

ボーリング計測マニュアル

社団法人 全国地質調査業協会連合会

ボーリング計測マニュアル

社団法人 全国地質調査業協会連合会

発刊にあたって

地質調査業務の基本的な性格は、建設コンサルタントの一専門分野であります。その業務には、現場での調査・計測業務を主とするハード面とそれらから得られた各種データの解析・判定業務を中心とするソフト面とを有しており、全体としてハード・ソフト一体型産業と言われる独特な業態を示しております。

このことは、フィールドワークとデスクワークの連携こそが地質調査業務の基本であることを示しており、特に、第一次情報を得る現場でのボーリング、サンプリング、ボーリング孔を利用した試験・計測は、地質調査の基本業務であり、その適否・巧拙はその後の解析・判定業務にも重大な影響を及ぼすものであります。

当連合会では、これら現場での調査・計測業務の重要性に鑑み、昭和41年から「地質調査技士資格検定試験」を実施し、現場技術者の技術力の確保に努めるとともに、昭和63年には、ボーリングや標準貫入試験から得られる情報の記録や表現方法を統一的に行うため、「ボーリング野帳」や「ボーリング日報」の標準化を行い、合わせて「ボーリング野帳記入マニュアル」を発刊致しました。幸い、このマニュアルは業界から好評をもって受け入れられ、今や現場技術者の必携の書となっております。

その後、平成3年度より、当連合会技術委員会では、現場業務に関するマニュアルの第2弾として、ボーリング孔を利用した各種試験・計測を取り上げることとし、その準備を進めてまいりました。作成にあたっては、関東地質調査業協会のご理解を得て、同協会技術委員会が

まとめられた「ボーリング孔を利用する原位置試験の技術マニュアル」をベースに行うこととし、平成4年度より、執筆・編集作業に入り、この度の発刊となりました。

今回取り上げました計測等の項目は、比較的普及しているものに限っておりますが、地質調査の成果品の向上に大きく寄与するものと期待しております。

本書の刊行にあたっては、関東地質地質調査業協会に多大のご協力を戴きました。厚くお礼申し上げます。また、本書の企画にあられた当連合会技術委員会、ご執筆を願った皆様及び編集の実務をご担当戴いた技術委員会幹事の方々に厚くお礼申し上げます。

平成5年3月

社団法人全国地質調査業協会連合会
会 長 瀬 古 隆 三

まえがき

地質調査業務においては、“現場は情報の宝庫”であります。しかし、現場から得られた情報がいい加減のものであれば、宝どころか屑鉄以下となり、情報そのものが“百害あって一利なし”となる危険があります。

現場で行う地質調査業務は、地表地質踏査、物理探査、ボーリング、ボーリング孔を利用した試験・計測、その他の原位置試験など多様であります。最も普及しているのは、ボーリング及びボーリング孔を利用した試験・計測であり、得られる情報も基本的かつ重要なものであります。

当連合会では、これら現場業務の重要性を認識し、昭和63年に、ボーリング及び標準貫入試験に関する手引書を、「ボーリング野帳記入マニュアル」として作成し、現場で得られた各種情報やデータの観察や評価法を記述するとともに、情報の表現方法の統一化を目指しました。そして、この度、サンプリングやボーリング孔を利用した試験・計測に関する業務マニュアルを作成することとしました。これらの調査種目も多種多様であります。今回取り上げるものは、比較的普及している種目に絞りました。

本書で扱うのは、サンプリング（乱さない試料採取）、孔内横方向載荷試験、現場透水試験、間隙水圧測定であります。それぞれについて一般的に行われている複数の手法を記載しました。また、これらサンプリングや孔内計測を実施するためのボーリングの留意点についても記述しました。書名は必ずしも正確ではありませんが、

わかり易さを重視し、「ボーリング計測マニュアル」と致しました。

本書の作成にあたっては、以下に掲載しております執筆者の方々及び編集にあたって戴いた本委員会幹事会の皆様に大変お世話になりました。厚くお礼申し上げます。

何れにせよ、地質調査技術は、現場計測技術と解析技術が車の両輪となって発展することが必要であります。本書がいささかでもこれに貢献でき、地質調査技術の向上の一助になれば幸いに思います。

〔各章の執筆者〕

平塚 實 (中央開発株) [第1章]

天野倉久之 (株東京ソイルリサーチ) [第2章]

建守 健 (基礎地盤コンサルタンツ株) [第3章]

金子 進 //

田村 智 (応用地質株)

[第4章 4. 1 ~ 4. 2, 4. 5]

豊岡 義則 (基礎地盤コンサルタンツ株)

[第4章 4. 3]

油野 英俊 (川崎地質株) [第4章 4. 4]

中村 裕昭 (中央開発株) [第5章]

黛 廣志 (川崎地質株) [第6章]

〔編集担当者〕

殿内 啓司 中村 裕昭 岩崎 公俊 中田 文雄

平成5年3月

社団法人全国地質調査業協会連合会技術委員会委員長

深田 淳夫

第1章 総 説

1.1	ボーリング計測の意義と本マニュアルの役割…	2
1.2	ボーリング計測の種類と目的……………	4
1.2.1	利用目的と孔内計測……………	4
1.2.2	孔内計測の種類と原位置との対応……………	5
1.2.3	サンプリング、孔内計測相互の関係……………	6
1.2.4	ボーリング孔内を利用する物理検層……………	7
1.3	ボーリング計測の一般的な留意事項……………	8
1.3.1	成果の向上……………	8
1.3.2	作業安全……………	10
	参考文献……………	11

第2章 ボーリング

2.1	一般的な留意点……………	14
2.2	準 備……………	17
2.2.1	仮設のための下見……………	17
2.2.2	地形の観察……………	18
2.2.3	機材リスト……………	19

2.3	削孔と保孔	21
2.3.1	削孔準備	21
2.3.2	削孔	22
2.3.3	保孔	26
2.3.4	泥水	29
2.4	事故とその回復	34
2.4.1	ロッドの落下	34
2.4.2	器具の落下	34
2.4.3	ロッド・コアチューブの切断	36
2.4.4	埋設物の破損	37
2.4.5	崩壊・抑留事故	37
2.4.6	逸水事故	38
	参考文献	39

第3章 サンプルング（乱さない試料の採取）

3.1	概要	42
3.1.1	目的と意義	42
3.1.2	サンプルングの種類と適用条件	43
3.2	サンプルングを行うにあたっての共通の注意事項	46
3.3	シルトおよび粘性土のサンプルング	49
3.3.1	固定ピストン式シンウォールサンプラー	50

3.3.2	水圧式ピストンサンプラー	61
3.3.3	回転式サンプラー（デニソン型サンプラー など）	67
3.4	砂および砂質土のサンプリング	75
3.4.1	砂質土のサンプリングにあたっての注意 事項	76
3.4.2	装置と取扱い方法	78
3.4.3	サンプリングの手順および留意事項	82
3.4.4	特殊なサンプリングの紹介	85
3.5	試料のシール、保管、運搬	88
3.5.1	試料のシール	88
3.5.2	試料の保管	91
3.5.3	試料の運搬	92
	参考文献	93

第4章 孔内横方向載荷試験

4.1	概要	96
4.1.1	目的と意義	96
4.1.2	試験装置の種類と結果の利用	97
4.1.3	試験方法	100
4.2	LLT	102
4.2.1	装置とその取扱方法	102

4.2.2	試験手順及び留意事項	104
4.2.3	トラブルとその対応	112
4.2.4	結果の整理	115
4.3	プレシオメーター	117
4.3.1	装置とその取扱方法	117
4.3.2	試験手順及び留意事項	122
4.3.3	トラブルとその対策	128
4.3.4	結果の整理	131
4.4	KKT	134
4.4.1	装置とその取扱方法	134
4.4.2	試験手順及び留意事項	138
4.4.3	トラブルとその対策	147
4.4.4	結果の整理	148
4.5	結果の評価と応用	152
	参考文献	160

第5章 現場透水試験

5.1	概 要	162
5.1.1	目的と意義	162
5.1.2	試験の種類と特徴	162
5.1.3	現場透水試験のポイント	164
5.2	装置とその取扱い方法	167

5.2.1	標準的な装置	167
5.2.2	現場透水試験の自動化	169
5.3	試験手順および留意事項	170
5.3.1	試験手順	170
5.3.2	作業要領と留意事項	172
5.4	トラブルとその対策	180
5.4.1	試験孔設置中のトラブル	180
5.4.2	試験実施中のトラブル	181
5.5	結果の整理	182
5.5.1	試験結果の整理方法	182
5.5.2	試験結果の整理例	185
5.6	結果の評価	188
5.6.1	現場透水試験の精度に対する考え方	188
5.6.2	試験結果のチェックポイント	189
5.6.3	透水係数への影響因子	191
5.6.4	透水係数と粒度との関係	192
	参考文献	195
	参考知識	196

第6章 間隙水圧測定

6.1	概要	206
-----	----	-----

6.1.1	目的と意義	206
6.1.2	間隙水圧測定の種類と特徴	207
6.2	ケーシング法による間隙水圧測定	212
6.2.1	装置とその取扱い方法	212
6.2.2	測定手順と留意事項	214
6.2.3	トラブルとその対策	215
6.2.4	結果の整理	215
6.3	電気式間隙水圧計	217
6.3.1	装置とその取扱い方法	218
6.3.2	測定手順と留意事項	224
6.3.3	トラブルとその対策	225
6.3.4	結果の整理	227
6.4	長期的間隙水圧測定	227
6.4.1	装置とその特徴	228
6.4.2	設置手順と留意事項	229
6.5	結果の評価と応用	230
	参考文献	233
	〔付録1〕 関連機器および機材販売会社一覧	234
	〔付録2〕 参考図書一覧	237

第 1 章



総

説

第 1 章 総 説

第 2 章 ボーリング

第 3 章 サンプルング

第 4 章 孔内横方向載荷試験

第 5 章 現場透水試験

第 6 章 間隙水圧測定

1	1	ボーリング計測の意義と 本マニュアルの役割
---	---	--------------------------

本マニュアルでは、サンプリング（乱さない試料採取）とボーリング孔で行ういくつかの試験・計測について取り上げている。これらは、いずれも最も重要かつ基本的な地質調査種目であり、実施される頻度も高いものである。

原地盤から自然に近い状態で直接的に土を採取するサンプリングの重要性と意義は言うまでもないが、ボーリングの孔内で行う試験・計測にも次のような意義がある。

- ① 砂や砂礫・風化の進んだ岩盤など通常乱さない試料の採取が難しいとされている地盤を評価する物性値を直接的に把握できる
- ② サンプリング・運搬・供試体の成形などの過程に伴って生じる乱れの影響が回避できる
- ③ 室内では再現しにくい微妙な地盤の堆積状況や硬軟のむら、地中応力の状態をそのまま把握できる
- ④ 深さ方向に連続して調べることで、地盤が変化している状況がよく把握できる

このようにして得られた物性値は地盤工学の分野でますます重要な指標となってきているが、一方、これら孔内を使う試験・計測は、孔壁や孔底の状態により、また、計測する機器の状態・測定の方法により、結果が大きく違ってしまうおそれも多く、その実施には、特に確実さが要求される。

本マニュアルは、地質調査の現場業務を担当する技術者を対象に、サンプリング及び孔内計測の標準化と信頼

性の向上を意図して、先に発行した「ボーリング野帳記入マニュアル（土質編）」の**第7章**「原位置試験および試料採取」の項を独立させて詳しく述べたもので、そのマニュアルの姉妹編として編集している。内容は、計測のためのボーリング孔の作成方法をまず述べ、続いてサンプリング、孔内載荷試験、現場透水試験及び間隙水圧測定について述べている。勿論、これ以外にもそれぞれの目的によっていろいろな試験の方法があり、さらに最近の技術の進歩によって各種の新しい試みがなされているが、ここでは現場で最も多く使われているものを選んだ。なお、孔内計測の代表格とも言える標準貫入試験は、「ボーリング野帳記入マニュアル」にも比較的詳しく書かれているので除外した。

また、このような孔内計測は、土質地盤ばかりでなく岩盤でも行われるが、土と岩では試験の方法や使用機械・問題点等が異なるので、ここでは土質地盤を対象にしたものに限った。

このマニュアルの具体的な内容は、**第2章**のボーリングの項では孔内計測を行うためボーリング孔の必要条件とそのための削孔方法、トラブル時の対策などを述べている。**第3章**から**第6章**は、サンプリングおよびそれぞれの孔内計測について

- ① 装置とその取扱いの方法
- ② 試験の手順と留意事項
- ③ トラブル時の対策
- ④ 結果の整理

など、実務に役立つ一連の事柄を具体的に述べている。これら各章は、図・表や写真をなるべく多く取り入れ、

それぞれ独立して述べているので、現場に必要な事柄は該当する章を読めば容易に得られるようになっている。

1 2 ボーリング計測の種類と目的

1.2.1 利用目的と孔内計測

ボーリング孔内計測およびサンプリングを利用目的別に整理して表1.1に示した。この表にみられるように、利用目的は構造物の新設・維持管理の検討や、工事施工段階での管理、建設事業に伴う環境への影響、などを検討することであり、土の強さ（変形・破壊）と地下水の流れを知る為のデーターを得ることが中心で、他に幾つかの特性を調べるものがある。

表1.1 利用目的と計測内容

利用目的	利用内容	試験項目
構造物に安定 (常時・地震時)	地盤のせん断破壊に対する安全性	標準貫入試験、ベーン試験、サンプリング土質試験（一軸・三軸・直接せん断）、孔内せん断試験、孔内物理検層（S波測定）、孔内載荷試験
	地盤の変形量	標準貫入試験、孔内横方向載荷試験、サンプリング土質試験（圧密・一軸圧縮）
	鋼材の腐食性	コロージョンテスト
施工管理・監視	地盤の安定性・危険予測	地中傾斜計、土圧測定、間隙水圧計、沈下計測定
地下水特性	流量・浸透性	透水試験（チューブ法・ピエゾメーター法）
	地下水位変化	水位測定、間隙水圧測定
建設環境・安全	地盤沈下量	透水試験、サンプリング土質試験（圧密）
	地下水汚染	水質試験、水位測定、地下水流動試験、地下水検層
	施工時安全性	透気試験

1.2.2 孔内計測の種類と原位置との対応

表1.2は、計測項目とボーリング孔の状況の関係を示したものである。孔内計測は孔底下を対象とするものと、孔壁周りの地盤を対象とするものとに大別される。他に、孔底と孔壁との両方を対象にして行う透水試験の方法などがある。

表1.2 主な孔内計測の種類と適応土質

対象 地盤	試験項目	適応土質			必要な 孔径 (mm)	得られる値
		粘性土	砂質土	砂礫		
孔底下 の地盤	標準貫入試験	○	○	○	66	N値
	ベーン試験	○	×	×	66以上	せん断抵抗
	サンプリング	○	○	×~○	86以上	土質定数各種
	透水試験(チューブ法)	×	○	○	86~116	透水係数
	間隙水圧測定(電気式)	○	×~○	×	66以上	間隙水圧
	コロージョンテスト	○	○	×	66	鋼材の腐食性
孔壁 地盤	孔内横方向載荷試験	○	○	○~×	56~126	地盤変形係数
	地中傾斜測定	○	○	○	86	孔壁傾斜角
	孔内物理検層	○	○	○	46~86	物理定数各種
	地下水検層	○	○	○	66以上	地下水流動性
	透気試験	○	○	○	150~	酸欠
	地下水流動試験	○~×	○	○	86以上	流向、流速
孔底と 孔壁の 地盤	透水試験(ピエゾメータ法)	×~○	○	○	86以上	透水係数
	水位測定	×~○	○	○	66以上	孔内水位

○可能, ×不可能,

計測に必要なボーリング孔径は、地下水に関する調査では一般に径が大きいほど得られる精度が高いと言えるが、孔内載荷試験や孔内物理検層のように決まった大きさのゾンデを持つものでは、なるべくゾンデと孔壁との間の隙間を無くすることが大切であるから、何でも大き

ければよいと言うものではないので、必要な大きさをよく確かめてから決めなければいけない。

適応土質としては

- ① ゾンデが設置できず不可能
- ② やっても良い成果が得られない

等によって決まる。

また、ボーリング孔の保孔に使われるケーシングパイプは、孔壁を対象とする孔内計測では制約が生ずる場合が多いから、使っても良いか悪いか、塩化ビニールパイプはどうか、等についてあらかじめ検討し、対応を考えておく必要がある。

1.2.3 サンプリング、孔内計測相互の関係

ボーリング孔を利用して行う計測等の作業には、その目的によっていろいろな方法が考えられるが、どれも必要だからと言って全部をまとめて一本のボーリング孔でやろうとしてもそれは無理である。当然ながら相性の良いもの悪いものがある。この関係を表1.3に示した。

相性が悪いのは

- ① 計測を行うと地盤の性質が変化してしまうものと変化すれば困るもの同士
- ② 孔径の大きさが決まっており、かつ、それぞれが違っているもの同士
- ③ 長期間の観測が必要なもの同士
- ④ ケーシングパイプあるいはストレーナーパイプを必要とするものと、これが邪魔なもの

等であるが、

表1.3 サンプリング・孔内計測相互の重複可否

サンプリング・ 孔内計測の項目	標準貫入試験	サンプリング	孔内横方向 載荷試験	透水試験		間隙水圧測定 ケーシング法	電気式水圧測定法	ベーン試験	地下水流動試験	コロージョンテスト	地中傾斜測定	地下水検層	孔内物理検層
				ビエゾメータ法	チューブ法								
標準貫入試験	○	×	×	×	×	○	×	×	×	×	○	○	○
サンプリング	×	○	×	×	×	○	×	×	○	×	○	○	○
孔内横方向載荷試験	×	×	○	×	×	○	×	×	×	×	○	○	○
透水試験	ビエゾメータ法	×	×	×	△	○	×	×	△	×	○	○	○
	チューブ法	×	×	×	△	○	△	×	△	×	○	○	○
間隙水圧測定	ケーシング法	○	○	○	○	○	△	×	○	×	×	×	△
	電気式	×	×	×	×	△	△	×	△	×	×	△	△
ベーン試験	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	
地下水流動試験	×	○	×	△	△	○	△	×	△	△	○	○	
コロージョンテスト	×	×	×	×	×	×	×	×	△	○	○	○	
地中傾斜測定	○	○	○	○	○	×	×	○	△	○	△	△	
地下水検層	○	○	○	○	○	×	△	○	○	○	△	△	
孔内物理検層	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	△	△	

○可能、×不可能、△工夫すれば可能なことがある

例えば試験後、拡孔して別の試験が行えるようにしたり、試験位置を変えたりするなど工夫することにより可能となるものもあるが、無理をすると、孔内が乱れて思わぬ不良な成果が生じてしまうので、なるべく無理をせずそれぞれ別孔を掘って行うように心掛けたい。

1.2.4 ポーリング孔内を利用する物理検層

物理検層は、建設事業等の諸問題を直接解く数値が得られないものの、推定する手掛かりが得られる。この試験は、ポーリング孔内を孔底から地表面まで連続して調

べることで各地層や深さ方向での変化が良く分かることや、比較的安価に行える利点がある。表1.4に代表的なものを示した。

表1.4 物理検層の種類と内容

種 類	必要な 孔 径 (mm)	得られる内容
速度検層	66以上	P波速度
P・S検層	〃	P波・S波速度
反射検層	〃	P波速度
密度検層	〃	密度
電気検層	〃	大地比抵抗・自然電位
温度検層	〃	ボーリングの孔内温度
キャリパー 検層	—	ボーリングの孔径

この他、ボーリング孔と他のボーリング孔との間、あるいはボーリング孔内と地表面との間の弾性波速度（P波またはS波）や大地比抵抗を測り、これを数値解析して、地層の分布状況や地盤内部のフラクチャーを検出する試みが最近盛んに行われている。

1 3 ボーリング計測の一般的な留意事項

1.3.1 成果の向上

表1.5に、一般的に留意しなければならない事柄の要点を、まとめて示した。

他の技術的な詳細は、それぞれ各章で述べているので、これを参照されたい。

表1.5 ボーリング計測の留意事項

項目	視 点	留意事項	対象となる計測等
(1) ボーリングに関する事項			
地層の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ 正確な柱状図の作成 ・ 調査目的に対して問題があるか ・ 試験解析の必要性有無 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地層の不均一性 ・ 地層境の深度 ・ 一様と見做される地層の厚さ ・ 軟弱な地層の有無 ・ 地下水位の位置 	全 体
ボーリング孔壁の緩み	<ul style="list-style-type: none"> ・ 一定な孔径保持 ・ 孔周りが自然状態を維持しているか ・ 予定している他の計測との重複が可能か 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ボーリング後試験迄の時間を短くする ・ 泥水管理（濃度・圧力・循環時間） ・ 曲がったロッドを使わない ・ 障害となる他の計測との重複防止 	孔内横方向載荷試験・透水試験（ビエゾメータ法）
孔壁及び孔底の目詰まり	<ul style="list-style-type: none"> ・ 目詰まり防止 ・ 泥水の浸透防止 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 泥水管理（濃度・泥水圧） ・ 適正な水洗い 	透水試験（ビエゾメータ法、チューブ法）
孔底の乱れ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 泥水の浸透 ・ バイピング 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 過大な泥水圧を防ぐ ・ 急激なロッドの引上げをしない 	標準貫入試験・サンプリング・透水試験（チューブ法） ・ ベンチテスト
孔底の残コア・スライムの排除	<ul style="list-style-type: none"> ・ 孔壁崩壊土 ・ 泥水で排除出来ない礫、砂 ・ 硬粘土の残コア 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 泥水管理 ・ 孔壁の崩壊防止 ・ 特殊なビット、コアチューブの使用 	同 上
(2) サンプリング・孔内計測に関する事項			
目的の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ 業務の目的 ・ 試験、計測結果の利用方法 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 仕様書の確認、打ち合わせ確認 ・ 関係者ミーティング 	全 体
実施数量、位置の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ 対象にする地層 ・ 構造物等対象の規模と試験、計測との関係 ・ 対象の重要度 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地盤特性の把握 ・ サンプリング、計測の必要な深度・間隔・数量の決定 ・ 計測方法の選定 	同 上
機械器具の整備	<ul style="list-style-type: none"> ・ 性能の保持 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 機器の点検整備 	同 上
測定・機器の操作	<ul style="list-style-type: none"> ・ 成果の正確さ ・ 利用者に役立つ成果を得る ・ 工夫、改善 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 機器の性能を把握する ・ 試験計測方法のマニュアル化 ・トラブル防止と措置 	同 上
記録、報告	<ul style="list-style-type: none"> ・ 結果が利用者に正確に伝わる様にする 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 記録用紙のフォーマット化 ・ 簡潔、正確な記載 	同 上

これらサンプリングや孔内計測で最も重要なのは、得られた結果が利用者に十分に役立つものでなければならぬということである。そのような良い成果を得るためには、関連する事柄の十分な知識をもった上で、その目的に合った調査・試験の方法、数量の選定、および実務作業を細心の注意を払いながら実施することが大切である。

1.3.2 作業安全

安全に作業を遂行するには、作業の責任者は勿論、作業に従事する全員が、“絶対に事故は起こしてはならない”という気持ちを常に持っていることが重要である。

特に、ボーリングや現場計測など、地質調査の作業環境は

- ① 野外の作業で、現場が一定していない
- ② 現場の規模が小さく、作業スペースが小さい
- ③ 工期が比較的短い
- ④ 一現場の従事者が極めて少ない

など、適切な安全管理がしにくい条件の中で行わなければならない。

しかし、安全の確保は全てに優先する課題であり、

- ① 関連する法規の熟知と励行
- ② 使用する機器の性能の把握と点検整備
- ③ 作業のマニュアル化
- ④ 作業者の訓練
- ⑤ 作業の適切な指揮監督
- ⑥ 作業環境の改善

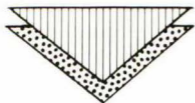
など、現場での徹底した努力が必須である。なお、この

安全問題については、当連合会で発行している「ボーリング作業のための安全手帳」に詳述しているので、参考にされたい。

参考文献

- 1) 土質工学会編：土質調査法、1982
- 2) (社)全地連編：ボーリング作業のための安全手帳、1992, 4

第 2 章



ボーリング

第 1 章 総 説

第 2 章 ボーリング

第 3 章 サンプリング

第 4 章 孔内横方向載荷試験

第 5 章 現場透水試験

第 6 章 間隙水圧測定

2	1	一般的な留意点
---	---	---------

ボーリング孔を利用する計測には、深さ方向に連続的に行うものと、断続的に行うものがある。また、試験目的で分けると、地盤の強度を測定するものと、それ以外の物性を測定するものがある。さらに、ボーリング孔内における試験の対象位置を、孔底下とする場合、孔壁周辺地盤とする場合、あるいはその両方の地盤を含む場合など、種々のものがある。

いずれにしても、ボーリング孔を利用した原位置における計測を精度良く行うには、良好な計測条件が得られることが第一の要件である。すなわち、ボーリング孔を利用する計測の成果は、孔の掘削、保孔の優劣に支配される。

また、本書で取扱っているサンプリングも地盤の物性を室内試験により求めるために行うものであり、調査目的を念頭に良質なボーリング孔を作らねばならない。

そのためボーリング孔は、試験の目的に適合した状態のものでなければならない。それぞれ計測の種類により必要とするボーリング孔の種類は異なるが、原則として次のような条件を満たす必要がある。

- ① 適切な孔径（計測の種類により孔径は変わる）と直線性を保っていること。
- ② 孔底にスライムが溜っていないこと。
- ③ 孔壁・孔底を乱さないようにすること。

この他に、

- ④ ケーシングパイプの存在は計測の妨げとなるかど

うか。

- ⑤ 使用するケーシングは塩ビ管か鉄管か。
- ⑥ 孔内水の有無についてはどうか。
- ⑦ 標準貫入試験とその他各種計測（原位置試験）を同一孔・同一深度で実施しない。

などの点についても事前に関係者と確認し合っておくことが必要である。本書で取扱う計測のためのボーリングの留意事項を下表にまとめた。

計測項目等	削孔径 (mm)	留意事項
サンプリング	86～116	<ul style="list-style-type: none"> ・ 孔底を乱さない ・ サンプリング深度とビット先端深度の関係の確認
孔内横方向 載荷試験	66～86	<ul style="list-style-type: none"> ・ ゾンデの中心部が計測深度になるように余堀りを行なう ・ 孔壁を乱さない ・ 削孔後なるべく速やかに計測
現場透水試験	86～116	<ul style="list-style-type: none"> ・ 孔壁・孔底を乱さない ・ 十分に清水洗滌する
間隙水圧試験	66～86	<ul style="list-style-type: none"> ・ 孔底を乱さない

強度や変形量を求める場合は、孔底下または孔壁周辺の地盤を乱さないことが重要であり、透水試験の場合は泥壁の形成、泥水の浸透、沈積などによって、透水性を妨げないことが重要である。

この20余年来、エレクトロニクスの進歩や集積回路の開発などと相まって、高性能かつ小型の計測器類が発達し、自記記録装置もほとんどの機種に取付けられるようになった。これら計測器類の性能を有効に活用するため

には、掘削技術および保孔技術が優秀でなければならない。

ボーリングは、地中の土や岩の試料を直接観察したり、物性試験を行なうためのサンプリング、コアリングという目的の他に、孔内での各種計測のための試験孔をつくるという重要な役割をもっていることを再認識して欲しい。

極めて軟弱な地盤や礫層のように掘進が難かしく乱れを起こしやすい地層が、一般に設計・施工上、重要な意味を持つことが多い。ところが、そのような地盤ではサンプリング、コアリングが難かしく、室内試験の情報が得られにくいため、原位置における計測に対する期待が大きくなることを理解しておく必要がある。ボーリング孔の仕上がりが、原位置計測の結果に直接影響することから考えると、“孔を作ることから計測は始まっている”と言っても過言ではない。

重要なことは、試験目的を理解した上で、いかに乱れの少ない良質な孔を作るかということである。しかし、実際にこのような孔を作るには、高度なボーリング技術に関する知識と理解、そして熟練が要求されてくる。

全く乱れのない孔を作ることが理想であるが、現実としては最高の技術をもってしても、ビットの回転、泥水の循環、掘削に伴う応力解放等により、多少の乱れは免れ得ない。つまり、ボーリング孔の掘削に際して、乱れは必ずつきまとうものであり、これをいかに少なく抑えるかがボーリング技術者の腕ということができよう。

良質な孔を作ることは、測定作業をスムーズに行う上でも重要である。最近の計測機器は高性能であるが高価

であり、ジャミング等により回収不能となれば損害は大となる。また、計測機器損失の直接的な被害だけでなく、この種のトラブルは短期にこれをカバーすることができず、工程上にも大きな狂いを生じさせることにもつながる。

したがって、基本的なことではあるが、掘削時には最大限の注意をはらい、孔壁の押し出し、湧水・逸水個所、ポンプ圧の変化等は詳細にチェックし、対処しておくことが事故防止のみならず、測定結果をより生きたものとする上でも大切なことである。

2	2	準備
---	---	----

2.2.1 仮設のための下見

ボーリングマシン搬入前に現地踏査を行い、予定個所を十分に下見し、事前に作業場所の広さ、足場必要性の有無、取水の便、搬入の難易等を確認、準備すべき資機材や足場確保の計画をたてる。

ボーリング地点はいつも造成地、更地、畑地等の平坦な土地とは限らず、湿地、切土・盛土の斜面、急峻な山地、水上、海上等の種々の場合がある。作業場所の確保にあたってはこのような立地条件に加えて、使用する機械の大きさ、作業時間、工期等を考慮する必要がある。作業面積としては陸上では一般に図2.1程度の面積があれば良い¹⁾。

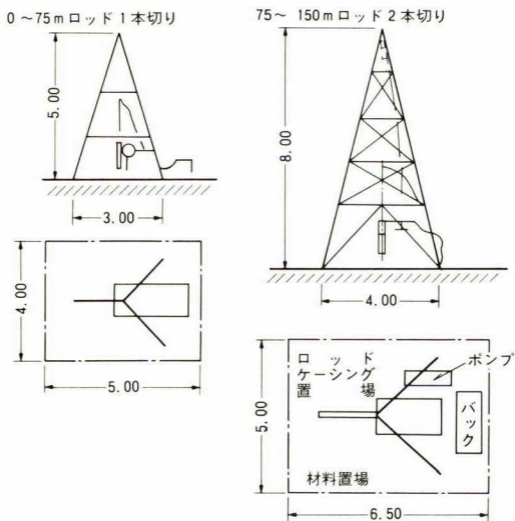


図2.1 ポーリング作業場のスペース
(土質調査法 (第2回改訂版)、1982)¹⁾

2.2.2 地形の観察

掘削に際してはあらかじめ、調査地の地質状況を知っておくと有効である。

事前に付近の地質図を入手し、地質状況を把握できれば良いが、それが無理な場合でも、地形と地質は密接な関係があるので、地形を観察することにより、これから調査しようとする地点の地質を、ある程度推測することが可能である。

したがって、造成地、台地、丘陵、山間部等での調査では、事前に最低限25,000分の1地形図を用意し現地を

踏査して、調査地点の地形を把握すると共に、露頭等があれば観察しておくことが大切である。

広い沖積平野であれば特に地形の観察は必要ないが、近くの河川までの距離、埋立地であるかどうか等は確認しておくことが望ましい。また、最近は大きな平野では各種地盤図が整備されだし、埋没谷、埋没台地、波蝕台等の埋没地形も記載されているので、この地盤図を見ておくと調査に役立つことが多い。

2.2.3 機材リスト

調査地点の地層条件、調査目的により、ボーリングマシンおよびポンプ能力、ビット、コアチューブの種類、ケーシングパイプの必要量等を判断し、必要な諸機材を用意する。

一般の土質ボーリングにおいて掘削に必要な主要な機材は表2.1に示すとおりであるが²⁾、消耗が激しく出張先で入手困難なものは、あらかじめ予備部品を準備しておいた方が良い。

表2.1 現場作業に必要な主要試錐機材
(新編ポーリングポケットブック、1983に一部加筆)²⁾

分 類	明細または注意事項
試錐機	ベルト、Vベルト、ウォークライン、チャックレンチ
ポンプ	Vベルト、安全弁、圧力計
エンジン	Vブーリー、分解工具、取付けボルト
やぐら	ヘッドブーリー、台付、横木、支柱パイプ、番線、自在クランプ
取付け工具	パイプ枕、ターンバックル、ワイヤ、ワイヤクリップ、マニラロープ
昇降用品	ホイストリングスイベル、ホルダー、つり具、チェーンブロック、ロープ
ロッド、ハンマー	ロッド、ロッドカップリング、ハンマー、ノッキングヘッド
ケーシング、パイプ	口元ケーシング、シュー、その他ケーシングパイプ、ケーシングスイベル、ケーシングホルダー
コアチューブ・ビット	シングル・ダブルコアチューブ、メタルクラウン等ビット類
循環用品	ウォータースイベル、デリバリーホース、サクションホース、ドラム缶、ベントナイト
給水設備	ポンプ、エンジン、パイプ、雑品、ホース
回収具	ロッドタップ、オイルジャッキ
工具	パイプレンチ、チェーントーン、トーチランプ、その他
試料採取器	レイモンドサンプラー、シンウォールチューブ、各種サンプラー
雑用品	雨合羽、油缶、シート、黒板、チョーク
事務用品	日報用紙、カメラ、油性フェルトペン、フィルム、その他
コア用品	コア箱、試料ビン、ラベル、ビニール袋
安全用品	保安帽、安全带、薬品箱

2

3

削孔と保孔

2.3.1 削孔準備

(1) 標高測定

削孔作業に入る前にまず調査地点の地盤の高さを測定しておく。これは複数本のボーリングを行なう際に地層の対比を行うためと、これから建設しようとする構造物と地層の高さ関係を知るためである。付近の不動点を仮ベンチマークとして、そこからの高低差を測定しても良いが、既存のデータとの比較等を考えると、海拔標高（全国レベルではT.P. 関東地方ならA.P., Y.Pのように地域ごとにも基準面がある）を基準に測量することが望ましい。

(2) 地下水位の確認

地下水位は根切りを伴う工事や、ゆるい砂地盤における地震時の液状化の検討等に必要な情報である。ボーリング時には、地下水位を確認するまでは無水堀が原則とされている。しかし、地下水面が深いとメタルが焼付くことがあり、また、ゆるい砂地盤では崩壊の危険性がある。無水堀は困難なことがある。このような場合には、送水削孔に切り換えるのもやむを得ないが、その際には切換深度を記録しておく。（記録例：x mまで無水堀を行うも、水位を認めず送水堀に切り換える。）この場合でも、翌朝からの泥水位を測定しておくことは必要である。

ボーリング時に確認した孔内水位を地下水面に相当すると考えてもさしつかえないが、これが宙水の場合は真

の地下水面とはならないので注意を要する。

また、地下水位は日変動、季節変動があり、複数の帯水層がある場合は、帯水層ごとに水位観測井を設置して、経時的に測定する等の配慮の必要がある。

2.3.2 削孔

掘削に当っては、そのボーリング孔を利用しどのような計測（原位置試験）が行なわれるかを考慮し、必要な孔径およびビットを選び削孔する。掘進中に地層の変化があれば必要に応じビットを変える。表2.2、2.3にメタルクラウンとダイヤモンドビットのJISを示し、図2.2にその代表的な形を示す⁴⁾。

表2.2 メタルクラウンの規格 (JIS M 1403)

(単位mm)

呼び径	植付外径	植付内径	外 径	内 径	全 長
36	36	22	34.5	23	60
46	46	30	44.5	31	60
56	56	40	54.5	41	60
66	66	50	64.5	51	60
76	76	60	74.5	61	60
86	86	70	84.5	71	60
101	101	84	99.5	85	100
116	116	99	114.5	100	100
131	131	114	129.5	115	100
146	146	129	144.5	130	100
186	186	164	184.5	165	100

表2.3 ダイヤモンドビットの規格 (JIS M 1401, 1402)

(単位mm)

呼び径	ダイヤモンドビット					リーミングジェル		
	植付 外径	植付 内径	外 径	内 径	全 長 (参考)	植付 外径	外 径	内 径
36	36	22	35	23.5	60	36.5	35	23.5
46	46	30	45	31.5	70	46.5	45	31.5
56	56	40	55	41.5	70	56.5	55	41.5
66	66	48	65	51	70	66.5	65	51
76	76	58	75	61	80	76.5	75	61
86	86	68	85	71	80	86.5	85	71
101	101	77	100	80	100	101.7	100	80
116	116	92	115	95	100	116.7	115	95

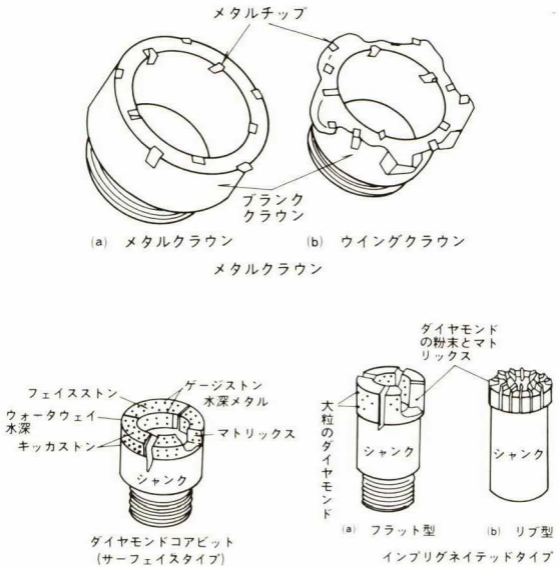


図2.2 各種ビット (図解ボーリング便覧1968)⁴⁾

一般に、計測（原位置試験）が標準貫入試験のみの場合は、孔径66mmが用いられるが、調査する深さが30～40 mに達すると予想される場合は、上半部の孔径を76～86 mmで削孔すると作業はしやすくなる。口元ケーシングパイプは必ず入れ、ケーシング径は調査深度や原位置試験の種類に関係なく一般に116mmを使用する。これは途中でサンプリング等が追加される場合を考えてのものである。なお、ボーリングマシンの運転を行う者は、特別教育を受けなければならなくなり、機器等についても新しく規制された事項も数多くあるので³⁾、経験豊かな人も特別教育を受講しておく必要がある。

(1) 粘土層および砂層

未固結土の場合は荷重（押込力）および回転をやや低く、送水量をやや多くし、泥水掘削を行えば円滑な掘削が可能である。

粘性土の場合、ビットはウィング付きか一文字を用いると削孔の能力は上る。ウィング付きを用いる場合はビットにだけウィングを付けると、螺旋状に掘削される可能性が大きいので、コアチューブにもウィングを付けることが望ましい。泥水は牛乳よりやや濃い程度、ポンプ圧は2～3 kgf/cm²の範囲とし、これ以上は上昇しないようにする。削孔時におけるスピンドルのレバーは手に持ち、押し込むというよりも手でささえている感じとする。

緩い砂に対しては水よりやや濃い感じの泥水を使用すると良い。ベントナイト一袋をドラム缶に入れ水を満たし、一晚放置し、使用時に底にあるベントナイトの上部をかき廻した程度のものである。砂のスライムを排出するには、所定深度に達したらビット先端を浮かせ気味にして泥水を送り排出する。

削孔途中あるいは削孔終了時に孔内に泥水を補給せず、コアチューブ・ロッド等を急激に引き上げると、孔底に負圧が発生したり、水位低下によりボイリングの発生、孔壁の押出し等の現象が現われ、孔底・孔壁を乱す可能性があるため、ロッド等の引きあげ時にも泥水を孔内に補給する必要がある。

(2) 礫層

礫層の場合は荷重（押込力）を増し、回転速度を低下させた方が多い場合が多い。ただし、玉石に当たった場合はビットが石に喰いつくまでは、荷重を加えぬ方が良

い。孔曲りの原因となるからである。礫層ではとくにこの孔曲りに気をつける必要がある。深い深度で礫層に当たった場合はことさらに注意を要する。すなわち、削孔途中であまり荷重を加えると、ロッドがよじれてロッドの回転を止め荷重を抜いたときに、ロッド先端部が逆回転し、コアチューブあるいはロッドの継手がはずれることがあるからである。ビットはメタルクラウンが良いが、計測（原位置試験）が標準貫入試験のみの場合でも、削孔径は86mmとした方が良い。

使用泥水は濃い目とし、 plaster は用いず、ベントナイトのみが良い。エンジンの回転を上げ、ポンプ圧は 4 kgf/cm^2 程度とし、1 cm ~ 1.5 cm の径のスライムが上るような濃い目の泥水を用いる。この泥水はボーリング孔の口元で泥水溜を流れるときは、ポンプのピストンの動きに応じ脈動する感じとなる。この濃度の泥水でスライムがあがらぬ場合は、無水堀によりスライムをあげる。

また、礫層中の地下水が、流れているような場合にはコアチューブで掘るよりも、ケーシング掘りとする方が良い。

礫層の掘削にあたっては薄い泥水より掘りはじめ、徐々に濃くして行って礫質に合った濃度の泥水を見つけることである。また、礫層のスライムをあげきれぬまま、礫層下位の砂・泥層に掘り進むと、本来は礫混り層ではない地層を誤って礫混り層と判断することがあり、これはN値の過大評価、乱さない試料採取の失敗等につながる。このようなことから礫層のスライムの排除は特に重要である。

(3) 軟岩

コア採取を必要としない場合はシングルコアチューブの削孔で良く、一文字よりもストレートチューブの方が良い。ただし、ある深度で計測を行うための仕上げには、コア残りをなくすために一文字を用いた方が良い。オールコアリングの場合はダブル・トリプル・エラスチックチューブ等のサンプラーを用いる。

