

更なる地下水流入抑制策とりまとめ（案）

汚染水処理対策委員会が平成 25 年 12 月 10 日にとりまとめた「東京電力(株)福島第一原子力発電所における予防的・重層的な汚染水処理対策」（以下、「委員会報告書」という。）において、地下水流入抑制のための重層的な対策として、「広域的なフェーシング」又は「追加的な遮水とその内側のフェーシング」の追加的な実施が位置づけられ、その主旨に沿って、12 月 20 日の原子力災害対策本部において追加対策が決定された。

委員会報告書のとりまとめに至る過程においてサブグループで検討した結果、建屋への流入の主な要因となる中粒砂岩層（Ⅰ層）や建屋の支持地盤となっている互層部（Ⅲ層）を流れる地下水は、主として敷地内の雨水によるものであり、敷地境界付近における遮水（遮水壁、バイパス等）ではほとんど効果が期待できないことが確認されている。そのため、敷地内の雨水に由来する地下水を対象に、「広域的なフェーシング」又は「追加的な遮水とその内側のフェーシング」を行うことが効果的であるとしたものであり、その具体的な手法を決定するため、サブグループにおいて追加的な検討を行った。検討にあたっては、委員会報告書に記載した地下水流動解析モデルを利用した。

なお、地下水流入抑制策の目的は、汚染源に水を近づけず、汚染水の発生量の増大を抑制することである。汚染水の漏えいリスクを低減するためには、汚染水の発生量だけでなく、汚染水の貯蔵や処理とあわせて総合的に検討すべきであるが、サブグループにおいては、地下水流入抑制策の具体的な手法について検討を行ったものである。

検討にあたっては、現場での施工性を考慮する必要があるため、従来のサブグループのメンバーに加え、日本建設業連合会から推薦を受け、現場での施工に関する知見と経験を有する 3 人の委員にも参加いただき、現地調査を含め、具体的な方策についての検討を行った。

追加的な遮水対策について、以下のような視点で検討を行った。

- ・サブドレン、陸側遮水壁が全く機能しない場合も想定し、汚染水の増大（タンク容量の逼迫）や廃炉工程への影響も考慮して、地下水流入抑制量、効果発現までの期間の両面から、効果が大きい対策であること。
- ・現場での施工の確実性があり、他の施工中の工事の遅延を引き起こさないこと。
- ・実施中・計画中の遮水対策の効果に負の影響を与えないこと
（実施中・計画中の遮水対策と相乗効果が得られること）

- ・ 建屋滞留水のアウトリークを引き起こさない対策が可能であること
- ・ 長期的に安定し、維持補修が容易であること
- ・ 費用対効果に優れていること
- ・ 陸側遮水壁（凍土壁）が機能した場合でも、それを将来解凍する際に、他の対策工と合わせてその効果を代替することが可能であること
- ・ 対策が所定の効果を発揮しないリスクを考慮して、必要な場合には次善の策を準備しておくこと

具体的な対策案を比較検討し、決定するためには、「地下水流動解析」と「現場視察を踏まえた施工性の判断」が重要となる。

対策の手法としては、主として、

- ① フェーシング（表面遮水）、
- ② 遮水壁（地下水遮水）、
- ③ 薬液注入（地下水遮水：遮水壁より遮水効果が劣る）、
- ④ 揚水井（地下水バイパスの増設）が考えられる。

また、②～④の手法の実施位置としては、主として、

- A. 建屋領域の南側、
- B. 建屋領域の北側、
- C. 建屋領域の西側

が考えられる。

すなわち、①の手法を広域的に実施する「広域的なフェーシング案」のほか、②～④の手法をA～Cの位置に実施する様々な「組合せ案」が考えられる。

また、①の手法と②～④の手法との「複合案」も考えられる。

「地下水流動解析」にあたっては、「広域的なフェーシング案」や様々な「組合せ案」を比較検討するため、それぞれの案について定常解析を実施するとともに、定常解析の結果を踏まえつつ、代表的な案について効果発現までに要する時間を考慮するため非定常解析を実施した。その結果は別紙のとおり。

また、「現地視察」にあたっては、主として、他工事との関係や地形条件等を考慮し、現場での施工性の視点で調査した。その結果の概要は以下のとおり。

- ・ 建屋南側および北側は、②の手法は困難だが、③や④の手法は可能。
- ・ ただし、建屋北側のうち凍土壁と並行する区間は、③の手法も困難を伴う
- ・ 建屋西側は、いずれの手法も可能。

地下水流動解析と現地視察の結果を総合的に判断すると、以下のように整理できる。

- (1) 広域的なフェーシング案 (ケース 7-2、110)
 - ・施工上の問題は小さい。また、コストが比較的小さい (数十億円)。
 - ・作業環境改善等の他の目的から、1.15km² 程度のフェーシングが実施予定であり、その場合の効果は小さいが、1.45km² 程度のフェーシング (ケース 110) を行えば、地下水流入抑制量が 200m³/日 (無対策時の建屋への地下水流入量の約半分。以下、効果量の目安として示す。) を上回る。100m³/日の効果発現までに 2 年、200m³/日の効果発現までに 9 年。
- (2) 南・北・西の 3 面とも遮水壁とし、その内側をフェーシングする案 (ケース 101-1、101-2)
 - ・広域的なフェーシング案よりも地下水流入抑制量が大きい。南・北の施工が困難。
- (3) 南・北の 2 面を薬液注入、西を遮水壁とし、その内側をフェーシングする案 (ケース 102-2)
 - ・北側の凍土壁と並行する区間では、施工に課題がある。
 - ・地下水流入抑制量が 200m³/日に達しない。
 - ・100m³/日の効果発現までに 1 年 (広域的なフェーシング案より早い)。
- (4) 南・北・西の 3 面とも揚水井 (地下水バイパス増設) とし、その内側をフェーシングする案 (ケース 103-2)
 - ・施工上の問題は小さい。また、コストが比較的小さい (数十億円)。ただし、運用の確実性に問題が残る。
 - ・地下水流入抑制量が 200m³/日に達しない。
 - ・100m³/日の効果発現までに 3 ヶ月 (短期間で効果発現が期待される)
- (5) その他の施工可能な「組合せ案」
 - ・(3) と (4) の中間的な効果
- (6) 広域的なフェーシングと地下水バイパスを組み合わせた複合案 (ケース 111)
 - ・施工上の問題は小さい。また、コストが比較的小さい。
 - ・地下水流入抑制量が 200m³/日を上回る (フェーシング単独より増大) 100m³/日の効果発現までに 6 ヶ月、200m³/日の効果発現までに 3.5 年

今回検討した対策案において、地下水流入量抑制量と効果発現までの時間の観点から、サブドレン・陸側遮水壁を代替できる対策はなかった。

そのため、サブドレン復旧・陸側遮水壁（凍土壁）の構築が最優先で実施すべきことが再確認されたが、サブドレン・陸側遮水壁が機能しない場合も想定し、「広域的なフェーシング」又は「追加的な遮水とその内側のフェーシング」について具体的な検討を行ったところ、以下の結果が得られた。

- ・「広域的なフェーシング案」が、地下水流入抑制量、施工性、施工期間、コスト等の観点からは、優位である。
ただし、効果発現までの時間の観点からは必ずしも優位とは言えない。
- ・「広域的なフェーシング案」に地下水バイパスを組み合わせると、効果発現までの時間が短縮されることから、地下水バイパスの運用を前提とすれば、より優位である。
ただし、様々なリスクについて考慮する必要がある。

以上を踏まえた結論は以下の通り。ただし、地下水流入抑制策としては、効果量や時間の観点から陸側遮水壁やサブドレンが優位であることから、それらが機能しないことを前提とすれば、更なる汚染水の貯蔵や処理に関する対策が必要不可欠となる。そのため、以下は、汚染水の貯蔵や処理に関する対策を最大限進めることを前提としたものである。

- ・「広域的なフェーシング（1.45km²）」を実施。「広域的なフェーシング（1.45km²）」のみでは、効果発現までに相当の時間を要するため、地下水バイパスとの併用を行う。
- ・広域的なフェーシングは、効果をできるだけ早く発現させるため、H26年度中の概成を目指す。
- ・様々なリスクを考慮して、「広域的なフェーシング(1.45km²)」の実施と並行して、地下水バイパスに依存しない対策ができる限り早期に着手可能となるよう、現実的な組合せ案（ケース 102-2；南北は薬液注入、西は遮水壁）を基本として追加的な遮水対策の詳細検討（位置や深さ等）や設計等の準備を進める。
- ・追加的な遮水対策（薬液注入、遮水壁）の実施の要否は、フェーシングが概成する H26 年度中の地下水バイパスの運用をはじめ他の施策の状況を踏まえつつ、タンク容量と貯蔵すべき汚染水量の関係を見定めて、判断することとする。（その後も、状況により、適宜判断する。）
- ・表流水の適切な処理対策を実施すること。
- ・追加的な対策の要否や緊急性を的確に判断できるよう、陸側遮水壁など他の対策の効果を把握するためのモニタリングを充実すること。

