

土層境界における反射特性を利用した地盤振動抑制方法の基礎検討

東京大学生産技術研究所 学生会員 ○原 佑太郎 フェロー会員 桑野玲子
鹿島建設(株) 正会員 永谷英基 川野健一 劉 偉晨

1. はじめに

近年、大深度での地下工事で発生した振動が地表面に伝播し、生活環境に影響を及ぼす可能性があることが危惧されている。しかしながら、深度数十 m における地中での掘削工事によって生じる振動の地上への影響は定量的に評価できておらず、振動の発生メカニズムや地盤内での伝播特性といった基礎的な知見はほとんどない。このような背景の下本研究は、第一段階としてまずせん断波に着目し、大深度の地中で発生した振動の伝播特性および減衰特性を、断面での起振によって一次元的な振動伝播を実現できる円柱状供試体を用いて評価した。まず、均一な土層におけるせん断波の内部減衰の評価と、次に、供試体の中に硬いプラスチックを配置することによる、振動伝播特性の変化を検討した。

2.室内試験による地盤振動の内部減衰特性の評価

地盤内を伝わる振動の減衰理論では、均一な土層での振動振幅は、伝播した距離の波数換算に対し指数関数的に減少する¹⁾。振動の減衰は振動波面の広がりによる幾何減衰と、土粒子との摩擦で発生するエネルギー損失による内部減衰の2種に分類される²⁾。本研究では後者に着目し、断面起振により波面が広がることのない円柱状供試体(図-1)を作製した。ファンクションジェネレータにより生成した波を、圧電素子を用いて供試体端部にせん断波として起振し、その振幅を両端で計測することで、土供試体内を伝わる振動の内部減衰を評価した。供試体は直径3 cm、長さ20 cmとし、供試体内に収まる波長を考慮して、起振波の周波数は1~13 kHzとした。供試体の拘束圧は50kPaとした。地盤材料は、乾燥状態の珪砂2号、4号、8号と、北海道安平町でのフィールド調査で採取した砂(含水比23.7%)を使用した。材料の粒度分布を図-2に示す。なお、供試体内を伝播するせん断波の速度は180~210 m/sであった。室内試験での結果を表-1に示す。珪砂4号、8号では1波長進む当たり振幅の約20%が減衰する結果となり、珪砂2号、安平町フィールドで採取された砂は1波長の伝播で振幅の約50%が減衰した。

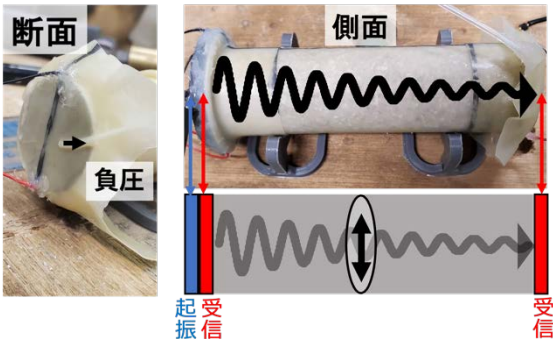


図-1 室内試験 円柱状供試体

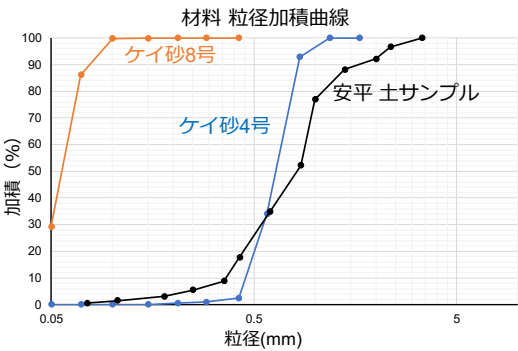


図-2 地盤材料の粒度分布

表-1 内部減衰特性の結果

	ケイ砂4号	ケイ砂8号	安平サンプル
D50	0.63	0.055	0.83
含水比(%)	0	0	23.7
速度(m/s)	167	208	179
内部減衰定数η	0.082	0.075	0.215
Q値	15.66	16.71	8.47
減衰率(%減衰/波長)	22.6	21.0	49.1
$\alpha_0 = \pi\eta/V_s$	0.00154	0.00113	0.00378

表-2 伝播変化実験ケース

実験ケース	プラスチック層 厚さ(cm)	層数	ケイ砂 相対密度(%)
1	x		72.8
2	1	1	61.6
3	2	1	55.6
4	1	2	61.5
5	2	2	71.4

キーワード 内部減衰、地盤振動抑制、せん断波
連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 TEL 03-5452-6843

3. 中間層の配置による境界面での振動伝播特性の変化

供試体内に中間層としてプラスチック層を配置することで、異質な層の配置による振動伝播の変化を単一の振動と一定時間振動を発生させ続ける定常波振動の2種類について検証した。中間層として用いたプラスチックの密度は 0.73 g/cm^3 、せん断波速度は 630 m/s であった。表-2 に示す実験ケースの通り、層厚、層数が異なる供試体に一定の振幅の起振波を発生させ、端面での到達波の振幅を比較した。

