

福島県沖地震（2021/2/13）におけるタンク滑動事象を踏まえた 追加調査・検討および対策方針

2021年11月9日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. 福島県沖地震（2021/2/13）のタンク滑動発生状況

- 福島県沖地震（2021/2/13）による中低濃度タンク（1,074基）の影響を確認するため、点検調査を実施し、53基のタンクで滑動を確認。12箇所¹の連結管でメーカー推奨変位値の超過を確認。
- メーカー推奨変位値を超える連結管は、Dエリアでのみ発生していることを踏まえ、その滑動量の特異性の要因について追加調査や解析的な検討を行った。

※1：滑動を確認したタンクに外観上異常は確認されていない

| 分類 | エリア | 基数 | 漏えい有無調査 | | 滑動有無調査 | | 連結管点検 | |
|-----------------------------------|------------|-------|---------|----|--------|------------|-------|-------------|
| | | | 対応 | 結果 | 対応 | 結果 | 対応 | 結果 |
| 1~4号機由来の 処理水貯留タンク (中低濃度タンク) | Dエリア | 1,074 | 済 | 無 | 済 | 有※1 13基 | 済 | 異常有 12箇所 |
| | Dエリア 以外 | | | | | 有※1 40基 | | 異常無 |

| エリア | 基数 | タンク滑動 | | | 連結管メーカー 推奨変位値 超過箇所 (超過数/調査数) |
|----------------|------|-------|----|---------------|---------------------------------------|
| | | 有無 | 基数 | 最大滑動量 (mm) | |
| B | 37 | 有 | 6 | 50 | 0/15 |
| D | 41 | 有 | 13 | 190 | 12/45 |
| H 1 | 63 | 有 | 7 | 30 | 0/14 |
| H 4 S | 51 | 有 | 1 | 40 | 0/1 |
| H 4 N | 35 | 有 | 13 | 90 | 0/27 |
| J 4 | 35 | 有 | 3 | 30 | 0/8 |
| J 5 | 35 | 有 | 7 | 30 | 0/14 |
| 多核種除去設備サンプルタンク | 10 | 有 | 3 | 50 | - |
| その他 | 767 | 無 | 0 | - | - |
| 合計 | 1074 | | 53 | | 12/124 |

1. 特異的なDエリアタンクの滑動量の要因調査・検討

①タンク・基礎の設計・施工条件等の整理

- タンク・基礎の設計・施工条件等は、他エリアと同等で特異な条件は無い。

②地質的な特異性の追加調査

- 既実施のボーリング調査に加え、Dエリアの四隅において追加ボーリング調査を実施。結果、基礎地盤（タンク基礎下の地盤改良部の更に下部：段丘堆積層）は十分な地盤強度を有している（N値※の平均は10以上）。

※：N値：ボーリング調査において一般的に用いられる、標準貫入試験（JIS A 1219）により地盤強度等を求めた試験結果。「規定の質量・高さによる打撃によりボーリングロッドを30cm打込むのに必要な打撃回数」で定義される。

- なお、1F設置前の地形等にも弱地盤の要因（谷地形等）は見当たらない。

③地震動の検討

- 福島県沖地震（2021/2/13）の観測データ（剥ぎ取り波）を用いて、Dエリアの地震応答解析を実施し、基礎上面で500gal（水平）程度の加速度が生じていた事を確認。
- 過去の地盤調査データに基づいて、他の複数エリアの地震応答解析を実施した。いずれもDエリアとほぼ同程度の加速度が生じたものと推定され、特異性は見られない。

2. タンク滑動量の再現

- タンク滑動量の再現解析を実施したが、これまでのところ、100mm未満の滑動量までの再現となっており、実事象（最大190mm）の再現には至っていない。
- 再現できない大きな要因は、今回大きな滑り量を生じたタンクは、単純な滑り現象ではなくタンクのロッキング※あるいは貯留水のスワール※と呼ばれる現象の影響を受けたものと考えられる。※ロッキング：地震により構築物全体が浮き上がる現象 スワール：回転を伴う内容液の液面揺動

<追加調査・解析検討の結論>

- 特異的なタンクの滑動事象が発生したDエリアに関し、追加のボーリング調査・解析検討を実施したが、これまでのところ、他エリアと比較して特異性の要因となり得るものは解明出来ていない。
- 地震動によるタンク滑動量を適切に想定することは現時点では難しいが、引き続き、地震観測データの蓄積・分析・評価等により特異性の要因も併せ検討していく。

<対策方針>

- 上記の結論を踏まえ、地震時のタンク滑動により「連結管破断」が発生する前提で、系外に漏えいさせない対策を検討中。
 - 貯留タンク：処理水貯留後は全てのタンクの連結弁を「閉」とする。
 - 運用タンク：運用に必要な範囲で連結弁を開とする。また、タンクの連結弁は遠隔制御可能なものに変更し、地震発生時に速やかに連結弁を「閉」と出来る運用をする。

(2021年度中に詳細な遠隔操作弁の仕様を確定する計画)

- 7月より33.5m盤のタンクエリアに（D・H4北・K4）に地震計を設置し、データを取得中である。引き続きデータを蓄積し、Dエリアの特異性等について分析・評価し、必要に応じて追加の対策を検討していく。

- 設置地震計：3号原子炉建屋設置と同型
- 目的：2/13の地震動によるタンクエリア等への影響を踏まえ、下記を目的として33.5m盤に地震計を設置・観測する。
 - ① 2/13の地震動で滑動基数・滑動量が特異的だったタンクエリア (D・H4北)の地震動と、その他タンクエリアでの地震動の比較
 - ② 地震時のタンク振動の観測結果への影響を確認
 - ③ 地震による変状発生時の設備健全性検討
- 設置位置：4地点 (次ページ)
- 今回設置の地震計は早期観測開始を重視しており、長期観測に適した地震計を別途設置あるいは設置目的完遂の場合等には適宜観測終了・引継ぎ等していく。

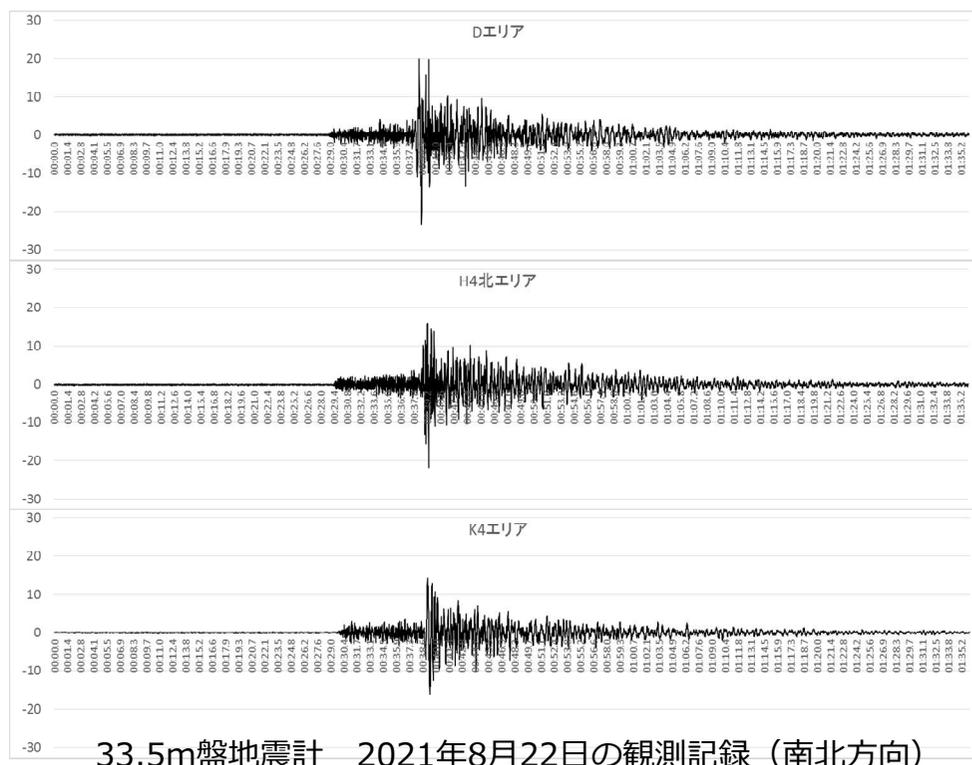
33.5m盤 地震計設置工程

| 項目 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 |
|------------------|-----------------|----|----|----|----|----|
| 既設基礎上に設置 (1基) | 地震計手配・設計 | 設置 | 観測 | | | |
| 地震計基礎追設後に設置 (3基) | 地震計手配・設置位置確定・設計 | | 設置 | | 観測 | |

