

泊発電所(1,2号炉)

原子炉建屋基礎地盤及び周辺斜面の
岩盤分類と地盤物性について

昭和58年7月28日

原子力発電安全審査課

1. 検討目的	1
2. 岩盤分類について	2
2.1 基本的考え方	2
2.2 検討内容	5
2.2.1 岩石の種類と特徴	5
2.2.2 風化変質	8
2.2.3 割れ目	9
2.2.4 岩石の硬さ	12
2.3 検討結果	14
3. 原子炉建屋基礎地盤の岩石・岩盤物性について	17
3.1 調査内容	17
3.1.1 岩石試験	17
(1) 一般物理特性	17
(2) 強度特性	17
(3) 変形特性	18
3.1.2 岩盤試験	20
(1) 強度特性	20
(2) 変形特性	20
(3) その他の試験	21
3.1.3 断層物性試験	24
(1) 一般物理特性	24
(2) 静的強度・変形特性	24
(3) 動的変形特性	25
(4) 静的コーン貫入試験	25

3.2 調査結果	27
3.2.1 岩石試験結果	28
(1) 一般物理特性	28
(2) 強度特性	29
(3) 変形特性	30
(4) 岩盤分類と岩石物性	32
3.2.2 岩盤試験結果	36
(1) 強度特性	36
(2) 変形特性	37
(3) その他の試験結果	38
3.2.3 断層物性試験結果	41
(1) 一般物理特性	41
(2) 静的強度・変形特性	41
(3) 動的変形特性	42
(4) 静的コーン貫入試験	43
(5) 断層物性のまとめ	44

4. 原子炉建屋周辺斜面の地盤物性について	45
4.1 調査内容	45
4.1.1 地盤調査	45
(1) 地表地質踏査及びホ-リング調査	45
(2) 地下水位及び透水性の調査	45
4.1.2 地盤物性試験	45
(1) 土質試験	47
(2) 岩石試験	47
(3) 標準貫入試験	47
(4) 岩盤試験	47
(5) ホ-リング孔内PS検層	47
4.2 調査結果	48
4.2.1 地盤調査結果	48
(1) 地表地質踏査及びホ-リング調査結果	48
(2) 地下水位及び透水性の調査結果	49
4.2.2 地盤物性試験結果	50
(1) 土質試験結果	50
(2) 岩石試験結果	50
(3) 標準貫入試験結果	51
(4) 岩盤試験結果	51
(5) ホ-リング孔内PS検層結果	51
5. 審査意見	52

1. 検討目的

泊発電所原子炉建屋基礎及び周辺斜面の地盤の工学的物性を把握するために、申請者が実施した岩盤分類の考え方と地盤物性についての調査、試験の方法、内容及び結果について検討を行う。

2 岩盤分類について

2.1 基本的考え方

申請者が実施した岩盤分類の基本的考え方は、以下のとおりである。

原子力発電所の岩盤分類の目的は、基礎岩盤としての安全性の評価をするにあたって必要な岩盤の工学的性質を把握するために実施するものである。

基礎岩盤の安全性検討について最も重要な岩盤のせん断強度や変形特性を支配する地質要素は主に①岩石自体の強度と②割れ目の性状である。また、この二要素は③風化程度によっても変化する。従って岩盤分類は、上記の地質要素をパラメータとして区分し、工学的性質との対比ができるものでなければならぬ。

そのため、基礎岩盤の性状を支配する地質要素を評価して、共通の工学的性質を持つように岩盤分類を行い、各岩盤分類毎の工学的性質を岩石、岩盤試験によって明らかにする必要がある。

従来、硬質岩盤では、田中等によって提案された電中研式(第2.1.1表参照)の6段階の分類法によることが多い。

これは風化の進行が強度、割れ目の要素についても同時に進むことを前提として①造岩鉱物の風化変質度、②割れ目の開口性と充填物の状態、③ハンマー打診による岩石の硬さの定性的な三つの分類要素を組み合わせ評価するものである。

一方、中硬質岩あるいは軟質岩では、岩盤の工学的性質が風化などよりも構成岩石の本来の組成や堆積年代に

依存する傾向がある。

これら中硬質岩や軟質岩も含めた分類方法として菊地等が提案する電中研式(第2.1.2表参照)がある。

これは、従来の田中等の電中研方式と同じ名称の等級を使っているが、それと基本的に異なる点は①対象岩盤を新鮮な岩石の乾燥一軸圧縮強度の差によって、硬、中硬、軟質岩に分けていること、②風化状態、固結状態、節理密度、節理の開口性、節理面の状態の5種類の分類要素をとりあげ、それぞれをできるだけ量的表現で4段階に分け、要素の組み合わせと総合評価の関係を示していること③総合等級と岩盤の物性値の対比の基準化を図っていることがあげられる。

さらに土質工学会「岩の力学委員会」によって、岩盤を構成する岩石の代表的な力学的性質(湿潤状態の一軸圧縮強度、弾性波速度)と割れ目間隔に量的表現をとり入れた分類法(第2.1.3表参照)が提案され、土木学会「岩盤力学委員会」でこの分類をさらに大分類したものの(第2.1.4表参照)と岩盤の力学的性質との関係について検討が行われている。

泊発電所においては、原子炉建屋基礎底面以深に新第三紀中新世の新鮮な岩盤が広く分布しており、主として中硬質岩に相当する火砕岩よりなるが、一部に比較的硬質な安山岩熔岩や比較的軟質な軽石凝灰岩、含泥岩礫凝灰岩、凝灰質泥岩が分布している。

従って硬岩を対象として風化状態に重点をおいて分類される田中等の電中研方式の適用が困難である。

また、菊地等の電中研方式で検討すると第2.1.5表に示すように各岩種とも概ねC_M級に対応し、岩盤分類にコントラストがあまりみられない。

しかし、泊発電所の基礎岩盤は、岩石本来の組成や堆積年代に依存して、工学的特性が変化する傾向がみられたことから、構成岩石の種類と堆積年代によって岩種を区分し、岩種毎に地質要素と岩盤物性を勘案して共通の工学的特性をもつようにグループングし岩盤分類を行っている。

ここで、地質要素としては、風化、割れ目、硬さの三要素を採用している。

割れ目、硬さ区分については、地質観察、ハンマー打診による定性的な評価のほか、当サイトの基礎岩盤に適合していると考えられる土木学会の分類を参考にして割れ目間隔、一軸圧縮強度を4段階に分けて、定量的な評価も行っている。

また、地表付近や断層周辺にみられる風化部の強度低下の影響を区分するために風化度について3段階に分けている。

以上の地質要素を組み合わせるにあたって各岩種を代表する箇所を実施している。せん断、変形等の岩盤試験結果も勘案し、共通の物性値を示す代表的な岩種を耐荷性の大きいものからA~Cの3段階にグループングした。

さらに、代表的な岩種に比べて風化が進行したり、割れ目が多い部分等を表現するためにD、Eの2段階を付加し、総合評価としてはA~Eの5段階に分類している。

申請者が作成した岩盤分類基準を第2.1.6表に、これに基づいて作成した岩盤分類図を地質図と対応させて第2.1.1図~第2.1.4図に示す。

2.2 検討内容

申請者は、岩盤分類について以下のように検討している。

2.2.1 岩石の種類と特徴

原子炉建屋付近の基盤を構成する地質は、基礎底面以深に広く分布する火砕岩層と深部にみられる凝灰質泥岩層に大別される。

火砕岩層は、堆積構造や岩相の特徴から上部(U)、中部(M)、下部(L)の3層に区分される。

これらの地層は、凝灰角礫岩(T_b)、凝灰岩(T_f)、軽石凝灰岩(P_L)、含泥岩礫凝灰岩(T_{fm})等の火砕岩を主体とし、安山岩熔岩(A_m)を一部に伴っている。

凝灰質泥岩層は、凝灰質泥岩を主体とし、凝灰角礫岩、凝灰岩、軽石凝灰岩、含泥岩礫凝灰岩を一部に伴っている。

試掘坑及び原子炉建屋基礎ボーリングにより確認されたこれらの岩石の種類を第2.2.1表にその分布状況を第2.1.1図~第2.1.4図に示す。

以下に各岩種の一般的な特徴を示す。

(1) 凝灰角礫岩(T_b)

凝灰角礫岩は、安山岩質のものと石英安山岩質のものがある。

安山岩質のものは、礫径が主として約10cm以下の黒色の安山岩を構成礫とし、一部は基質がガラス質に富み全体に黒色を呈するものもある。

石英安山岩質のものは、礫径が約30cm以下の大小の石英安山岩を構成礫とし、主として火砕岩層の上部層に

分布している。

凝灰角礫岩は、全体に塊状で割れ目が少く硬質であるが、一般に火砕岩層の上部と中部層のもの(U-Tb, M-Tb)は、下部層のもの(L-Tb)及び凝灰質泥岩層のもの(Ms-Tb)よりも硬さがわずかに減少する。

