

固結シルト層に構築する大深度円形土留めの掘削時挙動を踏まえた解析条件の検証

東海旅客鉄道㈱ 正会員 ○有田貴司 正会員 三浦崇嗣 正会員 安原真人 吉岡直行 田村崇

1. はじめに

都市部の社会基盤の整備では、大深度インフラを構築する計画が多くなっており、その構築には、地上とのアクセス等のために大深度立坑が必要となる。大深度立坑の土留め壁の設計では、自立性の高い地盤内での構築となることを考慮し、合理化を図り、浅深度とは異なる大深度の作用土圧が提案¹⁾²⁾されているが、その計測検証は数例しかない。そこで、本研究では、事例のさらなる蓄積および自立性の高い地盤内で土圧を一定とする解析条件の検証を目的に、自立性の高い固結シルト主体の砂質土との互層地盤中に構築する RC 地中連続壁（以下、連壁という）の鉄筋応力解析予測値と計測結果の比較を行った。

2. 立坑土留め壁及び現場計測の概要

検証対象とした立坑の土留め壁の周辺環境、構造、地盤、計測、掘削状況は以下の通りである。

(1) 周辺状況及び土留め壁の構造と地盤構成

対象となる現場の周辺状況を図-1 に示す。本現場はシールドトンネル発進立坑である。施工時に立坑北側、東側、西側から偏圧が作用する。図-2 に立坑連壁の概要と地盤の構成を示す。連壁は内径 36.1m の円形に沿って 44 角形に配置し、連壁同士はカッティングジョイントを採用した。なお、地表面近くでは前述した偏圧の作用が大きいため、曲げの作用に対する補強として土

留め壁の頭部に補強リングを設けた。

地盤の構成は、T.P.-0.5m までは盛土、T.P.-11.68m までは沖積層で上層が礫質土、下層が粘性土となっている。T.P.-18.68m までは東京層群で上層が東京層、下層が東京礫層、T.P.-18.68m 以深は上総層群の北多摩層で固結シルト層が主体となっている。連壁構築範囲では、固結シルトでは N 値で 80~90、砂質土でも 90~100 程度はあり、全体的に自立性の高い地層と考えられる。地下水位は、T.P.+1m 付近と地表に近い位置にある。³⁾

(2) 計測内容

図-1 の A, B, C, D の 4 点において連壁の周方向鉄筋（地山側、掘削側）に鉄筋応力度計を配置した。深さ方向についてはいずれの地点においても T.P.-9.0m, T.P.-52.5m, T.P.-78.2m, T.P.-85.4m に設置した。

(3) 掘削状況

連壁打設、頭部補強リング構築、床付けまでの掘削、順巻きでの躯体構築の順に施工した。掘削中は掘削進捗に合わせてディープウェルを実施した。

3. 土留め壁の挙動解析の概要

(1) 解析モデル

解析モデルの概略を図-3 に示す。連壁を 3 次元シェル、地盤をバネでモデル化する。周方向に引張応力が発生する範囲は連壁の周方向剛性を 0 とし、リング効果を考慮しないものとした。頭部補強リングは機械式継手により水平鉄筋を全周に配置するため、周方向剛性を考慮する。鉄筋応力の解析予測値は、施工時偏圧方向（南北・東西）毎に算定し、大きい方をを用いた。鉄筋は鉛直・水平鉄筋が D25@150mm、せん断補強筋が D16@150mm、鉄筋強度は SD345、コンクリート強度は表-1 とした。

(2) 土圧・水圧の設定

連壁については、円形で剛性が大きく、変位が小さいため、静止土圧を適用する。静止土圧は、指針⁴⁾に基づき、表層から自立性の高い地層（支持地盤）まで、粘性土、砂質土ともに土水分離で扱うこととした。支持地盤の水平土圧は、上総層群の上端が G.L.-21.68m であったことから、図-4 の通りとした。静止土圧係数は、同指針⁴⁾より、

