

地盤のボアホールジャッキ試験方法

Method for borehole jack test of the ground

1 適用範囲

この基準は、ボーリング孔において孔壁面を剛体載荷板により等変位載荷方式で加圧して地盤の降伏圧力、地盤反力係数、変形特性を求める方法について規定する。本試験では、ボーリング孔壁面が滑らかでかつ自立する地盤で、深さ 100m までを対象とする。

2 引用規格及び基準

次に掲げる引用規格及び基準は、この基準に引用されることによって、その一部又は全部がこの基準の要求事項を構成している。この引用規格及び基準は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS A 0207 地盤工学用語

JGS 1521 平板載荷試験

3 用語及び定義

この基準で用いる主な用語及び定義は次によるほか、JIS A 0207 による。

3.1

ボアホールジャッキ試験

等変位載荷方式の孔内載荷試験であり、剛体載荷板を用いて試験孔の孔壁面に対して圧力を垂直方向に載荷し、そのときの載荷圧力及び孔壁面の変位から、降伏圧力、地盤反力係数及び変形特性を求める試験

3.2

等変位載荷方式

剛体載荷板を用いて孔壁面を強制的に等変位状態で加圧する載荷方式

3.3

試験深さ

地表からボアホールジャッキ載荷板中央までの深さ

3.4

降伏圧力, p_y

載荷圧力-孔壁変位曲線において勾配が急変するときの載荷圧力

3.5

地盤反力係数, K

載荷圧力-孔壁変位曲線における直線部の勾配

3.6

地盤の変形特性

土質地盤の場合には、ボアホールジャッキ試験による変形係数 E_D 、岩盤の場合には、同試験による変形係数 E_D ・接線弾性係数 E_t ・割線弾性係数 E_s

3.7

変形係数, E_D

新規載荷荷重における載荷圧力ー孔壁変位曲線を包絡する直線の勾配を用いて算出する値

3.8

接線弾性係数, E_t

載荷圧力ー孔壁変位曲線の最大荷重繰返し載荷部の直線部分の勾配を用いて算出する値

3.9

割線弾性係数, E_s

載荷圧力ー孔壁変位曲線の最大荷重繰返し載荷部の始点及び終点とを結ぶ直線の勾配を用いて算出する値

3.10

載荷面曲率, β

ボアホールジャッキの中心から載荷板両翼に広がる中心角の 1/2 の角度 (図 1)

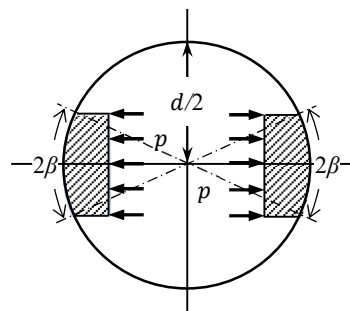


図 1—載荷面曲率 β

4 試験装置

4.1 試験装置の構成

試験装置は、円筒形のボアホールジャッキの一部が金属製の載荷板で構成される等変位載荷方式で、孔壁を加圧するボアホールジャッキ、圧力・変位の測定・記録部、圧力発生部及びこれらを接続するホース・信号ケーブルから構成される。ボアホールジャッキ試験装置の基本構成例を図 2 に示す。(a) は従来型として地上に圧力計及びスタンドパイプを設置する方式 (以下、スタンドパイプ方式) 又は変位をボアホールジャッキからの油吐出重量で測定する方式 (以下、重量測定方式) である。(b) は、近年一般的となっているボアホールジャッキに変位計及び圧力計が内蔵されたタイプ (以下、内蔵型) である。

4.2 ボアホールジャッキ

測定円管周面の一部が載荷板であるような構造を有するもの。内部に小型油圧ジャッキを有する。ボアホールジャッキの基本構造を図 3 に示す。内蔵型では、ボアホールジャッキ内部に圧力計及び変位計が設置される。なお、ボアホールジャッキには載荷板が両開きタイプ及び片開きタイプがある。一般に土質地盤の場合は前者を、岩盤の場合は後者を用いる。

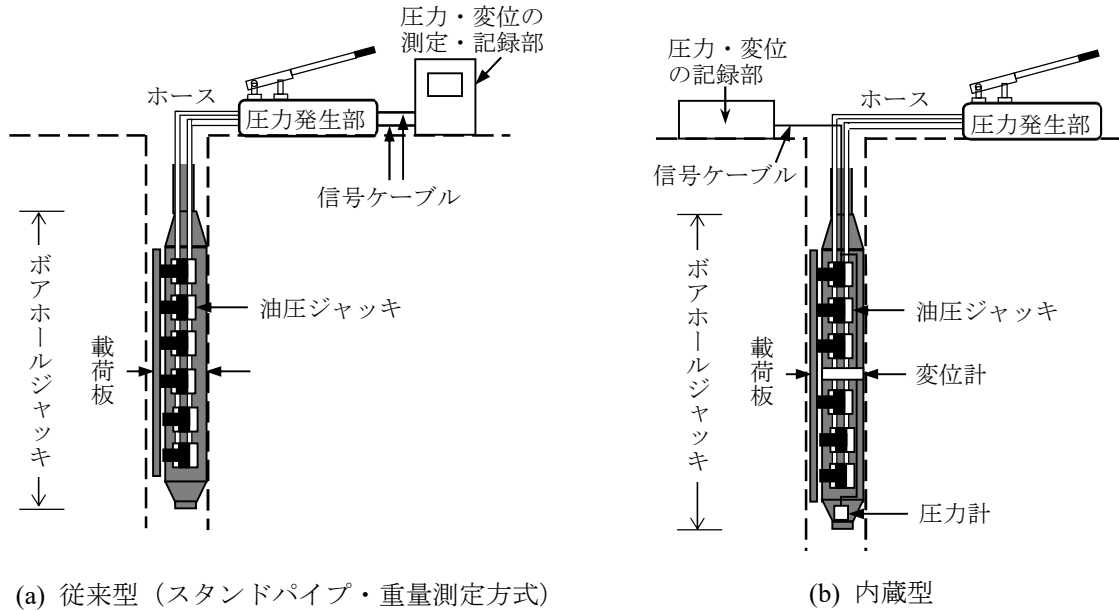


図 2—ボアホールジャッキ試験装置の基本構成例

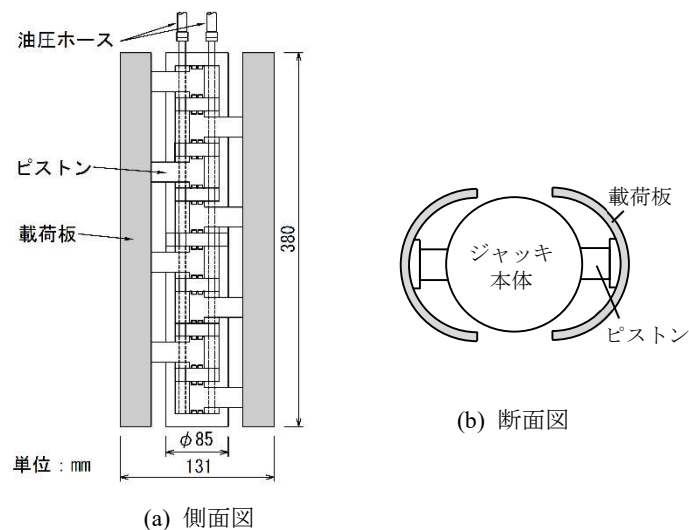


図 3—ボアホールジャッキの基本構造
(载荷板が両開きの場合)

