

トンネル掘削時の坑内変位量と地山強度比および内部摩擦角の関係

応用地質（株） 正会員 ○ 竹林 亜夫 正会員 吳 旭
 正会員 奥井 裕三 正会員 三上 元弘
 正会員 國村 省吾
 大阪大学大学院 フェロー会員 松井 保

1. はじめに

本文は、既往のトンネルの施工事例における計測データを主に文献調査し、トンネル掘削時の坑内変位量と地山の地山強度比および内部摩擦角との相関について考察を行ったものである。そして、二車線道路トンネルを対象とした弾塑性 FEM 解析を行って、計測データから求められた相関関係について、検証した結果を述べる。

2. 計測データによる坑内変位量と地山強度比および内部摩擦角の関係

我が国で施工された NATM の工事事例について文献調査を行い、トンネル掘削時の内空変位と天端沈下を併せた坑内変位と地山強度比および内部摩擦角の関係を、図 - 1 に示す。この図で、地山強度比（以下 α と称す）が 0~0.3 で内部摩擦角（以下 ϕ と称す）が 10° 以下の ϕ の場合は、鍋立山トンネルの最も難渋した区間等である。 α が 0.7 以下で、 ϕ が 20° 以下の ϕ の場合は、飯山トンネルおよび朝日トンネルの二重支保工区間等が該当する。 α が 2 以下で、 ϕ が 30° 以下の ϕ の場合は、通常の膨張性地山が該当している。なお、 α が 0.6 以下で、 ϕ が 30° 以上の ϕ の場合は、成田砂層およびシラス地山の事例で、内空変位は小さく、天端沈下に対しても対策工法の効果で小さい結果となっている。 α が 2 以上の ϕ の場合は、標準支保工において小さい坑内変位で安定する一般的な地山である。なお、後述する弾塑性 FEM 解析結果の一部も合わせて図 - 1 に示す。

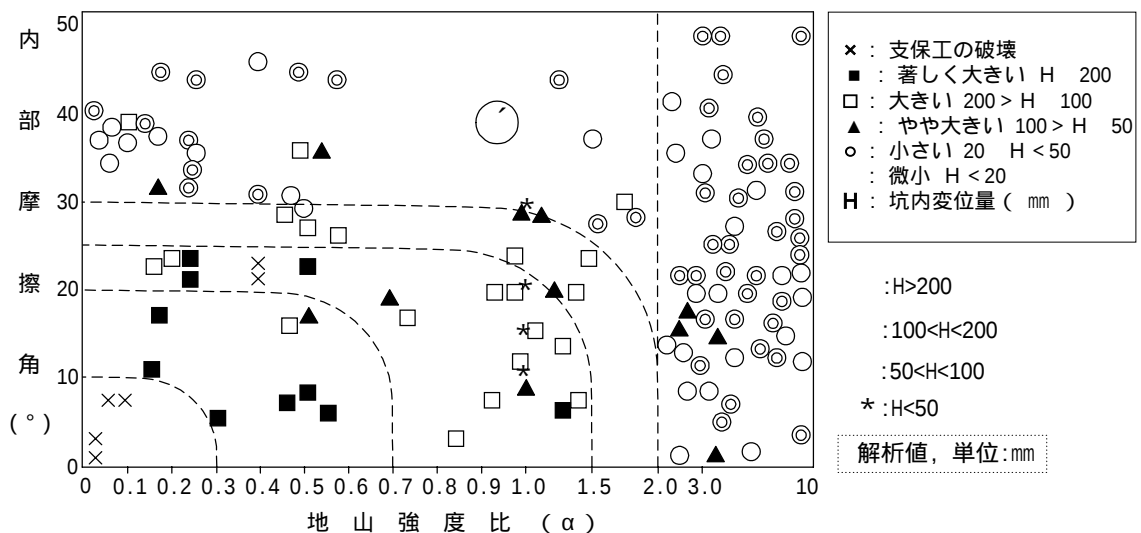


図 - 1 坑内変位量と地山強度比および内部摩擦角の関係

3. 弾塑性 FEM 解析

3.1 数値解析モデルおよび入力物性値

二車線道路トンネルについて、地山強度比が 1.0, 0.7, 0.5 の 3 ケースに対して、地山の内部摩擦角をそれぞれ 30° , 20° , 15° , 10° と変化させて、平面ひずみの弾塑性 FEM 解析を行った。支保工は DII パターソン（鋼製支保工 H150、吹付コンクリート 20cm）とし、支保工の入力物性値は鋼製支保工と吹付コンクリートの物性値から換算したものを使用した。初期地圧は等方で、地山と支保は Drucker - Prager 弾完全塑性モデルとする。