泥水は一般には薄いもので良いが、掘り止めの場合はスライム排除のため濃い泥水とする。砂質系の軟岩の場合もあまり濃い泥水は必要ないが、硬質礫を含むような凝灰岩系の軟岩の場合は孔曲りに気をつけ、礫層と同様な注意が必要である。

2.3.3 保孔

保孔とは、ボーリング孔を良好な状態に保つための作業であり、一般に泥水の使用、セメンテーション、ケーシングの挿入が行なわれる。

(1) 泥水の使用

泥水は浅層のボーリングではあまり問題とされずに使用され、砂・礫ではやや濃い目に、軟岩では薄めにという程度である。

しかし、崩壊性の激しい地盤や逸水の激しい地層では泥水が大きな効果を発揮する。その際には泥水の性質や濃度が大きく影響するので、泥水の品質管理は重要であり、そのために「比重測定」、「粘性測定」、「泥壁および脱水量」、「砂分試験」等が行なわれる。

泥水の詳細については次節で述べるが、土質ボーリングではセメント混入泥水、プラスター混入泥水などを孔

底に残留する粗大スライムの排除を目的に、一時的に使用するものもある。この場合は粘度が高くなるので、泥壁を形成することになり、使用に際しては注意を要する。

(2) セメンテーション

礫層・砂層に対して有効ではあるが、セメント使用後の泥水は劣化し易く、大量のベントナイトの補給を必要とする。なお、セメンテーションに用いるセメントの所要量については表2.4、2.5が参考となる²⁾。

表2.4 セメント一袋 (40kgf) の溶解
(新編ボーリングポケットブック, 1983)²⁾

比 重	でき上り量 〔ℓ〕	標準水量 〔ℓ〕	比 重	でき上り量 〔ℓ〕	標準水量 〔ℓ〕
1.80	34.13	21.43	1.58	47.07	34.37
1.78	35.00	22.30	1.57	47.90	35.20
1.76	35.92	23.22	1.56	48.75	36.05
1.73	37.40	24.70	1.55	49.64	36.94
1.71	38.45	25.75	1.53	51.51	38.81
1.69	39.57	26.87	1.52	52.50	39.80
1.67	40.75	28.05	1.51	53.53	40.83
1.66	41.37	28.67	1.50	54.60	41.90
1.64	42.66	29.96	1.49	55.72	43.02
1.63	43.34	30.64	1.48	56.88	44.18
1.61	44.76	32.06	1.475	57.48	44.78
1.60	45.50	32.80			

[注] 1) セメントミルクの硬化開始時間 (60℃のとき)

比重	1.80	ポンプ不能	135分	硬化開始	3.5時間
	1.70	''	160分	''	
	1.44			''	11時間

2) セメント強度 140kg f/cm²となるまでの時間

比重	2.00	1日以内
	1.80	3日間
	1.40	7日間

表2.5 孔径とロッド外容積との関係
(新編ボーリングポケットブック, 1983)²⁾

孔 径	実 直 径 [mm]	容 量 [ℓ/m]
116	117	10.75
101	102	8.17
86	87	5.95
76	77	4.66
66	67	3.53
56	57	2.55
46	47	1.73

セメントミルクの濃度は、比較的大きな亀裂や空隙に注入して短時間に硬化させる場合にはセメント1：水1の割合の配合、細かい亀裂や空隙の小さい部分に十分浸透して硬化させねばならない場合には、セメント1：水3程度まで薄く配合したものをを用いる。薄くした場合は凝結時間が長くなり、強度も濃い場合より多少落ちることになる。セメンテーションの方法としては、(i) 孔口投入法、(ii) ロッド注入法、(iii) ポンプ注入法があり、(iii) の場合はパッカーを用いることにより、加圧セメンテーションを行うこともできる。

(3) 逸水防止

ボーリング孔内の水位が低下した場合、ボーリング孔壁は崩壊しやすくなる。この水位低下の原因は逸水による場合が多く、この逸水を防止するためには種々の逸水

防止剤が使われる。一般に、逸水量の少ないときは細粒質の充填材（セメント、綿実粉）を、逸水の多いときは粗粒質の充填材（オガクズ、綿実、パルプ、コンブ片）をまぜて使用する。最近ではLW等薬液注入の方法もある。

(4) ケーシングパイプの挿入

ケーシングの挿入は孔口の崩壊防止、緩い砂・礫等の崩壊防止、逸水、湧水など孔内条件の改善のために行われる。保孔のための有効な方法ではあるが、次のような欠点もある。

- ① ケーシング挿入ごとに孔径は小さくなる
- ② 挿入・回収の手間および回収のための機械を必要とする場合もあり、さらには回収不能の場合もある
- ③ ケーシングが挿入されていると、検層ができなくなる場合が多い
- ④ ケーシング挿入は孔内の状態が悪くなる一歩手前で挿入することが理想で、このタイミングの判断がむずかしい。判断が遅れると挿入に手間どり、目的の深さまで挿入できない場合がある

2.3.4 泥水

(1) 泥水の役割

泥水にはスライムの排除、ビット刃先の冷却、ロッドの回転抵抗の減少、さらにはマッドケーキによる孔壁保護や泥水圧による孔壁の安定の役割がある。

ポーリング時に緩い砂・礫層では崩壊が、軟らかい粘土層では押出しが懸念される。これを防ぐためには一般に水圧をかけるが、それには清水よりも比重の大きい泥

水の方が有利であり、孔壁面を安定させる効果大きい。また、無水堀の場合、スライムの排除ができないし、固い地盤では地盤とメタル、あるいはコアチューブと地盤の摩擦熱により、チューブが地盤に張りつき、削孔不能となる。これらを防ぐのが泥水である。

ビット刃先の冷却だけであれば清水でも良いが、清水の場合、比重と粘性が小さく、循環水の流速をよほど大きくしないとスライムは上昇しない。流速を大とするためにはポンプ圧を上げねばならないが、そうすると孔底を乱すことになる。これは土質調査の第一条件である乱さない土の状態を知ることと逆行する。このために泥水が使用され、循環水の比重を大きくし、粘性を高めることにより、前記の役割を果たしている。

(2) 泥水使用の長所と短所

泥水の使用には長所と短所がある。

まず、長所に関しては、

- ① スライムの排除をさらに能率化する
- ② 泥壁（マッドケーキ）をつくって、地層の吸水膨張による崩壊を防止する
- ③ 循環停止の際の、スライムの急激な沈殿によるコアチューブの抑留を防止する
- ④ 泥水比重により地層中の水、ガスのボーリング孔内への湧出を防止する

などであり、目的に合った性質の泥水を使用する必要がある。

一方短所は、

- ① 孔外（地上）におけるスライムの除去に手間取る
- ② ポンプ圧力が増加する

- ③ 孔外の作業場の汚れが多く、ロッドに泥水が付着して、ロッド昇降作業がやりにくくなる
- ④ 泥水材料費のために掘進費が増加する
- ⑤ 作泥、調泥、泥水管理のための手間が増す

などがある。このように短所はあるが、一般に泥水の使用はこれ等の欠点を補って余りあるものがある。

(3) 泥水の種類

1) ベントナイトの泥水

泥水は先に述べたように、マッドケーキ（泥壁）を作り、水分が土砂へ浸透するのを防ぐ作用をするが、このためには薄くても丈夫なマッドケーキを早く作ることが望ましい。孔壁保護のためにはマッドケーキが薄く、脱水の少ないのが良い。

この性質を有するのがベントナイト泥水であり、水に7~10%（重量比）のベントナイトを混入した溶液で、比重は1.03~1.05程度である。この泥水がスライムの沈降防止、泥壁形成性が良い一般的な泥水である。

しかし、長い間使用していると水が混入し、比重が下ったり、あるいはスライムがとけ込み、比重、泥壁厚さ、粘性が大きくなり過ぎる等の種々の不都合が起る。このような場合には、以下のように補助剤を入れて泥水を改良する。

- ①泥壁が形成されず脱水が大となったとき：CMC
0.1~0.2%混入（泥水がドラム缶1本に対して200~400gを混入）
- ②比重を増大させたいとき：バライトを混入
- ③粘性を低下させたいとき：テルナイトを混入
- ④比重が大きくなり逸水しやすくなったとき：パーラ

イト、その他有機物（オガクズ、豆かす等）を混入。

2) 海水（塩水）泥水

塩分濃度10,000ppm以上の水を使用した泥水である。塩水を用いて作泥する場合は、清水を使用した場合に比べて泥水機能の低下は避けられないが、海上ボーリング等でやむなく海水を使用するときには、塩水に強い山形産のベントナイトを使用するのが良い。

この時、海水中に直接粉末のベントナイトを加えるのではなく、少量の清水に攪拌できる範囲でできるだけ多量のベントナイトを溶かし、一昼夜程度の時間水和・膨潤させておいてから、ベントナイト懸濁液を海水で割って使用する。こうすれば少量のベントナイトで高い粘性と比較的良好な泥壁形性能を有した、海水ベントナイト泥水を作泥することができる。

3) 界面活性剤泥水

清水にロッドリユーズ、サンカットなどの界面活性剤のみを加えたものと、ベントナイト泥水にこれを加えたものがあり、ロッドの回転抵抗の減少に役立つ。

4) クロム泥水

ベントナイト泥水をベースとし、これに各種添加剤、薬品などを加え、泥水本来の性質を維持させるように改善した泥水である。現在、ボーリングに使用されている一般的なものとしてはクロム泥水がある。低粘度であり、コアボーリングに用いられている。表2.6に各種泥水の成分を示す²⁾。

表2.6 泥水の標準配合
(新編ボーリングポケットブック, 1983)²⁾

種 類	主 製 成 分							
	清 水 [ℓ]	ベント ナイト [kg]	クロム ナイト [kg]	油	CMC	バラ イト	苛 性 ソーダ	界面活 性 剤
ベントナイト 泥水	○100	○7 ~10			△ 0.1 ~0.2	△		△
海水 (塩水) 泥水	○ (海水)	○		△	△	△		
界面活性剤 泥水	○							○
クロム泥水 (普通工法)	○100	○6 ~7	○2 ~5	△	△	△	○0.15 ~2	
クロム泥水 (WL工法)	○100	○6 ~7	○2 ~5	△	△	△	○0.15 ~2	

[注] ○：必須成分，△：状態により加える。

泥水の比重測定法としては泥水専用の比重計もあるが、現場で簡単に測定する方法としては次の方法がある。

$$\text{泥水比重} = \frac{[\text{泥水を満した容器の重量}] - [\text{容器の重量}]}{[\text{清水を満した容器の重量}] - [\text{容器の重量}]}$$

5) その他

他に泥水とは異なるが、泥水と同じように循環水の代用として圧縮空気を使用する方法がある。圧縮空気の圧力は5~8 kgf/cm²とし、空気量は66mm孔の場合、2~5 m³/minあれば十分であり、特徴としてはスライムの排除が極めて良く、ビットの摩擦も少なく、掘進能力は数倍向上する。しかし、ボーリング孔内に湧水があるときは、湧水個所にスライムの張付きを起す。これを防止するためには、界面活性剤を空気に混ぜて送れば、湧水量の少ないときは有効である。この空気と界面活性剤の組合せは、使用する水が少なくすみ、山岳地帯あるいは琉球石灰岩地帯のコアボーリングでは多用されはじめている。装置は小型コンプレッサー、レシーバータンク、泡発生装置により構成される。

2 4 事故とその回復

ここでは、削孔時の事故として「ロッド等の器具の落下」、「ロッド・コアチューブの切断」、「埋設物の破損」、「崩壊事故」、「抑留事故」、「逸水事故」をとりあげ、その発生の仕方や対策（回復方法）を述べる。

2.4.1 ロッドの落下

この事故はロッドを引上げる際よりも、ロッドの挿入時に往々にして発生する。すなわち、継ぎ足したロッドをあまり急激に下し過ぎ、手を滑べらせたり、挿入したロッドを若干高く止めてしまい、もう少し低くと考え、手でロッドを持ち、ロッドホルダーをゆるめた場合等に発生する。また、ロッドホルダーのコマが擦り減っている場合も落下事故を招く。

ロッドの回収方法はロッドの上端が浅い位置にあれば次のロッドを挿入し、ロッドのネジ山を合わせることで回収出来るが、深くなればタップ類を用いて回収する。タップには内ネジ用と外ネジ用があるので、状況に応じて使い分ける（図2.3、2.4）^{1)・2)}。

2.4.2 器具の落下

パイプレンチ、カップリング等を孔内に落とすことがある。小さなものであれば、ロッドクラウン掘りにより、孔壁に押し付けることも可能であるが、孔曲りの原因となりやすいので、回収器具等を用い回収するのが良い（図2.5）²⁾。

落下事故は、往々にして気の緩みから発生することを肝に命じておくべきである。



図2.3 インサイドタップの例
(土質調査法 (第2回改訂版), 1982)¹⁾

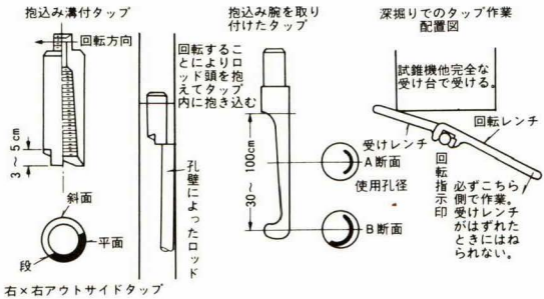


図2.4 タップ作業
(新編ボーリングポケットブック, 1983)²⁾

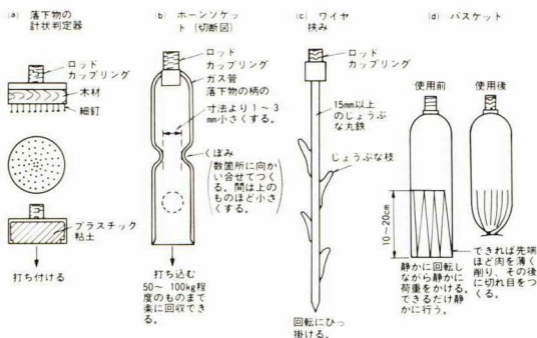


図2.5 孔内事故回収用品の略図
 (新編ポーリングポケットブック, 1983)²⁾

2.4.3 ロッド・コアチューブの切断

ロッドの切断の例はあまりないが、ロッドのネジ山が不良の場合にはその可能性がある。これはロッドを常に点検し、不良なネジ部があればネジを切り直しておくことで防ぐことが出来る。ただし、カップリングを付けた長さが3mとなる様にそろえて置かないと、削孔深度を誤るもとなるので気をつけねばならない。

コアチューブの切断は礫層掘削時に発生することがある。発生個所はクラウンとチューブの接続部が大半で、原因はチューブが摩耗し、ネジ山部が薄くなることによる。常に点検し、摩耗が激しいと思ったら、早めに交換すべきである。

2.4.4 埋設物の破損

道路上の路線調査等の際に起す事故で、事前に良く埋設物を確認しておく必要がある。埋設物は上下水道、電話、電気、ガス等である。着工前に関係機関の台帳などにより位置、埋設深度を調べ、さらに現場では試験掘により確認する。試験掘の深さは少なくとも2 m程度は必要で、さらにその下部も探針棒などを押し込み、障害物の有無を確認する。試験掘りた場所を埋戻す際には探針した位置が判るように、塩ビパイプを建て込んで置くとよい。

ただし、最近では埋設物が数十mの深さに埋設されている例もあるので、深い位置で異物に当たったら、むり押しせず一時削孔を中止し、十分に調査すべきである。

不幸にして、事故が発生した場合は一刻も早く関係機関に連絡し、処置をしてもらうことである。したがって、事前に関係連絡先を十分把握しておくことも大切である。

2.4.5 崩壊・抑留事故

崩壊事故は緩い砂層、礫層、破碎帯などで発生する。この危険を感知した場合は素早くロッドを引上げ、泥水をクロム泥水に切替えるなり、セメンテーション等を行い、未然に防ぐ。不幸にして発生した場合は送水を続け、とにかく、ロッドの回転を止めぬ努力を続け、気長にロッドを上下させ、ジワリ、ジワリと引抜く方法がよい。

抑留事故も崩壊事故とほぼ同様で、ハンマーによる打ち上げを繰り返し、送水（泥水）が続けられる状態を作り出し、ロッドを回転させ、スライムを気長に排出する。あるいは、細いケーシングをコアチューブの肩まで下ろ

し、コアチューブの上部をさらう等の処置を施す。それでも不可能な場合はロッドを逆転して回収する。孔内に残されたロッドは逆タップにて回収し、コアチューブは包み切り等の処置を講ずる。

2.4.6 逸水事故

削孔中にこれが発生すると抑留事故につながるので、逸水防止材の使用、セメンテーション、ケーシングの挿入等の方法を素早く実施する。なお、逸水している個所が粗粒質である場合にはオガクズ等が良く使用される。

参考文献

- 1) 土質工学会編：土質調査法（第2回改訂版）、土質工学会、869p、1982.
- 2) 全国地質調査業協会連合会編：新編ボーリングポケットブック、全国地質調査業協会連合会、544p、1983.
- 3) 労働省編：①省令第19号（労働安全衛生規則の改正）、官報号外特第12号、②告示第54号、官報号外第124号、③労働基準局長通達第538号、基発第583号、1990等
- 4) 通商産業省地質調査所技術部試錐課編：図解ボーリング便覧、ラティス、pp255、1968.

第 3 章



サンプリング

(乱さない試料の採取)

第 1 章 総 説

第 2 章 ポーリング

第 3 章 サンプリング

第 4 章 孔内横方向載荷試験

第 5 章 現場透水試験

第 6 章 間隙水圧測定

3	1	概要
---	---	----

3.1.1 目的と意義

地質調査においてサンプリングという言葉は色々な方面に使われているが、ここでは、浅層部（深くて100m位）の土砂や、未固結な岩盤で土の延長線上で扱うことが妥当なものを対象に試料採取することをサンプリングと呼ぶ事とし、このうち本マニュアルでは、乱さない試料の採取を対象に記載する。

サンプリングの目的は、地層判別や原地盤が持っている諸物性値を室内で求めるための試料を得ようとするものである。最近、室内試験技術や試験機器の性能も急速に向上して、これまで以上に微細な応力、変形に関する情報もキャッチできる様になってきている。このような試験技術の進歩に対応して、地盤が保持している情報をいかに漏らさず包み込んだサンプルを試験室に提供できるかが、重要な意味を持っているとも言える。

近年、重要構造物や大型構造物の建設例が増えるにつれて地盤調査でも精度の高い成果が要求されてきている。

一方、埋め立て地のように、未だ安定してない地盤の上に都市や空港などが建設される場合の、地盤改良の設計、施工や、これら改良土の工学的特性に対する理論的究明のためにも高品質のサンプルが要求されている。この様な要求に対応すべく多様なサンプラーが開発実用化されている。

3.1.2 サンプリングの種類と適用条件

サンプリングの種類を分類する切り口は幾つかある。対象とする土の区分（いわゆる粘性土，砂質土，礫質土）と土の状態（乱した，乱さない）の組み合わせで分類する方法や、サンプリングの方法で分類する方法などが代表的である。

表3.1にオーガーボーリングやコアボーリングを除いたサンプリングの方法で分類したサンプリングの種類とサンプラー、その適用条件についてまとめてみた。**表3.1**のうち、標準貫入試験器によるサンプリング以外は基本的には乱さない試料の採取を意図したものである。

これらの多様なサンプリング方法のうち、ここでは、ボーリングを併用して行われる代表的なサンプリング方法について、サンプラーの構造や取扱い方法、手順について記すものとする。

表3.1 各種サンプラーの概要と適用土質

サンプリング方法	主なサンプラーの種類	構造	試料の径cm	採取試料長さcm	通常のボーリング孔径mm	貫入方法等	適用土質
固定ピストン式サンプラー	固定ピストン式シンウォールサンプラー	単管	7.5	80	86	静的貫入	※粘性土 N=4以下 砂 N=10以下
	水圧式ピストンサンプラー	二重管	7.5	80	100	静的貫入	※粘性土 N=7, 砂 N=15以下
	ツイストサンプラー	二重管	5.0~7.0	70	76~96	静的貫入	N=0 20の砂質土及びびへドロ状地層
	改良型ピッシュアップサンプラー	二重管	5.3	50	86	静的貫入	※ N=20以下の砂
	サンプリング内蔵型サンプラー	三重管	7.5	30	135	静的貫入	N=5~10以下の砂
	スクリーサンプラー (スクエーデーウィッシュ・スタン ダードサンプラー)	二重管	5.0	60	86	静的貫入	※粘性土 N=10以下 砂 N=20~25以下
	フォイルサンプラー	単管	6.8	2,500	125	静的貫入	軟らかい粘性土
	ベゲマンサンプラー	二重管	6.6	1,800	(110)	静的貫入	軟らかい粘性土
	デニソン型サンプラー (シンウォールチューブ使用)	二重管	7.5	80	116	回転掘削、圧入	N=20~30以下の粘性土
	大型デニソン型サンプラー	二重管	20.0	100	230	回転掘削、圧入	N=3~5以上の粘性土 N=10~15以上の砂 一部 礫も可能
回転式サンプラー	トリプリーチューブサンプラー (三重管 or 四重管)	三重管	8.0~50.0	100~180	116~600	回転掘削、圧入	
	ロータリーターイブサンプラー	三重管	5.1	60	86	回転掘削、圧入	N=15以下の砂

ブ リ ン グ	によるもの	ロータリーフォイルサンブラー	二重管	9.3	1,000	210	回転掘削、圧入	N=50の砂、礫も可
		ピッチャーサンブラー	二重管	7.5	100	125	回転掘削、圧入	N=3～5以上の粘性土
		トリファースサンブラー	三重管	10.0～17.0	150	145～200	回転掘削、圧入	N=10～15以上の砂
		ビニールバック式サンブラー (三重管)	二重管 (三重管)	5.4～30.0	100～160	65～450	回転掘削、圧入	N=3～5以上の粘性土 N=10～15以上の砂 一部 礫も可能
		土圧バランスサンブラー	三重管	125	100	196	回転掘削、圧入	砂、砂礫 (ϕ max 50mm)
		シンウォールチューブ使用	単管	7.5	80以下	86	静的または打込み	粘性土 N=5, 砂 N=20以下
		標準貫入試験	単管	3.5	45	66	打撃	N 50でも可
		大口径サンドサンブラー	単管	20.0	100	355	静的貫入	N=10以下の砂
		ブロックサンブリング (含アドバンストリミグ法)	—	—	—	—	—	ほとんど全ての土に適用
		原位置凍結サンブリング	引き抜き法	—	60.0	600	—	—
オーバークコアリング法	単管		60.0	800	650	回転掘削	砂 全般	
コアリング法	二重管		10.0～300	150～170	145～360	回転掘削	砂及び砂礫 全般	

※ 土質調査法 (土質工学会) サンブリングマニュアル (土質工学会) の記載を参考に例示したが、適用N値は高めてある。

サンプルング方法欄の使用サンプラーは土質、地質の違いや各種試験の供試体の大きさに適応できるものを表3.1を参考に選択する。

(2)機械の選定

サンプルング孔の掘削孔径や深さに適合したボーリングマシンや送水ポンプを選定して使用する。なお、一般的にはサンプラーを連続的に貫入させるために長ストロークのスピンドルを有した機械が望ましい。

(3)サンプルング孔の掘削

サンプルングのためのボーリングでは、掘削時の泥水が孔底に過大な圧力を与えないように、ウイング付きコアバーレル (図3.1)等を使用するのがよい。

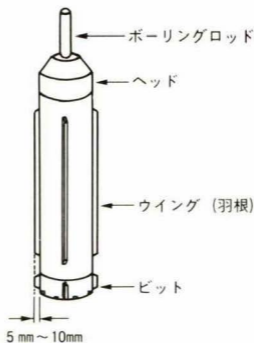


図3.1 ウイング付きコアバーレル

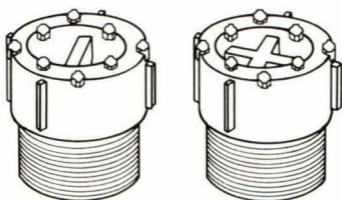
(土質調査法¹⁾, 1982に一部加筆)

(4)循環水の濃度

サンプルング時の泥水濃度は一般的にシルトおよび粘性土においては薄く、砂および砂質土では濃い方が良好な結果を得ることができる。

(5) サンプリング孔の仕上げおよびスライム排除

孔底の仕上げは一文字か十文字 (クロス) ビット (図 3.2) を用い、平坦に仕上げることは言うまでもない。スライム (掘削残土) は良好なサンプリングの大きな障害要因に成るのでセジメントチューブ等を利用して完全な排除に努める。



(a) ウイング付き一文字ビット (b) ウイング付きクロスビット

図3.2 孔底仕上げ用ビット

(土質調査法¹⁾, 1982に一部加筆)

(6) 振動対策

サンプリングの大敵である振動、衝撃を緩和するためエンジンの下に、直径10cm位で高さ5~6cmの防振ゴムを敷くとよい。

(7) サンプリング時の記録

サンプリング時の状況を記録に残しサンプリングの質の評価に資するとともに次回サンプリング計画の指針とする。表3.3に記録用紙の一例を示す。

表3.3 サンプリング記録用紙例¹⁾ (土質調査法, 1982)

サンプリングの記録		報告用紙
調査名・調査地点	〇〇道路土質調査	標 高 TP 2.08 m
試料番号・深さ: No	4-2 (5.00m-5.80m)	調査責任者 田中一雄
1. 現場記録 (採取年月) 昭和57年 1月 20日 (調査者) 山本二郎		
ボーリングの方法 ロータリー式バンドフィード試錐機による; ベントナイト循環泥水を使用		
サンプラーの形式 固定ピストン式シンウオールサンプラー サンプラーの押込み方法 ティーンアップロッドによる押込み		
サンプリングチューブについての記録(サンプリング前)		
長さ	100 cm	外径最大 75.01 mm
内径	1.5 mm	最小 75.00 mm
刃先角		6 度
材質 ステンレススチール	刃先肉厚 0.20 mm	内径比 0 %
サンプリング後の記録		
サンプラーの押込み長さ	H = 80 cm	ピストンロッドの相対的移動量から求めた採取長さ L = 80 cm
実採取試料長さ	L _a = 78 cm	全採取変形比 (L/H) × 100 = 100 %
実採取変形比 (L _a /H) × 100 =	98 %	
土質名称	粘土	
シールの材料	パラフィン(パラフィン約 97%, 松やに約 3%)	
シールの厚さ	刃先部 2.5 cm	上部 4 cm
サンプリングにおける異常の記録 (ボーリング機械の故障, 刃先の磨耗, 引上げ時) (その原因, 発生, その時の異常について記録する)		
押込み速度 15cm/sec; 連続		
その他異常なし		
試料の現場での保管方法 スポンジマットで包み, 凍結しないよう, ライトバン内で保管		
試料の輸送方法 期型の有無 (有) (無)		
東川水 → 河川 → 橋 → トラック → 航空機 → 船 → 人 → 車 → トラック		

3 3 シルトおよび粘性土のサンプリング

シルトおよび粘性土(以下、粘性土と記す)を対象としたサンプリングのうち、使用頻度の高い次の3つのサンプラーを用いたサンプリングについて記述する。

- ① 固定ピストン式シンウオールサンプラー
- ② 水圧式ピストンサンプラー
- ③ 回転式サンプラー(デニソン型サンプラーなど)

なお、表3.1に示すようにこれらのサンプラーは粘性土以外の土のサンプリングにも適応しており、共通部分が多いことを理解していただきたい。

表3.4 回転式サンプラーのサンプリング記録用紙例

回転式サンプラーのサンプリング記録					
調査名	熊本県環境衛生協会土木部衛生工学に於ける地質調査			調査年月日	4年 11月 10日
地点名	B-2			担当名称	西山 幸司
サンプラー名	B-2-3			シューの突出長	30 mm
調査深度	14.00 m ~ 15.00 m			土質名	砂
孔径	99 / 100			固定距離	15 mm / 10cm
サンプラー型式名	トキワホフサ-7サンプラー			シューの突出長型式名	YSO-1
シューの径(φ)	1 mm			ポンプ型式名	KANO Y6

深さ (cm)	経過時間 (min)	押し込み荷重 (kgf)	ポンプ圧力 (kgf/cm ²)	回転速度 (rpm)	備考
10	0'15"	150	1.0	32	
20	0'43"	200	1.0	32	
30	1'30"	350	1.0	32	
40	2'00"	350	1.0	32	
50	2'30"	350	1.0	32	露出あり
60	3'10"	350	1.0	32	
70	4'00"	350	1.0	32	
80	4'45"	350	1.0	32	
90	5'50"	400	1.0	32	
100	7'15"	400	1.0	32	
110					

備	シューの突出長が少し短かったようである。35mm程度が適当と思われる。
考	上層 スライム5mm程度あり、露出で若干の腐植物混入する。
	下層 露出~中砂で含まれ多い。

3.3.1 固定ピストン式シンウォールサンプラー

(1) 装置とその取扱い方法

原則として土質工学会基準『固定ピストン式シンウォールサンプラーによる土の乱さない試料の採取法』(JSF T1-1982) (以下学会基準と記す) によるものとする。

学会基準で示すサンプラーの一例、サンプリングチューブを図3.3~図3.5および表3.4に示す。

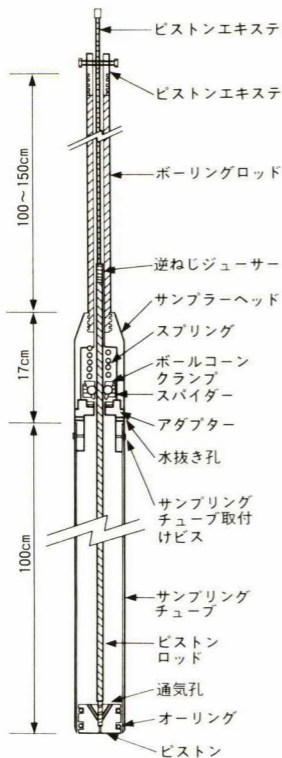


図3.3 固定ピストン式シン
 ウォールサンプラー
 組み立て完成図¹⁾

土質調査法¹⁾, 1982に一部加筆) (カップリングサンプラーヘッド)

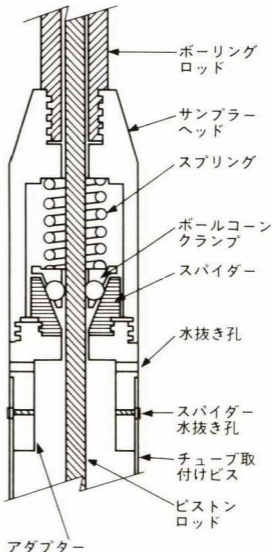
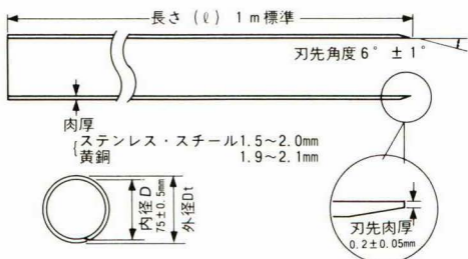


図3.4 固定ピストン式サ
 ンプラーヘッド部の詳細図¹⁾

(土質調査法¹⁾, 1982に一部加筆)



※引き抜きパイプが望ましい。

図3.5 サンプルングチューブ

(土質調査法¹⁾, 1982に一部加筆)

表3.5 サンプルングチューブの形状

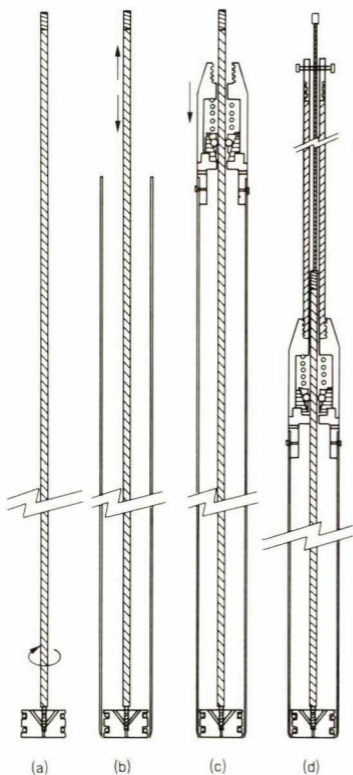
標準内径	75mm	
肉厚	ステンレススチール製	1.5mm~2.0mm
	黄銅製	1.9mm~2.1mm
刃先角度	$6^\circ \pm 1^\circ$	
刃先肉厚	$0.2\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$	
標準長さ	1 m	
偏平度	$D_t (\text{max}) - D_t (\text{min}) < 1.5\text{mm}$	

$D_t (\text{max})$, $D_t (\text{min})$ は、それぞれ任意の断面における最大外径、最小外径である

※ 引き抜きパイプが望ましい。

1) サンプラーの組み立て方法

サンプラーおよびサンプルングチューブの点検を行った後、サンプラーの組立は次の順序で行う (図3.6)。



(留意点)

- ① ピストンの通気孔が密閉されていることを確認する (通気孔のタイプは2種類ある)。 (a)
- ② サンプリングチューブの刃先が傷つかないように保護して行う。ピストンがゆるい場合はバックギアの調整を行う。 (b)
- ③ ビス穴を合わせるとき、サンプラーヘッドは必ず右回転で行う。 (c)
- ④ ピストンロッド上端の逆ネジレジューサーをしっかりと締める。ピストンエクステンションロッドの浮き上がり防止用ストッパー (通称蝶々という) をつける。 (d)

図3.6 固定ピストン式シンウォールサンプラーの組み立て手順

(2) サンプリングの手順および留意事項

1) サンプラーの孔内挿入と降下

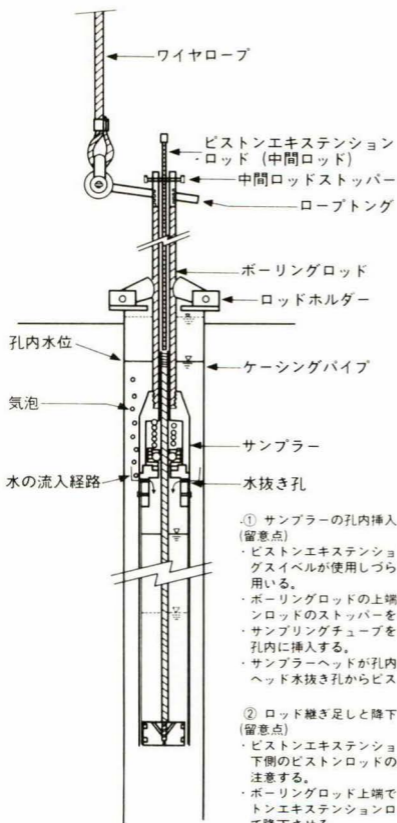


図3.7 サンプラー孔内挿入と
ピストン背面空洞への注水

2) ピストンの固定 (図3.8)

- ① ピストンエクステンションロッドに専用のリングフックを付ける。
- ② ボーリング槽のU金具にチェーンを固定し、ターンバックルをいっぱい弛めた状態にしてチェーンをリングフックに掛ける。
- ③ ターンバックルを締め込みチェーンのゆるみをなくする
- ④ ボーリングロッド上端の所のピストンエクステンションロッドにチョーク等で印を付ける。

- (留意点)** ・ボーリング槽は3本柱を結束するなどして剛性を高める。(押し込み時に引っ張り荷重で槽がたわむとピストン固定の効果が低減する)
- ・槽脚下に板などを敷き、めり込みを防止する。
 - ・スピンドルを一番下に降ろしチャックを締めた状態にしてボーリングロッドにも印をつける。

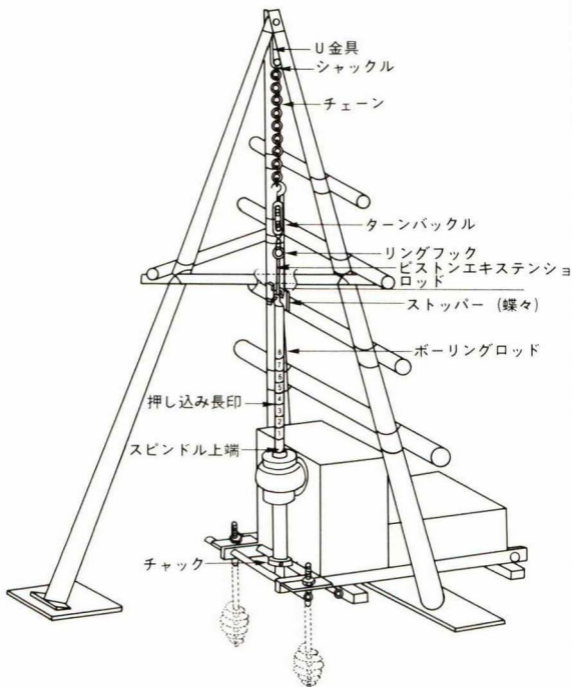


図3.8 ピストン固定例

3) サンプラーの押し込み (図3.9)

押し込み方法は①チェーンブロックやウインチを用いて押し込む方法、②ボーリングマシンのスピンドルを利用する方法、③人力による方法などが行われている。

(留意点) ・押し込み反力の取り方として図3.10に示すやり方が多く用いられている。

- ・最大押し込み長さは、試料採取有効長さ (ピストンがサンプリングチューブ内で後退し得る長さ) の90%以内とする。常識的

には1 mのサンプリングチューブを用いた場合で80cm程度とする。

- ・押し込み速度は20sm/s程度の比較的高速で行い、振動や回転を与えないように連続的かつ等速度で行うのが望ましい。

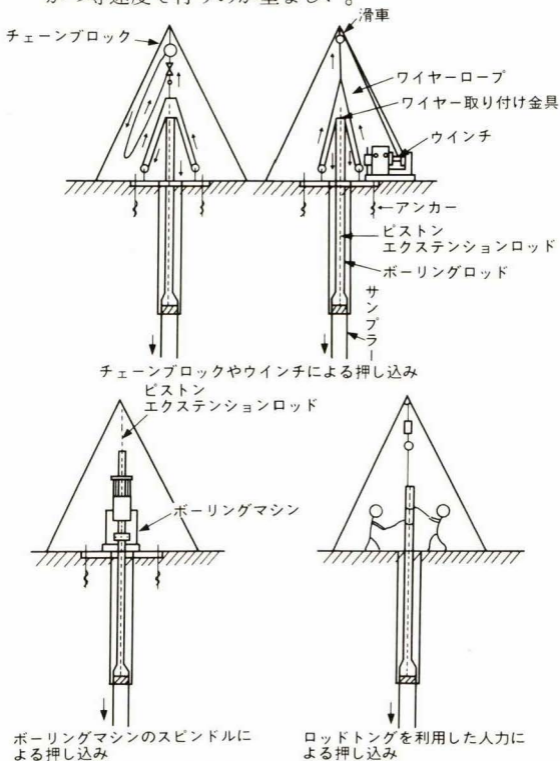
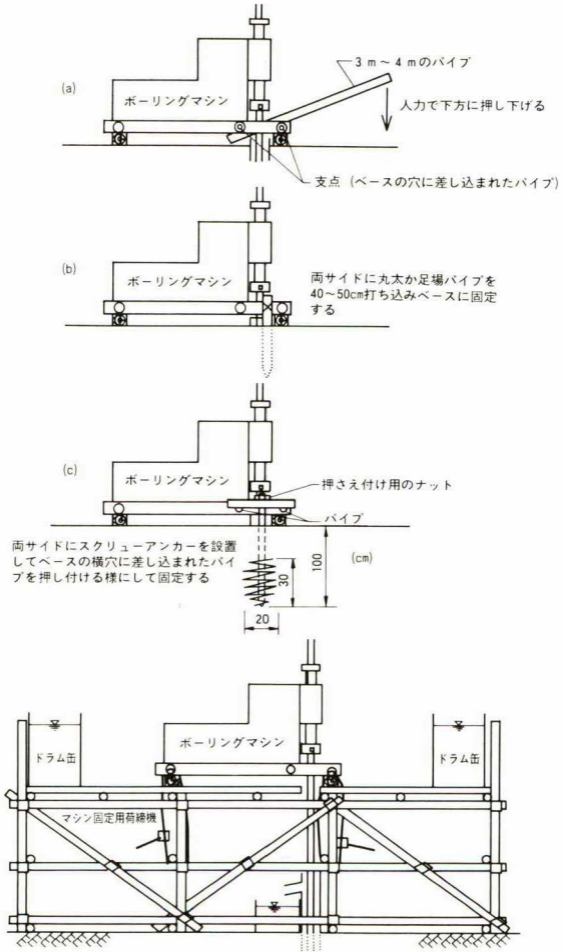


図3.9 サンプラー押し込み方法の例

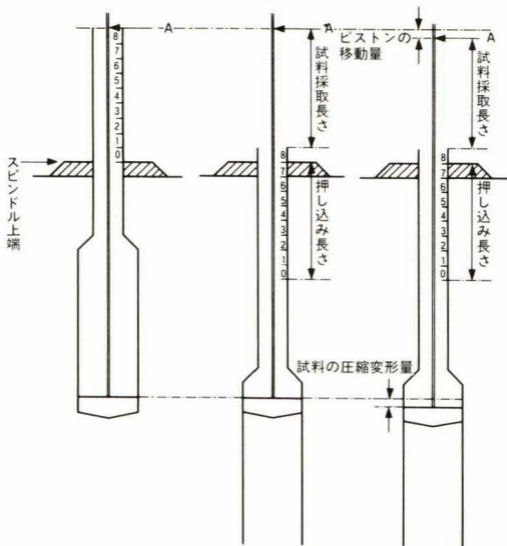
(土質調査法¹⁾，1982に一部加筆)



