



大洗研究所（常陽）

耐震重要施設の基礎地盤及び 周辺斜面の安定性評価について （コメント回答）

令和3年2月15日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構



審査会合におけるコメント（１）

No.	審査会合	コメント	回答状況	ページ
1	令和2年11月6日 第382回審査会合	地下水位について、夏海湖の水面高さT. P. +29 mであるのに対し、設定地下水位はT. P. +6. 7 mであり、夏海湖との関係性、他の地下水位観測データを含め、地下水位の設定の妥当性を説明すること。	今回回答	4～25
2	〃	抑止杭の周辺地盤について、地盤と施設のどちらか、新規制基準適合上の取り扱いを説明すること。	後日回答	—
3	〃	周辺地盤変状による影響について、埋戻土の液状化影響を説明すること。また、周辺地盤の変状による影響だけでなく、すべり安全率に対しては施設を横から押す起動力となることも考えられるため、抑止杭の構造、成立性にどのような影響を与えるか説明すること。	〃	—
4	〃	解析用地盤物性値について、HTTRとの相違点を整理し、使用した物性値が「常陽」とHTTRで本質的に変わらないことを定量的に示すこと。	〃	—
5	〃	すべり安全率の評価結果について、最小すべり安全率発生時刻が異なるため、各発生時刻の結果を比較し、説明すること。	〃	—
6	〃	各断面について、建物基礎底面のみでのすべり安全率の評価結果を提示すること。	〃	—
7-1	〃	最小すべり安全率を示す時刻の抑止杭の応力分布を示し、応力が適切に算定されているか説明すること。	〃	—
7-2	〃	抑止杭の応力は時々刻々深度方向に変わることから、抑止杭にとって安全側かの観点で評価方法の妥当性を説明すること。	〃	—
8-1	〃	抑止杭による補強前後に地盤に生じるせん断応力の変化を示し、現在の設計・評価に相互作用が影響しないか説明すること。	〃	—
8-2	〃	抑止杭と主冷却機建物が非常に近接しているため、建家と杭の相互作用（建家が地盤を介して杭にもたれる現象や杭反力が建家に過剰な荷重を与えていないか）を説明すること。	〃	—
8-3	〃	抑止杭設置による原子炉建物、主冷却機建物の耐震評価（建物・機器）への影響について説明すること。	〃	—



審査会合におけるコメント (2)

No.	審査会合	コメント	回答状況	ページ
9	〃	抑止杭の対策効果を確認するため、抑止杭の設計仕様、施工方法及び施工管理項目について説明をすること。	後日回答	—
10	〃	抑止杭のモデル化について、根入れ深さが妥当であること等、設計方針を踏まえ説明すること。	〃	—



地下水位の設定について

地下水位の設定に関する検討項目を以下に示す。

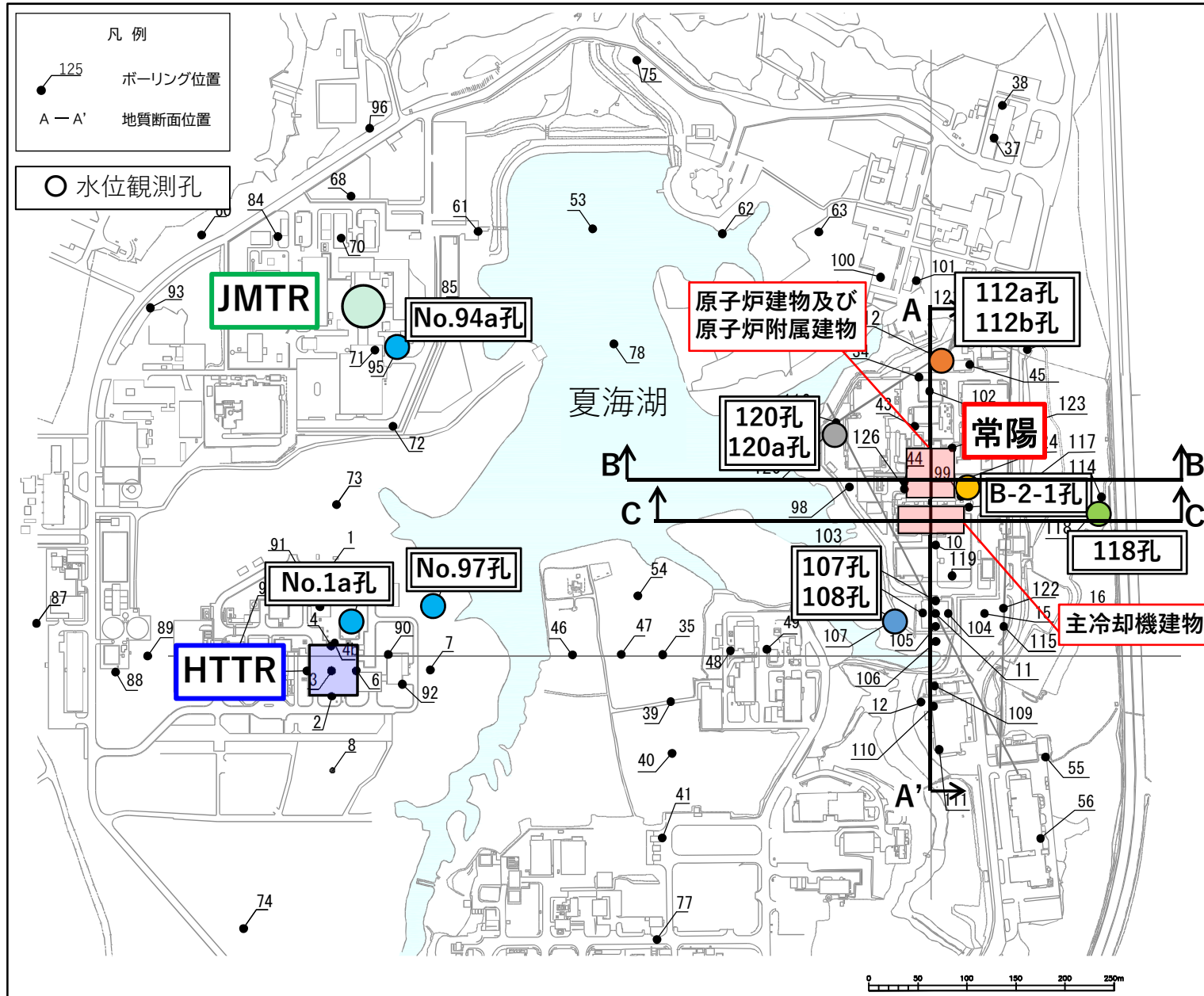
(1) 地下水位観測データ

- ①常陽周辺における複数の地下水位観測記録を示し、常陽周辺の地下水位分布、地下水位変動、地下水位設定の根拠について説明する。
- ②大洗研敷地内（常陽、HTTR、JMTR）における複数の地下水位観測記録を示し、敷地内の広域的な地下水位分布、地下水位変動について説明する。
- ③不透水性の地盤である粘性土層が複数あることを踏まえて、各土層と水位の状況について説明する。

(2) 夏海湖による影響について

人造湖である夏海湖の構造や築造時の現場透水試験の結果を示し、夏海湖の水位が地下水位に影響しないことを説明する。

水位観測孔位置図



解析用地下水位の設定

- ・ 常陽の解析用地下水位は、108孔をもとに年間変動を確認した結果、水位が原子炉建物の基礎底面位置 (T.P. +6.7 m) 以下であることから、解析用地下水位をT.P. +6.7 mに設定している。
- ・ 常陽周辺の地下水位分布については、2016年3月以降、観測孔を追加し、複数地点で観測を継続している。
- ・ 地下水位変動は年間で1 m程度であり、大きな変動はない。
- ・ 地下水位観測より、原子炉建物の近傍 (B-2-1孔) での地下水位は、解析用地下水位の設定に用いている108孔 (T.P. +約6 m) と同程度である。
- ・ 設定した地下水位は、抑止杭による補強を行う主冷却機建物の基礎底面 (T.P. +18.5 m) より10 m以上深い位置にある。

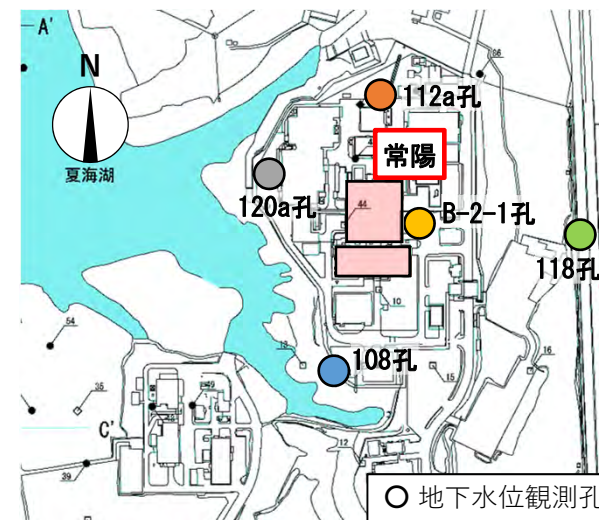
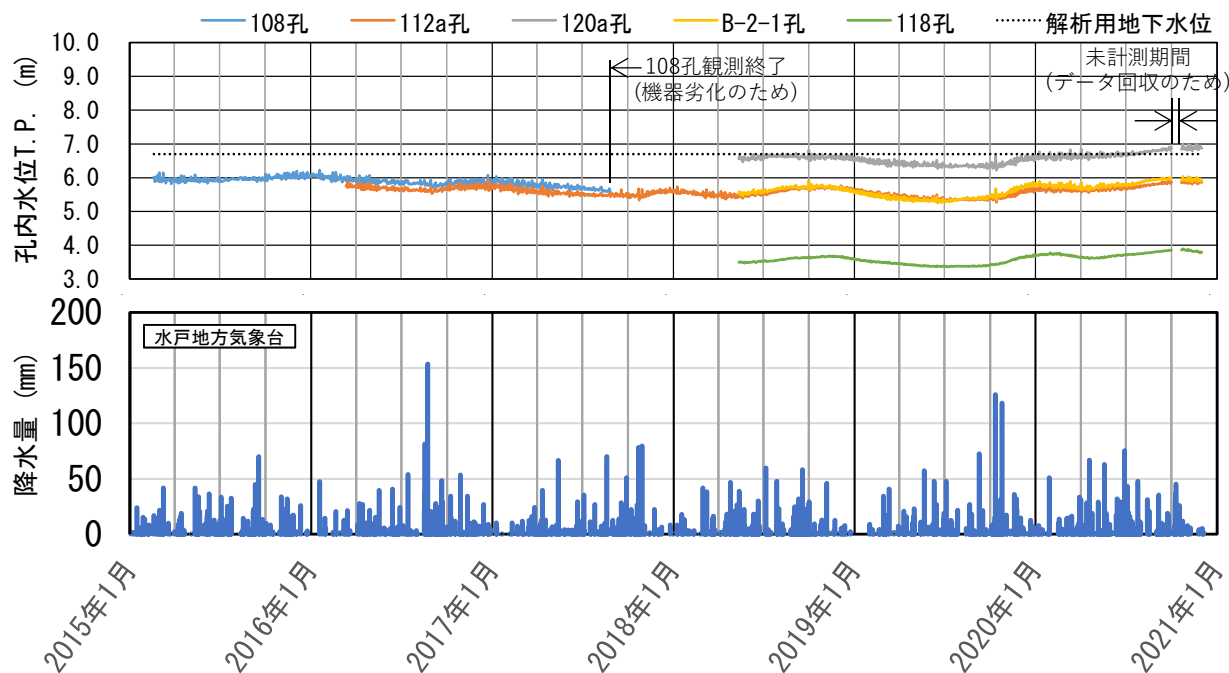


図 地下水位観測孔位置





地下水位の設定について(地下水位観測データ)