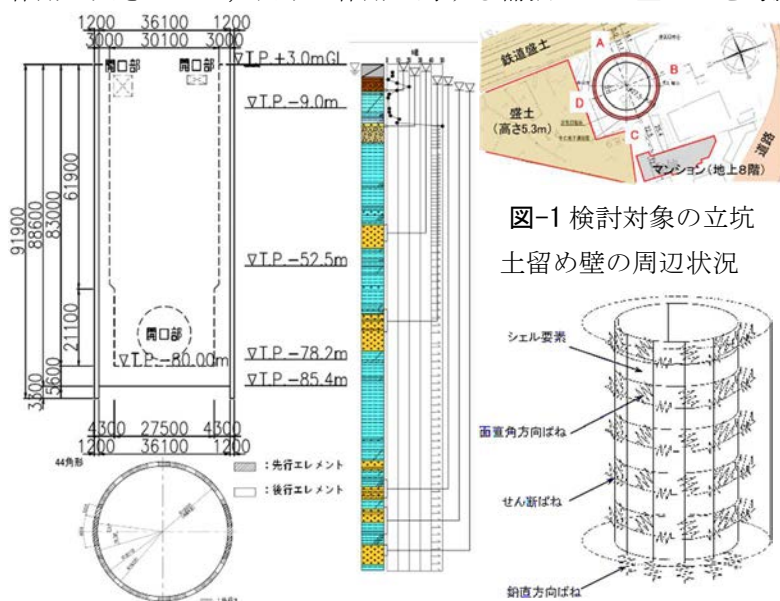


図-2 立坑土留め壁の構造概要と柱状図

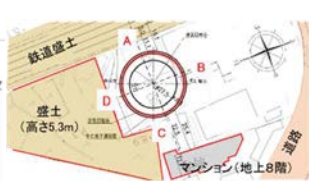


図-3 解析モデル

キーワード 大深度、地中連続壁、検証計測、上総層、自立性地山の土圧、鉄筋応力

連絡先 〒108-8204 東京都港区港南二丁目 1 番 85 号 JR 東海品川ビル A 棟中央新幹線建設部 TEL03-6683-0717

0.5とした。水圧は、水位を平水位 (T.P.+1.34m) として、被圧層はなく全範囲について静水圧とした。

(3) 偏圧

開削標準⁴⁾より、施工等に起因して発生する可能性のある偏圧として、土水圧×10%を用いた。その他周辺状況に基づき载荷した偏圧を表-2に示す。

(4) 地盤バネの設定

地盤バネは面直角方向バネ、せん断方向バネ、鉛直方向バネを考慮した (図-3)。せん断方向バネは円周方向のみ考慮した。

4. 鉄筋応力度の計測結果及び挙動解析との比較

水平方向鉄筋の軸応力と曲げ応力について整理した。軸応力は地山側と掘削側の鉄筋応力の平均とし、曲げ応力は地山側と掘削側の鉄筋応力の差の 1/2 で算定した。また、A～D の 4 点のデータを軸力は平均、曲げモーメントは絶対値の最大値を取る形で整理した。軸力の変動は各測点での最大値の 20%程度以下であった。

図-5, 6, 7 にそれぞれ、水平鉄筋の軸応力、曲げ応力、地山側と掘削側の応力の経時変化を示す。同図に鉄筋計を設置した深度の解析予測値や掘削時期も示す。

計測値を解析予測値と比較すると、図-5 より軸力は、浅深度の掘削時は計測値が解析予測値を一時的に僅かに超過するところもあるが、大深度の掘削時では、T.P.-9.0m を除き計測値の最大軸力が解析予測値と同程度もしくはそれ以下を示している。よって、土圧一定分布とした設計でも安全性に問題がないことが確認できた。

図-6 より曲げモーメントはいずれにおいても解析予測値を上回り、掘削面が近づくと急激に曲げモーメントが大きくなる結果となったが、その鉄筋応力度は最大でも鉄筋の降伏強度 345N/mm² の 15%程度であった。また、図-7 より T.P.-9.0m と浅深度の掘削時以外は、すべて周方向全圧縮状態であることが確認できた。実際、掘削時もカッティングジョイントからの漏水もなく、掘削時の状態監視結果からも本現場

においては問題ないものと考えられる。曲げモーメントが大きくなった原因としては、今回は各測点に共通の地盤バネを設定して解析したが、互層地盤においては、各測点および深度毎に地盤バネは異なるため、このような乖離が生じたものと考えられる。そのため、偏圧が大きい周辺状況、地層が傾斜している場合は地盤バネの設定を各方向別に詳細に設定する必要がある。

