2021.1.11

大飯発電所基礎地盤の地震力に対する安定性について

赤松 純平

平成 25（2013）年 7 月に原子力規制委員会の新規制基準が施行されてから、関西電力株式会社（関電）大飯発電所（大飯原発）3、4 号炉の適合性に関する審査会合が平成 28 年度末までに 33 回開かれ、その審議内容を踏まえて関電から「大飯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 29 年 5 月現在」が出され[1]、5 月 24 日に設置変更が許可された[2]。

筆者はこれまで、関電が実施した地盤調査結果を分析して、大飯原発の敷地の地盤が、関電の主張するような堅固で均質な水平成層構造ではなく、断層破砕帯の影響を受けた不均質で脆弱な地盤であることを明らかにし、関電が策定した地盤構造モデルでは基準地震動が過小評価されることを指摘してきた[3、4]。策定された基準地震動は、基礎地盤や周辺斜面の地震時の安定性評価と原子炉施設・構造物の耐震安全性評価に用いられる。本稿では、申請書に記載されている「原子炉設置位置付近の基礎地盤の地震力に対する安定性評価」は、原子力規制委員会の「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」[5] の要請に多くの項目で応えておらず、重大な瑕疵のあることを、審査会合の議事録と資料とを照合しつつ明らかにする。

瑕疵であるとする問題の根幹は、基礎地盤の安定性について審議した第183回審査会合(平成27年1月16日)の質疑と説明に遡る。すなわち、会合で「基準地震動により基礎地盤にせん断破壊が生じている」ことが問題視され、関電が「計算上引張応力が発生して引張破壊を起こしているが、発生した引張応力に比べ基礎岩盤のCH級の引張強度は充分大きく、実際は引張破壊は起きない」という趣旨の説明をしていることにある。この説明は、基礎岩盤を (1) 亀裂の多いCM級岩盤が広く分布しているにも拘わらず、堅固なCH級岩盤としてモデル化していること、(2) 亀裂を含む岩盤の引張強度は岩石の引張強度より顕著に小さいにも拘わらず、解析物性値に岩石の引張強度を用いていること、(3) せん断破壊の問題を引張破壊にすり替えていることなど、二重三重の虚偽の説明をしているのである。これについては第3節に詳述する。

申請書では、地盤と基準地震動については「添付書類六変更に係る発電用原子炉施設に関する気象、地盤、水理、地震、社会環境等の状況に関する説明書」に記載され

ている。ここで問題としているのは添付書類六の「3. 地盤 3.6 原子炉施設位置付近の地盤の安定性評価」の中の「3.6.1.1 基礎地盤の安定性評価」である。なお、ここでは、申請書は丙 178 号証＜縮小版＞を参照している。また、安定評価に出てくる用語の簡単な説明を末尾に記載した。

1. 規制委員会の審査ガイドの要請

基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係わる審査ガイド（以下、審査ガイド）[5] は、審査官等が、耐震重要施設等の標記安定性評価の妥当性を厳格に確認するために活用することを目的としている。以下に、ここでの議論に必要な部分を抜粋して示す。

２．基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に関する安全審査の基本方針

（１）原子炉建屋等の基礎地盤の安定性

原子炉建屋等が設置される地盤は、将来も活動する可能性のある断層等の露頭が無いことが確認された地盤であり、想定される地震動の地震力に対して、当該地盤に設置する耐震設計上の重要度分類Ｓクラスの機器及び系統を支持する建物及び構築物の安全機能が重大な影響を受けないことを確認する。

（２）周辺斜面安定性

Ｓクラスの施設の周辺斜面が、想定される地震動の地震力により崩壊し、当該施設の安全機能が重大な影響を受けないことを確認する。

３．建物及び構築物が設置される地盤のモデル化

建物及び構築物が設置される地盤については、各種の地質調査、物理探査、地盤調査、地盤材料試験等の結果に基づき、地盤の構造、境界条件、初期条件、地盤材料の物理特性、力学特性（地震波の伝播特性も含む）等が適切にモデル化されていることを確認する。特に以下の点を確認する。

・地盤の力学的な構成関係及びそれらに含まれる地盤パラメータが、各種の地質調査、物理探査、地盤調査、地盤材料試験等の結果を総合的に判断して適切に設定されていること。（3 の第 1 項）

・地盤パラメータの設定に当たっては、地盤材料の物理特性及び力学特性における異方性、不均質性、不連続性等の影響、試験結果における試料、試験地盤の乱れの影響、さらに調査及び試験の結果に含まれる不確かさ（ばらつき）を適切に考慮して設定されていること。（3 の第 2 項）

４．基礎地盤の安定性評価

４．１地震力に対する基礎地盤の安定性評価

（１）評価項目

建物及び構築物が設置される地盤について、基礎地盤のすべり、基礎の支持力及び基礎底面の傾斜の観点から照査されていることを確認する。

１）基礎地盤のすべり

・動的解析の結果に基づき、基礎地盤の内部及び基礎底面を通るすべり面が仮定され、そのすべり安全率によって総合的に判断されていること。(4.1 (1) 1) の第 1 項)

・動的解析における時刻歴のすべり安全率が 1.5 以上であること。その際、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必要がある。(4.1 (1) 1) の第 2 項)

（２）確認事項

１）基準地震動

基準地震動は、解放基盤表面で定義されたものが用いられていることを確認する。(4.1 (2) 1) 項)

２）入力地震動の策定

入力地震動の評価手法としては、基準地震動及び地盤モデルを用いた１次元、２次元、３次元の各種手法がある。評価手法は、対象とする地盤の不整形性に応じて選択する。選択した手法に応じて基準地震動及び地盤モデルが適切に作成されていることを確認する。(4.1 (2) 2) 項)

３）評価対象断面の選定

２次元解析の場合は、評価断面として、地形、地質、地盤等の状況から、最も厳しいと想定されるものが選定されていることを確認する。(4.1 (2) 3) 項)

４）解析モデルの設定と結果の評価

以下の点を確認する。

・すべり安全率を求めるに当たって、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。(4.1 (2) 4) の第 4 項)

・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)

すなわち、審査ガイドは、基礎地盤に活動する可能性のある活断層がないこと、想定地震によって構造物に重大な被害を及ぼすような地盤でないこと、具体的には、地盤変状、液状化、揺すり込み沈下などを起さない地盤であること。地盤をモデル化するうえで各種調査結果を総合的に判断し、異方性や不均質性に留意すること、評価のためのすべり面は動的解析により仮定し、基礎地盤のすべり安定性についてはすべり安全率が 1.5 以上であること。そして、要素のすべり安全率が低い領域があれば仮定したすべり面の妥当性を検討し、すべり面の想定に破砕帯などの分布が適切に反映されているか、破砕帯などに要素破壊あればそれが進行しないか検討することを要請している。

審査ガイドの評価について、電気協会原子力規格委員会は耐震設計技術指針(JEAG 4601-2015)（以下、技術指針）で次のように解説している。

・上記評価項目（すべり安全率を指す）のほかに、例えば局所安全係数の分布、引張応力領域の拡がりの検討が必要となる場合もある。ただし、局所安全係数は有限要素法における個々の要素の局部的な破壊に対する一指標にすぎず、局所安全係数 1.0 以下の要素が連続してすべり面を形成しない限り、基礎地盤全体のすべり破壊とは直接結びつかないものである[[6] 227 頁]。

すなわち、局所安全係数（Fs）が 1.0 以下の要素が連続してすべり面を形成しておれば、基礎地盤全体のすべり破壊に直接結びつくと警告を発している。

2. 関電のした基礎地盤の安定性評価について

安定性評価は、(1)支持力に対する安全性、(2)すべりに対する安全性、(3)基礎底面の傾斜に対する安全性について、それぞれモデル計算により行っているが、本稿では(2) について述べる。すべりの評価は、2 次元 FEM（有限要素法）によるモデル計算で、静的荷重（施設や地盤の重さ）と動的荷重（地震時の震動で加わる力）を合算し、モール・クーロンの破壊基準に従ったせん断強度の考え方[[7] 131 頁]により評価している。評価対象施設を通る鉛直断面にすべり面を想定し、動的荷重として基準地震動 Ss-1～Ss-19 を与え、すべり面に生ずるせん断応力とせん断強度の大小を比較した「すべり安全率」によって議論している。

申請書「3.6.1.1 基礎地盤の安定性評価（b）すべりに対する安全性」には

『すべり安全率は、想定すべり面上の応力状態を基に、すべり面上のせん断抵抗力の和をすべり面上のせん断力の和で除して求めた。想定すべり面は建屋底面を通るすべり面、破砕帯沿いすべり面及び局所安全係数やモビライズド面の向きを考慮したすべり面について検討した。

3 号炉及び 4 号炉原子炉格納施設等並びに 3 号及び 4 号炉制御建屋基礎地盤の最小すべり安全率は 2.6 であり、すべり安全率の評価基準値 1.5 を上回っている。1 号炉及び 2 号炉原子炉補助建屋の最少すべり安全率は 1.9 であり、すべり安全率の評価基準 1.5 を上回っている。

また、地盤物性のばらつきを考慮し、地盤物性のうちせん断強度について「平均値－1.0×標準偏差（σ）」とした場合の安定解析結果についても、最小すべり安全率は評価基準値 1.5 を上回っている。すべり安全率一覧表を第 3.6.7 表～第 3.6.11 表に示す。

以上のことから、基礎地盤はすべりに対して十分な安全性を有している[[1] 6-3-134 頁]』。

と記されている。筆者が問題にするのは、上記の「最小すべり安全率」である。モデルのせん断抵抗などの解析用物性値は、基礎地盤の岩種と岩級ごとに与えられている。地質調査、物理探査、岩石試験などで得られた物性値が地盤モデルに正しく用いられているかを検討する。

「すべり安全率一覧表」の第 3.6.7 表～第 3.6.11 表を参照すると、計算したいろいろの想定すべり面と基準地震動 Ss の組み合わせの中で、3 号炉と 4 号炉を通る鉛直断面 G-G'で基準地震動 Ss-10 を与えたとき、すべりの発生する危険性が最も大きかったが、安全率は 2.6 倍あり十分安全であると主張していることが分かる。そこで、まず、このケースについて検討する。ただし、添付書類六の図表は明瞭ではないので、安定性評価を審議した第 183 回審査会合の配布資料[7]の図表を引用する。

2.1　3・4 号炉基礎地盤の安定性

図 1 に安定性を評価する断面の位置［[7] 23 頁］を示す。評価断面は、3、4 号炉を対象にした D-D'、E-E'、G-G'と、緊急時対策所である 1、2 号炉原子炉補助建屋を対象にした C-C'、F-F'である。図 2 に 3・4 号炉基礎地盤(G-G'断面)の地質断面図[[7] 29 頁]、図 3 に G-G'断面の解析用要素分割図[[7] 33 頁]を示す。地表から標高-150m まで、幅約 680m の領域がモデル化されている。解析用物性値は、岩石資料の室内試験、試掘坑内での岩盤試験、PS 検層などの値と慣用値を、岩質と岩級ごとに組み合わせて設定してある[[7] 17～19 頁]。そして、図 3 のモデルの各要素には図 2 の地質図に示された岩質・岩級に対応する物性値が与えられている。

図 4 に、3・4 号炉基礎地盤(G-G'断面)のすべり安全率一覧表[[7] 157 頁、これは[1]の表 3.6.9(1)に対応]を示す。図には想定すべり面 1～6 について、基準地震動 Ss-1～Ss-19 のなかですべり安全率が最小であった基準地震動の番号が示されている。すべり面 1～6 のなかで、すべり安全率が最も小さい 2.6（丸囲み）を生じたケース（すべり面 6、Ss-10）が四角の赤枠で示され、地盤物性のばらつきを考慮した最少すべり安全率は 2.3 であることが括弧で表示されている。すべり面 6 は、4 号炉原子炉建屋底面と F-1 破砕帯最上部に沿って設定されている。また、すべり面 6 において、全ての基準地震動 Ss の最少すべり安全率が下段の表に示されている。

(1) せん断強度の岩級による違いとせん断破壊

図 5 に要素ごとの局所安全係数の図[[7] 169 頁]を示す。図 4 の最少すべり安全率であったすべり面 6 で基準地震動 Ss-10 の場合の図である。すべり面の図の 4 号炉原子炉建屋の下部に、赤線ですべり面の位置が示されている。局所安全係数（Fs）は、FEM モデルの各要素における［せん断強度］/［せん断応力］の値であり、1 以下で要素にせん断破壊が生じていることを意味する。図では黄、橙色の領域の要素にせん断破壊が生じている。また、赤と橙色は引張応力が発生した領域である。以下に、この解析に使われたせん断強度（解析用物性値）を検討する。

図 2 と図 3 において、3 号炉下約 50m から 4 号炉下約 100m まで斜めに記された破線は岩質の境界線で、その上部は細粒石英閃緑岩(Qd)、下部は輝緑岩(Ds)となっており、いずれも殆ど全てを CH 級岩盤としている。亀裂の多く含まれる CM 級岩盤は、F-2、F-3 破砕帯に沿った部分と、3 号炉の右側底面と標高-40m 付近、および 4 号炉の左端部分の僅かな領域にあるのみである。ところが、申請書の『第 3.5.14 表　岩盤物性の場所的変化に関する調査結果[[1] 6-3-182 頁]』には、CM 級岩盤は 3 号炉で 56.1%、4 号炉で 22.0%と記載されている。3 号炉岩盤は半分以上が CM 級である。これは原子炉設置面における分布であるが、深さ方向では、甲第 510 号証[4]で指摘したように、地質調査の原本であるボーリング柱状図[[1] 第 3.5.28 図(1)～(54)、6-3-588～641 頁]によれば、標高 0～-150m の領域では平均して CM 級岩盤が全体の 36.6%を占める[[4] 表 1]。図 6 にボーリング柱状図の岩級分布を示す[[4] 図 6]。CM 級は 4 号炉直下のボーリング孔 No.1153 では 22.5%、No.1157 では 27.6%、No.1159 では 52.7%を占める[[4] 表 1]。

