

## 委員会報告

# 孔内載荷試験法の現状と課題

——指針化の試み——

## THE STATE OF THE ARTS ON BOREHOLE LOADING TEST

土木学会岩盤力学委員会理論・試験小委員会

*By Committee on Rock Mechanics J. S. C. E. Theory and Testing Method Subcommittee*

### 1. 序

岩盤の変形特性を求める試験法についてみると、これまで一般によく用いられてきたのは平板載荷試験法であるが、近年になり孔内載荷試験法も各所で用いられるようになってきた。前者はすでに多くの実績を有し、測定方法、結果の解釈、設計への適用法などは確立しており、基準も制定されている。一方、後者についてみると、ボーリング孔を利用して岩盤の深部においても測定でき、かつ簡便であるという大きな長を有しているにもかかわらず、試験法としての位置づけが必ずしも明らかではない。その原因としては、いまだ使われ始めてから日が浅く、指針類がないので載荷方法なども統一されておらず、試験法に対する評価もまちまちであったことなどが考えられる。

岩盤の力学的特性の評価に際しては、岩盤特有の節理などの不連続性や岩盤の不均質性への配慮、構造物の基礎となる岩盤全体としてのマクロな特性把握などが基本的に必要であり、試験時には実際の構造物より岩盤が受けると同様な載荷により特性を求めるのが望ましい。しかしながら、各種ある試験法をこのような観点でみた場合、すべての条件を満たすような理想的な試験法は存在していない。したがって、個々の試験法ごとにそれらの固有の特性を考慮して得られた結果を評価・活用することが肝要である。

平板載荷試験法と孔内載荷試験法とについてみると、おのずと載荷条件、たとえば載荷面積、載荷形状、載荷方法等が異なっている。そのために岩盤の種類によっては両試験法により求めた弾性係数等の値が異なることも考えられる。この場合、各試験法の載荷条件に基づいて、

その差異の原因を明らかにして、正しい解釈と適用を行う必要があると思われる。

孔内載荷試験法は前述したように、ボーリング孔があれば岩盤の深部においてもその変形特性を求めることができ、平板載荷試験法にはない優れた長を有している。しかも簡便に測定できるという魅力も有している。今後、試験法の1つとして確立することが岩盤力学の発展のためにも重要と考えられる。

そこで、本小委員会においては、現時点における孔内載荷試験法の実施方法、載荷パターン、結果の整理、解釈と問題点、適用例等について、現状のとりまとめと試験方法の基準化について検討することにした。そして、「孔内載荷試験法の現状と課題」についてまとめることができたのでここに報告する。

本報告は8章よりなり、2.～6.では試験方法について述べ、7., 8.では適用例および結果の評価と問題点について述べている。2.～6.をまとめるに際しては、標準的な試験法の普及を願って指針類の表現形式をとったが指針化するにはさらに検討が必要と考えている。また、7., 8.については紙面の都合上別途報告したい。

何分にも不十分などころがあると思われるので、読者諸氏のご叱正ご批判を頂ければ幸いである。

### 2. 試験の目的と適用範囲

#### (1) 試験の目的

孔内載荷試験はボーリング孔周辺地盤の変形特性を把握することを目的として行う。また、岩盤分類を目的に実施することもある。

#### 【解説】

孔内載荷試験は、ボーリング孔孔壁に荷重を加えてそ

の変位を測定する原位置岩盤変形試験法の1つである。平板載荷試験に比べ試験位置や載荷方向が自由に選べ、かつ測定が簡便で容易な試験法である。一般には地盤の変形係数を求める目的で行われるが、岩盤分類の指標を得るために行われることも多い。また、地盤の弾性係数や降伏値を求めたり、空洞周辺のゆるみ領域の推定等の目的で行われることもある。さらに近年、初期地圧やせん断強度を推定することを目的とした研究的な試みも行われている。

