甲第６０７号証

2022.1.31

大飯発電所基礎地盤の地震力に対する安定性について補足

関西電力の準備書面(30)への反論

赤松純平

筆者は、意見書「大飯発電所基礎地盤の地震力に対する安定性について（2021.1.11）」[1]において、次の３つの問題点を挙げて、基礎地盤は基準地震動によるすべりに対して十分な安全性を有していないことを指摘した：

(1) 原子炉建屋基礎の岩級分布は亀裂を多く含むCM級岩盤が多く分布しているにも拘わらず、安定性評価のための2次元FEMにおいて殆ど全ての岩盤を堅固なCH級としてモデル化しすべり安全率を大きくしている。

(2) 岩石の引張強度を岩盤の引張強度であると詐称し、岩盤の引張強度を大きく設定することにより、破砕帯などの弱面に沿うすべり破壊の危険性を隠蔽している。

(3) 関西電力（関電）の「すべり安全率算定時のせん断強度の考え方」による計算結果は、すべり面に沿ってせん断破壊が生じ破壊要素が局所的に集中しているにも拘わらず、周辺への進行性破壊等についての検討を怠っている。

これを基に、「原告第77準備書面－大飯原発の基礎地盤の安定性評価は審査ガイドの基準を充たしていないこと－（2021.2.17）」は、関西電力の行った安定性評価は、基準地震動によるすべりに対して基礎地盤が十分な安全性を有しているとは認められないことを論証した。

これに対し、関電は準備書面(30)の「第3 原告らの主張に対する反論」で7項目を挙げているが、従前の主張を繰り返すだけで、筆者が指摘した事項に応える科学的に納得できる議論はなく、反論たり得ない。しかし、原子炉建屋の安全性に関する重要な事項なので、主にすべり破壊の判定基準と岩盤の物性について、再度問題点を指摘する。ただし、準備書面(30)の「反論7項目」の順に記載するので、要素破壊の議論が複数回あって冗長であることを了とされたい。註1にモール・クーロンの破壊基準の説明を載せた。なお、本稿では関電準備書面(30)の引用をゴチック体で表記する。

１． 基準地震動により基礎地盤にせん断破壊が生ずること
－関電準備書面(30)、24～27頁について－

関電は、「**原告らの上記主張は，G-G’断面，C-C’断面及びF-F’断面の局所安全係数分布図（図表6，8及び9）において，引張応力が発生した要素（赤色）や，せん断強度に達し，かつ引張応力が発生した要素（橙色）が存在することをその根拠とし**

ているようであるが，そうであれば明らかに基礎地盤の安定性評価におけるすべり安全率に関する理解を誤っている（25 頁）」と記して、安全率算定の方法を繰り返し記述している。筆者は、解析結果である「要素ごとの局所安全係数」と「要素ごとの引張応力分布図」とを、関電の「すべり安全率算定のフロー」に依拠してせん断破壊の危険性を指摘したのである[1]が、関電の図を用いて再度説明する。

準備書面(30)の図表 5（17 頁）の「すべり安全率算定のフロー」には、すべり線が通る要素の「局所安全係数分布図」と「要素ごとの強度判定」の図が示されている。この図の要素の強度判定に(a)～(c)の記号を追記して次頁の図 1 に示す。なお、準備書面(30)の図表 5 は、第 206 回審査会合（平成 27 年 3 月 13 日）の資料 3-6-2（[2]、丙 387）の 46 頁に記載されている。

図 1 には、最下段に強度判定の例として、4 号炉基礎地盤（E-E'断面）のすべり安全率が 5.4 であったケースの、すべり線が通る要素の「①局所安全係数分布図」と「②要素毎の強度判定」の図が示されている。①の分布図は、最上段の「すべり面上の要素の破壊判定」で「引張応力が発生（せん断強度に達した要素を含む）」したと判定された要素が赤色（橙色）で表示されている(a)。次いで、②の図では 2 段目の「すべり面の直応力 σ_n が圧縮か？」の判定によって、直応力が圧縮の要素が黄緑色(b)、非圧縮の要素が灰色(c)で表示されている。(b)の要素は、引張応力が生じたがすべり面の直応力が圧縮であり「残留強度を使用（ケース 2）」する要素である。(c)の要素は、引張応力が生じ、しかもすべり面の直応力が引張の「強度ゼロ」の要素である。すなわち「②要素毎の強度判定」の図は、「E-E'断面、基準地震動 : Ss-1（+,-）、時刻 : 16.41 秒、すべり安全率 : 5.4」において、すべり面に沿って、ピーク強度ではなく、残留強度や強度ゼロを判定に用いる要素が連続しており、破壊要素が集中していることを示している。

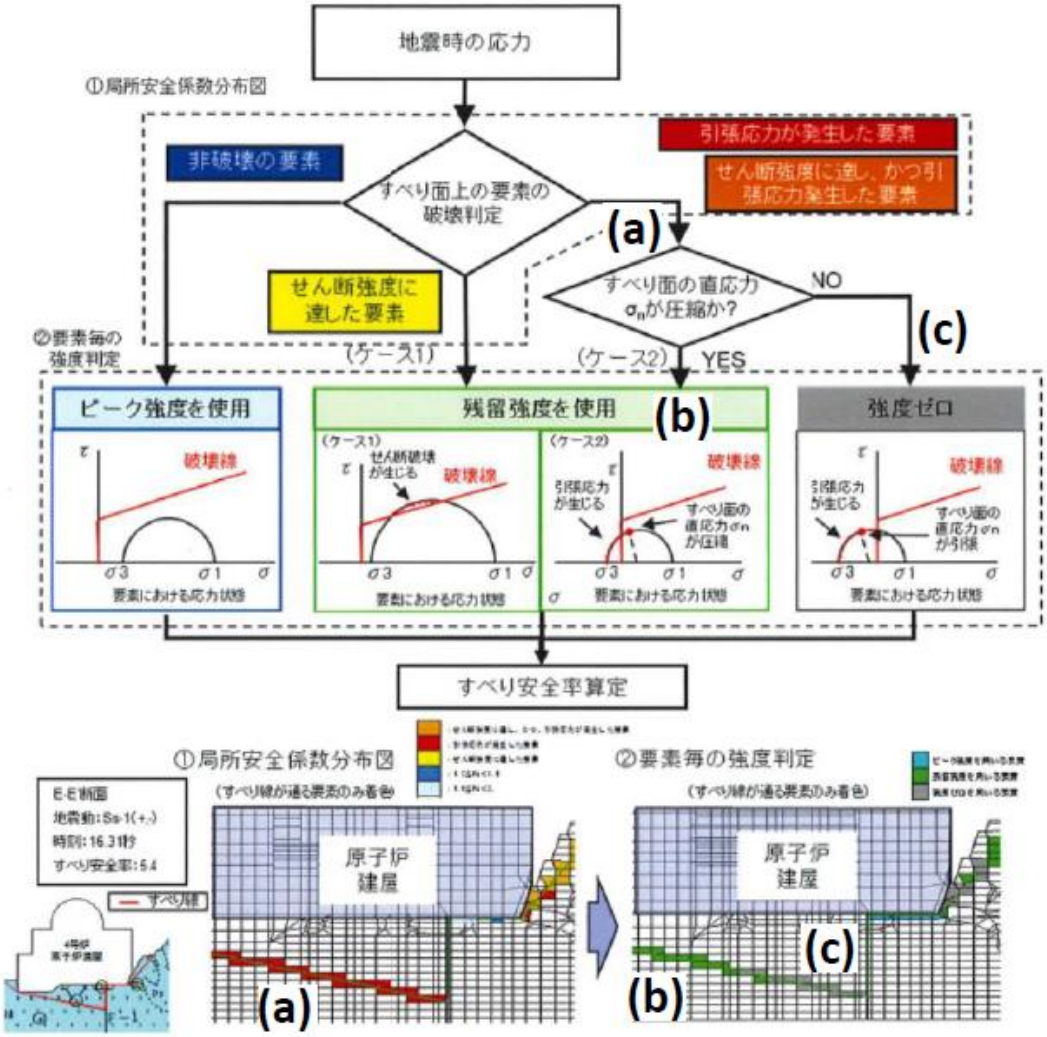
このような場合、規制委員会の審査ガイド[3]は「弱層等における応力の発生状況等から、破壊要素が局所的に集中する等の結果が得られ、周辺への進行性破壊等についての検討が必要と考えられる場合は、静的非線形解析等により検討を行っていることを確認する（4.1 (2) 4）の第 5 項）」ことを要請している。

