

福島第一原子力発電所周辺 の地質・地下水および解析

平成25年8月23日

東京電力株式会社



報告内容の要旨

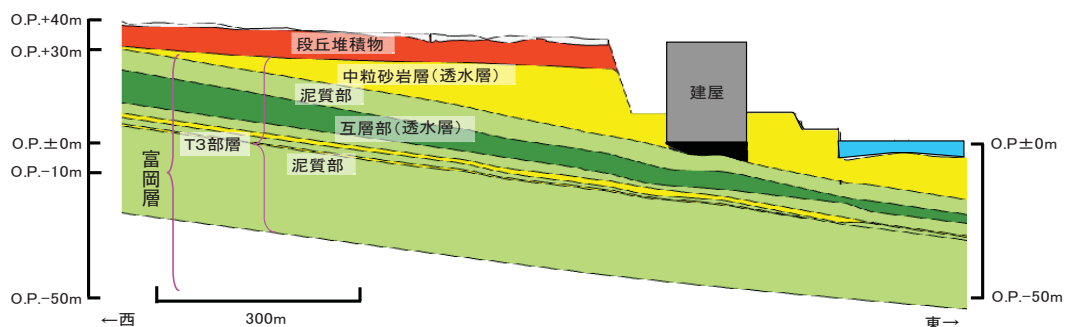
- 福島第一原子力発電所の汚染水対策を検討するにあたり、検討の基礎となる地質、地下水の情報について、既往の調査・評価結果を整理し報告する
- 地下水流動および各対策工の効果の評価を行うために、前記調査、評価結果に基づき三次元浸透流解析のモデルを作成し、解析を実施してきていることから、そのモデルと解析結果を報告する
- 新たに得られた地質・地下水情報の再現性を高めるため、修正した解析モデルと解析結果を報告する
- 今後の調査計画について報告する

目次

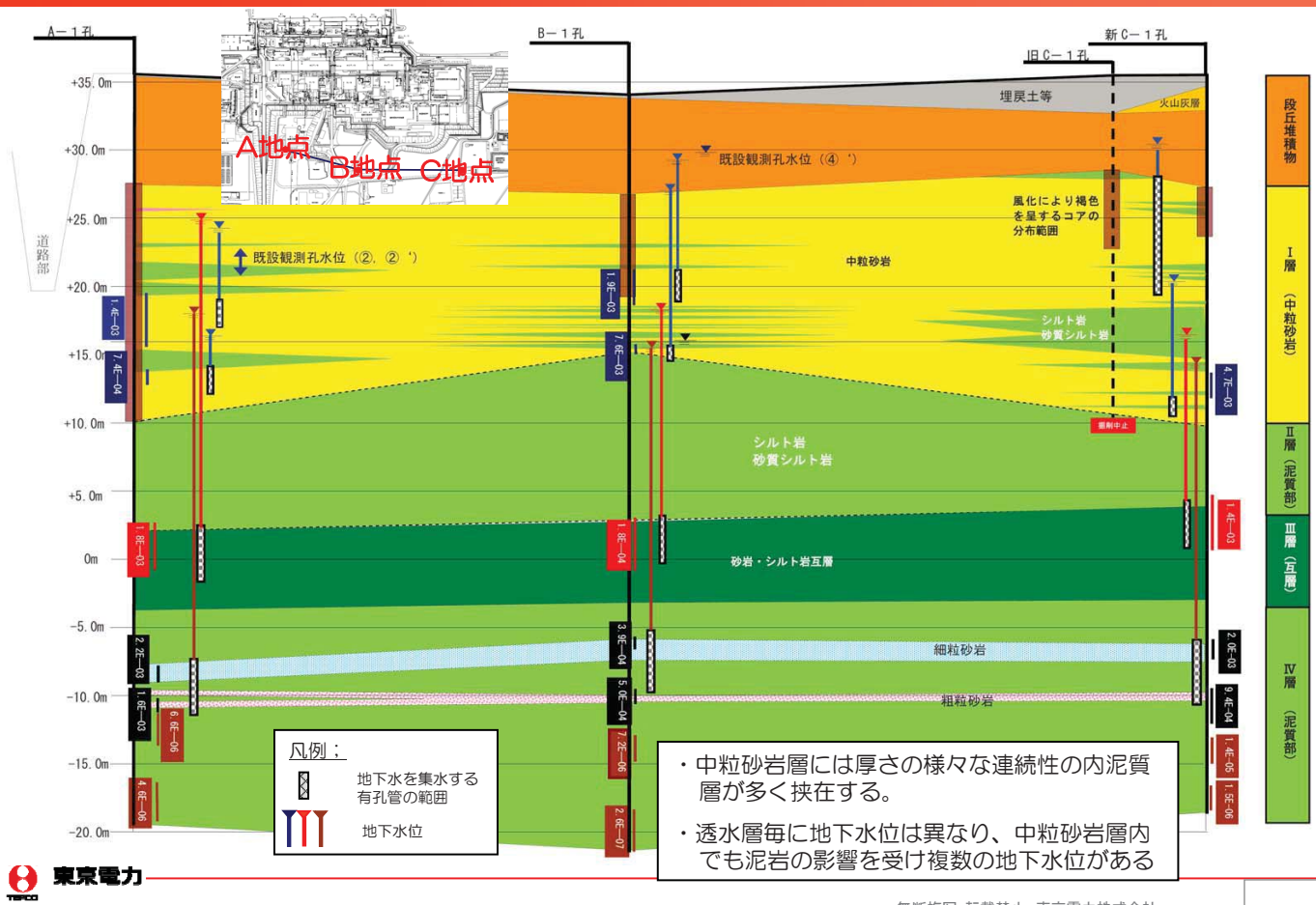
- I. 地質・地下水
 - 1. 地質関連
 - 2. 地下水関連
- II. 浸透流解析結果
 - 1. 三次元浸透流解析モデル
 - 2. 検討ケースと実施状況
 - 3. 解析結果のまとめ
- III. 浸透流解析モデルの修正案とその結果
 - 1. 浸透流解析モデルの修正
 - 2. 修正モデルによる解析結果
- IV. 今後の調査・検討

I-1. 地質関連 (地質構造の概要)

- 敷地内は、新第三系の富岡層が、敷地全域にわたって、O.P.±0m ~ 30m程度を上限に分布する。
- その最上位のT3部層は、主として塊状の砂質泥岩～泥岩からなり、上部から中粒砂岩層、泥質部、互層部（砂岩と泥岩の互層）、泥質部から構成される。
- 富岡層は敷地の全域にわたりほぼ同じ層厚で分布し、南北方向ではほぼ水平に、東西方向では東方に2°程度傾斜する同斜構造を示している。
- 透水層は表層近くに分布する中粒砂岩層と、泥質部の下位に分布する互層部と考えられる。なお、1～4号機東側の海底面は中粒砂岩で構成されており、互層部は海底面に現れていない。
- 2つの透水層は、その間に数～10m程度の厚さで連続して分布している泥質部により遮断されていて、建屋の地下外周部は中粒砂岩層に接している。



I-1. 地質関連 (35m盤ボーリング調査結果図 (震災後))



I-1. 地質関連 (35m盤ボーリング調査結果 (震災後))

- 中粒砂岩層には、厚さが様々な連続性のない泥質層が数多く挟在し、砂質岩のみで構成されていない。
- 透水層ごとに地下水位が異なり、中粒砂岩中でも挟在する泥質層の影響を受け、複数の水位が存在する。
- 中粒砂岩層の不圧水位は、南側の新C-1孔での値が高く、北側のA-1での値が低い。
- 互層の被圧地下水は、北側のA-1での値が高く、南側の新C-1孔での値が低い。
- 各層の地下水位は降雨、採水による影響に対し、異なる挙動を示す。

I-1. 地質関連 (透水係数)

○中粒砂岩層

- ・中粒砂岩の透水係数は、 $3 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 程度
- ・なお、上記の試験結果は、ほぼ100%中粒砂岩で構成される試験区間（中粒砂岩単体）で実施されているが、中粒砂岩には多くの泥岩が挟在するため、中粒砂岩全体の透水係数を中粒砂岩単体の透水係数で評価すると、大きめの透水係数と評価している可能性はある。

○泥岩層

- ・泥岩層の透水係数は、 $1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 程度

○互層部

- ・互層は、数cm～数10cm厚の泥岩・砂岩から構成されているため、鉛直方向と水平方向の透水異方性があると考えられる。

I-2. 地下水関連 (福島第一原子力発電所周辺の地形)