4.3 圧力・変位の測定・記録部圧力・変位計及び記録部

スタンドパイプ方式では圧力計及びスタンドパイプ、重量測定方式では圧力計、重量計及び記録部（データロガー）で構成され、地上に配置される。内蔵型では圧力・変位計はボアホールジャッキに内蔵されているため、地上では記録部のみとなる。载荷圧力の測定精度は、重量測定方式及び内蔵型の場合は表示圧力の 1%程度又は測定最大圧力の 0.5%程度が望ましい。孔壁変位の測定精度は、土質地盤では 1/10 mm 以上、軟岩では 1/100 mm 程度以上、硬岩では 1/1000 mm 程度とするのが望ましい。

4.4 圧力発生部

ボアホールジャッキに所定の範囲の油圧力などを供給できるポンプ。

4.5 ホース及び信号ケーブル

ホースは加圧に対する膨張量の少ないもので、圧力発生部からボアホールジャッキまで圧力の伝達ロスが生じない十分な断面及び耐圧性能を有するもの。信号ケーブルは十分な防水性能を有するもの。

4.6 載荷板

地盤の変形に対してそれ自体の変形が無視できる十分な剛性を有し、かつ接触面が孔壁に対して適切な曲率を有するもの（図 3(b)）。載荷板の長さは有効載荷幅（孔壁に対してすべりを伴わずに密着する載荷幅）に対して 6 倍以上とする。

5 試験方法

5.1 試験孔の掘削

試験孔の径はボアホールジャッキの径とほぼ同じ大きさとし、乱れの少ない孔壁に仕上げる。土質地盤では、試験孔の掘削が終了してから 2 時間以内出来るだけ速やかに開始することが望ましい。

5.2 試験箇所

試験の目的及び数量、地盤の状況を考慮して試験箇所を選定する。試験深さの最小間隔は隣接する試験箇所の載荷の影響がないように、ボアホールジャッキの長さの 1.5 倍以上とする。また、載荷板の上端は、試験孔口から 0.5 m 以上、下端は試験孔底部から 0.5 m 以上離す。

5.3 準備

ボアホールジャッキ及びホースの準備は、次による。

- a) ボアホールジャッキ、圧力変位の測定・記録部及び油圧ポンプを注入・排出の 2 系統のホースで接続し、それぞれに油を循環させてホース中の気泡を除去する。
- b) ボアホールジャッキへの注入量からボアホールジャッキ載荷板の半径方向変位量を算出するスタンドパイプ方式の場合は、各圧力に対するボアホールジャッキ及びホースからなるボアホールジャッキ系の体積変化補正を実施し、補正量を求めておく。100 kN/m²の加圧で体積補正量がボアホールジャッキ系の初期体積の 0.1 % 以下の場合、補正を無視して良い。
- c) ボアホールジャッキを降下する前に載荷板の開閉を確認する。このとき載荷板上下端の傾斜が 3° 以下となっていることを確認し、そうでない場合はボアホールジャッキのピストン等を整備しておく。

5.4 ボアホールジャッキの設置

載荷板を閉じた状態でボアホールジャッキを試験孔中に挿入する。

5.5 載荷方法

載荷手順は、次による。

- a) 測定深さに達した後、孔壁と載荷板とを密着させるため、試験開始時圧力 q_s として測定最大圧力の 2 % ~ 5 % 程度を加圧する。
- b) スタンドパイプ方式の場合はこのときの値を記録し、これを初期値とする。
- c) 油圧ポンプを作動させ、ボアホールジャッキ内圧力を段階的に上昇させる。
- d) 各圧力段階で所定圧力を一定時間保持し、載荷圧力 p 及び孔壁変位 r を測定し、経過時間とともに記録する。

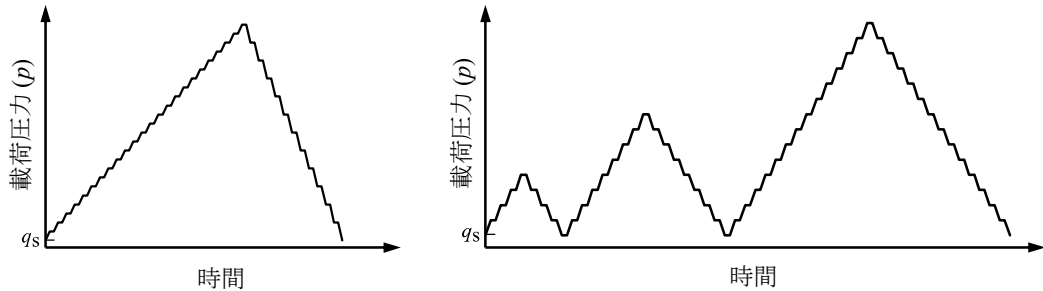
5.5.1 載荷パターン

載荷パターンは、次の試験目的に合わせて設定する。載荷パターンの例を図 4 に示す。

- a) 土質地盤を対象とする場合には、図 4 (1) の段階的な単調載荷を基本とする。岩盤において変形係数のみを求めることが目的の場合は段階的な単調載荷を用い、変形係数及び弾性係数の両方を求めること

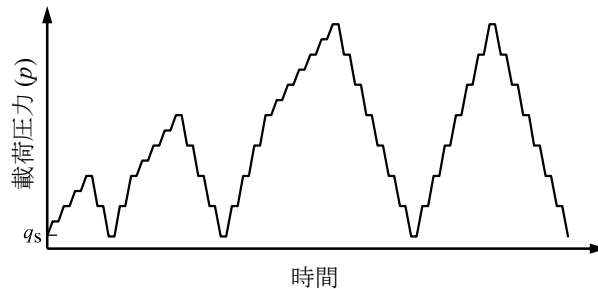
を目的とする場合は、**図 4 (2)** 又は **図 4 (3)** の段階的な繰返し载荷を用いる。

- b) 段階的な繰返し载荷は、一般に 3~5 回程度の繰返し回数で実施するが、必要に応じ、**図 4 (1)~(3)** のパターンを組み合わせることができる。
- c) クリープ特性の把握を対象とする場合は、圧力保持時間を長時間とする。



(1) 段階的な単調载荷

(2) 段階的な繰返し载荷 (その 1)



(3) 段階的な繰返し载荷 (その 2)

