

III-319 トンネル掘削時の挙動に関する模型実験装置と評価法

飛島建設(株) 構造技術部 正○近久 博志
 飛島建設(株) 構造技術部 正 荒井 幸夫
 飛島建設(株) 構造技術部 正 筒井 雅行
 神戸大学 工 学 部 正 桜井 春輔

1. はじめに

土被りが小さい土砂地山にトンネルを施工する場合の周辺地山の挙動に関しては、数多くの研究がなされ、数々の成果に結び付けられている。しかしながら、反面、これらの挙動を評価できる解析手法が十分に確立されていないのも現状である。これに対して、筆者らは、砂質地山にトンネルを施工した場合の基礎的な資料を得る目的で模型実験を実施してきた。本報告は、使用した実験装置と得られたデータの整理方法について説明するものである。

2. 実験概要

(1) 実験装置

本実験に使用した土槽は、図-1に示すような内側の大きさが幅98cm、高さ60cm、奥行き30cmの亚克力製の容器から成っている。土槽の内側にはテフロンシートを張り、試料と容器との摩擦を除去する。土槽断面の中央部に着脱式のトンネル模型が設置できるようになっており、トンネル模型の下端は土槽底部から15cmの位置にある。本トンネル模型の直径は、円形を保ちながら11cmから7.5cmまで接円状態（トンネル模型の下端が固定された状態）で、機械的に縮む構造になっている。写真-1にトンネル模型の外観を示す。

(2) 計測

トンネル模型を段階的に収縮させたときの周辺地盤の挙動は、模擬地盤を作成するときに設置した標点の移動を写真撮影によって測定し、デジタイザーで座標変換を行うことによって整理した。

3. 実験結果の評価法

本実験で計測するのは変位のみであるが、標点に囲まれた領域の変位は、測定された標点の変位から補間関数（変位関数）によって内挿することができる。次に、この補間関数を微分することによって、領域内のひずみが求められることになる。そして、このひずみから、主ひずみや最大せん断ひずみが求められることになる。これは、直接ひずみ評価法¹⁾としてトンネル

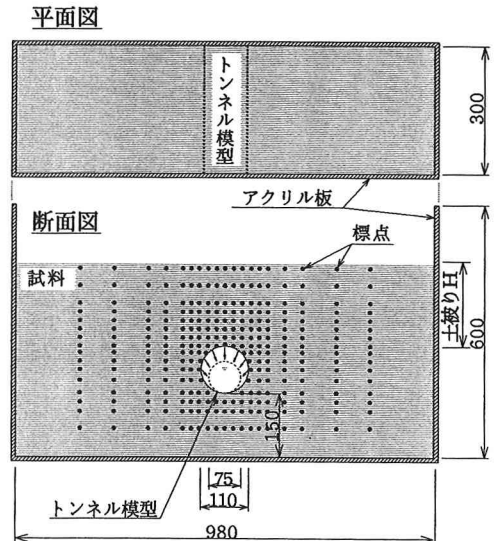


図-1 トンネル模型実験装置

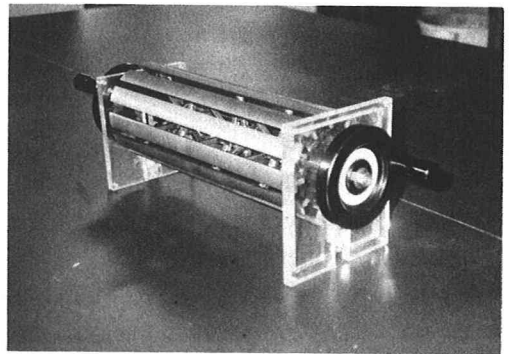


写真-1 トンネル模型

の現場計測の評価として活用してきた方法であるが、概略説明すると次のようになる。設置した標点の数が N の実験装置で、測定点 i において測定された x 方向と y 方向の変位を u_i と v_i とすると、地盤内の変位は次のように表される。

$$\left. \begin{aligned} u &= \sum_{i=1}^N P_i(\xi, \eta) u_i \\ v &= \sum_{i=1}^N P_i(\xi, \eta) v_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $P_i(\xi, \eta)$ は、局所座標系 (ξ, η) における補間関数である。式(1)によって、測定された標点の変位から、標点に囲まれた領域内の変位が表されることになる。ここで、二次元のひずみ場を仮定すると、変位とひずみの間に次のような関係式が成り立つ。