図 2、図 3、および図 5 のすべり面の図に示されるように、すべり面を含む基礎岩盤の大部分は地質調査、ボーリング調査の結果を無視して水色表示の CH 級岩盤内にあるとされている。そこで、CM 級岩盤に CH 級のせん断強度を使うことによるすべり安全率への影響を検討する。『すべり安全率は、想定すべり面上の応力状態を基に、すべり面上のせん断抵抗力の和をすべり面上のせん断力の和で除して求めている』[[1] 6-3-134 頁]。すなわち、せん断強度とせん断応力の比で定義されている。解析に用いられた細粒石英閃緑岩のせん断強度 [[1] 第 3.6.1 表]を表 1 に示す。せん断強度の平均値は、CH 級は 2.1 N/mm^2、CM 級は 1.6 N/mm^2、また測定のばらつきを考慮したせん断強度は、CH 級は 1.2 N/mm^2、CM 級は 0.78 N/mm^2 である。CM 級岩盤に CH 級のせん断強度を使っているのであるから、CM 級岩盤の強度を 1.31～1.54 倍大きく評価していることになる。安全率は 2.6、ばらつきを考慮しても 2.3 であると主張しているが、CM 級の物性値では、2.6 は 2.0 (2.6÷1.31)、2.3 は 1.5 (2.3÷1.54) である。短い区間の F-1 破砕帯の寄与分があるが、ばらつきを考慮すると評価基準値 1.5 とほぼ同じであり、十分に安全であるとは言えない。

表 1．細粒石英閃緑岩の解析用せん断強度 (N/mm^2) [1] 第 3.6.1 表を引用

	平均値	ばらつき考慮
CH級	2.1	1.2
CM級	1.6	0.78
CH級/CM級	1.31	1.54

図 5 の局所安全係数の図では、「せん断強度に達し、かつ、引張応力が発生した要素（橙色表示）」が、4 号炉建屋直下から左側斜面領域と、全ての破砕帯（F-1、F-2、F-3、F-4、f-1）に沿って分布しており（破砕帯は図を拡大する必要がある）、図のモビライズド面に沿ってせん断破壊（横ずれ破壊）が生じていることを表わしている。モビライズド面は、各要素が潜在的すべり破壊を起こす方向のことである。図を拡大する必要があるが、モビライズド面の方向は、破砕帯の方向に一致している。電気協会原子力規格委員会の技術指針が示す「局所安全係数（Fs）が 1.0 以下の要素が連続してすべり面を形成しておれば、基礎地盤全体のすべり破壊に直接結びつく」ケースである。これらの結果は、CH 級のせん断強度による解析結果であるから、CM 級の小さいせん断強度による解析では破壊領域は更に拡がることになる。

(2) 岩盤と岩石の引張強度の違いと引張破壊

図 7 に要素ごとの引張応力分布図[[7]170 頁]を示す。図 5 の黄、赤、橙色の領域に生じた引張応力の分布である。建屋左端の F-1 破砕帯と f-1 破砕帯付近の要素には 20～30kgf/cm^2 (*)、また 3 号炉と 4 号炉の間の制御建屋直下の F-2、F-3 破砕帯に沿って 10～20kgf/cm^2 の引張応力が発生している。図には『発生する引張応力は大半が 20kg/cm^2 以下であり、CH 級岩盤の引張強度（74kg/cm^2)以下であることから、安定性評価に影響を及ぼすものではないと考えられる』と記されている(赤下線は筆者による)。74kgf/cm^2 の値については『3・4 号炉増設時に実施した引張強度試験結果による』と注記されている。しかし関電は岩盤の引張強度試験を実施していない。ボーリング・コアの岩石供試体による圧裂試験を行っており、この結果を岩盤の引張強度に流用している。以下に岩石引張試験に関する申請書の記載を引用する。

（*：関電の資料は［kg/cm^2］を使用しているが、資料を引用する場合を除き、物理量として正規の［kgf/cm^2］を用いる。）

『（5）岩石試験

敷地の岩盤を構成する岩石の物理的及び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、ボーリングにより得られた試料から物理試験及び力学試験を実施した。

a. 供試体：引張試験用供試体は直径約 5cm、長さ約 5cm。

(b) 引張試験

試験は、JIS M 0303（岩石の引張強さ試験方法）に準拠し、表面乾燥飽和状態の供試体について圧裂試験を実施した。』[[1] 6-3-107～108 頁]

そして、申請書の「3.5 (3)岩石試験結果」の項に『原子炉施設設置位置付近のボーリング孔から採取した試料による表面乾燥飽和状態の岩石試験結果は第 3.5.4 表に、そのうち、試掘坑内及び原子炉基礎深ボーリング孔から採取した試料による岩石試験結果は第 3.5.5 表及び第 3.5.6 表に示すとおり』とある(赤下線は筆者による)。

表 2 に、第 3.5.5 表岩石試験結果（試掘坑内ボーリングコア）[[1] 6-3-173 頁]の引張試験結果を転記する。3 号炉の試掘坑内 CH 級ボーリングコアの引張試験の平均値が 74kgf/cm^2 である。関電は、岩石の物性値を岩盤の物性値にすり替えて『CH 級岩盤の引張強度(74kg/cm^2)』と詐称しているのである。

表 2．岩石引張試験結果（kgf/cm^2）

採取位置	3 号炉	4 号炉
岩　　種	細粒石英閃緑岩	細粒石英閃緑岩
岩級区分	CH	CH
試験個数	20	18
平均値	74	84
標準偏差	26	36

次に、関電のデータを用いて、岩盤の引張強度を算定する。岩石試験による引張強度はせん断強度の半分程度の大きさであることが知られている[[8] 64 頁]。関電が実施した高浜原発設置位置の岩石試験によると、引張強度は 5.6N/mm^2 (57kgf/cm^2) せん断強度は 13.0N/mm^2(133kgf/cm^2) [[9] 6-3-116 頁]であり、[引張強度] / [せん断強度] の比は 0.43 である。さらに、岩盤では亀裂が内在するため、その差はさらに増大する。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では、[引張強度] / [せん断強度]の値に 0.11～0.14 が用いられている[[10]の付表 8]。すなわち、[引張強度] / [せん断強度]は約 1 / 8 である。

上記の[引張強度] / [せん断強度] の比の値により、岩盤の解析用せん断強度（前節の表１）から、岩盤の引張強度を算定した結果を表 3 に示す。

表 3．細粒石英閃緑岩（岩盤）の引張強度

	平均値 N/mm^2（kgf/cm^2）	ばらつきを考慮 N/mm^2（kgf/cm^2）
CH 級	0.26～1.1　(2.7～11)	0.15～0.60 (1.5～6.1)
CM 級	0.20～0.80　(2.0～8.2)	0.098～0.39 (0.39～4.0)

表 1 の値の 1 / 8～1 / 2 倍.　　1N/mm^2＝ 10.2 kgf/cm^2.

大飯の CH 級基礎岩盤の引張強度は高々10kgf/cm^2 程度である。図 7 に示すように、建屋左端の F-1 破砕帯と f-1 破砕帯付近の要素には 20～30kgf/cm^2、また F-2、F-3 破砕帯に沿って 10～20kgf/cm^2 の引張応力が発生しており、これらは引張強度 10kgf/cm^2 を超える。これらの要素は引張破壊を起こしているのである。関電の『発生する引張応力は、安定性評価に影響を及ぼすものではないと考えられる』という主張は科学的根拠が無い。基礎岩盤はせん断破壊のみならず引張破壊をも起していることになる。

なお、図 5、図 7 に引用した局所安全係数と引張応力の分布図は、審査会合の資料には記載されているが、設置許可申請書には含まれていない。

2.2　緊急時対策所基礎地盤の安定性

次に、緊急時対策所（1・2 号炉原子炉補助建屋）基礎地盤の安定性について検討する。図 8 に評価断面 C-C'と F-F'の位置と、それらの地質断面図を示す。

(1) C-C' 断面

図 9 に C-C'断面における安全率が最小であったすべり面の､要素ごとの局所安全係数 [[7] 171 頁] を示す。このすべり面のすべり安全率は 1.9 であり、物性のばらつきを考慮した安全率は 1.57 [[7] 158 頁]である。B、C、D、E 破砕帯に沿って「せん断強度に達した要素」が連なり（図を拡大してみる必要がある）、A 破砕帯の下の領域に「せん断強度に達し、かつ、引張応力が発生した要素」が拡がっている。

すべり面の岩盤の岩種は輝緑岩(Ds)であり、地表近くの短い区間で CM、CL、D 級とされているが、全体の約 80%は CH 級とされている。この場所のボーリング柱状図は提示されていない。最も近い No.1156 孔と No.1162 孔では、CM 級が 33%を占め、CM 級の分布は標高-50～-70m より浅い部分に集中している(図 6 参照)。輝緑岩の解析用のせん断強度を表 4 に示す[[1] 第 3.6.1 表]。CM 級に CH 級の値を使うと、安全率を 1.25～1.5 倍大きくすることになる。すべり面の約 80%の区間で CH 級とされている岩盤が CM 級であるとして CM 級の値を用いると、最小すべり安全率 1.9 は 1.4 に、ばらつきを考慮した安全率 1.57 は 1.3 となり(註*)、評価基準値 1.5 を下回る。緊急時対策所の地盤は基準地震動 Ss-4 の地震で、すべり破壊を起こす危険性がある。（註*：約 20%は元の安全率、約 80%は CM 級として、比例配分した。）

表 4．輝緑岩および斑れい岩のせん断強度（N/mm²） [1] 第 3.6.1 表を引用

	平均値	ばらつき考慮
CH級	2.1	1.1
CM級	1.4	0.88
CH級/CM級	1.5	1.25

図 10 に要素ごとの引張応力分布図 [[7] 172 図]を引用した。図には、3、4 号炉基礎岩盤の場合と同様、『引張応力の大半が 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、安定性評価に影響を及ぼすものではないと考えられる』と記されている。しかし、A 破砕帯の浅部付近では 30kgf/cm² を超える大きな引張応力が発生している。

表 4 に示す輝緑岩の岩盤せん断強度から、上記の[引張強度] / [せん断強度] の比の値 1 / 8～1 / 2 を使って算定した岩盤の引張強度を表 5 に示す。CH 級も CM 級も岩盤の引張強度は 10kgf/cm² 程度以下であり、発生した引張応力は引張強度を大幅に超える。緊急時対策所基礎地盤は、基準地震動 Ss-4 の地震時に A 破砕帯から地盤破壊の進むことが危惧される。

表 5. 輝緑岩および斑れい岩（岩盤）の引張強度

	平均値 N/mm²（kgf/cm²）	ばらつきを考慮 N/mm²（kgf/cm²）
CH 級	0.26～1.1 （2.7～11）	0.14～0.55 (1.4～5.6)
CM 級	0.18～0.70 （1.8～7.1）	0.11～0.44 (1.1～4.5)

表 4 の値の 1 / 8～1 / 2 倍.　　1N/mm²＝ 10.2 kgf/cm².

(2) F-F' 断面

図 11 に、F-F' 断面で最もすべり安全率が小さい場合の、要素ごとの局所安全係数の図を引用する。すべり面は原子炉補助建屋底面と D 破砕帯に沿っており（図の赤線)、基準地震動 Ss-1 の地震動が作用したとき、危険性が最も高い。最小すべり安全率は 2.3、物性のばらつきを考慮した場合は 1.9 である[[1] 159 頁]。すべり面の約 22%は土質堆積層や埋め戻し層、20%が D 破砕帯沿い、残りの約 58%が CH 級の斑れい岩 (Gb) と輝緑岩（Ds）の岩盤中とされている。斑れい岩と輝緑岩のせん断強度は同じ値が使われている(表 4 参照)。すべり面の 58%が CM 級岩盤であるとすると、安全率 2.3 は 1.9、ばらつきを考慮した値 1.9 は 1.7 になり（註#)、評価基準値 1.5 より十分大きいとは言えない。（註#：42%は元の安全率、58%は CM 級として比例配分した。）

図 11 の局所安全係数の図では、緊急時対策所の地下の殆ど全領域にせん断強度に達するせん断応力や引張応力が生じている。そして、引張応力は、図 12 に示されるように、建屋の下部全面で 10～20kgf/cm²、緊急時対策所である原子炉補助建屋の下で 20～30kgf/cm² となっている。ここでも『発生する引張強度は大半が 30kg/cm² 以下であり、CH 級岩盤の引張強度（74kg/cm²）以下である』として安定性に影響はないと主張している。しかしながら、前節で示したように、斑れい岩や輝緑岩の引張強度は CH 級も CM 級も 10kgf/cm² 程度以下でしかなく、発生した引張応力は引張強度を超えている。緊急時対策所基礎地盤は、基準地震動 Ss-1 の地震時に、D 破砕帯の弱面の影響を受けて地盤破壊の進むことが危惧される。

3. 審査会合における関電の虚偽説明

冒頭に記したように、第 183 回審査会合で「基準地震動により基礎地盤にせん断破壊が生じている」ことが問題視され、関電は「計算上引張応力が発生して引張破壊を起こしているが、発生した引張応力に比べ基礎岩盤の CH 級の引張強度は充分大きく、実際は引張破壊は起きない」という趣旨の説明をした。この説明は、前節で明らかに

したように、基礎岩盤を

(1) 亀裂の多いCM級岩盤が広範囲に分布しているにも拘わらず、より堅固なCH級岩盤としてモデル化していること、

(2) 岩盤に比べ数倍大きい岩石の引張強度を、岩盤の引張強度としていること

など、2重の虚偽の説明をしている。さらに、「すべり安全率算定時のせん断強度の考え方」[[7] 131頁] から逸脱した考え方により、安全率の算定を行っている。下記に議事録の当該部分を引用し、問題としている発言（赤下線表示）を明確にしておく。

原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合

第183回　平成27年1月16日　議事録　[[11] 57～58頁]

