

泥水シールド発生土による トンネルインバート材の開発

助川 禎*

泥水シールド工法からの発生土には、砂、礫、余剰泥水、および脱水ケーキの4種類がある。これらは全て含水比が高く泥分を多く含んでいるため、処分に当たっては受入地の確保が難しく、また再処理が必要な場合が多いなどの問題を含んでいる。建設残土の発生量抑制と有効利用の観点から、これらの発生物を現在コンクリート材で構築されているシールドトンネルの軌道支持材（インバートと略称）に使用するための、基礎的試験と試験施工の結果、実用の可能性を確認した。

Key Words: slurry shield, exceed slurry, excavated soil, invert material, environmental conservation

1. 研究の目的

建設工事を推進する事業者が、発生土を抑制し、同時に発生残土の再利用の促進をはかって行くことは、今日の社会的使命であり、そのための研究開発は永続的な重要課題といえる。

帝都高速度交通営団（営団）では、駅間トンネルの築造にあって、シールド工法を採用している。その掘削方式は、信頼性の高い泥水式とすることを基本としている。この泥水シールドから生ずる発生土および余剰泥水のうち、余剰泥水を埋め戻しに利用する技術については、すでに開発し実施している^{1)~3)}。

そこで、本研究の目的は、泥水シールドからの発生土を利用したトンネルインバート材を現場で製造し、打設する工法を開発することである。

ここにいる発生土とは、砂、礫、そして余剰泥水とその脱水ケーキである。この中で、脱水ケーキは凝集剤などが含まれているため、利用対象から除外した。また、礫は発生土によっては粘性土の土塊を混入していることがあるため、積極的に利用はしないが、研究の対象に入れた。

東京圏の地下鉄は地下10m~40m付近に建設されるため、地質上、東京層、江戸川層、さらには上総層の3つの層が今回の研究の対象となる。しかし、上総層は建設に際し遭遇する頻度が多くないことから、研究対象から除外した。

これらの発生土をセメントと混合してポンプ打設可能な流動性、強度特性、さらには繰返し荷重などに対する耐久性、打設後の乾燥収縮などに関する基礎的研究と試験施工を実施し、適正なインバート材（以下、新インバート材という）を開発することが、本研究の具体的な

目的となる。

2. 新インバート材の目標値

図-1に、シールド部の断面を示す。

トンネル掘削径は複線シールドで約9.7m、インバート部の占める面積は約8.25m²である。複線シールド掘削断面積のうち、新インバート材が適用できる面積割合は約11%である。

インバートは、レール、枕木、道床コンクリートを介して列車荷重を支持しており、長期間に亘り軌道の位置を保持しなければならない。その具備すべき要件は以下の項目である。

- ① 列車走行時の荷重、振動に耐えられること。
- ② 滞水状態においても劣化を生じないこと。
- ③ トンネル内の温度、湿度等の環境変化に亀裂の発生、強度の低下の少ないこと。
- ④ 道床コンクリートと一体性があること。

(1) 強度

現行インバート材の規格は特に定められていないが、比較的施工性のよい、貧配合コンクリート（表-1、以下100-18配合という）を用いている。この標準値は、スランプ18cm、設計基準強度100kgf/cm²である。

インバートの反力は、レールの剛性、タイヤフラットの影響、道床の応力分布状態等の影響を受けるが、模式的に示すと図-2のようになる。

実測例では、枕木の下で3kgf/cm²という報告があるが、今までインバート材の必要強度について論議されたことはない。インバート上面の概算反力 $q=18.6\text{tf}/(52.6\text{cm}\times 58.6\text{cm})=6.0\text{kgf}/\text{cm}^2$ であり、100-18配合コンクリートの強度を大きく下まわっているため、現行設計強度を下げる事ができる。

目標強度は、この反力 q に5倍の安全率を乗じ、さらに現場での品質のバラツキなどを考慮して、一軸圧縮強

*正会員 帝都高速度交通営団建設本部副本部長
(110 台東区東上野 3-19-6)

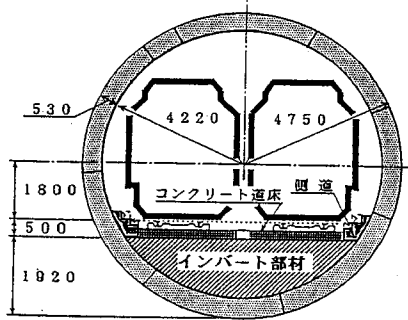


図-1 複線シールドトンネルの標準横断面図

表-1 現行インバート材の配合 (100-18)

(単位kg/m³)

水	セメント	細骨材	粗骨材	AE剤
780	220	868	996	0.088

さ (材令 28 日) $\sigma_{28}=60\text{kgf/cm}^2$ を目標強度とした。

(2) 流動性

インバート材の打設は、ポンプ打設を基本としている。100-18 配合のスランプ 18cm は、ポンプ圧送ができてパイプレタによる入念な締固めが必要である。しかし、新インバート材はモルタル状であるので締固めができない。よって、スランプを 21cm 以上 (フロー値で 18cm) に設定し流動性を高めた。

(3) 耐久性

インバート材は、地下鉄車両の走行に伴う繰返し荷重を受ける。また、時には地下水の漏水による浸漬を受ける。これらの耐久性を調べるために下記の試験を行い、その評価を 100-18 配合と比較し判断することとした。

- ① 繰返し部分載荷試験
- ② 繰返し全断面載荷試験
- ③ 試験軌道繰返し載荷試験
- ④ 地下水浸漬試験

3. 実験方法

(1) 使用材料

a) 東京層砂

東京都文京区の泥水シールド現場から採取。本郷台といわれる洪積台地の地下 10~20m にある砂層である。

b) 江戸川層砂

東京都新宿区の地下 7m 付近の N 値が 30 の均一な層から開削により採取した。泥水シールドの模擬発生土とするために、比重 1.20 と 1.25 の泥水を採取砂にそれぞれ添加し、江戸川層 1 および 2 の 2 種類の含水比を持つ発生土を室内で作製した (表-2 参照)。

