

様々な施設設計条件における コンクリートピット施設からの浸出水量の算出

Calculation of the Amount of Leaching Water from Concrete-pit Facilities
under Various Facility Design Conditions

長尾 理那 滑川 麻紀 戸塚 真義 仲田 久和
坂井 章浩

Rina NAGAO, Maki NAMEKAWA, Masayoshi TOTSUKA, Hisakazu NAKATA
and Akihiro SAKAI

バックエンド統括本部
埋設事業センター
Radioactive Wastes Disposal Center
Decommissioning and Radioactive Waste Management Head Office

June 2021

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。本レポートはクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒 319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Even if the results of this report (include data) are not copyrighted, they must be used under the same terms and conditions as CC-BY.

For inquiries regarding this report, please contact Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department, Japan Atomic Energy Agency.

2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

様々な施設設計条件におけるコンクリートピット施設からの浸出水量の算出

日本原子力研究開発機構 バックエンド統括本部 埋設事業センター

長尾 理那、滑川 麻紀*1、戸塚 真義*2、仲田 久和、坂井 章浩

(2021年4月9日受理)

日本原子力研究開発機構は、低レベル放射性廃棄物のうち研究施設等廃棄物の埋設処分事業の実施主体となっている。低レベル放射性廃棄物を処分する方法としてコンクリートピット処分を検討している。コンクリートピット施設は、地下水位より深い場所に設計するため、地下水の流れとともに放射性核種が移行すると可能性があると考えられている。そのため、コンクリートピット処分施設の安全性を説明するために、地下水の流れやコンクリートピット施設からの浸出水量を調べる必要がある。

そこで、本報告書では、有限要素法による二次元地下水流動解析コード(MIG2DF)を用いて、充填覆土の透水係数やベントナイト混合土の設計等の施設の設計条件を変えた感度解析を実施し、コンクリートピット施設からの浸出水量を算出した。また、長期にわたる管理期間中に発生可能性があるベントナイト混合土の劣化について考慮した評価も行うこととした。

解析の結果、ベントナイト混合土が健全な場合、側部覆土の透水係数を低くすることにより浸出水量が減少していた。このことから、側部覆土の透水係数を低くすることによる浸出水量の低減が可能であることが示唆された。しかし、コンクリートピット施設の上部のベントナイト混合土に劣化が生じた場合、側部覆土の透水性を低くしても、浸出水量の大幅な低減は見られなかった。そのため、コンクリートピット施設の上部のベントナイト混合土に劣化が生じる可能性を考慮し、側部覆土のみではなく、コンクリートピット施設の上部の覆土についても透水性の低い覆土を充填することを検討する必要があると考えられる。

旧本部事務所：〒319-1112 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-49

*1 株式会社テラサービス

*2 株式会社ヴィジブルインフォメーションセンター

**Calculation of the Amount of Leaching Water from Concrete-pit Facilities
under Various Facility Design Conditions**

Rina NAGAO, Maki NAMEKAWA*1, Masayoshi TOTSUKA*2, Hisakazu NAKATA
and Akihiro SAKAI

Radioactive Wastes Disposal Center
Decommissioning and Radioactive Waste Management Head Office
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received April 9, 2021)

Japan Atomic Energy Agency is the implementing body of the near surface disposal of low-level radioactive waste (LLW) generated from research facilities and other facilities.

Concrete-pit disposal are considered as a method of disposing of the LLW. Since the concrete-pits are placed at deeper position than the groundwater level, we need to consider that radionuclides might migrate with the flow of groundwater. Accordingly, in order to explain the safety of the concrete-pit disposal facility, it is necessary to investigate the flow of groundwater and the volumetric flow rate of leaching water from the facility.

Therefore, in this report, sensitivity analysis of the volumetric flow rate of leaching water from concrete-pit was carried out by varying the permeability of cover-soil filled with in outside of the lateral sides of the bentonite mixed soil (BMS) and the conditions of the BMS on the upper part of the concrete-pits.

As a result of the analysis, when the BMS is normal condition, the volumetric flow rate of leaching water from the concrete-pits is reduced by lowering permeability of the lateral cover-soil. However, in the case of occurring the deterioration of the function of BMS on the upper part of the concrete-pit, significant reduction of the volumetric flow rate of leaching water is not seen even if the permeability of the lateral cover-soil is lowered. Therefore, taking into consideration the possibility of the deterioration of the function of BMS on the upper part of the concrete-pit, it is necessary to consider that cover-soil with low permeability is equipped on the upper part of the BMS.

Keywords: Low Level Radioactive Waste, Concrete-pit Facility, Groundwater Flow Analysis

* 1 Terraservice Co., Ltd.