〇嶋崎管理官補佐　規制庁の嶋崎でございます。

・・・それと、引き続きちょっと確認をさせていただきたいのが、すべり安全率の評価のやり方のところになります。資料としましては、すみません、131ページ、こちらのほうで合ってますでしょうか。いいですか、じゃあ、ちょっと確認をします。資料を御覧いただいて、131ページのところで、すべり安全率算定時のせん断強度の考え方ということでフローを示していただいてございます。これで、せん断強度に達した、その要素については強度ゼロという形になるんですけれども、この強度ゼロになった場合について、その破壊が局所的におさまるかどうかというところの確認が必要ではないかなと思っているんです。ちょっと説明がなかったので、恐らくここの局所的かどうかというところの確認をする上で、その強度がゼロになったときについては、健全な要素への応力再配分とかいった形で影響の確認をされているんではないかなというふうに思うんですけれども、ちょっとその辺の説明がなかったので、実際やられているかどうかというところをちょっと御説明いただきたいと思っているんですけれども、お願いできますでしょうか。

〇関西電力（小倉）関西電力の小倉です。

参考資料のほうの165ページ以降に要素ごとの局所安全係数を各計算断面ごとにおつけしておりまして、説明は飛ばしてしまっていたんですけれども、ここのページを用いて御説明させていただきます。

165ページですとか167ページ、各断面の応力状態でせん断強度に達している要素ですとか引張応力が発生して、引張破壊していると判定している要素といったものを色分けしてお示ししております。この局所安全係数でせん断強度に耐え（達しの記録違い）破壊していると判定した要素につきまして、例えば165ページですと、次の166ページに、じゃあその引張応力はどの程度のものなのかというのをまた色分けでお示ししておりますけども、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ということで、解析上は引張応力が発生したら、即引張破壊というような判定をして、先ほどの強度の使い分けにいっているんですけども、実際には岩盤は引張破壊はしてい

ないということを確認しておりまして、先ほどおっしゃられましたような応力再配分をする必要はないという、このケース、こういった今回お示しさせていただいているケースに関しては、そういった再配分をする必要はないと判断しております。

○嶋崎管理官補佐原子力規制庁の嶋崎でございます。
　わかりましたので、もうちょっとその辺りも含めて資料上そういう評価になっていることがわかるように何かちょっと表現等を工夫していただけると、その辺の判断がわかりやすくなるかと思いますので、今後その資料をリバイスするときには、ちょっとすみませんけれども、御検討をちょっとお願いしたいと思っております。

　質疑・回答の内容を整理すると、
質疑：
(a) 要素のせん断応力がせん断強度に達し、強度がゼロ（要素にせん断破壊が発生）になった場合、破壊が局所的に収まるかを確認しているか。
(b) 強度ゼロの場合、応力再配分の計算によって健全な要素への影響を確認しているか。

回答（註：表現が曖昧であるので、言葉を補った）：
(1) 局所安全係数で、せん断応力がせん断強度に達し、せん断破壊していると判定した要素は、引張応力の大小を検討する。
(2) 引張応力はCH級基礎岩盤の引張強度以下である。
(3) 解析上、引張応力が発生すれば即引張破壊をしていると判定するが、実際には引張破壊を起こしていないことを確認している。
(4) 従って、応力再配分の計算をする必要はない。

　質疑は「すべり安全率算定時のせん断強度の考え方」に基づいている。図13に説明に使われた「安全率算定のフロー」の図[[7] 131頁]を引用する。図のフローにおいて、[すべり面上の要素の破壊判定]の右側に、「引張応力が発生した要素」（せん断強度に達した要素を含む）とあるのは、「せん断強度に達し、かつ、引張応力が発生した要素」の意味である。そして[すべり面に直応力（σ_n）が圧縮か？]の判定で「NO」とあるのは「圧縮応力がゼロか、引張応力が発生」のことである。すなわち［せん断強度ゼロ］と判定されるのは、「せん断応力がせん断強度に達し、すべり面に垂直な引張応力（σ_n）が生じている場合」である。すなわち、安全率算定で問題になるのは、引張強度ではなくすべり面に垂直な引張応力の有無である。

　上記関電の解析フローに従い、関電の回答の曖昧さと間違いを指摘する。

・(a) の問いに、せん断破壊と引張破壊とを明確に区別せず、フローから逸脱した答弁をしている。図13のフローに従えば、引張応力と引張強度の大小ではなく、σ_n が圧縮か引張かを回答しなければならない。
・岩石の引張強度を岩盤の引張強度と詐称して、引張破壊を起こしていないと回答。また、問われたせん断破壊については答弁せず、引張破壊にすり替えている。
・(3) の「実際には引張破壊を起こしていないことを確認している」の「実際に確認している」中身の具体的な説明が無い。
・(b) の問いに対して(4) は誤った解釈による回答である。応力再配分の計算をしなければならない。

関電は、地盤を調査結果より堅固な地盤としてモデル化し、試験結果とは異なる解析用物性値を使って解析し、自ら設定したすべり安全率算定時のせん断強度の考え方から逸脱した考え方により、安全であると主張している。

4. 地盤構造のモデル化の問題－破砕帯に伴う速度異常と異方性

第2.1節 (2) において、基礎岩盤は、3号炉基礎でCM級が56.1%、3号炉・4号炉下の標高0～-150mの領域でCM級が36.6%を占めているにも拘わらず、基礎岩盤をCH級としてモデル化していることの不当性を指摘した。本節では、調査結果の地震波速度の異方性を無視していることの不当性を指摘する。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の第2項)。

図14は、関電が第183回審査会合において異方性について説明した試料 [[7] 15頁] である。議事録によると、この図の説明は

『15ページに、異方性に関する説明資料をつけております。3・4号炉増設時に実施した弾性波試験探査により、弾性波速度に方向による顕著な差異がないことから、有意な異方性が認められないことを確認しております [[11] 44頁]』

と図の文言を読み上げただけである。そして、これ以降、異方性は問題にされていない。設置許可申請書には、異方性は次のように記載されている。

『h.異方性

異方性に関する試験結果は第3.5.15表に示すとおりである。

(a) 弾性波試験

試掘坑内の平均速度法による弾性波試験結果は、第3.5.114図に示すようにP波速度は3.0km/s～5.2km/sで平均値4.3km/s、変動係数7.0%である。一方、互いに直交する坑道沿いの屈折波法弾性波速度の測定結果では、NW－SE方向のP波速度は3.5km/s～5.0km/s、平均4.7km/s、S波速度は1.8km/s～2.5km/s、平均2.3km/s、NE－SW方向のP波速度は3.0km/s～5.3km/s、平均4.5km/s、S波速度は1.3km/s～2.8km/s、平均2.1km/sであり、弾性波速度による異方性はほとんど認められない。』[[1] 6-3-128頁]

申請書の「平均速度法による弾性波試験結果、第3.5.114図」は、図14の右側に示された「弾性波探査試験結果」と同じである。そして、「坑道沿いの屈折波法弾性波速度」は、図14の左側の「試験位置」に示された井型の坑道に沿う速度のことである。平均速度法による結果も、屈折法による結果も大きい変動幅があるが、その原因は説明されていない。

筆者は既に、「試掘坑における地震波速度は、南北方向で速く東西方向で遅いという異方性のあること、そして、この異方性は破砕帯とそれに伴うシームの分布密度に相関して場所により速度が大きく変化していることに起因する」ことを関電のデータを分析して指摘した[3]。図15に速度の異方性の図を示す。関電が説明したNW－SE方向とNE－SW方向は、異方性の現れない方向であり、異方性の現れない方向のデータを示して、異方性は認められないと虚偽の説明をしている。

図16に坑間弾性波探査の結果による速度トモグラフィ[3]を示す。図16-1は、第1近似の速度トモグラフィで、速度分布は3号炉・4号炉基礎岩盤のシームの分布密度と相関が高い。図16-2の速度トモグラフィは、反復修正［12］により近似を高めた速度分布であり、シームの分布密度との相関に加え、速度の急変域や低下域が破砕帯の走向位置に対応していることを明瞭に示している。関電は、このような破砕帯に伴う速度異常、異方性を無視してFEMモデルを作成している。

まとめ

関電の「大飯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 29 年 5 月現在」および原子力規制委員会第 183 回審査会合の資料と議事録により、原子炉設置位置付近の基礎地盤の地震力に対する安定性についての評価内容を検討した。その結果、以下の問題のあることが判明した。

・地質調査によれば、原子炉建屋基礎の岩級分布は CM 級が 3 号炉で 56.1%、4 号炉で 22.0%である。また、ボーリング柱状図によれば標高 0～-150m の岩級は CM 級が 36.6%を占めている。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ている。
・解析の岩盤物性を CH 級ではなく CM 級とすると、最少すべり安全率は、3・4 号炉基礎地盤では評価基準値と同程度、また緊急時対策所基礎地盤では評価基準値以下となる。関電は、モデルの岩級を高く設定することにより、すべり安全率を大きくしている。
・地震時に発生する引張応力は、3・4 号炉基礎地盤では F-1 破砕帯上部で、また緊急時対策所基礎地盤では A、C、D 破砕帯の浅部付近で、岩盤の引張強度を超えており、すべり破壊が生じている。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。

・関電自ら設定した「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ている。しかし関電は、自らの「考え方」から逸脱した虚偽の説明により、破壊は生じていないと主張している。

・審査ガイドは、地盤のモデル化において「各種の地質調査、物理探査、地盤調査、地盤材料試験等の結果に基づいて適切にモデル化されていること」を要請している。しかし、関電が設定した FEM 解析における岩級分布、引張強度、異方性の無視などはガイドの要請（3 の第 1 項と 3 の第 2 項）を充たしていない。

・審査ガイドは、確認事項、結果の評価において「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こと（4.1 (2) 4）の第 5 項)」を要請している。関電は第 183 回審査会合でせん断強度の考え方と引張強度について虚偽の説明をし、設置許可申請書においてもこの要請を充たしていない

・以上のことから、関電の実施した「耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎地盤の安定性評価」では、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るとは云えない。

(以上)

参考文献

[1] 関西電力株式会社、大飯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 29 年 5 月現在、丙第 178 号証.

[2] 原子力規制委員会、平成 29 年 5 月 24 日、関西電力株式会社大飯発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書(3 号及び 4 号発電用原子炉施設の変更)に関する審査書.

[3] 赤松純平、2018 年 1 月、大飯発電所基準地震動策定における問題点－地盤構造モデルについて－、甲第 422 号証.

[4] 赤松純平、2019 年 10 月、大飯発電所の地盤構造について－岩盤の亀裂および断層破砕帯に伴う地震波速度の低下－、甲第 510 号証.

[5] 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.

[6]日本電気協会原子力規格委員会、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-2015、平成 28 年 3 月.

[7] 関西電力株式会社、平成 27 年 1 月 16 日、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、原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合第 183 回配布資料.

[8] 日本材料学会編、岩の力学基礎から応用まで、表 2.3　日本産岩石供試体による強度試験結果(鉄道技術研究所による)、64 頁、丸善株式会社、平成 5 年.

[9] 関西電力株式会社、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.
[10] 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.
[11] 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 183 回議事録、平成 27 年 1 月 16 日.
[12] 杉田裕、真田祐幸、相澤隆生、伊東俊一郎(日本原子力研究開発機構地層処分研究開発部門幌延深地層研究ユニット) (2011)：簡易型弾性波トモグラフィ調査システムの開発、JAEA-Research 2011-043.

用語の説明

・**すべり面**：施設底面や破砕帯など不連続面の形状を考慮してすべりを想定した面。すべり面上ですべり安全率を評価する。

・**すべり安全率**：[想定すべり面に沿う要素のせん断強度の和] / [想定すべり面に沿う要素のせん断応力の和]の比で定義される想定すべり面におけるすべりの指標。基礎地盤の安定性評価基準値は 1.5。周辺斜面の安定性基準値は 1.2。

・**評価断面の最小すべり安全率**：評価断面に複数のすべり面を想定し、各すべり面に全ての基準地震動 Ss 時刻歴（加速度波形）を入力すると、各すべり面で Ss に対するすべり安全率が時刻を追って計算される。計算されたすべり安全率の最小値を評価断面の最小すべり安全率と称する。

・**局所安全係数 Fs**：FEM（有限要素法）のそれぞれの要素が有しているせん断強度と要素で計算されるせん断応力の比［せん断強度］/［せん断応力］であり、1.0 以下でその要素はせん断破壊を起して潜在すべり面（モビライズド面）に沿ってすべる。

・**モビライズド面**：要素のせん断応力と主応力とから規定されるすべりの方向、潜在すべり面と同じ。想定すべり面と同じ向きであるとは限らないので、モビライズド面の向きを吟味する。

・**せん断応力**：岩盤内のある面に沿って、岩盤を横すべりさせる方向の力（応力：単位面積当りの力）。せん断強度より大きいと**せん断破壊**を起すが、破壊の進展はすべり面に垂直な方向の応力が圧縮か引張かによって決まる。

・**引張応力**：岩盤を引っ張る方向の力（応力：単位面積当りの力）。引張強度より大きいと**引張破壊**を起す。

・**圧縮強度、せん断強度、引張強度**：圧縮応力、せん断応力、引張応力に抗する強度。それぞれ、応力が強度を超えると圧縮破壊、せん断破壊、引張破壊を起す。岩石も岩盤も強度の大小関係は、圧縮強度＞＞せん断強度＞引張強度である。