- 7月末に設置後、下記の回数の地震について観測しデータを取得している。

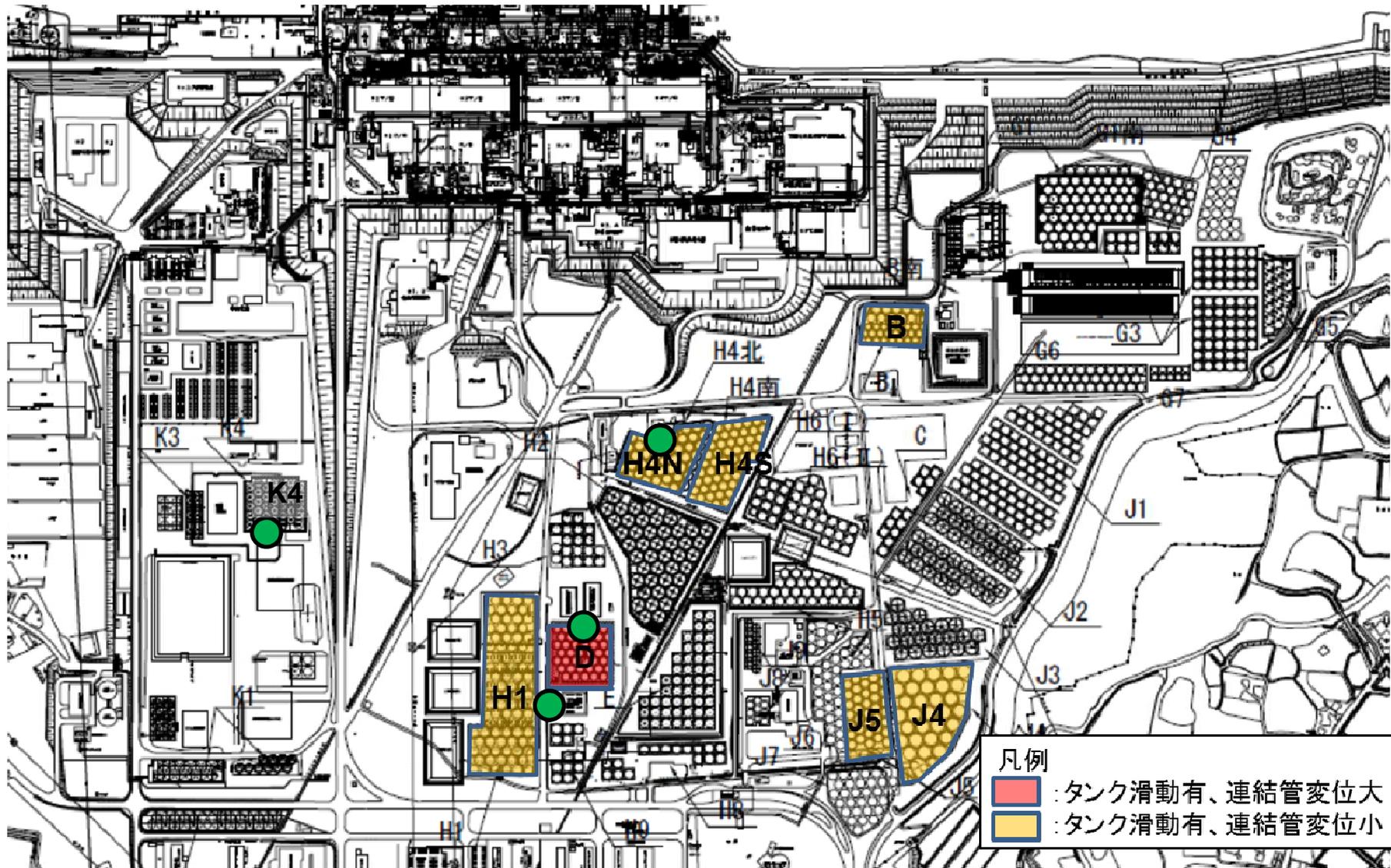
| エリア | D | | H4北 | K4 |
|-----|----|-----|-----|----|
| | 基礎 | 基礎外 | | |
| 7月 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 8月 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| 9月 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 10月 | 2 | 2 | 2 | 2 |

- データ観測例：2021/8/22



| 設置場所 | 最大加速度(gal) | | |
|--------|------------|------|------|
| | NS | EW | UD |
| Dエリア | 23.1 | 22.5 | 14.1 |
| H4北エリア | 21.7 | 26.5 | 20.6 |
| K4エリア | 16.2 | 14.1 | 11.7 |

33.5m盤地震計 2021年8月22日の観測記録（南北方向）



● : 地震計設置位置

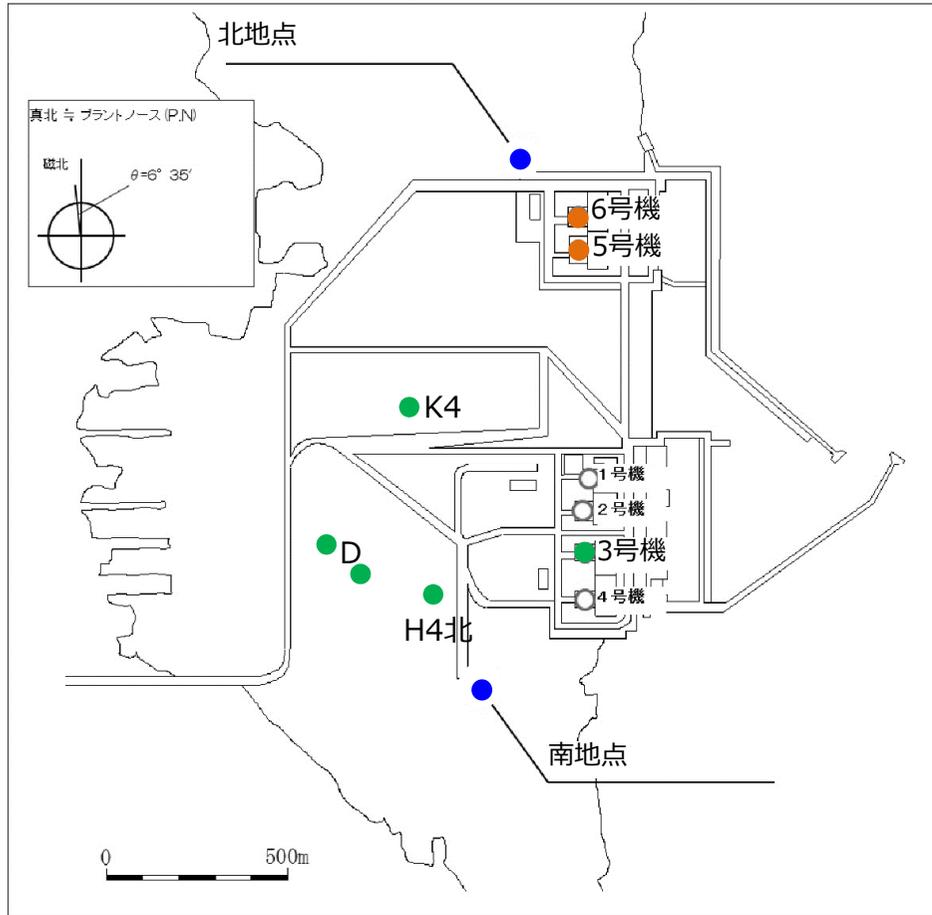
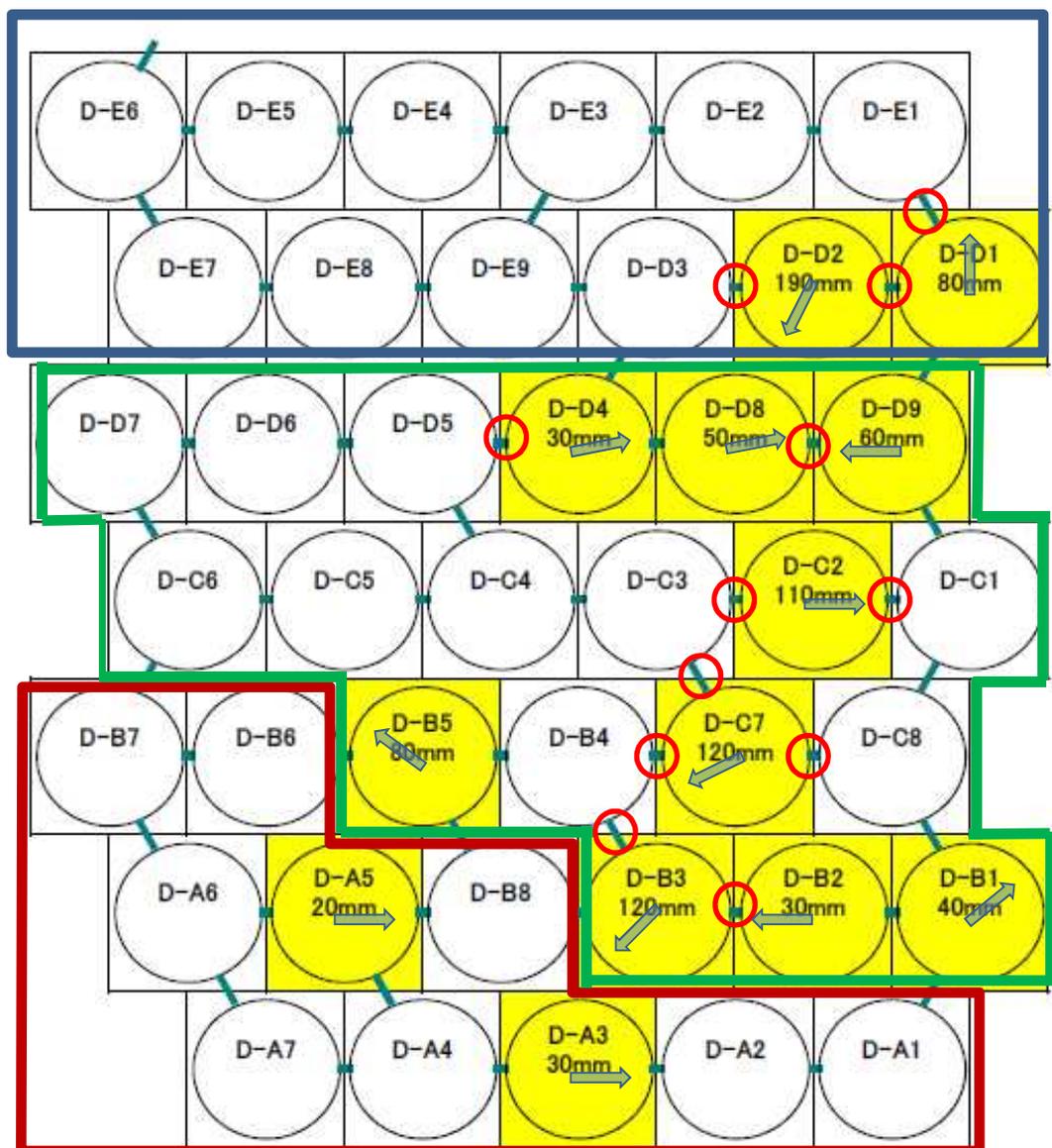