荷締機などで足場とマシンを固定する。
反力不足の場合は水の入ったドラム缶などを足場に載せる。

図3.10 押し込み反力のとり方

4) 押し込み長さの測定 (図3.11)



サンプラー押し込み前

サンプラー押し込み後

スピンドル上端を基準面にしてボーリングロッドに10cmの間隔でマークを付ける
 ボーリングロッド上端に位置するピストンエクステンションロッドにマークを付ける (A点)

ピストンの固定が完全な場合ピストンの固定が不完全な場合ボーリングロッドに付けたマークにより押し込み長さを求める
 A点からボーリングロッド上端までの長さを測り試料採取長さとする
 (ピストンエクステンションロッドのボーリングロッドに対する相対移動量)

図3.11 固定ピストン式サンプラーの押し込み長さの測定

(土質調査法¹⁾, 1982に一部加筆)

5) サンプラーの引き上げ

押し込み長さの測定終了後、ピストンエクステンションロッド固定の蝶々を締め付けて (ピストンロッドのボールコーンランプがスライム等により利きが悪い場合

があるために) 押し込んだ部分を静かに引き上げる。このとき縁切りのための回転は試料を乱す原因になるので行ってはならない。それから蝶々をゆるめてピストンエキステンションロッドを締め込む方向に回転させて、ピストンロッド上端の逆ネジの所から外し、ボーリングロッドの引き上げに先立って撤去する。以降順次ボーリングロッドを引き上げ、サンプラーを回収する。この際に試料の入ったサンプラーに振動や衝撃が加わらない様に十分注意する。

6) サンプラーの解体 (図3.12)

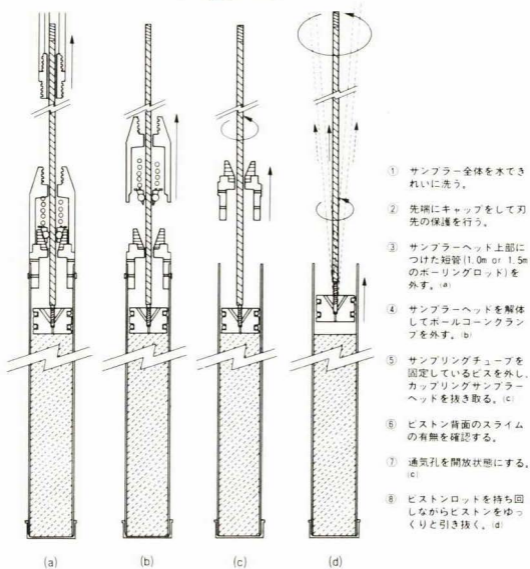


図3.12 固定ピストン式シンウォールサンプラーの解体手順

7) 試料の観察

チューブ両端の2 cm～3 cmしか試料の観察はできないが、なるべく詳しく観察、記録するように心掛ける。チューブの上側のスライムは、きれいに排除するようにする。それから試料の実採取長さを測定する。また下部の方の脱落状態も忘れずに測定、記録する。

3.3.2 水圧式ピストンサンプラー

(1) 装置とその取扱い方法

1) サンプラーの構造

図3.13にサンプラーの構造例を示す。この例では外径90mm、肉厚3mm、有効長920mmのヘッド付きシリンダー（筒管）にセンターホール型のフリーピストン（サンプリングチューブの押し込み用）を内蔵している。その下側にボールコーンクランプ内蔵の（固定ピストン式シンウォールサンプラーとは逆方向のボールコーンクランプである）サンプルチューブヘッドがある。またピストンロッドはサンプラーヘッドに固定されていて、先端の方にはピストンがつながれている。ピストンの通気孔はピストンロッド取り付け孔で兼用されている。フリーピストンが水圧により押し出されると、まず、サンプルチューブヘッドのクランプ解除突起部にあたりクランプをフリー状態にした後にサンプリングチューブヘッド部が押し下げられることによりサンプリングチューブが地中に押し込まれる構造となっている。フリーピストンが最下位まで押し下げられると圧力水開放口（シリンダー下部の側面に $\phi 10\text{mm}$ の孔が2～4孔ある）より圧力水は孔内に開放される。

サンプリングチューブは、固定ピストン式シンウォールサンプラーで使用するものと同規格とする。

このサンプラーの他、フリーピストンへの水圧の加え方を地上部のガス圧を介して行う方法等に改良したものやサンプリングチューブの貫入状況を地上で点検するためにフリーピストンヘッドにガイドロッド（またはワイヤー）が接続されているもの等がある。

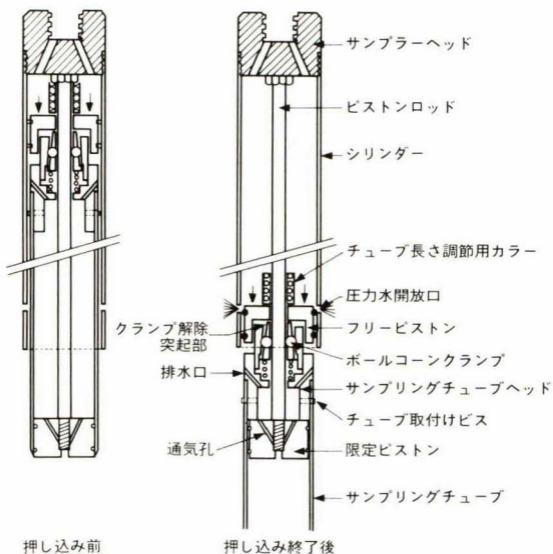
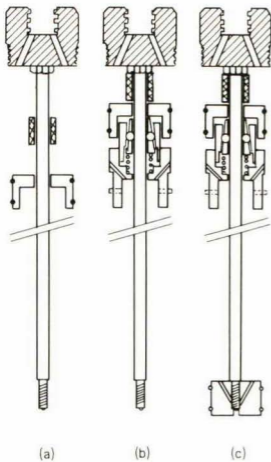
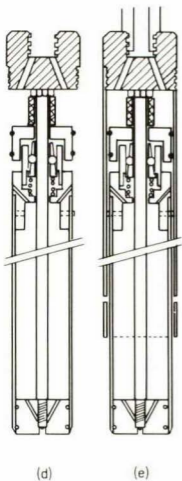


図3.13 水圧式ピストンサンプラー

2) サンプラーの組み立て (図3.14)



- ① サンプラーヘッドとシリンダーのネジを外し、シリンダーを抜き取る。
(留意点) ・ピストン類のOリング部にグリース等を塗ると作業しやすい。
・短いサンプリングチューブを用いる場合は長さ調節用のカラーを使用すると良い。
- ② ピストンロッドに先ずフリーピストンを通す。(a)
- ③ サンプリングチューブヘッドを通す(b)。
- ④ ピストンをきつく締め込んで取り付け(c)。



- ⑤ サンプリングチューブの変形等の有無や固定ピストンバックキング(Oリング)の利き具合をチェックする。(d)
- ⑥ 異常が無ければサンプリングチューブをヘッドに差し込みビスで固定する。この時、固定ピストンの位置はサンプリングチューブの先端に来るようにセットする。
(留意点) ・チューブの差し込みや位置合わせて回転を与える時は必ず右回転で行う。
・固定ピストンバックキングの利き具合をチェックし、調整する。
- ⑦ シリンターを入れ、サンプラーヘッドに接続する。(e)

図3.14 水圧式ピストンサンプラーの組み立て手順

(2) サンプリングの手順および留意事項

1) サンプラーの孔内挿入、降下

サンプラーの孔内挿入、降下の方法はサンプリングチューブを傷つけない事、降下速度を遅くする事の他は通常のボーリングの時と同じ要領でよい。

ゆっくりした降下速度で孔底附近まで降ろしたらスピンドルのロッドに接続して孔底まで降ろしロッドホルダーで固定する。

(留意点) ・ サンプラーのシリンダーヘッドにボーリングロッドを接続する場合、水抜き孔付きレジャーをセットする。

2) ボーリングロッドの固定

ボーリングロッドの固定は、スピンドルを一番上に上げた状態にしてチャックを締める。固定が完了したらスピンドル上端のロッドの所にチョーク等で印をつける。

(留意点) ・ ボーリングマシンを押し込み反力に用いるため、絶対浮き上がらないよう固定する。

3) サンプラーの押し込み

(a) 押し込みに使用するポンプ

使用ポンプは吐出量30 l/min、圧力20kgf/cm²~25kgf/cm²以上の能力で脈動が少なく、リターン回路を備えているものを使用する。

(留意点) ・ やむを得ずボーリング用泥水ポンプを使用する時はポンプの回転を速くし、リターン回路で水量を調節することにより脈動を緩和する。

・ 同上の場合10kgf/cm²以下相当で用いるのがよい。

- ・使用する泥水あるいは水は、スライム等の入っていないものを用いるのがよい。

(b)ポンプの送水（押し込み）（**図3.15**）

- ① スピンドルのチャックの締め付けを確認する。
- ② ポンプのクラッチを入れて、リターン回路のバルブ調節して水圧を序々に高める。
- ③ 送水圧が減少し、送水が孔内から戻ってくれば所定の押し込み完了である。

(留意点) ・リターン回路のバルブをいつでも操作できる状態にし、圧力ゲージを見ながら押し込み速度の調整を行う。

- ・ポンプ圧が能力一杯になった時（脈動が大きくなった時）、押し込み反力装置が浮きだした時は直ちにリターン回路を解放し（押し込みを中止し）、ポンプを停止する。

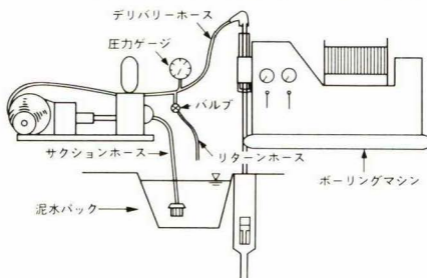


図3.15 水圧式ピストンサンプラーの押し込みの例

4) サンプラーの引き上げ

- ① スピンドルのチャックをゆるめてロッドの浮き上がり量を測って置く。
- ② サンプラー押し込み部の引き上げはボーリングマシンのスピンドルで回転を与えない

ように静かに引き上げる。③以降順次振動、衝撃を与えないように通常ボーリング作業の要領で地上に引き上げサンプラーを回収する。

(留意点) ・計測ロッド等がついたものはその移動量で押し込み長さを測る。

・計測ロッド等が備わっていないサンプラーでは、押し込み長さが規定長に達していない場合は押し込み長さが確認できない。

5) サンプラーの解体 (図3.16)

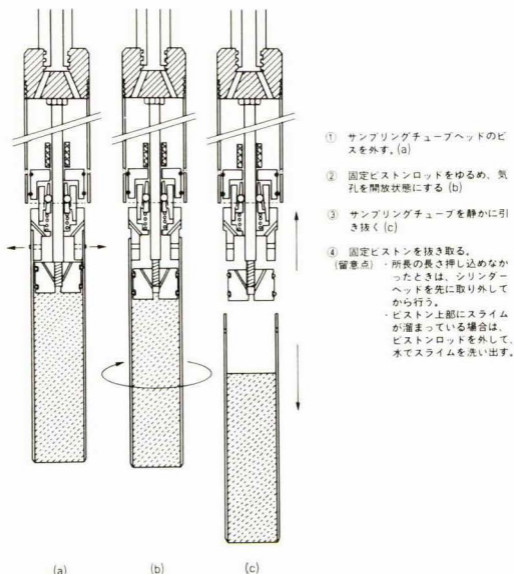


図3.16 水圧式ピストンサンプラーのサンプリングチューブ取り外し手順

6) 試料の観察

3.3.1 (2).7)と同じ

3.3.3 回転式サンプラー (デニソン型サンプラーなど)

日本での回転式サンプラーの元祖ともいえるデニソン型サンプラーは、1940年にアメリカ陸軍工兵隊デニソン地区のためにジョンソンが考案したデニソンサンプラーが原型となっている。

今日、フォアマンに通称デニソンサンプラーと呼ばれているものは、二重管構造をした回転式のサンプラーで内管にシンウォールチューブを用い、原型に比べ軽量、小型化されている。この二重管式サンプラーの構造上の特徴が原型デニソンサンプラーと似てるところからデニソンサンプラーと呼びならわしてきた。現在では、原型のものと区別するためにデニソン型サンプラーと呼んでいる。日本ではこのデニソン型サンプラーが成長、進化して現在では多種多様な回転式サンプラーが開発供用されている。

(1) 装置とその取扱い方法

1) サンプラーの構造 (図3.17)

二重管～四重管構造でスィーベルハウジング（スラストベアリングにてサンプリングチューブの共回り防止をする機構のこと）を有しているのが特徴である。

また、回転式サンプラーではリトラクター機構（スプリングや空気バネにより地盤の硬さに対応してシューの突出し長さが自動的に変化する、伸縮自在型のこと）を備えているものが多い。（デニソン型では、シンウォー

ルチューブを用いることでカッティングシューは独立していない) また、内管の水抜き孔がスィーベルハウジングの中心部を通りヘッド上方部より排水されるように設けられている。その回路の途中に試料脱落防止用のボールバルブ (一方弁) が設けられてあるものや、排水孔出口にシートバルブを取り付けているものなどがある。

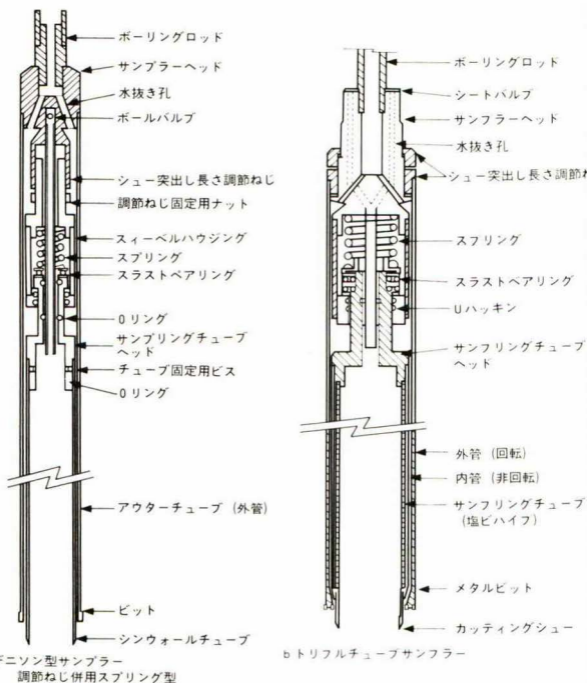


図3.17 回転式サンプラーの代表的な構造図例

2) サンプラーの組み立て (図3.18)

デニソン型サンプラーの組み立て手順は、図3.18に示すとおりである。

他の回転式サンプラー（三重管方式）の場合は、外管のビットを外し、内管に接続されているシューを外して、その中にサンプリングチューブ（材質は色々で、真ちゅう、鉄、ステンレス、アクリル、硬質塩化ビニールなどがある）を挿入する。

シューを付け、ビットを付けると組み立ては完了である。

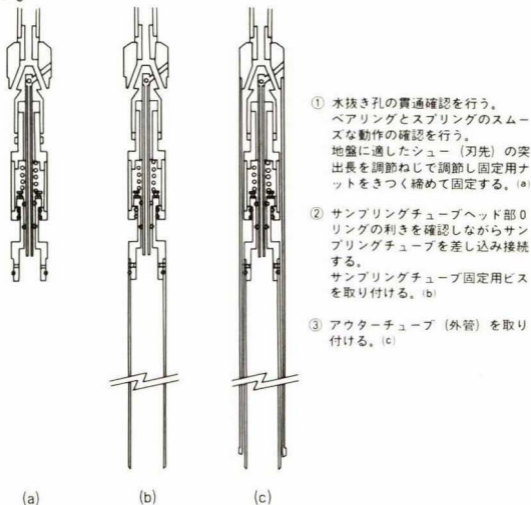


図3.18 デニソン型サンプラーの組み立て手順
(調節ネジ併用スプリング型)

3) シュー突出し長さなどの決め方

シューの突出し長さは一律に決めるのは困難である。ただ一般的に次に記す例を参考にして突出し長さの調整

を行うのがよいといえる。

- ① 地盤が軟らかい (ゆるい) ほど、シューの突出し長さは長くする。
- ② 水量が多い程、シューの突出し長さは長くする。
- ③ 地盤が硬く (密に) なるほどシューのクリアランスは大きめにし、シューの突出し長さは短くする。
- ④ 砂質土の場合は、送水量を多くするとシューのクリアランスは少なくとも良い。すなわち、送水量とクリアランスは反比例の関係にある。
- ⑤ ボーリングマシンや送水ポンプおよびサンプラーなどの感触がはっきりしない場合は、次のような組み合わせで実施してみる。

シューの突出し長さを、スプリングがいっぱいに圧縮された状態で10mm程度、シューのクリアランスは1mm程度のものを用い、送水量は60 l/min程度、給圧は250kgf~750kgf、貫入速度は5 cm/min~10cm/minの設定でサンプリングを実施する。その結果をみて次のサンプリングに対して調節 (シューの突出し長さ、クリアランス、送水量、貫入速度など) を行ない、地盤、サンプラー、ボーリング方法の最適な組み合わせを求める。

(2) サンプリングの手順及び留意事項

1) サンプラーの孔内挿入、降下

- ① 孔内挿入作業は、他のサンプラーと同様である。
- ② 孔内降下はゆるやかな速度で行う。
- ③ 孔底より最低3 m位上から送水をしながらサンプラーを降ろして行く。

(留意点) ・回転式サンプラーは重いものが多いので、サンプラー用台車等を用意できれば、作業

性が向上する。

- ・スライムや孔壁のせり出しのために、サンプラーが掘削深度迄降下しなかった場合には、回転、送水を行いながら降下させる。

2) サンプラーの押し込み

- ① チャックを緩めてスピンドルを一番上方に上げる。
- ② チャックを締めてロッドを固定して、回転を与える。
- ③ この時押し込み荷重（給圧）は、所定の押し込み荷重(250kgf程度)になるまでは徐々に増加して行く。
- ④ 貫入速度が5cm/min程度になるように、押し込み荷重を調節する。
- ⑤ 1ストロークの押し込みが終了したら、30秒～1分間位、回転を与えた状態で送水ポンプのリターン回路のバルブを一部解放しポンプ圧が0.2kgf/cm²～0.5kgf/cm²になるように圧力を下げる。
- ⑥ 押し込み荷重がゼロの状態（サンプラーとボーリングロッドの自重のみの状態）にする。
- ⑦ 回転を停止し、チャックを緩めスピンドルを上げチャックを締める。
- ⑧ リターン回路を調整し、送水を正常な状態にすると同時に押し込み荷重を250kgfまで上げ、回転を与えてサンプリングを続行する。
- ⑨ 所定の長さ（80cm～100cm）の押し込みが終了するか、押し込み困難になった場合は、押し込み荷重を100kgf程度にして4分～5分間回転を継続する。こうするとシュー先端部での試料切断が容易となることが多い。（特に粘性土の場合に必要で、砂質土で固結度の低い場合は必要ない）

(留意点) 1 ストロークの押し込み終了直後に、何の処置もしないでチャックを緩めると、サンプラー内蔵のスプリングが伸びようとする力、ボーリングロッドの圧縮やたわみの復元力、循環水圧のピストン作用による上向き力、それらの力が引き起こす慣性力で、サンプラーが飛び上がりシュー先端部の試料に過大な負の歪みが生じ試料が乱れる。極端な場合は試料が切断され、その切断面に循環水が回り込み、サンプリングチューブ内に取り込まれている試料を循環水圧で押し上げる場合もある。またハンドフィード型のボーリングマシンにおいては、フィードレバーの切り替え時に押し込み荷重が一時的に解放状態になるために、前記のような現象が起きやすいので丸ハンドルで仮押えしながらフィードレバーの切り替えを行うようにするなどの工夫をする。

3) サンプラーの引き上げ

- ① 回転を停止して、上向きの力を加えてシューの部分で試料切断を行う。引き上げ始めはサンプラーとボーリングロッド自重に50kgf~60kgf位の力を加えた引き上げ力でゆっくり引き上げる。
- ② 動きが止まったら（この確認でシューが試料を掴んでいることが判る）、徐々に引き上げ力を増して行く。
- ③ 1cm~2cm動いた所で、突然動きが早くなり、引き上げ力も装置の自重程度に低下するよな場合は、シューの所で試料が切断された事を意味するのでそ

のまま静かにサンプラーを引き上げる。

- ④ サンプラーの引き上げは、負圧がサンプラー直下に発生しないよう孔内水が大きく排出されないようなゆっくりした速度で行う。
- ⑤ ロッドの切り離し時は衝撃を与えないようにする。試料の入ったサンプラーは一段と重くなっているために持ち運びは慎重に行う。
- ⑥ ホイスティングスィーベル圧抜き孔は大きなものを用いる。

4) サンプラーの解体 (図3. 19)

デニソン型サンプラーの解体手順は、図3. 19に示すとおりである。

(留意点) サンプリングチューブを内管より引き出す時には、少しサンプラー先端の方を高くしてボールバルブが利かない状態にして引き出す。

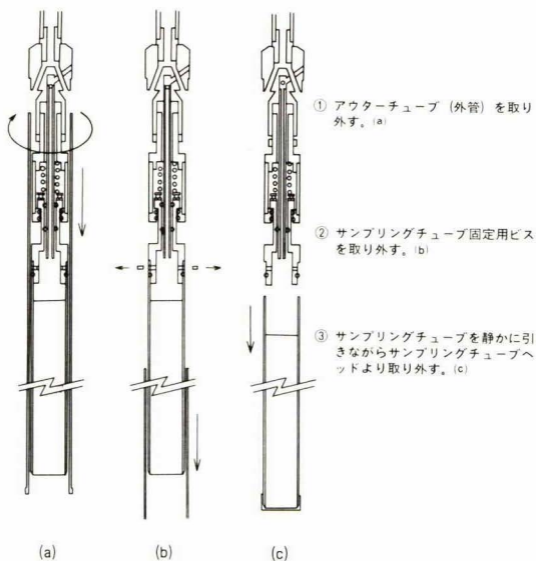


図3.19 デニソン型サンプラーのサンプルングチューブ
取り外し手順 (調節ねじ併用スプリング型)

3	4	砂および砂質土の サンプリング
---	---	--------------------

砂および砂質土（以下、砂質土と記す）を対象としたサンプリングの基本的考え方は、粘性土を対象としたサンプリングと大差ない。ただ、粒状体の性質を強く示す土を対象とするために幾つかの注意するポイントが加わる。

- ① ボーリングによる地盤の応力変化（掘削によるゆるみ、水圧による洗掘、圧縮力等）の影響を受けやすい。
- ② サンプラー押込時の圧縮力の影響を受けやすい。
- ③ サンプリングチューブ内で、インサイドクリアランスによるゆるみが生じやすい。
- ④ サンプラー引き上げ時、サンプリングチューブ内での試料の保持が難しい。また、チューブ内での僅かな試料の移動によっても土の工学的特性の変化が大きい。

などがあげられる。

しかも②の押込み時の圧縮力を低減するためにサンプリングチューブやシュー部のインサイドクリアランスを大き目にする、③のゆるみ現象が大きくなる等、それぞれの要因が見掛け上相反する条件のもとに対処しなければならない難しさがつきまとう。

一方、サンプリングの質について簡便で統一的な評価法が確立し難いことも砂質土のサンプリングが普及しにくい要因の一つとなっている。

粘性土では一軸圧縮強さなどの応力-歪曲線からおお

よそサンプリングの良非が比較できるが、砂質土では強度（強度比）が高いことがサンプリングによる圧縮現象（サンプリングとしては好ましくない）や試験時の供試体作成の問題による場合もありうるのでサンプリングの品質評価は単純ではない。

その他多くの問題を有しているものの、近年ノウハウの集積により砂質土を地上にとり出す「サンプリング」技術は一通り確立できたといえる。さらに、より高品質のサンプリングを目指し、特殊サンプラーの開発や、凍結サンプリング技術の改善などが行われている。

ここでは砂質土を対象としたサンプリングの一般的な留意事項を記し、その後いくつかの特殊なサンプリング手法についても触れる。

3.4.1 砂質土のサンプリングにあたっての 注意事項

3.2項で記したサンプリング共通の留意事項に加え、砂質土のサンプリング特有の注意事項は次のようである。

1) 試料採取長さ

砂がサンプリングチューブ内にとりこまれてくるとチューブ内壁との間に摩擦が発生する。この摩擦が大きくなると試料に悪影響をおよぼすため1回当たりの試料採取長さを短くする。採取長さの目安として以下の提案²⁾がある。

ボシュレフ 粘着性のない土 $L_s = (5 \sim 10) D_s$

カナダの規格 粘着性のない土 $L_s < 10 \cdot D_s$

非常に緩い土 $L_s < 5 \cdot D_s$

ここに L_s : 採取有効長さ D_s : 採取試料径

(留意点) ・サンプリング計画では必要供試体長を勘案し、連続サンプリング（サンプリング本数を増す）計画をたてる必要がある。

2) 泥水中のスライム除去

泥水中の浮遊スライムも極力除去すること。これを怠るとサンプラー水抜き孔から浮遊スライムがサンプラーヘッド内に回り込み、ピストンの移動やクランプの働きを阻害する場合がある。

(留意点) ・サンプリングにあたって新しい泥水で孔内泥水を置換える。

・サンプラーを降下させる時、ピストン背面にあらかじめ水を満しておく（固定ピストン式サンプラー）。

・水抜き口に逆止弁等を設ける。

3) サンプリングチューブ

粘性土にくらべ、砂質土地盤への貫入抵抗が大きい場合が多いので、押込型のサンプラーで用いるサンプリングチューブは剛性の高いものを用いるのがよい。

4) インサイドクリアランス

細粒分の少い砂、緩い砂を対象とする場合は、原則としてサンプリングチューブのインナークリアランス、押込みシュー内径とサンプリングチューブ内径差をゼロとする。

5) サンプラー回収時の振動・衝撃の防止

サンプリング終了後サンプラーを引き上げ回収する際に加わる振動・衝撃を極力小さくする。

(留意点) ・ボーリングロッド継手に銅線等を挟み、ロッド切離し作業を容易にし、また、衝撃を

小さくするのがよい。

3.4.2 装置と取扱い方法

砂質土のサンプリング装置として必要な基本的条件は、砂質土地盤にサンプリングチューブを貫入させる能力と、サンプリングチューブ内に入った試料を移動(脱落)させずに地上まで保持しうる能力であることは、粘性土のサンプリング装置と同様である。

(1) 固定ピストン式シンウォールサンプラーおよび水圧式ピストンサンプラー

粘性土と全く同一の装置を用い、シンウォールチューブを砂質土地盤に押し込み、固定ピストンの効果で試料の脱落を防止しようとするものである。N値5程度以下の極く緩い砂、および若干N値の高い砂質土のサンプリングに適用される。装置および取扱い方法の詳細は既述3.3.1および3.3.2項を参照のこと。

(2) ツイストサンプラー⁴⁾

図3.20に示すように、試料脱落防止機構として固定ピストンによる負圧方式と、ゴムチューブによる完全密閉式のコアキャッチャーを備えているのが特徴である。サンプラーは採取試料径50mm(サンプラー外径70mm)と同70mm(サンプラー外径83mm)の二つのサイズのものがあり、試験での必要試料径と貫入抵抗の大小によって選択する。

1) サンプラーの組立 (図3.21)

- ① サンプルチューブの先端方向よりゴムチューブを被せ、上端をビニールテープでサンプルチューブに固定する。

- ② サンプルチューブの先端部をエッジホルダーに差し込み、ゴムチューブをエッジホルダーにビニールテープで固定する。(a)
- ③ ピストンにピストンロッド (A) を取付け、通気孔ピンをセットし、サンプルチューブ上端方向より挿入しエッジの先端と同一面になるようにする。(b)
- ④ サンプルチューブ取付け金具をサンプルチューブにビスで固定する。(c)
- ⑤ ピストン逆止用クランプとコイルスプリングをピストンロッド (A) に差し込み、サンプルチューブヘッドをサンプルチューブ取付け金具に取り付ける。
- ⑥ ピストンロッド (A) にピストンロッド (B) を接続し、サンプルチューブロッドをサンプルチューブヘッドに接続する。(d)
- ⑦ アウターチューブをエッジホルダーにビスで固定し、逆回転防止金具をセットする。アウターチューブ脱落防止ボールクランプをセットしOリングで固定する。
- ⑧ アウターチューブストッパーをサンプラーヘッドに接続する。(e)
- ⑨ アウターチューブ押えナット (荷重伝達金具) をアウターチューブストッパーに接触するまでサンプルチューブロッドに押し込んで行く。
- ⑩ ピストンロッド (B) にピストンエクステンションロッドを接続し、カップリングをサンプルチューブロッドに接続する。(f)

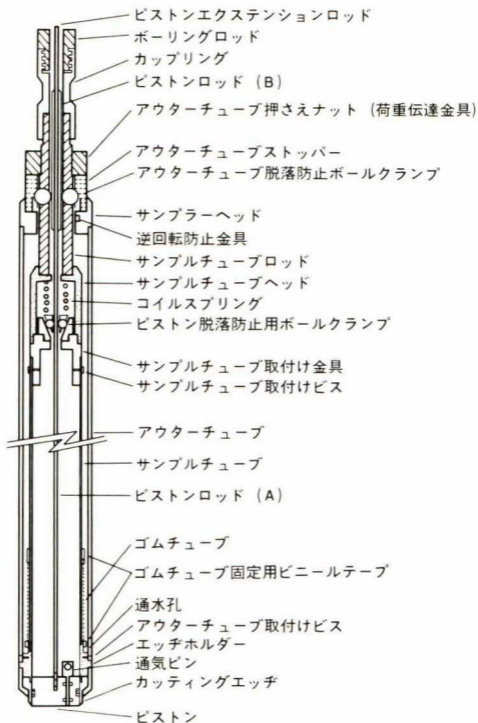


図3.20 ツイストサンプラー構造図



図3.21 ツイストサンプラーの組立て手順

(3) 回転式サンプラー

3.3.3で記述されたデンソン型およびその他の回転式サンプラーの内、特にトリプルチューブサンプラーと称される三重管式の回転式サンプラーが用いられる場合が多い。

砂質土地盤に貫入するため鋭利で剛性の高い専用シュエーを有していることと同時に、貫入力はサンプリングチューブと別個のインナーチューブによって加えられるた

め、貫入時にサンプリングチューブの変形が生じないで試料の乱れが生じ難い。また、地盤の締り具合に適合したシューの出代を調整した上でアウターチューブで追切りが行われるため、N値5～50以上までの巾広い地盤に適用できる。ただ追切りサンプラーの一般的な欠点である試料脱落防止機能が確実でないこと、試料採取長さの確認が孔内では行えないことといった弱点もあり、細粒土の混入のごく少ない地盤でのサンプリング確度は相対的に低く、サンプリングにあたってはある程度の熟練度を要するのが現状である。装置およびその取扱い方法は3.3.3に準じて行えばよい。

3.4.3 サンプルングの手順および留意事項

(1) 固定ピストン式シンウォールサンプラー および水圧式固定ピストンサンプラー

サンプリングの手順は3.3.1および3.3.2に準じて行えば良い。留意点は3.3.1および3.3.2に準ずる他に、

- ・浮遊スライムの沈澱をある程度押さえる濃さに調節された泥水を用いる。
- ・サンプラー回収は試料脱落防止のために常に孔口まで泥水を満たした状態で行う。

(2) ツイストサンプラー

1) サンプラーの孔内挿入と降下

3.3.1-(2)-1)に準ずる。

2) ピストンの固定

3.3.1-(2)-2)に準ずる。

3) サンプラーの押し込み

3.3.1-(2)-3)に準ずる。

・押し込み長さは70cm以下とする。

4) 押し込み長さの測定

3.3.1-(2)-4)に準ずる。

5) サンプラーの引き上げ

- ① ピストンエクステンションロッドのストッパーのねじを締めてボーリングロッドに固定する。
- ② ボーリングロッドをゆっくりと7cm引き上げる。
- ③ ボーリングロッドに静かに2～3回右回転を与え、ゴムチューブ製のキャッチャーを閉じる。
- ④ サンプラー押し込み部を静かに引き上げる。
- ⑤ サンプラーの回収に先立ってピストンエクステンションロッドを一括回収する。

以後の手順は3.3.1-(2)-5)に準ずる。

6) サンプリングチューブの取り出し (図3.22)

- ① 荷重伝達金具を外す。(a)
- ② アウターチューブ押さえナットを外す。
- ③ アウターチューブストッパーを外し、アウターチューブ脱落防止用ボールクランプの鋼球と鋼球止め具のO-リングを外す。(b)
- ④ 逆回転防止金具を取り外し、シュー部とアウターチューブの取り付けビスを外す。(ゴムチューブキャッチャーの振りが戻る恐れがあるので、シュー部が回転しないように注意する。)(c)
- ⑤ シュー部の回転防止を施した状態で、アウターチューブを上方に抜き取る。(d)
- ⑥ シュー部とゴムチューブを取り外し、専用のサンプルチューブキャップを被せる。(e)
- ⑦ サンプルチューブヘッドを外し、ピストン逆止用

クランプを解除する。

- ⑧ サンプルチューブ取り付け金具とサンプルチューブ取り付けビスを外し、金具を取り外す。(f)
- ⑨ ピストンのエア抜きピンを外す。
- ⑩ ピストンをサンプリングチューブより取り外す。

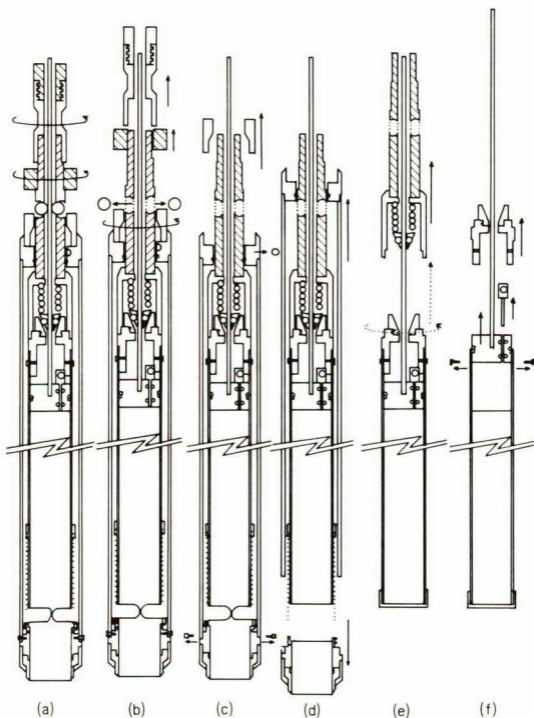


図3.22 ツイストサンプラーのチューブ取出し手順

(3) 回転式サンプラー

サンプリングの手順および留意事項に関しては3.3.3-2.に準じて行う他に、

- ① 循環流体は、やや濃い目の物を用いるのがよい。
- ② 緩い砂の場合、シュー突出し長さは多い方がよい。
- ③ 循環送水量は粘性土の場合より少ない方がよい。
- ④ サンプラー押し込みは、絵圧コントロールで行う方がよい（速度コントロールで行った場合、土質に適合した速度より遅い速度で行った時に、シューの先端部試料流失の恐れがある）。
- ⑤ サンプラー回収は試料脱落防止のために常に孔口まで泥水を満たした状態で行う。

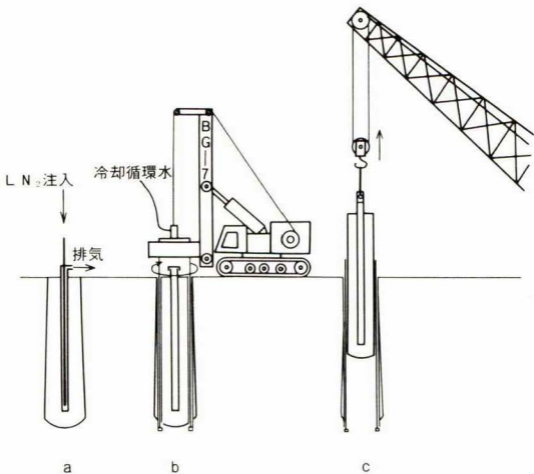
3.4.4 特殊なサンプリングの紹介

(1) 凍結サンプリング^{3), 6)}

現状では砂や礫地盤を最も乱れの少ない状態で採取できるサンプリング方法であるが、コストが高くつくだけに採用される事例は多いとはいえない。

凍結サンプリングの概念は、**図3.23**、**図3.24**に示すように次の二つの方法がある。

- ① 対象地盤中に凍結柱を造成し、その凍結柱を引き抜くか、あるいは凍結柱をオーバーコアリングして抜き取る。
- ② 地盤中に造成した凍結ブロックからサンプラーを用いて凍結土をサンプリングする。



- 凍結管を設置して液体窒素 (LN₂) を注入、循環させて凍土柱を造成する
- 氷とドライアイスで水を零度近くまで冷やしたものを循環水に用い工事用大型マシン (BG-7) で直径 600mm のケーシングパイプでいっきに掘削する。凍土柱を抜き終わったらケーシングとコアの張り付き防止のために不凍液を循環させる。ケーシングヘッドを外し凍結管にホイスティングスィーベルを取り付ける。
- 25~45ton クレーンにて凍結コアを引き上げる。

図3.23 凍結サンプリング (オーバーコリアング) の例

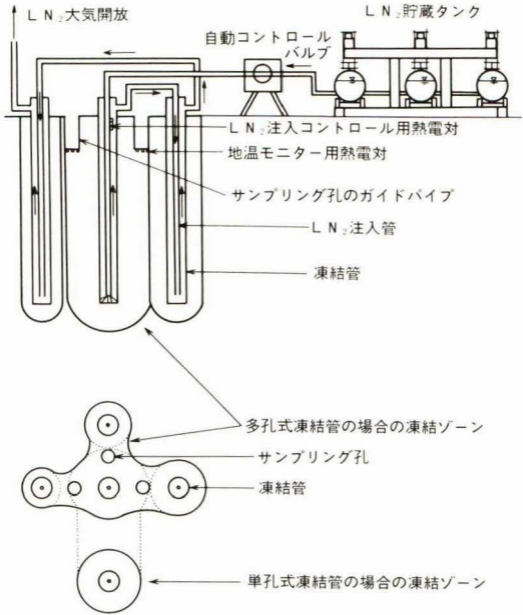


図3.24 凍結サンプリングの概念図

(2) 地中応力拘束型サンプリング^{3), 6), 7)}

ストレス・ロック・サンプラーの名称で通称土圧バランスサンプラーと呼ばれ、その名の如く地中応力をバランス（保持）しながら試料を採取する方法である。

このサンプリング方法の特徴は、試料がサンプリングチューブに入ってきててもチューブ内壁との摩擦がほとんど生じない事と、拘束圧を制御しながら試料を保持しうることである。

地中応力の変化を嫌う特殊な試験試料を採取するために開発された。

3	5	試料のシール、保管、運搬
---	---	--------------

3.5.1 試料のシール

(1) シールの材料と方法

シールの材料には、パラフィンやゴムパッキング等が用いられているが、大部分はパラフィンで行われているのが現状であろう。最近では新素材も出てきて、ゴムパッキングシールの欠点でもあった、試料との密着性の悪さやパッキングの繁雑さが改良された物も使用され始めている。

1) パラフィンによるシール

パラフィンに2%~3%の松やにを混ぜて容器の中に入れ、電熱器かガスコンロ等で熱し溶解して用いる。パラフィンの熔融温度が高いほど、粘性が低下し試料に浸透しやすくなるが、サンプルングチューブとの密着は良くなる。反対に温度が低いと、粘性が増加し試料に浸透しなくなるが、サンプルングチューブとの密着が悪くなる。この性質を利用して最初は浸透しないように、温度の低いパラフィン（表面に1mm程度の膜が出来る位に冷やしたもの）を10mm程度の厚さになるよう注入し、凝固してきたら今度は沸騰するくらいの高温のパラフィンを20mm~40mmの厚さになるように注入する。

2) ゴムパッキンによるシール (図3.25)

シンウォールチューブの場合、直径80mm、厚さ15mmの柔らかいスポンジと、外径76.5mm、内径20mm、厚さ10mmの硬質ゴム製ドーナツ盤を用いる。

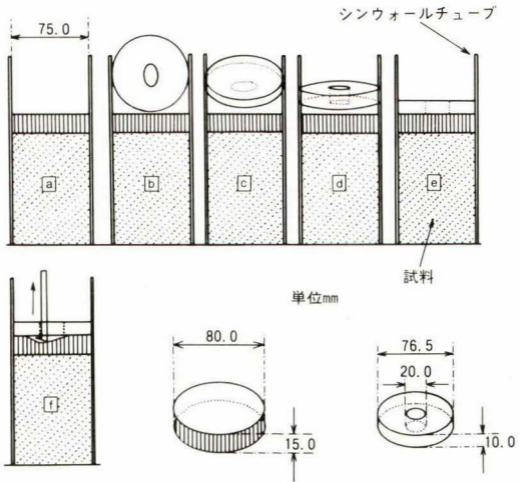


図3.25 ゴムパッキングによるシールの一例

(2) シールの手順

- ① ボーリングマシンの振動が伝わらない程度に離れた所に、チューブ立てを作りサンプリングチューブを立てる。砂質土の場合は飽和度を下げるため排水を必要とする。サンプリングチューブ下端にウエス（排水が良く刃先を傷めない物）などで作った厚さ1 cm～2 cmの座布団状の物（チューブの径より大きい物）を敷いて立てる。

(留意点) ・刃先のある物は、その保護の為にキャップ等をし、刃先の無い物は直接板の上に置けば良い。砂質土の場合地面より数cm高くなるよう板を敷く。

- ② シール面のスライムや乱された部分を取り除き、

シール面が概略水平に成るようにする。砂質土の場合はパラフィンの浸透を防ぐため、固練りのベントナイトか、粘土のねり潰したものを表面に薄く塗る。

(留意点) ・サンプリングチューブと試料の間に隙間がある場合は、固練りのベントナイトか粘土のねり潰した物で塞ぐ。

- ③ 前項a. かb. の方法でシールを行う。
- ④ シールの上側の空間は砂かおがくず等を詰めてキャップ、あるいはビニール袋を二重に被せビニールテープ等でサンプリングチューブにとめる。
- ⑤ サンプリングチューブを逆さにして刃先側の試料を約3 cm水平に削り取る。
- ⑥ 上端と同じ方法でシールやキャッピングをする。

(留意点) 海上などの足場上で作業をしている場合は採取した試料は直ちに陸上に運搬してシールをする。また運搬の船舶も振動が激しいのでスポンジ等のクッションで保護するか、人が手で持って運搬するのが良い。採取直後の試料運搬がどうしてもできない場合は、足場自体にエンジンの振動が伝わっていることが多いので足場にスポンジ等のクッション材を置いて保管するか、ハンモック状の仮置場を設けて、キャップやビニール袋などで簡易のシールをして保管し、一日の作業終了後は必ず陸上に運搬し、正常なシールを行なう。

3.5.2 試料の保管

シールされた試料はシートなどで覆い日陰で保管する。夏季で暑い日などはシートの上に散水し温度を下げるなどの処置をする。冬季で凍結の恐れがある場合は試料をガラスウォール製の断熱材で包むか、発砲スチロール製の断熱箱に入れて保管する。また、深さ約50cm以上の穴を掘り、サンプリングチューブをシートで包み穴の中に入れて上に土を被せて保管する方法も、前述の方法同様に凍結防止の効果がある。膠結度の低い砂で、かつ細粒分の混入が10%以下の砂の場合は、運搬時の乱れを防止するために凍結させて運搬する方法が最良であろう。この様な試料は立てた状態で一日か二日位放置し、飽和度が85%程度（三次元的な凍結方法でも間隙水の膨張による試料の変形が非常に少い）になるまで重力による水抜きをする。大体の判断はチューブの下端より水が滲出しなくなれば大丈夫である。この様な試料をまとめて一緒に凍結運搬するような場合は、全ての試料がそろそろまでは、直射日光を避け、立てた状態にし、水をたっぷりふくんだウエスをサンプリングチューブの上端に入れて養生する。また、砂質土で凍結による運搬が困難な場合に、応力解放による緩み防止、運搬時の振動による乱れ防止のため、拘束圧を加えておくのが良い²⁾。

図3.27の様に、サンプリング直後に土被り圧相当の拘束圧をスプリングを介して加え、その状態を保持（スプリングの伸びによって圧力が変化しないよう）したまま、保管する。凍結して運搬する場合は、運搬前日（24時間前）より凍結を開始する。冷媒としてはドライアイス

(-79°C) なども使用される。手軽で安価な方法はドライアイスでの試料凍結であろう。冷凍箱で凍結状態のまま運搬する。

3.5.3 試料の運搬

運搬は、スプリングの軟らかいワゴン、バン等の乗用貨物車や乗用車を用い、スポンジ等のクッション材で十分保護して行なうのが望ましい。

トラックで運搬する場合にはクッション材をさらに慎重に用意する。

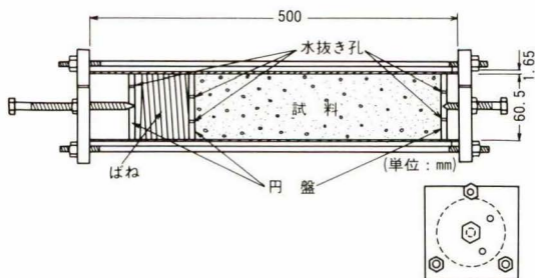


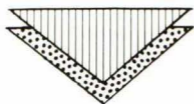
図3.26 試料加圧装置の一例²⁾

(サンプルングマニュアル p142)

参考文献

- 1) 土質工学会 編：土質調査法（第2回改訂版）第7章サンプリング，pp.275～342，1982.
- 2) 土質工学会 編：サンプリングマニュアル（第1回改訂版），1986.
- 3) 酒井運雄：砂・礫質土のサンプリング技術の現状と将来展望，全地連「技術フォーラム '91」講演集，1991.
- 4) 松原幹太・久芳光明・山本恒雄・今井常雄：ツイストサンプラーによるサンドサンプリング，第13回土質工学研究発表会講演集，pp.85～88，1978.
- 5) 関東地質調査業協会 編：サンプリング（乱さない試料採取）その1，技術ニュース，No.45，1992.
- 6) 関東地質調査業協会 編：サンプリング（乱さない試料採取）その2，技術ニュース，No.46，1992.
- 7) 酒井運雄・湯川浩則・斉藤幸雄・金子 進：土圧バランス式サンプラーの試作について，昭和60年度サンプリングシンポジウム論文集，土質工学会，pp.103～108，1985.

