

総論

推進工法による 近接施工の留意点

にしだ ひろはる
西田 広治

機動建設工業(株)
土木本部技術統括顧問



1 はじめに

下水道整備とともに発展してきた推進工法は、地上交通の確保や周辺環境への影響の低減、経済活動に伴うコストの縮減等の総合的な優位性で、今や都市におけるライフライン整備に欠かせない管路敷設工法となっている。しかしながら、推進工法が用いられる地下空間には、すでに、ガス、水道、電力、通信等のライフラインや構造物、構造物の基礎等が輻輳して埋設されており、このような構造物に近接しての難しい施工を余儀なくされることも多々ある。

ただし、個々の現場で条件は異なるが、近接施工は障害物等との遭遇とは異なり、対象物があらかじめ分かっていることから、事前検討を十分に行い相当の注意を持って施工にあたることで、トラブルの発生を回避することができる。

以下、本稿では推進工法による近接施工における留意点を記す。

2 近接施工の留意点

近接施工では、地盤条件の調査不足等によりその結果の適用を誤ると、新設構造物だけでなく既設構造物まで変状を及ぼすことがある。既設構造物は実用に供されているため、変状の発生は社会的にも大きな影響を

与えることになる。また、近接施工では、既設構造物の管理者により近接施工に関して影響範囲や対策を示した指針等が整備されている場合があるので、事前の計画段階から管理者と解析手法、計測方法、管理基準値および緊急時の対応等について協議しておく必要がある。

なお、推進工法における近接施工については、「下水道推進工法の指針と解説—2010年版—」（社日本下水道協会）に、次のように示されている。

「既設構造物に近接して施工する場合は、管理者と十分協議のうえ、必要に応じて防護対策を施さなければならない。また、施工時には計測管理を行い、既設構造物への影響を監視しなければならない。」

（第5編 監理 §16 近接施工）

また、【解説】の中で近接施工の設計・施工の手順として、1) 事前調査、2) 近接施工の影響の予測、3) 防護対策、4) 計測管理、が記されている。以下にその手順を概説する。

3 近接施工の設計・施工手順

3.1 事前調査

近接施工の事前調査では、対象となる既設構造物の形状・寸法、支持条件、周辺地盤の土層の構成、土の物性値等を把握するとともに、設計時の図書等から

設計条件、設計方法、許容値と現在の応力との余裕を確認しておくことが重要になる。また、老朽化が進んでいる場合は十分に安全を見込む必要がある。

なお、既設マンホール等の地下埋設物に近接して施工する際には、埋設物本体以外にも、埋設土の種類、埋設時に使用された土留め矢板、杭等が残置されていないかを確認することも必要になる。

3.2 近接施工の影響度の予測

掘進に伴う応力開放や付加的な圧力を受けた周辺地盤は、少なからず沈下・隆起等の地盤変状が生じる。この地盤変状によって既設構造物の外力条件が変化し、既設構造物に、沈下、傾斜、断面変形等が生じる。既設構造物がどの程度の影響を受けるかは、既設構造物と掘進機との離隔や近接区間の長さ、地盤の物性値、既設構造物の構造条件（断面形状、強度、変形特性）等の要因によって異なる。

