

電源開発株式会社  
大間原子力発電所

岩石・岩盤物性

平成16年8月  
原子力発電安全審査課

## 目 次

1. 検討目的.....	1
2. 原子炉建屋基礎地盤の岩石・岩盤物性.....	2
2.1 調査内容.....	2
2.1.1 岩石試験.....	2
2.1.2 岩盤試験.....	4
2.1.3 土質試験.....	8
2.2 調査結果.....	10
2.2.1 岩石試験結果.....	10
2.2.2 岩盤試験結果.....	21
2.2.3 土質試験結果.....	25
3. 断層内物質及びシームの物性.....	29
3.1 調査内容.....	29
3.2 調査結果.....	31

## 1. 検討目的

大間原子力発電所原子炉建屋基礎地盤の工学的特性を把握するために、申請者が実施した岩石・岩盤物性に関する調査・試験の方法、内容及び結果の妥当性について検討を行う。

なお、本資料に記載の図表類については、「岩石・岩盤物性 一別添図面集一」（04-大間設C-29）に示す。

## 2. 原子炉建屋基礎地盤の岩石・岩盤物性

申請者は、原子炉建屋基礎地盤の安定性の検討に資するため、以下のとおり岩石試験，岩盤試験及び土質試験を実施している。

### 2.1 調査内容

#### 2.1.1 岩石試験

原子炉建屋基礎地盤を構成する岩石の物理的・力学的性質を明らかにし、構造物の設計及び施工の基礎資料を得るため、ボーリングコア，試掘坑内等から試料を採取して岩石試験を実施している。

試験は日本工業規格（JIS），社団法人地盤工学会「土質試験の方法と解説」等に準拠して実施している。

試料を採取したボーリング孔位置を図-1に，試掘坑内等での試料採取位置を図-2に示す。

#### (1) 試験項目

物理的性質を明らかにする試験として，密度，吸水率，有効間隙率，超音波伝播速度等を測定している。

また，力学的性質を明らかにする試験として，一軸圧縮試験，圧裂試験，三軸圧縮試験，段階載荷クリープ強度試験及び三軸クリープ試験を実施している。

#### (2) 試験方法

##### a. 一軸圧縮試験

試験は，社団法人地盤工学会「土質試験の方法と解説」に

準拠し，自然状態の供試体について実施している。

供試体は直径 5 c m，長さ 10 c m及び直径 9.2 c m，長さ 18.4 c mに整形している。

b. 圧裂試験

試験は，JIS M 0303（岩石の引張強さ試験方法）に準拠し，自然状態の供試体について圧裂試験により引張強度を求めている。

供試体は直径 5 c m，長さ 5 c m及び直径 9.2 c m，長さ 9.2 c mに整形している。

c. 三軸圧縮試験

試験は，社団法人地盤工学会「土質試験の方法と解説」に準拠し，自然状態の供試体に排水状態で所定の側圧を負荷し，次に非排水状態で軸荷重を破壊まで載荷し，その時の軸差応力を求める方法で実施している。

供試体は直径 5 c m，長さ 10 c m及び直径 9.2 c m，長さ 18.4 c mに整形し，側圧は 4 段階としている。

d. 段階載荷クリープ強度試験

試験は，村山の方法により，自然状態の供試体に排水状態で所定の側圧を負荷し，次に非排水状態で軸差応力を段階的に  $0.25\text{N/mm}^2$  ずつ，供試体が破壊するまで増加させる方法で実施している。

供試体は直径 9.2 c m，長さ 18.4 c mに整形し，側圧は 3 段階としている。

#### e. 三軸クリープ試験

試験は、自然状態の供試体に排水状態で所定の側圧を負荷し、次に排水状態で  $0.4\text{N/mm}^2$  または  $0.7\text{N/mm}^2$  の軸差応力を載荷する方法で実施している。

供試体は直径  $9.2\text{cm}$ 、長さ  $18.4\text{cm}$  に整形し、側圧は4段階としている。

### 2.1.2 岩盤試験

原子炉建屋基礎地盤としての適性を確認し、あわせて設計及び施工の基礎資料を得るため、試掘坑内等において弾性波試験、岩盤変形試験、支持力試験、ブロックせん断試験、岩盤クリープ試験、シュミットロックハンマ反発度測定及び初期地圧測定を、また、ボーリング孔を利用してPS検層及び透水試験を実施している。

岩盤試験の仕様は表-1（試験仕様一覧表）に示すとおりである。

#### (1) 弾性波試験（屈折法）

基礎地盤の動的特性を求めるため、試掘坑内で屈折法による弾性波試験を実施している。試験は、2測線、延長約  $150\text{m}$  の測線上に約  $2\text{m}$  間隔で受振器を設け、発破（P波測定時）及び板たたき法（S波測定時）によって発振し実施している。

各受振点の記録から走時曲線を描き、これを解析してP波及びS波の伝播速度を求めている。

弾性波試験位置を図-3に示す。

## (2) 岩盤変形試験

基礎地盤の変形特性を求めるため、試験坑内の 17 箇所で行った岩盤変形試験を実施している。

試験は、載荷荷重を段階的に増減させて実施し、荷重に対応する変位量を測定している。

試験位置を図-4に、試験装置を図-5に、載荷パターンを図-6に示す。

## (3) 支持力試験

基礎地盤の支持力特性を求めるため、試験坑内の 17 箇所で行った支持力試験を実施している。

試験は岩盤変形試験終了後、載荷荷重を増加させて実施し、荷重に対応する変位量を測定している。

試験位置を図-4に、試験装置を図-5に、載荷パターンを図-7に示す。

## (4) ブロックせん断試験

基礎地盤のせん断強度特性を求めるため、試験坑内の 6 箇所で行ったブロックせん断試験を実施している。

試験は、コンクリートブロックを 1 箇所当たり 4 個～5 個作成し、各供試体ごとに垂直荷重を変えて垂直応力とせん断応力を測定し、破壊した時の結果からせん断強度及び内部摩擦角を求めている。