図1 福島第一における地震観測（全体）

| | | 観測点 | 役割 |
|-------|--------|-------------------------------|---|
| 建屋系 | 5号機建屋 | R/B (基礎版) | ・ 運用に利用 (バックアップ) |
| | | R/B (中間階) | ・ 建屋の振動特性分析に利用 |
| | 6号機建屋 | ※ R/B (基礎版) | ・ 運用に利用 |
| | | R/B (中間階) (最上階) 各箇所 | ・ 建屋の振動特性分析に利用 |
| 自由地盤系 | 自由地盤系 | 南地点 | ・ 大規模な地震が発生した際、基準地震動や過去の地震記録との比較等に利用 |
| | | 北地点 | ・ 同上 |
| その他 | 3号機建屋 | R/B (1階) | ・ 建屋の経年変化の傾向把握への適用性検討のために設置 |
| | | R/B (5階) | |
| | 33.5m盤 | Dエリア (2カ所) H4北エリア K4エリア | ・ 2021/2/13の地震動で滑動基数・滑動量が特異的だったタンクエリア (D・H4北) の地震動と、その他タンクエリアでの地震動の比較 等 |

※ : 大きな地震の場合には、最大加速度値 (水平・垂直) をお知らせ



○ : メーカー推奨変位値
超過箇所

RO処理水

Sr処理水

濃縮廃液

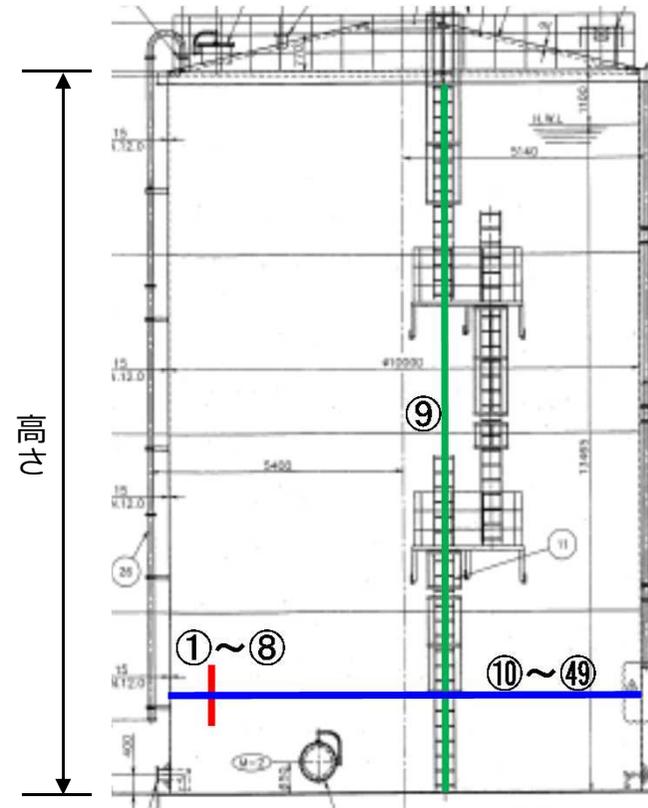
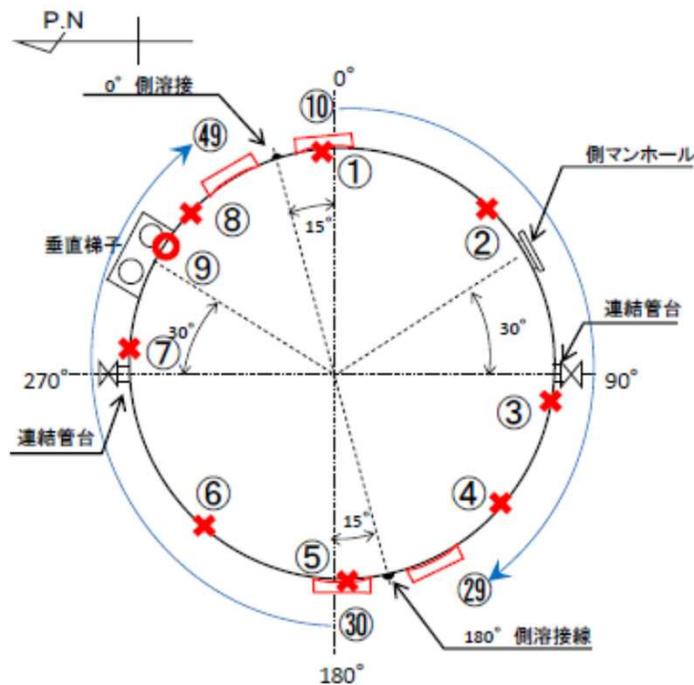
滑動が確認されたタンク
→ : 滑動の向き

