

扁平矩形トンネルの耐震補強に関する遠心振動台実験

東日本電信電話㈱ ○重定浩之 東京工業大学大学院 井澤 淳 日下部治
鹿島技術研究所 山田岳峰 永谷英基 大保直人

1. はじめに

近年、地下構造物はシールドトンネル工法を代表とする施工技術の飛躍的な進歩により、大断面トンネル、異形断面トンネル等の特殊断面を有するトンネルが施工されている。これら特殊断面をもつ構造物は、地震時の安定性に関して未解明な点が多い。そこで、本研究では、実地盤スケールを再現した遠心振動実験を行い、扁平矩形断面トンネルの地震時挙動および耐震補強効果について考察した。

2. 実験ケース

本研究では遠心加速度 50G で模型振動実験を行った。模型地盤は乾燥豊浦砂を使用し、空中落下法により相対密度 85% になるように作成した。また、実験容器には模型地盤にせん断変形を与えるようにせん断土槽を用いた。トンネル模型には厚さ 2.5mm のアルミニウムを用いた。トンネルの断面力を測定するため

に内外対ひずみゲージを、トンネルの変形を測定するために非接触式変位計を図 1 のように設置した。矩形トンネルは円形トンネルと比べ耐震性は低いと考えられ、何らかの対策が必要である。そこで補強工法として周辺地盤の剛性を上げる改良工法、周辺地盤からのせん断力の伝播を低減できる免震工法を取り上げ比較した。この際、

Case1 はトンネルのみの無対策の場合、Case2 はトンネルと地盤間に地盤よりやわらかい免震層がある場合、Case3 はトンネルの周りに地盤改良がある場合、Case4 はトンネルの周りに免震層を設置し、更にその周りに地盤改良がある場合の計 4 ケースについて実験を行った。地盤改良には圧縮強度 1MPa のモルタルを用い、免震層にはゴム板（厚さ 1mm）を用いた。入力地震動としては、波数 20 波、周波数 100Hz の正弦波を 5G、10G、15G、20G の目標加速度振幅で段階加振した。土槽内底面に設置した加速度計によって測定された入力加速度時刻歴を図 3 に示す。

3. 実験結果及び考察

(1) 常時安定性（遠心加速度 50G 安定）

非接触式変位計で計測したトンネル上下間の内空鉛直変位量を図 4 に示す。Case1 に対するそれぞれのケース

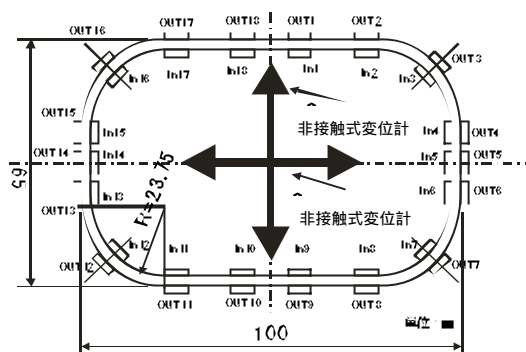


図 1 トンネル模型

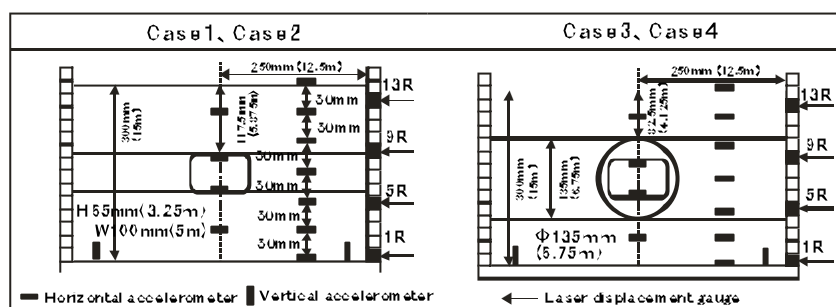


図 2 実験ケース及び計測機器配置

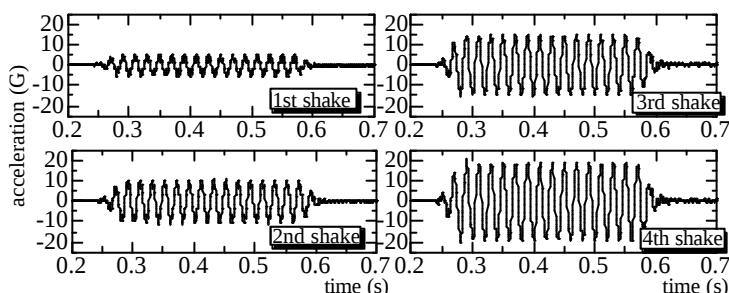


図 3 入力加速度時経歴

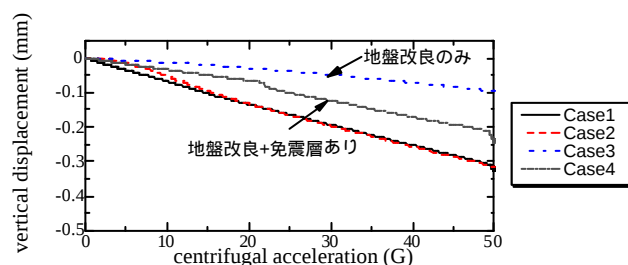


図 4 遠心加速度上昇に伴うトンネル内空鉛直変位量

キーワード 遠心模型実験、地盤改良、免震層、応答変位法

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻日下部研究室
TEL: 03-5734-2798

の減少量を求めると、Case2 では 0.9% 増、Case3 では 65.9% 減、Case4 では 22.6% 減となり、地盤改良を施す事でトンネルの鉛直変位量をかなり低減出来ている。次に静的応力の断面力分布図を図 5 に示す。図 5、6 の横軸は断面力の測定位置番号を示し、断面力測定位置番号は図 1 に示した番号を用いている。曲げモーメントの分布傾向に関しては、いずれのケースにおいても上下中心部、左右側壁中心部において卓越している。また軸力の分布傾向に関しては、いずれのケースにおいても左右側壁中心部において卓越している。免震層は初期断面力減少に効果はない結果となり、地盤改良は曲げモーメントを低減できるが、地盤改良のみの場合では軸力がかなり過大な値となる結果となった。

