

# オーガー掘削施工中の リアルタイム地層判定手法の開発

古屋 弘<sup>1</sup>・伊藤 不二夫<sup>2</sup>・串間 正敏<sup>3</sup>・三田地 利之<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 (株)大林組 土木技術本部 (〒108-8502 東京都港区港南2-15-2品川インターシティB棟)

<sup>2</sup>(株)大林組 土木技術本部 (同上)

<sup>3</sup>正会員 工修(株)大林組 土木技術本部 (同上)

<sup>4</sup>フェロー会員 工博 北海道大学大学院 工学研究科 教授 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

オーガー掘削機を用いて各種杭の施工や地中連続壁の造成を行う場合、それらの打設深度は重要な施工管理項目である。通常これらの施工においては、事前のボーリング調査結果に基づき施工エリアの土層を推定し、この土層ラインに従い杭または地中連続壁の打設長および根入れ長を決定している。

本研究では、基盤の傾斜がある場合や地層構成が複雑な場合でも、客観的で高精度な施工管理を行う手法を開発する目的で、オーガー掘削機による削孔中の振動に着目し、これを利用して地層の変化を判定する手法を提案し、その現場実証実験を行った。実験の結果、硬軟が明瞭な地層構成の場合、オーガー掘削機の振動測定を行うことによりリアルタイムな地層境界の判定が行える可能性があることを示した。

**Key Words :** construction management, vibration, monitoring on site, excavation, sounding

## 1. はじめに

オーガー掘削機は低騒音・低振動工法である利点を生かし、杭の打設や地中連続壁の施工に数多く用いられている。これらの施工時における重要な管理項目の一つに、杭または壁体長を含んだ根入れ長があげられる。この根入れ長は支持力や遮水性に直ちに反映されるため、設計時には事前のボーリング柱状図や各種探査結果を用い慎重に地層ラインを推定した結果に基づき決定されるが、地層が複雑な場合や同一の地層でもその強度にばらつきが大きい場合、事前の想定には限界がある。このような場合においては十分な安全率を見込んだ設計を行うとともに、施工時において、オーガー引上げ時の先端部に付着している土砂の目視確認<sup>1),2)</sup>、さらに掘削速度を一定に保ってオーガーのモーターの電流(電力)値による管理<sup>3)~5)</sup>を行う場合が多い。しかし、特に後者の手法においてはオーガーの周面摩擦に起因するトルクの増大も含んだデータとなるため、必ずしも削孔中の先端部分の情報を捉えていない可能性も否定できない。

今回、筆者らは上記の問題点を解決し、精度の高い施工管理を行う手法を提案するために、オーガー掘削機による着岩深度を施工中に掘削機本体で確認できる手法を開発し、その実用性に関する基礎調査

を行うことを目的として現場実験を実施した。本論文はこれらの結果、およびリアルタイムな地層判定手法に関してまとめたものである。

## 2. 試験概要

### (1)試験目的

試験場所は、沖縄県糸満市において施工されている地下ダム建設工事エリアで、ダムの遮水壁は柱列式地中連続壁(SMW)により施工を行った。ダム本体は透水性の高い琉球石灰岩層(透水係数  $k=10^0 \sim 10^2 \text{cm/sec}$ )を貫き、不透水層である知念砂岩層( $k=10^{-5} \text{cm/sec}$ 以下)に根入れされるため、この根入れを施工中に判定することが課題となっていた。

施工においては20mピッチのボーリングデータを基に想定岩着面を設定し施工深度を決定していたが、今回の試験は、オーガー掘削機の施工中に発生する振動に着目し、これを利用した岩着深度のリアルタイムな確認手法を開発するための基礎調査であった<sup>6),7)</sup>。

地下ダム工事区域の平面および断面図を図-1に、試験場所の削孔地点付近のボーリング柱状図を図-2にそれぞれ示す。

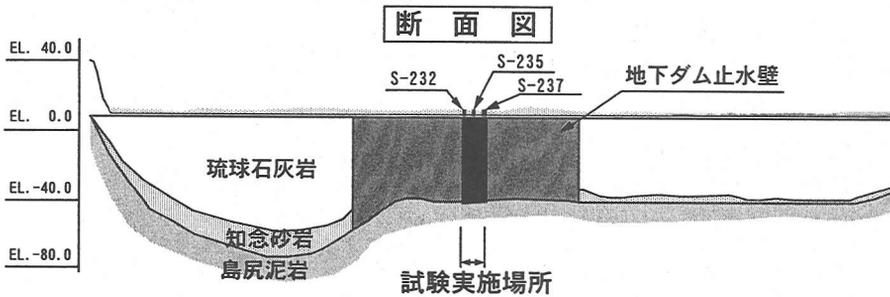
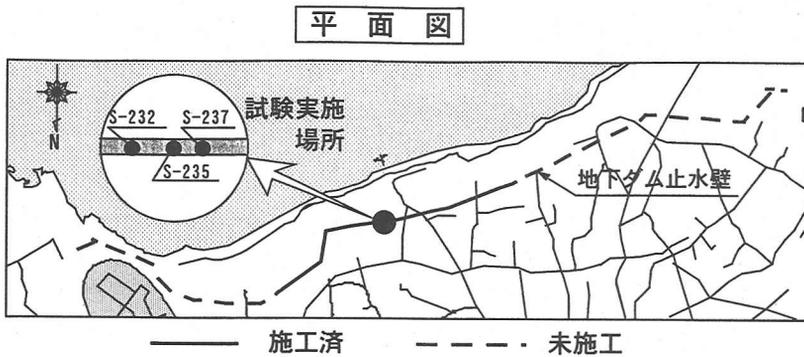


図-1 試験位置平面・断面図

表-1 使用センサー

計測地点	センサー名	測定範囲	周波数特性
オーガーロッド3成分	衝撃波形記録計	155dB (60G)	0.2~100Hz(-3dB)
リーダー底部3成分	加速度ピックアップ	80~190dB (0.01~3,000G)	1~3,000Hz
地表面3成分	公常用振動レベル計	38~120dB	1~90Hz

表-2 計測概要

計測地点	サンプリング時間間隔 (dt)	データ数	測定開始時間間隔
オーガーロッド	1 ms	1,024	60 sec
リーダー底部		8,192	
地表面			

標高 (m)	深度 (m)	R Q D	岩種区分
9.4	0.7		表土
8.2	1.25		
			石灰質砂岩
3.7	6.4		
2.6	7.5		
1.2	8.9		
0.5	9.6		
			サンゴ石灰岩
-0.9	11.0		
-1.5	11.8		
			石灰質球石灰岩
-2.5	12.6		
-3.2	13.3		
			有孔虫石灰岩
-4.9	15.0		
			石灰質球石灰岩
-6.8	16.9		
-8.0	18.1		
			砂質石灰岩
-9.1	19.2		
			石灰質球石灰岩
-12.5	22.6		
			知念砂岩
-14.4	24.5		
			知念砂岩
-18.9	29.0		
			知念砂岩
-25.0	35.1		
			知念砂岩
-28.9	39.0		
			知念砂岩
-34.6	44.7		
			知念砂岩
-36.9	47.0		