試験目的によって試験方法や、試験箇所の配置、数量、載荷パターン等が異なるので、試験計画を事前によく検討する必要がある。

## (2) 試験の適用範囲

### a) 適用地盤

孔内載荷試験は機種によって軟質岩から硬質岩まで広い範囲の地盤に適用することができる。

#### 【解説】

未固結岩や風化岩あるいは破砕帯部分を含む軟質岩地盤を試験する場合と、硬質岩地盤を試験する場合とでは、試験に必要な荷重や測定される変位に大きな差がある。このため最大荷重や圧力測定精度、最大測定可能変位や変位測定精度等を考慮して適切な機種や型式のものを選択する必要がある。

### b) 試験深度および方向

孔内載荷試験は任意の深度または方向の試験孔において行うことができる。

#### 【解説】

孔内載荷試験は孔内に挿入するプローブ（載荷および変位検出装置等）の出し入れが可能であるならば、試験孔の深度や方向（鉛直、水平、傾斜）には特に制限されない。ただし、深度が深くなるに従って試験を行ううえで留意すべき点が多くなる。また、傾斜ボーリング孔や水平ボーリング孔では装置の出し入れの際に孔壁を乱したり崩壊を誘発することがあるので特に注意する必要がある。

### c) 試験孔径

試験孔としてはボーリング孔を用いる。試験孔径は使用するプローブに適合したものでなければならない。

#### 【解説】

プローブの外径は40 mmから90 mm程度のものであるので、目的に応じそれに合った試験孔が掘削されるが、一般に地質調査用のボーリング孔径（呼び径）は66 mmが標準となっているので、それを試験孔径とすることが多い。

## 3. 試験装置

### (1) 試験方法

孔内載荷試験は載荷方式により等圧分布載荷法と等変位載荷法に大別できる。

#### 【解説】

孔内載荷試験装置は初め土質地盤を対象に開発されたものであるが、その後装置が改良されたり新しいものが開発され、軟質岩地盤から硬質岩地盤でも使えるようになった。現在いく種類かの装置が開発されているが、載荷方式により等圧分布載荷法と等変位載荷法との2つの方式に大別できる。両者は試験時に地盤内に生ずる応力状態が異なるので、データの整理や解析方法が異なる。

地盤が等方・均質な場合には、両者から得られる変形係数等は同じ値になると考えられる。しかし割れ目を含み、不均質または異方性のある実際の地盤では、両載荷法によって測定値は同一になるとは限らない。現在のところ、両者による試験結果の関係や適用特性の差については必ずしも明確にされていない。

#### ① 等圧分布載荷法

試験孔内にゴムチューブ製のプローブを挿入し、液体（水または油）や気体によって試験孔孔壁に荷重をかけるものである。この方法の特徴は、試験孔孔壁に対して一様に等しい荷重が加えられるため応力分布が軸対称となり、理論的な取り扱いが容易なことである。ただし、不均質地盤や異方性地盤の場合に得られる変形係数等は試験箇所の孔壁全周の平均的な値となる。

等圧分布載荷法による機種としては、プレシオメーターやエラストメーター等がある。

#### ② 等変位載荷法

長方形の剛体載荷板を装填したプローブを試験孔内に挿入し、油圧ジャッキで載荷板により、孔壁に荷重をかけるものである。この方法は試験時の地盤内の応力分布が複雑であるが、等圧分布載荷法に比べ大きな荷重がかけられる長所がある。なお、不均質地盤や異方性地盤の場合には載荷方向により試験値が異なることがあるので、載荷方向を明確にする必要がある。

等変位載荷法による機種としてはKKT等がある。

## (2) 載荷装置

載荷装置は圧力発生部、圧力制御部および載荷部からなり、おのおの機種によって異なる。これらの装置は試験目的に合致し、対象地盤の特性に適合したものでなければならない。

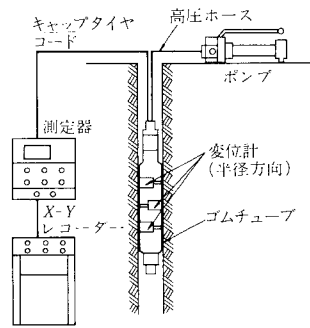
#### 【解説】

圧力系はガス圧（CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>等）あるいは油圧や水圧を圧力源とし、水や油を介して試験孔孔壁に荷重を加える。圧力制御は、載荷パターンおよび載荷速度に応じてすべて試験孔孔口で行う。

