

シールド工法における掘進停止時 裏込め圧保持システムの開発および基礎実験

DEVELOPMENT AND DEMONSTRATION EXPERIMENT OF THE RETAINING SYSTEM FOR BACKFILL GROUTING PRESSURE DURING SUSPENSION OF SHIELD DRIVING

中山卓人*¹, 小林 修*¹, 田中 孝*²

Takuto NAKAYAMA, Osamu KOBAYASHI and Takashi TANAKA

Shield tunnels with shallow cover and vicinity construction are planned with soft ground, and necessary to minimize ground settlement and its influence on adjacent structures. So far, in the back fill grouting process to the tail voids, the backfill grouting pressure was reduced during suspension of shield driving, so ground settlement was inevitable. In the system developed this time, it is holded the backfill grouting pressure to suppress ground settlement during suspension of shield driving by operated the pressurizing holding device to inject the backfill grouting material or its main material (liquid A) while the shield equipped with a plurality of simultaneous grouting pipes is stopped. In this development, we confirmed that ground settlement can be suppressed by carrying out demonstration experiments to confirm its effectiveness, by appropriately adjusting backfil grouting pressure in both sandy soil and cohesive soil.

Keywords : Shield tunneling, Backfill grouting, Soft ground, Shallow cover, Suppression of settlement

シールド, 裏込め注入, 軟弱地盤, 低土被り, 沈下抑制

1. はじめに

近年, 軟弱地盤で小土被りや近接施工のシールドトンネルが計画されていることも多く, 地盤の沈下や近接構造物への影響を最小限とすることが求められている。これまでの裏込め注入工では, 掘進停止時に圧力を受けることで裏込め注入材が圧密脱水し体積の減少が生じた。この体積減少で地山が緩み, 地盤の沈下を生じた^{1,2)}。

そこで, 新たに掘進停止時裏込め圧保持システム (以下, 本システムと記述) を開発した。本システムは, 複数の同時裏込め注入管を装備したシールドの掘進停止中において, 加圧保持装置を駆動し, 裏込め注入材あるいはその主材 (A 液) を自動注入することで既に注入された裏込め注入材を加圧保持して, 掘進停止時の沈下を抑制するものである。

本稿では, 本システムの概要について説明するとともに, 本システムの有効性を確認するための実証実験および実証施工を実施したので, その概要と結果について報告する。

2. システムの概要

本システムは, 複数の同時裏込め注入管を装備し, 掘進および裏込め注入完了と同時に洗浄ラインに切り替えるとともに, 一方の注入管から裏込め注入材の主材 (A 液) を自動注入可能にすることで掘進停止時でも充填した裏込め注入材に最適な圧力をかけ続けることのできる裏込め注入システムである (図 1, 図 2)。

本システムの活用により裏込め注入材の圧力を掘進時, 停止時ともに適切に保持することが可能になり, 地盤変状を最小限に抑えたとともに, 裏込め注入材の品質も確実に保つことができてきたことを開発目的とした。

図 3 に本システムの作業フローを示す。本システムは, 少なくとも一対の甲乙同時裏込め注入ラインから構成される。

- 掘進①と同時に, 甲ラインで裏込め注入①が行われる。
- セグメント組立①のとき, 甲ラインから裏込め注入材あるいは主材によりテールボイドに注入された裏込め材加圧①を行い, それと同時に乙ラインはセグメント組立①が終わるまでに洗浄①を終える。
- 掘進②では, 乙ラインにおいて裏込め注入②を行い, 甲ラインはその次の掘進③が始まるまでに洗浄②を終える。そして, セグメント組立②のとき, 乙ラインで裏込め材加圧②を行う。
- 掘進③では, 掘進①と同様に甲ラインにより裏込め注入③を行い, 乙ラインでは次の掘進が行われるまで洗浄③を行う。

裏込め注入圧を計測しながらこの手順を繰り返すことにより, 注入された裏込め注入材を常に一定の圧力以上に保持・加圧することが可能となる。

3. システムの有効性を確認するための実証実験

3.1 実験の目的

本システムの有効性を確認するために, シールドテール部と地盤を模擬した実験装置を製作し, 砂質土と粘性土の模擬地盤において, 掘進時のシールド機からの同時裏込め注入と掘進停止状態を再現した。実験ケースは, 本システムの使用なし, 使用ありの 2 ケースで, 模擬地盤内に設置した沈下板の変位と実験装置内の裏込め注入圧などを計測し, 実験結果を比較することで, 本システムの有効性を確認することとした。図 4 にシステムの使用なし, 図 5 にシステムの使用ありの沈下概念図を示す。

