

シールド掘進の推力上昇について

中部電力 (株)

滝 英治

中部電力 (株)

寺岡 良明

熊谷・佐藤・鹿島・大豊共同企業体

高瀬 喜祥

熊谷・佐藤・鹿島・大豊共同企業体

○武内 秀行

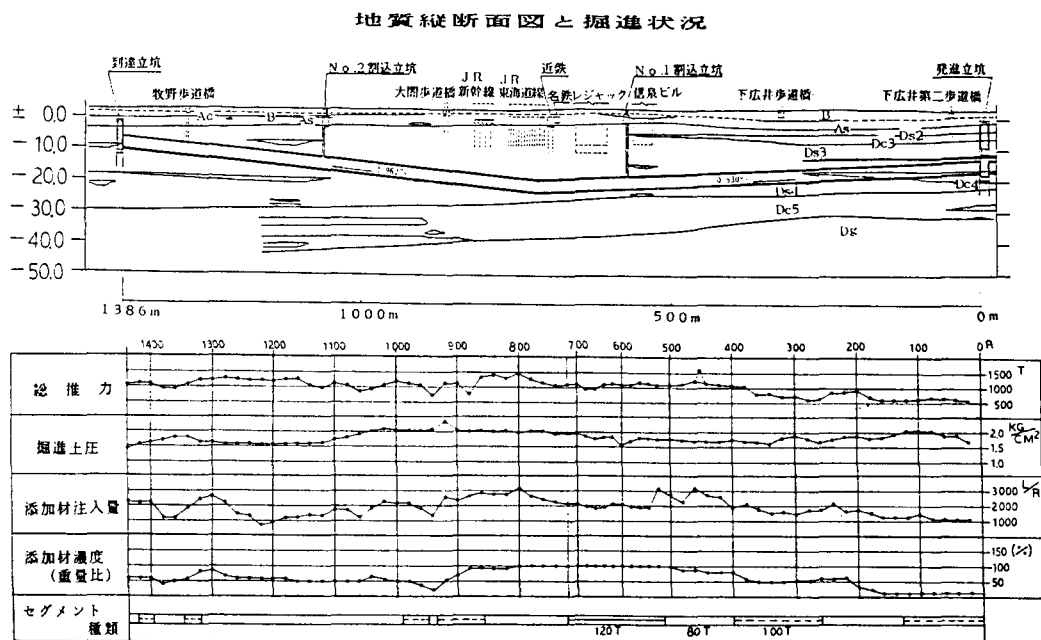
1、はじめに

シールドの総推力は、切羽土圧、周面抵抗力、および曲線施工時におけるジャッキの片押し等の余裕を考慮して計画している。本工事では、シールド掘進途中において総推力が計画値を大幅に上回り、セグメントが耐力的に危険な状態となった。総推力上昇については、種々の原因が想定されたが、最終的に細砂による周面抵抗力によるものであるとの見解に達した。以下にその概要について述べる。

2、工事概要および地質

1)、工事概要 本工事は、名古屋駅付近の幹線道路下を、中折れ機能を装備した土圧式シールド(加泥タイプ)により、外径4.85m、掘進延長1886mの電力洞道を構築するものである。セグメントはスチール製で、直線部は80tジャッキ耐力用を、曲線部は半径150mで100t、半径90Rで120tと8種類の耐力区分で使用した。使用ジャッキ1本当りの推力は120t、計16本で総推力1920tである。

2)、地質 シールド通過部の地質は、第4紀洪積世の熱田層で砂層がほぼ全線に亘っている。砂層は、軽石混り粗砂、礫混り砂、砂及び細砂に大別できる。N値は20~50の締った地盤で、礫径は10~80mm程度である。透水係数は $2 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ 。地下水位はGL-5~6m、土被り9~22mで、間隙水圧は0.6~1.6kg/cm²となっている。



(20リング平均データ)