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \partial u / \partial x \\ \varepsilon_y &= \partial v / \partial y \\ \gamma_{xy} &= \partial u / \partial y + \partial v / \partial x \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

式(2)に式(1)を代入することによって、次のような関係式を得る。

$$\{\varepsilon\} = [B] \{u\} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $\{\varepsilon\}$ 、 $[B]$ および $\{u\}$ は、それぞれひずみベクトル、ひずみ-変位マトリックス、標点の変位ベクトルであり、次のように表される。

$$\left. \begin{aligned} \{\varepsilon\}^T &= [\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}] \\ \{u\}^T &= [u_1, v_1, u_2, v_2, \dots, u_N, v_N] \\ [B] &= [T_1(x, y), T_2(x, y), \dots, T_N(x, y)] \\ [T_i(x, y)] &= \begin{bmatrix} \partial P_i / \partial x & 0 \\ 0 & \partial P_i / \partial y \\ \partial P_i / \partial y & \partial P_i / \partial x \end{bmatrix} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

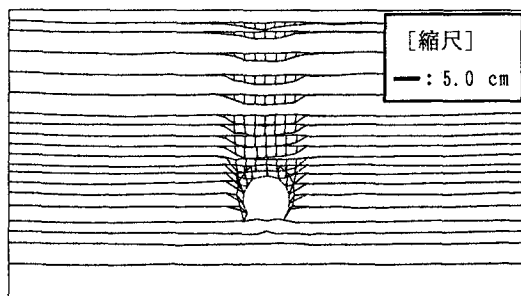


図-2 変位図(測定値)

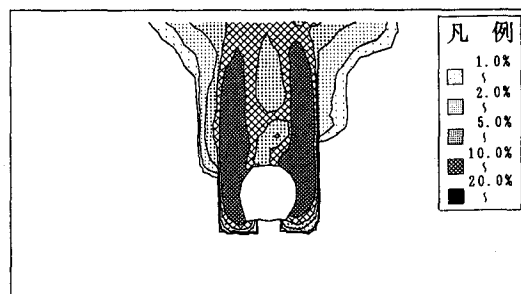


図-3 変位から求めた最大せん断ひずみ分布図

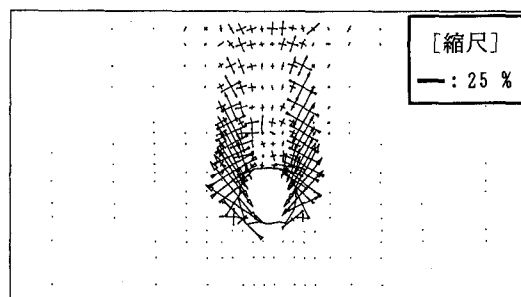


図-4 変位から求めた主ひずみ図

結果の一例として、豊浦標準砂を用いた土被りが 30 cm (3 D) の実験²⁾で、トンネル直径を 11 cm から 8 cm まで縮めたときに測定された標点の変位図と、その変位から求められる最大せん断ひずみ分布図および主ひずみ図を、それぞれ、図-2、図-3 および図-4 に示す。

4. まとめ

今回報告した実験装置と直接ひずみ評価法を用いれば、大がかりな計測器を設置することなく模擬地盤内の変位とひずみ分布を比較的簡単に測定、評価ができることが分かった。今後、砂質地盤に施工されるトンネル周辺の地山挙動の実験を進めていく中で、これらを有効的に活用して行きたいと考えている。また、本ひずみ評価法と画像処理システムを組み合わせることによって、実験段階におけるタイムリーなモニタリングも可能と思われる。

【参考文献】

- 1) 桜井：「トンネル工事における変位計測結果の評価法」, 土木学会論文報告集, 第317号, 1982. 1
- 2) 近久, 荒井, 筒井, 小野：「砂質地山におけるトンネル掘削時の挙動に関する模型実験」, 第47回土木学会年次学術講演会, 1992. 9