

## 2. シールド工事に伴う周辺環境調査に関する検討

### Study on Environmental Survey for Shield Tunneling Work

技術支援課 石田教雄

#### 1. はじめに

東京都建設局では、古川地下調節池、白子川地下調節池、首都高品川線、環状七号線地下広域調整池など、シールド工法によるトンネル工事が近年増えてきた。そこで、シールド工事に伴う周辺環境への負荷の低減を図るため、シールド工法が周辺環境に及ぼす影響の実態を把握・分析するとともに調査項目などを検討し、「工事に伴う環境調査要領」<sup>1)</sup>（東京都建設局）を補完する技術資料を紹介する。

#### 2. シールド工法とは

シールド工法とは、シールドマシンのカッターで土を掘削しながらセグメントを組み立て、トンネルを築造する工法である。（図-1 参照）

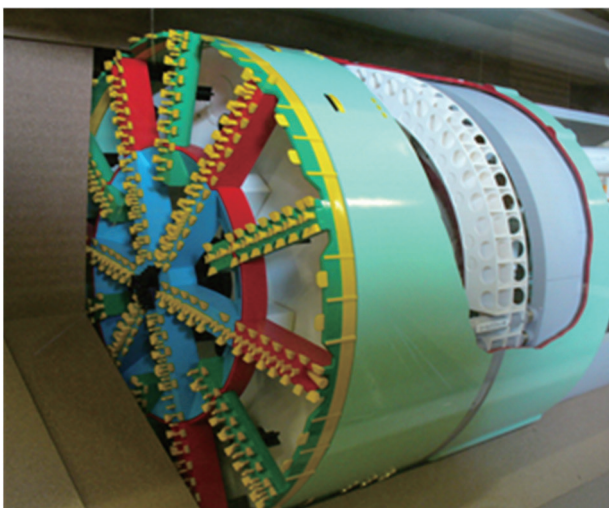


図-1 シールドマシン模型

現在使用されているシールド工法に関して、大別したものを図-2に示す。

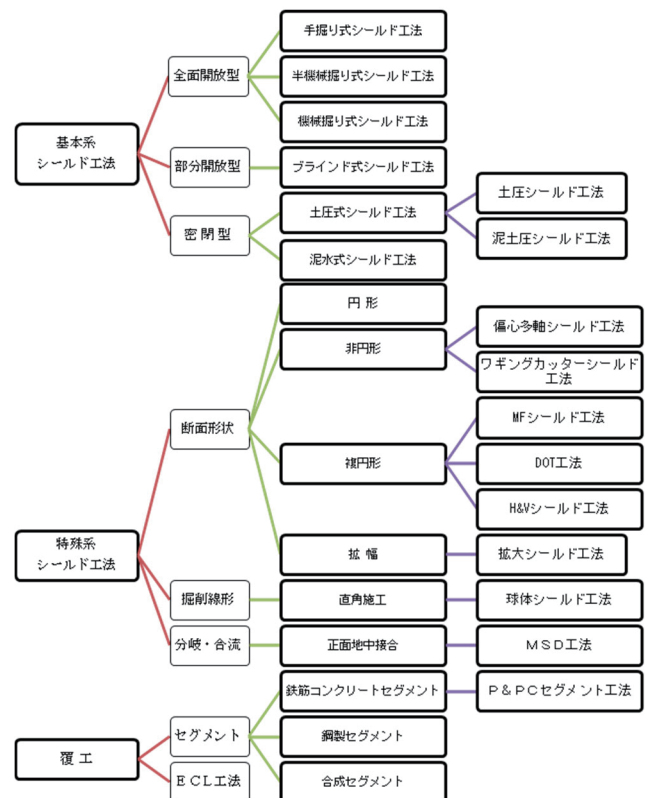


図-2 シールド工法大別図

#### 3. シールド工事に伴う地盤変状

一般的にトンネルを掘ると、安定していた状態の土が乱れたり緩んだりして不安定な状態になり、これに伴い地盤変状が生じることがある。

地盤変状の影響要因は、シールド形式、シールド外径、線形、土被り等の固有の条件と、施工条件のように変動する条件に大別される。

切羽での掘削で生じる切羽の崩壊、地下水位の低下、過大なジャッキ推力、シールドの掘進過程で生じる余

掘り、蛇行、周辺地山の乱れ、シールドスキンプレートと地山との摩擦、シールド通過後に生じるテールボイドの発生、不適切な裏込め注入、覆工の変形、覆工からの漏水等の現象は、地盤変状を引き起こす直接原因となる。