また、石英安山岩質のものは、安山岩質のものに比べて基質がやや軟質である。

(2) 凝灰岩(Tf)

凝灰岩は、粒径が約3cm以下の火砕岩を総称したものであり、安山岩質のものと石英安山岩質のものがあり、安山岩質のものの中には、基質がガラス質に富み黒色を呈するものがある。

凝灰岩は、全体に割れ目が少く硬質であるが、火砕岩層の上部と中部層のもの(U-Tf, M-Tf)は、下部層のもの(L-Tf)及び凝灰質泥岩層中のもの(Ms-Tf)よりも硬さがわずかに減少する。また、局所的にみられる泥質のものは比較的軟質である。

なお、ガラス質に富む凝灰岩のうち、1, 2号炉の中間の試掘坑にみられるものは割れ目がやや発達しているが、2号炉基礎底面の下部にみられるものは硬質で割れ目も比較的少ない。

(3) 軽石凝灰岩(Pt)

軽石凝灰岩は、火砕岩層の中部層及び凝灰質泥岩層中の一部に薄く分布しており、全体に塊状、無層理で割れ目が少ないが比較的軟質である。

(4) 含泥岩礫凝灰岩 (T_{fm})

含泥岩礫凝灰岩は、火砕岩層の上部層や凝灰質泥岩層の一部に分布し、凝灰岩中に不規則に泥岩の礫を混入するものである。

泥岩礫は、比較的軟質なもの、硬質頁岩状で割れ目が発達したものがある。岩質は、泥岩礫の混入状態により、やや硬質な部分と軟質な部分が混在するが、全体的には比較的軟質である。

(5) 安山岩熔岩 (A_n)

安山岩熔岩は、堅硬、ち密な岩石であるが、試掘坑にみられる火砕岩層の下部層にレンズ状に分布する小岩体には節理が発達しており、その周縁部には自破砕作用によって凝灰角礫岩状を呈する部分が認められる。

(6) 凝灰質泥岩

凝灰質泥岩は、凝灰質泥岩層に卓越して分布しており、比較的軟質である。また上部に割れ目の多い部分が見られるが、全体としては塊状、無層理のものを主体とする。

2.2.2 風化変質

岩石の風化変質は、岩盤の工学的性質の劣化の原因となるものであり、その意味から風化変質の程度は岩盤の工学的性質を支配する重要な要素となる。

風化変質の評価にあたっては、第2.2.2表に示すように、風化度Ⅰが未風化帯、風化度Ⅱが弱風化帯、風化度Ⅲが強風化帯に相当するものとして区分した。

地質断面図を対応させた風化度区分分布図を第2.2-1～2.2-4図に示す。

これを要約すると以下のとおりである。

新鮮な岩盤である風化度Ⅰは、原子炉建屋基礎底面以深に広く分布している。

弱風化帯に相当する風化度Ⅱは、火砕岩層の下部層では地表から10m程度まで非常に薄く分布しているが、上部層では地表から20～30m程度まで及んでいる。

原子炉建屋基礎底面以深では風化度Ⅱは、ほとんど分布しないが、断層や節理などの割れ目沿いには数m程度の幅で認められる。

強風化帯に相当する風化度Ⅲは、1, 2号原子炉建屋付近では、地表部に数m程度まで薄く分布している。また、原子炉建屋背後の緩斜面には直接地表に露頭もみられ、その厚さは5～10m程度となっている。

2.2.3 割れ目

岩盤中には、必ず割れ目が存在し、割れ目が岩盤の工学的性質を支配する重要な要素となる。

割れ目の評価にあたっては、地質観察に基づいたもののほか、土木学会の岩盤分類を参考にして、第2.2.3表に示すように試掘坑内での平均割れ目間隔が、30cm以上、30~10cm、10~2cm、2cm以下に対し、それぞれⅠ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳと区分した。

試掘坑における調査としては、側壁に水糸を張り、1m区間毎に割れ目本数及び主な割れ目の走向、傾斜を測定した。

調査結果によって作成した割れ目頻度分布図を第2.2.5図に、割れ目区分図を第2.2.6図に、岩種別の割れ目ヒストグラムを第2.2.7図に、平均割れ目頻度を第2.2.8図に示す。

これらを要約すると以下のとおりである。

原子炉建屋基礎底面における割れ目頻度は、安山岩熔岩を除くと全体的に低い。試掘坑全体での各岩種の割れ目頻度は、一般的に凝灰角礫岩と軽石凝灰岩では低く割れ目区分Ⅰ、凝灰岩ではⅠ~Ⅱ、含泥岩礫凝灰岩ではⅡ、安山岩熔岩と1,2号炉の中間部にみられる黒色でガラス質に富む凝灰岩では概ねⅢに相当し、同一岩種では割れ目頻度に大きな差はみられない。

一方、ボーリングコアについての割れ目調査としては、第2.2.3表に基づいて1m区間毎に主体を占めるコア

長により判定を行った。

調査結果により作成した原子炉建屋基礎ボーリングの割れ目区分分布図を第2.2.9～2.2.12図に、水平ボーリング孔の割れ目区分を試掘坑の割れ目区分分布図と対比して第2.2.6図に示す。

原子炉建屋ボーリングによると火砕岩は、比較的割れ目が少なく、安山岩熔岩と一部の凝灰質泥岩が比較的割れ目が多い。さらに風化の影響を受けている表層部や断層等に沿って割れ目が多くなる傾向を示している。

試掘坑とその近傍付近の水平ボーリングの割れ目状況を比較すると、凝灰角礫岩、凝灰岩等の火砕岩では、試掘坑で割れ目間隔が30cm以上のものが、ボーリングコアでは10cm程度以上の状態となり、安山岩熔岩では試掘坑及びボーリングコアのいずれも割れ目間隔が2～10cm程度であると判断される。

また、第2.2.13図に示す原子炉建屋基礎以深のRQDの平均値とボーリングコアと同様の考え方によって求めた試掘坑でのRQD^{*}の平均値を比較すると、凝灰角礫岩凝灰岩等の火砕岩では、試掘坑のRQD^{*}で90%以上の値を示しているものが、ボーリングコアで50～70%程度に低下している。安山岩熔岩では、いずれも20%前後の値を示している。

これらのことをふまえて試掘坑とボーリングコアの割れ目間隔区分に火砕岩では1ランク程度の差があり、安山岩熔岩では、同程度のものとして第2.2.3表のように割れ目区分を行い、岩盤分類に反映させた。

※ 試掘坑壁 1m 区間における 10cm 以上の割れ目
間隔の累計長の割合。

2.2.4 岩石の硬さ

岩石の硬さは、岩盤の工学的性質を支配する最も重要な要素で、岩石の種類、風化変質等によって異なり、従来から様々の区分方法がみられる。

ここでは、岩石の硬さの評価にあたっては、電研分類や土木学会分類を参考にして基本的には、ハンマー打診と地質観察(風化の程度等)によるものとし、さらに岩石固有の本来強度である一軸圧縮強度をも考慮して、第2.2.4表に示すように硬いものから順にa、b、c、dの4段階に区分した。

硬さ分類aの代表的岩種は、安山岩熔岩であり、岩片は堅硬であるが全体に節理が発達するのが特徴である。

硬さ分類bの代表的岩種は、火砕岩層の大部分を占める凝灰角礫岩及び凝灰岩であり、硬さがaより減少するが全体に硬質で割れ目の少ない岩盤で、いわゆる中硬岩に属する。

硬さ分類bのうち火砕岩層の上部及び中部層のものは下部層以深のものに比べて硬さがわずかに減少するので下部層以深のものを b_1 、上部及び中部層のものを b_2 とした。なお、下部層のものでも石英安山岩質のものは、硬さがわずかに減少するので b_2 に、上部層のものでも黒色を呈するものは硬質であるので b_1 に区分した。

硬さ分類cの代表的岩種は、火砕岩層中に薄く分布している軽石凝灰岩、含泥岩礫凝灰岩及び凝灰岩中の細粒の泥質凝灰岩と凝灰質泥岩層中の凝灰質泥岩であり、

岩質は比較的軟質である。

硬さ分類dは、各岩種の強風化岩で著しく軟質である。

岩種別の一軸圧縮強度の区分は第2.2.14図に示す基礎

ボ-リング及び試掘坑から採取した岩石の一軸圧縮強度

比較図からみて土木学会の岩盤分類と調和的であり、

硬さ分類aは、 500 kg/cm^2 以上、bは $500 \sim 100 \text{ kg/cm}^2$ 、

cは 100 kg/cm^2 程度にほぼ対応する。

さらに、第2.2.15図の火砕岩の一軸圧縮強度の風化

特性図によると硬さ分類bの岩が風化区分Ⅱ程度に風

化すると硬さ分類c程度になることを示している。

2.3 検討結果

原子炉建屋付近の基盤を構成する地質は、基礎底面以深に広く分布する火砕岩層と深部にみられる凝灰質泥岩層に大別される。

火砕岩層は、堆積構造や岩相の特徴から上部(U)、中部(M)、下部(L)の3層に区分される。

これらの地層は、凝灰角礫岩(T_b)、凝灰岩(T_f)、軽石凝灰岩(P_t)、含泥岩礫凝灰岩(T_{fm})等の火砕岩を主体とし、安山岩熔岩(A_n)を一部に伴っている。