第 4 章



孔内横方向 載荷試験

第 1 章 総 説

第 2 章 ボーリング

第 3 章 サンプリング

第 4 章 孔内横方向載荷試験

第 5 章 現場透水試験

第 6 章 間隙水圧測定

4	1	概要
---	---	----

4.1.1 目的と意義

孔内横方向載荷試験は、ボーリング孔壁を加圧しその時の壁面の変形を測定することによって、地盤の横方向地盤反力係数と変形係数を求める試験である。

この試験は、1933年にケグラールが考案した孔内横方向載荷試験装置が原形であり、1956年頃フランスのメナール、AASHO道路関係での研究を経て、フランスやイギリスなどのヨーロッパ諸国で急速に普及した。

我国では、土研式の出現やメナール型プレッシャーメータの導入によって、試験装置の開発や改良、原位置試験に関する多数の研究が行われた。この試験は1960年代には地盤の強さや変形特性を求める重要な原位置試験として評価されるようになり、現在では土質地盤のみならず軟岩や硬岩をも対象に多用されている。

孔内横方向載荷試験が今日、広く利用されている理由は、

- ① 原位置の状態を保持した条件で測定ができる
- ② 軽量の装備のもとで比較的簡単に測定でき、しかも測定費用が安価である
- ③ サンプリングの困難な地盤でも孔壁が保持できれば試験が可能である
- ④ 得られる地盤の変形特性値が、水平力を受ける杭基礎の変形挙動をうまく説明できる
- ⑤ 測定対象地盤が、土質に限らず岩盤にも適用できる

などであろう。

最近では、孔内横方向載荷試験の結果を、基礎構造物の変形や支持力を直接算定するための土質パラメータとして使おうとする試みがなされている。

その一方では、装置面での開発や研究もさかんであり、孔壁とメンブレンとの隙間を少なくして土の乱れを極力抑えた状態で測定できるセルフボーリングや、押し込みタイプのプレッシャーメータでの測定や実験が行われている。

4.1.2 試験装置の種類と結果の利用

孔内横方向載荷試験器の基本的な構造は、**図4.1**に示す測定管、圧力・変位制御測定部、連結部からなっている。

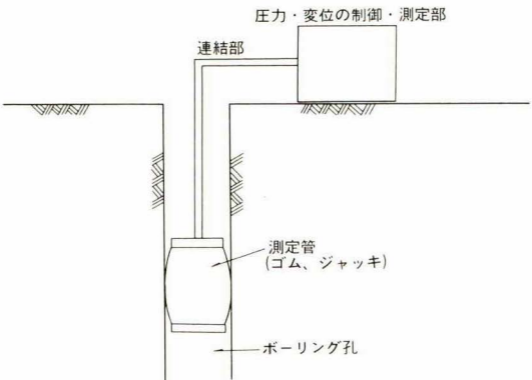


図4.1 試験装置の概要図

実用化された試験装置は、測定管の構造により、下記の2種類に大別されるが、その基本的な構造はいずれも同様である。

- ① 等分布荷重方式
 ② 等変位荷重方式

前者は、内部が1室または3室に分かれた測定管に流体圧を与えてゴムチューブを膨らまし、孔壁に等分布の圧力を与える方式であり、後者は金属製の剛体円筒を油圧を用いて孔壁を加圧する方式である。

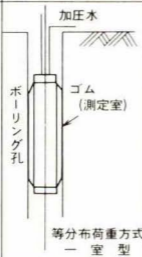

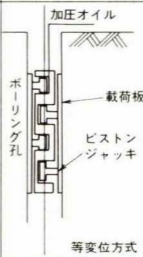
現在、我国で使用されている装置は、地盤の硬さと試験器の最大加圧力によって使い分けられ、表4.1 に示す各種のものがある。

表4.1 孔内横方向載荷試験装置

型式の名称	圧 力		変位計測方式	測 定 管			最大加 圧 力 (kgf/cm ²)
	圧 力 源	媒介物		直 径 (mm)	長 さ (cm)	構 造	
L L T	ガスポンベ	水	水の体積変化 (間接式)	60, 70, 80	60	1室	25
エラスト メーター100	ポンプ ポンベ	ガス 水	変位計(直接式)	60	52	1室	100
エラスト メーター200	ポンプ ポンベ	ガス 水	変位計(直接式)	60	52	1室	200
プレシオ メーター	ガスポンベ	水	水の体積変化 (間接式)	56	50	3室	25 (100)
高圧プレシオ メーター	液圧ポンプ	水	注水量による 体積変化	60	45 (21)	1室 3室	200
セルフポーリ ング プレシオメー ター	ガスポンプ	水	注水量による 体積変化	89	45	1室	60
自動プレシオ メーター	ガスポンプ	水	注水量による 体積変化	60	45 (21)	1室 3室	100
標準型K K T	加圧ポンプ	オイル	オイル体積変化 (間接式)	85	30	—	50
高圧型K K T	加圧ポンプ	オイル	オイル体積変化 (間接式)	40, 60	25, 30	—	90~330
超高圧K K T	加圧ポンプ	オイル	オイル体積変化 (間接式)	65	25, 30	—	480~660

土質分野では表4.2に示すLLT、プレシオメーター、KKTが多用されている。

表4.2 土質分野で多用されている孔内載荷試験器

試験器の種類	LLT	プレシオメーター	KKT
圧力源	高圧ポンプ (N ₂ ガス) 圧力 150kgf/cm ² 内容量 10~11ℓ	高圧ポンプ (N ₂ , CO ₂ , ガス)	手動油圧ジャッキ 最大圧力 400kgf/cm ²
加圧力制御	バルブ操作	自動レギュレーター	ハンドポンプ操作
測定管	直径80mm×長さ600mm 2重ゴム構造 重量約12kg	直径55mm×長さ600mm 2重ゴム構造	幅 85mm×長さ300mm 半円筒形剛体載荷板付 多段式ジャッキ
最大加圧力 ()内は高圧 試験器のもの	25kgf/cm ² (200)	25kgf/cm ² (100)	50kgf/cm ² (660)
載荷方式	等分布荷重	等分布荷重	等変位
変位量測定方式	測定管 (ゾンデ) の注 入水量から算出 (地上部のスタンドパイ プ)	測定管 (ゾンデ) の注 入水量から算出 (地上部のスタンドパイ プ)	測定管 (ジャッキ) の オイル吐出量から算出 (地上部のスタンドパイ プ)
測定管構造図			
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・一般の載荷試験で用いる反力装置を必要とせず、操作も簡単で持ち運びにも便利である。 ・測定対象地盤はすべての土 (岩石も含む) に可能であり、測定孔が形成できれば任意の位置での試験が可能である。 ・載荷面積が広く、測定値の信頼性が高い。 ・土質試験・サンプリングが不可能な地盤でも、乱れの少ない状態で測定が可能である。 		

この試験で求められる物性値とその用途は表4.3に示すとおりである。

表4.3 孔内横方向載荷試験結果の利用

用途 試験で求まる値	構造物の沈下、変形量	杭の横方向K値	支持力	地盤のせん断定数 (τ, ϕ, c)
地盤係数 (測定K値： k_m)		○		
静止土圧 (P_0)、 降伏圧 (P_y)、 極限圧または破壊圧 (P_t)			○	○
変形係数 (E_m)	○	○		

※ 試験値から各用途の値を求める場合は、図式を用いて算出する必要がある。

4.1.3 試験方法

既往の試験結果では、ボーリング孔壁の乱れや荷重ステップの過大あるいは、試験途中での終了等必要とするデータが得られていない例などが若干見られる。

このような失敗を防ぐためには、試験位置の地盤状況、構造物の規模や荷重、必要とする物性値など各種条件を明確にして、最大加圧、載荷速度、載荷パターンなどの測定方法を事前に決めておくことが必要である。

(1) 載荷パターンの選択

載荷パターンとしては、単調載荷、階段載荷、繰返し載荷、持続載荷の4種類が用いられている。これらの中から、どのような載荷パターンを選択するのかは、求めるべき値(変形係数、弾性係数、降伏圧、クリープ係数)や目的に応じて決定する必要がある。

通常、変形係数のみで良い場合は単調載荷、弾性係数が必要な場合は階段載荷や繰返し載荷のパターンで試験

が実施されているケースが多い。その他、特殊な例としてクリープ係数を求める持続載荷パターンがある。

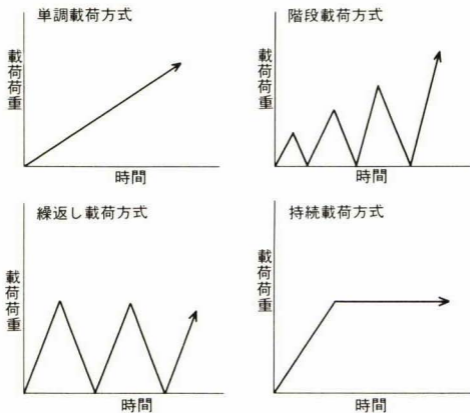


図4.2 基本載荷パターン

(2) 荷重の増加方法

現在よく用いられている荷重の増加方法には、載荷開始後、連続的に圧力を増加させる連続載荷方式、載荷圧力を何段階かに区切って各段階毎に圧力を保持する断続載荷方式の2つの方法がある。前者は硬質岩盤、後者は軟質岩や土質地盤に適用されている。

このマニュアルでは、土質地盤に多用されているLLT、プレシオメーター、KTTの3機種について、試験法や整理法およびその応用を述べる。

なお、LLTとプレシオメーターを設備する場合は、高圧ガス製造業者として都道府県知事への届出が必要である。

4	2	LLT
---	---	-----

4.2.1 装置とその取扱方法

LLTは、ゾンデを孔内に挿入し、窒素ガス（高圧）を圧力とする圧力水をゾンデに注入することによって、ゾンデ外側を被覆するゴムチューブを膨脹させ、その時の圧力とゴムチューブの膨脹量を地上の圧力・容積計で測定することにより、孔壁に作用する圧力と変形量の関係を求める試験装置である。

装置の構成は、**図4.3**に示すとおり、圧力源、圧力容積計、ゾンデの3つの部分が主体であり、これらはナイロンチューブとホースで連結されている。

(1) 圧力源

通常の圧力源は、高圧窒素ガス（無毒、不燃性）であり、他にハンドポンプの使用も可能である。

- ① 温度などによってポンペ耐圧許容量がオーバーした場合は、安全弁によってガスが洩れるようになっている（高圧ガス対応型）。
- ② レギュレータバルブは、ポンペ側と測定側の圧力を確認できるようになっており、ポンペ内圧力の容量と測定圧力の調整が可能である。

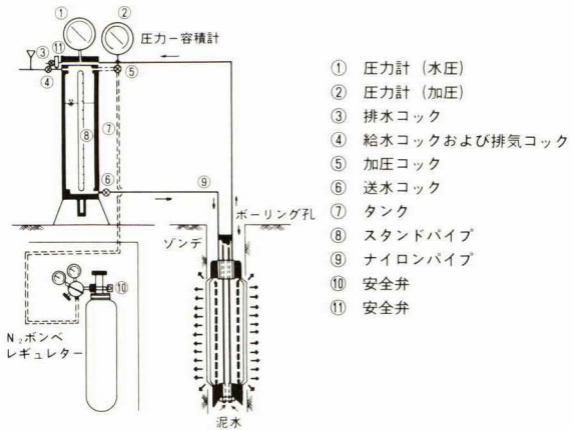


図4.3 LLT試験装置概略図

(2) 圧力-容積計

本装置は、圧力の制御と読み取り、ゾンデ内に注入された水量の読み取りを行う部分である。

- ① ガス圧とゾンデ内の両水圧を読むために、2個の圧力計が取り付けられている。
- ② ガス圧を基にして圧力制御を行い、その圧力は加圧コックで制御される。
- ③ タンク内の水位をスタンドパイプで読み取り、その変化量からゾンデへ送水量を決定する。
- ④ タンクには安全弁が装置されており、タンク内に過大な圧力が作用した場合、 30kgf/cm^2 で安全弁が作動するようになっている（高圧ガス対応型）。

(3) ゾンデ

ゾンデは、地上から送る加圧水をゴムチューブで保持し、孔壁へ圧力を伝達する部分である。

- ① ゴムチューブは、内筒と外筒の二重構造となっている。内筒は圧力水が外部へ洩れない役目を果たしており、外筒は内筒を保護してゾンデ内部の水をタンクへ戻す働きをするようになっている。
- ② ゴムチューブの内側は、多孔のストレーナパイプであり、圧力水の流出入がスムーズに行われるようになっている。

4.2.2 試験手順及び留意事項

LLTの試験手順は、**図4.4**のフローチャートに示すとおり準備作業と測定作業に大別される。

ここでは、重要と思われる点を中心に説明し、その作業の留意点について述べる。

(1) 準備作業

準備作業としては、組み立て、エア抜き、予備試験、タンクの容量検定、使用ゴムチューブの検定などである。

1) 組み立て

組み立て作業のうち、圧力計、ホース、ナイロンチューブなどの組み立ては、カップラー式の接続となっており簡単な作業である。組み立て作業で最も手間のかかるのがゾンデ組み立てである。このゾンデ組み立て作業では、次の注意が必要である。

- ① ゴムは、装填前に破損やヨゴレのないことを確認したものを使用する。
- ② 外筒ゴムの装填は、挿入をなめらかにするために事前に内筒の表面にパウダーをつけて行い、また、セット後にネジレやタルミがないように、ゴムチューブを充分引っ張ってストレーナーに密着させる。

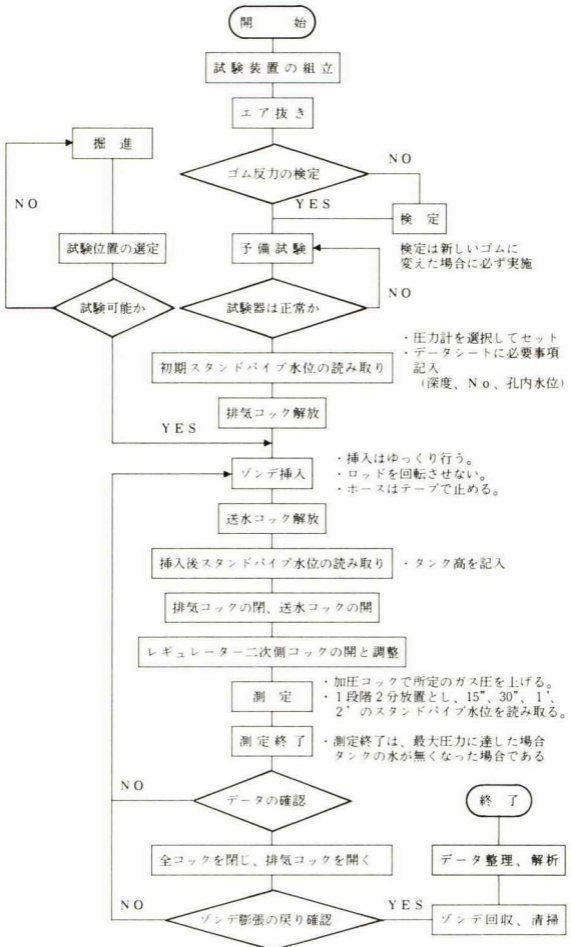


図4.4 LLT測定フローチャート

2) エア抜き

L L Tでは、スタンドパイプの水位変化からゾンデへの注入量を求め、孔壁の変位を算定している。そのため、容積計やナイロンパイプ、及びゾンデ内に気泡が残っていると、圧力水で気泡が圧縮されて、その分大きな水位低下が測定されることになり、誤差が生じる。

したがって、これらの部分からは気泡を充分に取り除く必要があり、これは準備作業の重要な作業のひとつである。このエア抜き作業の要点は、下記のとおりである。

- ① タンク内への水の注入作業は、排水コックと送水コックを開いた状態で、他のコックは閉じた状態で行う。
- ② 加圧は 1.0kgf/cm^2 を最大圧力とし、ゆっくり行う。加圧直後ゴムチューブが膨れはじめたら、ゾンデを手で軽く叩いたり、ナイロンチューブを左右に振ってすべての部分から気泡を排除する。とくに、ゾンデ頭部では気泡が抜けにくいので入念に作業を行う必要がある。
- ③ 気泡を完全に排除した後、再度タンク内に水を補充する場合は送水バルブを閉じた状態で行う。水の補充はスタンドパイプ目盛りで $2\sim 3\text{cm}$ とする。

3) 予備試験

予備試験は、試験装置の作動状況をチェックするために行うものである。通常は、地上でケーシングパイプにゾンデを挿入し、本試験での予想最大荷重附近まで加圧する。

この試験では、次の点についてチェックする。

- ① ガスポンベの圧力、連結部のガスもれ。

- ② 圧力計の作動やコックが正常か。
- ③ 連結部からの水もれ。この水もれについては、一定圧力を与えた状態で1時間程度放置して、表面に現れる水もれがないことを確認する必要がある。

4) タンクの容量検定

LLTでは、タンクからの送水量によってゴムチューブの膨張量（孔壁の変形量）を求めるため、予備試験においてタンクの正確な容量を検定しておくことが重要である。この検定方法は、タンク内に水を満たし、排水バルブを開きながら、スタンドパイプ目盛り5cm毎に排水量を実測して各目盛り毎のタンク断面積を求めるものである。

この方法で求めたスタンドパイプ1cm当りの容量から、ゴムチューブの外径（孔の半径）は次式で求め、水位変化量(H)とゾンデ半径(r)の関係図を作成する。

$$r = \sqrt{r_0^2 + \frac{H \cdot A}{\pi \cdot l}} \dots\dots\dots(4.1)$$

r : 載荷時の孔の半径（ゾンデ半径）

r_0 : 初期ゴムチューブ半径（4.0cm）

l : : ゴムチューブの有効長（60cm）

H : 載荷時の容積計水位変化量

A : 容積計内の断面積

なお、検定は2～3回行い、平均値を基にしてゾンデの平均半径を求める。

5) ゴムチューブの検定

大気圧下でゴムチューブを膨らませるためには、その膨張量に相応した圧力を加えなければならない。そこで、

孔壁に実際に作用する圧力は、測定圧力から上述のゴム膨張を促す圧力を差し引いた圧力となる。このゴム膨張に必要な圧力を求めるのがゴムチューブの検定である。

この検定は図4.5に示すとおり、水の満たされている容器内にゾンデを垂直に立てて行うのが一般的であり、実施する上での要点は、次のとおりである。

- ① 加圧は 0.1kgf/cm^2 毎の段階载荷とし、1段階における圧力保持時間は2分間とする。
- ② 測定はタンク内の水がほぼ無くなるまで行い、一連の測定を3回程度行う。測定結果に採用するゴム膨張反力曲線は、2回目以降のものとする。

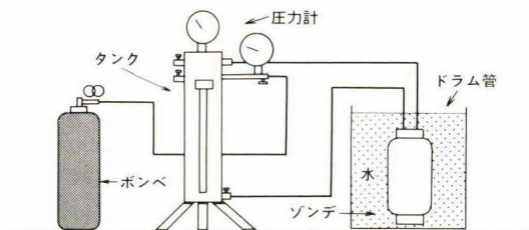


図4.5 ゴム反力検定の概要図

測定で得られたゴムチューブの内圧(P_G)と膨張量(H)から、 $H \sim P_G$ 曲線として関係図を作成し、この図を試験の測定結果の整理に使用する。

(2) 測定作業

準備作業が終了したら、ゾンデをボーリング孔内の試験深度に設置して測定を行う。この測定は表4.4 L L T 測定データシートに準じて、次の順序で実施する。

表4.4 LLT測定データシート

LLT測定データシート						
調査件名		測定者		自然水位	GL- m	
測定 No		記録者		孔内水位	GL- m	
測定月日		深 度	使用器械No		タンク高さ	GL+ m
月 日 時 間		N 値	初期スタンドパイプの水位 H_0			cm
使用ゴム筒			挿入後スタンドパイプの水位 H_0'			cm
地 質 名						

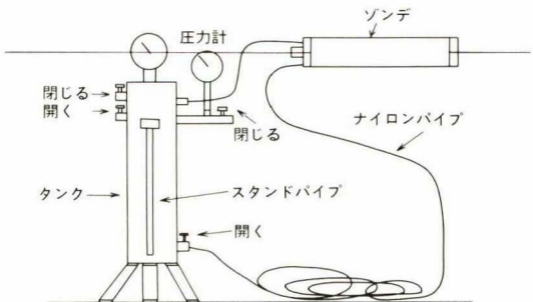
【注】 1) PGは使用ゴムに応じてあらかじめ定めたH-PG曲線より求める。
 2) P_0 は(PG-P)を求めその最大値とする。 $P_0 = \text{kg/cm}^2$
 3) P_0' は次式から求める。 $P_0' = P + P_0 - PG$

セル水圧 P (kg/cm ²)	ガス圧 P (kg/cm ²)	スタンドパイプよみH (cm)				ΔH (cm) $H_{120} - H_{90}$	H (cm) $H_{120} - H_0$	P_0 (kg/cm ²)	$P_0 - P$ (kg/cm ²)	P_0' (kg/cm ²)	r (cm)
		15"	30"	60"	120"						

1) 測定状況の記入

測定時の状況は、情報を漏らさずにデータシートに記入する。このうち、スタンドパイプの水位は、下記の方法で求めた値とする。

- ① 初期スタンドパイプの水位 (H_0) は、ゾンデを図4.6に示す位置に置いて求める。

図4.6 H_0 値の求め方

- ② 挿入後スタンドパイプの水位 (H_0') は、孔内の試験深度にゾンデを設置した時点で図4.7に示す方法で求める。

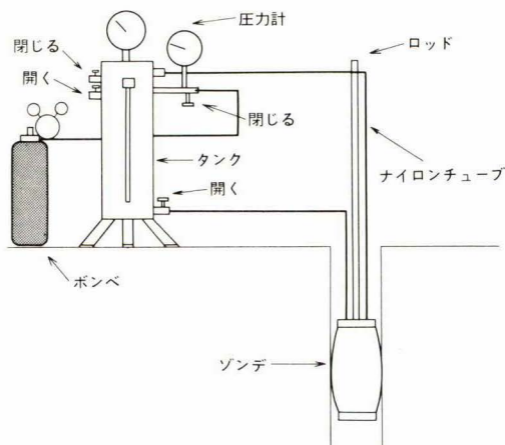


図4.7 H_0' 値の求め方

2) 加圧ステップの選定

本試験の測定前に対象地盤の硬さに適した加圧ステップを決定する。この加圧ステップが大きすぎる場合は、降伏圧が不明瞭であったり、弾性領域がグラフ上で現れないなど不良データの原因となり、逆に加圧ステップが小さい場合は、測定時間が長くなる。

このようなトラブルを極力さけるため、加圧ステップは、N値との関係から表4.5を目安にして決める。

表4.5 加圧ステップ

土質	N 値	加圧ステップ°	加圧ステップ°
砂質土	4 以下	0.2	10kgf/cm ²
	4 ~ 15	0.2~0.4	
	15~30	0.5	30kgf/cm ²
	30以上	1.0	
粘性土	2 以下	0.1~0.2	10kgf/cm ²
	2 ~ 8	0.2~0.5	
	8 ~ 15	0.5~1.0	30kgf/cm ²
	15以上	1.0	

3) 測定

測定は、以下の方法で実施する。第1圧力段階の測定は、加圧した時点を0秒として15秒、30秒、60秒、120秒のそれぞれの時間でスタンドパイプの水位を、115秒でガス圧とゾンデ圧を読み取る。この間、ガス圧は加圧コックで一定圧を保持する。

第2段階では、第1段階目の120秒時点を0秒として、以下同様な測定を繰り返す。

測定終了は、原則としてゾンデのメンブレンが最初に接した孔壁の半径の1.4倍（体積で約2倍）に達した時点を目安とする。

(3) 準備および測定以外の留意点

準備作業や測定作業以外の重要な事項は、ボーリング孔の削孔である。LLTは、このボーリング孔の孔壁面を載荷する試験であるため、孔壁の乱れが試験結果に大きく影響する。そのため、削孔にあたっては、次に示す項目に細心の注意を払う必要がある。

- ① 試験は、削孔による応力開放や吸水の影響を少く

するために削孔後直ちに行う。

- ② 削孔にあたっては、循環泥水の圧力で孔壁を乱さないように羽根つきコアチューブを使用するなどの配慮が必要である。また、所定の孔壁を削孔した後のコアチューブやロッドの引き上げは、孔内部に負圧がかからないようにゆっくり行う。
- ③ 削孔径をゾンデ孔径 ($\phi 80\text{mm}$) に近い状態で仕上げる。
- ④ 測定孔の余掘り深さは、ゾンデ下端から20cmとする。
- ⑤ 標準貫入試験やサンプリングなどを同一深度で実施しないこと。

4.2.3 トラブルとその対応

試験で生じるトラブルは、装置の整備不良や試験孔の崩壊に起因するものがほとんどである。これらの大部分は現場で判明するが、他に試験結果の整理中に目につく不良データも少なくない。

トラブルが生ずると修理や、やりなおしなどの時間的損失だけでなく、その深度での試験が不可能となり、真の地盤の物性値が確認できないこともあり、その損失ははかりしれない。

したがって、トラブルを極力防止するためには、試験者は試験装置や試験方法、整理方法などを良く理解し、予備試験による確認や定期的な整備などを行って試験装置の調子を確認しておくことも重要である。

(1) 試験に関するトラブルと対策

試験に関するトラブルについては、現象と原因および処置をまとめ、表4.6に示した。

表4.6 L L T試験上のトラブルと対策

	トラブル	原因	対策
ゾンデ挿入前	加圧に伴わないゾンデの膨張がスムーズでない。	<ul style="list-style-type: none"> ・カップリングナットの締めすぎ ・送水バルブ部が詰まっている。 ・ナイロンチューブの屈折 	<ul style="list-style-type: none"> ・カップリングナットをゆるめる。 ・送水バルブを取りはずし清掃する。 ・屈折部を切断し、チューブジョイントを用いて接続する。
	加圧、排気において圧力計がスムーズに動かない。	<ul style="list-style-type: none"> ・圧力計故障 ・圧力計にゴミが詰まっている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・圧力計を取換える。 ・ゴミを取除く。
	気泡の排除ができない。	<ul style="list-style-type: none"> ・チューブの締めがゆるい。 ・ゾンデ内にナイロンチューブを挿入しすぎる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・締めなおす。 ・ナイロンチューブを少し引きぬきカップリングナットを閉めなおす。
試験中	ゾンデ内圧力ゲージがゆっくり下がる。ゾンデ内圧力ゲージが急に零にもどる。	<ul style="list-style-type: none"> ・ゴムチューブのバンク（破壊） ・ナイロンチューブが外れる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・試験を中止し、ゾンデの回収を行う。
試験後ゾンデは挿入したまま	圧力開放時に容積計内に水位が戻らない。	<ul style="list-style-type: none"> ・ゴムチューブの疲労。 ・ゴムチューブ内筒のバンクで、水がゴムチューブの内筒と外筒の間に廻っている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・押込み、あるいは回収可能ならそのまま引き揚げる。 ・押込み、あるいは回収が不可能なら真空ポンプ等でゾンデ内の水を吸引するか、加圧しバンクさせる。
	ゾンデが途中で回収不能	<ul style="list-style-type: none"> ・孔壁が崩壊、せり出している。 ・ゾンデの肩部にスライムが沈殿している。 ・ゾンデにナイロンチューブがからみあっている。 ・ゴムチューブ外筒上端がはずれ二重になっている。 ・孔壁が崩れ、ジャーミングを生じている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・真空ポンプでゾンデ内の水を吸収する。 ・孔内に泥水をみたまか、泥水を送り洗浄する。 ・ナイロンチューブを押えておいてゾンデを下げ元の位置に戻す。 ・ケーシング又は、ドライブパイプの所で回収出来なくなる場合が多いので強引に引き上げる。 ・強引に引き上げるか、ケーシング等を引き抜くかのどちらかで回収する。

(2) 試験データでのトラブル

比較的多い不良試験データは、**図4.8**に示す削孔径と

加圧ステップに起因するものである。このような不良データをなくし、良質な結果を得るためには、フォアマンとの打合せや取扱説明書の熟知が重要である。

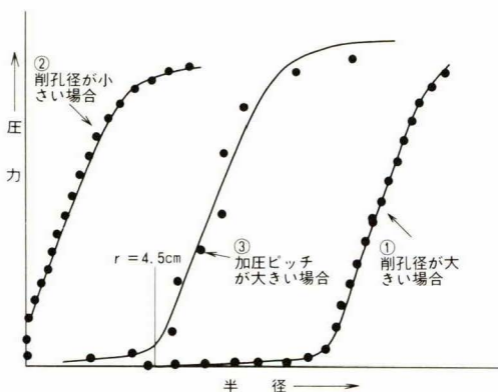


図4.8 不良測定データの例

- ① 標準削孔径 ($\phi 86\text{mm}$) より大きいコアチューブを用いて削孔し、試験を行った例である。孔壁が大きいために十分な孔壁の破壊圧が得られなかった。
- ② 削孔径が小さいか、標準削孔径で掘ったものの孔壁のせり出した孔に、無理やりゾンデを挿入して試験を行った例である。結果として、静止土圧 (P_0) の値が求められない。
- ③ 加圧ピッチが大きすぎ測定点が少なく、静止土圧 (P_0) や降伏圧 (P_y) などの点が不明瞭となった例であり、地盤の硬さを確認せずに実施した事が原因である。

この他に、載荷途中で加圧ピッチを変えて測定し、整理段階で変形係数などが決まらない失敗例なども見られ

る。

4.2.4 結果の整理

試験結果は、スタンドパイプの読みと圧力計の読みから次の方法で整理する。

(1) ゴム反力 (P_G) の読み取り

準備作業のゴムチューブ検定で得られた $H \sim P_G$ 曲線から測定で求めた H に対応するゴム反力 P_G を読み取る。

(2) 静水圧 (P_s) の決定

各荷重段階での $P_G - P$ (P は測定されたゾンデ水圧) を計算し、その最大値を P_s とする。

(3) 地盤への載荷有効圧力 (P_e) の計算

地盤への載荷有効圧力 (P_e) は、下記の公式で算定した値とする。

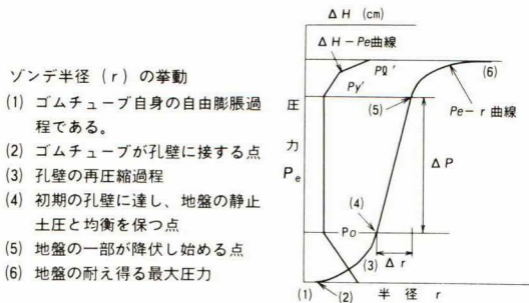
$$P_e = P + P_s - P_G \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

(4) ゾンデ半径 (r) の読み取り

準備作業のタンク容量検定で得られた $H \sim r$ 曲線を用いて、実際の測定で求めた H に対応するゾンデ半径 (r) を読み取る。

(5) 整理図の作成

以上の計算や読み取り結果から **図4.9**に示す圧力 (P_e) \sim ゾンデ半径 (r) 曲線とクリープ曲線 ($P_e - \Delta H$) を作図する。



- ゾンデ半径 (r) の挙動
- (1) ゴムチューブ自身の自由膨脹過程である。
 - (2) ゴムチューブが孔壁に接する点
 - (3) 孔壁の再圧縮過程
 - (4) 初期の孔壁に達し、地盤の静止土圧と均衡を保つ点
 - (5) 地盤の一部が降伏し始める点
 - (6) 地盤の耐え得る最大圧力

図4.9 試験結果の整理図

(6) 降伏圧 (P_y) と破壊圧 ($P_{o\ell}$) の決定

降伏圧 (P_y) と破壊圧 ($P_{o\ell}$) は、 $P_e \sim \Delta H$ 曲線の接点と $P_e \sim r$ 曲線の形状から決定する。

$$P_{\ell} = P_{\ell}' - P_o \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

$$P_y = P_y' - P_o \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

P_{ℓ}' : 破壊圧 (整理図上での値)

P_y' : 降伏圧 (整理図上での値)

(7) 地盤係数 (K_m) の決定

地盤係数 (K_m) は、 $P_e \sim r$ 曲線の直線部分 (擬似弾性変形領域) の勾配から求める。

$$K_m = \frac{P_y' - P_o}{r_1 - r_o} = \frac{\Delta P}{\Delta r} \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

r_1 : P_y に対応するゾンデ半径

r_o : P_o に対応するゾンデ半径

(8) 地盤の変形係数 (E_m) の決定

変形係数 (E_m) は、平面歪の条件が満足されているものと仮定して次式で算出する。

$$E_m = (1 + \nu) \cdot r_m \cdot K_m \dots\dots\dots (4.6)$$

ν : ポアソン比 (通常は0.3~0.5を用いる。)

r_m : K_m 算定区間の中間半径

4	3	プレシオメーター
---	---	----------

4.3.1 装置とその取扱方法

(1) 試験装置の構成

プレシオメータは、ボーリング孔内に挿入したゴムチューブに高圧ガスを圧力源とする圧力水を注入し、この時の圧力と注水量を測定することにより、孔壁に作用する圧力と変位量の関係を求める試験装置である。

この試験装置の最大加圧力は60kgf/cm²で、土質地盤に適用される。

試験装置は、**図4.10**の概念図および**写真4.1**に示されるもので、測定管、容積計及び圧力源の三つの部分から構成される。

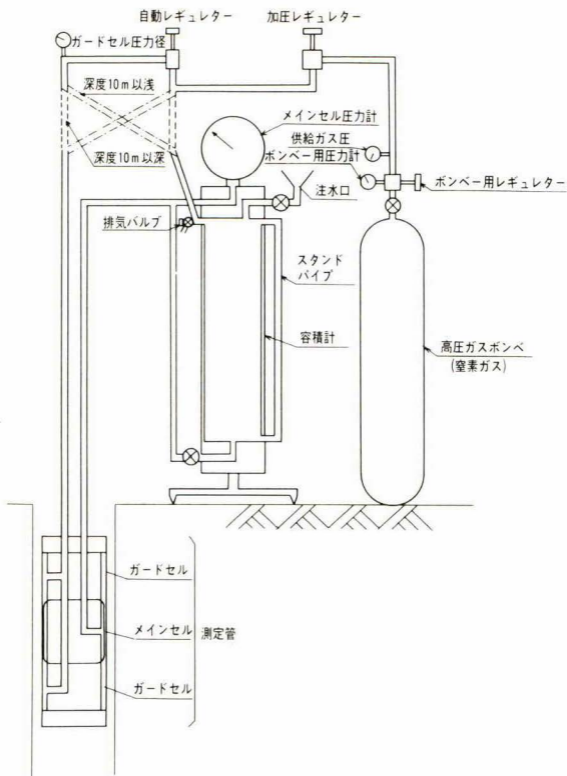


図4.10 プレシオメーター装置概略図

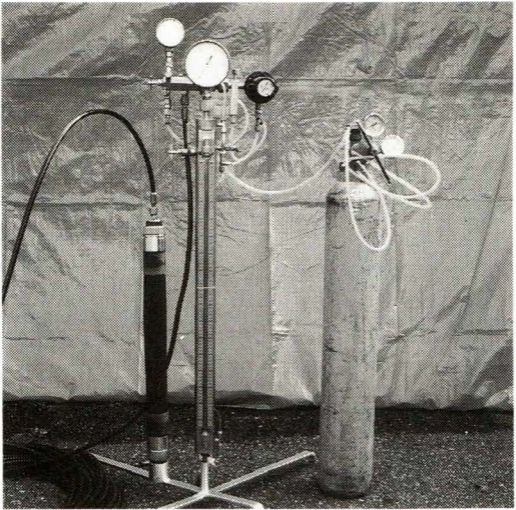


写真4.1 プレシオメーター試験装置

なお、同型式の装置として $200\text{kgf}/\text{cm}^2$ までの高圧型、測定管を自己掘削方式で設置するセルフボーリングプレシオメーター（最高圧 $60\text{kgf}/\text{cm}^2$ ）等も使用されている。