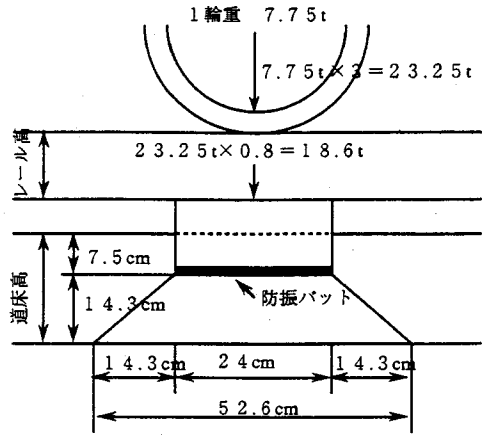


図-2 インバート部材に作用する応力状態図

表-2 配合試験に用いた発生土の物理試験結果

項目	発生土種類	東京層		江戸川層		東京礫層	
		東京層	江戸川層1	江戸川層2	礫	砂	
密度	g/cm ³	2.687	2.777	2.777	2.660	2.450	
含水比	%	22.2	26.0	36.2	7.05	12.7	

c) 東京礫層の砂と礫

東京都千代田区から採取。泥水シールド工事の土砂ホッパーから砂礫分を採取し、砂と礫をふるい分けて用いた。

上記 a), b), c) の発生土の物理試験結果を表-2 に、粒度分布を図-3 に示す。

d) セメント

高炉セメント B 種を使用。発生土は細粒分 (径が 75 μm 以下の土粒子) を多く含んでいるため、セメントの水和反応を妨害する。西岡らの研究⁹⁾で、普通ポルトランドセメントよりもスラグ混入セメントの方が強度発現がよいことが判明しているため高炉セメント B 種を使用した。

e) 泥水または水

東京層および江戸川層に用いた泥水は、採取した粘性土を比重が 1.2 と 1.25 になるように室内で攪拌溶解して調整した。東京礫層の泥水は、シールド現場の余剰泥水を採取して、比重が 1.2 になるように室内で調整した。

(2) 配合試験

a) 供試体作成

砂系 (T-1~14, E-1~9, ED-1~10), および礫系 (TK-1~13) の配合を表-3 に示す。表中の添加土混合率 α は、(発生土重量)/(発生土重量+泥水あるいは清水重量) を表わしている。砂系の供試体は、泥水または清水と発生土とを 20 ℓ のホバート型強制ミキサーで 2 分間混練し、それにセメントを添加して 5 分間混練した。

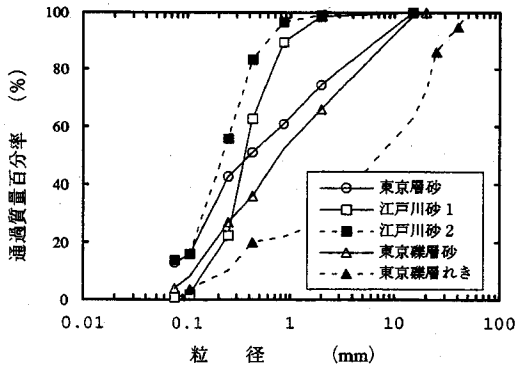


図-3 配合試験に使用した発生土の粒度分布

これをφ50×H100mmの鋼製モールドに詰め、20℃水中で養生した。

礫系の供試体は、50ℓパン型強制ミキサーで、発生土とセメントを約1分間混練してから、それに泥水あるいは清水を添加して2分間混練した。その後、φ100×H200mmの鋼製モールドに詰め、20℃水中で養生した。

b) 試験項目と内容

- ① 一軸圧縮強度：JIS A 1108. 材令は7日と28日.
- ② 単位体積重量：JIS A 1116.
- ③ 含水比：JSF T 121-1990.
- ④ スランプ：JIS A 1101.
- ⑤ フロー値⁴⁾：JIS R 5201.
- ⑥ ブリージング率：JIS A 1123.
- ⑦ 長さ変化率：JIS A1129に準じて、東京磯層(TK-1~13)のみについて行った。測定期間は180日とした。

(3) 耐久性試験

a) 繰返し部分載荷試験

インバート材が輪重をレール、枕木、道床コンクリートを介して荷重を受ける状態を模擬的に部分載荷荷重であるものとして試験を行った。載荷面で30kgf/cm²の応力が発生するようにSIN曲線で20~50万回載荷した。評価は載荷回数に応じた貫入量と載荷試験後の供試体および未試験供試体の破壊強度を現行100-18配合コンクリートと比較して行った。

b) 繰返し全断面載荷試験

新インバート材の基本的性質の把握、現行100-18配合コンクリート材との比較という観点から、実際の使用状態では発生しない高応力の全断面繰返し載荷による破壊試験をした。載荷は、電気式油圧サーボ型20tを用い、静的圧縮強度の20~80%の範囲で破壊に至るまで載荷した。