* 2 Visible Information Center, Inc.

目次

1. 経緯及び目的	1
2. 本報告書の構成	3
3. 二次元地下水流動解析の計算方法及び流れ	5
3.1 地下水流動解析の方法	5
3.2 モデル作成ソフトウェア	6
3.3 二次元地下水解析コード	6
3.4 地下水流路解析コード	6
3.5 可視化処理ソフト	6
3.6 解析フロー	7
4. 標準モデルの解析	9
4.1 立地・環境条件の設定	9
4.1.1 周辺の環境条件の設定	9
4.1.2 コンクリートピット処分施設	9
4.1.3 覆土	10
4.2 標準モデルの作成	10
4.3 解析パラメータの設定	11
4.4 解析結果	11
4.4.1 全水頭分布図	11
4.4.2 地下水の流速及び流向	11
4.4.3 ピットの浸入・浸出水量	13
4.4.4 コンクリートピット施設からの浸出水量の覆土及び岩盤への移行評価	13
5. 感度解析の検討ケースの設定	30
6. 感度解析結果	31
6.1 側部覆土の透水係数	31
6.1.1 解析モデルの検討	31
6.1.2 解析結果	31
6.2 ベントナイト混合土の破断	34
6.2.1 解析モデルの検討	34
6.2.2 解析結果	34
6.3 側部覆土による防御	37
6.3.1 解析モデルの検討	37
6.3.2 解析結果	37
6.4 上部覆土の充填	39
6.4.1 解析モデルの検討	39
6.4.2 解析結果	39

6.5 上部及び側部覆土の低透水性による防御	41
6.5.1 解析モデルの検討	41
6.5.2 解析結果	41
7. 検討結果及び今後の課題	92
謝辞	94
参考文献	95
付録1 コンクリートピット施設からの浸出水量の算出方法	96
付録2 概念設計モデル及び感度解析モデルとの比較	106
付録3 コンクリートピット施設とモデル境界との距離の影響	122
付録4 降雨によるモデル上部からの浸透水量の検討	131

Contents

1. Background and Purpose	1
2. Compositions of This Report	3
3. Flow and Calculation Method of Two-dimensional Groundwater Flow Analysis	5
3.1 Groundwater Flow Analysis Method	5
3.2 Modeling Software	6
3.3 Two-dimensional Groundwater Analysis Code	6
3.4 Groundwater Flow Path Analysis Code	6
3.5 Visualization Processing Software	6
3.6 Analysis Flow	7
4. Groundwater Flow Analysis at Reference Model	9
4.1 Setting of Analysis Conditions of Reference Model	9
4.1.1 Environmental Conditions	9
4.1.2 Concrete-pit Disposal Facility	9
4.1.3 Cover-soil	10
4.2 Creating Reference Model	10
4.3 Setting Analysis Parameters	11
4.4 Result of Analysis	11
4.4.1 Total Head Distribution Map	11
4.4.2 Groundwater Flow Velocity and Flow Direction	11
4.4.3 Amount of Pit Intrusion / Leaching Water	13
4.4.4 Evaluation of the Amount of Leachate from the Concrete-pit Facility to Cover-soil and Move to Bedrock	13
5. Setting a Cases for Sensitivity Analysis	30
6. Results of Sensitivity Analysis	31
6.1 Permeability Coefficient of Lateral Cover-soil	31
6.1.1 Examination of Analytical Model	31
6.1.2 Results of Analysis	31
6.2 Deterioration of Bentonite Mixed Soil	34
6.2.1 Examination of Analytical Model	34
6.2.2 Results of Analysis	34
6.3 Protection by Lateral Cover-soil	37
6.3.1 Examination of Analytical Model	37
6.3.2 Results of Analysis	37
6.4 Filling the Upper Cover-soil	39
6.4.1 Examination of Analytical Model	39
6.4.2 Results of Analysis	39

6.5 Top and Lateral Cover-soil Protection	41
6.5.1 Examination of Analytical Model	41
6.5.2 Results of Analysis	41
7. Examination Results and Future Issues	92
Acknowledgement.....	94
References.....	95
Appendix 1 Calculation Method for the Amount of Leachate from a Concrete-pit Facility	96
Appendix 2 Comparison with Conceptual Design Model and Sensitivity Analysis Model	106
Appendix 3 Impact of Distance between Concrete-pit Facility and Model Boundary ..	122
Appendix 4 Examination of the Amount of Seepage Water from the Upper Part of the Model Due to Rain	131