*1 戸田建設株式会社土木工部技術部

*2 戸田建設株式会社技術開発センター

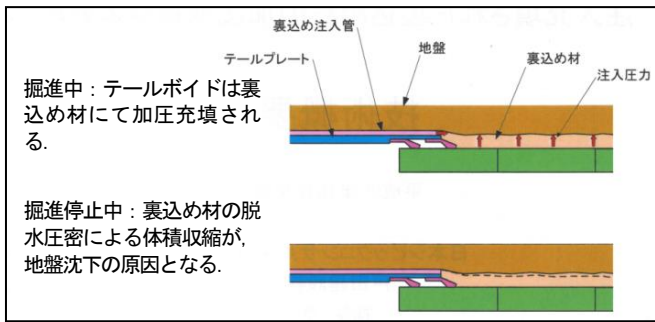


図1 従来の裏込め注入

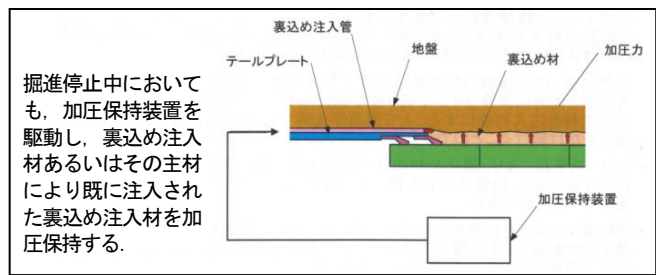


図2 裏込め圧保持システム

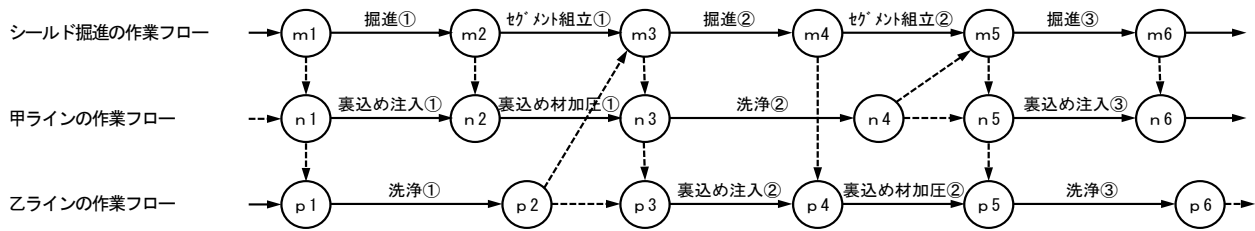


図3 裏込め圧保持システム作業フロー

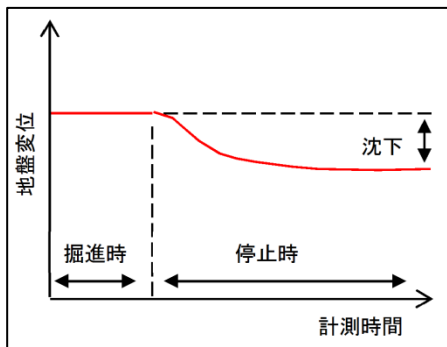


図4 システムの使用なし概念図

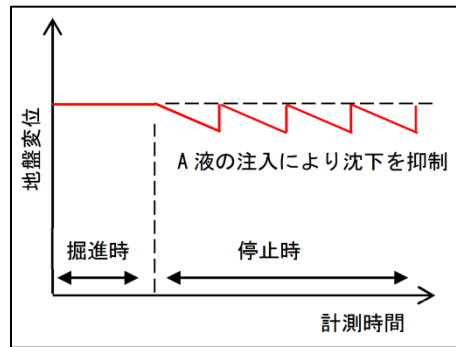


図5 システムの使用あり概念図

3.2 実験の概要

(1) 実験装置

写真1, 写真2, 写真3に実験装置, 図6に実験装置全体図を示す。寸法 800mm×800mm×1,650mm で, 側面片側にアクリル板を設置し, 実際の裏込め注入状況が目視できる構造にした。ジャッキでシールドテール部に相当するスキンプレート(最大 850mm)を引き抜くと同時に, テール部から裏込め材を同時注入できる機構とした。

スキンプレートから 200mm 上部に 100mm×100mm の沈下板を 2 か所設置し, 地盤の変位を計測した。また, 試験装置に 3 か所, 裏込め注入管近傍に 1 か所の計 4 か所に圧力計を設置し, 裏込め注入材内部の圧力を計測できるようにした。

(2) 実験用模擬土

砂質土用模擬土としては, 粒径が 0.15~5mm 程度の砂・礫を含むコンクリート用細骨材を使用した。粘性土用模擬土としては, 硬化しないシールド用可塑状充填材(クレーショック)を使用した。表1に砂質土用模擬土, 表2に粘性土用模擬土の物性値を示す。

(3) 実験用裏込め注入材

表3に裏込め注入材の配合を示す。シールド工事で使用される一般的な裏込め注入材を使用した。ゲルタイムを 15 秒以内, 1 時間後の一軸圧縮強度が 0.05N/mm², 28 日後の一軸圧縮強度が 2.00N/mm²となるものを使用した。