【参考】

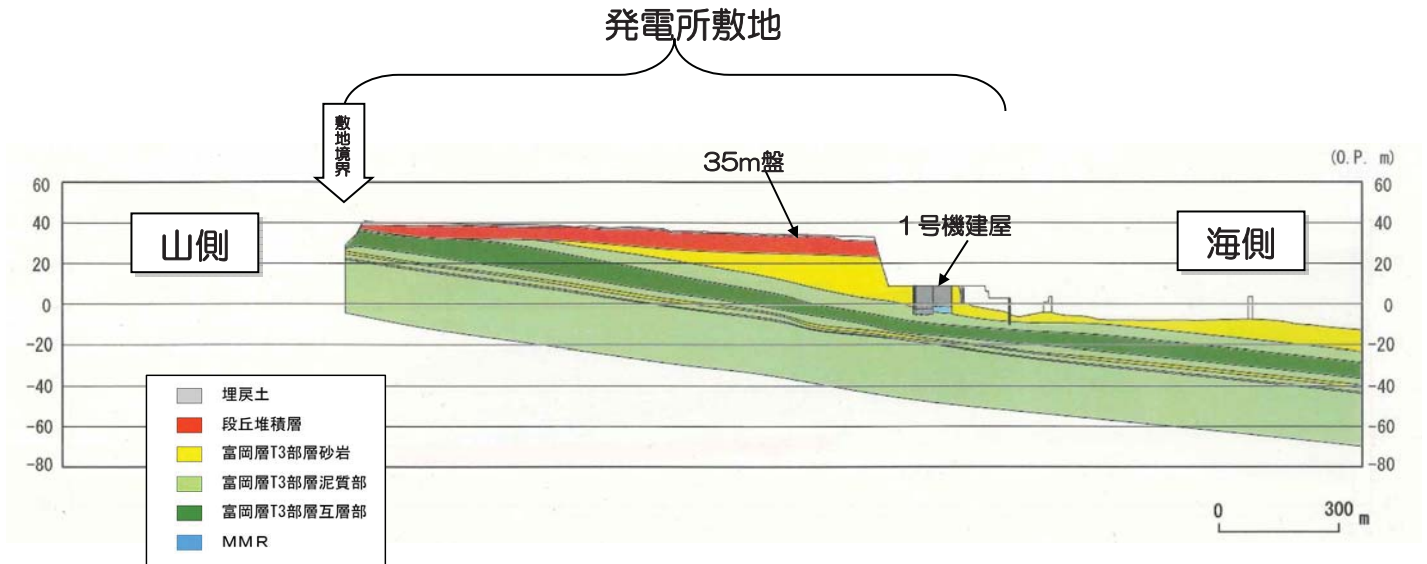
発電所の敷地は、南北を川に挟まれた海拔35m程度の台地であり、海側を掘削し海拔約10mの地盤に、発電所建屋を設置している。



I-2. 地下水関連 (中粒砂岩層と互層部の広域分布)

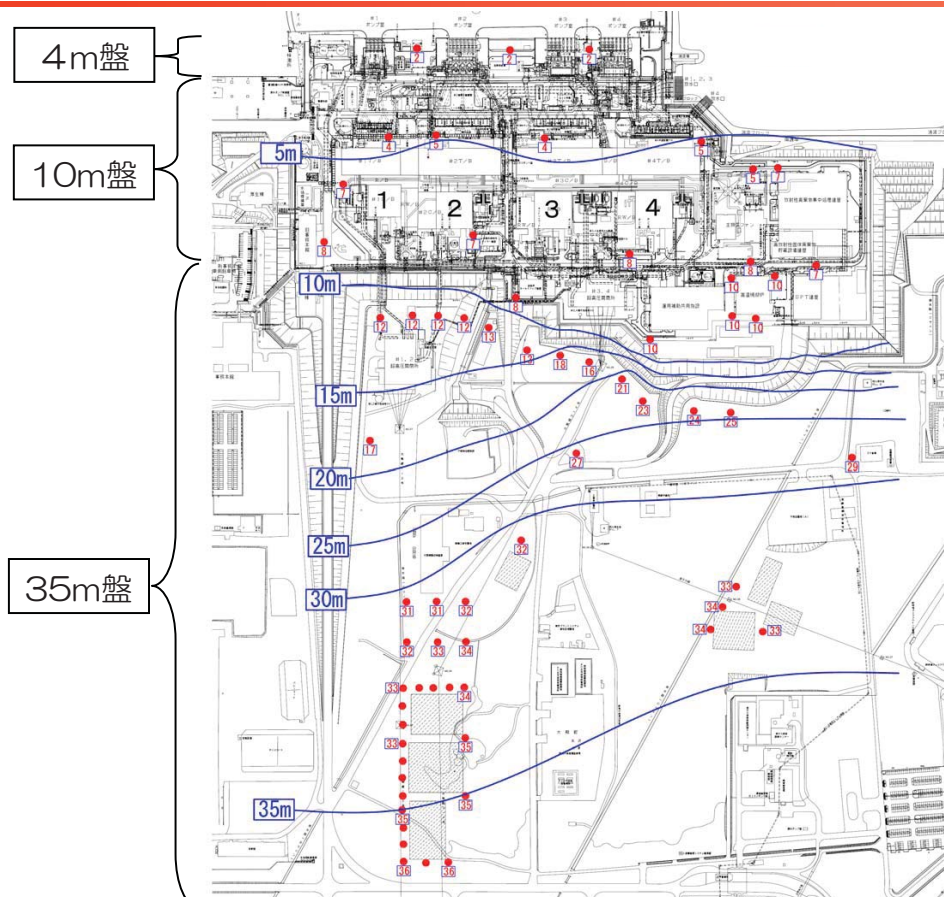
透水層である中粒砂岩層および上位の段丘堆積物は、発電所敷地の35m盤台地より西方には分布せず、その地下水の供給源は、敷地内への降雨が主であると想定される。

下部の透水層である互層部は、敷地西方で地表に露出しており、その付近が互層部の地下水供給源と想定される。



1号機付近の縦断面図

I-2. 地下水関連 (不圧地下水分布図)



I-2. 地下水関連 (不圧地下水位のまとめ)

■ 35m盤

- ・中粒砂岩層の不圧地下水位は、西側から東側へ流れており、やや北東方向へ偏向が認められる。
(O.P.+35~O.P.+10m程度)

■ 10m盤 (建屋西側)

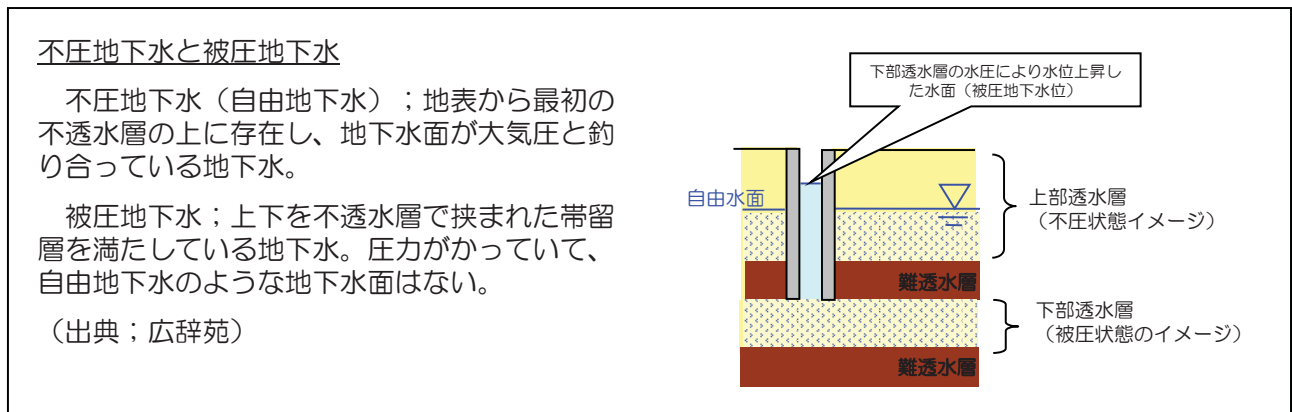
- ・中粒砂岩層の不圧地下水位は、O.P.+8m~O.P.+10m程度

■ 10m盤 (建屋東側)

