

## 12. 橋梁の地質調査

日本の橋梁技術は、本州四国連絡橋の建設で大きく発展しました。斜張橋に代表される上部構造の進歩だけでなく橋脚・橋台基礎の構築技術も大きく進歩しました。また、第二東名・名神高速道路の建設でも、竹割り土留め擁壁のような長大橋の基礎構築技術の発展が見られました。

橋梁は、川、湖、海、他の交通路線などの障害物を飛び越えるための構造物で、線状構造物の典型です。切土・盛土などの土工事に比べ単位面積当たりの工費が高いため、基礎地盤状況を含めた下部構造から上部構造まで、構造物としての全体的な統一を図ることによって安全で経済的に施工できて、供用後は耐用年数の長い構造物とすることが求められます。

この点で、基礎地盤調査の役割はかなり重要なポイントになります。

|   |   |
|---|---|
|   | <p><b>図 12.1 瀬戸大橋</b></p> <p>瀬戸大橋というのは瀬戸内海の海峡部に架かる総延長 13.1km、4つの高架橋を含む 10 の橋の総称です。</p> <p>山陽自動車道の倉敷ジャンクションから南下し、児島半島を通って四国の坂出市に上陸します。</p> <p>全長 1,000m を超える長大橋としては、下津井瀬戸大橋（長さ 1,447m）、北備讃瀬戸大橋（長さ 1,611m）、南備讃瀬戸大橋（長さ 1,723m）があります。</p> <p>これらの橋は上部が 4 車線の瀬戸中央自動車道、下部が JR 本四備讃線となっています。</p> |
|  | <p>3 本の本州四国横断橋のうち児島・坂出ルートメイン橋の一つである北備讃瀬戸大橋です。</p> <p>この写真は途中の与島サービスエリアから坂出（四国）側を見たものです。</p>   |
|  | <p>与島のアンカレッジです。正面左側のコンクリートの固まりが、右側の斜張橋（北備讃瀬戸大橋）のケーブルを固定しています。アンカレッジの左側は与島高架橋です。橋桁が 2 段になっていますが、上は瀬戸中央自動車道で、下は JR 瀬戸大橋線（本四備讃線の愛称）が通っています。</p> <p>写真中央に見えている岩盤は、この付近の島々の基盤を構成している新期領家花こう岩（約 8,000 万年前）です。</p>   |

## 12.1 橋梁調査の流れ

橋梁調査も他の構造物の地質調査と同様に、初期段階の調査から施工中・供用後調査まで様々な段階の調査があります。

なお、以下では「道路橋仕方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編，平成 24 年 3 月」（社団法人 日本道路協会）を「道路橋：2012」と表記します。

### 調査の流れ

調査の流れとしては予備調査から一次調査，二次調査の手順を踏み設計・施工の精度を上げるための補足調査まであります（表 12.1 参照）。

- (1) 予備調査では、広域的な地質踏査を行い路線に関わる問題点を抽出します。問題が大きいと判断される箇所については、必要最低限のボーリングを実施します。
- (2) 路線がほぼ固まった段階で、一次調査を実施し橋梁一般図作成を行います。明らかにする事項は土質・地質構成、支持層・支持形式の選定、圧密沈下の有無、地下水の状態などです。一般的には橋台（アバット）位置を決定し、少なくとも、それぞれの橋台についてはボーリングを 1 孔行います。橋脚位置は径間長をどうするかで変わってきますので、この段階ではあまり詳細な調査は行いません。圧密沈下の有無を判断するのは支持層が深く杭基礎となる場合で、圧密層の沈下により杭の周面に下向きの摩擦力（負の摩擦力）が働き、予想外の荷重が杭に作用する場合があります。また、橋台の背後の盛土の荷重で軟弱層が側方流動を起し、橋梁の機能が損なわれる事例があります。側方流動検討のためには軟弱層の厚さと粘着力が得られている必要があります。
- (3) 二次調査では詳細設計に必要な地質資料を揃えます。この段階では橋台、橋脚位置は、ほぼ決定していますので、地形的に問題がある場合には一つの橋台について必要な数量のボーリングを行います。例えば、急斜面で岩盤線の予想が難しい場合には、この段階で補足ボーリングを行います。

### 調査の種類

調査の種類としては、既往資料調査、河相調査（河川、湖沼、海）、地震調査、気象調査、地形調査、地質調査、土質調査などです。

- (1) 多くの橋梁が河川を跨ぐので、河川の河床変動予測資料や交差交通の資料などを収集するのが一つの特徴です。
- (2) 地質調査では下部構造位置の決定が重要です。特に、橋台や橋脚位置が地すべりに懸かっている場合はその位置を変更するか別途対策工が必要となり、工費が増大するので初期段階での調査が重要です。
- (3) 地質調査の目的は支持層を選定することです。支持層の深度により直接基礎が可能かどうかの判断ができます。基礎掘削時の施工性に直接影響するので、床掘り時にどの程度湧水があるのかを判断するために、地盤の透水性とそれにもとづく排水量の予測も重要な事項です。
- (4) 土質調査は平野部での橋脚施工に伴って必要となります。この場合、土質試験や平板載荷試験などが必要となる場合があります。また、地下水状況の把握は必須です。

「道路橋：2012」の 120-127 に必要な調査の概要、注意すべき地形・地質などが述べられています。調査に着手するに当たっては、これらを参考に調査に漏れがないかどうかのチェックを行い、必要な調査を提案して手戻りを少なくすることが大事です。

