

# 新規制定の地盤工学会基準案「剛体載荷板による岩盤の 平板載荷試験方法」について

## 地盤工学会基準部

### 1. ま え が き

今回公示する学会基準案は、新規に制定を提案する「剛体載荷板による岩盤の平板載荷試験方法」に関するものである。原案は「岩盤の平板載荷試験方法基準化委員会」（委員会構成：表—1）において作成され、岩の試験・調査規格・基準検討委員会および基準部において審議を重ねてきたものである。以下に、基準案作成に至る経緯ならびに本基準の位置づけ、留意事項について述べる。

表—1 岩盤の平板載荷試験方法基準化委員会委員構成

|       |       |                           |
|-------|-------|---------------------------|
| 委員長   | 青木 謙治 | 京都大学大学院 工学研究科 資源工学専攻      |
| 委員兼幹事 | 鍛冶 義和 | 中央開発㈱ 東京支社 地盤技術部          |
| 委員    | 石田 毅  | 山口大学工学部 社会建設工学科           |
| 委員    | 稲葉 武史 | 鹿島建設㈱ 技術研究所 土木技術研究部       |
| 委員    | 小早川博亮 | ㈲電力中央研究所 我孫子研究所 地圏環境部     |
| 委員    | 鈴木健一郎 | ㈱大林組 技術研究所 地盤岩盤研究室        |
| 委員    | 鈴木 康正 | 東電設計㈱ 第一土木本部 地下環境技術部      |
| 委員    | 瀬戸 政宏 | 独立行政法人 産業技術総合研究所 企画本部     |
| 委員    | 田中 達吉 | 応用インターナショナル㈱              |
| 委員    | 徳永 朋祥 | 東京大学大学院 工学系研究科 地球システム工学専攻 |
| 委員    | 得丸 昌則 | ㈱ダイヤコンサルタント 情報システム部       |
| 委員    | 中本 雅文 | 電源開発㈱ 茅ヶ崎研究所 技術サービス研究室    |

なお、ここに公示する基準案についての意見は、平成14年11月末日までに書面にて地盤工学会基準部宛にご提出いただきたい。この基準案は、会員から意見が出された場合には、それらを岩盤の平板載荷試験方法基準化委員会および岩の試験・調査規格・基準検討委員会で検討した後、基準部および理事会における所定の審議手続きを経た上で学会基準として制定される予定である。

### 2. 基準案作成の経緯

岩の試験方法の基準化に向けて、地盤工学会として取り組むべき方向と内容を検討し、その後に引き続いて組織すべき基準化委員会の取り組み方や方針案を作成する目的で、平成5年度に「岩の試験方法検討委員会（平成5～6年度、委員長：吉中龍之進 埼玉大学教授（当時）」が設立された。

同委員会では、地盤工学会として基準化をはかるべき岩の室内試験方法ならびに原位置試験方法を抽出して基

準化の優先度を判断するために、国内外の学会および関係機関で用いられている基準や指針類の実態を調査するとともに実務面での利用度や新たな基準の必要性等についての検討が行われた。2年間にわたる検討の結果、実務において多用されている重要な試験であるが、軟岩から硬岩までの多様な性状を示す岩を包含する形での諸基準がなく、新たな基準作成の必要性が高い岩の試験法が抽出された<sup>1)</sup>。

同委員会での検討結果を受け、岩石の室内試験として現在までに、超音波速度測定方法、吸水膨張試験方法、密度試験方法および含水比試験方法、一軸圧縮試験方法、引張り強さ試験方法、三軸圧縮試験方法（UU, CU,  $\overline{CU}$ , CD）が基準化されている。