- 滑動したタンクエリア及び滑動しなかったタンクエリアの代表（G6エリア）の設計・施工条件等を整理。

| エリア | D | H4北 | B | H4南 | J4 | H1 | J5 | 増設 高性能 ALPS | G6 |
|-------------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|--------|--------------------|--------|
| タンク基数（基） | 41 | 35 | ①10 ②27 | ①13 ②38 | ①30 ②5 | 63 | 35 | 6 | 38 |
| 滑動基数（基） | 13 | 13 | ①3 ②3 | ①1 ②0 | ①3 ②0 | 7 | 7 | 3 | 0 |
| 地震時の水位(m) | 約4.5 ～ 約12.4 | 約10.3 | ①約13.6 ②約13.2 | ①約13.2 ②約13.1 | ①約12.0 ②約12.6 | 約10.5 | 約12.0 | 約1.3 ～ 約12.6 | 約13.7 |
| 最大滑動量(mm) | 190 | 90 | ①50 ②50 | ①40 ②- | ①30 ②- | 30 | 30 | 50 | - |
| 使用開始（年度） | 2014 | 2017 | 2018 | 2017 | 2014 | 2014 | 2014 | 2014 | 2019 |
| 建設方法 | 工場 | 工場 | 工場 | 工場 | ①現地 ②工場 | 工場 | 工場 | 工場 | 工場 |
| 以下、実施計画記載事項 | | | | | | | | | |
| 内径（mm） | 10,000 | 12,000 | ①11,000 ②8,100 | ①10,000 ②10,440 | ①16,920 ②11,000 | 12,000 | 11,000 | 11,000 | 11,000 |
| 胴板厚さ（mm） | 15 | 12 | ①15 ②12 | ①15 ②15 | ①15 ②12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 底板厚さ（mm） | 25 | 12 | ①12 ②12 | ①25 ②22 | ①12 ②12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 高さ（mm） | 14,565 | 11,700 | ①14,900 ②14,730 | ①14,565 ②14,127 | ①12,900 ②13,000 | 11,622 | 13,000 | 13,000 | 14,715 |
| 胴板・底板材料 | SS400 | SM400A | ①SM400C ②SM400C | ①SS400 ②SM400B | ①SM490C ②SM400C | SM400C | SM400C | SM400C | SM490A |

- 地震後にタンクの健全性確認を実施。実施の結果、タンクの変形・歪み等の異常は、確認されなかった。滑動量の大きかったDエリアについては、外観目視に加え、詳細点検（計測）を実施。

【詳細点検（計測）内容】



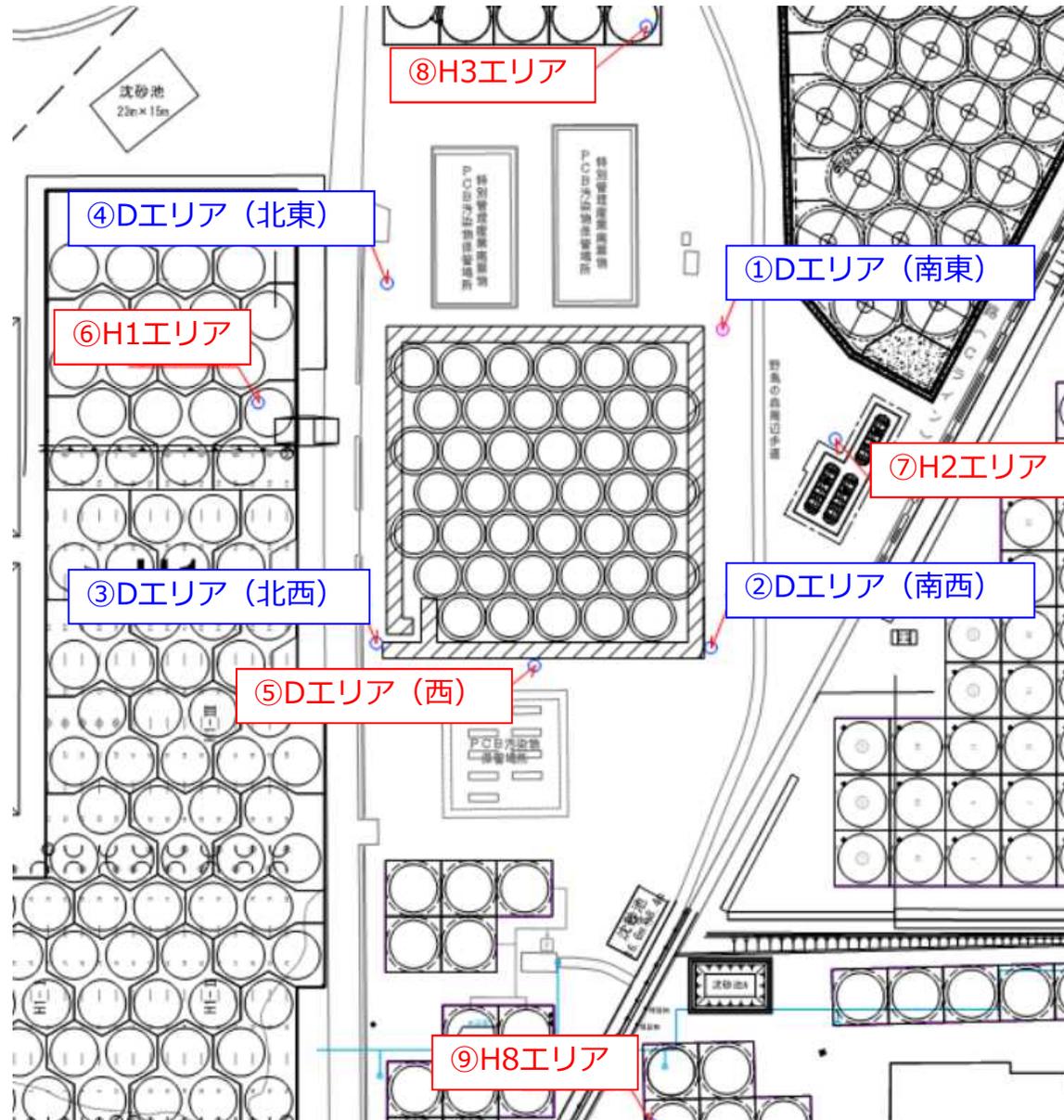
- × : 高さおよび変形(垂直)計測点①～⑧
- : 高さ計測点⑨
- : 変形(水平)計測点⑩～④⑨

