

Specific Research Reports of the Research Institute
of Industrial Safety, RIIS-SRR-NO.14 (1995)
UDC 624.131.38 : 624.131.551 : 624.132.3 : 624.131.53

3. 溝掘削工事に伴って発生する建設振動と土圧測定のための現場実験

玉手 聡*, 堀井宣幸*, 豊澤康男*

3. Field Tests to Measure the Ground Vibration and Earth Pressure Induced by Trench Excavation Work

by Satoshi TAMATE*, Noriyuki HORII* and Yasuo TOYOSAWA*

Abstract ; A lot of slope failure accidents have been occurring in every year during the carrying out of trench excavation work. Some of these accidents were caused by vibration induced by the movement of construction machinery such as bulldozers and backhoes. These vibration may have been the cause of the decrease in ground foundation strength. Generally, slope stability in trench excavation is calculated using the static state conditions. To estimate foundation strength during excavation, it is necessary to make sure the influence of vibration caused by the movement of construction machinery and pile driving work and the earth pressure change acting on sheet pile with excavation. Therefore, field tests were carried out to investigate all these factors at the RIIS testing field.

A backhoe and a bulldozer were used for tests. In order to measure the vibration, acceleration sensors were set up on the ground surface, at a depth of 1 m, 2 m and 3 m. These tests were performed under the conditions of low and high speed passing in addition to the different distance between acceleration sensors position and passageway for each construction machinery. Regarding the pile driving tests, sheet piles were driven by use of a crane and a vibro-hammer. Ground vibrating acceleration were measured with driving of sheet piles. Fourier analyses were performed to investigate the frequency characteristics of transmitted ground vibration. In order to measure the earth pressure, three earth pressure sensors were used. These sensors were attached on the surface of one sheet pile.

The results from field tests are summarized below ;

- (1) The predominant frequency of vibration induced by the movement of construction machinery was distributed from about 20 to 30 Hz.
- (2) The vibrating acceleration caused by the movement of construction machinery was about 10 gal on ground surface and 3 gal at a depth of 3 m.
- (3) The predominant frequency of vibration induced by the pile driving work was distributed from about 10 to 20 Hz.
- (4) The vibrating acceleration on the ground surface caused by the pile driving work tended to be large in case driven depth of the sheet piles were shallow. The horizontal component of the vibrating acceleration tended to be small in comparison to the vertical component with a increase of ground depth.
- (5) The earth pressure acting on sheet piles decreased with excavation.

*土木建築研究部 Construction Safety Research Division

Keywords ; Foundation Strength, Vibrating Acceleration, Sheet Pile, Earth Pressure, Backhoe, Bulldozer, Fourier Analysis, Predominant Frequency

3.1 はじめに

土砂崩壊による労働災害での死亡者数は、最近の統計では毎年60名前後で推移しており、このうちの約半数が掘削工事で被災している。著者らが行った災害分析¹⁾から、これらの災害は土留め支保工等の崩壊防止対策がとられていない現場や、土留め支保工の施工中あるいは撤去中の現場で数多く発生していることがわかった。これらの災害事例を検討してみると、現場で使用される車両系建設機械の走行や作業などによる地盤振動が崩壊発生に何らかの影響を与えたと考えられる事例が見受けられた。

建設現場の地盤強度は、一般的には事前にサンプリングした試料や原位置において直接サウンディングすることによって調べられる。しかし、これらは多くの場合、工事の事前調査として行われており、必ずしも施工中の地盤強度を評価しているわけではない。

建設現場において、作業に伴う振動や付近の通過交通によって地盤に振動が作用した場合、地盤内部の土の構造が乱されたり、水を多く含む地盤では間隙水圧が上昇することによって有効応力が減少し、地盤強度が施工前に評価したものよりも低下することが考えられる。つまり、掘削法面の崩壊の危険性が高まり、施工時の安全性が低下するおそれがある。

建設現場周辺を走行する車両系建設機械や通過交通および杭打ちやシートパイルの打設等の作業については、二、三の研究^{2),3),4)}があるが、これらの振動が地盤強度に与える影響に関する研究はほとんど行われていない。

本研究では、ブルドーザやバックホウなどの一般的な車両系建設機械の走行あるいは作業と土留め壁打設によって発生する振動が地盤強度に与える影響を検討するための第一段階として現場実験を行った。本実験では、車両系建設機械の走行時とシートパイルの打設時に地盤内部に伝達する振動と、掘削に伴ってシートパイルに作用する土圧を調べるための現場計測を行った。本報告では、これらの地盤震動特性と掘削時の土圧について報

告する。

3.2 現場実大実験

3.2.1 実験方法

当研究所内の試験地において振動計測実験を行った。Fig. 3.1 (a)に試験地の平面図を示し、Fig. 3.1 (b)にその断面図と試験地のボーリング調査結果を示す。

実験現場の土質は地表から深さ1.7mまでは埋め戻し土、1.7m以下は関東ロームで、地盤の強さを表すN値はそれぞれ1.5、2～3で比較的、軟弱な地盤である。

実験に使用した車両系建設機械は、ブルドーザ、バックホウおよびシートパイル打設用の移動式クレーンである。これらの建設機械の諸元をTable 3.1に示す。

a. 車両系建設機械の走行実験

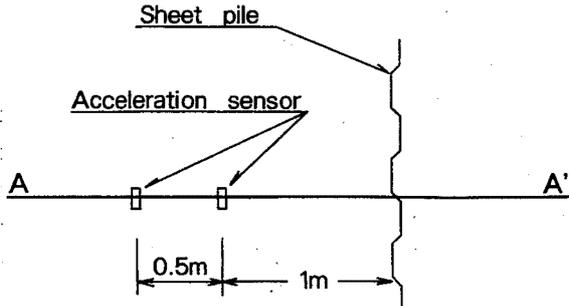
車両系建設機械によって発生する地盤振動の計測を行うために、ブルドーザあるいはバックホウを走行させて振動計測実験を行った。振動要因として取り上げたのは、建設機械の種類と走行速度でTable 3.2に示す通りである。建設機械は走行区間約20mを前進と後進で走行し、この時のエンジン回転数はフルスロットルである。走行速度は同じ速度段であっても建設機械によって若干異なる。