凝灰質泥岩層は、凝灰質泥岩を主体とし、凝灰角礫岩、凝灰岩、軽石凝灰岩、含泥岩礫凝灰岩を一部に伴っている。

そこで、岩石組成と堆積年代によって区分した各岩種について、風化変質、割れ目、硬さの地質三要素の特徴を検討したが、これらの三要素を組み合わせ総合評価し、同程度の工学的特性を持つように岩盤分類を行うこととした。

検討結果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 原子炉建屋基礎岩盤は概ね新鮮であり、割れ目も比較的少ない岩盤であるため、岩石の組成や堆積年代に依存する岩盤それ自体の硬さによって岩盤の工学的性質が変化することが示唆された。

すなわち、基礎岩盤の大部分を占める火砕岩の凝灰角礫岩と凝灰岩は、同一堆積年代のものであれば、ほぼ同じ硬さを示し、下部層以深のものが上、中部層のものよりやや硬質である。局所的に分布する軽石凝灰岩、含泥岩礫凝灰岩は、上述のものより軟質である。

以上のことから火砕岩層の各岩種は耐荷性の大きいと

考えられるものから A~C の3段階にグルーピングした。

A級が火砕岩層下部層の凝灰角礫岩(L-Tb)、凝灰岩(L-Tf)、凝灰質泥岩層の凝灰角礫岩(Ms-Tb)、凝灰岩(Ms-Tf)、B級が火砕岩層の上、中部層の凝灰角礫岩(M-Tb、U-Tb)、凝灰岩(M-Tf、U-Tf)、C級が軽石凝灰岩(Pt)、含泥岩礫凝灰岩(Tfm)に相当する。

火山岩熔岩は、A級の凝灰角礫岩、凝灰岩以上の硬さを有するが、原子炉建屋基礎底面に分布するものは、割れ目が比較的多いためB級程度のものに相当する。

黒色を呈する凝灰角礫岩、凝灰岩はち密な部分については、A級相当のものもみられるが、原子炉建屋周辺部に分布するものは割れ目が多く、C級程度のものに相当する。

また、凝灰質泥岩層の火砕岩は、火砕岩層の下部層の火砕岩と同等の岩級に、凝灰質泥岩はC級に概ね相当する。

- (2) 地表付近の風化部や断層周辺等にみられる割れ目の多い部分も併せて岩盤分類できるように、風化、割れ目、硬さの三要素を同程度の工学的特性を持つように組み合わせ判定評価することとし、原子炉建屋基礎岩盤の区分A~C級に加えてこれらより劣化した岩盤性状を表現するために、D、E級の2段階を付加して5段階に区分した。

地質要素の定性的評価と岩盤の耐荷性に係る工学的特性との対応を考慮して前述の第2.1.6表のように泊発電所岩盤分類基準を策定した。また岩種毎に地質要素として風化度については3段階、割れ目、硬さについては4段階にできるだけ量的に区分し、それらを組み合わせ表現した。岩種毎の岩盤分類基準を第2.3.1表に、岩盤分類と主な工学的特、

性との対比を第2.3.2表に示した。



3 原子炉建屋基礎地盤の岩石・岩盤物性について

3.1 調査内容

3.1.1 岩石試験

(1) 一般物理特性

申請者は、原子炉建屋基礎岩盤を構成する岩石の種々の工学的性質を求め、岩盤の性質を考察する場合の基本的資料にするため、岩石供試体による物理試験を以下のように実施している。

岩石供試体は第3.1.1図に示した試験坑内の地質に応じた代表的な箇所及び原子炉建屋基礎ボアリング孔から採取している。

試験方法と内容

物理試験としては、密度、吸水率、有効間隙率及び超音波伝播速度をJIS及び建設省土木試験規準(案)に準拠して測定している。

(2) 強度特性

申請者は、原子炉建屋基礎岩盤を構成する岩石の種々の工学的性質を求め、岩盤の強度特性を考察する場合の基本的資料にするため、岩石供試体による力学試験を以下のように実施している。

供試体採取位置等は、前述の一般物理特性と同様である。

試験方法と内容

力学試験としては、自然含水比の状態で一軸圧縮試験、圧裂試験及び三軸圧縮試験を実施している。

a 一軸圧縮試験

試験は、JISM0302(岩石の圧縮強さ試験方法)に準

扱っている。すなわち、供試体の軸方向に圧縮荷重のみを作
用させ、破壊時の荷重を求めている。

b 圧裂試験

試験は、JIS M0303 (岩石の引張強さ試験方法) に準
拠し、圧裂試験により引張強度を求めている。

すなわち、第3.1.2 図に示すように供試体の直径方向に
線荷重を加えて破壊し、引張強度を算出している。

c. 三軸圧縮試験

試験は、建設省土木試験規準(案)に準拠している。すなわ
ち所定の側圧下の供試体に軸方向の荷重を載荷し、破壊に
至らしめ、破壊時の軸差応力を求めるものである。

側圧は、1組につき5段階としてこれらの結果から、モールの
応力円を作図することにより、岩石のせん断強度、内部摩擦
角を求めている。

(3) 変形特性

申請者は、原子炉建屋基礎岩盤を構成する岩石の種々の
工学的性質を求め、岩盤の変形特性を考察する場合の基本的
資料にするため、岩石供試体による変形試験を以下のように実
施している。

供試体の採取位置等は、前述の一般物理特性と同様である。

試験方法と内容

a 一軸圧縮試験

試験は、JIS M0302 (岩石の圧縮強さ試験方法) に準拠
し、自然含水比の状態で行っている。

ひずみ測定は、直交型ストレインゲージを用いて測定している。

これより、応力-ひずみ曲線を描き、以下のようにして
静弾性係数 (E_s)、静ポアソン比 (ν_s) を算出している。
静弾性係数は、一軸圧縮強度の $1/2$ の応力における
接線勾配として次式より算出している。

$$E_s = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} \quad \begin{array}{l} \Delta \sigma : \text{応力増分} \\ \Delta \varepsilon : \text{ひずみ増分} \end{array}$$

また、静ポアソン比は次式より算出している。

$$\nu_s = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon} \quad \begin{array}{l} \varepsilon_t : \text{横ひずみ} \\ \varepsilon : \text{縦ひずみ} \end{array}$$

3.1.2 岩盤試験

(1) 強度特性

申請者は、原子炉建屋基礎岩盤の強度特性を把握し、基礎岩盤の安定性の検討を行う資料にするため、試験を以下のような方法及び内容で実施している。

試験方法と内容

a 岩盤せん断試験

試験は、第3.1.3図に示す位置で土木学会岩盤力学委員会第3分科会「原位置岩盤のせん断試験-指針と解説」(土木学会誌 1978年11月)に準拠し、試験坑内の岩種岩盤分類を代表する箇所を1号側3組、2号側5組、周辺部2組計10組実施している。

試験は、岩盤を長さ60cm、幅60cm、高さ20cmのブロックに切り出し、第3.1.4図の岩盤せん断試験装置図に示す方法でブロックごと垂直荷重を変えて垂直応力とせん断応力の関係を求めている。

ブロックの変位は、第3.1.4図に示すようにブロック面に設置した変位計により測定している。

載荷パターンを第3.1.5図に示す。

(2) 変形特性

申請者は、原子炉建屋基礎岩盤の変形特性及び支持力を把握し、基礎岩盤の安定性の検討を行う資料にするため試験を以下のような方法及び内容で実施している。

試験方法と内容

a 平板載荷試験

基礎岩盤の変形特性及び支持力を求めるため平板載荷

試験を第3.1.3図に示す位置で土木学会岩盤力学委員会「平板載荷による原位置岩盤の変形試験法の基準」(土木学会誌1976年3月)に準拠して実施している。

変形試験は、載荷板直径60cmで試掘坑内の岩種、岩盤分類を代表する1号側3箇所、2号側5箇所、周辺部2箇所、合計10箇所を3点ずつ実施している。

支持力試験は、載荷板直径30cmで変形試験を実施している10箇所を1点ずつ実施している。

平板載荷試験装置図を第3.1.6図に、変形試験載荷パターンを第3.1.7図に、支持力試験載荷パターンを第3.1.8図に示す。

b. 岩盤クリープ試験

基礎岩盤に局所的に分布する軽石凝灰岩のクリープ特性を把握するために第3.1.3図に示す位置で岩盤クリープ試験を実施している。

試験装置は第3.1.6図に示す変形試験と同一の装置に一定載荷維持装置を取付けたものである。

試験は5.5kg/cm²の一定荷重を載荷し、載荷板上に設置した4個の変位計により、変位量を測定している。

この計測結果から、時間と変位量の関係を求めている。

(3) その他の試験

申請者は、原子炉建屋基礎岩盤について、前記以外に下記の試験を実施している。

試験方法と内容

a. 坑内弾性波試験

基礎岩盤の動的性質を求めるため試掘坑内で、

第3.1.9図に示す位置で弾性波試験を実施している。

試験は、 Γ 測線延長約1020mmで測線上2mm間隔に受振点を設けて発破及び板叩き法による発振を行っている。

各受振点の記録から走時曲線を描き、これを解析しP波と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。

b 坑間弾性波試験

基礎岩盤の場所的变化を把握するため、約2mm間隔に受振点を設け、坑間弾性波試験を行い基礎岩盤のP波伝播速度を測定している。測定範囲を第3.1.9図に示す。

c ホーリング孔内PS検層

基礎岩盤の深さ方向の動的性質を求めるため、第3.1.10図に示すホーリング孔を利用して、PS検層を実施している。

受振は、2mm間隔で行い、発破及び板叩き法による発振を行っている。

各受振点の記録から、走時曲線を描き、これを解析し、P波と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。試験の概略図を第3.1.11図に示す。