試験位置を図-4に、試験装置を図-8に、載荷パターンを図-9に示す。

また、ブロックせん断試験後の供試体を用いて摩擦抵抗試験を実施している。

#### (5) 岩盤クリープ試験

基礎地盤のクリープ特性を求めるため、試験坑内で岩盤クリープ試験を実施している。

試験は、油圧ポンプとアキュムレータにより  $0.7\text{N/mm}^2$  の荷重を一定载荷させて実施し、載荷板上に設置した精度  $1/1000\text{mm}$  の4個の変位計の計測平均値から変位量を求めている。

試験位置を図-4に、試験装置を図-10に示す。

#### (6) P S 検層

基礎地盤の深さ方向の動的特性を求めるため、ボーリング孔を利用してP S 検層を実施している。

検層は、ボーリング孔内に受振器を設け、地上で発破（P波測定時）、板たたき法（S波測定時）等による発振を行い、基礎地盤のP波及びS波の伝播速度を求め、動弾性係数及び動ポアソン比を算出している。

P S 検層は、炉心ボーリング孔を含め原子炉施設設置位置付近のボーリング孔の一部で実施している。

P S 検層位置を図-11に、P S 検層の概略を図-12に示す。

#### (7) 地盤物性の場所的変化に関する調査

基礎地盤物性の場所的変化を検討するため、試掘坑内においてシュミットロックハンマ反発度測定及び弾性波試験（平均速度法）を実施している。

a. シュミットロックハンマ反発度測定

測定は、1.2m間隔を基本に118箇所で行っている。なお、1箇所当たりの測定点数は9点とし、同一測定点での打撃回数を5回としている。

b. 弾性波試験（平均速度法）

試掘坑内に約2m間隔で受振器を設置し、弾性波試験（平均速度法）を行い、基礎地盤のP波及びS波の平均伝播速度を測定している。

弾性波測定範囲を図-3に示す。

(8) 透水試験

基礎地盤の透水性を求めるため、原子炉施設設置位置付近のボーリング4孔を利用して透水試験を実施している。試験位置を図-13に示す。

試験は、1.5m～5m間隔でルジオン試験を実施し、その結果から岩盤の透水係数を求めている。

(9) 初期地圧測定

基礎地盤中の初期地圧を求めるため、応力解放法により地圧の測定を実施している。

補足調査坑内において、2本のボーリングを行い、その孔内にひずみ計を埋設した後、オーバーコアリングによってその解放ひずみを測定し、さらに、得られたコアを大型三軸試験装置で等圧試験を行って地圧を求めている。

試験位置を図-14に示す。

### 2.1.3 土質試験

原子炉施設設置位置付近の火山砕屑岩（風化部）、堆積岩（風化部）、表土及び埋戻・盛土材の物理的・力学的性質を明らかにするため、以下の土質試験を実施している。

試験は、社団法人地盤工学会「土質試験の方法と解説」に準拠して実施している。

火山砕屑岩（風化部）、堆積岩（風化部）及び表土の試料採取位置を図-15に示す。

なお、埋戻・盛土材は、発電所建設工事により発生する掘削土砂を用いる計画としている。

#### (1) 試験項目

物理的性質を明らかにする試験として、土粒子の密度、土の含水比及び土の湿潤密度試験を実施している。

また、力学的性質を明らかにする試験として三軸圧縮試験及び動的三軸試験を実施している。

#### (2) 試験方法

##### a. 土粒子の密度試験，土の含水比試験及び土の湿潤密度試験

試験は、社団法人地盤工学会「土質試験の方法と解説」JGS T 111-1990（土粒子の密度試験方法）、JGS T 121-1990（土の含水比試験方法）及び JGS T 191-1990（土の湿潤密度試験方法 A法）に準拠して実施している。

##### b. 三軸圧縮試験

試験は、社団法人地盤工学会「土質試験の方法と解説」JGS

T 522-1990 (土の圧密非排水(CU)三軸圧縮試験方法) に準拠して実施している。

供試体は直径 5 cm, 長さ 10 cm, 直径 9.2 cm, 長さ 18.4 cm 及び直径 10 cm, 長さ 20 cm に整形し, 側圧は 4 段階としている。

c. 動的三軸試験

試験は, 供試体に周波数 1Hz の繰返し荷重を段階的に加え, せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を求めている。

供試体は直径 5 cm, 長さ 10 cm, 直径 9.2 cm, 長さ 18.4 cm 及び直径 10 cm, 長さ 20 cm に整形し, 側圧は 4 段階としている。

## 2.2 調査結果

### 2.2.1 岩石試験結果

ボーリングコア，試掘坑内等から採取した試料による岩石試験結果を表-2～表-5，図-16～図-18に示す。

#### (1) 一般物理特性

##### a. 密度（自然）

###### (a) 火山砕屑岩

密度（自然）の平均値は，細粒凝灰岩で  $1.58\text{g/cm}^3$ ，粗粒凝灰岩で  $1.89\text{g/cm}^3$ ，淡灰色火山礫凝灰岩で  $1.81\text{g/cm}^3$ ，暗灰色火山礫凝灰岩で  $1.93\text{g/cm}^3$ ，凝灰角礫岩で  $2.04\text{g/cm}^3$ ，酸性凝灰岩で  $1.68\text{g/cm}^3$ ，軽石凝灰岩で  $1.63\text{g/cm}^3$ ，火山砕屑岩（クリンカー質部）で  $1.93\text{g/cm}^3$  である。