加速度計はFig. 3.1に示すように、走行方向に対して直角方向に2ヵ所に設置しており、その間隔は0.5mである。走行実験はこの加速度計を中心として両側で行い、走行位置は近い側の加速度計より1m、2m及び3mの3種類である。

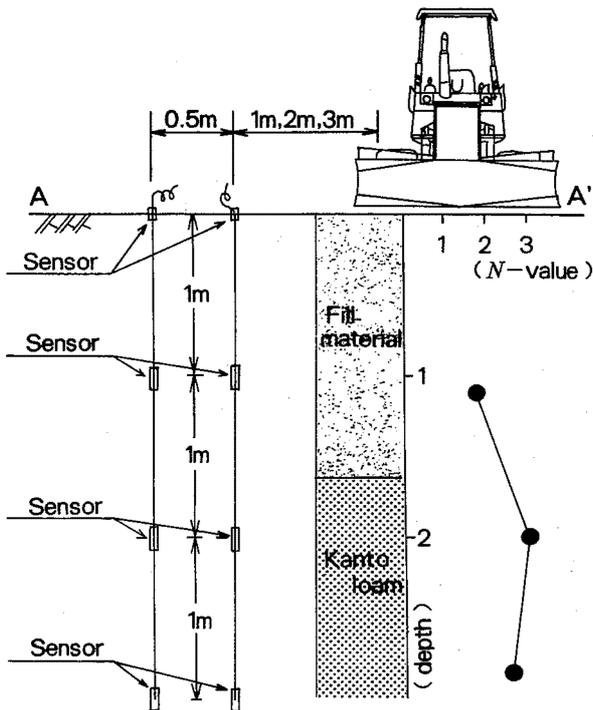
b. シートパイルの打設実験

走行実験を行った後に、土留め用シートパイルの打設実験を行った。本実験では、シートパイルの打設によって発生する地盤振動の計測を行うために、実際にバイプロハンマーを用いて長さ6mの鋼製シートパイルを打設した。使用したシートパイルの諸元をTable 3.3に示す。

シートパイルの打設方法は、クレーン車に取り付けたバイプロハンマーでシートパイル上端部を挟んで吊り、シートパイル下端部が地盤表面に接



(a) Plane of testing field.
試験地の平面図。



(b) Profile of testing field.
試験地の断面図。

Fig. 3.1 Ground condition and sensors position in testing field.

試験地の条件と加速度計の配置図

している状態から振動を開始した。シートパイルはこの振動とバイブロハンマーの重みによって地盤内に打設される。地盤振動の計測は、このシートパイルの下端部を地盤内へ1m貫入させる毎に行った。シートパイルの打設位置は、Fig. 3.1. (a) に示すとおりで、2点の加速度計からの距離は1mと1.5mである。

Table 3.1 Specifications of construction machinery used for tests.
建設機械の諸元

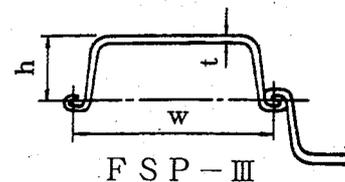
	車重 (kgf)	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)
ブルドーザ	6,700	3.854	2.050	2.705
バックホウ	11,800	7.580	2.460	2.700
クレーン	25,660	10.750	2.620	3.555

Table 3.2 Vibration factors by the movement of construction machinery.
車両系建設機械の振動要因

要因	条件
機械の重量	6 ton 級ブルドーザ 11ton 級バックホウ
走行速度	速度段 1 速 (低速) 2 速 (高速)

Table 3.3 Specifications of sheet piles.
シートパイルの諸元

種類	寸法			1枚当たりの 断面積 cm ²	1枚当たりの 重量 kg
	w mm	h mm	t mm		
FSP-III	400	125	13	76.42	360.0



c. 溝掘削実験

シートパイルの打設実験を行った後に、溝掘削実験を行った。本実験では、幅2m、長さ3mの範囲を掘削し、掘削の進行に伴ってシートパイルに作用する静的な土圧と掘削後に法肩周辺を建設機械が走行した場合に作用する動的な土圧を測定した。掘削はバックホウによって段階的に行い、深さ3mまで行った。途中掘削深さが1mに達した時に、深さ1mの位置に、切り梁を設置した。