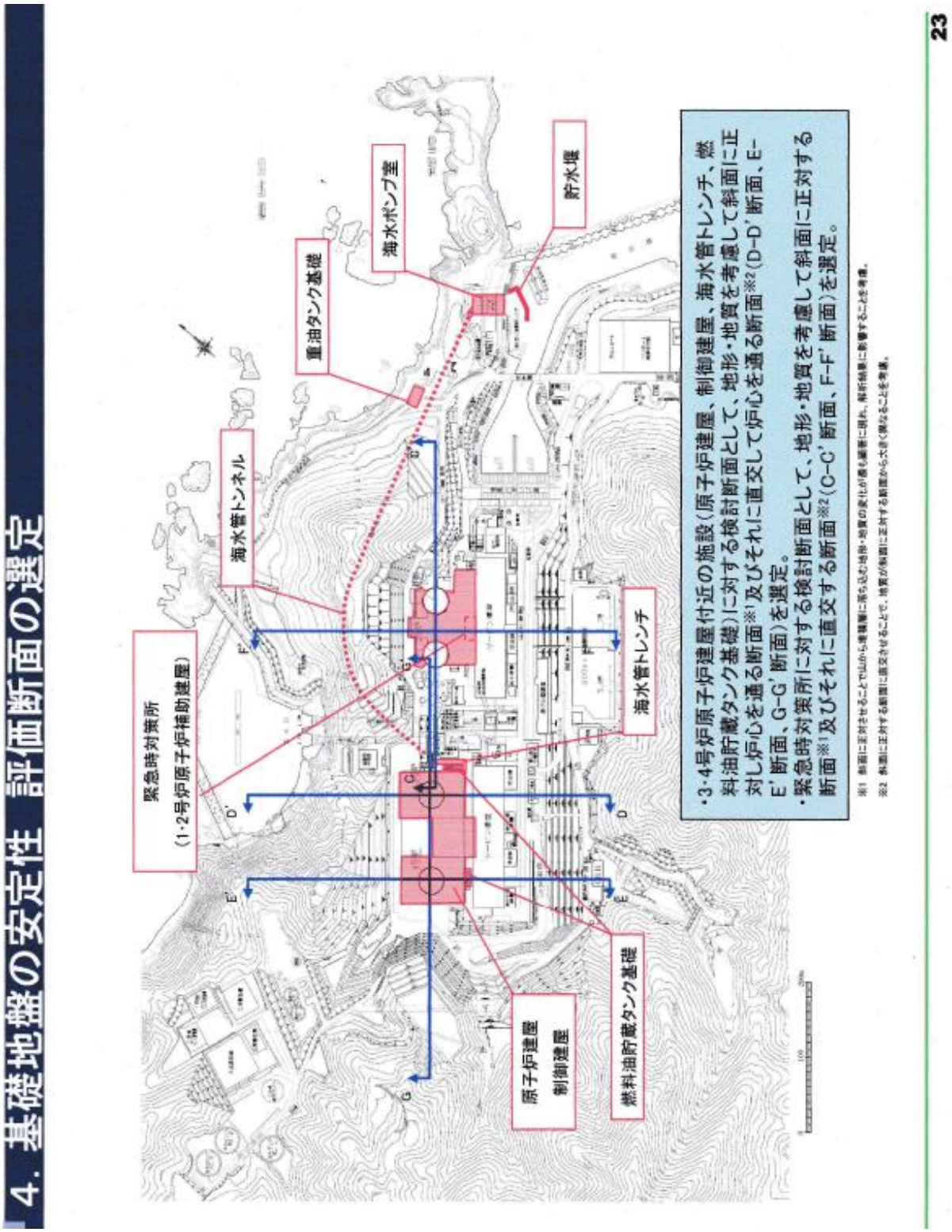


図 1．基礎地盤の安定性を評価する断面の位置．　[7] 23 頁を引用．

3・4 号炉の基礎地盤 G-G'と

緊急時対策所の基礎地盤 C-C'および F-F'の安定性評価の結果を検討する．

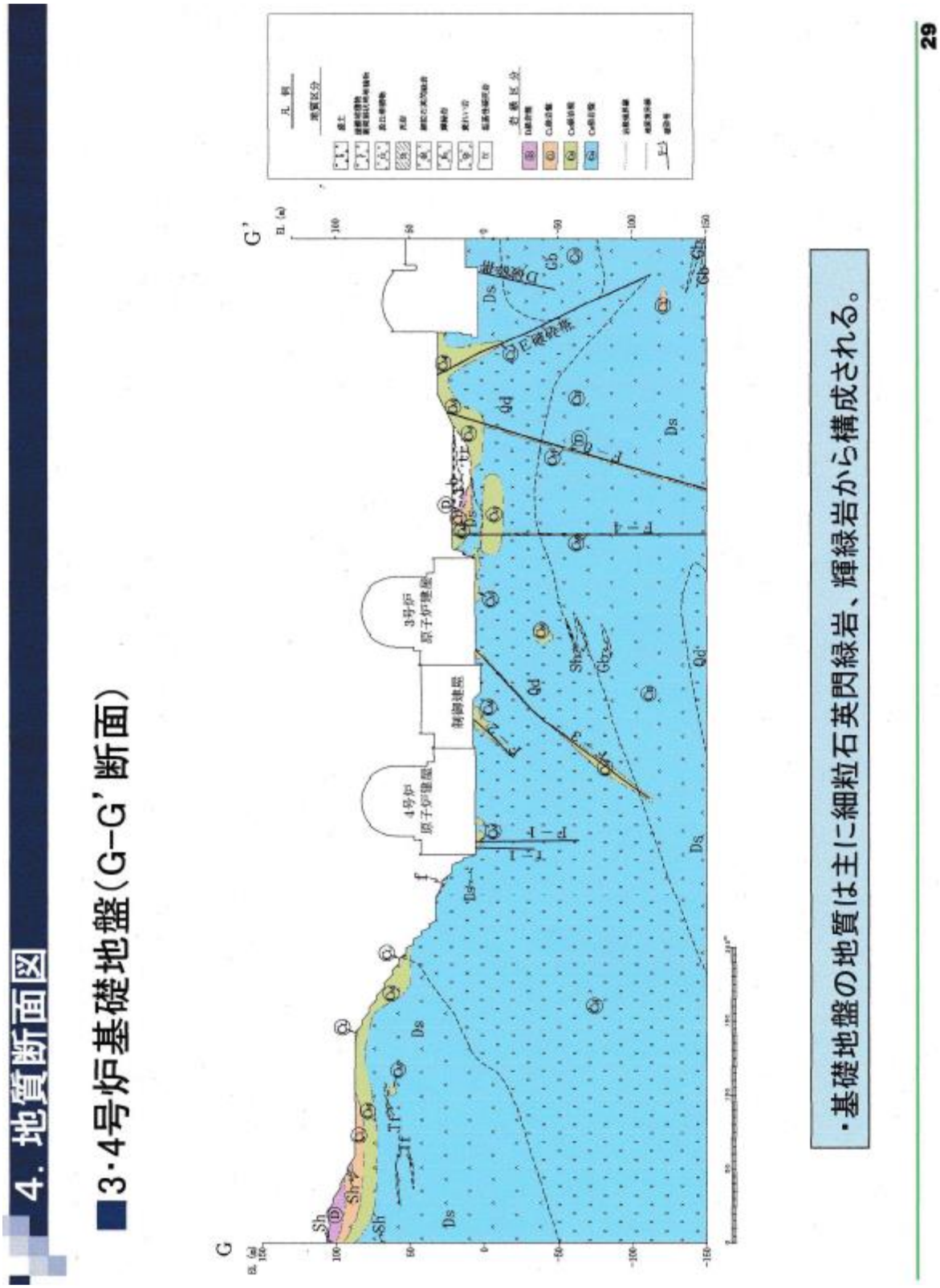


図 2．3・4 号炉基礎地盤 G-G’断面のモデル化領域の地質図．　[7] 29 頁を引用．
3・4 号炉直下の上部は細粒石英閃緑岩(Qd)、下部は輝緑岩(Ds)．
領域の殆ど全てを CH 級岩盤としている．

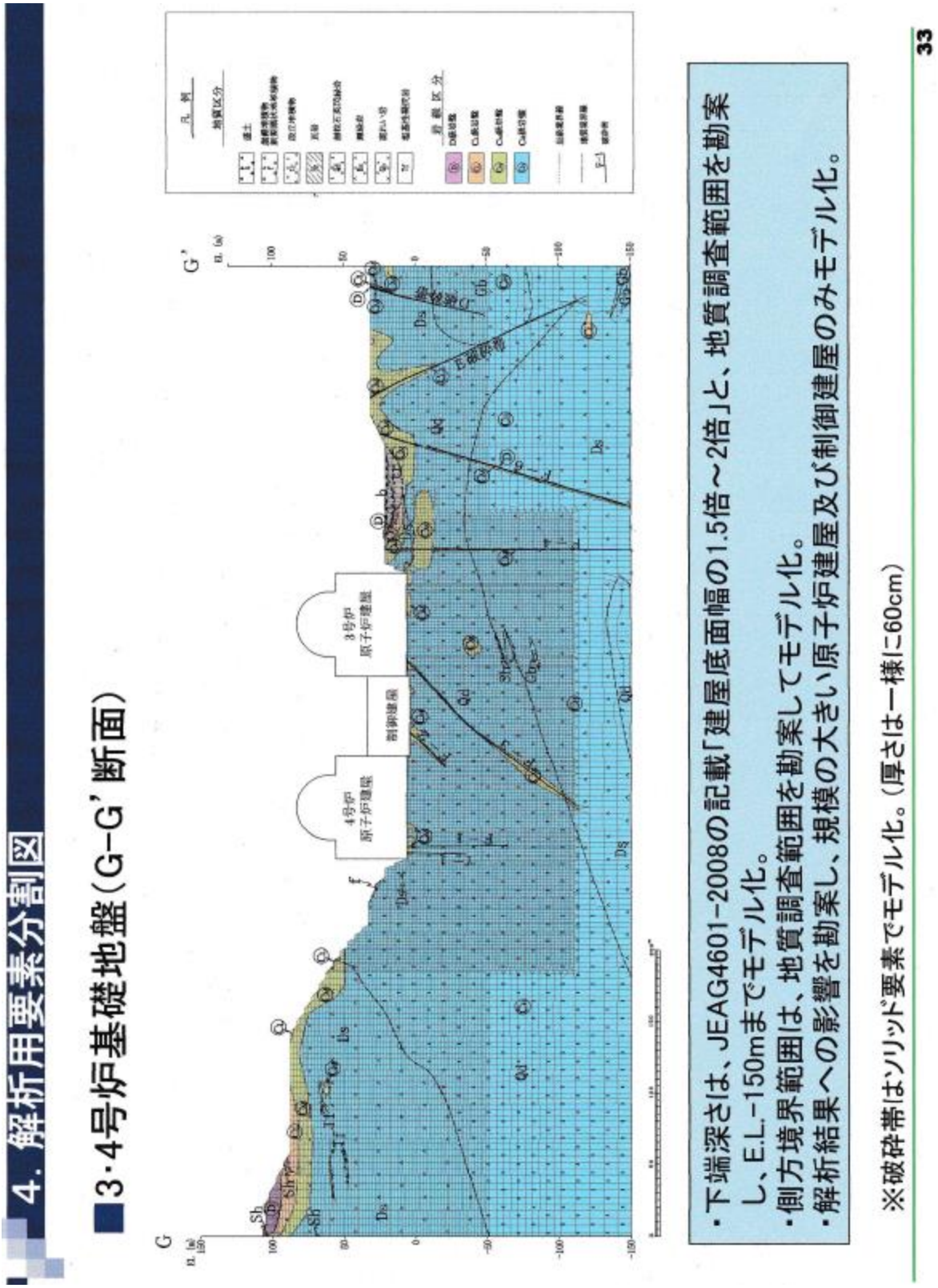
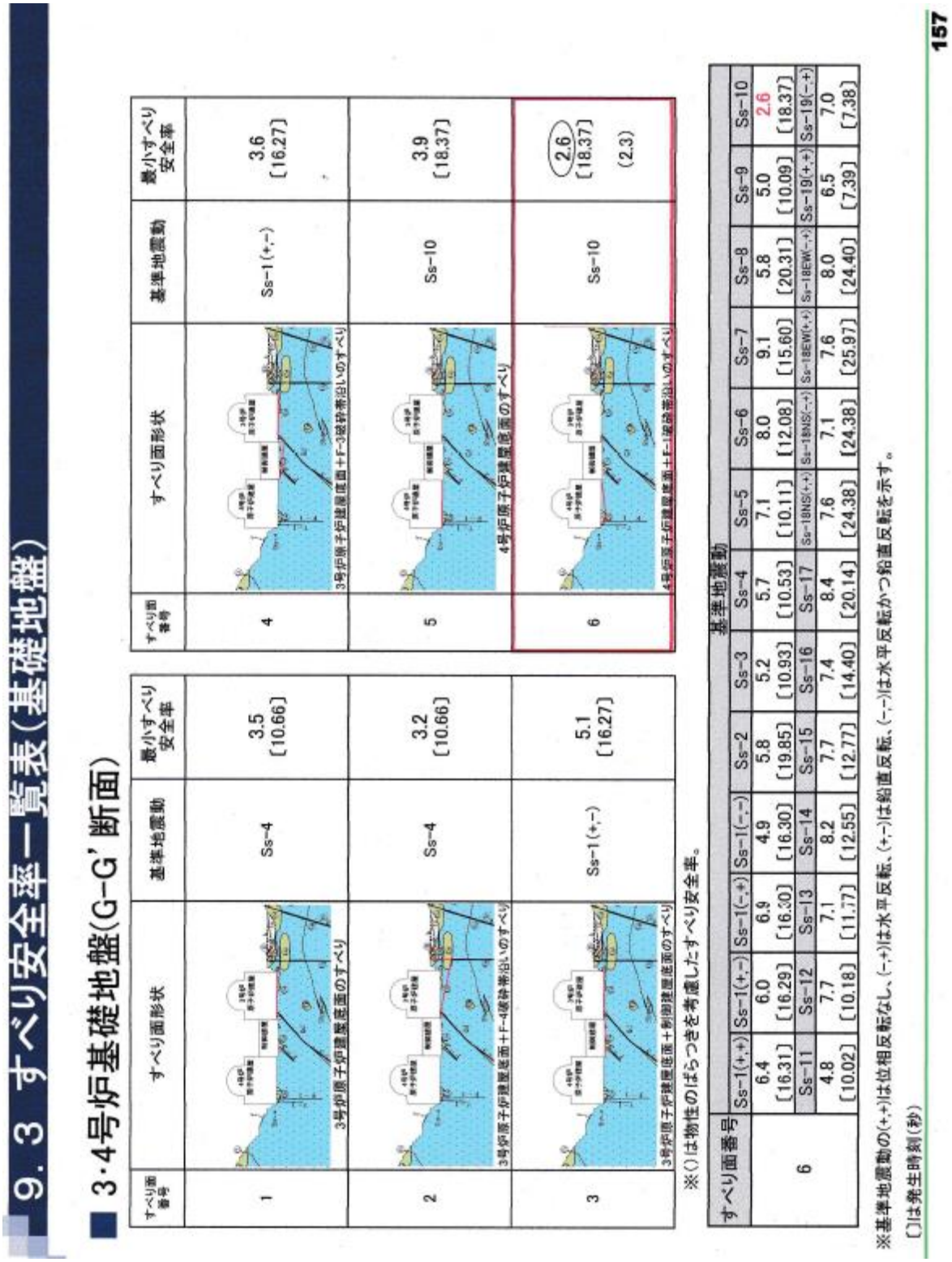


図 3. 3・4 号炉基礎地盤(G-G'断面)の解析用要素分割図. [7] 33 頁を引用.
標高-150m まで、幅約 680m の領域をモデル化.
解析用物性値は、地質図(図 2) の岩種と岩級による.