大洗研内の地下水位変動

・大洗研内の広域的な地下水位変動についても、年間で1 m程度であり、大きな変動はない。

【JMTR】 期間：2009年3月～2010年3月

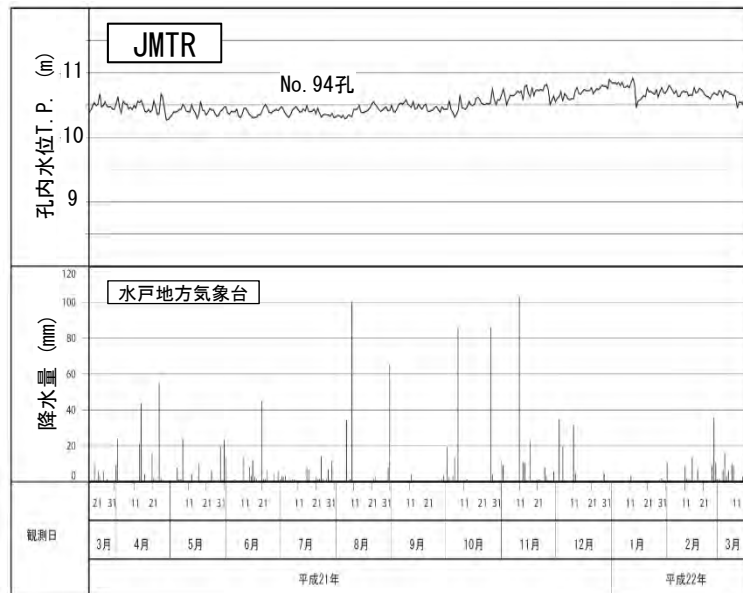


図 JMTRの地下水位変動図

【HTTR】 期間：1986年10月～1988年3月

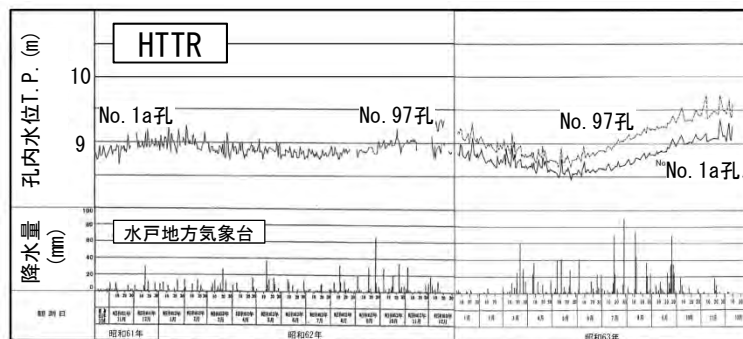


図 HTTRの地下水位変動図

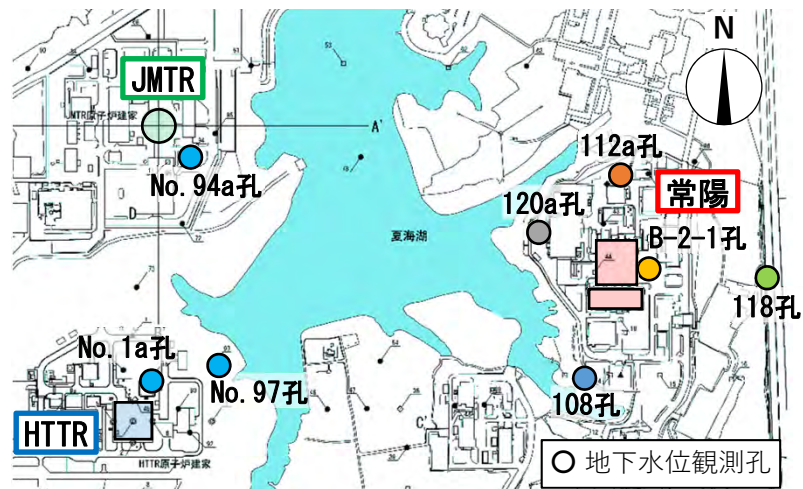


図 大洗研敷地内の地下水位観測孔位置

【常陽】 期間：2015年1月～2020年12月

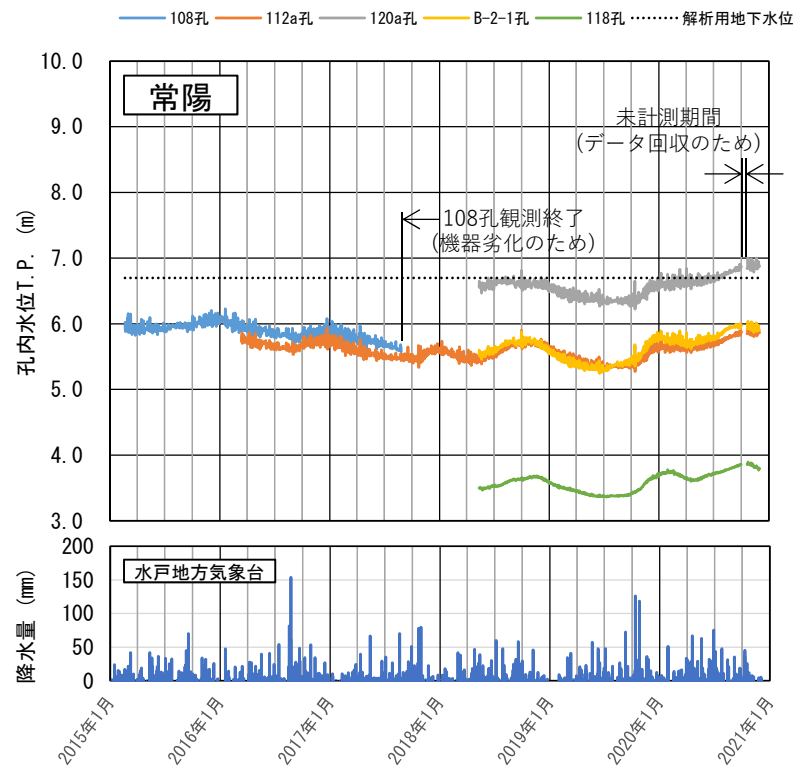
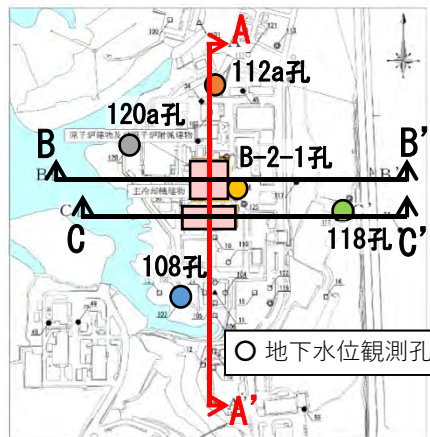


図 常陽の地下水位変動図(再掲)



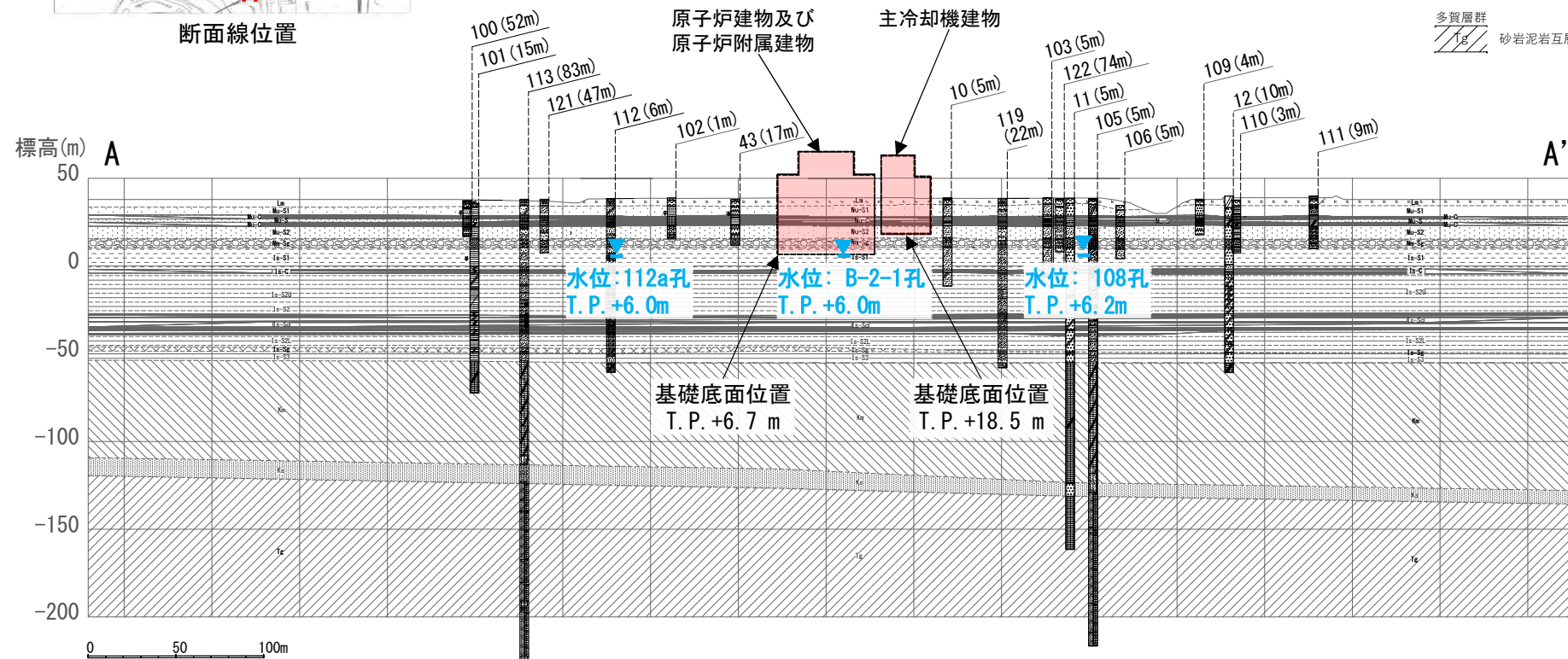
地下水位の設定について(地下水位観測データ)

敷地周辺の地下水位分布 (A-A' 断面図)



断面線位置

・南北方向の地下水位分布について、常陽周辺(112a孔、B-2-1孔、108孔)では、T.P. +約6 mでほぼ一定である。



凡例

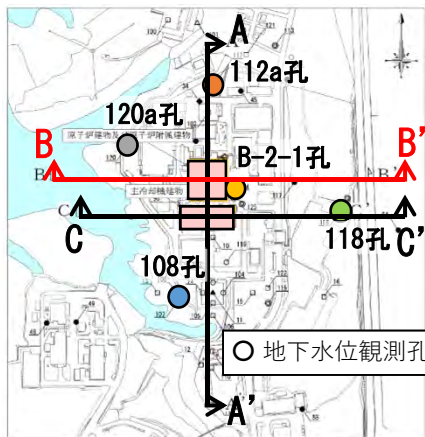
砂丘砂層	砂質土層	東茨城層群	礫質土層
M1段丘堆積物	火山灰質粘土	Is-S1	砂質土層
Lm	砂質土層	Is-C	粘性土層
Mu-S1	粘性土層	Is-S2U	砂質土層
Mu-C	砂質土層 (Mu-C中挟み)	Is-S1	粘性土層
Mu-S	砂質土層	Is-S21	砂質土層
Mu-S2	砂質土層	Is-Sg	礫質土層
礫質土層	砂質土層	Is-S3	砂質土層
Mu-S3	砂質土層	久米層	久米層
		Km	砂質泥岩層
		K	砂岩層
		多質層群	多質層群
		Tg	砂岩泥岩互層

A-A' 断面 (南北方向) ※()はボーリング孔の投影距離



地下水位の設定について(地下水位観測データ)