図-2 ボーリング柱状図

(2)試験項目

試験は以下の項目について行った。

i)前試験

①暗振動の測定：先行削孔機本体のエンジン作動時の振動測定（オーガーは停止状態）および減速機駆動時（常設オーガーロッド空回り状態）の振動測定

②振動センサーの適性調査

ii)本試験

試験は地盤調査地点近傍のケーシング削孔にて、S-232,S-234,S-235,S-233,S-237（削孔順）の全5孔実施し（図-1参照），その中でデータ中に含まれるノイズおよび欠損の無い3孔（S-232,S-235,S-237）の先行削孔時における地盤の切削振動データの収集

を行った<sup>6)</sup>。また，通常施工時に計測管理されている削孔時刻，深度，オーガーロッドおよび減速機の吊り荷重，負荷電流値については，オーガー掘削機の管理システムによりデータを収集した。

なお，今回の施工においては地表面付近の孔壁崩壊防止のためケーシング削孔を行っている。このため今回の実験における削孔・計測深度はケーシング削孔以深でGL-20.0~-45.1mであった（オーガー掘削機の作業床が標高+4.0mであるから削孔深度は標高-16.0~-44.1mとなる）。

iii)比較試験

本試験で収集したデータのうち，オーガー先端における掘削振動以外の孔壁摩擦等による振動の影響を除去することを目的として，本試験3孔のうち

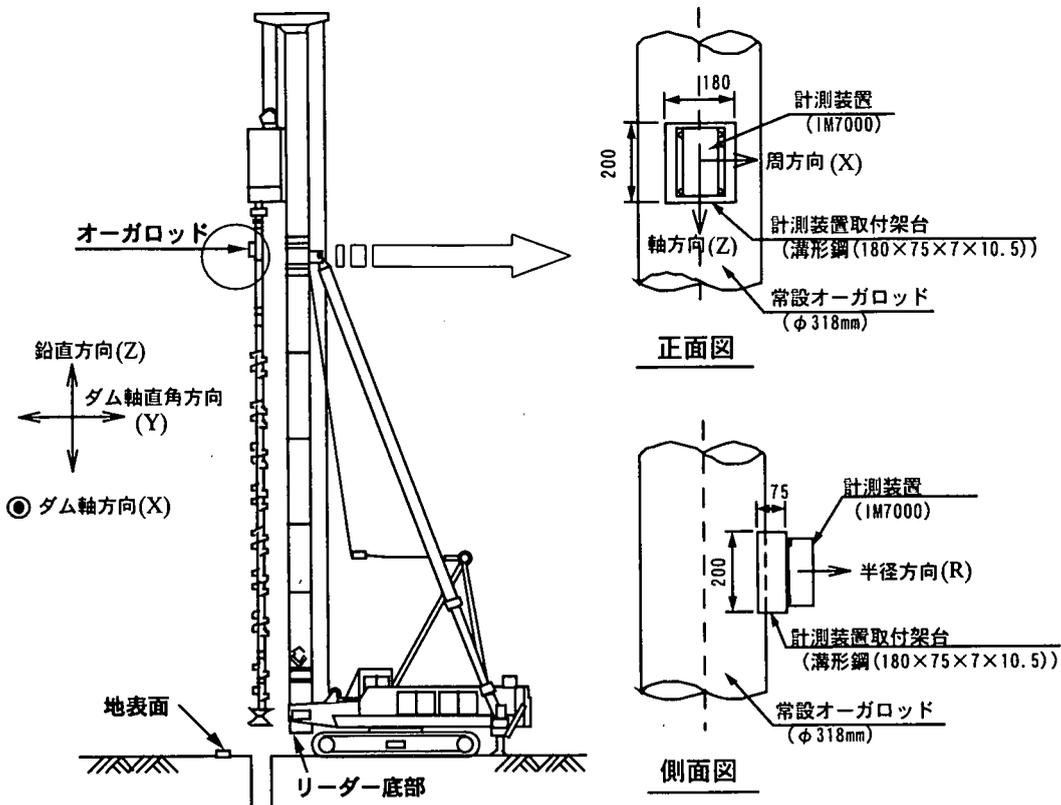


図-3 計測器設置位置図

S-235,S-237 の 2 孔について、本試験後オーガロッドを引き上げて再削孔を行い、振動データを収集した。再削孔深度は標高-26.0～-31.0m とした。

### (3)計測器

計測に使用したセンサーを表-1 に、計測器の設置位置を図-3 に示す。

今回の計測では、図-3 に示すように、オーガロッド（オーガ軸方向(Z), 周方向(X), 半径方向(R)）、リーダー底部すなわち掘削機本体（ダム軸直角方向(Y), ダム軸方向(X), 鉛直方向(Z)）、地表面（ダム軸直角方向, ダム軸方向, 鉛直方向：記号はリーダー底部と同じ）の 3 地点においてそれぞれ加速度 3 成分を計測した。

### (4)計測データ

本試験開始前に、従来のオーガ掘削機管理システムにより計測される削孔深度データと対応させるため、管理システムと試験装置の内蔵タイマーを合わせ、解析時に計測データとの照合を行った。計測は 1 分間ごとに試験終了まで全計測地点（3 地点各 3 成分データ）で行った。各計測地点とサンプリング時間間隔、データ数を表-2 に示す。

## 3. 試験内容および試験結果

### (1)暗振動時のフーリエスペクトル

先行削孔機本体の振動特性が計測に与える影響を調べるため、エンジン作動時（オーガは停止状態）と減速機駆動時（常設オーガロッド空回り状態）をそれぞれ計測した回数で平均化したフーリエスペクトルを求めた。解析結果を図-4, 5 に示す。

解析結果より、減速機駆動時には、200Hz, 400Hz, 500Hz のピークがオーガロッド周(R)方向に発生している。これは減速機回転に伴うモーター並びに駆動装置の周波数であると考えられる。しかし、減速機の駆動状態に関わらず、オーガロッドでは軸(Z)方向の低周波数帯を除いて振幅が非常に小さいことがわかった。また、リーダー底部ではエンジン作動時に 10Hz, 30Hz 付近でそれぞれピークが発生し、オーガロッド空転時にはさらに 20Hz 付近にピークが発生している。さらに、地表面ではすべての成分で 60Hz 付近にピークが見られるが、その振幅は他の計測位置に比較して 1/1000 と非常に小さい。