写真1 実験装置全景

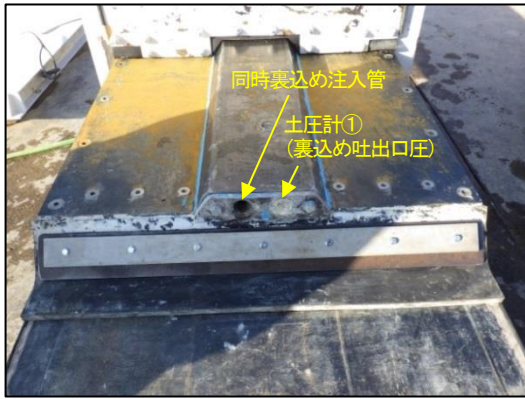


写真2 同時裏込め注入管



写真3 テールシールにはブラシの代わりにゴムを使用

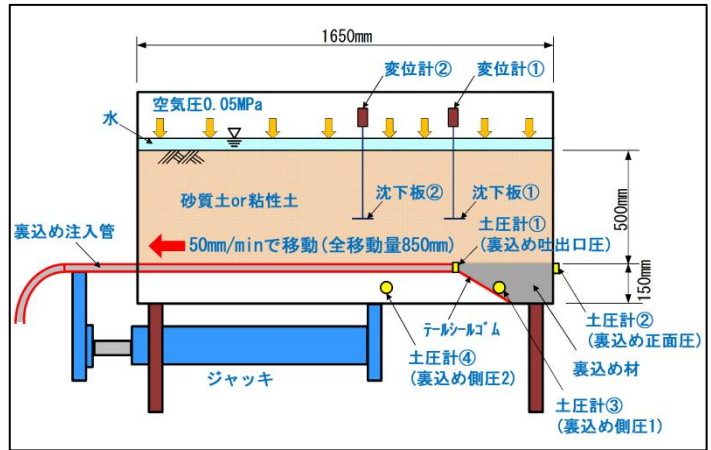


図6 実験装置全体図

表1 砂質土の物性値

単位体積重量	21.0kN/m ³
含水比	25.4%
コーン指数	150kN/m ²
推定N値	コーン指数からの推定で2程度

表2 粘性土の物性値

単位体積重量	13.2kN/m ³
含水比	164%
粘着力	2.0kPa
一軸圧縮強度	4.0kPa
推定N値	0.3

表3 裏込め注入材の配合

材料名	A液(945L)						B液(55L)
	硬化材	助材	起泡剤	安定剤	水	空気	塑強調整剤
品名	タックメント	TAC-α	TAC-2号	TAC-Re	清水	-	TAC-3G
真比重	3.15	2.60	1.00	1.27	1.00	-	1.37
1m ³ 当り	250kg	30kg	0.5kg	2.5kg	710L	142L	55L

一軸圧縮強度: $\sigma_{11r}=0.05\text{N/mm}^2$ A液比重: 1.05

一軸圧縮強度: $\sigma_{28}=2.00\text{N/mm}^2$ ゲルタイム: 15秒以内

表4 実験ケース

	ストローク	砂質土	粘性土
①本システムなし	0~450mm	ケース1	ケース3
②本システムあり	450~850mm	ケース2	ケース4

表5 実験条件 (計画時)

ケース	装置内圧力	ジャッキ速度	注入率	注入圧
1,2	0.04MPa	50mm/min	100%	0.05MPa
3,4	0.05MPa	50mm/min	100%	0.06MPa

3.3 実験の手順

表4に実験ケース,表5に実験条件を示す。全ジャッキストローク 850mmのうち,0~450mmの区間を本システム使用なし,450~850mmの区間を本システム使用ありの条件とした。試験装置内の飽和土に0.04~0.05MPaを水圧をかけて実験を行った。ジャッキ速度は,50mm/minとした。裏込め注入条件としては,裏込め注入率は,地山への浸透等はないものとしてテールボイド体積の100%とした。裏込め注入圧は,砂質土では装置内に作用する水圧0.04MPaと模擬土の重量を考慮すると0.05MPa程度,粘性土では装置内に作用する水圧0.05MPaと模擬土の重量を考慮すると0.06MPa程度となると想定とした。

本システムのシステム設定圧として,裏込め注入圧の下限値と上限値を設定した。本システムは装置内の圧力の変動により裏込め注入材が自動注入されるものであり,下限値を下回ると注入が開始され,上限値に達すると注入が停止する。下限値は掘進停止直後の裏込め圧(裏込め吐出口圧),上限値は掘進停止直後の裏込め圧+0.003MPaとした。

各区間掘進後,沈下板の変位が安定するまで掘進停止時間を設け,掘進中,掘進停止後の沈下板の変位,各種圧力を計測した。

3.4 実験結果【砂質土(ケース1,ケース2)】

写真4,写真5に実験状況,表6に各種計測結果,表7に沈下板1の変位量を示す。

(1) 裏込め注入率

裏込め注入率は,計画値の100%に対し,ケース1(本システムなし)は102%,ケース2(本システムあり)では103%となった。

(2) 沈下板の変位

図7,図8にジャッキストローク,裏込め注入材流量と地盤変位の経時変化を示す。沈下板の変位について,ケース1では掘進時に10.8mm沈下した。掘進停止後さらに計測終了までに8.8mm沈下し,合わせて19.6mmの沈下となった。ケース2では掘進時に16.0mm沈下した。掘進停止後は,システムを動作させ裏込め

注入材 A 液の注入により圧力の保持が行われ、階段状に変位が 8.6mm 隆起し、実験終了時で 7.4mm の沈下となった。

(3) 裏込め吐出口圧 (装置内裏込め圧)

図 9, 図 10 に裏込め吐出口圧と地盤変位の経時変化を示す。裏込め吐出口圧について、ケース 1 では掘進停止後、波状の変化を示しているが、なだらかに圧力が低下し 0.053MPa まで低下した。

ケース 2 では掘進停止後システムの作動により圧力の上昇と降下が交互に繰り返されているが、システム設定圧の下限値である 0.055MPa 以上を維持していることが確認できる。

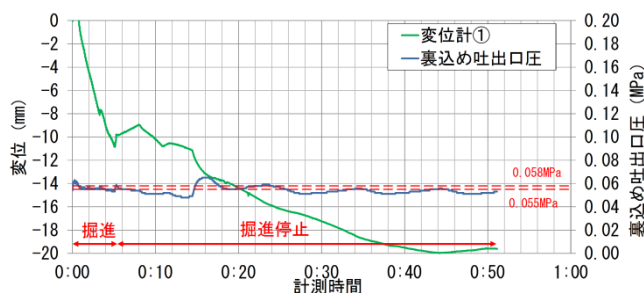


図9 裏込め吐出口圧と地盤変位の経時変化
(ケース1: システムなし)