c) 試験軌道繰返し載荷試験

図-4のコンクリートピットに営業線で使用している軌道を設置した。これを支持するインバートはA軌道

表-3 配合一覧

番号	土質	添加土		添加土割合率(%)	セメント添加量(kg/m ³)	単位体積重量(t/m ³)	含水比(%)	スランプ(cm)	フロー値(cm)	ブリージング率(%)	備考			
		礫	砂											
T-1	東京層	0	100	0.8	200	1.925	29.37		22.7	0.00	泥水添加			
T-2					200	1.911	20.19		6.90	水添加				
T-3					250	1.986	27.56		1.56	水添加				
T-4					300	2.036	25.10		1.20	水添加				
T-5				0.85	200	2.007	24.38		20.2	0.00	泥水添加			
T-6					200	2.03	21.84		19.3	0.00	泥水添加			
T-7					200	2.029	20.05		0.17	水添加				
T-8					250	2.058	19.50		24.5	0.00	水添加			
T-9				0.9	300	2.067	20.10		24.7	0.00	水添加			
T-10					200	2.105	16.83		11.1	0.00	泥水添加			
T-11					200	2.099	19.34		19.3	0.00	水添加			
T-12					250	2.101	19.54		17.3	0.00	水添加			
T-13				0.95	300	2.122	18.66		16.2		水添加			
T-14					1	200	2.158	14.47		9.07	0.00	泥水添加		
E-1	0.6	200	1.695		53.58		18.1	0.00	泥水添加					
E-2	江戸川層	0	100	0.65	200	1.73	49.88		18.1	0.00	泥水添加			
E-3				0.7	200	1.782	43.43		16.1	0.00	泥水添加			
E-4				0.75	200	1.805	42.00		15.5	0.00	泥水添加			
E-5				0.8	200	1.733	39.36		14.3	0.00	泥水添加			
E-6				0.8	200	1.807	43.38		25	0.00	水添加			
E-7				0.85	200	1.863	37.56		22.4	0.00	水添加			
E-8				0.9	200	1.923	30.97		18.4	0.00	水添加			
E-9				0.95	200	1.987	25.13		12.2	0.00	水添加			
ED-1				江戸川層	0	100	0.75	200	1.745	47.86		19.4	0.00	泥水添加
ED-2							0.8	200	1.774	45.09		19.5		泥水添加
ED-3	0.85	200	1.815				41.98		18.6	0.00	泥水添加			
ED-4	0.9	200	1.849				38.10		18.5	0.00	泥水添加			
ED-5	0.95	200	1.898				33.10		17.1	0.00	泥水添加			
ED-6	1	200	1.912				30.18		16.6	0.00	泥水添加			
ED-7	0.8	200	1.696				43.38		0.31		水添加			
ED-8	0.85	200	1.744				48.24		25	0.00	水添加			
ED-9	0.9	200	1.819				41.88		21.6	0.00	水添加			
ED-10	0.95	200	1.891				35.58		19.7	0.00	水添加			
TK-1	東京層	0	100	0.8	200	1.973	29.99		19.8	0.00	泥水添加			
TK-2				0.9	200	2.063	21.95		16.4	0.00	泥水添加			
TK-3				1	200	2.163	15.90		10.8	0.00	泥水添加			
TK-4				10	90	0.8	200	1.982	28.20	13.3			泥水添加	
TK-5						0.8	300	1.995	12.70	7.5			泥水添加	
TK-6						0.8	250	2.011	13.30	11.3			泥水添加	
TK-7						0.8	200	2.063	32.83	24.1		0.01	泥水添加	
TK-8				30	70	0.9	200	2.15	19.61	7.9		0.00	泥水添加	
TK-9						0.8	250	2.031	11.80	19.3			泥水添加	
TK-10						0.8	200	2.027	11.80	21			泥水添加	
TK-11						50	50	0.8	200	2.046	24.26	21.5		0.01
TK-12				0.9	200			2.139	15.69	14		0.00	泥水添加	
TK-13	0.8	200	2.099	16.70	20.9				0.01	泥水添加				

(現行100-18配合インバート)とB軌道(新インバート：表-5, C配合)の2種類を打設した。その構造内容を表-4に示す。この試験軌道に、図-5に示す試験車両を載せ、営団線の1年間通過トン数に相当する3000万トン級の繰返し載荷を行った。

沈下量の測定を、レール、枕木、路盤のそれぞれで行い、現行インバート(A軌道)と新インバート(B軌道)との比較をした。

d) 地下水浸漬試験

インバート材が地下水に浸漬されることを想定し、水道水に一定期間漬けて性状変化を調べた。また、土に含まれている硫化鉄(FeS)が地下水に溶解し、漏水し空気酸化して硫酸を形成する。その結果、地下水が酸性を呈する場合がある。この状態を想定して硫酸溶液の浸漬試験を並行して行った。

新インバート材の評価は現行の100-18配合との比較で行った。新インバート材の配合は、試験施工(5章)で

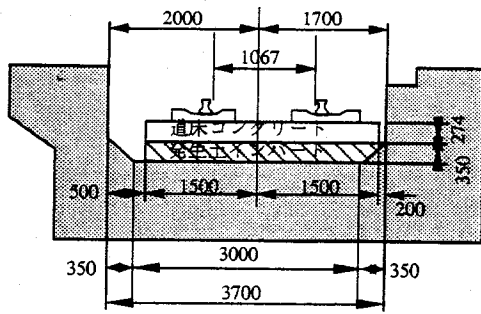


図-4 試験軌道繰返し载荷試験用軌道構造図

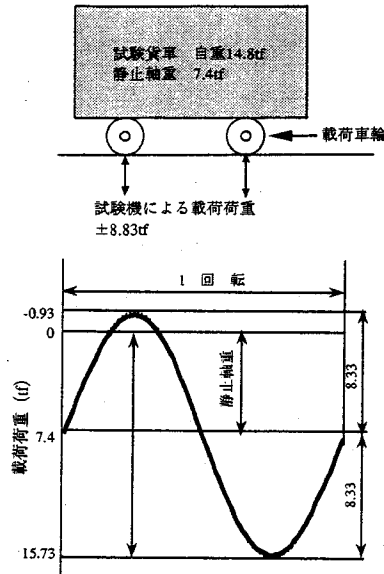


図-5 試験軌道繰返し試験の载荷方法

用いた配合(表-5のE)を使用した。硫酸浸漬液は、市販濃硫酸を希釈してpH3にしたものを用いた。この溶液は一週間ごとに新液に置き替えpH3を維持するようにした。試験項目は、①重量変化(供試体を浸漬液から取りだし、軽く布で表面の水を拭きとり計量)、②一軸圧縮強度、③動弾性係数(共振法JIS 1127-1976)、④中性深さ(供試体の破壊断面にフェノールフタレン溶液を噴霧し中性化領域を観察)とした。試験期間は180日とした。