Fig. 3.2 に掘削実験の概要図を示す。シートパイルに作用する土圧は、シートパイルに埋め込ん

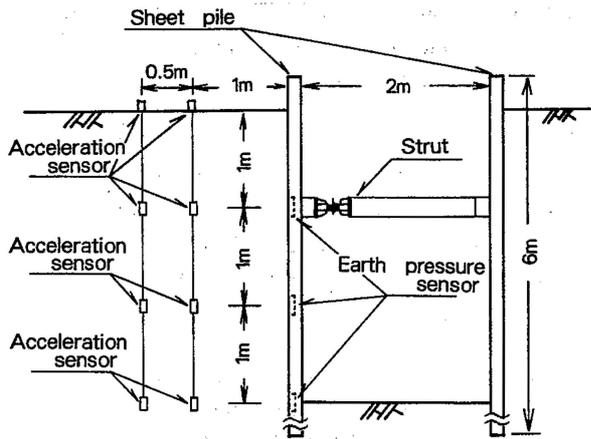


Fig. 3.2 Profile of excavation experiment area.
掘削実験現場の断面図

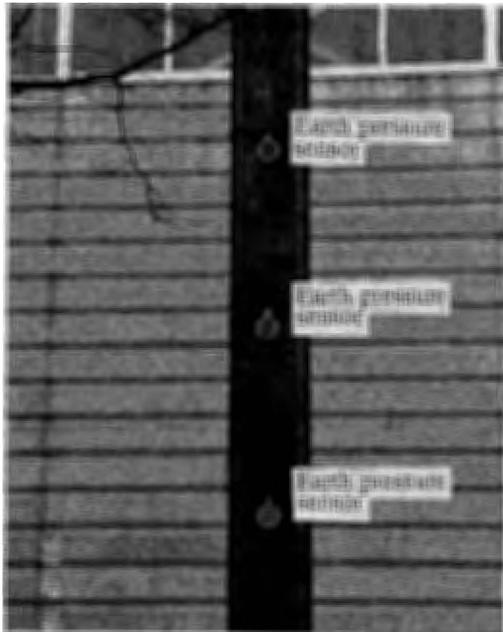


Photo 3.1 A sheet pile and earth pressure sensors.
土圧計を取り付けたシートパイル

だ土圧計によって、深さ 1 m, 2 m 及び 3 m の位置で測定した。

3.2.2 計測方法

実験時の地盤振動は、地盤の表面及び内部において鉛直及び水平成分（機械の走行方向に対して直角方向）の加速度計を 8 点の加速度計で測定した。加速度計は Fig. 3.1 に示す通り 0.5 m 離れた 2 ヶ所に配置し、それぞれの位置で地盤表面と地盤内深さ 1 m, 2 m 及び 3 m の計 4 段に配置した。土圧計は、シートパイルの表面部を加工して、3 個の土圧計を 1 m 間隔で取り付けた (Photo. 3.1 参照)。

データ収録システムの概要を Fig. 3.3 に示す。動ひずみ計及び A/D 変換器の制御は GPIB を用いて EWS (IBM, RISC システム 6000) で行っており、EWS のメモリに収録したデータは実験後にディスクに保存した。計測時のサンプリング周波数は 200 Hz である。

3.3 実験結果の解析

実験結果は、①地盤への振動伝達状況、②振動の地中方向の分布、③地盤振動の周波数分布などについて解析した。

3.3.1 建設機械の走行による地盤振動

Fig. 3.4 にブルドーザを高速走行させた時に地盤内に伝達した鉛直成分の振動加速度波形を例示する。鉛直成分の加速度は地表で最大で、地表からの深さが大きくなるほど減衰する傾向が見られる。

ブルドーザあるいはバックホウの走行時の振動波形から、振幅が最大の部分をフーリエ変換^{6),7)}し、周波数解析を行った結果を、卓越周波数成分

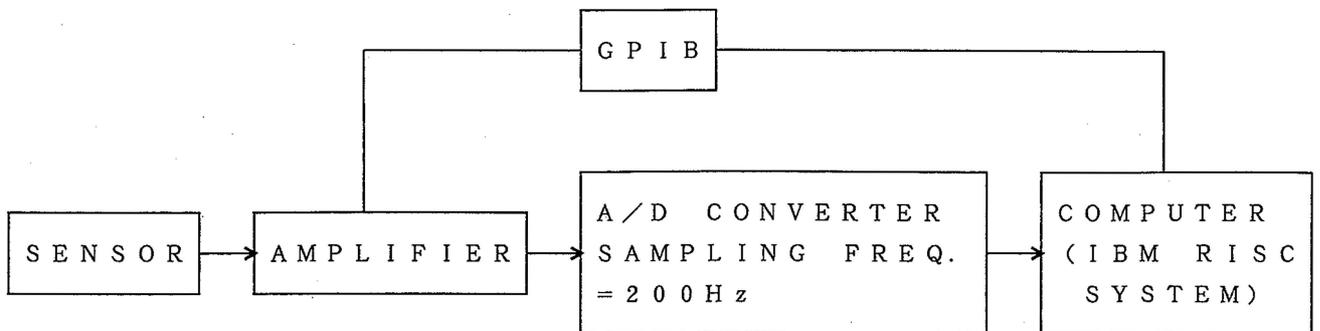


Fig. 3.3 Outline of data sampling system.
データ収録システムの概要

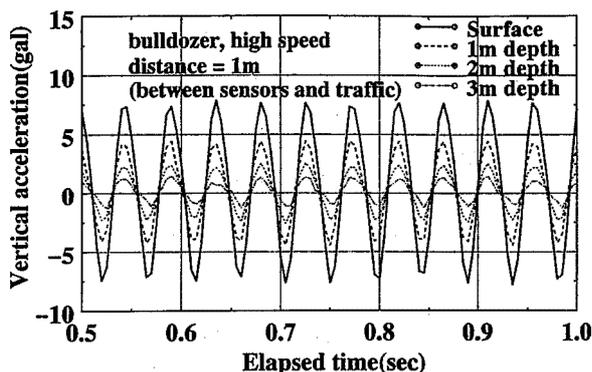


Fig. 3.4 Wave figure of acceleration in underground during bulldozer passing.
ブルドーザの走行時の地盤内の振動加速度波形

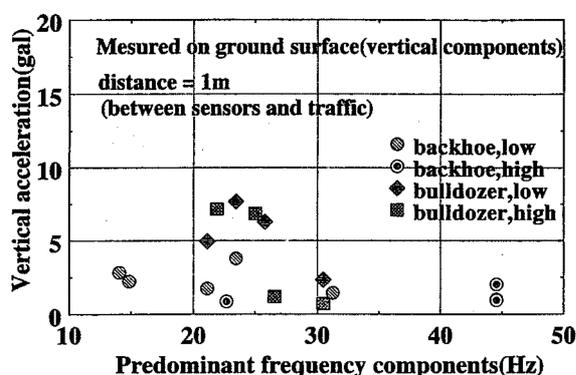


Fig. 3.5 Relation between predominant frequency and acceleration of traffic of construction machinery.
走行振動の卓越周波数と振動加速度