表 12.1 橋梁地質調査の流れ (旧日本道路公団, 1998 による)

| 区分       | 予備調査   | 本調査   |   |   |
|----------|--|---|---|---|
|          |  | 一次調査  | 二次調査  | 補足調査  |
| 項目       | 架橋区間の決定  | 一般図作成および計画設計<br>(橋梁形式・支間等の決定)   | 詳細設計<br>施工方法の検討   | 必要に応じて設計及<br>び施工の安全性検討  |
| 地盤に関する調査 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・既往資料調査</li> <li>・地形調査</li> <li>・土質地質調査</li> </ul> (1)踏査<br>(2)物理探査<br>(3)ボーリング<br>(4)原位置試験 | 第一次土質地質調査<br><ul style="list-style-type: none"> <li>・ボーリング</li> <li>・各種土質・岩石試験</li> </ul> 調査の目的<br>(1)土質の成層状態<br>(2)支持層の選定<br>(3)圧密沈下の有無<br>(4)地下水の状態 | 第二次土質地質調査<br><ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎計画位置でのボーリング</li> <li>・各種土質試験</li> </ul> 調査の目的<br>(1)支持力・沈下量の計算<br>(2)地下水・被圧地下水 | 補足土質地質調査<br><ul style="list-style-type: none"> <li>・補足ボーリング</li> </ul> (各種土質試験) |
| その他の調査   | 一次調査(I)<br>河川調査<br>交差道路調査<br>交差鉄道調査<br>一次調査(II)<br>気象調査<br>腐食環境調査<br>地震調査<br>材料調査  |   | 二次調査<br>施工条件調査<br>調査の目的と内容<br>(1)河川内等作業期間<br>(2)洗掘防止構造・護岸工<br>(3)道路鉄道施工条件<br>(4)工事用道路・電力設備<br>(5)地下埋設物・送電線その他                         |   |

表 12.2 橋梁調査の種類 (旧日本道路公団, 1998 による)

| 調査の種類   | 調査内容   | 具体的作業   | 摘要   |
|---------|--|---|--|
| 1. 地形調査 | (1)架橋の位置・下部構造の位置の選定<br>(2)施工計画の立案<br>(3)地質概況把握の資料<br>(4)河川の河床変動の予測資料<br>河川改修計画の有無の資料<br>(5)道路計画および道路拡幅計画の有無の資料<br>(6)交差鉄道の資料 | 地形図の作成  | 計画・設計・施工の基礎となるべき最も基本的な調査で架橋地点の地形・交差物の状況を把握する。  |
| 2. 地質調査 | (1)下部構造位置の選定<br>(2)支持層の選定  | ・既存地形・地質資料の収集, 分析<br>・ボーリング標本作成<br>・物理探査結果解析<br>・地質平面図, 縦横断面図作成         | 架橋地点の地質・土質の様相を総合的に把握することを目的とする。  |
| 3. 土質調査 | (1)土質成層状態の把握<br>(2)基礎の根入れ深さの検討<br>(3)支持層の選定<br>(4)支持力の計算<br>(5)構造形式の選定<br>(6)圧密沈下 (地盤沈下を含む) の計算                              | ・ボーリング<br>・標準貫入試験<br>・テストピット掘削<br>・土質柱状図作成<br>・土質試験<br>・載荷試験<br>・地下水位測定 | 基礎構造の設計・施工に必要な土質に関する詳細な緒元を知ることが目的とする。<br>土質状況は複雑であるから, 目的にあった調査を十分に行い, 調査の信頼度を考え合わせ, 種々の調査結果を総合して判断する。 |

## 12.2 支持層の選定

橋梁の地質調査で, まず確認する必要があるのは, 支持層をどの深度の地層に設定するかです。良質な支持層は, 構造物の重要度や基礎に作用する荷重の規模などによっても異なり一律には決められません。しかし, 一応の目安はあります (表 12.3 参照)。

表 12.3 良質な支持層の目安 (道路橋: 2012, 278-279 による)

|        |  |
|--------|--|
| 粘性土層   | ・粘土層の特徴は, 大きな支持力が期待できず沈下量も大きい場合が多いことです。<br>・N値が 20 程度以上 (一軸圧縮強度: $q_u$ ) が $0.4\text{N/mm}^2$ 程度以上) あれば良質な支持層と考えてよいです。                       |
| 砂層・砂礫層 | ・N値が 30 程度以上あれば良質な支持層とみなします。<br>・ただし, 砂礫層では標準貫入試験で礫をたたいてN値が過大に出る傾向にあるので注意が必要です。つまり, 50mm 毎あるいは 100mm 毎のN値を見て, 礫当たりでない基質のN値から支持層を推定する必要があります。 |
| 岩盤     | ・材料としての強度が大きく, 均質な岩盤を支持層とした場合には大きな支持力を期待できます。<br>・岩盤に不連続面が存在したり, スレーキングの影響を受けたりしやすい場合には, その影響を事前に検討する必要があります。この場合, 基礎幅に比例して大きな層厚が必要となります。    |

この表に示した目安で支持層を選定してよいのですが、良質な支持層と考えられる層でもその層厚が薄い場合やその下に相対的に弱い層あるいは圧密により沈下する層がある場合は、支持力と沈下について検討しなければなりません。基礎底面から基礎幅の3倍以内の深度に圧密層がある場合は、影響が生じる可能性があります。杭基礎の場合はN値50以上の層がおおむね5m以上続き、転石が含まれていない砂礫層を良質な砂礫層と言います。