- | : 変形計測点(垂直)
- : 変形計測点(水平)
- | : 高さ計測点

【参考】ボーリング調査結果

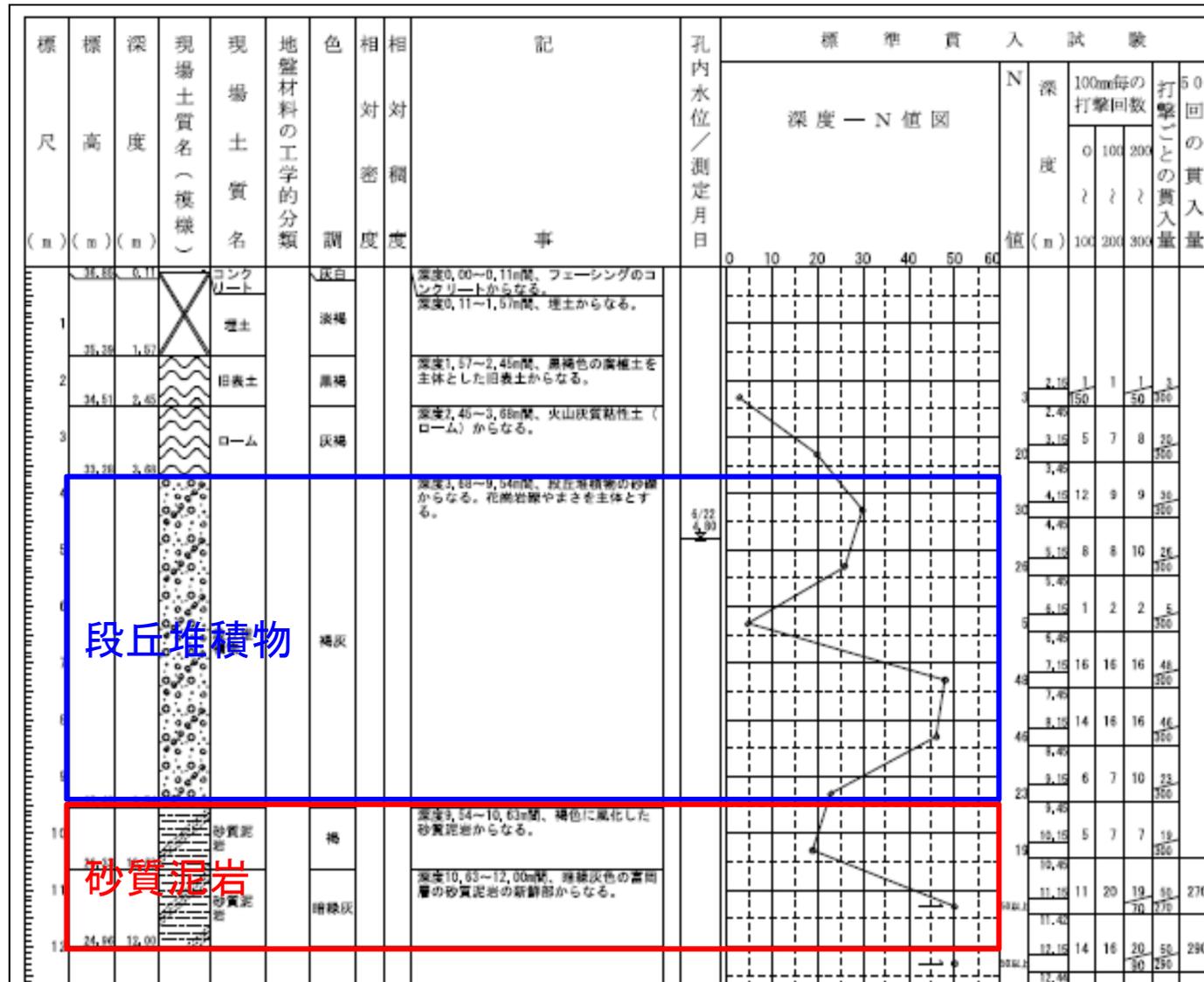
| No. | | ボーリング箇所名 | 地層 | 層厚(m) | N値(平均値) | 地盤固有周期TG(sec) |
|-----|----|-----------|-------|-------|---------|---------------|
| ① | 追加 | Dエリア (南東) | 段丘堆積物 | 5.86 | 29.7 | 0.0946 |
| | | | 砂質泥岩 | 1.09 | 19.0 | 0.0204 |
| | | | | 1.37 | 50.0 | 0.0186 |
| ② | 追加 | Dエリア (南西) | 段丘堆積物 | 6.75 | 26.5 | 0.1132 |
| | | | 砂質泥岩 | 1.71 | 44.7 | 0.0241 |
| ③ | 追加 | Dエリア (北西) | 段丘堆積物 | 5.80 | 27.2 | 0.0965 |
| | | | 砂質泥岩 | 0.36 | 50.0 | 0.0049 |
| | | | | 1.08 | 50.0 | 0.0147 |
| ④ | 追加 | Dエリア (北東) | 段丘堆積物 | 6.87 | 31.4 | 0.1088 |
| | | | 砂質泥岩 | 2.15 | 33.0 | 0.0335 |
| ⑤ | 既設 | Dエリア (西) | 段丘堆積物 | 0.75 | 19.0 | 0.0141 |
| | | | | 5.30 | 28.6 | 0.0867 |
| | | | 砂質泥岩 | 1.63 | 50.0 | 0.0221 |
| ⑥ | 既設 | H1エリア | 段丘堆積物 | 3.80 | 18.5 | 0.0718 |
| ⑦ | 既設 | H2エリア | 段丘堆積物 | 1.00 | 14.0 | 0.0207 |
| | | | | 3.55 | 31.8 | 0.0561 |
| ⑧ | 既設 | H3エリア | 段丘堆積物 | 2.50 | 20.0 | 0.0461 |
| | | | | 5.70 | 27.2 | 0.0948 |
| | | | 砂質泥岩 | 0.25 | 22.0 | 0.0045 |
| ⑨ | 既設 | H8エリア | 段丘堆積物 | 5.40 | 26.4 | 0.0907 |
| | | | 砂質泥岩 | 1.93 | 42.0 | 0.0278 |