しかし関電は、この E-E'断面「すべり面番号 4」のケースについて、「要素ごとの局所安全係数」（[2]、83 頁）には「**・引張応力が発生した要素について、応力再配分の要否の検討を実施する。・せん断強度に達した要素は局所的にしか存在せず、周辺への進行性破壊の影響は小さいと考えられることから、せん断強度に達した要素について応力再配分の検討は不要であると評価した**」とし、また「要素ごとの引張応力分布図」（[2]、84 頁）には「**発生する引張応力は大半が 20kg/cm² 以下であり、CH 級岩盤の引張強度（74kg/cm²）以下であることから、応力再配分を考慮した検討は不要であることを確認した**」として、審査ガイドの要請に応えていない。

関電の上記評価が恣意的であり科学的でないことは、以下のとおりである：

(1) 「**せん断強度に達した要素は局所的にしか存在せず**」と局所的に存在したことを認めており、審査ガイドの「破壊要素が局所的に集中する等の結果」が得られた場合に相当するにも拘わらず、「**局所的にしか存在せず**」という理由で審査ガイドの要請する「周辺への進行性破壊等についての検討」を不要として「**応力再配分の検討は不要であると評価**」している。

(2) 「要素毎の強度判定」における強度ゼロの判定は、すべり面の直応力が圧縮か引張かに依るとしているにも拘わらず、「**発生する引張応力**」と「**CH 級岩盤の引張強度**」とを比較して「**応力再配分を考慮した検討は不要であることを確認した**」としている。これは、自ら設定したすべり安全率算定のフローを逸脱している。これについては、後の５節で詳述する。



【図表５　すべり安全率算定のフロー（丙 387，参考資料 46 頁）】

図 1．すべり線が通る要素の「局所安全係数分布図」と「要素毎の強度判定」．
判断の流れと対応する要素：(a)、(b)、(c) を加筆．

図 1 の要素毎の強度判定は、4 号炉基礎地盤（E-E’断面）、すべり面番号 4 の結果であり、すべり安全率は 5.4 である。すべり安全率は、**[すべり安全率(Fs)] = [すべり面上のせん断抵抗力の和] / [すべり面上のせん断力の和]の計算式によって算定される**[関電準備書面(30)、18 頁]。せん断抵抗力（せん断強度）は、ピーク強度、残留強度、強度ゼロを使い分けているので、すべり安全率は要素の強度判定に依存する。表 1 に評価断面の想定すべり面の最小すべり安全率（[2]、71～75 頁)を纏めた。E-E’断面の他の全ての断面で、最小すべり安全率は 5.4 以下であり、しかも想定されたすべり面 32 枚の内、20 枚の安全率は 5.4 未満である。関電は最も要素破壊の少ない E-E’断面の「要素毎の強度判定」の図のみを示して、破壊は局所的に集中するが周辺への進行性破壊ではないと説明しているのである。

表 1. 基礎地盤の最小すべり安全率．No は想定すべり面番号．
桃色表示のすべり面：最小すべり安全率が 5.4 未満（赤色文字）．

3号炉基礎地盤	**No**	**1**	**2**	**3**	**4**		
D-D'断面	**率**	**4.04**	**4.2**	**6.6**	**4.08**		
4号炉基礎地盤	**No**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	
E-E'断面	**率**	**6.1**	**7.0**	**6.1**	**5.4**	**8.6**	
3･4号炉基礎地盤	**No**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
G-G'断面	**率**	**3.5**	**3.2**	**5.1**	**3.6**	**3.9**	**2.6**
3･4号炉基礎地盤	**No**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	
G-G'断面	**率**	**4.6**	**4.4**	**5.5**	**4.1**	**12.2**	
緊急時対策所基礎地盤	**No**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
C-C'断面	**率**	**1.9**	**6.5**	**3.4**	**2.3**	**2.6**	**2.0**
緊急時対策所基礎地盤	**No**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
F-F'断面	**率**	**4.3**	**5.6**	**4.8**	**2.3**	**5.9**	**6.8**

2. 想定すべり面はモビライズド面の向きに基づいて適切に想定されるべきこと －関電準備書面(30)、27～28 頁について－

関電は、想定すべり面とモビライズド面の向きが一致していないことについて「**原子力規制委員会の地盤ガイドにおいても，すべり面の想定については，「基礎底面を通るすべり面のほか，不連続面等の分布，局所安全率，モビライズド面の向き等に基づいてすべり面が適切に想定されていること」と記載されている**（下線は引用者。4.1 (2) 4),甲 575, 3 頁）。**このように，すべり面は，建物・構築物の基礎底面を通るすべり面を基本として，不連続面等の分布等，他の事項も考慮して想定するべきものであり，モビライズド面の向きは，すべり面の想定に当たっての考慮要素の 1 つに過ぎず，モビライズド面の向きが当然に想定すべきすべり面の向きと一致するわけでもないのである**（27～28 頁）」と、技術指針の規定を恣意的にねじ曲げた文言に置き換えている。審査ガイドは、モビライズド面の向きに基づいて適切に想定することを要請しており、考慮要素の 1 つに過ぎないから考慮しなくてもよいとは言っていない。まして、評価結果として現われた G-G’断面のモビライズド面は不連続面である F-2 およ

び F-3 破砕帯の走向に一致しているのである。関電自ら「**モビライズド面の向き（岩盤がせん断破壊しやすい方向）**（27 頁）」と認めているのである。なお、モビライズド面の重要性については、註 1(4)を参照されたい。

3. 地盤調査結果に基づいた構造モデルで評価すべきこと
－関電準備書面(30)、28～31 頁について－

すべり安定性評価は FEM 解析によるモデル計算に依り、評価モデルは、CM 級、CH 級などの岩盤分類と破砕帯の構造を要素化している。筆者らは、原子炉建屋基礎の基盤は CH 級より脆弱な CM 級岩盤が全体の 36.6%、3 号炉付近では 56.1%であるにも拘わらず、評価モデルはほとんど全ての岩盤を CM 級より堅固な CH 級岩盤であるとしていることの不当性を指摘した[[1]、14 頁]。これに対し、関電は「**岩盤分類の考え方のフロー**（図 10、30 頁）」を示して、「**岩級区分は E.L.-50m までは 3m 程度, E.L.-50m～E.L. -150m までは 5m 程度, E.L.-150m 以深は 10m 程度を基準として，その中で支配的な岩級区分を基に地質断面図を作成している**（29 頁）」と述べ、「**原告らは, CM 級の岩盤が 3 分の 1 以上, 場所によっては 2 分の 1 以上を占めているなどと，CM 級岩盤の割合のみを強調するが，その大部分は地質断面図にも反映されないほどの小さなものが点在しているに過ぎない**（31 頁）」と記している。

関電の上記岩級区分に関する記述は、関電準備書面(28)の 9 頁記載内容と同じであり、既に筆者は「大飯発電所の敷地地下構造の不整形性について(2)－関西電力の準備書面(28)の内容に関連して－(2021.12.01)」で関電の記述が根拠のないことを明らかにした（[4]、4～8 頁）。繰り返しになるが、概要を記しておく。

まず「3m、5m、10m 程度を基準とし、その中で支配的な岩級区分」という表現が曖昧で具体的にどのような統計処理を行ったのか不明であるので、筆者は次の 2 ケースについて支配的岩級分布を求めた：

(1) 岩級に基準を超える厚さがある場合のみを岩級区分として拾う（基準で足切り）
(2) 基準区間内でより多く分布する岩級を区間の岩級とする（小選挙区制）

(1)の場合の結果を次頁の図 2 に、(2)の場合の結果を図 3 に示す。

(1)の場合、標高-50m まで基準 3m 以上である岩級層は、CM 級は全体の 25.4%、CH 級は 31.9%である（図 2 左図）。3m 未満の層を除くと、CM 級は 44.3%（*）、CH 級は 55.7%となる。標高-50～-150m（図 2 右図）では基準 5m 以上の層は、CM 級は 16.4%、CH 級は 83.6%である。それぞれ基準未満の地層は「**地質断面図にも反映されないほどの小さなもの**」として捨てる。捨てられる地層の厚さの積算値は、標高-50m までは 42.6%、標高-50～-150m では 47.6%である。全体の半分近くの地層の性質を無視することになる。[*：44.3 %= 25.4 / (25.4 + 31.4)]