図 4—载荷パターンの例

5.5.2 载荷圧力

载荷圧力の設定は、次による。

- a) 土質地盤の場合は、原則として降伏圧力を確認するまで载荷を継続するが、油圧ポンプ及びホースの耐圧性能に達しないよう留意する。岩盤の場合は、最大载荷圧力を設計応力の 2~3 倍の範囲で設定することが多い。
- b) 载荷圧力増分は想定される極限支持力又は最大载荷圧力の 1/10 以下とする。
- c) 除荷時には最小圧力が初期圧力 q_c を下回らないようにするのが望ましい。

5.5.3 载荷速度及び除荷速度

载荷速度及び除荷速度は、载荷速度を 1.0 MPa/分程度以下とすることが望ましい。ただし、**図 4 (3)** のように除荷及び再载荷の場合には、载荷時の 2 倍の速度としてもよい。

5.5.4 载荷圧力及び変位の測定間隔

载荷圧力 p 及び孔壁変位 r の測定は、各圧力段階に達した後、原則として 15 秒、30 秒、1 分とし、測定終了後、速やかに次の圧力段階へ移行する。ただし、孔壁変位が一定値に落ち着くまでに時間を要する場合は、圧力保持時間を 2 分程度まで延長して測定を実施してもよい。また、クリープ特性を試験対象とする場合は、圧力保持時間を長時間にする。

5.6 試験の終了

試験は次の状態となったときに、終了とする。

- 土質地盤の場合は、降伏圧力 p_y を確認後したとき、数段階加圧して試験を終了する。
- 降伏圧力 p_y が確認できない場合は、ジャッキ、油圧ポンプ及びホースの最大加圧能力に達する前。
- 孔壁変位が載荷板の最大ストロークに達したとき。

5.7 ボアホールジャッキの回収

試験終了後、載荷板を閉じてボアホールジャッキを速やかに回収する。

6 試験結果の整理

6.1 載荷圧力の算出

載荷圧力 p は、各圧力段階で加圧 1 分後に対応する圧力に、圧力校正係数を乗じた値とする。ここで、圧力校正係数とは、ボアホールジャッキ内ピストンの総断面積を載荷板の面積で除した値とする。載荷板面積は、有効載荷幅 $B (=d \sin \beta)$ に長さ L を乗じて得られる。

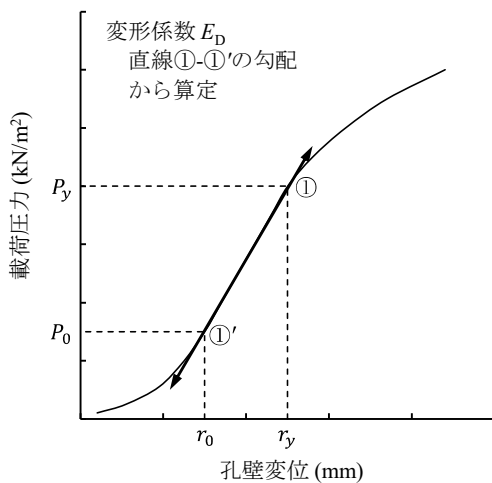


図 5—変形係数 E_D の算出
(単調載荷の場合)

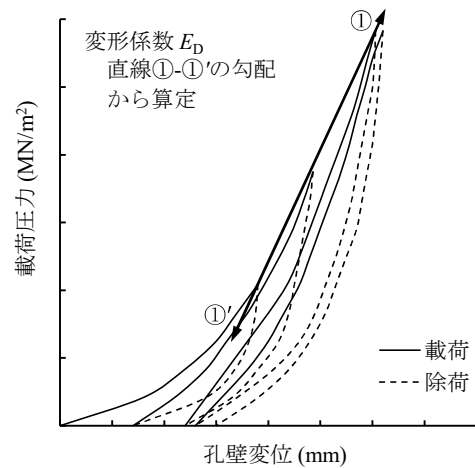


図 6—変形係数 E_D の算出
(岩盤で繰返し載荷の場合)

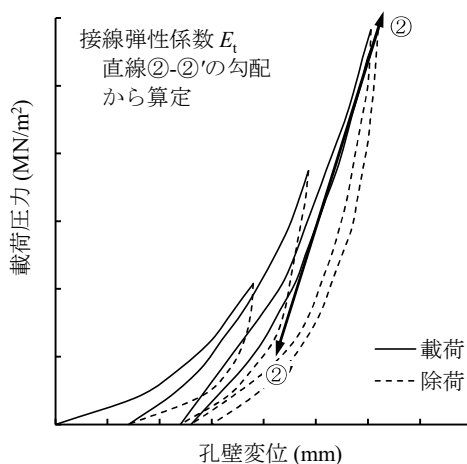


図 7—接線弾性係数 E_t の算出

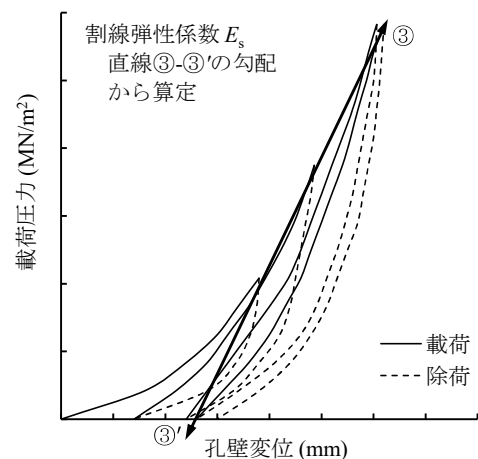


図 8—割線弾性係数 E_s の算出

6.2 孔壁変位の算出

孔壁変位 r は、各圧力段階で加圧 1 分後に対応するスタンドパイプの読み値又は変位計の値と初期値との差分に変位校正係数を乗じた値とする。ここで、変位校正係数とは、スタンドパイプ方式及び重量測定方式ではボアホールジャッキからの単位油吐出量当たりの載荷板変位とする。内蔵型では、変位計の値に対する実際の載荷板変位の比（両開きタイプ 1.0、片開きタイプ 0.5）となる。圧力保持時間を長くした場合は、その時間における読み値を用いる。

6.3 試験結果の図化

載荷圧力及び孔壁変位の測定結果に基づいて「載荷圧力—孔壁変位曲線」を作成する。載荷圧力—孔壁変位曲線は、各圧力段階における加圧 1 分後の載荷圧力及び孔壁変位の関係をプロットする。

6.4 降伏圧力の算出

土質地盤の場合、**図 5** において、曲線が直線部となり始めた起点 (p_0, r_0) 及び勾配が急変し再び曲線に変わる終点 (p_y, r_y) を決定し、終点の載荷圧力を降伏圧力 p_y とする。

6.5 地盤反力係数の算出

地盤反力係数 K は、土質地盤では**図 5** における直線部の勾配、岩盤で繰返し載荷を行う場合には**図 5** における直線①—①'の勾配とし、次式により算出する。

$$K = \frac{\Delta p}{\Delta r} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 K ：地盤反力係数 (kN/m³)

Δp ：**図 5** の直線①—①'の載荷圧力増分= $p_y - p_0$ (kN/m²)

又は**図 6** の直線①—①'の載荷圧力増分 (MN/m²)