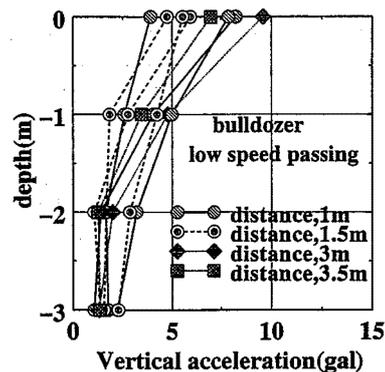
とそれに対応する振動加速度の値で整理した。

Fig. 3.5 は建設機械が走行した位置より 1 m 離れた場所で計測した地盤振動を示したものである。ブルドーザ走行時の振動の卓越周波数は 20 Hz~30 Hz の間に集中している。

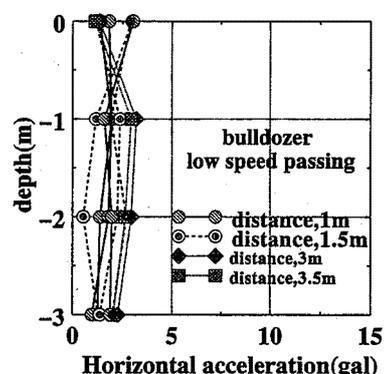
しかし、バックホウの場合は、ブルドーザに比べて広い範囲の周波数に振動が分布している。地盤表面で計測した鉛直成分の振動加速度の大きさは、ブルドーザの場合で 10gal 程度である。また、バックホウの振動加速度はブルドーザのそれに比べて小さい。

Fig. 3.6 (a) には、ブルドーザが低速走行した時に地盤内部へ伝達した、鉛直成分の最大振動加速度の分布を例示する。

図中の記号は、加速度計とブルドーザの走行位置の水平距離を示すものである。



(a) Acceleration distribution of vertical component
鉛直成分の振動加速度の分布



(b) Acceleration distribution of horizontal component
水平成分の振動加速度の分布

Fig. 3.6 Relation between acceleration and depth during bulldozer passing.
ブルドーザが走行した時の地盤内の振動加速度の深さ方向の分布

地盤内部における振動加速度は深さが増すとともに、減衰しているが、走行位置と計測位置との距離の影響は明確ではなく、発生している地盤内の振動加速度の大きさにばらつきがあることがわかる。これは、建設機械が走行することによって路面形状が変化するために、同じ条件での実験が行えなかったためと思われる。

Fig. 3.6 (b) は同じ実験における水平成分の振動加速度分布である。地盤表面及び地盤内部において計測された水平成分の振動加速度は小さく、ほぼ一様に分布している。深さ 2~3 m においては、振動加速度の鉛直成分と水平成分がほぼ同じ程度の大きさになっている。

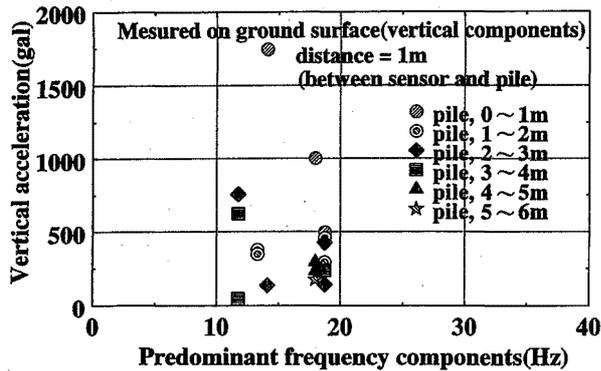


Fig. 3.7 Relation between predominant frequency and acceleration during sheet pile driving.
シートパイル打設時の卓越周波数と振動加速度

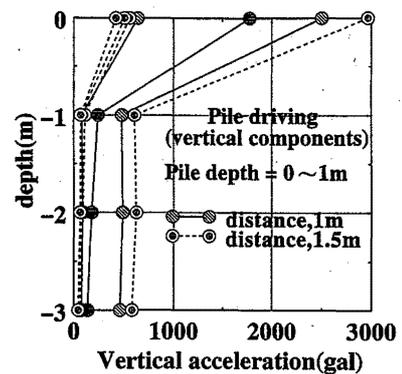
3.3.2 シートパイル打設時の地盤振動

シートパイルの打設時の振動波形も同様にフーリエ変換し周波数解析を行った。Fig. 3.7には、シートパイルから1m離れた位置の地盤表面において計測した振動記録の最大の振幅部分から求めた卓越周波数と、対応する振動加速度の関係を示す。図中の記号は、パイルの下端が到達している深さを示す。卓越周波数は10~20 Hzの間に集中している。振動の大きさはパイル下端が地盤表面から1mの間にある時に1000 galを越えるものが一部に見られるが、パイル下端が1mよりも深い位置にある場合では、振動の大きさはおおよそ500 gal以下であることがわかる。

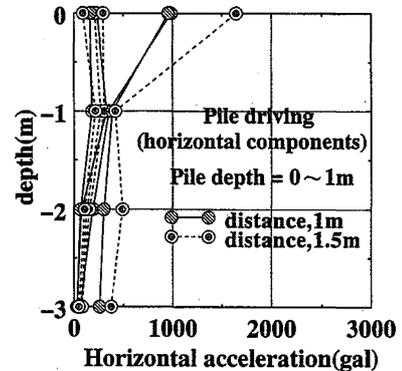
Fig.3.8 (a) は鉛直成分の振動加速度の地盤内深さ方向への伝達状況を示すもので、パイルの下端が地盤表面から1mの深さに達する間の最大の振動加速度である。

それぞれの計測値にばらつきがあるが、鉛直成分の振動加速度は地盤表面で最も大きくなっており、深さ1mの地点で大きく減衰している。また、Fig.3.8 (b) は同時に計測した水平成分の最大の振動加速度である。地盤表面では鉛直成分に比べて水平成分は非常に小さく、約半分程度である。