表リスト

表 4-1	標準モデルの解析で用いたパラメータ	15
表 4-2	標準モデルの浸入及び浸出水量	15
表 4-3	標準モデルにおける覆土・岩盤へ移行する浸出水量	15
表 6-1	側部覆土の透水係数を変化させたときの浸入及び浸出水量	44
表 6-2	側部覆土の透水係数を変化させたときの覆土・岩盤へ移行する浸入水量	44
表 6-3	ベントナイト混合土が破断したときの浸入及び浸出水量	45
表 6-4	ベントナイト混合土が破断したときの覆土・岩盤へ移行する浸出水量	46
表 6-5	ベントナイト混合土破断の場合における側部覆土の透水係数を変化させたときの浸入及び浸出水量	46
表 6-6	ベントナイト混合土破断の場合における側部覆土の透水係数を変化させたときの覆土・岩盤へ移行する浸出水量	47
表 6-7	上部覆土及び側部覆土の透水係数を変化させたときの浸入及び浸出水量	48
表 6-8	上部覆土及び側部覆土の透水係数を変化させたときの覆土・岩盤へ移行する浸出水量	49
表 6-9	ベントナイト混合土破断の場合における上部覆土及び側部覆土の透水係数を変化させたときの浸入及び浸出水量	49
表 6-10	ベントナイト混合土破断の場合における上部覆土及び側部覆土の透水係数を変化させたときの覆土・岩盤へ移行する浸出水量	50
表付 2-1	概念設計モデル及び感度解析モデルの解析で用いたパラメータ	109
表付 2-2	概念設計モデル及び感度解析モデルにおける浸入及び浸出水量	109
表付 2-3	概念設計モデル及び感度解析モデルにおける覆土・岩盤へ移行する浸出水量	109
表付 3-1	変形させた底辺傾斜モデルの解析で用いたパラメータ	125
表付 3-2	変形させた底辺傾斜モデルにおける浸入及び浸出水量	125
表付 3-3	形の異なるモデル別の覆土・岩盤へ移行する浸出水量	125
表付 4-1	浸透水量を考慮した解析で用いたパラメータ	134
表付 4-2	浸透水量 0.6[m/y]における浸入及び浸出水量	134
表付 4-3	浸透水量を考慮したときの覆土・岩盤へ移行する浸出水量	134

図リスト

図 2-1	コンクリートピット施設の浸入及び浸出水量の評価フロー	4
図 3-1	二次元地下水流動解析フロー	8
図 4-1	標準モデルの概略	16
図 4-2	コンクリートピット施設の概略	16
図 4-3	底辺水平モデルの概形	17
図 4-4	底辺傾斜モデルの概形	17
図 4-5	底辺水平モデルのメッシュ図	18
図 4-6	底辺傾斜モデルのメッシュ図	18
図 4-7	底辺水平モデルの全水頭分布図	19
図 4-8	底辺傾斜モデルの全水頭分布図	19
図 4-9	底辺水平モデルの流速・流向図(全体)	20
図 4-10	底辺傾斜モデルの流速・流向図(全体)	21
図 4-11	底辺水平モデルの流速・流向図(ピット①拡大)	22
図 4-12	底辺水平モデルの流速・流向図(ピット②拡大)	23
図 4-13	底辺傾斜モデルの流速・流向図(ピット①拡大)	24
図 4-14	底辺傾斜モデルの流速・流向図(ピット②拡大)	25
図 4-15	底辺水平モデルの評価点を通過する流跡線(全体)	26
図 4-16	底辺水平モデルの評価点を通過する流跡線(拡大)	26
図 4-17	底辺傾斜モデルの評価点を通過する流跡線(全体)	27
図 4-18	底辺傾斜モデルの評価点を通過する流跡線(拡大)	27
図 4-19	標準モデルの評価点を通過する流跡線(全体)	28
図 4-20	標準モデルの評価点を通過する流跡線(拡大)	29
図 4-21	標準モデルにおける覆土・岩盤へ移行する浸出水量	29
図 6-1	底辺水平モデルにおける側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの流速・流向図(ピット①拡大)	51
図 6-2	底辺水平モデルにおける側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの流速・流向図(ピット②拡大)	52
図 6-3	底辺傾斜モデルにおける側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの流速・流向図(ピット①拡大)	53
図 6-4	底辺傾斜モデルにおける側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの流速・流向図(ピット②拡大)	54
図 6-5	底辺水平モデルにおける側部覆土 $1.0E-07[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線(拡大)	55
図 6-6	底辺傾斜モデルにおける側部覆土 $1.0E-07[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線(拡大)	55