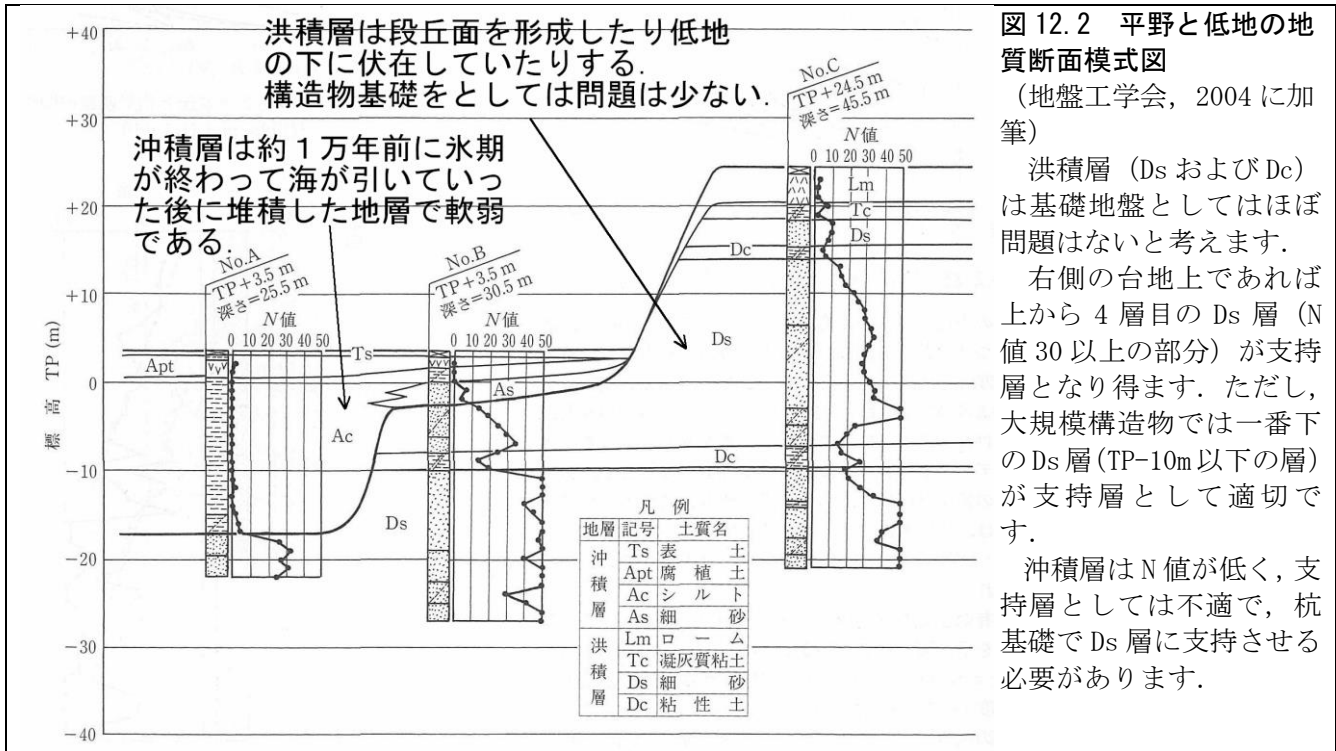


図 12.2 平野と低地の地質断面模式図

(地盤工学会, 2004 に加筆)

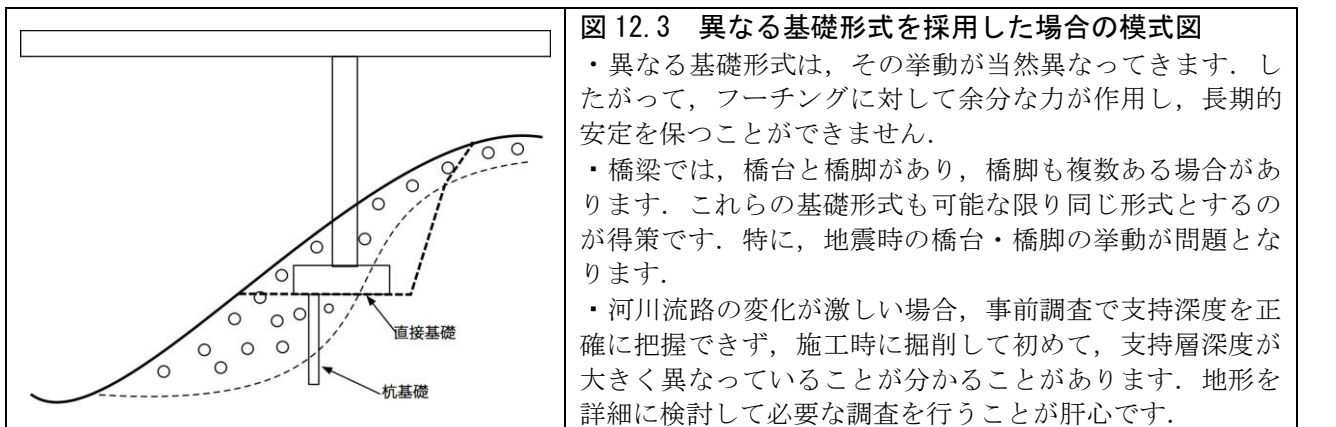
洪積層 (Ds および Dc) は基礎地盤としてはほぼ問題はないと考えます。

右側の台地上であれば上から4層目のDs層 (N値30以上の部分) が支持層となり得ます。ただし、大規模構造物では一番下のDs層 (TP-10m以下の層) が支持層として適切です。

沖積層はN値が低く、支持層としては不適で、杭基礎でDs層に支持させる必要があります。

### 12.3 基礎形式の選定

基礎形式は上部構造の条件、地盤条件、施工条件などを考慮して、最も安全でより経済的な形式を採用します。また、最近のように山岳地に橋梁を建設する場合は、施工によって出現する永久のり面を出来るだけ小さくするように配慮します。一つの基礎では異なる形式の基礎を併用しないことが原則です (『道路橋: 2012』275-276)。



## 基礎形式選定の目安

基礎形式選定の目安として重要な要素は支持層までの深さです。

- (1) **直接基礎**では、支持層の深度はどんなに深くても 10m以内です。5m が一つの目安で、これ以上深くなると杭基礎とするのが一般的です。
- (2) **ケーソン基礎**は、底面寸法が大きく底面支持力が重要なので、良質な支持層に十分貫入させる必要があります。これにより先端支持力の信頼性が増します。ケーソン基礎では底面の掘削を人力あるいは遠隔操作の機械で行います。

ニューマチックケーソンというのは、加圧した部屋をケーソンの底面につくり地下水が浸入しないようにして掘削する方式です。なお、ニューマチック (pneumatic) と言うのは、送り込んだ空気によって膜を膨らませたものことでエア・ドームと同じです。ケーソンは鉄筋コンクリート製や鋼製の箱型構造物のことです。施工方法は、例えば次のウェブサイトなどに載っています。

(<http://www.orsc.co.jp/index.html> : オリエンタル白石株式会社)

- (3) **杭基礎**は施工方法により鋼管杭、ベノト杭、リバース杭があります。施工深度では、支持層深度の浅い順に、ベノト杭 ≦ 鋼管杭 ≦ リバース杭となります。