「地下水・雨水等の挙動等の把握・可視化」サブグループ検討体制

【検討体制】

汚染水処理対策委員会事務局、東京電力に以下のメンバーを加え、検討を実施。汚染水処理対策委員会委員は、アドバイザーとして任意参加。

【(独) 産業技術総合研究所】

塚本 齊 地質情報研究部門 長期変動研究グループ 研究グループ長
井川 怜欧 地圏資源環境研究部門 地下水研究グループ 研究員

【(独) 日本原子力研究開発機構】

三枝 博光 地層処分研究開発部門 研究副主幹
澤田 淳 地層処分研究開発部門 研究副主幹

【(独) 土木研究所】

脇坂 安彦 地質監

【国土技術政策総合研究所】

小橋 秀俊 建設マネジメント研究官
川崎 将生 河川研究部水循環研究室長
森 啓年 河川研究部河川研究室主任研究官

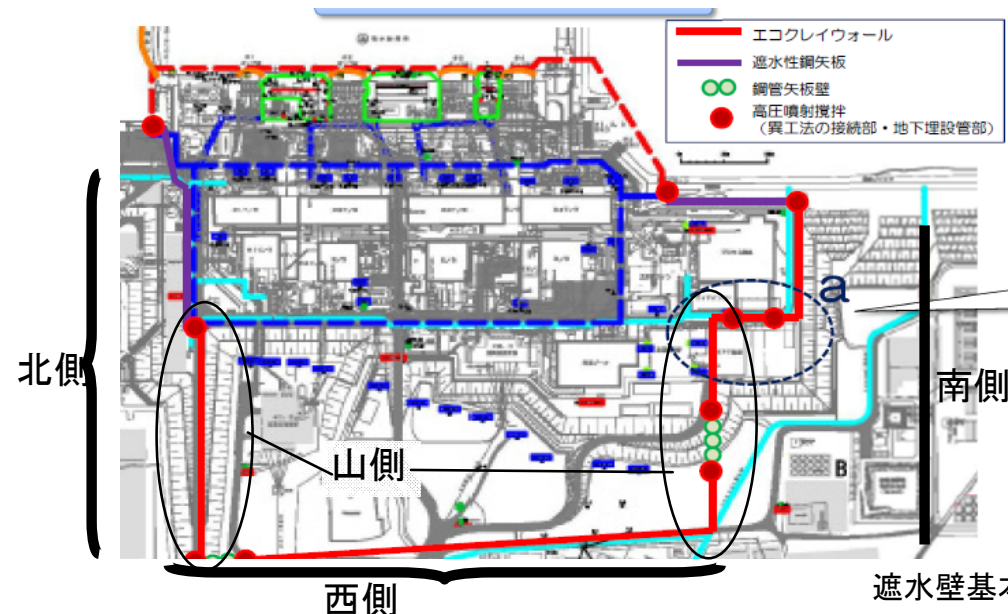
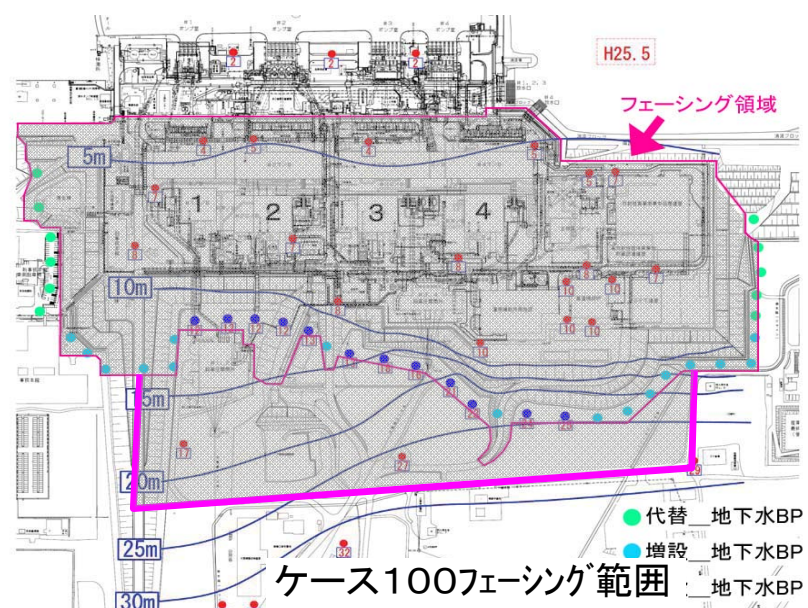
【(一社) 日本建設業連合会】

井尻 裕二 電力対策特別委員会技術専門部会委員
鬼木 剛一 電力対策特別委員会技術専門部会委員
白石 知成 電力対策特別委員会技術専門部会委員

ケース	フェーシング (km ²)	北(数字は透水係数)	西(数字は透水係数)	南(数字は透水係数)	深さ	定常解析(m ³ /日)		非定常 A:300m ³ /日、B:200 ³ /日		概算想定 追加工事費※
						建屋流入量	1-4号流入量	A	B	
2	—	—	地下水BP(連続孔~12孔)	—	中粒砂岩	291~388	206~300	—	—	
104-2	—	山側のみ薬注:1×10 ⁻⁵	地下水BP(12孔)	山側のみ薬注:1×10 ⁻⁵		386	301	—	—	
6	0.15(80%)	凍土(凍土内のフェーシングは80%)			粗粒砂岩	126	29	2ヶ月	6ヶ月	
101-1	0.4	粘土壁:1×10 ⁻⁶ (cm/sec)	粘土壁:1×10 ⁻⁶ (cm/sec)	粘土壁:1×10 ⁻⁶ (cm/sec)		146	120	—	—	数百億以上
101-2	0.4	粘土壁:1×10 ⁻⁶ (cm/sec)	粘土壁:1×10 ⁻⁶ (cm/sec)	粘土壁:1×10 ⁻⁶ (cm/sec)	中粒砂岩	206	164	—	—	百億以上
8-2	1.0	粘土壁:1×10 ⁻⁶ (cm/sec):南北は海~敷地境界まで			粗粒砂岩	165	131	3年	10年以上	
102-2	0.4	薬注:1×10 ⁻⁵ (cm/sec)	粘土壁:1×10 ⁻⁶ (cm/sec)	薬注:1×10 ⁻⁵ (cm/sec)		224	176	12ヶ月	未達	数百億以上
100-2	0.4	—	地下水BP(12孔)	—	中粒砂岩	291	222	—	—	
102-1	0.4	薬注:1×10 ⁻⁵ (cm/sec)	地下水BP(12孔)	薬注:1×10 ⁻⁵ (cm/sec)	粗粒砂岩	262	205	—	—	数百億程度
103-1	0.4	薬注:1×10 ⁻⁵ (cm/sec)	地下水BP(12孔+増設16孔)	薬注:1×10 ⁻⁵ (cm/sec)	中粒砂岩	230	177	—	—	百億以上
103-2	0.4	地下水BP(代替6孔)	地下水BP(12孔+増設16孔)	地下水BP(代替5孔)		223	172	3ヶ月	未達	数十億程度
103-3	0.4	地下水BP(代替6孔)+ 薬注:1×10 ⁻⁵ (cm/sec)	地下水BP(12孔+増設16孔)	地下水BP(代替5孔)+ 1×10 ⁻⁵ (cm/sec)		214	168	—	—	百億以上
103-4	0.4	地下水BP(代替6孔)				218	172	—	—	数十億以上
104-1	0.4	山側のみ薬注:1×10 ⁻⁵ (cm/sec)	地下水BP(12孔)	山側のみ薬注:1×10 ⁻⁵ (cm/sec)		279	215	—	—	数十億以上
100	0.4	フェーシング:比較の基本ケース(全てに共通:下図左(0.4km ²))			—	346	274	—	—	
7-2	1.7	広域フェーシング(1.7km ²)			—	159	134	2年	9年	
110	1.45	広域フェーシング(実際の1.45km ² 程度)			—	167	138	ケース7-2同等と評価		数十億程度
110-2	1.15	広域フェーシング(実施計画済みの1.15km ² 程度)			—	310	260	—	—	—
111	1.45	広域フェーシング(実際の1.45km ² 程度)+地下水BP(連続孔~12孔)			—	93~130	68~103	2~6ヶ月	7ヶ月~3.5年	数十億程度

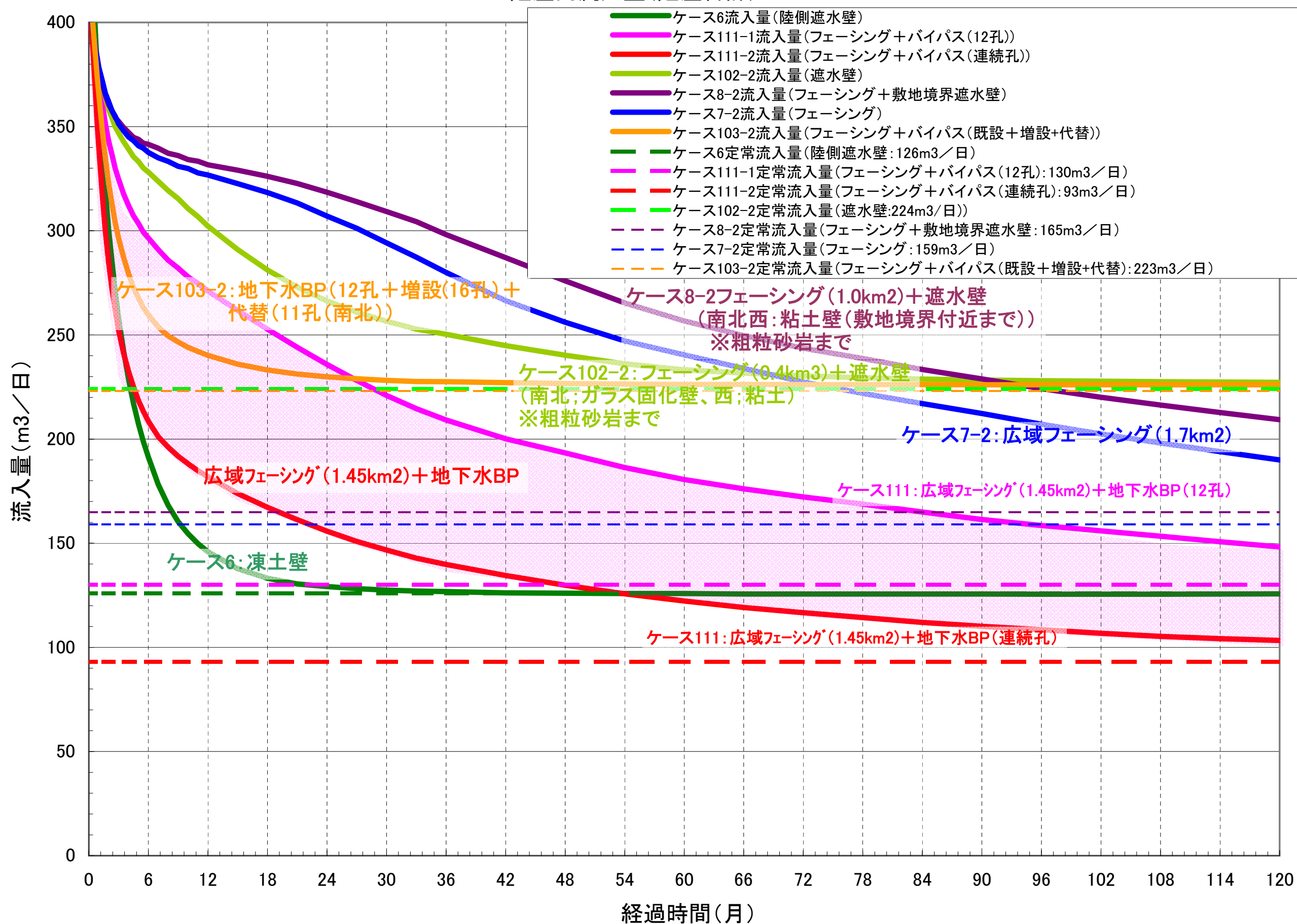
- 施工可能: 確実性高
- 施工可能: 確実性中
- 施工要検討: 確実性低
- 施工困難: 確実性極低