これらの結果より、今回の解析においては各計測器、および各成分の 200Hz 以下の周波数において振幅が最大 1.5gal・sec（オーガロッド部：オーガ

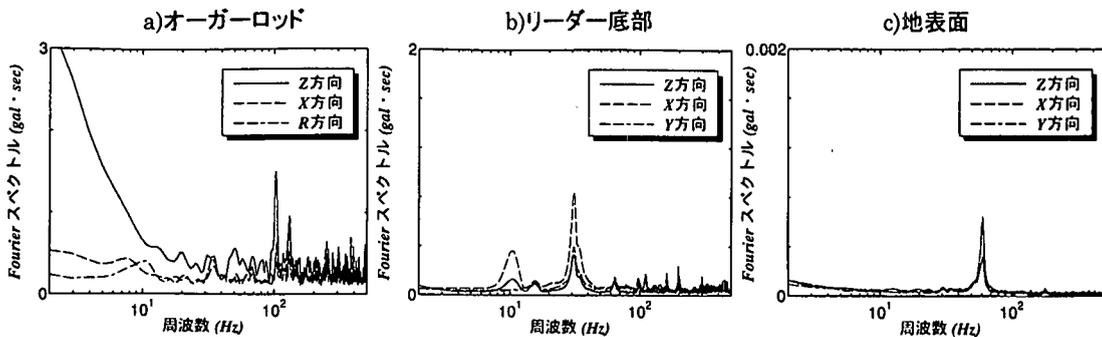


図-4 エンジン作動時のスペクトル（オーガーロッド未回転）

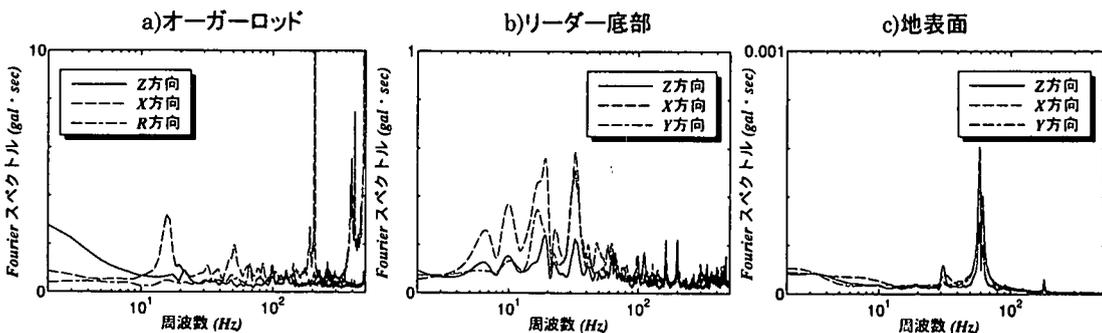


図-5 減速機駆動時（オーガーロッド空転）のスペクトル

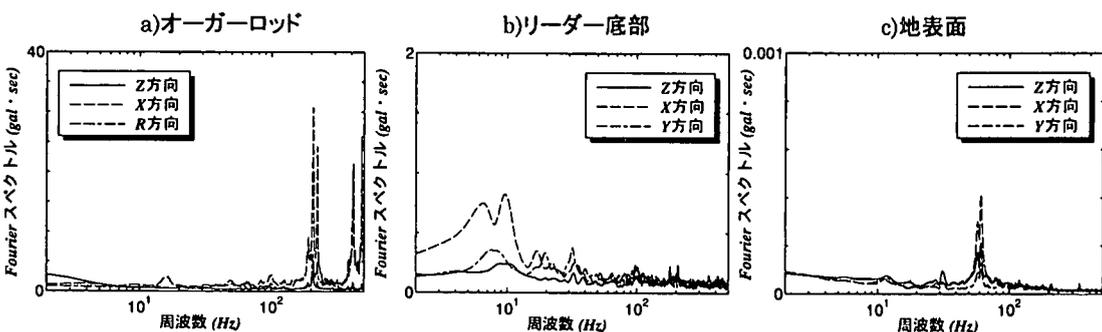


図-6 再削孔時のスペクトル（石灰藻球石灰岩）

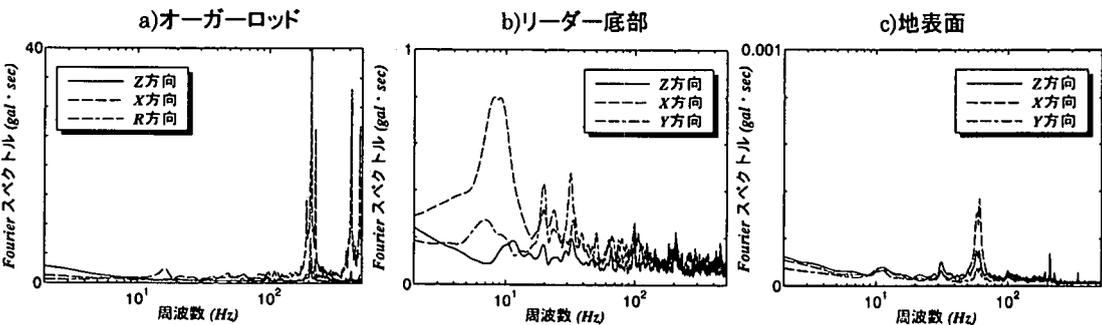


図-7 再削孔時のスペクトル（砂質石灰岩）

一停止時）と小さかったため、計測データの補正は行わなかった。

## (2)再削孔時のフーリエスペクトル

オーガー先端部からの振動以外、すなわち削孔時

の孔壁周面からの振動の影響を調査する目的で、いったん削孔が終了した孔に再削孔を行い、各地層ごとに平均化したフーリエスペクトルを求めた。なお今回の再削孔時の試験は、削孔深度が標高-26.0～-31.0mの石灰藻球石灰岩と砂質石灰岩層のものであ