9. 3 すべり安全率一覧表(基礎地盤)

■ 3・4号炉基礎地盤(G-G' 断面)

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動	最小すべり安全率
1	3号炉原子炉建屋底面のすべり	Ss-4	3.5 〔10.66〕
2	3号炉原子炉建屋底面＋F-4破砕帯沿いのすべり	Ss-4	3.2 〔10.66〕
3	3号炉原子炉建屋底面＋制御建屋底面のすべり	Ss-1(+,-)	5.1 〔16.27〕
4	3号炉原子炉建屋底面＋F-3破砕帯沿いのすべり	Ss-1(+,-)	3.6 〔16.27〕
5	4号炉原子炉建屋底面のすべり	Ss-10	3.9 〔18.37〕
6	4号炉原子炉建屋底面＋F-1破砕帯沿いのすべり	Ss-10	2.6 〔18.37〕 (2.3)

※()は物性のばらつきを考慮したすべり安全率。

すべり面番号	基準地震動															
	Ss-1(+,+)	Ss-1(+,-)	Ss-1(-,+)	Ss-1(-,-)	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	Ss-9	Ss-10
6	6.4 〔16.31〕	6.0 〔16.29〕	6.9 〔16.30〕	4.9 〔16.30〕	5.8 〔19.85〕	5.2 〔10.93〕	5.7 〔10.53〕	7.1 〔10.11〕	8.0 〔12.08〕	9.1 〔15.60〕	5.8 〔20.31〕	5.0 〔10.09〕	2.6 〔18.37〕
	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-15	Ss-16	Ss-17	Ss-18NS(+,+)	Ss-18NS(-,+)	Ss-18EW(+,+)	Ss-18EW(-,+)	Ss-19(+,+)	Ss-19(-,+)
	4.8 〔10.02〕	7.7 〔10.18〕	7.1 〔11.77〕	8.2 〔12.55〕	7.7 〔12.77〕	7.4 〔14.40〕	8.4 〔20.14〕	7.6 〔24.38〕	7.1 〔24.38〕	7.6 〔25.97〕	8.0 〔24.40〕	6.5 〔7.39〕	7.0 〔7.38〕

※基準地震動の(+,+)は位相反転なし、(-,+)は水平反転、(+,-)は鉛直反転、(-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

〔〕は発生時刻(秒)

157

図 4. 3・4 号炉基礎地盤(G-G'断面)のすべり安全率一覧表. [7] 157 頁を引用.
想定すべり面 1～6 の形状と最少すべり安全率を生じた基準地震動が示されている.
すべり面 6 で基準地震動 Ss-10 の地震動が作用した時、すべり安全率が最小で 2.6.
その時の地盤物性のばらつきを考慮した安全率は 2.3.
下段の表：すべり面 6 の全ての基準地震動 Ss の最少すべり安全率.

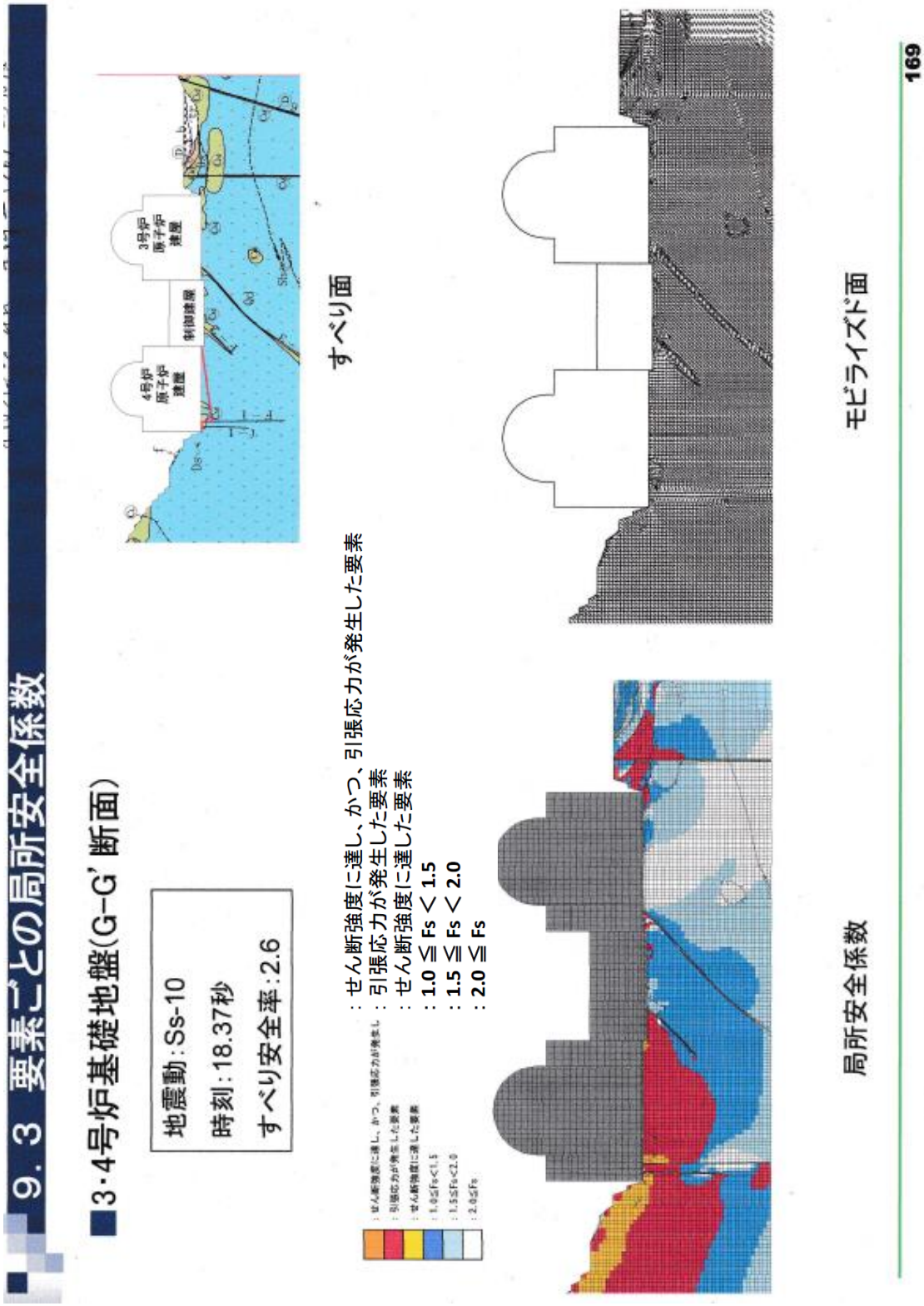


図 5. 3・4 号炉基礎地盤(G-G'断面)のすべり面 6、基準地震動 Ss-10 の局所安全係数.
Fs：[せん断強度] / [せん断応力]の値、1 以下で要素にせん断破壊が生じる.
橙、赤の領域：引張応力が発生した領域. [7] 169 頁を引用・追記.

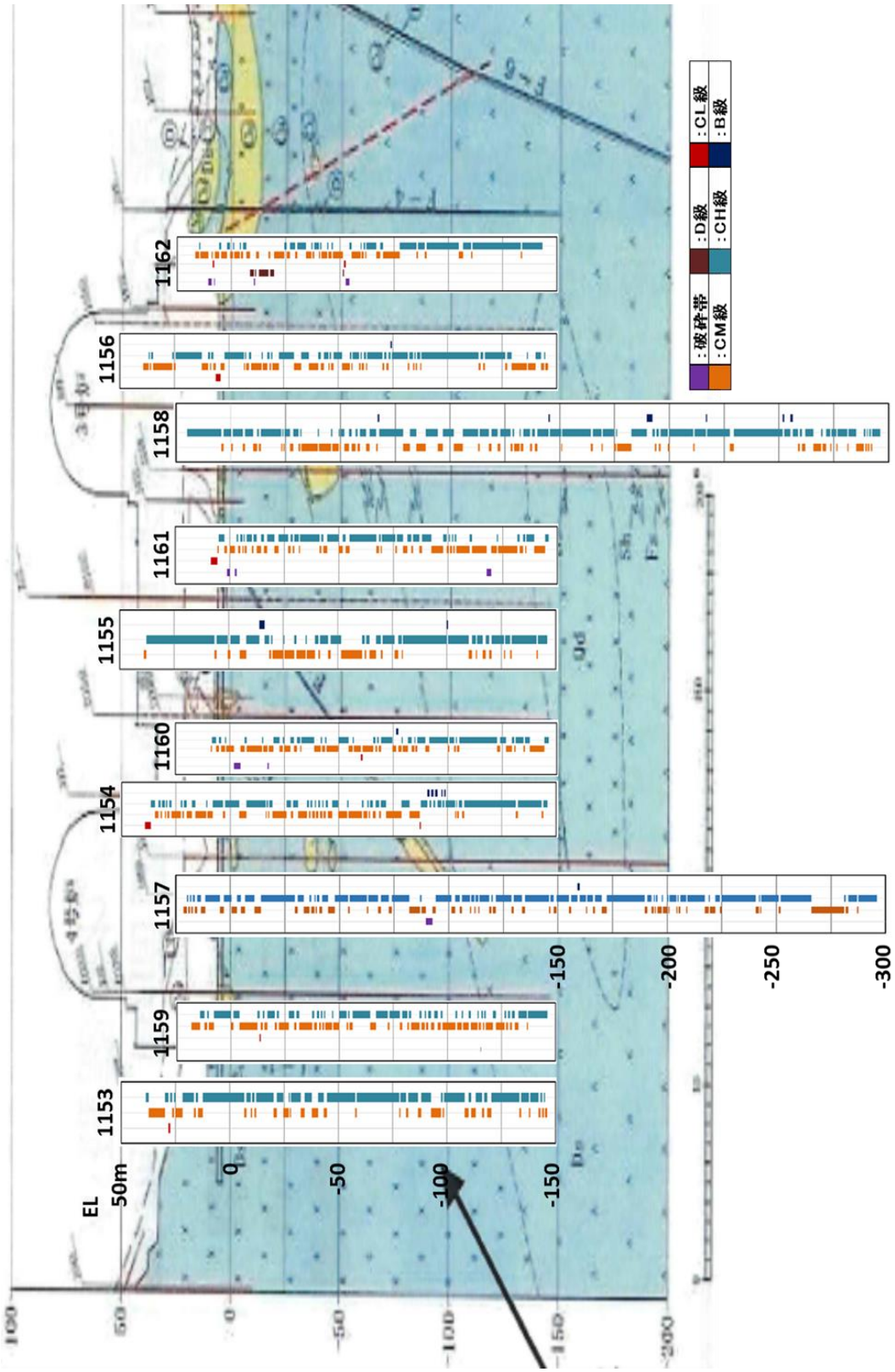


図 6. 3・4 号炉基礎地盤のボーリング柱状図による岩級分布. [4] 図 6 を引用.
標高 0～-150m の領域では平均して CM 級岩質が全体の 36.6%を占める.
CM 級岩盤の割合：No.1153：22.5%、No.1157：27.6%、No.1159：52.7%.