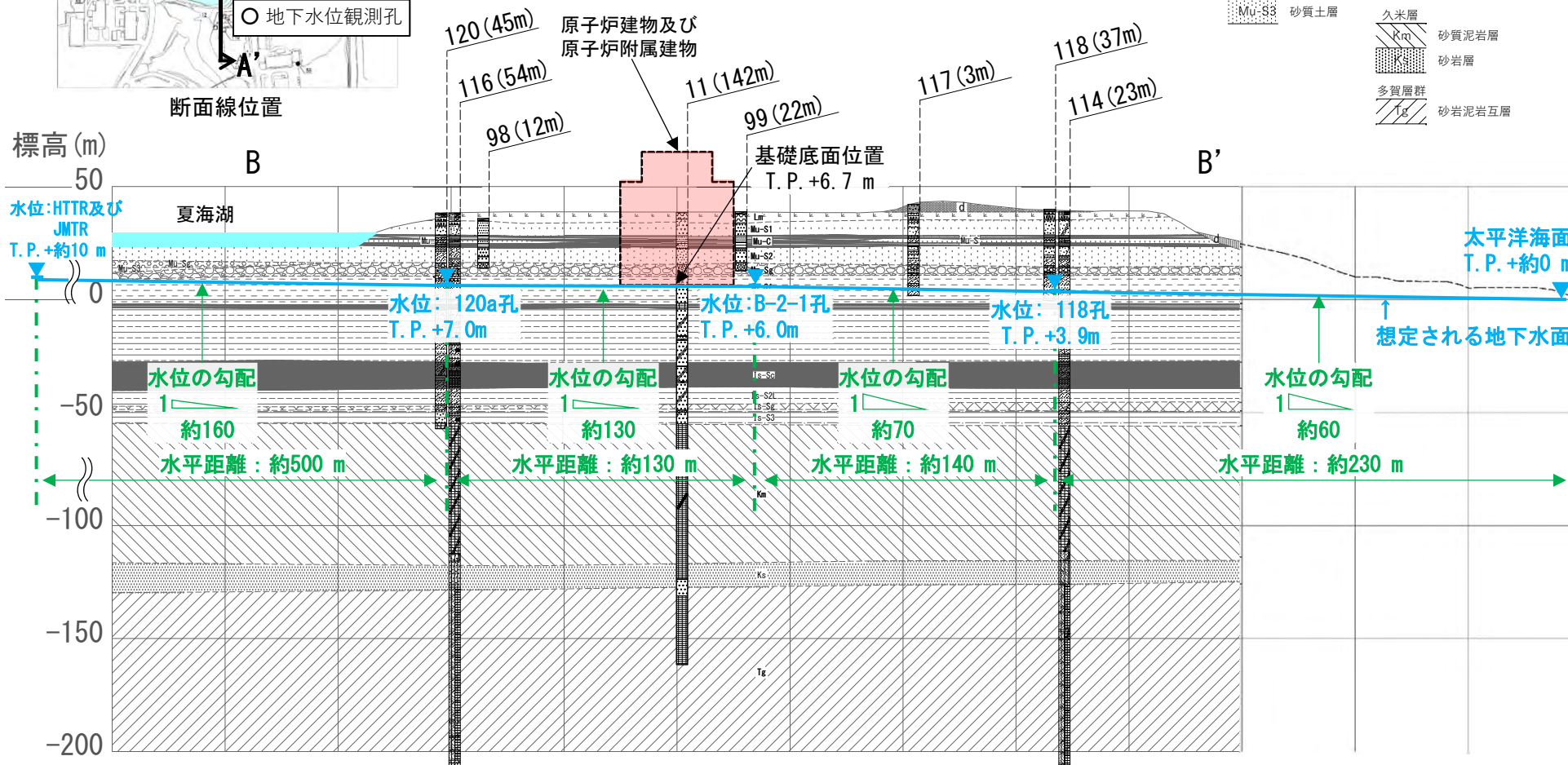
敷地周辺の地下水位分布 (B-B' 断面図)



- 東西方向の地下水位分布について、原子炉建物近傍にあるB-2-1孔でT. P. +6.0 m、西側(陸側)にある120a孔でT. P. +7.0 m、東側(海側)にある118孔でT. P. +3.9 mである。
- 地下水位は西側(陸側)から東側(海側)方向に向かって低下しており、地下水は海側に向かって流動していると判断している。

凡例

砂丘砂層	砂質土層	東茨城層群	礫質土層
M1段丘堆積物	火山灰質粘土	Is-S1	砂質土層
Lm	Mu-S1	Is-S2	砂質土層
Mu-C	粘性土層	Is-Sr	粘性土層
Mu-S	砂質土層 (Mu-C中挟み)	Is-S21	砂質土層
Mu-S2	砂質土層	Is-Sg	礫質土層
Mu-S3	砂質土層	Is-S3	砂質土層
		久米層	砂質泥岩層
		Km	砂岩層
		Tg	多質層群
			砂岩泥岩互層

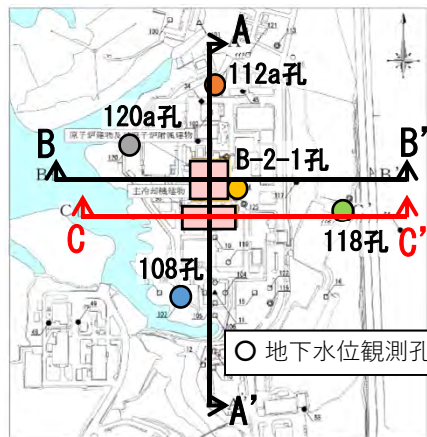


B-B' 断面 (東西方向) ※ () 内はボーリング孔の投影距離(m)を示す



地下水位の設定について(地下水位観測データ)

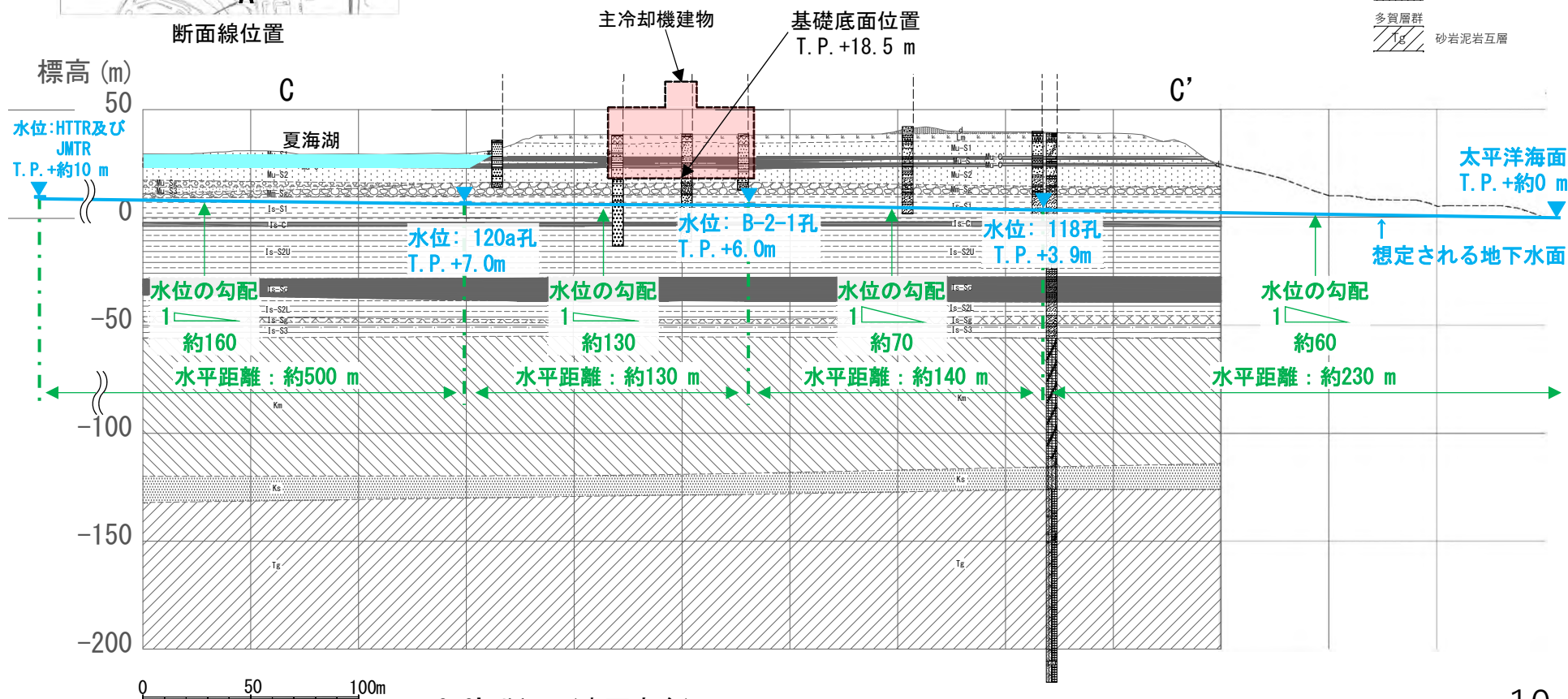
敷地周辺の地下水位分布 (C-C' 断面図)



- 東西方向の地下水位について、大洗研内の広域的な水位は、敷地西側にあるHTTR及びJMTRでT.P.+約10 m、敷地東側にある常陽近傍 (B-2-1孔) でT.P.+約6 m、常陽東側 (118孔) でT.P.+3.9 mである。
- 地下水位は西側 (陸側) から東側 (海側) 方向に向かって低下しており、さらに東側の太平洋海面に到達する。

凡例

砂丘砂層	砂質土層	東茨城層群	礫質土層
M1段丘堆積物	砂質土層	Is-S1	砂質土層
Lm	火山灰質粘土	Is-C	粘性土層
Mu-S1	砂質土層	Is-S2U	砂質土層
Mu-C	粘性土層	Is-S1	粘性土層
Mu-S	砂質土層 (Mu-C中挟み)	Is-S2L	砂質土層
Mu-S2	砂質土層	Is-S3	礫質土層
礫質土層		Is-S3	砂質土層
Mu-S3	砂質土層	久米層	
		Km	砂質泥岩層
		Ks	砂岩層
		多賀層群	
		Tg	砂岩泥岩互層

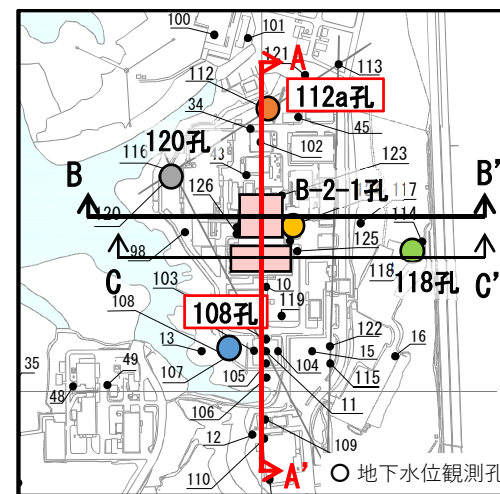
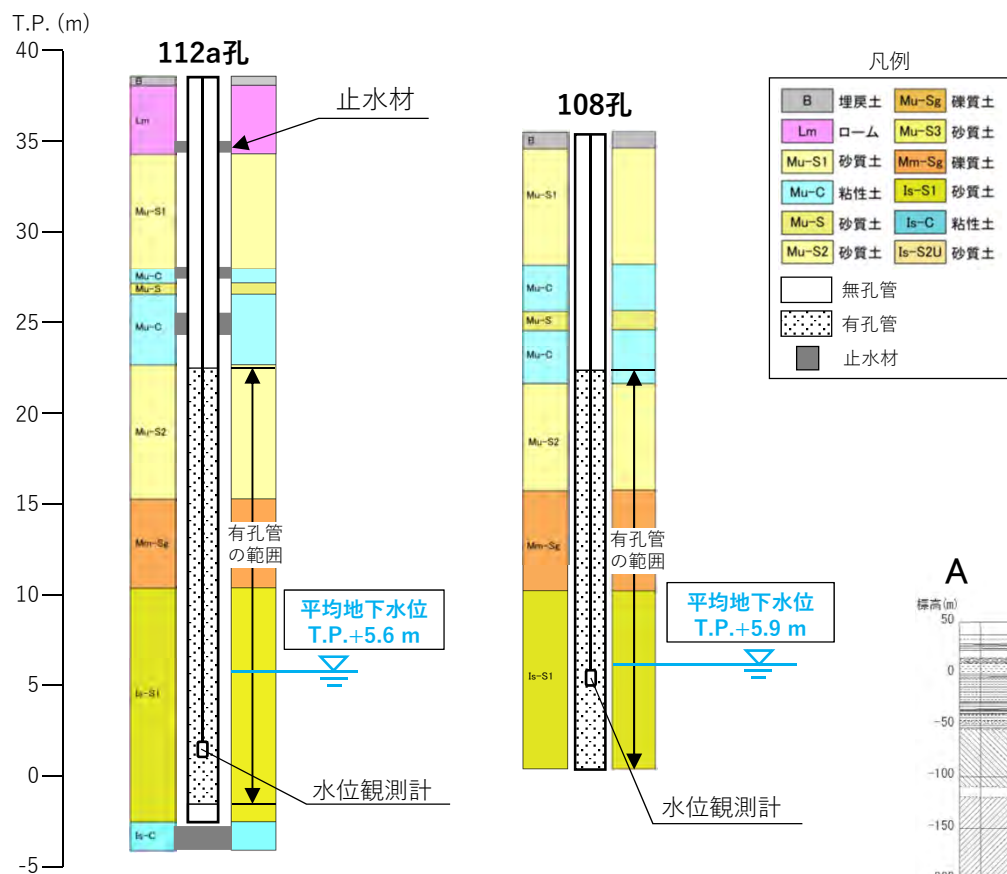


C-C' 断面 (東西方向)