4. 試験結果および考察

(1) 強度

a) 東京層

図-6に東京層に関する添加土混合率 α と強度およびフロー値の関係を示す。

α が大きくなると強度は増大するがフロー値は小さくなる。泥水添加と清水添加を比較すると、清水添加の方がフロー値は大きい、強度は泥水添加の方が高い。同

表-4 試験軌道繰返し载荷試験用軌道の構造および形状

供試体	構造	形状
A 軌道	コンクリート; 配合100-18, 高炉B種使用, 短枕木軌道	3,000×0.350×2,000=1.5m ³
B 軌道	発生土; 短枕木軌道	3,000×0.350×2,000=1.5m ³

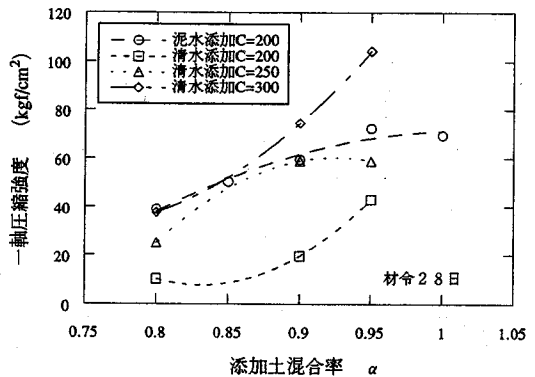
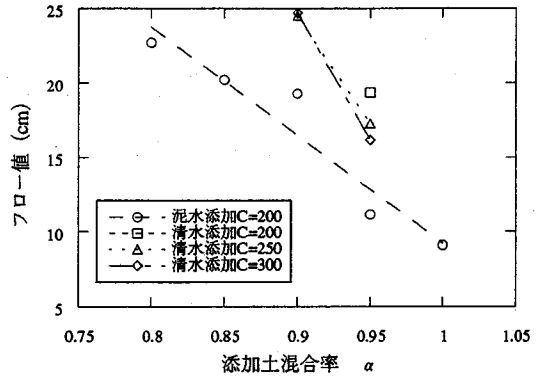


図-6 東京層の流動性と強度

じフロー値を得るには、泥水添加の場合には α を清水添加より低くする必要がある。

b) 江戸川層2

図-7に江戸川層の砂を用いた場合の α と強度およびフロー値の関係を示す。 α と強度およびフロー値の関係は、図-6の東京層の場合と同様の傾向を示す。同じ α 値で比較すると、江戸川層は、東京層よりも強度が高く、フロー値は低い。また、同じフロー値で比較しても江戸川層は東京層より高い強度を示す。江戸川層の泥水添加は、目標強度を達成しても流動性の目標値スランプ21cm(フロー値18cm)を得るのが難しい。

c) 発生土特性と強度発現の考察

図-8に、3種類の発生土の水セメント比(W/C)と強度の関係を示した。W/Cは、供試体の配合から1m³に含有している水の総量を算出し、その値をセメント添加量で割ったものである。