確実性の評価には、深部まで対策した際の汚染拡大防止や、他工事との人員の調達調整は考慮していない。

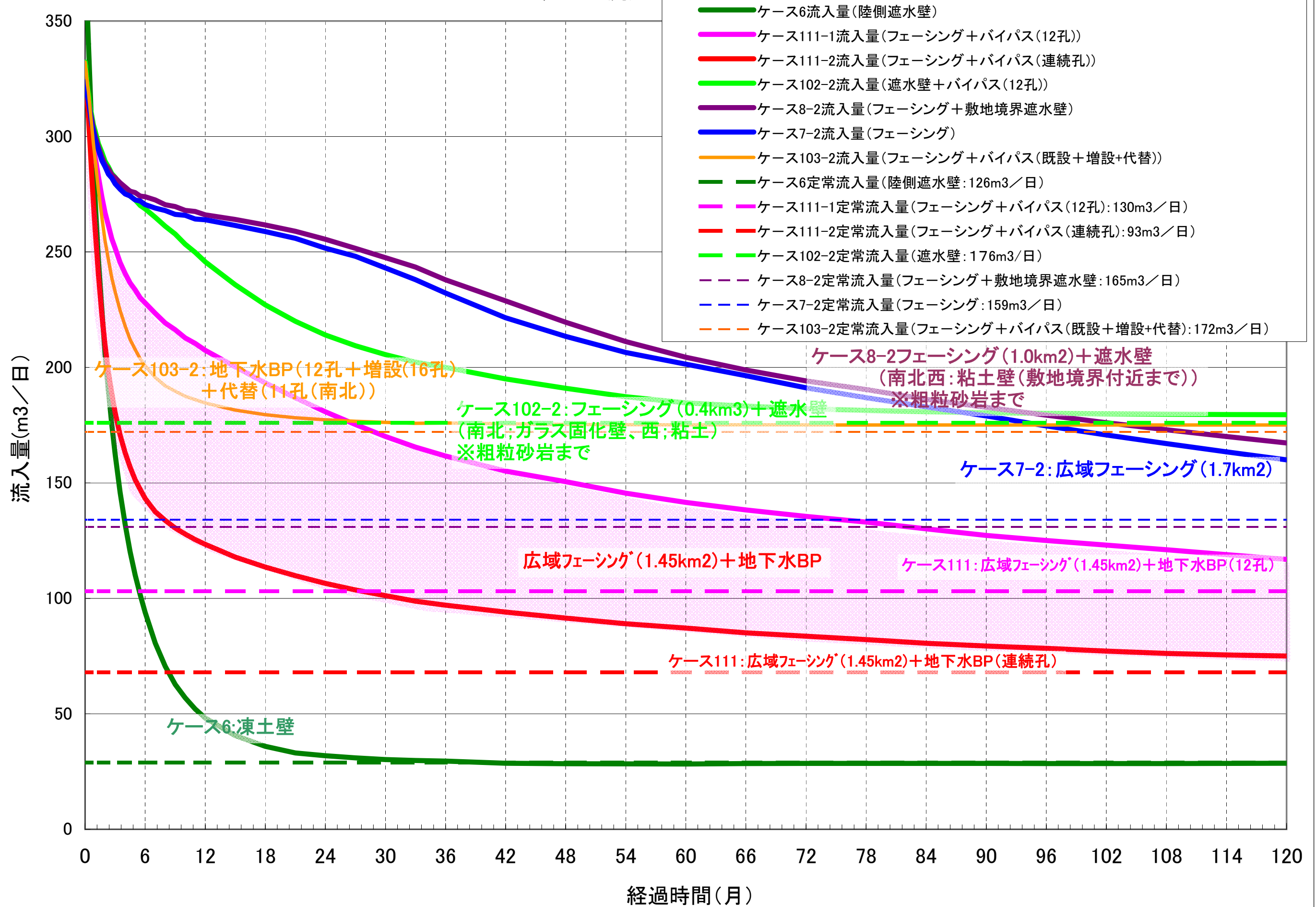


- 建屋流入量: 170m³/日以下、1年以内
- 建屋流入量: 170~250m³/日、1~3年程度
- 建屋流入量: 250~350m³/日、4~8年程度
- 建屋流入量: 350m³/日~、9年以上

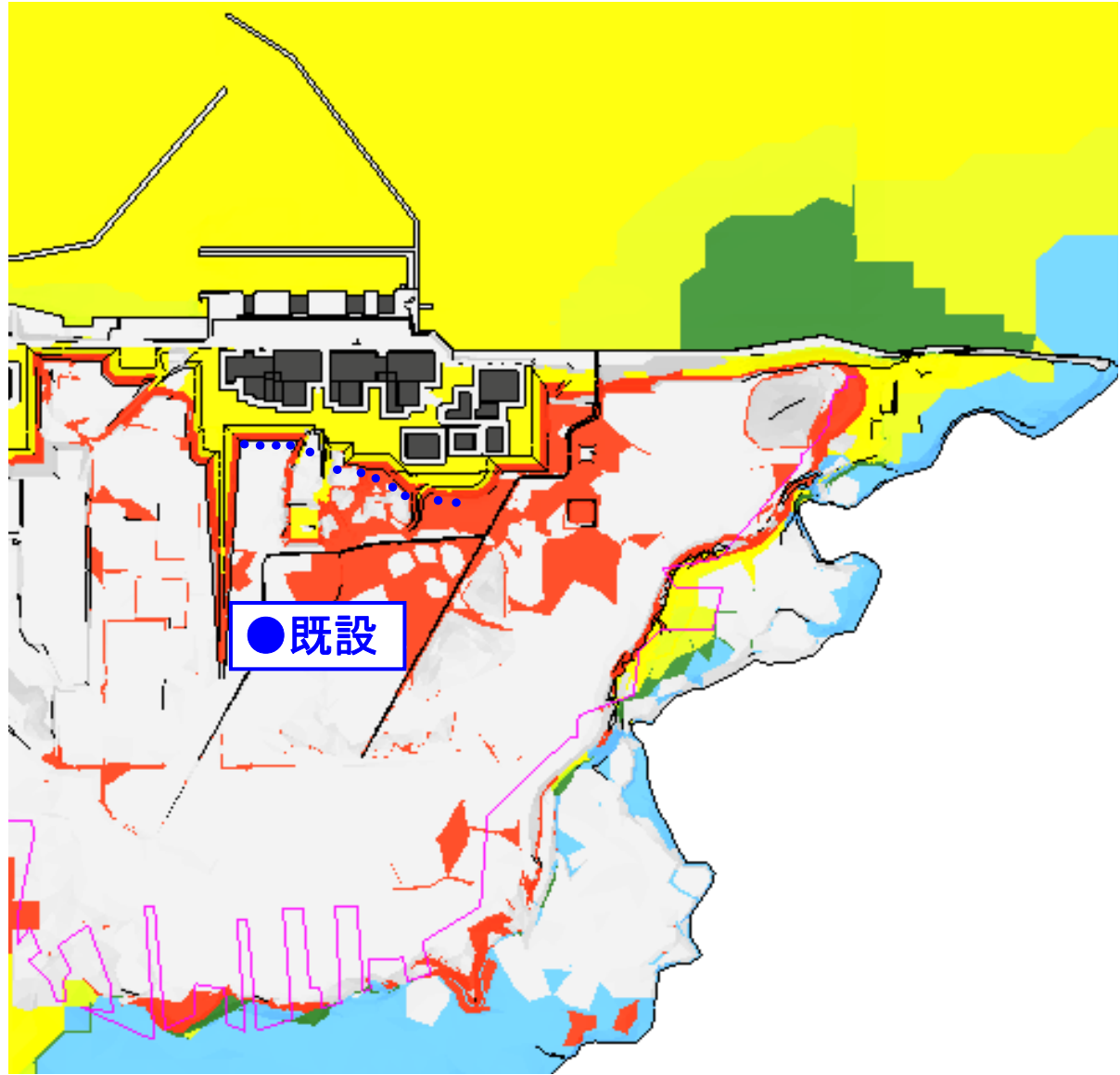
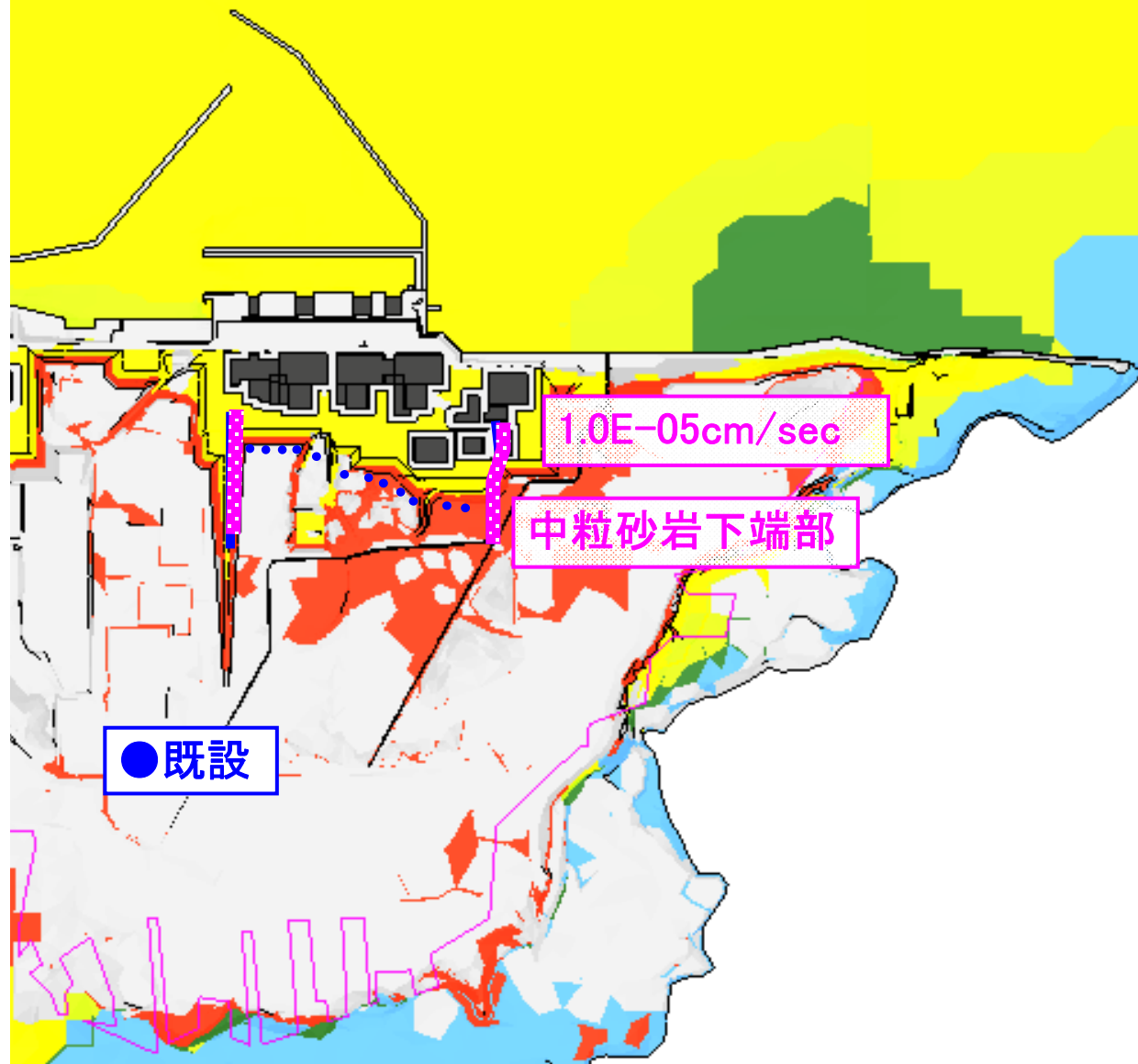
建屋内流入量(建屋合計)