### 3-1 地盤変状の発生機構<sup>2)</sup>

シールド掘進に伴う地盤変状の発生機構は、次のものが挙げられる。

① **切羽における土水圧の不均衡**：土圧式シールドや泥水式シールドでは、掘進量と排土量に差が生じるなどの原因で、切羽土圧や水圧とチャンバー圧に不均衡が生じると、切羽が平衡状態を失い、地盤変状が生じる。切羽土圧や水圧に対しチャンバー圧が小さい場合は地盤沈下、大きい場合は地盤隆起を生じる。これらの現象は切羽における地山の応力解放、あるいは付加的な圧力等による弾塑性変形によって生じる。

② **掘進時の地山の乱れ**：シールド掘進中は、シールドのスキンプレートと地山との摩擦や地山の乱れに基づく地盤隆起や沈下を生じる。とくに、蛇行修正、曲線掘進に伴う余掘りは、地山を緩める原因となる。

③ **テールボイドと不十分な裏込め注入**：テールボイドの発生によりスキンプレートで支持されていた地山は、テールボイドに向かって変形し、地盤沈下を生じる。これは、応力解放による弾塑性変形である。地盤沈下の大小は、裏込め注入材の材質および注入時期、位置、圧力、量等に左右される。また、粘性土地盤における過大な裏込め注入圧力は、一時的な地盤隆起の原因となる。

④ **一次覆工の変形および変位**：継手ボルトの締付けが不十分だと、セグメントリングが変形しやすくなる。それにより、テールボイドの増大やテール脱出後に作用する圧力の不均等が生じて、覆工が変形あるいは変位し、地盤沈下が増大する原因となる。

⑤ **地下水位低下**：切羽からの湧水や一次覆工からの漏水が生じると、地下水位が低下し地盤沈下の原因となる。この現象は、地盤の有効応

力が増加したことによる圧密沈下である。

### 3-2 地盤変状の経時変化<sup>3)</sup>

シールド掘進に伴う地盤変状の経時変化は、一様ななだらかな曲線を描いて最終値にいたる場合は少なく、曲線の途中で明らかに曲率が急変する点が存在する。時間軸をシールドの掘進位置に置き換えてみると、変位曲線のそれぞれの変化点とシールドの位置との間に関連があり、これらの各段階の変状の経時変化をまとめると次の第一段階から第五段階で現される。