Δr ：**図 5** の直線①—①'の変位増分= $r_y - r_0$ (mm)

又は**図 6** の直線①—①'の変位増分 (mm)

6.6 変形特性の算出

載荷圧力—孔壁変位曲線によって、土質地盤における変形係数又は岩盤における変形係数、接線弾性係数及び割線弾性係数を算出する。各変形特性の算出は、次による。

- a) 変形係数、接線弾性係数及び割線弾性係数は、円孔を有する無限等方弾性体の円孔境界面を、同曲率を有する剛体載荷板によって変位させた場合の弾性理論に基づき算出する。
- b) 変形係数 E_D は、式(1) によって算出された地盤反力係数 K に、試験孔径の半分（試験孔半径）及び地盤のポアソン比 ν 及び載荷面曲率 β から決まる $\varphi(\nu, \beta)$ を乗じた値とし、次式により算出する。

$$E_D = \frac{d}{2} \cdot \varphi(\nu, \beta) \cdot K \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 E_D ：変形係数 (kN/m²)

d ：初期試験孔径 (m)

$\varphi(\nu, \beta)$ ： ν, β から決まる値

K ：式(2) により求めた地盤反力係数 (= $\Delta p / \Delta r$) (kN/m³)

$\varphi(\nu, \beta)$ は弾性理論解から導かれる関数で、代表的な ν, β に対応する値を**表 1** に示す。

表 1—代表的な $\varphi(\nu, \beta)$ の弾性理論値

ν $\beta(^{\circ})$	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
20.0	0.971	0.964	0.935	0.880	0.793
25.0	1.079	1.073	1.043	0.984	0.888
30.0	1.158	1.154	1.124	1.062	0.960
35.0	1.212	1.211	1.182	1.119	1.011
40.0	1.243	1.245	1.218	1.154	1.044
45.0	1.254	1.259	1.233	1.171	1.061

c) 接線弾性係数 E_t 及び割線弾性係数 E_s は、**図 7** 及び **図 8** に示す荷重圧力—変位曲線のうち最大荷重の繰返し荷重部（最終ループの再荷重部）から、それぞれ次の方法で算出する。

- 1) 接線弾性係数 E_t は、荷重圧力—孔壁変位曲線のうち最大荷重繰返し荷重部の直線②—②'の勾配から次式で算出する。

$$E_t = \frac{d}{2} \cdot \varphi(\nu, \beta) \cdot \frac{\Delta p}{\Delta r} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 E_t ：接線弾性係数 (MN/m²)

Δp ：直線②—②'の荷重圧力の増分 (MN/m²)

Δr ：直線②—②'の変位の増分 (mm)

$\varphi(\nu, \beta)$ ：岩盤のポアソン比及び荷重面曲率から決まる定数

- 2) 割線弾性係数 E_s は荷重圧力—孔壁変位曲線のうち最大荷重繰返し荷重部の始点及び終点とを結ぶ直線(③—③')の勾配から次式で算出する。

$$E_s = \frac{d}{2} \cdot \varphi(\nu, \beta) \cdot \frac{\Delta p}{\Delta r} \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 E_s ：割線弾性係数 (MN/m²)

Δp ：直線③—③'の荷重圧力の増分 (MN/m²)

Δr ：直線③—③'の変位の増分 (mm)

$\varphi(\nu, \beta)$ ：岩盤のポアソン比と荷重面曲率から決まる定数

7 報告事項

試験結果について次の事項を報告する。

- a) 地点番号及び位置
- b) 試験深さ，試験孔径及び孔内水位
- c) 試験日時
- d) ボアホールジャッキの直径及び荷重板寸法
- e) 荷重圧力増分及び各測定時間における孔壁変位
- f) 荷重圧力—孔壁変位曲線及びこれらより得られる地盤の降伏圧力，地盤反力係数，変形特性及び算出に用いた ν, β
- g) 圧力校正係数，変位校正係数
- h) その他特記すべき事項
本基準と部分的に異なる試験方法を用いた場合には，その内容

地盤工学会基準 (JGS) の改正について

地盤工学会基準部

ボアホールジャッキ試験方法(JGS 3532-2024)

項目	改正案	現行基準	備考
1 適用範囲	この基準は、ボーリング孔において孔壁面を剛体載荷板により等変位載荷方式で加圧して地盤の降伏圧力、地盤反力係数、変形特性を求める方法について規定する。本試験では、ボーリング孔壁面が滑らかでかつ自立する地盤で、深さ 100m までを対象とする。	この基準は、ボーリング孔において孔壁面を剛体載荷板により等変位載荷方式で加圧して地盤の変形係数、降伏圧力を求める方法について規定する。ボーリング孔壁面が滑らかでかつ自立する地盤を対象とする。	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤対象の場合は変形係数及び弾性係数を求めるため、これらを変形特性と総称した。地盤反力係数はこれらを算定する上で必須のため追加した。 深さの限度は ISO22476-7:2012,Part7, : Borehole jack test に記載されており、整合性をとるため追記。
2 引用規格	<p>2. 引用規格及び基準</p> <p>次に掲げる引用規格は、この規格に引用されることによって、この規格の規定の一部を構成する。この引用規格は、その最新版(追補を含む。)を適用する。</p> <p>JIS A 0207 地盤工学用語</p> <p>JGS 1521 平板載荷試験</p>	なし	<ul style="list-style-type: none"> 章タイトルは他の基準と合わせ変更 規格・基準は JISA 0207 及び JGS 1521 の引用に伴い記載。
3 用語及び定義	この基準で用いる主な用語及び定義は次によるほか、JISA 0207 による。	この基準で用いる主な用語及び定義は、次による。	JISA 0207 引用に伴い追加。
3.6 変形係数 E	<p>3.6 地盤の変形特性</p> <p>土質地盤の場合には、ボアホールジャッキ試験による変形係数、岩盤の場合には、同試験による変形係数 E_D・接線弾性係数 E_t・割線弾性係数 E_s。</p>	地盤反力係数に試験孔径および地盤のポアソン比と載荷面曲率から決まる定数を乗じて算出した値。	<ul style="list-style-type: none"> 項目名及び本文は JGS 1521 平板載荷試験方法基準と類似させるとともに、対象を土質地盤と岩盤に分けて記載。 対象は変形係数だけではないため、変形特性に修正。
3.6 変形係数 E	<p>3.7 変形係数, E_D</p> <p>新規載荷荷重における載荷圧力-孔壁変位曲線を包絡する直線の勾配を用いて算出する値</p>	地盤反力係数に試験孔径および地盤のポアソン比と載荷面曲率から決まる定数を乗じて算出した値。	変形特性の各物性値について詳述。原理が同じである JGS 1521 平板載荷試験方法基準と類似表現とした。
	<p>3.8 接線弾性係数, E_t</p> <p>載荷圧力-孔壁変位曲線の最大荷重繰返し載荷部の直線部分の勾配を用いて算出する値</p>		同上
	<p>3.9 割線弾性係数, E_s</p> <p>載荷圧力-孔壁変位曲線の最大荷重繰返し載荷部の始点及び終点を結ぶ直線の勾配を用いて算出する値</p>		同上
3.7 載荷面曲率 β	<p>3.10 載荷面曲率, β</p> <p>ボアホールジャッキの中心から載荷板両翼に広がる中心角の 1/2 の角度 (図 1)</p>	ボアホールジャッキの中心から載荷板両翼に広がる中心角の 1/2 の角度。	載荷面曲率 β を示す図を追加。

