

VI-75

シールド裏込材料の水密性向上技術の研究（その2）

鶴竹中土木 技術本部

正会員 伊藤 孔一

東京電力㈱ 京葉地中線建設所

竹内 伸

1. はじめに シールド工法の裏込注入技術は同時注入方式の開発や注入材料の改良により大幅に改善されつつある。しかし、現状においては二次覆工が行われているにもかかわらず、裏込材の未充填または流失による空洞化に起因すると考えられる漏水事例が未だ認められる。施工当初からの未充填を論外とすれば、空洞化は裏込材の長期に亘る品質の安定性に左右された結果と推定され、裏込材の耐久性が問題となる。筆者らは、遅硬化性を有するベリットセメント、凝結遅延形流動化剤および有機質粘糊剤を含む裏込材が、1)セグメント揺動中は未硬化のため亀裂が生じにくい、2)地下水に遭遇しても分離しない、3)良好な流動性、充填性を有する、4)FEM解析の結果、地盤沈下への影響は小さい、等の諸点を明らかにしている¹⁾。この裏込材は今後の裏込注入システムの確立によって二次覆工の省略が可能となる技術であり、上記の事例を考慮すると、この裏込材の耐久性はさらに重要な問題となる。本報では、ベリットセメント、凝結遅延形流動化剤および有機質粘糊剤を含む裏込材の耐久性に関する検討結果を報告する。

2. 裏込剤の耐久性を阻害する要因 従来は、「裏込材は地山と同程度の強度を有すれば十分」との認識から、その耐久性が真剣に検討されることは少なかった。冒頭に述べた事例をもとに、裏込材の耐久性を阻害する要因を推定すると次の如くである。即ち、1)裏込材中の水酸化カルシウムの地下水への溶出、2)地下水中の有害成分による浸食、3)酸性土壌による浸食、4)過大な透水係数、過少な強度であり、これらの要因のうち1)～3)は裏込材を長期的に流出させて、空洞化または弱体化させる可能性を有しているものであり、4)は1)～3)の現象を加速する可能性を秘めていると言える。

3. 実験概要 使用材料および配合を表-1、2に示す。配合No.1が本研究の裏込材である。配合No.2は配合No.1のベリットセメントを普通ポルトランドセメントに置き換えて、さらに流動性を調整したものである。配合No.3～5は比較用のモルタル系裏込材および可塑性注入材である。（配合No.5の可塑性注入材は耐酸性試験のみ実施）

i) 長期圧縮強度試験 供試体は $\phi 10 \times 20$ cm円柱体とし、各材令まで20℃水中養生後、圧縮強度試験を行った。材令は7, 28, 91日および1年とした。

ii) 透水試験 供試体は $\phi 15 \times 15$ cm円柱体とし、材令28日まで20℃水中養生、その後端面を平滑に研磨仕上げし、さらに、20℃・相対湿度60%の状態では7日間乾燥養生し試験に供した。

iii) 耐酸性試験 試験は上記2.2), 3)を評価する目的で行う。供試体は $\phi 5 \times 10$ cm円柱体とし、材令28日まで20℃水中養生、その後20℃・相対湿度90%の状態では7日間空中養生し濃度3%の硝酸溶液中に浸漬した。試験は浸漬開始から3, 7, 28, 58日後に供試体の重量変化を測定した。

表-1 使用材料

材 料	種 類
セメント : C	O社製普通ポルトランドセメント
ベリットセメント : BC	U社製ベリットセメント (C ₂ S含有量: 90%)
フライッシュ : F	D社製 微子産
ヘントナイト : B	H社製 200メッシュ
細骨材 : S	大井川産川砂
水 : W	水道水
増粘剤 : SB	S社製「リタクリルアミ」誘導体を主成分とする水中コンクリート混和剤
流動化剤 : DL	N社製 凝結遅延形流動化剤
NO.5細骨材 : S ₅	T社製 珪質砂
NO.5補助剤 : A ₁	T社製 起泡剤
NO.5補助剤 : A ₂	T社製 安定剤
NO.5補助剤 : A ₃	T社製 塑強調整剤

表-2 配 合 表

No	水・結合材比 (%)	砂・結合材比 (%)	増粘剤・結合材比 (%)	流動化剤・結合材比 (%)	単 位 量 (kg/㎡)								
					水	セメント	ベリットセメント	フライッシュ	ベントナイト	細骨材	増粘剤	流動化剤	減水剤
1	70	3	0.5	2.0	318	158	158	137	—	1362	2.27	9.06	—
2	80	3	0.7	2.3	344	258	—	172	—	1291	3.01	9.89	—
3	131	1.88	—	—	524	250	—	150	100	750	—	—	—
4	280	8.7	—	—	420	120	—	30	60	1310	—	—	2.10
5	142	1	—	—	363	255	—	—	—	細骨材	起泡剤	安定剤	塑強調整剤
										255	1.7	2.6	189

iv) 流水浸食試験 裏込材中の水酸化カルシウムの地下水への溶出の程度を評価するために、供試体を流速12cm/sec、水温40℃の流れに曝露する実験を行った。供試体は $\phi 5 \times 10$ cm円柱体とし、材令28日まで20℃水中養生後、上記の流れを発生させる装置の水槽中に配置した。曝露期間は1, 3, 6ヶ月とし、曝露後供試体を微粉碎して試験に供した。試験方法としては、キレート滴定法により、供試体中のカルシウム減少量を測定し、モルタルからの水酸化カルシウムの溶出量を想定した。