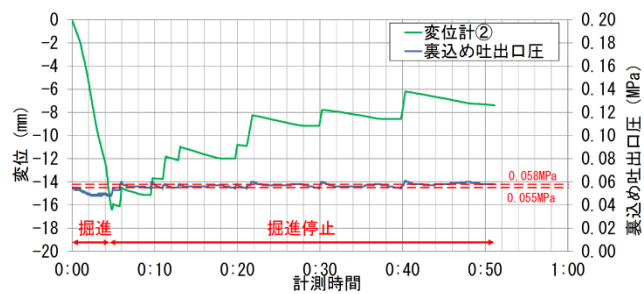


図10 裏込め吐出口圧と地盤変位の経時変化
(ケース2: システムあり)

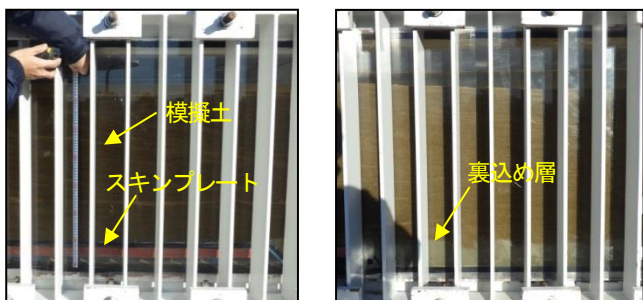


写真4 実験前 (砂質土)

写真-5 実験中 (砂質土)

表6 各種計測結果 (ケース1, ケース2)

ケース	ジャッキ平均速度	裏込め注入率	システム設定圧	
			下限	上限
1	46.6mm/min	102%	0.055MPa	0.058MPa
2	49.9mm/min	103%		

表7 沈下板1の変位 (ケース1, ケース2)

ケース	掘進時 (mm)	掘進停止時 (mm)	最終変位 (mm)
1	-10.8	-8.8	-19.6
2	-16.0	+8.6	-7.4

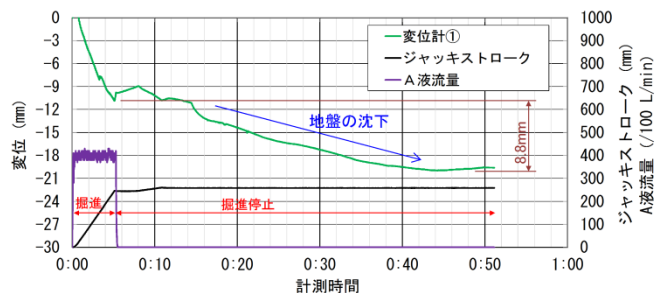


図7 ジャッキストローク、裏込め注入材流量と地盤変位の経時変化
(ケース1: システムなし)

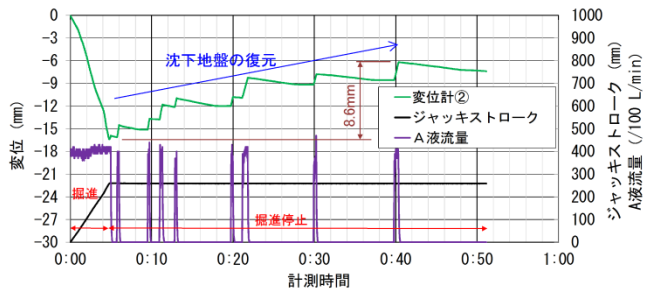


図8 ジャッキストローク、裏込め注入材流量と地盤変位の経時変化
(ケース2: システムあり)

3.5 実験結果【粘性土 (ケース3, ケース4)】

写真6, 写真7に実験状況, 表8に各種計測結果, 表9に沈下板2の変位量を示す。

(1) 裏込め注入率

裏込め注入率は、ケース3 (本システムなし) では101%、ケース4 (本システムあり) では123%となった。ケース3では粘性土にひび割れと沈下を生じたことから、裏込め注入量が不足していると判断し、ケース4では裏込め注入量を120%まで増加させた。

(2) 沈下板の変位

図11, 図12にジャッキストローク、裏込め注入材流量と地盤変位の経時変化を示す。沈下板の変位について、ケース3では掘進時18.1mmまで沈下した。掘進停止後は、さらに10.4mm沈下し、合わせて28.5mmまで沈下した。ケース4では掘進時に5.4mm沈下した。掘進停止後は、システムを作動させ裏込め注入材A液の注入により圧力の保持が行われ、階段状に3.6mm隆起し実験終了時で1.8mmの沈下となった。

(3) 裏込め吐出口圧 (装置内裏込め圧)

図13, 図14に裏込め吐出口圧と地盤変位の経時変化を示す。裏込め吐出口圧について、ケース3では掘進停止後0.074~0.079MPaの範囲で波状に一定に変化しており、圧力の低下が見られない。ケース4では掘進停止後のシステムの作動により圧力の上昇と降下が交互に繰り返されているが、システム設定圧の下限値である0.075MPa程度を維持していることが確認できる。

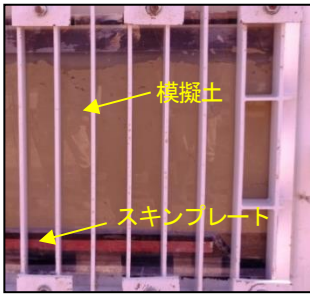


写真6 実験前（粘性土）



写真7 実験中（粘性土）

表8 各種計測結果（ケース3, ケース4）

ケース	ジャッキ平均速度	裏込め注入率	システム設定圧	
			下限	上限
3	48.9mm/min	101%	0.075MPa	0.078MPa
4	49.4mm/min	123%		