ベノト杭 (オールケーシング工法による場所打ちコンクリート杭) は、先端にチップを装着したケーシングチューブを揺動 (揺らすこと) しながら押し込み、ケーシングチューブ内の土砂を掘削機本体のハンマーグラブを用いて掘削排土する工法で、適用削孔径は、φ800~2,000mm、適用土質は固結土層 (N=75) 程度までです。

鋼管杭は、鋼管を回転させながら圧入して基礎とする方式で、最も一般的に使われています。

リバース杭は、ボーリングロッドから掘削土砂を吸い上げるという方式 (通常の掘削方式と逆の循環方式) で、掘削方法が異なるだけでベノト杭と同様です。

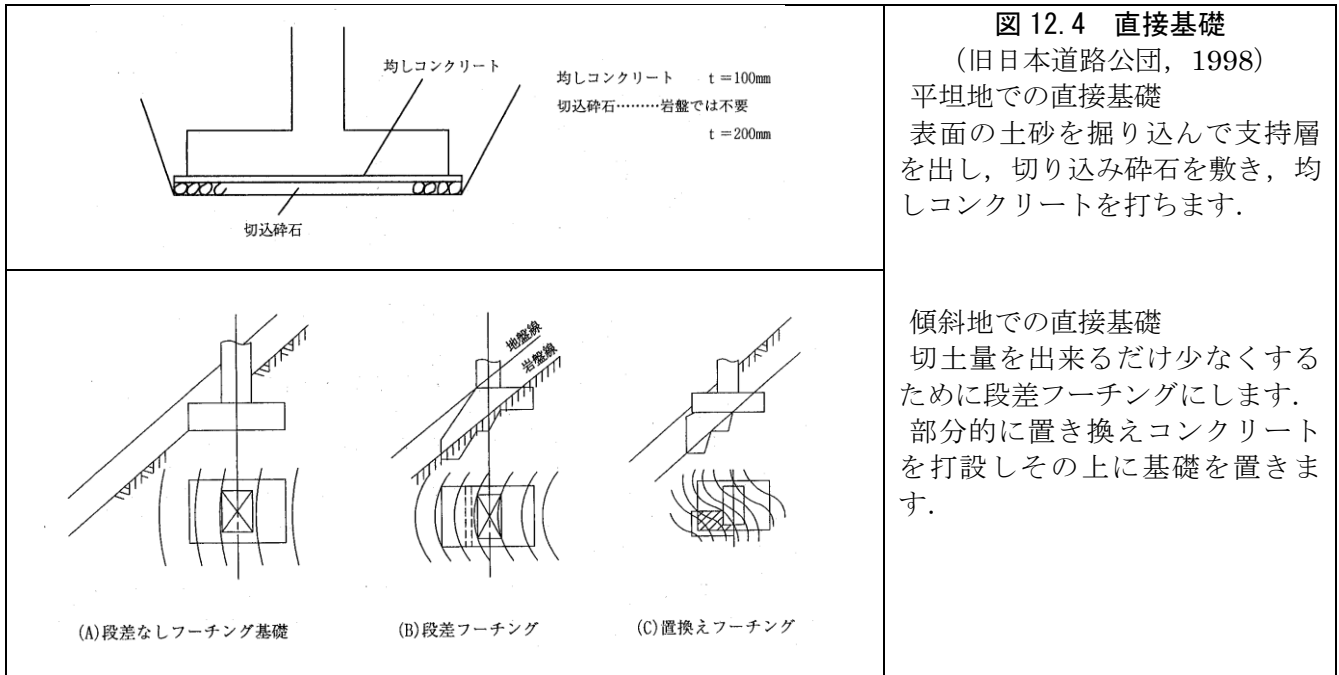
ベノト杭の施工順序については、下のウェブサイトが分かりやすいです。

(<http://www.nh-const.com/jigyuu/index2-1.html> : 中林建設株式会社)

- (4) **深礎杭**は大口径の基礎を構築することが出来るため、最近では直径 10m を越える深礎杭が施工されています。特に、斜面上の基礎形式として多く採用されています。

表 12.4 基礎形式選定の目安 (旧日本道路公団, 1998 による)

| 工種          | 深度 | 施工深さ (m) |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------|----|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|
|             |    | 10       | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| 直接基礎        |    | ■        |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 鋼管杭         |    |          | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |
| ベノト杭        |    | ■        | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |
| リバース基礎      |    |          |    | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |
| 深礎基礎        |    | ■        | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |
| オープンケーソン    |    | ■        | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |
| ニューマチックケーソン |    |          | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |
| 鋼管矢板基礎      |    | ■        | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |
| 地中連続壁基礎     |    |          | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |



深礎杭は, 人力あるいは小型のバックホウで掘削し, 幅 50 cm のライナープレート (弧状の波型鉄板) や吹付けコンクリート・モルタルライニングで土留めを行いながら掘り進めます。この工法は, 掘削時の湧水量が多くポンプによる排水が困難な場合には採用できません。  
 下のウェブサイトなどが参考になります。

(<http://www.t-kiso.jp/shinso.html>)  
 (<http://homepage3.nifty.com/nakama-kensetsu/gyoumu.html>)



## 基礎形式により要求される物性値

基礎形式により必要な地盤の物性値はそれぞれ異なっています。杭基礎や斜面上の深礎基礎では構成する土層毎の地盤反力係数（変形係数）が必要となります。多くの場合、N値からの換算で物性値を求めて設計に用いていますが、長大橋の場合は現位置試験を実施して求めています。

表 12.6 および表 12.7 に瀬戸大橋などの花こう岩類の基礎調査のためにつくられた岩盤分類を示しました。この岩盤分類の特徴は次のとおりです。

- (1) この分類は、塊状岩盤である風化花こう岩を対象に作られた岩級区分です。ボーリングコア観察にもとづいて「田中の分類」に準拠して分類を行っています。
- (2) 「田中の分類」では、C級以下の分類が粗すぎるためにC級、D級をそれぞれ3段階に分け全部で6段階の区分となっています。表 12.8 は強風化した花こう岩を細かく分類したものです。
- (3) 表 12.8 では各岩級に対応する物性値を一部示しています。この岩盤分類では強度定数（粘着力、内部摩擦角）も各岩級で求めています。
- (4) 最終的に求める設計地盤定数は図 12.8(赤枠)に示したとおりです。ここで注意しなければならないことは、地盤反力度を求める時に用いる変形係数は試験方法によって係数 $\alpha$ を乗じなければならないということです(表 12.7)。
- (5) ここでの岩盤分類は、この現場のデータをもとに作成されたものですが、花こう岩類については岩級区分・地山物性値とも他の現場にも適用可能と思います。
- (6) 重要構造物では、このように多くのデータが収集され岩盤工学の基礎データが得られます。