**第一段階は**、先行沈下である。シールドの切羽が到達する以前に生じる沈下である。砂質土の場合は地下水低下によって生じることがある。

**第二段階は**、切羽前沈下（隆起）である。シールド切羽が到達する直前に発生する沈下あるいは隆起で、切羽における土水圧の不均衡が原因である。

**第三段階は**、通過時沈下（隆起）である。シールドが通過するときに発生する沈下あるいは隆起で、シールド外周面と地山との摩擦や余掘りに伴う乱れ、三次元的な支持効果が減ることによる応力解放によることが主な原因で発生する。

**第四段階は**、テールボイド沈下（隆起）である。シールドテールが通過した直後に生じる沈下あるいは隆起で、テールボイドが生じることによる応力解放や過大な裏込め注入圧等が原因で発生する。地盤沈下の大半は、このテールボイド沈下である。

**第五段階は**、後続沈下である。軟弱粘性土の場合にみられる沈下あるいは隆起で、主として、シールド掘進による全体的な地盤の緩みや乱れ、過剰な裏込め注入等に起因する。

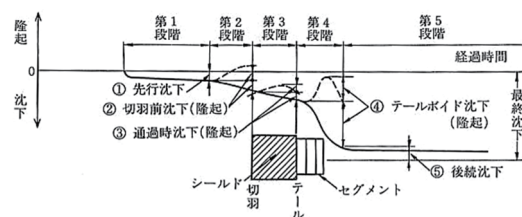


図-3 シールド掘進による地盤変状<sup>4)</sup>

### 3-3 縦横断方向の地盤変状

シールド工事の通過に伴う地盤変状の縦断方向、横断方向は、それぞれ図-4、図-5に示すとおり傾向がある。

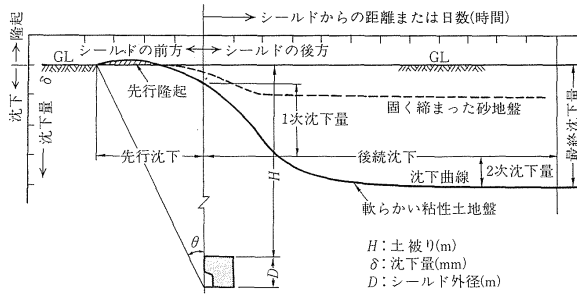


図-4 縦断方向の地表面沈下の一般的傾向<sup>5)</sup>

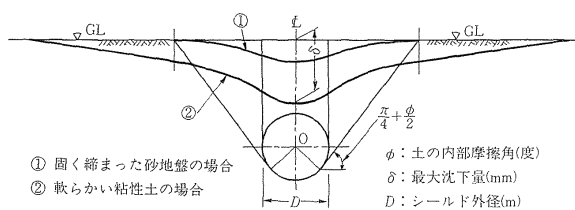


図-5 横断方向の地表面沈下の一般的傾向<sup>6)</sup>

## 4. 地盤変状の影響領域

シールド掘進により発生する地盤変状や付加土圧の影響が周辺地盤のどの範囲まで及ぶのか、その影響領域を知ることは、近接する既設構造物を防護するうえで非常に重要である。

地盤変状の側方の最終的な影響領域は、おおむねシールド下端から仰角  $45^\circ + \phi/2$  の範囲である。洪積地盤の場合も同様の分布となるが、自立性が高いので、テールボイドの発生等の応力解放による地盤変状の影響領域は、沖積地盤よりも狭く、ほぼ掘削断面の幅内に収まることが多い。

土被り厚 H とシールド外径 D との比と全沈下量との関係は、地盤の種類によって異なる。

粘性土地盤の場合は H/D が大きくなっても、全沈下量が低減する傾向はみられない。一方、砂質土地盤の場合は H/D が 2 以上になると全沈下量が著しく低減する傾向がみられる。とくに沖積層の粘性土地盤の場合は、土のアーチ作用が期待できないため、地中の沈下が時間の経過とともに上方に伝搬し、最終的には地中と地表の沈下がほぼ同一になるのに対して、砂質土地

盤の場合は地中の沈下が上方に伝搬する過程で土のアーチ作用により地表面沈下が低減されるためである。

また、地盤内に埋設された地中土圧計の計測結果によると、シールドの通過時に生じる付加的な土圧は、シールド上方よりも地盤の拘束が大きい側方、下方に広く伝播し、シールドテールの脱出とともに消散する。沖積地盤における付加土圧の影響領域は、シールドの外周面からおおむね 1D の範囲と考えられる。

### 4-1 地盤変状と既設構造物の防護

都内でのシールド工事は、市街地で施工されており、図-6に示すとおり家屋や重要な公共施設への近接の問題が大きくなっている。

シールド工法においては、掘進に伴うこれらの地盤変状を極力少なくするため、切羽安定管理や推進管理などの施工管理を日常的に行っている。しかし、特に地盤が軟らかい場合、シールド掘進に伴い切羽の応力開放、周辺地山の乱れにより周辺の地盤が動いたり緩んだりすることがある。また、土被りが浅いと大きな地表沈下が発生する場合がある。

このような場合、周辺の構造物に影響を及ぼすことがあり、特に都内には既設構造物の他、トンネル、ガスパ管や水道管等の地下埋設物、ビルや鉄道・橋梁等の各種重要施設物やその基礎と近接・交差しているため、①構造物や建物の沈下、傾斜、②ライフラインの沈下、③舗装面の沈下などの影響が懸念される。

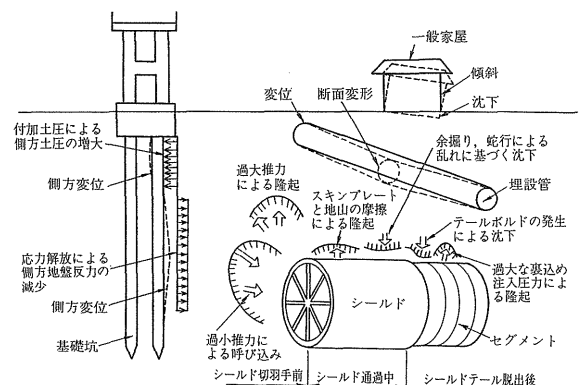


図-6 シールド掘進に伴う地盤変状の模式図<sup>7)</sup>

近接する既設構造物に有害な影響を与えずにシールド工事を行うためには、調査および事前検討から現場計測管理まで一貫した取り組みが必要である。

その方法として先ず、調査結果を基に現場条件を整理し、所定の基準を参考に近接程度の判定を行う。

判定結果から、影響検討や計測管理が必要と判断された場合には、与えられた現場条件においてどのような現象が生じるかを的確に想定し、その現象に合ったモデルで地盤変状とその既設構造物への影響を事前に予測する。