表9 沈下板2の変位（ケース3, ケース4）

ケース	掘進時	掘進停止時	最終変位
	(mm)	(mm)	
3	-24.2	-4.3	-28.5
4	-5.4	+3.6	-1.8

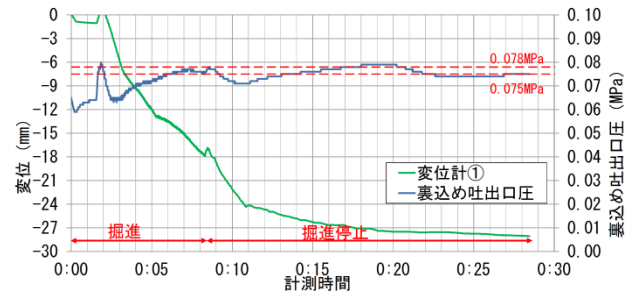


図13 裏込め吐出口圧と地盤変位の経時変化
（ケース3：システムなし）

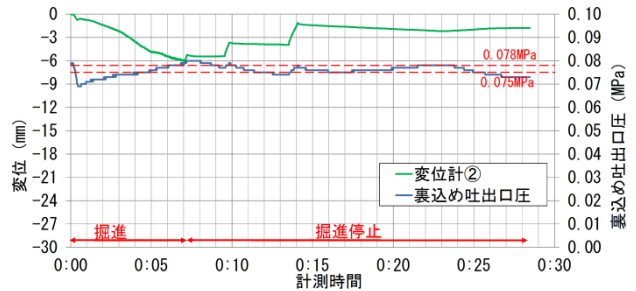


図14 裏込め吐出口圧と地盤変位の経時変化
（ケース4：システムあり）

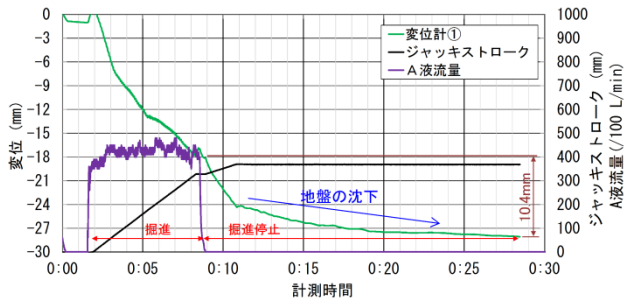


図11 ジャッキストローク、裏込め注入材流量と地盤変位の経時変化
（ケース3：システムなし）

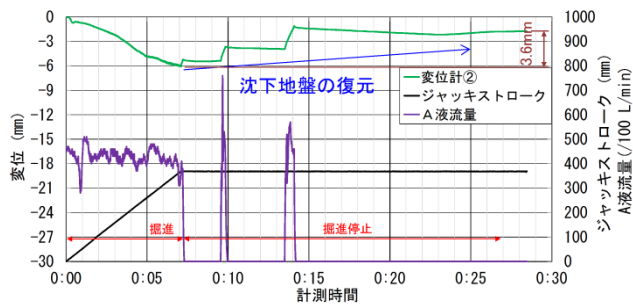


図12 ジャッキストローク、裏込め注入材流量と地盤変位の経時変化
（ケース4：システムあり）

3.6 考察

砂質土および粘性土による本システムの有効性を確認する実証実験の結果を次のように考察する。

(1) 砂質土

本システムを使用しない場合、掘進停止後に8.8mmの沈下を生じた。実験装置のテールボイド厚（90mm）の10%程度の変位量であり、掘進停止後の45分程度の間で生じた。

また、掘進停止時に装置内裏込め圧の低下がみられた。これは、掘進停止後の裏込め圧の低下により地盤内で緩みが生じ、8.8mm沈下したと考えられる。

本システムを使用した場合、掘進停止時に8.6mmの隆起を生じた。本システムの作動により裏込め注入材の主材は、合計8回注入された。本実験条件では、土被りが小さいため上載荷重が小さく、裏込め注入圧に地盤が敏感に反応し隆起する結果になったと考えられる。実現場では土被りも大きく、設定圧を適正に調整するため地盤の隆起は生じないと考える。

(2) 粘性土

本システムを使用しない場合、掘進停止後に10.4mmの沈下を生じた。実験装置のテールボイド厚（90mm）の12%程度の変位量であり、掘進停止後の20分程度の間で生じた。また、本システムを使用しないで装置内裏込め圧が保持された。これは今回の実験装置の構造、実験に用いた模擬土の特性によるものと考えられる。よって、今回の10.4mmの沈下は、地盤の緩みと考えられる。

本システムを使用した場合、掘進時に5.4mmの沈下を生じ、掘進停止時に3.6mmの隆起を生じた。本システムの作動により裏込め注入材の主材は、合計2回注入された。本実験条件では、砂質土と同様、土被りが小さいため上載荷重が小さく、裏込め注入圧に地盤が敏感に反応し隆起する結果となったと考えられる。実現場では土被りも大きく、設定圧を適正に調整するため地盤の隆起は生じないと考える。

したがって、砂質土および粘性土地盤において、本システムの設定圧力を適正に調整することで地盤の沈下や変位を抑制できると考える。

4. 実証施工による検証（途中結果報告）

4.1 実証施工概要

現在、本システムの有効性を検証するために、実シールド工事において実証施工を行っている。シールド路線上に4か所層別沈下計と地表面沈下計を設置し、各計測位置にて本システムの設定圧を変化させることで、地盤変状の常時自動計測により「沈下パターン」や「沈下量」を確認し、対象となる土質に対して最適なシステム設定圧を把握する。