表 12.5 橋梁の設計で要求される調査

| 調査の種類   | 調査内容   | 具体的作業   | 摘要  |
|---------|--|---|---|
| 1. 地形調査 | (1)架橋の位置・下部構造の位置の選定<br>(2)施工計画の立案<br>(3)地質概況把握の資料<br>(4)河川の河床変動の予測資料<br>河川改修計画の有無の資料<br>(5)道路計画および道路拡幅計画の有無の資料<br>(6)交差鉄道の資料 | 地形図の作成  | 計画・設計・施工の基礎となるべき最も基本的な調査で架橋地点の地形・交差物の状況を把握する。   |
| 2. 地質調査 | (1)下部構造位置の選定<br>(2)支持層の選定  | ・既存地形・地質資料の収集、分析<br>・ボーリング標本作成<br>・物理探査結果解析<br>・地質平面図、縦横断面図作成           | 架橋地点の地質・土質の様相を総合的に把握することを目的とする。   |
| 3. 土質調査 | (1)土質成層状態の把握<br>(2)基礎の根入れ深さの検討<br>(3)支持層の選定<br>(4)支持力の計算<br>(5)構造形式の選定<br>(6)圧密沈下（地盤沈下を含む）の計算                                | ・ボーリング<br>・標準貫入試験<br>・テストピット掘削<br>・土質柱状図作成<br>・土質試験<br>・載荷試験<br>・地下水位測定 | 基礎構造の設計・施工に必要な土質に関する詳細な緒元を知ることを目的とする。<br>土質状況は複雑であるから、目的にあった調査を十分に行い、調査の信頼度を考え合わせ、種々の調査結果を総合して判断する。 |

表 12.6 花こう岩類におけるボーリングコア観察による岩級区分 (本四公団)

| 区分             | 色 調              | ① 硬軟の程度                                | ② 風化変質の程度<br>( )は細区分記号                             | ③ 割れ目の状態                           | ④ コアの状態<br>( )は細区分記号                      | 備 考                                      |
|----------------|------------------|--|--|------------------------------------|---|--|
| A              | 青灰～<br>乳灰        | 極硬 ハンマーでたたくと金属音D.Bで2cm/min以下           | 亀裂面ともおおむね新鮮 未風化 未風化 (A)                            | 亀裂少なく, おおむね20～50cmで密着している          | 棒状～長柱状でおおむね30cm以上で採取される (I)               |  |
| B              | 乳灰～<br>(淡)褐<br>灰 | 硬 ハンマーで軽い金属音D.Bで2～4cm/min              | おおむね新鮮なるも, 亀裂面に沿って若干風化 変色 褐色を帯びる (B)               | 割れ目間隔5～15cmを主としている 一部開口している        | 短柱～棒状でおおむね20cm以下 (II)                     | ③, ④はAなるも, ①, ②がBのもの ①, ②はAなるも, ③, ④Bのもの |
| C <sub>H</sub> | 褐灰～<br>(淡)灰<br>褐 | 中硬 ハンマーでたたくと濁音, 小刀で傷つく硬さ D.Bで3cm/min以上 | 割れ目に沿って風化進行, 長石等は 一部変色変質している (C)                   | 割れ目発達, 開口部に一部粘土をはさむへアクラック 発達 割れやすい | 大岩片状でおおむね10cm以下で, 5cm前後のものも多い 原形復旧可 (III) | 短柱状なるも風化進行軟質のもの                          |
| C <sub>M</sub> | 灰褐～<br>淡黄褐       | やや軟～硬 ハンマーでたたくと軽く割れる. 爪で傷つくことありD.Bで掘進適 | 岩内部の一部を除き風化進行, 長石, 雲母はおおむね変質している (D)               | 割れ目多く発達, 5cm以下 開口して粘土をはさむ          | 岩片～細片 (角礫) 状で砕けやすい, 不円形多く原形復旧困難 (IV)      | 軟岩で容易に砕けやすいもの                            |
| C <sub>L</sub> | 淡黄褐<br>～黄褐       | 軟 ごくぜい弱で指で割れ, つぶれる M.Cで掘進可             | 岩内部まで風化進行するも岩構造を残し, 石英未風化で残る (E <sub>1</sub> )     | 割れ目が多いが粘土化進行, 土砂状で密着している           | 細片状で岩片を残し, 指で砕けて粉状, 円形, コアなし (V)          | 破碎帯でコア部のみ細片状で採取のもの                       |
| D              | 黄 褐              | 極軟 粉状になりやすい M.Cで無水掘可                   | おおむね一様に風化進行, まさ土化している, わずかに岩片を残す (E <sub>2</sub> ) | 粘土化進行のためクラックなし                     | 土砂状 (VI)                                  | 破碎帯, 粘土化帯でコア採取不能のもの                      |

表 12.7 変形係数  $E_0$  と  $\alpha$  (「道路橋:2012」285p)

| 変形係数 $E_0$ の推定方法                           | 地盤反力係数の推定に用いる係数 $\alpha$ |     |
|--|--------------------------|-----|
|  | 常 時                      | 地震時 |
| 直径 0.3m の剛体円板による平板載荷試験の繰返し曲線から求めた変形係数の 1/2 | 1                        | 2   |
| 孔内水平載荷試験で測定した変形係数                          | 4                        | 8   |
| 供試体の一軸圧縮試験又は三軸圧縮試験から求めた変形係数                | 4                        | 8   |
| 標準貫入試験の $N$ 値より $E_0=2,800N$ で推定した変形係数     | 1                        | 2   |