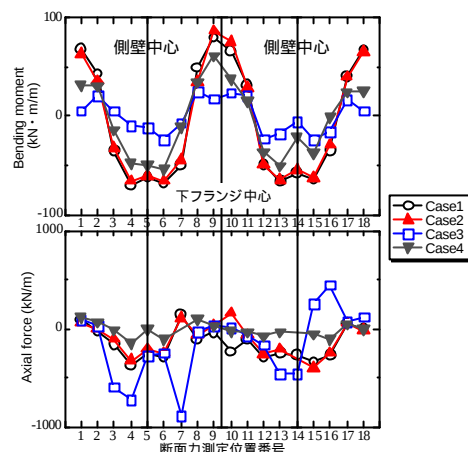


図 5 断面力分布(遠心加速度 50G 安定)

(2) 加振時の実験結果

各ケースの断面力の最大値と最小値の差を測定点ごとに取り、それを断面力の最大変動幅として比較を行う。免震層の効果を見るために Case1 と Case2、Case3 と Case4 で比較を行う。

() Case1 と Case2 の比較 どちらのケースも隅角近辺で曲げモーメント・軸力共に卓越が見られ、断面力分布形状は同じ傾向が出ている。免震層がある場合、隅角近辺の応力集中部で曲げモーメントを 8% 減、軸力集中部で 21% 減となり、曲げモーメントより、軸力の減少に効果があることが分かった。

() Case3 と Case4 の比較 Case4 では隅角近辺で断面力が卓越している。一方 Case3 の場合は隅角近辺だけでなく側壁部分でも断面力が卓越している。既往の研究¹⁾によると、円形トンネルの場合では側壁部でせん断力は最大値を取る事が判っている。そのため地盤改良の厚さの薄い側壁部では、せん断力がトンネルに伝わり断面力が集中したと考えられる。しかし、Case4 の場合では免震層があることで側壁部でのせん断力が伝わらず、その結果 Case3 と比べると軸力が低減され、Case1、2 と同様の結果を示す。

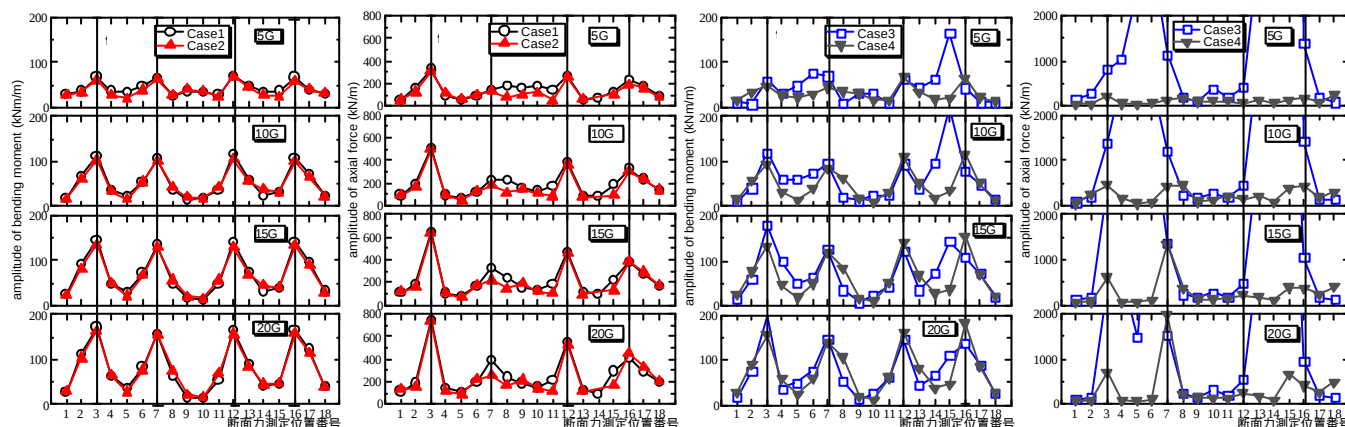


図 6 断面力の変動幅の分布図(加振時)

4. まとめ

1. 免震層はトンネル変形量を低減することはできないが、トンネル周りの周面せん断力を低減するので、断面力の減少には効果があり、特に軸力に関して効果を発揮している。
 2. 地盤改良はトンネルの見掛けの剛性が高くなるために地盤の変形を拘束し、地盤から過大な力を受け、特に地盤改良の厚さの薄い側壁部では、せん断力がトンネルに伝わり断面力が集中したと考えられる。
 3. 地盤改良と免震層の組み合わせは、地盤改良のみの場合と比べると側壁部分で断面力を低減する結果となった。
- また、常時においてもかなりの断面力減少効果があり有効な対策工法である事が分かった。

参考文献

- 1) 例えば、建設省土木研究所他：大規模構造物の耐震設計法ガイドライン（案）1992