一方、原位置試験としては、岩盤の内空変位測定方法が基準化されているものの、「岩の試験方法検討委員会（平成5～6年度）」で検討されて以降、新たに研究開発された試験方法や、研究開発段階から実用段階に移転した試験方法があるため、再度、基準化をはかるべき岩の試験方法を検討する必要性が生じた。そこで、岩の試験・調査方法のうち、原位置試験法の基準化に向けて地盤工学会が取り組むべき方向とその内容について検討するために、岩の試験・調査規格・基準検討委員会に「原位置試験方法検討ワーキンググループ（平成12年度）」が設立され、国内外における岩盤の原位置調査・試験方法の既往の基準等に関する調査等を行い、基準化の対象となる試験項目の検討および各試験項目に対する基準化の必要性の検討が行われた<sup>2)</sup>。その結果、平成13年度には、岩盤の平板載荷試験方法基準化委員会、岩盤のせん断試験方法基準化委員会、軟岩のチューブサンプリング方法基準化委員会の3委員会が設立された。

岩盤の平板載荷試験方法の基準化については、「岩盤の平板載荷試験方法基準化委員会」において、試験実施の現状や問題点、国内外の基準や指針の現状を検討した上で、剛体載荷板を用いる平板載荷試験方法についての基準原案が作成された。

ここに公示する「剛体載荷板による岩盤の平板載荷試験方法基準案」は「岩盤の平板載荷試験方法基準化委員会」で作成された原案に対し「岩の試験・調査規格・基準検討委員会」および「基準部」において審議を重ね、基準案としての成案を得たものである。

### 3. 基準案の位置付けと概要

岩盤の平板載荷試験は、ダム基礎、地下発電所空洞、原子力発電所基礎などの重要な岩盤構造物の設計・施工、あるいは安定性評価に必要な岩盤の変形特性、支持力特性を求める試験であり、国内外を問わず実績の多い試験である<sup>3)</sup>。また、試験方法についてもある程度確立されてきた試験である<sup>4)</sup>。

国際的な各種原位置岩盤試験法の基準化の動きを考えると、岩盤の平板載荷試験方法の基準化を図る意義は我が国にとって極めて有用と考えられる。そこで、今後の本試験法の実施に対する「基準」を定めるとともに、新しい研究成果や試験結果の解釈について、「基準の解説」において事例を示すことで詳細な説明を加えた。

本基準案は、「1. 総則」から「5. 報告事項」まで、五つの章から構成されている。以下に各章の概要と留意点および検討内容を述べる。

#### (1) 総則

総則では、試験の目的、適用範囲を規定し、本基準案で使用する用語の定義を行った。

試験の目的および適用範囲を軟岩から硬岩までの岩盤の原位置における変形特性を求めることとした。

本基準案では、変形特性(変形係数、弾性係数)を求めるための平板載荷試験方法に限定して基準原案を作成した。その理由は、①岩盤の原位置での変形特性を求めるためには平板載荷試験が実施される場合が多いこと、②岩盤の支持力を求める試験(支持力試験)、長期クリープ特性を求める試験(長期クリープ試験)、岩盤の地震時の変形特性を求める試験(動的載荷試験)などでは、その試験装置や試験方法が一般的に行われている平板載荷試験と異なること、によるものである。

平板載荷試験は、荷重強さを載荷面内に均等に分布させる「等分布載荷法」と載荷面内の変位を同一にして載荷する「等変位載荷法」がある。「等分布載荷法」は、①実施事例が少ないこと、②使用する装置が実施事例ごとに異なっていること、などの理由により、本基準では、実施事例が多い剛体載荷板を用いる「等変位載荷法」について基準案を作成した。

なお、支持力試験と長期クリープ試験については、「基準の解説」で「基準以外の試験方法」として事例を示した。

#### (2) 試験装置

試験装置の構成を規定するとともに、載荷板やジャッ

キなどの載荷装置と荷重計や変位計などの測定装置の具備すべき条件を規定した。

載荷板の直径については、30 cm や60 cm の鋼製の円形剛板を用いる場合が多いが、規定条文では「直径30 cm 以上」とし、付帯条項では実施状況から「硬岩で30 cm、軟岩で60 cm を標準とするが、必要となる最大荷重の大きさや、試験対象岩盤の岩質、硬さあるいは割れ目の多少に応じて設定する。」と記載した。

#### (3) 試験方法

試験方法には、①試験箇所の選定、②試験箇所の岩盤表面の成形とフェーシング、③試験装置の設置、④載荷パターン、⑤荷重、⑥載荷速度、⑦荷重および変位の測定間隔について記載した。