###### (b) 堆積岩

密度（自然）の平均値は，シルト岩で  $1.45\text{g/cm}^3$ ，シルト岩（硬質部）で  $1.49\text{g/cm}^3$  である。

###### (c) 溶岩・貫入岩

密度（自然）の平均値は，安山岩溶岩（塊状・規則性節理部）で  $2.38\text{g/cm}^3$ ，安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）で  $2.34\text{g/cm}^3$ ，安山岩溶岩（角礫状）で  $2.16\text{g/cm}^3$ ，デイサイトで  $2.37\text{g/cm}^3$ ，玄武岩（角礫状）で  $2.11\text{g/cm}^3$  である。

##### b. 吸水率

###### (a) 火山砕屑岩

吸水率の平均値は，細粒凝灰岩で  $67.8\%$ ，粗粒凝灰岩で

29.2%，淡灰色火山礫凝灰岩で28.0%，暗灰色火山礫凝灰岩で25.2%，凝灰角礫岩で16.5%，酸性凝灰岩で42.8%，軽石凝灰岩で47.7%，火山砕屑岩（クリンカー質部）で26.0%である。

(b) 堆積岩

吸水率の平均値は，シルト岩で79.5%，シルト岩（硬質部）で71.1%である。

(c) 溶岩・貫入岩

吸水率の平均値は，安山岩溶岩（塊状・規則性節理部）で5.8%，安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）で7.4%，安山岩溶岩（角礫状）で13.5%，デイサイトで5.7%，玄武岩（角礫状）で18.5%である。

c. 有効間隙率

(a) 火山砕屑岩

有効間隙率の平均値は，細粒凝灰岩で61.4%，粗粒凝灰岩で43.0%，淡灰色火山礫凝灰岩で39.8%，暗灰色火山礫凝灰岩で38.9%，凝灰角礫岩で28.9%，酸性凝灰岩で50.6%，軽石凝灰岩で52.3%，火山砕屑岩（クリンカー質部）で39.1%である。

(b) 堆積岩

有効間隙率の平均値は，シルト岩で64.8%，シルト岩（硬質部）で62.9%である。

(c) 溶岩・貫入岩

有効間隙率の平均値は、安山岩溶岩（塊状・規則性節理部）で 13.1%，安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）で 16.2%，安山岩溶岩（角礫状）で 25.5%，デイサイトで 12.8%，玄武岩（角礫状）で 33.2%である。

d. P波速度

(a) 火山砕屑岩

P波速度の平均値は、細粒凝灰岩で 1.74 k m/ s，粗粒凝灰岩で 2.35 k m/ s，淡灰色火山礫凝灰岩で 1.76 k m/ s，暗灰色火山礫凝灰岩で 2.48 k m/ s，凝灰角礫岩で 1.77 k m/ s，酸性凝灰岩で 1.94 k m/ s，軽石凝灰岩で 1.67 k m/ s，火山砕屑岩（クリンカー質部）で 1.15 k m/ s である。

(b) 堆積岩

P波速度の平均値は、シルト岩で 1.59 k m/ s，シルト岩（硬質部）で 1.68 k m/ s である。

(c) 溶岩・貫入岩

P波速度の平均値は、安山岩溶岩（塊状・規則性節理部）で 3.76 k m/ s，安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）で 3.80 k m/ s，安山岩溶岩（角礫状）で 2.60 k m/ s，デイサイトで 3.86 k m/ s，玄武岩（角礫状）で 2.42 k m/ s である。

## e. S波速度

### (a) 火山砕屑岩

S波速度の平均値は、細粒凝灰岩で  $0.65 \text{ km/s}$ 、粗粒凝灰岩で  $1.12 \text{ km/s}$ 、淡灰色火山礫凝灰岩で  $0.84 \text{ km/s}$ 、暗灰色火山礫凝灰岩で  $1.14 \text{ km/s}$ 、凝灰角礫岩で  $0.89 \text{ km/s}$ 、酸性凝灰岩で  $0.88 \text{ km/s}$ 、軽石凝灰岩で  $0.61 \text{ km/s}$ 、火山砕屑岩（クリンカー質部）で  $0.44 \text{ km/s}$  である。

### (b) 堆積岩

S波速度の平均値は、シルト岩で  $0.58 \text{ km/s}$ 、シルト岩（硬質部）で  $0.66 \text{ km/s}$  である。

### (c) 溶岩・貫入岩

S波速度の平均値は、安山岩溶岩（塊状・規則性節理部）で  $2.01 \text{ km/s}$ 、安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）で  $2.04 \text{ km/s}$ 、安山岩溶岩（角礫状）で  $1.25 \text{ km/s}$ 、デイサイトで  $2.02 \text{ km/s}$ 、玄武岩（角礫状）で  $1.19 \text{ km/s}$  である。

## (2) 変形特性

### a. 動弾性係数

#### (a) 火山砕屑岩

動弾性係数の平均値は、細粒凝灰岩で  $2.01 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 、粗粒凝灰岩で  $6.43 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 、淡灰色火山礫凝灰岩で  $3.46 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 、暗灰色火山礫凝灰岩で  $6.82 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 、凝灰角礫岩で  $4.25 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 、酸性凝灰岩で  $3.59 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 、軽石

凝灰岩で  $1.81 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 、火山碎屑岩（クリンカー質部）で  $0.96 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$  である。

(b) 堆積岩

動弾性係数の平均値は、シルト岩で  $1.46 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 、シルト岩（硬質部）で  $1.86 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$  である。