(1) 実シールド工事の概要

- 仕上がり内径（セグメント内径）： 2,800mm
- セグメント外径： 3,200mm
- セグメント幅： 直線部 1,200mm
曲線部 600mm
- 延長： 2,050m
- 工法： 泥水式シールド
- 掘削対象土： 砂礫層
- 土被り： 8.3~11.3m

(2) シールドマシン

シールドマシンの概要を以下に示す。本工事では、マシン後方部左右に同時裏込め注入管を装備している。

- シールド外径： 3,320mm
- シールドマシン長： 6,450mm

写真8, 9に本工事におけるシールドマシンを示す。

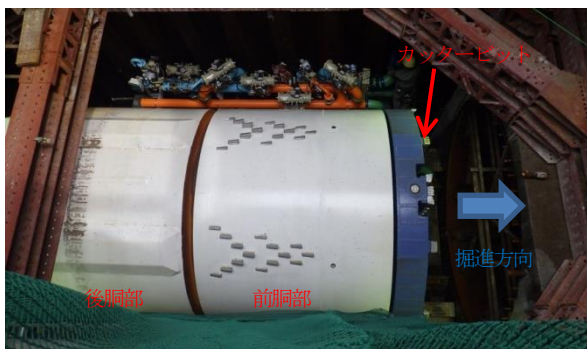


写真8 シールドマシン全景



写真9 シールドマシン後方部

(3) 裏込め注入材

表10に本工事で使用する裏込め注入材の配合を示す。

表10 裏込め注入材の配合

材料名	A液(950L)					B液	
	硬化材	助材	起泡剤	安定剤	水	空気量	高濃度増強剤
品名 (真比重)	タックメント (3.15)	TAC-α (2.6)	TAC-2号 (1.00)	TAC-Re (1.27)	清水 (1.0)	-	TAC-3G (1.37)
1m ³ 当り	230 kg	20 kg	0.5 kg	2.3 kg	724L	143 L	50 L

※A液性状：比重：1.03±0.1、フロー値：300~500mm

A, B混合性状：ゲルタイム：15秒以内

一軸圧縮強度： $\sigma_{1H} = 0.03N/mm^2$ 、 $\sigma_{28} = 2.0N/mm^2$

(4) 裏込め圧保持装置

写真10に裏込め圧保持装置を示す。裏込め圧保持装置は、通常の裏込め注入システムの一部プログラムを追加したのみの構造であり、通常の裏込め注入システムの操作盤で操作可能である。掘進停止時のシステム設定圧の上限値と下限値を設定できる。計測している裏込め層の圧力が下限値を下回ると自動で裏込め注入材A液のみ、またはA液+B液を注入し、裏込め層の圧力が上限値に達すると注入を自動停止する設定となっている。

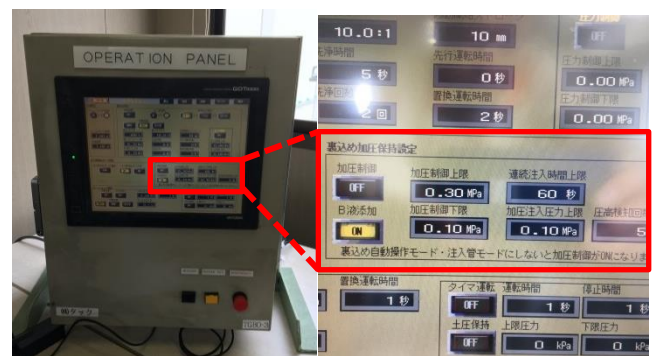


写真10 裏込め圧保持装置
(右：操作盤、左：パネル拡大)

(5) 計測計画

図15に計測区間平面図、図16に測点断面図を示す。発進坑口から70mまでの区間を実証施工における計測区間とし、15.6m間隔（セグメント幅1,200mmでは13リング分、セグメント幅600mmでは24リング分）で4測点に分けて各測点に層別沈下計および地表面沈下計を設置した。層別沈下計は、シールド直上1.0mの地中に1点、その鉛直上に3.0m間隔で2点の合計3点設置した。

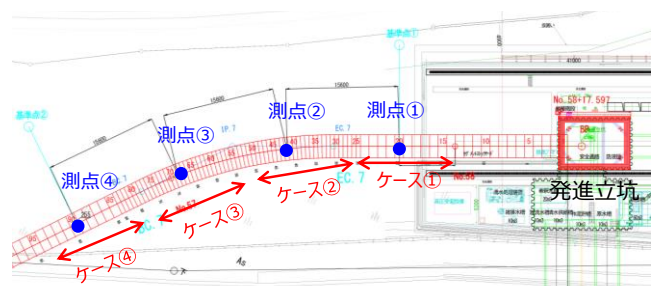


図15 実証施工計測区間平面図

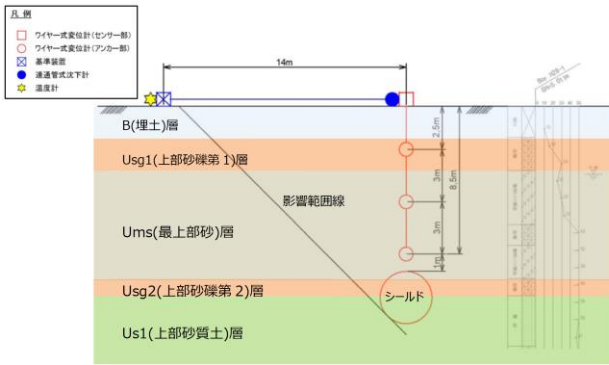


図 16 計測点断面図

4.2 施工方法

各測点でシステム設定圧を変化させ、合計 4 ケースの施工を実施する。図 17 に各測点でのセグメントリング数と施工ケースを示した断面図を示す。

(1) 裏込め注入圧・注入量の設定

表 11 に裏込め注入圧・注入量の設定値を示す。4 ケースとも設定値は同じ値とし、裏込め注入圧は切羽水圧+100~200kPa 以下、裏込め注入量はテールボイド体積の 130%とする。