試験箇所の数については、設計にどのように利用されるかにより試験箇所数が異なること、使用する載荷板の直径や岩盤の非均一性の程度により試験箇所数が異なること、などの理由により、規定条文では「試験箇所と試験箇所の数は、構造物や全体の地質を考慮した試験位置で適切に選定する。」と記載した。

載荷速度については、既往の基準類や文献調査の結果から広く採用されている実績を確認した上で、規定条文では「硬岩の場合0.5 MN/m<sup>2</sup>/min、軟岩の場合0.2 MN/m<sup>2</sup>/min を標準とする。」と、硬岩と軟岩に分けて規定した。

#### (4) 試験結果の整理

岩盤の変形係数( $D$ )、弾性係数( $E$ )を荷重強さ-変位曲線から算定する方法を規定するとともに、クリープ特性を表す係数として、弾性変位に対するクリープ変位の比により表されるクリープ率の算定方法を記載した。

#### (5) 報告事項

報告事項としては、①試験箇所の位置図、②試験箇所の岩盤状況、③試験方法、④試験結果、⑤本基準と部分的に異なる方法を用いた場合にはその内容、⑥その他特記すべき事項、を記載することとした。

### 参 考 文 献

- 1) 土質工学会 岩の試験方法検討委員会:「岩の試験方法検討委員会 委員会総括報告書」, 1995.
- 2) 地盤工学会 岩の試験・調査規格・基準検討委員会:「原位置試験ワーキンググループ 総括報告書」, 2001.
- 3) ISRM: 岩盤の原位置変形試験法の指針, 1983.
- 4) 土木学会:「原位置岩盤試験法の指針」, 2000.

## 剛体載荷板による岩盤の平板載荷試験方法 (JGS 3521—200X)

Method for In-situ Rigid Plate Loading Test on Rocks

## 1. 総 則

## 1.1 試験の目的

この試験は、原位置において岩盤の変形特性を求めることを目的とする。

## 1.2 適用範囲

本基準は、軟岩から硬岩までの原位置岩盤を対象とする。

## 1.3 用語の定義

- (1) 等変位載荷法とは、剛性が高いたわまない載荷板を用いて岩盤に載荷する方法をいう。
- (2) 荷重強さとは、単位面積当たりの荷重をいう。
- (3) 変形係数とは、新規載荷荷重における荷重強さ-変位曲線を包絡する直線の勾配を用いて算定する値をいう。
- (4) 弾性係数とは、最大荷重の繰返し載荷時の荷重強さ-変位曲線から算定する値をいい、荷重強さ-変位曲線の最大荷重繰返し載荷部の直線部分の勾配から算定する接線弾性係数と、始点と終点を結ぶ直線の勾配から算定する割線弾性係数がある。

## 【付帯条項】

1. a. 本基準で規定する平板載荷試験方法は、剛体載荷板による等変位載荷法である。
- b. 本基準では、予備載荷の後、階段荷重、最大荷重を載荷する試験と、必要に応じて行う持続荷重を載荷させる試験によって、岩盤の変形特性を求める方法を規定する。なお、ここで規定する試験では、持続荷重の載荷時間は数時間程度とする。
- c. 本基準と部分的に異なる方法を用いた場合には、その内容を報告事項に明記しなければならない。
- d. 本基準に規定されていない事項については、次の基準を参照する。

JGS 1521—1995「地盤の平板載荷試験」

- 1.1 ここでいう変形特性とは、変形係数および弾性係数とする。ただし、持続荷重を載荷する試験を行った場合には、変形特性としてクリープ特性を表す係数が求められる。

## 2. 試験装置

試験装置は、載荷装置と測定装置で構成される。

## 2.1 載荷装置

載荷装置は、載荷板、ジャッキ、支柱、球座および反力部で構成され、次に示す条件を満たすものとする。

- (1) 載荷板 直径30 cm 以上で、十分な剛性を有する鋼製の円形剛板。
- (2) ジャッキ 最大荷重以上の加圧能力と、変形に追従できる十分なストロークをもつもの。
- (3) 支柱 最大荷重に対し十分な強さを有するもの。
- (4) 球座 最大荷重に対し十分な強さを有するもの。
- (5) 反力部 最大荷重に対し十分な強さを有するもの。

