-石灰系	26.6	9.4	51.0	1.3	3.8	2.97	3,910
普通ポルトランドセメント	21.3	4.8	62.3	2.8	1.2	3.16	3,260

実験に用いた材料は、硬化発現材としてスラグ系及びセメント（普通セメント）、骨材として粘土鉱物微粉末、固結剤として特殊水ガラスを用いた。二液性可塑状型裏込め注入剤の配合、性状及び性質を表-2に

示す。表-2の配合のゲル化時間と液温の関係を図-1、早期強度の発現を図-2、長期強度の安定性（耐久性）を図-3に示す。また、図-3の材令2年時の硬化体中心部（4×4×16cm）のX線回折結果を図-4に示す。なお、長期強度の供試体は砂中に埋め海水に十分満たした状態で養生した。

表-2 実験に用いた可塑状型裏込め材の配合並びに諸性質

硬化発現材（注材の種類）	合					性 状 性 質（化学的並びに物理的）							
	A 液 (1,000ℓ)				B 液 固結剤 (ℓ)	A 液			B液 粘性 cps	A + B 液			
	硬化発現材 (kg)	骨 材 (kg)	安定剤 (kg)	水 (ℓ)		可使時間 (時間)	ブリージング (%)	流動性 (秒)		ゲル化時間	早期強度 可塑性保 持時間含	長期強度 耐久性	
スラグ系 スラグセメント -石灰)	300	60	1.0	874	80	約6時間	5% 以下	9.5	40	図-1	図-2	図-3	
セメント（普通セメント）	300	60	1.0	880	80	約3時間	5% 以下	9.3	40				

4. 実験結果と考察

二液性（可塑状型）裏込め材は、表-2に示すようにA液として硬化発現材、粘土系骨材及び遅延剤とからなり、流動性が良く、しかも可使時間が長いモルタルであるため、長距離圧送が可能である。このA液にB液（固結剤）を比例混合すると図-1に示すように短時分（約20秒以下）で固結（ゲル化）させることが

出来る。この液温によるゲル化時間の影響の度合いは、セメントよりもスラグ系の方が少なく、この点現場での施工管理が容易となる。次に、ゲル化後から1日までの早期強度の発現状態を図-2でみると、硬化発現材がセメントに比べてスラグ系の方が、可塑固結範囲は長く保持でき充填性には優れた性質を備えている。

一方、早期強度の発現はスラグ系が1時間で約0.3kgf/cmであるのに対し、セメントでは約1.0kgf/cmと非常に高い早期強度が得られることがわかる。更に、海砂中に長期養生した図-3をみると、セメントの場合、固結強度は1ヵ月で最も高い値を示すがその後時間経過と共に強度は低下（劣化）し、2年後ではピーク時の約60%の強度しか示していない。これは明らかにセメントのみの場合には長期安定性は期待できず、耐久性に問題があると言わざるを得ない。これに対してスラグ系はセメントより固結強度も高く、また、最も厳しい条件である海水が存在しても強度の低下（劣化）はなく耐久性を損なう傾向はみられない。この図-3の結果を裏付けるように、材令2年時の硬化体のX線回折結果（図-4）によれば、セメントの場合は塩素イオンが中心部まで浸透し、多量のフリーデル氏塩（ $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ）を生成しているのに対し、スラグ系は極く少量のフリーデル氏塩が検出されている程度である。また、エトリンガイト（ $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ）セメント中のC/Aと石膏あるいはスラグと反応して生成する場合と海水中の硫酸イオンが浸透して生成する場合の二通りが考えられる。

この実験の場合はエトリンガイトの生成量からみて、前者の反応による所が大きいと推察され、かつスラグ系は硬化体の膨張亀裂も観察されていないことから問題視する必要もなからう。

このことから適切な割合で配合されたスラグセメント-石灰系硬化材は優れ耐海水性を有していることが分かる。

5. あとがき

耐久性は裏込め材の重要な性質であるが、水ガラス系二

液性については、必ずしも「耐久性に問題はない」という評価は得られていない。これは、耐久性についての文献等ほとんどないことや試験（特に養生）方法が確立していないことも一因である。しかし、今回行った最も厳しい海水での試験例からみて、耐久性を考慮するならば硬化発現材としてセメントのみよりも、スラグ系の方が耐久性に優れていることは明白である。今後は、裏込め材の配合比、強度、養生（水）条件等の違いが耐久性にどのように影響されるかを定量的な実験を行う予定である。

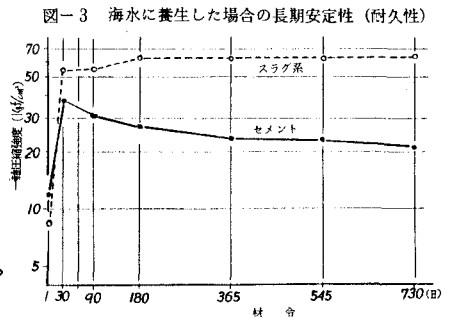
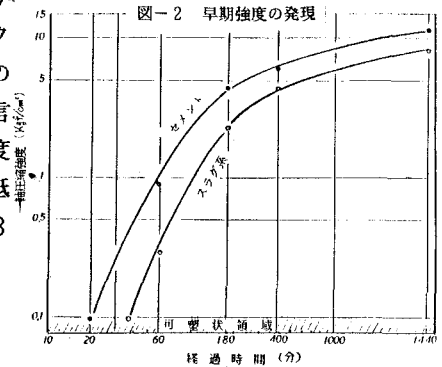
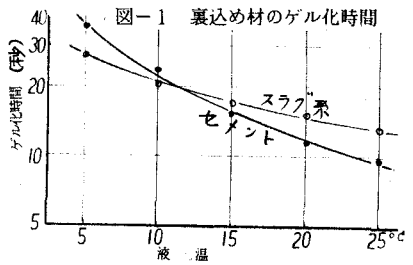


図-4 材令2年時の硬化体中心部のX線回折図

