

超精密機器付近のトンネル掘削に伴う工事振動の振動源特性

名古屋大学工学部社会環境工学科建築学コース
構造設計工学講座 飛田研究室 入山広阿貴

1. 序論

現在名古屋大学北側では、名古屋都市高速一号線の東山トンネルの建設工事が進められており、これに伴い発生する工事振動は学内の超精密機器の使用環境に影響を与えている。名古屋大学では環境モニタリングシステムの構築を行い、振動発生要因の分析と障害の防止対策を行っている。本研究では、工事状況の映像と振動を同時に収録できる新たな計測システムを開発し、これを利用して、工事振動の振動源特性を詳細に明らかにすることを目的とする。本トンネル工事の振動特性を詳細に明らかにすることによって、他の場所で同様の工事が行われた際の工事振動の予測に有用であると考えられる。

2. 工事及び計測の概要

都市高速道路東山トンネルの断面と計測地点を図1に示す。高速道路トンネルはNATM工法により上下線2本建設される。各トンネルにつき2本の側壁導坑を先行して掘削し、その後本坑を上半・下半に分けて掘削する。本研究では大学敷地に接した上り線の本坑上半掘削工事を対象とした。計測は計3回(掘削工事時2回、工事機械走行試験1回)行った(表1)。本計測の特長は現場内にカメラを設置し、その

映像を振動の波形や電子顕微鏡の画像と同期させてビデオに録画した点である。ビデオの特長を生かし、波形と映像との対応を繰り返し行い、それぞれの波形の特徴と、機械・作業種別との対応について詳細に分析する。これによって各々の振動源の特性を把握する。

3. 振動源特性

本研究では工事振動の振動源特性の指標として、振動レベル(最大値) 継続時間と再現性、振動数特性に注目した。ま

表1 計測内容

| 計測名 | 計測内容 |
|----------|----------------|
| 掘削工事計測 | キャリアダンプ走行 |
| | 掘削 |
| | バックホー接触 |
| 工事機械走行試験 | ニブラーのほすし作業 |
| | キャリアダンプ走行 |
| | 生コン車走行 |
| | バックホー走行 etc |

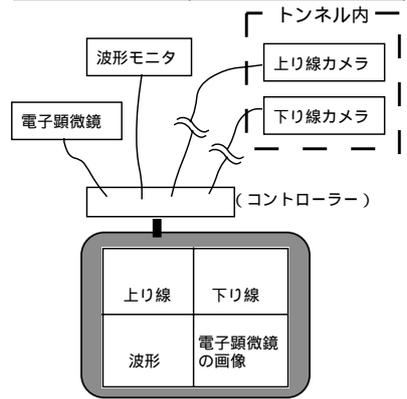


図2 計測システムのイメージ図

た、掘削位置に最も近い場所に設置されているセンサーを振動源とした。以下に振動源で最も振幅の大きい上下方向の特徴について考察する。

3.1 掘削工事で発生した振動の振動源特性

図3に各工作業時の波形を示す。キャリアダンプ走行時(以下キャリアダンプ)は常に0.5gal程度の振動が発生し(最大約1.0gal)、継続時間は20秒以上、波形は紡鐘形となっている。土砂掘削作業時(以下掘削)の振動は継続時間が0.5秒~1.0秒のパルス状の波形であり、振幅レベルは発生する度に大きく異なる(最大約1.5gal)。この要因としては掘削位置や掘削の勢いの違いが影響していると考えられる。バックホーの側壁導坑の支保工への接触時(以下バックホー)を図中に矢印で示す。不定期に1.0gal程度の波形が継続時間約0.5秒のパルス状に現れることが分かる。ニブラーによる側壁導坑の支保工はほすし作業時(以下ニブラー)は2.0~3.0galの振動が5秒に1回程度の割合で発生している。ニブラーは、他の作業に比べて振幅が最も大きい、継続時間は最も短い。図4に各作業毎のフーリエスペクトルを示す。キャリアダンプは20Hz付近に明確なピークがある。また、掘削やバックホーにも11Hz付近にピークがある。ニブラーは他に比べて高振動数が卓越しており、この傾向は上下方向で顕著に見られる。これらより工事機械の種類や作業によって発生する