## 2.2 測定装置

測定装置は荷重を測定する荷重計、変位を測定するための変位計、基準梁、基準梁支持台で構成され、次に示す条件を満たすものとする。

- (1) 荷重計 十分な容量および精度を有するもの。
- (2) 変位計 最大荷重に対する変位を想定し、十分な容量および精度を有するもの。
- (3) 基準梁 たわみが生じないように、十分な剛性を持ったもの。
- (4) 基準梁支持台 基準梁を確実に支持できるもの。

## 【付帯条項】

2. 試験装置の構成例を図—1 に示す。

## 2.1

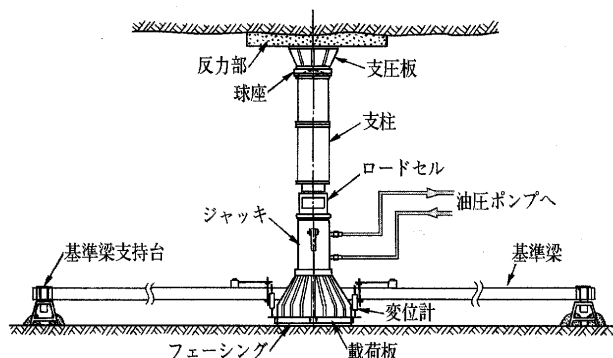
- (1) 載荷板直径は、硬岩で30 cm、軟岩で60 cm を標準とするが、必要となる最大荷重の大きさや、試験対象岩盤の岩質、硬さあるいは割れ目の多少に応じて設定する。載荷板は、岩盤の変位に対して載荷板のたわみが無視できる十分な剛性を持つことが必要である。
- (2) ジャッキは、スムーズに荷重の増減ができるものを用いる。ジャッキの容量は、最大荷重を考慮し選定する。
- (5) 調査坑などで岩盤に反力をとる場合、反力部は、支柱板をモルタルなどで反力部の岩盤に密着させて作製するのが一般的である。調査坑以外の場所では反力桁を用い、これを重量物やアンカーで固定する。

## 2.2

- (1) 荷重計は、支柱の継ぎ手間などの位置に設置する。荷重計は、容量が最大荷重以上のもので、最大荷重の1%以下で読み取りが可能なものを用いる。荷重計としては、ロードセルが用いられることが多い。
- (2) 変位計は、0.01 mm 以下まで読みとれるものを用いる。4 個以上を載荷板端部に等間隔に配置し、載荷板の変位を正確に測定できるように載荷板に垂直に設置する。

試験に伴う載荷板の傾斜を考慮して、変位計の先端が接触する面は、ガラス板を接着するなどして、適切な広さの平滑面となるようにする。

- (3) 基準梁は変位測定時の不動点の基準となるため、梁はたわみにくいものを用い、振動や温度変化による変位を生じにくい方法で基準梁支持台に設置する。



図—1 試験装置の例

- (4) 基準梁支持台は、載荷による岩盤変形の影響を受けないような位置に設置する。

### 3. 試験方法

#### 3.1 試験箇所の選定

- (1) 試験箇所と試験箇所数は、構造物や全体の地質を考慮した試験位置で適切に選定する。なお、試験位置とは試験箇所および周辺岩盤を含む広がりを持った領域を示すものである。
- (2) 調査坑内で実施する場合、調査坑は十分な断面を有するとともに、試験箇所は坑内の位置や地質を考慮して選定する。

#### 3.2 試験箇所の岩盤表面の成形とフェーシング

- (1) 試験箇所の岩盤表面は、掘削、その他で緩んだ部分や損傷を受けた岩石を取り除き、著しい凹凸がないように平らに仕上げる。
- (2) 載荷板を設置する際には、載荷板からの荷重を均等に岩盤へ伝えることを目的として、セメントペーストなどでフェーシングを行う。

