

シールドによる地盤変位に対する掘進速度の影響について

鉄道・運輸機構 東京支社 新横浜鉄道建設所 正会員 ○川原 悠, 田中 淳寛, 千代 啓三
大成・東急・大本・土志田特定建設工事共同企業体 正会員 大森 裕一

1. はじめに

相鉄・東急直通線、羽沢トンネルは、泥土圧シールドを用いた掘削外径 10.5m、全長約 3.4 km の鉄道複線断面トンネルである。本工事では、支障する下水管をシールドで直接切削する区間があり、通常に比べ、低速で掘進する必要があった。掘進による周辺構造物への影響は、地質、近接度、掘進中の切羽圧、裏込め注入圧などに加えて掘進速度も影響すると考えられるが、掘進速度による影響を計測した事例は少ない。本稿では、掘進速度が異なる区間の近接道路橋橋脚について、変位計測データと事前に実施した二次元弾性 FEM による解析結果を比較する。

2. 計測区間の周辺地盤と周辺構造物

羽沢トンネルは、図 1 に示すように、複数の道路高架橋の橋脚と近接しており、このうち、橋脚 A, B, C, D で鉛直変位を計測し、橋脚 A 以外の 3 橋脚で影響検討解析を実施している。図 2~5 に橋脚の横断面図を示す。また、表 1 に橋脚とトンネルの離隔を示す。計測区間のトンネルの勾配は 34‰ の下りであるため、鉛直離隔は橋脚 A, B, C, D の順に大きくなる。土被りは 8~10m である。一方、平面離隔は D, C, A, B の順に大きくなる。平面離隔と鉛直離隔の大小関係が異なるため各橋脚の近接度を比較することは難しい。

橋脚 B は羽沢トンネルと直交する道路高架橋、橋脚 A, C, D は羽沢トンネルと並行する道路高架橋の下部構造物で、すべて直接基礎である。橋脚基礎底面とトンネル断面は、上総層群の粘性土層(Km)、砂質土層(Ks)またはその互層に位置している。上総層群は N 値 50 以上の堅固な地盤である。

橋脚 A 付近で、約 40m にわたって、トンネル掘削断面に存在する下水管をシールドで直接切削した。下水管は、外径 2.15m の鋼製セグメントの内面に内径 1.5m の二次覆工を施工したものであり、カタビットの損傷を防ぎ、確実に下水管を切削するために、一般部は 20~30mm/分程度であるのに対し、図 1 の直接切削区間は 3~5mm/分の速度で掘進する必要があった。このため、橋脚 A や B は一般部に比べて、低速で掘進している。

表1 橋脚とトンネルの離隔

	トンネルとの離隔	
	平面	鉛直
	m	m
橋脚A	9.5	4.1
橋脚B	11.6	4.3
橋脚C	7.5	5.9
橋脚D	3.3	6.4

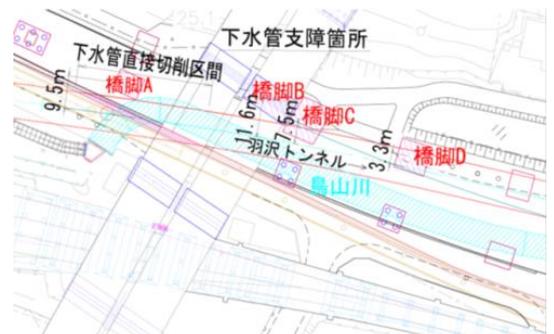


図1 計測区間平面図

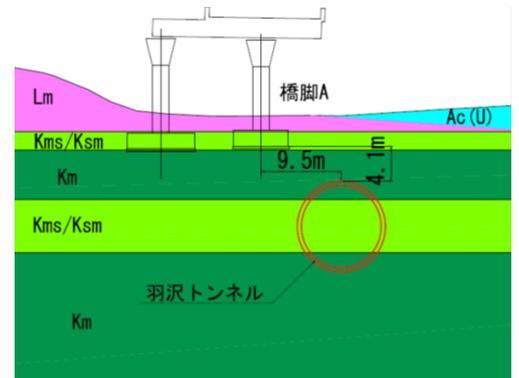


図2 橋脚A横断面図

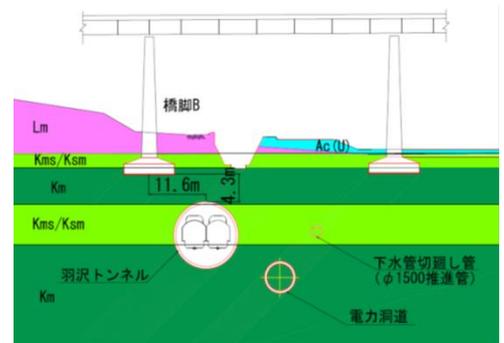


図3 橋脚B横断面図

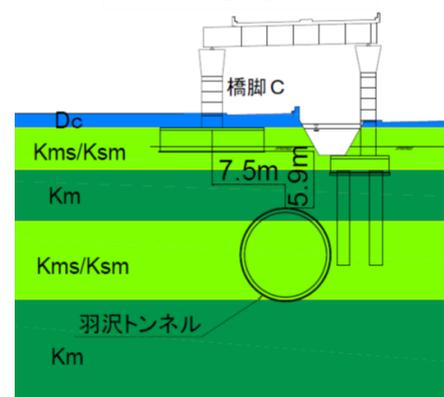


図4 橋脚C横断面図

キーワード 泥土圧シールド, 地盤変位, 掘進速度, 近接施工, 解析, 計測

連絡先 〒222-0033 鉄道・運輸機構 鉄道建設本部 東京支社 新横浜鉄道建設所 TEL 045-415-4580

3. 影響検討解析

橋脚 B, C, D の断面で, 2次元弾性 FEM 解析を実施し, 変位予測を行った. 解析では安全側となるように, 各橋脚の荷重と交通荷重は考慮しているが, 各要素の剛性は, 構造物ではなく, 地盤の値を適用した. 解析ステップは切羽通過時とテール通過時の2ステップとしており, 切羽通過時の応力解放率を全土水圧の4%とした. 応力解放率4%は一般的に用いる値よりも小さいが, これは, 掘削時の切羽土圧の効果と堅固な上総層群での掘削であることを考慮し, 施工時に周辺構造物への影響を抑制するための目標値として設定したものである.