Fig. 3.9 にはパイル下端の到達深さが1m~2mの時の、地盤内深さ方向に伝達した鉛直成分の最大の振動加速度を示す。Fig. 3.8 (a) との比較からわかるように、シートパイルがより深く地中に打ち込まれたことによって、地盤表面の振動加速度が小さくなっており、地盤内3mまでの振



(a) Acceleration distribution of vertical component.
鉛直成分の振動加速度の分布



(b) Acceleration distribution of horizontal component.
水平成分の振動加速度の分布

Fig. 3.8 Relation between acceleration and depth during sheet pile driving.
(pile end reached between 0 and 1m)
シートパイル打設時における敷地内の振動加速度の深さ方向の分布 (打設深さ0~1m)

動加速度はほぼ一様に分布している。この傾向は水平成分の振動加速度にもみられた。

Fig. 3.10 にはシートパイルの打設位置から水平方向に1mと1.5mの離れた位置で計測した最大の振動加速度の大きさを示し、シートパイル下端の到達深さが1~2mの時の例である。

Fig. 3.10 (a) は鉛直成分の振動加速度を示すものであるが、500 gal程度の大きな振動と100 gal程度の小さな振動が計測されている。振動の大きさにかかなりの違いがあるが、減衰割合はほぼ同じで程度であると見られる。松村ら⁸⁾によ

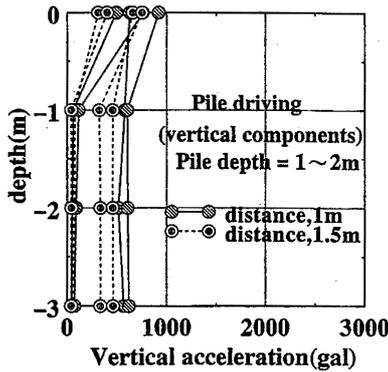


Fig. 3.9 Relation between acceleration and depth during sheet pile driving.

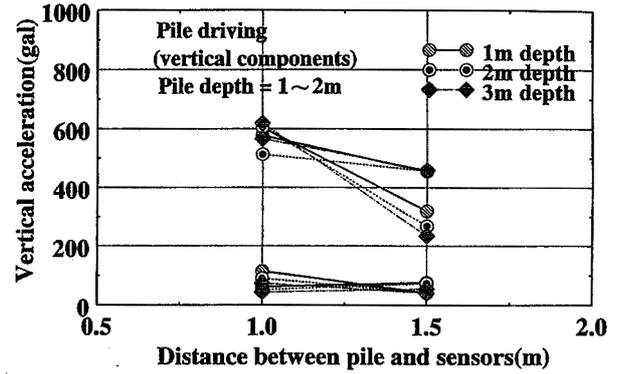
(pile end reached between 1 and 2 m)
 シートパイル打設時における地盤内の鉛直成分の振動加速度の深さ方向の分布
 (打設深さ 1 ~ 2 m)

れば、振動杭打機での振動の距離衰減には土の粘性等の影響が大きいことと、高い周波数の振動ほど大きな減衰を示すことが報告されている。また、Fig. 3.10 (b) には同時に計測した水平成分の振動加速度を示す。鉛直成分に比べて振動の大きさにばらつきが少ない。また、水平成分の振動は鉛直成分に比べて距離による減衰が少ない。

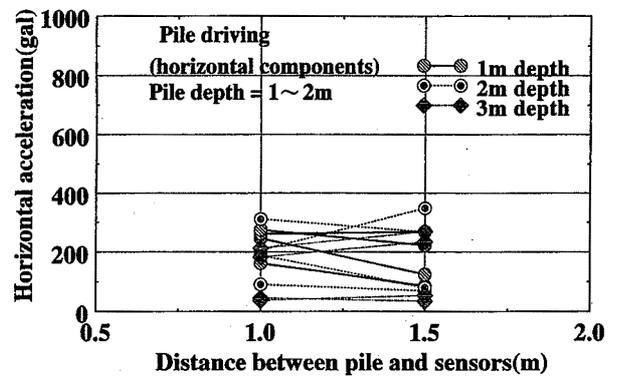
Fig. 3.11 は地盤内に伝達した振動加速度の鉛直成分と水平成分を比較して表したもので、振動成分の地中深さ方向に対する変化を示す。振動成分の分布は計測を行った深さごとに図を分けている。また、鉛直及び水平成分の振動加速度は、シートパイル下端の到達深さ毎に、計測した最大の振動加速度を示す。シートパイルの打ち込み深さが同じ場合においても計測された振動加速度の大きさにばらつきがみられる。

Fig 3.11 (a) は、深さ 1 m において計測した振動加速度である。鉛直成分の振動加速度は、計測時のパイル打設深さが同じ場合であってもかなりのばらつきがあり、水平成分に比べてかなり大きな振動も計測されている。鉛直及び水平成分の振動加速度はおよそ 100 ~ 300 gal 付近に集中しており、これらの振動加速度は鉛直成分に比べて水平成分の方が幾分大きくなっている。

Fig. 3.11 (b) は、深さ 2 m において計測した振動加速度である。Fig. 3.11 (a) と同様に鉛直成分の振動加速度にかなりのばらつきがみられる。地盤内 1 m の深さで計測した Fig.



(a) Acceleration distribution of vertical component.
 鉛直成分の振動加速度の分布



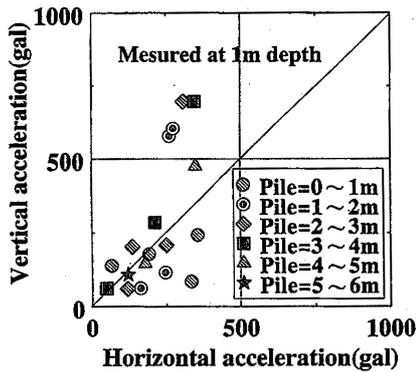
(b) Acceleration distribution of horizontal component.
 水平成分の振動加速度の分布

Fig. 3.10 Relation between horizontal distance and acceleration during sheet pile driving.

