

1. はじめに

一般的に、地震動がトンネル構造物に及ぼす影響は少ないといわれている。橋梁等の地上構造物は、地震動による慣性力によって振動し、多くは構造物自身の共振が支配的となり大きな揺れを引き起こすが、トンネル構造物に働く慣性力は周辺地盤のそれよりも小さく、地盤の変位及び変形に追従して振動するためトンネル自体の共振が支配的となることはない。したがってある程度地中の深い場所に建設されたシールドトンネルは、地震時において周辺地盤の変形が少なく、断面が円形であり変形に強いことから大被害をうけることはほとんどないと考えられている。実際に土木学会がまとめた阪神・淡路大震災調査報告¹⁾によると、シールドトンネルにおいては二次覆工コンクリートにひび割れが生じる程度であったという。しかし、地中接合部のように構造の急変する箇所や、地盤条件が急変し、断面力が発生して地盤変位が一樣とならない箇所においては、設計の段階で十分な検討が必要であると考えられる。そこで本研究では、従来用いていた2次元模型試験機²⁾をモデル地盤に繰返しせん断を与えられるように改良し、地震時におけるトンネルの基本的な力学挙動を解明することを試みた。本稿ではこの試験機を用いて地震時に単設トンネルに作用する土圧の変化を実験的に検証することを目的としている。

2. 実験の手順・パターン

図1に2次元模型試験機全体の概要を示す。モデル地盤の幅1200mm、トンネル模型の直径100mm、模型地盤としては現場の約1/100のスケールを想定し、平面ひずみ状態を仮定している。地盤材料には直径1.6mmと3.0mmのアルミ棒を重量比3:2で混合した積層体を用いた。トンネル模型は半径方向に滑らかに収縮できる機構になっており、トンネル掘削を模擬している。またこのトンネル模型の周面は12個のブロックに分けられ、各ブロックには周面方向にロードセルを設置しており、トンネルに作用する周面土圧を計測できる。続いてモデル地盤にせん断を与える機構について説明する。従来この試験機のフレームの両端は完全に固定し、水平方向の変位を許していなかったが、下端部を回転軸として左右に可動できる構造とした。また左右両端のアルミ板は上端を連結されており、試験機脇に取り付けられたハンドルを操作することによって任意の方向に一樣なせん断変形を与えることができる。そのときのモデル地盤の変形モードは図1に示す破線ようになる。この一連の改良により、モデル地盤には任意の方向及び任意の量のせん断を与えることが可能になった。モデル地盤に与えるせん断ひずみ量は、所定の位置に取りつけたダイヤルゲージでアルミ板の水平変位を計測し、計測した値からモデル地盤の平均的なせん断ひずみ量に換算できる。このせん断ひずみ量は γ で表記し、トンネル掘削完了後の初期状態及び各サイクルのせん断開始時を $\gamma=0\%$ 、右に最大せん断を与えた場合を $\gamma=5\%$ 、左に最大せん断を与えた場合を $\gamma=-5\%$ として実験結果をまとめた。実験手順は、まずトンネル模型を収縮させて地盤の掘削を模擬し、その後所定のせん断ひずみ量を与えた時点でトンネルに作用する土圧の計測を行う。

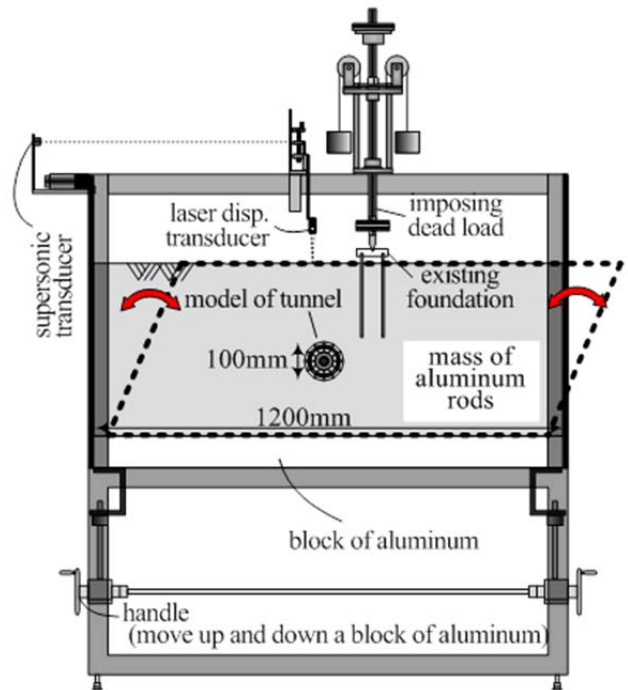


図1 2次元モデル試験機概要図

なおトンネルの収縮量は d_r と定義し、 $d_r=4.0\text{mm}$ で掘削完了とした。本稿に記載する結果は土被り $D = 2.0B$ (B :トンネル直径) の結果であり、繰返しせん断によるトンネル土圧の変化及びサイクルごとの比較検討を行う。着目点は、トンネル周面に作用する土圧と、その増減の履歴を追った土圧履歴である。