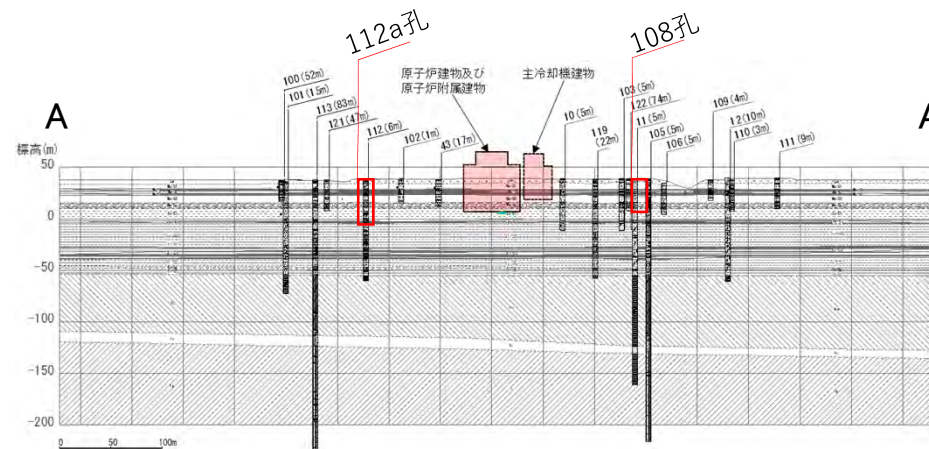
地下水位の設定について(地下水位観測データ) 地下水位観測孔の概要(1/3)

- ・地下水位観測孔には、Is-S1（砂質土）中に分布する地下水位の変動を把握するために水位観測計を設置している。
- ・地下水位観測孔は、ストレナー加工を施した塩ビ管（有孔管）を建込み、塩ビ管と孔壁との間は砂利を充填している。
- ・有孔管はMu-C（粘性土）以深に分布する砂質土層の範囲に設置し、有孔管の上部は止水処理を行っている。

【A-A'断面の水位観測孔構造図】



地下水位観測孔位置

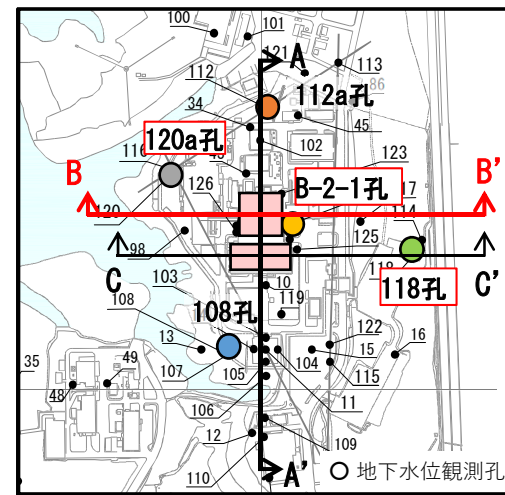
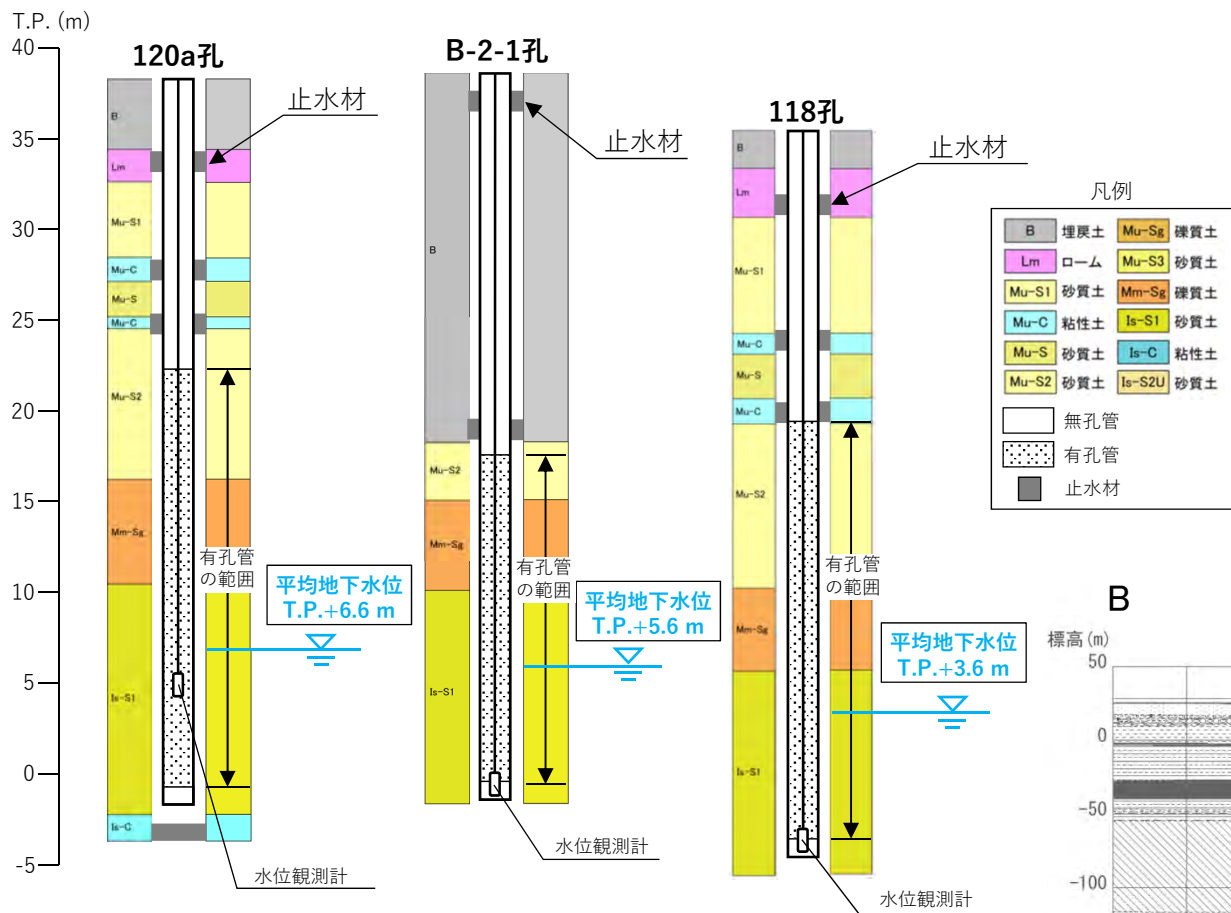


地質断面図 (A-A'断面)

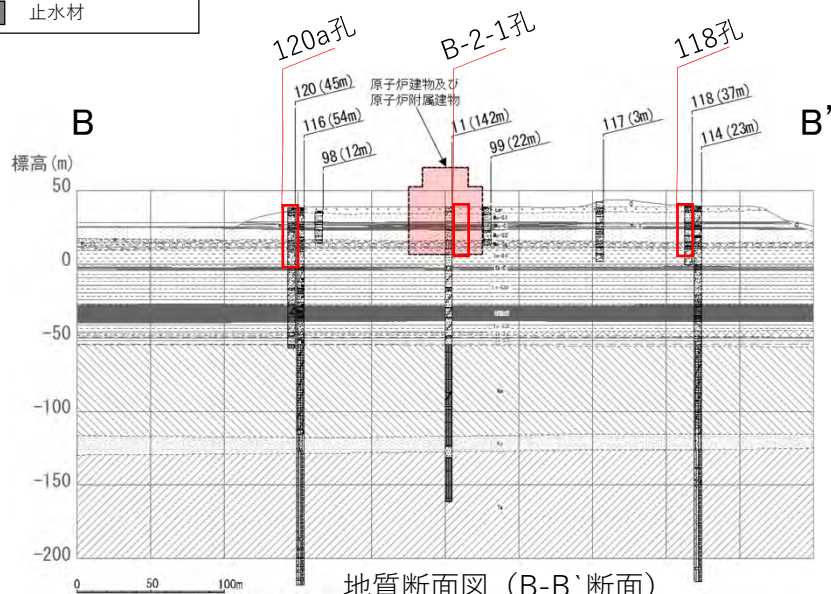
構造図に示す範囲

※112a孔は総掘進長が96.00mであり、有孔管下部を無孔管でキャップし、孔底は止水処理を行っている。

【B-B'断面の水位観測孔構造図】



地下水位観測孔位置

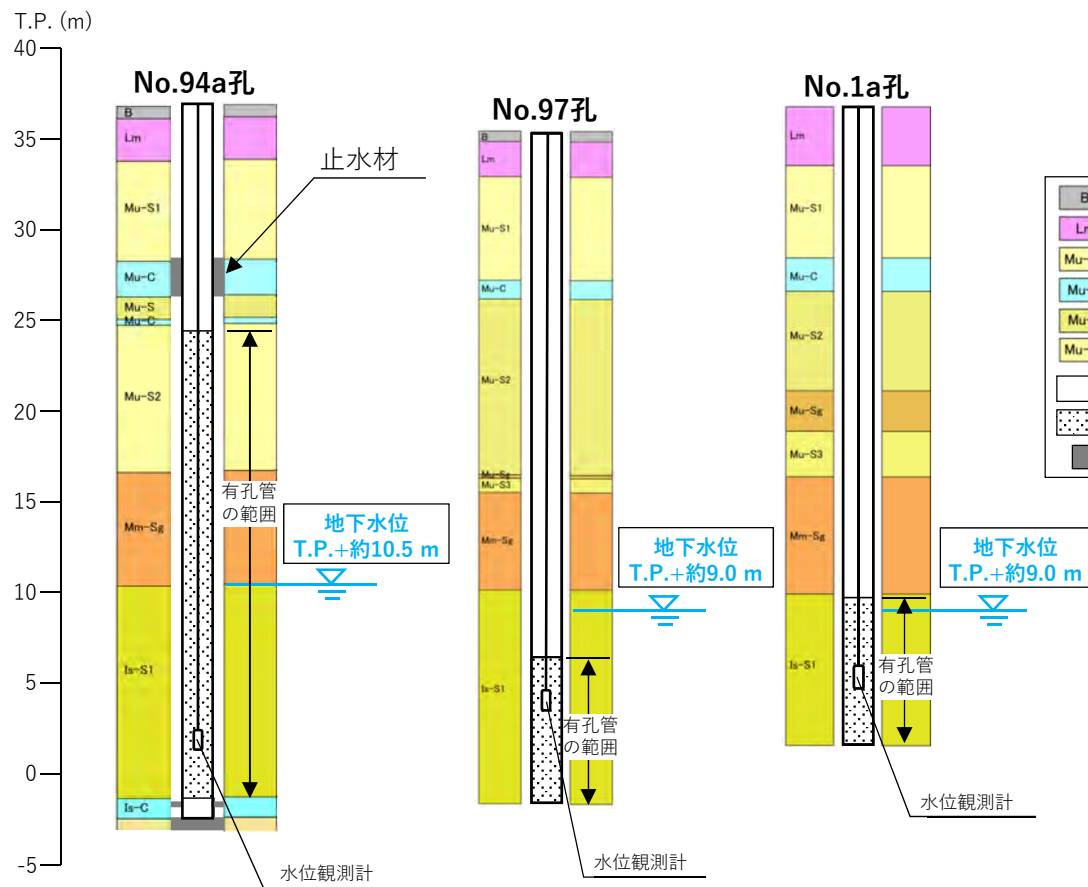


地質断面図 (B-B'断面)

□ 構造図に示す範囲

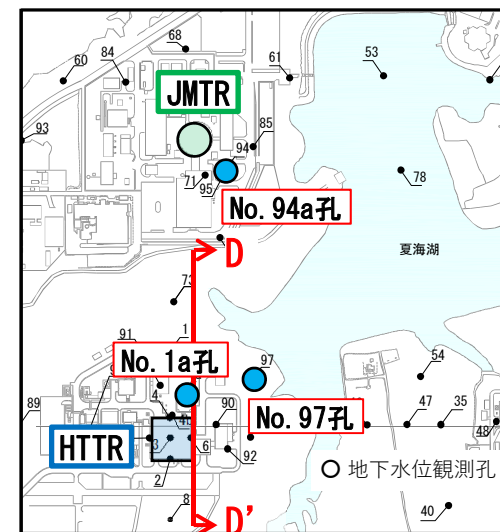
※120a孔は総掘進長が約91.45mであり、有孔管下部を無孔管でキャップし、孔底は止水処理を行っている。