図 6-7	底辺水平モデルにおける側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)	56
図 6-8	底辺傾斜モデルにおける側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)	56
図 6-9	底辺水平モデルにおける側部覆土の透水係数を変化させたときの浸出水量の移行評価	57
図 6-10	底辺傾斜モデルにおける側部覆土の透水係数を変化させたときの浸出水量の移行評価	57
図 6-11	側部覆土の透水係数を低くしたときの地下水流向のイメージ	58
図 6-12	ベントナイト混合土が破断したときのイメージ	58
図 6-13	底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-08[m/s]$ のときの流速・流向図 (ピット①拡大)	59
図 6-14	底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-08[m/s]$ のときの流速・流向図 (ピット②拡大)	60
図 6-15	底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ のときの流速・流向図 (ピット①拡大)	61
図 6-16	底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ のときの流速・流向図 (ピット②拡大)	62
図 6-17	底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-08[m/s]$ のときの流速・流向図 (ピット①拡大)	63
図 6-18	底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-08[m/s]$ のときの流速・流向図 (ピット②拡大)	64
図 6-19	底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ のときの流速・流向図 (ピット①拡大)	65
図 6-20	底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ のときの流速・流向図 (ピット②拡大)	66
図 6-21	底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-08[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)	67
図 6-22	底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-07[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)	67
図 6-23	底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)	67
図 6-24	底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-08[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)	68
図 6-25	底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-07[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)	68
図 6-26	底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)	68

図 6-27	底辺水平モデルにおける破断部の透水係数を変化させたときの浸出水量の移行評価 -----	69
図 6-28	底辺傾斜モデルにおける破断部の透水係数を変化させたときの浸出水量の移行評価 -----	69
図 6-29	底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ 、側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの流速・ 流向図（ピット①拡大） -----	70
図 6-30	底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ 、側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの流速・ 流向図（ピット②拡大） -----	71
図 6-31	底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ 、側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの流速・ 流向図（ピット①拡大） -----	72
図 6-32	底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ 、側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの流速・ 流向図（ピット②拡大） -----	73
図 6-33	底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ 、側部覆土 $1.0E-07[m/s]$ のときの評価 点を通過する流跡線（拡大） -----	74
図 6-34	底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ 、側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの評価 点を通過する流跡線（拡大） -----	74
図 6-35	底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ 、側部覆土 $1.0E-07[m/s]$ のときの評価 点を通過する流跡線（拡大） -----	74
図 6-36	底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ 、側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの評価 点を通過する流跡線（拡大） -----	75
図 6-37	底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ で側部覆土の透水係数を変化させたと きの浸出水量の移行評価 -----	75
図 6-38	底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ で側部覆土の透水係数を変化させたと きの浸出水量の移行評価 -----	76
図 6-39	コンクリートピット施設に上部覆土を充填したイメージ -----	76
図 6-40	底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの流速・流向図（ピ ット①拡大） -----	77
図 6-41	底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの流速・流向図（ピ ット②拡大） -----	78
図 6-42	底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの流速・流向図（ピ ット①拡大） -----	79
図 6-43	底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの流速・流向図（ピ ット②拡大） -----	80
図 6-44	底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-06[m/s]$ のときの評価点を通過する 流跡線（拡大） -----	81
図 6-45	底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-07[m/s]$ のときの評価点を通過する 流跡線（拡大） -----	81

図 6-46	底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線（拡大）	81
図 6-47	底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-06[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線（拡大）	82
図 6-48	底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-07[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線（拡大）	82
図 6-49	底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線（拡大）	82
図 6-50	底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土の透水係数を変化させたときの浸出水量の移行評価	83
図 6-51	底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土の透水係数を変化させたときの浸出水量の移行評価	83
図 6-52	上部覆土を充填したときのベントナイト混合土破断のイメージ	84
図 6-53	底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ 、破断部 $1.0E-06[m/s]$ のときの流速・流向図（ピット①拡大）	85
図 6-54	底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ 、破断部 $1.0E-06[m/s]$ のときの流速・流向図（ピット②拡大）	86
図 6-55	底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ 、破断部 $1.0E-06[m/s]$ のときの流速・流向図（ピット①拡大）	87
図 6-56	底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ 、破断部 $1.0E-06[m/s]$ のときの流速・流向図（ピット②拡大）	88
図 6-57	底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-07[m/s]$ 、破断部 $1.0E-06[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線（拡大）	89
図 6-58	底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ 、破断部 $1.0E-06[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線（拡大）	89
図 6-59	底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-07[m/s]$ 、破断部 $1.0E-06[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線（拡大）	89
図 6-60	底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ 、破断部 $1.0E-06[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線（拡大）	90
図 6-61	底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ で上部及び側部覆土の透水係数を変化させたときの覆土・岩盤へ移行する浸出水量	90
図 6-62	底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ で上部及び側部覆土の透水係数を変化させたときの覆土・岩盤へ移行する浸出水量	91
図付 1-1	流速算出位置のイメージ	100
図付 1-2	コンクリートピット施設上部からの地下水の流れのイメージ	100
図付 1-3	コンクリートピット施設側部からの地下水の流れのイメージ	100
図付 1-4	コンクリートピット施設底部からの地下水の流れのイメージ	101
図付 1-5	2点間の座標のイメージ	101

