

III-184 沈埋かん柔結合接手の設計法に関する考察

日本鉄道建設公団 正会員 平岡浩郎
日本鉄道建設公団 正会員 鳥取孝雄

1. まえがき

わが国における沈埋工法は、過去10年来、関係者の努力により長足の発展を示し、漸く欧米の技術水準に達し得たと云えよう。しかしながら、沈埋トンネルの耐震性、不平等下対策、水密性、接手構造、基礎造成方式、大水深および急流下での沈設方式など未解決の問題も多い。とくにわが国のように地震が多く、かつ、極軟弱地盤地域での施工要請の多い沈埋トンネルの設計にあたっては、耐震設計、不平等下対策等の解明は緊急の課題である。

京葉線台場トンネル(東京港付近)は、東京港海底を横断する沈埋トンネルであり、本年4月着工したばかりであるが、本トンネルは、地盤沈下の著しい軟弱地盤地帯を通過するもので設計上の問題が多い。これらの一つとして、不平等下対策、耐震性を考慮した柔結合接手の設計について、種々、検討を行ったのでその概要を御報告したい。

2. トンネルの設計概要

台場トンネルは、東京都大井ふ頭から品川運河を経て品川ふ頭に入り、右に大きく迂回して東京港海底を直前に横断、13号埋立地を経て江東区有明町付近で地上に達する延長約8.6kmの鉄道トンネルである。トンネルの設計は、地形、地質、支障物等の施工条件に合せ、沈埋、ケーソン、シールド(圧気式および泥水加压式)用など各種工法を採用し、現在、その大部分は工事中である。

このうち、東京港横断部分から13号地付近にかけて著しい地盤沈下が進行中であり、これらの対策として次の数策について検討した。すなわち、(1)基礎くいを用い、剛結合接手とした沈埋トンネル (2)地盤沈下に起す可能な柔結合接手(可塑性伸縮接手)を用いた沈埋トンネル (3)地盤改良により沈下量を軽減し、かつ、柔結合接手を用いた沈埋トンネル等であり、これらの結果、主として耐震性、アプローチトンネルとの取付との問題、経済性等の理由により文2策を採用したものである。

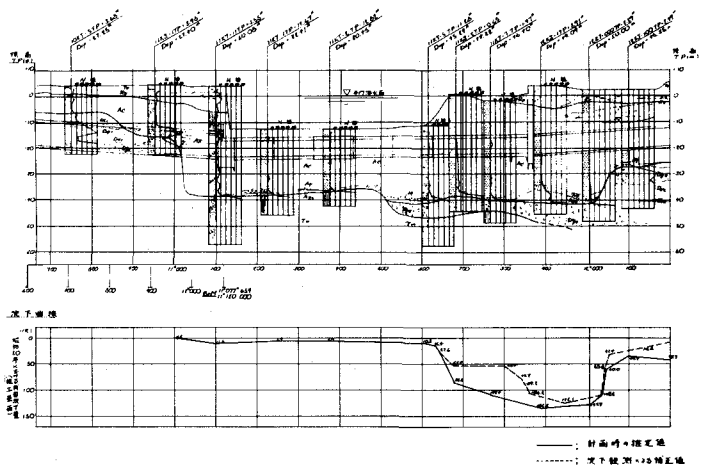
3. 設計上の問題点と考察

沈埋トンネル柔結合接手の施工例としては、ロツテムダムメトロ、フーン、ハイネオルト、E3エルベの各トンネル(不完全柔結合接手を含む)などが挙げられるが、どれも非地震地帯での例であり、わが国のように耐震性が重要な問題となる地域では、そのまま適用することは危険である。このため、不平等下および地震動によって発生する強大な引張力と剪断力に抵抗し、かつ、水密性を確保し得る柔結合接手を考察することとした。