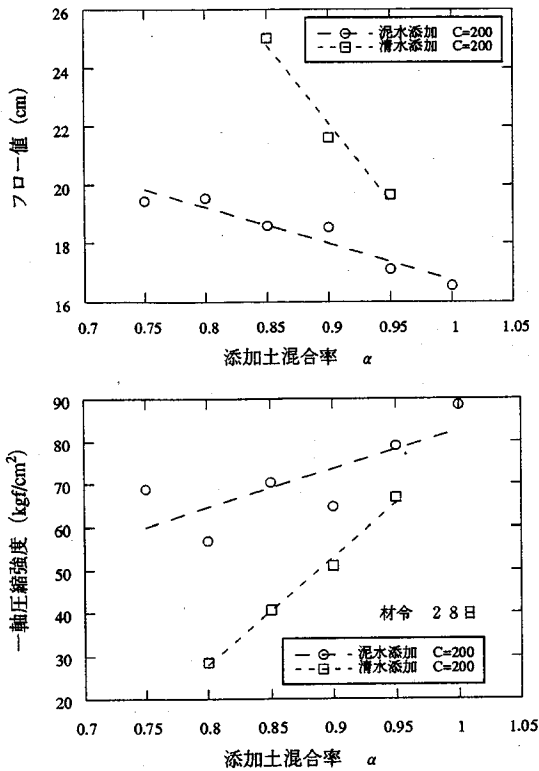


図-7 江戸川層の流動性と強度

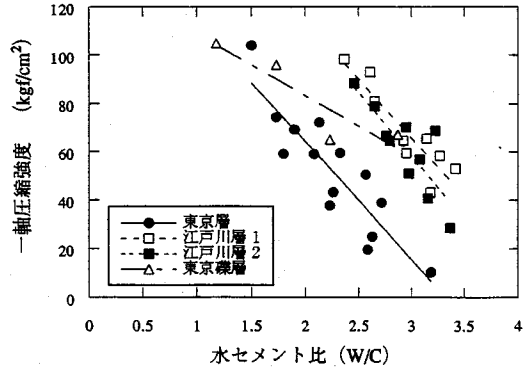


図-8 水セメント比と強度の関係

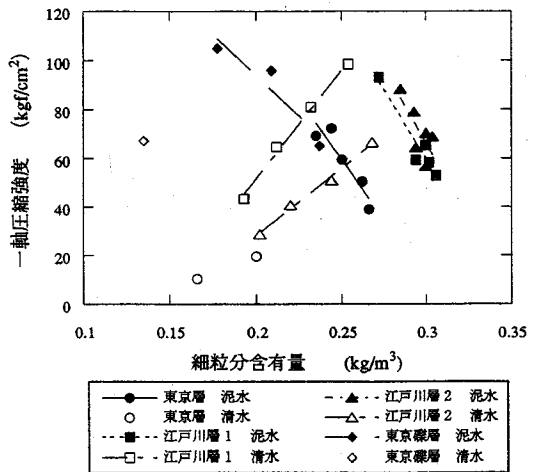


図-9 細粒分含有量と強度の関係

同じ種類の発生土では、強度は W/C に反比例する。その傾きは、東京層と江戸川層が同じで、東京礫層はそれよりも小さい傾きである。同じ W/C では、東京層の強度が一番小さく、東京礫層と江戸川層が同じである。特に、江戸川層の W/C は 2.5~3.5 の範囲にあり、東京層の 1.5~3 よりも大きいにもかかわらず強度は高い。

ソイルセメントの強度に影響する因子として、単位水量、細粒分 (75 μ m アンダー) の種類と量、空隙量、そして粒径特性などがある⁹⁾。細粒分含有量 (Fc) に注目したのが図-9 である。清水添加の場合は、Fc と強度は正の比例関係にあるが、泥水添加の場合は反比例の関係にある。骨材 (発生土) の表面に付着した細粒分と泥水中の細粒分では、強度発現に関して異なった作用をする。

次に、全ての配合の材令 7 日と 28 日の強度関係を図-10 に示す。 $\sigma_{28}/\sigma_7=2$ の関係が成立し、前研究⁷⁾と同様の結果がこれらの 3 種類の土質に対しても適用でき、現場における強度管理に利用できる。

(2) 長さ変化

図-11 に東京礫層 (TK シリーズ) の 180 日間の収縮量の変化を示した。

TK-1 (砂のみ) は、材令約 1 ヶ月でほとんど長さ変化を終了し、収縮量は 0.5% であった。礫混入供試体 (TK-7, 10, 11, 13) の収縮量は、TK-1 よりも小さいが、材令約 100 日まで長さ変化する。

通常のコンクリートの乾燥収縮は 100 分の数% の値であるので⁹⁾、TK-1 の収縮量 (0.5%) は、約 10 倍の収縮量を示したことになる。セメント水和材料の収縮は、セメント硬化による収縮と水分蒸発 (乾燥) による収縮がある⁹⁾。これら 2 つの要因を明確に分けることは難しいが、単位水量が多いほど蒸発する水の量が多いため収縮量も多くなる。図-12 に供試体の含水比と材令 180 日の長さ変化率の関係を示した。含水比が大きくなると収縮量が大きくなる。礫を混入すると、同じ含水比で収縮率が約 0.2% 小さくなる。

(3) 耐久性

a) 繰返し部分載荷試験結果

東京層、江戸川層、東京礫層の供試体ともに沈下、変形が認められず、現行 100-18 配合との比較でも差が認められなかった。また、繰返し載荷後の一軸圧縮試験でも強度低下を認められなかった。

b) 繰返し全断面載荷試験結果

図-13 に応力比 (S) (載荷荷重を静的破壊荷重で割った比) と破壊回数 (N) との関係を示す。

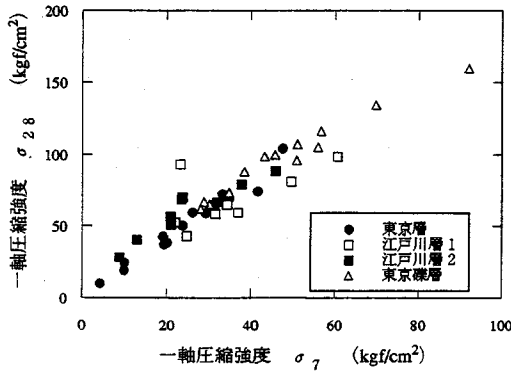


図-10 σ_7 と σ_{28} の関係

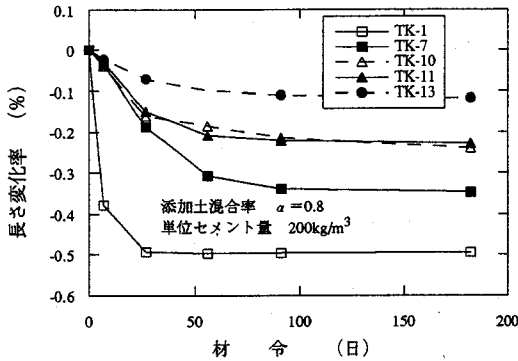


図-11 東京礫層の長さ変化率

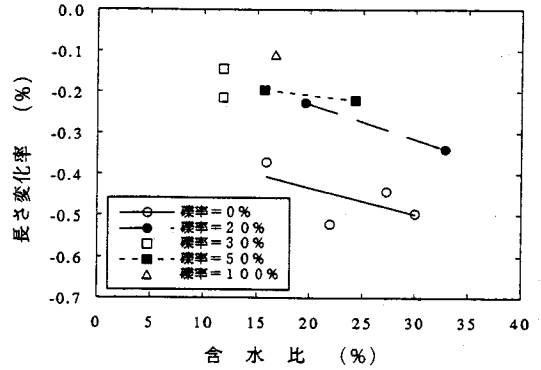


図-12 東京礫層の含水比と長さ変化

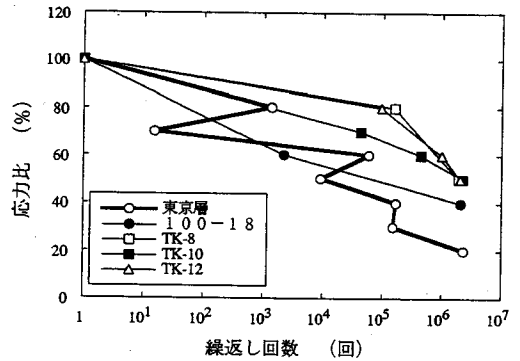


図-13 繰返し載荷試験結果(室内)