図付 1-6	2点間の速度要素イメージ	101
図付 1-7	ピット周囲の節点の流向イメージ	102
図付 1-8	ピット周囲の節点の流向の符号を変更する位置	102
図付 1-9	コンクリートピット施設からの浸出水量の評価点	103
図付 1-10	評価点を通過する流跡線のイメージ	103
図付 1-11	近似曲線作成の概要	103
図付 1-12	近似式より算出する流速の概要	104
図付 1-13	浸出水量算出のイメージ	104
図付 1-14	覆土または岩盤へ移行する浸出水量の算出イメージ	105
図付 2-1	概念設計モデルの概形	110
図付 2-2	概念設計モデルのメッシュ図	110
図付 2-3	概念設計モデルのコンクリートピット施設周辺の概略	110
図付 2-4	感度解析モデルの概形	111
図付 2-5	感度解析モデルのメッシュ図	111
図付 2-6	感度解析モデルのコンクリートピット施設周辺の概略	111
図付 2-7	概念設計モデルの全水頭分布図	112
図付 2-8	感度解析モデルの全水頭分布図	112
図付 2-9	概念設計モデルにおける流速・流向図（全体）	113
図付 2-10	概念設計モデルにおける流速・流向図（ピット①拡大）	114
図付 2-11	概念設計モデルにおける流速・流向図（ピット②拡大）	115
図付 2-12	感度解析モデルにおける流速・流向図（全体）	116
図付 2-13	感度解析モデルにおける流速・流向図（ピット①拡大）	117
図付 2-14	感度解析モデルにおける流速・流向図（ピット②拡大）	118
図付 2-15	概念設計モデルにおける評価点を通過する流跡線（全体）	119
図付 2-16	概念設計モデルにおける評価点を通過する流跡線（拡大）	119
図付 2-17	感度解析モデルにおける評価点を通過する流跡線（全体）	119
図付 2-18	感度解析モデルにおける評価点を通過する流跡線（拡大）	120
図付 2-19	概念設計モデル及び感度解析モデルにおける浸出水量の移行評価	120
図付 3-1	変形させた底辺傾斜モデルの概略	126
図付 3-2	変形させた底辺傾斜モデルのメッシュ図	126
図付 3-3	変形させた底辺傾斜モデルの全水頭分布図	126
図付 3-4	変形させた底辺傾斜モデルにおける流速・流向図（全体）	127
図付 3-5	変形させた底辺傾斜モデルにおける流速・流向図（ピット①拡大）	128
図付 3-6	変形させた底辺傾斜モデルにおける流速・流向図（ピット②拡大）	129
図付 3-7	変形させた底辺傾斜モデルにおける評価点を通過する流跡線（全体）	130
図付 3-8	変形させた底辺傾斜モデルにおける評価点を通過する流跡線（拡大）	130
図付 3-9	形の異なるモデル別の浸出水量の移行評価	130
図付 4-1	浸透水量 0.6[m/y]のときの全水頭分布図	135

図付 4-2	浸透水量 0.6[m/y]における流速・流向図（全体）	-----	136
図付 4-3	浸透水量 0.6[m/y]における流速・流向図（ピット①拡大）	-----	137
図付 4-4	浸透水量 0.6[m/y]における流速・流向図（ピット②拡大）	-----	138
図付 4-5	浸透水量 0.6[m/y]における評価点を通過する流跡線（全体）	-----	139
図付 4-6	浸透水量 0.6[m/y]における評価点を通過する流跡線（拡大）	-----	139

This is a blank page.