- ・同じく中粒砂岩層の不圧地下水位は、O.P.+3m~O.P.+4m程度

■ 4m盤

- ・中粒砂岩層の不圧地下水位は、O.P.+2m前後

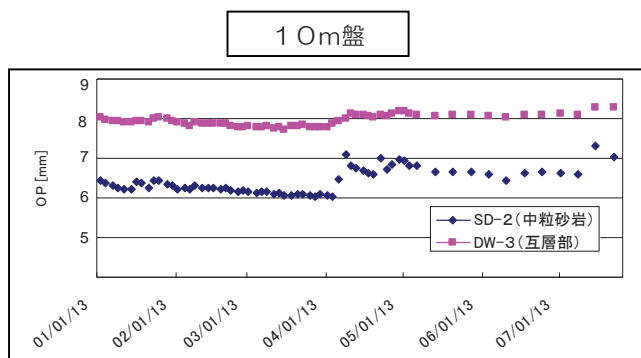


I-2. 地下水関連 (建屋周辺の被圧地下水位と不圧地下水位の比較)

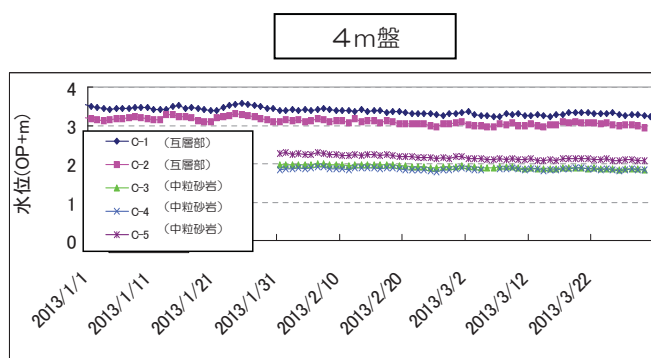
- 互層部と中粒砂岩層の水圧が異なることから、難透水層（泥質部）を挟んで、別の透水層を形成している。
- 4m盤、10m盤において、互層部の被圧された地下水位が、中粒砂岩層の自由水面を有する地下水位より高いことから、この2つの層に連絡があった場合、圧力の高い互層部（下層）から低い中粒砂岩層（上層）へ流れると考えられる。
- 35m盤においても、難透水層（泥質部）を挟んで別の透水層を形成している。水位は中粒砂岩層（上層）の水位が互層部（下層）の被圧地下水位より高い傾向がある。

I-2. 地下水関連 (不圧地下水と被圧地下水の流向評価)

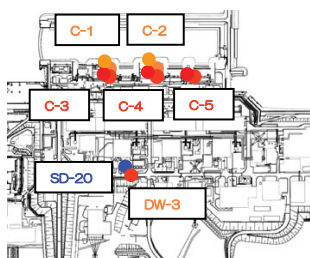
互層部の被圧された地下水位が中粒砂岩層の自由水面を有する地下水位より高い。



- ・中粒砂岩層の不圧地下水位は、O.P.+6m程度
- ・互層部の被圧地下水位は、O.P.+8m程度

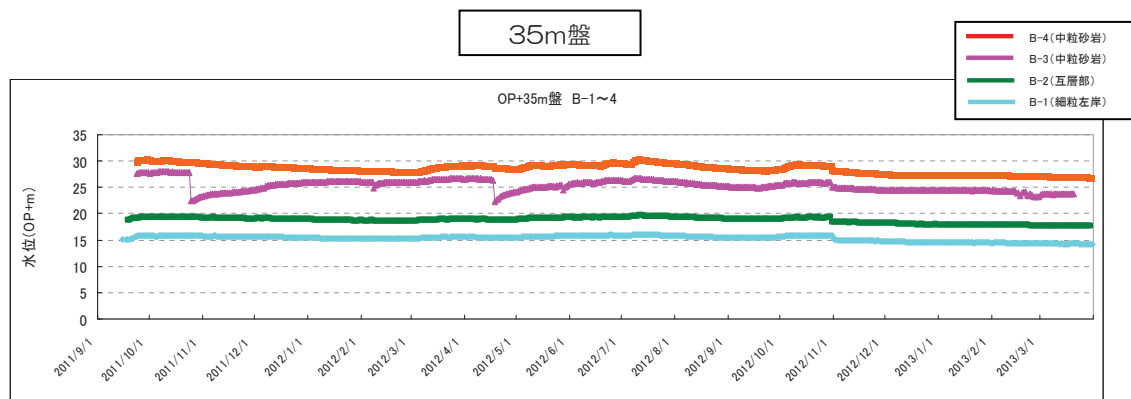


- ・中粒砂岩層の不圧地下水位は、O.P.+2m前後
- ・互層部の被圧地下水位は、O.P.+3m～4m程度

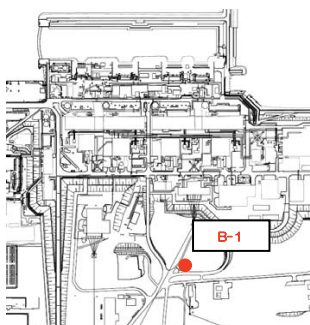


I-2. 地下水関連 (不圧地下水と被圧地下水の流向評価)