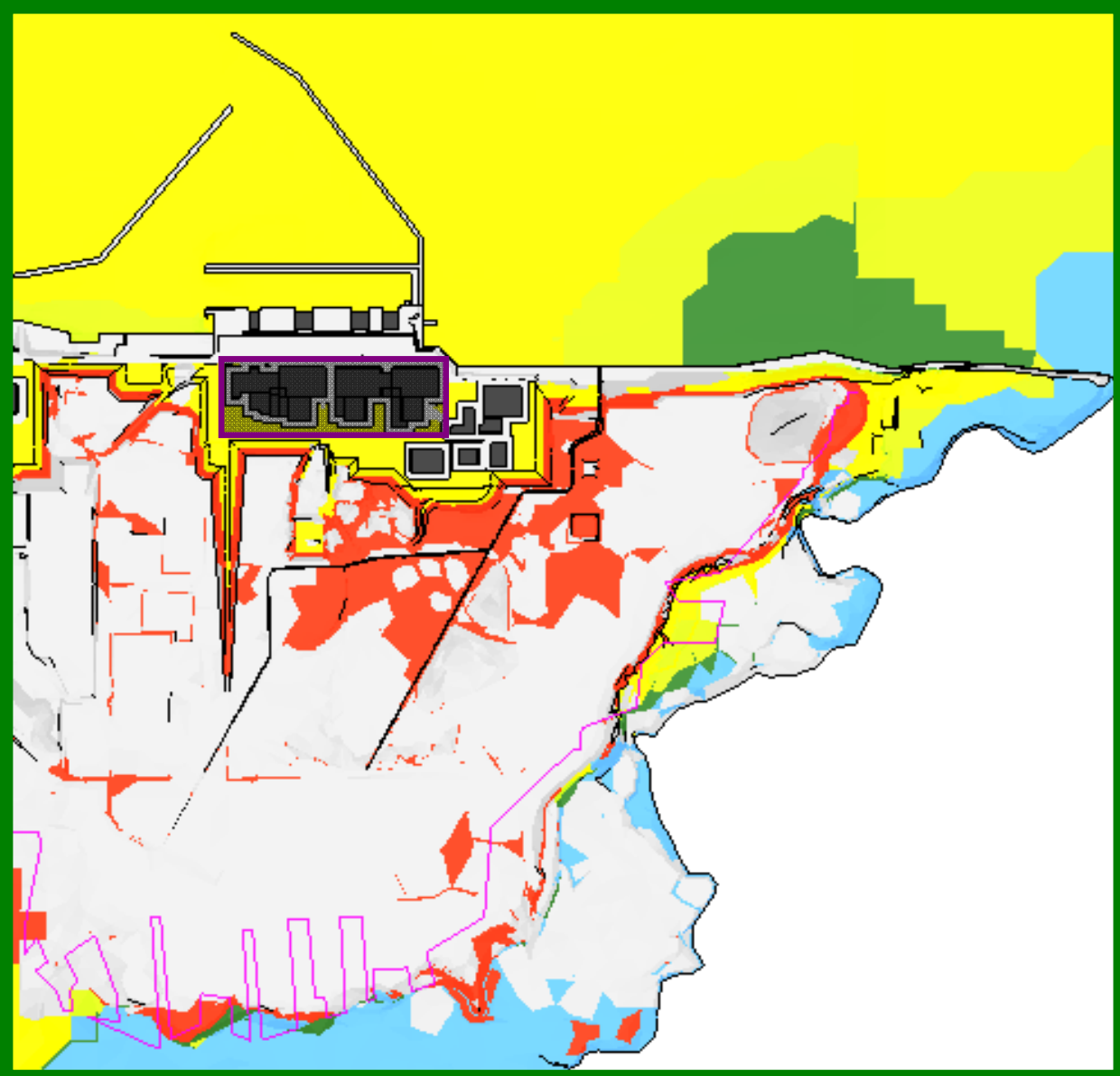
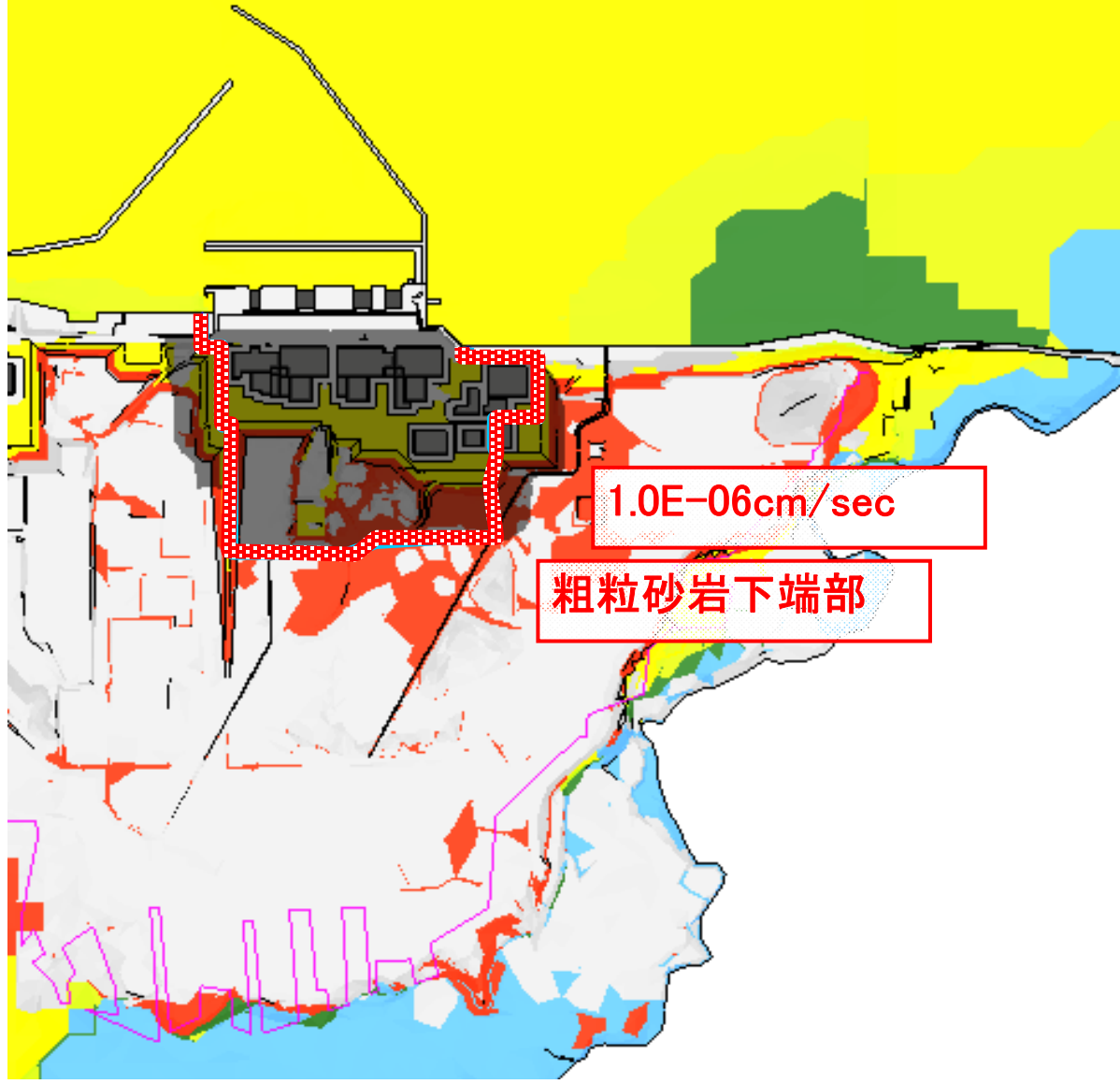
建屋内流入量(1-4建屋)



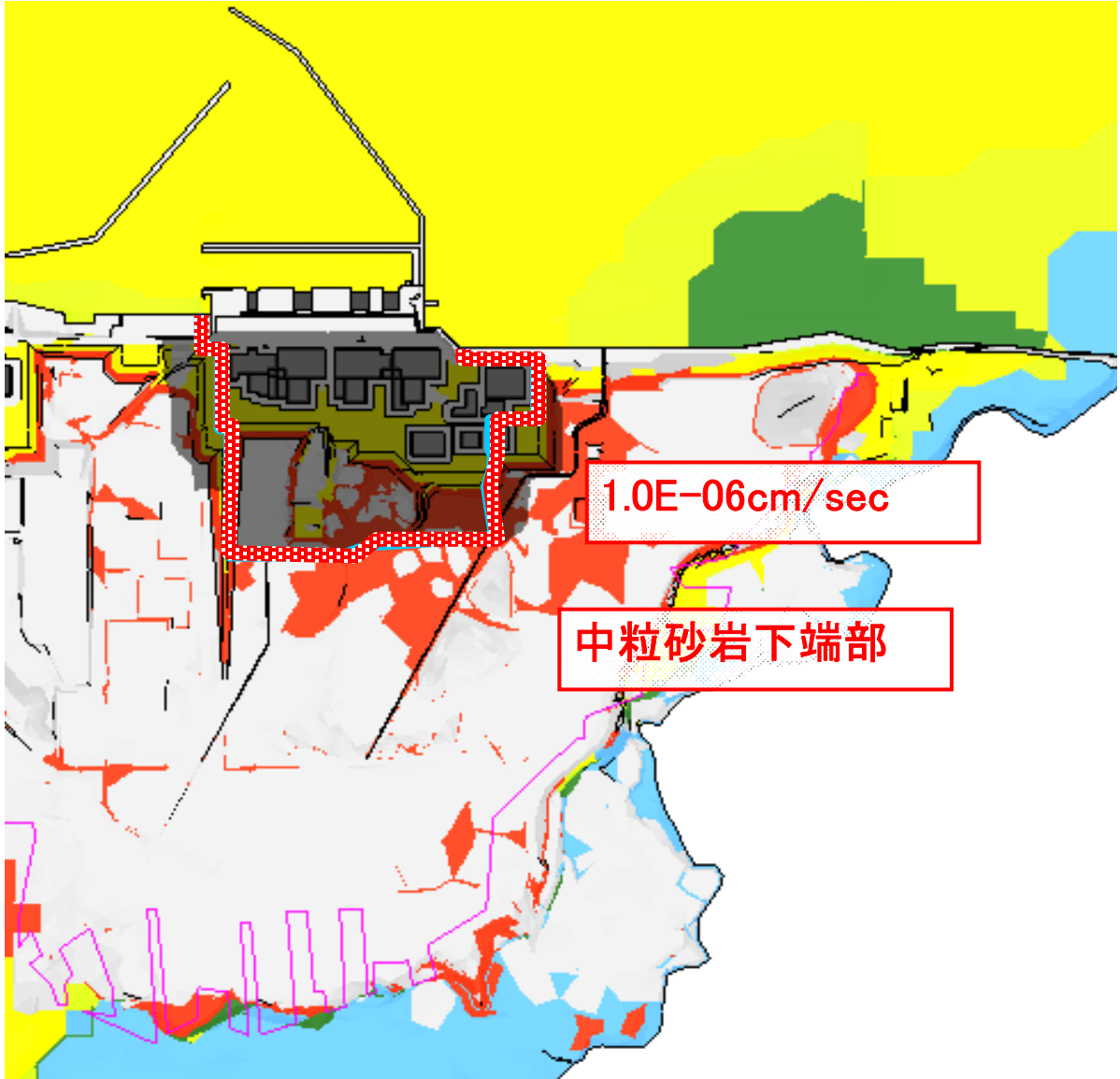

解析結果及びモデル図(その1)

ケース2(地下水バイパス:12孔)	104-2 (遮水壁+地下水バイパス)
建屋流入量:合計388, 1-4号300, HTI-プロセス88	遮水壁:南・北側 $1.0E-05\text{cm}/\text{sec}$ 中粒砂岩下端部
地下水バイパス揚水量:459	地下水バイパス:既設(12孔)
—	建屋流入量:合計386, 1-4号301, HTI-プロセス85
—	地下水バイパス揚水量:既設472
—	
	

解析結果及びモデル図(その2)

