

無導坑超近接トンネルの掘削時挙動

神戸大学大学院 学生会員 ○田中 佑弥
首都大学東京大学院 正会員 土門 剛
首都大学東京大学院 正会員 西村 和夫

1. はじめに

近年，都市部のトンネルでは，用地取得の難しさなどから双設トンネルの離隔距離を小さくした超近接トンネルの施工が多くみられる．その中でも，図1に示す超近接トンネルの構造形式のうち，無導坑方式による超近接トンネルの施工が増えている．しかし，無導坑超近接トンネルの施工ではトンネル相互の力学的影響を十分に考慮する必要があり，たとえば先行および後行トンネルの作用土圧を把握しておくことが重要である．以上の背景をふまえ，本研究では，無導坑超近接トンネル掘削時におけるトンネル相互の作用土圧を把握する目的で簡易な模型実験を実施した．その後，数値解析により模型実験の評価を実施した．

2. 二次元模型実験

二次元模型実験では図2に示すように幅1200mm，高さ780mm，奥行125mmの金属製実験槽に奥行120mm，直径D=150mmのジュラルミン製トンネル模型（3/4円）を設置した．トンネル掘削は，既往研究¹⁾を参考にトンネル模型外周部に設置した10枚もしくは6枚のテフロンシートを1枚ずつ引き抜くことにより内空変位（合計3.0mm or 0.3mm）を発生させる方法で模擬した．模擬地盤は，φ=1.6mmおよび3.0mmを重量比3：2で混合したアルミ棒積層体とした．実験手順は，先行掘削時に先行トンネル（No.1）設置のテフロンシートのみを引き抜き，後行掘削時に後行トンネル（No.2）設置のテフロンシートのみを引き抜くことで掘削ステップの再現を行った．実験ケースは，離隔距離を主なパラメータとして，表1に示す全8ケースを実施した．土被りは，都市部の小土被りを想定して1Dのみとし，各ケースで天端部（0°），左右45°および90°方向の全5箇所の作用土圧をトンネル模型に埋め込まれた土圧計により計測した．

3. 数値解析

再現解析は個別要素法（DEM）を用いて実施した．模型実験を行った全8ケース中，一部のケース（内空変位：3mm，離隔距離：0.2D，0.3D，0.5D）について実験と同寸法で行い，実験同様の掘削ステップごとで作用土圧を計測した．解析モデルでは，トンネル模型を円形ではなく線要素を組み合わせる正16角形とし，実際の模型とほぼ同寸法となるように設定している．地山円要素径は，解析の都合上，実験の2倍（φ=3.2mmおよび6.0mm，重量比3：2）として解析を実施した．今回の解析の入力物性値については表2に示す．

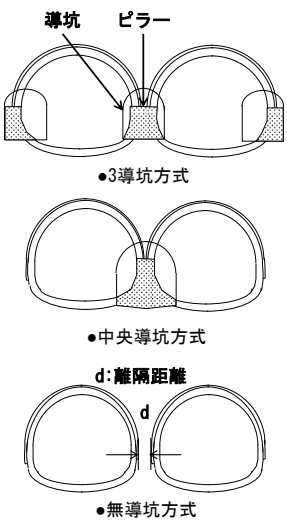


図1 超近接トンネル構造形式

表1 実験ケース

土被り(mm)	テフロンシート厚(mm)	離隔距離(mm)
1D (150)	0.3 (内空変位: 3.0mm) 使用枚数: 10枚	0.1D (15)
		0.2D (30)
		0.3D (45)
	0.05 (内空変位: 0.3mm) 使用枚数: 6枚	0.5D (75)
		0.1D (15)
		0.2D (30)
		0.3D (45)
		0.5D (75)

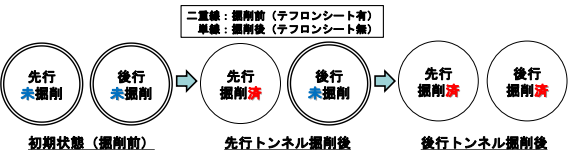
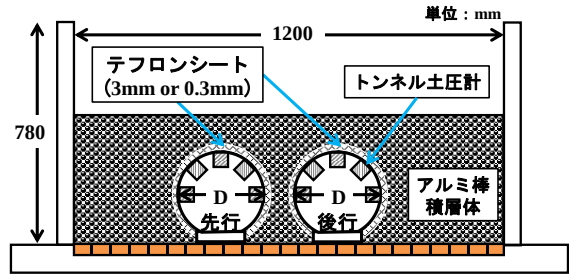


図2 模型実験概略図

表2 解析入力物性値

仮想縦弾性係数(N/mm ²)	1000	仮想せん断弾性係数比	0.25
反発係数	0	要素間粘着力(N/mm ²)	0
要素間摩擦角(°)	12	単位体積重量(N/mm ³)	2.14×10 ⁻⁵
許容引張応力(N/mm ²)	0	径(mm)	3.2, 6.0