新インバート材および現行100-18配合ともに、応力比が80～40%の範囲で破壊回数の対数は応力比と反比例関係にある。東京層の傾きは、100-18配合よりも大きい。疲労強度(載荷回数が200万回で破壊する強度)¹⁰⁾の応力比で比較すると、100-18配合は40%、東京層砂は20%と低い、東京礫層は60%と高くなっている。東京礫層と東京層の静的破壊応力はほぼ同じであるので、礫を混入した供試体の疲労特性は、砂のみの供試体よりも高いことがわかる。東京礫層の供試体の疲労特性は、100-18配合と同程度といえる。

c) 試験軌道繰返し載荷試験結果

図-14に、A軌道(現行100-18インバート材)およびB軌道(新インバート材)のレール、枕木、路盤の各点における載荷回数と沈下量の関係を示す。

沈下量は、載荷回数が大きくなると漸次大きくなる傾向があり、ある一定回数からはその沈下量が変化しなくなる。その沈下量は、同一軌道では、レールで一番大きく、枕木、路盤の順になり、下に行くほど小さくなる。沈下量は、A、B軌道ともほぼ同じで、レールで1.5mm、枕木で0.8mm、路盤で0.5mmである。さらに、図から載荷回数が100万回を過ぎた頃から、3つの位置の沈下量が変化しなくなることから、この回数で材料間のなじみがでてきたと判断できる。

その他、道床の目視観察では、2つのコンクリート道床に変化はなかった。

d) 地下水浸漬試験

① 重量変化

新インバート材(表-5のE配合)と100-18配合の重量変化を図-15に示す。この2種類の配合は、浸漬期間3ヶ月までは、清水および硫酸溶液とも同様の変化をする。3ヶ月から6ヶ月の間で、清水は重量変化をしないが、硫酸溶液は重量が減少する。

浸漬液の種類にかかわらず、材令3ヶ月までの重量増は、供試体表面から溶出したカルシウムイオンが供試体表面で硫酸イオンあるいは水酸イオンと反応して硫酸カルシウムあるいは水酸化カルシウムを生成して被膜を形成するからである。しかし、清水では、生成した被膜を通してカルシウムイオンの溶解平衡が生じることから、みかけ上重量変化がなくなる¹¹⁾。硫酸浸漬液の場合は、それ以後は硫酸カルシウム被膜が表面から剝離あるいは再溶解のような浸食が生じたためと考える。

結論として、100-18配合と新インバート材の重量変化に関しては差異は明確でなかった。

② 一軸圧縮強度

図-16に一軸圧縮強度の経時変化を示す。強度に関しては、100-18配合、新インバート材ともにほとんど変化

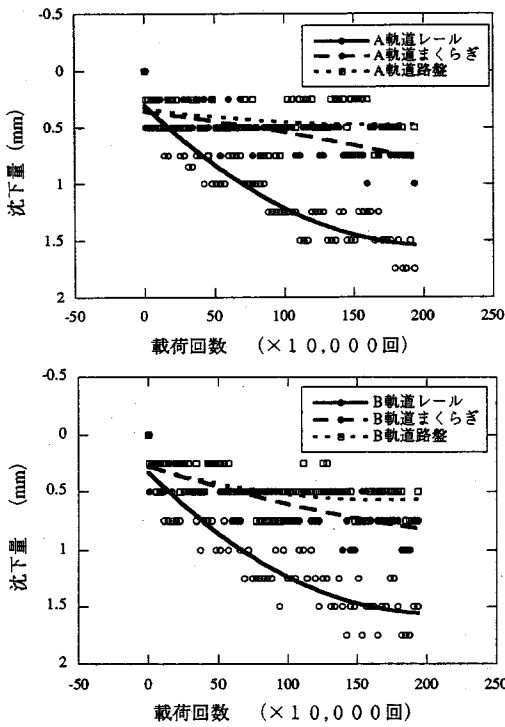


図-14 繰り返し載荷試験結果 (試験軌道実験)

がなく、浸漬液の差もなかった。

また、同図に動弾性係数の経時変化を示す。強度と同様にほとんど変化がなく、また、浸漬液の差もなかった。

③ 中性深さ

100-18 配合材、新インバート材ともに中性化は観察されなかった。

硫酸溶液の pH3 は、シールドの漏水としては非常に厳しい条件でまれなケースといえる。発生土を用いた供試体は、100-18 配合とほぼ同様の結果を示したことから、硫酸による耐薬品性は普通コンクリート並であると評価できる。

(4) まとめ

シールド工事から発生する土質の異なる 3 種類の発生土を採取し、室内配合試験で強度と流動性、長さ変化、繰り返し載荷による耐久性、及び地下水浸漬による耐久性を調べた。その結果、目標強度 (材令 28 日で 60kgf/cm²) は、添加土混合率 α とセメント量を調整する事により、いずれの発生土でも達成できた。また流動性も混和剤等による工夫を必要とするが、ほぼ確保できた。

一方、長さ変化は、湿度 60% の養生条件で普通コンクリートと比較して 10 倍の値を示した。しかし、この変化は 100 日程度でその大部分を終息するので、通常の施工工程で道床コンクリートを打設する場合には問題は生じない。