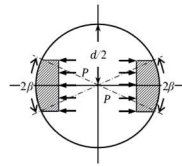
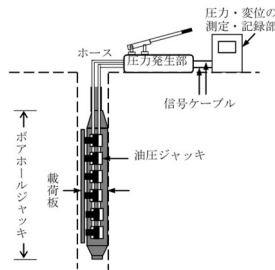


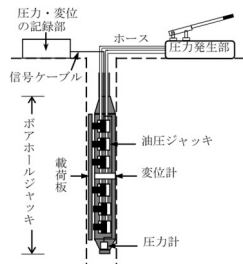
図1- 載荷面曲率 β

4 試験装置
4.1 試験装置の構成

試験装置は、円筒形のボアホールジャッキの一部が金属製の載荷板で構成される等変位載荷方式で、孔壁を加圧するボアホールジャッキ、圧力・変位の測定・記録部、圧力発生部及びこれらを接続するホース・信号ケーブルから構成される。ボアホールジャッキ試験装置の基本構成例を図2に示す。
(a) は従来型として地上に圧力計及びスタンドパイプを設置する方式（以下、スタンドパイプ方式）又は変位をボアホールジャッキからの油吐出重量で測定する方式（以下、重量測定方式）である。(b) は、近年一般的となっているボアホールジャッキに変位計及び圧力計が内蔵されたタイプ（以下、内蔵型）である。



(a) 従来型（スタンドパイプ・重量測定方式）



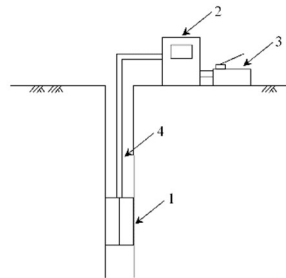
(b) 内蔵型

図2-ボアホールジャッキ試験装置の基本構成例

4.2 ボアホールジャッキ

測定円管周面の一部が載荷板であるような構造を有するもの。内部に小型油圧ジャッキを有する。ボアホールジャッキの基本構造を図3に示す。内蔵型では、ボアホールジャッキ内部に圧力計及び変位計が設置される。なお、ボアホールジャッキには載荷板が両開きタイプ及び片開きタイプがある。一般に土質地盤の場合は前者を、岩盤の場合は後者を用いる。

試験機は、円筒形のボアホールジャッキの一部が金属製の載荷板で構成される等変位載荷方式の試験機とし、孔壁を加圧するボアホールジャッキ、圧力・変位量の制御・測定部、圧力源及びこれらを接続するホースから構成される。
注記 ボアホールジャッキ試験の基本構成例を図1に示す。

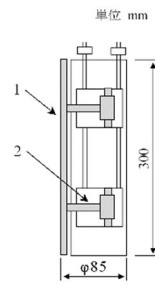


1:測定管 2:圧力・変位量の制御・測定器 3:圧力源 4:ホース

図1 ボアホールジャッキ試験基本構成例

測定円管周面の一部が載荷板であるような構造を有するもの。

注記 ボアホールジャッキの例を図2に示す。



1:載荷板(金属製) 2:ピストンジャッキ

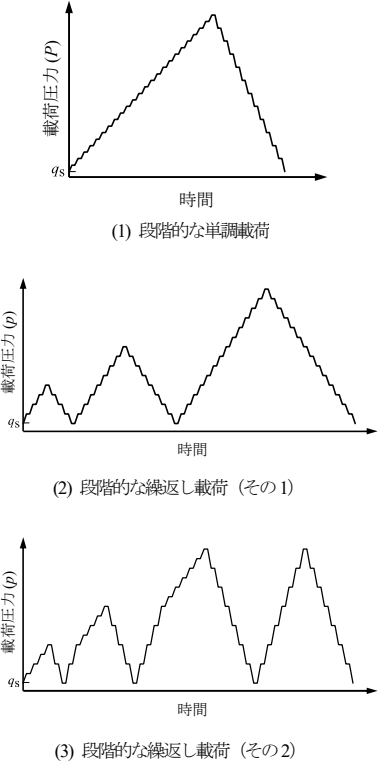
図2 ボアホールジャッキの例

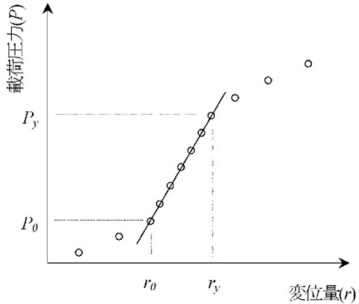
- 「試験機」は複数機器から構成されるため、「試験装置」に修正。
- 現行基準の図1は、各構成要素名を現在の装置に適合したものに図2として修正。

現行基準の図1は概念図であり、ISO22476-7:2012では実際のピストン数に合わせて縦断面図、横断面図が示されている。新基準ではこれと整合させるため、実際の機器に対応する図に差し替える。