なお、これらいずれの装置も地上から圧力水を送り、地上の圧力計で測定管に加えた圧力を測定する構造となっているが、圧力水がホース内を移動する際の抵抗およびホースの体積変化により地上で測定された圧力と測定管に加わる圧力との間の時間遅れが指摘されている。

こうした機構上の問題に対し、測定管内圧力と注水量を測定管の直上で測定するように改良を加え、さらに加圧操作、圧力・注水量を自動化した装置が実用化されている。

(2) 各部の機能 (G Type 従来型)

- ① 圧力源は通常、無毒・不燃性の高圧窒素ガスを使用する。
- ② 容積計への圧力は、窒素ガスポンペ用のレギュレーターにより使用圧力範囲に減圧して供給する。
容積計は、圧力源からのガス圧を所定の圧力に調整する加圧レギュレーター、測定管のメインセルとガードセルへの差圧を設定する自動レギュレーター等を備え、測定管への注水圧力及び注水量を測定する装置である。
- ④ 測定管は、容積計から送られた注水圧力とガス圧をゴムチューブを介して孔壁に伝達する部分で、注水圧による孔壁の変形量を測定するメインセルと、このメインセルから孔壁に伝達される圧力を、孔壁に直角な二次元的圧力に整えるために、ガス圧力で加圧されるガードセルがメインセルの上下に設けられている。
- ⑤ 容積から測定管への圧力の伝達は、注水圧とガス圧を送る二重管構造の高圧ガスにより行われる。なお、注水用ホースはガス用ホース内に通しており、ガス圧と注水圧が同時に作用することにより注水圧による送水ホースの膨張を防ぐ構造となっている。

(3) 保守・点検及び使用圧力の注意点

試験装置の保守・点検作業は、

- ① 試験結果の良否を決定する要因の1つである
- ② 全体の作業効率を高める
- ③ 装置を長期間使用できる状態に維持する

等の観点から決しておろそかにしてはならない作業で

ある。

保守・点検項目には、使用する際の日常的に行うものと、特に高圧ガスを取扱う装置であることから定期的を実施すべき項目とがある。

日常の保守・点検及び高圧ガス製造に関わる法規に規定される定期的な点検について表4.7、表4.8に示す。

表4.7 通常点検 (その1)

a) 装置組立て時の点検
① 圧力計の異常の有無 (ガラスカバーの破損、示針のゼロ点からのずれ)。
② スタンドパイプの異常変形または破損の有無。
③ バルブ・レギュレターの異常の有無。
④ 配管、ジョイント部の緩み等異常の有無。
⑤ 測定管ゴムチューブの破損の有無。
⑥ 二重リルサン管の損傷の有無。
⑦ 容積計の変形の有無。
⑧ ポンベ圧の確認
b) 試験前点検
① 測定管を内径75mm程度の肉厚鋼管内に入れた状態での予備加圧による接続部からのガス漏れおよび水漏れの有無。
② スタンドパイプ、ホース及び測定管内の残留空気の有無。
③ 圧力計指示値の異常の有無。
④ 加圧レギュレター、自動レギュレターの異常作動の有無。

表4.7 通常点検 (その2)

c) 試験後の保守整備
① 試験時に確認された破損及び異常が予想された個所の整備。
② 当日の試験終了時には容積計内の水を完全に排水し、器材に付着した汚れを拭き取り収納する。

表4.8 高圧ガス使用上の点検

a) 定期点検
① 定期点検は3年に1度、高圧ガス製造に関わる事項に対して製造元にて実施する。

4.3.2 試験手順及び留意事項

試験手順を図4.11に、試験に際しての留意事項を表4.9に示す。

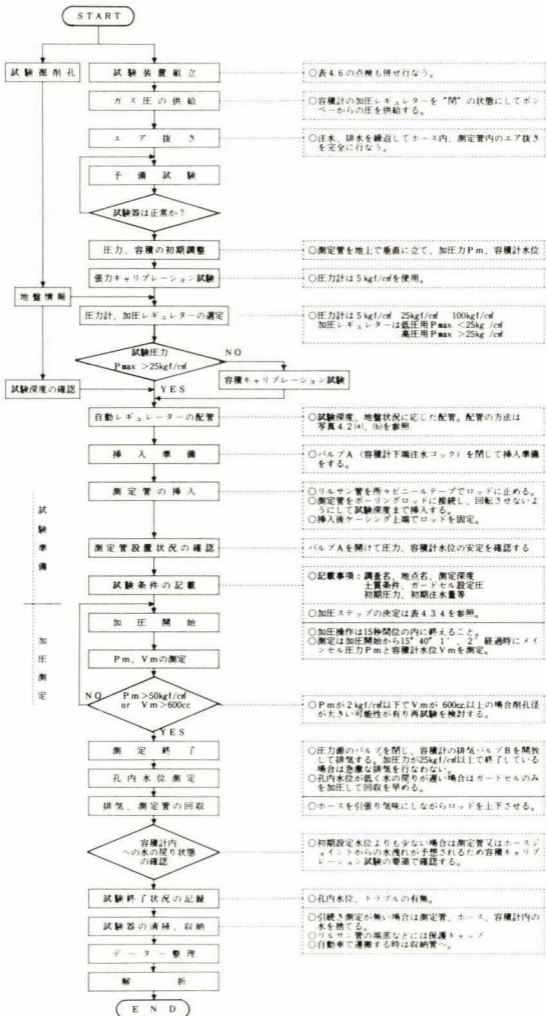


図4.11 プレシオメーター試験のフローチャート

表4.9 試験に際しての留意事項 (その1)

a) 削孔時の留意点
<p>① 削孔は60mmのコアチューブを使用する。</p> <p>② 削孔時の泥水送水量は通常削孔時よりも少なくし、孔壁の乱れを少なくするように配慮をする。</p> <p>③ 特に緩い砂層においては削孔速度を早め、余掘りを行い送水によるスライム処理時間を短くする等配慮する。</p>
b) 試験に際しての留意点
<p>① ステップ圧は予想される破壊圧力または最高加圧力の1/20程度を1段階とする。</p> <p>② 破壊圧力の想定は試験深度の土質、N値等から経験的に決定されるが、概ね次の様な関係がある。</p> $\Delta P = k_n \cdot N$ <p>または $\Delta P = k_n \cdot N \cdot k_s$ (4.7)</p> <p>ここに、ΔP : ステップ圧</p> <p>k_n : N値に対する係数</p> <p>N : N値試験深度の推定N値</p> <p>k_s : 土質に対する係数</p> <p style="padding-left: 40px;">細粒土 : 1.0</p> <p style="padding-left: 40px;">粗粒土 : 0.9</p> <p style="padding-left: 40px;">礫粒土 : 0.8</p>

表4.9 試験に際しての留意事項 (その2)

c) 操作上の留意点

- ①メインセルとガードセルの圧力差は、メインセルの内ゴム張力相当の $\Delta P_i = 0.8 \sim 1.2 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲とする。なお、深度30m以深では低めに設定する。
- ②自動差圧レギュレーターによって設定するガードセルの初期圧は次式で求められる。

$$\Delta P_g = P_{wz} - \Delta P_i \quad (\Delta P_i = 0.8 \sim 1.2 \text{ kgf/cm}^2) \dots\dots (48)$$

ここに、 ΔP_g : ガードセル圧力計の設定圧力

P_{wz} : 容積計からメインセル中心までの垂直深さに相当する静水圧。

ΔP_i : メインセルとガードセルの圧力差自動レギュレーターの配管は ΔP_g が ‘-’ の場合に(a)とし、‘+’ の場合には(b)とする。

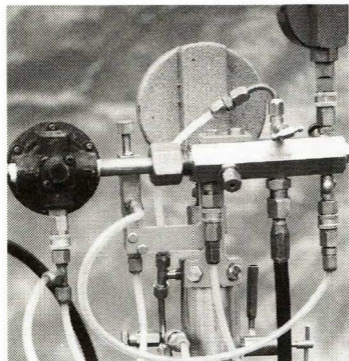
(a) ΔP_g が ‘-’ の場合

表4.9 試験に際しての留意事項 (その3)

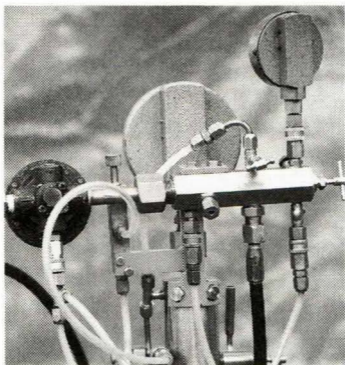
(b) ΔP_g が '+' の場合

写真4.2 差圧レギュレーターの接続

- ③減圧レギュレーターによる加圧は緩やかに操作（右回し）し、所定圧力には15～20秒間で到達できるようにする。
- ④所定圧力近くでわずかに戻す（左回し）ことにより設定圧以上となる継続的な圧力上昇を防ぐ。

d) 試験の終了

試験の終了は試験装置の異状が無い限り、次の条件で終了する。

- ①試験装置の適用限界圧に達した時点。
($P_{max} = 60 \text{kgf/cm}^2$)
- ②測定管のゴムチューブが孔壁に接触した後、注水量が400～500ccに達した時点。
- ③圧力または注水量が試験目的で決められた値に達した時点

表4.9 試験に際しての留意事項 (その4)

e) キャリブレーションの役割

試験結果を補正するために、次のキャリブレーションを実施する。

① ゴムチューブの張力キャリブレーション

地上において測定管を垂直に立て、ゴムチューブへの拘束の無い状態でステップ圧を 0.1kgf/cm^2 程度として段階的に加圧する（ステップ当たり圧力保持時間2分とし、700cc前後になるまで）。

試験結果は $P_m - V_m$ 曲線として図化し、試験結果の各ステップの注水量に対応するゴム張力 P_i を求めて P_m の補正を行う。

② 2重リルサン管およびゴムチューブ等の加圧に伴う変形に関する容積キャリブレーション

測定管を内径70~80mm肉圧鋼管の中に挿入し、ステップ圧を 5.0kgf/cm^2 程度で段階的に加圧する（ステップ当たり圧力保持時間2分とし、 60kgf/cm^2 前後まで）。

試験結果は $P_m - V_m$ 曲線として図化し、 $5.0 \sim 10.0\text{kgf/cm}^2$ 以上の直線部分の勾配から容積補正係数を次式で求める。

$$\Delta V_p = \Delta V_m / \Delta P_m$$

なお、容積補正は低い圧力範囲では無視できる程度であるが、N値が20以上の地盤では考慮する必要がある。

4.3.3 トラブルとその対策

(1) 測定でのトラブルと対策

測定でのトラブルとその対策を表4.10に示した。

表4.10 (a) 試験孔に起因するトラブルと対策

事故現象		原因	対策例
試験前	測定管が測定深度まで下らない。	試験孔の孔壁崩壊	試験孔の掘り直し
試験中	測定管への注水量は増加するが圧力が上がらない。	試験孔の孔径拡大	小孔径のコアチューブを使用して掘り直し。 循環水の送水量を少なくして掘り直し。
	圧力と注水量の関係で直線部分が認められない。	荷重段階の設定が大きすぎる。 孔壁の乱れが著しい。	荷重段階を小さくして再試験。 トリマー等を使用して掘り直し。
試験後	測定管が引き上げられない。	孔内水位が低い場合、ゴムチューブが膨らんだままになっている。凍結管にゴミがつまり水が戻らない。	ガードセルのみ加圧してメインセル内の水を押し上げた状態でAバルブを閉じる。 ガードセルにメインセルよりも高い圧力を加えておき、メインセルへの加圧減圧を繰り返す。
		ゴムチューブがパンクして孔壁に摩擦している。	凍結管を引き込まれないように注意し、強引にロッドで引き上げる。
		測定管の肩にスライムが沈殿しているか又は孔壁が崩壊している。	何度か押し下げたり引いたりするか、泥水を送りスライムを除去する。
		ホース、パイプ類がかみ合っている。	ホースを引っ張った状態で測定管を元の位置まで下げ再度ホースを引っ張りながら測定管を引き上げる。

表4.10 (b) 試験機のトラブルと対策

	現象	原因	対策処理
試験前	差圧が安定しない。	自動レギュレーター故障	内部に水が廻っている場合が多い。分解、清掃する。
		減圧レギュレーター不良	レギュレーターの交換
	加圧力が不安定	水もれやエアもれがある。	接続部分の増し締め。
	加圧しても測定管がふくらまない。	パイプ類がつまっている。	分解して清掃、再組立
		測定管送気孔のつまり	分割、再組立
		試験装置の水もれ	接続部分の増し締め、接続のやり直し。
試験後	容積計の水位が止まらない。	測定管組立不良 (ゴムスリーブのはずれ等)	測定管再組立
	容積計水位が急に下がる。	ゴムスリーブのバンク 又は接続部分がはずれた。	再組立て、或は再接続 減圧して測定管回収。
	試験の前後で容積計の水位が違う。	内ゴムの不良 (ゴムスリーブのはずれ等)	内ゴムの交換 (試験深度をずらしてやり直し)

(2) 試験結果データでのトラブル

1) 削孔径が大きいために生じたトラブル (図4.12参照)

図での孔径は約80mmに達しており、初期圧力 (P_0) が不明瞭で限界圧 (P_f) が確認されていない。

掘削に際して循環水の送水量を少なくしたり、掘削速度を早める等の考慮をして再試験を行う。

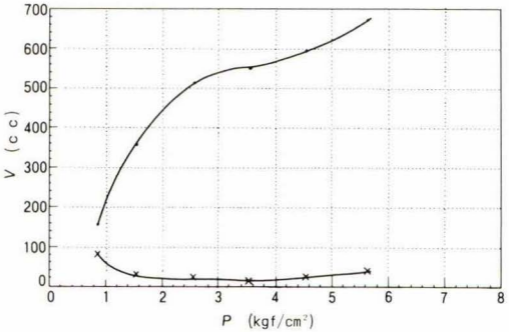


図4.12 削孔径が大きい為に生じたトラブル

2) 圧力ステップが大きいためのトラブル (図4.13参照)
 10点以下で極限圧(P_l)に達しており、初期圧力(P_0)、
 限界圧 (P_f) が不明瞭となっている。

ステップ圧は、極限圧 (P_l) の1/20程度にする必要がある。

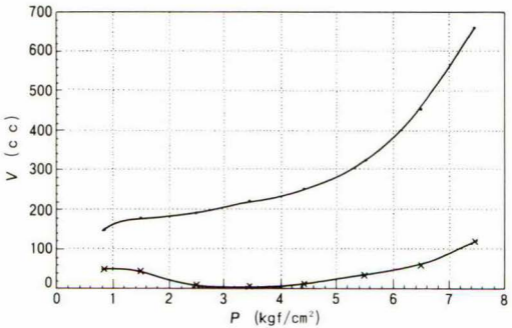


図4.13 圧力ステップが大きい為のトラブル

3) 試験途中でステップ圧を変更して生じたトラブル (図4.14参照)

試験途中において圧力ステップを大きく変更すると $P-V$ 曲線の勾配が変化する。

ステップ圧は極限圧 (P_l) の1/20程度になるようにすることはもちろんであるが、ステップ圧の変更を行う必要のある場合は、試験結果に影響を与えない初期の段階で行う必要がある。

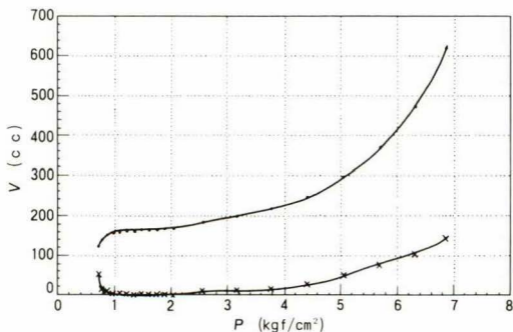


図4.14 試験途中でステップ圧を変更して生じたトラブル

4.3.4 結果の整理

試験結果は表4.11の記録表にまとめ、さらに測定圧 (P_m) に対して静水圧及びゴムチューブの張力補正を行い、図4.15の $P-V-\Delta V$ 曲線を作成する。図4.15を作成した後 $P-\Delta V$ の関係から圧力特性の初期圧力 (P_0)、限界圧力 (P_f)、極限圧 (P_l) を求める。

表4.11 測定記録表

表 孔内水平載荷試験 (プレシオメーター法) 測定記録									
調査件名: _____									
地点名: _____					試験年月日: 年 月 日				
試験深度: _____ m					測定管種類: _____				
孔内水位: _____ m					ボーリング孔径: _____ mm				
ガードセル圧: _____ kgf/d					初期注水量: _____ cc				
土質名: _____					測定者名: _____				
t(s)	P_m	P	V_m	ΔV	t(s)	P_m	P	V_m	ΔV
15					15				
30					30				
60					60				
120					120				
15					15				
30					30				
60					60				
120					120				

更に、 $P_0 \sim P_f$ 間の $P-V$ 曲線の直線部分から変形係数 (E_m) を求める。

(1) 圧力補正

圧力補正は、次式により行う。

$$P = P_m + P_z - P_i \quad \dots\dots\dots (4.9)$$

ここに、 P : 孔壁に作用した圧力 (kgf/cm^2)

P_m : ゲージでの測定圧 (kgf/cm^2)

P_z : 圧力計からメインセル中心までの垂直深度に相当する静水圧 (kgf/cm^2)

P_i : P_m での注水量 V_m に対応するゴム張力 (kgf/cm^2)

(2) 容積補正

$$V = V_m - (P_m + P_z) \cdot \Delta V_p \quad \dots\dots\dots (4.10)$$

ここに、 V : 孔壁の変形に対応する補正注水量(cc)

V_m : 注水量の測定値(cc)

ΔV_p : 容積補正係数(cc)

(3) 圧力特性

P_0 : ゴムチューブがボーリング孔壁に接触した時点の圧力で静止土圧に関する圧力。

加圧初期の ΔV が徐々に減少しほぼ一定値となる過程での屈曲点で決定する。

P_f : 静止土圧(P_0)より高い圧力で、 ΔV がほぼ一定値を示した後徐々に増加する過程での屈曲点から求める。

P_0 : 地盤の耐え得る最大圧力注水量が増加し、圧力の上昇が追従出来なくなった時点の圧力。不明瞭な場合は P_0 に対応する注水量から450cc程度進行した時点の圧力とする。

(4) 変形係数

変形係数(E_m)は次式によって求める。

$$E_m = 2(1 + \nu) \cdot (V_0 + V_a) \cdot dP \quad \dots\dots\dots (4.11)$$

ここに、 E_m : 変形係数 (kgf/cm²)

ν : ポアソン比 $\cong 0.3$

V_0 : 測定管の初期体積(cc)

G Type では cc

V_a : $P_0 \sim P_f$ 間の直線部分の平均注水量(cc)

dP/dV : $P_0 \sim P_f$ 間の直線部分の平均勾配

(kgf/cm²/cc)

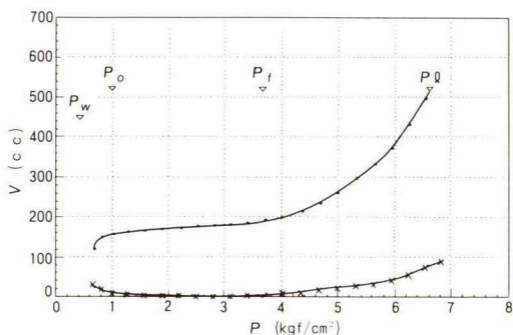


図4.15 P-V, P- ΔV 曲線の例

4 4 KKT

4.4.1 装置とその取扱い方法

KKTは、特殊小型ジャッキ（複動油圧ジャッキ）を多段的に組み合わせたものに、載荷板を取り付けた載荷部本体をボーリング孔内に挿入して孔壁をジャッキにより加圧し、ジャッキピストン前面側のシリンダーからのオイル吐出量を測ることによって、その時の孔壁面の変位量を測定する試験器である。KKTの載荷能力は載荷板寸法とジャッキ容量とから決定される。ここで説明する標準型は最大加圧能力 $50\text{kg}/\text{cm}^2$ で一般の土質地盤には十分な載荷能力を有する。軟岩や硬岩などのように高い加圧力を必要とするものに対しては、別途高圧型KKT、超高圧型KKTが使用されている。

ポアーホールジャッキタイプのKKTの特徴としては、

- ① 載荷ジャッキ本体は、すべて金属製のため破損することが少ない。
- ② 載荷加圧力が大きいいため、軟弱地盤～軟・硬岩に至るまで適応できる。
- ③ ポンプが油圧なので加圧が容易である。
- ④ 通常、孔内泥水圧の補正等の複雑な補正は必要としないので、データ整理が簡単にしかも迅速に行える。

などがあげられる。

(1) 仕様

K K T 試験器（標準型）の主な仕様を表4.12に示す。

表4.12 K K T 試験器（標準型）の主な仕様

品名	項目	規格
ジャッキ	外径	8.5cm
	最大開時外径	約13.3cm
	載荷板寸法	8.5cm×30.0cm
	最大使用圧（ポンプ圧）	400kg/cm ²
	最大荷重強度	50kg/cm ²
	シリンダー合計面積	24.36kg/cm ²
	ピストンストローク	約24cm×両側
	最大排油量	約70cc
ポンプ	最大使用圧	700kg/cm ²
スタンドパイプ	最大目盛	90cc
	精度（1目盛）	小ビューレット 0.5cc 大ビューレット 2cc
	最大測定変化量	0.016cm 0.064cm
圧力指示計	電源	電池式
	センサー	圧力変換器 100kg/cm ² 200kg/cm ² 500kg/cm ²
	最大指示	500kg/cm ²
	精度	100kg/cm ² センサーのとき0.5kg/cm ²
高圧ホース	最大使用圧	500kg/cm ²
	長さ	20m, 30m, 40m, 50m
	内径	大ホース1/4 インチ 大ホース1/8 インチ
		大・小ホース一組にして使用

(2) 構成

KK Tは手動式油圧ポンプで油圧を発生させ、高圧ホースを介し油圧ジャッキで孔壁を載荷する。その時の載荷圧を圧力指示計で、載荷板の変位量をスタンドパイプで測定するものである。KK Tの主要部は図4.16に示すように、大別して加圧部、載荷部、計測部の三つの部分により構成されている。また、図4.17にはKK Tの構造図を示す。

1) 加圧部

手動式加圧ポンプ、高圧ホース、四方向切替弁から構成され、手動式加圧ポンプで着色したスピンドル油を加圧する。載荷部とは2本の高圧ホースで連結されている。

2) 載荷部

載荷部は金属製の剛体円筒で、小型の特殊載荷ジャッキと半円型の載荷板からなり、地上部から送られて来る加圧油により左右にピストンを押し出し、ピストンに取り付けた載荷板で孔壁を加圧する。

3) 計測部

地上部の加圧ポンプに連結されており、加圧力の測定、調整孔壁面の変位量を測定する部分である。

孔壁の変位量はピストン押し出し量に比例するシリンダー内オイル量の排出量を、油圧ホースを通じ地上の変位量測定器（ビューレットスタンドパイプ）で測定し載荷板変位量に換算する。加圧力は圧力測定器（圧力変換器・自動平衡指示計）により電氣的に測定する。

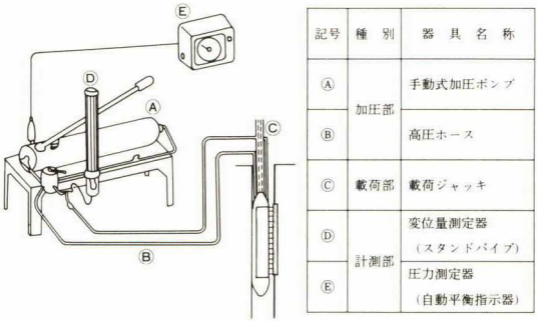


図4.16 KKT一般見取図

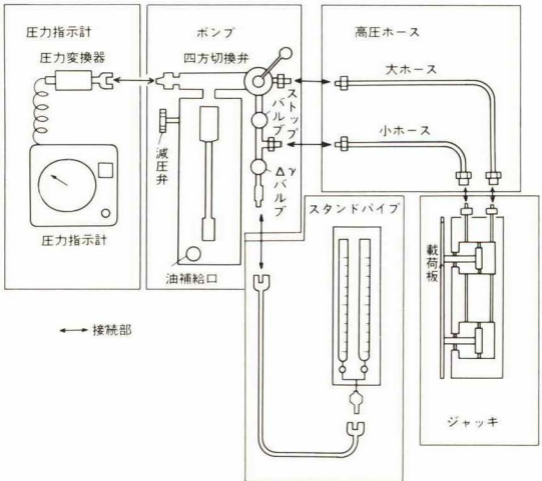


図4.17 KKT構造図

4.4.2 試験手順及び留意事項

(1) 試験手順

試験手順を図4.18のKKT試験フローチャートに示す。

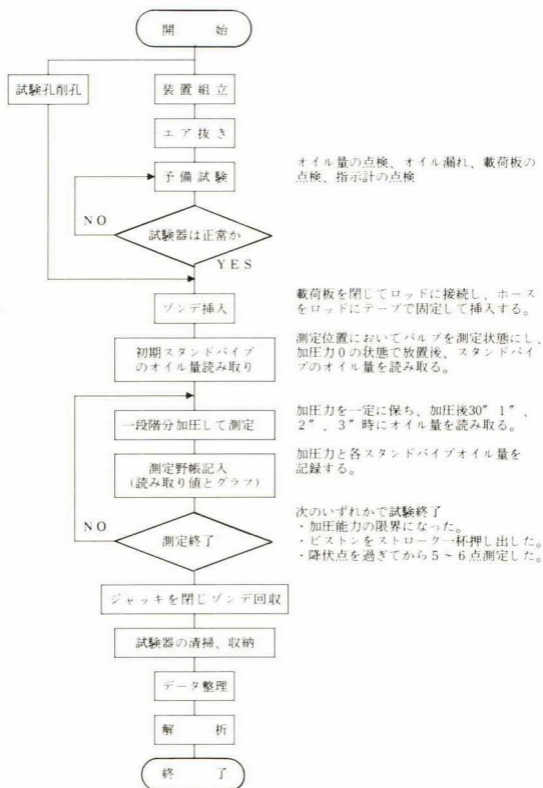


図4.18 KKT試験フローチャート

(2) 準備作業

1) ポンプ等のセット

本機は平らで温度変化の少ない所にセットし、スタンドパイプは垂直に、圧力指示計は見易い所に置く。

2) オイルの補充

ポンプのオイル補給口を開き、オイルが不足していれば補充する。オイルは「スピンドル60番」と呼ばれる種類のものを使用する。

3) 圧力指示計の接続

圧力変換器と圧力指示計を接続し指示計の調整を行う。(調整法は「(4) 圧力指示計の使用法」を参照)。

注) 減圧弁を開き、圧力がかかっていないことを確かめる。

4) 高圧ホースの接続

高圧大ホースの片方をポンプの取付口に接続し、ポンプを作動させて他方から出るオイルを補給口に返す。この操作をオイルに混じっているエアが出なくなるまで繰り返す。高圧小ホースも同様にしてエアを抜き、終了後、オイル補給口をキャップし、空気口(キャップについている)を開く。以上のバルブ操作は次のとおりである。

減 圧 弁 : 開

四方切り替え弁 : 開

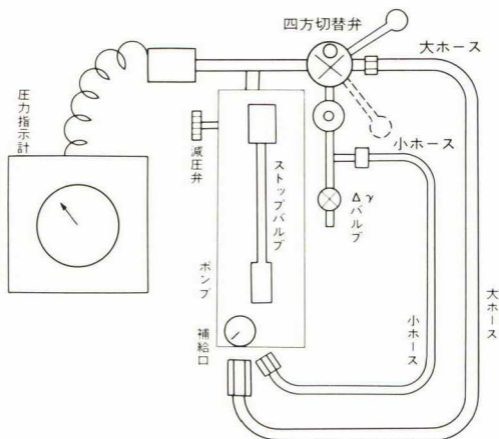
(大ホース使用時)

四方切り替え弁 : 閉

(小ホース使用時)

ストップバルブ : 開

Δ r バルブ : 閉



(本章中の図に示した記号 ○：開、×：閉)

図4.19 高圧ホースの接続

5) ジャッキの接続

エア抜きの終わった高圧大ホースをジャッキに接続し加圧してジャッキを若干開き、もう一方の接続管よりオイルが流出するのを確認した後、エア抜きを行った小ホースをそれに接続する。

6) スタンドパイプの接続

スタンドパイプをポンプに接続し、ポンプを作動させてオイルをスタンドパイプ内に上昇させエアを抜く。

この時のバルブの状態は次のとおりである。

減 圧 弁：閉

四方切り替え弁：閉

ストップバルブ：開

Δ r バルブ：開

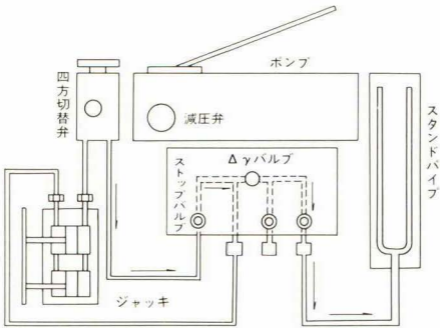


図4.20 スタンドパイプの接続

7) スタンドパイプの初期値設定

オイルをスタンドパイプ下方の任意の目盛りまで下げ、 Δr バルブを閉じる。

この時のバルブの状態は次のとおりである。

減 圧 弁：どちらでも可

四方切り替え弁：開

ストップバルブ：開

Δr バルブ：開→閉

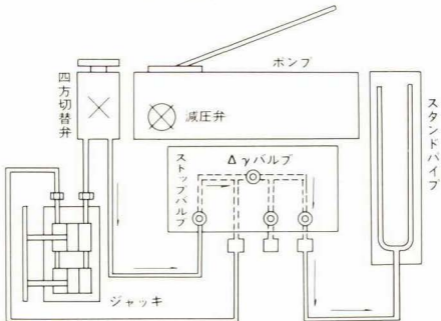


図4.21 スタンドパイプの初期値設定

スタンドパイプは通常、細・太の両方の管にオイルが流入するようにしておき、太い方の目盛りだけを読みとる（太い管の目盛りは細・太の両管を加えた量がきざまれている）。

ただし、変位量が少ないことが、あらかじめ予想されている場合には太い管への流入を止め、細い管のみで読みとる。

8) 載荷板の開閉チェック

ジャッキの載荷板を開き、すきまに泥土等の汚れがないかを確認した後、閉じ、開閉を繰り返して、載荷板が平行に出ることをチェックする（不調の時は4.4.3調整の項参照）。

注) ポンプ圧を下げる時は減圧弁をゆっくり開く。

この時のバルブの状態は下図に示す。

<載荷板：開>

減 圧 弁：閉

四方切り替え弁：開

ストップバルブ：開

Δr バルブ：閉

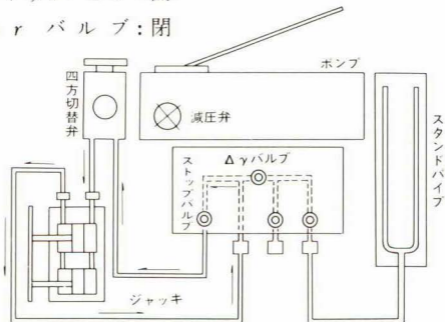


図4.22 載荷板の開閉チェック（その1）

<載荷板：閉>

減 圧 弁：閉

四方切り替え弁：閉

ストップバルブ：開

Δr バルブ：閉

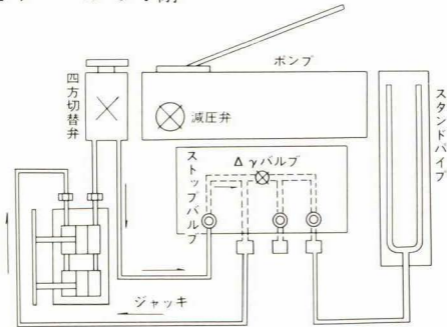


図4.22 載荷板の開閉チェック (その2)

(3) 試験作業

1) ジャッキの挿入

載荷板を閉じた状態で、ポーリングロッドを使用してジャッキを試験深度まで挿入し、ロッドホルダー等で固定する。

注) 高圧ホースはビニールテープ等で3～6 m間隔でロッドに固定する。また本体はロープ等でゆっくり降ろし、トング等で急速に降ろさないようにする。

2) 荷重段階の設定

N値等により、降伏点(P_y)まで10点以上測定することを目安にステップを決める。あらかじめ降伏点(P_y)が低いことが予想される場合は、圧力指示計のつまみを

0.5にしておく。以下に、N値～荷重ステップの目安を示す。

表4.13 N値と荷重ステップ

〔降伏点までに10～20点測定することを目安にN値等から荷重ステップを決める。表中の値は標準値。〕

N 値	細粒土	0～2	3～5	6～8	9～14	15以上
	粗粒土	0～3	4～8	9～12	13～30	30以上
圧力ステップ		1 kg/cm ²	2 kg/cm ²	2.5kg/cm ²	5 kg/cm ²	1 kg/cm ²
圧力計容量		200kg/cm ²	200kg/cm ²	500kg/cm ²	500kg/cm ²	500kg/cm ²
平行指示計精度		0.5	1	0.5	1	1

※ 圧力の数字は圧力計の読みである。

3) 測定

- ① 圧力指示計をチェック（バッテリーチェック）。
- ② スタンドパイプの初期値を読みとる。
- ③ 最初の荷重を圧力計を見ながら加圧し、圧力を一定に保つ。
- ④ 加圧後、30"、1'、2'、3'のスタンドパイプの読みを記録する。
- ⑤ 3分間の測定後、次の荷重段階まで速やかに加圧する。
- ⑥ 各荷重段階のポンプ圧とスタンドパイプ読みの関数をグラフにプロットする。

測定時のバルブの状態は次のとおりである。

減 圧 弁：閉

四方切り替え弁：閉

ストップバルブ：閉

Δ r バルブ：開

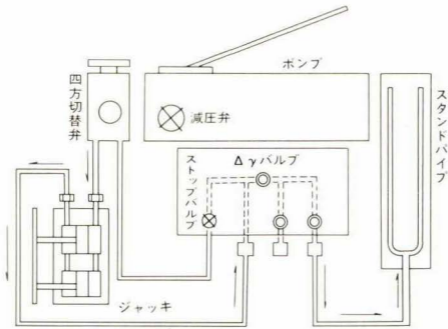


図4.23 測定中

4) 測定の終了目安

測定の終了と見なされた時は、減圧弁を静かにゆっくりと開き減圧する。測定の終了は下記で判断する。

- ① 降伏点が認められた時以降、5～6点の測定を行って終了する。
- ② 載荷板が開ききった時点で終了する（この場合、加圧してもスタンドパイプの読みが一定で、排油量は約70ccである。）。
- ③ ポンプ圧がジャッキの能力限界に達した時点で測定を終了する（この場合は50kgf/cm²）。

5) ジャッキの引き上げ

ポンプを作動し載荷板を閉じた後、ポンプ圧を約20 kgf/cm²以下にし、高圧ホースを引きながらロッドを静かに引き上げる。ジャッキが上がらない場合は、

- ① 載荷板とジャッキ本体の間にスライム及び転石が挟まっている。
- ② ジャッキが平行に閉じていない。

等が考えられるため、ロッドの引き上げる力を緩め、

載荷板の開閉を数回繰り返す。

この時 Δr バルブは閉じておき、スタンドパイプにオイルが流れないようにしておく。

6) ジャッキの清掃

引き上げたジャッキの載荷板を開き、泥土等を清掃し、ピストンにスピンドル油等を塗る。開閉を数回繰り返し、スムーズに載荷板が動くことをチェックする。

7) 次の測定

引き続き次の測定を行う時は、g) より繰り返し操作する。ホース・ジャッキ等はずした時は、a) より操作する。

(4) 圧力指示計の使用法

1) 接続

圧力変換器と S L W - 2 2 0 P C を接続する。

2) 電源

スイッチを「BATT, CHECK」にし、指針が「GOOD」の範囲にあることを確かめる（無いときは電池を交換する。単1：6個で、約150時間使用可）。

3) 零点補正

圧力がかかっていない状態で、スイッチを1あるいは0.5にし、零調整つまみを回し指針を零目盛りに合わせて。

4) スパン調整

パネル前面にあるカバーを開き、押しボタンを押し、隣のスパン調整つまみで250に合わせて（スイッチを0.5にすると倍の位置まで指針がふれる。）。

5) 測定開始

4.4.3 トラブルとその対策

(1) 試験孔に起因するトラブルとその対策

事故現象	原因	対策例
試験前 試験器が測定深度まで下らない。	試験孔の孔壁崩壊	試験孔の掘り直し
試験中 (KKT) 載荷板が初期荷重で開ききる 圧力→スタンドパイプ読みの関係で直線部が得られない。	試験孔の孔径拡大	※試験孔の掘り直し。(小孔径のコアチューブやトリマーを使用。)
	荷重段階の設定が大きすぎる。 孔壁の乱れが著しい。	荷重段階を小さくし再試験測定孔の作り直し。 (トリマーの利用)
試験後 試験器が引き上げられない。	KKT ジャッキが閉じていない。	ジャッキの開閉を数度くり返してから閉じる。若干上下にずらし、再度繰返す。
	試験器の肩にスライムがたまっている。	何度か押し下げたり引いたりする。泥水を送りスライムを除去する。
	ホース、パイプ類がからみ合っている。	ホース、パイプ類を引っ張り気味に試験器を元の位置まで下げ、再度ホース、パイプを引っ張りながら試験器を引き上げる。
	孔壁がくずれジャミングしている。孔壁の押出しが極端に強い。	強引に引き上げる。

※ KKTでは直線の立上りまでのスタンドパイプ増加量を20cc以内におさえるのが望ましい。

(2) 試験器のトラブルとその対策

現象	品名	原因	対策処理
載荷板が平行に出ない	ジャッキ	ビスの締め付けが不均等(緩い)	・締め付けを強くする。
		ビスの曲がり	・ビスの交換
		載荷板の曲がり	・載荷板の交換
		ピストンの変形	・修理不能
測定中にスタンドパイプのオイルが下がる。	ジャッキ	スタンドパイプ接続ホースの損傷	・ホースの交換
		スタンドパイプ自体の損傷(主に接続部分等)	・スタンドパイプ自体の修理・交換。
		バルブの損傷	・バルブの交換
油圧が上がりにくい	ポンプホース	Oリングの損傷	・Oリングの交換
		オイルタンクにゴミの混入が多い	・ポンプ内の清掃
		高圧ホースの損傷	・高圧ホースの交換
電源を入れても作動しない(バッテリーチェックにしても指針が動かない)	圧力指示計	高圧ホース接続部および取付部のゆるみ。	・接続部の締め直し 取付部の付替
		電池の接触不良	・電池の接点の清浄
指針がふれて零点調整ができない	圧力指示計	ヒューズの断線	・ヒューズの交換
電源を入れると指針がふりきれ零点調整が		電池の電圧低下	・電池の交換
	圧力変換器の故障	交換器の交換	

※印は現場で修理調整のできるもの。

4.4.4 結果の整理

(1) 地盤係数 (K_m) の求め方

1) 各荷重段階の単位面積あたりの載荷荷重 (荷重強度) を求める。

$$P = \text{圧力計の読み} \times S_o / A_o$$

P : 荷重強度 (kgf/cm²)

S_o / A_o : 換算荷重校正係数

2) 各荷重段階の載荷板の変位量を求める。

$$\Delta r = \Delta h \times c_f \quad \dots\dots\dots (4.12)$$

Δr : 載荷板変位量 (半径分cm)

Δh : スタンドパイプ読みー初期読み (cc)

c_f : Δr の検定係数 (cm/cc)

3) 荷重強度と載荷板変位量の関係をプロットする。

縦軸に荷重強度、横軸に載荷板変位量を取り、図化する (図4.24)。

立ち上がり部より始まる比較的直線的な部分 (疑似弾性領域) を選び、任意の点 P_1 、 P_2 、 r_1 、 r_2 を読み取り、次式で地盤係数 (K_m) を求める。

$$K_m = \Delta P / \Delta r = (P_1 - P_2) / (r_1 - r_2) \dots\dots\dots (4.13)$$

K_m : 地盤係数 (kgf/cm²)

P_1 : ある点1の荷重強度 (kgf/cm²)

P_2 : ある点2の荷重強度 (kgf/cm²)

r_1 : P_1 時の載荷板変位量 (cm)

r_2 : P_2 時の載荷板変位量 (cm)

4) 降伏圧 (P_y) の算定

降伏圧 (P_y) は、荷重～変位図の関係が線形から非線形移行する荷重とする。

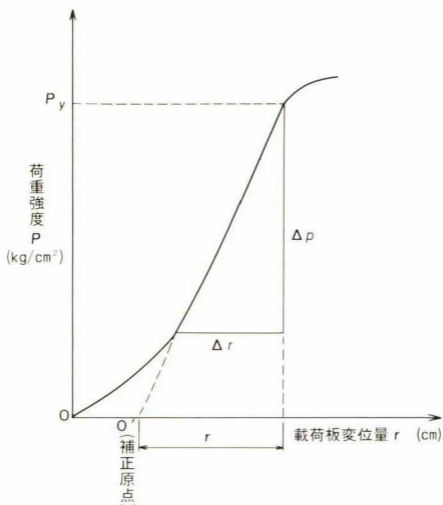


図4.24 荷重～変位図

(2) 変形係数 (E_m) の求め方

変形係数 (E_m) を求める算定式としては、次に示すグッドマンの式を用いる。この式は、KKTと同じ载荷条件を有するポアホールジャッキについて得られたものである。