その結果、単一の振動を起振したケースでは、層厚、個数に関わらず中間層の存在によって振幅比が減少し、振動伝播が抑制される傾向が見られた（図-3）。この理由として、最初に到達するせん断波の一部が砂とプラスチックの土層境界面で反射したことが原因と考える。また、定常波振動を起振したケースでは、中間層が1層の場合は波の干渉により複雑な挙動が見られたが、2層配置したケースにおいては、中間層のない場合と比べて全体として振幅比が減少する結果となった（図-4）。土層とプラスチックといった地盤物性値が大きく異なる境界を複数配置することで境界面においてエネルギー損失を起こし、振動を抑制できる可能性があることが分かった。

4. まとめ

均質な砂地盤では、せん断波速度が 200 m/s 程度のとき、1 波長進む毎に振幅は約 50% 程度減衰することが分かった。加えて、砂の種類によって減衰幅が異なることが確認された。また、土層中に異質な層を配置した場合、単一の振動ではどの実験ケースにおいても、振動の一部が境界面で反射し、振動伝播が抑制された。定常波振動においては、異質な層を何層にも渡り配置することで、複数の境界面で振動のエネルギー損失が起こり振動伝播の抑制効果が発揮される可能性が示唆された。

5. おわりに

地下数十 m での掘削に伴う振動では、せん断波の他に、圧縮波や表面波といった弾性波も生じることが想定される。これらの弾性波についても内部減衰を評価し、硬い中間層の配置による弾性波の伝播抑制について実証することで、地盤振動抑制方法を高度化していく予定である。

参考文献

- 1) G Bornitz, Über die Ausbreitung der von Grozklolben- maschinen erzeugten Bodenschwingungen in die Tiefe, J. Springer, 1931.
- 2) 齊藤 正徳, 地震波動論. 東京大学出版会. 2019

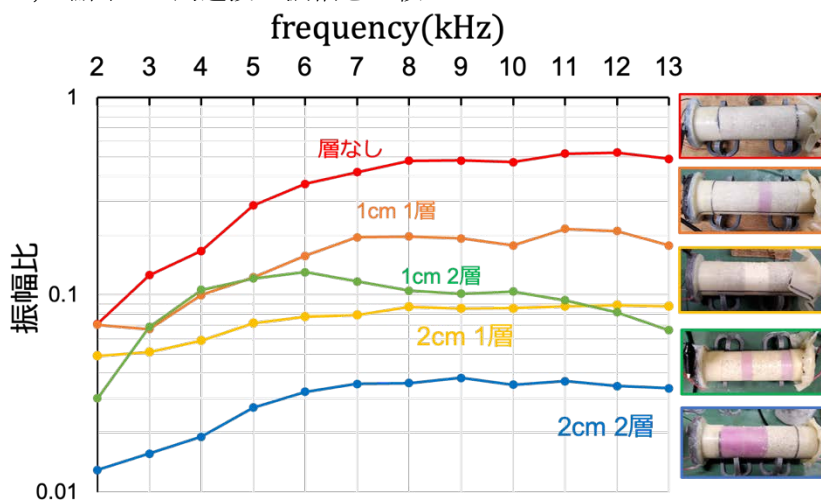


図-3 単一振動における振幅の減衰

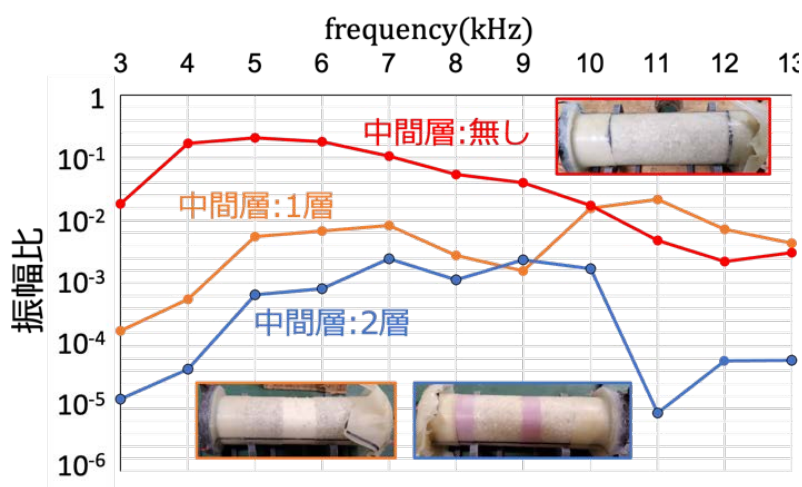


図-4 複数振動における振幅の減衰