(2)の場合、標高-50m まで基準 3m の支配的岩級は、CM 級は全体の 50.4%、CH 級は 49.6%である（図３左図)。標高-50～-150m（図３右図）では基準 5m で、CM 級は 29.2%、CH 級は 70.8%である。(1)の場合よりも CM 級の割合が大きい。
なお、支配的岩級は、次頁の図 4：各ボーリング孔における岩級分布に示すように、基準区間の CM 級と CH 級の分布割合によって支配的岩級を決定し、基準区間を順次移動させて求めている。

「基準区間による支配的岩級」という方式を、具体的に上記(1)(2)であるとして集計すると(1)(2)のいずれも「**CM 級岩盤の大部分は地質断面図にも反映されないほどの小さなもの**」ではない。これらが違うというのであれば、「基準区間による支配的岩級」の集計方式を明確にすべきである。

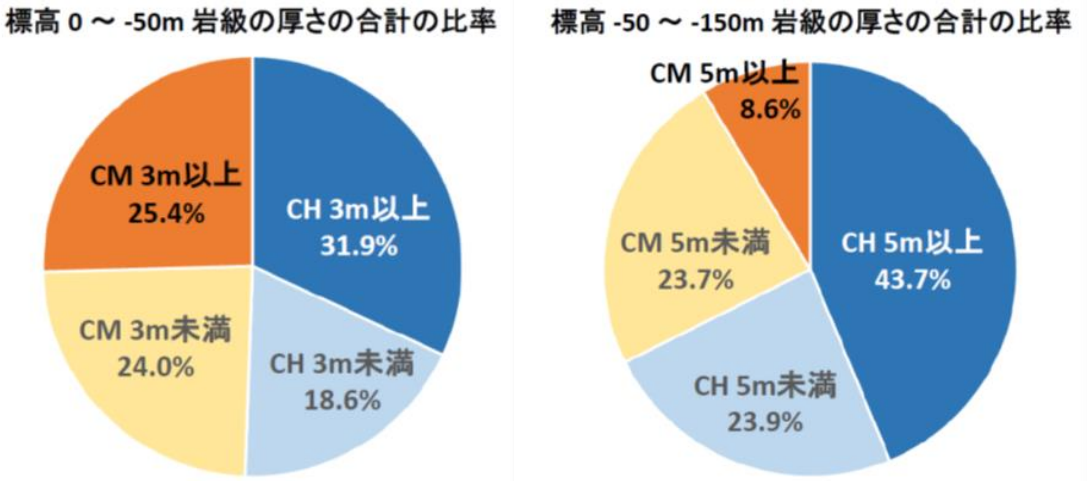


図２．基準値以上、未満の岩級層厚さの分布．左：標高 0～-50m、右-50～-150m.

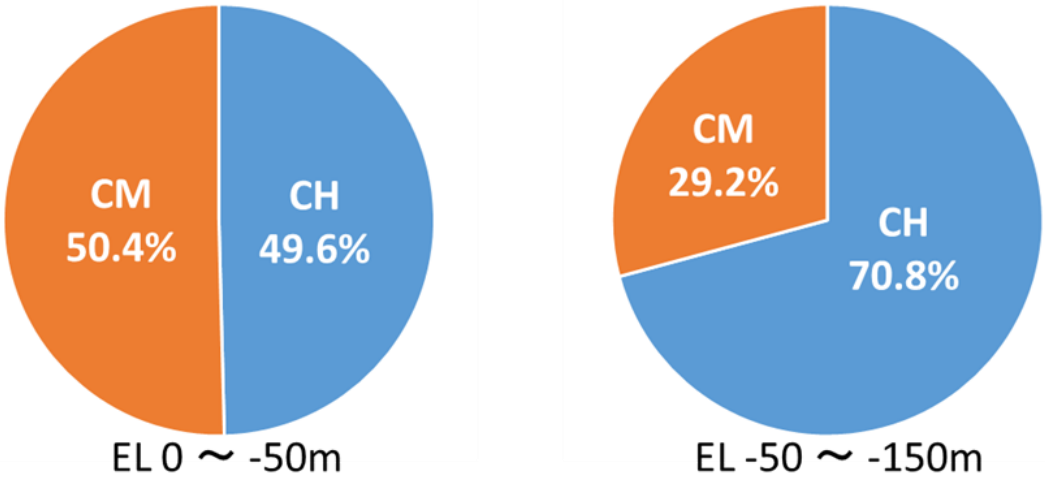


図３. 基準内の多い岩級を支配的岩級とした分布. 左:標高 0～-50m、右-50～-150m.

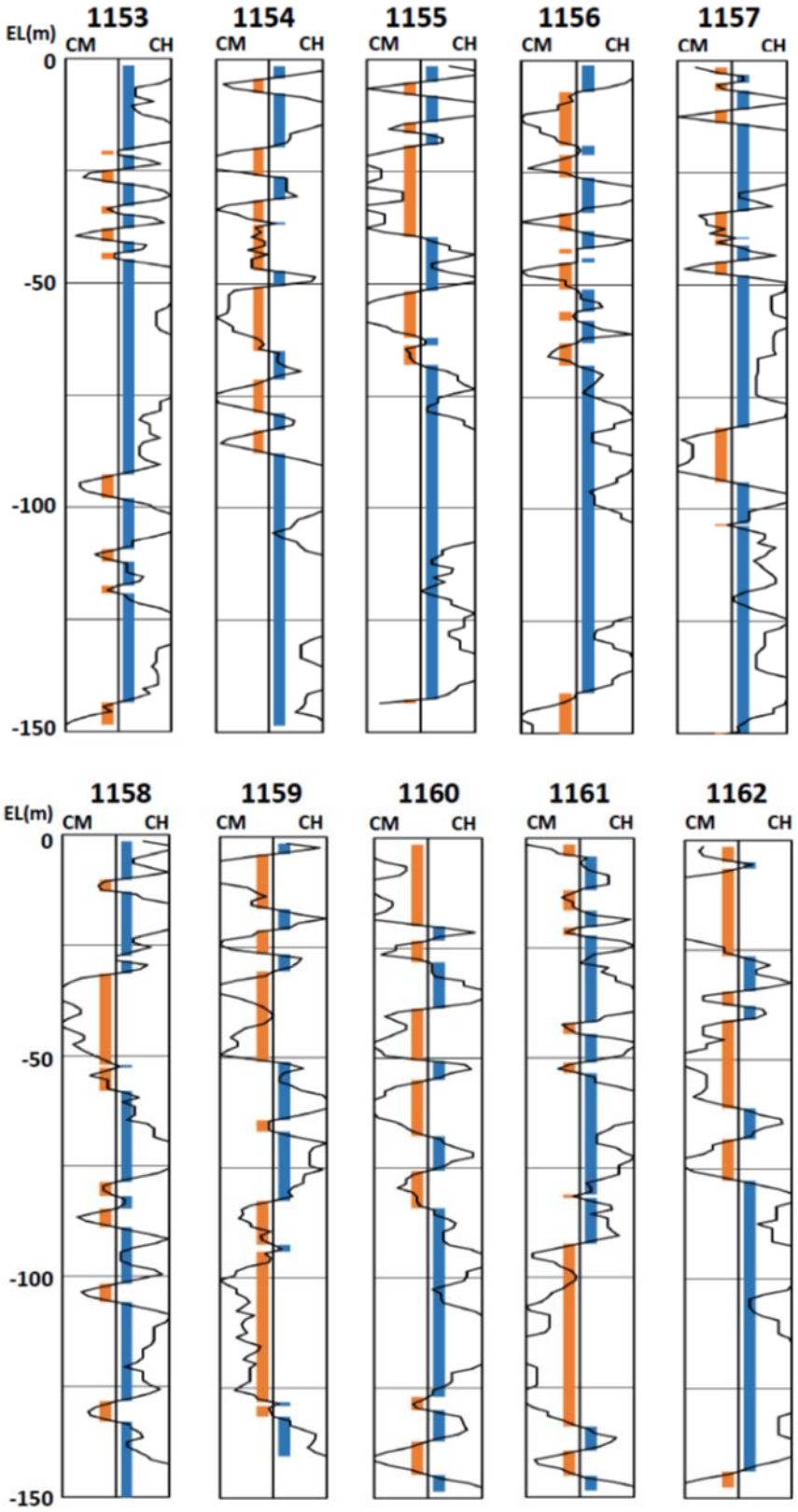


図４．基準区間内の岩級分布割合（黒線）と支配的岩級分布（橙色、青色）.
図の左端：CM 級 100%、右端：CH 級 100%.
岩級分布が中央 50%の左側であれば当該基準区間は CM 級、右側で CH 級.

