

未固結地山における併設トンネル周辺のゆるみ領域発生メカニズムに関する考察

山口大学大学院 学 星野貴史
 山口大学大学院 学 澤江宏徳
 山口大学工学部 正 清水則一

1. はじめに

都市近郊部では、用地等の制約からトンネルを併設して建設する場合がある。土被りの浅い未固結地山を掘削する場合には、トンネル周辺地山に「ゆるみ領域」が発生し、トンネルの安定性が懸念されるため、新設トンネルが既設トンネルに与える影響を把握することは重要である。

本研究^{1)~3)}では、個別要素法に基づく粒状体解析手法を用い、土被りの浅い未固結地山における併設トンネル周辺の地山挙動のメカニズムの考察を行う。

2. 粒状体解析⁴⁾

一般にトンネル解析では、連続体力学に基づいた解析手法が用いられるが、連続体力学の場合、基本的に、材料の分離・すべりなどの破壊を表すことは困難である。そして、それが原因で通常の連続体力学の枠組みでは、支保や補強の効果をうまく説明できないばかりか、実際の地山挙動をも再現できないことが多い。

本研究では砂質地山を対象とし、それらを粒状体によってモデル化した個別要素法を用いる。粒状体モデルは媒質を粒子の集合体として取り扱う。このモデルは動的挙動を扱うのに適している数値解析手法である個別要素法 (DEM) に基づき、連続体とは異なり、個々の要素がお互いに離れたり、滑ったりすることができる点に大きな特徴がある。DEMでは各要素を剛体と考え、各要素の変形および力の伝達は別の要素との接触点のみで生じるものとしている。解析にはPFC2D(Itasca社汎用プログラム)⁵⁾を用いる。この特徴の1つは、粒子同士を連結させることで、鉄筋ボルトや覆工が模擬できることである。

3. トンネルの併設を想定した数値シミュレーション

ここではトンネルの併設を想定した未固結地山におけるトンネル掘削シミュレーションを行い、近接した新設トンネル掘削による既設トンネルへの影響を考察する。

3.1 解析条件

砂質地山において後進坑掘削前にトンネル周辺にゆるみがある状態 および締まった状態を想定するために、既設トンネルとなる先進坑には、覆工のみ、および覆工にボルトを加えることとする。施工位置は土被り2Dの位置に直径10mのトンネルを掘削する。後進坑掘削については、先進坑と同様の位置にトンネルを掘削し、その掘削パターンは先進坑支保パターンが覆工のみ、覆工+ボルトのそれぞれについて素掘り、覆工のみ、および覆工+ボルトの3パターン行う。また、先進坑と後進坑の中心間距離は1.5Dと2Dとする。解析領域の概略図を図1に示す。また、材料パラメータについては表1の値を用いる。

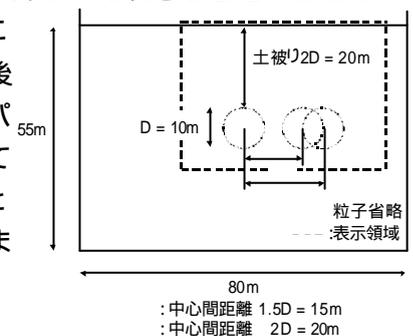


図1 解析モデル概略図(トンネルの併設)

表1 材料パラメータ

領域サイズ (m ²)		55 × 80	
粒径 (m)		0.1 - 0.2	
粒子数		約53000	
ばね定数 (N/m)	粒子間	Kn	1 × 10 ⁸
		Ks	5 × 10 ⁷
	壁-粒子間	Kn	1 × 10 ⁸
		Ks	5 × 10 ⁷
粒子間摩擦係数		0.5	
粒子密度 (kg/m ³)		2000	