	<p>図3-ボアホールジャッキの基本構造 (載荷板が両開きの場合)</p>		
<p>4.3 圧力・変位計及び記録部</p>	<p>スタンドパイプ方式では圧力計及びスタンドパイプ、重量測定方式では圧力計、重量計及び記録部(データロガー)で構成され、地上に配置される。内蔵型では圧力・変位計はボアホールジャッキに内蔵されているため、地上では記録部のみとなる。載荷圧力の測定精度は、重量測定方式及び内蔵型の場合は表示圧力の1%程度又は測定最大圧力の0.5%程度が望ましい。孔壁変位の測定精度は、土質地盤では1/10 mm 以上、軟岩では1/100 mm 程度以上、硬岩では1/1000 mm 程度とするのが望ましい。</p>	<p>4.3 圧力・変位量の制御・測定器</p> <p>圧力制御用のポンプと圧力計などを有するもの。孔壁変位量の測定は、加圧ジャッキの吐出油量などに基づいて測定できるスタンドパイプとし、測定精度は1/10 mm より良いもの。</p> <p>注記1 圧力と孔壁変位量は、ボアホールジャッキ内部に圧力計と変位計を設置して測定してもよい。</p> <p>注記2 硬岩を対象とする場合の孔壁変位量の測定精度は1/1 000 mm 程度が望ましい。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 節タイトルは現有機器に対応した名称に変更。 ・ 本文は従来のスタンドパイプ方式に加え、重量測定方式及び内蔵型を追記。 ・ 圧力と変位の測定精度は、ISO22476-7:2012 及びプレッシャーメータ試験基準との整合をとった記載とした。
<p>4.6 載荷板</p>	<p>地盤の変形に対してそれ自体の変形が無視できる十分な剛性を有し、かつ接触面が孔壁に対して適切な曲率を有するもの(図3(b))。載荷板の長さは有効載荷幅(孔壁に対してすべりを伴わずに密着する載荷幅)に対して6倍以上とする。</p>	<p>地盤の変形特性に対して十分な剛性を有するもの。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 載荷板としての条件を追記。 ・ 載荷板長に関する条件は、プレッシャーメータ試験基準との整合をとった記載とした。
<p>5 試験方法 5.1 試験孔の掘削</p>	<p>試験孔の径はボアホールジャッキの径とほぼ同じ大きさとし、乱れの少ない孔壁に仕上げる。土質地盤では、試験孔の掘削が終了してから出来るだけ速やかに開始することが望ましい。</p>	<p>5 試験方法</p> <p>試験方法は次のとおりとする。</p> <p>5.1 試験孔の掘削</p> <p>試験孔の径はボアホールジャッキの径とほぼ同じ大きさとし、乱れの少ない孔壁に仕上げる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 5章の前文は削除 ・ ISO22476-7:2012 では2時間以内に実施することとなっているが、我が国の実情を考慮した表現とした。
<p>5.2 試験箇所</p>	<p>試験の目的及び数量、地盤の状況を考慮して試験箇所を選定する。試験深さの最小間隔は隣接する試験箇所の載荷の影響がないように、ボアホールジャッキの長さの1.5倍以上とする。また、載荷板の上端は、試験孔口から0.5 m 以上、下端は試験孔底部から0.5 m 以上離す。</p>	<p>試験の目的や数量、地盤の状況を考慮して試験箇所を選定する。試験深さの最小間隔は隣接する試験箇所の載荷の影響がないように、ボアホールジャッキの長さの1.5倍以上とする。</p>	<p>載荷板位置に関して、ISO22476-7:2012 との整合性を図るため追記。</p>
<p>5.3 準備</p>	<p>ボアホールジャッキ及びホースの準備は、次による。</p> <p>a) ボアホールジャッキ、圧力変位の測定・記録部及び油圧ポンプを注入・排出の2系統のホースで接続し、それぞれに油を循環させてホース中の気泡を除去する。</p> <p>b) ボアホールジャッキへの注入量からボアホールジャッキ載荷板の半径方向変位量を算出するスタンドパイプ方式の場合は、各圧力に対するボアホールジャッキ及びホースからなるボアホールジャッキ系の体積変化補正を実施し、補正量を求めておく。100 kN/m² の加圧で体積補正量がボアホールジャッキ系の初期体積の0.1%以下の場合、補正を無視して良い。</p> <p>c) ボアホールジャッキを降下する前に載荷板の開</p>	<p>a) ボアホールジャッキ及びホース</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ボアホールジャッキ及びその地上測定部とのホース中の気泡を除去する。 2) ボアホールジャッキへの注入量からボアホールジャッキの半径方向変位量を算出する場合は、各圧力に対するボアホールジャッキ及びホースからなるボアホールジャッキ系の体積変化補正を実施し、補正量を求めておく。 <p>注記 100 kN/m² の加圧で体積補正量がボアホールジャッキ系の初期体積の0.1%以下の場合、補正を無視して良い。</p>	<p>a) 気泡除去方法は具体的に記載。</p> <p>b) 語句を補足。</p> <p>c) 載荷板の動作確認が必要、載荷板傾斜角の確認はISO22476-7:2012 との整合性を図るために必要。</p>

	閉を確認する。このとき載荷板上下端の傾斜が3°以下となっていることを確認し、そうでない場合はボアホールジャッキのピストン等を整備しておく。		
5.4 ボアホールジャッキの設置	載荷板を閉じた状態でボアホールジャッキを試験孔中に挿入する。	b) ボアホールジャッキの設置 ボアホールジャッキを試験孔中に挿入し、測定深さに達した後、スタンドパイプなどの値を記録し、これを初期値とする。	載荷板を閉じた状態であることを追記。スタンドパイプ方式での初期値読み取りについては5.5 載荷方法2)で記載するのが妥当。
5.5 載荷方法	<p>載荷手順は、次による。</p> <p>a) 測定深さに達した後、孔壁と載荷板とを密着させるため、試験開始時圧力 q_s として測定最大圧力の2%~5%程度を加圧する。</p> <p>b) スタンドパイプ方式の場合はこのときの値を記録し、これを初期値とする。</p> <p>c) 油圧ポンプを動作させ、ボアホールジャッキ内圧力を段階的に上昇させる。</p> <p>d) 各圧力段階で所定圧力を一定時間保持し、載荷圧力 p 及び孔壁変位 r を測定し、経過時間とともに記録する。</p>	<p>5.4 載荷及び測定</p> <p>ボアホールジャッキを段階的に加圧する。各圧力段階で一定圧力を一定時間保持し、載荷圧力 P と変位量 r を測定し、記録する。測定時間は加圧後15 秒, 30 秒, 1 分とし、測定終了後、速やかに次の圧力段階へ移行する。荷重増分は予想最大加圧力の1/10以下とする。</p> <p>注記1 載荷パターンの例を図3に示す。</p> <p>注記2 必要に応じ、単調載荷の中に除荷・再載荷のループを含めた繰返し載荷を行うことができる。</p> <p>注記3 載荷試験位置が深い場合や加圧力が一定値に落ち着くまでに時間を要する場合は、圧力保持時間を延長して測定を実施してもよい。</p> <p>注記4 クリープ特性を試験対象とする場合は、圧力保持時間を長時間にする。</p> 	<p>載荷方法として、載荷手順を記載する必要がある。</p> <p>a) ISO22476-7:2012 との整合性のため。</p> <p>b) 現行基準 5.3 b) の初期値についてはここでの記載が妥当。</p> <p>c) 語句を補足。</p> <p>d) 現行本文に語句を補足。</p> <ul style="list-style-type: none"> 現行基準の注記1~4は載荷パターン、載荷圧力、載荷・除荷速度及び測定間隔に関するものであり、ISO22476-7:2012、プレッシャーメータ試験方法及びJGS 1521 平板載荷試験方法と同様に項目立てするのが妥当。 現行注記3のうち、「載荷深度が深い場合や」は従来のスタンドパイプ方式を前提とした記載で、現在は内蔵型を用いるため記載不要。
5.5.1 載荷パターン	<p>載荷パターンは、次の試験目的に合わせて設定する。載荷パターンの例を図4に示す。</p> <p>a) 土質地盤を対象とする場合には、図4(1)の段階的な単調載荷を基本とする。岩盤において変形係数のみを求めることが目的の場合は段階的な単調載荷を用い、変形係数及び弾性係数の両方を求めることを目的とする場合は、図4(2)又は図4(3)の段階的な繰返し載荷を用いる。</p> <p>b) 段階的な繰返し載荷は、一般に3~5回程度の繰返し回数で実施するが、必要に応じ、図4(1)~(3)のパターンを組み合わせることができる。</p> <p>c) クリープ特性の把握を対象とする場合は、圧力保持時間を長時間とする。</p>	<p>図3 段階的な単調載荷パターンの例</p>	<p>現行の図3は土質地盤対象の場合であり、岩盤対象のパターンを図4として追加する。</p> <p>a) 土質地盤と岩盤に分けた記載が必要。</p> <p>b) 繰返し回数はISO22476-7:2012との整合性をとるため記載。</p> <p>c) 定荷重試験(クリープ試験)の載荷パターンは解説で述べる。</p>