4. 岩石の引張強度を岩盤の引張強度と詐称していること
－関電準備書面(30)、31～33 頁について－

関電は、岩石の引張強度を岩盤の引張強度であると詐称し、岩盤の引張強度を大きく設定することにより、破砕帯などの弱面に沿うすべり破壊の危険性を隠蔽している（[1] 7 頁～）。この指摘に対して関電は、「**各要素について，直応力が引張応力となる場合，すなわち，原告らの主張するせん断抵抗力が弱くなっている場合には，当該要素の強度（せん断抵抗力）をゼロとみなして，つまり，どの程度の引張応力が発生しているか（あるいは，引張破壊が生じているか）否かにかかわらず，当該要素が「強度ゼロ」，すなわち全く強度（せん断抵抗力）を有していないとの前提で，すべり安全率を保守的・安全側に計算している。そのため，仮に原告らが主張するように，引張強度が弱い部分があり，当該部分が引張破壊を発生したとしても，被告の地盤安定性評価に何らの影響を与えるものではない**（32 頁）」と主張している。この主張が根拠の無いことを、次に示す。

すべり安全率算定のフロー（図 1）では、モール円によって要素の応力状態が示されている。「引張応力が生じ」、「すべり面の直応力 σ_n が圧縮」の場合と「すべり面の直応力 σ_n が引張」の場合の図を拡大して図 5 に示す。大きい赤点の位置によって強度判定の区別を示しているが、解析に用いた岩盤の物性値を無視した定性的な模式図であり、発生する応力と強度の大小関係は不明である。なお、註 1 に解析用物性値を用いて描いたモール円により、応力状態を解説したので参照されたい。

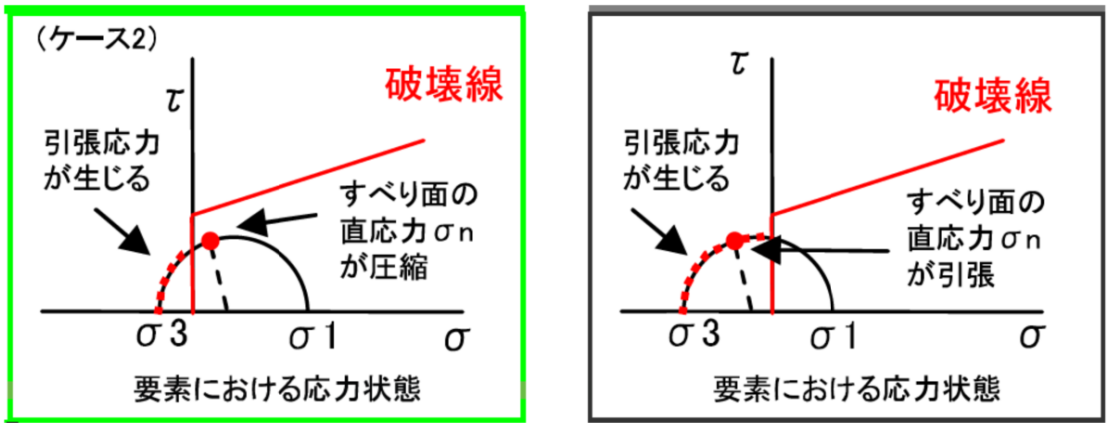


図 5. 要素における応力状態を示すモール円.

次頁の図 6 に、物性値に基づいた図の例として、CH 級輝緑岩の物性値（平均値）による応力状態図（註 1）を示す。モール円が σ=0 軸上で破壊線に接している場合、すなわち、図 5 の左図と右図の境の状態で、せん断強度に達した場合の図である。すべり面の直応力 σ_n はゼロ（圧縮でもなく引張でもない）である。解析用せん断強度から換算した引張強度範囲（2.7～11 kgf/cm²）[[1]、表 5、10 頁]を赤枠で示した。

関電の主張は、σ_n が非圧縮（図の赤点が縦軸上か左側）なら強度をゼロとするが、σ_3 が引張強度（岩石サンプルの値：74kgf/cm²）より小さい（図では σ_3 は引張強度より右にある）から問題ないとするものである。しかし、図から明らかなように、発生する引張応力 σ_3 が岩盤の引張強度より小さいとは限らない。図のモール円は破壊条件の境界位置を示しているが、モール円が少し右に（例えば +2kgf/cm²）あった場合、すべり面の直応力 σ_n は圧縮で、モール円は破壊線と交わらないからせん断破壊は生じない。しかし、発生する引張応力は 4.7kgf/cm² で（-6.67+2 の絶対値）あり、引張破壊を起こす場合が生じる。すなわち、せん断強度ゼロになる前に、引張破壊を起こすことになる。

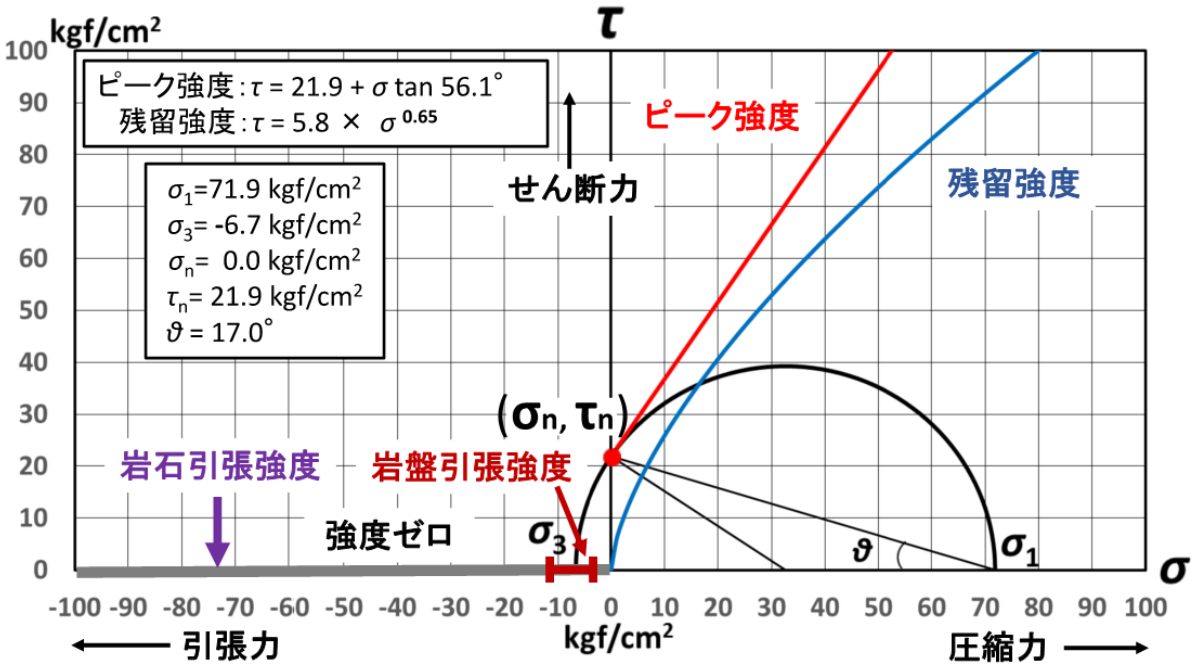


図 6. CH 級輝緑岩の応力状態.
すべり面の直応力 σ_n がゼロで、せん断破壊が生じている状態.
赤枠：岩盤引張強度（2.7～11 kgf/cm²）、紫矢印：岩石引張強度（74 kgf/cm²).