(c) 溶岩・貫入岩

動弾性係数の平均値は、安山岩溶岩（塊状・規則性節理部）で  $24.91 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 、安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）で  $25.20 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 、安山岩溶岩（角礫状）で  $9.25 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 、デイサイトで  $25.50 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 、玄武岩（角礫状）で  $8.21 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$  である。

b. 動ポアソン比

(a) 火山碎屑岩

動ポアソン比の平均値は、細粒凝灰岩で 0.42、粗粒凝灰岩で 0.35、淡灰色火山礫凝灰岩で 0.35、暗灰色火山礫凝灰岩で 0.36、凝灰角礫岩で 0.32、酸性凝灰岩で 0.37、軽石凝灰岩で 0.42、火山碎屑岩（クリンカー質部）で 0.41 である。

(b) 堆積岩

動ポアソン比の平均値は、シルト岩で 0.42、シルト岩（硬質部）で 0.41 である。

(c) 溶岩・貫入岩

動ポアソン比の平均値は、安山岩溶岩（塊状・規則性節理部）で 0.29、安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）で 0.29、

安山岩溶岩（角礫状）で 0.34，デイサイトで 0.31，玄武岩（角礫状）で 0.34 である。

c. 静弾性係数

(a) 火山碎屑岩

一軸圧縮試験の静弾性係数の平均値は，細粒凝灰岩で  $0.52 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ ，粗粒凝灰岩で  $2.22 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ ，淡灰色火山礫凝灰岩で  $1.02 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ ，暗灰色火山礫凝灰岩で  $2.08 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ ，凝灰角礫岩で  $0.67 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ ，酸性凝灰岩で  $1.26 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ ，軽石凝灰岩で  $0.76 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ ，火山碎屑岩（クリンカー質部）で  $0.17 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$  である。

(b) 堆積岩

一軸圧縮試験の静弾性係数の平均値は，シルト岩で  $0.59 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ ，シルト岩（硬質部）で  $0.91 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$  である。

(c) 溶岩・貫入岩

一軸圧縮試験の静弾性係数の平均値は，安山岩溶岩（塊状・規則性節理部）で  $7.98 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ ，安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）で  $5.68 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ ，安山岩溶岩（角礫状）で  $1.69 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ ，デイサイトで  $13.24 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ ，玄武岩（角礫状）で  $1.77 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$  である。

d. 静ポアソン比

(a) 火山碎屑岩

一軸圧縮試験の静ポアソン比の平均値は，細粒凝灰岩で 0.44，粗粒凝灰岩で 0.46，淡灰色火山礫凝灰岩で 0.45，暗

灰色火山礫凝灰岩で 0.46, 凝灰角礫岩で 0.48, 酸性凝灰岩で 0.45, 軽石凝灰岩で 0.47, 火山碎屑岩 (クリンカー質部) で 0.49 である。

(b) 堆積岩

一軸圧縮試験の静ポアソン比の平均値は, シルト岩で 0.43, シルト岩 (硬質部) で 0.46 である。

(c) 溶岩・貫入岩

一軸圧縮試験の静ポアソン比の平均値は, 安山岩溶岩 (塊状・規則性節理部) で 0.24, 安山岩溶岩 (塊状・不規則性節理部) で 0.30, 安山岩溶岩 (角礫状) で 0.48, デイサイト で 0.27, 玄武岩 (角礫状) で 0.32 である。

e. クリープ係数

三軸クリープ試験より得られた時間とひずみの関係を

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \varepsilon_e + \varepsilon_c \\ &= \varepsilon_e \{1 + \alpha_1(1 - e^{-\beta_1 t}) + \alpha_2(1 - e^{-\beta_2 t})\}\end{aligned}$$

で近似させクリープ係数の平均値を算出すると, 淡灰色火山礫凝灰岩で  $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = 0.14$  ( $\alpha_1 = 0.05$ ,  $\alpha_2 = 0.09$ ),  $\beta_1 = 3.8/\text{day}$ ,  $\beta_2 = 0.062/\text{day}$ , 凝灰角礫岩で  $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = 0.23$  ( $\alpha_1 = 0.12$ ,  $\alpha_2 = 0.11$ ),  $\beta_1 = 3.8/\text{day}$ ,  $\beta_2 = 0.066/\text{day}$  である。

(1) 強度特性

a. 一軸圧縮強度

(a) 火山碎屑岩

一軸圧縮強度の平均値は, 細粒凝灰岩で  $2.03 \text{ N/mm}^2$ , 粗粒

凝灰岩で  $8.82\text{N/mm}^2$ ，淡灰色火山礫凝灰岩で  $3.02\text{N/mm}^2$ ，暗灰色火山礫凝灰岩で  $6.95\text{N/mm}^2$ ，凝灰角礫岩で  $2.70\text{N/mm}^2$ ，酸性凝灰岩で  $6.17\text{N/mm}^2$ ，軽石凝灰岩で  $3.40\text{N/mm}^2$ ，火山碎屑岩（クリンカー質部）で  $1.89\text{N/mm}^2$  である。