【D-D'断面の水位観測孔構造図】

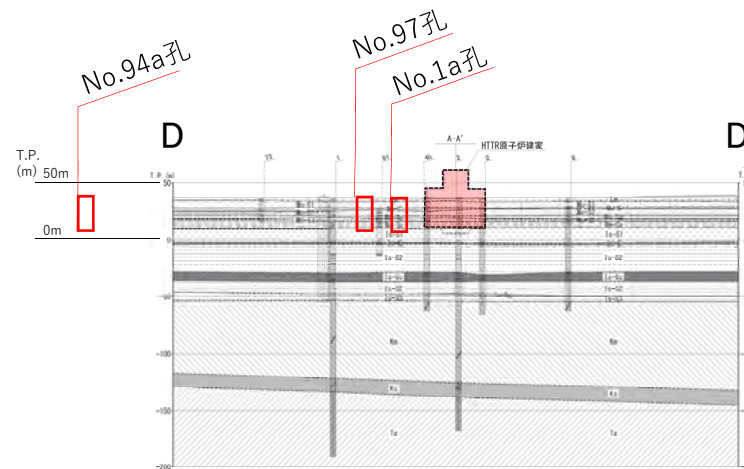


凡例

B	埋戻土	Mu-Sg	礫質土
Lm	ローム	Mu-S3	砂質土
Mu-S1	砂質土	Mm-Sg	礫質土
Mu-C	粘性土	Is-S1	砂質土
Mu-S	砂質土	Is-C	粘性土
Mu-S2	砂質土	Is-S2U	砂質土
(White box)	無孔管		
(Dotted box)	有孔管		
(Grey box)	止水材		



地下水位観測孔位置



地質断面図 (D-D'断面)

構造図に示す範囲

※No.94a孔は総掘進長が110.45mであり、有孔管下部を無孔管でキャップし、孔底は止水処理を行っている。
No.97孔は観測孔位置の柱状図がないため、近隣の柱状図を参考に地層境界を記載した。

土層の飽和度

不透水性の地盤である粘性土層が複数あることを踏まえ、最下部の粘性土層 (Is-Sc層) より上部の土層について飽和度を整理し、飽和度を指標として地下水の状況を確認した。

- ・最下部の粘性土層 (Is-Sc層) から上部のIs-S2層、Is-C層、Is-S1層中央付近までは飽和度が高い範囲が連続しており、飽和度から地下水位以深の地盤に水が連続して分布していると考えられる。
- ・設定した地下水位から上部では、粘性土層 (Mu-C層) 及び砂質土層 (Mu-S層) は上下の土層と比べて飽和度が高い。この部分には、常陽施設及び夏海湖の建設前 (1966年) の地盤調査から宙水※を確認しており、既往の設置許可において1988~1989年の1年間、水位を観測している。

※宙水：地表からの浸透水が比較的浅い地層中の、泥質のはさみ層などの上に捕捉されたもの。より下部の広がり大きな低透水層上に溜まった不圧地下水本体との間に不飽和帯が存在することが特徴。(地下水用語集、日本地下水学会編)

- ・既往の設置許可においては、Is-C層上部の水位を地下水位、Mu-C層上部の水位を宙水とし、宙水の水位はT.P. +29.41~28.69 m (Mu-C層上端T.P. +28.2 mの上部に厚さ0.5~1.2 m) とされている。次ページに現在の宙水の状況を示す。

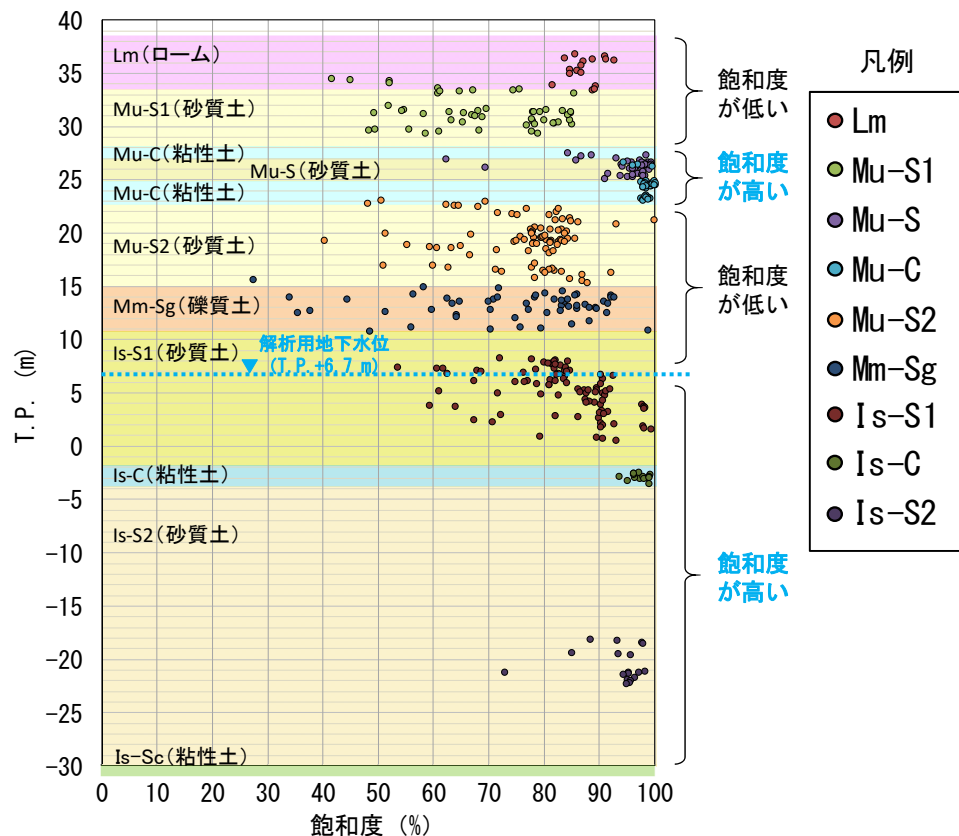


図 常陽における土層の飽和度

表 既往の設置許可における
水位観測結果 (1988~1989年)

観測位置	水位の変動幅 (m)	備考
107孔 (宙水)	G.L.-6.50~-7.22 T.P.+29.41~28.69	G.L.±0の標高 T.P.+35.91 m
108孔 (地下水位)	G.L.-29.20~-29.71 T.P.+6.22~5.71	G.L.±0の標高 T.P.+35.42 m

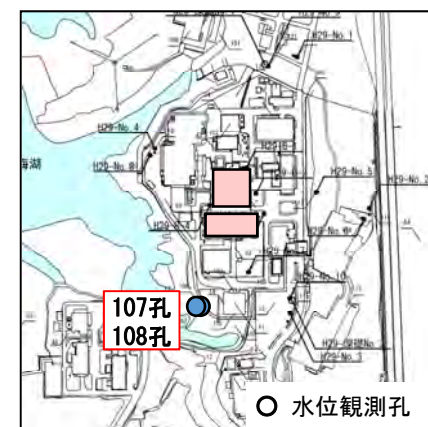


図 水位観測孔位置

宙水観測結果

- ・現在の宙水の状況については、2015年以降も継続して3箇所（107孔、120孔、112b孔）で水位を観測している。
- ・既往の設置許可における観測孔を再利用している107孔では、既往の設置許可と現在で水位は同程度となっており、変化は見られない。
- ・各観測孔の水位は、降水による短期的な変動が認められるが、平均的にはT.P. +28.4～30 m程度となっており、地山（Mu-C層）上部に厚さ0.2～2.0 m程度で薄く分布している。
- ・なお、建物近傍では建設工事時に地山（Mu-C層）を掘削し、砂質土で埋め戻しており、当該埋戻土に宙水はないと考えている。建物近傍の状況を次ページに示す。

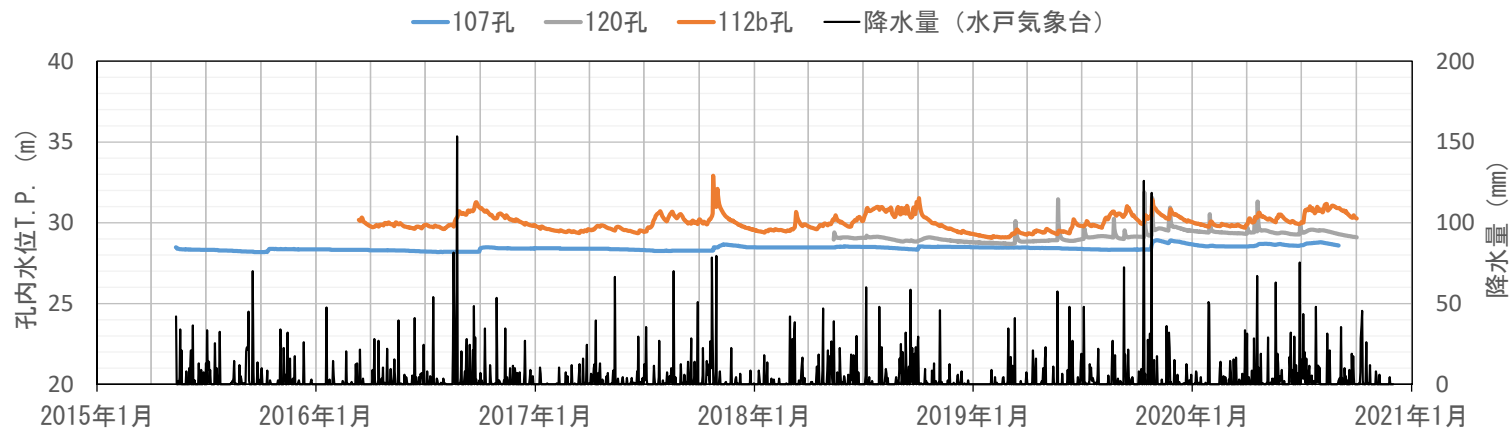


図 水位変動図

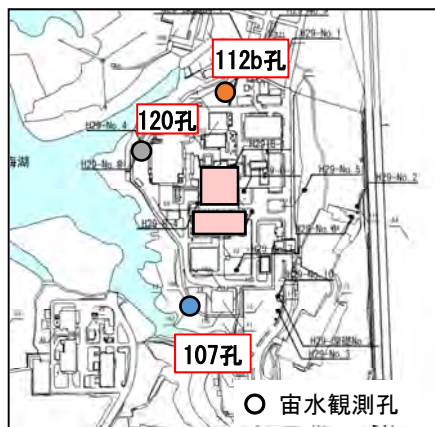


図 宙水観測孔位置

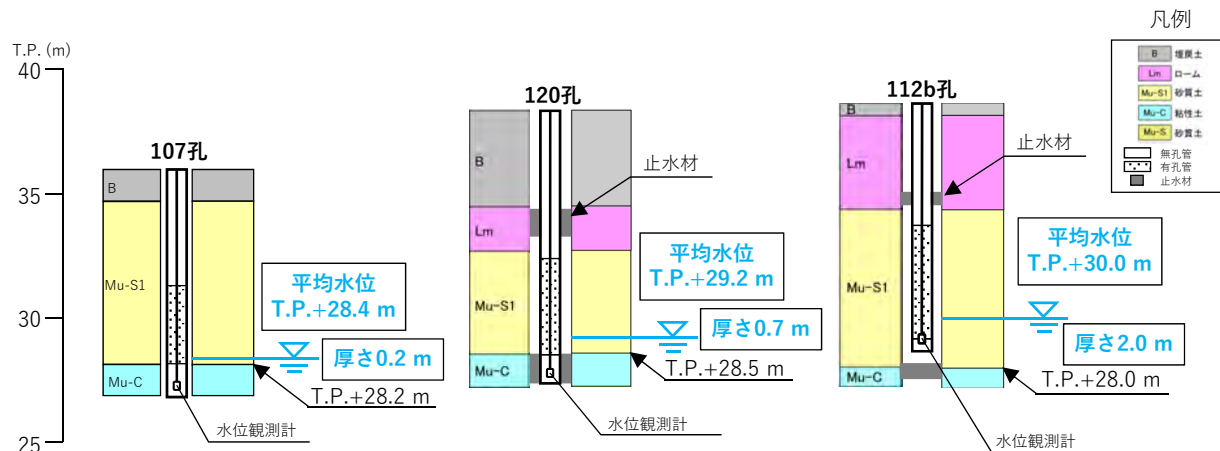


図 宙水観測孔構造図

地下水位の設定について(地下水位観測データ) 建物近傍の状況について

- ・ 建物近傍は、建設工事時にMu-S2層まで地山を掘削しており、宙水を帯水させるMu-C層は、砂質土からなる埋戻土で置き換えられている。また、建設工事時の掘削状況を確認した結果、Mu-C層付近の露出面は水でにじんでいるが、工事に支障を及ぼすような湧水は確認されない。
- ・ 埋戻土の飽和度を整理した結果、埋戻土はMu-C層付近の位置でも飽和度が低い。