図 6 に示した引張強度は、せん断強度と引張強度との関係から求めた[[1]、8 頁]が、これに関して関電は「**原告らは，せん断強度と引張強度に明確な相関性が認められることを前提に，岩盤のせん断強度試験の結果から引張強度を推定して利用しているが，仮に両者に何らかの相関性が認められるとしても，岩盤のせん断強度試験の結果から引張強度を精度よく推定できるか否かについては，確立した知見か得られているわけでもない**（32 頁）」と精度良く推定できないことを問題にしている。用いたせん断強度と引張強度の関係は、関電の高浜の試験結果のデータ[[5]、高浜設置許可申請書、6-3-116 頁]および電力中央研究所の原発サイト岩盤の掘削時の安定性解析のデータ[[6]、付表 8]である。いずれも原発施設を建設するために用いているデータである。自らのデータであっても不都合であれば「**確立した知見ではない**」と否定するようである。

さらに「**なお，原告らは，CM 級岩盤の単純な割合を前提に本件発電所及びその緊急時対策所の基礎地盤の引張強度がせいぜい 10 kg/cm² である旨主張しているが，かかる割合に基づく主張が失当であることは上記３で述べたとおり・・・合理性がない（32～33 頁）**」と書いてあるが、3 節に述べたとおり、基準内の支配的岩級という分類方式は破綻しており反論たり得ない。

5. 関電自ら設定した解析のフローから逸脱していること
－関電準備書面(30)、33～38 頁について－

前節 4 と同じく、「強度ゼロ」と判定した要素で生じたせん断破壊が局所的に収るか否かについて、関電は「**当該フロー図**（筆者註：すべり安全率算定のフロー図）**のピンク色の「強度ゼロ」は，せん断破壊が生じて実際に強度がゼロになった場合を示しているのではなく，（せん断強度に達したか否かを問わず）引張応力が発生し，かつ直応力が引張応力となった場合に，保守的に強度ゼロとして取り扱うことを示している**（35 頁）」、「**この引張応力，発生はしているんですけれども，発生する応力自体は非常に小さいもので，ここの基礎岩盤でありますＣＨ級の引張強度を十分に下回っている**（35～36 頁）」と審査会合での議事録を引用し、そして「**直応力が引張応力となる場合には保守的に引張強度（せん断抵抗力）をゼロとみなして設定しているが，実際には引張破壊が生じていないため，引張破壊が生じたことを前提とする応力再配分をする必要はないと説明したのである（甲 576，11～12 頁）**(36 頁)」（下線は筆者による）と、従前の文言を繰り返すだけで議論の進展がない。

前節の繰り返しになるが、関電の説明が解析フローから逸脱した根拠のないものであることを、関電の応力状態の図によって説明する。図 1 の「強度ゼロ」の場合の応力状態の図を拡大し、必要な指標を加筆して、次頁の図 7 に示す。σ が負の領域のせん断強度（破壊線）は不明なので、正の側の破壊線を延長した位置に赤点線で加筆してある。また、引張強度（σ_t）を▲印で示した。図 7 において、モール円上の赤点がすべり面における応力状態を表す。赤点を含むモール円上の任意の点が、破壊線の上にあればせん断破壊が、引張強度の左にあれば引張破壊が生じていることを表す。

関電の説明の「**引張応力が発生し，かつ直応力が引張応力となった場合**」は、モール円上の赤点が、縦軸（τ 軸、σ=0）より左側にあること、そして「**せん断強度に達したか否かを問わず**」は、赤点が赤点線（破壊線）の上側にあるか下側にあるかを問わないことを意味する。図では、赤点は破壊線の下側にあるので、せん断破壊（すべり面に沿うすべり）は生じていない。赤点が赤点線の上側にあればせん断破壊が生じている。関電は赤点線の値が不明として強度をゼロとして、計算上はせん断破壊が生じるとした。そのうえで、発生している引張応力 σ_3 は引張強度より小さい（図ではモール円の左端 σ_3 が引張強度▲印の右側にある）から、実際には引張破壊は生じていないと説明している。

しかし、図 7 に破壊の判定方向を示したように、すべり面上のせん断破壊（すべり破壊）の有無はモール円上の点と破壊線の上下の位置関係（τ 軸方向）で決まる。引張破壊の有無はモール円上の点と引張強度の左右の位置関係（σ 軸方向）で決まる。このような破壊の物理を無視して、関電はせん断破壊の有無を、引張応力（σ_3）と引張強度（σ_t）で判定した。関電自ら設定した安全率算定のフローからのみならず、破壊の論理を逸脱した判定を行っている。

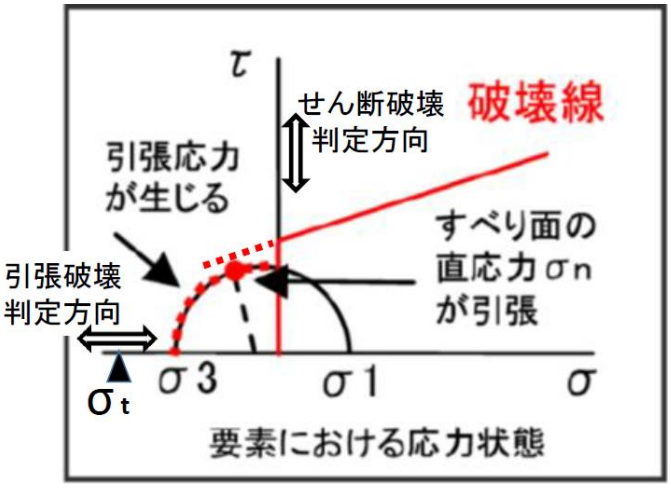


図 7. 応力状態におけるせん断破壊と引張破壊の判定説明図.

さらに、前頁に引用した関電準備書面(30)36 頁の文言の下線部分は、甲 576 の 11～12 頁からの引用としてあるが、甲 576 は筆者の意見書[1]であり、11～12 頁の該当箇所は審査会合第 183 回議事録を引用したものであって、このような記述はない。関電が新たに展開した主張であると考え、次の 2 点を指摘する：

(1) 引張強度はせん断抵抗力ではないこと：

「直応力が引張応力となる場合には保守的に引張強度（せん断抵抗力）をゼロとみなして設定している」と、「強度ゼロ」が「引張強度（せん断抵抗力）」に置き換わっている。「すべり安全率算定フロー」における「ピーク強度」、「残留強度」、「強度ゼロ」は全て「せん断強度」である。関電は、準備書面(30)において初めて「強度ゼロ」を「引張強度（せん断抵抗力）」と表記した。「**引張強度（せん断抵抗力）**」が、「引張強度」と「せん断抵抗力」とを同じ物理的性質として扱う意味なら、物理的に全く間違っている。「せん断抵抗力」は「せん断強度」に関する物理的用語である。その後に続く「**実際には引張破壊が生じていないため，引張破壊が生じたことを前提とする応力再配分をする必要はない**」に出てくる「**引張破壊**」に合わせるために「引張強度ゼロ」を新しく導入したのであるなら、これまでの安定性解析に使われていない全く新規の概念であり、その所作は讒構というべきである。

(2) 応力再配分による影響評価を怠っていること：

「**実際には引張破壊が生じていないため，引張破壊が生じたことを前提とする応力再配分をする必要はないと説明した**」の文言には、次の 2 つの問題がある：

一つは「**実際には引張破壊が生じていない**」には根拠がないことである。前節の物性値に基づく量的評価から明らかなように、引張破壊が生じる場合がある。

もう一つは応力再配分による検討評価に「**引張破壊が生じたこと**」という前提条件を新たに付け加えていることである。

6. 審査会合でせん断破壊の問題を引張強度にすり替える虚偽の説明をしていること
－関電準備書面(30)、39 頁について－

「**原告は被告が嶋崎管理官補佐からの「破壊が局所的に収まるかを確認しているか」という質問に対して回答していないと主張するが，上記のとおり被告は破壊が局所的に収まるか（周辺への進行性破壊の影響）について確認を行っており，かつ第 206 回審査会合においてかかる説明を行っている。また嶋崎管理官補佐が被告担当者の上記同答に対して疑問を呈していないことからも明らかなとおり，被告担当者は嶋崎管理官補佐の質問に適切に回答している**（39 頁)」と記しているが、1 節で詳述したように進行性破壊の影響は確認を行っておらず、また前節で述べたように第 206 回審査会合で説明をしたのでもない。関電のこの文言は嘘である。これについては、[1]の「3. 審査会合における関電の虚偽説明」（10～13 頁）で詳述した。

7. 異方性を考慮していないこと
－関電準備書面(30)、39～40 頁について－

原子力規制委員会の安定性評価に係る審査ガイドは、地盤パラメータの設定において、異方性を適切に考慮することを要請している（[3] 3 の第 2 項)。関電が基礎地盤の安定性評価において、異方性は無いとしていることの不当性を指摘した([1] 13 頁）ところ、「**破砕帯等の存在による細部における速度低下を異方性と表現するかどうかは別として，上記のとおり，被告は，破砕帯やそれよりも規模の小さい割れ目である亀裂や節理の存在によって弾性波速度が細部において低下する可能性を否定するものではなく，こうした可能性も考慮した上で評価を行っている・・・地盤の安定性評価に当たっても，破砕帯等の存在を含めてモデル化し，破砕帯等が存在している部分についてはそれに沿う物性値を用いてすべり安全率を算定している**」（[2] 33 頁）と主張している。しかし、断層破砕帯の走向とシームの分布密度に調和して速度が系統的に低下し伝播方向によって変化している観測事実（[1] 13 頁～）を、「細部における速度低下を**異方性と表現するかどうかは別として**」と否定しようとするが、関電はその根拠を示すことが出来ず、また地盤のモデル化には速度の低下も異方性も反映されていない。