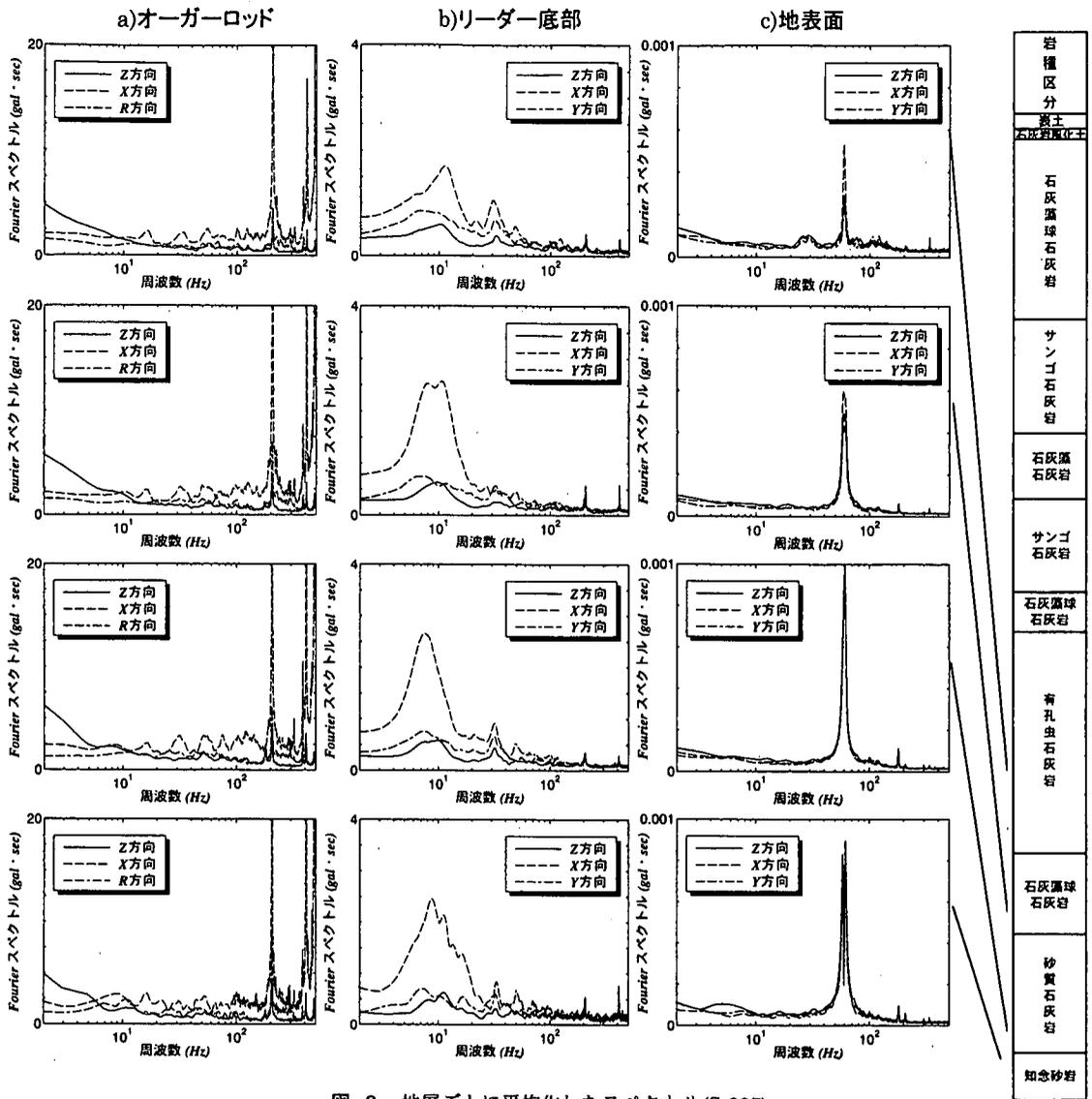


図-8 地層ごとに平均化したスペクトル(S-237)

る。

試験の結果は図-6, 7に示すが、再削孔時のフーリエスペクトルの特徴は暗振動（オーガー空転）時とほぼ同様で、リーダー底部の低周波数帯で振幅が若干大きくなる程度であった。また、オーガーロッドでは200Hz付近にピークが現れるが（駆動装置の固有振動数であると考えられる）、今回の解析データはこの影響を受けない主として100Hz以下を対象としており、この周波数帯域のオーガー周囲の（孔壁崩壊等による）摩擦による振動の影響は少ないと判断された。ただし、暗振動データや再削孔時の振動特性の考慮は、対象地盤によっては計測精度の向上や、イニシャルデータとしての活用には有用であると考えられる。

### (3) 削孔時の地層別フーリエスペクトル

ボーリング柱状図（図-2）に基づき、計測した振動データと地層の関係を検討するために、各地層ごとに平均化したフーリエスペクトルを求めた。結果を柱状図とあわせ図-8に示す。

各地層ごとに平均化したフーリエスペクトルの結果から、オーガーロッドについてはフーリエスペクトルが軸(Z)方向、周(X)方向、半径(R)方向共に200Hz, 400Hz, 500Hz付近で卓越する場合が多く見られた。この特徴は再削孔時の場合と同様の傾向であり、この卓越周波数は削孔以外の影響、即ち減速機の固有振動数による成分であると思われる。また、軸(Z)方向で周波数が低くなるほど大きな振幅になる傾向があったが、これも再削孔時に同様の傾向が

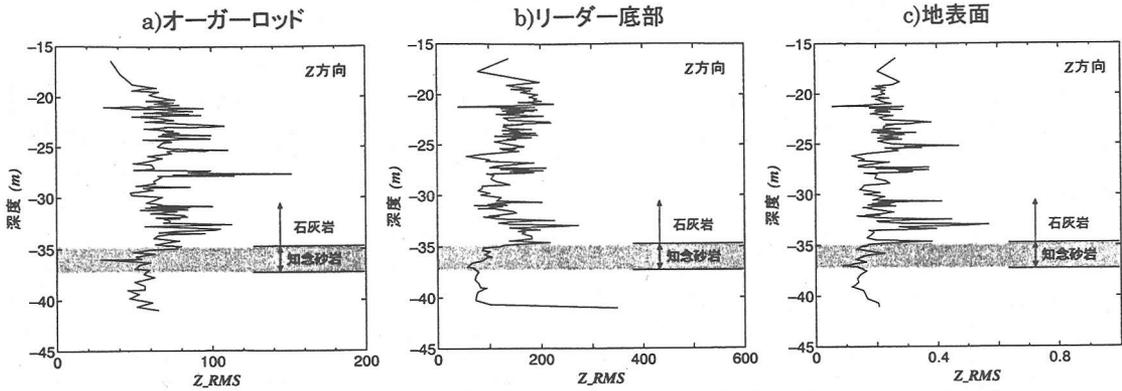
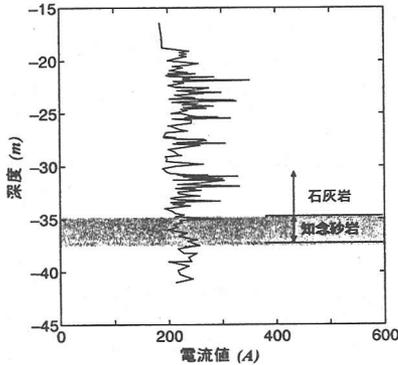