機種によって圧力系や最大加圧力、載荷部の形状等が異なるので、試験目的や対象地盤に適合したものを選定

表一 主な孔内載荷試験装置の標準的な仕様

載荷方式	等圧分布載荷方式				等変位載荷方式	
	プレシオメーター (G型)	プレシオメーター (高圧型)	エラストメーター (100)	エラストメーター (200)	KKT (高圧型)	KKT (超高圧型)
最大加圧力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	100	210	100	200	280	330
試験孔径 (mm)	58~96 (標準 66)	58~86 (標準 66)	66~86 (標準 66, 76)	66~86 (標準 66, 76)	66	66
有効載荷長 (mm)	210	450	520	520	250	150
有効載荷幅 (mm)	試験孔全周	試験孔全周	試験孔全周	試験孔全周	30	30
圧力源	ガス圧	油圧	水圧	水圧	油圧	油圧
圧力計最小読取単位 (kgf/cm <sup>2</sup> )	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
変位測定法	水の容積変化	油の容積変化	キャリパー方式 (2方向平均)	コンタクトバランス方式 (2方向平均)	差動トランス	油の容積変化
変位最小読取単位 (mm)	10 <sup>-2</sup> ~10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup> ~10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup> ~10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup> ~10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup> ~10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup> ~10 <sup>-3</sup>



図一 等圧分布載荷法による装置の一例

する必要がある。主な機種の変荷装置の仕様は表一のとおりである。

① 等圧分布載荷法

一般に低圧の圧力源としては、CO<sub>2</sub> や N<sub>2</sub> 等のガス圧を、また高圧の圧力源としては油圧または水圧を用いることが多い。ガス圧は液圧（油または水）に転換され、高圧ホースで載荷部に伝達される（図一）。

載荷部は耐圧性のゴムチューブからなっており、機種により外径 40 mm 程度から 90 mm 程度のものであるが、一般には外径 60~64 mm のものが使用されている。このゴムチューブは十分な強度と弾性が必要である。測定可能な最大変位量（半径）は 10~15 mm 程度である。変位を容積変化によって測定する場合の高圧ホースは、液圧によって変形が生じないように工夫され、載荷部のゴムチューブ内に送り込んだ水または油の量が正確に測定できるようになっている。

載荷圧力は、地上部の圧力ゲージ、あるいはゴムチューブ直上に取り付けられた圧力センサーで検出される。

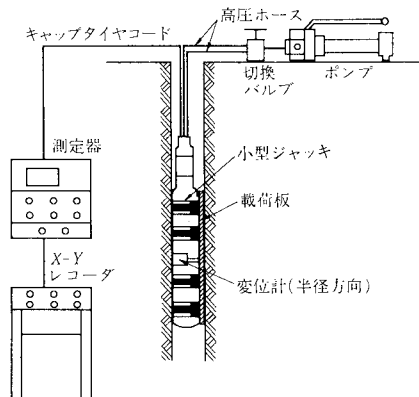
② 等変位載荷法

圧力源に油圧を用い、高圧ホースを介して載荷部に接続している。載荷部は長方形の鋼製の載荷板と小型ジャッキよりなり、載荷板の反対側の孔壁に反力をとって載荷する（図二）。この方式によって、高い加圧力を発生させることが可能である。載荷板は試験孔壁面と同曲率をもち全面を密着させるようにするが、それを確認するために感圧紙を用いることがある。測定可能な最大変位量（直径）は 12~16 mm 程度である。

