

榎 高 組 正会員 斎藤 優
 大豊建設(株) 正会員 ○本間 毅一
 五洋建設(株) 浅岡 宣明
 日立造船(株) 浅田 健次

1. はじめに

裏込注入の目的は、シールド後方で生じる地盤の緩み・沈下防止にあり、注入材充填後早期に地山相当の均一な強度が得られることが望まれる。

特に、急曲線・急勾配シールドにおいては推進のための地盤反力を速やかに伝達し、かつ姿勢制御のためのセグメントの早期安定を図ることが、裏込注入に課せられた重要な役割となる。

また、高水圧条件下での注入材料の特性については解明されていない部分も多く、裏込注入の役割を充足させるためには、注入材料の選定に伴う施工技術の改善・向上が要求される。

地盤反力概念及び裏込必要特性を図-1～2に示す。

2. 必要特性と実験の目的

裏込必要特性のうち「限定注入性」と「早期強度」については互いに相反する性質のもので、注入材料の流動性を高めるとテールボイド外への逸走を招き、逆に早期強度が得られる材料は注入時間より短い時間で流動性を失い、その結果充填性を損なうのが現状となっている。

このため、予備実験によって注入材料の一般的特性及び早期強度の経時変化を把握し、打設実験では予備実験で選定した材料について流動性及び施工性を把握した。

3. 予備実験（実験材料の選定）

二液性の急結系及び可塑状系材料を中心に配合試験、針入度試験（JIS K2530 に準じたもの）、圧縮強度試験（セメント物理試験方法、JIS R5201）を実施した。

また、試験は同一条件とするために試料温度を20℃に統一し、一般的配合として材令28日強度で20kgf/cm²配合（Ⅰ）のものと、早期強度を期待した35kgf/cm²配合（Ⅱ）の2種類を基本に設定した。

(1) 実験結果

- ①ゲルタイムの測定は急結系材料が最も長く54秒であり、可塑状系材料は5～11秒であった。
- ②可塑状系材料は種別により早期強度の発現状態が異なりセメント系はゲル化直後の弱固結強度は期待できないが強度発現後は短時間で測定限界まで収束した。（図-3）
- ③一軸圧縮強度試験では、指定強度に応じて材令毎に所定の強度が得られた材料と、混同した材料に大別された。また、急結系材料の28日強度は劣化した。（図-4）

(2) 実験材料の選定

予備実験を踏まえ、表-1に示す実験材料を選定した。

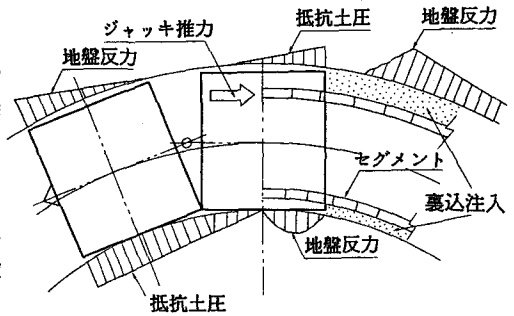


図-1 地盤反力概念

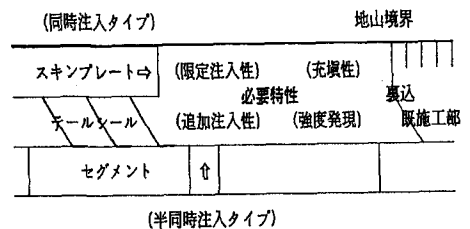


図-2 裏込必要特性

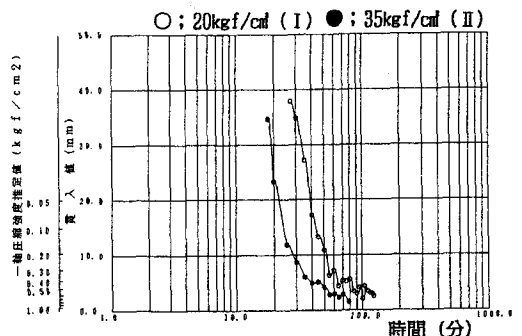
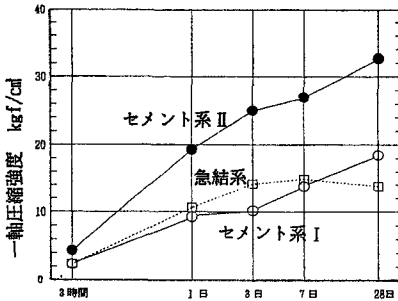


