

大阪大学工学部 正員 伊 藤 富 雄
 大阪大学工学部 正員 久 武 勝 保
 大阪市交通局 正員 竹 山 高
 近畿日本鉄道 正員 〇 中 村 雄 二 郎

1. はじめに

本研究は、双設シールドトンネルによって生じる地表面沈下と、両トンネルの施工手順、トンネル掘進速度、地山の時間依存性、テールボイドの存在、及び圧気圧の作用を考慮して三次元的に解析する手法を示し、次いで本手法を実際の現場に適用し、この手法の妥当性を検証したものである。

2. 解析手法の概略

粘弾性地山内に、図-1に示すようなトンネルを速度 V_f で掘削する場合、地表面沈下量 u_2 は次式で与えられる^{1)~4)}

$$u_2(x_1, x_2 = h; t_i) = \int_0^{t_i} u_2^0(x_1, x_2 = h; t_i - \tau) \frac{\partial}{\partial \tau} f_s \{ V_f(\tau - T_s) \} d\tau \quad (1)$$

ここに、 t_i はトンネル縦断地表面測点で沈下が生じ始める時刻を基準にした時間、 T_s は先行沈下の生じる距離を V_f で除した時間、 f_s はトンネル縦断地表面沈下の特性曲線²⁾、 u_2^0 は二次元粘弾性解析から求められるトンネル横断沈下であり、地山のポアソン比は時間的に一定とする。また、後続トンネルが先行トンネルと平行に掘削される場合、後続トンネルのみによる地表面沈下量は、先行トンネルのセグメントに作用する地圧を考慮して算定され⁴⁾、全沈下量は先行、後続両トンネルによる沈下量の和として求められる。

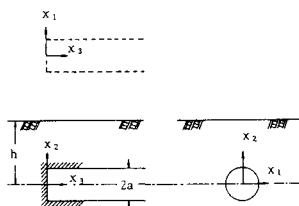


図-1 幾何学的関係

3. 本解析手法の現場への適用

図-2に当現場の地質特性の一例を示す。本解析では、地山を多層地盤として取り扱い、粘性土は、次式で示すフリース関数 $q_s = \{1 + q_n(1 + t)\}/E$ (E :弾性定数, t :日)と有する粘弾性体、砂質土は弾性体とし、地盤のポアソン比はすべて0.4と仮定する。また、粘性土の E は通常利用される式 $E = 105 q_u$ ⁵⁾ (q_u :一軸圧縮強度)で求めるが、当現場付近において、 q_u を上式に適用して算出した E と N 値の関係及び砂質土に対する孔内水平載荷試験による E と N 値の関係が、ともに図-3のようになり、それらの関係は式 $E = 5N + 70$ ⁶⁾と比較的良好に合っている。したがって、 N 値が既知の砂質土及び粘性土の E は上式で決定する。次に、当現場では、テールボイドへの裏込注入が早期に行われているが、その成果を定量的に把握するのは困難であるため、特徴的な下記の2つの場合を仮定して解析を行う。

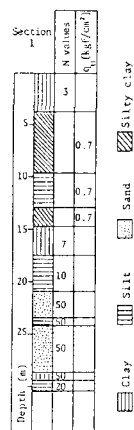


図-2 地質特性の一例

ケースA: シールドの前進に伴って、テールボイドへの裏込注入が完全に行われ、トンネル内面変位がシールドとセグメントにより完全に拘束される場合。

ケースB: 裏込注入の効果を無視し、切端手前のトンネル内面がテールボイドの厚さだけ変位するまで、トンネルが柔撓状態にあるとする場合。ただし、トンネル内面の横断面内における変位は、内面上の各点で異なるから、トンネル縦断面での直径の変化がテールボイドの2倍に達するまで、トンネルは柔撓状態にありその後はトンネル内面の変位がセグメントにより完全に拘束されるとする。