追加ボーリング
既設ボーリング



【参考】①：追加ボーリング調査結果

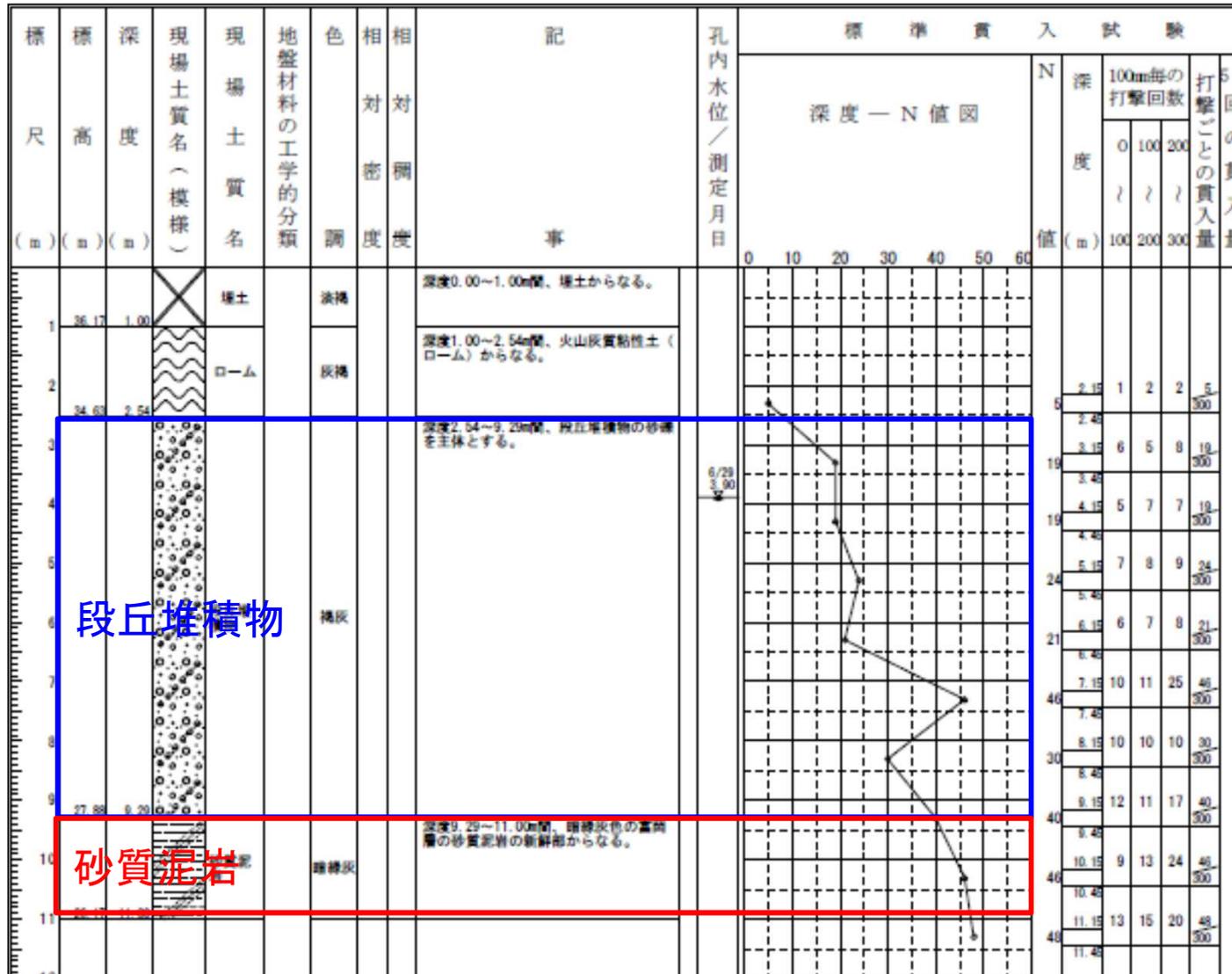
・場 所：Dエリア（南東）



柱状図

【参考】 ② : 追加ボーリング調査結果

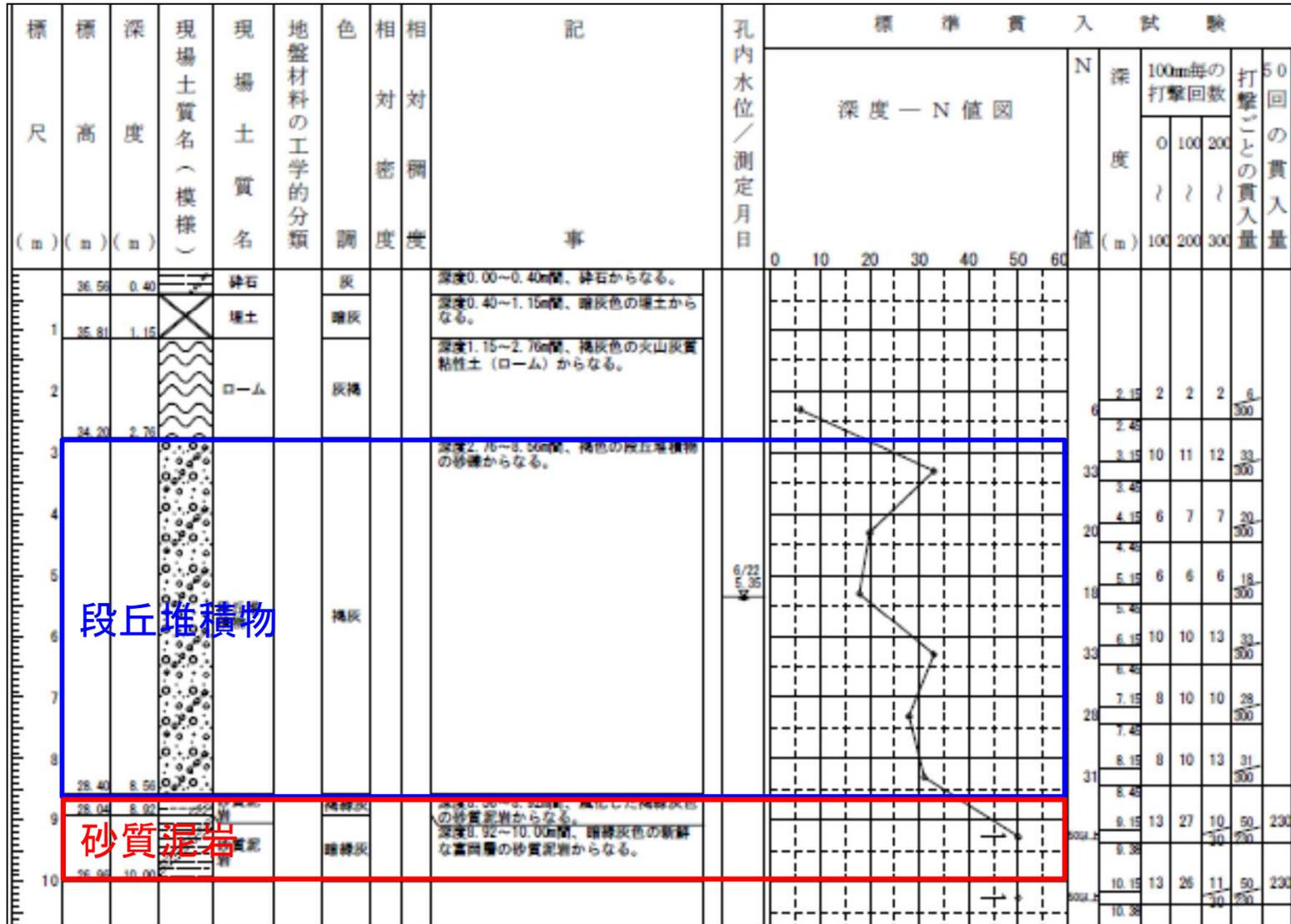
・場 所 : Dエリア (南西)



柱 状 図

【参考】 ③ : 追加ボーリング調査結果

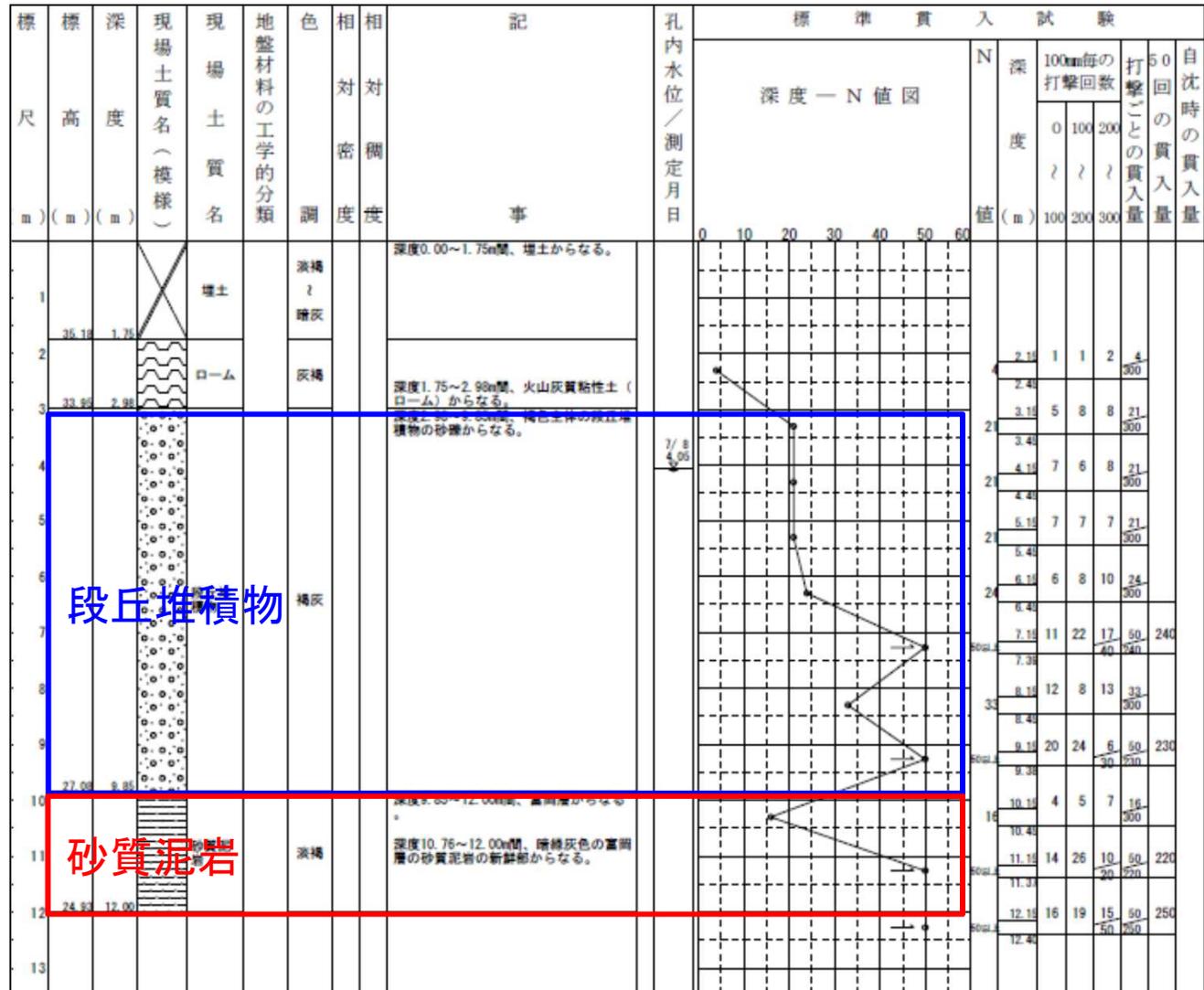
・場 所 : Dエリア (北西)