掘進中に発生する地盤変動と近接既設管に発生する変形の模式図を図-1、2に示す。

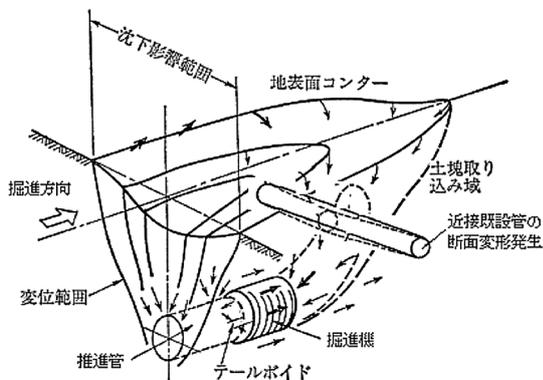


図-1 地盤変位模式図-粘性土地盤³⁾

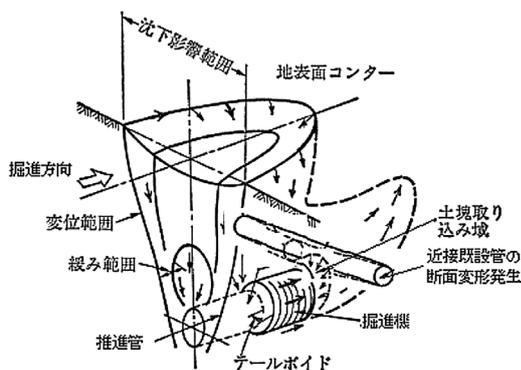


図-2 地盤変位模式図-砂地盤³⁾

また、シールド工法と異なり推進工法では推進管列が動くことによる影響、特に曲線区間で構造物に近接する場合は、図-3に示すような、推進管の外側への変位(S)により発生する側方土圧が構造物に与える影響についての検討が必要になることも考えられる。

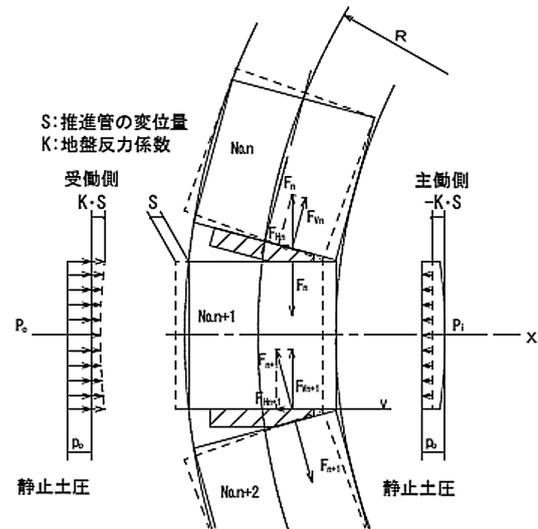
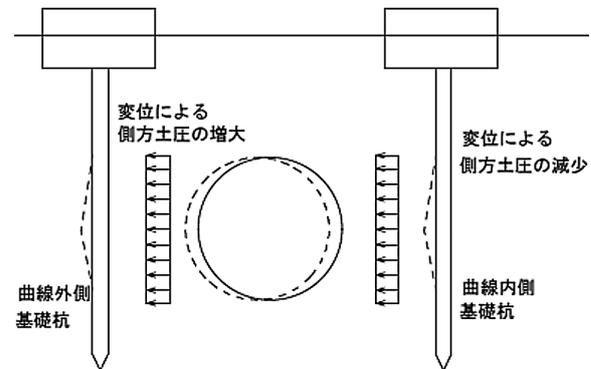


図-3 推進管列の変位による既設構造物への影響



一般的には、これらの要因を考慮した近接影響度の判定や数値解析を行い、既設構造物管理者と協議の上、必要に応じて防護対策を実施することになる。

また、解析結果をもとに、施工時の指標として管理基準値を設定する際には、既設構造物管理者と協議の上で、構造物の機能面および構造面を満足する値とする必要がある。また危険をより早く察知し構造物の安全性を確保するために、許容値に余裕を持った値を段階的に設定するなどの方法が用いられている。

3.3 既設建造物への影響防止

推進工法では、近接する既設建造物への影響を防止するためには、まず①切羽の安定管理②適切な余掘り量の検討③掘進機（推進管）と地山の摩擦抵抗力の低減のための蛇行の抑制対策④適切な滑材注入によるテールボイドの沈下対策⑤掘進完了後の迅速な裏込め注入等を行い地盤変状や既設構造部への影響を最小限に押さえる対策を実施するのが一般的である。

①切羽の安定管理

密閉型掘進機では、切羽圧力の管理が重要で、カットチャンバ内圧力が適切であるか否かが切羽に大きな影響を与えることになる。変動要因は、各工法により異なるので、それぞれの工法に応じた適切な方法で最適な圧力管理を実施しなければならない。

