

計測ボーリングの室内実験システムの開発

Development of laboratory experiment system for instrumented drilling

池見元宣*・谷 和夫*

Motonobu IKEMI, Kazuo TANI

Instrumented drilling is considered as essential for the future sophisticated drilling technology. The measured drilling parameters can be utilized for ground characterization, i.e. sounding, quality control for operation as well as drilled cores, and numerical control for automated drilling operation. In order to achieve these purposes, high-quality database should be accumulated to establish confident technology.

In this study, a laboratory experiment system was developed to facilitate effective collection of database of drilling parameters under the controlled conditions.

1. はじめに

ボーリング掘削時に掘削変数（軸力、トルク、回転数、掘削深度及び掘削水の圧力と水量）を計測する計測ボーリング技術を開発する研究を行っている（谷、1998）。計測ボーリングの目的として掘削変数から地盤特性を評価するサウンディング技術、試料の乱れや作業の品質評価技術、作業の自動化や標準化を上げているが、これらの具体的手法を開発するにあたっては、良質なデータベースが不可欠である。現場で得られるデータは、実際の地盤に対するケース・ヒストリーとして重要であるが、計測条件等を統一したり、幅広く系統的なデータ収集することが困難である。そこで制御された環境の下で系統的な基礎データ収集をすること目的として、計測ボーリングの室内実験システムを開発したので以下に報告する。

2. 計測ボーリング装置

計測ボーリング装置は地上部、ロッド部、コア・バレル、計測部によって構成される（図-1）。

(1) 地上部

機械的構成（部材）はギア・モータ、サーボモータ、掘削水ポンプより成る。ギア・モータはロッドにトルク（最大 $0.1\text{kN}\cdot\text{m}$ ）を付加し、サーボモータはロッドに軸力（最大 7.5kN ）を付加する。掘削水はポンプよりウォータスイベル通して供給（最大 50l/min ）する。軸力、回転数、掘削速度（最大 20cm/min ）、掘削水の水量を独立に制御することできる。

(2) ロッド部

ロッド部（ $\phi=55\text{mm}\times l=85\text{mm}$ ）は地上部より付加された軸力とトルクをコア・バレルに伝えると同時にウォータスイベルより掘削水をビットに供給する。

* 正会員 （財）電力中央研究所

(3) コア・バーレル

採取したコアを収納するコア・バーレル ($\phi=66\text{mm} \times l=700\text{mm}$) には、スリーブ内蔵式二重管式サンプラー (ダブル・コアチューブ) を用いた。地盤を掘削するビットはコア径 50mm のサーフェイス型ダイヤモンドビットを使用した。

(4) 計測部

制御は制御用 PC 通してシーケンス・コントローラより軸力、回転数、掘削速度を制御する (図-2)。

計測する掘削変数は、ビットに伝わる軸力、トルク、掘進速度、回転数と掘削水の水圧、水量の合計 6 項目である。表-1、図-2 に示すように軸力は軸力用ロードセル (容量 7.5 kN)、トルクはトルク用ロードセル (容量 0.1 kN・m)、回転数は回転計 (容量 340rpm)、掘削変位量は巻き込み式変位計 (容量 905mm)、掘削水の水量は流量計 (容量 50l/min)、水圧は圧力計 (容量 10MPa) でそれぞれ計測するシステムである。

回転系センサーによる軸力とトルクは、スリップリングを通して地上部のデータロガー (ダイナミックストレインメータ) に伝送されパーソナルコンピュータに収録される。一方、静止系センサーによる変位量、回転数、水量、水圧は直接データロガーに結線されパーソナルコンピュータに収録される。

3. 模型地盤

模型地盤は図-3 に示す様に $d=60\text{cm} \times h=80\text{cm}$ の強度の違う 4 層構造とし、表-1 に示す配合のモルタルで圧密荷重を加えないでドラム缶に打設した。(谷, 1992 & 1995)

模型地盤の物性値は図-4 に示すように S1 層で一軸圧縮強さ $qu=3.17 \sim 3.51\text{MPa}$ 、弾性波速度 $V_s=1050 \sim 1110\text{m/sec}$ 、 $V_p=1900 \sim 1930\text{m/sec}$ 、S15 層で $qu=11.1\text{MPa}$ 、 $V_s=1430\text{m/sec}$ 、 $V_p=2620\text{m/sec}$ 、S20 層で $qu=23.7\text{MPa}$ 、 $V_s=1790\text{m/sec}$ 、 $V_p=3210\text{m/sec}$