図-9 波形の実効値 ( $Z_{RMS}$ ) の深度分布 (S-237)

電流値



吊り荷重

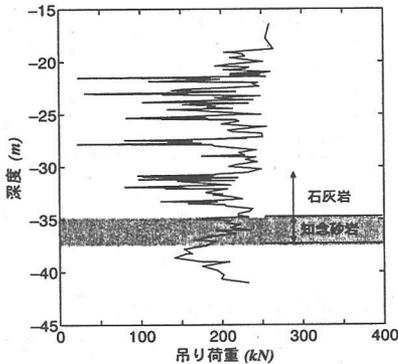


図-10 電流値と吊り荷重(S-237)

に相当する波形の二乗平均平方根を深度方向に連続でまとめ整理した<sup>7-9)</sup>。鉛直成分波形の二乗平均平方根をとった実効値 ( $Z_{RMS}$ ) の定義を以下に示す。

$$Z_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \{f(t_i)\}^2}$$

$n$ : ある深度における計測データ数 (1024)  
 $f(t_i)$ : 計測された加速度の鉛直(Z)成分 (gal)

図-9に解析結果を示すが、各計測データとも知念砂岩において上記で定義したパワーがそれより上部の石灰岩層よりも低下しており、これらの中でも特にリーダー底部の波形の実効値 ( $Z_{RMS}$ ) からは、知念砂岩とその上部の石灰岩層を区分できる可能性が高いことがわかった。

(4)従来型管理システムデータの検討

従来のオーガー掘削機管理システムにより計測されるオーガーロッドの吊り荷重、およびオーガーの電流値とボーリング柱状図とを対比した。

一般的には削孔速度が一定の場合、削孔中の地盤の硬度が高くなるにつれオーガーロッドおよびモーターを吊っている荷重は比例的に減少し、電流値は増加する傾向があるはずである。しかし、今回は図-10に示すように上層部の石灰岩層が硬質で、多孔質(不均一)であることや、削孔深度が大きくオーガーの荷重および周面摩擦等の影響から、これらのデータからは地盤を判定する材料とはならないことがわかった。

(5)地層別スペクトルの周波数帯域別振幅

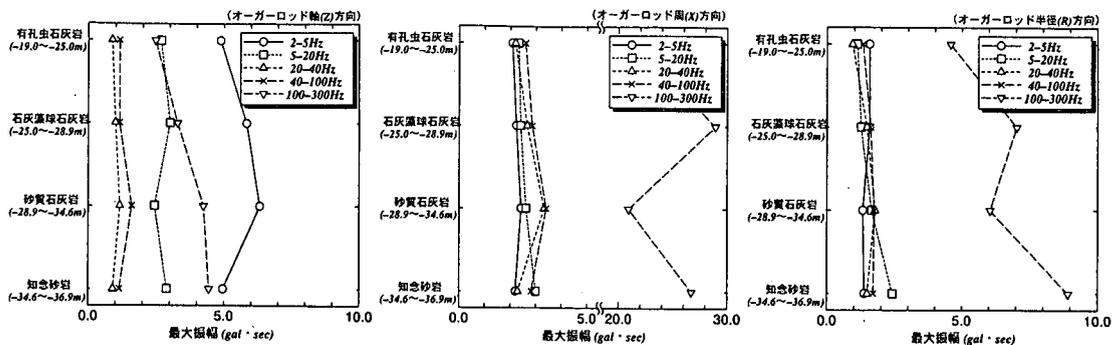
各地層ごとにスタッキング(平均化)したフーリエスペクトルから一定の周波数領域(2~5Hz, 5~20Hz, 20~40Hz, 40~100Hz, 100~300Hz)での振幅を求め、各地層との関係をプロットした。解析結果を図-11に示す。

見られるため、地層による特徴とは関係がないものと考えられる。また、リーダー底部については、10Hzと30Hz付近に、地表面については、再削孔時と同様に60Hz付近でピークが発生するだけであり、その値も同様に小さかった。

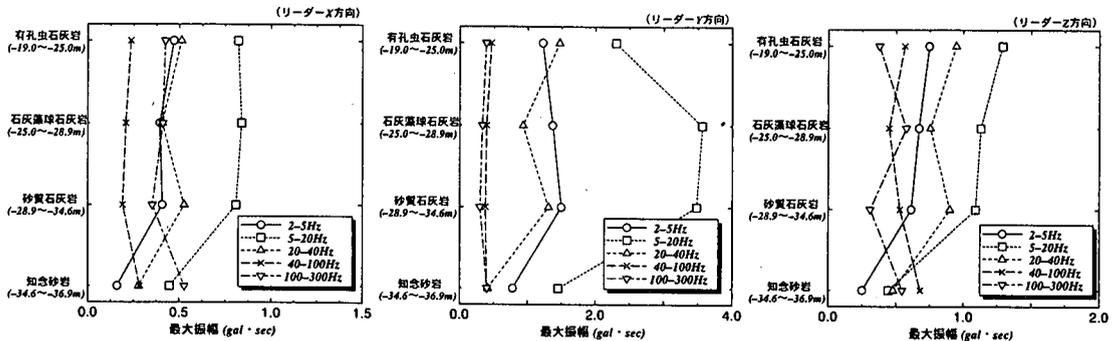
以上の結果より、各地層の平均スペクトルからだけでは地層判定に関しての有意な判断情報を得ることはできなかった。

そこで、孔別の各計測地点において鉛直成分の計測データに関して、振動のエネルギー(全パワー)

a) オーガーロッド



b) リーダー底部



c) 地表面

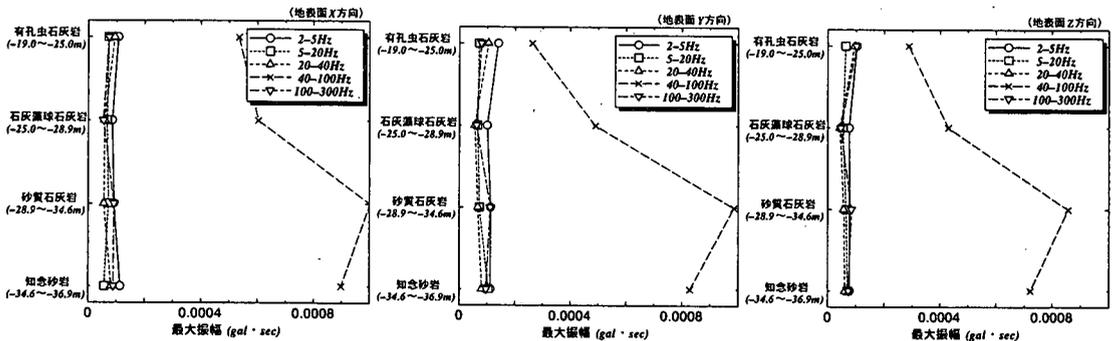


図-11 周波数帯域別振幅と地層の関係(S-237)