<グッドマンの式>

$$E_m = d / 2 \cdot \phi(\nu, \beta) \cdot \Delta p / \Delta r \cdots \cdots (4.14)$$

ここに、 E_m : KKT試験より得られる変形係数
(kgf/cm^2)

d : 初期ボーリング孔直径 (cm)

$\phi(\nu, \beta)$: 地盤のポアソン比 ν と载荷曲率 β

(図4.25参照) により決まる定数 (表4.14参照)

$\Delta p / \Delta r$: 測定K値 (kgf/cm³)

式(4.14)をもとに、標準型KKT $\phi 85$ 型について E_m 値を求める。

<標準型KKT $\phi 85$ 型>

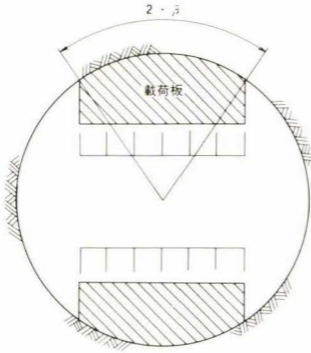
$$\begin{aligned} E_m &= d / 2 \cdot \phi(\nu, \beta) \cdot \Delta p / \Delta r \\ &= 8.5 / 2 \times 1.087 \times \Delta p / \Delta r \\ &= 4.62 \times \Delta p / \Delta r \quad \dots\dots\dots (4.15) \end{aligned}$$

ただし、初期ボーリング孔径 $d = 8.5$ cm、ポアソン比 $\nu = 0.5$ と仮定し、

$$\begin{aligned} \beta &= 45^\circ \text{ より、} \phi(\nu, \beta) = \phi(0.5, 45^\circ) \\ &= 1.087 \text{ (表4.13) とした。} \end{aligned}$$

表4.14 式(1)における $\phi(\nu, \beta)$ 値

β (度)	ν : 0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
5.0	0.434	0.433	0.430	0.424	0.417	0.407	0.396	0.382	0.366	0.348	0.327
10.0	0.704	0.703	0.698	0.690	0.678	0.663	0.645	0.622	0.597	0.568	0.536
15.0	0.904	0.903	0.897	0.887	0.873	0.854	0.831	0.803	0.772	0.735	0.694
20.0	1.052	1.051	1.046	1.035	1.019	0.998	0.973	0.942	0.906	0.864	0.818
25.0	1.159	1.159	1.154	1.143	1.127	1.105	1.078	1.045	1.007	0.963	0.914
30.0	1.230	1.231	1.227	1.217	1.201	1.179	1.152	1.119	1.080	1.035	0.985
35.0	1.271	1.274	1.271	1.262	1.247	1.226	1.200	1.168	1.129	1.086	1.036
40.0	1.287	1.291	1.290	1.282	1.269	1.250	1.225	1.195	1.159	1.117	1.069
45.0	1.282	1.288	1.288	1.282	1.271	1.254	1.232	1.204	1.170	1.131	1.087
50.0	1.261	1.268	1.270	1.266	1.257	1.243	1.224	1.199	1.169	1.133	1.092
55.0	1.227	1.236	1.240	1.238	1.232	1.221	1.204	1.183	1.156	1.125	1.088
60.0	1.186	1.197	1.202	1.203	1.199	1.190	1.177	1.160	1.137	1.109	1.077
65.0	1.142	1.154	1.161	1.164	1.162	1.156	1.146	1.132	1.113	1.089	1.062
70.0	1.098	1.111	1.120	1.124	1.125	1.122	1.114	1.103	1.088	1.068	1.045
75.0	1.059	1.073	1.083	1.089	1.091	1.090	1.085	1.076	1.064	1.048	1.028
80.0	1.028	1.042	1.053	1.061	1.064	1.065	1.061	1.055	1.044	1.031	1.013
85.0	1.007	1.022	1.034	1.042	1.046	1.048	1.046	1.040	1.031	1.019	1.004
90.0	1.000	1.015	1.027	1.035	1.040	1.042	1.040	1.035	1.027	1.015	1.000



等変位載荷方式の載荷角度

図4.25 ポアホールジャッキと載荷曲率 (β)

以下に土質による変位量～荷重曲線の特徴を示す。

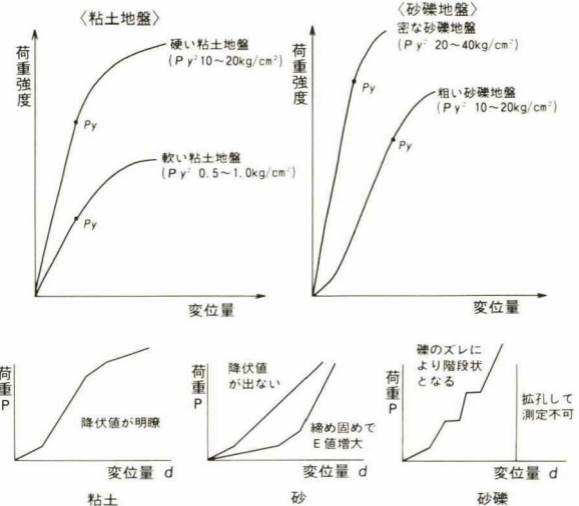


図4.26 土質別の変位量～載荷曲線

4 5 結果の評価と応用

試験結果の表示方法は、LLT、プレシオメーターおよびKKTのいずれの装置でも圧力-変形の関係として表示され、その関係から得られる解析値はほとんど差がない。また、一室と三室のゾンデの違いによる測定結果にも実用的な相違がないことが確認されている²⁾。

試験結果は、日本では杭基礎の設計に利用することが多いが、諸外国では直接基礎の設計にも利用することが多い。

現在、孔内横方向載荷試験で得た地盤のパラメータをどのように基礎設計に利用するかについては、以下の3つの流れがある。

a) 経験法

この方法は、試験結果で得た変形係数 (E_m)、破壊圧 (P_f) を基礎的パラメータとして、実物大の実験結果と対比して実験式を求め、これをもって他の多くの基礎構造物の設計をしようとする方法であり、フランス流派の方法である。

一般的な構造物の直接基礎、杭基礎の設計法として世界中で利用されている。

b) 理論的方法

この方法は、孔内横方向載荷試験で得た圧力-変形曲線から、土質パラメータ (E 、 C_u 、 ν 、 σ_{ho}) を求め、このパラメータを何の補正もせず、直接、従来 of 解析式に代入して設計する方法であり、いわゆるイギリス流派の方法である。

c) 中間的方法

この方法は、理論的な手法に経験的な実例を加味して一部修正し、それを基礎設計に採用しようとする方法で、日本の場合はこの方法を踏襲している。

(1) 結果の評価

試験結果で得られた値は、他の土質物性値との相関から評価しており、その例を述べる。

1) N 値と変形係数 (E_m) の関係

宇都 (1967)、福島—宇都 (1959)、港研 (1962) は、孔内横方向載荷試験で得た変形係数 (E_m) と N 値との関係を多くの実験データから求めている。図4.27に相関図を示した。

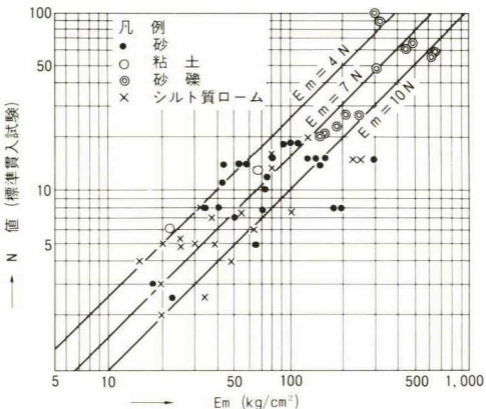


図4.27 N 値と変形係数 (E_m) の関係³⁾

2) その他の土質工学的性質との関係

孔内横方向載荷試験で得た変形係数 (E_m) と、室内土質試験結果で得られた各種の値との関係が求められて

いる。例えば、一軸圧縮強さ (q_u)、圧密降伏応力 (P_c)、一軸圧縮試験での変形係数 (E_{50}) などである。

ただし、このような値から孔内横方向載荷試験結果を評価する場合は、土質性状などを吟味した上で行う必要がある。

(2) 杭に用いる水平地盤反力係数

孔内横方向載荷試験で求めた変形係数 (E_m) や地盤係数 (K_m) から杭の設計に用いる水平地盤反力係数を求める場合は、一般に次式で算出することが多い。

$$K_h = 0.8 \cdot E_m \cdot B^{-3/4} \dots \dots \dots (4.16)$$

ここに、 K_h : 杭の変位量を1cmとした場合の水平地盤
圧力係数

E_m : 変形係数

B : 杭の直径

L L Tに用いる場合、次式により水平地盤反力係数を求めることも可能である。

$$K_o = \frac{\pi^4}{2} \cdot \sqrt{\frac{2r_o \cdot (r_m - r_o)^2}{B}} \cdot K_m \dots \dots \dots (4.17)$$

$$K = \frac{\pi^4}{2} \cdot \sqrt{\frac{2r_o \cdot (r_m - r_o)^2}{B_y^2}} \cdot K_m \dots \dots \dots (4.18)$$

ここに、 k_o : 基準K値 (杭の変位量を1cmとした場合
の水平地盤反力係数)

r_o : 測定で得られた初期半径

r_m : 測定で得られた中間半径

k_m : 地盤係数

B : 杭の直径

K : 一般K値 (杭の任意の変位量に対する
水平地盤反力係数)

y : 杭の変位量

(3) 結果のその他の応用

孔内横方向載荷試験結果から得た地盤のパラメータをもとにして、基礎地盤の設計をする手法として、その例を紹介する。

1) 粘性土の非排水せん断強さ (c_u) の決定

円筒形の空洞を押し広げた場合、その孔壁面に作用する応力と変形を理論的に解析した結果、孔壁面周辺の地盤に作用するせん断応力 τ と孔壁面のひずみ ($\Delta r / r_0$) とは次の関係にあることが証明されている。

$$\begin{aligned} \tau &= 1/2(\sigma_r - \sigma_\theta) \\ &= \frac{\Delta r}{r_0} \cdot \frac{\delta P_e}{\delta \left[\frac{\Delta r}{r_0} \right]} \dots\dots\dots (4.19) \end{aligned}$$

ここに、 σ_r : 半径方向の応力

σ_θ : 円周方向の応力

r_0 : 孔壁の初期半径

この式は図4.28に示す方法でせん断応力が求まることを示しており、この作図で得た最大せん断応力 (τ_{max}) がその地盤の非排水せん断強さ (c_u) である。

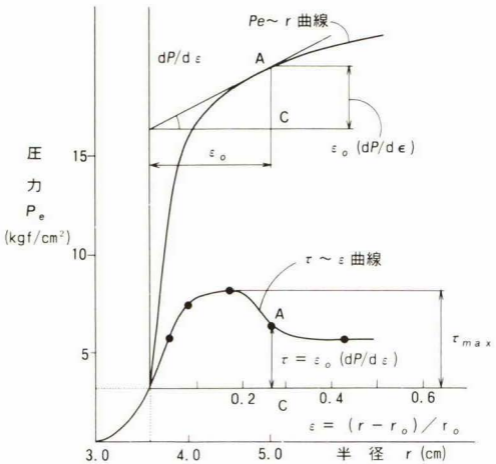


図4.28 せん断応力～ひずみ曲線を求める方法⁴⁾

2) 各種基礎の支持力⁵⁾

メナール（1955）は、孔内横方向載荷試験と基礎の施工における土の挙動の比較から、基礎の支持力度を求める式を提案している。

$$q_l = K (P_l - P_0) + q_0 \dots\dots\dots (4.20)$$

ここに、 q_l : 基礎の極限支持力度

q_0 : 基礎底面部の土被り圧

P_0 : 静止土圧

P_l : 破壊圧

K : 基礎の根入れ比、土の種類、基礎による支持力係数

3) 沈下量

この方法は、メナール（1965）によって提案され、ヨーロッパで利用されている。

$$S = \frac{2}{9E_m} \cdot q \cdot B_o \cdot \left(\lambda_d \cdot \frac{B}{B_o} \right)^\alpha + \frac{\alpha}{9E_m} \cdot q \cdot \lambda_c \cdot B$$

……………(4.21)

ここに、 E_m : 孔内横方向載荷試験で求めた変形係数
(kgf/cm^2)

q : 増加応力 (kgf/cm^2)

B_o : 基準基礎幅 ($B_o = 60\text{cm}$)

B : 基礎幅 (cm)

α : 土の特性によって定めるレオロジー定数

λ_d, λ_c : 基礎の形状係数

この式による沈下量は、日本の軟弱地盤の経験では、少し小さめの値を示すようであるが、概略の目安にはなる。

4) 各種地盤への適用

ゴミ地盤や産業廃棄物地盤などの特殊地盤を対象にした孔内横方向載荷試験を使用し、良好な結果が得られた例がある。

5) 地盤の変形特性のひずみ依存性

地盤は小さなひずみの領域で塑性化し、弾性体として取扱うことは不適切であることが明らかにされている。一方、変形係数は、ひずみの大きさによって変化することが明らかにされ、変形係数の設定には、厳密にはひずみを規定する必要がある。

変形係数は図4.29に示すように、応力～ひずみ曲線の接線から求めた接線係数、応力とひずみの割線を求めた割線係数に大別される。通常的设计において使用される変形係数は、割線係数である。

これらの変形係数は、ひずみの増大にともなって小さくなるのが容易に想像できる。金、越智ら(1991)は各種の測地方法で求めた変形係数とひずみの関係を発表しており、**図4.30**に示すとおりである。実用上は、ひずみが $\epsilon_1 < 10^{-5}$ においては、ひずみに無関係な変形係数の減少しない領域を弾性領域として取扱い、それ以上のひずみ領域ではひずみの増加によって変形係数を減少させる弾-塑性領域として取扱うことができる。

これまで、孔内横方向載荷試験で得た変形係数は、 10^{-2} オーダのひずみに相当するものであり、杭の周辺のひずみがほぼそれに相当することが確認されている。しかし、軟岩のような比較的硬い地盤の場合、通常 of 重量構造物によって与えられるひずみは 10^{-4} オーダであることから当然、孔内横方向載荷試験で得た変形係数は実際の変形係数の1/5以下であることが、多くの比較実験等で経験されている。

したがって、設計に採用する変形係数は、地盤が変形するひずみのオーダによって設定される必要がある。このような手法は、動的な地盤の変形解析では既に採用されている。

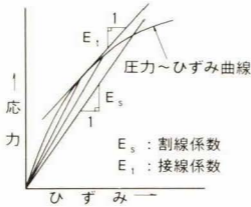


図4.29 地盤の応力～ひずみ曲線

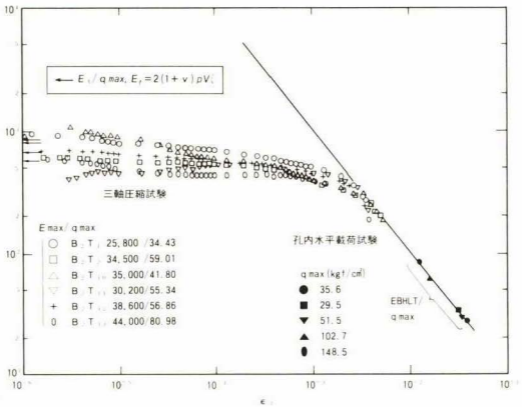


図4.30 相模原における堆積軟岩地盤での変形係数のひずみレベル依存性(金ら1991、越智ら1991)

参考文献

- 1) 関東地質調査業協会編：ボーリング孔を利用する原位置試験についての技術マニュアル、関東地質調査業協会、P90.、1982.
- 2) 吉田 巖、吉中竜之進：3室型試験機と1室型試験機の比較実験について、土木技術資料、土木学会、No.6、1967.
- 3) 宇都一馬：基礎地盤の調査、構造部の基礎、土木学会関東支部、P46.、1967.
- 4) 大矢 暁・佐藤勝英・大森弘一：原位置における K_0 の測定、第12回土質工学研究発表会、土質工学会、1977.
- 5) 渡辺崇博、菅原紀明、鈴木一正、楯木 博：プレッシャメータ試験、軟弱地質対策工事ポケットブック、山海堂、P40.、1987.

第 5 章



現場透水試験

第 1 章 総 説

第 2 章 ポーリング

第 3 章 サンプリング

第 4 章 孔内横方向載荷試験

第 5 章 現場透水試験

第 6 章 間隙水圧測定

5	1	概要
---	---	----

5.1.1 目的と意義

構造物の大型化・特殊化・大深度化が進み、さらに防災・環境問題が注目される中で、地下水に関する情報に対するニーズが増大し、地盤の透水係数 k に対しても従来以上に高い精度が要求されるようになってきた。現場透水試験は地盤調査で最も基本的な原位置試験の一つで、また、地盤の透水係数を原位置で簡易に求める試験であるが、この現場透水試験で求める透水係数は帯水層の状態や地下水の流動状況および試験時の条件等に大きく左右されやすいことから、原位置では厳密な試験の実施が難しいと理解され、残念ながら試験精度について満足な評価が得られていない感がある。しかし、良好な試験孔を作り、目的に合った試験方法を選択し、試験条件を遵守して試験を実施すれば、求めた透水係数にかなりの精度が期待できる。本マニュアルは、そのような認識に立って現場透水試験の方法を解説した。なお、土砂地盤を対象（岩盤は対象外）に原位置で透水係数を求める方法には、多孔式揚水試験などもあるが、ここでは広く現場で多用され、簡易で実績も多いボーリング孔を利用した単孔式現場透水試験を対象とする。

5.1.2 試験の種類と特徴

地盤の透水係数 k を求める方法は、**図5.1**に示したように、①原位置試験、②室内試験、および③解析的手法で求める方法、とに大別される。これらの試験の中でJ

I S（日本工業規格）化しているのは、室内透水試験『土の透水試験方法(JIS A 1218-1990)』¹⁾だけである。



図 5.1 透水係数 k を求める方法の分類

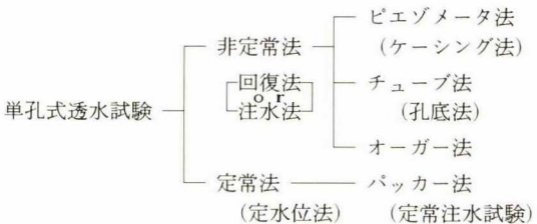
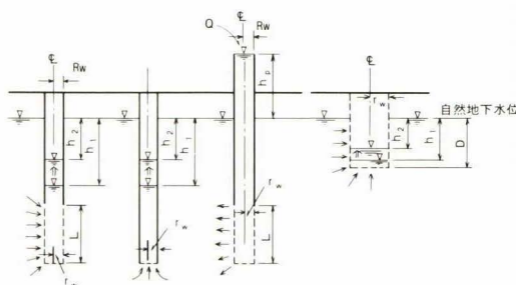


図5.2 単孔式透水試験の種類

単孔式現場透水試験の方法は、図5.2および図5.3に示したとおり、代表的なものにピエゾメータ法、チューブ法、パッカー法、オーガー法がある。



(a) ピエゾメータ法 (b) チューブ法 (c) パッカー法 (d) オーガー法

図5.3 おもな単孔式透水試験の概念図

- ① ピエゾメータ法は別名「ケーシング法」とも呼ばれ、通常のボーリング設備と孔内水位を測る器具があれば簡易に現場透水試験ができることから、最も標準的に多様されている試験方法で、先端通水区間の長さを調節することで対象とする土質に適した試験ができる。
- ② チューブ法は別名「孔底法」とも呼ばれ、先端通水部分の面積が小さいことから、地下水の量の多い礫層に適用される。測定する透水係数は水平と鉛直の合わせた値となっていることに注意が必要である。
- ③ パッカー法は定常注水試験で、上記(a)、(b)が非定常法試験であるのと異なっている。岩盤を対象に行われるルジオンテストと同じ原理であるが、必ずしもパッカーを用いなくてもよい。
- ④ オーガー法は、試験深度が浅く、かつ自然水位も浅く存在し、裸孔で自立できる地盤に適用する。

5.1.3 現場透水試験のポイント

試験精度を高めるに際し地盤全体としての透水性の評

価を慎重に行うことによってはじめて、現場透水試験が非常に有効な調査手段となり得るのである。現場透水試験の精度向上を図る上での留意事項を表5.1にまとめた。

調査目的に合った現場透水試験を的確に実施し、設計に必要な透水係数 k を得るためには、対象とする地下水の特徴を知るとともに帯水層の状態・分布状況ならびに地下水の流動状況等を念頭においた試験計画を立てて試験を実施することが特に重要である。現場透水試験を実施する上で理解しておいて欲しい地下水と透水係数 k に関する基本的事項を表5.2に列挙する。これらについては章末に解説を添付した。

表5.1 現場透水試験の適用上の留意事項

区分	留意事項
試験に当たっての心構え	① 適用条件を遵守して試験すれば求める透水係数にかなりの精度が期待できることを理解する ② 地下水および透水係数の特性を理解しておく ③ 透水係数への影響因子を理解しておく ④ 透水係数の評価における安全側の判断は目的（治水or利水、工事中排水or環境影響、等々）によって異なることを理解しておく
試験方法選定上のポイント	⑤ ピエゾメータ法の回復法を標準とする ⑥ 飽和地盤の水平方向の透水係数の計測を原則とする（試験方法と透水の異方性を知る） ⑦ 試験対象地盤は透水係数が $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 前後の砂地盤であるので、その範囲外を対象とする場合には注意を要する
試験実施上のポイント	⑧ 孔内水位を下げるのにベラーは極力避ける ⑨ 孔内水位を余り下げない（1 m程度以内） ⑩ 試験孔周辺の水位を下げないように努める ⑪ 通水部分（L区間）の形状を確保する。通水区間にはストレーナ管を用いることが好ましい ⑫ 通水区間長 L を試験孔径 r_w に対して充分長く採る、すなわち、 $L > 8 r_w$ を満足させる ⑬ 試験時の自然水位を把握する
試験結果解析上のポイント	⑭ ケーシング径は水位変動区間の R_w と通水区間の r_w を区別する。 R_w は内径、 r_w は外径を採る ⑮ $t \sim \log h$ の作図は、縦軸に $\log h$ を採る ⑯ 透水係数 k を求める $t \sim \log h$ の勾配は立ち上がりの直線部分を採る

表5.2 地下水と透水係数に関する基礎知識

基 本 事 項	
帯水層	<p>① 広域地下水は水文循環の一部として存在する</p> <p>② 帯水層には『不圧帯水層（自由地下水）』と『被圧帯水層（被圧地下水）』がある</p> <p>③ 不圧帯水層には『飽和水帯』『毛管水帯』と『不飽和水帯』がある</p>
透水係数の定義	<p>④ 土砂地盤で『地下水』は、地下水位の高い方から低い方へ非常に小さい速度で移動する。地下水が地盤中を流れる速さ（平均流速 v）は、動水勾配 i に比例する $\rightarrow v = k \cdot i$（ダルシーの法則）。この時の比例定数が透水係数 k (cm/s) である。</p> <p>⑤ 地下水の流速には『見掛けの流速 v』と『真の流速 $v' = v/n$』（n は間隙率）』がある。</p>
透水係数の特性	<p>⑥ 透水性には異方性があり、水平方向の透水係数 k_h は、透水性の良い地層の透水係数に近い値となり、逆に鉛直方向の透水係数 k_v は、透水性の悪い地層の透水係数に近い値となる</p> <p>⑦ 一般に水平堆積地盤では水平方向の透水係数 k_h と鉛直方向の透水係数 k_v に、$k_h > k_v$ の関係がある</p> <p>⑧ ピエゾメータ法はおもに水平方向の透水係数 k_h に近い値を計測し、チューブ法は水平方向の透水係数 k_h と鉛直方向の透水係数 k_v との相乗平均に近い値を計測している</p> <p>⑨ 透水係数に影響するおもな因子には、飽和度、異方性、構成土粒子の形状ならびに粒径と配合、そして間隙比（密度）がある。</p> <p>⑩ 一般に粒形が丸味を帯びているほど透水性は良く、粒形が角張っているほど透水性は悪くなるとともに、構成土粒子のなかの細粒側の粒子径が透水係数の支配因子となる</p>

5 2 装置とその取扱い方法

精度の良い現場透水試験を実施するためには、前節で述べたように、試験方法の適用範囲内で試験の前提条件を満たした試験を実施しなければならない。そのためには、良質の試験孔の確保とともに的確な試験装置の選択使用が要求される。ここで、現場透水試験に標準的に必要な装置として、ケーシング、汲み上げ装置、地下水位の計測器具、パッカー等を取りあげ、その使用上の留意点を述べ、最後に現場透水試験の自動化について述べる。なお、現場透水試験で使用する装置は、次章の間隙水圧測定と共通するものが多いので、併せて参照されたい。

5.2.1 標準的な装置

(1) ケーシング（ストレーナー部分を含む）

ケーシングは他の帯水層との遮水目的の他に、ボーリング孔壁の保護と通水部分（通称L区間）の形状確保の役割がある。ケーシングは、通常のボーリング作業で使っているもので特に問題はないが、試験の精度向上を図るためには、通水部分についてはストレーナー加工したケーシングを建て込むことが望ましい。ストレーナーはスリット加工やパンチングメタルを加工して使用する等、十分な開孔率を確保する必要がある。開孔率が悪いと井戸ロスの原因となり試験精度に大きく影響する。通水区間にストレーナー管を使用する場合には、通常、2重管式となり、当然のことながら、外管のケーシングとストレーナー管を接続した内管のケーシングとの間はパッカ

一をかませるか遮水シールをして漏水防止を図る必要がある。

(2) 汲み上げ装置

現場透水試験の方法には、試験孔内の水位を何らかの方法で下げた後、その回復水位を測る『回復法』と、逆に試験孔内に水を注いで試験孔内の水位低下を測る『注水法』の2つの方法に大別される。厳密には、パッカー法のように試験孔内にポンプ等を利用して一定流量の水を注入する試験方法（定常法）も注水法に含まれるが、ここでは、『回復法』の場合の孔内水の汲み上げに必要な装置について述べる。

試験孔内水を汲み上げる方法には、

- ① ポーリングポンプ等の地上設置型のポンプを使用
- ② 小型水中ポンプの使用
- ③ ベーラーによる汲み上げ
- ④ 孔内を閉じた系にした上で孔内を加圧する方法

が考えられる。この内、①から③については次のような方式がとられている。

- 1) 孔内水を力任せにポンプ等で汲み上げ孔内水位を下げる
- 2) 試験孔の下部を弁やパッカーで1度閉塞し、地下水が試験孔内に流入しないようにした上で、孔内水を汲み上げ孔内を空にする

しかし、前項で述べたように「透水試験の前後で周辺の自由水面は変動しない」という前提条件のもとで「初期回復水位を確実に掌握する」ためには、上記 1) の方式はあまり薦められない。

(3) 地下水位の計測器具

現場透水試験における測定項目は、基本的には経過時間に対する孔内水位（水圧）の変化である。地下水位を測る主な装置を以下に示す。

- ① 触針式水位測定器（巻尺付）
- ② 超音波式水位計
- ③ 水圧式水位計（投げ込みタイプ）
- ④ 電極式水位計（JFT用）

①が最も普及しているが、精度の向上を図るためには、②～④を用いることが望ましい。特に、②～④の水位計は、現場透水試験の自動化を進める上では欠かせない装置である。中でも使いやすさと発展性の点で、③の水圧式水位計を使うことを薦めたい。

(4) パッカー

他の帯水層と遮水する、あるいはケーシングと地盤との間の隙間を埋める（漏水防止）ために、①ケーシングを2重に建て込みケーシングの外管と内管との間をシールするか、②パッカーを使う方法がある。

また、パッカーはケーシング（内管）の内側にかけて、孔内水を排出するのに用いたり、被圧帯水層が対象の場合でケーシング外側の遮水性に問題が無ければ、やはりケーシング内側の地下水位以深にパッカーをかけ、さらにパッカーの下位に水圧式水位計等を設置して水圧の測定を行い平衡水位を短時間に計測する方法もある。

5.2.2 現場透水試験の自動化

透水試験の自動化レベルには、概略以下の3通りある。

- ① 水位測定の自動計測、データ収録

② 測定データの自動図化とコンピュータによる解析

③ セルフポーリング式透水試験装置

ここでは、①と②について概説する。①の水位測定の自動計測とデータ収録には、水位計として超音波式水位計・水圧式水位計・電極式水位計（JFT用）等、電気的なセンサーを用いてタイマーと連動させれば比較的容易に行うことができ、既に現場において多用されている。データがコンピュータに取り込まれさえすれば、測定データの自動図化とコンピュータによる透水係数等の算出も連動して自動処理することができる。自動化のメリットは、現場作業の近代化には勿論のこと、透水試験の精度向上に欠かせない技術でもある。すなわち、透水係数 k の算定には、 $t \sim \log h$ 曲線（時間～回復水位曲線）のうち、比較的初期の直線勾配が必要で、自動計測であれば $t = 0$ から始まり1秒ないし0.5秒刻みで記録することができ、この曲線の立ち上がり部分を確実に捉えることができる。これに対し巻尺付触針式水位測定器の目視では、 $t = 0$ の水位 h の読み取りは困難であり、測定間隔も30秒程度が限度で読み取り人為誤差が大きい。透水試験の精度向上と適用範囲の拡大に、自動化が欠かせない技術であることが分かる。

5.3 試験手順および留意事項

5.3.1 試験手順

現場透水試験を実際に行う場合の一般的な試験作業手順を図5.4に示す。

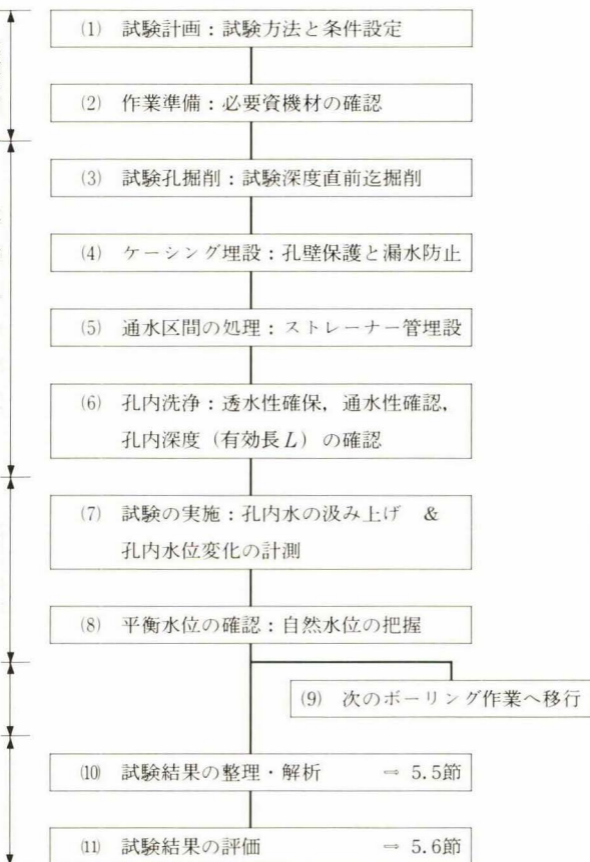


図5.4 現場透水試験の試験作業手順

5.3.2 作業要領と留意事項

図5.4に示した現場透水試験の試験手順にしたがって、作業要領と留意事項について述べる。

(1) 試験計画：試験方法の選定と試験条件の設定

現場透水試験の試験計画に必要な項目は、概略、表5.3にまとめて示した。

表5.3 試験準備チェックリスト

試験計画項目	チェック項目
(1) 試験の目的の確認	環境影響／掘削時湧水
(2) 試験対象地層の特定	試験深度の決定
(3) 試験対象土質	概略透水係数
(4) 試験方法の選定	ピエゾメーター法／ チューブ法／パッカー法／ オーガー法
(5) 試験の実施方法	回復法／注水法
(6) 回復法の場合の汲み上げ方法	水中ポンプ／地上ポンプ
(7) 地下水位の測定方法	水圧計／触針式
(8) 通水区間長L	礫→短／細砂→長
(9) 通水区間の設置方法	ストレーナー管の使用 ：有／無
(10) 上位層との遮水方法	1重ケーシング／2重 ケーシング／パッカー／ シール

試験方法の選定に当たっては、調査の目的を良く理解するとともに試験対象層の土質、試験深度、自然水位、地下水の量、等の条件を考慮する必要がある。おもな単孔式現場透水試験方法には、

- ① ピエゾメータ法（ケーシング法）
- ② チューブ法（孔底法）
- ③ パッカー法（定常注水法）
- ④ オーガー法

等があるが、これらの試験方法の中から最適の試験方法を選択するための目安を表5.4に示した。以下にその要点を述べるが、やむを得ず試験条件を満足できない場合には、試験記録にその旨を注意書きしておく等の配慮が必要である。

表5.4 試験方法選定の目安

試験方法の種類 試験条件		ピエゾメータ法		チューブ法		パッカー法	オーガー法	
		回	注	回	注	注	回	注
土・透水性	礫・大	△	×	○	△	○	×	×
	砂・中	○	△	△	△	○	△	△
	粘土・小	△	△	×	×	○	×	×
孔自立性	する	○	○	△	△	○	○	○
	しない	○	○	×	×	△	×	×
地下水量	少ない	○	○	△	△	○	△	△
	多い	○	○	○	○	○	×	×
試験深度	浅い	○	○	○	○	○	△	△
	深い	○	○	○	○	○	×	×
自然水位	浅い	○	○	○	○	○	△	△
	深い	△	△	△	△	○	×	×
異方性	水平	○	○	※ △	※ △	○	○	○
	鉛直	×	×			×	×	×

[注] ※ チューブ法の k は、水平と鉛直の相乗平均²⁾

凡例：回=回復法、注=注水法、

○=適、△=注意要す、×=不適

1) 調査の目的

調査の目的が、利水のためか治水のためか、あるいは建設時の排水計画のためか、環境への影響評価のためかで、透水係数 k の評価基準（安全側の判断）が逆になることがあることに注意する必要がある。

2) 試験対象層の土質

代表的な現場透水試験の方法に『ピエゾメータ法』がある。この透水試験方法は、おもに砂層 ($k \cong 10^{-4} \sim 10^{-3} \text{cm/s}$) が対象であり、対象土質が粘土層 ($k \cong 10^{-7} \sim 10^{-5} \text{cm/s}$) の場合は、室内透水試験等別の手段に委ねなければならない。また、対象土質が透水性の良い礫層 ($k \cong 10^{-2} \sim 10^0 \text{cm/s}$) や地下水の量が豊富な場合には、通水区間を短くするとか、孔内を加圧して地下水面を低下^{3) 4)}させたり、電氣的に水位を計測する等の工夫をして対処する。

3) 試験対象層の帯水条件

試験対象地盤が不飽和の場合には、地盤を飽和させて試験を実施するか、飽和度を併せて計測^{5) 6)}するか等の配慮が必要となる。また、透水係数の算定式も通常の飽和を対象としたものは使えない。

4) 試験深度と地下水位

試験位置が浅い場合と深い場合（自然水位が浅い場合と深い場合）では、試験方法が異なる。特に地下水位が深い場合には、地下水面の低下（孔内水の汲み上げ）に苦勞するので、孔内を加圧して孔内地下水面を低下^{3) 4)}させる等の工夫が必要となる。

5) 異方性

必要とする透水係数が水平方向なのか鉛直方向なのか、確認してから現場透水試験方法を選定する。ピエゾメータ法で代表される一般の透水試験方法では、おもに水平透水係数を測っているので、鉛直方向の透水係数が必要な場合には別途工夫が必要となる²⁾。

(2) 作業準備：必要資機材の確認

5.2節、および表5.5の準備チェックリストを参考に、

必要な資機材を準備する。

(3) 試験孔掘削：試験深度直前まで掘削

孔壁を崩壊させないように注意して試験孔を掘削する。

(4) ケーシング埋設：孔壁保護と漏水防止

不圧帯水層の場合には試験深度の直上まで、被圧帯水層の場合には試験深度の上位の難透水層までケーシングを打ち込む。この場合、ケーシング周囲から漏水しないよう十分に注意する。

(5) 通水区間の処理

透水係数が大きくかつ地下水の量が豊富な帯水層では、下げた孔内水位が直ぐに回復してしまうため、回復水位変化の計測が困難となる。この場合、通水区間 L を $L > 8 R_w$ (R_w はケーシング内径)の範囲内でできる限り短くする。逆に、細砂等、透水係数が比較的小さく、地下水の量も少ない場合は、通水区間 L をできるだけ長くする。試験精度の向上を図るためには、通水区間にストレーナー管を用いて2重構造とすることが好ましい(5.2節参照)。

(6) 孔内洗浄：透水性確保、通水性確認

現場透水試験の精度を左右するポイントとして、掘削に伴う孔壁の汚れの除去がある。たとえ洗浄の不完全な試験孔であっても現場透水試験を実施すれば、地下水の変化を測定できるし、これから見掛け上透水係数を算出することもできる。しかし、このような形で得た透水係数が地盤の透水性を反映している保証はない。いくら試験装置が良くても、また解析技術が優れていても、良好な試験孔が形成されていなければ何を測っているか分からない。また、あまり強力で洗浄を行うと、孔底でポイ

リングを起こし、地盤を乱してしまうため、慎重に洗浄を行う必要がある。対策としては、以下の方法が考えられる。

- ① 掘削泥水として、粘性が短時間に消失する有機性安定剤を使う。
- ② ベントナイトで掘削した場合には、ウェルクリーナー等で洗浄する。
- ③ 通水区間にストレーナー管を使用する。

(7) 試験の実施


現場透水試験は、孔内水の汲み上げまたは注水によって孔内水位を変動させるインパクトを与え、その後の水位変化を経時的に測定するが、余り大きなインパクトを与えて周辺水位を下げないことが重要である⁷⁾。孔内の水位変動幅は1 m以内程度とする。測定時間間隔は表5.5を参考にすると良い。礫層のように透水性の良いものは短いピッチで測定することがポイントである。また、測定開始ゼロ秒の水位をぜひ測定しておきたい。


表5.5 測定時間間隔例

経過時間	通常の砂地盤	透水性の良い礫まじり砂地盤
0～1分	0、30、60秒	0、10、20、30、45、60秒
1～10分	1～2分間隔	15秒～30秒～1分間隔
10～30分	2～5分間隔	2～10分間隔
30～60分	10～30分間隔	15～30分間隔
1～2時間	60分間隔	—————

孔内水の汲み上げ方法と水位の測定方法については、5.2節に詳述した。ピエゾメータ法等の非定常試験の場合、試験の結果は所定の記録用紙(図5.7(a))に、経過時間 t と回復水位 s を対で上記時間間隔のもとに時々刻

々記録するとともに、以下の事項についても記録する。

- ① 試験実施日時
- ② 試験位置（試験孔No、試験深度）
- ③ 試験対象層の土質とN値
- ④ 試験方法（ピエゾメータ法等）
- ⑤ 試験条件（回復法／注水法）
- ⑥ 自然水位（測定時刻と測定方法）
- ⑦ 試験条件概念図（)

なお、試験深度が深く自然水位も深くなり、試験対象の土質の種類が多様になると、孔内水を排出し水位低下を図るのが極めて難かしく、通常のパiezometer法では対応が苦しくなる。このような場合の対策として、 5.5に示すように、試験孔内を閉じた系（密閉状態）とし、空気圧で孔内水位をいったん下げ、一気に開放して回復水位を図る方法が提案されている。この方法では、透水性が大きく、地下水の量が多く、水位回復が早くても、確実に記録でき、ケーシング周辺の自由水面を変動させずに孔内水の低下を容易に行うことができる。

(8) 自然水位の確認

現行のおもな透水係数算定法では、自然水位（平衡水位）が必要である。通常は、試験実施後、そのまま放置し、翌日の回復水位をもって自然水位としていることが多い。しかし、厳密には、地下水位には日変動があり、試験実施時の水位と翌日水位が一致している保証はない。したがって、試験孔を掘削し孔内洗浄を行い、先に自然水位を把握してから、透水試験を実施することが好ましい。また、試験孔内を気密にして間隙水圧計を用いれば透水試験と同時に自然水位を把握することができる^{3) 4)}。