柱 状 図

【参考】 ④ : 追加ボーリング調査結果

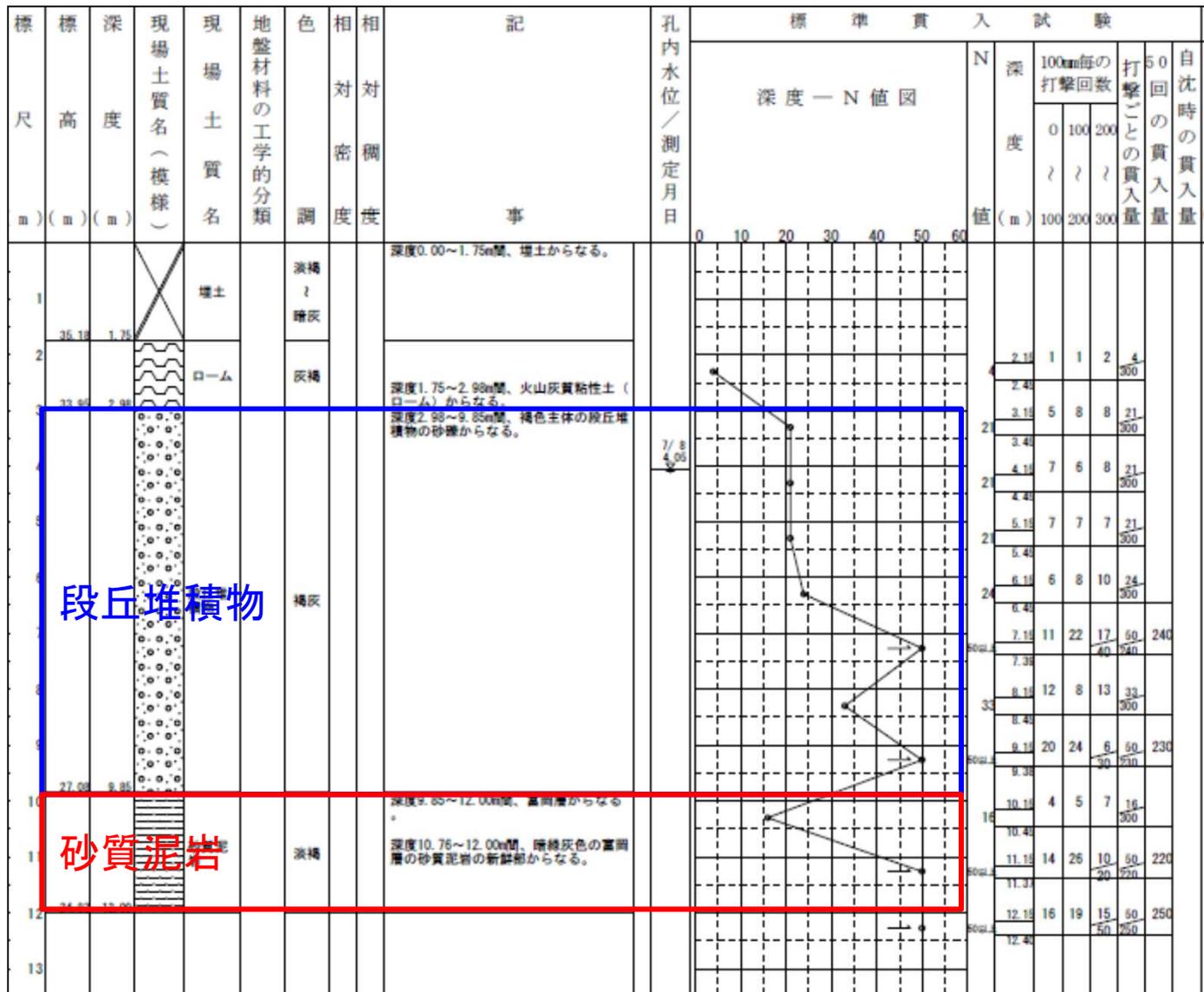
・場 所 : Dエリア (北東)



柱 状 図

【参考】 ⑤ : 既設ボーリング調査結果

・場 所 : Dエリア (西)



柱状図

【参考】 ⑥ : 既設ボーリング調査結果

・場 所 : H1エリア

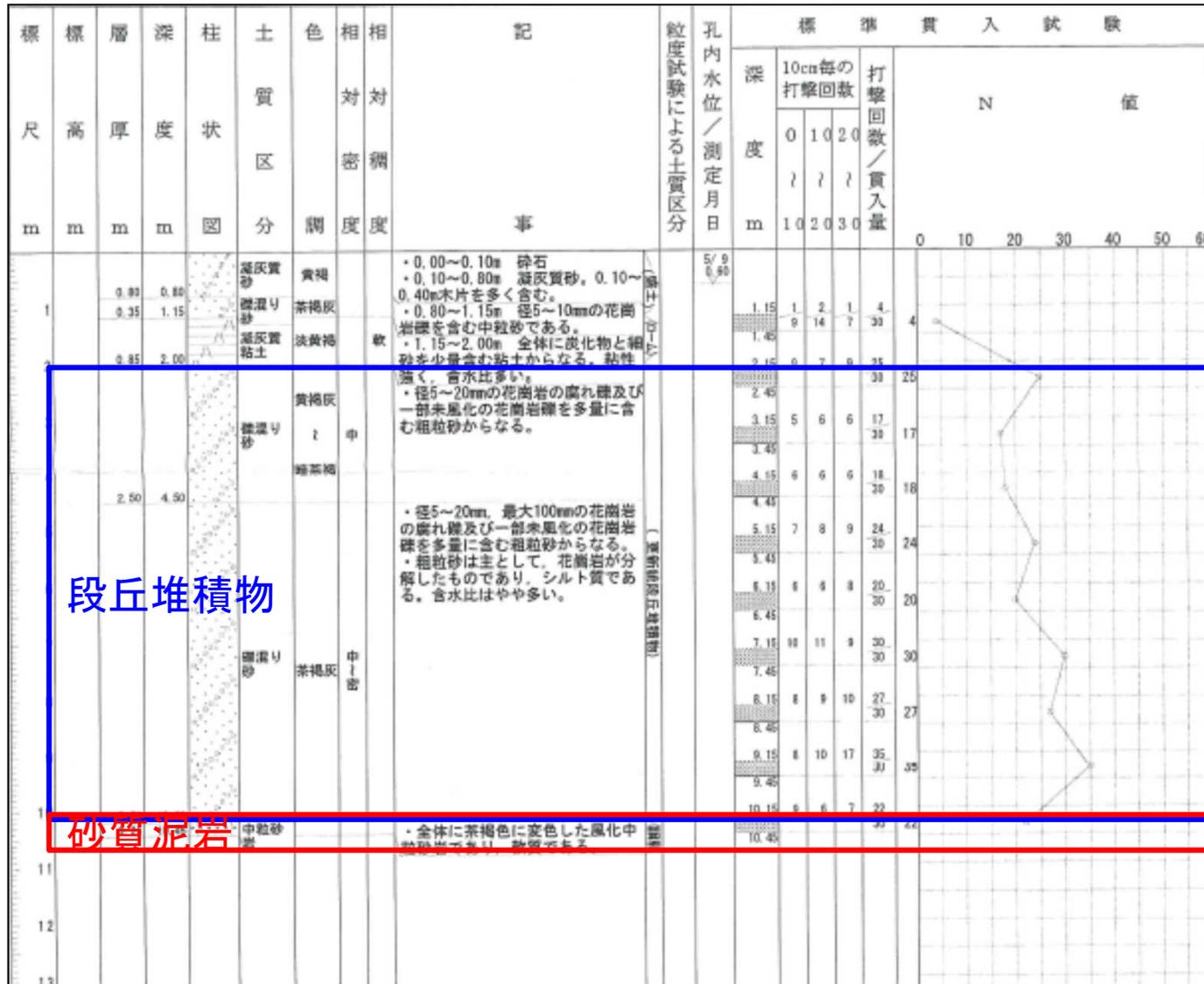
| 標尺 | 深度 | 標高 | 層厚 | 地質 | 記事 | 色調 | 地層名 | 標準貫入試験 | | | | | N 値 | | | | | | | | | | | | |
|----|------|-------|------|---------|---|----|-------|-------------|---------|--------|---------|---------|-----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | 深度 | N値 | 0~10 | 10~20 | 20~30 | N 値 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | | | | | | | | |
| 1 | 0.50 | 36.53 | 0.50 | 碎石 | 小豆~指頭大の垂角~角礫を主体とする砂利から成る。 | 灰 | 表土 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1.53 | 35.50 | 1.03 | シルト混じり砂 | 主に風化褐色化を呈す、未固結軟弱な中~粗粒砂から成る。 0.50~0.60mで草根まじりの土を含む。 | 茶褐 | 盛土 | 1.15 ~ 1.45 | 22 / 30 | 7 / 10 | 7 / 10 | 8 / 10 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 2.20 | 34.83 | 0.67 | 有機質粘土 | 暗褐色を呈す軟弱な草根まじりの有機質シルト~粘土から成る。砂分に乏しく、礫はほとんど含まない。指圧で容易に潰れる。 | 暗褐 | ローム層 | 2.15 ~ 2.5 | 1 / 35 | 0 / 20 | 1 / 15 | / | | | | | | | | | | | | | |
| | 2.65 | 34.38 | 0.45 | ローム質粘土 | やや均質なローム質のシルト~粘土から成り、中~粗粒砂を5%以下を含む。軟弱で指圧で容易に潰れる。 | 茶褐 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 3.15 | | | 砂混じり礫 | 主に風化した末粒~指頭大の垂角~重円礫から成り、一部にシルトを伴う。礫含有率は50~60%程度であり、マトリックスは風化褐色化を呈す淘汰に乏しい粗粒砂が構成される。 3.73~3.83m 帯黄褐色の軟弱なシルト層を挟在する。 3.89m φ 25mmの花崗岩の垂角礫を含む。 4.98~4.92m 帯黄褐色の軟弱なシルト層を挟在する。 5.04m φ 60mm程度の花崗岩の角礫を含む。 5.95m最大φ 65mmの花崗岩の角礫を含む。 | 茶褐 | 段丘堆積物 | 3.15 ~ 3.45 | 17 / 30 | 5 / 10 | 5 / 10 | 7 / 10 | | | | | | | | | | | | | |
| | 4.15 | | | | | | | 4.15 ~ 4.45 | 15 / 30 | 4 / 10 | 5 / 10 | 6 / 10 | | | | | | | | | | | | | |
| | 5.15 | | | | | | | 5.15 ~ 5.45 | 16 / 30 | 4 / 10 | 5 / 10 | 7 / 10 | | | | | | | | | | | | | |
| | 6.15 | | | | | | | 6.15 ~ 6.45 | 26 / 30 | 5 / 10 | 10 / 10 | 11 / 10 | | | | | | | | | | | | | |