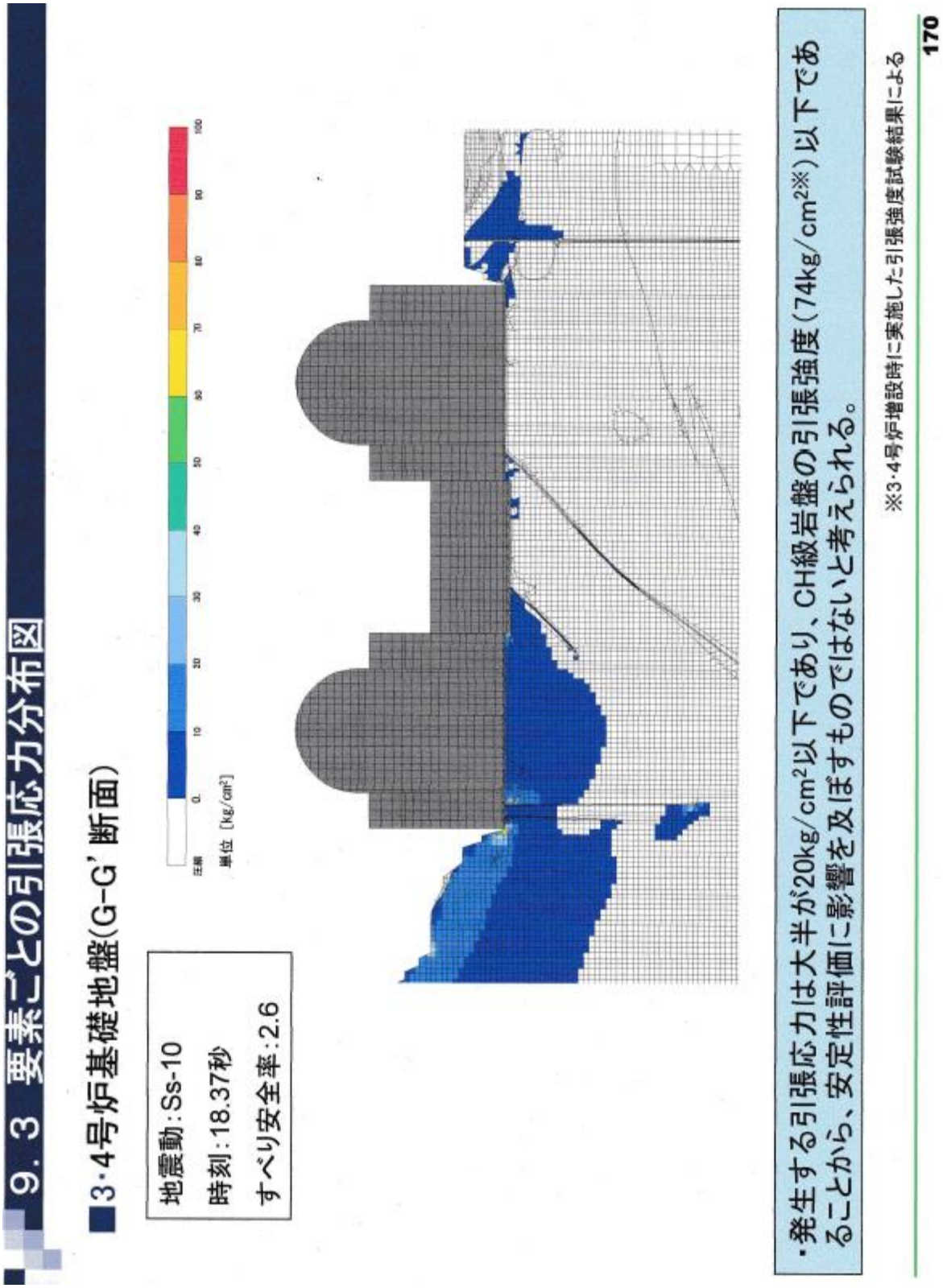


図 7．要素ごとの引張応力分布、図 5 に対応．[7] 170 頁を引用．
濃青：0～10 kgf/cm²、薄青：10～20 kgf/cm².
岩石資料の引張強度(74kgf/cm²)と比較している．

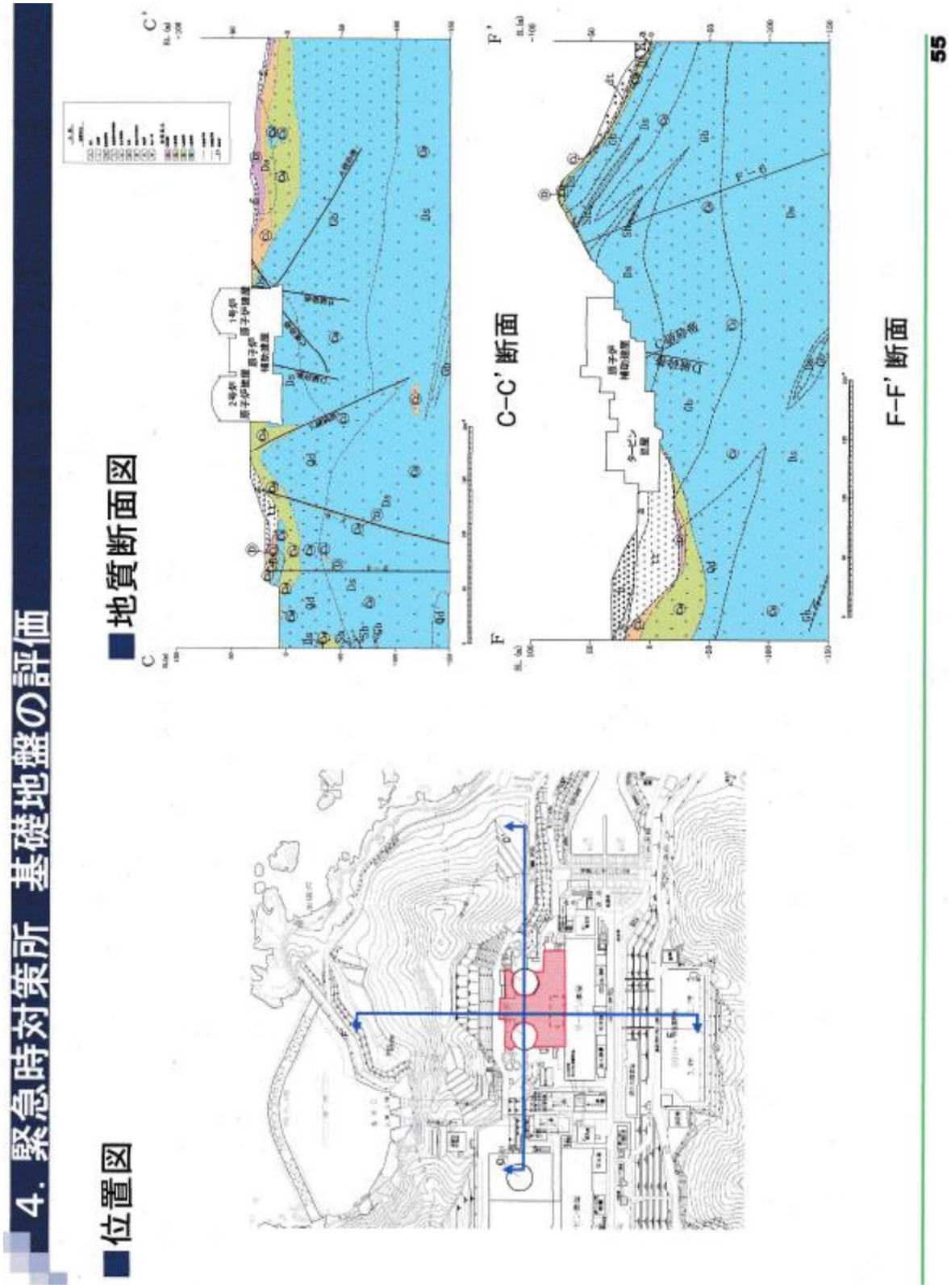


図 8. 緊急時対策所基礎地盤の評価断面位置と地質断面図. [7]55 頁を引用.
直下の地盤は輝緑岩(Ds)、斑れい岩(Gb)、輝緑岩の 3 層.
直下の岩盤の岩級を CH 級とモデル化している.

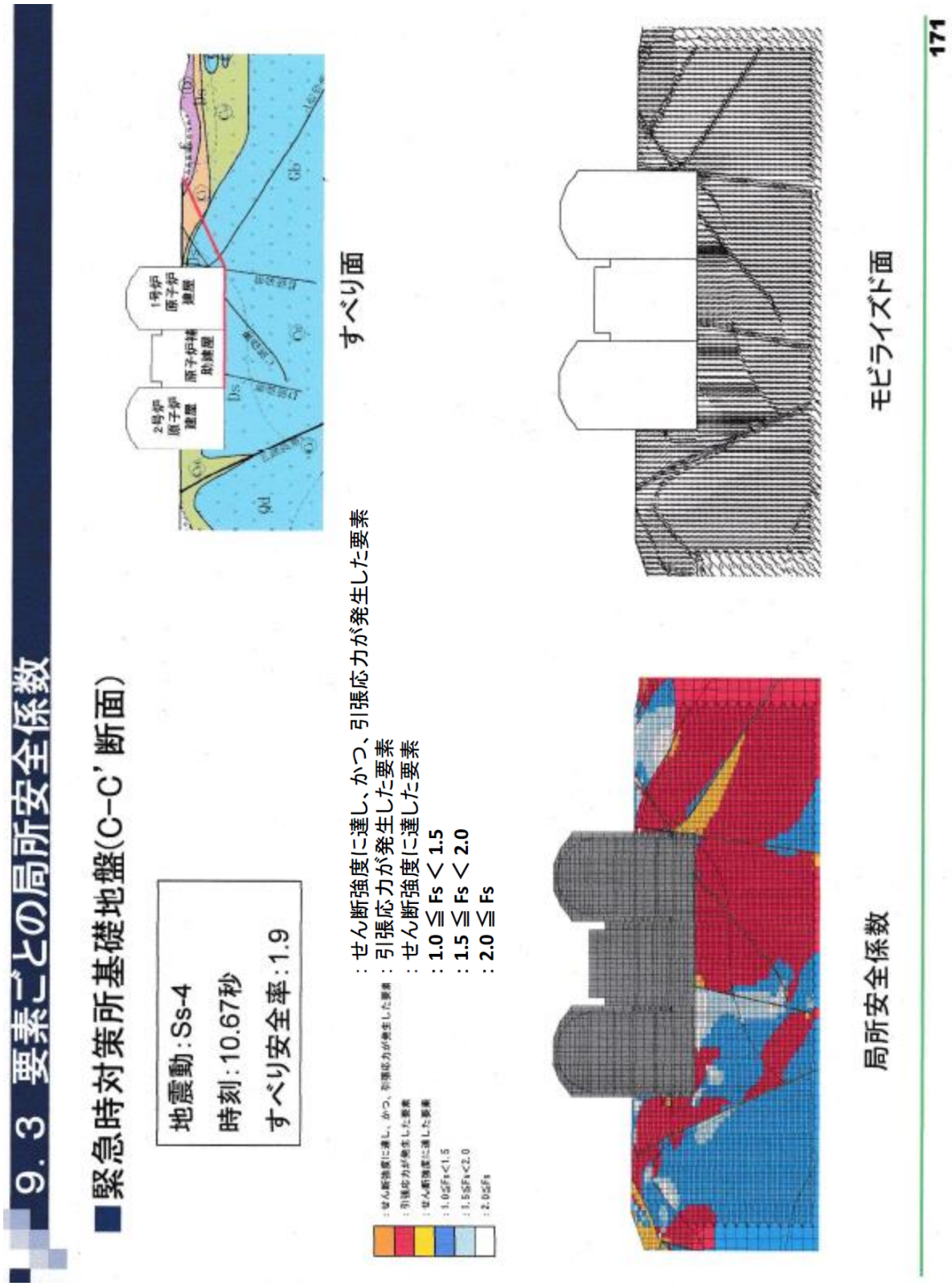


図 9．緊急時対策所基礎地盤(C-C'断面)の局所安全係数.

C-C’断面ですべり安全率が最小であったケース．[7] 171 頁を引用・追記.

Fs：[せん断強度] / [せん断応力]の値、1 以下で要素のせん断破壊が生じる.

橙、赤の領域：引張応力が発生した領域.

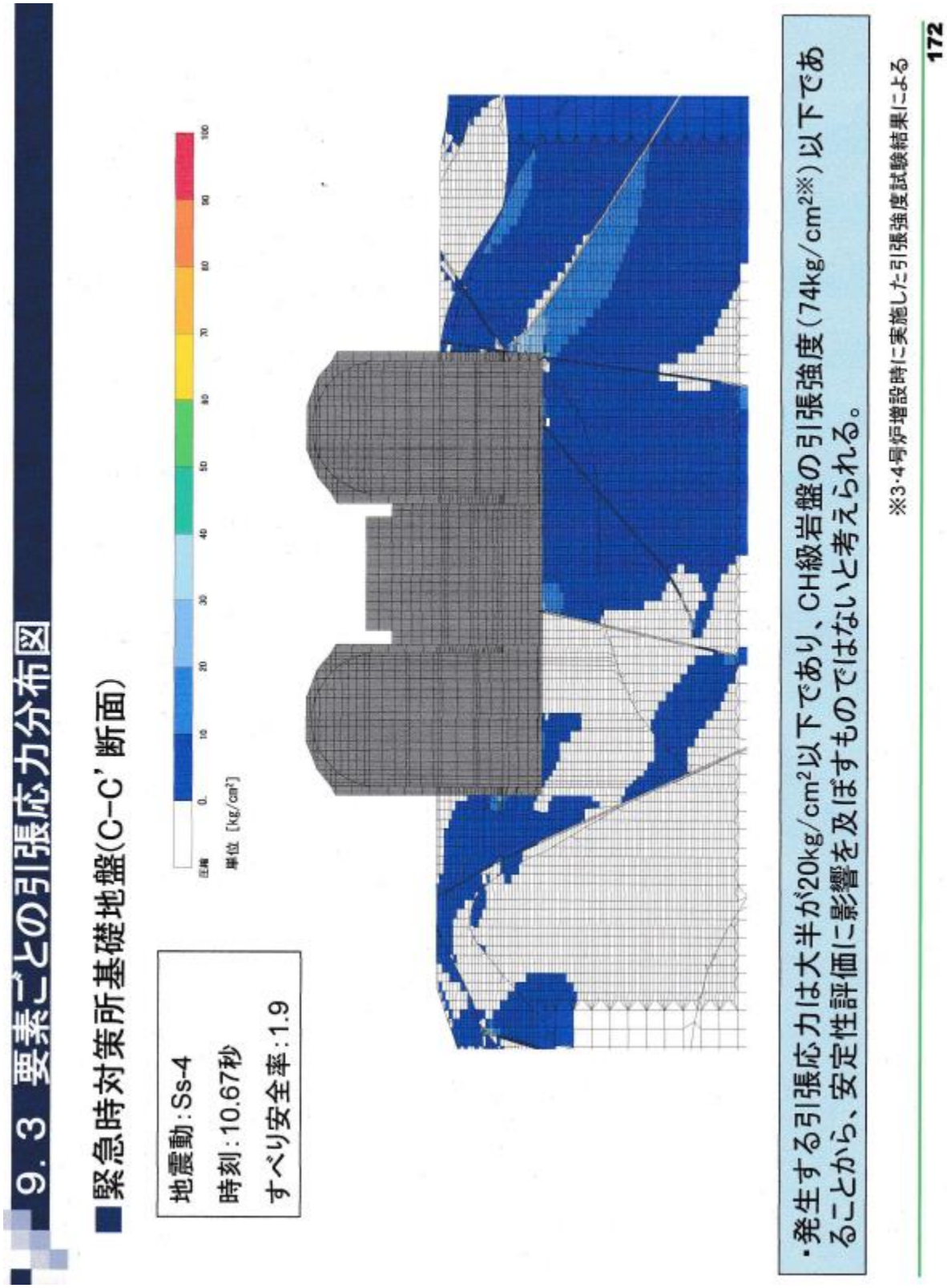


図 10．要素ごとの引張応力分布、図 9 に対応．[7] 172 頁を引用．
濃青：0～10 kgf/cm²、薄青：10～20 kgf/cm².
岩石資料の引張強度(74kg/cm²)と比較している．