審査ガイドは、地震力に対する基礎地盤の安定性評価の項目として、「地盤内部の不安定領域（地盤要素の安全率が低い領域）の分布及び性状（応力、ひずみ等）を吟味して、仮定したすべり面の位置に係る妥当性を確認する」ことを要請している([3]、4.1 (1) 1）第 2 項)。すべり面の位置は解析断面上に設定されており、解析断面は「**斜面に正対し炉心を通る断面及びそれに直交して炉心を通る断面(D-D’断面、E-E’断面、G-G’断面）を選定**」([7]、 23 頁）しており、断層破砕帯の走向とは異なる。図 8 に、評価した断面、断層破砕帯の分布、そして地震波速度の異方性を比較して示す。図から明らかなように、解析断面は地盤内部の不安定領域となる断層破砕帯の走向に対応しておらず、仮定されたすべり面の妥当性に問題がある。関電は異方性を考慮した安定性解析を怠っている。

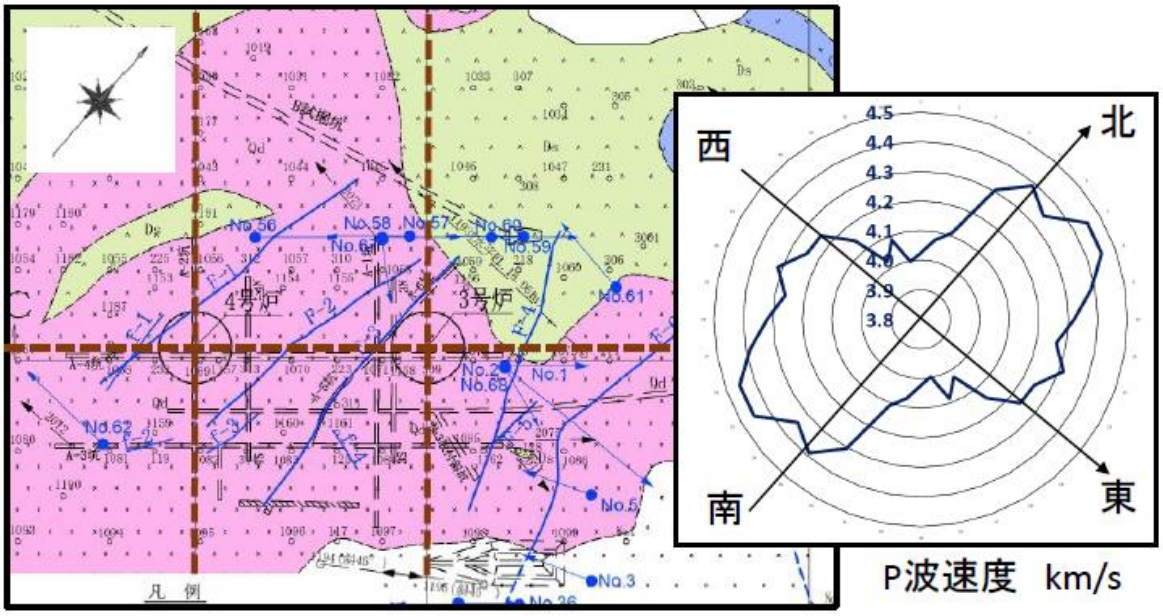


図 8. 左図：解析断面（破線）の方向と断層破砕帯（青線）の走向
([7]、11 頁の図を拡大).
右図：試掘坑坑間弾性波速度、方位 10° ごとの平均値.
([1]、図 15-2)

まとめ

本稿は、「大飯発電所基礎地盤の地震力に対する安定性について（2021.1.11）」[1]に対して関電が準備書面(30)で反論してきたので、それに対する反論を[1]の補足としたものである。また、註１に解析用物性値によるモール応力円図を追加し、発生する応力と強度の定量的な関係が分るようにした。

本稿で追加されたのは、

(1)「１.基準地震動により基礎地盤にせん断破壊が生ずること」において、評価された想定すべり面のうち、最小すべり安全率が最も大きいE-E’断面の「要素毎の強度判定」の図のみを示して、破壊は局所的に集中するが周辺への進行性破壊ではないとしていることの不当性を明らかにしたこと、

（2）「3.地盤調査結果に基づいた構造モデルで評価すべきこと」において、「支配的岩級区分」というデータ統計処理によっても関電の解釈は間違っていることを明らかにしたこと、ただし、「支配的岩級区分」が関電の地質図に反映されていないことは、すでに「大飯発電所の敷地地下構造の不整形性について(2)－関西電力の準備書面(28)の内容に関連して－(2021.12.01)」[4]で指摘したことである。

関西電力の行った安定性評価は、基準地震動によるすべりに対して基礎地盤が十分な安全性を有しているとは認められないことを、再度指摘する。

参考文献

[1] 赤松純平、大飯発電所基礎地盤の地震力に対する安定性について、2021.1.11（甲第 576 号証）.

[2] 関西電力、原子力規制委員会第 206 回審査会合資料 3-6-2、大飯発電所３・４号炉原子炉建屋他の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について（参考資料)、平成 27 年 3 月 13 日（丙第 387 号証）.

[3] 原子力規制委員会、基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド、平成 25 年 6 月.

[4] 赤松純平、大飯発電所の敷地地下構造の不整形性について(2)－関西電力の準備書面(28)の内容に関連して－、2021.12.01.

[5] 関西電力、高浜発電所発電用原子炉設置許可申請書（3、4 号炉完本）本文及び添付書類平成 27 年 2 月現在.

[6] 本島睦、日比野敏、林正夫、岩盤掘削時の安定解析のための電子計算プログラムの開発、電力中央研究所研究報告 377012、昭和 53 年 3 月.

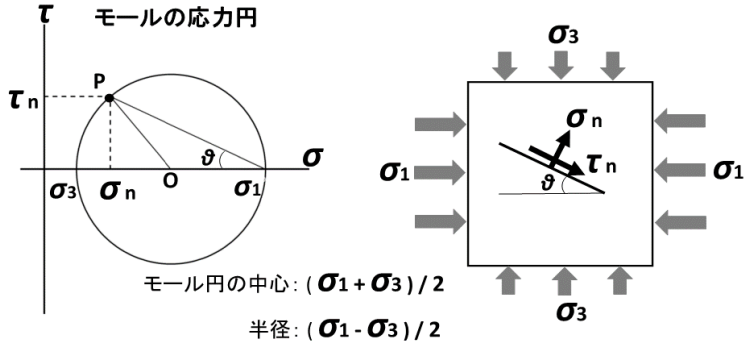
[7] 関西電力、原子力規制委員会第 183 回審査会合資料 2 大飯発電所 3・4 号炉原子炉建屋他の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について、平成 27 年 1 月 16 日.

[8] 原子力規制委員会、原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合第 206 回議事録、平成 27 年 3 月 13 日.

註１：モール・クーロンの破壊基準

関電は、すべり安全率算定時のせん断強度を、モール・クーロンの破壊基準に従い、要素の応力状態に応じて、ピーク強度、残留強度、強度ゼロを使い分けている（図 1）。ここでは、モール円により示される応力状態とせん断破壊およびせん断強度の関係について簡単に説明する。

(1) モール応力円による応力状態の表示



付図 1．モール応力円による応力状態

・右図に示すように、直方体の外から横方向に主応力（圧力） σ_1 が、縦方向に σ_3 が作用しているとき、任意の方向 θ の斜面に、垂直方向に作用する垂直応力（直応力）を σ_n、斜面に沿うせん断応力を τ_n とすると、σ_n と τ_n は左図のモール応力円の点 P の応力で表される。斜面をすべり面、θ をすべり角と記す。

・左図において、横軸はすべり面に垂直な直応力であり、+方向が圧縮、－方向が引張を示す。縦軸は斜面に沿うせん断応力である。横軸上に主応力 σ_1 と σ_3 をプロットし、その中点 O を中心として[主応力の差の半分]を半径とする円をモール円と称する。モール円の円周上で、横軸と角 θ をなす斜線と円周との交点 P の位置（σ_n, τ_n）が、右図のすべり面上の直応力 σ_n とせん断応力 τ_n の大きさを表す。