d ホーリング孔内載荷試験

基礎岩盤の深さ方向の変形特性を把握するため、第3.1.10図に示すホーリング孔を利用して孔内載荷試験を実施している。

試験は、約10^m間隔で行い、ゴムチューブを膨張させて、孔壁に荷重を加え、荷重に対応する変位量を測定している。

試験の概略図を第3.7.12図に示す。

e 透水試験

基礎岩盤の透水性を把握するため、第3.7.10図に示すホーリング孔において透水試験を実施している。

試験範囲は、EL0^m~EL-60^mとし、10^m間隔で試験を行い透水係数を算出している。

3.1.3 断層物性試験

申請者は、断層に含まれる物質の静的、動的特性を把握するため、室内試験として物理試験、静的単純せん断試験、一面せん断試験、一軸圧縮試験、動的単純せん断試験を、また原位置試験として、静的コーン貫入試験を実施している。

室内試験の試料は、原子炉建屋基礎岩盤付近で連続性の認められる6本の断層について、地質観察結果から細粒分が多く軟質と認められる部分からそれぞれ採取した。

試料の採取位置及び試験位置を第3.1.13図に断層試験項目を第3.1.1表に示す。

(1) 一般物理特性

申請者は、原子炉建屋基礎付近に存在する断層の工学的性質を考察する場合の基礎資料とするため、断層物質の物理試験を以下のように実施している。

物理試験としては、土粒子の比重試験、含水量試験、粒度試験、液性限界試験、塑性限界試験及び直径5cm、高さ2cmの鋼性リングを挿入し採取した試料による単位体積重量試験をJIS及び土質工学会編土質試験法に基づき実施した。

(2) 静的強度、変形特性

申請者は、原子炉建屋基礎付近の岩盤で連続性の認められる6本の断層について静的強度・変形特性を考察する場合の基本的資料にするため、不攪乱試料による力学試験を以下のように実施している。

供試体採取位置を第3.1.13図に示すがF-4, F-6断層については、幅がうすく試料採取が不可能であった。

試験方法と内容

力学試験としては、静的単純せん断試験、一面せん断試験を実施している。

a 静的単純せん断試験

試験は、F-1, 2, 3, 5断層を対象に実施した。

試験装置図を第3.1.14図に示す。供試体寸法は、直径5cm高さ2cmの円板形で、垂直応力は5種類(3, 6, 10, 20, 30 kg/cm^2)とし、それぞれひずみ速度0.01%/secでせん断力を加えひずみ10%になるまで試験を行った。

b 一面せん断試験

試験は、F-3断層を対象にし、土質工学会編土質試験法(一面せん断試験)に準拠して実施した。

試験装置図を第3.1.15図に示す。供試体寸法は、直径6cm、高さ2cmの円板形で垂直応力は5種類(3, 6, 10, 20, 30 kg/cm^2)とし、それぞれ変位速度0.035 mm/min で破壊に至るまでせん断力を加え試験を行った。

(3) 動的変形特性

申請者は、原子炉建屋基礎付近の岩盤で認められる6本の断層について動的変形特性を考察する場合の基本的資料にするため、不攪乱試料による動的単純せん断試験を実施している。

供試体採取位置を第3.1.13図に示すがF-4, F-6断層については、幅がうすく試料採取が不可能であった。

試験方法と内容

a 動的単純せん断試験

試験は、F-1, 2, 3, 5断層を対象に実施した。試験装置及び供試体寸法は、第3.1.14図に示す静的単純せん断試験と同様のものである。

試験は、供試体に5種類(3, 6, 10, 20, 30 kg/cm^2)の垂直応力を加え、それぞれひずみ $\delta = 10^{-4} \sim 10^{-2}$ の周波数 1 Hz の正弦波の動的せん断応力を加えて実施した。

(4) 静的コーン貫入試験

断層物性のコーン支持力を把握するため試験掘坑内にみられる各断層について、静的コーン貫入試験を実施した。

試験は、1箇所当り1m区間で10点実施した。

試験機を、第3.1.16図に示す。コーン角度は 60° 、コーン底面積 1cm^2 、貫入量 1cm 、コーン支持力 $0 \sim 10\text{kg}/\text{cm}^2$ である。

なお、F-1断層については、コーン貫入試験と対応して、直径3.6cm高さ8.0cmの供試体で一軸圧縮試験を実施している。

3.2 調査結果

原子炉建屋基礎岩盤は、凝灰角礫岩、凝灰岩、安山岩熔岩、軽石凝灰岩、含泥岩礫凝灰岩、凝灰質泥岩の6岩種によって構成される。

基礎岩盤は、概ね新鮮であり、安山岩熔岩を除いて割れ目も比較的少ないことから岩種毎に岩石、岩盤物性が変化することが示唆された。

しかし調査結果によると基礎岩盤の大部分を占める凝灰角礫岩と凝灰岩は、同一堆積年代のものであれば“ほぼ”同じ硬さを示し、火砕岩層下部層以深のものが火砕岩上、中部層のものよりやや硬質である。

また、局所的に分布する軽石凝灰岩、含泥岩礫凝灰岩及び深部の凝灰質泥岩層の主体を占める凝灰質泥岩は上述のものよりやや軟質である。

以上のことから各岩種によって構成される岩盤を耐荷性の大きいと考えられるものからA~Cの3段階に岩盤分類した。

A級が火砕岩層下部層及び凝灰質泥岩層の凝灰角礫岩(L-T_b, M_s-T_b)、凝灰岩(L-T_f, M_s-T_f)、B級が火砕岩層上、中部層の凝灰角礫岩(U-T_b, M-T_b)、凝灰岩(U-T_f, M-T_f)、C級が軽石凝灰岩(P_t)、含泥岩礫凝灰岩(T_fm)及び凝灰質泥岩(M_s)に概ね相当する。

なお、安山岩熔岩は、岩石の硬さとしてA級の凝灰角礫岩、凝灰岩より硬質であり、割れ目のやや少ない岩盤はA級に相当するが、原子炉建屋基礎底面に分布するものは、割れ目の多いことからB級とした。

原子炉建屋基礎を構成する主要岩種の一般的な状態の風化、割れ目、硬さの地質要素の評価と岩盤分類を第3.2.1表に示す。

また、原子炉建屋基礎付近で連続性の認められた断層6本の試料採取地点の性状を第3.2.2表に示す。

以下原子炉建屋基礎岩盤の岩石、岩盤物性と岩種・岩盤分類の対応及び断層物性について検討を行う。

3.2.1 岩石試験結果

(1) 一般物理特性

申請者は、ボーリング孔から採取した凝灰角礫岩、凝灰岩、安山岩熔岩、軽石凝灰岩、含泥岩礫凝灰岩、凝灰質泥岩のそれぞれについて実施した岩石供試体による物理試験の結果を1,2号炉別に整理し第3.2.3表に示している。

試験結果のうち、原子炉建屋基礎岩盤の大部分を占めるA級B級の凝灰角礫岩及び凝灰岩の自然状態の平均値について要約すると以下のとおりである。

a 密度

試験坑内ボーリングコア試料の値は、1号側 $2.17 \sim 2.31 \text{ g/cm}^3$ 、2号側 $1.99 \sim 2.23 \text{ g/cm}^3$ である。

基礎ボーリングコア試料の値は、1号側 $2.17 \sim 2.31 \text{ g/cm}^3$ 、2号側 $1.98 \sim 2.21 \text{ g/cm}^3$ である。

