

下床版直下 1.5mの位置をシールドが通過する 地下換気所の施工事例

小西由人¹・岸田政彦²・石原陽介²

上田明生³・工藤忠³・富井孝喜³・日野雅夫³・今中康貴³

¹正会員 首都高速道路株式会社 東京建設局 設計第一グループ（〒160-0023 東京都新宿区西新宿 6-6-2）

²正会員 首都高速道路株式会社 東京建設局 池袋工事グループ（〒171-0021 東京都豊島区西池袋 5-13-13）

³正会員 大林・青木あすなろ・大日本 JV（〒161-0032 東京都新宿区中落合 2-7-8）

当工事は首都高速道路中央環状新宿線のうち中落合換気所を開削工法にて構築する工事である。高速道路の本線シールド（泥土圧シールド）が、下床版構築後その直下 1.5m の位置を通過するため、シールド切羽圧が下床版に作用し、換気所端部の土留め壁をシールドが切削、通過するため、地下水が土留め壁内に流入し、下床版に水圧が作用することが考えられた。下床版への影響を小さくするため、シールド切羽圧を低減して掘進できるよう土留め壁内外の地下水位を低下させた。また、下床版と土留め壁を接続し、接続部に作用する引抜き力に抵抗するため上載荷重を追加する対策を取った。ここでは、これらの対策についての考え方およびシールド通過時の計測結果について報告する。

キーワード：開削工法，耐圧床版，シールド近接，ディープウェル，薬液注入

1 はじめに

当工事は、首都高速道路中央環状新宿線のうち中落合換気所を開削工法にて構築する工事である。当初の換気所工事の進め方としては、シールド通過時の安定確保を考慮して、土被り 1.0Do（Do：シールド外径）が確保できる 2 次掘削（GL-10m）までの工事を行い、シールドの通過を待った後に、残工事を行う計画であった。しかし、シールド通過時期が遅れたことにより、

シールド通過を待って残りの工事を行った場合、全体事業を工期内に完成させる事が困難となることが予想されたため、シールド通過までに下床版の構築を完了する計画に変更となった。躯体の構造は、シールド通過時の影響を考慮していない設計であったため、下床版直下 1.5m の位置をシールドが通過する影響に対して検討する必要性が生じた。本文では、当工事で実施したシールド通過対策および通過中に行った各種計測結果について報告する。