表 11 裏込め注入圧・注入量の設定値

ケース	1	2	3	4
対象測点	測点①	測点②	測点③	測点④
注入圧	≦切羽水圧+100~200kPa			
注入量	テールボイド体積の130%			

(2) 裏込め圧保持装置のシステム設定圧の上限値・下限値の設定

表 12 に裏込め圧保持装置のシステム設定圧の上限値と下限値を示す。各測点の位置を中心に前後 5m の合計 10m の区間にあるリングを対象リングとし、本システムを作動させる。各測点間の対象リング外の区間では本システムは作動させないこととする。

表 12 裏込め圧保持装置の設定値

ケース	1	2	3	4
対象測点	測点①	測点②	測点③	測点④
対象リング番号	19~26R	39~49R	66~76R	88~93R
システムの使用	なし	あり		
システム設定圧上限値	—	裏込め注入圧+20kPa	裏込め注入圧+30kPa	裏込め注入圧+40kPa
システム設定圧下限値	—	裏込め注入圧		

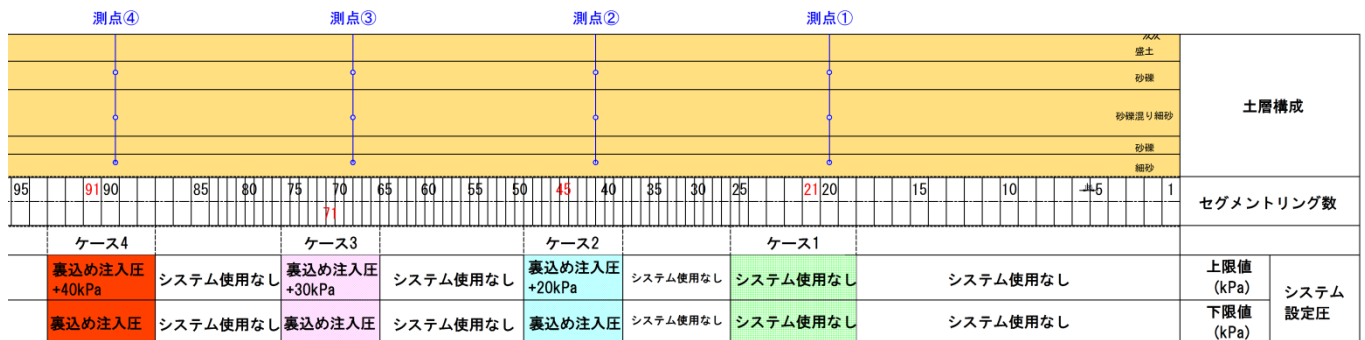


図 17 各ケースとセグメントリング数

4.3 施工結果 (ケース 1, 2)

現在実証施工中のため、施工が完了したケース 1, 2 についての施工の途中結果を報告する。

表 13 に測点① (ケース 1) および測点② (ケース 2) のシールドテール部通過時の裏込め注入実績を示す。裏込め注入圧は、掘進停止前の左右の同時裏込め注入管に装備された圧力計の値である。裏込め注入量は、掘進時にテールボイドに注入した裏込め A 液と B 液の積算値の合計である。設定圧上限値・下限値は、裏込め圧保持装置のシステム設定圧である。停止時注入量は、掘進停止時に注入した裏込め注入量である。今回は掘進停止時には裏込め A 液のみ注入した。

表 13 裏込め注入実績 (ケース 1, 2)

測点		①	②
掘進リング		21	45
裏込め注入圧(左)	kPa	80	70
裏込め注入圧(右)	kPa	90	70
裏込め注入量	L	1242	606
	%	135	131
設定圧上限値	kPa	—	90
設定圧下限値	kPa	—	70
停止時注入量	L	—	439

(1) ケース 1 (測点①)

表 13 より、21 リング掘進時では、左側の裏込め注入圧が 80kPa、右側の裏込め注入圧が 90kPa であった。また、裏込め注入量は、幅 1,200mm のセグメントのため 1,242L 注入して 135%の注入であった。

図 18 に測点①でシールドテール部が通過する 21 リング掘進時の各種計測値の経時変化を示す。

21 リング掘進時の沈下計の変位量は、地表面での計測点では掘進前の-3.0mm から-2.6mm、GL-8.5m での計測点では-1.3mm から-0.9mm の隆起がみられた。

21 リング掘削完了後の掘進停止中の変位量は、地表面での計測点では掘進前の-2.6mm から-3.3mm、GL-8.5m での計測点では-1.1mm から-1.8mm の沈下が生じた。

(2) ケース 2 (測点②)

表 13 より、45 リング掘進時では、左側の裏込め注入圧が 70kPa、右側の裏込め注入圧が 70kPa であった。また、裏込め注入量は、幅 600mm のセグメントのため 606L 注入して 131%の注入であっ