なお、軽石凝灰岩では、 1.82 g/cm^3 である。

b 吸水率

試験坑内ボーリングコア試料の値は、1号側 $11.7 \sim 15.4 \%$ 、2号側 $11.5 \sim 26.1 \%$ である。

基礎ボ-リングコア試料の値は、1号側 10.1~14.2%
2号側 13.2~26.3%である。

なお、軽石凝灰岩では、34.5%である。

c 有効間隙率

試掘坑内ボ-リングコア試料の値は、1号側 24.1~29.1%、
2号側 22.8~40.3%である。

基礎ボ-リングコア試料の値は、1号側 19.9~26.7%
2号側 25.4~40.6%である。

なお、軽石凝灰岩では、46.5%である。

d P波速度

試掘坑内ボ-リングコア試料の値は、1号側 3.14~3.41
km/s、2号側 2.89~3.49 km/sである。

基礎ボ-リングコア試料の値は、1号側 3.18~3.61 km/s
2号側 2.82~3.41 km/sである。

e S波速度

試掘坑内ボ-リングコア試料の値は、1号側 1.45~1.87
km/s、2号側 1.53~1.88 km/sである。

基礎ボ-リングコア試料の値は、1号側 1.62~1.99 km/s
2号側 1.52~1.65 km/sである。

(2) 強度特性

申請者は、ボ-リング孔から採取した凝灰角礫岩、凝灰岩
守山岩熔岩、軽石凝灰岩、含泥岩礫凝灰岩、凝灰質泥岩の
それぞれについて実施した岩石供試体による力学試験の
結果を、1, 2号炉別に整理し、一軸圧縮試験、圧裂引張
試験を第3.2.3表に、三軸圧縮試験を、第3.2.4表に示
している。

試験結果のうち、原子炉建屋基礎岩盤の大部分を占める A 級、B 級の凝灰角礫岩及び凝灰岩の自然状態の平均値について要約すると以下のとおりである。

a 一軸圧縮強度

試験坑内ボーリングコア試料の値は、1号側 81~270 kg/cm^2 、2号側 182~198 kg/cm^2 である。

基礎ボーリングコア試料の値は、1号側 168~259 kg/cm^2 、2号側 130~391 kg/cm^2 である。

b 引張強度

試験坑内ボーリングコア試料の値は、1号側 2.4~19.4 kg/cm^2 、2号側 21.5~23.8 kg/cm^2 である。

基礎ボーリングコア試料の値は、1号側 17.3~25.7 kg/cm^2 、2号側 16.1~29.4 kg/cm^2 である。

c 三軸圧縮強度

試験結果からモールの応力円を作図し第3.2.1図に示す。

試験坑内及び基礎ボーリングコア試料による試験結果をまとめると、せん断強度は、24~46 kg/cm^2 、内部摩擦角は、52~58° である。

(3) 変形特性

申請者は、ボーリング孔から採取した凝灰角礫岩、凝灰岩、安山岩熔岩、軽石凝灰岩、含泥岩礫凝灰岩、凝灰質泥岩のそれぞれについて実施した岩石供試体による変形試験の結果を、1, 2号炉別に整理し、第3.2.3表に示している。

試験結果のうち、原子炉建屋基礎岩盤の大部分を占める A 級、B 級の凝灰角礫岩及び凝灰岩の自然状態の平均値につ

いま要約すると以下のとおりである。

a 動弾性係数

試掘坑内ホーリングコア試料の値は、1号側 13.8×10^4 ~ 19.9×10^4 kg/cm^2 、2号側 12.4×10^4 ~ 20.9×10^4 kg/cm^2 である。

基礎ホーリングコア試料の値は、1号側 16.8×10^4 ~ 22.6×10^4 kg/cm^2 、2号側 12.2×10^4 ~ 15.5×10^4 kg/cm^2 である。

b 動ポアソン比

試掘坑内ホーリングコア試料の値は、1号側 0.28 ~ 0.37 、2号側 0.27 ~ 0.30 である。

基礎ホーリングコア試料の値は、1号側 0.27 ~ 0.32 、2号側 0.29 ~ 0.37 である。

c 静弾性係数

試掘坑内ホーリングコア試料の値は、1号側 7.6×10^4 ~ 16.7×10^4 kg/cm^2 、2号側 8.8×10^4 ~ 12.9×10^4 kg/cm^2 である。

基礎ホーリングコア試料の値は、1号側 9.1×10^4 ~ 15.6×10^4 kg/cm^2 、2号側 8.0×10^4 ~ 16.1×10^4 kg/cm^2 である。

d 静ポアソン比

試掘坑内ホーリングコア試料の値は、1号側 0.22 ~ 0.26 、2号側 0.22 ~ 0.27 である。

基礎ホーリングコア試料の値は、1号側 0.21 ~ 0.25 、2号側 0.22 ~ 0.31 である。

(4) 岩盤分類と岩石物性

(a) 岩種、岩盤分類と岩石物性

試掘坑内及び原子炉建屋基礎ボーリング孔から採取した岩石試料の岩種別一軸圧縮強度のヒストグラムを第3.2.2図に示す。

これによると一軸圧縮強度は地質観察による硬さ区分と調和的で、硬さ区分aの安山岩熔岩(L-A_n)、b₁の火砕岩層下部層以深の凝灰角礫岩(L-T_b)、凝灰岩(L-T_f、M_s-T_f)、硬さ区分b₂の火砕岩層上中部層の凝灰角礫岩(U-T_b、M-T_b)、凝灰岩(U-T_f、M-T_f)、硬さ区分Cの軽石凝灰岩(P_t)、含泥岩礫凝灰岩(T_fm)、凝灰質泥岩(M_s)に対応し強度が低下している。

また、黒色を呈する凝灰岩は、b₁の中でやや大き目の一軸圧縮強度を示しているが同一グループのものとみなすことができる。

これから新鮮で割れ目の少ない岩盤では、岩盤分類A級が硬さ区分a、b₁、B級が硬さ区分b₂、C級が硬さ区分Cに対応することが示唆される。

試掘坑内及び原子炉建屋基礎ボーリング孔から採取した全試料の岩種、岩盤分類別岩石試験総括表を第3.2.5表に、一軸圧縮強度、密度、超音波伝播速度のヒストグラムを第3.2.3図に示す。

岩盤分類(硬さ区分)別の密度、超音波伝播速度、一軸圧縮強度についてのヒストグラムを第3.2.4図に示す。

これらによると、同一岩盤分類では岩石物性値は、概ね同一のグループのものとみなされ、グループ分けされた岩盤分類

に対応して物性値に差がみられる。

なお、原子炉建屋付近にみられる安山岩熔岩は、割れ目が多いためB級としているが、岩石試験結果によると硬さ区分Aに相当する物性を示している。

(b) 岩種・岩盤分類別の主要岩石物性の平均値の相関

岩種・岩盤分類別の岩石物性値の相互の関係を把握するため、主要物性値の平均値の相関を第3.2.5図に示す。

検討結果を要約すると以下のとおりである。

(i) 密度と吸水率の関係について

密度と吸水率の関係は、密度が大きくなると吸水率が小さくなる傾向がみられる。密度は、安山岩熔岩がかなり大きい。以下、A級の凝灰角礫岩とA級の凝灰岩が同程度であり、これより、やや小さいものとして、B級の凝灰岩、C級の凝灰質泥岩、含泥岩礫凝灰岩の順となっており、C級の軽石凝灰岩は最も小さな値となっている。

密度、吸水率は概ね岩盤分類に対応しているが、同一岩盤分類中で岩種による差がややみられる。

(ii) S波速度とP波速度の関係について

S波速度とP波速度は非常に良い相関を示しており、P波速度はS波速度の約2倍となっている。従って動ポアソン比は0.33程度の値となっている。速度値は大きい方から安山岩熔岩、A級の凝灰角礫岩および凝灰岩、B級の凝灰角礫岩と凝灰岩、C級の含泥岩礫凝灰岩、凝灰質泥岩、軽石凝灰岩の順となっており、ほぼ岩盤分類と対応している。

(a) 静弾性係数と動弾性係数の関係について

動弾性係数は静弾性係数より大きく、1~2倍の範囲に分布している。動弾性係数の静弾性係数に対する比は、安山岩熔岩で約1.0、A級の凝灰角礫岩及び凝灰岩では1~1.5、B級、C級の岩石は約1.5~2の間に分布し、弾性係数の値はほぼ岩盤分類に対応している。

(b) 一軸圧縮強度と静弾性係数の関係について

一軸圧縮強度は静弾性係数が大きくなるとその値が大きくなる傾向を示し、ほぼ岩盤分類に対応している。これは岩石供試体はクラック等の極端な弱部をもたないため、強度及び変形性は岩石を構成する粒子や基質の堅さを反映していると考えられる。

(c) 一軸圧縮強度と引張強度の関係について

一軸圧縮強度は引張強度が大きくなるとその値は大きくなる傾向を示し、ほぼ岩盤分類に対応している。

せい性度(一軸圧縮強度の引張強度に対する比)は、岩石として一般的な10前後の値を示している。

(C) 岩種・岩盤分類別の主要物性値深度分布

第3.2.6図は原子炉基礎ホーリング孔の深度方向の地質状況と岩種、岩盤分類別の主要物性値の対応を示したもので、各地層がほぼ同じ標高となる海岸線に平行な方向の3孔毎の結果をまとめたものである。