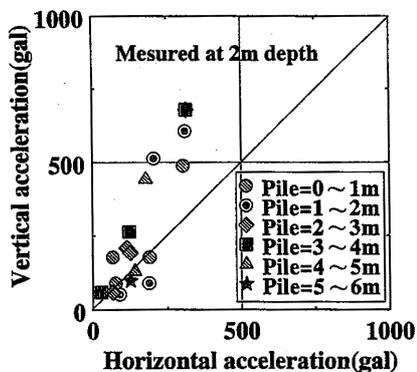
(pile end reached between 0 and 1 m)
 シートパイル打設時における地盤内の振動加速度の水平方向分布
 (打設深さ 1 ~ 2 m)

3.11 (a) の結果と比較すると、鉛直成分の振動がおよそ 100 ~ 300 gal の場合では、水平成分の振動が減少し、鉛直成分と水平成分がほぼ同じ大きさになっている。また、Fig 3.11 (c) に示す深さ 3 m において計測した振動加速度は、一部にみられる大きな鉛直成分の振動を除いて、水平成分がさらに減少する傾向がみられる。

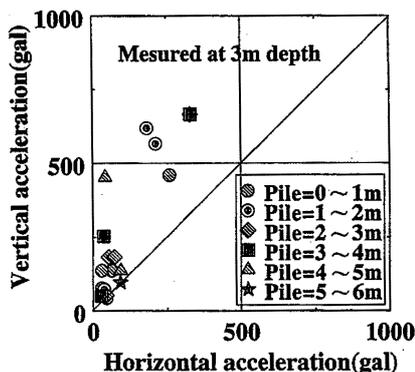
この結果から、シートパイル打設時における地盤内の振動は、鉛直成分が 100 ~ 300 gal の場合に、地盤表面からの深さが増すとともに水平成分が小さくなる傾向がみられた。今回の実験では、



(a) Acceleration distribution in 1 m depth
地盤内 1 m における振動分布



(b) Acceleration distribution in 2 m depth
地盤内 2 m における振動分布



(c) Acceleration distribution in 3 m depth
地盤内 3 m における振動分布

Fig. 3.11 Comparison between vertical and horizontal component of acceleration in underground.
地盤内における鉛直成分と水平成分の振動加速度の比較

7本のシートパイルを打設したが、計測された振動加速度の大きさには、ばらつきが見られ、一部にかなり大きな振動も計測されていた。これは、複数のシートパイルを続けて打ち込んでいるために地盤の状態が変化し、必ずしも同じ状態での実験が繰り返されていないためと、地盤内に部分的に存在する岩石などとパイルが接触したことなどによると思われる。

3.3.3 掘削時にシートパイルに作用する土圧

Fig. 3.12には掘削の進行に伴ってシートパイルに作用した土圧の変化を示す。図の縦軸は掘削前におけるそれぞれの測定位置の土圧の初期値をゼロとして、掘削に伴う土圧の変化 ($\Delta\sigma_h$) を示すものである。また、図中の記号は土圧を測定した深さごとに変えてある。

深さ 1 m と 2 m の位置における土圧は掘削の進行によってほとんど変化していない。また、深さ 3 m における土圧は掘削に伴って土圧が減少する傾向を示している。掘削深さが 1 m の時に深さ 3 m の位置の土圧が一度増加している。これは、深さ 1 m の位置に切り梁を設置したために、シートパイルが法面に押しつけられたことによると思われる。その後の掘削によって、土圧は再び減少している。

一般に、地盤内の土圧は深さとともに増加する。主働状態における水平方向の土圧は、通常、鉛直成分に比べて小さい。一般的に良く用いられているランキンの土圧理論¹⁰⁾では、土の内部摩擦角をパラメータとする係数を用いて水平土圧を算定している。ランキンの式を以下に示す。

$$\begin{cases} \sigma_h = K_a \times \gamma_t \times H \dots\dots\dots(1) \\ K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots(2) \end{cases}$$

ここで、

σ_h : 任意の深さにおける水平方向の土圧 (tf/m²)

K_a : 主働状態における水平土圧係数

γ_t : 土の単位体積重量 (tf-/m³)

H : 地盤内深さ (m)

ϕ : 土の内部摩擦角 (°)

今回の掘削実験では掘削前の土圧 (シートパイル打設後の土圧) を計測していないため、これを

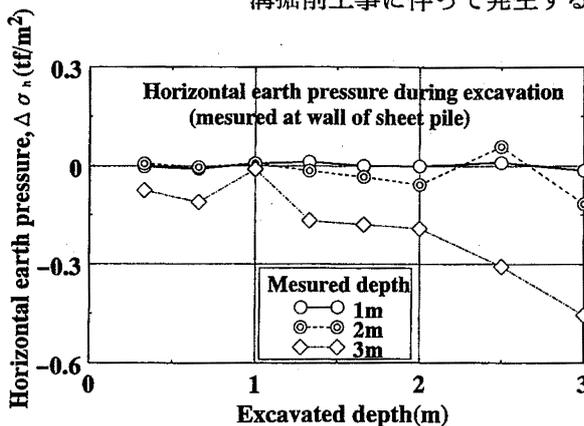


Fig. 3.12 Relation between changed earth pressure acting on sheet pile and excavated depth. シートパイルに作用する土圧の変化量と掘削深さの関係