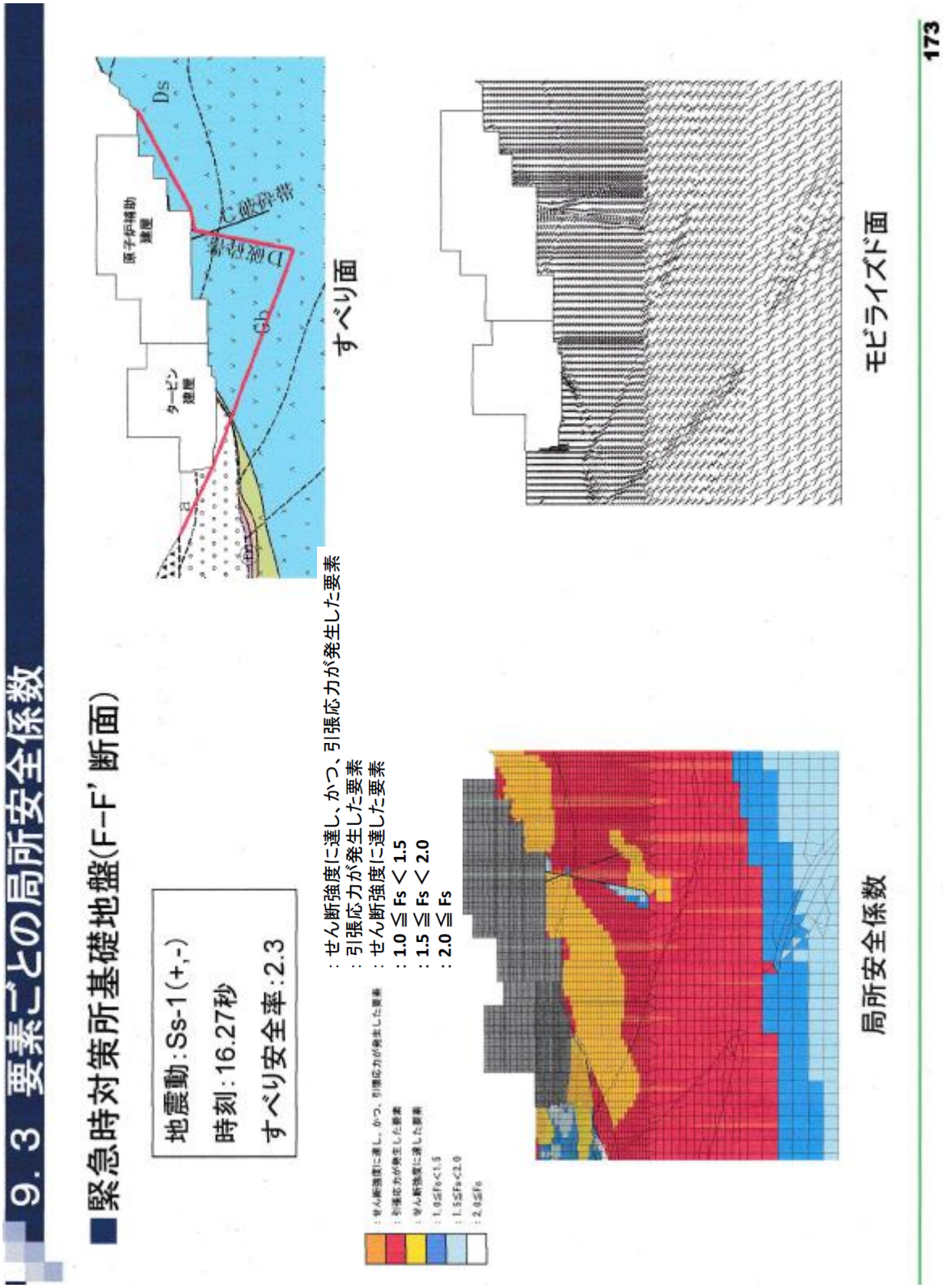


図 11．緊急時対策所基礎地盤(F-F'断面)の要素ごとの局所安全係数.
F-F'断面ですべり安全率が最小であったケース．[7] 173 頁を引用・追記.
Fs：[せん断強度] / [せん断応力]の値、1 以下で要素のせん断破壊が生じる.
橙、赤の領域：引張応力が発生した領域.

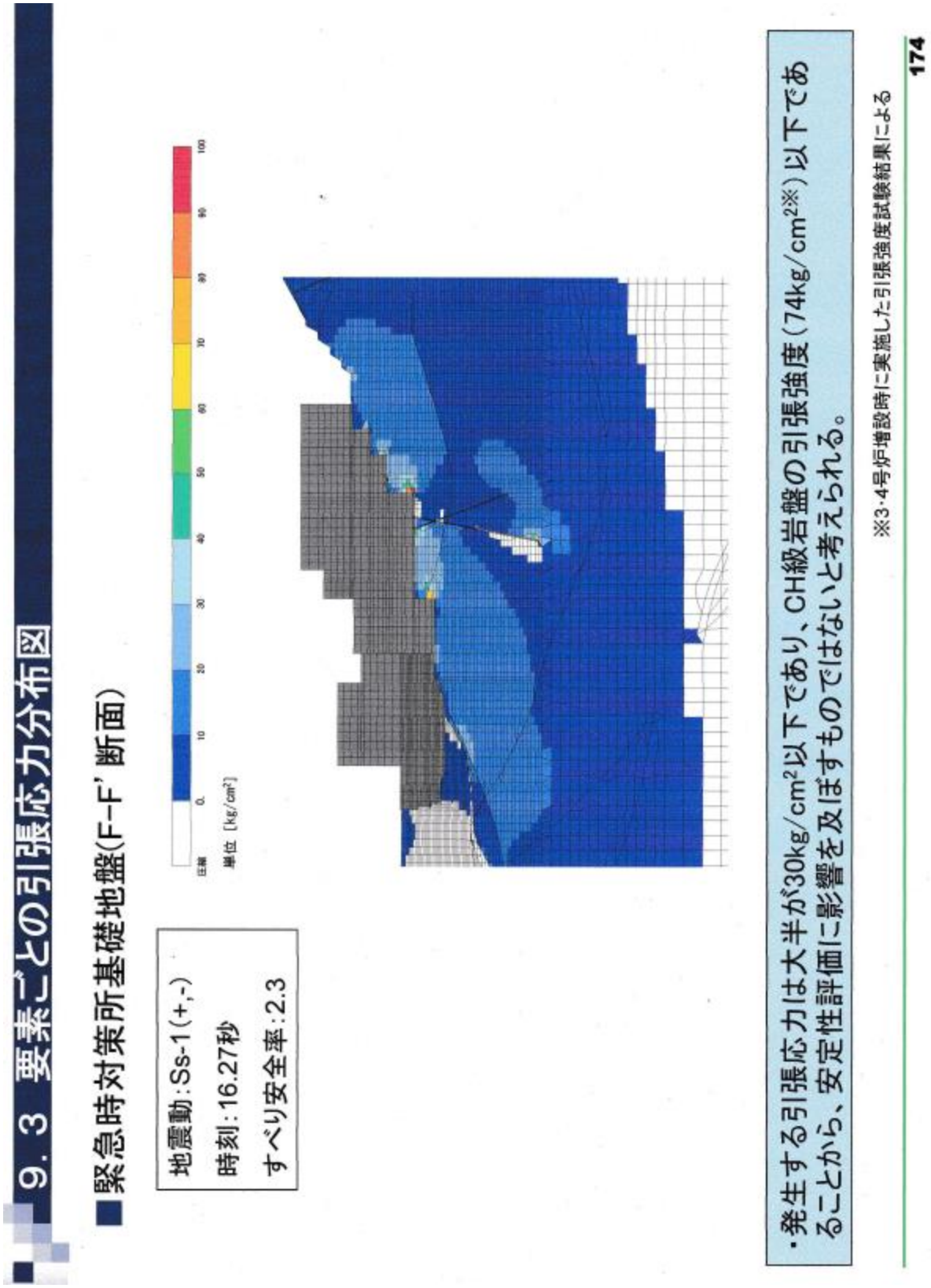


図 12. 要素ごとの引張応力分布、図 11 に対応. [7] 174 頁を引用.
濃青：0～10 kgf/cm²、青：10～20 kgf/cm²、薄青：20～30kgf/cm².
岩石資料の引張強度(74kg/cm²)と比較している.

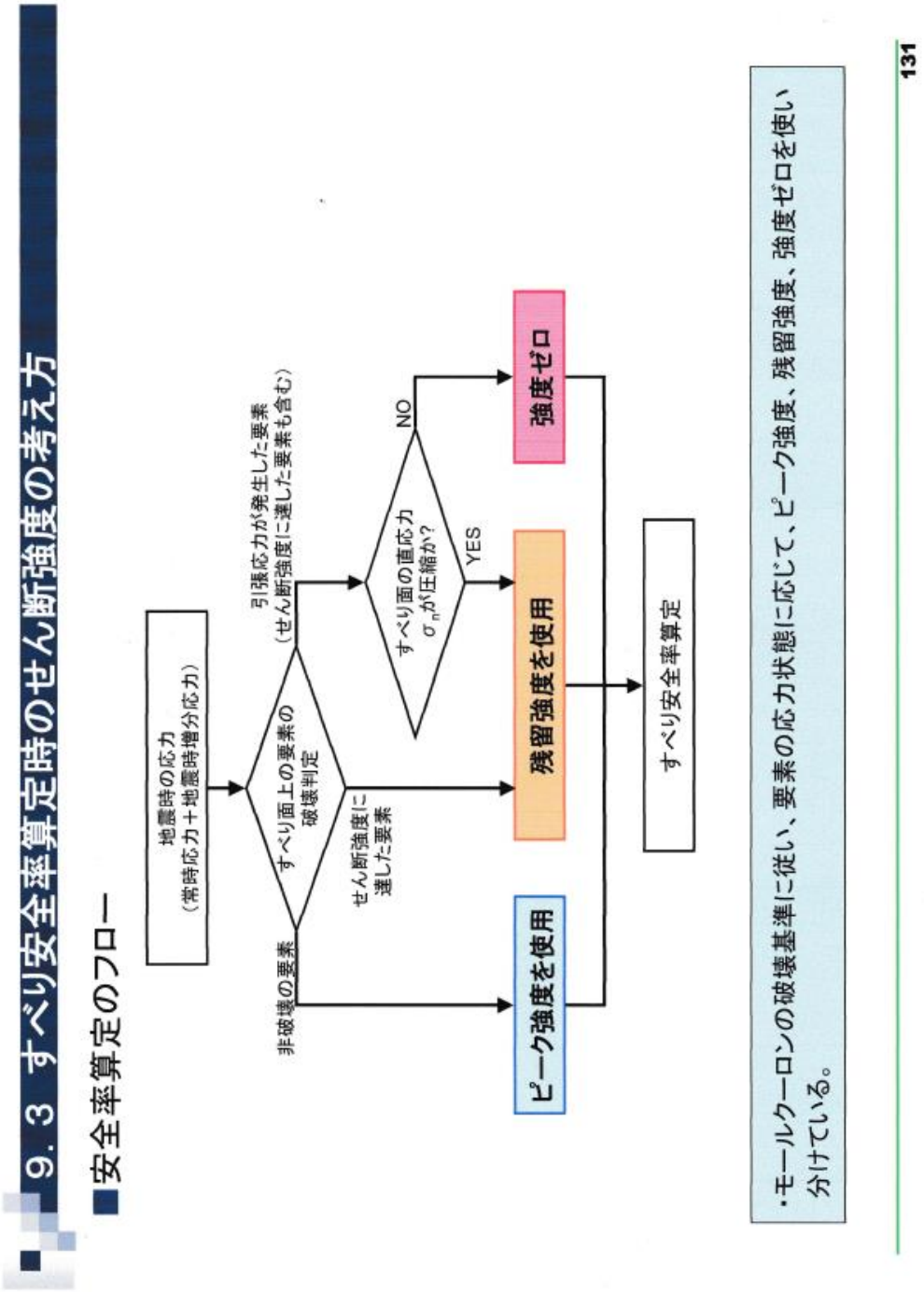


図 13. すべり安全率算定時のせん断強度の考え方のフロー. [7] 131 頁を引用.

・[すべり面に直応力（σ_n）が圧縮か？] の判定の「NO」は「圧縮応力がゼロか、または引張応力が発生」の意味.

・[せん断強度ゼロ] と判定されるのは「せん断応力がせん断強度に達し、かつ、すべり面に垂直な引張応力が生じた場合」.

・安全率算定で問題となるのは、引張強度ではなくすべり面に垂直な引張応力の有無である.