これらを岩盤分類別にまとめたものを第3.2.7図に示す。

これらの図に示した主要物性値としては、密度、S波速度、一軸圧縮強度である。

地層は、大局的には、上、中部にB級の岩盤を主体とする火砕岩層、下部にはA級の岩盤を主体とする火砕岩層が分布しており、さらに、その深部には、C級の凝灰質泥岩を主体とする凝灰質泥岩層が分布している。

これらの物性値の深度分布をみると、同一岩盤分類で深度方向にあまり変化はみられない。

3.2.2 岩盤試験結果

申請者が試掘坑内で実施した岩盤せん断試験、平板載荷試験、坑内弾性波試験の結果を岩盤分類図と対応させて第3.2.8図に示す。

以下、岩盤物性と岩盤分類の対応について検討を行う。

(1) 強度特性

申請者は、原位置における岩盤の強度試験の結果を以下のとおり示している。

a 岩盤せん断試験

各試験におけるせん断応力と垂直応力の関係を第3.2.9図にせん断強度と内部摩擦角を第3.2.6表に示す。

これらの試験結果を岩盤分類別にまとめて第3.2.10図に示す。結果を要約すると以下のとおりである。

岩盤せん断強度特性は、岩種による差は少く岩盤分類と概ね対応している。

また、割れ目の比較的多い岩盤の物性は安山岩熔岩がB級、黒色を呈する凝灰岩がC級に相当する。

なお、含泥岩礫凝灰岩は軟質な泥岩礫の多いD級相当部分で試験を行っている。

最小自乗法によって求めた岩盤分類別強度特性値は、A級でせん断強度 22.1 kg/cm^2 、内部摩擦角 51.1° 、B級でせん断強度 15.8 kg/cm^2 、内部摩擦角 47.0° 、C級でせん断強度 6.0 kg/cm^2 、内部摩擦角 46.6° 、D級でせん断強度 3.8 kg/cm^2 、内部摩擦角 37.5° となっている。なお、原子炉建屋背後地表部付近の風化した凝灰岩のブロックせん断試験結果を含めるとC級でせん断強度 5.8 kg/cm^2 、内部摩擦角 46.3° 、D級でせん断強度

3.0 kg/cm²、内部摩擦角30.0°となっている。

(2) 変形特性

申請者は、原位置における岩盤の変形・支持力・クリープ試験の結果を以下のとおり示している。

a 平板載荷試験

応力～変位曲線の代表例を第3.2.11図(変形試験)第3.2.12図(支持力試験)に、各試験における変形係数、静弾性係数及び支持力を第3.2.7表に示す。

これらの試験結果のうち変形係数、割線弾性係数を岩種、岩盤分類別にまとめて、第3.2.13図に示す。

結果を要約すると以下のとおりである。

変形係数及び静弾性係数は、岩種による差は少く、岩盤分類と概ね対応している。割線弾性係数(10 kg/cm²レベル)の平均値はA級で 6.2×10^4 kg/cm²、B級で 2.8×10^4 kg/cm²、C級で 1.0×10^4 kg/cm²、D級で 0.5×10^4 kg/cm²となっている。

荷重～変位曲線からみると、A～D級岩盤とも高荷重域(10～30 kg/cm²)においても弾性的挙動を示している。

また支持力は、原子炉建屋基礎を構成する岩盤に140 kg/cm²まで載荷したが破壊に至らなかった。また、周辺部の含泥岩礫凝灰岩のうちD級相当岩盤では、約120 kg/cm²で破壊に至った。

b 岩盤クリープ試験

軽石凝灰岩の岩盤クリープ試験から得られた時間と変位量の関係を示す。

この変位量～時間曲線を次式

$$W = W_e + W_c = W_e \{1 + d(1 - e^{-Bt})\}$$

この W : 変位量
 W_e : 弾性変位量
 W_c : クリープ変位量
 d, β : クリープ係数
 t : 経過時間

で近似させ、諸数値を求める。結果は第3.2.8表に示す
おりである。

これによると $d = 0.14$ 、 $\beta = 2.8/\text{日}$ である。

なお、平板載荷試験による軽石凝灰岩の降伏荷重が
 85 kg/cm^2 であり、 140 kg/cm^2 まで載荷したが破壊に至って
ない。

(3) その他の試験

申請者は、その他の岩盤試験結果を以下のように示して
いる。

a 坑内弾性波試験

試験結果を岩盤分類図と対応させて第3.2.8図に示す。
試験結果から得られるP波速度、S波速度、動弾性係数、
動ポアソン比の原子炉建屋設置位置(EL 2.3^m)での加重平均
値を第3.2.9表に、試験結果全体の岩種・岩盤分類別の加
重平均値を試掘坑内ホーリングコアの岩石試験結果と対応
させて、第3.2.10表、第3.2.3図に示す。

弾性波速度の平均値は、A級がP波で 2.8 km/s 、S波で
 1.5 km/s 、安山岩熔岩を除くB級がP波で 2.5 km/s 、S波で
 1.3 km/s 、C級がP波で 2.0 km/s 、S波で 1.0 km/s となってお
り岩盤分類と対応している。

守山岩熔岩は P 波で 3.1 km/s 、 S 波で 1.6 km/s で B 級岩盤としては大きめの値を示している。

また、1号原子炉建屋設置位置では P 波で 2.8 km/s 、 S 波で 1.5 km/s 、2号原子炉建屋設置位置では P 波で 2.6 km/s 、 S 波で 1.3 km/s である。 B 級の守山岩熔岩は、きれつ係数 0.65 程度で割れ目の多い岩盤であるが、試掘坑ボーリングで確認された A 、 B 級岩盤は、きれつ係数 0.4 以下で、割れ目の少ない岩盤であると判断される。

b 坑道間弾性波試験

試験結果を第3.2.15図に示す。

試験結果による P 波速度の平均値と変動係数を第3.2.11表に示す。これによると方向による弾性波速度の著しい差異は認められない。

また、 P 波速度の平均値は、1号側で 2.81 km/s 、2号側で 2.57 km/s である。

c ボーリング孔内 PS 検層

試験結果を第3.2.16図に示す。

試験結果から得られる P 波速度、 S 波速度、動弾性係数、動ポアソン比の加重平均値を原子炉建屋基礎ボーリングコアの試験結果と対応させて、第3.2.12表、第3.2.3図に示す。

これによると、岩盤分類別の深さ方向の P 波、 S 波速度の加重平均値は、 A 級が P 波で 3.2 km/s 、 S 波で 1.5 km/s 、 B 級が P 波で 2.7 km/s 、 S 波で 1.3 km/s 、 C 級が P 波で 2.4 km/s 、 S 波で 1.1 km/s である。

なお、基礎ホーリングで確認されたA、B級岩盤の、
きれつ係数は0.4以下で割れ目の少ない岩盤であると
判断される。

d ホーリング孔内載荷試験

試験結果を第3.2.16図に示す。

試験結果による1、2号炉別の変形係数の平均値を
第3.2.13表に岩種、岩盤分類別の変形係数分布図を
第3.2.17図に示す。

孔内載荷試験による変形係数は火砕岩で平均値が
A級 $4.5 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、B級で $2.9 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、C級で
 $1.7 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ となっている。

また、深部にみられるC級岩盤を主体とする凝灰質泥
岩では $2.6 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ と比較的大きな変形係数を示している。

e 透水試験

試験結果を第3.2.18図に示す。

基礎岩盤の透水係数は、ほぼ 10^{-4} cm/sec 以下となっている。

3.2.3 断層物性試験結果

(1) 一般物理特性

申請者は、試掘坑内の断層露頭より採取した試料について実施した物理試験結果を断層ごと整理し、第3.2.14表、第3.2.19図に示している。

試験結果を要約すると以下のとおりである。

a 粒度組成

粒度組成は、粒土分11.7~27.0%、シルト分34.3~45.0%、砂分29.0~38.5%である。

b 土粒子の比重

土粒子の比重は、2.78~3.04の範囲にありやや大きめの値を示すが、これは菱鉄鉱、黄鉄鉱、黄銅鉱等の金属鉱物が含まれるためである。

c 単位体積重量

自然状態の単位体積重量は、1.66~1.79 g/cm^3 である。

(2) 静的強度、変形特性

a 静的単純せん断試験

F-1.2.3.5断層に対するせん断応力(τ)~せん断ひずみ(γ)曲線を第3.2.20図(1)に示す。各試料とも明瞭な破壊点が認められないので10%ひずみ時の応力の包絡線を第3.2.20図(2)に示す。

応力~ひずみ曲線より、ほぼ弾性的と判断できる領域のせん断ひずみ $\gamma = 5 \times 10^{-3}$ までの割線せん断弾性係数 G を求め、垂直応力 σ_v との関係を第3.2.20図(3)に示す。