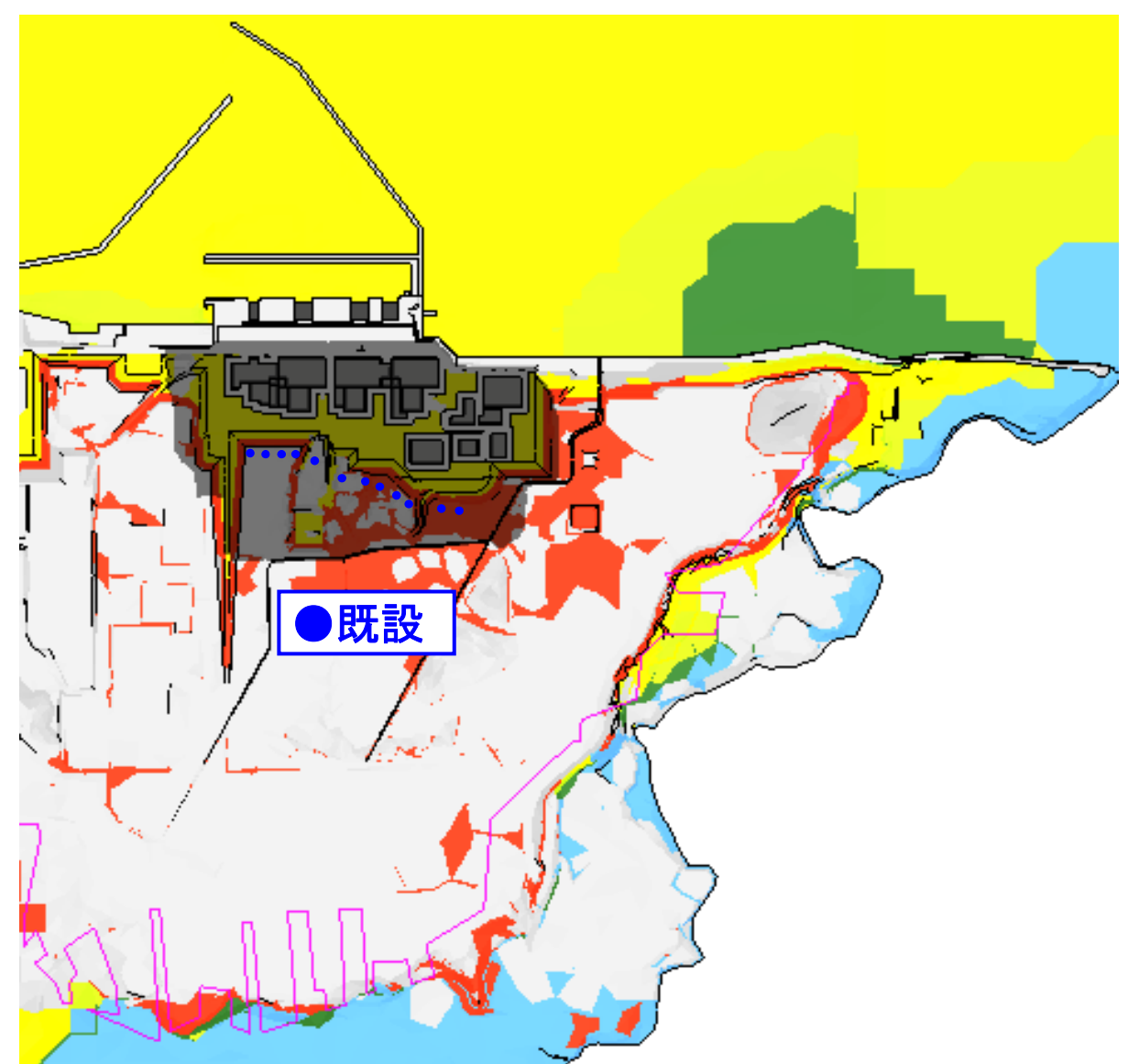
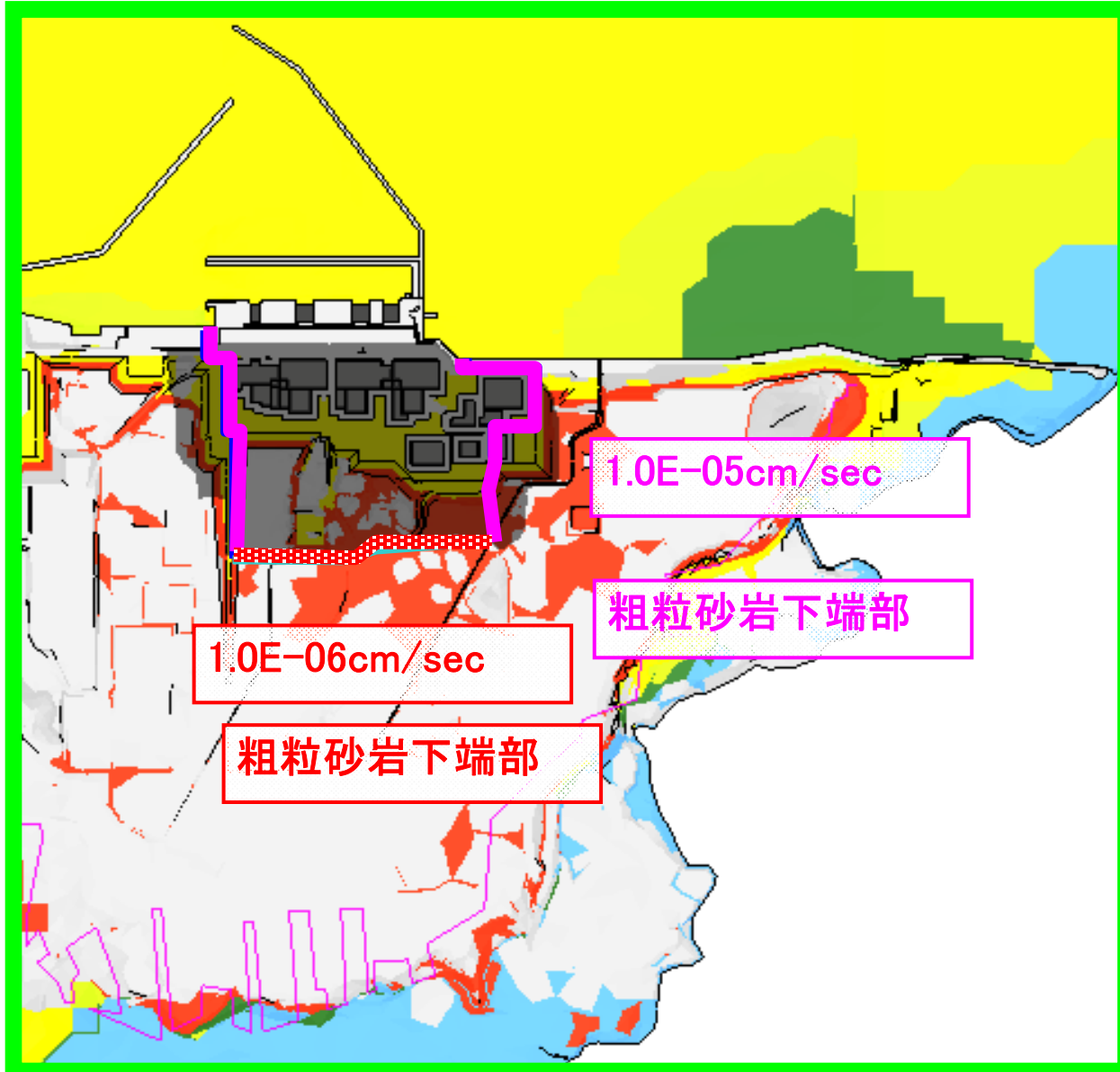
ケース6(陸側遮水壁:フェーシング0.1km ² (80%))	101-1 (フェーシング:0.4km ² +遮水壁)
建屋流入量:合計126, 1-4号29, HTI-プロセス97	遮水壁:1.0E-06cm/sec 粗粒砂岩下端部
建屋流入量:300m ³ /日:約2.0ヶ月	建屋流入量:合計146, 1-4号120, HTI-プロセス26
建屋流入量:200m ³ /日:約5.5ヶ月	—
—	—
—	—
	

解析結果及びモデル図(その3)

101-2 (フェーシング:0.4km ³ +遮水壁)	ケース8-2 (フェーシング:0.9km ² +遮水壁)
遮水壁:1.0E-06cm/sec 中粒砂岩下端部	遮水壁:1.0E-06cm/sec 粗粒砂岩下端部
建屋流入量:合計206, 1-4号164, HTI-プロセス42	建屋流入量:合計165, 1-4号131, HTI-プロセス34
—	建屋流入量:300m ³ /日:約3年
—	建屋流入量:200m ³ /日:10年以上
—	—
	

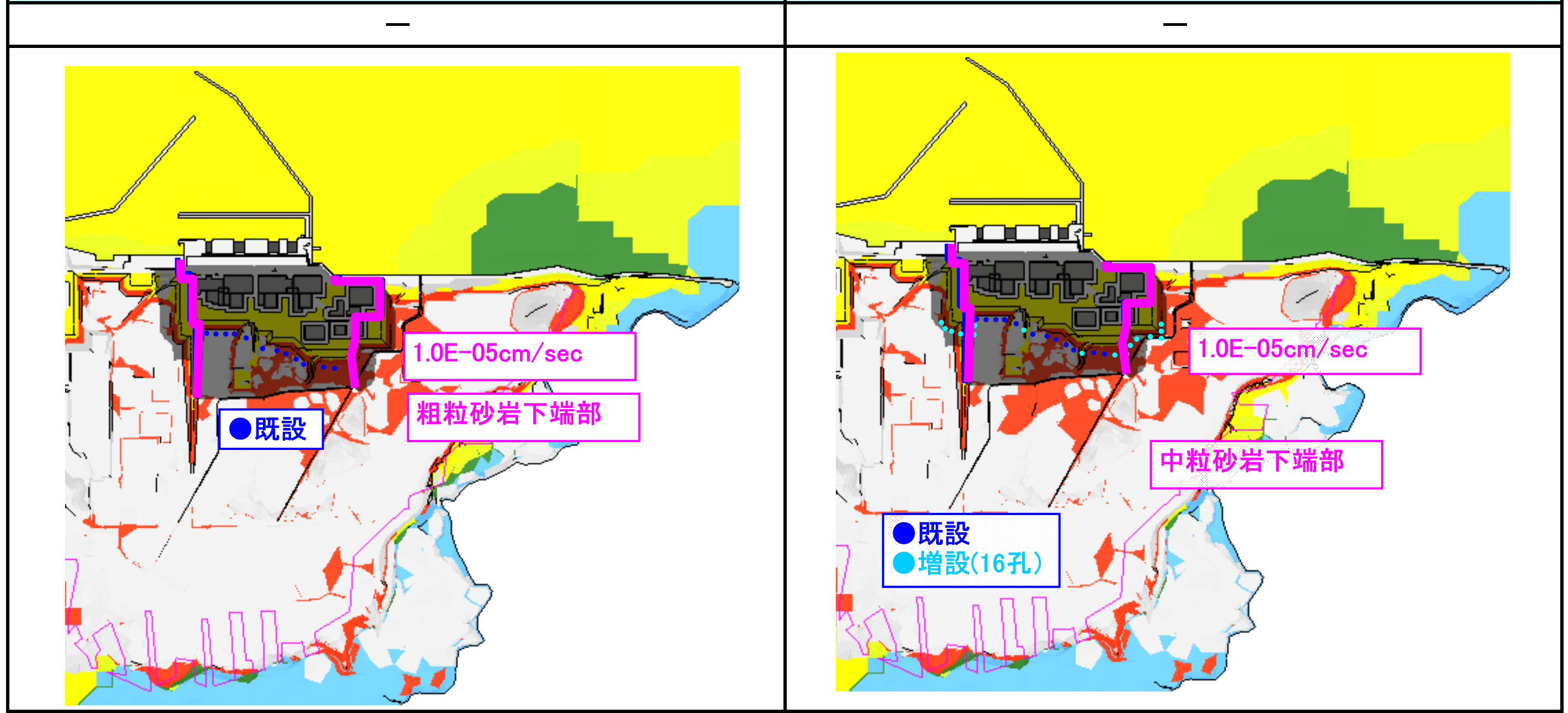
解析結果及びモデル図(その4)

