

III-B 119 大深度シールドトンネルのセグメントの解析

関西電力	正会員	岡田 久延
関西電力	正会員	岸 孝雄
佐藤・大成・三井・大豊共同企業体		吉田 良三
○佐藤工業	正会員	杉嶋 敏夫

1. はじめに

シールドトンネルのセグメントの設計手法は過去の工事実績に基づいて確立され、各設計基準類にその成果が盛り込まれている。これら基準類はトンネルの安全性を確保するうえで十分な内容を具備していると考えられるが、地盤—トンネル挙動のメカニズム、すなわち実際の土水圧の規模や作用機構およびセグメントと地盤との連成挙動をどのように評価するのが妥当かといった点が不明確である。このことは最近のシールドトンネルの大断面化、大深度化に伴い工事の実現性、経済性に関して問題となる。本報は現在施工中の大深度トンネルの設計で試みた荷重と解析モデルの考え方について述べるものである。

2. 工事概要

当該のシールドトンネルは、全長約1.5 kmの中間部約600 m区間が土被り60 mを超え、最深部で66 mに達する。セグメント外径は8.0 mである。土質は大略GL-25 mを境として沖積層と洪積層に分かれる。沖積層の上半はN値1～7のシルト質砂、下半はN値2～4の粘土層が厚く堆積しており軟弱である。洪積層は粘性土層と砂礫層の互層をなし、粘性土層はN値20程度、砂礫層はおおむねN値50以上である。

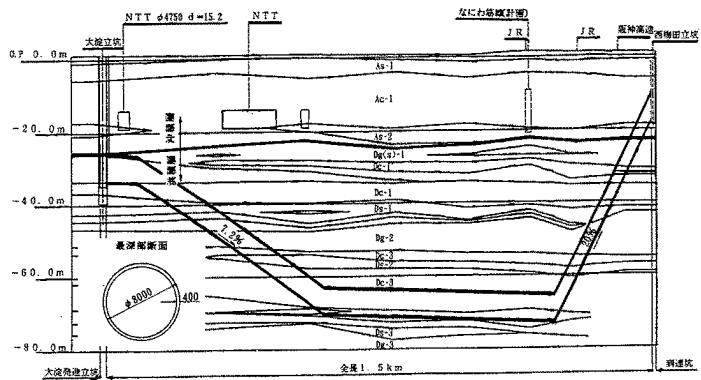


図-1 トンネル縦断面図

3. 解析条件

(1) 基本条件 大深度トンネルの設計に従来の方法を安易に適用した場合に、セグメント部材は非現実的なまでに大型化し不経済となると想定される。土被り60 mを超える区間のトンネルは洪積粘性土層に位置する。粘性土地盤における土水圧の作用機構は一般に土水一体と考えることが多いが、自立性の高い洪積粘土では長期的には間隙水圧が支配的な荷重要素となると考えられ、荷重の作用形態は土水分離とした。設計荷重としては間隙水圧を主荷重とし、安全要素として、緩み土圧を考慮するとともに側方土圧係数および地盤反力係数の値を複数考慮したパラメトリックな解析を行った。

(2) 荷重 長期荷重として間隙水圧のみを考慮し、その強度は洪積帯水層の被圧水頭から判断してほぼ静水圧分布とみなした（設計地下水位：GL-2.6 m）。同様に長期荷重として考慮する緩み土圧はTerzaghiの方法により算定し、下限を2 D（D：セグメント直径）とした（採用した緩み土圧は2 D）。なお、水圧を主荷重と考える観点から、互層地盤における自然的あるいは人為的な地下水位の変動に対する粘性土層の砂質土層に対する追従の遅れを短期荷重として考慮することとした（水頭差は5 mとした）。なお、建物基礎杭の先端がトンネル上方に位置するため建物荷重を上載荷重として考慮した。Boussinesqの応力伝播理論解より8 tf/m²と求めた。

(3) 解析モデル 地盤反力係数、側方土圧係数の値はセグメント部材の決定上支配的な要素である。検討

対象断面のDc-3層のN値は $N=15\sim 25$ の範囲にあり、平均で $N=18$ である。これより地盤反力係数 $k=2.0\text{kgf/cm}^3$ ，側方土圧係数 $\lambda=0.5$ 程度が妥当と判断したが，事例のない大深度トンネルであることから，各基準類にコンシステンシーと対応して示される標準値の上下限値も考慮することとした。なお，地盤反力係数は載荷幅も考慮する必要があると判断される（図-3）。以上より，地盤反力係数として $k=1.0, 2.0, 3.0\text{kgf/cm}^3$ ，側方土圧係数として $\lambda=0.4, 0.5, 0.6$ を用いたパラメトリックな解析を行った。