結果を要約すると以下のとおりである。

10%ひずみ時におけるせん断強度定数は、粘着力が

1.65 ~ 1.95 kg/cm^2 、内部摩擦角が、14.7 ~ 23.7°の範囲にある。

また、弾性領域でのせん断弾性係数 G と垂直応力 σ_v は下式を満足し、これらの諸定数を第3.2.20図(3)に示す。

$$G = A \cdot (\sigma_v)^\beta$$

A, β ; 定数

b 一面せん断試験

F-3断層の一面せん断試験結果より得られた破壊基準を第3.2.21図に示す。

破壊時における粘着力は、2.52 kg/cm^2 、内部摩擦角は27.8°である。なお、単純せん断試験による10%ひずみ時における粘着力は、1.95 kg/cm^2 、内部摩擦角は、21.6°であり、この程度のひずみレベルのせん断強度定数は、ほぼ破壊時のものに対応する。

(3) 動的変形特性

a 動的単純せん断試験

F-1, 2, 3, 5断層に対するせん断応力 τ とせん断ひずみ γ のヒステリシスループから第3.2.22図に示す方法で動的せん断弾性係数 G_d と減衰比 h を求めた。 $G_d/G_0 \sim \gamma$ の、 $h \sim \gamma$ の関係を第3.2.23図(1)(2)に示す。

また、上記 G_0 と垂直応力 σ_v は、下式を満足し、これらの諸定数を第3.2.23図(3)に示す。

$$G_0 = A_0 (\sigma_v)^{\beta_0}$$

A_0, β_0 ; 定数

(4) 静的コーン貫入試験

試掘坑内の各断層の静的コーン貫入試験によると、 $F-1$, $F-4$, $F-5$ 断層の一部を除いて、貫入不能であり断層物質は、良く締まっていることがわかる。

貫入試験結果を第3.2.24 図に示す。

また、 $F-1$ 断層で貫入試験と対応して実施した一軸圧縮試験結果を第3.2.15 表に示す。

これによると、一軸圧縮強度 ρ_u は、約 1.4 kg/cm^2 でありコーン支持力 $\rho_c \doteq 5 \rho_u$ の関係を示している。

(5) 断層物性のまとめ

- (a) 一般物理特性については、他の断層と比較すると、
F-1断層が細粒で塑性が高い。
- (b) 一般物理特性を反映して強度及び静的、動的変形特性は、F-1断層が最も小さな物性値を示し、その他の断層はほぼ同等の物性を示す。
- (c) 強度については、F-1断層で粘着力が 1.65 kg/cm^2 、内部摩擦角が 14.7° 、その他の断層は最小自乗法で整理すると粘着力が $1.70 \sim 1.95 \text{ kg/cm}^2$ 、内部摩擦角が $21.3^\circ \sim 23.7^\circ$ である。

- (d) 静的変形性は弾性領域で

$$F-1 \text{ 断層は } G = 101 (\sigma_v)^{0.519} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$\text{その他の断層をまとめると } G = 69 (\sigma_v)^{0.211} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

で示される。

ここで、 G はせん断弾性係数、 σ_v は垂直応力を示す。

- (e) 動的変形性は、微小ひずみ領域では、

$$F-1 \text{ 断層は } G_0 = 284 (\sigma_v)^{0.560} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$\text{その他の断層をまとめると } G_0 = 303 (\sigma_v)^{0.720} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

で示される

また、ひずみ依存性は、F-1断層とその他の断層はほぼ同じ傾向を示す。

- (f) 静的コーン貫入試験によると、F-1、F-4、F-5断層の一部を除いて貫入不能である。

F-1断層で実施した一軸圧縮試験によると、一軸圧縮強度 R_u は約 1.4 kg/cm^2 であり、コーン支持力 $R_c = 5R_u$ の関係を示している。

4 原子炉建屋周辺斜面の地盤物性について

4.1 調査内容

4.1.1 地盤調査

(1) 地表地質踏査及びボーリング調査

地質及び地質構造についての資料を得るため、地表地質踏査及びボーリング調査を第4.1.1図に示す位置で実施している。

調査結果に基づき地質平面図、地質断面図及び岩盤分類図を作成している。

(2) 地下水位及び透水性の調査

地下水位の状況及び透水性を把握するため、ボーリング孔を利用して第4.1.1図に示す位置で地下水位の測定及び透水試験を行っている。

4.1.2 地盤物性試験

原子炉建屋周辺斜面の安定検討に資する物性値を把握するため第4.1.1図に示す位置で土質試験、岩石試験、岩盤試験を実施している。

試験は、斜面の安定性の検討にあたり、特に留意する必要があると考えられる風化しているC～E級岩盤及び表土を重点的に行なっている。

すなわち、表土及び土砂状のE級岩盤については、土質試験として、物理試験、力学試験及び標準貫入試験を、風化しているC、D級岩盤については岩石試験を行ない、さらにC～E級岩盤について第4.1.1図及び第4.1.2図に示す位置で岩盤せん断試験及び岩盤変形試験を実施している。

また、新鮮なA～C級岩盤についても岩石試験を実施している。

試験実施ケースを次表に示す。

試験項目 分類	土質試験		岩石試験		岩盤試験
	物理試験	力学試験	物理試験	力学試験	
A級			○	○	
B級			○	○	
C級			○	○	○
D級			○		○
E級	○	○			○
表土	○	○			

(1) 土質試験

表土及び土砂状を呈するE級岩盤の土質試験は、物理試験として密度、自然含水比、比重、粒度を測定し、力学試験は、乱さない試料により圧密非排水による三軸圧縮試験をJIS及び土質工学会編土質試験法に準拠して実施している。

(2) 岩石試験

A～C級岩盤の岩石試験は、物理試験として密度、吸水率、有効間隙率及び超音波伝播速度を測定し、力学試験として一軸圧縮試験、引張試験をJIS及び建設省土木試験規準(案)に準拠して実施している。

なお、D級岩盤について物理試験を実施している。

(3) 標準貫入試験

表土及びE級岩盤の標準貫入試験はJISA1219に準拠してN値を求めている。

(4) 岩盤試験

C～E級岩盤の岩盤せん断試験は、第4.1.3図に示す装置を用い第4.1.4図に示す載荷パターンで、岩盤変形試験は第4.1.5図に示す装置を用い第4.1.6図に示す載荷パターンで実施している。

(5) ボーリング孔内PS検層

表土及びD～E級岩盤を対象にボーリング孔内PS検層を実施し、P波速度、S波速度を求め、動弾性係数、動ポアソン比を算出している。

4.2 調査結果

4.2.1 地盤調査結果

(1) 地表地質踏査及びボーリング調査結果

原子炉建屋周辺斜面について、地表、地質踏査及びボーリング調査により作成した地質平面図及び地質断面図を第4.2.1~4.2.5図に、岩盤分類図を第4.2.6~4.2.10図に示す。

原子炉建屋周辺斜面の基盤をなす地質は、新第三紀中新世の神恵内累層の火砕岩であり、これを覆う表土は、第四紀更新世の砂質土を主体とする段丘堆積物が、沢沿い及び山腹には完新世の崖錐堆積物が分布している。

火砕岩層は、 $30\sim 45^\circ$ で海側へ傾斜し凝灰角礫岩、凝灰岩を主体に広く分布しており、2号原子炉建屋の南東部の一部に含泥岩礫凝灰岩、安山岩熔岩がみられる。

原子炉建屋周辺の切取斜面の勾配は、A~C級岩盤に対しては1:1.2 切取部頂部に一分布するD~E級岩盤及び表土に対しては1:2.5としている。

切取斜面に連なる自然斜面の平均勾配は、約 13° でE級岩盤及び表土が10m前後の厚さで分布している。

なお、断層は斜面から10~30mの深さで斜面及び地層にほぼ平行するF-3断層を除いて斜面にほぼ直交するものが多く、これらは斜面の安定性に重大な影響を与えるものではないと判断される。

(2) 地下水位及び透水性の調査結果

ボーリング孔による地下水位の観測結果、原子炉建屋周辺斜面の地下水位は、第4.2.11図及び第4.2.2図～第4.2.5図に示すとおり、岩盤内の低い位置にあって、試掘坑掘削後は安定しており、原子炉建屋付近では、基礎底面とほぼ同じ水位となっている。

透水試験結果を第4.2.12図第4.2.1表に示すが、これによると透水係数の平均値はA～C級岩盤で 3×10^{-5} cm/s、D～E級岩盤で 8×10^{-5} cm/s、表土で 2×10^{-5} cm/s程度となっている。

また、第4.2.13図に、透水係数の分布図を示す。

これによると原子炉建屋付近には、連続する顕著な透水層は認められない。

4.2.2 地盤物性試験結果

(1) 土質試験結果

表土及び土砂状を呈するE級岩盤の物理試験結果を第4.2.2表、第4.2.14図に、三軸圧縮試験結果を第4.2.3表、第4.2.15図、第4.2.16図に、動的変形試験結果を第4.2.17図に示す。