建設工事時の掘削状況及び埋戻土の飽和度より、建物近傍の埋戻土には宙水はないと判断している。また、前ページの宙水観測結果より、宙水が分布する土層は層厚が薄く、すべり評価への影響はないと考えるが、宙水による影響については、念のため検討した結果を次ページ以降に示す。

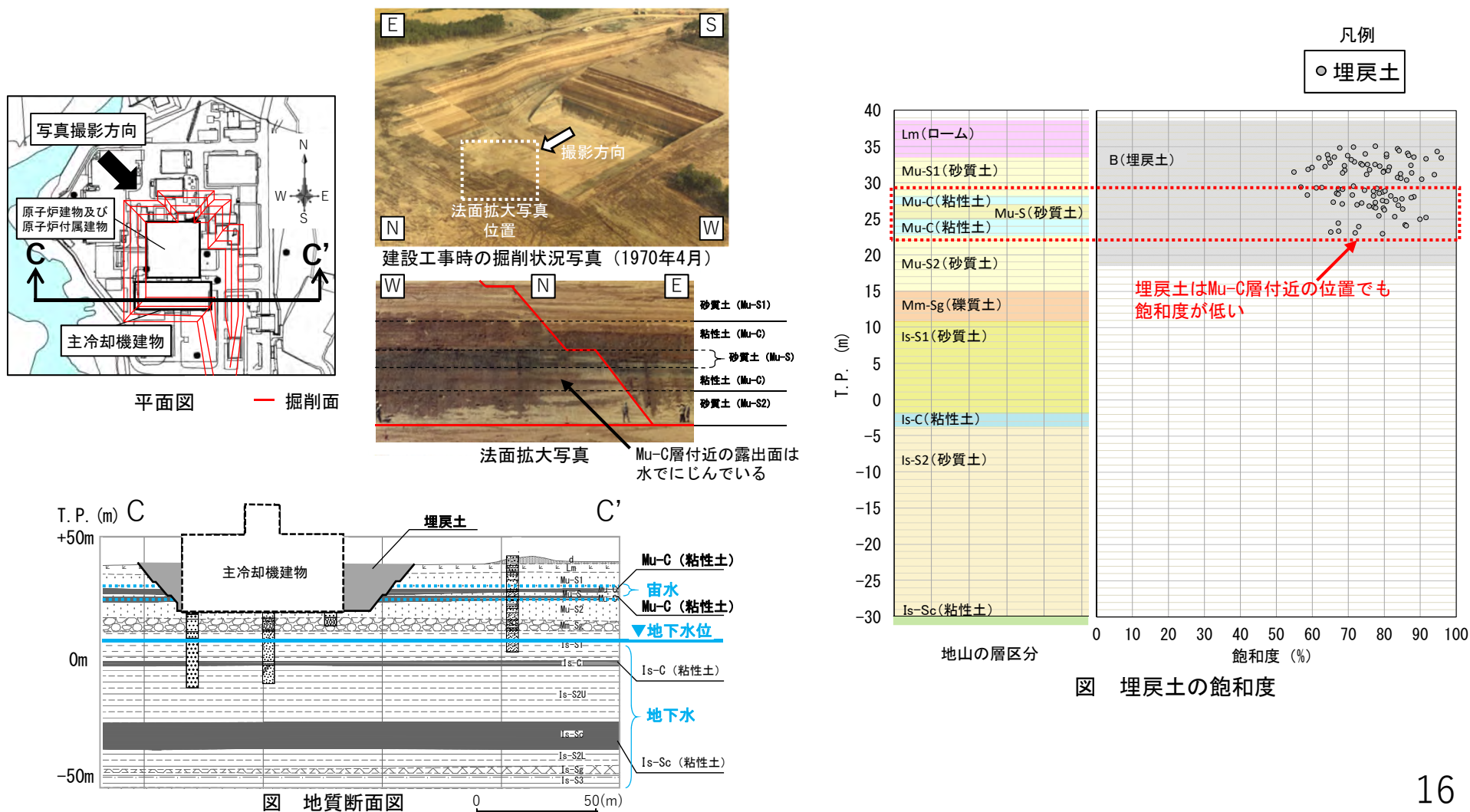
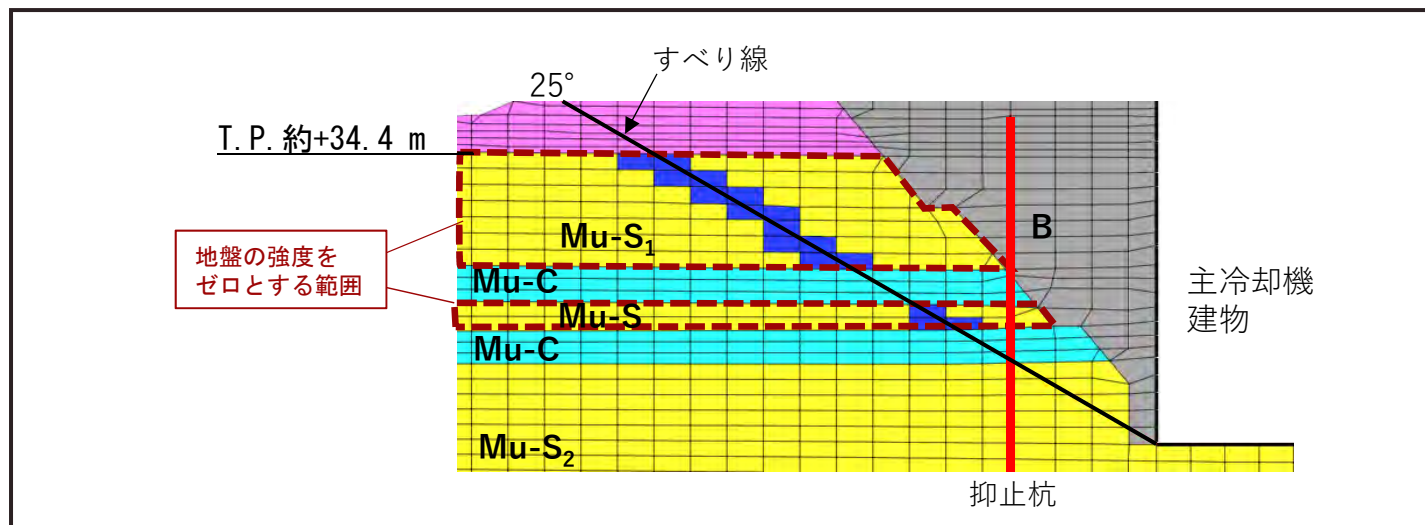
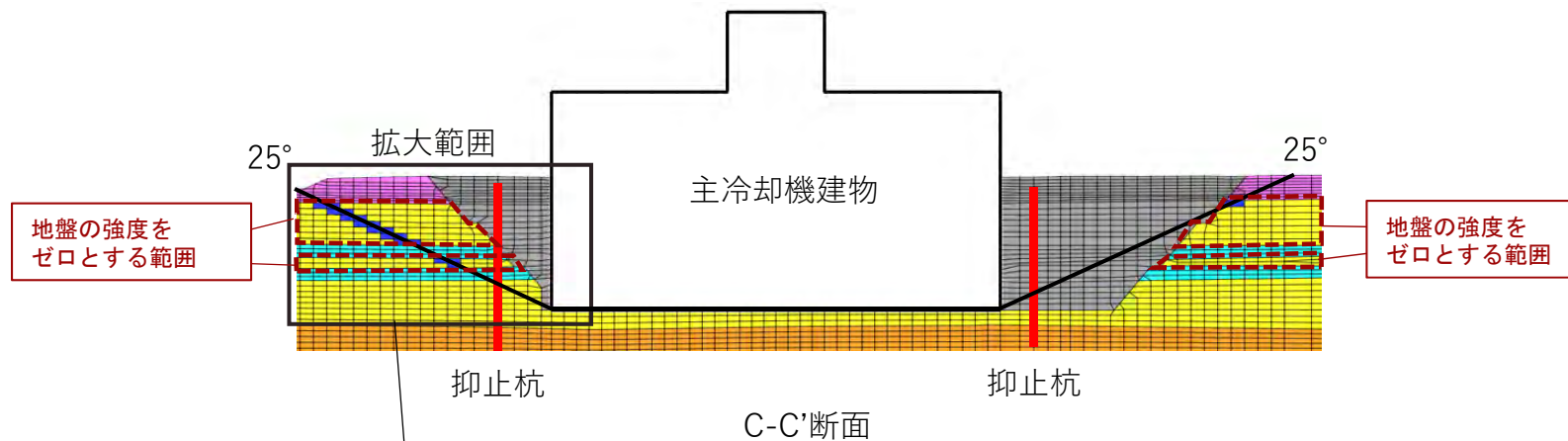


図 埋戻土の飽和度

宙水によるすべり評価への影響 (検討方法)

- ・宙水によるすべり評価への影響検討として、宙水が分布する砂質土層 (Mu-S1層、Mu-S層) の強度をゼロとした検討を行う。
- ・解析にあたっては、保守的にMu-S1層、Mu-S層の全層厚の地盤の強度をゼロとし、起動力は考慮した評価とする。



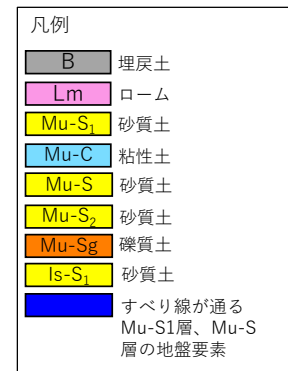
凡例

B	埋戻土
Lm	ローム
Mu-S ₁	砂質土
Mu-C	粘性土
Mu-S	砂質土
Mu-S ₂	砂質土
Mu-Sg	礫質土
Is-S ₁	砂質土
(Blue shaded area)	すべり線が通る Mu-S1層、Mu-S層の地盤要素

C-C'断面 (拡大図)

- 「Mu-S1層、Mu-S層の強度ゼロ」とした場合のすべり安全率は、いずれのすべり線でも基本モデルと比べて-2~3%程度であるため、すべり評価への影響は軽微である。
- なお、本検討の「Mu-S1層、Mu-S層の強度ゼロ」とする範囲は、保守的に観測水位より厚く設定しているため、すべり安全率への影響は更に小さい。

番号	想定すべり線 形状図	拡大図	基準 地震動※1	すべり安全率	
				基本モデル	「Mu-S1層、Mu-S層の強度ゼロ」
1			Ss-D (+, -)	2.9 (2.97) [46.64]	2.9 (2.97) [46.64]
2			Ss-D (+, -)	2.7 (2.76) [46.64]	2.7 (2.70) [46.64]
3			Ss-D (+, -)	2.4 (2.49) [46.65]	2.4 (2.42) [46.65]
4			Ss-D (+, -)	2.3 (2.35) [46.65]	2.2 (2.27) [46.67]



: 拡大図の部分 地盤の強度をゼロとする範囲

※1 (+, +) 位相反転なし、(-, +) 水平反転、(+, -) 鉛直反転、(-, -) 水平反転かつ鉛直反転



地下水位の設定について(夏海湖による影響)

夏海湖の概要

- ・夏海湖は、大洗研究所の原子炉施設（JMTR）の冷却水を主とした用水を確保するため、敷地内の窪地をせき止めて造成したJAEAが管理する人造湖（1970年建設）である。
- ・夏海湖の水は、那珂川からポンプで取水し、T.P.+約29 m（水深：約6 m）となるように管理している。水位が低下した場合は、敷地から約10 km離れた那珂川からポンプで取水し、上昇した場合は、オーバーフローし排水する構造となっている。
- ・敷地に降った雨水は、敷地の北側から一般排水溝に流れる経路となる。



夏海湖造成前（1969年6月）



夏海湖造成後（1971年4月）

夏海湖の構造(1/4)

- 夏海湖の造成工事では、窪地の底面 (T. P. +23 m) 及び法面 (上端T. P. +27 mまで) にブラケット (不透水性材料 (厚さ約1 m、粘性土)) を敷設している。
- 造成時には、現場密度試験に基づく締固め管理を実施し、現場透水試験から透水係数の確認を実施している。