キーワード 内空変位, 天端沈下, 坑内変位, 塑性領域, 内部摩擦角, 膨張性トンネル

連絡先 〒331 - 8688 埼玉県さいたま市北区土呂町 2 - 61 - 5 応用地質(株) 技術本部 Tel. 048 - 665 - 1811

3.2 数値解析の結果と考察

数値解析の結果の内、内部摩擦角を考慮した地山強度比と内空変位量の関係を、図-2に示す。この図において、 α が0.7以上の場合には、内空変位量は ϕ による影響が小さく概ね100mm以下である。 α が0.7以下になると、 ϕ が小さいほど内空変位量は急激に増加し、特に α が0.5の地山においては、 ϕ が 10° の場合には、 30° の場合に比べて、内空変位量は約2.5倍となる。 ϕ が小さい場合に内空変位量が大きくなる原因は、図-3のトンネル壁面の応力状態において、標準的な支保の内圧効果では、トンネル周辺地山に塑性領域が形成されることにあると考えられる。すなわち、 ϕ の大きい地山では、壁面で支保工の内圧効果により、地山内に塑性領域が形成され難いことから、内空変位も小さくなると考えられる。図-4は、 α が0.5の場合に、 ϕ が 10° と ϕ が 30° の場合における地山内の塑性領域を示している。 ϕ が 30° の場合に比べ、 ϕ が 10° の地山では、塑性領域が著しく大きいことは明らかである。これが、図-2に示した内空変位の違いの原因であると考えられる。

4. まとめ

トンネル掘削時の坑内変位量は、周辺地山の内部摩擦角と地山強度比に大きく関係することを、実測

値と解析値で示し、それらの関係を図-1で明らかにした。今後、この図に基づいて設計段階および施工時に、地山強度比と内部摩擦角を把握することにより、坑内変位量を予測することが期待できる。

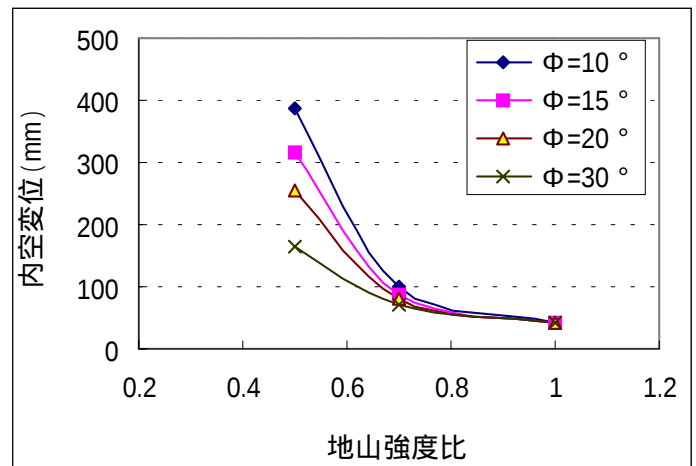


図-2 トンネルの内空変位と地山強度比との関係

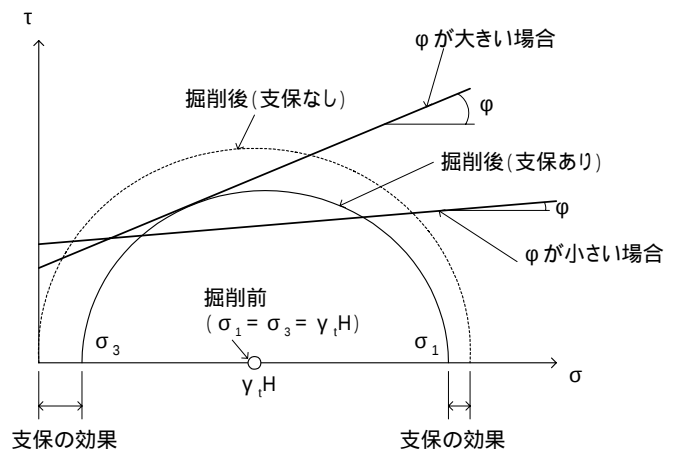


図-3 トンネル壁面の応力状態の概念図

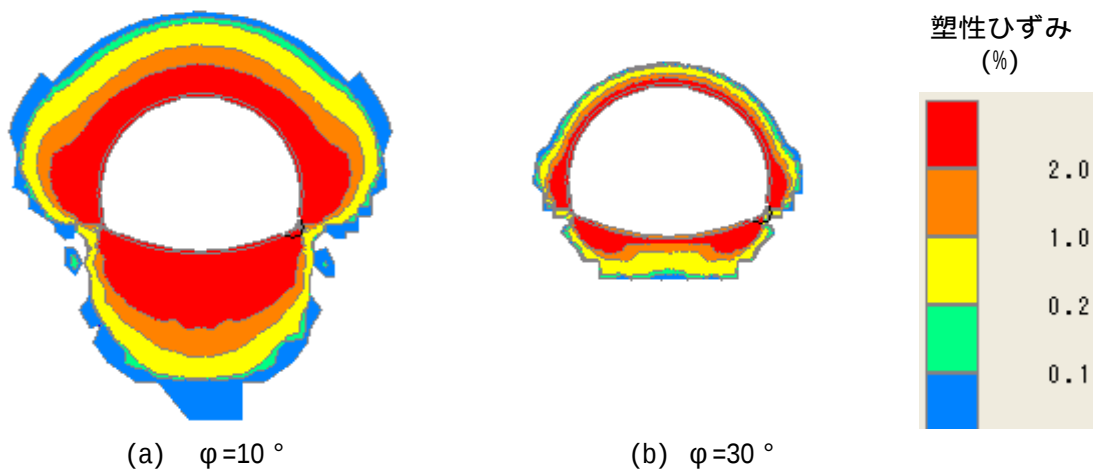


図-4 地山の内部摩擦角 ϕ による塑性領域の違い ($\alpha=0.5$ の場合)

参考文献 竹林・滝沢: トンネル掘削時の坑内変位に関する地質工学的研究, 応用地質技術年報, No. 21, 2002.