図-1 中央環状新宿線路線図

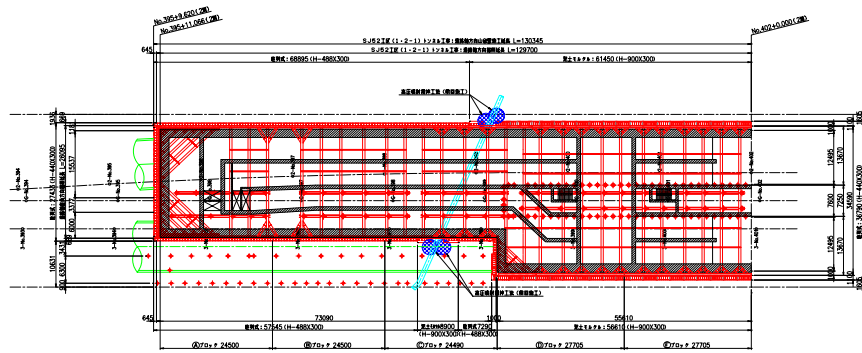


図-2 平面図

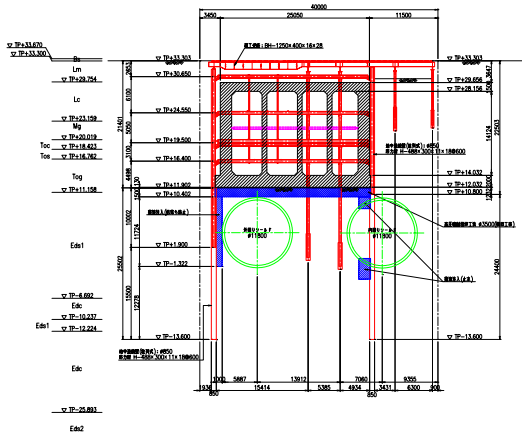


図-3 横断面図（一般部：No.398+0.0）

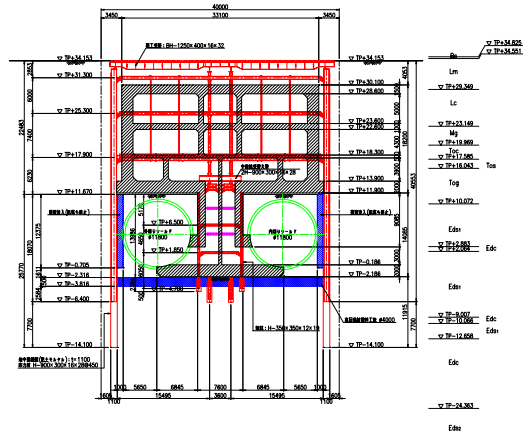


図-4 横断面図（切開き部：No.402+0.0）

2 工事概要

図-2 に平面図，図-3，図-4 に横断面図を示す。工事延長は 130m，掘削幅は一般部で 26.0m，将来シールドと接続する切開き部で 34.5m である。掘削深さは一般部で約 22m，切開き部で約 37m である。土留め壁は，一般部では SMW 工法および TRD 工法で H-488×300×11×18 の芯材を，切開き部では CRM 工法で H-900×300×16×28 の芯材を用いて施工されている。シールドが土留め壁を切削する箇所においては，当初より止水性を確保するため薬液注入工を実施した。

3 検討概要

(1) シールド通過時の問題点

シールドが下床版直下を通過する場合，シールド切羽圧が下床版に作用することになる。また，土留め壁（止水壁）を切削しながら通過するため，土留め壁内に被圧された地下水が流入し，下床版に水圧が作用することが考えられた。以下に考えられた問題点とその

影響について述べる。

- ①シールド通過時は，切羽圧が下床版に上向きに作用するため，換気所下床版に設計以上の曲げ応力が生じ，また切羽圧による揚圧力のため，下床版が浮き上がる可能性がある。土留め壁端部および内回り側の土留め壁をシールドが切削した場合，被圧された地下水が土留め壁内に流入し，下床版に水圧が作用するとともに，将来のシャフト部施工に対して影響を及ぼす可能性がある。
- ②換気所出口部の土留め壁切削箇所における土圧シールドの切羽圧は，土留め壁外側の土被りに対応した大きな切羽圧にて管理するため，土留め壁切削部近傍においては，下床版に大きな切羽圧が作用する可能性がある。
- ③下床版の浮き上がり防止のために中間杭および土留め壁芯材に下床版を固定した場合，中間杭および土留め壁に作用する引抜力が許容値を超える可能性がある。
- ④下床版の基礎地盤は東京礫層であるが，シールド掘進時に礫が取込まれることにより，換気所基礎地盤である Tog 層（東京礫層）が崩落する可能性がある。

(2) 解決策および検討結果

a) 地下水流入防止方法および切羽圧低減方法

土留め壁外側からの地下水の流入防止対策および切羽圧低減対策について検討を行った。泥土圧シールドの切羽圧（管理土圧）は掘進地盤の「静止土圧＋水圧」より設定されている。このうち、静止土圧を小さくするためには、土被り厚の減少や、比重の小さい材料での置換等が考えられるが、これらの施工は困難であると判断したため、シールド頂部まで地下水位を低下させることによって、切羽圧を低減させた。土留め壁内の地下水位低下は、開削工法の補助工法として当初より計画されていたディープウェル工法にて行った。また、土留め壁外側の地下水位低下方法は、表-1 に示す 3 ケースで検討した結果、ディープウェルと薬液注入を併用してシールド通過地盤の Eds1 層（江戸川層第一砂層）の地下水のみを低下させる方法（図-5 参照）を採用した。周辺の井戸は Mg 層（武蔵野礫層）および Tog 層の地下水を利用しており、井戸枯れ等の影響も少ない工法である。このようにして地下水位を低下させることによって、通常 0.5MPa 程度で管理するシールド中心土圧を、計算上、土留め壁外で 0.34MPa に、土留め壁内で 0.12MPa に低減させることが可能となった。