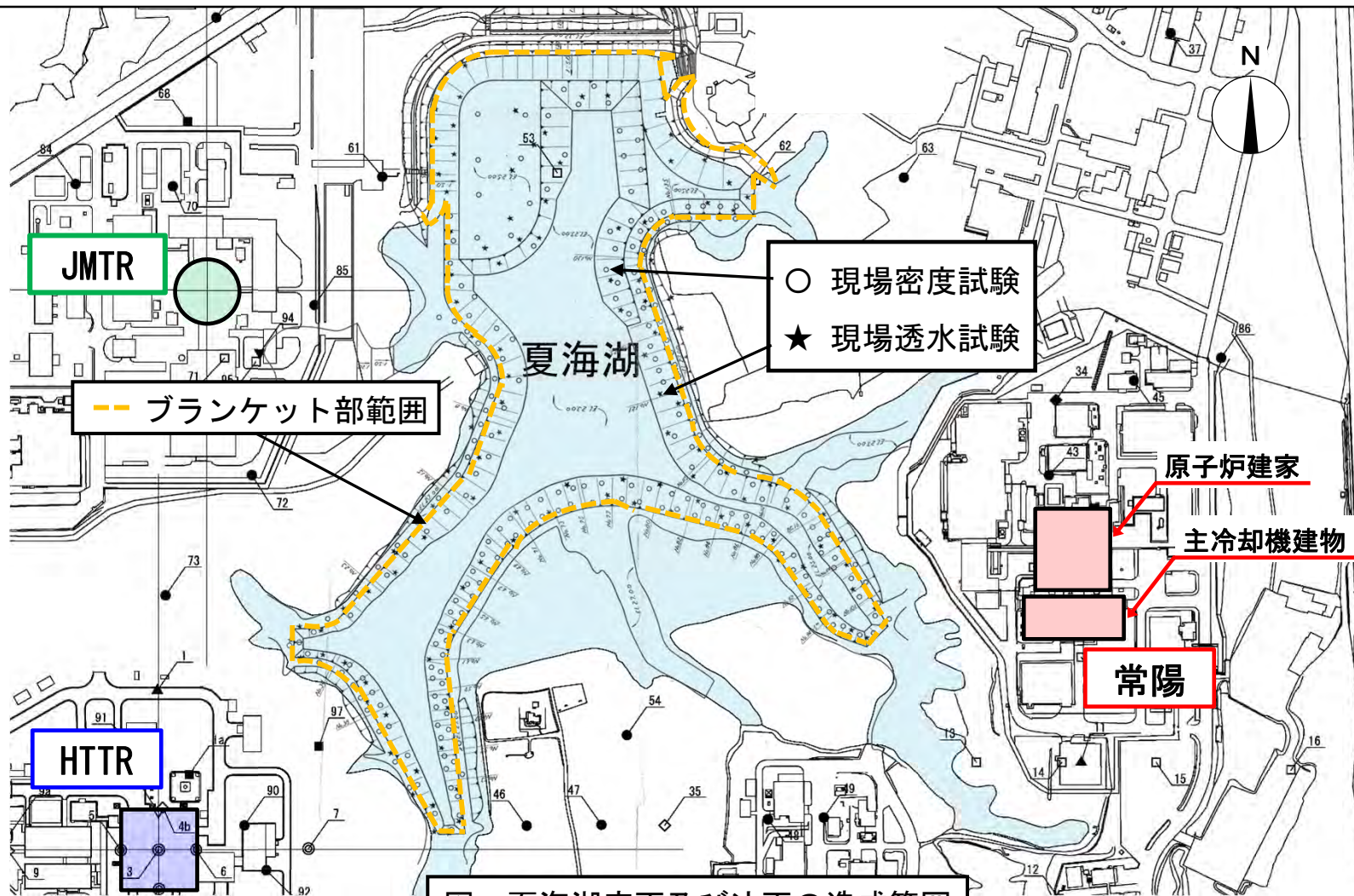


図 夏海湖底面及び法面の造成範囲

〈出典：大洗ダム貯水池工事 土質施工管理業務報告書、1970〉

夏海湖の構造 (2/4)

- ・窪地の底面 (T.P. +23 m) 及び法面 (上端T.P. +27 mまで) にブランケット (不透水性材料 (厚さ約1 m、粘性土)) を敷設。
- ・T.P. +27 mより上部については、透水性の低い粘性土層 (Mu-C) 及び火山灰質粘土 (Lm) からなり、地山の表層は主にLm層で覆われている。
(次ページにブランケット、Mu-C層及び地山の表層について現場透水試験結果を示す。)

凡例

M1段丘堆積物	
Lm	火山灰質粘土
Mu-S1	砂質土層
Mu-C	粘性土層
Mu-S (Mu-C中挟み)	砂質土層 (Mu-C中挟み)
Mu-S2	砂質土層

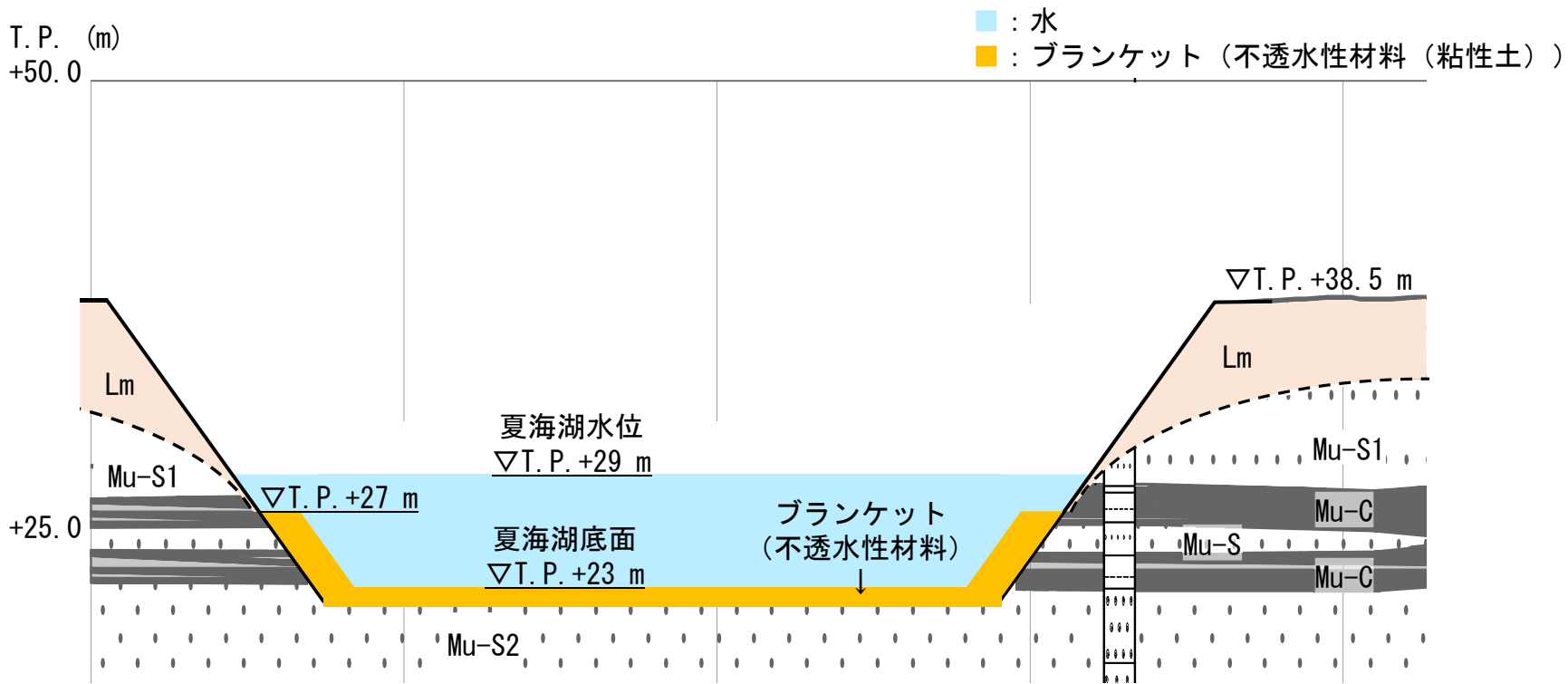


図 夏海湖断面の概念図

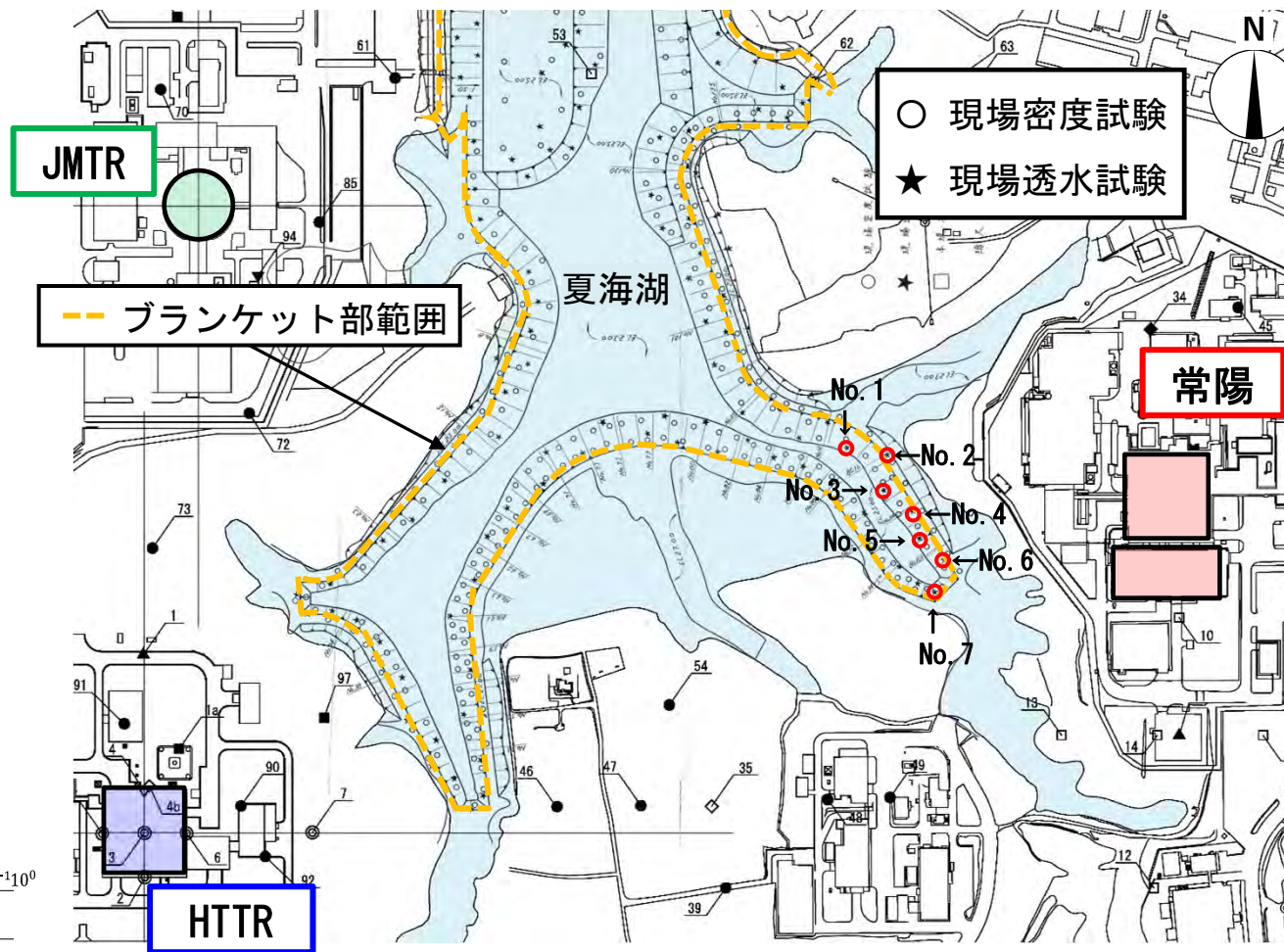
夏海湖の構造 (3/4) ブランケット及びMu-C層の透水係数

・ ブランケットの透水係数は $10^{-7} \sim 10^{-9}$ m/sのオーダーであり、地盤の透水性は「非常に低い」～「実質上不透水」に分類される。

表 現場透水試験結果 (1970年)
ブランケット (常陽近傍 No. 1~7)

No.	透水係数(m/s)	平均値(m/s)	備考
1	2.2×10^{-8}	2.2×10^{-8}	砂質ローム
	2.3×10^{-8}		
	2.2×10^{-8}		
2	2.2×10^{-8}	2.3×10^{-8}	シルト質粘土
	2.3×10^{-8}		
	2.3×10^{-8}		
3	8.3×10^{-9}	8.3×10^{-9}	シルト、固結シルト
4	7.4×10^{-9}	7.4×10^{-9}	砂質粘土
5	7.9×10^{-9}	7.9×10^{-9}	砂質ローム
6	2.2×10^{-8}	2.2×10^{-8}	砂質粘土
	2.1×10^{-8}		
7	7.9×10^{-9}	7.9×10^{-9}	粘土