・外からの主応力 σ_1、σ_3 は、岩盤・施設の静的荷重と地震による動的加重の合わさったものであり、時々刻々変化する。

・主応力 σ_3 が引張応力の場合、左図では σ_3 は横軸の負の領域にプロットされる。

・点 P が横軸の正の領域にあれば直応力 σ_n は圧縮、負の領域なら引張である。

(2) せん断破壊

・モール円上の点 P のせん断応力 τ_n が、せん断強度以上であれば、せん断破壊が発生し、すべり面に沿ってすべる。

・すべり角 θ が±45° の場合、せん断応力 τ_n の絶対値が最大となり、すべり破壊が生じやすい。これにより共役断層が出来る（近畿の地殻は東西圧縮下にあり、北西-南東走向の FO-A～FO-B 断層と北東-南西走向の上林川断層が共役である）。

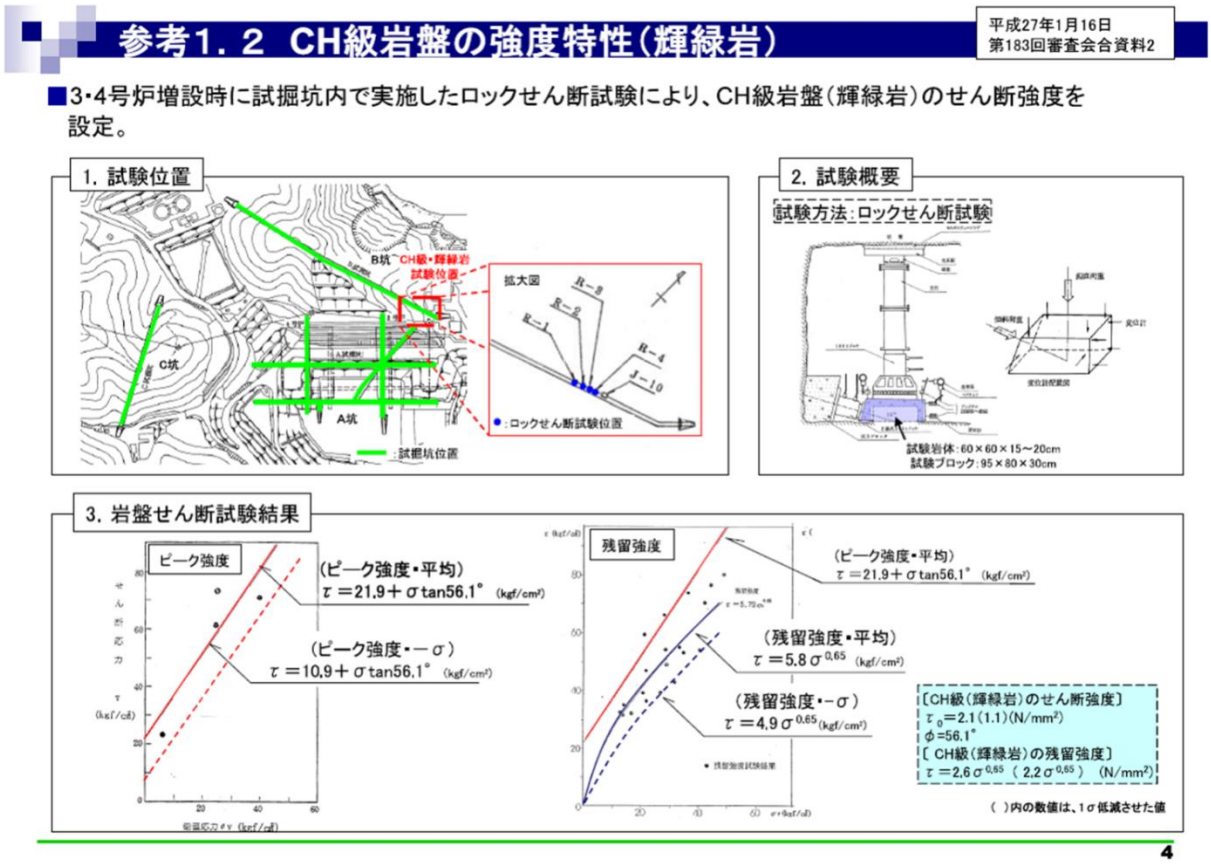
(3) 解析用せん断強度のピーク強度と残留強度

岩盤に負荷（応力）がかかると歪む(一般化されたフックの法則)。歪みが微小であるあいだは無負荷になると歪みは消える（弾性体として振る舞う）が、歪みが増大し応力がある限界値（τ_{peak}）を超える（弾性限界を超える）と、無負荷になっても歪みが残る（残留歪み)。残留歪みがあっても、フックの法則に従った類似の挙動を示すが、新たな限界値（$\tau_{residual}$）が生じる。これらの限界値 τ_{peak} をピーク強度、$\tau_{residual}$ を残留強度と呼んでいる。せん断強度（せん断抵抗力）は、せん断面にかかる垂直応力（直応力）によって変化する。

解析用のせん断強度は、試掘坑内においてロックせん断試験またはブロックせん断試験で、垂直応力を数回変えた試験によって得られている。下図に CH 級輝緑岩の試験説明図を引用する（[2]、4 頁)。せん断強度 τ は次式で与えられている（σ：直応力）：

・ピーク強度は、平均値：$\tau = 21.9 + \sigma \tan 56.1°$ (kgf/cm²)、下、左グラフの赤線
　平均値－１標準偏差：$\tau = 10.9 + \sigma \tan 56.1°$ (kgf/cm²)、下、左グラフの赤破線

・残留強度は、　平均値：$\tau = 5.8 \times \sigma^{0.65}$ (kgf/cm²)、下、右グラフの青線
　平均値－１標準偏差：$\tau = 4.9 \times \sigma^{0.65}$ (kgf/cm²)、下、右グラフの青破線



付図 2. CH 級輝緑岩の強度試験の説明図、[2]の 4 頁を引用.

(4) せん断破壊に至る最小せん断応力

CH 級・CM 級輝緑岩および破砕帯で、最小応力でせん断破壊が生ずる場合のモール円を次頁の付図 3 に示す。図中のピーク強度（赤）および残留強度（青）と付した破壊線は、次の式で与えられるせん断強度特性である（[2] 4、6、12 頁）：

せん断強度特性（破壊線）

		ピーク強度	残留強度
a	CH級輝緑岩 平均	$\tau = 21.9 + \sigma \tan 56.1^\circ$	$\tau = 5.8 \times \sigma^{**} 0.65$
b	CH級輝緑岩 平均−1σ	$\tau = 10.9 + \sigma \tan 56.1^\circ$	$\tau = 4.9 \times \sigma^{**} 0.65$
c	CM級輝緑岩 平均	$\tau = 14.1 + \sigma \tan 38.9^\circ$	$\tau = 8.5 \times \sigma^{**} 0.41$
d	CM級輝緑岩 平均−1σ	$\tau = 9.0 + \sigma \tan 38.9^\circ$	$\tau = 7.6 \times \sigma^{**} 0.41$
e	破砕帯 平均	$\tau = 0.78 + \sigma \tan 19.5^\circ$	$\tau = \sigma \tan 19.5^\circ$

強度：(kgf/cm^2)、σ＊＊0.65：べき乗（$\sigma^{0.65}$）

付図 3 のモール円は次の条件を満たす：
・せん断強度に達している：モール円はピーク強度の破壊線に接する。
・直応力がゼロ：モール円と破壊線の接点（応力円の P 点：赤点で示す）は τ 軸上。