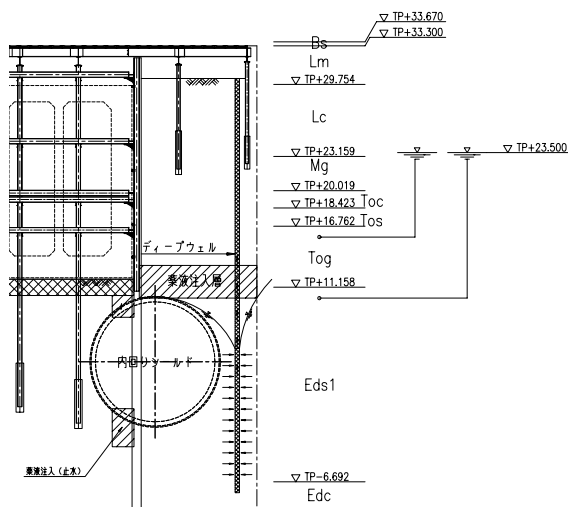


図-5 土留め壁外側の地下水低下対策

b) 土留め壁定着部および耐圧床版

下床版の浮上り防止対策として、施工済みの土留め壁芯材に接続する方法を検討した。土留め壁と下床版との接続は、スタッドジベルを土留め壁芯材に打設し、接続する方法がまず考えられるが、当工区の一般部内回り側土留め壁は、芯材の根入れ長が短く、スタッドジベルで固定した場合、受働側に過大な反力が作用することでソイルセメントにクラックが入り、止水性が

損なわれる可能性が考えられた（図-6 参照）。そこで、図-7(a)に示すように、下床版定着部の回転を拘束しないよう、せん断キー構造として土留め壁に接続した。土留め壁根入れ長が長い切開き部に関しては、一般部のように根入れ部が全域塑性することもないため、図-7(b)のようにスタッドジベルを用いて土留め壁に接続した。

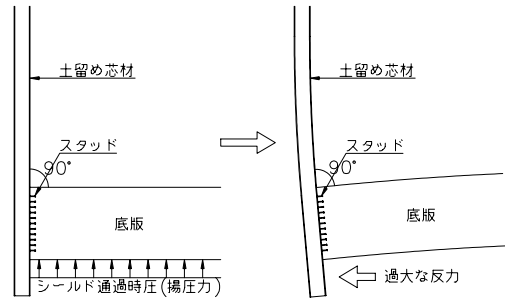
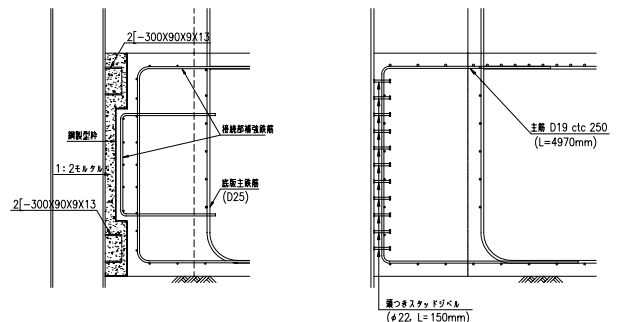


図-6 根入れ部への影響



(a) せん断キー構造

(b) スタッドジベル構造

図-7 定着部の構造

次に、耐圧床版の検討方法について述べる。下床版は土留め壁および中間杭で拘束されている、土留め壁は連続して拘束しているものの、中間杭は 5m 間隔で設置されており、拘束が離散的である。その効果を適正に評価する方法として、換気所下床版全体の FEM モデルを作成し、切羽圧を下面から作用させ検討を行った。検討モデルおよび荷重の範囲を図-8 に示す。

検討モデルは、躯体コンクリート部分をシェル要素、根入れの短い土留め壁および中間杭は許容引抜き力を上限値とするバイリニア型のパネ要素、根入れの長い土留め芯材はピンとした。

荷重の載荷範囲は、シールドマシン幅×マシン機長（12m×12m）を考えた、検討の結果、主筋方向の鉄筋量は原設計からの変更は無かったが、図-8 中①～③の大きな切羽圧が作用する範囲の配力筋が不足したため、鉄筋径、鉄筋量の変更を行った。