中粒砂岩層の自由水面を有する地下水位が互層部の被圧された地下水位より高い。

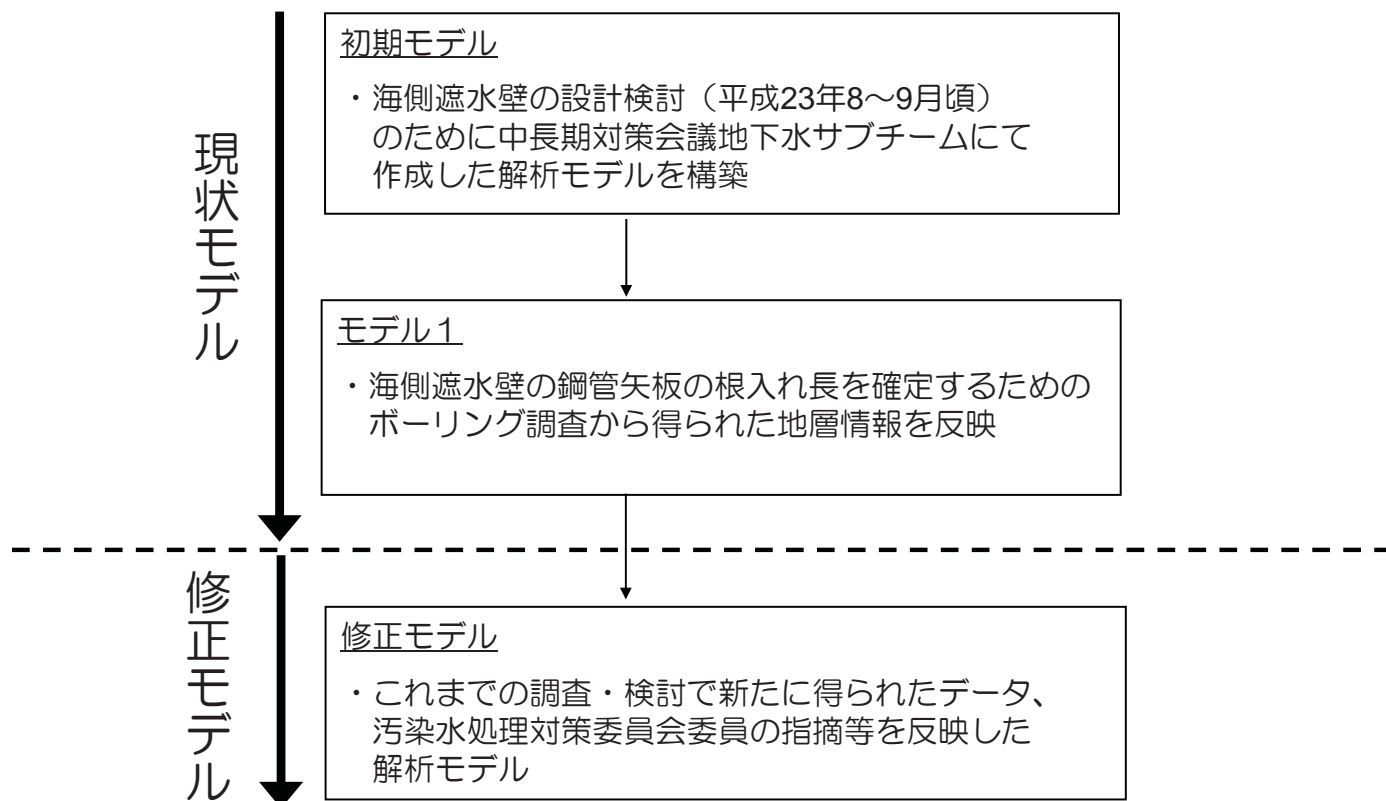


- ・中粒砂岩層の不圧地下水位は、O.P.+20～30m程度
- ・互層部および下位の細粒砂岩の被圧地下水位は、O.P.+15～20m程度



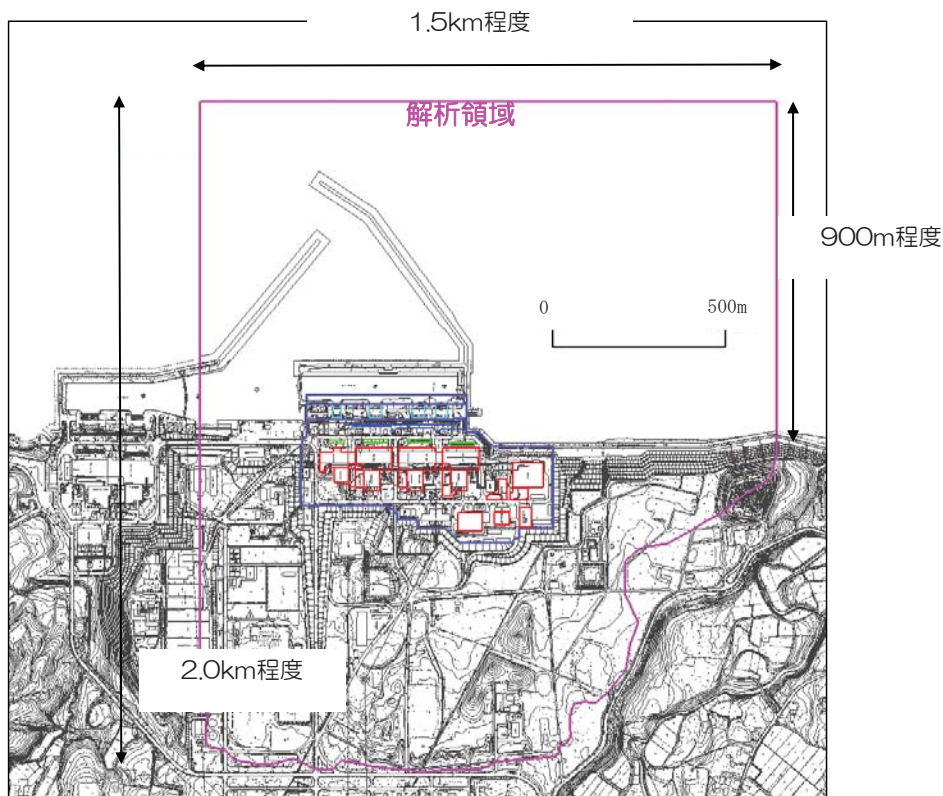
※ 1箇所て4深度の地下水位を測定している

II-1. 三次元浸透流解析モデル (解析モデルの修正履歴)



II-1. 三次元浸透流解析モデル (解析領域)

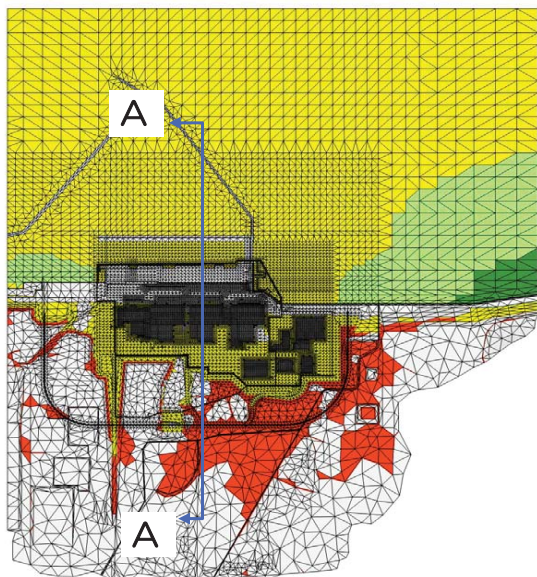
解析領域は尾根筋等を考慮し、1号機～4号機建屋周辺を中心に南北1.5km程度、東西に2km程度



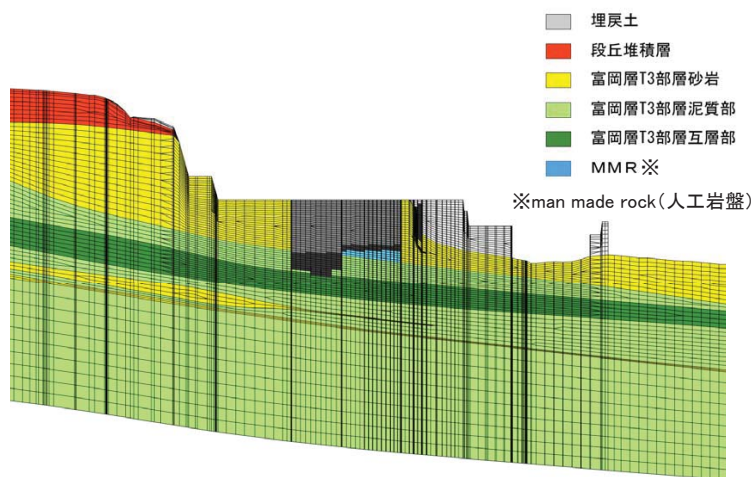
II-1. 三次元浸透流解析モデル (解析メッシュ)

現状・修正モデル

解析領域の下端は、下部の泥質部（富岡層T3層）の下端までをモデル化する



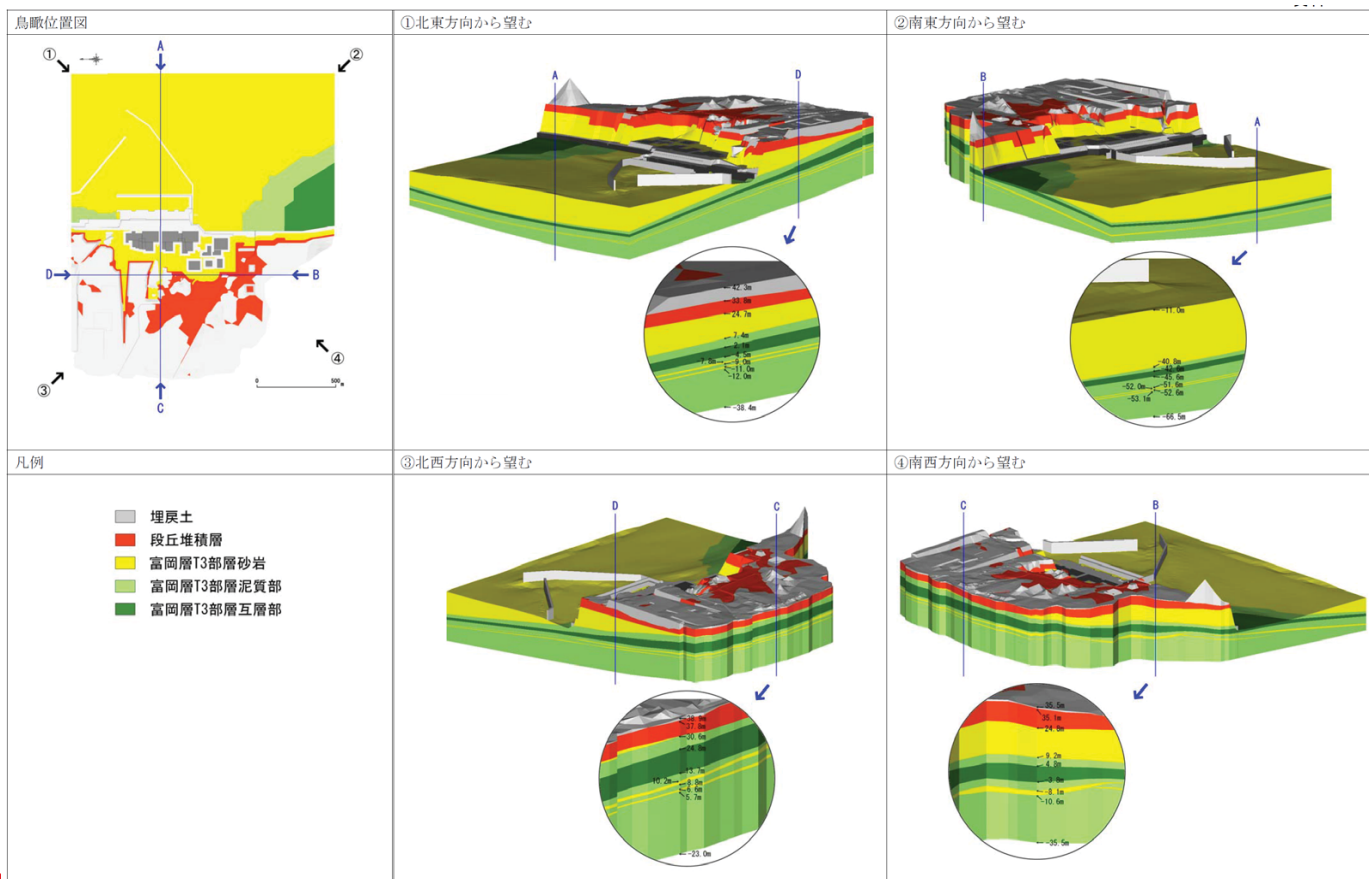
解析メッシュ（全体平面）



解析用メッシュ（A-A断面図）

II-1. 三次元浸透流解析モデル (解析モデル鳥瞰図)