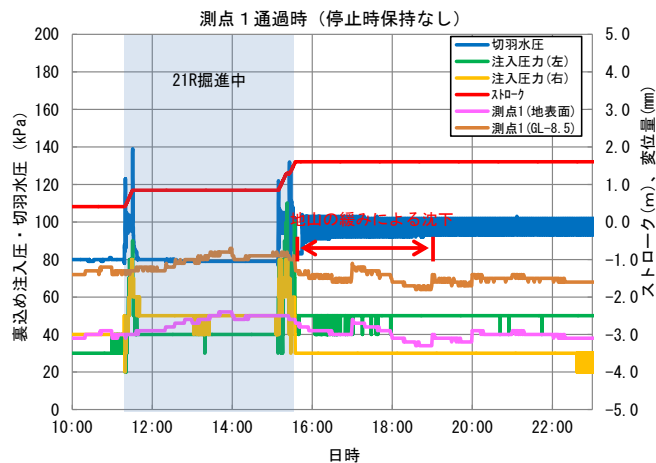


図 18 裏込め注入圧と各沈下計の経時変化(ケース 1)

た。そこで、本システムのシステム設定圧の上限値を $70+20=90\text{kPa}$ とし、下限値を 70kPa と設定した。裏込め層圧力の保持時間は、掘進停止後 1 時間とした。

図 19 に測点②でシールドテール部が通過する 45 リング掘進時の各種計測値の経時変化を示す。

45 リング掘進時の沈下計の変位量は、地表面での計測点では掘進前の -1.3mm から -1.1mm 、GL-8.5m での計測点では -0.1mm から $+0.3\text{mm}$ の隆起がみられた。

45 リング掘削完了後の掘進停止中の変位量は、裏込め圧保持システムによる加圧保持により、GL-8.5m の計測点で $+0.3\text{mm}$ から $+0.7\text{mm}$ まで隆起が生じていることが確認できる。

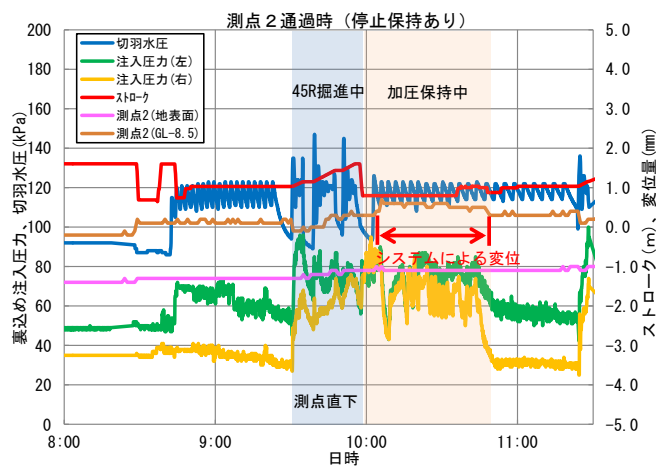


図 19 裏込め注入圧と各沈下計の経時変化(ケース 2)

4.4 考察 (ケース 1, 2)

本システムの有効性を確認する実証実験の結果を次のように考察する。

ケース 1 のシステムを使用しない場合、掘進停止時において地山の沈下がみられた。これは、裏込め注入圧の低下により地山の緩みが生じたためと考えられる。

ケース 2 のシステムを使用した場合、システムの使用により GL-8.5m 計測点での地山の隆起が確認でき、本システムによる裏込め注入圧が地山へ有効的に作用することが確認できた。

5. まとめ

本システムはシールドの掘進停止中において、加圧保持装置を駆動し、裏込め注入材あるいはその主材 (A 液) を自動注入することで既に注入された裏込め注入材を加圧保持して、掘進停止時の沈下を抑制するものである。本システムの有効性を確認するため、模擬地盤における実証実験および実現場における実証施工を行った。その結果にもとづき得られた知見をまとめると以下のとおりとなる。

- (1) 砂質土の模擬地盤での実証実験の結果、本システムを使用しない場合、掘進停止時に裏込め圧の低下に伴う地盤の沈下を示したが、本システムを使用することで裏込め圧の保持に伴う地盤の隆起を示した。
- (2) 粘性土の模擬地盤での実証実験の結果、本システムを使用しない場合、掘進停止時に地盤の緩みに伴う地盤の沈下を示したが、本システムを使用することで裏込め圧の保持に伴う地盤の隆起を示した。
- (3) 今回の実証実験では、土被りが小さいため上載荷重が小さく、裏込め注入圧に地盤が敏感に反応し隆起する結果になったと考えられる。
- (4) 砂層を掘進するシールド工事での実証施工の結果、実現場において裏込め圧の低下に伴う地盤の沈下を確認した。本システムを使用することで裏込め圧が保持され、それに伴い地盤を微小ながら沈下を抑制することができた。

以上の知見から、本システムによる裏込め圧の保持が、模擬地盤だけでなく実現場においても地山へ有効的に作用することが確認できた。

6. おわりに

実証実験および実証施工の実施により、本システムの設定圧力を適正に調整することで地盤の沈下や変位を抑制できると考えられ、本システムの有効性を確認できた。

今後、現在実施中である実証施工において、ケース 3, 4 を実施することで、実施工においても本システムが有効であることを確認していく。

謝辞

本システムの開発および実証実験にあたり、小山幸則立命館大学客員教授に貴重なご意見、ご指導をいただきました。厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 矢萩秀一：硬質地盤中に構築されるシールドトンネルの覆工の設計荷重に関する研究，博士学位論文，東北大学，2008。
- 2) 杉本光隆，佐藤豊，入内島克明：シールドトンネルに用いる可塑状裏込め注入材の圧密挙動に関する研究，土木学会論文集 No.788, pp.127-137, 2005.5