なお、セグメントがトンネル内面変位を拘束した後、地表面沈下の増分はない

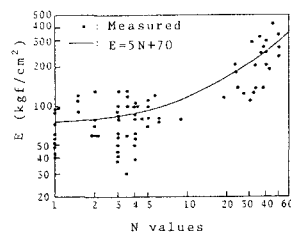


図-3 EとN値の関係

ものとする^{1),4)}。

4. 解析結果と実測結果の比較

図-4は、先行及び後続トネルの縦断地表測点 M_1 、 M_2 の経時沈下量について、先行トネルの切端が測点 M_1 の直下に達した時刻を基準にし、解析と実測の結果を比較したものである。同図には、前記ケースA、Bの解析結果とともに、両トネルが素掘のまま放置されたときの解析結果も併記されているが、その場合の沈下量は、当然のことながらケースA、Bの解析及び実測の結果に比べて非常に大となることがわかる。また、ケースAとBの解析結果を比較すると、それらの沈下量の差は決して無視できない。したがって、地表面の沈下量を抑制するには、テールボイドへの裏込注入を早急に行い、トネル内面を拘束する必要があるという現場の教訓が、本解析により、定量的に解明されたといえる。なお、ケースAの解析は地圧の反力が先行沈下を抑制する効果を無視することによって、実測値よりも大なる沈下量を算出し、テールボイドは圧入しないとして実測値より小なる沈下量を与えるものである。次に、切端が測点のはるか前方まで進行した最終測定時には、トネル横断面内の地表面沈下量は図-5のようになる。この図を見ると、ケースAの解析結果と実測結果とは比較的良く一致している。このことは、ケースAの解析法による前記のような過大と過小な計算値が相殺した結果によるものと思われる。なお、ケースBの解析が、図-4、5のいずれにおいても実測結果より大になる、というのは当然のことである。

参考文献：1) Ito, Hisatake: Proc. 4th Int. Conf. Numer. Meth. Geomech., 1982. 2) 又武・伊藤；土木学会論文報告集投稿中。3) 伊藤他4名；第17回工質工学会年講, 1982. 4) 又武・竹山・伊藤；土木学会論文報告集投稿中。5) 川本他3名；工と基礎, 20-3, 1972. 6) 土質調査試験結果の解釈と適用例, 工質工学会。

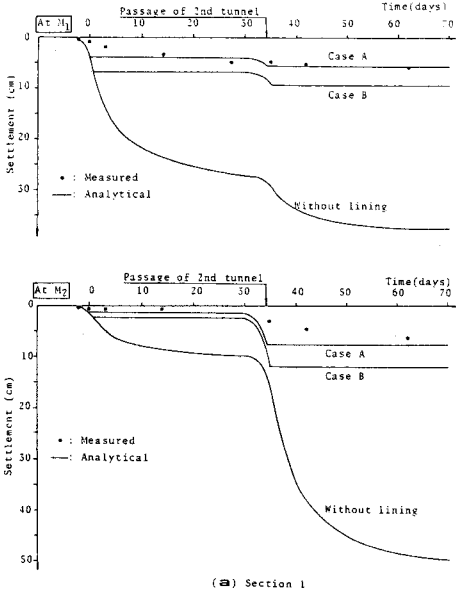


図-4 M_1, M_2 での実測と解析の経時沈下

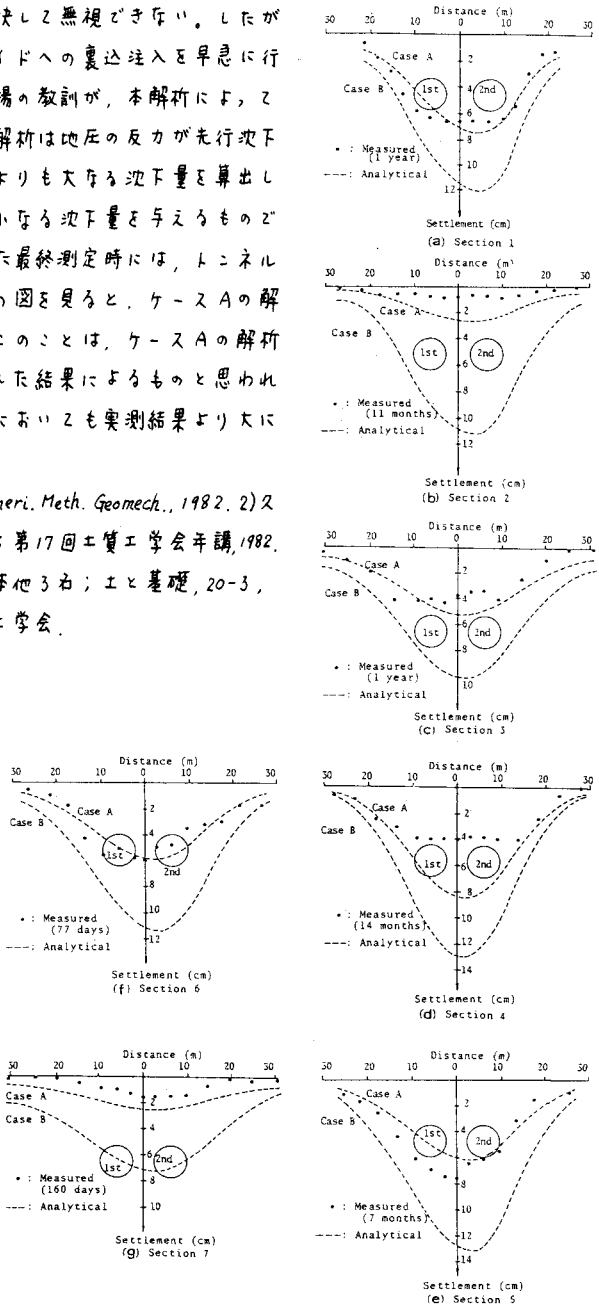


図-5 最終測定時での実測と解析の沈下の比較