(b) 堆積岩

一軸圧縮強度の平均値は，シルト岩で  $5.32\text{N/mm}^2$ ，シルト岩（硬質部）で  $8.88\text{N/mm}^2$  である。

(c) 溶岩・貫入岩

一軸圧縮強度の平均値は，安山岩溶岩（塊状・規則性節理部）で  $44.33\text{N/mm}^2$ ，安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）で  $20.40\text{N/mm}^2$ ，安山岩溶岩（角礫状）で  $5.26\text{N/mm}^2$ ，デイサイトで  $78.36\text{N/mm}^2$ ，玄武岩（角礫状）で  $4.78\text{N/mm}^2$  である。

b. 引張強度

(a) 火山碎屑岩

引張強度の平均値は，細粒凝灰岩で  $0.18\text{N/mm}^2$ ，粗粒凝灰岩で  $1.51\text{N/mm}^2$ ，淡灰色火山礫凝灰岩で  $0.21\text{N/mm}^2$ ，暗灰色火山礫凝灰岩で  $0.58\text{N/mm}^2$ ，凝灰角礫岩で  $0.15\text{N/mm}^2$ ，酸性凝灰岩で  $0.79\text{N/mm}^2$ ，軽石凝灰岩で  $0.33\text{N/mm}^2$ ，火山碎屑岩（クリンカー質部）で  $0.01\text{N/mm}^2$  である。

(b) 堆積岩

引張強度の平均値は，シルト岩で  $0.87\text{N/mm}^2$ ，シルト岩（硬質部）で  $1.35\text{N/mm}^2$  である。

(c) 溶岩・貫入岩

引張強度の平均値は、安山岩溶岩（塊状・規則性節理部）で  $5.49\text{N/mm}^2$ ，安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）で  $3.27\text{N/mm}^2$ ，安山岩溶岩（角礫状）で  $0.38\text{N/mm}^2$ ，デイサイトで  $6.20\text{N/mm}^2$ ，玄武岩（角礫状）で  $0.91\text{N/mm}^2$  である。

c. 三軸圧縮強度

岩石の破壊時のせん断応力  $\tau$  ( $\text{N/mm}^2$ ) と垂直応力  $\sigma$  ( $\text{N/mm}^2$ ) との関係は、以下のとおりである。

(a) 火山砕屑岩

細粒凝灰岩

$$\left(\frac{\tau}{0.45}\right)^2 = 1 + \frac{\sigma}{0.18} \quad (-0.18\text{N/mm}^2 \leq \sigma < 0.66\text{N/mm}^2)$$
$$\tau = 0.76 + \sigma \tan 18^\circ \quad (\sigma \geq 0.66\text{N/mm}^2)$$

粗粒凝灰岩

$$\left(\frac{\tau}{2.44}\right)^2 = 1 + \frac{\sigma}{1.51} \quad (-1.51\text{N/mm}^2 \leq \sigma < 3.44\text{N/mm}^2)$$
$$\tau = 3.90 + \sigma \tan 9^\circ \quad (\sigma \geq 3.44\text{N/mm}^2)$$

淡灰色火山礫凝灰岩

$$\left(\frac{\tau}{0.61}\right)^2 = 1 + \frac{\sigma}{0.21} \quad (-0.21\text{N/mm}^2 \leq \sigma < 1.21\text{N/mm}^2)$$
$$\tau = 1.43 + \sigma \tan 8^\circ \quad (\sigma \geq 1.21\text{N/mm}^2)$$

暗灰色火山礫凝灰岩

$$\left(\frac{\tau}{1.51}\right)^2 = 1 + \frac{\sigma}{0.58} \quad (-0.58\text{N/mm}^2 \leq \sigma < 2.10\text{N/mm}^2)$$
$$\tau = 2.73 + \sigma \tan 14^\circ \quad (\sigma \geq 2.10\text{N/mm}^2)$$

凝灰角礫岩

$$\left(\frac{\tau}{0.50}\right)^2 = 1 + \frac{\sigma}{0.15} \quad (-0.15 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma < 1.58 \text{ N/mm}^2)$$
$$\tau = 1.27 + \sigma \tan 16^\circ \quad (\sigma \geq 1.58 \text{ N/mm}^2)$$

酸性凝灰岩

$$\left(\frac{\tau}{1.56}\right)^2 = 1 + \frac{\sigma}{0.79} \quad (-0.79 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma < 1.58 \text{ N/mm}^2)$$
$$\tau = 2.36 + \sigma \tan 12^\circ \quad (\sigma \geq 1.58 \text{ N/mm}^2)$$

軽石凝灰岩

$$\left(\frac{\tau}{0.78}\right)^2 = 1 + \frac{\sigma}{0.33} \quad (-0.33 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma < 1.25 \text{ N/mm}^2)$$
$$\tau = 1.47 + \sigma \tan 11^\circ \quad (\sigma \geq 1.25 \text{ N/mm}^2)$$

火山碎屑岩 (クリンカー質部)

$$\left(\frac{\tau}{0.13}\right)^2 = 1 + \frac{\sigma}{0.01} \quad (-0.01 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma < 1.08 \text{ N/mm}^2)$$
$$\tau = 1.06 + \sigma \tan 14^\circ \quad (\sigma \geq 1.08 \text{ N/mm}^2)$$

(b) 堆積岩

シルト岩

$$\left(\frac{\tau}{1.45}\right)^2 = 1 + \frac{\sigma}{0.87} \quad (-0.87 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma < 4.27 \text{ N/mm}^2)$$
$$\tau = 2.37 + \sigma \tan 15^\circ \quad (\sigma \geq 4.27 \text{ N/mm}^2)$$

シルト岩 (硬質部)

$$\left(\frac{\tau}{2.37}\right)^2 = 1 + \frac{\sigma}{1.35} \quad (-1.35 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma < 2.49 \text{ N/mm}^2)$$
$$\tau = 3.76 + \sigma \tan 6^\circ \quad (\sigma \geq 2.49 \text{ N/mm}^2)$$