載荷圧力は、ジャッキに内蔵されている圧力センサーによって検出される。

(3) 変位測定方式

載荷による試験孔孔壁の変位の測定法には 2 つの方式



図二 等変位載荷法による装置の一例

がある。すなわち、載荷部のゴムチューブ全体の容積変化から変位を求める方式と、載荷部の一点または数点の変位を直接測定する方式がある。

【解説】

載荷部全体の容積変化から変位を求める方式（間接測定法）は、液体（水または油）の載荷部のゴムチューブへの注入量から求めるもので、変位は試験区間全体の平均的な値を示す（図三(a)）。注入量は試験孔孔口の容積計で読み取る方式のものと、プローブに内蔵された容積計で読み取る方式のものがある。前者の場合、圧力を伝達する高圧ホースは特殊な加工が施され膨縮しないような構造になっているが、液体の圧縮性とともにより圧力測定系全体のキャリブレーションを行って補正する必要がある。

試験孔孔壁の変位を直接測定する方式（直接測定法）は、プローブに直接差動トランス式の変位計等を取り付け、一点あるいは数点の変位を測定するものである（図三(b)）。現在のところ研究段階であるが、数点の変位

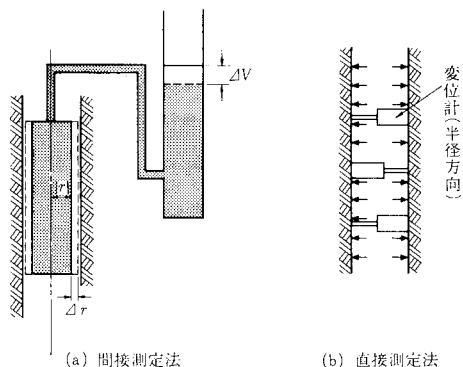


図-3 変位測定方式の一例

を測定することのできる装置では、地盤の不均質性や異方性の測定ができる可能性がある。

いずれの方式においても、変位の最小読取単位は  $10^{-2}$  ~  $10^{-3}$  mm 程度である。

#### 4. 試験準備

##### (1) 試験箇所の選定

試験に際しては試験の目的や地質条件、試験個数等を考慮して適切な箇所を選定する。

##### 【解説】

孔内载荷試験の試験箇所は、試験目的、予想される地質状況、試験孔の配置、深度等を総合的に検討して選定する。設計地盤定数や岩盤分類を目的として行う場合、一般に次の方針で試験箇所を選定する。

##### ① 設計地盤定数を得ることを目的とする場合

対象とする地質区分や岩盤区分の設計地盤定数を得るためには、それらの代表的な値、または平均的な値を得ることが必要で、同じ地質または岩盤区分に属するとみられる部分で少なくとも3点以上の試験を行う。この場合の試験箇所は、対象とする範囲の地質条件を考慮しながらボーリングコアの観察を入念に行って、代表的で同一コア状態のところを選定する。ただし、同一孔内での測定点間隔は、隣接位置の試験による影響を避けるために载荷部分の中心点間距離で約1.0 m以上離すことが多い。

##### ② 岩盤分類を目的とする場合

ボーリングコアの観察による判定等と孔内载荷試験結果を併せて、岩盤を工学的に分類する目的の場合には、試験データの偏りを避けるために、原則として等間隔で試験することが多い。試験間隔は、対象構造物の種類や規模、あるいは地質状況に応じて適宜決められるが、浅い所では密に深い所では粗にする場合が多い。たとえば大型橋梁基礎の場合には、50 m未満のボーリング孔では2~4 m間隔、50~100 m未満では4~7 m間隔、100

m以上では10 m前後等の間隔で試験した例がある。

##### (2) 点検とキャリブレーション

試験に先立ち、試験装置は入念な点検とキャリブレーションを行う。

##### 【解説】

孔内载荷試験装置のプローブは試験孔内に挿入されるので、载荷装置や変位測定装置の動きや状態を直接目視することができない。また、硬質岩地盤では変位量が非常に小さく、変位の測定精度はかなり高いことが要求され、わずかな誤差でも結果に与える影響が大きい。さらに载荷部の劣化や変形、センサーのドリフト等、測定系全体として誤差を生じる場合もある。したがって装置全体の点検やキャリブレーションは試験に先立って入念に行う必要がある。