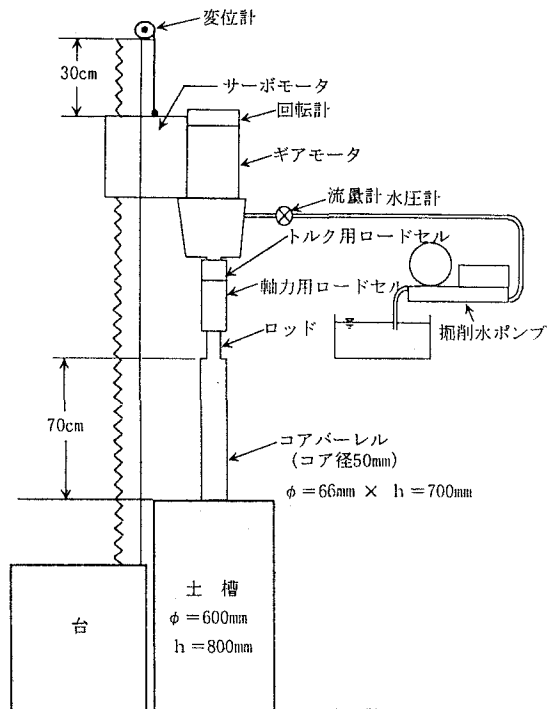


図-1 計測ボーリング試験装置

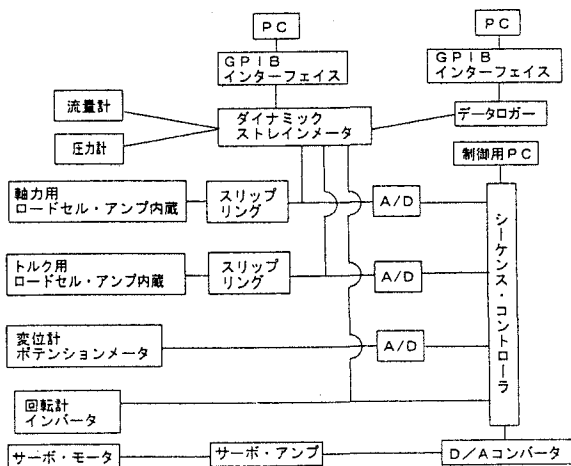


図-2 計測ボーリング制御・計測部概要

表-1 模型地盤の配合

層	砂	粘土	セメント	水	計
S1	67.1	6.9	9.2	16.8	100%
S15	61.8	6.4	15.0	16.8	100%
S20	57.3	5.9	20.0	16.8	100%

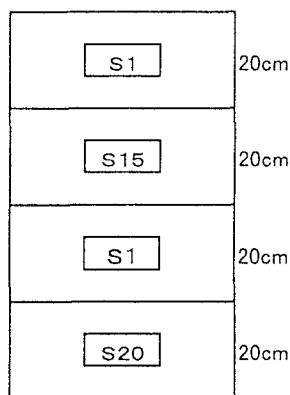


図-3 人工模型地盤

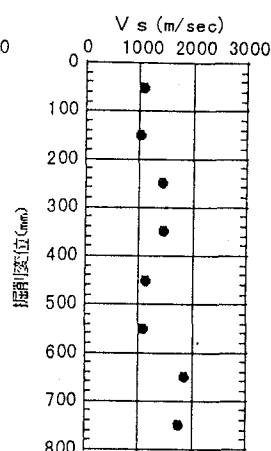
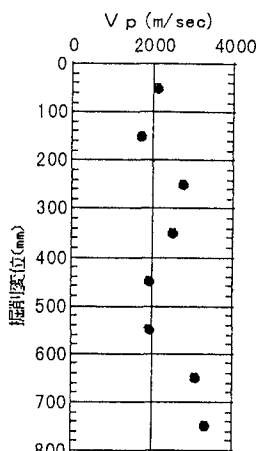
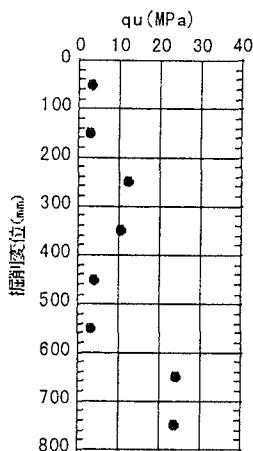


図-4 人工地盤の物性値

である。

4. 実験ケース

今後に実施する一連の実験システム確認と実験ケースを検討するために特に以下の2点について確認した。(表-2)