キーワード 無導坑超近接トンネル，掘削時挙動，模型実験，DEM 解析

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域

4. 結果

模型実験から得られた掘削ステップごとの作用土圧の変化を図3および図4に示す。これより、先行トンネルでは、先行トンネル自身の掘削（トンネル周辺でのグラウンドアーチの形成による作用荷重の受け持ち）に伴い作用土圧が減少するが、後行トンネル掘削によりその影響（後行トンネル掘削による地山上部荷重の応力再分配）を受けることで、全掘削終了後の作用土圧が初期作用土圧より増加する。一方、後行トンネルでは、先行トンネル掘削の影響を受けて作用土圧が増加するが、最終的には自身の掘削によりその作用土圧は初期作用土圧より減少する。この傾向については、特に、相互のトンネル近接部（先行：天端部および右45°，後行：天端部および左45°）で顕著にみられた。また、多少のばらつきはあるが、今回実験を実施したいずれのケースでも同様の傾向が確認できた。しかし、離隔距離の大小による作用土圧の大きな差異は確認できず、離隔距離と作用土圧との関係性は明確には把握できていない。表3に内空変位3mmの場合の先行および後行掘削終了後の作用土圧の変化について初期作用土圧との比（作用土圧比）で示す。先行トンネルでは、全掘削終了後に作用土圧が最大1.38倍となり、後行トンネルでは最大0.38倍に減少した。これより、無導坑超近接トンネルでは、後行トンネル掘削終了後に先行トンネルに著しい作用土圧の増加が生じることが確認できる。

数値解析については、内空変位3mmの場合で図5に示すような結果となり、相互のトンネル近接部における先行トンネル作用土圧は、実験値と同様に解析値においても後行トンネル掘削開始と同時に作用土圧が増加する挙動を概ね再現することができた。しかし、離隔距離0.3D（45mm）の後行内空変位2.1mm（図中、5.1mm）部分のように一部で実験値と解析値の乖離がある場合があった。この原因としては、本解析で用いた解析モデルが簡易的なモデルであったことやDEM解析実施時に行うパッキングのばらつきによる影響などが考えられる。

5. おわりに

本研究では、無導坑超近接トンネルにおける先行および後行トンネル作用土圧についての相互のトンネル近接部での特徴的な変化などの基礎的な把握をすることができた。今後は、模型実験の再検証や改善、数値解析使用モデルの再検討などを実施する予定である。最終的には、離隔距離などの主要なパラメータとトンネル作用土圧との関係を明確にし、本研究のような容易な方法での無導坑超近接トンネルの評価を検討していく。

【参考文献】

- 1) 田嶋仁志, 石田高啓, 斉藤正幸, 小林靖典, 中西康博, 市川晃央, 西村和夫: 砂質地盤における超近接併設シールドトンネルの掘削に伴う地盤の緩み現象のメカニズム, 土木学会論文集 C, Vol.62 No.2, pp.529-545, 2006

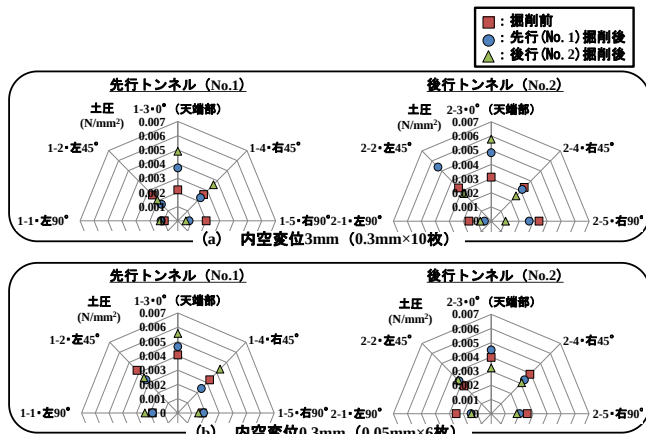


図3 作用土圧の変化(離隔 0.3D (45mm))

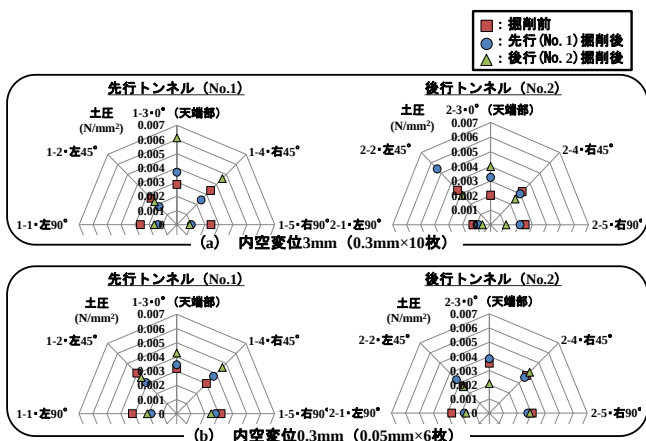


図4 作用土圧の変化(離隔 0.5D (75mm))

表3 近接部45°の作用土圧比(内空変位3mm)

離隔距離 (mm)	先行トンネル(No.1)		後行トンネル(No.2)	
	先行掘削後 右45°	後行掘削後 右45°	先行掘削後 左45°	後行掘削後 左45°
0.1D(15)	0.72	0.97	1.69	0.38
0.2D(30)	1.00	1.10	1.51	0.70
0.3D(45)	0.88	1.38	1.63	0.83
0.5D(75)	0.72	1.35	1.62	0.86

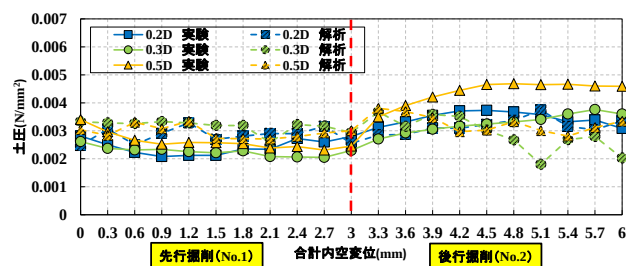


図5 先行トンネル右45°に作用する土圧の推移