構造モデルは，はりばねモデルとした。はりばねモデルは地盤-構造物系のモデル化において基本的に慣用計算法と同一の体系をもつ設計手法であるが，セグメント継手，リング間継手の剛性や地盤バネの作用モードの点で，計測結果が得られる将来における解析上の自由度が高いことおよび比較的バランスが偏った荷重を扱う上でその影響を確実に反映できることなどの理由から採用した。

4. 解析結果

解析結果では，部材はコンクリートの圧縮応力で決定され，設計基準強度 420kgf/cm^2 のコンクリートに対してセグメント厚さ400mmとなった。図-4に各ケースの最大曲げモーメントおよびコンクリート圧縮応力度を示す。

5. おわりに

当該工事では安全性の確認と設計の妥当性の評価を目的として，セグメント土圧，セグメント応力，間隙水圧および周辺の地盤変形について詳細な計測を実施する予定である。計測結果に関しては作用荷重の意義，地盤-トンネル挙動のメカニズムについて解析モデルも含めた検討を行う所存である。

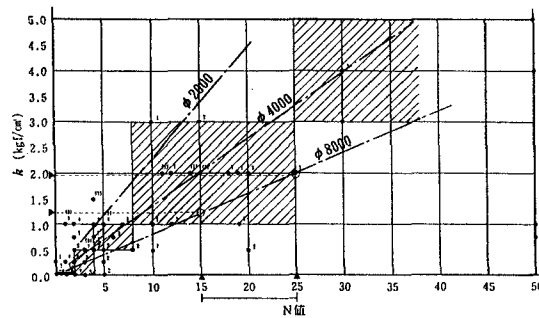


図-3 k と N 値，トンネル径との関係¹⁾

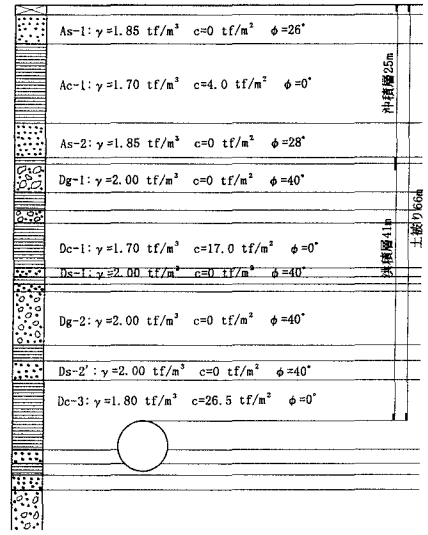


図-2 解析断面土質条件

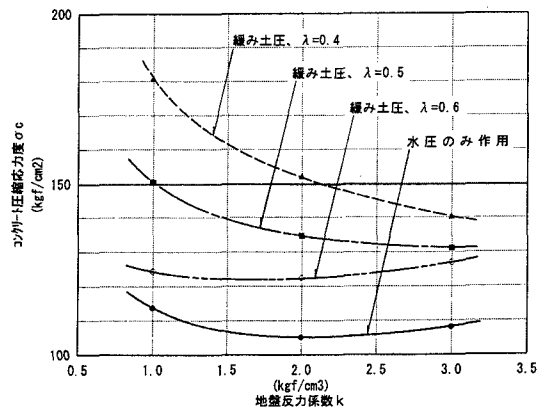
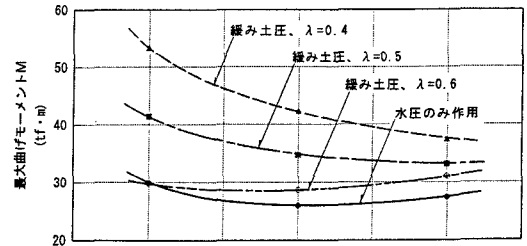


図-4 コンクリートの圧縮応力度

参考文献 1) 土木学会・日本下水道協会：シールド工用標準セグメント，1990.4 2) 土木学会：トンネル標準設計書（シールド編），1986.6 3) 日本鉄道建設協会：シールドトンネルの設計施工指針（案），1983.8