段丘堆積物

柱状図

【参考】 ⑧ : 既設ボーリング調査結果

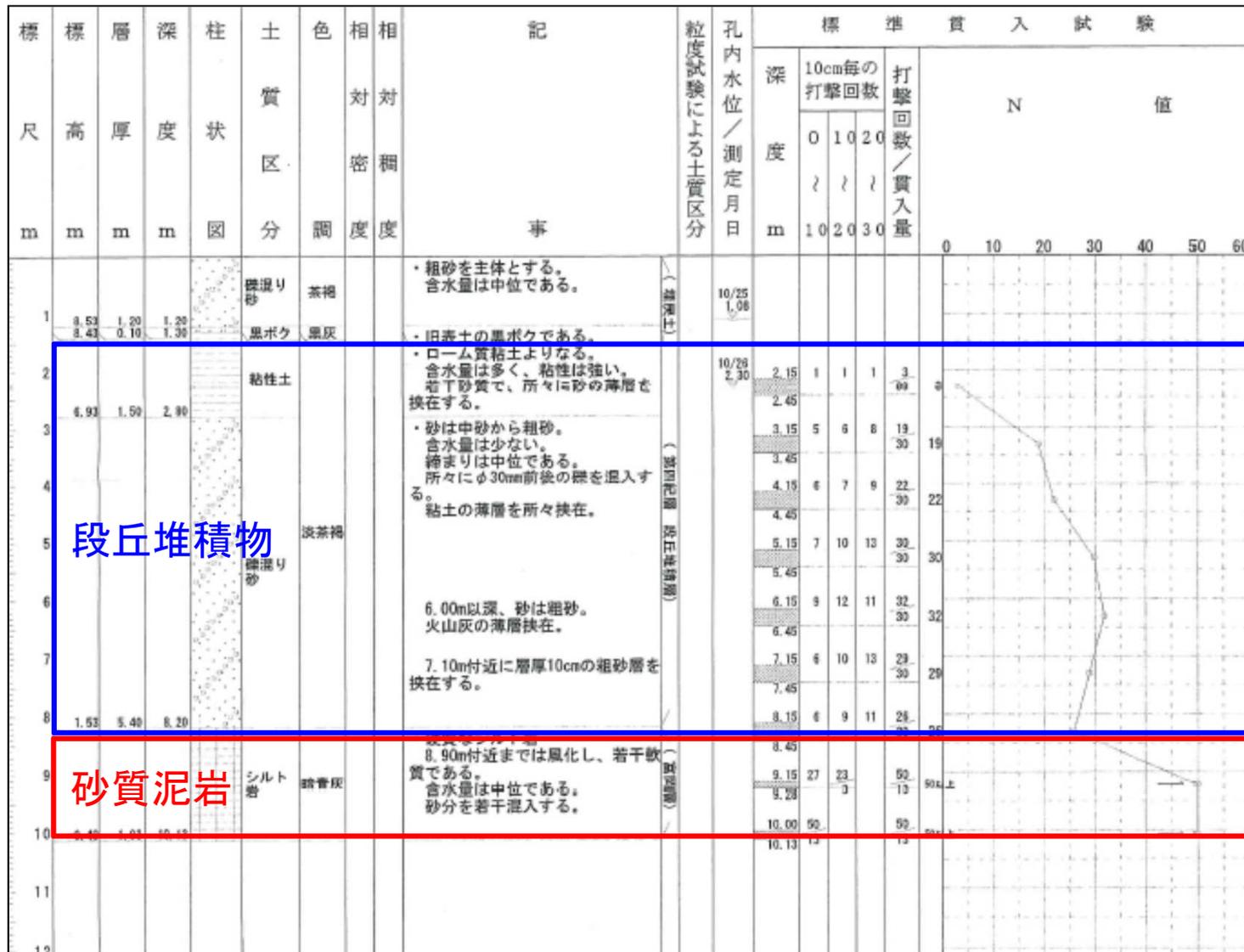
・場 所 : H3エリア



柱 状 図

【参考】 ⑨ : 既設ボーリング調査結果

・場 所 : H8エリア



柱状図

福島県沖地震（2月13日）に対する耐震評価について

2021年11月9日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

福島県沖地震（2月13日）に対する耐震評価スケジュール

- 福島県沖地震（2月13日）の観測データ（剥ぎ取り波）を用いて耐震評価を実施中
- 評価対象設備は、
 - ・耐震Bクラス設備のうち、裕度が小さい設備（①～⑥）
 - ・貯留設備（⑦）
 - ・建屋内に設置されている燃料プール冷却浄化系や滞留水移送装置（⑧、⑨）

| | 2021年 | | | | | | 2022年 | | 備考 |
|-------------------|-------|----|----|-----|-----|-----|-------|----|---------|
| | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | |
| ①淡水化装置 | ■ | | | | | | | | |
| ②使用済セシウム吸着塔仮保管施設 | ■ | | | | | | | | |
| ③使用済セシウム吸着塔一時保管施設 | ■ | | | | | | | | |
| ④多核種除去設備 | ■ | | | | | | | | 品証チェック中 |
| ⑤雑固体廃棄物焼却設備 | ■ | | | | | | | | 品証チェック中 |
| ⑥増設雑固体廃棄物焼却設備 | ■ | | | | | | | | 品証チェック中 |
| ⑦貯留設備 | ■ | | | | | | | | 品証チェック中 |
| ⑧滞留水移送設備 | | | ■ | | | | | | |
| ⑨燃料プール浄化系設備 | | ■ | | | | | | | |

【機器の選定条件】

- 2月13日地震動が、Bクラス機器共振影響評価地震動（150ガル）以上であったことから、耐震評価を実施する機器は、実施計画第二章で耐震Bクラスで評価している機器から選定する。
- なお、耐震Sクラスで評価した機器及び重要度の低い耐震Cクラス機器は対象外とする。

【条件1】
耐震評価項目で【算出値／許容値】で、
裕度の小さい機器を選定

【条件2】
タンクの滑動量が、評価以上に大きかったDエアータンクの原因究明のために必要な貯留タンクを選定

【条件3】
岩盤に設置された建屋内に設置しているが、地震による損傷時に外部への影響がある機器を選定

- ① 淡水化装置
 - ・逆浸透膜装置
- ② 使用済セシウム吸着塔仮保管施設
 - ・吸着塔
- ③ 使用済セシウム吸着塔一時保管施設
 - ・吸着塔
- ④ 多核種除去設備
 - ・処理カラム交換用クレーン
- ⑤ 雑固体廃棄物焼却設備
 - ・排ガス冷却器
- ⑥ 増設雑固体廃棄物焼却設備
 - ・焼却炉室機器共通架台

- ⑦ 貯留設備
 - ・Bエアータンク
 - ・Dエアータンク
 - ・H4北エアータンク
 - ・H8エアータンク

- ⑧ 滞留水移送設備
 - ・3号機タービン建屋設置弁スキッド
- ⑨ 燃料プール浄化系設備
 - ・6号機熱交換器