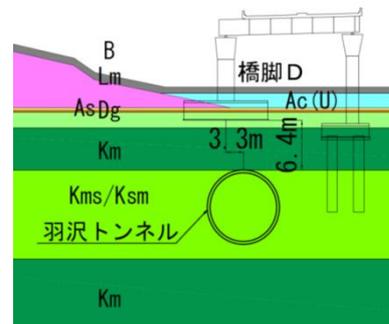


図5 橋脚D横断面図

4. 橋脚計測の結果

シールド通過に伴う計測は, 橋脚にターゲットミラーを取り付け, トータルステーションで自動計測した. 各橋脚の計測結果を図6に示す. 横軸は橋脚と切羽位置との離隔であり, 負の値は切羽が橋脚の手前であることを示す. また, 表2に橋脚通過区間における鉛直変位量の解析結果と測定結果の最大値および掘進速度の平均値を示す. 橋脚通過区間は, 図7で定義するように, 切羽が橋脚の手前30mに入ってから, テールが橋脚を30m通過するまでの区間とする. 一方, 解析値は上記3.の解析により得られた橋脚基礎底面での最大変位量であり, 解析値に対する計測値の大きさを比較するため, 計測値と解析値の比率もあわせて表2に示す.

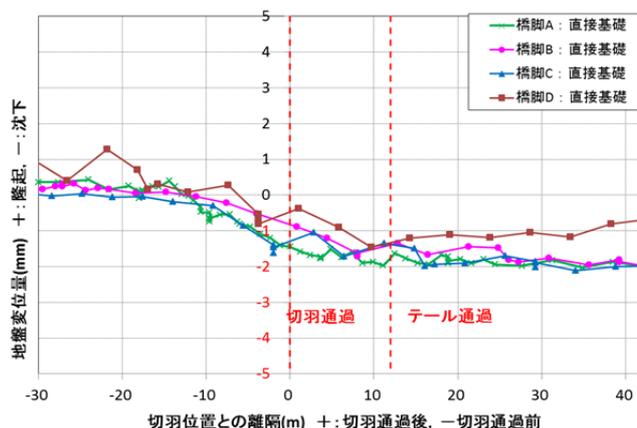


図6 掘進による橋脚の鉛直変位

表2 橋脚変位量の解析値と計測値の比較

	鉛直変位量(最大値)			掘進速度 平均
	a解析値 mm	b計測値 mm	比率 b/a	
橋脚A	—	-2.0	—	10.4
橋脚B	-1.6	-2.0	1.26	14.3
橋脚C	-2.5	-2.1	0.86	16.8
橋脚D	-3.4	-1.5	0.43	18.9

図6のとおり, 4つの橋脚ともテールが通過した後はほとんど変位が見られないが, 橋脚 A, B, C では, 切羽位置が橋脚の10m程度手前にあるときから先行変位が発生し, 最終変位量が橋脚Dに比べて大きくなった. また, 表2のとおり, 橋脚Bの比率(計測値/解析値)に比べて, 橋脚Dは1/3程度となった. 解析値の大きさは平面, 鉛直方向の離隔や地盤強度を加味した近接度を示していると考えられ, 比率の差は, 近接度以外の要因が変位量に与える影響によって生じると考えられる. 橋脚Bの比率が橋脚Dに比べて3倍程度となった要因の一つとして, 掘進速度の違いによるものと推察される.

上記のように, 羽沢トンネルでは, 地質条件がほとんど同じ箇所でも掘進速度を変えて掘削する必要に迫られ, 地盤変位データを採取することができた. この結果, 掘進速度が小さい場合, 先行沈下が早期に発生し, 同じ近接度でも鉛直変位量が大きくなる可能性が示唆された.

5. まとめ

掘進速度が小さいと近接構造物への影響が大きくなることは, これまでも経験的に言われてきた. 今回の計測結果は1事例であり, これにより解析値と掘進速度の関係を普遍的に論じることはできないが, 掘進速度が周辺地盤の変位に影響がある可能性が示唆された. 今回のように, 施工条件により低速で掘進することが求められる場合, 解析結果の取り扱いを慎重に行うことが望ましい. 今回の計測結果が, 今後の都市部シールドトンネルにおける近接施工管理の参考となれば, 幸いである.

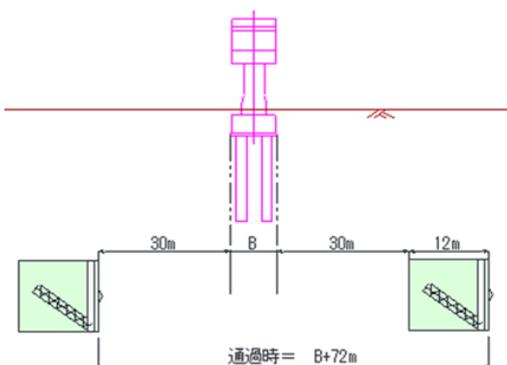


図7 掘進速度平均値の算定範囲