(9) 次のボーリング作業へ移行

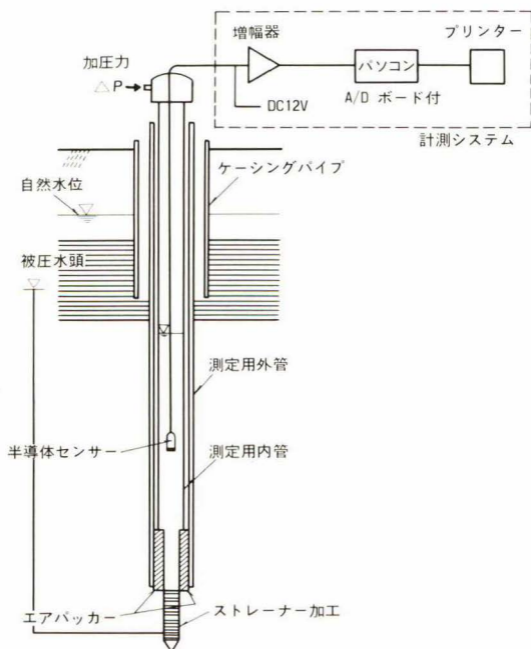
透水試験の所定の作業が終了したら、次のボーリング作業に移行する。

(10) 試験結果の整理・解析

5.5節を参照

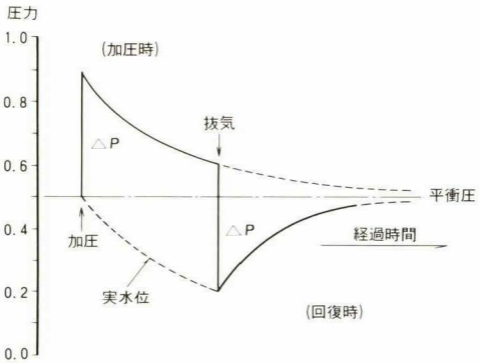
(11) 試験結果の評価

5.6節を参照

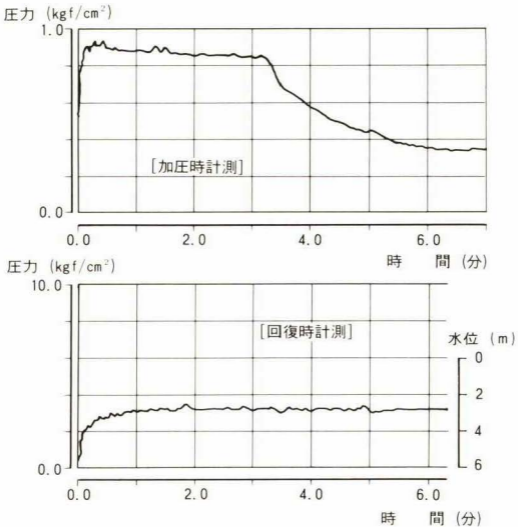


(a) 加圧式試験装置

図5.5 孔内加圧式現場透水試験法実施例¹⁾ (その1)



(b) 水圧センサーの圧力変化概念図



(c) 加圧式透水試験結果の記録例

図5.5 孔内加圧式現場透水試験法実施例⁴⁾ (その2)

5 4 トラブルとその対策

現場透水試験におけるトラブルは、試験孔設置中のトラブルと試験実施中のトラブルに大別できる。

5.4.1 試験孔設置中のトラブル

ボーリング孔内を利用する原位置試験すべてに共通することであるが、試験の成否は良質の試験孔ができるか否かにかかっている。現場透水試験における良質の試験孔の要件は、孔壁の泥水膜を良く洗浄し通水性を確保することと、通水区間の孔壁を乱さないことに代表される。現場透水試験のトラブルは、孔内洗浄不良に基づく通水性不良と孔底のボイリングに起因するものが多い。

ボーリング掘削に使用する泥水によって、通水区間Lの通水性が損なわれる場合がある。慎重に孔内洗浄を行う必要があるが、エアリフトや急激な汲み上げで洗浄しようとする、かえって孔底でボイリングを起こし孔壁を崩してしまう恐れがある。ボイリングを起こさないように洗浄するには、先端通水区間の孔壁をストレーナー管で保護し、孔内水と自然水位に余り水位差をつけずに循環水で洗うことが基本である。また、これで洗浄し切れない場合には、高重合リン酸塩等の薬品（例：ウェルクリーナー等）を用いて化学的に泥壁を分解させ、循環水と併用すると洗浄効果を高めることができる。掘削段階であれば、掘削泥水としてベントナイトではなく生粘土^{なま}を利用したり、有機性安定剤（例：レスター等）を利用すると、洗浄が楽である。

5.4.2 試験実施中のトラブル

現場透水試験中の主なトラブルとその対策を述べる。

(1) 上位層との遮水が不完全で上水が漏水する場合

ケーシングを打設し直す場合と、2重ケーシング法やパッカー法がある。パッカーといっても、ゴムパッカーに限らず、昆布や膨張性の高分子シールも効果がある。孔底の先端通水区間を先掘りせず先端を円錐加工したストレーナー管を打ち込む方法もあるが、良く締まった砂層や礫層に十分な長さを打ち込むのはなかなか難しい。

(2) 目詰まりの問題

洗浄の課題であり、前項を参照のこと。注水法で目詰まりによって小さめの透水係数が求められることがある。どうしても注水法でやらざるを得ない場合には、浮遊物のない綺麗な水を注ぐ必要がある。

(3) 自然水位が摺めない場合

各種原因で自然水位が把握できないことがある。現行の透水係数算定式はほとんど自然水位を必要としているので、地下水位面より下位で試験していながら孔内回復水位から自然水位を特定し難い場合には、試験孔内を気密な構造とし間隙水圧計で測る方法^{3) 4)}もある。地下水位面より上位の試験の場合には、不飽和地盤の透水試験^{5) 6)}となり、厳密な評価が必要な場合には飽和度の確認が必要となる。

(4) 試験深度が深く、かつ自然水位も深い場合

自然水位が6 mよりも深いと、通常の上設置型のポンプでは孔内水の汲み上げができなくなる。小型の水中ポンプを使ったり、孔内を気密にして、空気圧で強制的

に孔内水位を下げる方法等の工夫が必要となる。

(5) 水位回復が速過ぎる場合

礫層等の透水性の良い地層では水位回復が速く、目視では計測しきれない場合がある。このような場合には電気的な水位計で自動計測することが必要である。

5 5 結果の整理

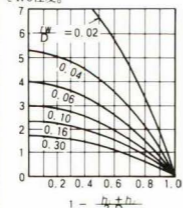
5.5.1 試験結果の整理方法

現場での測定が終わったら、現場測定記録をもとに試験結果を整理する。まず記録用紙上で、経過時間 t 毎の変動水位を、自然水位との水位差 h (cm) に換算する。この値を片対数用紙に、縦軸に対数目盛りで水位差 h (cm) を、横軸に線形目盛りで経過時間 t (秒) をプロットし、 $t \sim \text{Log } h$ 曲線を求める。この曲線の初期の立ち上がりの直線部分の勾配を、試験方法にかなった下記の式に代入し透水係数 k を求める。具体的な透水係数 k の算定方法には、直線勾配上の任意の2点 $t_1 \cdot t_2$ に対応する $h_1 \cdot h_2$ をグラフより読み取る方法と、直線勾配の延長線上の1対数サイクル [$\log(h_1/h_2) = 1$] に対応する時間差 Δt を求める方法とがある。何れにも対応できるように、(5.1)(5.2)式は常用対数(\log_{10})で整理している。参考までに、常用対数と自然対数との関係は、 $\log_e X = 2.3 \cdot \log_{10} X$ であるので、用いる式が自然対数か常用対数かで2.3という係数が付くので注意が必要である。また慣用的に常用対数 \log_{10} は“log”と自然対数 \log_e は“ln”と表示するのが一般的である。

本マニュアルでは、ピエゾメータ法を中心に話を進めているが、参考までに表5.6には、チューブ法、パッカー法、オーガー法の算定式も列記した。ただし、ここで R_w は h_1 区間の内径であり、 r_w は先端の通水L区間の外径である。また、オーガー法の(5.4)式中の π^2 が抜けている式が掲載されている参考書があるので注意が必要である。なお、透水係数の算定に当たって用いる式は、回復法も注水法も同じである。

表5.6 単孔式現場透水試験の算定式一覽⁸⁾
(一部修正加筆)

試験名称	透水係数算定式	式No	試験条件概念図	特徴
ピエゾメータ法	$k = \frac{(2.3)^2 R_w^2}{2 L (t_2 - t_1)} \log\left(\frac{L}{r_w}\right) \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$ <p>ただし、$L > 8 r_w$</p>	5.1		標準的な試験方法、おもに水平透水係数を計測、ケーシング法
チューブ法	$k = \frac{2 \times 2.3 \pi R_w}{11 (t_2 - t_1)} \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$	5.2		透水係数の大きい場合に適用、孔底法
バックカー法	$k = \frac{2.3 Q}{2 \pi h_p L} \log\left(\frac{L}{r_w}\right)$ <p>ただし、$L > 8 r_w$</p>	5.3		岩盤のルジオンテストと同じ原理、定常注水法、必ずしもバックカーを用いなくてもよい
オーガー法	$k = \frac{\pi^2 r_w}{16 D C_a} \left(\frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} \right)$ <p>ただし、$D < 50 r_w$、C_aは下図より求めるが、一般には1~3の範囲で1.5程度。</p>	5.4		試験深度が浅く、かつ地下水位が高く、裸孔で自立できる地盤に適用



5.5.2 試験結果の整理例

図5.6に示したモデル地盤でピエゾメータ法（回復法）による現場透水試験を実施した場合の測定記録例（図5.7(a)）と $t \sim \text{Log } h$ 曲線プロット例（図5.7(c)）ならびに透水係数の算定例を示す。

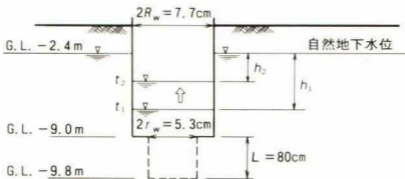


図5.6 現場透水試験実施状況

現場透水試験結果の整理図は、図5.7のように測定記録、試験実施状況図、ならびに $t \sim \text{Log } h$ 図を1枚の用紙にまとめて表示できるものが良い。

図5.7(c)より初期の立ち上がりの直線部分の任意の2点 $t_1 \cdot t_2$ を求めると、 $t_1 = 30$ 秒、 $t_2 = 180$ 秒、その時の水位差は、 $h_1 = 90$ cm、 $h_2 = 30$ cmとなる。この値を(5.1)式に代入する。なお、測定記録用紙（図5.7(a)）および試験実施状況図（図5.7(c)）より、 $R_w = 3.85$ cm、 $r_w = 2.65$ cm、 $L = 80$ cmである。

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{(2.3)^2 R_w^2}{2 L (t_2 - t_1)} \log\left(\frac{L}{r_w}\right) \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \\
 &= \frac{2.32 \times 3.852}{2 \times 80 \times (180 - 30)} \log\left(\frac{80}{2.65}\right) \log\left(\frac{90}{30}\right) \\
 &= 2.3 \times 10^{-3} \text{ (cm/s)}
 \end{aligned}$$

以上より、透水係数 k は 2.3×10^{-3} (cm/s) となる。

表-(a) 現場透水試験測定記録

調査件名	○ ○ ○ ○ ○ 地質調査					
調査孔No	Bor. No 1	地盤高	EL. + 10.0 m			
測定日時	H4. 11. 25, 13:00	測定者氏名	全地連 太郎			
試験深度	G. L. -9.0~-9.8m	N値	5回			
土質	細粒分まじり砂	20%粒径D径D20(mm)	0.16 mm			
ケーシング内径 R_w	3.85 cm	ケーシング立ち上り高	G. L. +30 cm			
通水区間外径 r_w	2.65 cm	通水区間設備	ストレーナー管			
通水区間長 L	80 cm	帯水層条件	不圧/被圧			
試験方法	ピエゾメータ法	試験条件	回復/注水			
自然水位	試験直前水位 h_0	G. L. -2.40 m	測定日時	11/25, 12:00		
	翌日水位 h_0'	G. L. -2.20 m	測定日時	11/26, 8:00		
測定時刻 時 分 秒 (hr)(mm)(s)	経過時間 t 時間 分 秒 (s)			測定水位 s (cm)	水位差 h s - h_0 (cm)	備考
13:00:00	0 = 0			352 5	112 5	
13:00:30	30 = 30			330 0	90 0	t_1
13:01:00	1 00 = 60			314 0	74 0	
13:01:30	1 30 = 90			300 0	60 0	
13:02:00	2 00 = 120			287 5	47 5	
13:03:00	3 00 = 180			270 0	30 0	t_2
13:04:00	4 00 = 240			261 5	21 5	
13:06:00	6 00 = 360			256 0	16 0	
13:08:00	8 00 = 480			254 0	14 0	
13:10:00	10 00 = 600			253 0	13 0	
13:15:00	15 00 = 900			252 0	12 0	
13:30:00	30 00 = 1,800			251 0	11 0	
14:00:00	1 00 00 = 3,600			250 0	10 0	
15:00:00	2 00 00 = 7,200			248 0	8 0	
備考欄:						

図5.7 単孔式現場透水試験結果整理図例 (ピエゾメータ法) (その1)

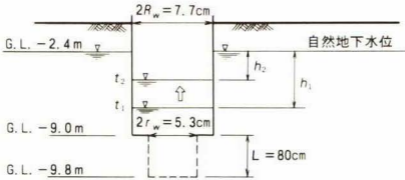
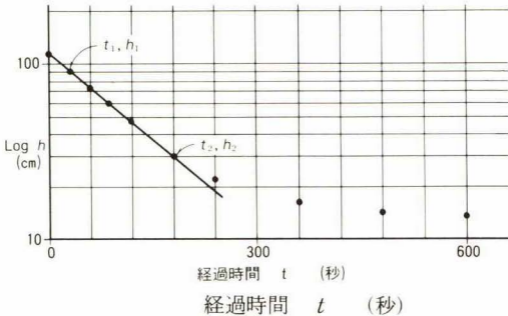


図-(b) 現場透水試験実施状況図

図-(c) 現場透水試験結果 ($t \sim \text{Log } h$ 曲線)

【透水係数の算定】

表-(a)、図-(b)より、 $R_w = 3.85\text{cm}$ 、 $r_w = 2.65\text{cm}$ 、 $L = 80\text{cm}$

図-(c)より、 $t_1 = 30\text{秒} \Rightarrow h_1 = 90\text{cm}$ 、 $t_2 = 180\text{秒} \Rightarrow h_2 = 30\text{cm}$

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{(2.3)^2 R_w^2}{2 L (t_2 - t_1)} \log\left(\frac{L}{r_w}\right) \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \\
 &= \frac{2.32 \times 3.852}{2 \times 80 \times (180 - 30)} \log\left(\frac{80}{2.65}\right) \log\left(\frac{90}{30}\right) \\
 &= 2.3 \times 10^{-3} \text{ (cm/s)}
 \end{aligned}$$

図5.7 単孔式現場透水試験結果整理図例 (ピエゾメータ法) (その2)

5 6 結果の評価

5.6.1 現場透水試験の精度に対する考え方

現場透水試験は適用条件を満足して慎重に実施しさえすれば、倍半分以内程度の精度で透水係数を求めることができる。ところが、現場透水試験で得る透水係数は、一般にオーダー（10の何乗）程度の精度しかないという認識の人がいる。これは現場透水試験で得た透水係数と本工事掘削時の排出水流量から逆算した透水係数が1オーダー（10倍）から2オーダー（100倍）大きい事例が多々報告されているということ根拠にしている。しかし、このことから現場透水試験の精度が悪いということにはならない。透水性においても、地盤は一様ではないから対象区域を反映した透水係数と局部的な要素の透水係数では必ずしも一致しないし、地下水の流れには“みずみち”の問題もある。また、透水性には異方性があり、またそれぞれの算出条件が異なっており、現場透水試験で求める透水係数と本工事掘削時の排出水流量から逆算で求めている透水係数とは違ったものを表している可能性もあり、単純には比較できない。

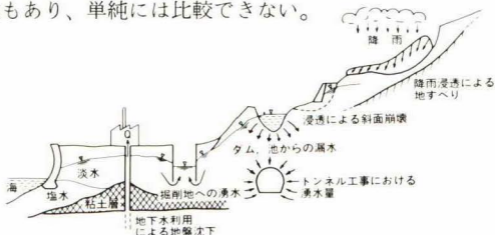


図5.8 浸透に関する諸問題⁹⁾ (西垣 誠、1990)

また、現場透水試験の結果を評価するにあたって、試験結果の利用目的と地下水の特徴を理解しておくとともに、次のような視点も考慮しておく必要がある。地盤の浸透問題は、**図5.8**に例示するように、斜面安定、ダム等からの漏水、掘削時の湧出水、地盤沈下、等々種々あり、また、問題によっては透水性の良さの確認が目的の場合と、逆に遮水性の確認が目的の場合もある。

また、建設工事の安全が目的の透水試験では、従来安全側設計思想で多少大きめの透水係数が求められても良しとしてきたが、近年、地下水に関する環境問題が重視されるようになり、工事に対する安全側設計思想で大きめの透水係数を求めておくと、環境への影響を過大評価することになり、大きな問題となることがある。治水と利水の問題でも同様で、治水に対して安全側に設計すると利水計画が立てられなくなることもある。

地質調査では、その目的に係わらず対象とする地盤を工学的に評価するために、地質構造・地盤物性・地下水からなる地盤情報を的確に把握する必要があるが、とりわけ透水係数 k は従来にも増して精度が要求されるようになってきたことを改めて認識しておく必要がある。

5.6.2 試験結果のチェックポイント

単孔式現場透水試験の結果から求めた透水係数 k の値の妥当性を評価するには、まず試験条件を確認しておく必要がある。試験条件をチェックするのは、採用した試験方法・算定式の適用範囲内で試験が実施されているかどうかを確認することと、異常値が求められた時の原因究明の基礎資料とするためである。**表5.7**に試験条件の

チェック項目と表5.8に試験結果の評価のチェックポイントを示す。

表5.7 現場透水試験の試験条件チェック項目

試験条件		例 示
試験方法	試験の種類	(a)ピエゾメーター法／(b)チューブ法／(c)バッカー法／(d)オーガー法／(e)他
	水位変動方法	(a)回復法 / (b)注水法
試験装置	試験孔の設置状況	図示の (a)有 / (b)無
	通水区間の設置方法 上位層との遮水方法 汲み上げ方法 水位変動の測定方法	ストレーナー管使用の (a)有 / (b)無 (a)ケーシング打ち込み／(b)バッカー (a)水中ポンプ／(b)加圧／(c)ベアラ (a)間隙水圧計／(b)触針式水位計
帯水層	帯水層条件 自然地下水水位測定 自然水位の検証情報	①不圧 / ②被圧 (a)試験前水位 / (b)翌朝水位 なし
記録	水位変動幅 回復開始水位	1 m程度 (a)OK / (b)NO 測定記録 (a)有 / (b)無

※ (a)の条件が好ましい

表5.8 現場透水試験結果の評価表

影響因子	評価基準
土質：粒径 D_{20} 、 D_{10} 粒度配合 粒子形状 密度（ N 値） 異方性	次項(5.6.2) 参照 均等 $\Rightarrow k$ 大、配合良 $\Rightarrow k$ 小 丸味 $\Rightarrow k$ 大、角張る $\Rightarrow k$ 小 密度低 $\Rightarrow k$ 大、密度高 $\Rightarrow k$ 小 水平 $\Rightarrow k$ 大、鉛直 $\Rightarrow k$ 小

表5.9 $t \sim \log h$ 関係図で直線部分が得られない原因⁷⁾

(a) 自然水位の設定誤差
(b) 孔内水位の低下のための揚水が長過ぎて周囲の自然水位を低下させてしまった
(c) 試験中にボイリングを起こしている
(d) 井戸ロス（ストレーナーの開孔率不足）の影響
(e) 回復試験中に自然水位が変動している
(f) 地盤の比貯留係数（ S_s ）の影響

これらのチェック項目の情報と周辺既存情報を含め、総合的に判断し、試験で求めた $t \sim \log h$ 関係が実際の地下水挙動を反映しているか、また、そこから求めた透水係数が妥当な値かどうかを総合評価する。 $t \sim \log h$ 関係図で直線部分が得られない原因としては表5.9の要因が挙げられる。

5.6.3 透水係数への影響因子

透水係数に影響するおもな因子には、前述の飽和度、異方性の他に、構成土粒子の形状ならびに粒径と配合、そして間隙比（密度）がある。一般に粒形が丸味を帯びているほど透水性は良く、粒形が角張っているほど透水性は悪くなるとともに、構成土粒子のなかの細粒側の粒子径が透水係数の支配因子となっている。また、表5.10は土質（粒径）と対応させた概略の透水係数であるが、これより粒径に対応した透水係数は粘土が $10^{-7} \sim 10^{-5}$ 、砂が $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 、礫が $10^{-2} \sim 10^0$ 程度であることが分かる。ただし、これは粒径の揃った均等粒度の土を前提にしたもので、たとえば礫層であってもマトリクスが粘土分優勢であれば、透水係数が $10^{-4} \sim 10^{-5}$ といった透水性の悪い地盤になり得ることに注意する必要がある。なお、表5.10には、参考までに透水係数の値に対応する試験方法も示した。

また、図5.9には、土の種類毎の間隙比と透水係数の関係を示す。これより、透水係数が低く同じ粒度配合の土でも間隙比（密度）が異なれば、透水係数が優に10倍から100倍（ $10^{-1} \sim 10^{-2}$ ）も変化することが分かる。

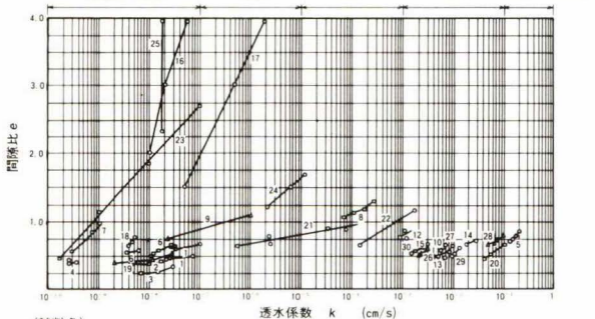
表5.10 透水係数の概略値と主な透水試験方法¹⁾

(一部修正加筆)

透水係数 k (cm/s)

	10^{-9}	10^{-7}	10^{-5}	10^{-3}	10^{-1}	10^{-1}
透水性の評価	不透水	非常に低い	低い	中位	高い	
粒径 D (mm)			0.075	0.425	2.0	
概略土質区分	粘土	シルト～砂質土		砂～礫	清浄な礫	
室内試験法	特殊な 変水位 試験	変水位試験			定水位試験	特殊な 変水位 試験
現場試験法	なし	特殊な 単孔式	単孔式 透水試験	多孔式揚水試験		
間接推定法	圧密試験		なし	粒度と間隙比 (均等粒度の場合)		

実務上不透水 極低 低い 中位 高い (透水性)



<試料名>

1 Compacted caliche	10 Ottawa sand	19 Lean clay
2 Compacted caliche	11 Sand - Gaspee Point	20 Sand - Union Falls
3 Silty sand	12 Sand - Franklin Falls	21 Silt - North Carolina
4 Sandy clay	13 Sand - Scituate	22 Sand from dike
5 Beach sand	14 Sand - Plum Island	23 Sodium - Boston blue clay
6 Compacted Boston blue clay	15 Sand - Fort Peck	24 Calcium kaolinite
7 Vicksburg buckshot clay	16 Silt - Boston	25 Sodium montmorillonite
8 Sandy clay	17 Silt - Boston	26-30 Sand (dam filter)
9 Silt - Boston	18 Loess	

図5.9 土質別の透水係数と間隙比との関係¹⁰⁾

(ラム&ホワイトマン、1696)

5.6.4 透水係数と粒度との関係

透水係数への影響因子に、飽和度、異方性、粒子形状、

粒径と配合、密度（間隙比）等があることは先に述べた。試験が飽和状態でかつ水平方向の透水係数を求めるという条件で実施されていれば、一般には粒径が最も大きな影響因子と見ることができる。ここでは、粒径 D と透水係数 k の関係として最も一般的に用いられているクレーガーの方法とハーゼンの式を紹介する。これによって、現場透水試験で求めた透水係数の妥当性を吟味することができる。

(a) クレーガーの方法

クレーガーの提案した20%粒径 D_{20} と透水係数 k との関係を表5.11に示す。

D_{20} (mm)	k (cm/s)	土質分類
0.005	3.00×10^{-6}	粗粒粘土
0.01	1.05×10^{-5}	細粒シルト
0.02	4.00×10^{-5}	粗粒シルト
0.03	8.50×10^{-5}	
0.04	1.75×10^{-4}	
0.05	2.80×10^{-4}	
0.06	4.60×10^{-4}	極微粒砂
0.07	6.50×10^{-4}	
0.08	9.00×10^{-4}	
0.09	1.40×10^{-3}	
0.10	1.75×10^{-3}	
0.12	2.60×10^{-3}	細粒砂
0.14	3.80×10^{-3}	
0.16	5.10×10^{-3}	
0.18	6.85×10^{-3}	
0.20	8.90×10^{-3}	
0.25	1.40×10^{-2}	
0.30	2.20×10^{-2}	中粒砂
0.35	3.20×10^{-2}	
0.40	4.50×10^{-2}	
0.45	5.80×10^{-2}	
0.50	7.50×10^{-2}	
0.60	1.10×10^{-1}	粗粒砂
0.70	1.60×10^{-1}	
0.80	2.15×10^{-1}	
0.90	2.80×10^{-1}	
1.00	3.60×10^{-1}	
2.00	1.80×10^0	細礫

↑比較的精度が悪い↓

表5.11 クレーガーによる D_{20} と透水係数 k の関係⁸⁾ (一部加筆)

* これらの値は現場の密度で変わることにご注意

この表で求めた透水係数は密度（間隙比）と粒子形状、粒度配合等を考慮していないので、良く締まった地盤、角張った粒子の地盤、粒度配合の良い（均等係数の大きな）地盤等では、いずれもこの表の透水係数よりも小さい値となる傾向がある。また、 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ 台の透水係数の精度が落ちることにも注意する必要がある。

(b) ハーゼンの式

$$k = C_s (0.7 + 0.03 t) D_{10}^2 \quad (5.5)$$

ここで、 k : 透水係数 (cm/s)

D_{10} : 10% 粒径 (cm)

t : 温度 ($^{\circ}\text{C}$)

C_s : 砂の状態を表す係数 [表5.12]

表5.12 ハーゼンの式における係数 C_s の値⁸⁾

C_s	砂の状態
150	均等な粒子の場合（極大値）
116	細砂の緩く締まった状態
70	細砂のよく締まった状態
60	大小粒子混合の場合（極小値）
46	非常に汚れている時

(5.5) 式で、 $t = 20^{\circ}\text{C}$ と仮定すると

$$k = (80 \sim 200) \times D_{10}^2 \quad (5.6)$$

ここで、表5.12より係数 C が小さい（80に近い）のは、土粒子が不揃いの場合で、係数が大きい（200に近い）のは、土粒子が均等に揃っている場合である。したがって、透水係数の概数（オーダー）程度であれば、

$$k = 100 \times D_{10}^2 \quad (5.7)$$

で求めることができる。ただしこの式には密度の項が含まれておらず、良く締まった地盤では大き目の値となる。

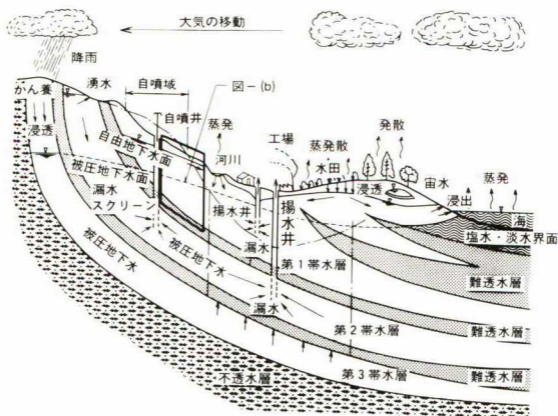
参考文献

- 1) 土質工学会編：土質試験の方法と解説、pp. 271～288、pp. 582～587、1990.
- 2) 西垣 誠・河野伊一郎：水平および鉛直方向の透水試験の計測方法—単孔式原位置透水試験による—、土と基礎、Vol. 32、No. 11 (322)、pp. 59～63、1984.
- 3) 西垣 誠：孔内加圧方式による単孔式原位置透水試験法、地質と調査、1984年第1号、pp. 74～79、1984.
- 4) 中村裕昭・後藤晃治・篠原敏雄・西垣 誠：礫地盤を対象とした単孔式原位置透水試験の試み、第24回土質工学研究発表会講演集、pp. 1659～1660、1989.
- 5) 西垣 誠・河野伊一郎：原位置での不飽和浸透特性の一測定法、地質と調査、1981年第3号、pp. 66～72、1981.
- 6) 西垣 誠・他：原位置における不飽和領域の透水試験法に関する考察、土木学会第45回年次学術講演会講演概要集、第Ⅲ部門、pp. 838～839、1990.
- 7) 西垣 誠：単孔式原位置透水試験法の整理(その1)・他4編、地下水と井戸とポンプ、Vol. 28、No. 2(pp. 11～23、1986.)、Vol. 28、No. 3(pp. 15～24、1986.)、Vol. 28、No. 5(pp. 1～13、1986.)、Vol. 28、No. 7(pp. 1～7、1986.)、Vol. 28、No. 9(pp. 1～10、1986.)
- 8) 河野伊一郎：地下水工学、鹿島出版会、1989.
- 9) 西垣 誠：第2章土中水と浸透、土の力学、技報堂出版、pp. 21～44、1990.
- 10) T. William Lambe and Robert V. Whitman : Soil Mechanics, John Wiley & Sons, Inc., p. 286, 1969.

【参考知識】 地下水と透水係数に関する基礎知識

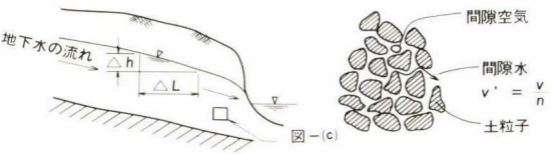
(1) 水文循環と広域地下水

『地下水』とは文字通り地面の下に存在する水のことで、広域な地盤あるいは大気中の涵養・流動・流出・蒸発・降水という一連の『水文循環』（図-1(a)）のシステムの一部として存在していることに大きな特徴がある。一方、局所的に見れば『地下水』は地盤を構成する土の間隙中（図-1(c)）に連続して存在し、地下水位の高い方から低い方へと非常に小さい速度で移動している（図-1(b)）。



(a) 水文循環と地下水の流れ概念図¹⁾ (藤縄克之、1990)

図-1 地下水の流れ概念図 (その1)



(b) 地層と地下水の
流れ概念図

(c) 土の間隙と地下水
の流れ概念図

図-1 地下水の流れ概念図 (その2)

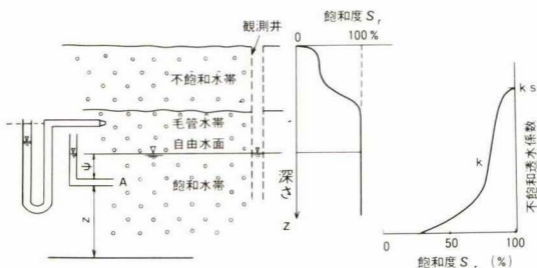
したがって、地下水調査にあたっては『広域地下水』という巨視的（広域的）にもものを見る視点と、微視的（局所的）に地下水の流れを見る視点との両面が欠かせない。

(2) 帯水層の種類と状態

地下水が流れる地層を『帯水層』と呼び、図-1(a)に示すように、その帯水層中に地下水面を有する『不圧帯水層（自由地下水）』とその帯水層が地下水で満たされ地下水位面を持たない『被圧帯水層（被圧地下水）』に大別される。自由地下水は重力にしたがって流れ、被圧地下水は圧力伝播にしたがって広い範囲にかつ音速に近いような大きな速度で影響が伝播することに特徴がある。なお、帯水層に挟まれた粘土層のように透水性が相対的に低い地層を『難透水層（加圧層）』あるいは『遮水層』と呼ぶ。

不圧帯水層は図-2(a)に示したように土粒子間隙部分の水の満たされ方の程度によって『飽和水帯』『毛管水帯』『不飽和水帯』に分けられる。図中、自由水面とは静水圧がゼロの面であり、毛管水帯は、毛管力で自由水面下

の水が吸い上げられ飽和しているが負の水圧が働いている部分である。なお、不飽和地盤でもダルシーの法則が適用されると仮定すると、**図-2(b)**に示したように飽和度 S_r によって透水係数 k が大きく変化する。



(a) 地下水の有り方

(b) 飽和度と透水係数の関係

図-2 飽和度と地下水²⁾ (西垣 誠、1990)

通常現場透水試験は『飽和地盤 (地下水位面より下方)』を対象としており、やむを得ず『不飽和地盤』を対象とする場合には飽和度 S_r をチェック^{3) 4)}する等、特別な配慮が必要となる。

(3) 透水係数とは

土砂地盤における『地下水』は、地下水位の高い方から低い方へ非常に小さい速度で移動するが、**図-1(b)**の記号で地下水面の傾き $\Delta h / \Delta L$ を動水勾配 i とすると、地下水が地盤中を流れる速さ (平均流速 v) は、動水勾配 i に比例する。この時の比例定数が透水係数 k (cm/s) である。この関係を表す次式は発見者の名前をとって『ダルシーの法則』と呼ばれている。

$$v = k \frac{\Delta h}{\Delta L} = k \cdot i \quad \text{式(1)}$$

上式では便宜上、地下水の流れる帯水層断面 A を間隙部分と土粒子部分とを合わせて考えており、平均流速 v は、実際の水の流速とは異なる『見掛けの流速』として求められている。実際に水が流れているのは本来間隙部分のみであり、間隙部分の断面積を A' 、間隙率を n ($= A'/A$) とすると、真の流速 v' は次式で表される。

$$v' = v \frac{A}{A'} = v/n \quad \text{式(2)}$$

沖積平野の砂地盤を例に、実際に地下水がどの位の速度で流れているのかを考えてみる。透水係数 k が 1×10^{-3} (cm/s)、動水勾配 i が3%、間隙率 n を0.3程度と仮定すると、(1)式より見かけの流速 v は2.6cm/d、(2)式より真の流速 v' は8.7cm/dとなる。したがって、100m離れた地点間を流れるのに3年以上も要することになる。当然、透水係数 k が1オーダー(10倍)上がり 1×10^{-2} (cm/s)の時の真の流速 v' は、87cm/dとなり、100m離れた地点間の移動は4ヶ月弱となる。

(4) 透水の異方性

地盤の浸透特性は、地盤の異方性(堆積構造)に大きく影響を受けることから、透水性にも異方性が表れる。一般に水平堆積地盤では、水平方向の透水係数 k_h は、透水性の良い地層の透水係数に近い値となり、逆に鉛直方向の透水係数 k_v は、透水性の悪い地層の透水係数に近い値となり、水平方向の透水係数 k_h と鉛直方向の透水係数 k_v には、 $k_h > k_v$ の関係がある。

また、透水試験方法と求める透水の異方性については、

例えばピエゾメータ法はおもに水平方向の透水係数 k_h に近い値を測定し、チューブ法は水平方向の透水係数 k_h と鉛直方向の透水係数 k_v との相乗平均に近い値 (k_h/k_v の値が小さい場合) を測定している⁵⁾ ことに注意を要する。したがって、試験結果の利用目的によって試験方法を使い分ける必要があり、異なった試験方法で求めた透水係数を単純には比較できない。

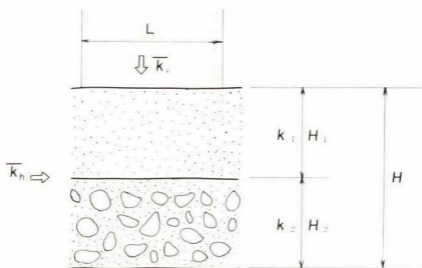


図-3 透水の異方性検討用地盤モデル

参考までに図-3に示す2層構造のモデル地盤における水平方向の平均透水係数 $\overline{k_h}$ と、鉛直方向の平均透水係数 $\overline{k_v}$ を求める式を示す。図-3では、層厚が H_1 の比較的透水性が悪い地層と層厚が H_2 の比較的透水性の良い地層が水平に堆積していると仮定した。

$$\overline{k_h} = \frac{k_1 H_1 + k_2 H_2}{H} \quad \text{式(3)}$$

$$\overline{k_v} = \frac{H}{\frac{H_1}{k_1} + \frac{H_2}{k_2}} \quad \text{式(4)}$$

n 層からなる多層地盤では、次式となる。

$$\frac{1}{k_h} = \frac{1}{\sum H} \sum_{i=1}^n k_i H_i \quad \text{式(5)}$$

$$\frac{1}{k_v} = \frac{\sum H}{\sum_{i=1}^n \frac{H_i}{k_i}} \quad \text{式(6)}$$

(5) 地下水に関する主なパラメータ

表-1と図-4に地下水に関する主なパラメータを示す。このうち、地盤の透水性を評価する上で中心となるパラメータが透水係数 k であり、この透水係数を原位置で簡易に求める方法が単孔式現場透水試験である。

表-1 地下水に関するパラメータ

帯水層区分	不圧帯水層	被圧帯水層
飽和領域 $S_r = 100\%$	水位 s	水頭 h
	帯水層厚 H (H は水位変動で変化)	帯水層厚 D (D は水位変動で不変)
	透水量係数 $T (= k \cdot H)$	透水量係数 $T (= k \cdot D)$
	透水係数 k	透水係数 k
	貯留係数 $S (= S_y \cdot H)$	貯留係数 $S (= S_s \cdot D)$
	比産出率 S_y (= 有効間隙率 β)	比貯留係数 S_s (= 帯水層弾性率 α)
不飽和領域 $S_r < 100\%$	不飽和浸透特性 $k \sim S_r$	_____
	水分保持曲線 $\Psi \sim S_r$	_____

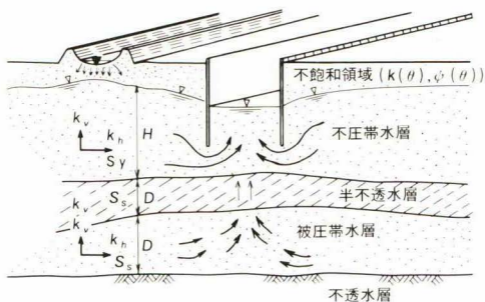


図-4 地盤の浸透特性に関するモデル⁶⁾
(西垣 誠、1991)

これより地下水のパラメータは帯水層が不圧か被圧か、また飽和か不飽和かによって異なっていることが分かる。

参考文献

- 1) 藤縄克之：汚染される地下水、共立出版、p. 44、1990.
- 2) 西垣 誠：第2章土中水と浸透、土の力学、技報堂出版、pp. 21～44、1990.
- 3) 西垣 誠・河野伊一郎：原位置での不飽和浸透特性の一測定法、地質と調査、1981年第3号、pp. 66～72、1981.
- 4) 西垣 誠・他：原位置における不飽和領域の透水試験法に関する考察、土木学会第45回年次学術講演会講演概要集、第Ⅲ部門、pp. 838～839、1990.
- 5) 西垣 誠・河野伊一郎：水平および鉛直方向の透水試験の計測方法—単孔式原位置透水試験による—、土と基礎、Vol. 32、No.11、pp. 59～63、1984.
- 6) 土質工学会編：根切り工事と地下水—調査・設計から施工まで—、土質工学会発行、1991.