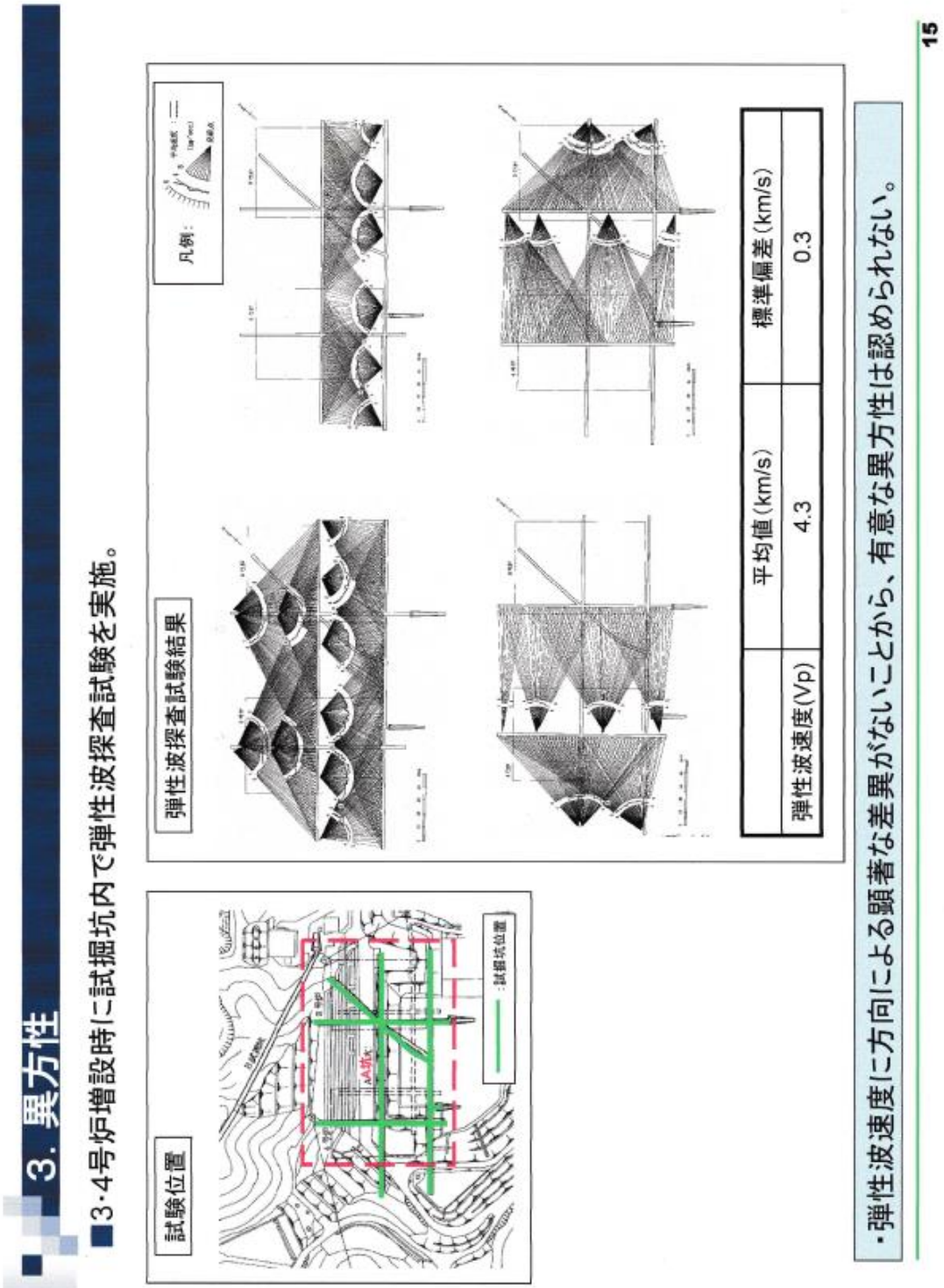


図 14. 第 183 回審査会合において異方性について説明した試料 [[7] 15 頁]
左図：試験位置の図の井型（緑色）試掘坑で屈折法地震探査.
右図：坑間 P 波速度測定（fan-shooting）.
「弾性波速度に方向による顕著な差異がない」と記してあるが、
その根拠が示されていない。

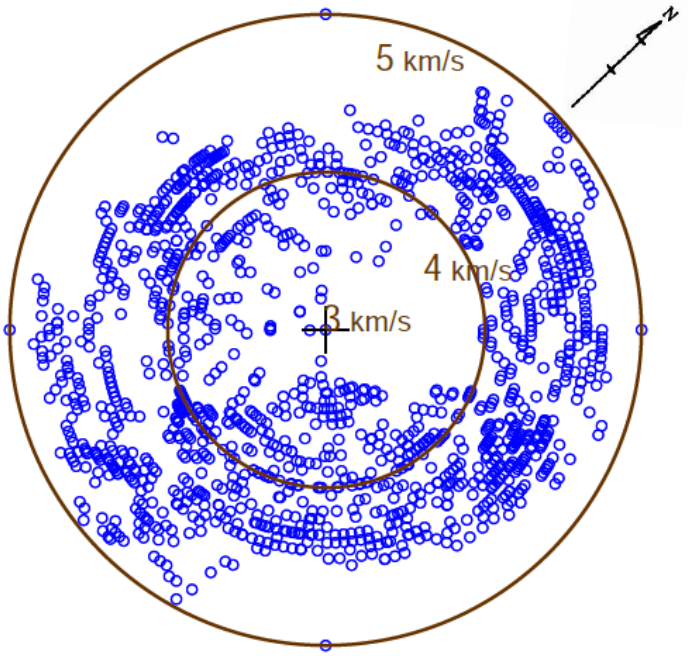


図 15-1. P 波速度の異方性：坑間速度の方位分布.
図 14 の坑間速度を発破点から地震計に向かう波線方向に直接プロット.
中心位置が 3.0km/s、外周が 5.0km/s. 概ね、南北方向と東西方向とで速度が違う.

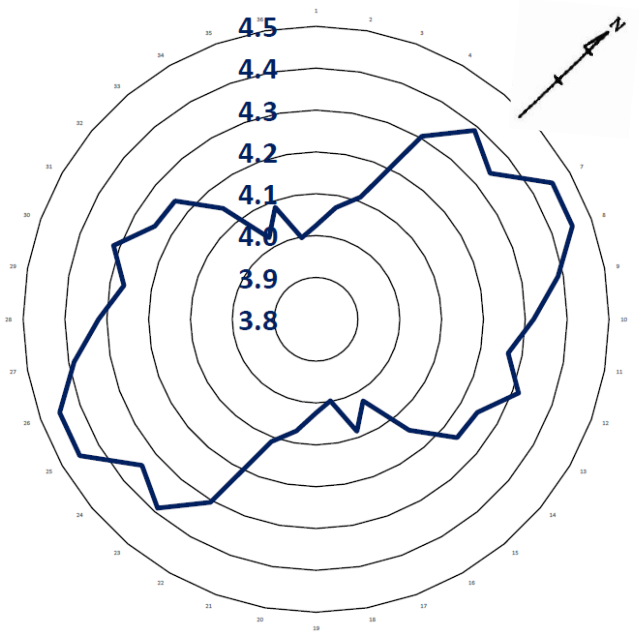
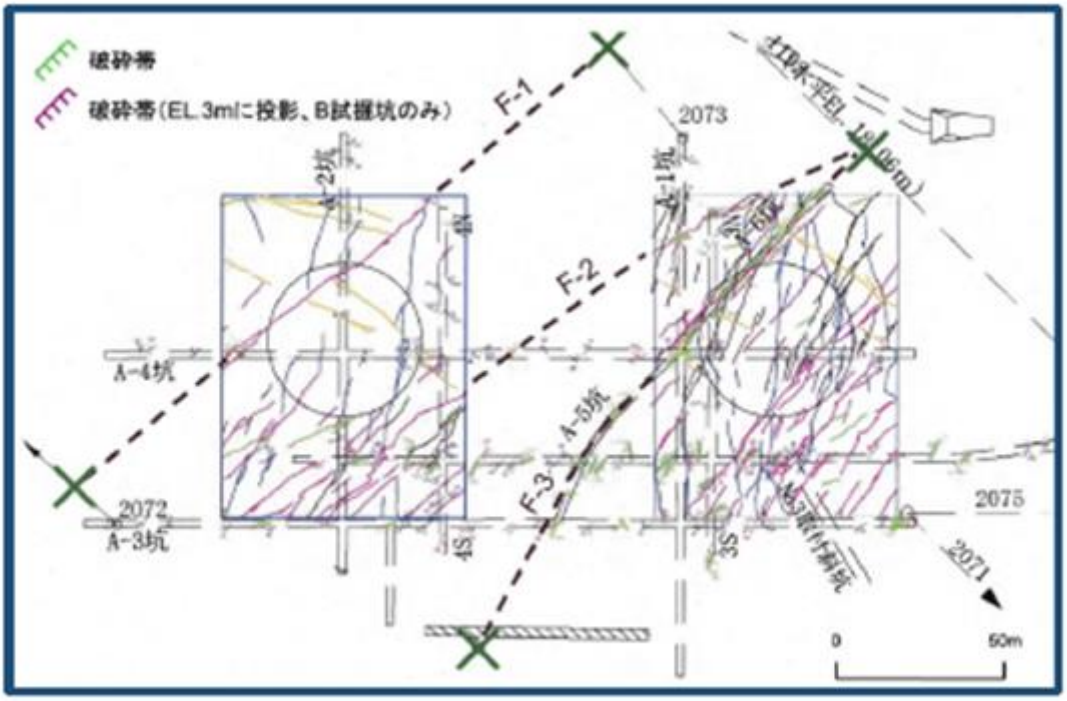


図 15-2. P 波速度の異方性：坑間速度の平均の方位分布.
上図の方位分布を方位 10 度刻みでの算術平均.
反対方向に進む波の速度は同じとして平均. 中心が 3.7km/s、外周が 4.5km/s.



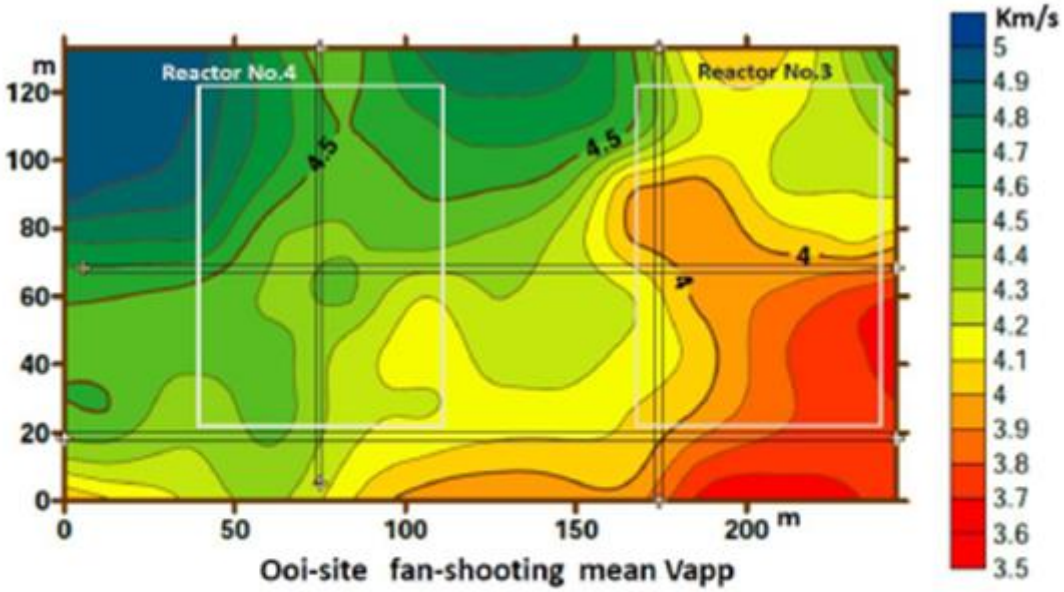


図42 3、4号炉基礎岩盤の破砕帯分布と平均P波速度の分布の関係.
上図: 図40の破砕帯分布の図を拡大.
下図: 試掘坑坑間平均 P波速度の分布(図10).
P波速度は破砕帯の分布に大きく関係していることが明瞭である.

図 16-1. P 波速度のコンター図と断層破砕帯とそれに付随するシームの分布図.
速度の場所に依る変化はシームの分布密度に関係している.
[3] 甲第 244 号証付図の図 42 を転載.

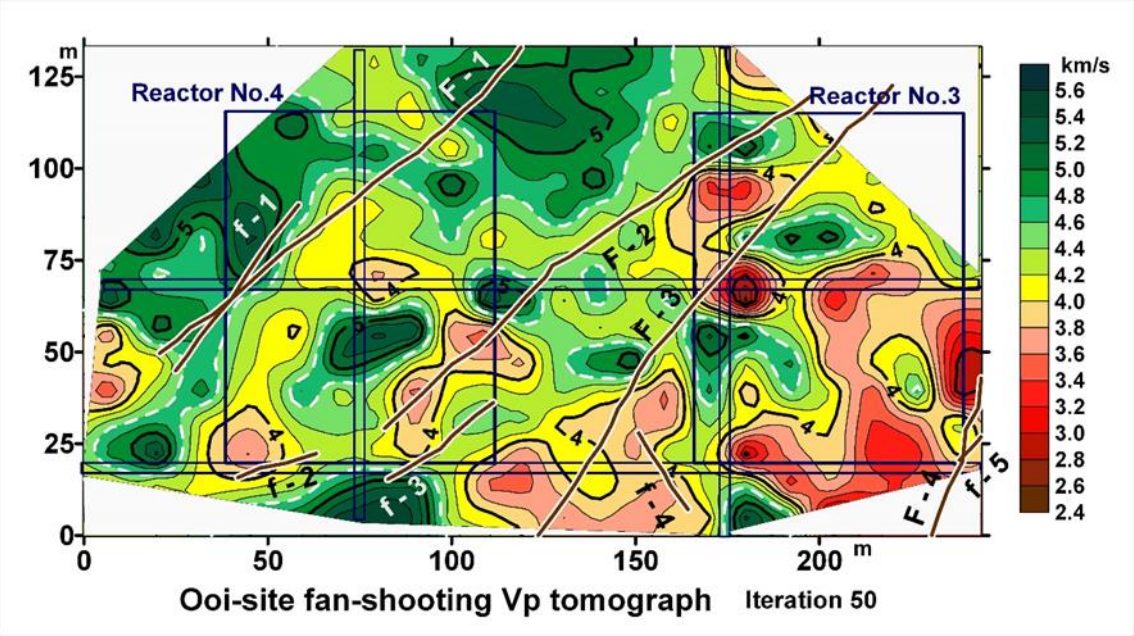


図 16-2. 反復修正 50 回後の修正モデルによる P 波速度のコンター図.
シームの分布密度に相関して西から東へ速度が低下することに加え、
数 10m 規模のパッチ状の塊が 1km/s 以上の速度差を生じている.
速度の急変域および低下域は、断層破砕帯に対応している.
茶線：断層破砕帯(F-1～F-4、f-1～f-5)、白抜き破線：4.6km/s のコンター.