現状・修正モデル



II-1. 三次元浸透流解析モデル (解析物性値)

現状・修正モデル

既往の物理試験結果および山側ボーリング調査結果等を元に設定

地層区分		透水係数(cm/sec)		間隙率	備考
地層名	記号	水平	鉛直		
盛土	bk	2.8E-03	2.8E-03	0.46	-
段丘堆積物	tm	3.0E-03	3.0E-03	0.41	中粒砂岩と同じ値で設定
中粒砂岩	ss	3.0E-03	3.0E-03	0.41	-
泥岩	m1	1.1E-06	1.1E-06	0.54	-
互層	al	1.0E-03	1.1E-06	0.41	異方性を考慮
泥岩	m2	1.1E-06	1.1E-06	0.54	-
細粒砂岩	fs	2.3E-03	2.3E-03	0.41	-
泥岩	m3	1.1E-06	1.1E-06	0.54	-
粗粒砂岩	cs	2.0E-03	2.0E-03	0.41	-
泥岩	m4	1.1E-06	1.1E-06	0.54	-
人工岩	MMR	1.0E-05	1.0E-05	0.30	建屋への流入量(400m ³ /日)を再現できるように、建屋コンクリートの透水係数を1.0E-05cm/secとする
ピット	-	1.0E-05	1.0E-05	0.30	
建屋内	-	1.0E-05	1.0E-05	0.30	
建屋の壁	-	1.0E-05	1.0E-05	0.30	
建屋の床	-	1.0E-05	1.0E-05	0.30	地震による影響を考慮し、透水係数1.0E-04cm/secとする
既設矢板	-	1.0E-04	1.0E-04	0.30	

段丘堆積層は、砂岩と同じ物性値を採用

II-1. 三次元浸透流解析モデル (降雨及び境界条件)

現状モデル

項目		設定条件	備考
降雨条件	年間平均降雨量	1,545mm/年	気象庁データ (福島県富岡：30年平均)
	降雨浸透率	30%	-
境界条件	水位固定境界(海側)	O.P.+1.6m	平均潮位O.P.+0.9 +平均沈下量分(0.7m)
	水位固定境界(山側)	O.P.+20.7	建屋サブドレン水位・揚水量に基づく解析により設定
	モデル北側・南側境界	不透水層	-
	モデル底部境界	不透水層	富岡層T3部層下面

II-1. 三次元浸透流解析モデル (再現性の確認 地下水位分布)

現状モデル

■検討目的

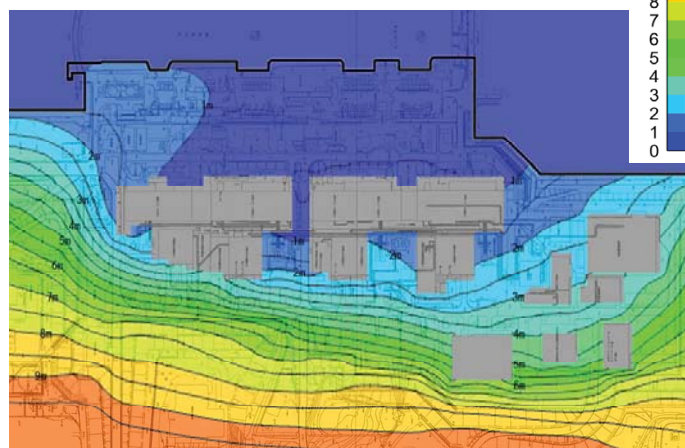
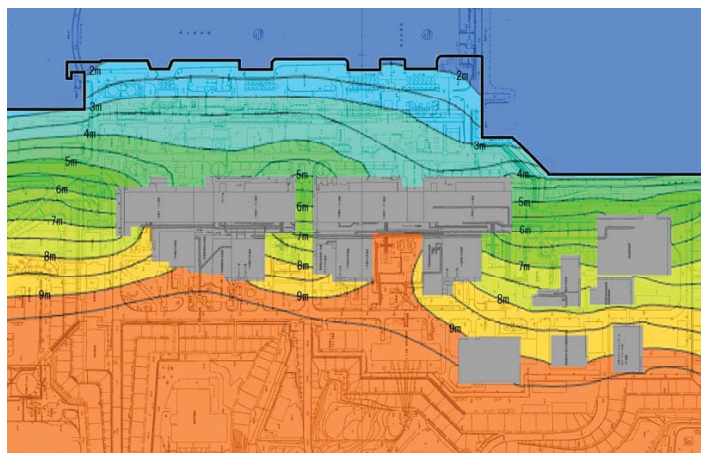
- ・解析モデルの再現性を確認するため、地下水位（震災後）とサブドレン揚水量（震災前）について、実測値と解析値を比較した。

■検討ケース

- ・震災後の再現結果（①）、サブドレン（⑤）

震災後の再現結果（サブドレン停止）

震災前の再現結果（サブドレン稼働）



図：ケース①【初期モデル】

図：ケース⑤【初期モデル】



東京電力

無断複写・転載禁止 東京電力株式会社

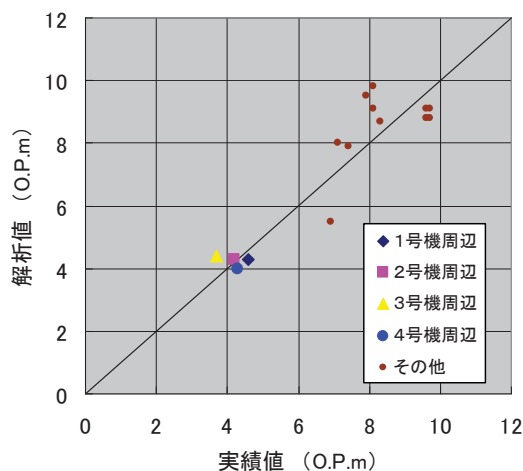
20

II-1. 三次元浸透流解析モデル (再現性の確認 結果)

現状モデル

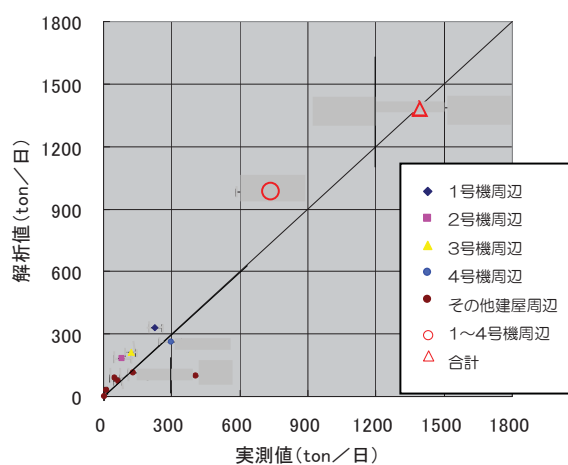
■実測値と解析値の比較

地下水位（震災後）と解析値の比較



観測日 (2011.5.12、2011.7.16)

サブドレン揚水量（震災前）と解析値の比較



観測期間 (2008.3~2011.2)