3.2 解析結果

結果の一例として後進坑の掘削パターンを素掘りとしたときの粒子分布、接触力分布および変位分布を図2に示す。後進坑は無支保のため崩壊しているが、先進坑のボルトの有無によりその度合いは大きく異なっている。接触力分布を見ると先進坑の支保パターンが覆工のみの場合には、トンネル間の上部を見ると明らかなように、1.5Dの場合には、2つのゆるみ領域が重なって1つの大きなゆるみ領域となっているのに対し、2Dの場合は、それぞれ個別のゆるみ領域を形成していることがわかる。しかし、個別に形成しているものの、互いに影響し合っている。一方、先進坑の支保にボルトが加わった場

キーワード：未固結地山，併設トンネル，個別要素法，ゆるみ領域

連絡先：〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1 山口大学理工学研究科社会建設工学専攻

TEL 0836(85)9334 e-mail: hoshino@rock.civil.yamaguchi-u.ac.jp

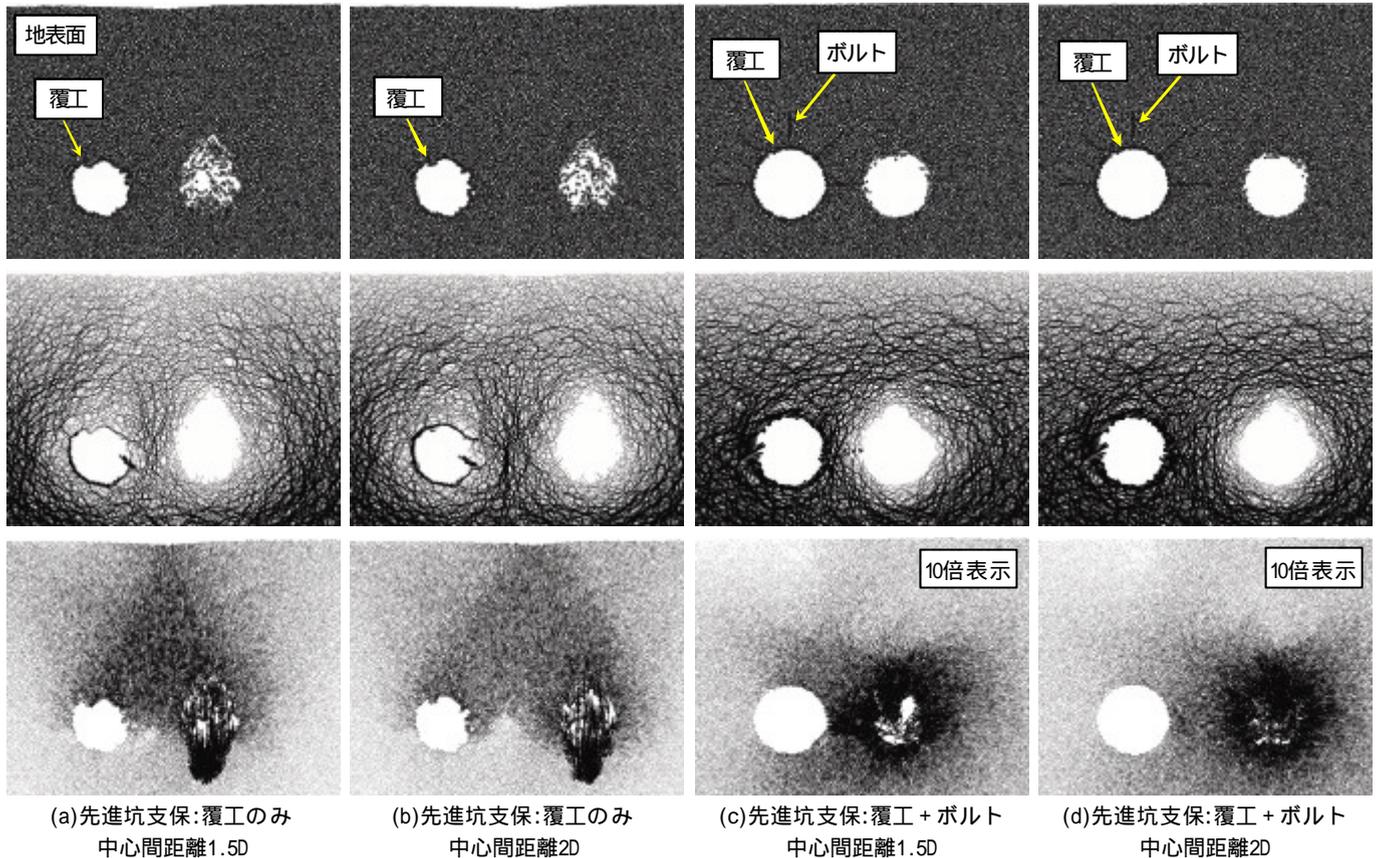


図2 後進坑掘削後(素掘り)の粒子分布(上図) 接触力分布(中図) および変位分布(下図) - 50000cycle後

合では、先進坑側がボルトにより粒子の動きが拘束され、左壁部のゆるみ領域発生を抑えている。また、(a)、(c)を比較すると、後進坑掘削前におけるゆるみ領域の有無によって、後進坑掘削後の全体的な接触力の分布に差が生じることが分かる。ゆるみ領域の存在していた覆工のみの場合では、ゆるみ領域がさらに拡大するが、粒子の動きが拘束されるにボルトを加えた場合では、ゆるみ領域の拡大が抑えられ、崩壊の度合いも抑えられている。

変位分布を見ると、先進坑支保パターンが覆工のみの場合、つまり後進坑掘削前にトンネル周辺にゆるみ領域がある場合は、両トンネルに向かって変位している。また、地表面沈下も確認できる。一方、先進坑の支保にボルトが加わった場合は、後進坑掘削前にはゆるみ領域はなく、地山は比較的安定していた。