試験結果の平均値は以下のとおりである。

・ 比重

比重は、表土 2.73 g/cm^3 、E級岩盤 2.69 g/cm^3 である。

・ 自然含水比

自然含水比は、表土 31.2% 、E級岩盤 50.9% である。

・ 密度

自然状態での密度は、表土 1.81 g/cm^3 、E級岩盤 1.60 g/cm^3 である。

・ 三軸圧縮試験

飽和状態において、表土で粘着力 0.67 kg/cm^2 、内部摩擦角 14.9° 、E級岩盤のN値が7程度のもの粘着力 0.87 kg/cm^2 、内部摩擦角 25.5° である。

変形係数 E_{50} は側圧 1 kg/cm^2 で表土 310 kg/cm^2 、E級岩盤 440 kg/cm^2 である。

(2) 岩石試験結果

岩石試験結果を「原子炉建屋基礎地盤の岩石、岩盤物性について」の結果とあわせて第4.2.4表、第4.2.18図、第4.2.19図に示す。

これらより、原子炉建屋周辺の岩石物性は、物理特性、強度特性、変形特性とも原子炉建屋での試験結果と同等の値を示している。

(3) 標準貫入試験結果

表土及びE級岩盤で実施した標準貫入試験結果を第4.2.20図、第4.2.21図に示す。N値の平均値は表土が約12、E級岩盤が約28である。

(4) 岩盤試験結果

2号原子炉建屋山側地表付近の凝灰岩の風化したD~E級の岩盤で実施した岩盤せん断試験結果を「原子炉建屋基礎地盤の岩石、岩盤物性について」の結果とあわせて第4.2.22図、第4.2.23図に示す。また岩盤変形試験結果を同様に第4.2.24図、第4.2.25図に示す。

風化したC級及びD級岩盤は、試掘坑内での新鮮なC級及びD級岩盤の試験結果と同等の値を示しており、これらをまとめると、C級岩盤では、せん断強度 5.8 kg/cm^2 、内部摩擦角 46.3° 、割線弾性係数 $1.0 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、D級岩盤では、せん断強度 3.0 kg/cm^2 、内部摩擦角 38.8° 、割線弾性係数 $0.5 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ である。

なお、E級岩盤のN値が50程度のものでせん断強度 1.7 kg/cm^2 、内部摩擦角 26.2° 、変形係数 $0.13 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ である。

(5) ホーリング孔内PS検層結果

表土及びD~E級岩盤を対象にして実施したホーリング孔内PS検層結果を第4.2.5表に示す。

5. 審査意見

申請者は、原子炉建屋基礎地盤及び周辺斜面を構成する
る岩種及び表土について、ボーリングコアによる岩石試験及び
ボーリング孔、試掘坑、地表トレンチにおける岩盤試験等を実
施している。

岩盤物性を評価するにあたって、ボーリングコア観察及び試
掘坑内の地質観察に基づいて、各岩級が同程度の工学的
特性を持つようにA～E級の5段階に岩盤分類を行っている。

また、岩盤分類と地盤物性値との関係については、対応
がとれていると評価される。

以上のことから試験の内容及び岩盤分類の考え方は、十分
妥当なものであり、基礎地盤及び周辺斜面の安定解析等の
基礎資料として十分なものであると判断される。

泊発電所(1, 2号炉)

原子炉建屋基礎地盤及び周辺斜面の
岩盤分類と地盤物性について

(図表集)

2. 岩盤分類について

第2.1.1表	田中等によるダム基礎岩盤分類基準
第2.1.2表	菊地・斉藤による岩盤分類基準
第2.1.3表	土質工学会(岩の力学委員会)の岩盤分類法
第2.1.4表	土木学会(岩盤力学委員会)の岩盤分類法
第2.1.5表	菊地等の方法による試掘坑内の岩盤分類の検討
第2.1.6表	泊発電所岩盤分類基準
第2.2.1表	試掘坑及び原子炉建屋基礎ボーリングで出現する主な岩種
第2.2.2表	岩盤の風化度区分
第2.2.3表	岩盤の割れ目区分
第2.2.4表	岩盤の硬さ区分
第2.3.1表	岩種毎の岩盤分類基準
第2.3.2表	岩盤分類の地質要素と工学的性質
第2.1.1図	水平岩盤分類図(EL 2.5 m)
第2.1.2図	鉛直岩盤分類図($Y_1 - Y_1'$)
第2.1.3図	鉛直岩盤分類図($Y_2 - Y_2'$)
第2.1.4図	鉛直岩盤分類図($X - X'$)
第2.2.1図	水平風化度区分分布図(EL 2.5 m)
第2.2.2図	鉛直風化度区分分布図($Y_1 - Y_1'$)
第2.2.3図	鉛直風化度区分分布図($Y_2 - Y_2'$)
第2.2.4図	鉛直風化度区分分布図($X - X'$)
第2.2.5図	試掘坑の割れ目の頻度分布図
第2.2.6図	試掘坑と水平ボーリングの割れ目区分分布図
第2.2.7図	試掘坑の岩種別割れ目ヒストグラム
第2.2.8図	試掘坑の岩種別平均割れ目頻度
第2.2.9図	基礎ボーリングの割れ目区分分布図(1号側)
第2.2.10図	基礎ボーリングの割れ目区分分布図(1号側)
第2.2.11図	基礎ボーリングの割れ目区分分布図(2号側)
第2.2.12図	基礎ボーリングの割れ目区分分布図(2号側)
第2.2.13図	基礎ボーリングと試掘坑のRQD
第2.2.14図	基礎ボーリング(EL + 2.5以下)及び試掘坑の岩石の一軸圧縮強度比較図
第2.2.15図	火砕岩の一軸圧縮強度の風化特性

3. 原子炉建屋基礎地盤の岩石・岩盤物性について

第3.1.1表	断層の試験項目
第3.2.1表	主要岩種の地質要素と岩盤分類
第3.2.2表	断層の試料採取地点の性状
第3.2.3表	岩石試験結果
第3.2.4表	三軸圧縮試験結果
第3.2.5表	岩種・岩盤分類別岩石試験結果
第3.2.6表	岩盤せん断試験結果
第3.2.7表	岩盤変形・支持力試験結果
第3.2.8表	岩盤クリープ試験結果
第3.2.9表	坑内弾性波試験結果平均値(原子炉建屋設置位置)
第3.2.10表	岩種・岩盤分類別坑内弾性波試験結果
第3.2.11表	坑間弾性波試験結果
第3.2.12表	ボーリング孔内P S 検層結果
第3.2.13表	ボーリング孔内載荷試験結果
第3.2.14表	断層内物質の物理試験結果
第3.2.15表	断層内物質の一軸圧縮試験結果
第3.1.1図	岩石試験試料採取位置図
第3.1.2図	圧裂試験方法
第3.1.3図	岩盤変形・支持力・せん断・クリープ試験位置図
第3.1.4図	岩盤せん断試験装置図
第3.1.5図	岩盤せん断試験載荷パターン
第3.1.6図	岩盤変形・支持力試験装置図
第3.1.7図	岩盤変形試験載荷パターン
第3.1.8図	支持力試験載荷パターン
第3.1.9図	弾性波試験位置図
第3.1.10図	ボーリング孔を利用した試験位置図
第3.1.11図	P S 検層概略図
第3.1.12図	ボーリング孔内載荷試験概略図
第3.1.13図	断層物性試験試料採取及び試験位置
第3.1.14図	静的・動的単純せん断試験装置図
第3.1.15図	一面せん断試験装置図

第3.1.16 図	静的コーン貫入試験装置概略図
第3.2.1 図	三軸圧縮試験結果（モールの応力円）
第3.2.2 図	岩種別一軸圧縮強度ヒストグラム
第3.2.3 図	岩種・岩盤分類別岩石試験結果ヒストグラム
第3.2.4 図	岩盤分類別岩石試験結果ヒストグラム
第3.2.5 図	岩種・岩盤分類別岩石物性相関図
第3.2.6 図	岩石試験結果深度分布図
第3.2.7 図	岩盤分類別岩石試験結果深度分布図
第3.2.8 図	試掘坑内岩盤物性分布図
第3.2.9 図	岩盤せん断試験結果
第3.2.10 図	岩盤分類別岩盤せん断試験結果
第3.2.11 図	岩盤変形試験荷重～変位曲線
第3.2.12 図	支持力試験荷重～変位曲線
第3.2.13 図	岩種・岩盤分類別岩盤変形試験結果
第3.2.14 図	岩盤クリープ試験結果
第3.2.15 図	坑間弾性波試験結果
第3.2.16 図	PS検層、孔内載荷試験結果
第3.2.17 図	岩種・岩盤分類別孔内載荷試験結果
第3.2.18 図	透水試験結果
第3.2.19 図	断層内物質の物理試験結果
第3.2.20 図	断層内物質の静的単純せん断試験結果
第3.2.21 図	断層内物質の一面せん断試験結果
第3.2.22 図	動的単純せん断試験解析法
第3.2.23 図	断層内物質の動的単純せん断試験結果
第3.2.24 図	断層の静的コーン貫入試験結果