注) 暴風時は, 常時の値を用いるものとする。

表 12.8 強風化花こう岩の岩級区分等 (土質工学会, 1979)

| 観 察<br>測定値 | ボーリングコア観察, 測定値                |   |                         |            |                  | 横 坑 内 観 察 測 定  |  |  |                  |                            |                                     |                   |                 |                                  |
|------------|-------------------------------|---|-------------------------|------------|------------------|--|--|--|------------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------|-----------------|----------------------------------|
|            | E sb<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 風化変質 (細区<br>分), 硬軟の程度                             | 割れ目<br>(細区分)<br>コア形状    | RQD<br>(%) | V pr<br>(km/sec) | 風化変質の程度  | 硬軟の程度<br>(細区分)   | 割れ目間隔と状態<br>(細区分)  | ショア<br>硬 度<br>Sh | 山中式<br>土塊硬<br>度<br>Yh (mm) | コンク<br>リート<br>びょう<br>貫入量<br>Dh (mm) | シュミ<br>ットハ<br>ンマー | 間隙率<br>n<br>(%) | 密 度<br>rt<br>(t/m <sup>3</sup> ) |
| DL         | 50~300                        | 極 軟<br>まさ化 (E <sub>2</sub> )                      | 砂状~<br>シルト状<br>(VI)     | 0          | < 1.2            | 長石はほとんど変質粘土<br>化, 石英細粒化.                               | 手の平での指圧碎で<br>おおむね粉末状,<br>一部砂状.<br>(E <sub>2</sub> )        | 割れ目間隔不明か<br>50cm以上<br>割れ目面密着(b~c)<br>(I)                       | < 4              | < 27                       | > 100                               | -                 | 35~43           | 1.90                             |
| DM         | 300~800                       | 極 軟<br>まさ化 (E <sub>2</sub> )                      | 砂 状<br>(VI)             | 0          | < 1.5            | 長石類は一部のカリ長石<br>を除きほとんど変質. 雲<br>母の一部を除き結晶形失<br>われる.     | 指圧碎で石英カリ長<br>石の粒子細片を残す.<br>砂状. 粒子は硬い.<br>(E <sub>1</sub> ) | 割れ目間隔不明か<br>30~50cm程度.<br>割れ目面密着(b~c)<br>(I~II)                | 5~12             | 28~32                      | 70~99                               | -                 | 20~35           | 2.10                             |
| DH         | 800~<br>1,500                 | 軟<br>ハンマーでぼろ<br>ぼろに碎ける.<br>(D)                    | 礫 状<br>(V~VI)           | 0~10       | 1.5~2.5          | 雲母の黄金色化が見られ<br>周辺褐色粘土化. 斜長石<br>の大部分は変質, 粘土化.           | 指圧碎でようやく可<br>石英周辺に長石を残<br>す. 各粒子硬く礫状<br>~砂状.<br>(D)        | 割れ目間隔15~30cm<br>程度.<br>(a~b)<br>(II~III)                       | 13~25            | 33~36                      | 30~69                               | < 10              | 14~20           | 2.20                             |
| CL         | 1,500~<br>3,000               | 軟 (D~C)<br>ハンマーで容易<br>に碎ける. コア<br>肌非常に粗い.         | 岩片状~<br>礫 状<br>(N~V)    | 0~25       | 2.0~3.3          | 黒雲母の黄金色化は認め<br>られるが, カリ長石の粘<br>土化は余り認められない.<br>斜長石は変質. | 指圧碎で一部碎ける.<br>粒子は硬い礫状~細<br>片状.<br>(D~C)                    | 割れ目間隔 5~50cm<br>程度. 割れ目状況明<br>りょう.<br>(a~b)<br>(II~IV.d)       | 26~39            | > 37                       | < 29                                | 11~20             | 10±             | 2.40                             |
| CM         | 3,000~<br>6,000               | 硬 (C)<br>ハンマーで容易<br>に割れ, 濁音を<br>発する. コア肌<br>やや粗い. | 岩片状(M)<br>コア長<br>5cm以下  | 0~50       | 3.0~4.2          | 斜長石の変質進む.  | ハンマーで軽くた<br>いて割れる.<br>(C)                                  | 割れ目間隔 5~15cm<br>程度.<br>亀裂面に沿って粘土<br>を挟さむ.<br>(N~V.c)           | 40~49            | -                          | -                                   | 21~30             | 5±              | 2.50                             |
| CH         | 6,000~<br>12,000              | 中硬 (B)<br>ハンマーで金属<br>音~濁音を発す<br>る. コア肌滑ら<br>か.    | 短柱状(M)<br>コア長<br>5~15cm | 25~75      | 4.1~5.0          | 斜長石, 黒雲母若干変質.  | 岩片は割合硬質. (B)   | 割れ目間隔 5~30cm<br>程度. 面密着.<br>亀裂面に沿って薄い<br>粘土を挟さむ.<br>(III~IV.d) | 50~60            | -                          | -                                   | > 31              | 3±              | 2.60                             |