耐久性は、現行 100-18 配合と比較して遜色がない。

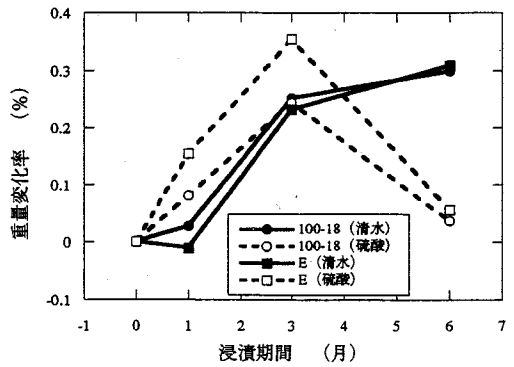


図-15 地下水浸漬試験 (重量変化)

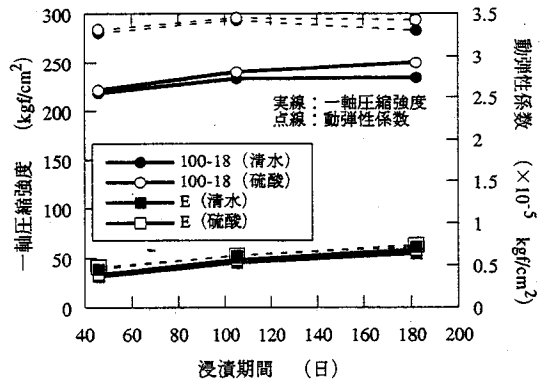


図-16 強度と動弾性試験

5. 試験施工

シールド掘進対象土が東京層の現場で、新インバート材を打設する試験施工を行った。

(1) 設備

図-17 に新インバートの試験施工設備概要を示した。サンドコレクターから二次分級された発生土をベルトコンベアーでバッチャープラントに送る。750 l バッチャープラントで高炉セメントと混合し、スクリーコンベアーでポンプまで送る。そして、圧送ポンプでインバート打設場所まで送る。新インバート材の製造能力は 20m³/H とした。

(2) 配合

試験施工に用いた配合は、表-5 に示す A~E 配合の 5 配合であった。試験施工のインバートは、打設後本線軌道のインバートとして使用されるため、安全側の配慮とし室内試験よりセメント量を増量した 250kg/m³ のものを採用した。

(3) 施工結果

発生土の試験施工にあたっての管理は表-6 に示す 4 項目で、測定頻度は、打設延長 100m までは 300m³ 毎、その後は 1000m³ 毎に 1 回とした。

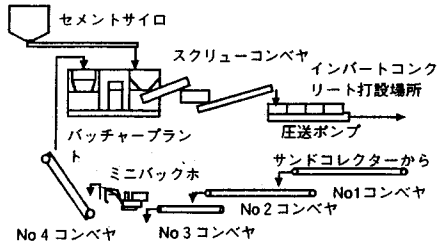


図-17 現場施行設備概要

a) 強度発現

打設はシールド掘進に合わせて平成5年5月22日から9月13日の約5カ月にわたり実施した。4月22日～5月8日がB配合、5月17日～7月2日がC配合、それ以降がD配合である。D配合の一軸圧縮強度とスランプの変化を図-18に示した。一軸圧縮強度は65～80kgf/cm²の間にあり、全て設計強度60kgf/cm²を上回っていた。

なお、流動性が不足し施工不良が心配されたC配合については、打設後のインバートからコア採取を行い、強度試験を行ったが、表-7に示すとおり十分な強度発現があった。

b) 流動性 (ポンプ圧送)

ポンプ圧送に問題が生じた。表-5のA配合は練上り時のスランプ22cmを目標にした配合であったが、圧送後、200m先の圧送管の先で流動性を失ったためB配合とした。しかし、圧送距離が延びるにしたがい同様の現象が生じたので、流動性を改善した配合Cで行った。再度、300mを超えるころから同様の現象が生じ、最終的に泥水を混入した配合Dで対処し、圧送距離980mをポンプ2台で打設できた。(練上り時のスランプは図-18に示す様に、目標スランプを上回る必要があった。)

c) クラック

打設後約2週間程でクラックのあることが観察された。最大幅は1.5mmで長さは5cm程度であった。新インバートは加水量が多く、室内試験の長さ変化試験結果から容易に想定された。

現行100-18配合インバートでもクラックは発生しているが、インバートは周囲をセグメントで拘束されており、乾燥収縮終了後道床コンクリートを打設するので、軌道構造に支障をきたすような障害の原因にならないと判断できる。

6. 結論

泥水シールド工事からの発生土を、インバート材として再利用するための可能性を探求してきた。室内試験では、強度発現と流動性、長さ変化量、繰返し荷重による影響、耐地下水浸漬、等を確認し、さらに試験施工で、施工性と品質管理を確認した。

表-5 試験施工配合

配合	(m ³ 当たり)						
	高炉セメント kg	水 kg	泥水 ℓ	発生土 kg	減水剤 kg	w/c %	α
A	250	130	0	1,579	0	130	0.924
B	250	160	0	1,520	0	139	0.905
C	250	155	0	1,520	5	139	0.907
D	250	85	210	1,240	5	179	0.776
E	200	210	0	1,449	0	195	0.87

発生土：表乾比重=2.33,表面水率=14.1%
泥水比重：1.3

表-6 現場施工管理項目

測定項目	表乾比重	表面水率	含水比	粒度試験
測定方法	JIS A 1109	JIS A 1111	JSF T 121	JSF T 131

表-7 現場打設コア供試体強度結果

打設日	配合	場所	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)			備考
H.5.5.28	C	45R	上84.9	中100.6	下71.1	材令58日
H.5.6.5	C	65R	93.7	85.8	91.2	材令51日