地層ごとに平均化したフーリエスペクトルの周波数帯域別の振幅と地層の関係からは、オーガーロッドの3成分および地表面で測定した40~100Hz以外の3成分は、いずれの周波数帯においても地層との関連は見られなかった。しかし、リーダー底部については、2~5Hz(-○-)、5~20Hz(-□-)、20~40Hz(-△-)の範囲において3成分どの孔番号についても知念砂岩で最大値が低下する結果となった。この傾向は特に鉛直成分で顕著に現れている。表-3に各孔における地層ごとの周波数帯域別振幅の平均値をまとめるが、知念砂岩ではすべての孔において振幅の平均値が石灰岩層よりも小さくなり、さらにそのばらつき(標準偏差)も小さくなっている。特に鉛直成分のデータに関して顕著である。リーダー底部

での振幅と削孔深度の関係から、各地層においてその地層間で削孔深度が深くなると振幅が減少するといった影響は見られない。むしろ、知念砂岩に達した段階で振幅が減少、若しくはばらつきが少なくなる傾向が見られる。このことから、2~5Hz、5~20Hz、20~40Hzの各周波数帯域に対して振幅の特徴を観測することにより、地層の判定を行える可能性が高いことがわかった。

なお、地表面で測定した40~100Hzのデータに関しては、計測された振幅の値が小さく今回は判定データとして利用しなかったが、最大振幅の地層ごとの平均値がどの成分も似たような傾向を示しており、データの利用に関しては考察の余地があるものとする。

表-3 地層別フーリエ振幅の平均値と標準偏差

方向	周波数区分 地層	2~5Hz		5~20Hz		20~40Hz		
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
S-232	鉛直方向	有孔虫石灰岩	0.72	0.44	0.96	0.45	0.55	0.24
		石灰藻球石灰岩	0.70	0.38	1.08	0.54	0.58	0.23
		砂質石灰岩	0.73	1.08	0.91	0.60	0.56	0.22
		知念砂岩	0.23	0.18	0.39	0.33	0.33	0.17
	斜め方向	有孔虫石灰岩	1.06	0.57	2.28	1.05	1.23	0.53
		石灰藻球石灰岩	1.56	0.99	3.84	2.31	1.08	0.60
		砂質石灰岩	1.29	0.72	3.30	1.36	1.11	0.55
		知念砂岩	0.89	0.58	2.02	1.41	0.76	0.16
	鉛直方向	有孔虫石灰岩	0.92	0.59	1.38	0.66	1.18	0.53
		石灰藻球石灰岩	0.81	0.50	1.38	0.73	1.00	0.42
		砂質石灰岩	0.71	0.36	1.08	0.44	0.97	0.42
		知念砂岩	0.20	0.11	0.54	0.51	0.46	0.27
S-235	鉛直方向	有孔虫石灰岩	0.50	0.22	1.02	0.49	0.50	0.24
		石灰藻球石灰岩	0.44	0.25	1.04	0.46	0.54	0.28
		砂質石灰岩	0.48	0.33	0.94	0.41	0.56	0.35
		知念砂岩	0.24	0.10	0.57	0.13	0.34	0.09
	斜め方向	有孔虫石灰岩	1.24	0.71	2.25	1.15	1.21	0.61
		石灰藻球石灰岩	1.64	0.84	3.61	1.61	1.04	0.50
		砂質石灰岩	1.65	1.09	4.13	2.02	1.29	0.68
		知念砂岩	1.19	0.46	2.29	0.86	0.75	0.14
	鉛直方向	有孔虫石灰岩	0.71	0.39	1.44	0.67	0.98	0.53
		石灰藻球石灰岩	0.66	0.38	1.34	0.57	0.99	0.58
		砂質石灰岩	0.64	0.45	1.13	0.55	0.89	0.51
		知念砂岩	0.26	0.14	0.64	0.18	0.42	0.09
S-237	鉛直方向	有孔虫石灰岩	0.47	0.25	0.82	0.40	0.51	0.48
		石灰藻球石灰岩	0.39	0.22	0.84	0.36	0.41	0.11
		砂質石灰岩	0.41	0.22	0.81	0.38	0.53	0.24
		知念砂岩	0.16	0.11	0.45	0.21	0.28	0.13
	斜め方向	有孔虫石灰岩	1.22	0.69	2.30	1.26	1.47	1.89
		石灰藻球石灰岩	1.37	0.71	3.56	1.56	0.93	0.32
		砂質石灰岩	1.49	0.79	3.48	1.53	1.31	0.70
		知念砂岩	0.78	0.63	1.45	0.97	0.41	0.20
	鉛直方向	有孔虫石灰岩	0.75	0.43	1.30	0.61	0.95	0.64
		石灰藻球石灰岩	0.67	0.35	1.13	0.55	0.76	0.27
		砂質石灰岩	0.61	0.36	1.09	0.54	0.90	0.42
		知念砂岩	0.25	0.14	0.44	0.24	0.48	0.23

(単位: gal·sec)

#### 4. フーリエスペクトルの連続データを用いたリアルタイム地層判定の試み

以上の結果より、リーダー底部における鉛直成分の40Hz以下のスペクトルデータが地層判定に有効である可能性が高いことがわかったが、以下これをさらに検証し、削孔中の各データを解析することにより地盤の相対的な判定が可能であるかを検討する。

図-11の結果をもとに、S-232、S-235、S-237の3孔について2~5Hz、5~20Hz、20~40Hzの各周波数帯域における振幅の平均値を図-12に示す。各周波数帯とも知念砂岩で振幅がそれより上部の石灰岩層に比べ半減していることがわかるが、石灰岩同士の差異は明確でない。しかしながら、今回の地層判定の目的（不透水層への根入れ管理）である知念砂岩層へのオーガー先端の到達状況は十分判定できるものと考えられる。