#### 3.3 試験装置の設置

設置された載荷板と反力部の間にジャッキ・支柱・ロードセルなどの載荷および荷重測定装置、載荷板の変位を測定するための基準梁、変位計を設置する。載荷装置の組み立てにおいては各部材の中心を合わせて緩みのないように固定し、鉛直以外の方向で試験を行う場合には載荷装置支持台を使用する。

#### 3.4 載荷試験

##### 3.4.1 載荷パターン

載荷パターンは試験の目的によって、予備荷重、階段荷重、最大荷重の繰返し、持続荷重を組み合わせる。

##### 3.4.2 荷重

- (1) 予備荷重の荷重強さは階段荷重の1段目の荷重強さを超えない範囲で設定する。
- (2) 最大荷重の荷重強さは試験箇所の状態と構造物の設計応力を考慮して設定する。
- (3) 階段荷重の各段階の荷重強さは最大荷重強さを適切に分割して設定する。
- (4) 持続荷重の荷重強さは最大荷重強さと同一を原則とする。

##### 3.4.3 載荷速度

載荷、除荷の速度は、硬岩の場合  $0.5 \text{ MN/m}^2/\text{min}$ 、軟岩の場合  $0.2 \text{ MN/m}^2/\text{min}$  を標準とする。

##### 3.4.4 荷重および変位の測定間隔

荷重および変位の測定は載荷パターンに応じて適切な測定時間間隔を定める。

#### 3.2

- (1)a. 仕上げ範囲は、載荷板の径の1.5～2.0倍を目安とし、載荷前の亀裂などの状況を把握しておく。
- b. 試験面の凹凸は、数 mm 以下とし、亀裂の影響がある岩盤については数 cm 以下になるよう仕上げる。
- (2) フェーシングの範囲は、載荷板と同じ面積とする。

#### 3.3

- a. 鉛直以外の方向で試験を行う場合には、支持台と載荷装置の摩擦を取り除き、測定される荷重がすべて載荷板に伝達されるようにしなければならない。
- b. 岩盤を反力とする場合には反力側にも鋼板を用い、鋼板と岩盤の間にモルタル、セメントペーストなどを挟んだ状態で荷重を加えて密着させ、岩盤に均等に荷重が加わるようにする。
- c. 基準梁の支持台はモルタルなどを用いて岩盤に固定する。
- d. 坑内で試験を行う場合、天盤からの落石、滴水に注意する。また屋外で試験を行う場合には、日照などによる温度変化の影響を受けないように留意する。

##### 3.4.1

以下の2種類の載荷パターンを標準とする。なお、いずれのパターンにおいても予備荷重の載荷を行った後で実施する。

- ① 階段荷重に続き最大荷重を1～3回載荷するもので、変形係数と弾性係数を求める場合に用いる。
- ② 階段荷重、最大荷重の後で持続荷重を載荷するもので、変形係数、弾性係数のほかにクリープ特性を求める場合に用いる。(クリープ試験)

なお、予備荷重、階段荷重、最大荷重、持続荷重を組み合わせた載荷パターンの一例を図-2に示す。持続荷重の載荷時間は数時間程度である。

##### 3.4.2

- (2) 最大荷重の荷重強さは設計応力の1～3倍の範囲で設定することを標準とする。
- (3) 階段荷重の各段階の荷重強さは最大荷重を荷重段階数で等分して設定することを基本とする。また荷重段階数は3～8段階の範囲で設定することを標準とする。

##### 3.4.3

載荷および除荷は一定の速度で行うものとする。また段階荷重、最大荷重における各載荷、除荷ごとの最大、最小荷重は一定時間保持することを標準とする。

### 4. 試験結果の整理

- (1) 荷重および変位の測定結果に基づいて荷重強さ-変位曲線を作成する。
- (2) 荷重強さ-変位曲線によって、岩盤の変形係数 ( $D$ )、弾性係数 ( $E$ ) を算定する。

#### 【付帯条項】

##### 3.1

- a. 試験位置は、構造物基礎全体、または試験値を求めようとしている対象岩盤を代表するように選定されなければならない。また複数箇所で行う場合の試験箇所相互の間隔は、載荷板中心の距離を載荷板直径の3倍以上とすることが望ましい。
- b. 対象とする試験箇所の岩盤に、地層の境界や断層破砕帯、変質部などがある場合には、分布状況をよく把握したうえで、それら不均質部から平面的には載荷板の直径の1.5倍以上、深さ方向には3倍以上離れた地点に試験箇所を選ぶ必要がある。

