

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	弱固結力を有する砂質地盤中のトンネル地震時挙動に及ぼす地盤の緩みの影響
Title	
著者(和文)	柴山周平, 井澤淳, 竹村次朗, 日下部治
Authors	Shuhei Shibayama, Jun Izawa, JIRO TAKEMURA, OSAMU KUSAKABE
出典 / Citation	第43回地盤工学研究発表会論文集, Vol. , No. , pp. 1473-1474
Citation(English)	, Vol. , No. , pp. 1473-1474
発行日 / Pub. date	2008, 7

# 弱固結力を有する砂質地盤中のトンネル地震時挙動に及ぼす地盤の緩みの影響

トンネル セメント 繰返しせん断

東京工業大学 学生会員 柴山 周平  
 国際会員 井澤 淳  
 国際会員 竹村 次朗  
 国際会員 日下部 治

## 1. はじめに

トンネルは周辺地山からの拘束により地震に強いといわれている。しかし、地盤条件や設置深さによっては被害を受ける可能性がある<sup>1)</sup>。近年、都市部の比較的軟弱な地盤においても地盤の緩みに伴うアーチ効果を期待し山岳工法が利用されている。都市部では、土被りが小さいまたは軟弱地盤であることが多く耐震性を考慮しなければならない事例も多い。しかし、地盤の相互作用としてのトンネルの地震時挙動は複雑で未だ理論的に解明されていない。本論文は、弱固結力を有する砂質地盤を模擬したセメント改良地盤中の 2 次元横断面トンネルの初期状態及び地震時挙動について、地盤の緩みの有無の影響について応答変位法を模擬した遠心場静的せん断実験により検討した。



図 1 遠心場静的せん断装置

## 2. 実験概要

トンネルの耐震設計は応答変位法による検討が一般的であり、その適用の妥当性が実験的に確認されている<sup>2)</sup>。本研究では応答変位法を模擬した遠心場静的せん断装置<sup>3)</sup>(図 1)を用いてトンネル地震時挙動の検討を行った。実験モデルの構成を図 2 に示す。今回使用した遠心場静的せん断装置は 24mm×21 段のせん断フレーム(最下段固定)と 4 本の水平方向アクチュエータから構成されている。50G の遠心応力場でアクチュエータにより板バネを介して模型地盤に強制水平変位を与えることで地震時に発生するせん断変形を再現する。トンネルは覆工のみモデル化し、馬蹄形の山岳トンネル(原型スケール: SL 間幅 5m、高さ 3.75m、RC30cm 覆工)を想定し厚さ 2mm のアルミ製の覆工模型を用いた(図 3)。

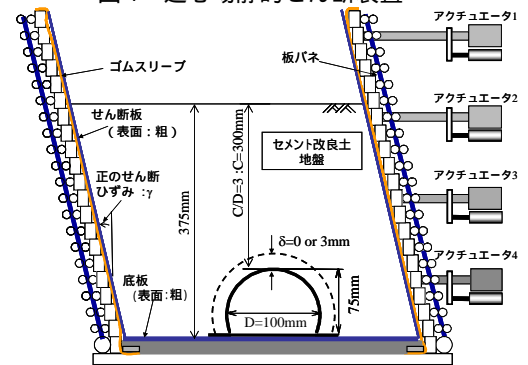


図 2 実験モデル構成

覆工端部はせん断フレーム底部に固定された V 字切欠きに設置される。模型表面は滑で、覆工模型には断面力を測定するために 11 箇所に裏表ペアのひずみゲージを設置した。測定位置を図 4 に示す。本実験では、弱固結力を有する砂質地盤を模しセメント改良土を用いてトンネル地盤模型を作成した。表 1 に地盤材料の物性値をまとめる。地盤緩みは、トンネル周辺地盤を遠心応力場で許容量 $\delta$ だけ変位させることで表現する(図 2)。地盤の緩みの有無の影響を調べるためにトンネル直径  $D$  との比で、緩み有 ( $\delta/D=3\%$ )、緩み無 ( $\delta/D=0\%$ ) の 2 ケース実験を行った。土被り  $C$  はトンネル直径  $D$  との比で  $3D$  ( $C=300\text{mm}$ ) とし、50G 遠心場で入力水平変位を線形にせん断ひずみでそれぞれ 1%、2%、4% と、各 2 周期ずつ 0.01Hz の正弦波で連続的に載荷した。



