

超大断面トンネルの力学的挙動に関する数値解析

山口大学 学○岡部 正 山口大学 正 寺戸秀和
山口大学 正 清水則一 山口大学 正 中川浩二

1. はじめに

近年、時代の要請と技術の進歩による鉄道、道路などの大幅な輸送能力の増大とともに、我が国のトンネルも大断面化が必要とされている^{1)・2)}。実際、建設が進められている第2東名・名神高速道路では、掘削断面積が200 m²を超える超大断面トンネルが施工される。しかしながら、大断面化したトンネルの力学的挙動がこれまでの標準断面トンネルとどのように異なるか、あるいは同様かについてはまだ十分に把握されていないのが現状である。そこで、本研究では両者の力学的挙動を比較することを目的として数値解析を行った。なお解析には、有限差分法を用いた解析コードであるFLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua, ITASCA 社製)³⁾を用いた。

2. 解析条件

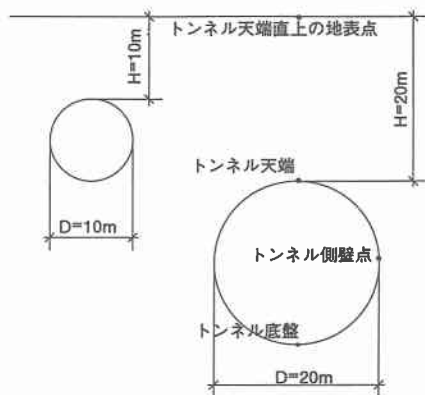
本研究では、トンネル径と同じ土被りをもつ標準断面と超大断面トンネルの力学的挙動の比較を行った。解析の対象断面は、簡単のために図1に示すようにトンネル形状を円形断面とした。トンネル径は、標準断面の場合は直径D=10m、超大断面の場合は直径D=20mとした。また地山の物性は日本道路公団のDⅢ区分の物性値を参考にして、 $E=1500 \text{ kgf/cm}^2$, $\gamma=2.1 \text{ kgf/cm}^3$, $\nu=0.35$, $C=1 \text{ kgf/cm}^2$, $\phi=30^\circ$ とした。解析は弾性解析と弾塑性解析について行い、弾塑性解析では、地山はモール・クーロンの破壊基準に従う理想弾塑性体として解析を行った。

3. 解析結果と考察

解析結果の考察は、図1に示すようにトンネル天端直上の地表点、トンネル天端、トンネル底盤中央点、トンネル側壁点の4つの点の変位について行った。

図2に標準断面と超大断面について、弾性解析を行ったときの応力解放率とそれぞれの地山の変位の関係を示す。黒描点が標準断面、白描点が超大断面の値である。応力解放率とは二次元解析を行う際、切羽の仮支保効果を考慮するもので、切羽の進行とともに増加する。すなわち、応力解放率が0%のときは未掘削を表し、応力解放率が100%のときはトンネルが貫通した、あるいは切羽が対象断面より仮支保効果を与えないほど遠くへ離れたことを意味する。図2によると、超大断面のそれぞれの点の最終変位（応力解放率が100%の変位）は、標準断面のそれぞれの点の最終変位のおよそ4倍となった。これはトンネル径、土被りともそれぞれ2倍である円形トンネルに対して線形弾性解析を行ったためである。