地下水位と揚水量の実測値と解析値の比較をした結果、近似した値をとることから（45度の直線に近い）建屋回りの地下水位および揚水量を概ね再現できている



東京電力

無断複写・転載禁止 東京電力株式会社

21

II-2. 検討ケースと実施状況

現状・修正モデル

1～4号機建屋周り全体の水理地質構造を対象とした検討ケース

検討ケース	検討の概要	実施状況	
		現状モデル	修正モデル
①震災後の地下水位の再現	・震災後の建屋周り地下水位を再現し解析モデルの再現性を評価	実施済	実施済
②陸側遮水壁	・陸側遮水壁による建屋周辺地下水位低下量の評価	実施済	—
③海側遮水壁	・海側遮水壁設置による集水量の評価	実施済	—
④地下水バイパス	・フル稼働時の建屋周辺地下水位低下、揚水量の評価 ・段階的稼働時の建屋周辺地下水位低下、揚水量の評価 ・稼働後の建屋周辺地下水位低下、揚水量の時間遅れ評価の非定常解析	実施済	—
⑤サブドレン（既往）	・フル稼働時の建屋周辺地下水位低下、揚水量の評価	実施済	—
⑥地下水バイパス+サブドレン	・地下水バイパス、サブドレンフル稼働時の建屋周辺地下水位低下、揚水量の評価	実施済	—
⑦地下水バイパス+海側遮水壁	・地下水バイパス稼働時、海側遮水壁設置による建屋周辺地下水位低下、揚水・集水量の評価	実施済	準備中（9月上旬目途）
⑧地下水バイパス+サブドレン+海側遮水壁	・地下水バイパス、サブドレンフル稼働、海側遮水壁設置時の建屋周辺地下水位低下、揚水・集水量の評価	実施済	準備中（9月上旬目途）
	・地下水バイパス、山側のみサブドレンフル稼働、海側遮水壁設置時の建屋周辺地下水位低下、揚水・集水量の評価	—	準備中（9月上旬目途）
⑨護岸背面の地盤改良	・護岸背面の地盤改良の陸側に設置するポンプでの揚水量の予測	実施済	—
⑩凍土式陸側遮水壁	・遮水壁設置時の地下水位の評価 ・地下水位低下速度、リチャージによる水位上昇の評価	—	準備中（9月上旬目途）
⑪陸側遮水壁+地下水バイパス+サブドレン+海側遮水壁	・凍土式遮水壁の検討結果を踏まえ、各対策工による地下水位、揚水・集水量の評価	—	準備中（9月中旬目途）

個別エリアの水理地質構造を対象とした検討ケース

検討ケース	検討の概要	実施状況
⑫地下貯水槽	・地下貯水槽～海域の一次元核種移流拡散解析による核種の海域への到達時間の評価 ・地下貯水槽近傍の核種拡散範囲の評価	実施済
⑬4m盤核種移流解析	・三次元地下水流動解析および核種移流拡散解析による4m盤1-2号機SP室間における核種移流の推定	実施中 （8月末目途）



無断複写・転載禁止 東京電力株式会社

22

II-3. 解析結果のまとめ

現状モデル

ケース	検討条件	解析モデル	揚水量(m ³ /日)				建屋内への流入量(m ³ /日)	海域への流出量(m ³ /日)
			1～4号機サブドレン補水量	地下水バイパス補水量	海側遮水壁集水量	合計		
① 震災後の再現	—	初期モデル	—	—	—	0	—	—
② 陸側遮水壁	・海側遮水壁；内側水位を平均潮位-0.5mに固定 ・サブドレン；フル稼働	初期モデル	660	—	60	720	—	—
③ 海側遮水壁	・海側遮水壁；内側水位を平均潮位-0.5mに固定 ・サブドレン；フル稼働	初期モデル	0	—	570	570	—	—
④ 地下水バイパス	・地下水バイパス；フル稼働 ・サブドレン；フル稼働	モデル1	—	920	—	920	—	—
⑤ サブドレン	・サブドレン；フル稼働	初期モデル	990	—	—	990	—	—
⑥ 地下水バイパス+サブドレン	・地下水バイパス；フル稼働 ・サブドレン；フル稼働時	モデル1	1140	490	—	1630	—	—
⑦ 地下水バイパス+海側遮水壁	・地下水バイパス ・海側遮水壁；内側水位を平均潮位-0.5mに固定	モデル1	0	910	440	1350	—	—
⑧ 地下水バイパス+サブドレン+海側遮水壁	・地下水バイパス；フル稼働 ・サブドレン；フル稼働 ・海側遮水壁；内側水位を平均潮位-0.5mに固定	モデル1	1140	410	80	1630	—	—
	・地下水バイパス；中間水位(O.P.+8.0m) ・サブドレン；山側のみ中間水位(O.P.+3.5m) ・海側遮水壁；内側水位を平均潮位-0.5mに固定	モデル1	380	450	430	1260	—	—



無断複写・転載禁止 東京電力株式会社

23

Ⅲ-1. 浸透流解析モデルの修正 (見直しに至る経緯)

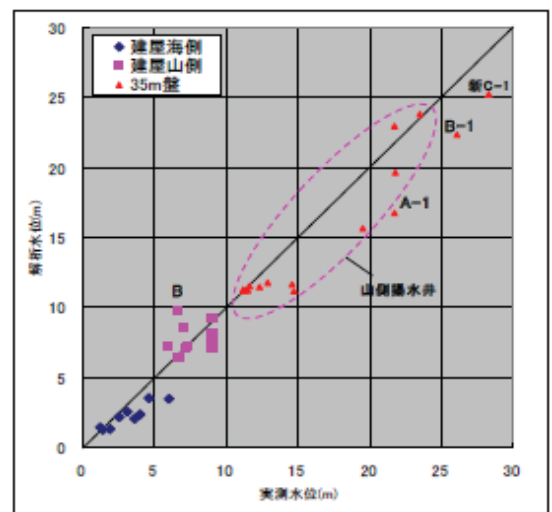
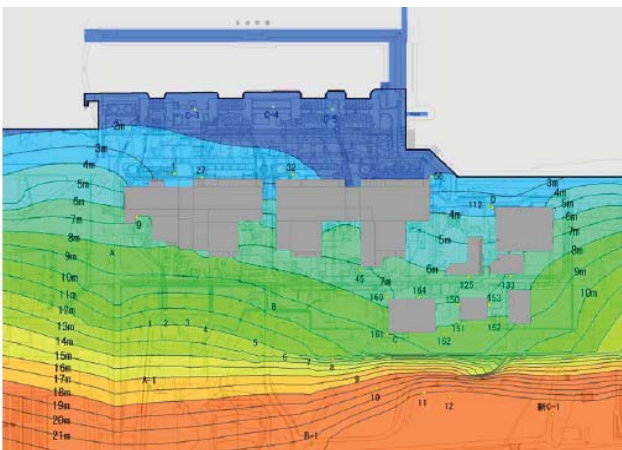
新たに35m盤の地下水位のデータが得られたため、改めて実測値と解析値を比較することで、解析モデルの再現性を高めたモデル（修正モデル）を作成した。

修正点は、不圧地下水と被圧地下水各々に別の固定境界水位を設定、中粒砂岩層中に挟在する泥岩層の影響等を評価（35m盤南側の中粒砂岩透水を $1 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ に変更）、地下水の建屋への流入をモデル内で計算する、等を考慮したモデルとした。

Ⅲ-1. 浸透流解析モデルの修正 (修正モデルでの現状再現結果 (1/3))

修正モデル

■不圧地下水位での解析値と実測値の比較



観測期間

山側揚水井 (2012.12~2013.3)

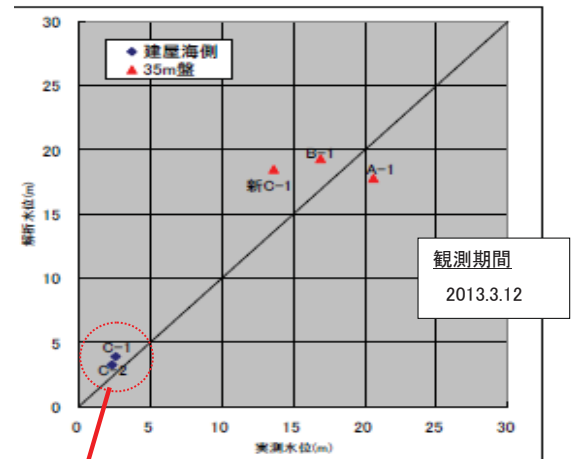
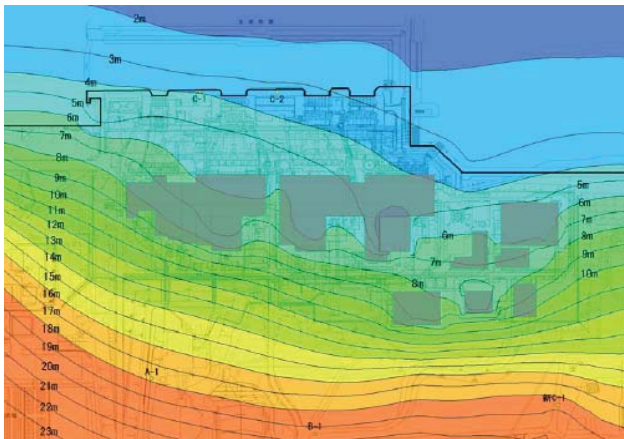
その他 (2013.3.12)

不圧地下水位における解析による再現性はほぼ認められる

Ⅲ-1. 浸透流解析モデルの修正 (修正モデルでの現状再現結果 (2/3))