図 3 覆工模型

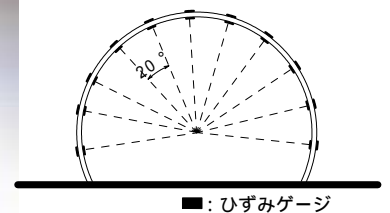


図 4 ひずみゲージ測定位置

表 1 セメント改良土物性

一軸強度: $q_u$ (kPa)	50~60
弾性係数: $E_{50}$ (kPa)	2000~5000
含水比: $w$ (%)	30
単位体積重量: $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18

## 3. 実験結果と考察

図 5 に、各ケースのトンネルクラウン、右肩部、右スプリングラインにおける曲げモーメントの時系列データを示す。図中の実線の系列は緩み有、破線は緩み無のケース、点線は入力せん断ひずみをそれぞれ示す。データはそれぞれ相似則を考慮して原型スケールで表し、曲げモーメントはトンネル内側引張が正となっている。図より曲げモーメントのせん断変動はトンネルクラウン、スプリングラインに比べ肩部が大きくなっている。トンネルクラウン、スプリングライ

ンにおいて、緩み有のケースでは曲げモーメントの初期値はゼロに近い値を示し、また、せん断を受けるに従って緩み無のケースに漸近していく挙動を示す。図 6 に、 $\gamma=1\%$ のせん断前後の、図 7 に $\gamma=4\%$ のせん断前後の各ケース曲げモーメントと分布を示す。ここで言うせん断“前”“後”とは、それぞれ図 5 における 15sec、215sec に対応する。図 6(a)に示す緩み無のケースにおいてせん断前後で曲げモーメント分布はほとんど変化しないのに対して、図 6(b)に示す緩み有のケースではせん断前にゼロに近い分布を示し、せん断後にはトンネル上部では増加、側壁部では減少し緩み無のケースに類似の分布になる。おそらくこれは地盤のアーチ効果によって説明される。緩みによってトンネル上部の地盤中にグランドアーチが形成され、地盤が支保機能を発揮し覆工曲げモーメントを軽減し、そして、そのグランドアーチはせん断を受けることで消散する。乾燥砂地盤中のトンネルにおいても同様の挙動が実験的に観察されている<sup>3)</sup>。一方、図 7 においては、曲げモーメント分布は両ケースともせん断前後で変化せず、ほとんど同様な分布である。これは、緩み有のケースの地盤は、すでに 1%、2%のせん断サイクルを受けグランドアーチがせん断によって解消されていたためと考えられる。せん断を受けグランドアーチが解消された後では、せん断前後で曲げモーメントと分布が変化しないことからせん断サイクル中に弾力的な挙動をすることが示唆される。図 8(a), (b)に $\gamma=1\%$ , 4%せん断における各ケースせん断ひずみ最大時の曲げモーメントの分布をそれぞれ示す、これは図 5 における 40sec に対応する。図 8 および図 5(b)からせん断時の覆工曲げモーメントは肩部で卓越していることがわかる、同様の傾向が乾燥砂地盤中のトンネルでも見られる<sup>2)3)</sup>。図 8(a)において、緩み有、無のケースで曲げモーメント分布の左半分はほとんど同じ値をとるのに対し、右半分は分布が異なる。これから、右半分ではアーチ効果がまだ残っていることが考えられ、図 8(b)では両ケースほぼ同様の曲げモーメント分布を示す。これは図 7 同様 1%、2%せん断によってアーチ効果が消散されていることを示唆している。

#### 4. まとめ

以下に本研究で得られた知見をまとめる。

- 本研究のモデルにおいて地盤の緩みは、トンネル覆工曲げモーメントを軽減する。これは、グランドアーチを形成によるものと考えられる。
- グランドアーチは地震を模擬したせん断変形を受けることで消散し、せん断履歴を受けた後は覆工曲げモーメントは緩みの有無にほとんど影響を受けない。