注) Esb は地盤の変形係数

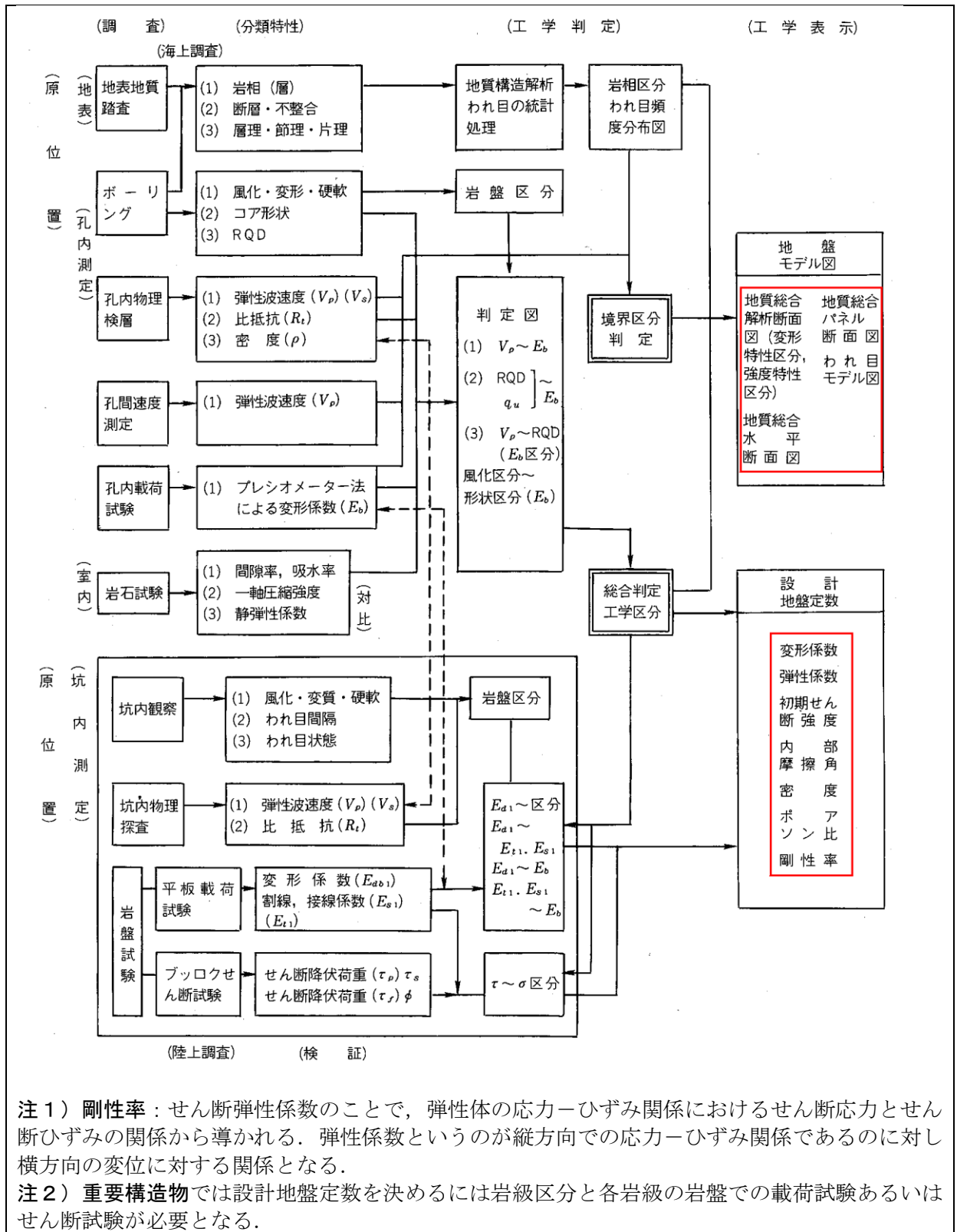


図 12.8 風化花こう岩の地盤調査項目と解析系列 (土質工学会, 1972, 1974)

## 12.4 橋の耐震設計で注意する土層

阪神淡路大震災を契機に、橋梁の耐震構造が大きく変わりました。耐震設計上問題となる土層があり、地震動レベルによって要求される耐震性能が異なってきます。

### (1) 耐震設計で考慮する地震動

レベル1地震動：橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動（中規模程度の地震）

レベル2地震動：橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動

タイプⅠの地震動：プレート境界型の大規模な地震

タイプⅡの地震動：内陸直下型地震

### (2) 橋の耐震性能

耐震性能1：地震によって橋としての健全性を損なわない性能。地震直後でも地震前と同じ機能を確保する。

耐震性能2：地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋としての性能回復が速やかに行い得る性能。落橋に対する安全性が確保でき地震後は応急修復程度で速やかに回復できる。

耐震性能3：地震による損傷が橋として致命的とならない性能。落橋に対する安全性のみ確保する。

表 12.9 橋の耐震性能の観点（道路橋示方書 耐震設計編，2002）

| 橋の耐震性能  | 耐震設計上の安全性      | 耐震設計上の供用性             | 耐震設計上の修復性             |                       |
|---|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|   |                |                       | 短期的修復性                | 長期的修復性                |
| 耐震性能1：<br>地震によって橋としての健全性を損なわない性能                    | 落橋に対する安全性を確保する | 地震前と同じ橋として機能を確保する     | 機能回復のための修復を必要としない     | 軽微な修復でよい              |
| 耐震性能2：<br>地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能 | 落橋に対する安全性を確保する | 地震後、橋としての機能を速やかに回復できる | 機能回復のための修復が応急修復で対応できる | 比較的容易に高級復旧を行うことが可能である |
| 耐震性能3：<br>地震による損傷が橋として致命傷にならない性能                    | 落橋に対する安全性を確保する | —                     | —                     | —                     |

表 12.10 橋の設計地震動（道路橋示方書 耐震設計編，2002）

| 設計地震動   |                                  | A種の橋                          | B種の橋   |
|---------|----------------------------------|-------------------------------|--|
| レベル1地震動 |                                  | 地震によって橋としての健全性を損なわない性能（耐震性能1） |  |
| レベル2地震動 | タイプⅠの地震動<br>（プレート境界型の大規模な地震）     | 地震による損傷が橋として致命的とならない性能（耐震性能3） | 地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能（耐震性能2） |
|         | タイプⅡの地震動<br>（兵庫県南部地震のような内陸直下型地震） |                               |  |

表 12.11 橋の重要度の区分

| 橋の重要度の区分 | 対象となる橋  |
|----------|---|
| A種の橋     | 下記以外の橋  |
| B種の橋     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・高速自動車国道の橋</li> <li>・都市高速道路の橋</li> <li>・指定都市高速道路の橋</li> <li>・本州四国連絡道路の橋</li> <li>・一般国道の橋</li> <li>・都道府県道、市町村道のうち、複断面・跨線橋・跨道橋および地域の防災計画上の位置付けや当該道路の利用状況等から特に重要な橋</li> </ul> |

(3) 耐震設計上ごく軟弱な土層および橋に影響を与える液状化が生じる砂質土層

耐震設計上注意する土層は次のように判定します。

粘土やシルトのような細粒土では強度が十分でない場合、耐震設計上の土質定数を零とします。

1964年6月16日に発生した新潟地震では、砂地盤上のアパートが液状化で支持を失い、そのまま倒れてしまいました。この経験から液状化に対しての指針が作られました。

新潟地震時の液状化による被災状況は下のウェブサイトで見ることができます。

(<http://www.bo-sai.co.jp/niigatajisin.htm>)