102-2 (フェーシング:0.4km ² +遮水壁)	100-2(フェーシング:0.4km ² +地下水バイパス12孔)
遮水壁:北側・南側1.0E-05cm/sec 粗粒砂岩下端部	建屋流入量:合計291, 1-4号222, HTI-プロセス69
遮水壁:西側1.0E-06cm/sec 粗粒砂岩下端部	地下水バイパス揚水量:397
建屋流入量:合計224, 1-4号176, HTI-プロセス48	—
建屋流入量:300m ³ /日:約12ヶ月	—
建屋流入量:200m ³ /日:未達	—



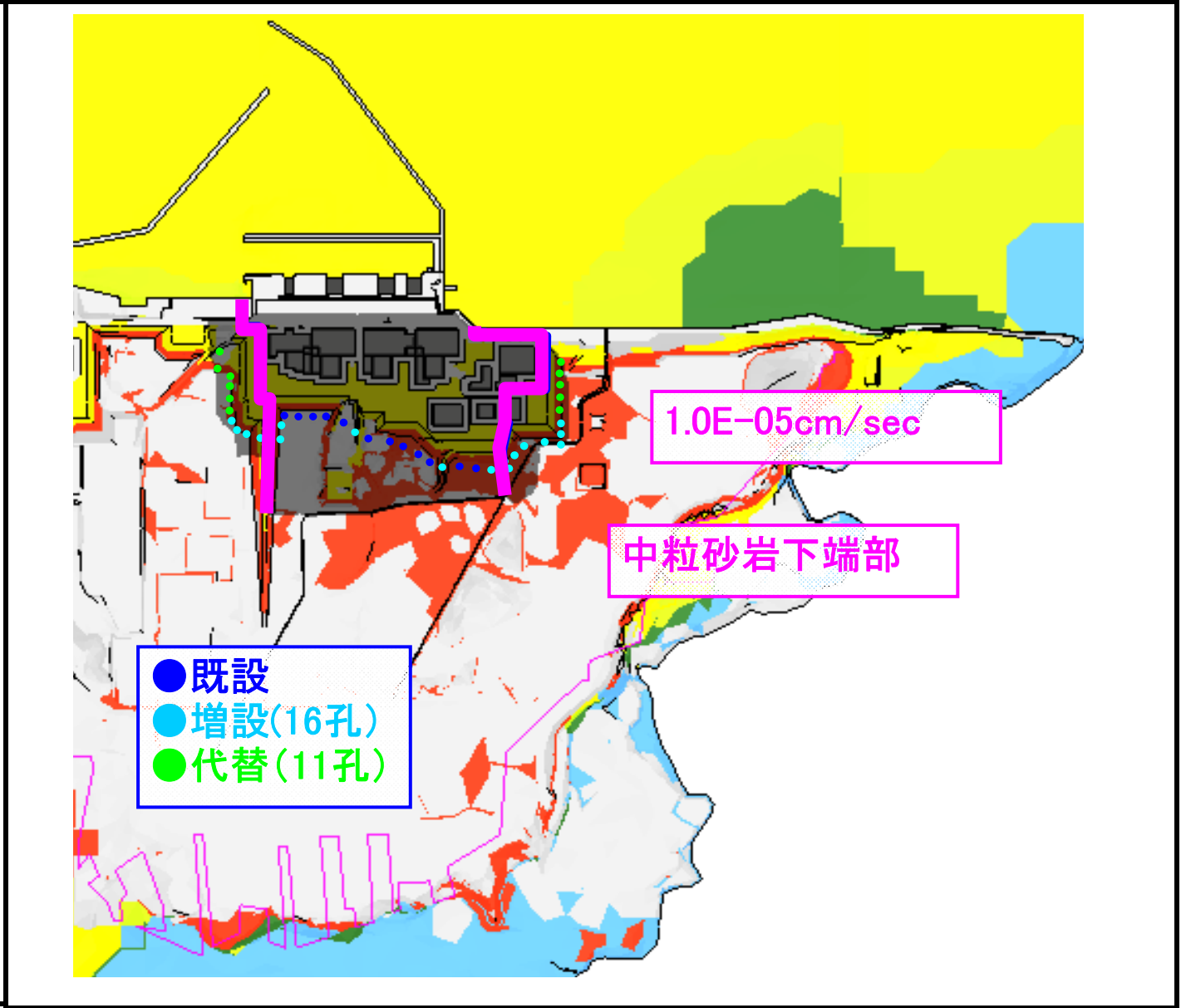
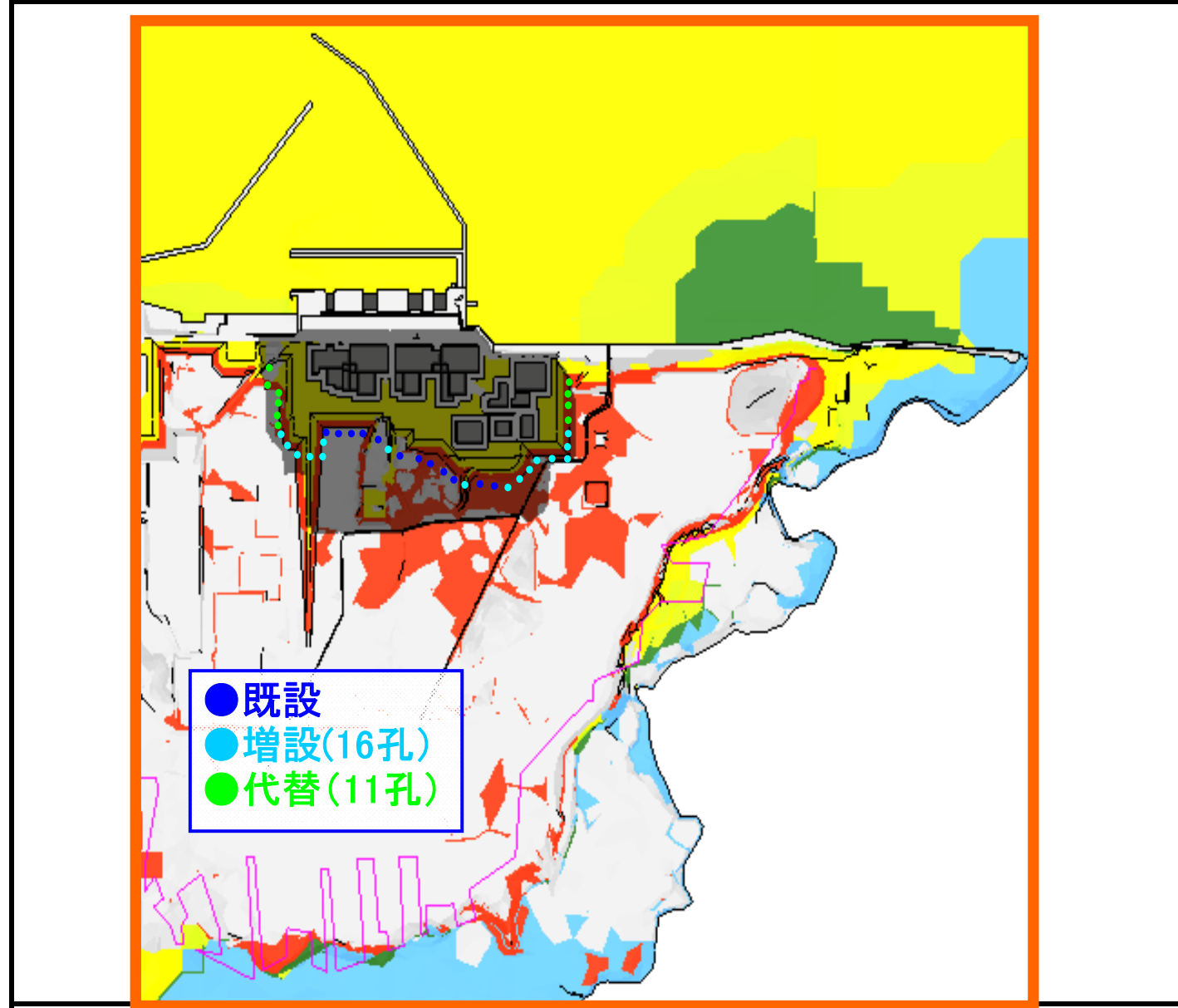
解析結果及びモデル図(その5)

102-1 (フェーシング:0.4km ² +遮水壁+地下水バイパス)	103-1 (フェーシング:0.4km ² +遮水壁+地下水バイパス)
遮水壁:北側・南側1.0E-05cm/sec 粗粒砂岩下端部	遮水壁:北側・南側1.0E-05cm/sec 中粒砂岩下端部
地下水バイパス(12孔)	地下水バイパス:西側(既設(12孔)+増設16孔)
建屋流入量:合計262, 1-4号205, HTI-プロセス57	建屋流入量:合計230, 1-4号177, HTI-プロセス53
地下水バイパス揚水量:328	地下水バイパス揚水量:合計636, 既設230, 増設406