修正モデル

■被圧地下水位での解析値と実測値の比較



実測値との比較

観測位置	地点名	測定日時 (被圧水位)	被圧水位(互層)		解析値/実測値 (%)
			実測水位 (O.P. m)	解析水位 (O.P. m)	
海側バウンダリ付近	C-1	2013/03中旬	2.6	3.9	150%
	C-2	2013/03中旬	2.3	3.2	139%

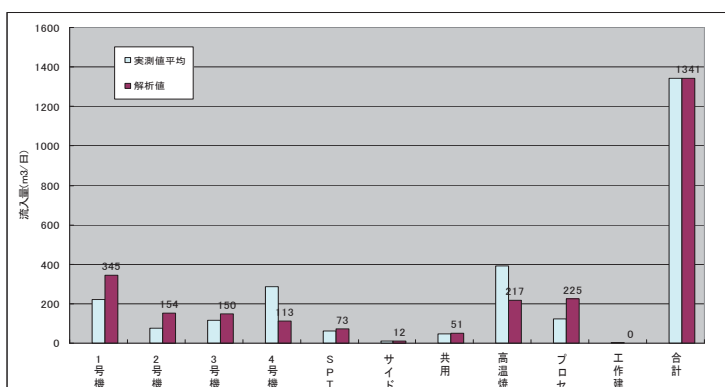
被圧地下水位における解析による再現性はほぼ認められる



Ⅲ-1. 浸透流解析モデルの修正 (修正モデルでの現状再現結果 (3/3))

修正モデル

■震災前サブドレン流入量での解析値と実測値の比較

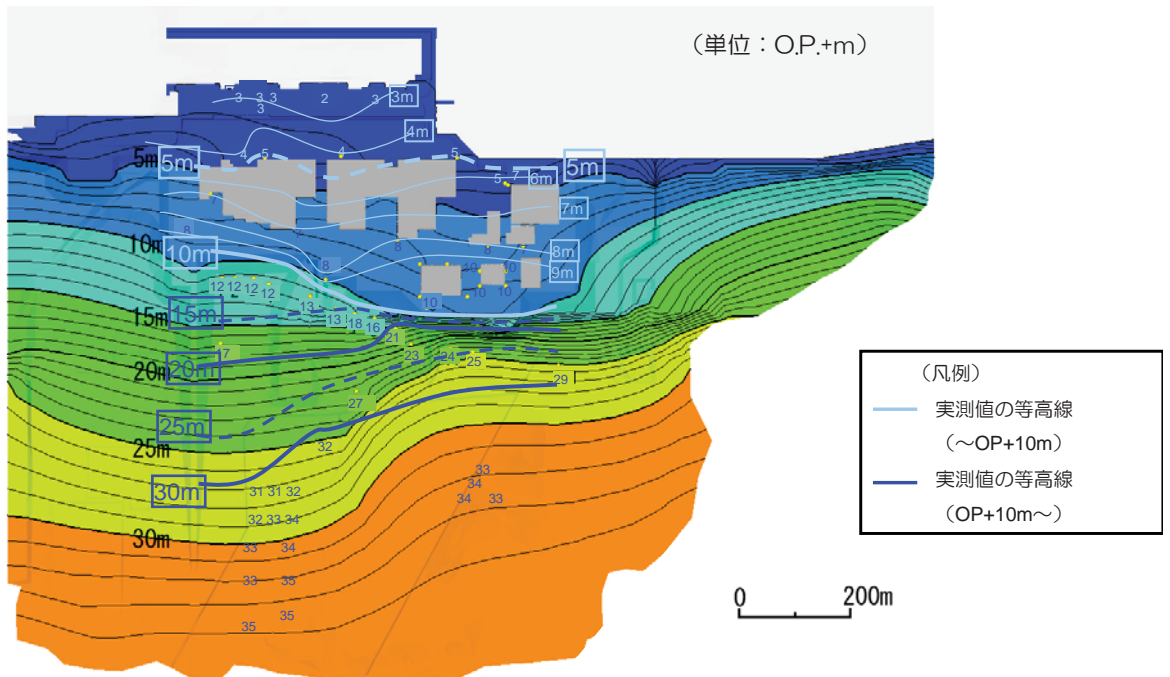


建屋名	流入量(m³/日)		実測値に対する 解析値の割合 (%)
	実測値 (平均)	解析値	
1号機	228	345	151
2号機	80	154	193
3号機	121	150	124
4号機	298	113	38
SPT建屋	63	73	116
サイトバンカ	13	12	92
共用プール	48	51	106
高温焼却炉建屋	405	217	54
プロセス建屋	129	225	174
工作建屋	3	0	0
合計	1388	1340	97

サブドレン流入量における解析による再現性はほぼ認められる



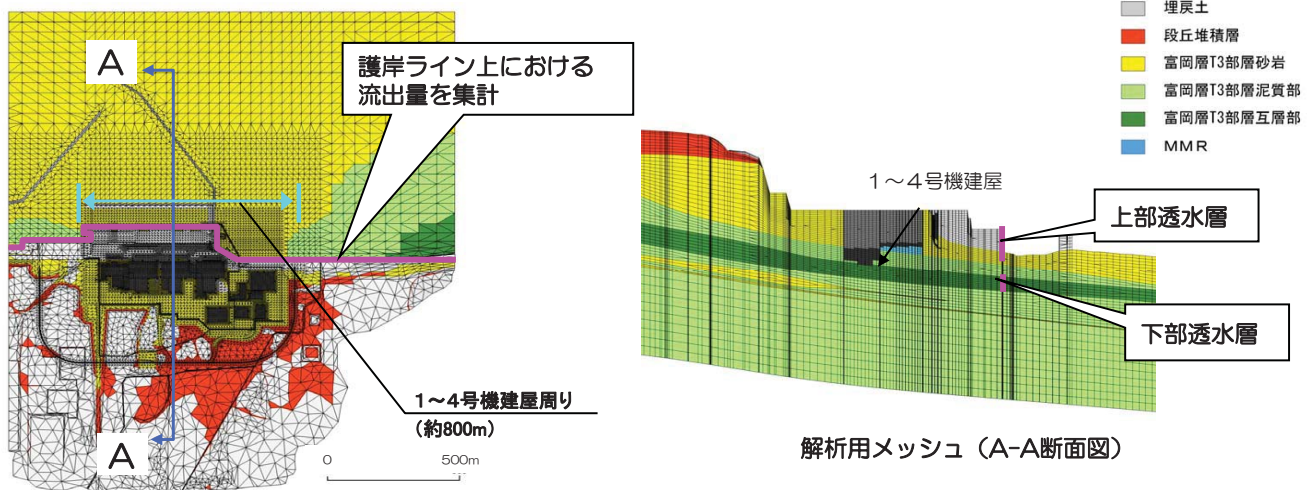
解析(色コンター)と実測(等高線)の比較



海側および山側で解析値が実測値より低いものの、解析による再現性がおおよそ認められる

■ 流出量の算出

・ 護岸付近の海域への流出量について、上部透水層と下部透水層を対象に集計した。

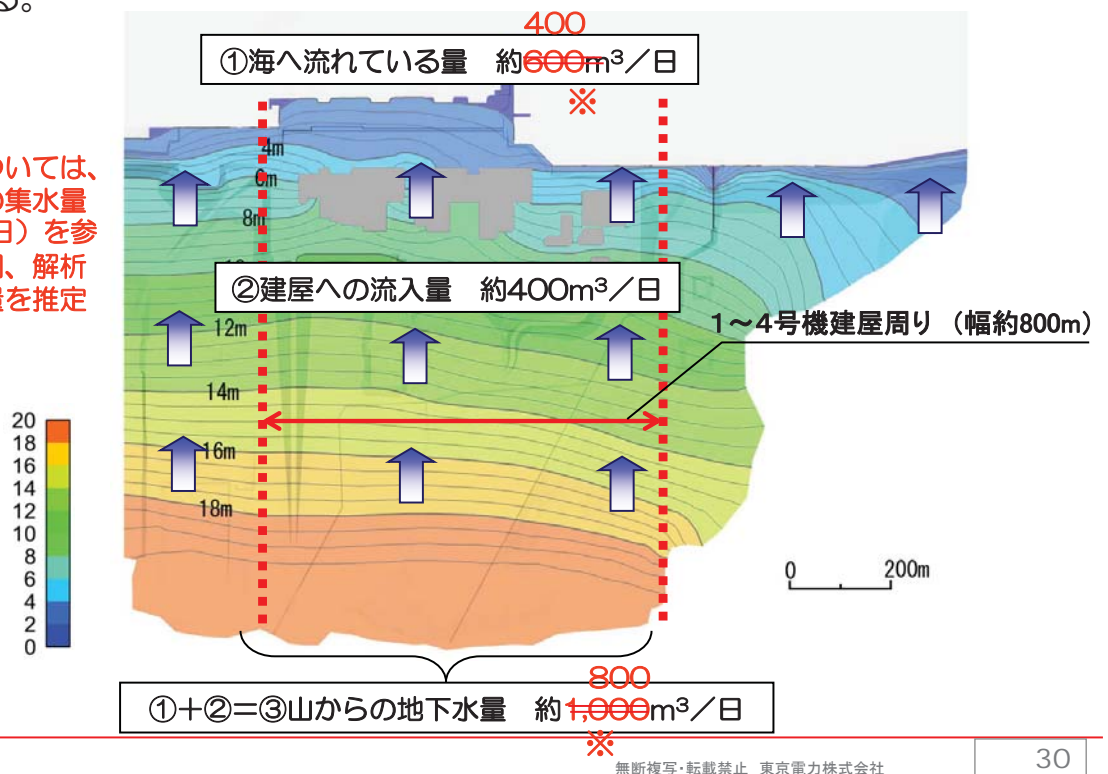


	海域への流出量 (m ³ /day)		建屋への流入量 (m ³ /day)
	モデル全体	1~4号機建屋周り (800m区間)	
修正後	約1100	約400	約400