1. 経緯及び目的

日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という。）は、研究機関として、低レベル放射性廃棄物の発生量が多く、さらに、処分事業を実施する技術力が備わっていることから、原子力機構法の改正（平成 20 年法律第 51 号）により、原子力機構及び国内の研究施設等から発生する低レベル放射性廃棄物（以下、「研究施設等廃棄物」という。）の埋設処分事業の実施主体となった。その後、「埋設処分業務の実施に関する計画」¹⁾（平成 21 年 11 月 13 日 文部科学大臣並びに経済産業大臣の認可）を策定し、埋設事業センターにおいて埋設処分事業を開始した。

埋設事業センターでは、処分予定の研究施設等廃棄物中に含まれている放射能濃度を考慮し、処分方法として、地下水位より浅い位置に処分するトレンチ処分と地下水位より深い位置に処分するコンクリートピット処分を取り行うことを予定している。そして、一般的な立地環境条件²⁾を設定し、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（原子炉等規制法）」及び「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（放射線障害防止法）」等に定められた埋設施設の技術基準を考慮し、概念設計³⁾を実施した。

トレンチ処分及びコンクリートピット処分とも、地中に放射性廃棄物を処分することから、処分終了後の施設の安全評価を行う必要がある。安全評価を行うにあたり最も重要となるのは、廃棄物に含まれている放射性核種の生活圏への移行・拡散及びそれによる被ばく線量の評価である。そのため、廃棄物中の放射性核種が生活圏へ到達する可能性がある過程を挙げて評価をする必要がある。評価の必要性が最も高いと考えられている過程は、地下水による放射性核種の移行である。特に、コンクリートピット処分施設は地下水位より深い場所に設置するため、覆土後は施設中が地下水で満たされることとなり、廃棄物中の放射性核種は地下水の流れに沿って移行するシナリオが考えられる。従って、地下水の流れ、地下水に溶存する放射性核種の濃度、生活圏へ到達するまでの時間や、到達後に考えられる被ばく経路及び被ばく線量を評価し、施設の安全性を説明する必要がある。

埋設事業センターでは、概念設計³⁾により設定した一般的な立地環境条件にコンクリートピット処分施設を設置した場合の 2 次元の断面モデルを作成し、原子力機構安全研究センターで開発された地下水流動解析コード **MIG2DF**（以下、「**MIG2DF**」という。）^{4),5)}を使用して地下水流動解析を実施し、その結果を用いて被ばく線量評価を行ってきた³⁾。坂井らは、我が国で想定される様々な環境条件を設定して、地下水の感度解析を実施し、地質や水理等の立地環境条件による管理期間終了後の安全評価への影響について検討した⁶⁾。これによれば、透水性の比較的高い立地に設計した場合においても、施設の工学的対策による安全性能を高めることによって、処分施設の安全性が確保されると報告している。従って、コンクリートピット処分施設が設置される立地条件を考慮して最適な設計を行う必要があることが示されている。

そこで、本報告では、主に 2 つ目的を持って解析を実施した。1 つは、今後のコンクリートピット施設の安全評価に用いる、コンクリートピット施設からの浸出水量の算出を行うことである。過去に行われた解析のモデル作成を見直し、より適したモデルで浸出水量の算出を行うこととする。もう 1 つは、施設の様々な設計条件を考慮した感度解析を実施し、コンクリート

ピット施設や覆土の透水性が比較的高い立地場所における設計条件を把握することである。これらの検討方法としては、まず、標準モデルとする2次元解析モデルを作成し、MIG2DFにて浸出水量の試算を実施する。そして、概念設計³⁾におけるコンクリートピット処分施設周囲の覆土の透水係数やベントナイト混合土の設計上のモデル及びパラメータを変化させた感度解析を実施し、コンクリートピット処分施設を通過する地下水量の低減制御が有効な設計対応を把握することとした。また、日本原燃株式会社による「廃棄物埋設施設における許可基準規則への適合性について(2020年5月)」⁷⁾(以下、「日本原燃資料」という。)では、厳しいシナリオの評価としてベントナイト混合土が劣化することを考慮したモデルの地下水流動解析が示されている。そこで、本報告においても、ベントナイト混合土の劣化を考慮した解析を実施することとした。

2. 本報告書の構成

本報告におけるコンクリートピット施設の浸入及び浸出水量の評価及び感度解析の検討フローを図 2-1 に示す。

① 二次元地下水流動解析方法

本報告で行った二次元地下水流動解析の計算方法、解析に使用したソフトウェア及び解析コードを示す。

② 標準モデルの解析

安全評価に用いる浸出水量を計算するためのリファレンスとするモデルを設定した。(以下、「標準モデル」という。) 解析に用いた標準モデル、パラメータ及び結果を示す。本解析では、概念設計³⁾に基づいた埋設処分施設の設計条件を設定し、設定した条件を基に日本原燃資料⁷⁾を参考に解析モデルを作成し、解析を行った。解析により算出された地下水の流速及び流向の結果を用いて、コンクリートピット施設からの浸出水量を算出した。