(c) 溶岩・貫入岩

安山岩溶岩 (塊状・規則性節理部)

$$\tau = 6.22 + \sigma \tan 57^\circ$$

安山岩溶岩 (塊状・不規則性節理部)

$$\tau = 3.38 + \sigma \tan 59^\circ$$

安山岩溶岩 (角礫状)

$$\left(\frac{\tau}{1.09}\right)^2 = 1 + \frac{\sigma}{0.38} \quad (-0.38 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma < 0.05 \text{ N/mm}^2)$$

$$\tau = 1.12 + \sigma \tan 38^\circ \quad (\sigma \geq 0.05 \text{ N/mm}^2)$$

デイサイト

$$\tau = 12.80 + \sigma \tan 55^\circ$$

玄武岩 (角礫状)

$$\left(\frac{\tau}{1.36}\right)^2 = 1 + \frac{\sigma}{0.91} \quad (-0.91 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma < 0.79 \text{ N/mm}^2)$$

$$\tau = 1.45 + \sigma \tan 27^\circ \quad (\sigma \geq 0.79 \text{ N/mm}^2)$$

d. クリープ強度

段階載荷クリープ強度試験より得られた上限降伏値の平均値は、淡灰色火山礫凝灰岩で  $2.69 \text{ N/mm}^2$ 、凝灰角礫岩で  $2.07 \text{ N/mm}^2$  であり、上限降伏値と三軸圧縮強度の比の平均値は淡灰色火山礫凝灰岩で  $75.8\%$ 、凝灰角礫岩で  $56.7\%$  である。

## 2.2.2 岩盤試験結果

### (1) 弾性波試験（屈折法）

試掘坑内で実施した屈折法による弾性波試験結果を図-19に示す。

原子炉建屋基礎地盤の弾性波速度は、P波で  $1.9 \text{ km/s} \sim 2.3 \text{ km/s}$ 、平均  $2.1 \text{ km/s}$ 、S波で  $0.7 \text{ km/s} \sim 0.9 \text{ km/s}$ 、平均  $0.8 \text{ km/s}$  である。

### (2) 岩盤変形試験

岩盤変形試験により得られた応力と変位の関係を図-20に示す。

岩盤変形試験から得られた変形係数、接線弾性係数及び割線弾性係数は表-6に示すとおりであり、割線弾性係数は、安山岩溶岩（塊状・不規則性節理部）で  $0.95 \times 10^3 \text{ N/mm}^2 \sim 2.47 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 、安山岩溶岩（塊状・規則性節理部）で  $1.41 \times 10^3 \text{ N/mm}^2 \sim 3.11 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 、安山岩溶岩（角礫状）で  $1.83 \times 10^3 \text{ N/mm}^2 \sim 3.02 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 、淡灰色火山礫凝灰岩で  $1.21 \times 10^3 \text{ N/mm}^2 \sim 2.45 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$  である。

### (3) 支持力試験

支持力試験により得られた応力と変位の関係を図-21に示す。応力－変位曲線（両対数）の初期及び終局部分の接線の交点を上限降伏値とし、急速変位により荷重を保持できなくなる荷重を極限支持力としている。

試験結果は表-7のとおりであり、上限降伏値は安山岩溶岩（塊

状・不規則性節理部) で  $7.3\text{N/mm}^2 \sim 13.7\text{N/mm}^2$  以上 (平均  $10.4\text{N/mm}^2$  以上), 安山岩溶岩 (塊状・規則性節理部) で  $13.7\text{N/mm}^2$  以上 (平均  $13.7\text{N/mm}^2$  以上), 安山岩溶岩 (角礫状) で  $6.7\text{N/mm}^2 \sim 9.3\text{N/mm}^2$  (平均  $8.4\text{N/mm}^2$ ), 淡灰色火山礫凝灰岩で  $4.7\text{N/mm}^2 \sim 7.8\text{N/mm}^2$  (平均  $6.1\text{N/mm}^2$ ) である。

極限支持力は安山岩溶岩 (塊状・不規則性節理部), 安山岩溶岩 (塊状・規則性節理部) 及び安山岩溶岩 (角礫状) で  $13.7\text{N/mm}^2$  以上, 淡灰色火山礫凝灰岩で  $13.1\text{N/mm}^2 \sim 14.0\text{N/mm}^2$  以上 (平均  $13.8\text{N/mm}^2$  以上) である。

#### (4) ブロックせん断試験

ブロックせん断試験より得られたせん断強度及び内部摩擦角を表-8に, せん断応力と垂直応力の関係を図-22に, せん断応力と水平変位の関係を図-23に示す。

破壊時のせん断応力  $\tau$  と垂直応力  $\sigma$  との関係は, 以下のとおりである。

安山岩溶岩 (塊状・不規則性節理部)

$$\tau = 1.53 + \sigma \tan 29^\circ \quad (\text{N/mm}^2)$$

安山岩溶岩 (塊状・規則性節理部)

$$\tau = 1.32 + \sigma \tan 45^\circ \quad (\text{N/mm}^2)$$

安山岩溶岩 (角礫状)

$$\tau = 0.75 + \sigma \tan 38^\circ \quad (\text{N/mm}^2)$$

淡灰色火山礫凝灰岩

$$\tau = 0.52 + \sigma \tan 35^\circ \quad (\text{N/mm}^2)$$

ブロックせん断試験後の供試体を用いて行った摩擦抵抗試験の結果を図-24に示す。

#### (5) 岩盤クリープ試験

岩盤クリープ試験から得られた時間と沈下量の関係を図-25に示す。

この時間と沈下量の関係を

$$\begin{aligned} W &= W_e + W_c \\ &= W_e \{1 + \alpha_1(1 - e^{-\beta_1 t}) + \alpha_2(1 - e^{-\beta_2 t})\} \end{aligned}$$

で近似させ、淡灰色火山礫凝灰岩のクリープ係数を算出すると表-9のとおり、 $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = 0.08$  ( $\alpha_1 = 0.02$ ,  $\alpha_2 = 0.06$ ),  $\beta_1 = 16/\text{day}$ ,  $\beta_2 = 0.20/\text{day}$  である。