モール円の主応力 σ_1 と σ_3、すべり面上のせん断応力 τ_n、およびすべり角 θ を下表に纏めた。すべり面上の直応力 σ_n はゼロである。

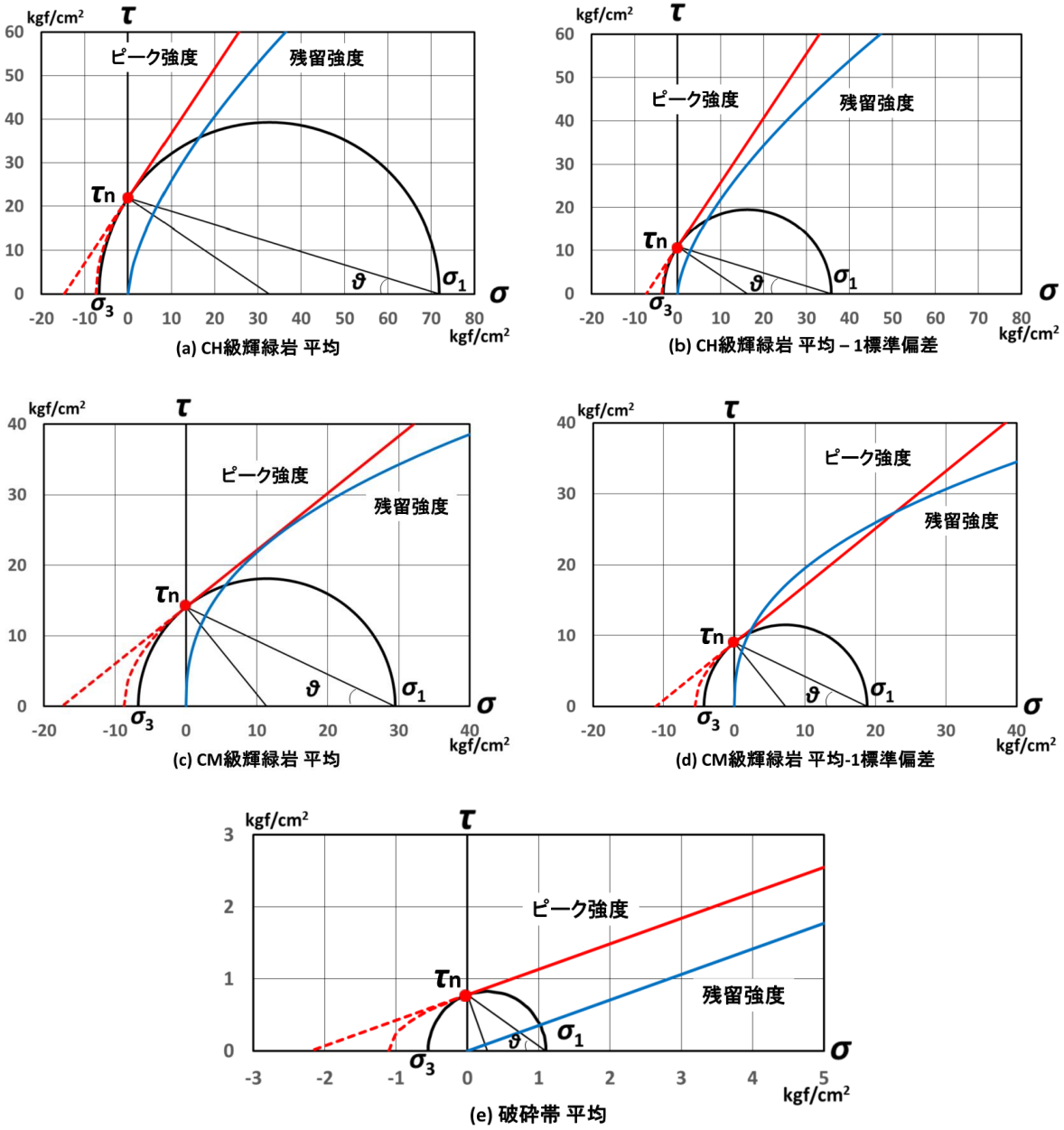
モール円の応力（kgf/cm^2）とすべり角

		σ_1	σ_3	τ_n	σ_n	θ
a	CH 平均	71.9	-6.7	21.9	0.0	17.0°
b	CH 平均-1σ	35.8	-3.3	10.9	0.0	17.0°
c	CM 平均	29.5	-6.7	14.1	0.0	25.6°
d	CM 平均-1σ	18.8	-4.3	9.0	0.0	25.6°
e	破砕帯 平均	1.10	-0.55	0.78	0.0	35.3°

◎モビライズド面の向き：
・ピーク強度のせん断強度特性（破壊線）の傾斜角を、内部摩擦角 ϕ と称す。
・モール円が破壊線に接する場合、すべり角 θ と内部摩擦角 ϕ とは次の関係がある。

$$\theta = 45^\circ \pm \phi / 2 \qquad (-\text{は、モール円の下半分の場合})$$

・せん断応力が増加してせん断強度に達したとき、この方向にすべり始める。このすべり面をモビライズド面と称している。

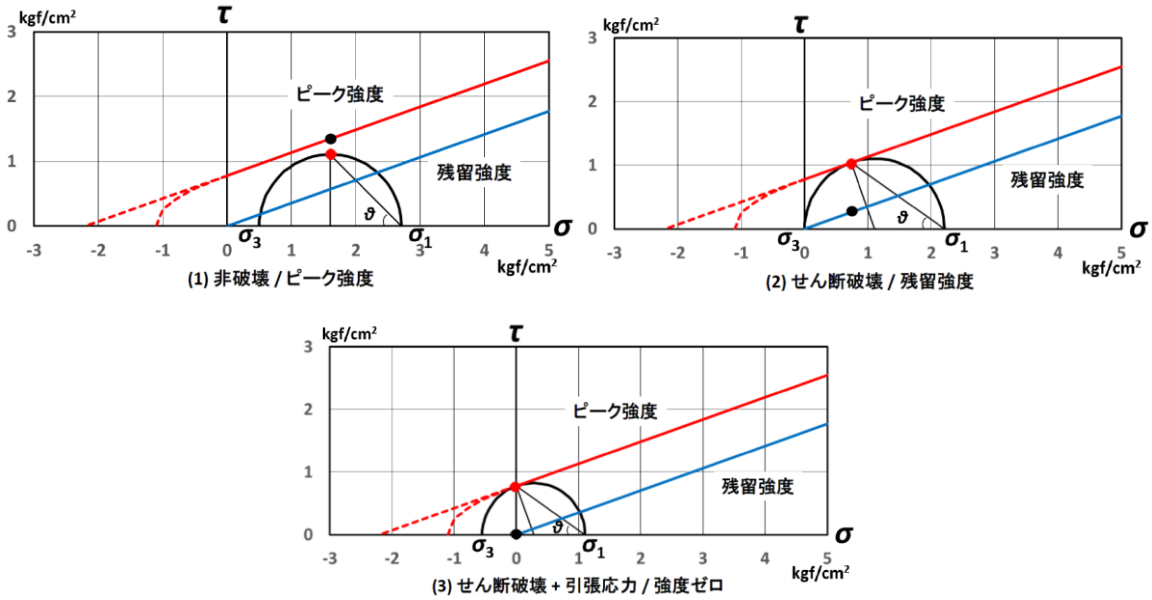


付図 3. 最小応力でせん断破壊が生ずる場合のモール円.
(a)CH 級輝緑岩平均値、(b)CH 級輝緑岩平均値-1 標準偏差
(c)CM 級輝緑岩平均値、(d)CM 級輝緑岩平均値-1 標準偏差
(e) 破砕帯平均値
赤実線：ピーク強度、青実線：残留強度
赤破線：直応力が引張の場合のピーク強度（仮定値）

- ピーク強度と残留強度のせん断強度特性、およびモール円の応力とすべり角を前頁の表に纏めた。
- 直応力が引張の場合のピーク強度（赤破線）は不明であるので、圧縮の場合の特性を直線と放物線で外挿して描いた。関電は、強度ゼロとしている。

(5) 要素の強度と局所安全係数およびすべり安全率

◎局所安全係数：要素の局所安全係数 **Fs** は要素のせん断抵抗力（強度）τ_s と要素に発生するせん断応力 τ_n の比である。すなわち、$Fs = \tau_s / \tau_n$。ただし、せん断抵抗力 τ_s は、応力状態によって、ピーク強度 τ_{peak}、残留強度 $\tau_{residual}$、強度ゼロが使用される。想定すべり面が破砕帯を通過する場合、発生する応力と使用する強度の例を付図 4 に示す。



付図 4. 破砕帯で発生する応力と使用する強度
(1) 非破壊時：ピーク強度、(2) せん断破壊発生時：残留強度、
(3) せん断破壊発生、かつ、引張応力発生：強度ゼロ
● (赤点位置)：発生するせん断応力、● (黒点位置)：使用する強度

発生するせん断応力（τ_n）とせん断強度（τ_s）および局所安全係数（Fs）

	σ_1	σ_3	σ_n	T_n	T_s	Fs
1	2.71	0.50	1.60	1.10	1.34	1.22
2	2.21	0.00	0.74	1.04	0.26	0.25
3	1.10	−0.55	0.00	0.78	0.00	0.00

(σ, τ: kgf/cm²)

◎ すべり安全率：想定すべり面のすべり安全率は、すべり面に沿う要素の
[強度の和] / [応力の和] で評価され、1.5 以上でなければならない。

・上記 3 要素のすべり安全率は、(1.34 + 0.26 + 0.0) / (1.10 + 1.04 + 0.78) = 0.55.
・上記(2)(3)の要素のすべり破壊は、すべり面上の他の健全な要素によって抑制されなければならない。