解析結果が既設構造物の許容値を上回る場合は、防護対策を検討する必要がある。

最後に、解析結果を基に管理基準値を設定し、実施施工時に現場計測を行い、既設構造物への影響を監視する。

このような流れに沿って近接施工管理を実施するためには、前述の変状のメカニズムや現場環境に応じた対策工法、計測管理方法等について熟知している必要がある。

## 5.環境変化の発生例

表-1 に建設工事による環境変化の発生例を示す。表中でシールド工事に該当する項目は、地盤変状、地下水（水位、水質）、家屋被害である。

表-1 建設工事による環境変化の発生例<sup>1)</sup>

種別	工種	主要機械(工法)	環境変化				家屋被害
			騒音	振動	地盤変形	地下水変化 水位 水質	
土工	掘削工	各種掘削機	○	○	◎※1	◎	○
	盛土工・埋戻し工	ブルドーザ、バックホウ	○	○	○		○
	締固め工	ローラ類、コンパクタ、タンバ、各種振圧機	○	○			
	オープンカット工(岩石工)	クローラドリル、大型ブレーカ	◎	◎			
	構造物取り壊し工	ブレーカ、バックホウ、コンプレッサ	◎	◎	○		○
運搬工	積込工	大型ブレーカ、積込振圧砕機	◎	◎			
	運搬工	トラック、ダンフトラック、トレーラ	○	○			○※2
杭工及び仮設工	中掘工法	アースオーガ、圧入杭打機、クラッシュパイルハンマ、クォータージエツト			○		○
	圧入工法						○
	掘削工法		◎	◎	○		○
	パイプロハンマ	パイプロハンマ	◎	◎	○		○
中継壁掘削工	掘削工				○	○	
	柱列地中壁				○	○	
	柱列地中壁				○	○	
舗装工	舗装工	ブルドーザ	○	○			
	舗装工	ローラ類、タンバ、フィニッシャー	○	○			
地盤改良工	掘削工	フレード工法			○		○
	排水工	サンドドレン工法、ペーパードレン工法			○	○	○
	深層混合処理工	スラリー系・粉体系混合処理工法			◎		○
	内部締固め工	サンドコンパクションパイル工法	○	○	○		○
	薬液注入工	薬液注入工法			○	◎	○
	地下水位低下工	ウェルポイント工法、ディープウェル工法			◎	◎	○
	凍結工	ボーリング掘削機			◎	○	○
トンネル工事	NATMI				○	○	○
	シールド工	泥水圧、泥土圧			○	○	◎
	ケーソン工	コンプレッサ、シャフト		○	○	○	○

注) ◎印は、環境変化の可能性が高いと思われる項目を示す。  
○印は、" " あり " "

※1 軟弱地盤におけるヒービング及び被圧地下水等による飽みくずれやボーリングに注意を要する。  
※2 環状の車両通行が少ない箇所において、工事車両が多く通行する場合に注意する。

## 6.東京都のシールド工事の傾向

### 6-1 東京都シールド工事の各局比率

都発注（平成13年度から平成26年度）のシールド工事のうち、水道局と下水道局で98%を占めている（図-7）。

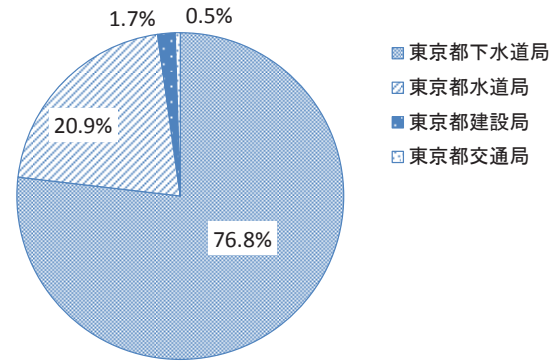


図-7 東京都シールド工事の各局比率

下水道局と水道局のシールド工事のシールド径及び土被りを表-2に、建設局の概要を表-3示す。

表-2 下水道局・水道局シールド径及び土被り

工事名	シールド径 (mm)	土被り (m)
下水道局	平均	3,172
	最大	7,100
	最小	1,536
水道局	平均	2,713
	最大	4,500
	最小	1,930