	 <p>(1) 段階的な単調荷</p> <p>(2) 段階的な繰返し荷 (その1)</p> <p>(3) 段階的な繰返し荷 (その2)</p> <p>図4-荷荷パターン例</p>		
5.5.2 荷荷圧力	<p>荷荷圧力の設定は、次による。</p> <p>a) 土質地盤の場合は、原則として降伏圧力を確認するまで荷荷を継続するが、油圧ポンプ及びホースの耐圧性能に達しないよう留意する。岩盤の場合は、最大荷荷圧力を設計応力の2~3倍の範囲で設定することが多い。</p> <p>b) 荷荷圧力増分は想定される極限支持力又は最大荷荷圧力の1/10以下とする。</p> <p>c) 除荷時には最小圧力が初期圧力 q_c を下回らないようにするのが望ましい。</p>		<p>a) ホース耐圧性能に留意することが必要。最大荷荷圧力の設定に関する記載がなく、プレッシャーメータ試験方法での記載を追加。</p> <p>b) 現行基準 5.4 本文を転記。</p> <p>c) ISO22476-7:2012 に整合させた記載。</p>
5.5.3 荷荷速度及び除荷速度	<p>荷荷速度及び除荷速度は、荷荷速度を 1.0 MPa/分程度以下とすることが望ましい。ただし、図4(3)のように除荷及び再荷荷の場合には、荷荷時の2倍の速度としてもよい。</p>		<ul style="list-style-type: none"> 荷荷速度はプレッシャーメータ試験方法と統一。 標準的に用いられる除荷速度を倍速にするパターンは図示されたものがあるが、明文化されたものはないため、ここに記載する。
5.6 試験の終了	<p>試験は次の状態となったときに、終了とする。</p> <p>a) 土質地盤の場合は、降伏圧力 p_y を確認後したとき、数段階加圧して試験を終了する。</p> <p>b) 降伏圧力 p_y が確認できない場合は、ジャッキ、油圧ポンプ及びホースの最大加圧能力に達する前。</p> <p>c) 孔壁変位が荷荷板の最大ストロークに達したとき。</p>	5.5 試験の終了 降伏圧力 p_y 確認後、数段階で試験を終了する。降伏圧力 p_y が確認できない場合は、ジャッキ最大加圧能力に達する前に試験を終了する。	試験終了の基準を ISO22476-7:2012 に準拠。
5.7 ポアホールジャッキの回収	試験終了後、荷荷板を閉じてポアホールジャッキを速やかに回収する。	加圧力を開放し、ポアホールジャッキに注入した油を元の状態に戻し、ポアホールジャッキを回収する。	事故防止のため、荷荷板を閉じた状態で回収することが必要。
6 試験結果の整	荷荷圧力 p は、各圧力段階で加圧 1 分後に対応	荷荷圧力 P は、各圧力段階で加圧1分後に対応	<ul style="list-style-type: none"> 注記を本文に移動。

<p>理 6.1 載荷圧力の算出</p>	<p>する圧力に、圧力校正係数を乗じた値とする。ここで、圧力校正係数とは、ボアホールジャッキ内ピストンの総断面積を載荷板の面積で除した値とする。載荷板面積は、有効載荷幅 $B (=d \sin \beta)$ に長さ L を乗じて得られる。</p>	<p>する圧力に荷重校正係数を乗じた値とする。 注記 荷重校正係数は、ボアホールジャッキ内ピストンの断面積を載荷板の面積で除した値とする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 「荷重」は「圧力」に統一。 載荷板面積算定にあたり、有効載荷幅の記載が必要のため追記。
<p>6.2 孔壁変位の算出</p>	<p>6.2 孔壁変位の算出 孔壁変位 r は、各圧力段階で加圧 1 分後に対応するスタンドパイプの読み値又は変位計の値と初期値との差分に変位校正係数を乗じた値とする。ここで、変位校正係数とは、スタンドパイプ方式及び重量測定方式ではボアホールジャッキからの単位油吐出量当たりの載荷板変位とする。内蔵型では、変位計の値に対する実際の載荷板変位の比（両開きタイプ 1.0、片開きタイプ 0.5）となる。圧力保持時間を長くした場合は、その時間における読み値を用いる。</p>	<p>6.2 変位量の算出 変位量 r は、各圧力段階で加圧 1 分後に対応するスタンドパイプの読み値と初期値の差に変位校正係数を乗じた値とする。 注記 1 変位校正係数は、ボアホールジャッキからの単位油吐出量当たりの載荷板変位量とする。 注記 2 圧力保持時間を長くした場合は、その時間におけるスタンドパイプの読み値を用いる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 「変位量」は「孔壁変位」に統一。 現行基準に語句を補足。 注記 1,2 は本文に移動。 変位校正係数をスタンドパイプ式と内蔵型とで記載。
<p>6.3 試験結果の図化</p>	<p>載荷圧力及び孔壁変位の測定結果に基づいて「載荷圧力ー孔壁変位曲線」を作成する。載荷圧力ー孔壁変位曲線は、各圧力段階における加圧 1 分後の載荷圧力及び孔壁変位の関係をプロットする。</p>	<p>6.3 載荷圧力ー変位量関係図の作成 各圧力段階における加圧 1 分後の載荷圧力及び変位量をプロットして関係図とする。 注記 載荷圧力ー変位量関係図の例を図 4 に示す。</p>  <p>図 4 載荷圧力ー変位量関係図の例</p>	<ul style="list-style-type: none"> 原理及び算定方法が類似の JGS 1521 平板載荷試験方法と同じ項目名に修正。本文も同基準とほぼ類似の記載とする。 「変位量」は「孔壁変位」に統一。 現行基準の図 4 は土質地盤対象のため、岩盤を対象に含めたものを図 5~8 として修正・追加
<p>6.5 地盤反力係数の算出</p>	<p>地盤反力係数 K は、土質地盤では図 5 における直線部の勾配、岩盤で繰返し載荷を行う場合には図 5 における直線①ー①'の勾配とし、次式により算出する。</p> $K = \frac{\Delta p}{\Delta r} \dots\dots\dots(1)$ <p>ここで、K : 地盤反力係数 (kN/m^3) Δp : 図 5 の直線①ー①'の載荷圧力増分=$p_y - p_0$ (kN/m^2) 又は図 6 の直線①ー①'の載荷圧力増分 (MN/m^2) Δr : 図 5 の直線①ー①'の変位増分=$r_y - r_0$ (mm) 又は図 6 の直線①ー①'の変位増分 (mm)</p>	<p>地盤反力係数 K を載荷圧力ー変位量曲線における直線部の勾配とし、次式により算出する。</p> $K = \frac{\Delta P}{\Delta r}$ <p>ここに、K : 地盤反力係数 (kN/m^3) ΔP : 載荷圧力ー変位量曲線の直線部位における圧力増分=$P_y - P_0$ (kN/m^2) Δr : 載荷圧力ー変位量曲線の直線部位における変位増分=$r_y - r_0$ (m)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 土質地盤と岩盤に分けて記載の必要があり、図 5,6 に対して追加・修正。