第 6 章



間隙水圧測定

第 1 章 総 説

第 2 章 ポーリング

第 3 章 サンプリング

第 4 章 孔内横方向載荷試験

第 5 章 現場透水試験

第 6 章 間隙水圧測定

6 1 概要

6.1.1 目的と意義¹⁾

間隙水圧とは、土の粒子と粒子の間を満たしている間隙水が持つ圧力のことであり、一様な帯水層であれば間隙水圧は深さ方向に直線的に増加するのがふつうである。しかし、地盤条件や応力条件によってはこれとは異なった傾向を示すことがある。図6.1は、間隙水圧が地盤中でどのように存在しているかを模式的に示したものである。

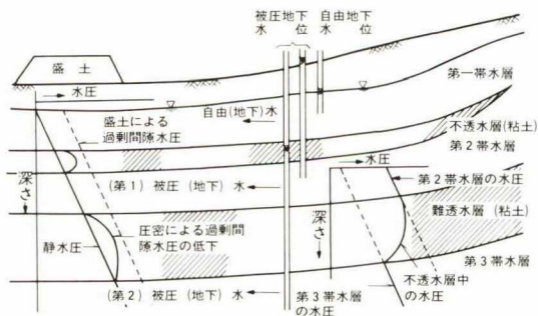


図6.1 地盤中の間隙水圧模式図¹⁾

(技術マニュアル、1982)

「近代土質力学は間隙水圧の概念を導入することにより発展した」とか、「土に関する工事の困難さはそのほとんどが土自身によるものではなく、その間隙に含まれている水によるものである」(テルツァーギ)ともいわれている。

このように間隙水圧は重要な意味を持ち、土の力学的

挙動を支配するので、土に関する設計や施工のためには土中の間隙水圧を測定しておく必要がある。間隙水圧の測定は、具体的には次のような目的で行われている。

- ① 粘土地盤の圧密の進行度合いをチェックする。
- ② 切土、盛土に伴う斜面安定検討の資料とする。
- ③ 掘削時の安定性（ボーリングやヒービング）の検討資料とする。
- ④ シールド工事などの地中掘削の安全性の検討資料とする。
- ⑤ 地すべり地の安定性の検討資料とする。
- ⑥ その他、地下水位（水圧）の確認や土の有効上載圧の推定などに利用する。

これら種々の目的に応じて間隙水圧を測定するが、地質調査の段階でその時点での間隙水圧を測定して設計施工に反映させる短期的測定の場合と、工事等に伴う間隙水圧の変化を長期的に観測して施工管理や斜面安定予測等に利用する長期的測定の場合では、水圧計の設置方法や計測方法が異なる場合がある。

6.1.2 間隙水圧測定の種類と特徴

間隙水圧の測定方法には、大きく分けて開放型（オープンタイプ）と閉鎖型（クローズタイプ）がある。図6.2に示すように、開放型は管内に導いた地下水の水位を直接測るスタンドパイプ方式であり、閉鎖型は測定系からの水の流出なしに測定深度の水圧を測るものである。開放型は、さらにケーシング法とキャサグランデ型（シングルチューブ法）に分けられる。この分類は便宜的なものであって、前者は現場透水試験時のようにスタンドパ

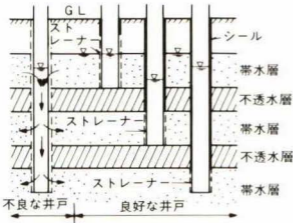
イプ（ケーシング）内の平衡水位を測定するものであり、後者は先端の多孔質チップから細い導管に地下水を流入させてその水位を測るもので、原理は同じである。

閉鎖型も、マノメータ型に代表されるダブルチューブ方式と電気方式の2系統に分けられるが、前者は細い導管内に地下水を流入させる点ではスタンドパイプ方式に近いものの、流入地下水の回路を閉じて水圧を測定するところが開放型とは異なっている。電気式間隙水圧計には、圧力変換方式によって様々なタイプがある。

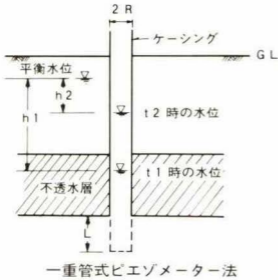
表6.1は、これらの間隙水圧測定方法を分類したものである。このうち、一般的な地質調査において、ある時点での間隙水圧を測定するのに用いられているのは、**表6.1**中で短期的測定に区分されているものであり、砂質土に対しては開放型のケーシング法、粘性土に対しては電気式間隙水圧計が多い。一方、長期的観測の場合は、ボーリング孔を利用して間隙水圧計を設置した後、工事等に伴う間隙水圧の変化を経時的に観測するものであり、**表6.1**に挙げたほとんどすべての方式が用いられる。

本マニュアルでは、短期的測定で砂層に対して用いられるケーシング法、および粘土層に対する電気式間隙水圧計を主体に記述し、長期的間隙水圧測定を行う場合については計器設置時の留意点について簡単に触れる。

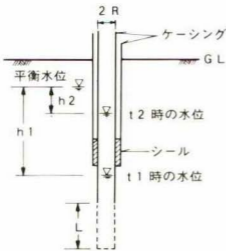
開放型 (オープンタイプ)



(a) ケーシング法 (ストレーナ式)²¹⁾
 (「現場計測計画の立て方」1990)

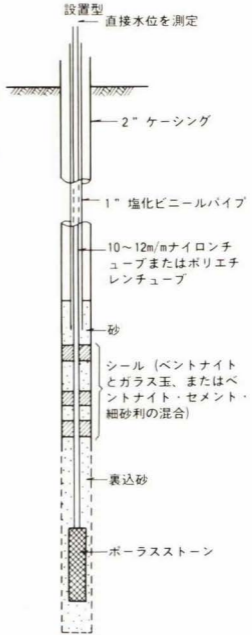


一重管式ピエゾメーター法



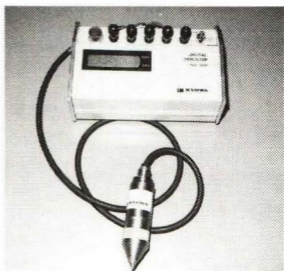
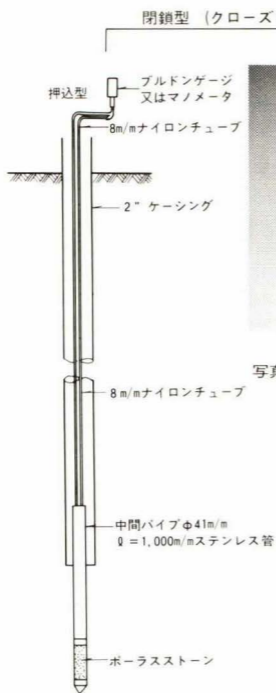
二重管式ピエゾメーター法

(b) ケーシング法 (孔底下裸孔式)¹⁾
 (技術マニュアル、1982)



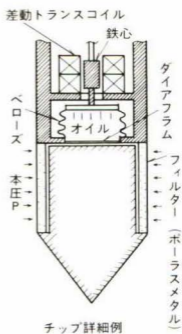
(c) キャサグランデ型
 (シングルチューブ法)³⁾
 (「地下水調査及び観測指針 (案)」
 1978)

図6. 2(1) 開放型間隙水圧測定方法の分類



(下) チップ (上) 測定器

写真-1 電気式土中間隙水圧計 (例)



(d) マノメータ型 (ダブルチューブ法)³⁾
(「地下水調査及び観測指針 (案)」, 1978)

(e) 電気式⁴⁾
(「土の調査実習書」, 1984)

図6.2(2) 閉鎖型間隙水圧測定方法の分類

タイプ	名称	先端集水部	計測対象	水位検知方式 あるいは 電気変換方式	計測期間	測定方法および特徴	問題点および留意事項	地盤種別による適合性	
								粘性土	砂質土
開放型 〔オートタイプ〕	ケーシング法	ストレーナー	水位面	触針式水位計 フロート式水位計 超音波式水位計 電気式間隙水圧計	短期	計測深度にスクリュー管を設けてケーシング内に地下水を汲み上げて管内水位を測定する。長期にわたる観測では自記式の水面極知針や地下水位に電気式間隙水圧計を設置して自動計測を行うことも可能。	ストレーナー部の目詰り対策や計測対象層以外の帯水層との透水を確保する必要がある。タイロムが大きい場合は安定水位に至るのに長時間を要す。	×	○
					長期	ケーシング下の計測深度に裸孔部を設けて地下水を現場透水試験の平衡水位確認と同様。	透水区間（裸孔部）が崩壊するのと安定水位に至るのに長時間を要する。留意点は現場透水試験と同様。	△	○
閉鎖型 〔クローズタイプ〕	キャサグレンジ型 （シングル チューブ法）	裸孔	水位面	触針式水位計	短期	多孔質の先端チップから細い管に地下水を導き管内水位を測定する。構造が単純なためタフ。	気泡が混入した場合に除去できない。また、不能。タイロムも大きい。	△	○
					長期	先端の多孔質チップから細い二重管に地下水を導き管内水位を測る。または構造的に単純なためタフであるが、計測や維持管理に手間がかかる。マンメーター式の精度が高い。	一度埋設するとチューブからの漏水をよめる導管の破損対策が必要。タイロムが大きく凍結によるチューブの破損対策が必要。タイロムが大きく凍結によるチューブの破損対策が必要。タイロムが大きく凍結によるチューブの破損対策が必要。	○	△
閉鎖型 〔クローズタイプ〕	電気式	ポラス メタル	水位面	ひずみゲージ式 カールソソ式 摺動（シュウドウ） 抵抗式 差動トランス式 振動弦式 半導体式	短期	やや安定性に乏しいが、動的な測定に優れている。	長期計測の場合、ゼロ点移動やドリフトのため安定性に問題がある。押込み位置や問題がある場合は押込み量やオーバーパードに注意する必要がある。測定が容易で、自動記録に最適。	○	△
					長期	安定性が良い。 リード線を含めた安定性が良い。 安定性が良い。 北欧で実績が多い。 小型のものできる。			

○：最適、△：適、×：不適

6 2 ケーシング法による 間隙水圧測定

ケーシング法は、砂層を対象として短期的な間隙水圧測定を行う代表的な方法である。ボーリング孔に口径53～81mm程度のケーシングパイプ（測定管）をたてこみ、孔底下に設けた集水部から流入する地下水の水位を測定することによって間隙水圧を求めるものである。その方法は**第5章**の現場透水試験と同様であり、透水試験で測定される自然水位から間隙水圧を求めることになる。したがって、試験にあたっての注意事項等は現場透水試験に準じたものとなるため、**第5章**を参考にされたい。

ケーシング下の地下水流入区間の設置方法としてはストレーナ管（有孔管）を用いて保孔する場合と、削孔のみで裸孔状態にしておく場合がある。前者は試験区間の孔壁が崩れやすい場合や長期観測の場合に採用され、後者は現場透水試験で多く用いられている方法である。

6.2.1 装置とその取扱い方法

(1) ボーリング孔

測定管として用いるケーシングパイプは53～81mm程度が標準であり、単管式の場合で66～86mmのボーリング径が必要である。複数の帯水層があって上部層との遮水が必要な場合には二重管式とするため、ボーリング径は116～146mm程度となる。

(2) ケーシングの設置

単一带水層の自由地下水の間隙水圧を求める場合はケーシング設置方法に特別な配慮は必要ないが、被圧地下

水を対象とする場合には注意が必要である。ケーシング外壁に沿って上位帯水層からの流入（あるいは上位帯水層への流出）によって、測定対象層の水位が上位帯水層の影響を受けることのないよう遮水を実行しなければならない。遮水方法の一例を図6.3に示してあるが、場合によってはケーシングを二重・三重に用いることもある。

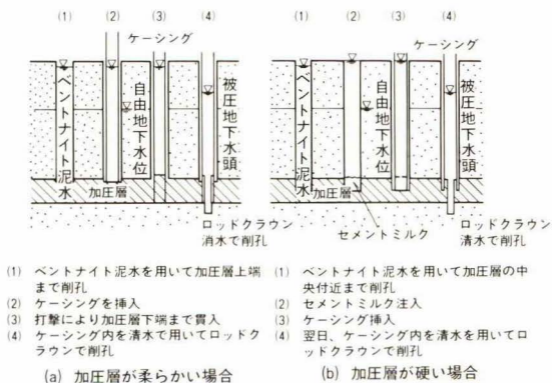


図6.3 被圧滞水層を対象としたケーシング設置例⁵⁾
(土質調査法、1982)

(3) 水位測定器

ケーシング法における地下水位面の検知方法は、図6.4に示すような触針式水位計あるいはその基本形であるテスター式水位計を用いるのが一般的である。

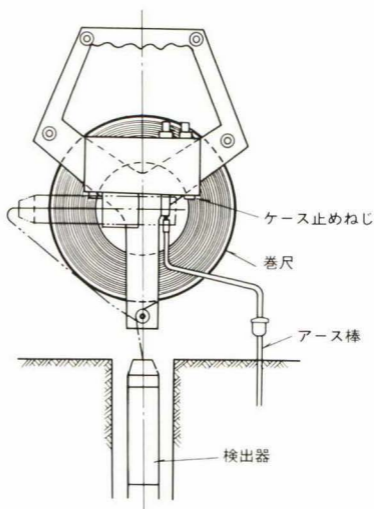


図6.4 触針式水位計⁵⁾ (土質調査法、1982)

6.2.2 測定手順と留意事項

測定手順は基本的に現場透水試験と同じであるため、**第5章**を参照されたい。

ただし、水位測定によって間隙水圧を求める場合、自然水位を把握することが重要である。現場透水試験では翌朝水位を測定して自然水位としていることが多いが、1度だけの測定ではなく30分～1時間程度の間隔をあけて数回測定を行い、その間の水位変化が時間あたり1 cm程度以下であることを確認することが望まれる。時間あたり変化が1 cm程度以下であっても、一様に上昇している場合や一様に低下している場合は、さらに測定を継続する必要がある。

6.2.3 トラブルとその対策

ケーシング法で生ずるトラブルは、確実な遮水が行われていないために上位層の地下水の影響を受けている場合や、沿岸地帯等で潮位の影響を受けて地下水位が安定しない場合である。前者に対しては、測定管としているケーシングをさらに打ち込んで地山との密着性を良くするか、可能であれば二重管仕上げにして上位層との遮水を実にする必要がある。潮位の影響で地下水位が安定しない場合は、15分程度の間隔で24時間連続測定を行えば規則性を把握することが可能であるが、近くに検潮所があればそのデータと対比して変化の規則性を確認することができる。

また、近隣で掘削工事等によって地下水を汲み上げている場合も地下水が安定しないことがあり、この場合は周囲の状況を確認する必要がある。

6.2.4 結果の整理

(1) 間隙水圧の算定

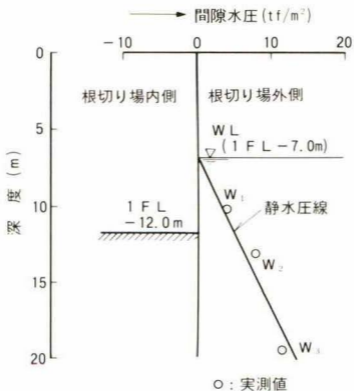
ケーシング法で測定した地下水位から、測定深度における間隙水圧を求めるのは(6.1)式による。

$$u = (z - d) \times \rho_w \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

- ここに、 u ; 間隙水圧 (tf/m²)
 z ; 地表面からケーシング下端 (裸孔またはストレーナ上端) までの深さ (m)
 d ; 地表面から水位面までの深さ (m)
 ρ_w ; 水の密度 (t/m³)

(2) 結果の整理

ケーシング法で求めた間隙水圧は、**図6.5**に示す間隙水圧の深度分布図として整理できる。なお、砂質土の間隙水圧は測定深度からの水頭で表示したほうが便利な場合があり、**図6.6**に示すように整理するとわかりやすい。



○ : 実測値

図6.5 間隙水圧分布図 (土の調査実習書、1984)

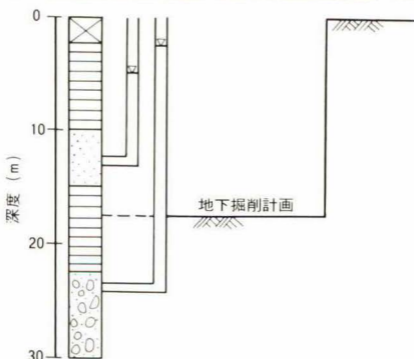


図6.6 ケーシング法による水頭表示

6 3 電気式間隙水圧測定

粘土層を対象として短期的な間隙水圧測定を行う場合は、電気式間隙水圧計を用いるのが一般的である。電気式間隙水圧計は先端チップ内の圧力変換部（ピックアップ）で水圧を電氣量に変え、これを導線によって地上の指示部に伝える機構のものである。この型の間隙水圧計は圧力の変換機構の違いから、ひずみゲージ型、カールソン型、差動トランス型、および半導体型などに分類されるが、その構成はいずれも図6.7に示すようになる。

短期的測定の場合、ボーリングロッド先端に取り付けたピックアップを孔底から100～150cm押込んで地山との密着性を図るのが一般的であるが、硬質な粘土では押込みができないためピックアップの上方にエアパッカーなどを装着して孔内水との遮断を行う必要がある。

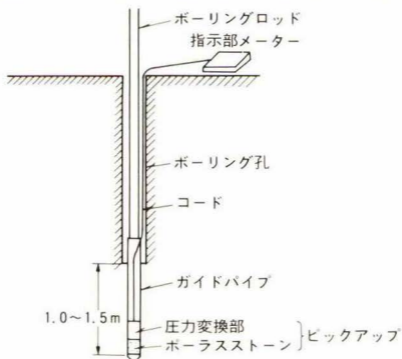


図6.7 電気式間隙水圧計構成図¹⁾

(技術マニュアル、1982)

6.3.1 装置とその取扱い方法

電気式間隙水圧計は、測定や維持管理が容易な反面、ゼロ点移動やヒステリシスがあり、測定値に影響を及ぼしやすい。短期的測定では一つの変換器を繰返し使用するため、こまめに検定（キャリブレーション）を行う必要がある。以下、間隙水圧測定に必要な機器、部材とそれらの点検方法を示す。

(1) ピックアップ

ピックアップ（圧力変換器）は、測定地盤の状況や測定深度に適したものを選定する。とくに押込み方式で設置する場合には、押込み圧に耐えるよう予想される最大水圧よりも1.5～2倍の容量のピックアップを準備する。

ピックアップには、各メーカーで、出荷前に行う検定による較正係数表が付けられているので、較正係数を確認しておくほか、繰返し使用しているうちにヒステリシスによって較正係数が増減する可能性があるため、随時検定を行なって使用時の較正係数を確認しておくことが望まれる。ピックアップの検定手順の一例を図6.8に示す。

なお、電気式間隙水圧計は振動や衝撃に弱いため、運搬時の取扱いに十分注意する必要がある。

(2) フィルター（ポーラスメタル）

フィルター（ポーラスメタル）は水圧伝達部であり、気泡が残留しているとタイムラグが大きくなって測定値の信頼性が落ちるため、十分に脱気を行う必要がある。脱気の方法としては、使用前にフィルター部を1時間程度熱湯煮沸するのが簡便である。脱気後は、脱気水に浸したまま水中でピックアップを組み立てる。

フィルターは、測定毎に新しいものと取換えるのが理想的であるが、繰返し使用する場合には目詰りのないように十分に洗浄する必要がある。洗浄の方法は付着した土を洗い流した後、過酸化水素水に30分程度浸し、さらに1時間程度熱湯煮沸する。

(3) コード

使用するコードは、破損部分はもちろん傷が付いていないかチェックしておく。特に、コードとピックアップの接続部分は構造上の弱点で耐水性が低下しやすい部分であるため、繰返し使用する場合は時々絶縁抵抗や端子間抵抗をチェックする。

(4) 指示器

指示器（指示計）は、使用するピックアップに適合したものを選定する。指示器（指示計）の点検はピックアップの点検と兼ねて行い、常時はバッテリー不足やスイッチ類の接触の点検を欠かしてはならない。念のため、予備のバッテリーを用意しておくことも必要である。

(5) 保護スリーブ

保護スリーブは、設置時にフィルター部（ポーラスメ

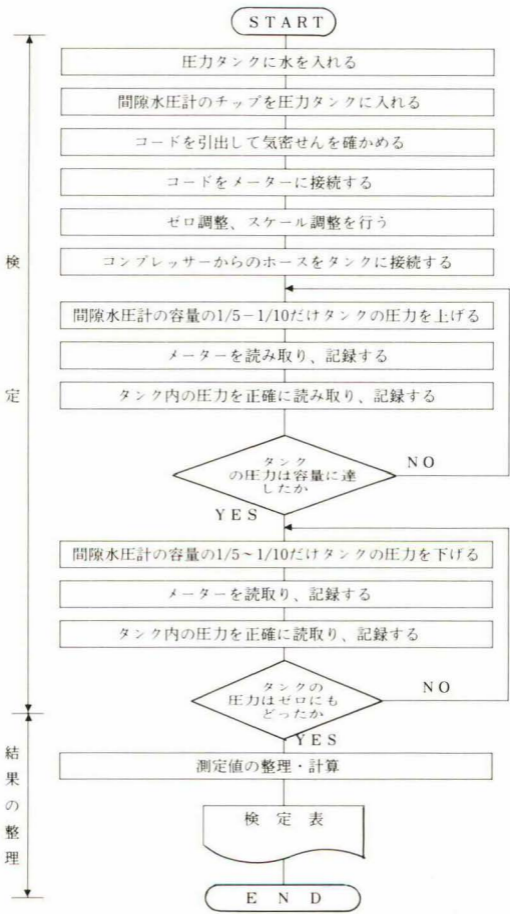


図6.8 電気式間隙水圧計検定手順の一例¹⁾
(技術マニュアル、1982)

タル) の目詰まりや気泡の侵入を防ぐ目的で使用する。規格品はないが、**図6.9**に示すようにOリングのついた外筒管やゴムスリーブがよく用いられている。

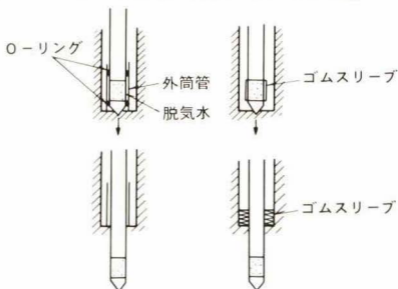


図6.9 ピックアップの圧入方法¹⁾
(技術マニュアル、1982)

(6) 押込み用ロッド

押込み用ロッドは、ピックアップ上部の取付ねじに合わせたカップリングを装着し、**図6.10**に示すように水圧計から1~1.5mの位置にコードを取出すための穴を空けておく。ピックアップを地盤内に垂直に圧入するため、ロッドの曲がりやねじ山の状態をチェックしておく。

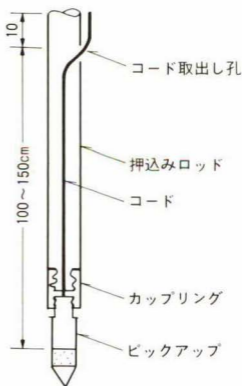


図6.10 押込み用ロッド

(7) 記録用紙、グラフ用紙

使用する間隙水圧計、指示計にあった記録用紙を準備

する。また、測定値の傾向を現場で確認するためのグラフ用紙も用意しておく。測定時間が長くなる場合、時間軸を対数でとれるように片対数グラフを用いるのが便利である。

記録用紙の一例を表6.2に示す。

表6.2 間隙水圧計測定記録表の例¹⁾
(技術マニュアル、1982)

調査件名	某地区地質調査			
調査場所	〇〇県〇〇郡〇〇町			
測定期日	年	月	日～	月 日
測定者				
測定孔 No. 1	測定孔標高 TP+17.5m		測定深度 +9.35m	
間隙水圧計 ストレインゲージ式	No. YJ1495	圧力範囲	2 kgf/cm ²	初期値 +80
		校正係数	0.001170	
	間隙水圧 P*	0.749	kgf/cm ²	

測定月日	測定時刻	経過時間 (分)	計器の 読み	間隙水圧 (kgf/cm ²)
3月19日	11:04	0	700	0.725
	11:05	1	630	0.878
	11:06	2	930	0.995
	⋮	⋮	⋮	⋮
	11:14	10	1290	1.416
	11:16	12	1300	1.427
	11:18	14	1300	1.427
	11:20	16	1300	1.427
	⋮	⋮	⋮	⋮
備考				

測定月日	測定時刻	経過時間 (分)	計器の 読み	間隙水圧 (kgf/cm ²)
	11:29	25	1250	1.369
	11:34	30	1185	1.293
	11:44	40	1130	1.229
	11:54	50	1090	1.182
	12:04	60	1050	1.135
	12:34	90	990	1.065
	⋮	⋮	⋮	⋮
	17:34	390	720	0.749
3月20日	11:30	1474	720	0.749
備考	間隙水圧 = (計器の読み - 初期値) × 校正係数			

(8) ポケット電卓

測定値を水圧値に換算する際、迅速かつ正確に計算できるようにポケット電卓を用意しておくことが便利である。

(9) ビニールテープ、テスターなど

現場での応急手当、および押し込みロッドに測定コードを取り付けるためのビニールテープや、電気系統の簡易チェック用としてテスターも準備しておく。

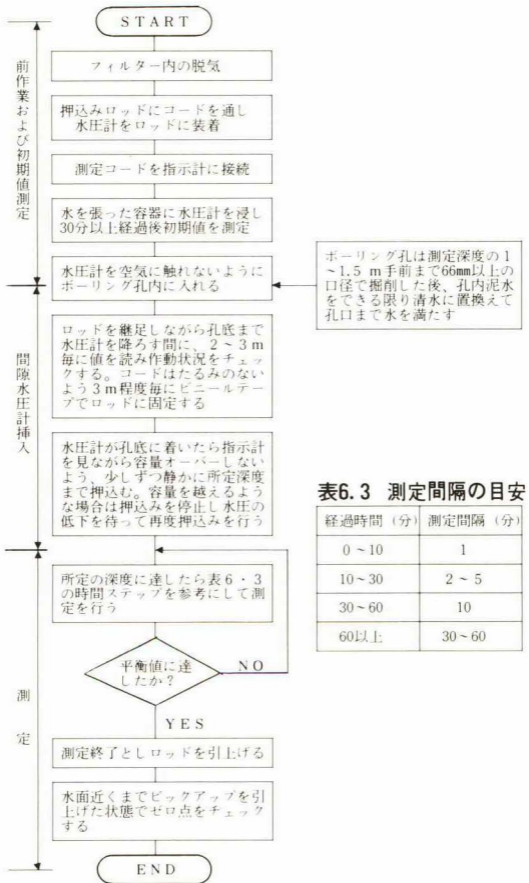


図6.11 電気式間隙水圧計を用いた
間隙水圧の測定手順

6.3.2 測定手順と留意事項

電気式間隙水圧計によって、短期的な間隙水圧測定を行う場合の手順を図6.11に示す。ボーリングから間隙水圧計の設置、および測定にあたっての留意点は次のようである。

- ① ボーリング孔径は $\phi 66\text{mm}$ ～ $\phi 86\text{mm}$ が適当であるが、孔壁の張出しが激しい場合はできるだけ孔径を大きくする。なお、硬質な粘土の場合は押し込みが困難であり、ピックアップの上方にエアパッカーなどを装着して孔内水と水圧計を遮断する必要がある。
- ② 脱気を行なったフィルターは水中でピックアップに取り付け、空気に触れさせないように取扱う。
- ③ ボーリング孔底からピックアップを押し込む際には、過剰負荷がかかるため、指示計を見ながら水圧計の容量を越えないように押し込みをコントロールする。
- ④ 所定の深度にピックアップが達した後、ロッド重量の影響を避けるためほんのわずかロッドを引き上げ、その状態でロッドホルダーで固定する。
- ⑤ 測定は平衡値に達するまで継続しなければならない。

計器固有のタイムラグ（時間遅延）と押し込み時に発生した過剰間隙水圧の消散に時間を要するため、一般的に粘性土では12時間以上の測定が必要となる。

- ⑥ 測定が終了してピックアップを引上げる際、水面付近でゼロ点をチェックする。

- ⑦ 測定記録は直ちにグラフ用紙にプロットし、間隙水圧の経時変化をチェックする。図6.12に示すような経時変化図を作成することによって、測定中の異常を発見することができる。

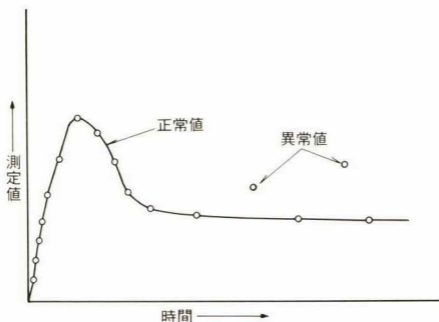


図6.12 測定値の経時変化図¹⁾
(技術マニュアル、1982)

6.3.3 トラブルとその対策

電気式間隙水圧測定で生ずるトラブルは、異常値の発生である。その原因としては、計器類の故障と周辺の地下水変動が挙げられる。

(1) 計器内部の断線や指示計のバッテリー不足

点検済みの指示計やピックアップは、運搬時や現場で衝撃を与えないかぎり内部の断線は考えられない。ピックアップの取り扱いには卵を扱うような慎重さが必要であり、バッテリー不足については論外である。ピックアップやコードの断線の場合は、新しいものと交換するのが手っとり早い。

なお、挿入前のピックアップや保管時および測定中の

指示計は、直射日光に当てないように注意する。

(2) 絶縁不良、端子間抵抗の変化

コードの裸部が湿ったり、コードの一部が破損していると測定値が急激に変化する。コードの端子部は、使用していない間防護キャップをかぶせてビニールテープで密封しておくほか、測定中も指示計との接続部が湿気を帯びないようにする。また、コードを傷つけないよう取扱いに注意する。絶縁抵抗の低下や端子間抵抗の変化は、高性能のゲージテスターでチェックできるが、一度低下したものは修復不能であり、新しいものと交換するしかない。

(3) 押込みによる過剰負荷

押込み時に水圧計の容量を越える負荷を与えた場合、較正係数が狂って測定値がばらつく原因となる。水圧計容量を越えないように、押込みをコントロールすることが大切である。

(4) フィルター内の残留気泡

フィルター（ポラスメタル）内部に気泡が残っていると、測定時間も長びくし測定値も安定しない。事前の脱気処置を十分に行なっておく必要がある。

以上のように、ピックアップとコードのトラブルはほとんどの場合が回復不能の事態であり、一度孔底から引き上げて新しいものと交換して再度設置し直すしかないため、挿入前の点検が重要である。

(5) 周辺地下水の変化

調査地が海や感潮河川に近い場合、潮位変動に伴って地下水位も時間と共に変化して測定値が安定しない。この場合は、潮位変動との関連から測定結果を解釈する必

要がある。

また、近くで井戸が稼働していたり地下工事が行われている場合も測定値が安定しないため、周囲の状況を確認して地下水汲み上げの有無を調べる。周囲で地下水の汲み上げがある場合は、その状況を記載する。

6.3.4 結果の整理

(1) 間隙水圧の計算

電気式間隙水圧計の場合、間隙水圧は (6.2) 式によって算定する。

$$u = (r - r_0) \times f \quad \dots\dots\dots (6.2)$$

ここに、 u ; 間隙水圧 (kgf/cm²またはtf/m²)

r ; 指示計による測定値

r_0 ; 初期値 (ゼロ点)

f ; 較正係数 (水圧計の検定表に記載されたもの、または使用前の検定で確認したもの)

(2) 結果の整理

短期的測定の場合は、深度方向で何点か計測を行うのが一般的であり、**図6.5** に示したように横軸に間隙水圧の大きさを、縦軸に深度をとって深さに対する間隙水圧分布図を作成する。この分布図は、静水圧線を書込んでおくことによって水圧の状況を知ることができる。

6 4 長期的間隙水圧測定

長期的間隙水圧測定は、工事に伴う間隙水圧の変化等

をあらかじめ設置しておいた間隙水圧計で経時的に計測するものであり、短期的測定の場合と本質的に変わるものではないが、計器の設置方法や観測システムが多少異なる。

本節では、主として長期的測定における計器設置の留意点について記述する。

6.4.1 装置とその特徴

長期的測定では、表6.1に分類したほとんどの方式の間隙水圧計が用いられる。ケーシング法と電気式間隙水圧計については、計測システム（測定系）を除けば使用する装置とその取扱いは短期的測定の場合と同様である。計測システムについては、長期的測定の場合にはケーシング法でもフロート式の水位計や超音波式水位計、あるいは水位面下に電気式間隙水圧計を設置して自動計測方式にする場合が多い。電気式間隙水圧計は、長期的な安定性にやや問題が残るが、自動計測化には最適である。

長期的測定の場合にのみに使用される間隙水圧計としては、図6.2に示した開放型のキャサグランデ型、閉鎖型のマノメータ型（ダブルチューブ型）がある。キャサグランデ型は、1本の導管に地下水を流入させてその水頭を測定するもので、構造的に単純であり長期的な安定性に優れている。マノメータ型は、先端チップから2本の導管に地下水を流入させて内部の気泡を追い出し、地上部のマノメータやブルドンゲージで圧力を測定するタイプで長期的な安定性が高いものの、計測や維持管理に手間がかかるため自動計測には不向きである。

6.4.2 設置手順と留意事項

(1) ケーシング法

ケーシング法では、不圧地下水（自由地下水）を対象とする場合はストレーナ部の目詰まりと測定管内への雨水の浸透防止に留意して設置を行う。被圧帯水層を対象とする場合は、目詰まり防止と上部帯水層との遮水を実際に行うことが重要である。遮水は、多重管式や不透水材料によるシールによって行われる。

(2) キャサグランデ型間隙水圧計

キャサグランデ型の間隙水圧計の設置方法には、埋込み型と押し込み型がある。埋込み型は、**図6.2 (c)**に示すようにボーリング孔内に導管付きの先端チップを置いてその周囲をフィルター材（裏込め砂）で埋戻す。さらにその上位を不透水性のシール材で埋戻して、上位層との遮水を行う。押し込み型のチップは、**図6.2 (d)**に示すように押し込みにより便利な先端円錐コーンを装着したものであり、ボーリングロッドを利用して先端チップを押し込む。押し込みロッドは、チップ設置後ロッドだけを容易に引き上げられるよう先端部を工夫したものを使用する。

(3) マノメータ型間隙水圧計

マノメータ型水圧計も先端チップについてはキャサグランデ型と同様であり、埋込み型と押し込み型がある。

(4) 電気式間隙水圧計

電気式間隙水圧計も、埋込み型と押し込み型がある。埋め込み型の場合、中間シールをうまく工夫することによって、1本のボーリング孔に複数の水圧計を設置することが可能である。

押し込み型では、短期測定の場合と同様に先端部に円錐コーンを装着するが、押し込み後はピックアップとコードのみをボーリング孔内に残して押し込みロッドは引き上げるため、ロッド先端部とピックアップの切り離しを工夫する。

6.5 結果の評価と応用

(1) 地盤内の応力状態のチェック

短期的測定によってある時点での地盤内の間隙水圧を把握した場合、地盤内の応力状態を推定することができる。たとえば、深さ方向での間隙水圧 u が測定されると

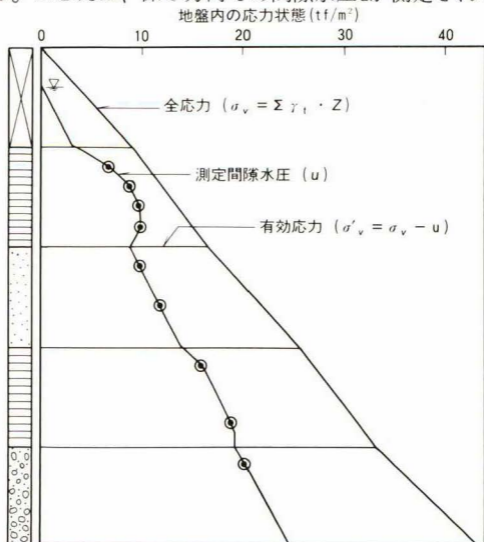


図6.13 間隙水圧測定による地盤内の応力状態

図6.13に示すように、各地層の湿潤密度 P_t から推定される全応力 σ_v と間隙水圧 u より地盤内の鉛直有効応力 σ'_v が次式によって得られる。

$$\sigma'_v = \sigma_v - u \quad \dots\dots\dots(6.3)$$

この有効応力と圧密試験による圧密降伏応力との関係から、盛土等に伴う圧密が進行中であるか、あるいは既に終了しているか等の判定が可能である。

(2) 圧密度のチェック

軟弱地盤上の盛土による圧密の進行状態をチェックす
 間隙水圧 u (kgf/cm²)

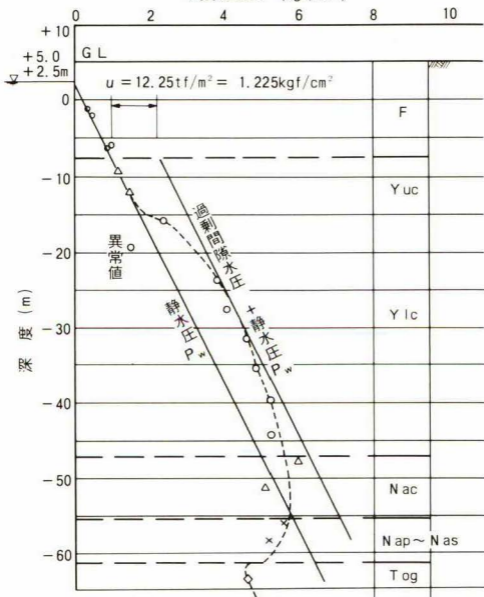


図6.14 盛土に伴う過剰間隙水圧の例¹⁾
 (技術マニュアル、1982)

るような場合、**図6.14**に示すような深度方向の間隙水圧分布図を作成する。この例では、盛土に伴い過剰水圧が発生しており現在圧密進行中であることがわかる。盛土による増加応力分布と測定された過剰水圧分布から、現時点の圧密度を推定することができる。一般的には、盛土を行う前に間隙水圧計を設置しておき、長期観測によって時間経過に伴う圧密度のチェックが行われる。

(3) 地下掘削に伴う水圧チェック

地下掘削に伴って地下水を汲み上げる場合、周辺地盤に圧密沈下を発生させないように地盤中の間隙水圧を観測する場合や、掘削に伴う盤ぶくれ防止のための地下水位低下の効果確認で地下水位観測を行う場合がある。このような目的で間隙水圧を測定する場合は、**図6.15**に示すような経時変化図を作成して間隙水圧の変動状況をチェックし、必要に応じて地下水汲上げを一時中止したり、揚水量を増やしたりするための判断資料とする。

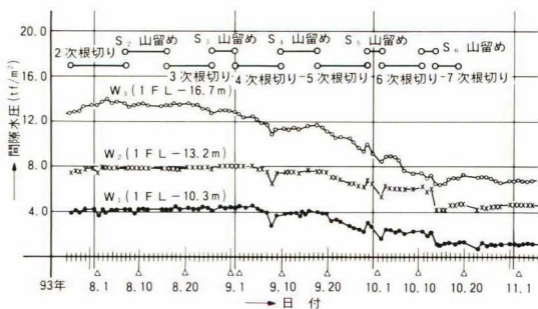


図6.15 間隙水圧の経時変化図の例⁴⁾

(土の調査実習書、1984)

参考文献

- 1) 関東地質調査業協会編：ボーリング孔を利用する原位置試験についての技術マニュアル、pp. 43～62、1982.
- 2) 土質工学会編：現場計測計画の立て方、pp. 391～421、1990.
- 3) 建設省河川局監修：地下水調査及び観測指針(案)、p. 271、1978.
- 4) 土質工学会編：土の調査実習書(第1回改訂版)、pp. 275～285、1984.
- 5) 土質工学会編：土質調査法(第2回改訂版)、869p.、1982.
- 6) 全国地質調査業協会連合会編：ボーリング野帳記入マニュアル、p. 21、1988.

〔付録1〕 関連機器および機材販売会社一覧

(1) サンプラー

販売会社名	問い合わせ先
(株) エヌ エルシー	〒110 東京都台東区台東2-9-5 TEL 03-3837-3381
(株)カノポーリ ング	〒426 静岡県藤枝市横内716-1 TEL 0546-44-2100
鉱研工業(株)	〒164 東京都中野区中央1-29-15 TEL 03-3366-3111
東邦地下 工機(株)	〒100 東京都千代田区内幸町1-2-2 TEL 03-3591-8301
(株) 利根	〒153 東京都目黒区目黒1-6-17 TEL 03-3493-0111
ノートン(株)	〒102 東京都千代田区麴町3-7 TEL 03-3263-0281
(株)吉田鉄工所	〒847 佐賀県唐津市原1534 TEL 09557-7-1121
応用地質(株)	〒336 埼玉県浦和市太田窪2-2-19 TEL 0488-82-5371
基礎地盤コン サルタンツ(株)	〒102 東京都千代田区九段北1-11-5 TEL 03-3263-3611

2) 孔内載荷試験機

販売会社名	問い合わせ先	代表商品名
応用地質(株)	埼玉県浦和市太田窪2-2-19 TEL 0488-82-5371	L L T エラストメータ100 エラストメータ200
川崎地質(株)	東京都大田区大森北1-11-1 TEL 03-3736-7721	標準型K K T 高圧型K K T 超降圧型K K T
(株) 森 技 術 研 究 所	東京都港区海岸3-2-9-1005 TEL 03-3454-2961	プレシオメータG型 プレシオメータ高圧型

3) 水位計

販売会社名	問い合わせ先	代表商品名
(株) 池田計器 製作所	東京都板橋区宮本町35-10 TEL 03-3969-6611	L P 型長期自記水位計 A D R " "
坂田電機(株)	東京都保谷市柳沢2-17-20 TEL 0424-62-6812	H R L シリーズ (自動水位計) S K T - 2 C - 50, 100 (ポータブル水位計)
東信電機(株)	東京都板橋区南町59-7 TEL 03-3955-8676	S T 型水位測定器 (1芯式) " (2芯式)

(4) 間隙水圧計

販売会社名	問い合わせ先	代表商品名
(株)池田計器 製作所	東京都板橋区宮本町35-11 TEL 03-3969-6611	EMA (半導体式)
応用地質(株)	埼玉県浦和市太田窪2-2-19 TEL 0488-82-5371	Model-4502 (半導体式)
(株)共和電業	東京都調布市調布3-5-1 TEL 0424-88-1111	BP-Bシリーズ BP-Gシリーズ (ストレインゲージ式)
坂田電機(株)	東京都保谷市柳沢2-17-20 TEL 0424-62-6812	EPP-5800シリーズ (差動トランス式)
(株)丸東製作所	東京都江東区白河2-15-4 TEL 03-3643-2111	簡易打込み間隙水圧計 SI-26 (ケンプリッ ジ型)

〔付録2〕 参考図書一覧

- (1) 地盤調査全般に関するもの
 - 1) 土質工学会編：土質調査法－第2回改訂版－、1982.
 - 2) 土質工学会編：入門シリーズ7 土の調べ方入門－調査・試験・計測－、1982.
 - 3) 土質工学会編：土質工学用語辞典、1985.
 - 4) 日本建築学会：建築基礎設計のための地盤調査計画指針、技報堂、1985.
 - 5) 現場技術者のための土と基礎シリーズ14、土質調査計画－その合理的な計画の立て方－、土質工学会、1988.
 - 6) 講座 新しい現地調査法、土と基礎、Vol.35、No.11、1987～Vol.37、No.2、1989.
 - 7) 特集 最近の地盤調査技術、基礎工、Vol.18、No.10、1990.
- (2) ボーリング、サンプリングに関するもの
 - 1) 全国地質調査業協会連合会編：新編 ボーリングポケットブック、オーム社、1980（1993年改訂予定）.
 - 2) 土質工学会サンプリング研究委員会：サンプリングマニュアル、1986.
- (3) ボーリング計測技術に関するもの
 - 1) 関東地質調査業協会技術委員会編：新編 ボーリング孔を利用する原位置試験についての技術マニュアル、1982。（改訂原稿を同協会発行「技術ニュース」に1992年より連載）

MEMO

M E M O

MEMO

M E M O

お ぼ え

氏 名 _____

自 宅 住 所 _____

自 宅 電 話 _____

勤 務 先 _____

勤務先所在地 _____

勤 務 先 電 話 _____

ボーリング計測マニュアル

平成5年5月 第1版 第1刷発行

編集・発行 社団法人 全国地質調査業協会連合会

〒113 東京都文京区本郷2-30-7 (本郷TSビル)

TEL 03-3818-7411 FAX 03-3818-7474

非売品