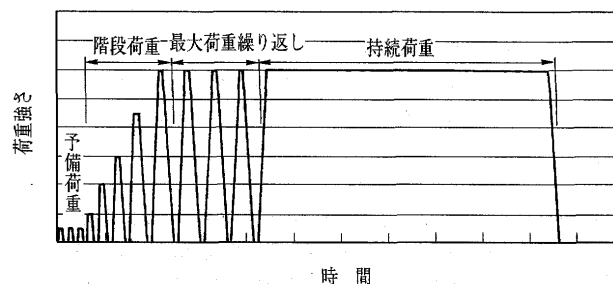


図-2 本基準で規定する試験方法の載荷パターンの一例

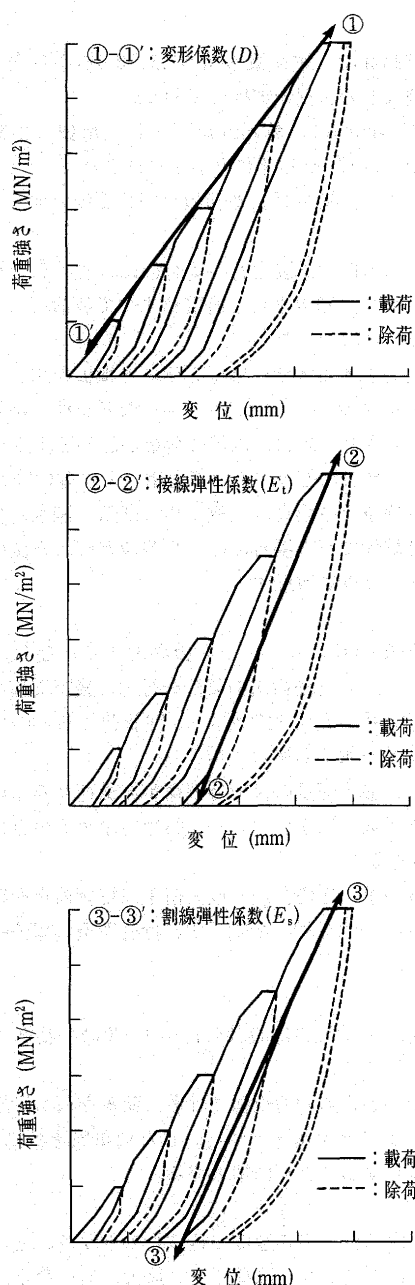


図-3 荷重強さ-変位曲線と変形係数および弾性係数の求め方

# 【付帯条項】

## 4.

- (1) クリープ試験を行う場合には、時間-変位曲線を作成する。
- (2)a. 変形係数 ( $D$ ) は、図-3 に示す荷重強さ-変位曲線のうちの新規載荷荷重部を包絡する直線 (①-①') の勾配から次式で算定する。

$$D = (\pi a(1 - \nu^2)/2) \cdot (\Delta P / \Delta \delta)$$

ここに、

- $D$ : 変形係数 ( $\text{MN/m}^2$ )  
 $\Delta P$ : 直線 (①-①') の荷重強さの増分 ( $\text{MN/m}^2$ )  
 $\Delta \delta$ : 直線 (①-①') の変位の増分 ( $\text{mm}$ )  
 $\nu$ : ポアソン比  
 $a$ : 剛板の半径 ( $\text{mm}$ )

- b. 弾性係数 ( $E$ ) は、図-3 に示す荷重強さ-変位曲線のうちの階段載荷後に行う最大荷重の繰返し載荷部から求める。弾性係数として接線弾性係数 ( $E_t$ ) と割線弾性係数 ( $E_s$ ) をそれぞれ次の方法で算定する。