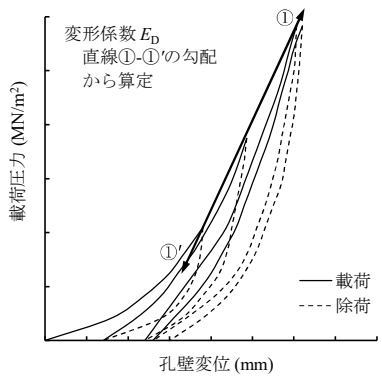


図6—変形係数 E_D の算出
(岩盤で繰返し載荷の場合)

6.6 変形特性の算出

載荷圧力—孔壁変位曲線によって、土質地盤における変形係数又は岩盤における変形係数、接線弾性係数及び割線弾性係数を算出する。各変形特性の算出は、次による。

- a) 変形係数、接線弾性係数及び割線弾性係数は、円孔を有する無限等方弾性体の円孔境界面を、同曲率を有する剛体載荷板によって変位させた場合の弾性理論に基づき算出する。
- b) 変形係数 E_D は、式(1) によって算出された地盤反力係数 K に、試験孔径の半分(試験孔半径)及び地盤のポアソン比 ν 及び載荷面曲率 β から決まる $\phi(\nu, \beta)$ を乗じた値とし、次式により算出する。

$$E_D = \frac{d}{2} \cdot \phi(\nu, \beta) \cdot K \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 E_D : 変形係数 (kN/m^2)
 d : 初期試験孔径 (m)
 $\phi(\nu, \beta)$: ν, β から決まる値
 K : 式(2) により求めた地盤反力係数 ($=\Delta p/\Delta r$) (kN/m^3)
 $\phi(\nu, \beta)$ は弾性理論解から導かれる関数で、代表的な ν, β に対応する値を表1に示す。

表1—代表的な $\phi(\nu, \beta)$ の弾性理論値

β (°)	ν				
	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
20.0	0.971	0.964	0.935	0.880	0.793
25.0	1.079	1.073	1.043	0.984	0.888
30.0	1.158	1.154	1.124	1.062	0.960
35.0	1.212	1.211	1.182	1.119	1.011
40.0	1.243	1.245	1.218	1.154	1.044
45.0	1.254	1.259	1.233	1.171	1.061

- c) 接線弾性係数 E_t 及び割線弾性係数 E_s は、図7及び図8に示す載荷圧力—変位曲線のうち最大荷重の繰返し載荷部(最終ループの再載荷部)から、それぞれ次の方法で算出する。

1) 接線弾性係数 E_t は、載荷圧力—孔壁変位曲線のうち最大荷重繰返し載荷部の直線②—②'の勾配から次式で算出する。

変形係数 E は、地盤反力係数に試験孔径、地盤のポアソン比と載荷面曲率から決まる定数 $\phi(\nu, \beta)$ を乗じた値とし、次式により算出する。

$$E = \frac{d}{2} \phi(\nu, \beta) \cdot K$$

ここに、 E : 変形係数 (kN/m^2)
 d : 初期試験孔径 (m)
 $\phi(\nu, \beta)$: 地盤のポアソン比と載荷面曲率から決まる定数
 K : 地盤反力係数 ($=\Delta p/\Delta r$) (kN/m^3)

注記1 変形係数の算定に使用する代表的な $\phi(\nu, \beta)$ の弾性理論解を表1に示す。

表1—代表的な $\phi(\nu, \beta)$ の弾性理論解

β	ν		
	0.30	0.40	0.50
45.0°	1.233	1.171	1.061

注記2 単調載荷の中に除荷・再載荷のループを含めた繰返し載荷を行った場合は、除荷・再載荷の過程からも変形係数を求めることができる。

- 「変形係数」は「変形特性」に修正。
- a)～d) は原理及び算定方法が類似する JGS1521 平板載荷試験方法と記載を整合させる必要があり修正。
- プレッシャーメータ試験方法と統一させ、変形係数は E_D とした。
- 式番号を付与。
- 表1は土質地盤用及び岩盤用機種を網羅する ν, β について計算。
- 注記1は本文に組み込み、注記2は新基準 5.5.1 b) で記載したため削除。
- 岩盤を対象とした記載。JGS1521 平板載荷試験方法に準じた記載。
- 図7～8として岩盤対象の図を作成。
- 弾性係数は下添字を用い、接線弾性係数及び割線弾性係数を識別。

$$E_t = \frac{d}{2} \cdot \varphi(v, \beta) \cdot \frac{\Delta p}{\Delta r} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 E_t : 接線弾性係数 (MN/m²)

Δp : 直線②-②'の荷重圧力の増分 (MN/m²)

Δr : 直線②-②'の変位の増分 (mm)

$\varphi(v, \beta)$: 岩盤のポアソン比及び荷重面曲率から決まる定数

2) 割線弾性係数 E_s は荷重圧力-孔壁変位曲線のうち最大荷重繰り返し荷重部の始点及び終点とを結ぶ直線(③-③')の勾配から次式で算出する。

$$E_s = \frac{d}{2} \cdot \varphi(v, \beta) \cdot \frac{\Delta p}{\Delta r} \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 E_s : 割線弾性係数 (MN/m²)

Δp : 直線③-③'の荷重圧力の増分 (MN/m²)

Δr : 直線③-③'の変位の増分 (mm)

$\varphi(v, \beta)$: 岩盤のポアソン比と荷重面曲率から決まる定数

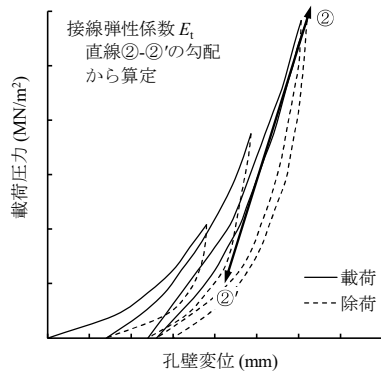


図7-接線弾性係数 E_t の算出

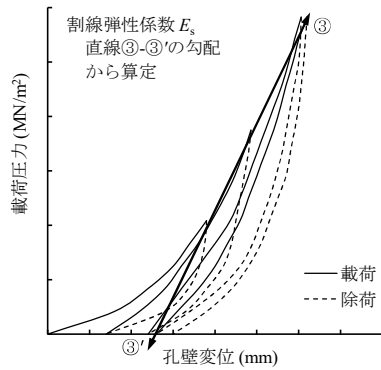


図8-割線弾性係数 E_s の算出