①測定項目(軸力、トルク、回転数、掘削変位、掘削水の水量と水圧)の信頼性

②制御項目(軸力、掘削速度、回転数、水量)の安定性

表-2 ボーリング試験項目

軸力制御	0.20, 0.39, 0.98 kN
掘削変位	2.5, 5, 10, 15, 20cm/min
水量	30l/min
回転数	90rpm

5. 結果

(1) 軸力制御で行った軸力、トルク、回転数、水量、水圧、掘削速度と掘削変位の結果を図-5に例示する。

- ①軸力は軟らかいS1層では一定であるが、硬いS15層では0.2~0.5kN, S20層では0.2~1.3kNの変動があり硬い層では、軸力制御は困難である。
- ②トルクは軸力と同様に軟らかいS1層では、ほぼ一定値であるが、硬いS15層では5~10N・m, S20層では5~20 N・mの変動が見られた。
- ③回転数は軟らかい層、硬い層に関係なく一定の回転数である。
- ④水量は20~30l/minの幅で水圧は0.1~0.2MPaの幅で変化なく掘削されている。
- ⑤掘削速度は軟らかい層では、速く、硬い層では遅くなっている。

(2) 掘削速度制御で行った軸力、トルク、回転数、水量、水圧、掘削速度と掘削変位の結果を図-6に例示する。4層目を掘削中に異常な金属音がしたので掘削を中止した。

- ①軸力は同一層では同じ力で掘削されているが、硬い層では大きく、軟らかい層では小さくなっている。
- ②トルクの軸力と同様に同一層では同じ力で掘削されている。
- ③回転数は軟らかい層、硬い層に関係なく一定の回転数である。
- ④水量は20~30l/minの幅で、水圧は0.1~0.2MPaの幅で変化なく掘削されている。
- ⑤掘削速度は軟らかいS1層、硬いS15層、S20層でも掘削速度の変化はなく一定の速度で掘削されている。

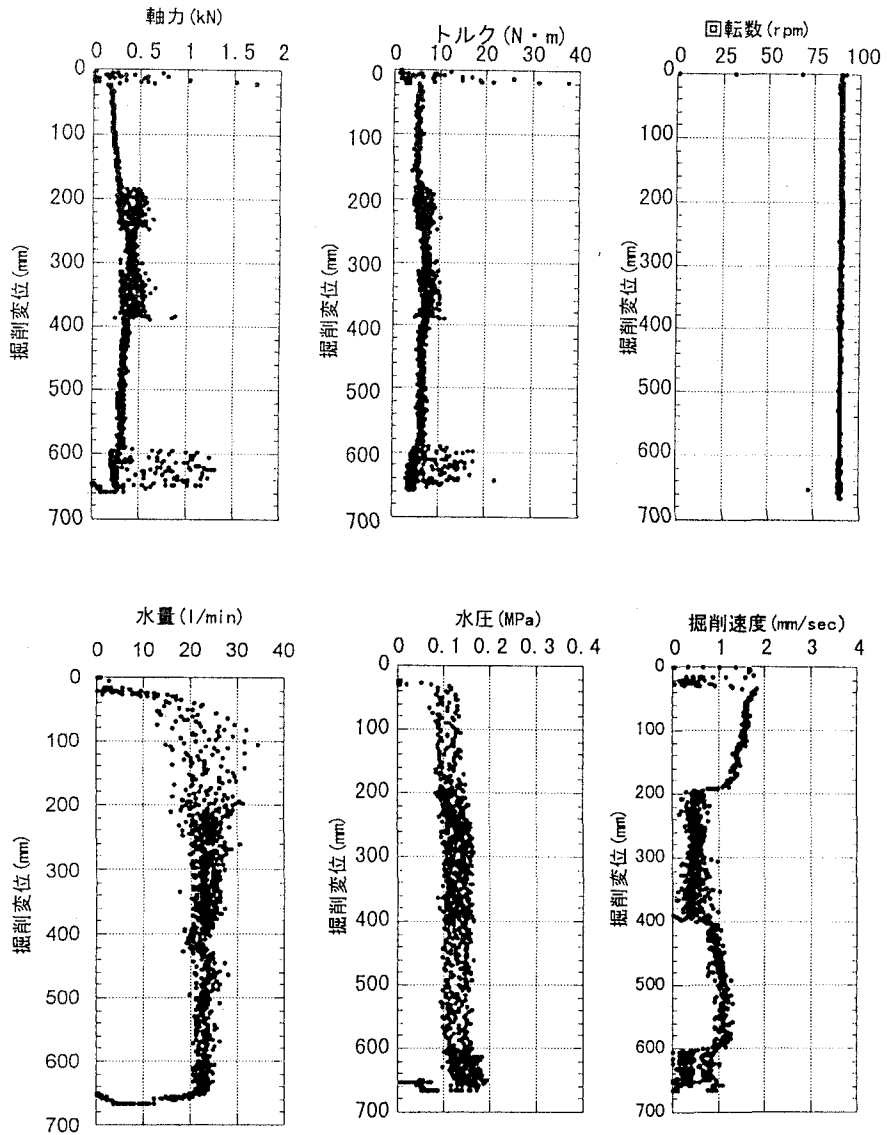
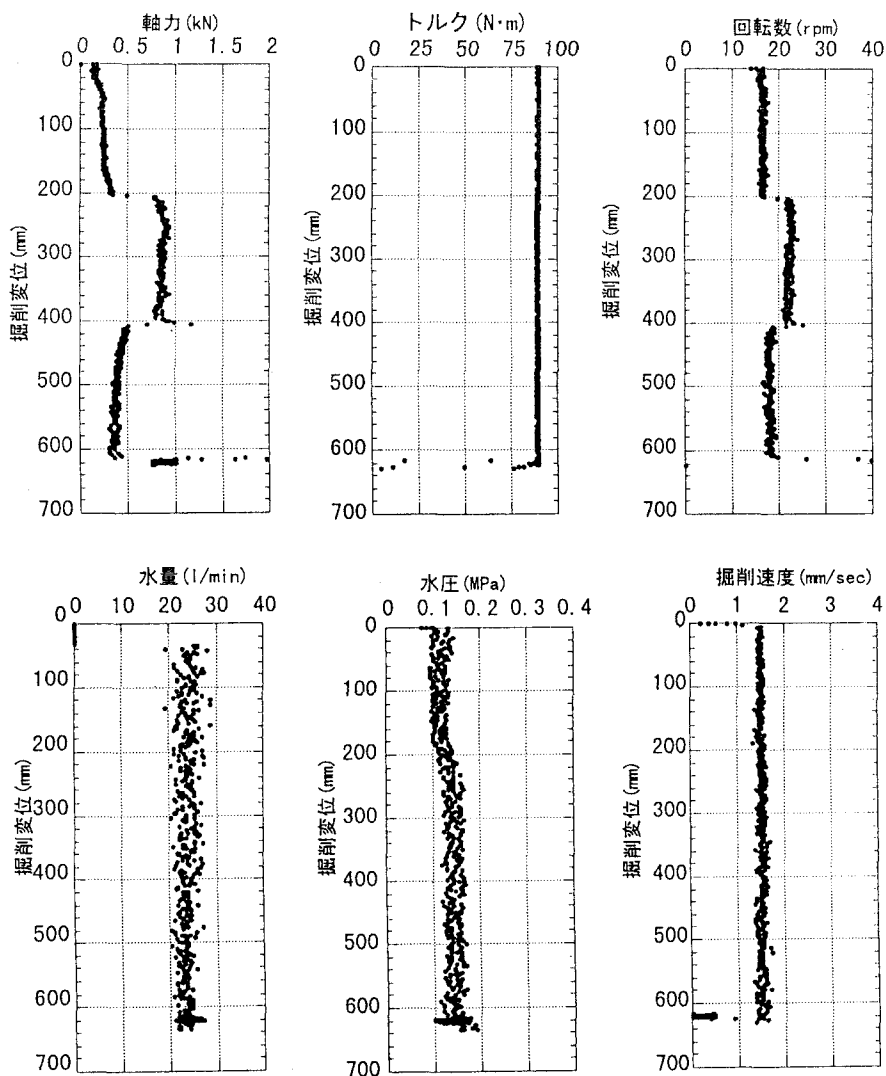