3. 実験結果

トンネルの周面土圧分布を図2に、土圧履歴を図3に示す。図2の1サイクルの結果より、トンネル掘削に伴い作用土圧は掘削前(破線)から大きく減少し、一定値に収束($\circ$ プロット)していることがわかる。せん断を与えると、 $\gamma=5\%$ ではトンネルの右肩部及びその反対側の土圧が大きく上昇する。さらに $\gamma=-5\%$ のとき、右肩部及びその反対側の土圧は減少するが、左肩部及びその反対側の土圧が上昇する。他サイクルの結果を見ると、1サイクルの場合と同様増減を顕著に繰り返す箇所が発生することが分かり、その箇所も一致していることがわかる。図3は右下のトンネルの概要図に示すようにトンネル周面土圧を6つの領域に分け各領域での、土圧の増減の履歴をしめしている。これは掘削前の土圧から4サイクル完了後までを、概要図に示すプロットごとにまとめたものになっている。どのプロット箇所においても作用土圧は増減を繰り返しており、サイクルを追うごとに作用土圧は増加していることが読み取ることができる。これは周面土圧分布からもわかる。なお、ここでは定せん断ひずみ振幅で繰返し载荷を行っているため载荷回数の増加に伴い土

圧の上昇がみられるが、これは地盤材料の力学特性として剛性が増加することによる。定せん断応力振幅での繰返し载荷ではこのような増加はみられないと考えており、今後検討する予定である。

4. まとめ

地盤に繰返し等せん断ひずみを与えると、トンネルに作用する土圧は、せん断を与える方向によって顕著に増減を繰り返す。これは载荷方向の変化に伴い、アーチ効果が発達する方向が変化することによる。したがって設計の際にはこの点に留意する必要がある。なお今後、等せん断応力での繰返し载荷実験と対応する数値解析を実施することにより、本実験でみられた全体的な土圧の増加の原因についても明らかにする予定である。

参考文献) 1. 土木学会 阪神・淡路大震災調査報告 2. 菊本統, 中井照夫, ホサインシャヒン, 石井健嗣, 岩田敏和: 実際の内空変位と周面土圧分布を考慮した単設トンネル掘削モデル実験とその解析, 土木学会論文集F1 (トンネル工学) 特集号, 57-65, 2011.

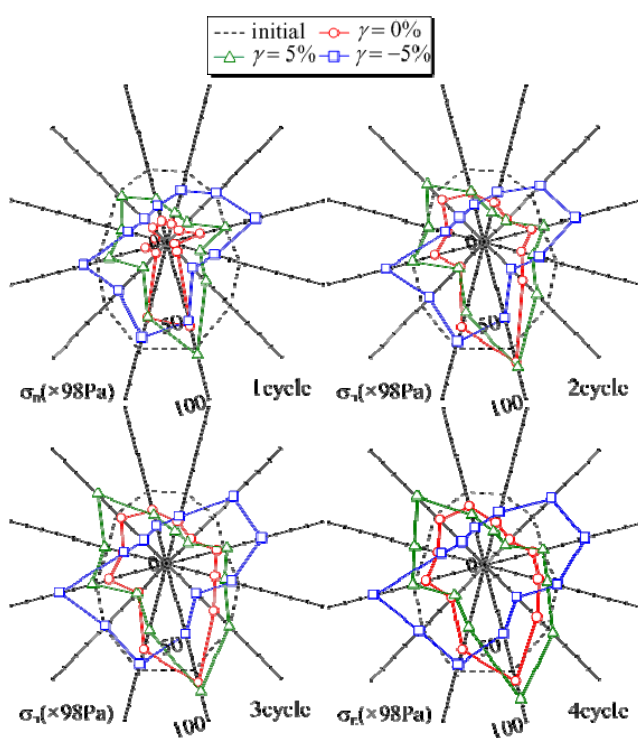


図3 各サイクルの周面土圧

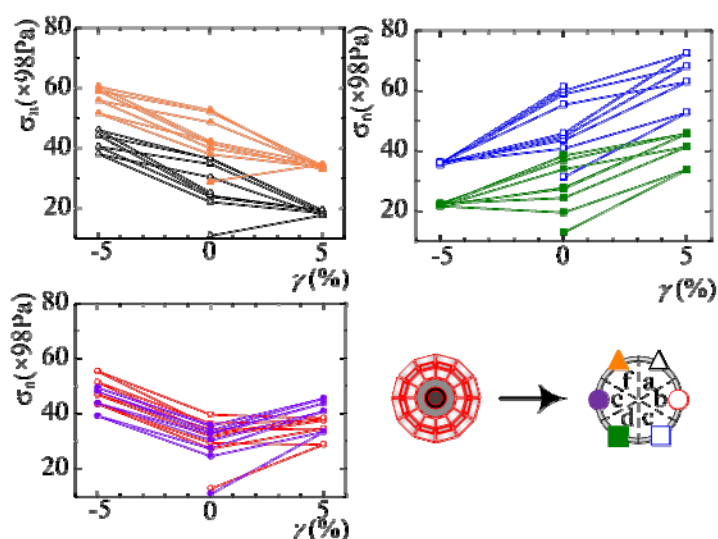


図3 土圧履歴