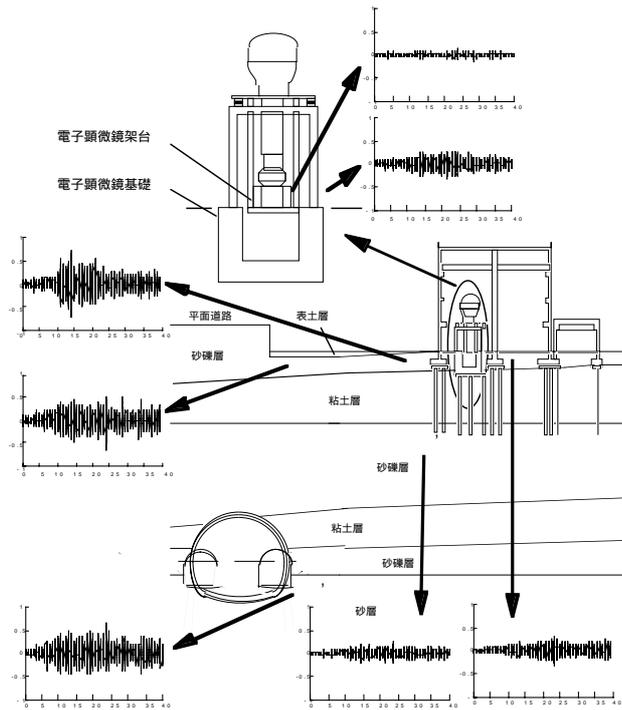


図1 トンネル断面と計測地点及び振動の伝播状況

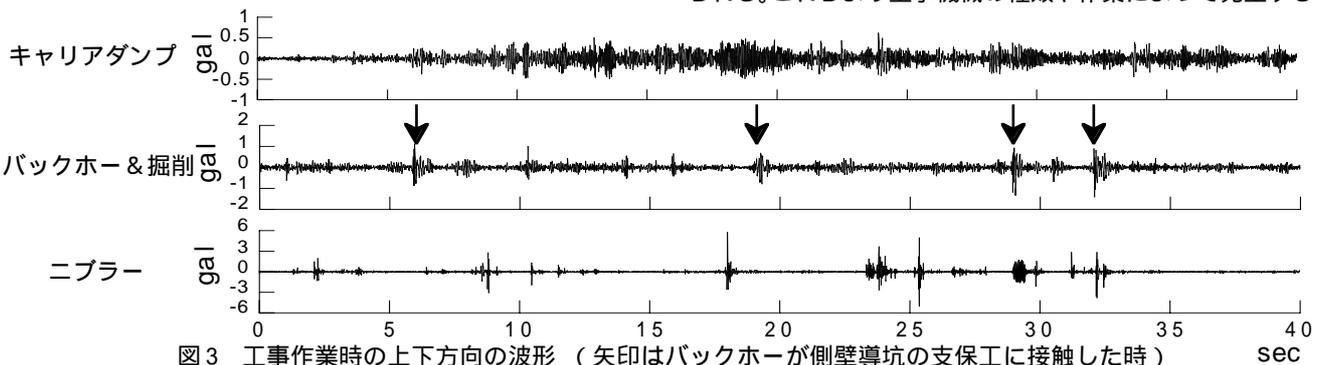


図3 工作業時の上下方向の波形 (矢印はバックホーが側壁導坑の支保工に接触した時)