この結果を基にS-232孔に関して計測した全デー

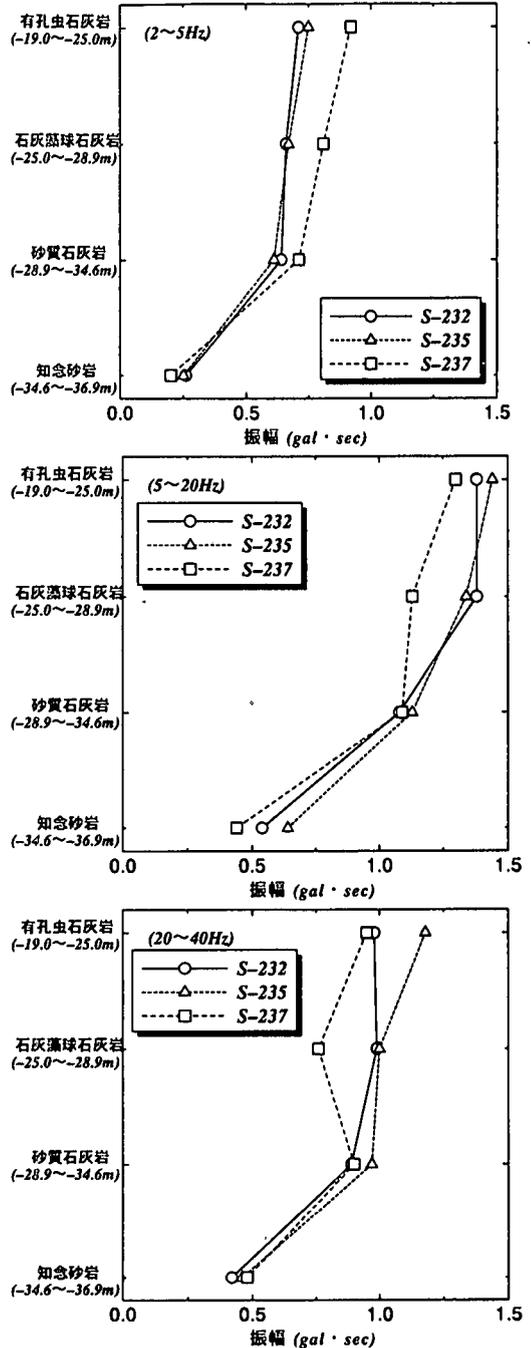


図-12 リーダー底部周波数帯域別振幅

タを解析し、リアルタイムでの地層判定の行える可能性に関して検討を行った。削孔中のリアルタイムな地層判定を行う場合を想定して、リーダー底部で計測した鉛直成分全データを2~5Hz(○)、5~20Hz(□)、20~40Hz(△)の周波数帯域でのおおの振幅の最大値を抽出し、結果をデータレコード(1分ごとの計測データ)順にプロットし、さらに各2レコ

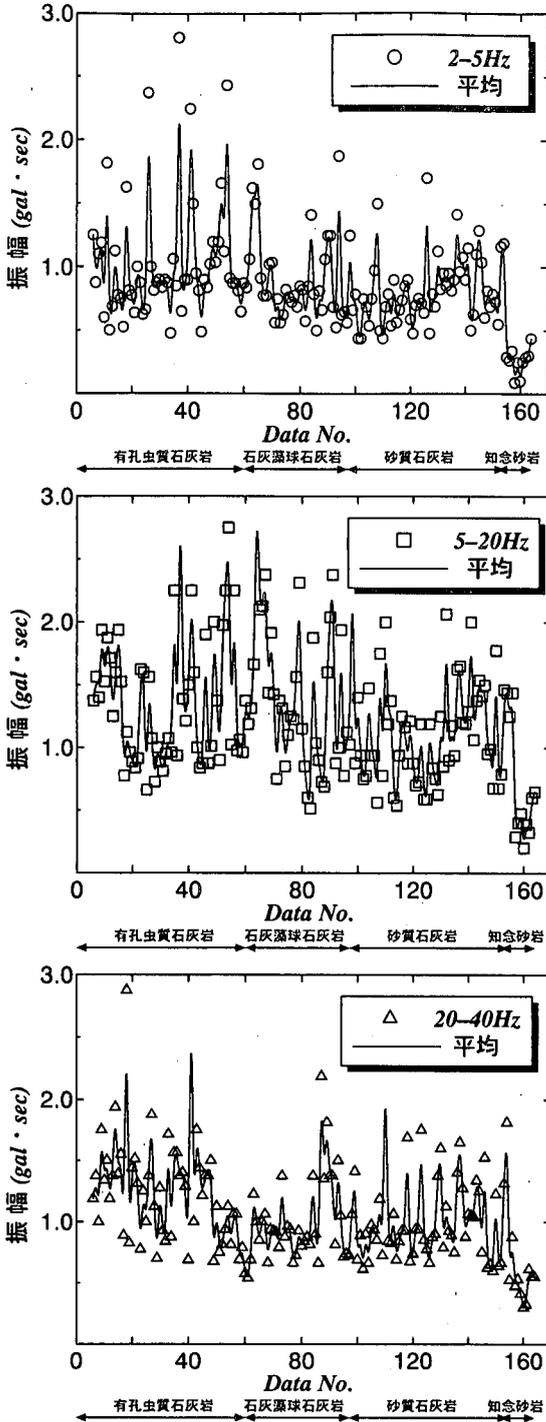


図-13 リーダー底部全データ振幅  
(最大値)と移動平均(S-232)

ード毎の移動平均(図中の実線)を示したものを図-13に示す。このグラフからも明らかに各周波数帯域において、石灰岩層に対する知念砂岩層の振幅の低下が認められ、その値は各周波数帯域とも石灰岩

層における振幅の下限値と比較しても1/2以下となり、図-9に示した波形の実効値( $Z_{RMS}$ )による判定よりもさらに明確な差異となってあらわれている。

以上の結果より、40Hz以下のスペクトルデータの周波数帯域別振幅が地層判定の手掛かりとして有効であり、このデータを相対比較することにより、リアルタイムな地層判定が行える可能性の高いことがわかった。

## 5. まとめ

今回の計測結果では、リーダー底部における鉛直成分のスペクトルデータの振幅を相対比較する手法が地層判定に有効である可能性が高いことがわかった。この理由に関して以下に考察した結果をまとめる。

### (1) 振動源

オーガー掘削機の振動源は上部の回転および推進装置(オーガー減速機部分)、掘削先端(オーガーの先端)、エンジンの3ヶ所である。今回の実験にあたり、各振動センサーは最も近い振動源の影響を受けるものと予想し、その影響に関して暗振動のデータを計測し検討を行った。

エンジンの振動に関しては、エンジンは振動減衰装置上にマウントされ、振動は大幅に吸収されているため、リーダー底部におけるその振幅の絶対値は小さくなったものとする。また、減速機の影響に関しては、オーガーロッド部で減速機駆動時に周(R)方向に200Hz付近の卓越振動数(駆動装置の固有振動数)を示しているものの、その振動はオーガーロッドがクローラー本体から固定装置(振動減衰機能あり)とワイヤーで懸架されているため、振動の高周波成分の多くがここで吸収され、他の計測点に伝搬しなかったものと考えられる。