泥水式では、逸泥があるとカットチャンバ内圧力の保持が困難になるため泥水の比重・粘性を高くしなければならない。それでも逸泥が大きいときには、適切な逸泥防止剤の使用や十分な能力を持った作泥設備を設置する等の対策を検討する。また、礫地盤等で排泥ラインの閉塞が発生したときはカットチャンバ内の圧力が急激に上昇するおそれがあるため、隔壁に緊急開放弁（圧抜き弁）を装備する等の対策が必要になることもある。

泥土圧式は、礫径が小さく粘性土分を多く含む地盤ではオーガタイプスクリュコンベヤの回転数制御により比較的容易にカットチャンバ内の圧力（掘進管理土圧）の制御が行える。しかしながら、礫径が大きい砂礫地盤等でリボンタイプのスクリュコンベヤを用いる場合、粘性土分が少ないと掘進管理土圧の制御が難しくなる。このような場合は、濃度の高い添加材を注入することで掘削土砂の混練り状態（塑性流動性）を確保し圧力変動幅を小さくできるようにしなければならない。

泥濃式は、ピンチバルブの開閉で掘削土砂（泥土）の排出を行うため、泥水式・泥土圧式に比べるとカットチャンバ内の圧力変動が大きくなる。したがって、施工管理上で変動幅の範囲を極力小さくするような掘進管理を行う必要がある。

②余掘り量③蛇行の抑制④テールボイドの沈下等の対策

現在の推進工法は、長距離施工や曲線施工が普通のように計画・実施されているが、これには滑材注入に代表される周面抵抗力の低減技術が大きく寄与していると考えられる。滑材注入の要点は、余掘り量の検討を行い形成されたテールボイドに適切な滑材を過不足なく充填することで、蛇行を抑制しつつ、掘進機（推進管列）と地山の摩擦抵抗力の低減効果を確実にすることにある。

ただし、滑材が奮発した場合は、推進管列と地山あるいは上層地盤のバランスが崩れ、既設建造物にも影響を及ぼしたり、推進管に全土荷重が作用して周面抵抗力の大幅な増大を招き、最悪の場合は推進不能の事態に陥ることも考えられる。これを防止するためには、注入圧力と注入量の管理を適切に行う必要がある。

⑤裏込め注入

掘進作業が完了したら、ただちに裏込め注入を行い、テールボイドによる地表面や既設建造物への影響を最小限に抑えなければならない。また、滑材注入と同様に、裏込め注入についても適切な注入圧力と注入量の管理が必要であり、試験注入等により最適な管理基準値を求めることも検討事項となる。

3.4 防護対策

このような管理を行っても、既設建造物に有害な影響が懸念され既設建造物管理者との協議で防護対策が必要と判定された場合には、施工性、安全性、経済性、工期、環境条件、過去の施工例等を総合的に検討し、現場状況に応じた最適な工法により防護対策を講じなければならない。具体的には、次のような対策がある。

(1) 既設建造物の補強

- ・直接補強：既設建造物を直接補強することによって変形に対する抵抗力を高めるもので、構造物内部を直接補強する方法と下部構造・基礎構造を補強する方法がある。
- ・アンダーピーニング：既設建造物直下を施工する場合、上部の構造物を直接受けて下の影響範囲外の地盤に支持させる方法で、施工方法には、耐圧版方式、基礎新設方式がある。

(2) 遮断防護

既設構造物と新設構造物の間を遮断することによって変位の伝搬を防止するもので、施工方法としては、掘進機（推進管列）と既設構造物の間にパイプルーフを設置、またシートパイル、柱列杭、地下連続壁、攪拌混合工法等によって遮断壁を設けて防護する。

(3) 地盤強化、改良防護

近接施工の影響によって既設構造物の変形が問題となる場合に、薬液注入工法や攪拌混合工法を用い、既設構造物の支持地盤の強度を増加し既設構造物の沈下を抑制する。

この中で、推進工法で比較的用いられている、地盤改良等の防護対策の例を図-4、5に示す。

なお、このような防護対策自体も近接施工となるので、既設構造物に影響を与えないように、工法の選定や施工・管理方法について十分に検討・協議する必要がある。

3.5 計測管理

近接施工においては、さまざまな解析を行い防護対策を実施しても、不確定要素の入り込む可能性は残されており、対象構造物の許容変位や許容変形量が小さい場合の影響予測は困難になる。このような影響予測