4 実験結果および考察

i) 長期圧縮強度試験 各配合の圧縮強度試験結果を図-1に示す。ベリットセメントを用いた配合No.1は他の配合と異なり、材令7日から1年まで直線的な強度増加率となった。この原因はベリットセメントの遅硬化性に起因している。

ii) 透水試験 各配合の透水試験結果を図-2に示す。本試験での透水係数の範囲は $10^{-6} \sim 10^{-9}$ (cm/sec) のオーダーであった。モルタルやコンクリートでは圧縮強度が大きくなると透水係数が小さくなることは一般に知られている。この関係から推定すると、材令が長期になるに従って、ベリットセメントを用いた配合No.1は大幅な透水係数の減少が考えられる。配合No.2, 3もある程度減少するが、配合No.4では試験結果以上の減少は考えられない。

iii) 耐酸性試験 各配合の浸漬日数と供試体重量変化率の関係を図-3に示す。58日間の浸漬に対し、配合No.1, 2は10%以下の重量減少であった。しかし、配合No.3, 4では15%程度、配合No.5では98%もの重量減少であった。モルタルやコンクリートの酸に対する抵抗性は硬化体の透水性に関係し、強度の増加に伴って向上することは一般に知られている。配合No.1は試験時に、強度や透水係数が配合No.3と同程度であったにもかかわらず、良好な結果を示している。この原因は配合No.1で用いたベリットセメント中の C_3S の含有量が普通ポルトランドセメントに比較して少量であることに起因している。配合No.5の極端な重量減少の原因は材料中に含まれる空気量が非常に多く、供試体が多孔質であるためと考えられる。

iv) 流水浸食試験 各配合の供試体中のカルシウム減少率を図-4に示す。半年に亘る試験の結果、配合No.2~4の場合には40%以上のカルシウムが流失しているのに対し、ベリットセメントを用いた配合No.1では26%程度であった。

4 まとめ 本研究で対象とした遅硬化性のベリットセメントを用いたシールド裏込材は、従来の材料と比較して、長期強度、水密性、耐酸性の点で優れていると言える。今後、実験施工を実施し、さらに実用化への検討を行う予定である。

尚、本研究にあたり御指導頂いた、愛知工業大学 内藤幸雄教授に謝意を表する。

<参考文献> 有泉, 恵利川, "シールド裏込材料の水密性向上技術の研究(その1)", 第43回土木学会年次講演会概要集

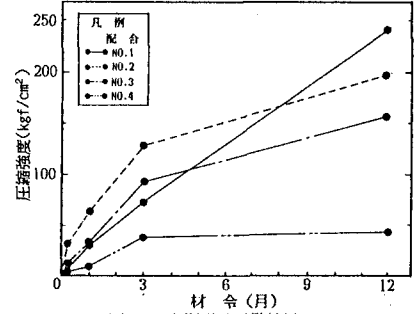


図-1 圧縮強度試験結果

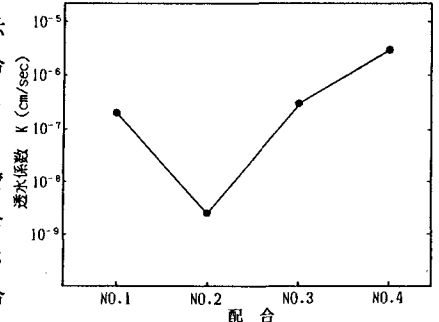


図-2 透水試験結果

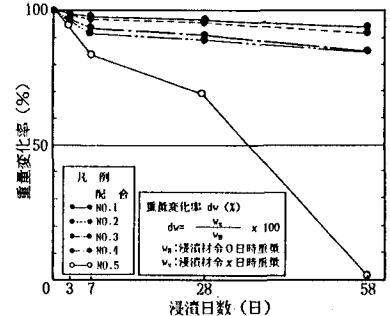


図-3 浸漬日数と重量変化率の関係

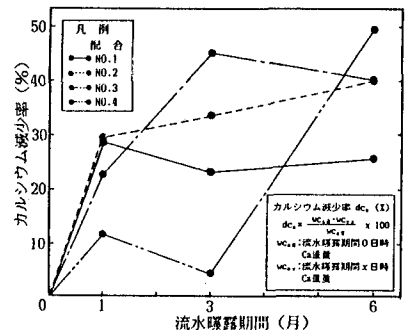


図-4 流水曝露期間とカルシウム減少率の関係