図-5 軸力制御による掘削結果

6. 考察

- (1) 軸力制御での掘削は硬い層では軸力が大きく変化するのは、軸力用ロードセルからフィードバックをかけて制御するため、軸力の変動の速さに追従できないためである。
- (2) 掘削速度制御での掘削速度は硬軟のどちら層に対して一定の速度で掘削されている。これはサーボモータの回転を正確に制御できるためである。
- (3) 掘削速度制御で掘削が硬い層になるとトルクが大きく変化するのは、軸力が増すと大きなトルクが必要となるためである。
- (4) 回転数は制御方法、層の硬軟に関係なく一定の回転数を保持している。これはギア・モータの回転を正確に制御できるためである。
- (5) 水量・水圧は制御方法、層の硬軟に関係なく水量・水圧に幅を持って掘削している。この幅はポンプの脈動と思われる。



図－６ 掘削速度制御による掘削結果

7. まとめ

- (1) 回転数は制御法に関係なく正確な回転数を制御することができる。
- (2) 水圧、水量とも値に少し幅を以ているが一定に制御されている。
- (3) 軸圧制御は制御にある程度幅を持たせなければ制御できない。
- (5) 掘削速度制御は掘削速度を一定に制御しやすく同一層の軸力、トルクの値が一定であるため試験は掘削速度制御で試験実施する。

参考文献

- 1) 谷 他：人工軟岩の製作法，第24回岩盤力学に関するシンポジウム，pp251～255,1992. 2) 谷 他：模型地盤用開発した人工軟岩の力学特性，第26回岩盤力学に関するシンポジウム，pp529～533,1995. 3) 谷：電力中央研究所における「計測ボーリング」技術の開発経緯，電力土木，No.278（11月号），pp.117～121,1998.