次に弾塑性解析の結果を図3に示す。図3は応力解放率と地山の変



(a) 標準断面 (b) 超大断面
図1：標準断面と大断面のモデル

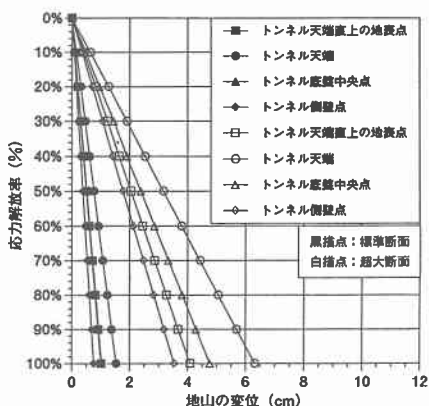


図2：弾性解析における応力解放率と地山の変位

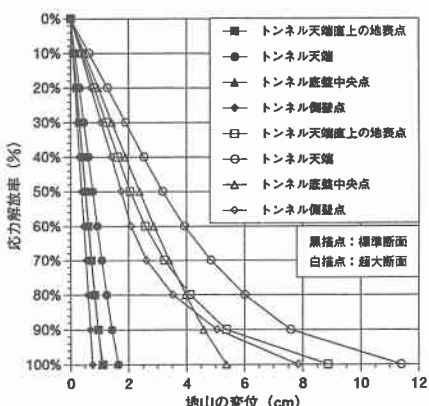


図3：弾塑性解析における応力解放率と地山の変位

位を示すグラフである。超大断面のそれぞれの地山の変位は標準断面の4倍以上となり、弾性解析の結果と異なり、トンネル径と土被りに比例した変位とはなっていない。図4は弾塑性解析結果の変形図である。太線は変形前の形、細線は変形後の形である。弾性解析では標準断面と超大断面の変形モードは相似的であったが、弾塑性解析では図4(b)のように両者はスプリングラインから地表面に向けて変形モードが異なっている。この変形に対して最大せん断ひずみを求めた結果を図5に示す。図5より、超大断面ではトンネルから地表面に向かってひずみが集中しており、トンネル上部の地山が抜け落ちるような変形挙動が現れていることが分かる。図6は塑性領域の広がりを出す図である。×印は過去に塑性となったものの現在は弾性である点、*印は現在塑性状態にあることを意味する。超大断面では最大せん断ひずみが集中している領域に対応して、トンネル側壁上部に多くの塑性域が生じている。以上のことから、地山条件の悪い超大断面トンネルの力学的挙動を調べる場合、弾性解析ではその挙動が予測できない可能性があり注意が必要であること、また、弾塑性解析では、標準断面と挙動が大きく異なることが示された。

図7は、標準断面と超大断面トンネルの上半に吹付コンクリートを施工した場合の吹付コンクリートの効果率を、いくつかの地山の点において求めたものである。吹付けコンクリートは応力解放率が60%のとき施工することとし、吹付コンクリートの効果率とは、吹付けコンクリートによる変位の抑制効果を表すもので、次式のように定義した。

$$\text{吹付けコンクリートの効果率} = \frac{(\text{素堀の最終変位}) - (\text{吹付けありの最終変位})}{(\text{素堀の最終変位}) - (\text{応力解放率60\%の変位})}$$

図7に吹付けコンクリートの効果率を、標準断面(吹付け厚 $t=20\text{ cm}$)、超大断面(吹付け厚 $t=20\text{ cm}$ および $t=40\text{ cm}$)について求めた結果を示す。図7によると、同じ吹付け厚さ($t=20\text{ cm}$)では、超大断面に比べ標準断面の方が効果があることが分かる。また、超大断面では $t=40\text{ cm}$ としても、標準断面ほどの効果が得られない。これは超大断面では、単に吹付け厚さを増すだけでは、変形の拘束は抑えられないことを示唆している。また、側壁の変位は、超大断面の $t=20\text{ cm}$ でも標準断面並みの効果がみられるのは注目される点である。

4. 結論

本研究では標準断面($D=10\text{ m}$)と超大断面($D=20\text{ m}$)において、それぞれ弾性解析と弾塑性解析をおこなった。その結果

- (1) 弾塑性解析において、超大断面では標準断面とは大きく異なる力学的挙動を示すので注意を要する、
- (2) 超大断面における吹付コンクリートの効果は、標準断面ほど高くはないという計算結果を得たが、詳細な検討は今後の課題である。

参考文献

- 1) 三浦克：土木学会論文集, No.516/VI-27, pp.1~13, 1995.
- 2) 坂本健次：トンネルと地下, Vol.27, No.4, pp.5~6, 1996.
- 3) FLAC Ver.3.3 マニュアル Vol.IV, ITASCA, 1995.

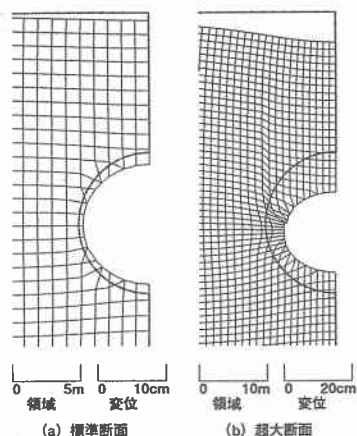


図4：変形図（弾性解析）

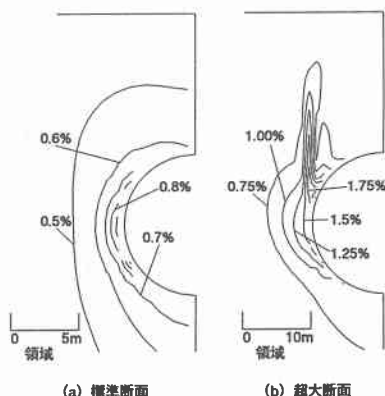


図5：最大せん断ひずみ分布（弾性解析）

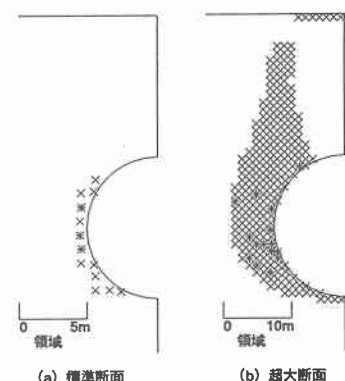


図6：塑性領域の分布（弾塑性解析）

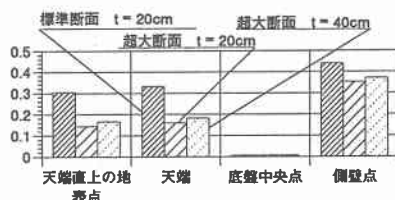


図7：吹付けコンクリートの効果率