この場合では、全体的に後進坑に向かって変位し、先進坑が後進坑に引っ張られるような変位となっている。このように、後進坑掘削前の地山状態により、変位パターンは変化し、これによりトンネルおよび周辺地山の破壊モードが変わってることがわかる。これらの結果は、後進坑の掘削パターンを覆工のみや覆工+ボルトとした場合でも同様な傾向が見られた。しかし、後進坑に支保が加わるということは、より地山が安定化するため、ゆるみ領域の広がりや変位は抑制された。また、各ケースの応力経路を調べることにより、変位抑制のメカニズムが説明される¹⁾⁻³⁾。

4. 結論

本研究では、併設トンネルを対象に粒状体解析を用いて数値シミュレーションを行い、特にゆるみ領域発生のメカニズムについての考察を行った。既設トンネルから非常に近接した位置での応力解放により、ゆるみの存在する地山ではゆるみ領域はさらに拡大し、既設トンネルへの変位も生じるが、比較的安定した地山では全体的に新規掘削の方向に引っ張られるような挙動が確認できた。これらの結果は実際の挙動と対応付けされ、今後は、実挙動のメカニズムの解明に展開することが課題である。

参考文献

- 1) 澤江宏徳:未固結地山トンネル周辺のゆるみ領域発生のメカニズムに関する考察 山口大学大学院理工学研究科修士論文 2003.3.
- 2) 澤江宏徳 安部達也 清水則一:砂質地山におけるトンネルの支保効果のメカニズムに関する考察 土木学会第57回年次学術講演会概要集(CD-ROM), -259 pp.517-518, 2002.9.
- 3) 清水則一 澤江宏徳 重田佳幸 安部達也:砂質地山トンネルの力学的挙動と支保効果のメカニズムについて 第12回トンネル工学研究論文・報告集第12巻 pp.153-158, 2002.11.
- 4) Cundall, P. A. and Strack, O. D. L.: A discrete numerical model for granular assemblies, Geotechnique, 29(1), pp47-65, 1979.
- 5) Itasca: PFC2D ver.2.0 User's Guide, Itasca, 1999.