表-1 地下水位低下工法の検討結果

	ケース① 薬液注入+ディープウェル案	ケース② 薬液注入案（発進・到達防護）	ケース③ ディープウェル案
工 法 概 要	- ディープウェルにより地下水位を低下させることで、土留め壁内への地下水の流入を防止する。 - 薬液注入工の併用により Tog 層を遮断し、Eds 層からのみ揚水することで、揚水量ならびに周辺への影響を抑える。	薬液注入工によりシールドの発進・到達部の防護工を行い、土留め壁内への地下水の流入を防止する。	- ディープウェルにより地下水位を低下させることで、土留め壁内への地下水の流入を防止する。 - Tog 層および Eds 層の地下水を揚水するため、揚水量の増加および周辺への影響が大きい。
周 辺 へ の 影 響	- Eds 層からのみの揚水のため周辺の井戸枯れは生じない。 - 周辺地盤に変状を与える可能性が低い。	- 近隣において井戸枯れが生じない。 - 周辺地盤に変状を与える可能性が非常に低い。	- Eds 層の他、Tog 層の地下水も揚水するため、近隣に井戸枯れが生じる可能性が非常に高い。 - 周辺地盤に与える影響はケース①よりも大きい。
工 費	◎	×	○
総 合 評 価	- 補助工法として薬液注入工を行うが、井戸本数ならびに揚水量が少なくなるため、工費が最も安価となる。 - 薬液注入工により Tog 層を遮断し、Eds 層からのみ揚水を行うため、地下水位低下量が抑制され周辺へ与える影響が小さい。 - 井戸本数が少ないため、構外空きスペースでの設置が可能である。	- 広い範囲に薬液注入工が必要となることから、非常に高価となる。 - 地下水位を低下させないため、地表面沈下など周辺への影響は小さい。 - 施工期間が長く、シールド通過までに工事を完了させることは困難である。	- ディープウェル施工費は薬液注入より安価であるが、揚水量増加に伴い下水道料金が增加する。 - Tog 層、Eds 層より揚水するため、地下水揚水量が大きくなり、周辺へ与える影響が大きい。 - 本数が非常に多く、空きスペースでの設置が困難となる。 - 地下水低下を確認するため、試験施工が必要となる。

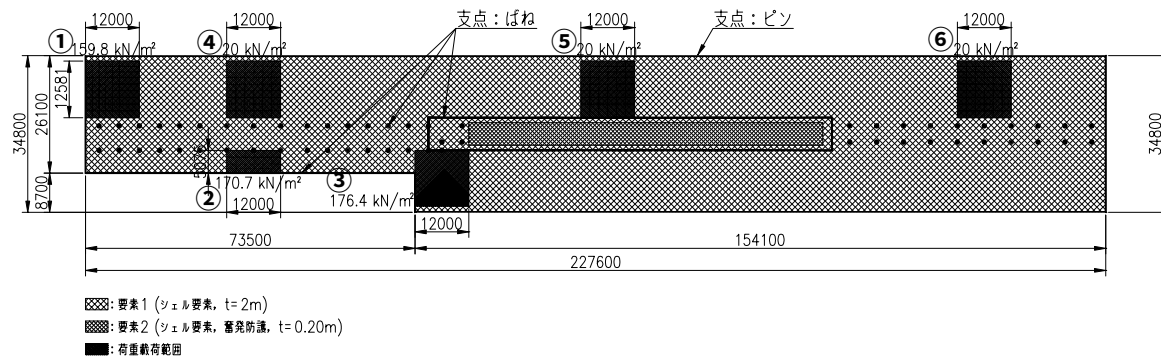


図-8 検討モデルおよび各ケースの载荷範囲・载荷値

c) 土留め壁芯材および中間杭の引抜き防止対策

b)の FEM 解析により、土留め壁芯材及び中間杭の接続部に作用する反力を算出し、許容引抜力との対比を行った。地下水を低下させ小さくなった切羽圧を作用させても、定着部での反力が許容値を超える場合は、工程的に間に合う箇所に関しては壁の構築、間に合わない箇所に関しては、敷鉄板を下床版上に積み上げることで上載荷重を増し、引抜きに対して抵抗させる構造とした。敷鉄板による上載荷重積載箇所の施工状況を写真-1に示す。



写真-1 敷鉄板積上げ状況

d) 換気所基礎地盤崩落防止対策

換気所基礎地盤およびシールドクラウン部の掘進地盤は同一の Tog 層であり、低い切羽圧での掘進により礫分が取込まれ、基礎地盤が崩落する可能性が考えられた。このため、掘削可能な範囲は流動化処理土にて置換、掘削不可能な範囲は薬液注入にて地盤改良を行い、礫層の崩落を防止した。

