

地震時の開削トンネルと周辺地盤の相互作用に関する アルミ棒積層試験体による小型せん断土槽実験

中央大学

学生会員 ○西野風雅 学生会員 松田敏輝 国際会員 西岡英俊

(株) HRC 研究所

正会員 島田貴文

1. はじめに

開削トンネルは、周囲を地盤で囲まれていることから、設計において構造物と地盤の関係性を適切に評価する必要がある。開削トンネルの地震における相互作用・地震時挙動に関する研究では、これまで種々の解析手法が提案され、トンネル自体に働く応力や変形、地盤内における地震時作用が検討されている。

開削トンネルの地震時挙動については、「地中構造物の剛性」と「周辺地盤の剛性」の剛性比が主要なパラメータになると考えられ、例えば立石・岡¹⁾は函体単独での単純せん断変形量から全体的なせん断弾性係数 G_s を求め、地盤のせん断弾性係数 G_g との比に着目して、解析的な検討を行っている。しかしながら、実験的な検討では、模型の剛性を自由に設定することが難しいことなどもあり、このようなせん断剛性比に着目した実験的な検討事例は少ないのが現状である。

そこで本研究では、周辺地盤がせん断変形を生じた際の函体のせん断変形挙動について、特に両者の剛性比に着目した小型模型実験を実施した。具体的には、壁面摩擦がなく地盤変位の可視化が容易という利点を有するアルミ棒積層体を用い、小型せん断土槽により地震時の地盤変位を模擬した単純せん断変形を生じさせて、画像解析により函体のせん断変形挙動を計測した。

2. 実験概要

(1) 模型地盤

模型地盤は、長さ 150mm、直径 1.5mm、2mm、3mm の 3 種類のアルミ棒を重量比 1 : 1 : 1 で混合して積み上げたものである。本実験では、深さ 20mm を 1 層としてまきだした後に、小型パイプレーターにて、単位体積重量 21.7kN/m^3 となるように締め固めた。

(2) 実験装置

今回の試験に用いた実験装置を図-1 に示す。せん断土



図-1 実験装置の外観

槽は、内面間距離 200mm の左右の側壁（アルミフレーム製）の上端・下端にピンヒンジを有し、単純せん断変形が可能となっている。この土槽に高さ 200mm まで模型地盤（アルミ棒積層体）を構築した。この模型地盤の上に上蓋を設置して上載圧を作用させ、土槽自体をジャッキで水平方向に載荷して、模型地盤に単純せん断変形を生じさせた。上載圧は深さ 200mm に相当する土被り圧（ 2.89kN/m^2 ）とした。なお、土槽の内面および上蓋の下面はアルミフレームとアルミ棒が直接接する状態となっている。

(3) 函体模型

函体模型は、幅 40mm、高さ 40mm とし、低弾性ゴムおよびウレタンの 2 種類を使用した。具体的には、奥行き 30mm のブロックを奥行き方向に 3 つ並べて埋設しており、函体全体としてのせん断剛性 G_s は、低弾性ゴムが $G_s = 1.3 \times 10^3 \text{kN/m}^2$ が $G_s = 13.2 \times 10^3 \text{kN/m}^2$ である。

3. 実験結果

(1) 模型地盤のせん断弾性係数 G_g の計測

模型地盤のせん断弾性係数 G_g を確認するため、函体模型を設置しない模型地盤単独の条件での載荷を実施した。なお、バラつきの影響を確認するため、3 回同一

キーワード：開削トンネル、せん断剛性比、小型せん断土槽、アルミ棒積層体、地震時挙動

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科 基礎・地下構造物研究室 TEL 03-3817-1804

の条件で実施した。実験で得られた地盤のせん断ひずみ γ_g とせん断応力 τ の関係を図-2 に示す。この τ については、ジャッキ荷重を上蓋の接触面積で除した値を用いている。また、この結果より求めた G_g と γ_g (割線勾配) の関係を図-3 に示す。

3 回ともほぼ同一の結果が得られており、模型地盤の再現精度としては十分であると判断した。図-3 の G_g - γ_g 関係を指数関数で近似し、この近似式から求めた $\gamma_g=0.001$ および 0.01 での G_g (3 回の平均値) を、各函体模型との剛性比 G_s/G_g とともに表-1 に示す。

表-1 模型地盤のせん断弾性係数と剛性比

	$\gamma_g=0.001$	$\gamma_g=0.01$
$G_g(\text{kN/m}^2)$ (3 回平均)	807	165
低弾性ゴム G_s/G_g	1.61	7.88
ウレタン G_s/G_g	16.4	80.0

(2) 函体模型と周辺地盤のひずみの関係

画像解析では、函体 (40mm 角) の隅角部とその周囲の約 $120\text{mm} \times 120\text{mm}$ の範囲の模型地盤隅角部の標点変位を求めた。なお、画像解析はディテクト社 DippMotion-V の相関追尾機能を用いた。