#### (6) P S 検層

炉心ボーリング孔において実施したP S 検層によるP波及びS波速度を表-10及び図-26に示す。また、原子炉施設設置位置付近のボーリング孔で実施したP S 検層の結果に基づいて作成した速度層断面図を図-27に示す。

P S 検層結果は地層分布と良い対応を示し、主として安山岩溶岩及び火山碎屑岩から構成される易国間層は、主としてシルト岩から構成される大間層に比較して大きい速度を示す。

炉心ボーリング孔 (N-1) においてほぼ易国間層上部層に対応するT. P. 約9 m～約-27 mでは、P波速度は1.23 km/s～2.15 km/s, S波速度は0.75 km/s～0.94 km/sである。易国間層下部層に対応するT. P. 約-27 m～約-123 mでは、P

波速度は  $2.66 \text{ km/s}$  , S波速度は  $1.10 \text{ km/s}$  である。主に大間層のシルト岩で構成される T. P. 約 $-123\text{m}$ ～約 $-255\text{m}$ では, P波速度は  $1.80 \text{ km/s}$  , S波速度は  $0.59 \text{ km/s} \sim 0.63 \text{ km/s}$  である。T. P. 約 $-255\text{m}$ 以深の大間層及び貫入岩では, P波速度は  $2.10 \text{ km/s} \sim 3.62 \text{ km/s}$  , S波速度は  $0.90 \text{ km/s} \sim 1.87 \text{ km/s}$  である。

#### (7) 地盤物性の場所的变化

試掘坑内で実施したシュミットロックハンマ反発度測定結果は表-11及び図-28に示すとおりであり, 淡灰色火山礫凝灰岩で平均値が 25, 変動係数が 9.2%, 凝灰角礫岩で平均値が 27, 変動係数が 12.6%である。

試掘坑内で実施した平均速度法による弾性波試験結果を表-12及び図-29に示す。P波速度は  $1.67 \text{ km/s} \sim 2.26 \text{ km/s}$  , 平均値  $1.99 \text{ km/s}$  , 変動係数 6.5%, S波速度は  $0.71 \text{ km/s} \sim 1.02 \text{ km/s}$  , 平均値  $0.87 \text{ km/s}$  , 変動係数 9.2%である。

これらによると, 地盤物性の場所的变化は小さいとしている。また, 方向による弾性波速度の差異は小さいことから地盤物性の方向による違いは認められないとしている。

#### (8) 透水性

原子炉施設設置位置付近等のボーリング孔において実施した透水試験の結果を図-30に示す。

透水係数の平均値は,  $3.5 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$  である。

## (9) 初期地圧測定

原子炉施設設置位置におけるオーバーコアリング法による地圧測定結果によれば、水平面内及び鉛直直交2断面内の主応力は、図-14に示すように、等方的な状態になっており、ほぼ土被り深さに相当する値となっている。

### 2.2.3 土質試験結果

火山砕屑岩（風化部）、堆積岩（風化部）、表土及び埋戻・盛土材を対象にした土質試験結果を表-13及び図-31～図-35に示す。

#### (1) 物理特性

##### a. 土粒子の密度

土粒子の密度は、火山砕屑岩（風化部）が  $2.71\text{g/cm}^3$ 、堆積岩（風化部）が  $2.73\text{g/cm}^3$ 、表土が  $2.78\text{g/cm}^3$  である。

##### b. 含水比

自然状態での含水比は、火山砕屑岩（風化部）が 64.8%、堆積岩（風化部）が 13.8%、表土が 46.5% である。

##### c. 湿潤密度

湿潤密度は、火山砕屑岩（風化部）が  $1.57\text{g/cm}^3$ 、堆積岩（風化部）が  $2.00\text{g/cm}^3$ 、表土が  $1.47\text{g/cm}^3$ 、埋戻・盛土材が  $1.90\text{g/cm}^3$  である。

## (2) 強度特性

破壊時のせん断応力  $\tau$  と垂直応力  $\sigma$  との関係は次式で示される。

火山砕屑岩（風化部）

$$\tau = 0.07 + \sigma \tan 8^\circ \quad (\text{N/mm}^2)$$

堆積岩（風化部）

$$\tau = 0.39 + \sigma \tan 20^\circ \quad (\text{N/mm}^2)$$

表土

$$\tau = 0.03 + \sigma \tan 10^\circ \quad (\text{N/mm}^2)$$

埋戻・盛土材

$$\tau = 0.25 + \sigma \tan 14^\circ \quad (\text{N/mm}^2)$$

## (3) 変形特性

三軸圧縮試験の結果により、弾性係数  $E$  と垂直応力  $\sigma$  の関係は次式で示される。

火山砕屑岩（風化部）

$$E = 121 \sigma^{0.65} \quad (\text{N/mm}^2)$$

堆積岩（風化部）

$$E = 143 \sigma^{0.66} \quad (\text{N/mm}^2)$$

表土

$$E = 123 \sigma^{0.53} \quad (\text{N/mm}^2)$$

埋戻・盛土材

$$E = 53 \sigma^{0.31} \quad (\text{N/mm}^2)$$

動的三軸試験の結果により得られた初期せん断弾性係数  $G_0$  と

垂直応力  $\sigma$  との関係及び動せん断弾性係数比  $G_d/G_0$  とせん断ひずみ  $\gamma$  との関係は次式で示される。

火山砕屑岩(風化部)

$$G_0 = 115 \sigma^{0.25} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.0010)$$

堆積岩(風化部)

$$G_0 = 490 \sigma^{0.59} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.0008)$$