■地下水流下のイメージ

- ・ 1～4号機建屋周りの地下水は、山側から約800m³/日程度の地下水が流れ込み、このうち建屋内へ約400m³/日流入し、残りの約400m³/日が海域へ流出しているものと想定される。

※海に流れている量については、これまで海側遮水壁の集水量の解析結果(600m³/日)を参考にしていたが、今回、解析により海域への流出量を推定した。

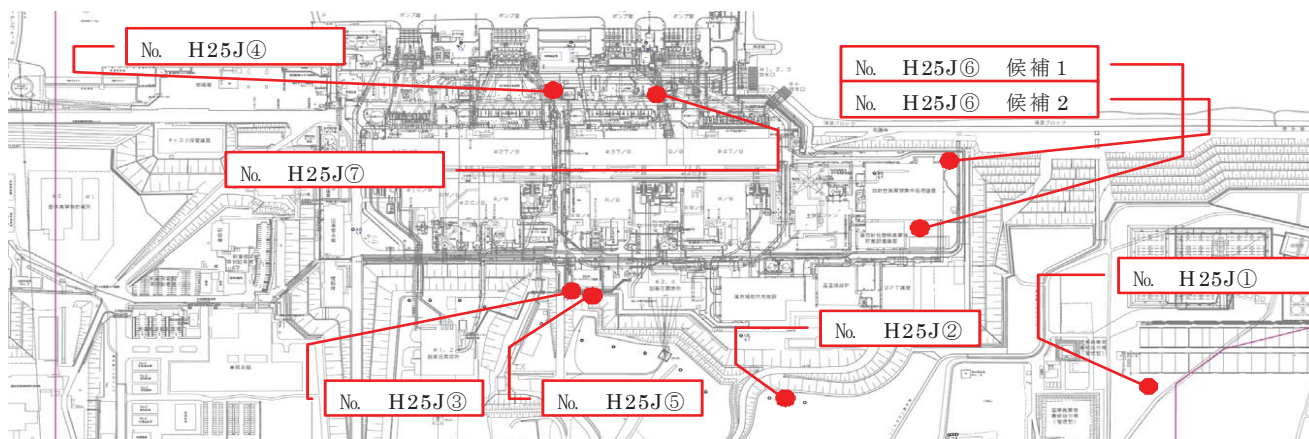


無断複写・転載禁止 東京電力株式会社

IV. 今後の調査・検討

- 修正モデルを用いて各対策工による地下水の挙動について解析を行う。
- 10m盤互層部、35m盤の中粒砂岩層の地下水位等を調査を行い、結果を順次、解析モデルに反映する予定。
- 必要な箇所については、範囲を限定した詳細な解析を行う。

IV. 今後の調査・検討
(ボーリング調査概要)



調査孔 No.	H25J①	H25J②	H25J③	H25J④	H25J⑤	H25J⑥	H25J⑦	
主目的	敷地南部不圧地下水位（境界条件とのフィッティング）	#4 側 35m 盤の不圧地下水位の計測	・T3 部層細粒砂岩・粗粒層の地下水位測定 ・互層層厚・性状確認	・互層被圧地下水位の測定 ・互層性状の確認（但し、地下水位観測を優先し、陥入は互層内で停止）				
施工	実施盤	35m 盤	35m 盤	10m 盤	10m 盤	10m 盤	10m 盤	10m 盤
	Bo. 目標地質	泥岩 1m 陥入	中粒砂岩内	T3 部層粗粒砂岩内	互層内	互層内	互層内	互層内
	設計 Bo. 長	25m	20m	30m	30m	20m	20m	25m
	Bo. 仕様	φ86 オールコア	φ86 オールコア	φ86 オールコア	φ86 オール コア	φ86 オール コア	φ86 オール コア	φ86 オール コア
	水位計設置	1 箇所	1 箇所	1 箇所	1 箇所	1 箇所	1 箇所	1 箇所



IV. 今後の調査・検討
(ボーリング調査工程)

	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	
ボーリング孔設置		準備	孔設置					
水圧等計測					→			

注）現場条件により見直しの可能性あり



IV. 今後の調査・検討 (4m盤核種移流解析 (1/2))

○個別エリアの検討ケースとして、4m盤1,2号機スクリーンポンプ室間において、三次元地下水流動解析及び核種移流拡散解析により核種移行状況を推定する。

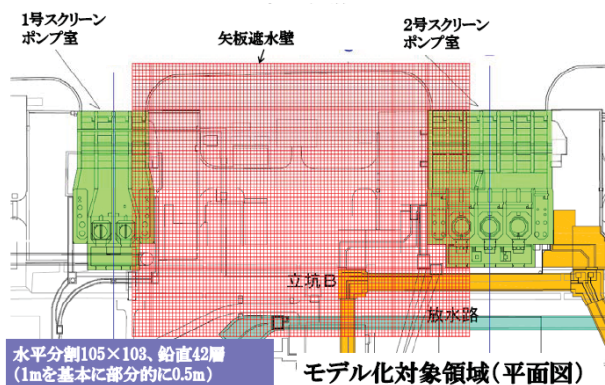
<解析目的>

- ・核種の海への流出量及び流出抑制対策効果の評価、漏えい箇所、漏えい量及び汚染範囲の推定を行う。

<解析領域>

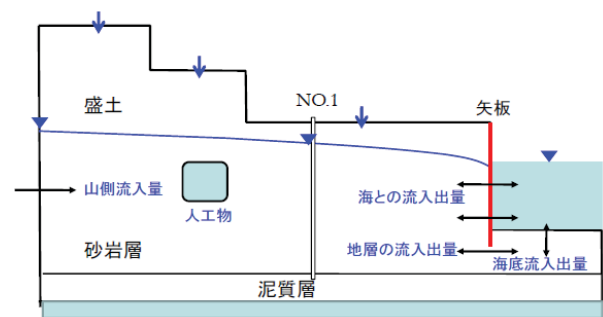
- ・南北100m、東西100m
- ・護岸からタービン建屋側へ1,2号機スクリーンポンプ室に挟まれたエリア
- ・トレンチ、放水管等の主な地下構造物を反映してモデル化
水平分割：105×103 鉛直：42層 (1mを基本に部分的に0.5mメッシュ)

領域設定および格子分割



モデル化対象領域(平面図)

モデル概念図



無断複写・転載禁止 東京電力株式会社

34

IV. 今後の調査・検討 (4m盤核種移流解析 (2/2))

<解析条件>

- ・地層形状・物性、陸側水位、潮位変動、降雨、矢板透水性を考慮
- ・1～4号機建屋周り全体の検討ケースと整合させる。
- ・核種移行評価に必要な分配係数について、4m盤土壌の実測値を取得するため脱離試験の方法を検討中

<実施状況>

- ・地下水流動解析について、解析結果が水位変動の実測値と整合するよう入力する条件を修正しながら解析中

(最初の設定条件)

- ・モデル設定
 - 山側境界の地下水位：3m
 - 海側水位：平均潮位 O.P 1.35m (小名浜潮位データ)
 - 地表面境界：降雨なし、降雨あり
 - 矢板透水係数： $1.0 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$
- ・汚染設定
 - 汚染物質：トリチウム
 - 汚染源濃度：測定値の最大濃度
 - 汚染位置：管路下部の碎石層全体
- ・解析期間
 - 事故前から調査孔掘削前まで
- ・解析ケース
 - 調査孔掘削、揚水による影響考慮
 - 地盤改良の有無による今後の予測



無断複写・転載禁止 東京電力株式会社

35