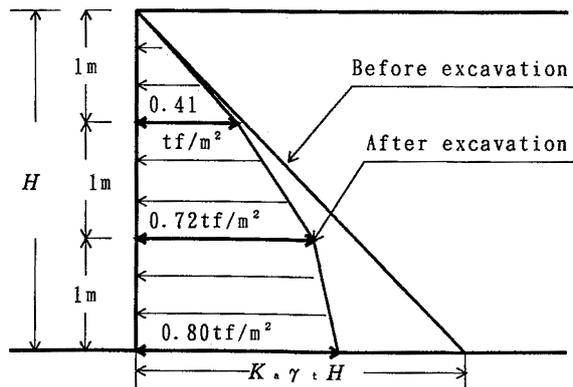


Fig. 3.13 Earth pressure distribution from experimental result. 実験によって得られた土圧分布

Table 3.4 Earth pressure acting on sheet pile before excavation and changed that after excavation. (Excavated depth = 3 m)
シートパイルに作用する土圧の初期値と掘削後の変化量 (掘削深さ = 3 m)

深さ (m)	掘削前の土圧 (理論計算値) $\sigma_{h, ini} (tf/m^2)$	掘削による土圧の変化量 (実験値) $\Delta\sigma_h (tf/m^2)$
1	0.42	-0.01
2	0.84	-0.12
3	1.26	-0.46

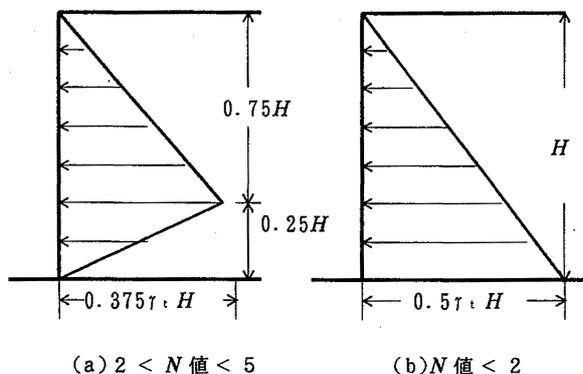


Fig. 3.14 Earth pressure distributions from standard of Architectural Institute of Japan. 日本建築学会の基準による土圧分布

ランキンの土圧理論によって算出した。計算に用いた試験地の土質パラメータ¹¹⁾は $\gamma_t = 1.4 \text{ tf/m}^3$, $K_a = 0.3$ である。理論上の初期土圧と実験による土圧の変化量 (掘削深さ 3 m) を Table 3.4 に示す。

Fig. 3.13 は実験による掘削後の土圧分布である。掘削後にシートパイルに作用する土圧は、深さが増すにつれて掘削前に比べて減少する割合が増す。

たわみ性の土留め壁に作用する土圧に対しては多くの提案がなされているが、Fig. 3.14 に日本建築学会基礎構造設計基準に示されている「土留め壁に作用する土圧分布」を示す。

今回実験を行った試験地の地層は深さ 1.7 m を境にして 2 層にわかれておりました、それぞれの

N 値が 1.5, 2~3 と異なっているため、単純に比較はできないが、本実験による土圧分布 (Fig. 3.13) は Fig. 3.14 に示す二つの土圧分布の中間的な形状をしている。単位幅当たりの土圧の合力を、実験結果と日本建築学会による 2 つの分布形状について算出して比較したものを Table 3.5 に示す。実験による土圧の合力の推定値は、上記の二つの設計基準より求めた値に比べて小さい。この理由としては以下のことが考えられる。

- ① シートパイルを打ち込む際に振動を付加して打設しているために、シートパイルを打設している周辺の地盤が乱されて土がゆるみ、土圧が完全にシートパイルに伝わっていない。
- ② 土が掘削されることによって、シートパイルに作用する土圧の平衡が崩れた。そのことによって

Table 3.5 Comparison of total earth pressure.
土圧の合力の比較

実験結果を 用いた推定値	日本建築学会設計基準	
	N 値<2	2<N 値<5
1.53	3.15	2.36

(単位：tf/m)

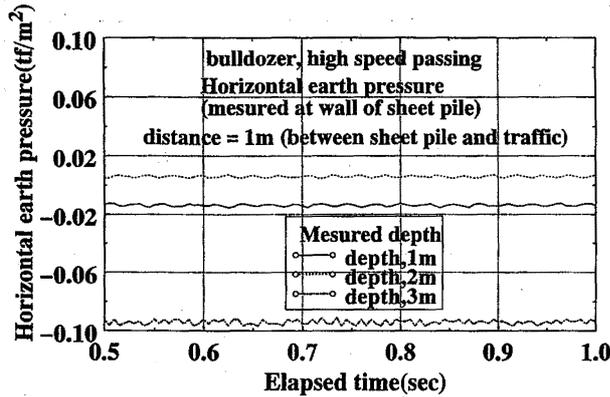


Fig. 3.15 Relation between elapsed time and earth pressure acted on sheet pile wall during bulldozer passing.
ブルドーザの走行時にシートパイルに作用した土圧と時間の関係

シートパイルが変位し、シートパイルを掘削法面に押さえつける力が減少した。

Fig. 3.15 は、掘削後に溝の法肩部より 1 m 離れた位置をブルドーザが高速走行した時にシートパイルに作用した動的な土圧の変化を測定した結果である。走行による動的な土圧の変化は静的な土圧に比べて非常に小さく、実質的にはほとんど計測することができていない。

3.4 結論

本研究では、建設機械の走行あるいは土留め壁（シートパイル）の打設によって発生する地盤震動と掘削に伴って土留め壁に作用する土圧測定のための現場実験を行い、地盤内部への振動の伝達状況と掘削に伴う土圧の発生状況を調べた。主たる結果は次の通りである。