③ 感度解析の検討ケースを設定

日本原燃資料⁷⁾の解析例を踏まえて、感度解析を行う検討ケースを選定した。

④ 感度解析

コンクリートピット処分施設からの浸出水量の低減効果を検討するため、本報告書では、以下のケースにおける解析を行った。

1. 側部覆土の透水係数を変化
2. ベントナイト混合土の応力に伴う破断
3. 側部覆土の低透水性による防御 (ベントナイト混合土破断)
4. 上部覆土の充填
5. 周囲の覆土の低透水性による防御 (ベントナイト混合土破断)

これらのパターン毎に、処分施設からの浸出水量を算出した。

⑤ 結果の検討

本報告で行った解析及び計算結果から、コンクリートピット処分施設の施設設計及び安全評価で考慮すべき事項を挙げ、今後の課題を検討した。

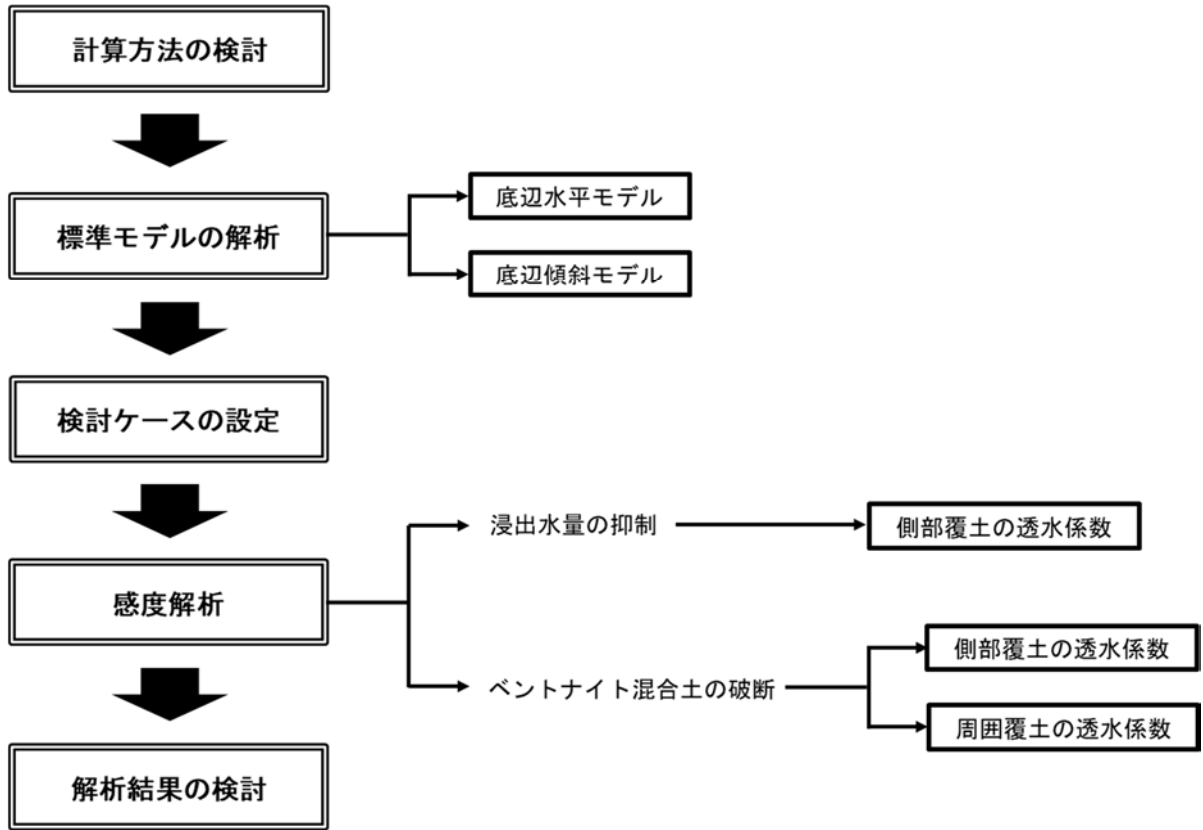


図 2-1 コンクリートピット施設の浸入及び浸出水量の評価フロー

3. 二次元地下水流動解析の計算方法及び流れ

3.1 地下水流動解析の方法

コンクリートピット処分施設は地下水位より深部に設置されるため、施設内が地下水で満たされる可能性がある。そのため、コンクリートピット施設内に定置されている廃棄物の領域を通過した地下水は、放射性核種を含んだ状態となると考えられる。この放射性核種を含んだ地下水は、コンクリートピット施設から浸出し、土壌及び岩盤を通過して生活圏へ移行する可能性があるため、評価を行い、コンクリートピット施設の安全性を示す必要がある。そこで、本報告では、管理期間終了後にコンクリートピット施設内が地下水で満たされた状態を仮定し、様々な施設設計条件における、放射性核種を含んでいると考えられる地下水の流量を算出することとした。また、放射性核種を含むと考えられる地下水は、コンクリートピット処分施設から浸出した地下水とした。