#### 参考文献

- 1) 例えば、朝倉俊弘ら：山岳トンネルの地震被害とそのメカニズム、第 10 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、pp.497-502、1998
- 2) Izawa, J., et al. : Centrifuge modelling on seismic behaviour of rectangular tunnels, Physical Modelling in Geotechnics 6<sup>th</sup> ICPMG, pp.1163-1169 2006
- 3) Takemura, J., et al. : Active type shear box and its application on a stability of shallow tunnel in a centrifuge, 3<sup>rd</sup> International Conference on Urban Earthquake Engineering, pp.639-646 2006

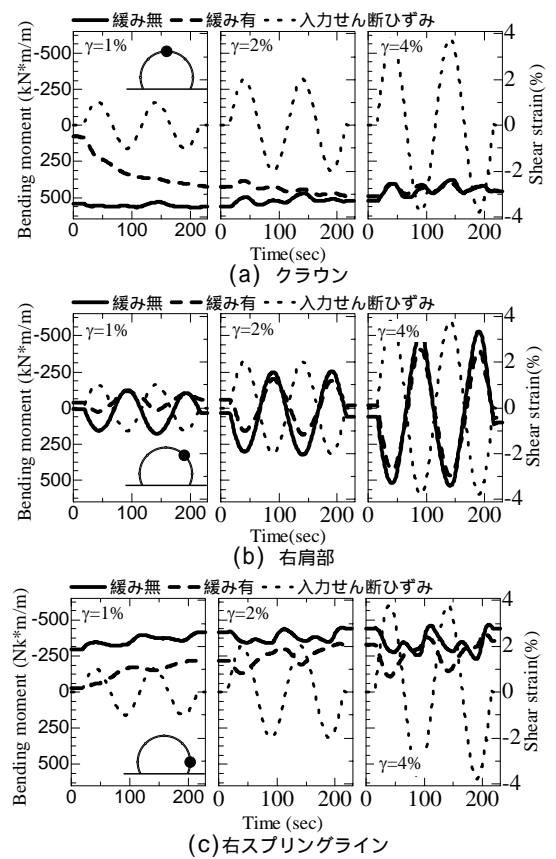


図 5 測定曲げモーメント

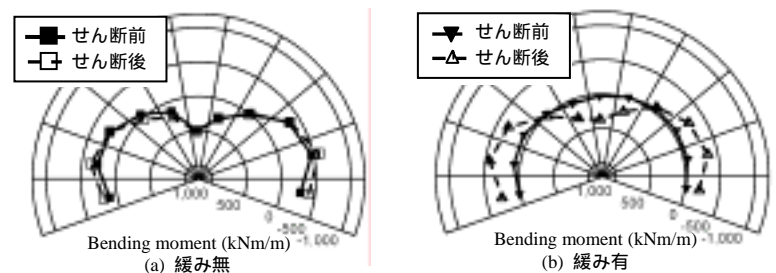


図 6  $\gamma=1\%$ せん断前後曲げモーメント分布

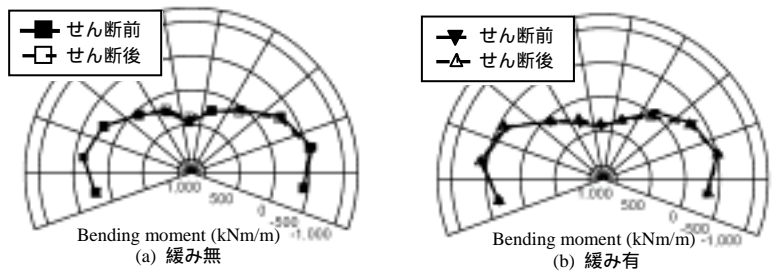


図 7  $\gamma=4\%$ せん断前後曲げモーメント分布

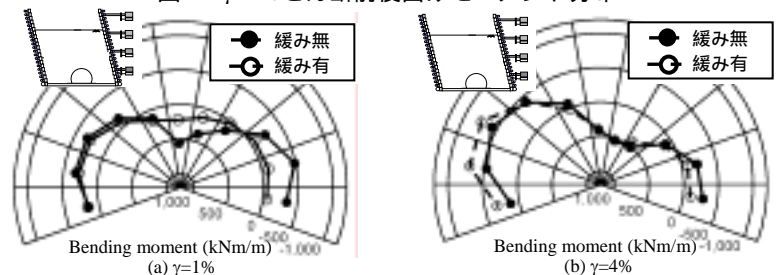


図 8 せん断ひずみ最大時曲げモーメント分布