図-3 ゲル化直後の強度発現（可塑状セメント系）



図－4 強度試験結果例

表－1 予備実験からの材料選定

選定材料 (種別タイプ)	指定強度 kgf/cm ²	記号	選定理由
急結系	急結砂Ⅲ	—	(a) ・土木学会標準示方書（急結系）に明記。 ・針入度試験5分後指定強度 $\sim 0.05 \text{ kgf/cm}^2$
可塑状系	スラグ系Ⅰ	20	(b) ・実績で可塑状スラグ系を代表する。
	スラグ系Ⅱ	35	(c) ・指定強度Ⅰ、Ⅱで早期強度 ~ 3 時間強度の違いが明確となった。
	セメント系Ⅰ	20	(d) ・指定強度に対して所定の強度が得られた。
	セメント系Ⅱ	35	(e) ・指定強度Ⅰ、Ⅱで早期強度 ~ 3 時間強度の違いが明確となった。
	セメント系Ⅲ	100	(f) ・「強度の対応は可能である」から一例選定。 ・材令毎に他に類を見ない強度が得られた。

4. 打設実験

打設実験はプラントによる裏込打設・試験を行うもので、水中打設試験と加圧流動化試験に大別される。

水中打設試験は型枠(1.2×1.2m×0.9m)に清水をはり、中央底面5cmの位置から流量計積算で200ℓを打設した。また、打設後の平面で30cmピッチの出来形測定から体積率(出来形体積/打設量)等を算定した。

加圧流動化試験はセグメント組立時間を念頭に、既打設材料の流動化可能時間を測定するもので、特殊試験器(φ250mm,高さ500mm)に約1/2を注入し、一定時間経過後に下蓋(φ50mm)を外し再注入を行った。

(1) 実験結果

表－2 水中打設試験出来形

材料	打設数量 (ℓ)	出来形 (ℓ)	平均勾配 (%)	体積率 (%)
(a)	182.7	117.2	29.6	64.1
(b)	200.0	211.8	14.3	105.9
(c)	201.1	159.1	22.2	79.1
(d)	199.5	169.5	26.4	85.0
(e)	199.8	215.5	25.5	107.9
(f)	189.0	169.0	17.6	89.4

〈水中打設試験〉

①水中打設では「ゲル化に必要な長さ以上」のホース長が必要で可塑状系材料はゲルタイムから算定した理論長の1.4～1.7倍となった。また、ホースを用いない場合はゲル化状態も悪く、その殆どが固化しないものとなった。

②出来形測定による体積率は64～108%となった。ここで100%に満たない量は希釈・分離と評価でき、100%以上のものは測定位置の隆起・内部空隙等が要因と考えられる。(表－2)

③打設試験の強度は予備実験と比較して3～5割程度低下した。

〈加圧流動化試験〉

④急結系材料及びセメント系Ⅲは10～20分の短時間においても、既に打設したグラウトの流動化は不可能であった。

⑤スラグ系Ⅰは2時間経過後の加圧流動化が可能であった。

⑥その他可塑状系材料の流動化(追加注入)可能時間は60～80分程度で、この時の打設圧は2～6 kgf/cm²であった。(表－3)

表－3 流動化可能時間

下段：打設圧 kgf/cm²

材料	10分	40分	60分	80分	100分	120分
(a)	×	×				
(b)		0.6		1.1		1.3
(c)		2.8	2.0	6.3	×	6.5
(d)		2.2		3.9	5.5	×
(e)		3.5	4.7	6.0		
(f)	×	×				

(2) 考察(施工検討)

・水中ではホース先端が密閉状態(グラウト中)での打設が好ましく、落下させた場合はグラウトの分離・拡散が生じた。このため、大容量のボイドを対象とする即時注入は「下方注入」が適当と考えられる。

・打設強度低下の主な要因として管路ミキサの合流(ミキシング)機構の不備が考えられる。

・針入度試験を踏まえ、加圧流動化試験の50～60分後の弱固結状態の強度は0.6～0.7 kgf/cm²程度と考えられる。また、(b)～(e)の材料については掘進に併せて同一位置からの追加注入が可能であると考えられる。

5. おわりに

裏込注入は材料特性を把握した施工法の対応が必要となる。今後は高水圧条件での注入材料の選定を行いたい。なお、本実験は建設省総プロ「地下空間の利用技術の開発」の一環として、建設省土木研究所、(財)先端建設技術センターとの共同研究で実施したものの一部である。

〔参考文献〕三木、斎藤他：裏込め注入工法の設計と施工、山海堂、1990.6