### (2) 振動の伝搬経路

オーガー先端からの切削振動は、ロッドを伝搬するものと、地盤中を上昇してくるものに分かれると当初推定した(このことを考慮して、今回は地表面での加速度の計測も行った)。このうち計測データの解析結果から、今回有効なデータとして着目したリーダー底部での振動は、主としてロッドを伝搬してくるものであると考える。なお掘削機全体は、その形状および構造から削孔中はオーガー掘削機全体

が1つの系としてみなされ、その系が地盤から立ち上がった振り子のように振動しているものと考えられる。

### (3)各計測点での振動

ロッド部では、計測器の設置場所から考えて、ロッドを伝搬してくる先端部の振動に増して掘削装置（減速機）の振動が主体となり、さらに測定点が一般に高い位置にある（削孔が進むにつれ低くなる）ので、振り子のようにゆっくり揺れ、固有振動が大きくでている可能性が高い。図-4、5にてオーガーロッドの20Hz付近でピークが現れていたのはこのためである。また、ロッド自身が振り子の役割をしている可能性もある。

リーダー底部では、前述したようにエンジンの振動および減速機の振動は高周波成分が吸収され、地盤からの振動とロッドから伝搬してくる振動が混在しているものと考えられる。さらに、低い位置にあるので系（掘削機全体）の振動も少ない。

地盤上では、理論的には最もオーガー先端からの振動を計測しやすいものと考えられるが、後述の通り、今回設置した位置とセンサー感度の関係から地層判定に用いることのできるデータは得ることができなかった。

### (4)実測振動の比較

今回の実験においては、オーガーロッド部では各土層において減速機の固有振動数である200Hz付近とその $n$ 倍の高周波成分が卓越し、100Hz以下の低周波成分に関しては土層間の明確な違いは表れなかった。これに対してリーダー底部では各振動発生源からの高周波成分の影響はほとんど受けず、40Hz以下に特徴あるスペクトルが確認された。

今回の実験では、40Hz以下の振動データの中に地層判定に対し有効な情報が含まれていることがわかったが、より直接振動を拾い得るオーガーロッド部の計測データにこの周波数帯域の特徴があらわれなかった理由としては、特に2Hz~40Hz付近において系の振動に強く影響され、この成分が邪魔をして有効な地盤からの振動成分が見えなかったものと考えられる。ただし、今回の計測においてオーガーロッド部は他の計測地点のデータ量に比べ1/8のデータ量であったことも考慮する必要はあると考える。

さらに、地表面データではオーガーの回転に起因すると思われる60Hz付近のピークが観測され、地層毎の差異もある程度あらわれていたが、計測されたデータは振動発生源（オーガー先端の切削部と考

えられる）から計測点に到達する間にかなり減衰されており、今回の地層判定に対しては解析から除外した。

### (5)計測手法に関する結論

以上の点を考慮すると、掘削機の運転中の固有振動数（200Hz付近）を考慮しなくてもよい点も含め、40Hz以下のリーダー底部における鉛直成分のスペクトルデータの振幅を相対比較する手法が地盤の判定に有効であると考えられる。これは地盤の硬軟に対してオーガー掘削機が一つの系として反応する状態を鉛直方向の振動の変化として捉えているものと考えられ、さらに計測器設置の面からも、機械本体の運転室付近にセンサーや計測システムを設置することができ、データ収集やメンテナンス上も有利である。

今回の試験およびデータ解析により、琉球石灰岩とそれ以深に存在する知念砂岩との地盤種別は明確に区分判定することができた。各種の杭や地中連続壁の施工に伴うオーガー掘削などの場合、当然ながら、当該現場について事前に地盤調査が実施され、地層構成が把握されている。したがって、本論文に示したオーガー掘削機の振動測定に基づく地層判定の手法は、地盤情報の存在が前提になっており、杭や連続壁の支持層（今回の場合は不透水層）を施工中に確認しながら工事を進める上で、事前の地盤情報によって支持層として期待した層までのオーガー掘削の到達を、地層の硬軟の変化によってリアルタイムに確認することをめざしたものである。

今回の試験では、琉球石灰岩と知念砂岩という特定の地盤が対象であったが、試験結果から判断すると、他の地盤種別であっても、硬軟の明瞭な地層が対象であれば、オーガー掘削機の振動測定によって地層境界のリアルタイムな判定が可能になると考えられる。対象となる硬軟それぞれの層の地盤種別や層厚が振動測定結果に及ぼす影響など検討すべき課題は多いが、今後のデータの蓄積によって、この手法の有効性を検証していきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV下部構造編，1996.12.
- 2) (社)コンクリートパイル建設技術協会：プレボーリング工法設計・施工指針（案）一土木編一，1991.1.

- 3) 基礎構造物の限界状態に関する研究委員会：V 施工・品質管理ワーキンググループ滑動成果報告，基礎構造物の限界状態設計法に関するシンポジウム発表論文集，pp.114～117，1995.5.
- 4) 青木 一二三：土木における埋め込み杭の設計と施工，基礎工 Vol.26, No.2, pp.24～30, 1998.
- 5) 小栗 利宏：埋込み杭の新しい施工管理手法の提案と適用，基礎工 Vol.26, No.2, pp.102～106, 1998.
- 6) 今成 康忠，戸田 完一，伊藤 不二夫，疋田 喜彦：オーガー掘削機による地盤判定試験（その1），第32回地盤工学研究発表会概要集，pp.225～226, 1997.7.
- 7) 古屋 弘，疋田 喜彦，今成 康忠：オーガー掘削機による地盤判定試験（その2），第32回地盤工学研究発表会概要集，pp.227～228, 1997.7.
- 8) 星谷 勝：確率論手法による振動解析，鹿島出版会，1979.
- 9) 電気学会：測定値の統計的処理法，オーム社，1968.

(1999. 9. 30 受付)

## DEVELOPMENT OF REAL-TIME JUDGEMENT TECHNIQUE FOR DETECTING THE CHANGE OF EARTH STRATA DURING CONSTRUCTION OF AUGER EXCAVATION

Hiroshi FURUYA, Fujio ITOH, Masatoshi KUSHIMA and Toshiyuki MITACHI

When an auger excavator is used to construct various piles and underground consecutive diaphragm walls, it is usually managed by estimating the soil stratum in the construction area based on the result of preliminary boring investigation. In order to develop a new method for managing construction objectively and accurately, the authors proposed a technique that can detect the changes in ground stratum while drilling with the auger excavator, taking notice of vibration during drilling with the auger excavator, and then proved its validity by a field experiment. From the results of the experiment, there was a possibility that real-time judgment of the changes in ground stratum could be made through the vibration measurement of the auger excavator.