T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ Science Tokyo Research Repository

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)	
Authors	Shuhei Shibayama, Jun Izawa, JIRO TAKEMURA, OSAMU KUSAKABE
出典 / Citation	
Citation(English)	, Vol. , No. , pp. 1473-1474
発行日 / Pub. date	2008, 7

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	3 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¹⁾。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。

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²⁾。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³⁾(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)。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δ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(δ/D=3%)、緩み無(δ/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=300mm)と し、50 G 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。

せん断フレーム アクチュエータ



図2 実験モデル構成



====================================	30:000
弾性係数: E50 (kPa)	2000~5000
含水比:w(%)	30
単位体積重量:γ(kN/m3)	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、y=1%のせん断前後の、図 7 にy=4%のせん断前後の各 ケース曲げモーメンと分布を示す。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³⁾。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と分布が変化しないことからせん断サイクル中 に弾性的な挙動をすることが示唆される。図 8(a),(b)にγ=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²⁾³⁾。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^{th} 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, 3rd International Conference on Urban Earthquake Engineering, pp.639-646 2006





- Bending moment (kNm/m) (a) γ=1% Bending moment (kNm/m) (b) γ=4%
 - 図8 せん断ひずみ最大時曲げモーメント分布