画像解析による変形追尾の状況 (図-4 低弾性ゴム b) を図-4 に示す。周辺地盤のせん断変形に伴い、函体がせん断変形を生じていることがわかる。各実験ケースの画像解析で得られた、函体 (40mm 角) の平均せん断ひずみ γ_s および周辺地盤 (約 120mm 角) の平均せん断ひずみ γ_g の関係を図-5 に示す。

G_s/G_g が 1 に近い低弾性ゴムでは、 γ_s は γ_g とほぼ同一となっており、地盤の変形に追随していることがわかる。一方、剛性比が大きいウレタンでは、地盤に比べて函体ひずみが小さくなっているものの、その比率は 1/2 程度となっており、剛性比 G_s/G_g の逆数に比べると非常に大きいことがわかる。

4. おわりに

本研究により、アルミ棒積層体を用いた模型地盤のせん断剛性の値を算出し、函体模型の剛性とせん断ひずみの関係を明らかにした。

今後、よりスケールの大きなせん断土槽を用い、土槽サイズによる影響を確かめるほか、剛性、形状など函体モデルのケースを増やし、剛性比の関係性を明らかにすることを旨とする。

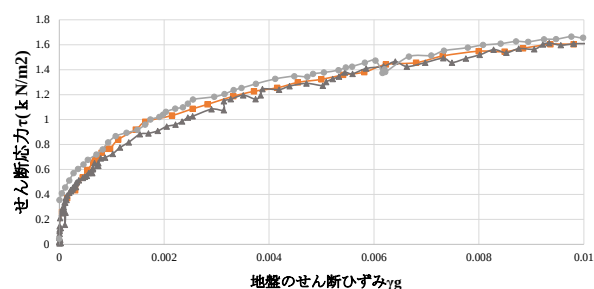


図-2 せん断応力 τ -地盤のせん断ひずみ γ_g 関係

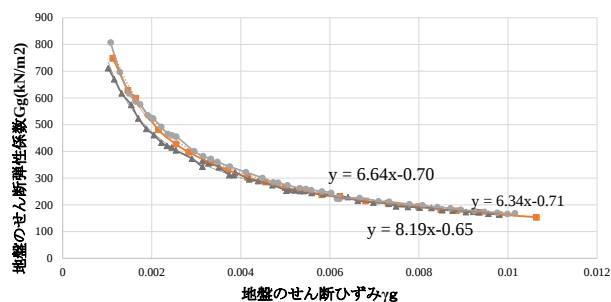


図-3 地盤のせん断剛性 G_g -せん断ひずみ γ_g 関係

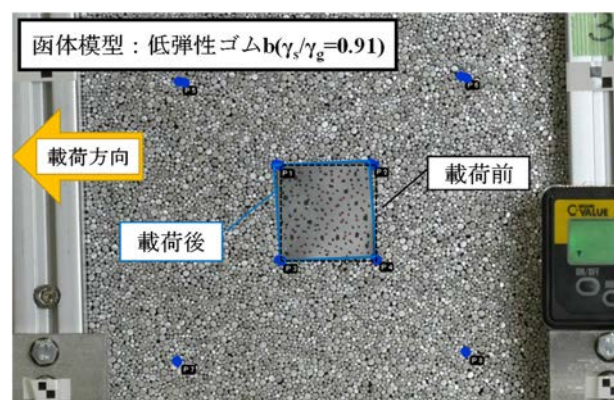


図-4 画像解析による函体隅角部標点追尾の様子

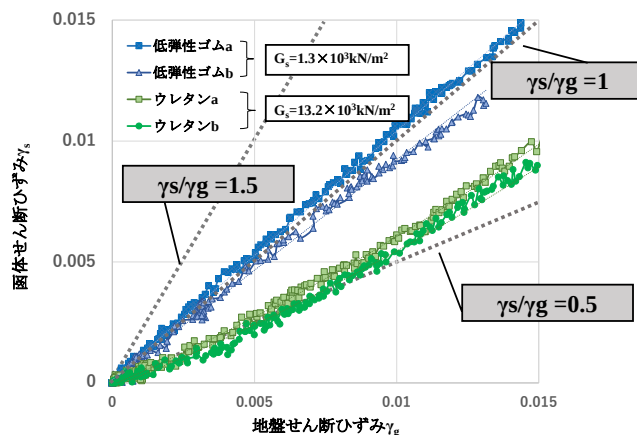


図-5 函体せん断ひずみ-地盤せん断ひずみの関係

参考文献

- 1) 立石章, 岡二三生: 地中構造物横断方向のレベル 2 地震動に対する静的耐震設計法の適用性, 土木学会論文集, No.752/I-66, pp170-192, 2004