ゴムチューブを膨張させる等圧分布载荷方式では、ゴムチューブを膨張させるのに必要な圧力や水の圧縮量等をあらかじめ地上で測定し、これによって測定値の補正を行う。

剛体载荷板を押しつける等変位载荷方式では、ジャッキ部や変位検出部の点検を行う。

##### (3) 試験孔の掘削と試験箇所の確認

試験孔の掘削に当たっては、使用するプローブに合わせて試験孔径を選定する。また試験孔の孔壁は試験精度をよくするためにできるだけ平滑に仕上げなければならない。なお試験に先立って試験箇所の地質条件や孔壁の状態の確認等を行う。

##### 【解説】

試験孔径が大きすぎると、プローブの変位測定限界を越え、試験の途中で測定できなくなることがある。深いボーリングの場合は、段落しやケーシング挿入計画を入念にたて、試験区間の孔径が使用するプローブに合うように計画しなければならない。また試験孔は一定の直径で、孔壁はできるだけ平滑に仕上げる必要がある。孔壁を平滑に仕上げるために場合によっては、軟質岩地盤でもダイヤモンドビットを使ったり、削孔法も送水による孔壁の損傷を少なくするために循環泥水の代わりに特殊な液体を使うことがある。いずれにしても試験孔の掘削に際しては、適切な掘削条件(ビット圧、回転数、送水圧、送水量等)で、慎重な掘削を行う必要がある。試験箇所の地質や地盤条件は採取されたボーリングコアの観察によって確認するのが普通であるが、孔径の変化や孔壁の乱れについてはキャリバーログ(孔径測定)等による計測が望ましい。地質や地盤条件が相違したり、孔径の変化や孔壁の乱れが認められた場合には、試験箇所の変更が必要である。なお、試験は試験予定深度の掘削終了後できるだけ早期に実施することが望ましい。特に軟質な地盤や膨張性のある地盤では時間の経過とともに孔壁状

態が悪くなりやすいので、試験はできるだけすみやかに実施する必要がある。

## 5. 試験方法

### (1) 最大荷重

最大荷重は試験目的や地質に応じて適宜設定する。

#### 【解説】

試験目的が当該構造物によって発生する応力レベル付近の変形特性等を調査する場合は、最大荷重としてその応力レベルの1.5~2.0倍程度に設定するのが一般的である。低荷重領域で試験を行うと試験孔孔壁の乱れや孔壁周辺部の緩みの影響が大きくなりやすく、測定結果の判定に際してはこれらの点に十分配慮する必要がある。

試験目的が、当該地域の一般的な変形特性や強度特性を調査する場合や岩盤分類を主目的とする場合は、従来の実施例によると、対象岩盤が軟質岩地盤の場合は載荷強度100 kgf/cm<sup>2</sup>以内で荷重強度~変位関係に変曲点(降伏点)が認められることが多く、最大荷重を100 kgf/cm<sup>2</sup>程度としているのが普通である。硬質岩地盤では、数100 kgf/cm<sup>2</sup>でも変曲点が認められない場合が多いが、特殊な例を除き、200 kgf/cm<sup>2</sup>程度を最大荷重としている。なお、岩盤分類のために数多くの箇所での試験が必要な場合では、50 kgf/cm<sup>2</sup>程度を最大荷重としている例もある。

### (2) 載荷パターン

載荷パターンは試験の目的、地質条件等を考慮し適切なものを選ぶ。

#### 【解説】

孔内載荷試験の載荷パターンはいまだ標準的なものが確立されておらず、試験目的や対象岩盤に応じて適宜定められているのが現状である。現在よく用いられている基本的な載荷パターンは