表-3 建設局発注のシールド径及び土被り

工事名	シールド径 (mm)	最大土被り (m)
白子川地下調節池工事(その3)	7,072	19.5
神田川・環状七号線地下調整池(第二期)シールド工事	13,440	47.7
中央環状品川線大井地区トンネル工事	13,600	25.0
中央環状品川線シールドトンネル-2	12,530	46.0
古川地下調整池工事(その1)	8,180	40.0
白子川地下調節池工事(その5)	10,800	47.0
	平均	11,239
	最大	13,600
	最小	8,180

シールド工事に伴う一般的な傾向を把握するため、施工数の多い下水道局の事例について分析を行う。

## 7.分析事例

### 7-1 調査対象と観測内容

表-4 に工事箇所、地盤状況、シールド概要、土被り、近接対象構造物、管理値、鉛直変位量の一覧を示す。

表-4 シールド工事の調査結果概要

工事番号	工事箇所	地形	地質	N値	シールド				土被り	近接対象構造物	管理値		鉛直変位量 (mm)	
					形式	外径 D (m)	最大 H1 (m)	最小 H2 (m)			H1/D	H2/D		実位置
①	中野区新井	谷底低地	砂礫	>50	泥水	3.15	16.6		5.3	5.3	既設橋梁(橋台)	一次: ±3.0mm 二次: ±5.0mm	0.14	-1.3
②	中野区新井	谷底低地	土丹	>35	泥水	3.15	27.2	18.5	8.6	5.9	道路掘削(管)	(記述なし)	2	-2
③	中野区新井	谷底低地	硬質土~固結シルト	>50	泥水	9.4	45.3	36	4.8	3.8	丸の内線構造物(駅体、軌道)	一次: ±3.0mm 二次: ±5.0mm		-3.7
④	中野区新井	谷底低地	硬質土~固結シルト	>50	泥水	4.45	46		10.3	10.3	丸の内線構造物(駅体、軌道)	一次: ±3.5mm 二次: ±5.0mm		-2.9
⑤	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	1.75	18.6	3.9	10.6	2.2	道路掘削(管)	±10mm以上で再協議	2	-2
⑥	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
⑦	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.88	-1.5
⑧	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
⑨	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
⑩	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
⑪	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
⑫	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
⑬	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
⑭	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
⑮	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
⑯	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
⑰	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
⑱	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
⑲	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
⑳	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㉑	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㉒	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㉓	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㉔	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㉕	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㉖	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㉗	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㉘	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㉙	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㉚	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㉛	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㉜	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㉝	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㉞	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㉟	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㊱	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㊲	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㊳	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㊴	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㊵	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㊶	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㊷	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㊸	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㊹	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㊺	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㊻	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㊼	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㊽	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㊾	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64
㊿	中野区新井	谷底低地	砂礫~固結シルト	>28	泥水	3.15	15.7		5.0	5.0	環状橋 人運橋	管理値: ±5.0mm 許容値: ±7.0mm	0.86	-0.64

図-8 は、土被り H とシールド外径 D の関係をシールド形式・地盤別に分類したものである。

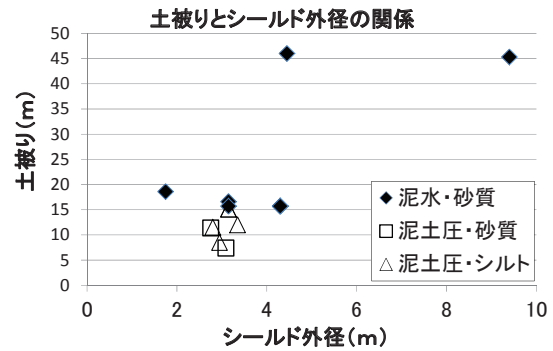


図-8 シールド外径と土被りの関係

図-8 より、シールド形式と地盤の関係は、泥水は全て砂質地盤であり、泥土圧は大部分がシルトであった。

土被りの関係を見ると、泥水は全て土被り 15m 以上であり、泥土圧は全て 15m 以下であった。

シールド外径の関係をみると、泥水は 1.75m から 9.4m までと小口径から大口径まで幅広く採用されている。泥土圧は、2.75m から 3.35m と 3m 近辺であった。