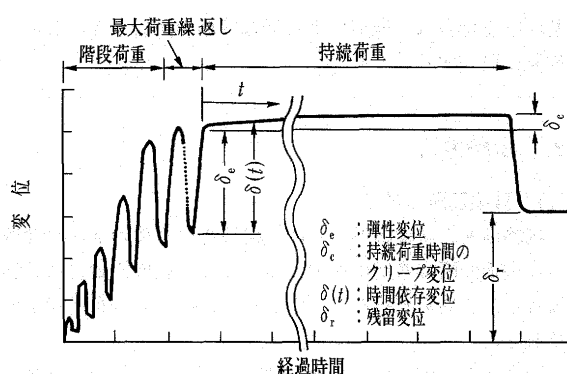


図-4 時間-変位曲線の例

接線弾性係数 ( $E_t$ ) は荷重強さ-変位曲線のうち最大荷重繰返し載荷部の直線部分 (②-②') の勾配から次式で算定する。

$$E_t = (\pi a(1 - \nu^2)/2) \cdot (\Delta P / \Delta \delta)$$

ここに、

- $E_t$ : 接線弾性係数 ( $\text{MN/m}^2$ )  
 $\Delta P$ : 直線 (②-②') の荷重強さの増分 ( $\text{MN/m}^2$ )  
 $\Delta \delta$ : 直線 (②-②') の変位の増分 ( $\text{mm}$ )  
 $\nu$ : ポアソン比  
 $a$ : 剛板の半径 ( $\text{mm}$ )

割線弾性係数 ( $E_s$ ) は荷重強さ-変位曲線のうち最大荷重繰返し載荷部の始点と終点を結ぶ直線 (③-③') の勾配から次式で算定する。

$$E_s = (\pi a(1 - \nu^2)/2) \cdot (\Delta P / \Delta \delta)$$

ここに、

- $E_s$ : 割線弾性係数 ( $\text{MN/m}^2$ )  
 $\Delta P$ : 直線 (③-③') の荷重強さの増分 ( $\text{MN/m}^2$ )  
 $\Delta \delta$ : 直線 (③-③') の変位の増分 ( $\text{mm}$ )  
 $\nu$ : ポアソン比  
 $a$ : 剛板の半径 ( $\text{mm}$ )

- c. クリープ試験の結果を整理する場合、クリープ特性を表す係数の求め方として様々な方法が提案されているが、ここでは、比較的よく求められるクリープ率 ( $C_f$ ) の算定方法について記載する。

クリープ率 ( $C_f$ ) は、図-4 に示した時間-変位曲線の持続荷重時間に対するクリープ変位 ( $\delta_c$ ) と弾性変位 ( $\delta_e$ ) から次式で算定する。

$$C_f = \delta_c / \delta_e$$

## 5. 報告事項

試験結果について次の事項を報告する。

- (1) 試験箇所の位置図
- (2) 試験箇所の岩盤状況
- (3) 試験方法
- (4) 試験結果
- (5) 本基準と部分的に異なる方法を用いた場合には、その内容
- (6) その他特記すべき事項

## 【付帯条項】

5. 試験結果は、必要な表、図および写真を添付し報告する。

- 5.(1) 試験位置の地質と試験箇所の位置を記載する。

- (2)a. 試験箇所の岩盤状況について、岩種、岩質、節理や亀裂

- などの不連続面の状況を記載する。
- b. 岩盤分類が行われている場合には、試験箇所の岩盤分類と適用した岩盤分類基準を記載する。
  - c. 試験前後の試験面のスケッチ図、写真を記載する。また、これらの寸法が分かるようにスケールなどを併記する。
  - d. 必要に応じて、湧水の状況などを記載する。
- (3) 試験装置、載荷板寸法、荷重計と変位計の容量と精度、載荷パターンなどについて記載する。
- (4)a. 次の事項について記載する。
- ① 荷重強さ-変位曲線
  - ② 変形係数，接線弾性係数，割線弾性係数
  - ③ クリープ試験を行った場合には，時間-変位曲線とクリープ特性を表わす係数
- b. 本基準に規定する試験により降伏応力を求めた場合には，岩盤の降伏応力を記載する。
  - c. 試験対象岩盤の特性を示す他の試験が行われている場合には，その試験結果を併記しておくことが望ましい。