その結果、新インバート材の特性を総括すると次のようになる。

- a) 強度および流動性は、「セメント添加量」、「発生土と泥水との比率」、「発生土固有の特性」によって大きく影響を受ける。
- b) 強度は、一般のコンクリート、モルタルと同様に水セメント比(W/C)に反比例する。
- c) セメント量を同じにした場合、添加土混合率(α)が大きくなると強度は増大し、流動性は悪くなる。
- d) 礫混合率は20%程度が適当で、それ以上になると強度、流動性ともに悪くなる。
- e) 清水添加と泥水添加を比較すると、αが同じであれば、流動性は清水添加の方がよく、強度は泥水添加の方が高い。
- f) 東京層と江戸川層を比較すると、同じαで、強度は江戸川層の方が高くなるが、流動性は悪い。これは、砂粒子の均等性が影響していると考えられる。
- g) 泥水添加の場合、高含水比でもブリージングがほとんどみられない。これは、粘性土粒子が一部の水分を拘束するため、自由水分量が少なくなり、実質的な水セメント比が小さくなっていると考えられる。

新インバート材を必要要件に対して評価すると次のようになる。

- ①3種類の発生土は、α=0.8～0.95、セメント添加量200～250kg/m³程度で、目標強度を確保できる。
- ②流動性は、発生土の種類によって大きく異なるため、

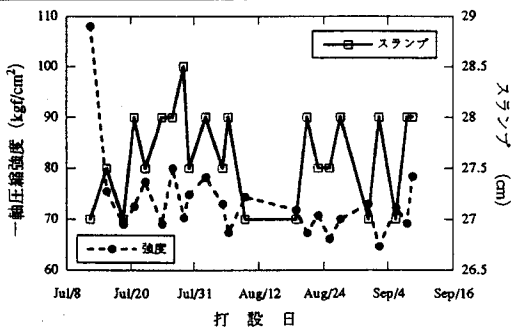


図-18 現場施工実績

その特性を充分に把握しておく必要がある。さらに、一般的傾向として、泥水を添加し、 α を低くすると、流動性が安定して確保でき、目標強度も得られやすい。

③繰返し荷重に対する耐力は、目標強度を満足すれば現行インバートコンクリートと同様である。また、試験軌道実験では、3000万トンの繰返し載荷の結果、コンクリート道床と一体性があることを確認できた。

④地下水浸漬に対しても、現行インバートコンクリートと同様である。

⑤長さ変化率は、現行インバートに比較して大きな値を示すが、100日経過後でその変化を終息するので、通常の施工工程で道床コンクリートを打設することができる。

⑥試験施工結果では、目標強度の確保よりも流動性確保が難しい。

⑦プラント設計にあたっては、発生土の付着等による生産量の低下があったので、能力の余裕と装置の改善が必要である。

以上から、現行インバートコンクリートの代替品として、材料性能は充分であることがわかった。施工性に関しては、一つの現場でも発生土の性状が変化するために、これらに対する対処法を今後多くの施工を通じて蓄

え、マニュアルを作成することにする。

謝辞

本研究は、日本トンネル技術協会「発生土利用特別委員会」で委員各位の活発なご審議をいただいた。ここに深甚な謝意を表します。特に、約2年間の委員会の運営および実験の指導、ならびに本論文の作成に関して、甚大なる助言とご指導をいただいた、中央大学の久野教授ならびに茨木教授に改めてお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 助川 禎：シールド残土のリサイクル，(財)セメント協会，セメント系固化材セミナーテキスト，1992.10.
- 2) 助川 禎・好井宏太郎・河野隆明：泥水式シールド工事における発生土現場処理工法の開発，土質工学会「都市空間利用における大深度地盤シンポジウム」，1993. 7.
- 3) 助川 禎・好井宏太郎・藤木育雄：泥水式シールド発生土の再利用その1，土木学会，第48回年次学術講演会概要集，1993. 9.
- 4) (社)日本トンネル技術協会：発生土利用対策特別委員会報告書，p.7, 1993. 10.
- 5) 西岡 成・斎藤 聡・白井 克己：セメント系硬化剤による深層混合処理工法に関する研究(その26)一改良土の硬化特性に関する研究(その2)一，第19回土質工学会研究発表会講演集，p. 1639, 1984.
- 6) 松川昌則・佐藤和義・深沢一夫：スラッグの水和と地盤改良材への利用，セメント技術年報，Vol. 39, p. 482, 1985.
- 7) 助川 禎：泥水シールド余剰泥水利用の埋戻し工法の開発，土木学会論文集ヲ，1994. 6.
- 8) 日本コンクリート工学協会編「コンクリート便覧」，p. 84, 1987.
- 9) 中村洋一・大神年彦：セメント安定処理路盤の硬化・乾燥収縮特性，第28回土質工学会研究発表会講演集，p. 2563, 1993. 6.
- 10) 日本コンクリート工学協会編「コンクリート便覧」p. 76, 1987.
- 11) 添田政司・大和竹史：各種混和剤材を用いたコンクリートの耐薬品性に関する研究，「地下埋設コンクリート構造物の耐久性向上に関する研究報告」，九州橋梁・構造工学研究会編，p. 113, 1993.

(1994.3.9 受付)

DEVELOPMENT OF INVERT MATERIAL USED BY EXCAVATED SOIL FROM THE SLURRY SHIELD

Tadashi SUKAGAWA

It is a social problem that the fill space surrounding seashore is getting decrease and the circumstance of land reclamation is getting serious. For the effort to restrain the residual from the slurry shield method, the recycle of the residual material was considered. The restrain rate is assumed to be approximately 14% against total excavated volume of tunnel. The technical development was carried out based on the design criteria that the strength of the recycled material must be greater than 60 kgf/cm², slump must be over 21cm and high durability against the cyclicloading and chemicals. Furthermore, the execution test in the job site was carried on with real soil for the productivity.

As a result, this new material has no problem of the properties against the existing concrete at the points of the strength, the consistency and the durability, but the productivity is less than the design.