### ② 「土被り H/シールド外径 D」と地盤変状の関係

#### (i) 沈下量

図-9 は、H/D と沈下量の関係を地盤種別ごとに示したものである。

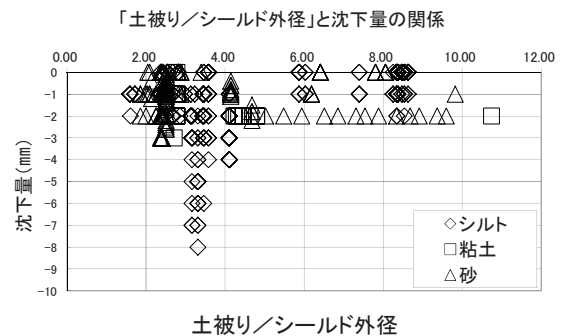


図-9 「土被り/シールド外径」と沈下量の関係 (地盤種別)

図-9 より、全てのデータにおいて H/D は 1.0 を超えている。H/D=1.0 という値は、シールド直上に重要構造物がある場合、一般的に安全といわれている領域である。なお、地盤変状量の評価は、表-4 で一次管理値として比較的多く設定されている 3mm を指標として行った。

### 7-2 計測結果

計測結果は、表-4 の一覧表の通りであるが、この計測結果の全体的な傾向を把握するため、以下の整理を行った。

#### (1) 地盤変状・(外径 D/土被り厚 H)と地盤の関係

シールド掘進による地盤変状の要因を把握するため、H/D を指標に地盤種別ごとに整理した。なお、土被りは各工事の最大の数値である。

#### (2) 地盤変状と対象構造物の関係

シールド工事における対象構造物の状況を把握するため、離隔と「変位量・管理値」の関係について整理した。

#### (3) 地盤変状が大きかった工事

シールド工事に伴う地盤変形の傾向を把握するため、最も変位量が大きかった事例の整理を行った。

#### (1) 地盤変状・H/D と地盤の関係

##### ①土被り H とシールド外径 D の関係

図-9より、H/Dと沈下量の関係は、H/Dに関係なく大部分が3mm以内に収まるという計測結果であった。

地盤別に見るとシルトは、H/D=1.5~8.6まで分布している。3mmを超える沈下が生じた領域が分布するのは、H/D=3.2~4.1である。特に、H/D=3.2には8mmの沈下量が分布している。この工事は、表-4の⑭の工事である。表-4より管理値は設定されておらず、沈下による工事の中止は報告されていない。

粘土は、H/D=2.7~10.7まで分布しているが、沈下は全てのデータが3mm以内である。砂は、H/D=1.8~9.6まで分布しているが、沈下は全てのデータが3mm以内である。

地盤変状量の大部分のデータが3mm以内に収まった要因としては、地表面と十分な土被りが確保されて施工されたことと、シールド工法の技術が進歩していることが考えられる。

(ii) 隆起量

図-11は、H/Dと隆起量の関係を地盤種別ごとに示したものである。

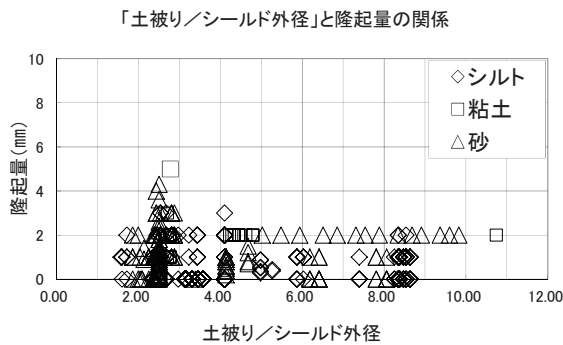


図-11 「土被り/シールド外径」と隆起量の関係 (地盤種別)

H/Dと隆起量の関係は、粘土と砂の一部で3mmを超えたデータが存在しているが、全体的には沈下量と同様に地盤及びH/Dに関係なく大部分が3mm以内に収まるという計測結果であった。