図 - 1

3、総推力上昇について

1) 総推力上昇の状況、本工事の総推力は、初期掘進状況から装備能力の半分程度の700～800tを常用値と考えていた。400R付近から発生した総推力の上昇は、常時1000tを越え、最高1500tまで達した。そのため、これ以降に重要交差点下での急曲線施工と、JR東海等重要幹線鉄道下の横断施工とを控えて、慎重な施工が要求されており、原因究明について検討し、①、シールド外周面の裏込材の固着。②、テールシールドへの裏込材の固着。③、外周カッタービットの損耗。④、中折れ部の土砂、裏込材の固着。⑤、砂による周面抵抗。と以上の様な要因を挙げた。No.1割込立坑において調査可能な①～④についてチェックしたが、これらからは原因が確認できなかった。掘削が進むにつれ、土質変化に対応した総推力の増減が顕著となり、細砂によるシールド周面への締め付け抵抗であろうとの見解に至った。総推力、掘進土圧、添加材注入量および添加材濃度の変化状況を図-1に示す。掘進土圧は、土被りに応じて変化している。添加材は、カッターノックを適正範囲内に維持するために使用しており、その注入量・濃度の変化は土質状況をも表わしている。つまり、注入量・濃度の増加は、粘性土分の減少を示している。図-1において特筆されることは、総推力と添加材注入量とは非常に相関性が高いことである。特に、800R付近の増減傾向が顕著である。また、注入量が2000ℓ/R以上の場合には、総推力が1000t以上となっている。さらに、排土の観察から、特に暗灰色の細砂が多く確認された時に、総推力の上昇が見られ、細砂が総推力の上昇に大きく関与していると言える。図-2に、各排土の粒径加積曲線を示す。742Rだけは、セグメントのグラウトホールから直接地山を採取したもので、極めて細砂が卓越しており、細砂分は90%、均等係数2.2となっている。各排土の分析結果には、シルト以下の粒径分が添加材として1～4.5%混入されている。

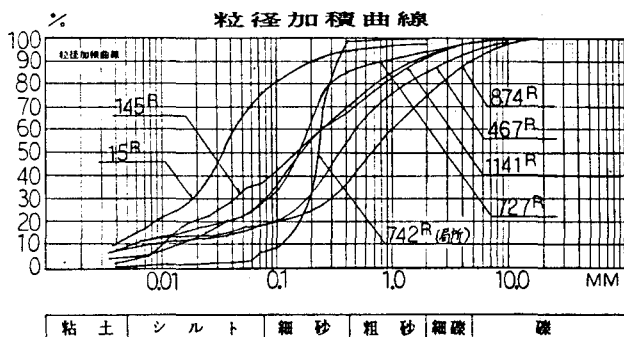


図-2

2) 周面摩擦抵抗力の検討

シールドの推進抵抗は、トンネル標準設計書において6項目の要素に分けられている。検討に当たっては、特に関係するシールド外周の摩擦抵抗と掘進土圧の2項目に注目し、他の4項目の合計は概ね一定と考えた。掘進土圧は、 $1.7 \sim 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ となっており土圧反力 F_1 は約300tとなる。また、周面摩擦抵抗 F_2 は、ゆりみ高さを $h = 2D \div 9m$ 、 $\phi = 35^\circ$ 、摩擦係数 $\mu = \tan \phi / 2$ 、水中単位重量 $\gamma = 1.0 \text{ t/m}^3$ 、シールド周面積 $A = 74.5 \text{ m}^2$ 、係数 $\alpha = 1.0$ とすれば、 $F_2 = A(\alpha \mu \gamma h) \div 200 \text{ t}$ となり、単位面積当たり 2.8 t/m^2 である。ここで、300Rまでの平均的な総推力を通常推進抵抗 $T = 700 \text{ t}$ と考え、他の4項目の抵抗分 F_3 を求めると、 $F_3 = T - F_1 - F_2$ で約200tとなる。従って、総推力 $T_{\max} = 1500 \text{ t}$ の場合は、 $F_{2\max} = T_{\max} - F_1 - F_3 = 1000 \text{ t}$ となり、単位面積当たり 13.4 t/m^2 と非常に高い値となる。

4、おわりに

本工事で体験した総推力の上昇は、従来のシールド装備推力の検討範囲を若干越えており、直線部ではセグメントの設計耐力を越え、曲線部では中折れ装置を使用したのが、ジャッキ選択に余裕は無かった。シールド掘進に関して致命的な推力不足には至っていないが、今後、比較的良好な均一な細砂層が認められる場合には本工事の様に、周面摩擦抵抗が 13 t/m^2 と非常に増大することが考えられるので、総推力の検討に当たっては、土質調査等を基に十分な検討が必要である。