- ① 単調載荷パターン
- ② 階段載荷パターン

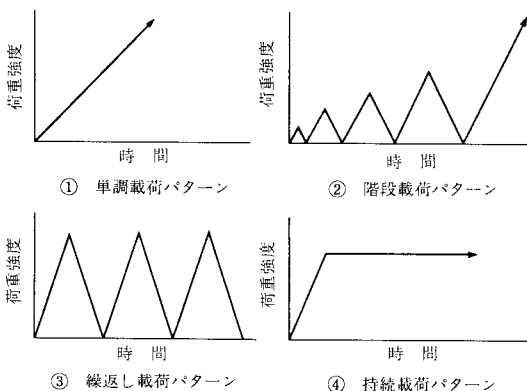


図-4 基本載荷パターン(連続載荷の場合)

- ③ 繰返し載荷パターン
- ④ 持続載荷パターン

の4種類に分けられる(図-4)。

荷重の増加のさせ方には、連続的に増加させる場合(連続載荷)と、載荷重を何段階かに区切り各段階ごとに荷重を一定時間保持してから次の段階に移る断続的な増加のさせ方(断続載荷)とがある。この断続的載荷は軟質岩地盤や破砕帯などのように、変形特性が載荷時間によって変化しやすい地盤の特性を知ろうとする場合に適用されている。荷重の保持時間は特殊な例を除き、試験の全体に要する測定時間が極端に長くない範囲で定められるのが普通であり、一般に2分間としているものが多い。

単調載荷パターンは、所定の荷重強度まで一様に載荷するパターンである(図-4①)。

階段載荷パターンは最大荷重までを3~5の荷重レベルに分け、各荷重レベルに対し載荷および除荷を繰り返して最大荷重ないしは降伏点や破壊点に達するまで荷重レベルを増加させていくパターンである(図-4②)。

繰返し載荷パターンは特定の荷重レベルを定め、この荷重に対し載荷および除荷を繰り返すパターンである(図-4③)。このパターンは階段載荷パターンと組み合わせられて適用されるのが普通である。これは、地盤の変形試験(平板載荷試験)とはほぼ同様なパターンであり、地盤の変形係数や弾性係数をはじめ応力レベルや繰り返しによるそれらの変化を求める場合に適用されている。このパターンの場合、試験時間がかかり長時間になることなどから、荷重の増加のさせ方は連続的とする場合が多い。連続的に増加させる場合でも、かなりの時間を要するので、試験箇所の選定や繰返し荷重の設定など試験計画は慎重な配慮が必要である。

持続載荷パターンは、通常のクリープ試験に相当し、地盤のクリープ特性を知ろうとする場合に適用される(図-4④)。現状での実施例はきわめて少ないが原位置でのクリープ特性は地盤の重要な要素であり、試験機器の開発、改良を含めて今後取り組まなければならない課題と思われる。

### (3) 載荷速度

載荷速度は、載荷および除荷のいずれの場合にも1~10 kgf/cm<sup>2</sup>/minの範囲で設定する。

#### 【解説】

載荷速度の違いが試験結果に与える影響は現在ではいまだ十分解明されていないため、平板載荷試験の指針<sup>1)</sup>に準じて1~10 kgf/cm<sup>2</sup>/minの範囲で設定される場合が多い。最大荷重が100 kgf/cm<sup>2</sup>以下の場合や、含水比の高い軟質岩地盤を対象とする場合は1~5 kgf/cm<sup>2</sup>/min(通常2 kgf/cm<sup>2</sup>/min)と比較的小さな速度で載荷および

び除荷するが、最大荷重の大きい硬質岩地盤を対象とする場合は5～10 kgf/cm<sup>2</sup>/min（通常5 kgf/cm<sup>2</sup>/min）の速度で載荷および除荷することが多い。

#### (4) 荷重および変位量の測定

荷重および変位量の測定は同時に行う。測定間隔は、設定した最大荷重の1/10以下の荷重変化ごとに測定し、得られる荷重強度～変位曲線ができるだけスムーズな形状になるようにする。

##### 【解説】

荷重の測定は、載荷部に荷重を伝達する油圧または水圧等をおのおののゲージで読み取ることによって行われる。圧力ゲージの読み取り精度は、設定される最大荷重によって異なるが、通常フルスケールの0.1～0.5%程度である。なお、地表から圧力水を送り、その圧力を読み取る方式の場合は、測定深度に相当する孔内の水頭圧による補正をしなければならない。