表土

$$G_0 = 142 \sigma^{0.55} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.0015)$$

埋戻・盛土材

$$G_0 = 563 \sigma^{0.61} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.0004)$$

また、動的三軸試験の結果により得られた減衰定数  $h$  とせん断ひずみ  $\gamma$  との関係は次式で示される。

火山砕屑岩(風化部)

$$h = 0.024 \quad (\gamma \leq 2.7 \times 10^{-5})$$

$$h = 0.024 + 0.034 (\log \gamma + 4.6) \quad (\gamma > 2.7 \times 10^{-5})$$

堆積岩(風化部)

$$h = 0.022 \quad (\gamma \leq 8.8 \times 10^{-5})$$

$$h = 0.022 + 0.067 (\log \gamma + 4.1) \quad (\gamma > 8.8 \times 10^{-5})$$

表土

$$h = 0.019 \quad (\gamma \leq 2.4 \times 10^{-4})$$

$$h = 0.019 + 0.082 (\log \gamma + 3.6) \quad (\gamma > 2.4 \times 10^{-4})$$

埋戻・盛土材

$$h = 0.013 \quad (\gamma \leq 2.8 \times 10^{-5})$$

$$h = 0.013 + 0.045 (\log \gamma + 4.6) \quad (\gamma > 2.8 \times 10^{-5})$$

### 3. 断層内物質及びシームの物性

申請者は、断層内物質及びシームの物理的・力学的性質を明らかにし、構造物の設計及び施工の基礎資料を得るため、断層内物質及びシームの物理試験及び力学試験を実施している。

#### 3.1 調査内容

##### (1) 物理試験

物理試験は、断層及びシームから採取した試料について、社団法人地盤工学会「土質試験の方法と解説」に準拠し、土粒子の密度、自然状態での含水比、自然状態での湿潤密度及び粒度試験を実施している。

試料の採取位置を図-36に示す。

##### (2) 静的単純せん断試験

断層内物質及びシームの強度特性及び変形特性を求めるため、断層及びシームから不攪乱試料を採取し、静的単純せん断試験を実施している。

供試体は直径5 cm、高さ2 cmの円板形とし、試験は、供試体にせん断応力をひずみ速度0.1%/minで加え、ひずみが10%になるまで行っている。垂直応力は4種類としている。

試料の採取位置を図-36に示す。

##### (2) 動的単純せん断試験

断層内物質及びシームの動的変形特性を求めるため、断層及びシームから不攪乱試料を採取し、動的単純せん断試験を実施

している。

供試体は直径 5 c m, 高さ 2 c m の円板形とし, 試験は, 周波数 1Hz の正弦波の動的せん断応力を供試体に加えて行っている。垂直応力は 4 種類としている。

試料の採取位置を図-36に示す。

## 3.2 調査結果

### (1) 物理試験

断層内物質及びシームの物理試験結果を表-14に示す。これらによると断層内物質及びシームはほぼ同様な物理特性を示している。

#### a. 土粒子の密度

土粒子の密度の平均値は、断層内物質が  $2.67\text{g/cm}^3$ 、シームはS-10が  $2.70\text{g/cm}^3$ 、S-8が  $2.66\text{g/cm}^3$ 、S-7が  $2.69\text{g/cm}^3$  である。

#### b. 含水比

自然状態での含水比の平均値は、断層内物質が  $55.9\%$ 、シームはS-10が  $52.3\%$ 、S-8が  $51.4\%$ 、S-7が  $56.1\%$  である。

#### c. 湿潤密度

自然状態での湿潤密度の平均値は、断層内物質が  $1.60\text{g/cm}^3$ 、シームはS-10が  $1.72\text{g/cm}^3$ 、S-8が  $1.69\text{g/cm}^3$  である。

### (2) 静的単純せん断試験

静的単純せん断試験の結果を図-37及び図-38に示す。

断層内物質及びシームの破壊時のせん断応力  $\tau$  と垂直応力  $\sigma$  との関係は次式で示される。

断層内物質

$$\tau = 0.23 + \sigma \tan 21^\circ \quad (\text{N/mm}^2)$$

シーム

$$\tau = 0.24 + \sigma \tan 19^\circ \quad (\text{N/mm}^2)$$

断層内物質及びシームのせん断弾性係数  $G$  と垂直応力  $\sigma$  との関係は次式で示される。

断層内物質

$$G = 26.5 \sigma^{0.36} \quad (\text{N/mm}^2)$$

シーム

$$G = 41.2 \sigma^{0.22} \quad (\text{N/mm}^2)$$

### (3) 動的単純せん断試験

動的単純せん断試験の結果を図-39～図-41に示す。

断層内物質及びシームの初期せん断弾性係数  $G_0$  と垂直応力  $\sigma$  との関係及び動せん断弾性係数比  $G_d/G_0$  とせん断ひずみ  $\gamma$  との関係は次式で示される。

断層内物質

$$G_0 = 181 \sigma^{0.49} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.0015)$$

シーム

$$G_0 = 116 \sigma^{0.39} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.0039)$$

断層内物質及びシームの減衰定数  $h$  とせん断ひずみ  $\gamma$  との関係は次式で示される。

断層内物質

$$h = 0.041 \quad (\gamma \leq 4.4 \times 10^{-4})$$

$$h = 0.041 + 0.084 (\log \gamma + 3.4) \quad (\gamma > 4.4 \times 10^{-4})$$

シーム

$$h = 0.021 \quad (\gamma \leq 9.0 \times 10^{-4})$$

$$h = 0.021 + 0.159 (\log \gamma + 3.0) \quad (\gamma > 9.0 \times 10^{-4})$$