

III-232 セグメントリング間柔結合継手の設計法に関する考察

日本鉄道建設公団 東京支社 正会員 鳥取 孝雄

1. まえがき

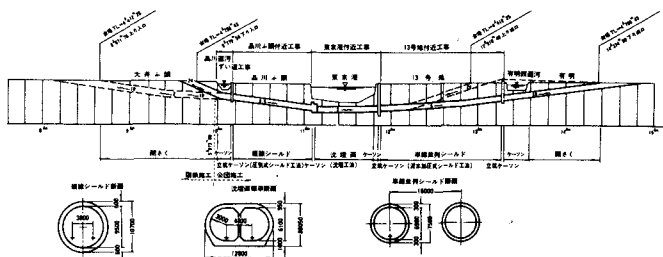
わが国におけるシールド工法の著しい普及に伴い、施工条件の酷しい極軟弱地盤中での施工がさげられなくなっている。とくに新しい埋立地などで、相当な地盤沈下が進行中の軟弱地盤にトンネルを建設する場合には、設計上、地盤並びに地盤沈下の影響など複雑な問題が重要な課題となってくる。

このような一例として、京葉線台場トンネル(13号地付近)の計画にあたり、地盤の不平等沈下に伴って発生するトンネル継手方向の変形に対処するため、新しく開発したセグメントリング間柔結合継手の技術的諸問題について、種々、考察を加えたのでその概要を御報告したい。

2. トンネルの計画概要

京葉線台場トンネルは、大井ふ頭から地下に入り、品川ふ頭をとおって東京湾海底下を直角に横断し、13号地付近で東京湾環状道路下をくぐり、有明面環河をを経て江東区有明付近で地上に達する延長約4.8kmの鉄道トンネルである。トンネルは、図-1に示すように各区間の

図-1 台場トンネル全体図



施工条件に合せ、シールド、沈埋、ケーソン、開さく等各種工法により計画し、現在、その大部は工事施行中である。このうち、13号地付近については、単線並列シールドトンネルとし、地質条件等の地から泥水加圧式シールド工法を採用、現在、シールドの製作を完了し、近かく立坑発進の予定である。

3. 設計上の問題点

この付近は、荒川と隅田川の両河口近くに形成された三角洲上に新しく造成された埋立地であり、下部は、沖積世末期に形成された深さ40mの沖積層となっている。このため、埋立による盛土荷重と地下水低下の影響により、現在、著しい地盤沈下が進行中であり、地比部で16cm/年、トンネル下端で7cm/年に及び、トンネル完成後60年間の推定沈下量は、トンネル下端で最大約1mに達し、硬軟弱地層の境界部における断面変形曲率半径は、約500mとなる見込みである。

4. 工法比較

このような酷しい設計条件に対処可能なトンネルの構造として次の3案を逐次比較検討した。

- (1) 大口径基礎いしを用いたケーソントンネル
- (2) トンネル直下の深部部(深さ20m~40m)の地盤改良(C.C.P工法)を併用したシールドトンネル
- (3) トンネル継手同剛性を低減し、内径断面を40m拡大したシールドトンネル

案1は、地盤沈下に抵抗するトンネルとなるため、重構造設計となり、シールド案に比し数倍の工費を要する。案2は、深部部の地盤改良となるため、相当の改良費(トンネル本体工費相当額)を投入しても、トンネル沈下量は、約1/2に軽減するのみで、十分な改良効果を期待することは困難である。案3は、セグメントリング間に特殊な柔結合継手を用いてトンネル継手同剛性を低下させ、地盤沈下への追随性を計り、各セグメント内径断面を40m拡大したトンネルであるが、工費の増加は、断面拡大で約1.2倍増、柔結合継手で約30%増となる。