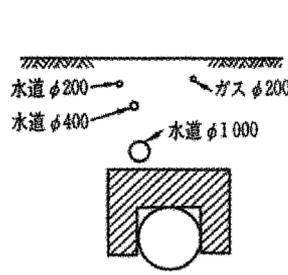


図-4 掘進機（推進管列）周辺の地盤強化⁴⁾

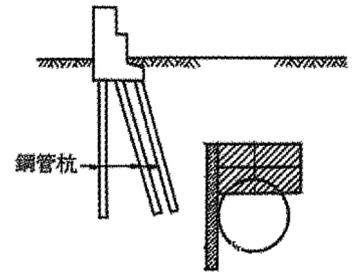


図-5 地盤変状の遮断（抑制）⁴⁾

における不確定要素を排除してくれるのが計測管理で、計測結果に基づいた適切な施工管理を実施することで、既設構造物の安全性を確保することができる。

計測管理は次のような手順で実施される。

- ① 既設構造物の管理者と協議の上、既設構造物の安全性および耐久性を考慮した管理値を設定する。
- ② 計測値が管理値を上回った場合は、その原因を究明し、施工方法の修正、応急処置の対策を講じる。
※ 場合によっては一旦掘進を停止し、既設構造物の安全性が確保されることを確認した後に掘進を再開する必要がある。

近接施工における計測項目と使用機器の例を表-1に示す。

表-1 近接施工における計測項目と使用機器⁵⁾

計測対象	計測項目	レベル	トランシット	水系	軌間ゲージ	軌道変位測定器	三次元計測	下げ振り	沈下計	傾斜計	多段式傾斜計	層別沈下計	ひずみ計	ひび割れ計	加速度計	漏水量計	間隙水圧計	水位計	非接触変位計	内空変位計		
																					高低	通り
軌道	変位	高低				○	○															
		通り		○		○	○															
		水準				○	○															
既設構造物	変位	鉛直	○			○	○		○											○		
		水平		○	○		○	○													○	
	内空変位							○														
	傾斜								○												○	
	躯体応力													○								
	ひび割れ														○							
	振動															○						
漏水量																○						
地盤	地表面	変位(鉛直、水平)		○	○	○		○	○													
		変位(鉛直、水平)										○	○									
	地中	傾斜										○										
		間隙水圧																○				
		水位																		○		

凡例 ○：使用例多い ○：使用可能

これらの計測は、常時安全を確認するという観点からリアルタイムの自動計測が望ましいが、手持ち機械式の計測器（トランシット、レベル、スタッフ、スチールテープ、水平器等）を用いて、定期的にキャリブレーションやダブルチェックを行うことが重要になる。

4 おわりに

近接施工はそれぞれに特有の現場条件に制約されるため汎用的な計画・設計では対応が難しい場合が多いのですが、本特集号のようにさまざまな施工事例が開示されることで、新たな創意工夫が生まれるのだと考えます。

本稿では、近接施工の留意点について記しました。他の執筆者の事例とともに、これから近接施工を計画される方々の一助になれば幸いです。

【参考文献】

- 1) 「下水道推進工法 指針と解説—2010年版—」(社)日本下水道協会
- 2) 「土木施工なんでも相談室 [最新の現場課題とその対策事例集編] 2021年版」(公社)土木学会
- 3) 「沖積地盤におけるシールド掘進に伴う地盤変状とその予測解析について」土木学会論文集第373号/VI-5 (1986年9月)
- 4) 「シールド工法の調査・設計から施工まで」(公社)地盤工学会 (1997年2月)
- 5) 「都市部鉄道構造物の近接施工対策マニュアル」(公財)鉄道総合技術研究所 (2007年1月)