地盤種別にみるとシルトは、H/D=1.4~8.6まで分布しているが、隆起は全てが3mm以内である。

粘土は、H/D=2.8~10.8まで分布しており、2.8で隆起が3mmを超えている値がある。この工事は、表-4の⑯の工事であり、一次管理値の5mm以内であった。

砂は、H/D=1.8~9.8まで分布しており、2.5で3mmを超えているデータがある。この工事は、粘土と同様⑯の工事であり、一次管理値の5mm以内であった。

(2) 地盤変状と対象構造物の関係

今回計測を行った構造物を分別すると以下の3つに分類される。

- (i) 既設構造物：地下鉄、軌道、架線支柱、道路橋、人道橋
- (ii) ライフライン：水道管、ガス管、電力の洞道
- (iii) 舗装面

①対象構造物との離隔

図-10は、対象構造物との離隔の関係を示したものである。

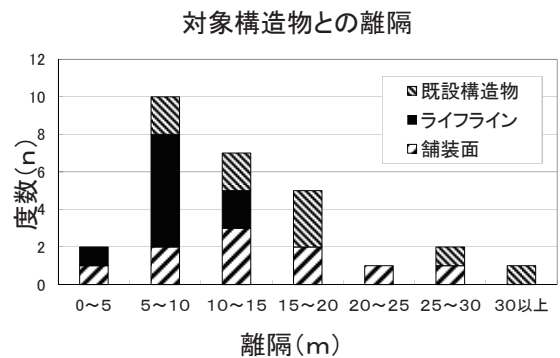


図-10 対象構造物との離隔の関係

ここで、構造物との離隔は以下のとおりとした。

(i) 既設構造物

- ・ 地下鉄の場合、シールド本体上部から構造物下部の距離
- ・ 架線支柱・道路橋・人道橋の場合、シールド本体上部から橋脚の距離

※シールド通過に伴う橋脚の変位の計測は一般的に基礎部に計測器を設置する。

軌道の場合、シールド本体上部から地表面の距離

※軌道は、地表面に接している。

(ii) ライフライン

- ・ 水道管・ガス管の場合、シールド本体上部から水道管・ガス管の距離
- ・ 電力の洞道の場合、シールド本体上部か

ら構造物下部の距離

### (iii) 道路舗装面

- ・ シールド本体上部から地表面の距離

図- 10 より離隔は、5 m未満から 30m以上まで幅広く分布している。データ数は、「5 m～10m」、「10 m～15m」、「15m～20m」に集中している。

各対象構造物別に見ると、既設構造物と道路舗装面は、様々な離隔が取られている。ライフラインは、「15m」までであり、「5 m～10m」のデータ数が多くなっている。

今回の収集したシールド工事のシールド外径は、表- 4 より大部分が5 m未満である。対象構造物の離隔は5 mを越えた工事が大部分である。

以上より、対象構造物に対して十分に離隔を確保して工事が行われた。

## ②変形量と管理値の関係

図- 12 は、対象工事における最大沈下量を、図- 13 は最大隆起量について、表- 4 で管理値が設定されている工事ごとに管理値との関係を示したものである。図の直線は、管理値と地盤変状量が同じ場合の直線である。図より直線より下であれば管理値以内であることを示している。

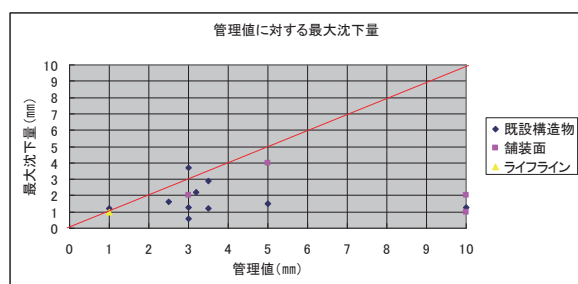


図- 12 沈下量と管理値の関係

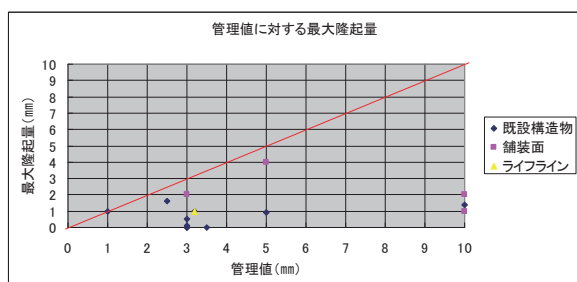


図- 13 隆起量と管理値の関係

最大沈下量は大部分の工事が管理値以下であった。また、管理値を越えた工事についても二次管理値は超えておらず、工事の中止は報告されておらず、最大隆起量は全ての工事が管理値以内に収まっている。