5. まとめ

大深度部まで構築する連壁において、自立性の高い地盤において一定の土圧とする設計を行い、その鉄筋応力を計測した結果、大深度部においては軸力解析予測値を下回ることを確認し、安全性に問題がないことを確認した。また、曲げモーメントは解析予測値を上回ったが、全圧縮状態であることを確認し、問題ないことを確認した。

6. 参考文献

- 1)日本トンネル協会:地中送電用深部立坑, 洞道の調査・設計・施工・計測指針, 1982.3. 2)先端建設技術センター:大深度土留め設計・施工指針 (案), 1998.10. 3)吉岡ほか:深さ 89m の大深度地下シールド工事用立坑の施工ー中央新幹線北品川非常ロー, トンネルと地下, pp.7-16, 2020.1. 4)鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 (開削トンネル) 付属資料「掘削土留め工の設計」2001.3.

表-1 各種コンクリート強度とヤング係数

	呼び強度 (N/mm ²)	設計基準強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
補強リング	30	30	28
連壁上部 (T.P.-57.0m以浅)	38	30	28
連壁下部 (T.P.-57.0m以深)	53	42	31.4

表-2 周辺状況に基づく偏圧

項目	荷重値	载荷範囲
地表面上載荷重	10.0 kN/m ²	連壁北側全面
西側マンション	160.0 kN/m ²	地表面から40°
北側盛土	90.1 kN/m ²	連壁北側全面
東側鉄道盛土	20.4 kN/m ²	地表面から40°
周辺地盤荷重	17.0 kN/m ²	地表面から40°

図-4 水平土圧分布

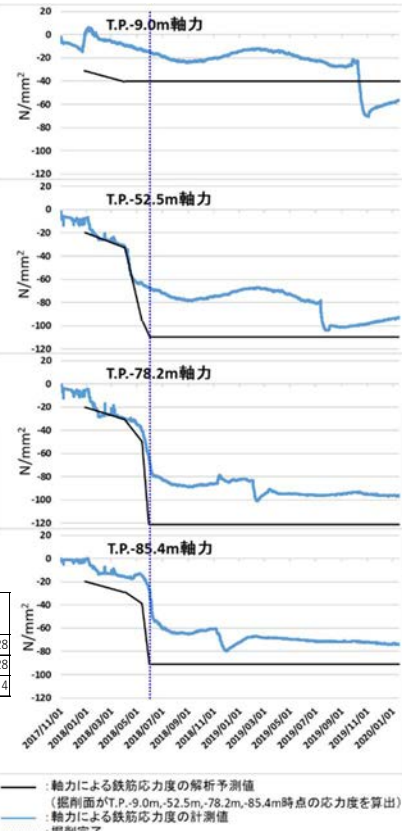


図-5 軸力による鉄筋応力度計測値

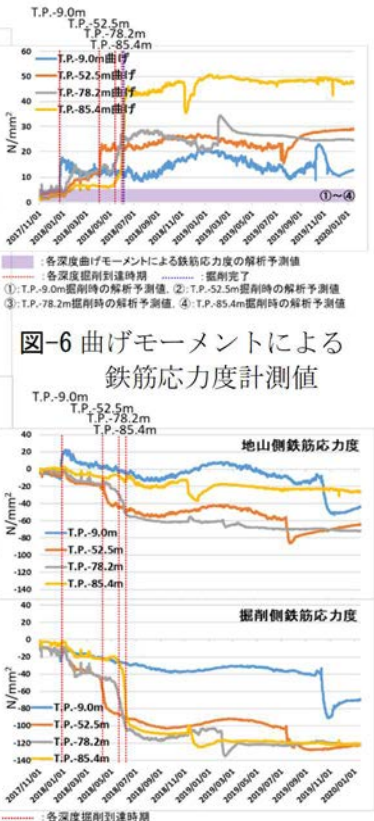


図-6 曲げモーメントによる鉄筋応力度計測値

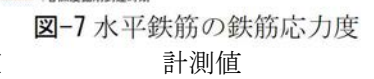


図-7 水平鉄筋の鉄筋応力度計測値