変位量の測定方法は機種によって異なる（表—1）。水や油の容積変化から孔壁の変位量を測定するタイプでは、測定区間の孔壁の変位の平均値が求められ、孔壁の変位を直接読み取るタイプでは、地盤の不均質性または異方性に関する情報を得ることも可能である。

硬質岩地盤などでは変位量はきわめて小さく、それだけにかなり高い測定精度が要求され、表—1に示すように変位量の測定には $10^{-2}$ ～ $10^{-3}$  mm程度の読み取りまたは換算ができるものが使用されている。

## 6. 試験結果の整理と報告

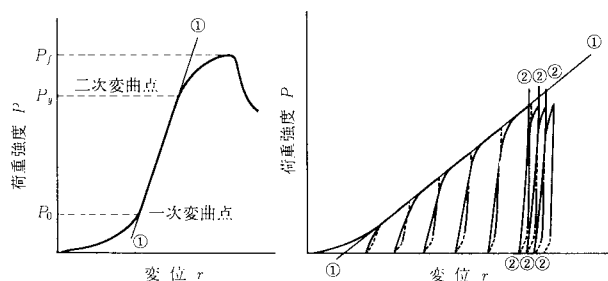
### (1) データの整理

測定したデータから荷重強度とそれに対応する変位を求め、これに基づいて荷重強度～変位曲線を作成する。

##### 【解説】

測定により得られたデータは、データシート（参考—1）に記録し、機種によって必要な変換や補正を行った後に、縦軸に荷重強度、横軸に変位をとった荷重強度～変位曲線を作成する（図—5）。

### (2) 荷重強度～変位曲線の特異点



図—5 荷重強度～変位曲線の例

荷重強度～変位曲線から地盤の特性を知るために変曲点を求める。

##### 【解説】

単調載荷の場合の荷重強度～変位曲線は一般に図—5(a)のようになり、曲線には2つの変曲点が認められる場合が多い。つまり荷重強度の小さな段階で認められる変曲点は一次変曲点とよばれ、その荷重強度は $P_0$ と称されている。この一次変曲点は載荷板のなじみや、ボーリング孔掘削によって応力解放を受けた孔壁が押し戻され、孔壁周辺の地盤が掘削前に近い状態に戻った点と考えられている。ただし、掘削による影響をほとんど受けない硬質で割れ目の少ない地盤では、この変曲点が認められない場合もある。この一次変曲点を越すと荷重強度と変位はほぼ直線的に変化し、ほぼ弾性的な挙動を示す。

さらに荷重を上げると直線性が失われ変位が急増する点がある。この点を二次変曲点とよび、その荷重強度は $P_y$ （降伏圧）と称されている。二次変曲点を越え変位量が急増する領域では、地盤は弾性状態を過ぎだいに破壊が生じ始め、荷重の増加とともにそれが進行するものと考えられている。さらに、荷重を増加させようとしても荷重が増加しなくなったり、場合によっては荷重が急激に低下することがあり、このときの最大値を $P_f$ （極限圧）と称することもある。

軟質岩地盤においては断続載荷による場合など荷重を保持している間に発生する変位量（クリープ変位量）の変化から、これらの変曲点を比較的明瞭に求めることができる場合がある。

### (3) 変形係数等の求め方

荷重強度～変位曲線から変形係数および弾性係数を求める。

##### 【解説】

一般に変形係数（ $D_0$ ）は、荷重強度～変位曲線における処女載荷部にあたる直線部分（①-①）の勾配、弾性係数（ $E_0$ ）は繰返し載荷部の接線（②-②）の勾配から求める（図—5）。

変形係数（ $D_0$ ）は、節理や亀裂による岩盤の緩みなどの影響を含んだ変形特性を表わすと考えられている。設計に用いる場合には施工時の掘削による緩みと試験地点の緩みとの相関性について十分な吟味が必要である。一方、弾性係数（ $E_0$ ）は、岩盤の弾性的変形特性を表わすものとして弾性計算に使われる場合が多いが、 $E_0$ を求めた荷重の範囲と設計応力との対応やばらつき処理などについて慎重な配慮が必要である。