これらの判定基準を示します。

表 12.12 橋の耐震設計で土質定数を低減する判定基準

| 土層                | 判定基準  | 対応   |
|-------------------|---|--|
| 耐震設計上ごく軟弱な土層      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・現地盤面から 3m 以内にある粘性土層およびシルト質土層</li> <li>・一軸圧縮強度が 20kN/m<sup>2</sup> 以下</li> </ul>   | 耐震設計上の土質定数を 0 とする。   |
| 液状化が生じると判定された砂質土層 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・沖積層の砂質土層である。</li> <li>1) 地下水位が現地盤面から 10m 以内にあり、かつ、現地盤面から 20m 以内の深さに存在する飽和土層。</li> <li>2) 細粒分含有率 (F<sub>C</sub>) が 35% 以下の土層。または、F<sub>C</sub> が 35% を越えても塑性指数 (I<sub>p</sub>) が 15 以下の土層。</li> <li>3) 平均粒径 (D<sub>50</sub>) が 10mm 以下で、かつ、10% 粒径が 1mm 以下である土層。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・液状化に対する抵抗率 (F<sub>L</sub>) を求め、この値が 1.0 以下の土層は液状化するとみなす。</li> <li>・F<sub>L</sub> の値に応じて耐震設計上の土質定数を低減する。</li> </ul> |

注 1) 細粒分含有率：粒度 75 μm 以下の成分の含有率。シルト以下の土に相当する。

注 2) 塑性指数：液性限界と塑性限界の含水比の差。I<sub>p</sub>=w<sub>L</sub>-w<sub>p</sub>

注 3) 液性限界と塑性限界（下の図および写真参照）

|                            |        |                        |                        |
|----------------------------|--------|------------------------|------------------------|
| ← 含水比大                     |        | 含水比小 →                 |                        |
| 流動体                        | 塑性体    | 弾性体                    |                        |
| 液性状                        | 塑性状    | 半固結状                   | 固結状                    |
| (ヘアクリームに似ている)              | (ポマード) | (石けん)                  | —                      |
| 液性限界 (w <sub>L</sub> )     |        | 塑性限界 (w <sub>p</sub> ) | 収縮限界 (w <sub>s</sub> ) |
| ← 塑性指数 (I <sub>p</sub> ) → |        |                        |                        |

図 12.9 コンシステンシー特性

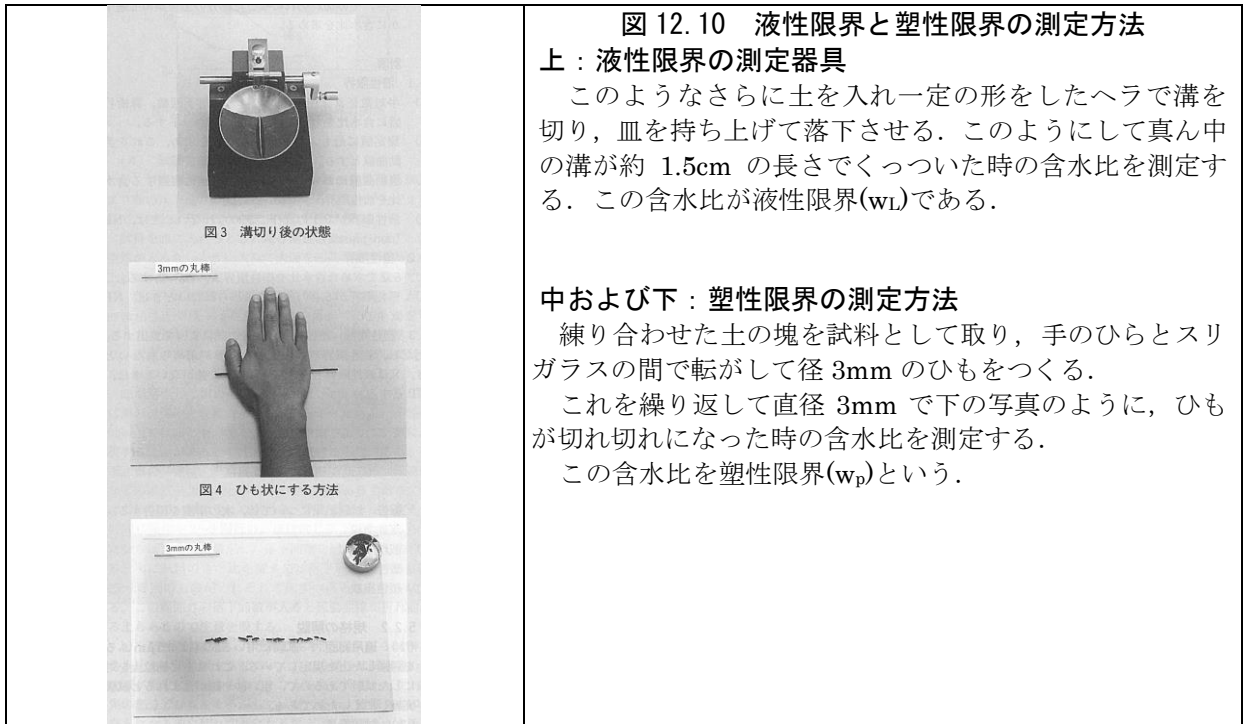


図 12.10 液性限界と塑性限界の測定方法

**上：液性限界の測定器具**

このようなさらに土を入れ一定の形をしたヘラで溝を切り，皿を持ち上げて落下させる．このようにして真ん中の溝が約 1.5cm の長さでくっついた時の含水比を測定する．この含水比が液性限界( $w_L$ )である．

**中および下：塑性限界の測定方法**

練り合わせた土の塊を試料として取り，手のひらとスリガラスの間で転がして径 3mm のひもをつくる．

これを繰り返して直径 3mm で下の写真のように，ひもが切れ切れになった時の含水比を測定する．

この含水比を塑性限界( $w_p$ )という．