夏海湖造成工事 土質施工管理業務報告書(1970年)より抜粋



透水性	透水係数 (m/s)				
	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}
透水性	実質上不透水	非常に低い	低い	中位	高い
土の種類	粘性土	微細砂、シルト 砂-シルト-粘土混合土		砂および礫	礫

表 地盤の種類と透水係数の対応

(出典：地盤工学会、地盤調査 基本と手引き、2005)

図 現場密度試験、現場透水試験の実施位置図
(※○は現場透水試験位置)



地下水位の設定について(夏海湖による影響)

夏海湖の構造(4/4) 地山の透水係数

- ・地山の表層の透水係数は $10^{-5} \sim 10^{-7}$ m/sのオーダーであり、地盤の透水性は「低い」～「非常に低い」に分類される。
- ・Mu-C層の透水係数は 10^{-7} m/sのオーダーであり、地盤の透水性は「非常に低い」に分類される。
- ・夏海湖は透水性の低い材料で覆われ遮水されており、夏海湖の水が常陽の地下水位 (T.P.+約6 m) に影響しない構造となっている。

表 現場透水試験結果 (1970年)
地山の表層 (主にLm層)

断面位置	透水係数 (m/s)	平均値 (m/s)
No. 18+3m	1.18×10^{-5}	1.25×10^{-5}
	1.32×10^{-5}	
	1.25×10^{-5}	
No. 9	9.0×10^{-7}	8.8×10^{-7}
	8.6×10^{-7}	
No. 13	6.8×10^{-7}	6.4×10^{-7}
	5.9×10^{-7}	
No. 125	5.8×10^{-6}	6.0×10^{-6}
	5.8×10^{-6}	
	5.4×10^{-6}	
	6.8×10^{-6}	
No. 130	6.3×10^{-6}	6.3×10^{-6}
	6.3×10^{-6}	
No. 130-33m	5.7×10^{-6}	5.3×10^{-6}
	4.8×10^{-6}	
	5.4×10^{-6}	

夏海湖造成工事 土質施工管理業務報告書(1970年)より抜粋

表 現場透水試験結果 (1988年)
108孔 Mu-C層

位置	透水係数 (m/s)	平均値 (m/s)
108孔	1.3×10^{-7}	1.5×10^{-7}
Mu-C層	1.7×10^{-7}	

『常陽』使用済燃料貯蔵施設増設基本設計及び地盤調査報告書(1988年)より抜粋

透水性	透水係数 (m/s)				
	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}
実質上不透水					
非常に低い					
低い					
中位					
高い					
土の種類	粘性土	微細砂、シルト	砂シルト-粘土混合土	砂および礫	礫

表 地盤の種類と透水係数の対応
(出典: 地盤工学会、地盤調査 基本と手引き、2005)

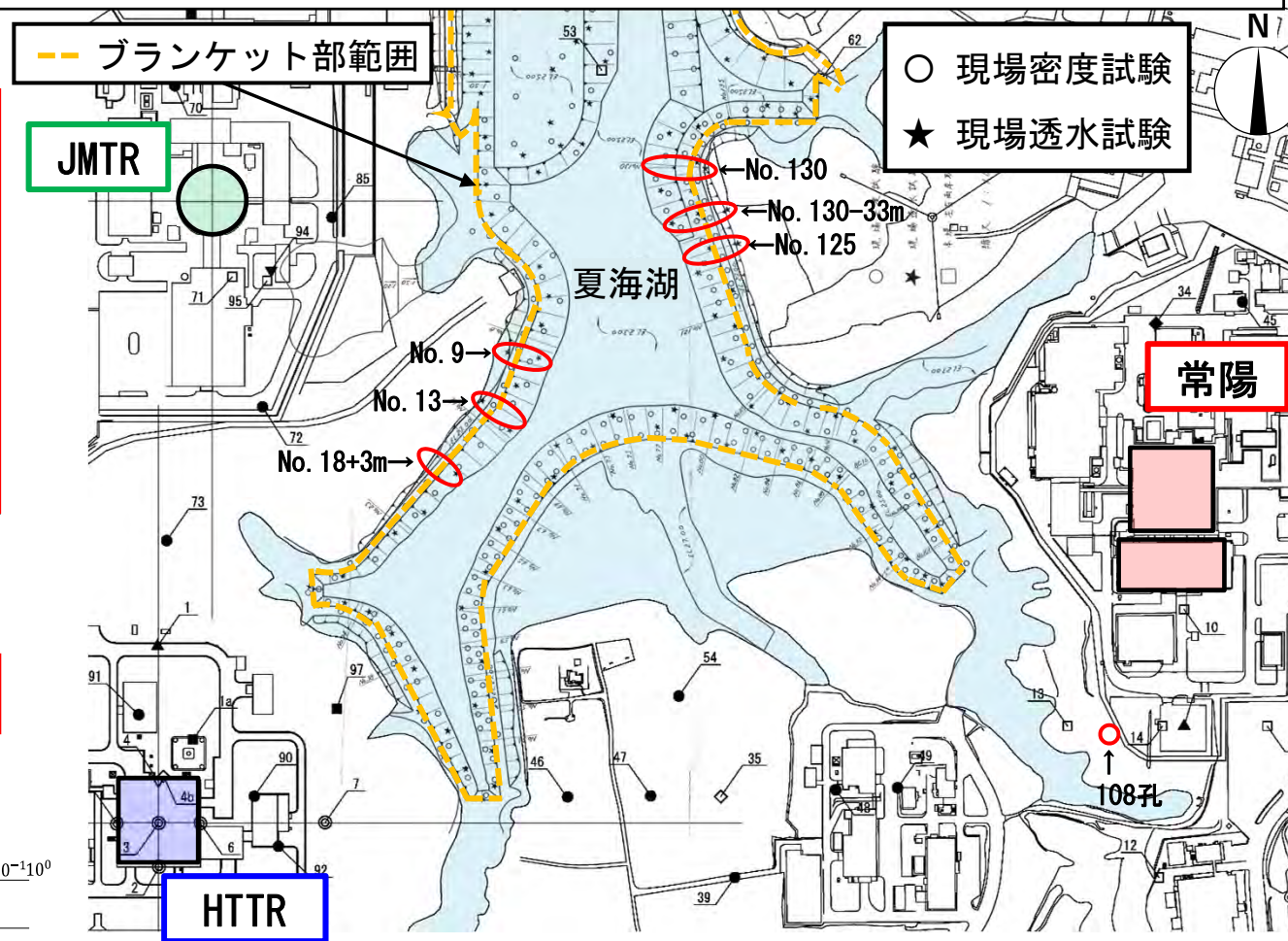
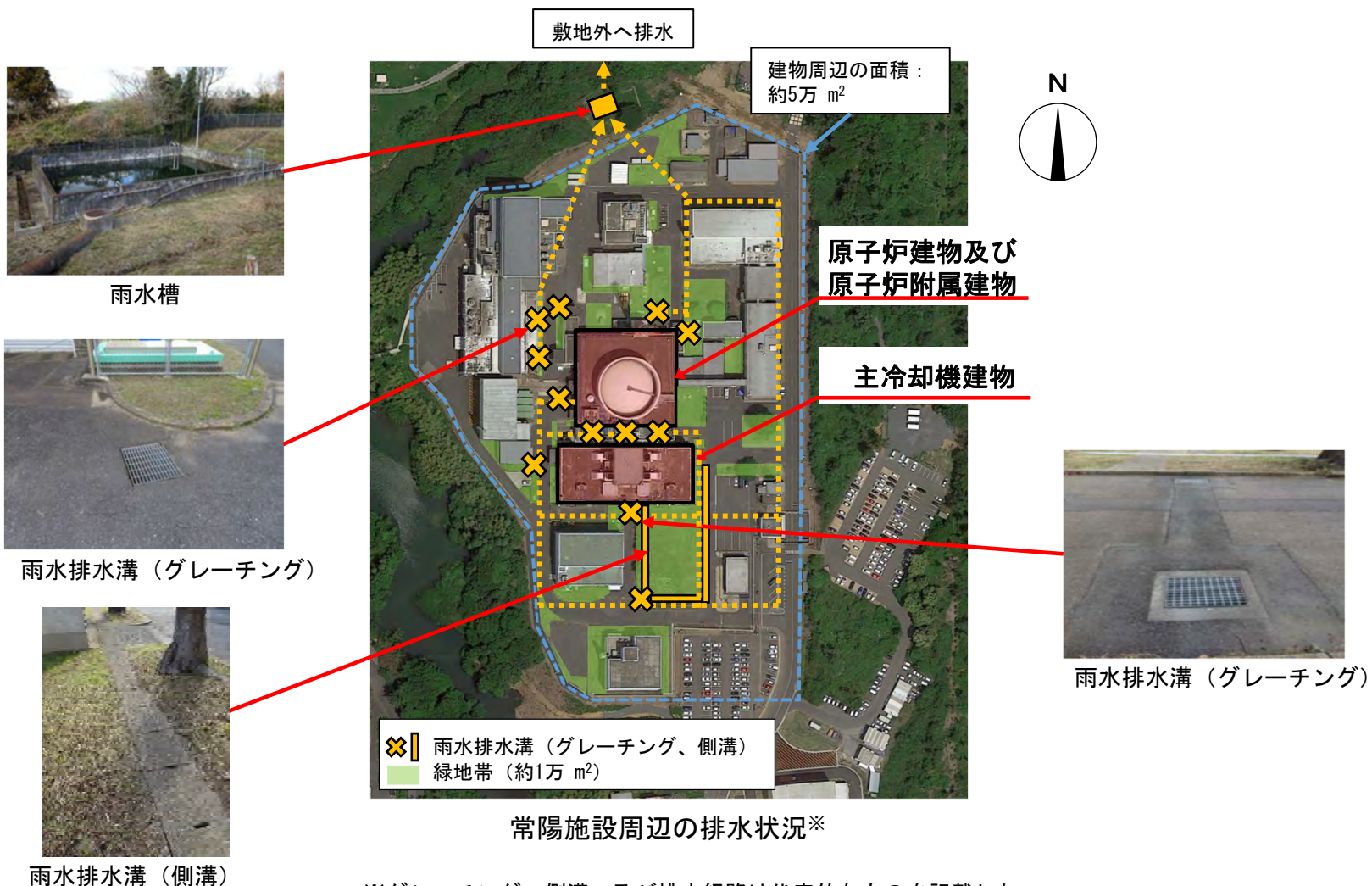


図 現場密度試験、現場透水試験の実施位置図
(※○は現場透水試験位置)

- ・ 常陽施設周辺では、地表面の約8割は建物及びアスファルト舗装で覆われており、一部に緑地帯がある。
- ・ 地表に降る雨水の多くは、建物周辺に敷設されている排水溝を通じて雨水槽に貯留され、敷地外へ排水されることから、地盤への雨水の浸透は地山と比べて低減されている。



※グレーチング、側溝、及び排水経路は代表的なものを記載した。

まとめ

(1) 地下水位観測データ

①常陽周辺における地下水位観測記録

①-1 常陽周辺の地下水位分布

- ・常陽近傍の地下水位は、T.P. +約6 mであり、解析用地下水位をT.P. +6.7mに設定している。
- ・設定した解析用地下水位は、抑止杭による補強を行う主冷却機建物の基礎底面 (T.P. +18.5 m) より、10 m以上深い位置にある。

①-2 年間変動の傾向

長期間の地下水位観測記録より、地下水位の変動は年間で約1 m程度であり、大きく変動しないことを確認した。

②大洗研敷地内（常陽、HTTR、JMTR）における地下水位観測記録

②-1 広域的な地下水位分布

敷地内の地下水位は、夏海湖西側（陸側）にあるHTTR及びJMTRでT.P. +約10 m、東側（海側）にある常陽ではT.P. +約6 mである。陸側から海側へ低下しており、地下水は海側に向かって流動していると判断している。

③各土層と水位の状況

- ・土層（地山）の飽和度及び水位観測記録より、T.P. +28 m付近の粘性土層上部に厚さ0.2~2.0 m程度の宙水がある。
- ・埋戻土の飽和度及び建設工事時の掘削状況より、建物近傍の埋戻土には宙水はないと判断している。
- ・宙水が分布する砂質土層について、保守的に全層厚の強度をゼロとしても、すべり評価への影響は軽微である。

(2) 夏海湖による影響について

- ・夏海湖は水位がT.P. +29 mとなるように取水及び排水を行い管理しており、水位は安定している。
- ・人造湖である夏海湖は透水性の低い材料で覆われ遮水されており、夏海湖の水位 (T.P. +29 m) が地下水位に影響しない構造であることを確認した。