これらの結果から、案3は、設計上の問題はあがあるが、構造的には十分可能であり、かつ、経済的には極めて有利であることから採用することとした。

5. 柔結合継手の設計

5.1. 柔結合継手の開発

柔結合継手は、地盤地下に埋設できるとともに、耐震上、十分な安全であり、かつ、水密性及び耐久性に優れた機能を有するものでなければならぬ。とくに構造上、継手ゴムの品質形状の決定は重要であり慎重な検討が必要である。ゴム材質は、継手ゴムとして必要な特性、すなわち、耐圧性、耐候性、耐オゾン性、酸化抵抗性、耐久性に優れた性質を有するゴム材質を選定するため、各種の素材を用いて約 200 種の配合試験を行った結果、地下条件の耐久性に優れたネオプレンゴム(約 50%)と高圧縮下の伸縮及び止水性に有利な天然ゴム(約 10%)に各種の添加剤を加えた標準配合を決定した。ゴムの形状寸法については、3 種の基本模型及び 18 種の原寸模型を製作し、圧縮、せん断、クリープ等に関する各種試験を行った結果、応力分散、圧縮変形、圧着面圧、弾性等に優れた図-2 のゴム断面を決定した。これらの結果にもとづいて定められた柔結合継手の構造は、図-3 に示すとおりである。なお、継手部のせん断キール及び 2 次防水については、2 次施工構造上処理することとし、既に設計を完了している。

5.2. 地盤地下時の挙動

トンネルを弾性床土上の梁としてモデルにし、構造条件及び地盤条件に応じた支持条件、梁の剛性、地盤係数などを決定し、予測される地盤地下については、これに相当する強制変位を与えて計算した。解析の結果、地盤地下による曲げモーメント及びせん断力の最大値は、それぞれ、 $1,920\text{ t}\cdot\text{m}$ 及び 310 t となるが、何れも許容応力以内であり、また、トンネルの発生曲率半径は 565 m 、継手における相対角度は、 0.003167 Rad となるが、何れも許容限度以内である。

5.3. 地震時の挙動 柔結合継手を有するシールドトンネルの地震時の挙動を検討するため地震応答解析を行った。解析に当たっては、基礎の入力加速度(1968 年、十勝沖地震、八戸)によって地盤が変位し、これにトンネルが追従することによって応力が発生するものとし、また、応答計算モデルは、トンネルに直交した地盤断面ごとに振動を示す質点・バネ系におきかえ、さらに軸方向に相互に連絡するバネで構成するものとした。解析の結果、地震による曲げモーメント、せん断力及び軸力の最大値は、 $430\text{ t}\cdot\text{m}$ 、 550 t 及び 660 t となるが、何れも許容応力以内であり、また、トンネルの発生曲率半径は 5300 m 、継手における相対角度は、 0.000504 Rad となるが、何れも許容限度以内である。

なお、地震時及び地盤地下時の合成した継手の相対角度の最大は、 0.003169 、継手ゴム圧縮量の最小値は 6 mm (初期圧縮量 30 mm) となるが、何れも許容限度以内である。

5.4. 水密性

柔結合継手部の原寸模型を製作し、継手部に地下水圧相当の水圧(2 kg/cm^2)を加える水密試験を行った結果、継手ゴムが若干の圧縮を受けている限り、完全な水密性が確保されることを確認した。

参考文献

- (1) 鳥取、シールドトンネルの軸方向変形に関する実験、土木学会文 27 周年次学術講演集 Ⅲ-144
- (2) 平岡、鳥取、矢吹、シールドトンネルのフレキシブル継手に関する実験的研究、同文 29 周年次学術講演集 Ⅲ-78

図-2 セグメントリング間柔結合継手ゴム断面

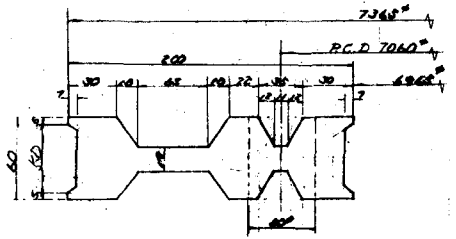


図-3 セグメントリング間柔結合継手