$D_0$ および $E_0$ の求め方を機種別に示すと次のとおりである。なお、式中のポアソン比（ $\nu$ ）は地盤によって異なるが、一般に硬質岩地盤で

表-2  $\phi(\nu, \beta)$ 表

$\beta$ (度)	$\nu=0$	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

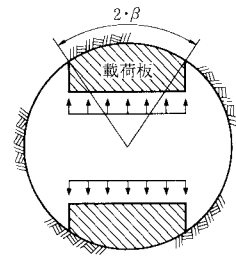


図-6 等変位載荷方式の載荷角度

は 0.2, 軟質岩地盤では 0.4 が用いられている。

① プレシオメーター

$$D_b, E_b = 2(1 + \nu)(V_0 + V_m) \cdot \frac{1}{\frac{dV}{dp} - \alpha}$$

$\nu$ : ポアソン比

$V_0$ : 測定管の初期容積 (cm<sup>3</sup>)

$V_m$ :  $p = \frac{(p_0 + p_f)}{2}$  における測定管の容積 (cm<sup>3</sup>)

$p$ : 載荷重 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\alpha$ : 測定系の圧縮補正係数 (cm<sup>3</sup>/kgf/cm<sup>2</sup>)

$\frac{dV}{dp}$ : 荷重増分と容積増分との比 (cm<sup>3</sup>/kgf/cm<sup>2</sup>)

② エラストメーター

$$D_b, E_b = (1 + \nu)R_m \cdot \Delta p / \Delta r$$

$\nu$ : ポアソン比

$\Delta p / \Delta r$ : 荷重強度～変位曲線の勾配 (kgf/cm<sup>2</sup>/cm)

$R_m$ : 勾配を求めた区間の midpoint の試験孔半径 (cm)

③ KKT (グッドマンの式)<sup>2)</sup>

$$D_b, E_b = R_0 \cdot \phi(\nu, \beta) \cdot \Delta p / \Delta r$$

$R_0$ : 初期の試験孔の半径 (cm)

$\phi(\nu, \beta)$ : ポアソン比と載荷角度の関数 (表-2, 図-6)

$\nu$ : ポアソン比

$\beta$ : 載荷角度 (度)

$\Delta p / \Delta r$ : 荷重強度～変位曲線の勾配 (kgf/cm<sup>2</sup>/cm)

(4) 試験結果の報告

試験結果の報告に際しては、目的、試験箇所、地盤状況、試験方法、測定値、変形係数等について記載し、荷重強度～変位曲線等の必要な図面を添付する。

【解説】

試験結果の報告に際しては、少なくとも次の事項についての記載が必要である。

① 試験の目的

試験の目的をできるだけ具体的に記載する。

② 試験箇所

試験箇所のボーリング孔番号と深度について記載する。なお、口径測定等を行った場合は、その状況や測定結果も記載する。

③ 試験箇所の地盤状況

試験箇所 (測定中心点から上・下各 50 cm 程度の区間) の地盤状況については次の事項を記載する。

(i) 岩種

(ii) 岩質

(iii) 割れ目 (節理, 亀裂) 等の地質的不連続面の状況

(iv) RQD

(v) 地下水

(vi) その他測定結果の判定に必要と思われる事項

④ 試験方法

使用した機種, 載荷パターン, 載荷速度等の試験方法について記載する。

⑤ 測定値

測定日時, 荷重強度, 変形量等を記録したデータシート等 (参考-1)

⑥ 荷重強度～変位曲線

測定値に基づいて荷重強度～変位曲線を描く (図-5)

⑦ 変曲点および変形係数等

$P_0, P_y, P_f, D_b, E_b$ などを記載する。なお、 $D_b$ や $E_b$ については計算に使った荷重範囲, 載荷・除荷の区別や計算式を明示する。