4 計測結果

周辺地盤の水平変位、沈下、下床版の鉄筋応力を自動計測にて、またディープウェルおよび観測井戸の地下水位を、シールド通過中手動にて計測した。シールド掘進時の記録はシールド施工者より毎日報告を受け、通過中の監視を行った。図-9 にシールド切羽圧の分布を示す。この図より、換気所直下の掘進時は設定通りの低い切羽圧(0.12MPa)で掘進している事が分かる。沈下、隆起、クラック等の下床版の変状が見られなか

ったことから、低い切羽圧でも土砂の取り込み過ぎはなく、東京礫層を置換した効果が確認できた。また、下床版の主筋および配力筋のひずみを計測した結果、シールド通過時の推定応力増分 120N/mm^2 に対し、 20N/mm^2 と小さく、全く問題のない数値であった。これは、切羽圧の作用範囲が小さかったことや、躯体の構築が当初想定していた工程より進んだことによる剛性の向上が影響したためであると考えられるが、これらの影響については現在計測結果を基にした解析により明らかにしている途中である。

次に、一般部に設置した地中傾斜計の計測結果を図-10 に示す。これらの計測計器は土留め壁の外側に設置されている。外回りシールド、内回りシールドともにシールドが通過した影響で水平方向に地盤が変位している。外回り側は土留め壁があるためシールド周辺の地盤のみ変位しているが、内回り側は土留め壁を切削しながら通過しているため、シールド上方の地盤が全体的に変位した。

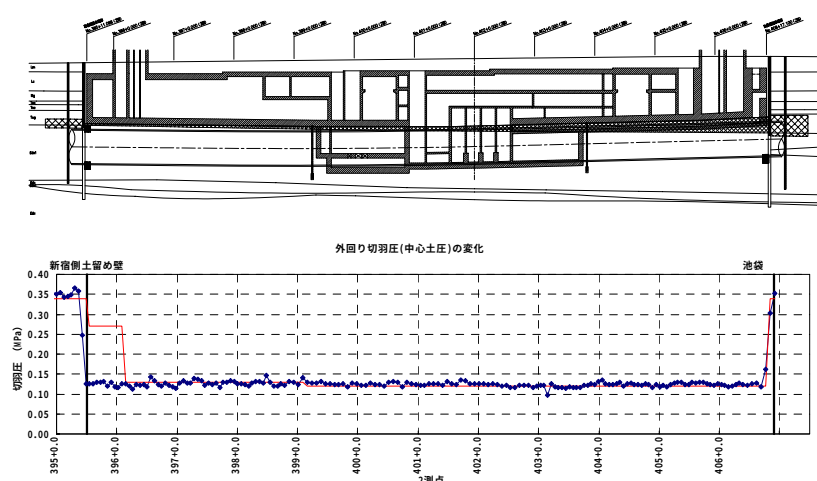


図-9 シールド切羽圧分布(外回り)