3-1 地盤沈下

台場トンネル東京港付近から13号地付近に達する地質縦断面図並びにトンネル完成後の沈下量は、図-1に示

図-1 東京港付近地質縦断面図およびトンネル沈下縦断面図

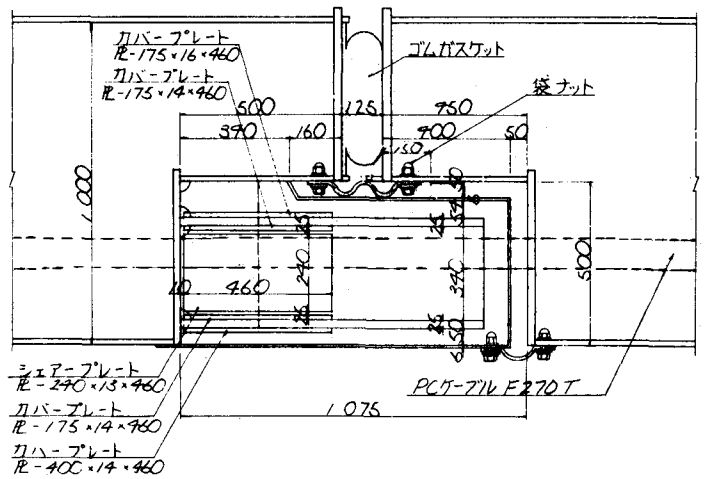


すどおりである。最近の測定記録によれば、地上部で1609年、トンネル断面付近で70%増となっており、これらの値からトンネル完成後の残留沈下量を推定すると、それぞれ27mmおよび13mmに達する。また、地盤沈下がトンネルに及ぼす影響については、トンネルを弾性床上の梁と考え、連続バネ下端に地盤沈下量に相当する強制変位を与える解析モデルにより求めたが、この際、沈埋トンネルに設けた全9箇所の柔結合接手については、ゴムガスケットおよびP.C.ケーブル(図-2参照)によって生ずる反力に等しい回転バネと前断キリに置換えた。計算の結果、沈埋かんに生ずる曲げモーメントおよび前断力の最大値は、それぞれ、 $12,500\text{t}\cdot\text{m}$ 、 450t となり、トンネルの耐力 $44,000\text{t}\cdot\text{m}$ 、 $2,500\text{t}$ (柔結合接手部前断キリの断面前断耐力は $1,900\text{t}$)より少し、柔結合接手部に生ずる相対変位角は、最大 $5.937\times 10^{-3}\text{Rad}$ (21')となり、許容変位角55'以内である。

3-2 耐震性

図-2 沈埋かん柔結合接手部設計図

柔結合接手を有する沈埋トンネルの地震時の挙動並びに接手部の安全性を検査するため、次の解析モデルにより地震応答解析を行った。すなわち、有限要素法により地盤の前断振動(1次周期)および固有モードを求め、これと同じ周期をもつ41英の震度率を運動し、地盤の挙動は、バネを介してトンネルに伝えるが、この際、トンネルの自由振動は無視する。なお、基礎への入力地震波としては、遠距離大規模地震として、近距離中規模地震としてセントロを用いた。計算の結果、



沈埋かんに生ずる曲げモーメント、前断力および軸力の最大値は、それぞれ、 $33,000\text{t}\cdot\text{m}$ 、 $1,500\text{t}$ および $3,700\text{t}$ となり、トンネル耐力 $45,000\text{t}\cdot\text{m}$ 、 $2,500\text{t}$ および $16,000\text{t}$ より少し、また、柔結合部の最大相対変位は 4cm である。なお、地震時および不平等沈下時における柔結合接手部の合成相対変位の最大値は、軸力方向 10mm 、軸力方向 27mm となり、どれも十分安全な範囲にあるものと思われる。

3-3 水密性

地盤の不平等沈下および地震時におけるトンネルの水密性については、前号による検討の結果、ゴムガスケット単独の1次防水だけでも安全であるが、不確定要素が多いことも考慮しより安全を計るため、370mmの水圧に耐えるオメガジョイントの2次および3次防止を設けることとした。なお、3次防水については将来の取替も可能である。以上の考察にもとずき考案した柔結合接手は、図-2のとおりである。

3-4 模型実験

新しく考案した柔結合接手の安全性を確認するため、模型実験を実施した。模型は、縮尺1/4で原型とほぼ相似の全体模型と接手部ゴムガスケットの一部を原寸で製作した部分模型の2種類とし、それぞれ予想される外力または変位を加えその挙動を測定した。実験の結果は、押し引きおよび回転バネ率数、曲げ応答、複合固がり性状など大部分あらかじめ予測した成果を得たが、前断バネ率数、止水性等の一部については、予想外の弱さも確認され貴重な設計資料を得ることができた。

参考文献

- (1) 鳥取・林; フレキシブルジョイントをもつ沈埋トンネルの地震応答, 土木学会文29周年次学術講演集 I-234
- (2) 平岡・宮田・鳥取; 沈埋トンネルの柔結合接手に関する実験的研究, 土木学会文30周年次学術講演集 II-149