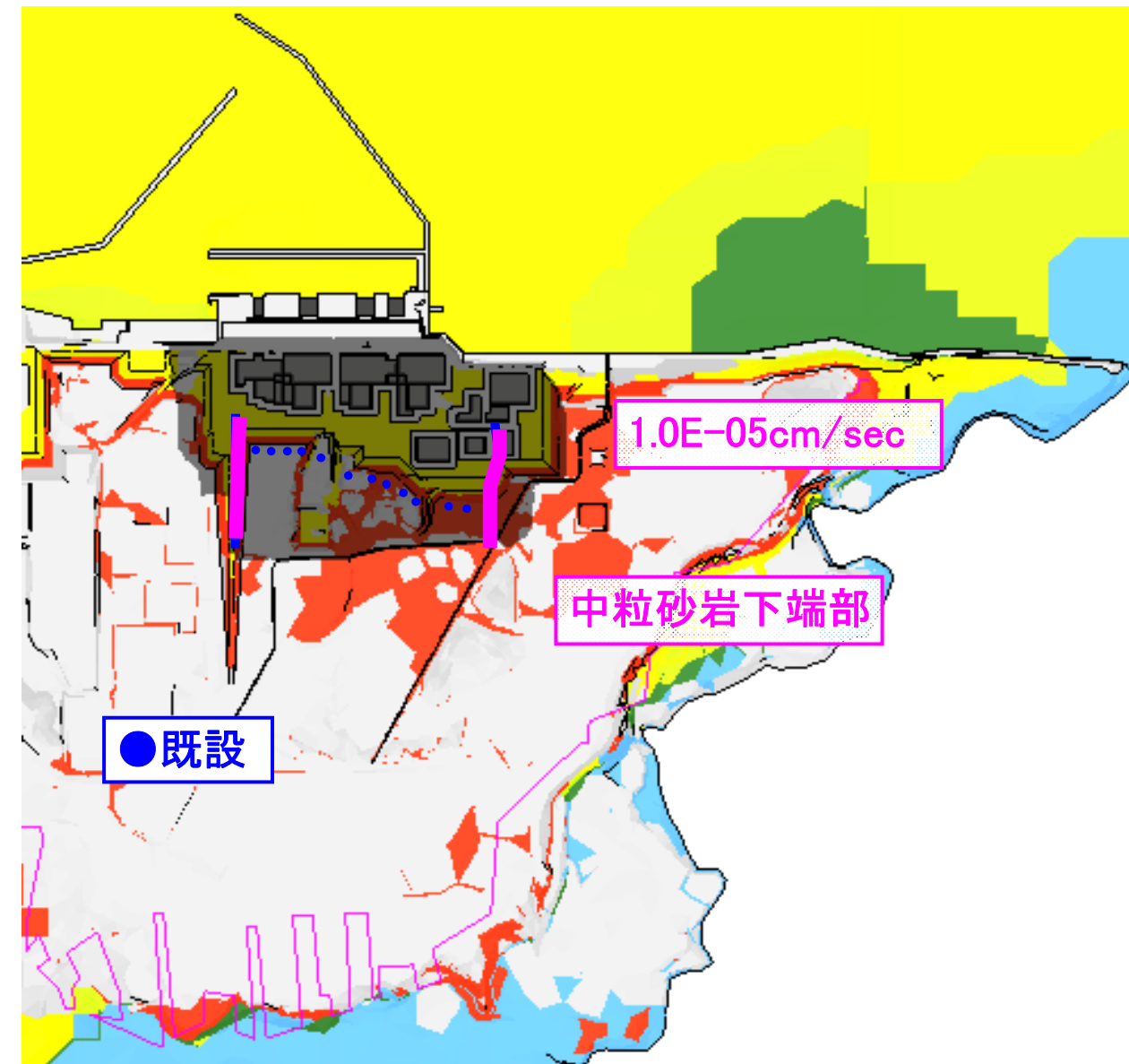
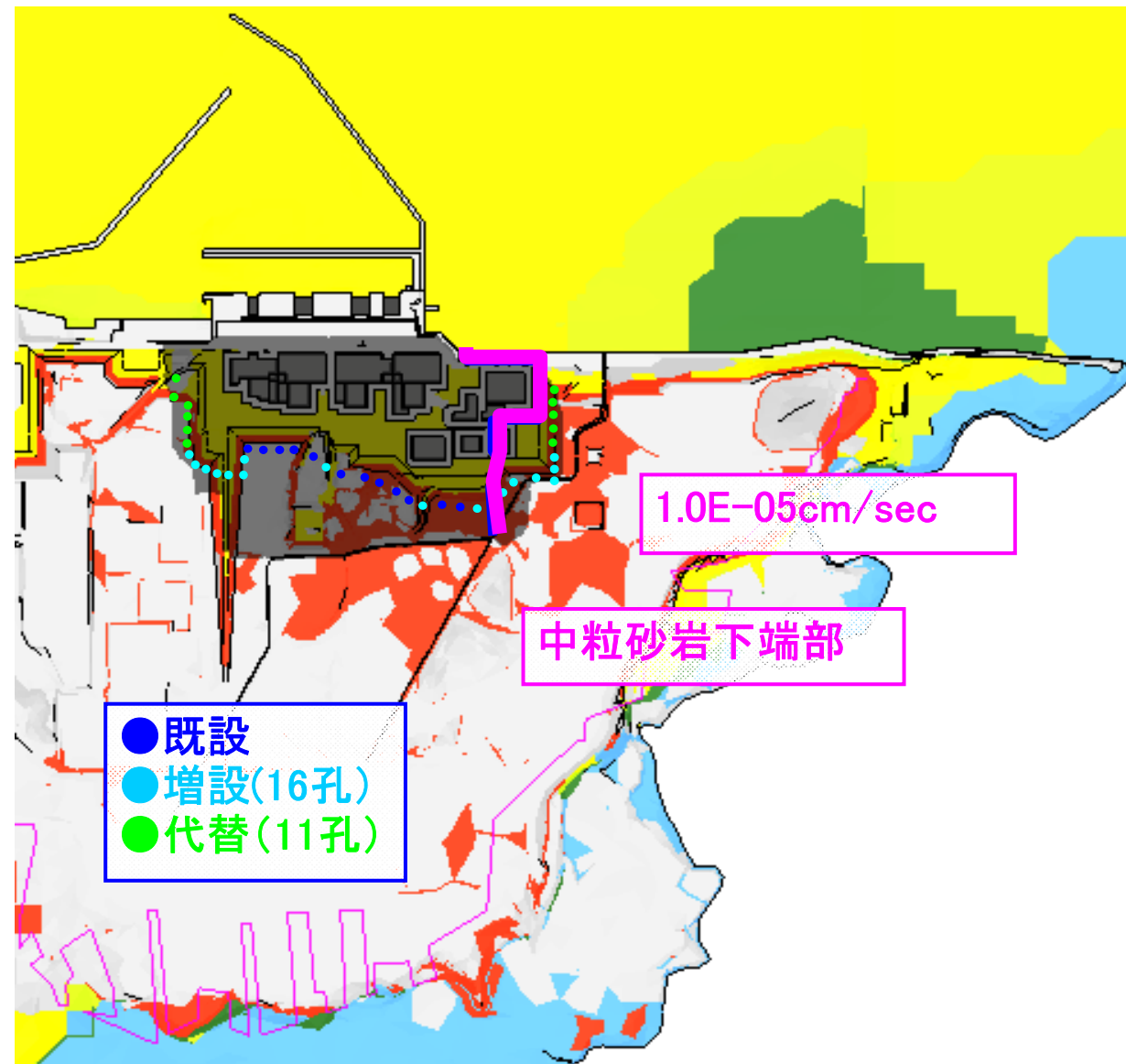
解析結果及びモデル図(その6)

103-2 (フェーシング:0.4km ² +地下水バイパス)	103-3 (フェーシング:0.4km ² +遮水壁+地下水バイパス)
地下水バイパス:既設(12孔)+増設(16孔)+代替(11孔)	遮水壁:北側・南側1.0E-05cm/sec 中粒砂岩下端部
建屋流入量:合計223, 1-4号172, HTI-プロセス51	地下水バイパス:既設(12孔)+増設(16孔)+代替(11孔)
地下水バイパス揚水量:合計948, 既設233, 増設342, 代替373	建屋流入量:合計214, 1-4号168, HTI-プロセス46
建屋流入量:300m ³ /日:約3ヶ月	地下水バイパス揚水量:合計958, 既設224, 増設343, 代替391
建屋流入量:200m ³ /日:未達	

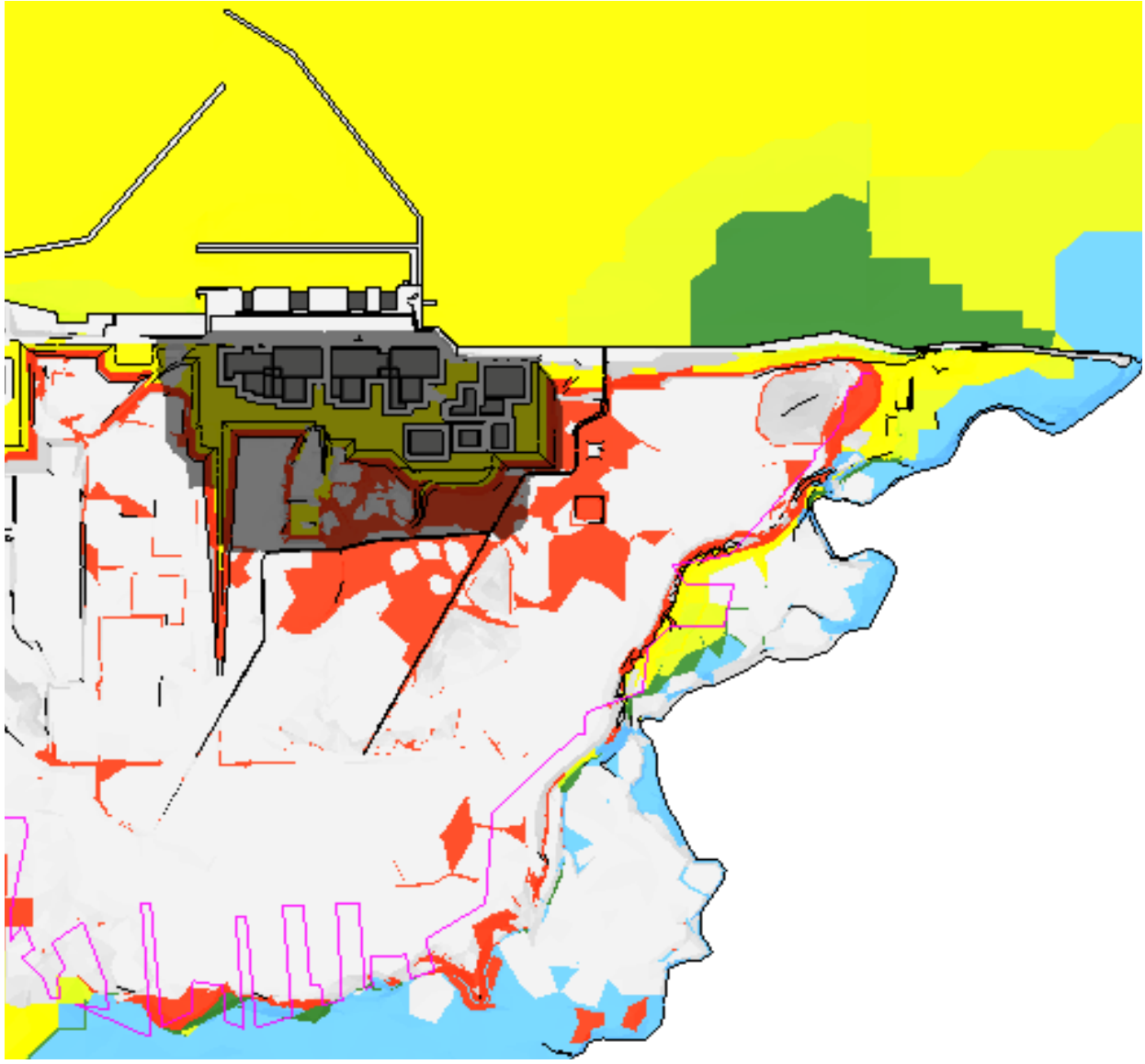
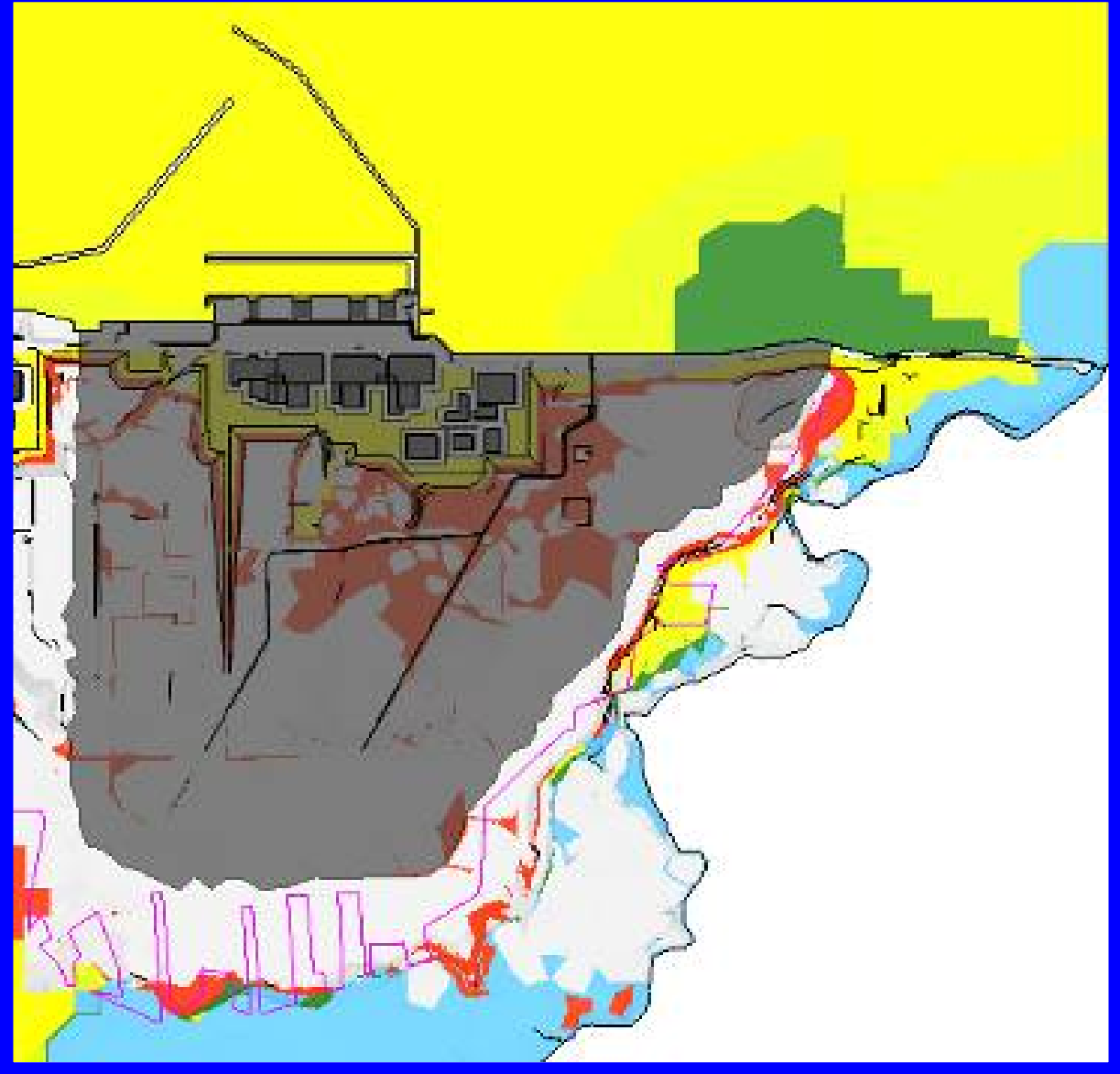