地盤変状量の大部分のデータが管理値以内に収まった要因としては、十分な離隔が確保されて施工されたことと、シールド工法の技術が進歩していることが考えられる。

## 8.地盤変状に関するまとめ

### (1) 地盤変状・H/D と地盤の関係

地盤変状量の大部分は、H/D に関係なく 3 mm以内であった。地表面と十分な離隔が確保されたことシールド工法の技術が進歩していることが要因として考えられる。

### (2) 地盤変状と対象構造物の関係

#### ①対象構造物の度数分布

計測は、既設構造物、ライフライン、舗装面について実施した。

#### ②構造物との離隔

離隔は、5 m未満から 30m以上まで幅広く分布しており、離隔が「5 m～10m」、「10m～15 m」、「15m～20m」に多くのデータが存在した。

シールド外径は、大部分の工事が5 m未満であり、対象構造物の離隔は大部分が5 m以上であった。対象構造物に対して十分に離隔を確保して工事が行われた。

#### ③変形量と管理値の関係

地盤変状量の大部分のデータは、管理値以内であった。

### (3) 地盤変状が大きかった工事

表- 4 中⑭の工事は低地で施工され、シールドが通過する地盤はN値が0～1の軟弱シルトであった。形式は、泥土圧シールド工法で施工延長 1665m、シールド外径 3.35m、土被り 10.5m～12m、計測の対象構造物は舗装面である。

地盤変状は、シールド工事通過後に変状が見られた。最大変形量は8 mmであったが、二次管理値 (10 mm) 以内であった。本工事が、他の工事と比較して大きくなった要因として地盤が軟弱であることが考えられる。

また、工事区域内の他のエリアと地盤、舗装構造、土地の改変状況を検証したが大きな差異は見られなかった。

## 9. 工事に伴う環境調査要領における留意点

建設局発注のシールド工事は、下水道局、水道局の工事に比べると深度が深く、口径が大きい傾向がある。そのため、切羽の管理はシールド頂部と底部、右側、左側で土質などの条件が違う場合があり、影響範囲が広く、既往のデータでは環境調査の仕様を一律に規定することは困難と思われる。

したがって、以下に調査項目などに関して、参考意見を述べるが、解析結果や実績などを十分考慮し計画されることが望まれる。

### 9-1 地盤変形調査

#### 調査計画

シールド線形の平面的な法線方向において、シールドマシンが徐々に近づいてくるため、開削工事のように「工事中」の定義が明確とならない。そのため、測点における影響発生予測時期より前から測定する必要がある。

したがって、解析結果などを考慮して計画を立案されたい。

#### 調査区域の選定

環境調査要領では、「原則として工事境界線から民地側に 40m の区域」（環境調査要領 3 章 3-1-3）と記載されているが、急曲線部内側では、切羽の影響が長い間及ぶこともある。また、横断側線（環境調査要領 3 章 2-1-4）も 40m と記載されているが、計画線形やシールド形式ごとの実績を十分考慮し決定されたい。

#### 工事境界線

開削工事と異なり、掘削による地盤変状ではないため変位計測における工事境界線を特定する意味を持たない、したがってシールド線形に基づく解析により基準線を決定されたい。

#### 調査時期

計画立案と同様、解析等によりその時期を決定されたい。

### 9-2 地下水調査

#### 調査区域の選定

シールド本体が遮断する水みちや補助工法による影響等を考慮し決定されたい。

環境調査要領 4 章 4-1-3 では工事範囲が限定された領域となっているが、シールド工事におけるそれは、長い曲線（直線）形状となるため、水位コンター等を考慮し適宜決定されたい。

### 9-3 家屋調査

#### 調査項目及び調査方法

調査項目及び調査方法は、「工事に伴う環境調査要領」を準拠されたい。

#### 調査区域の選定

おおむねシールド下端から仰角  $45^\circ + \phi/2$  の範囲を調査区域として選定して問題無いと考えるが、土被りが深い場合は調査区域が広範囲になりすぎる可能性があるため、地盤、土被り、シールド径、工法等や地盤変形調査同様、解析結果等を考慮して選定されたい。

## 参 考 文 献

- 1) 建設局、工事に伴う環境調査標準仕様書及び環境調査要領、2016
- 2) 地盤工学会、シールド工法、2012、p. 230
- 3) 地盤工学会、シールド工法、2012、p. 231
- 4) 地盤工学会、シールド工法の調査・設計から施工まで、1997、p. 276
- 5) 地盤工学会、シールド工法入門、2002、P160
- 6) 地盤工学会、シールド工法入門、2002、P161
- 7) 地盤工学会、シールド工法の調査・設計から施工まで、1997、p. 275