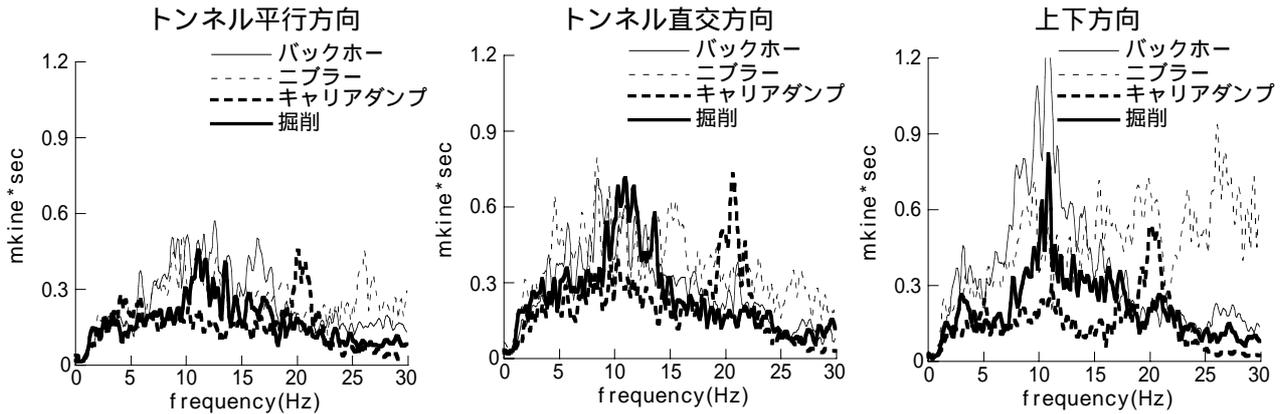


図4 各工事作業時の地点のフーリエスペクトル

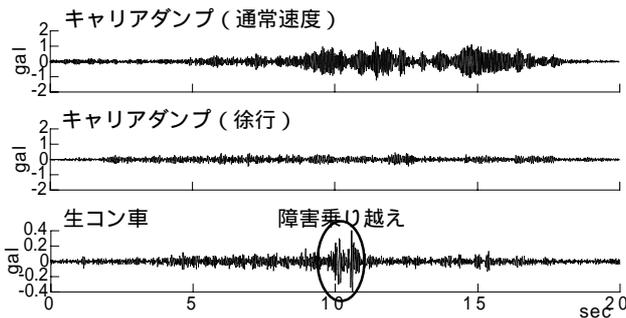


図5 工事機械走行時の上下方向の波形

振動の特性は大きく異なることが分かる。

3.2 工事機械走行試験時に発生させた振動の振動源特性

各工事機械走行時の波形を図5に、キャリアダンブ走行時のフーリエスペクトルを図6に示す。キャリアダンブの振幅はスピードが遅い

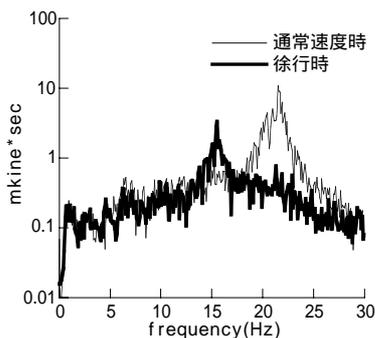


図6 キャリアダンブ走行時のフーリエスペクトル

ときは通常時の2分の1以下になる。積載量の変化による違いは見られなかった。また、障害物の有無による影響はキャリアダンブでは見られないが、生コン車走行時には明確に見ることができる。この差は、キャリアダンブは接地面がキャタピラであるのに対して、生コン車はタイヤであることが考えられる。また、生コン車走行時の振幅レベルがバックホーなどの工事機械走行時より小さいことから、キャタピラの方がタイヤよりも大きな振動を発生させると考えられる。図6のフーリエスペクトルより、キャリアダンブの通常速度時はピークが21Hz付近であるのに対し、徐行時は15Hz付近となっている。これより、キャタピラによる振動は走行速度によって卓越振動数が変化すると考えられる。積載量の変化による違いも見られるが、これは積載することにより、スピードが減速したことが原因であると予想される。

4. 超精密機器への影響

図1に示したように、発生した振動は距離減衰や地盤増幅特性などの影響を受けて超精密機器へと入力している。しかし、地盤の伝播特性に比べて超精密機器の防振装置などの振動特性の影響が非常に大きいため、ここではトンネルから30mほど離れた電子顕微鏡に着目して、その振動特性と振動

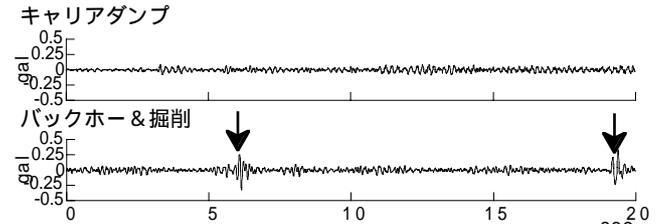


図7 工事作業時の地点における上下方向の波形

源特性の影響を検討する。また、電子顕微鏡は基礎が建物から独立しているため、基礎からの入力が主であると考えられる。

工事作業時の始め20秒間の地点の波形を図7に、地点に対する地点の伝達関数を図8に、キャリアダンブ走行時と掘削時の地点と地点のフーリエスペクトルを図9に示す。振幅レベルはバックホーが非常に大きい。電子顕微鏡の防振台の上下方向の固有振動数は5Hz付近にある。これより5Hzの振動数成分を多く持っている振動は共振して、非常に大きな影響を与える可能性がある。また

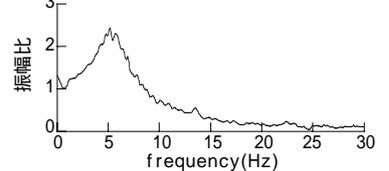


図8 地点に対する地点の伝達関数

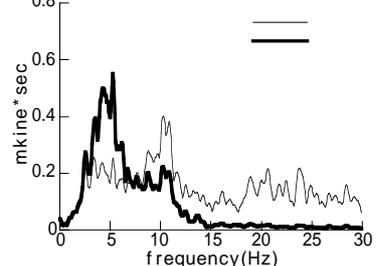
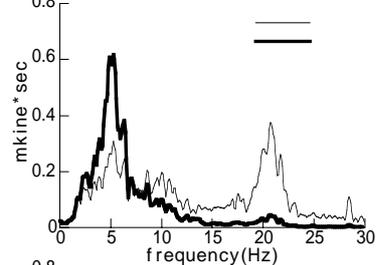


図9 キャリアダンブ走行時(上)と掘削時(下)の地点と地点のフーリエスペクトル

として見られる。これらより、工事作業によって与える影響が大きく異なることが考えられる。

5. 結論

キャリアダンブ走行時は明確な卓越振動数が存在するなど、ビデオとの対応により各々の工事機械・作業種別による振動源特性が明確にできた。これは、新たに開発した計測システムによるところが大きい。この計測システムは単に振動源の特定のみにとどまらず、今後の振動の監視と予測に極めて有用であると考えられる。