解析結果及びモデル図(その7)

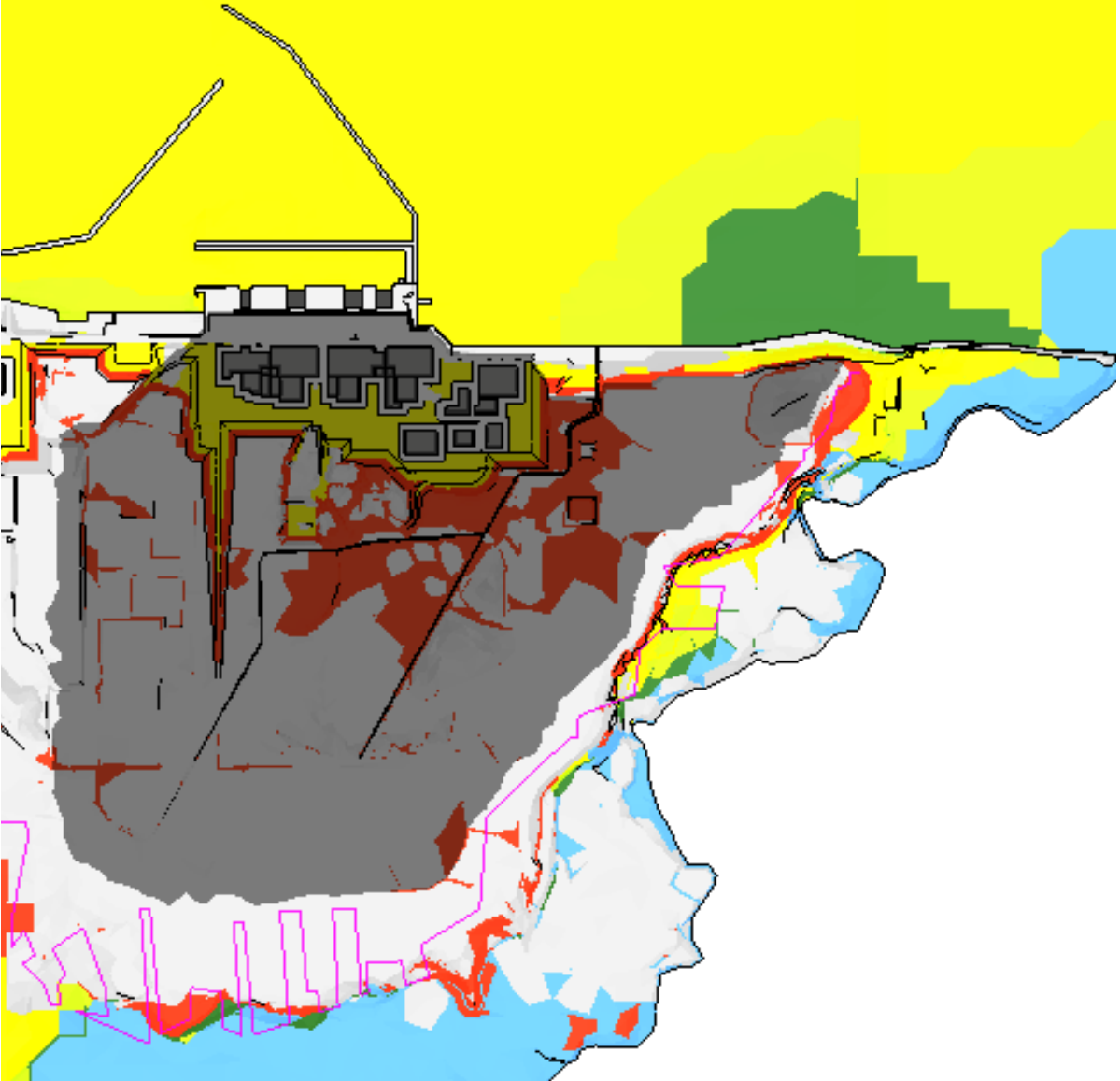
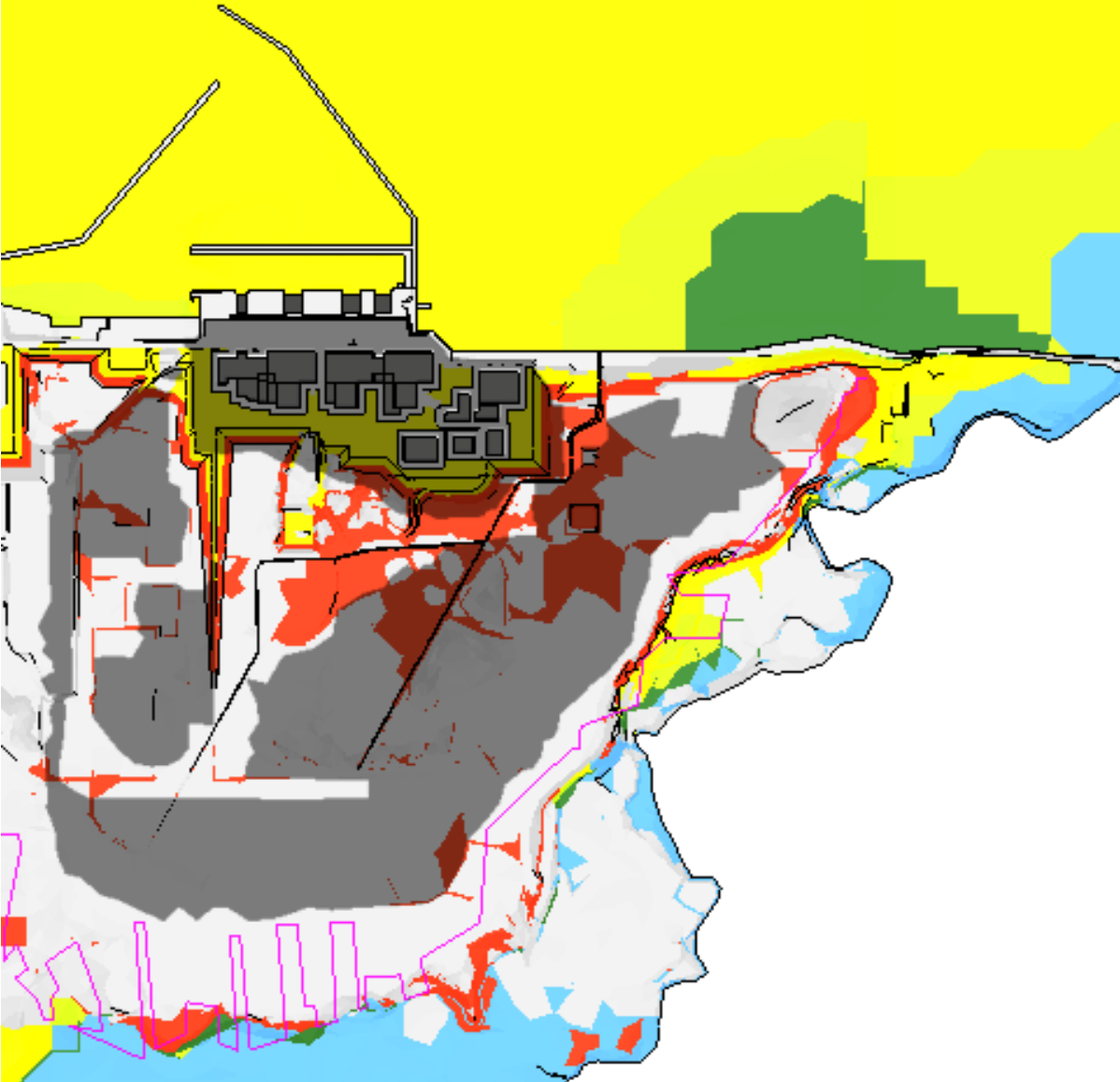
103-4 (フェーシング:0.4km ² +遮水壁+地下水バイパス)	104-1 (フェーシング:0.4km ² +遮水壁+地下水バイパス)
遮水壁:南側1.0E-05cm/sec 中粒砂岩下端部	遮水壁:南・北側1.0E-05cm/sec 中粒砂岩下端部
地下水バイパス:既設(12孔)+増設(16孔)+代替(11孔)	地下水バイパス:既設(12孔)
建屋流入量:合計218, 1-4号172, HTI-プロセス46	建屋流入量:合計279, 1-4号215, HTI-プロセス64
地下水バイパス揚水量:合計957, 既設233, 増設344, 代替380	地下水バイパス揚水量:既設337



解析結果及びモデル図(その8)

100 (フェーシング:0.4km ²)	ケース7-2(フェーシング:1.7km ²)
建屋流入量:合計346, 1-4号274, HTI-プロセス72	建屋流入量:合計159, 1-4号134, HTI-プロセス25
—	建屋流入量:300m ³ /日:約27ヶ月
—	建屋流入量:200m ³ /日:約108ヶ月
—	—
—	—
	

解析結果及びモデル図(その9)

110-1(フェーシング:1.45km ²)	110-2(フェーシング:1.15km ²)
建屋流入量:合計167, 1-4号138, HTI-プロセス29	建屋流入量:合計310, 1-4号260, HTI-プロセス50
—	—
—	—
—	—
—	—
	

解析結果及びモデル図(その10)

111-1(フェーシング:1.45km ² +地下水バイパス:12孔)	111-2(フェーシング:1.45km ² +地下水バイパス:連続孔)
建屋流入量:合計130, 1-4号103, HTI-プロセス27	建屋流入量:合計93, 1-4号68, HTI-プロセス25
地下水バイパス揚水量:75	地下水バイパス揚水量:149
建屋流入量:300m ³ /日:約5.5ヶ月	建屋流入量:300m ³ /日:約2.0ヶ月
建屋流入量:200m ³ /日:約42ヶ月	建屋流入量:200m ³ /日:約7.0ヶ月
—	—