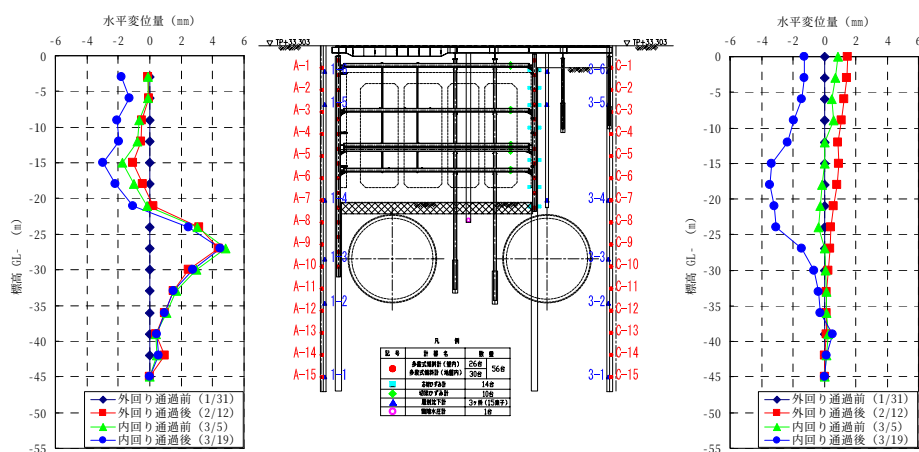


図-10 地中傾斜計計測結果

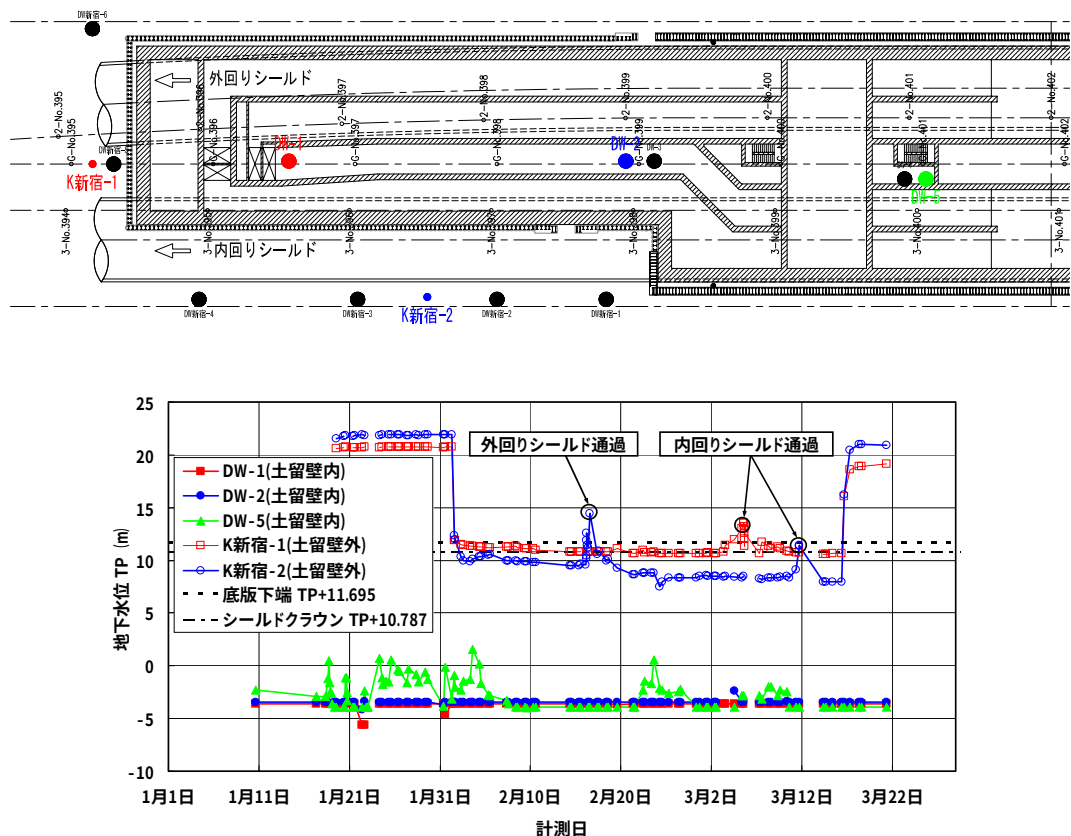


図-11 地下水位測定結果

最後に地下水位の計測結果について述べる。図-11に土留め壁外側の観測井戸および土留め壁内のディープウェルの地下水位測定結果を示す。地下水位の経時は、シールドが接近するに伴って観測井戸の水位が上昇する傾向が観測された。これは、シールド接近に伴い、切羽圧の影響を受けて地下水位が上昇したと考えられる。しかし、シールド通過後は再び地下水位は下がり、当初想定していた下床版以下で管理することが出来た。また、揚水量を一定に保った土留め壁内のディープウェル水位も上昇しなかった。以上のことから地下水の土留め壁内への流入はほとんど無く、今回行った対策(薬液注入+DWによる地下水位低下)の有効性が確認できた。

5 まとめ

今回、シールドが施工途中の換気所下床版直下1.5mの位置を通過するという事で、切羽圧、地下水および換気所本体への対策を行った。その結果、施工中の構造物および周辺地盤に大きな影響を与えることなくシールドを通過させることができた。なお、現在は計測結果の詳細な解析を行い、応力開放率の推定および下床版に作用した切羽圧の大きさ、範囲の推定を行っている。都市部においては、限られた空間内での社会資本整備が強いられるため、より地下化への依存が高くなることが予想される。したがって今回の事例のように、施工途中の開削工事とシールド工事との近接施工が増えることが予想される。今回の事前検討内容および結果、事後の解析結果をもとに、より有効で経済的な対策の検討を行っていきたい。