1) ブルドーザあるいはバックホウを走行させた時における、地盤表面での鉛直成分の振動加速度はおよそ 10 gal 程度以下で、地盤内 2 m の深さ

では鉛直及び水平成分の振動加速度の大きさが 3 gal 程度であった。この時の卓越周波数が 20~30 Hz であることから、地盤内 2 m における振動振幅は $1 \sim 2 \times 10^{-3}$ mm 程度となる。田中²⁾らによれば、大型自動車の走行に伴う周波数は約 5 Hz であり、地盤表面における振動振幅は 0.1 mm 程度と報告されている。このことから建設機械の走行による振動は、大型自動車の走行時に比べて振動加速度は約 1/3、周波数は約 5 倍、振動振幅は約 1/50 である。

今回の実験では、車両系建設機械の走行によって地盤内に伝わる振動は、それほど大きなものではなかった。これは、実験を行った地盤が全体に凹凸が少なく平らな地盤であったために、大きな振動が発生しなかったためと思われる。凹凸のある地盤では車両自体がさらに揺れるために、より周波数の低い、大きな振動が発生することが予想される。長ら³⁾はブルドーザの走行に伴う振動は機械の重量に比例し、走行速度の 3 乗に比例するとしている。今回の実験では、ブルドーザはバックホウに比べて約 5 トン車重が軽いのに反して、ブルドーザの方が大きな振動を発生させた。ブルドーザのキャタピラーの形状はバックホウのものに比べて凹凸が大きいいため、この違いが振動の大きさに影響を与えているのではないかと思われる。また、走行速度が振動の大きさに及ぼす影響については、明確な結果が得られなかった。

2) シートパイル打設時における地盤の振動は、地盤の表面から深さ方向に減衰して伝達していた。地盤の浅い部分での振動は、シートパイルの打設深さが浅い場合に大きく、打設深さが深くなると減少した。

地盤内に伝達した振動加速度の鉛直及び水平成分を調べた結果、振動の鉛直成分が 100~300 gal の場合に以下の傾向がみられた。①地盤表面から 1 m の深さでは水平成分が鉛直成分に比べて幾分大きい。② 2 m の深さでは鉛直成分と水平成分がほぼ同じ大きさとなる。③ 3 m の深さでは水平成分が鉛直成分に比べて小さい。地盤表面から深さが増すとともに、水平成分の振動が減少する傾向が見られた。

シートパイル打設時の振動の卓越周波数は 10~20 Hz である。鉛直成分の振動加速度が 100~300 gal の場合における振動振幅は 0.1~

0.8 mm 程度となる。

今回の実験では、7本のシートパイルを打設したが、計測された振動加速度の大きさには、ばらつきが見られ、一部にかなり大きな振動も計測されていた。この原因としては、複数のシートパイルを続けて打ち込んでいるために地盤の状態が変化し、必ずしも同じ状態での実験が繰り返されていないためと、地盤内に部分的に存在する岩石などとパイルが接触したことなどによることが考えられる。

3) 掘削時にシートパイルに作用する土圧は、掘削の進行に伴って減少する傾向が見られ、その傾向は深さ3mの位置の土圧において顕著であった。

掘削終了後にシートパイルに作用した土圧分布形状と日本建築学会の設計基準によるものを比較したところ、実験結果は設計基準に示されている二つの分布形状の中間的な形状であった。しかし、実験結果として示した土圧分布は、初期土圧分布がランキン理論に従うと仮定して、掘削に伴う土圧の変化量を加算して算出したものであるため、実際の掘削後の土圧分布は計測しておらず、単純には比較することができない。

また、土圧の合力は実験結果の方がかなり小さかった。これらの原因としては、上記に示した、掘削前の初期土圧分布を計測していないために、実際に掘削後のシートパイルに作用した土圧が不明である理由の他に、シートパイルの打設時に地盤が乱されて、地盤とシートパイルの密着の程度が少なくなり、発生した土圧の全てがシートパイルに作用していないことなどが考えられる。

今回行った掘削実験は、全実験行程が比較的短期間であり、長期的な観測を行っていないため、本実験の有効性については早急に議論することはできない。長期的な観測を行った場合には、打設によって乱された土の強度は回復するために、ある程度の土圧は計測できた可能性があると考えられる。これらの振動がどの程度地盤の強度に影響を与えるかは今後検討を行っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 豊澤康男・堀井宣幸・玉手 聡：溝掘削工事中の土砂崩壊による死亡災害の発生状況，第28回土質工学研究発表会講演集，pp143-146，1993.
- 2) 田中康裕・伊藤芳朗・石井栄一・竹村 進：車輛の通行，建設機械の操作により生じた地盤・家屋の振動，関東学院大学工学部研究報告，pp23-36，1991.
- 3) 長 健次・境 友昭・大日野 弘：建設振動の発生機構及び影響予測に関する研究，騒音，振動の防止及び評価に関する総合研究，環境庁企画調整局環境研究技術課発行，97-1-11.
- 4) 花里利一・岸田英明：建設振動に関する研究，その1 杭打ちによる地盤振動に関する解析，第25回土質工学研究発表会講演集，pp923-924，1990.
- 5) 山口一生・石川 昭：建設作業時における地盤振動の伝播特性，日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集，pp413~416，1986.
- 6) 南 茂夫：科学計測のための波形データ処理，CQ出版社，1992.
- 7) 小林芳正：建設における地盤振動の影響と防止，鹿島出版会，1976.
- 8) 村松敏光：建設機械の振動診断の技術開発，日本建築学会環境工学委員会環境振動運営委員会資料，pp15~20，1991.
- 9) Y. Toyosawa, N. Horii, S. Tamate, S. Hanayasu & S.K. Ampadu: Deformation and failure characteristics of vertical cuts and excavation in clay, CENTRIFUGE 94, ISSMFE, pp663~669, 1994,
- 10) 河上房義，土質力学，pp87-93，1967，森北出版.
- 11) 堀井宣幸，吉久悦治：軟弱地盤における荷重沈下特性（関東ロームの場合），労働省産業安全研究所特別研究報告，RIIS-SRR-84-1，pp7-18，（1984）.

（平成7年2月20日受理）