地下水の流れはダルシーの法則に従うことから、地下水の流速（ダルシー流速） u [m/y]は以下の式で表現される。

$$u = -K \frac{\partial h}{\partial x}$$

K は透水係数[m/y]、 x は任意の距離[m]、 h は全水頭[m]である。全水頭 h は、通常の水の流れでは、位置水頭、圧力水頭及び速度水頭の和であるが、地下水の場合は、流速が非常にゆっくりで、速度水頭が無視できるほど小さいため、位置水頭と圧力水頭との和で表現される。この全水頭 h を2点間の距離 x で除した値が動水勾配となる。このことから、地下水の流速を求めるためには、透水係数と動水勾配の2つのパラメータが必要となる。

また、物体中を通過する水の水量 Q [m³/y]は、以下の式で求めることができる。

$$Q = v \times A$$

v は地下水の流速[m/y]、 A は地下水が通過する断面積[m²]である。このことから、地下水の流速は、コンクリートピット処分施設から浸出するときの流速とし、放射性核種が含まれる地下水量は、断面積としてコンクリートピット処分施設のうち地下水が浸出する面積を用いることで算出できる。

しかし、コンクリートピット処分施設から浸出する地下水の流速を求める場合、次のように複雑な計算が必要となる。コンクリートピット処分施設は、数100[kg]～1[t]の廃棄物の荷重に耐えることができ、透水係数が低い岩盤中に設置することを検討している。さらに、コンクリートピット処分施設の上及び側面には、放射性核種の移行を抑制する働きを持つ非常に透水係数の低いベントナイト混合土を厚さ2[m]で設置する。そして、処分施設を設置するために掘削した領域は、周囲の環境に近い透水係数となるように覆土をする設計が考えられている。このことから、コンクリートピット処分施設から浸出する地下水の流速は、コンクリートピット処分施設とベントナイト混合土及び覆土の異なる透水係数の境界を通過するときの流速を求めることが必要となり、非常に複雑な流れになると推測される。

一般的な地下水流動解析は、有限要素法⁸⁾、差分法⁹⁾や境界要素法¹⁰⁾など様々な方法で数値

解析が行われている。中でも有限要素法は、任意の大きさ及び形状のメッシュを用い、領域に応じてメッシュの分割を自由に変えることができる。そのため、透水性の異なる層のモデル化が柔軟にできることから、使用実績が多い。従って、今回の地下水流動解析に対して妥当なコードであると判断し、本解析で使用する事とした。

以下に、本報告書で行った二次元の地下水流動解析で用いたソフトウェア及び解析コードを示す。

3.2 モデル作成ソフトウェア

モデルの作成には、Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.がリリースしている、有限要素モデルの作成ができるソフトウェア Finite Element Modeling And Postprocessing (以下、「Femap」という。)を用いた。Femap は、Windows 上で、ジオメトリの作成、メッシュ形成、パラメータ及び境界条件の設定等の作業ができ、汎用性が高いため、本解析のモデル作成に使用することとした。

3.3 二次元地下水解析コード

地下水流動解析には、原子力機構安全研究センターにて開発された MIG2DF^{4),5)}を用いた。MIG2DF は、有限要素法を用いた二次元地下水流動解析コードであり、飽和・不飽和の浸透流解析及び移流拡散による核種移行解析を行うことができる。

3.4 地下水流路解析コード

地下水流路解析には、PASS_TRAC⁶⁾を用いた。PASS_TRAC は、MIG2DF で得られた水頭分布を用いて地下水の流路を解析するコードである。出発地点、中間地点または、到着地点の座標を入力し、粒子がモデル内を通過する経路を追跡することができる。

3.5 可視化処理ソフト

解析結果の可視化は 2 つの方法で行った。1 つは、MIG2DF 及び PASS_TRAC の出力を Advanced Visual Systems Inc.が開発した汎用可視化ソフト AVS/Express にて解析結果を処理するプログラム PASS_POST で処理を行い、全水頭分布及び地下水流路解析の結果の可視化を行った。もう 1 つは、株式会社ヴィジブルインフォメーションセンターが開発した三次元地下水流動解析結果の作図処理プログラムを二次元の MIG2DF に対応させたプログラム¹⁾を用いて、

メッシュ毎の地下水の流速及び流向を可視化した。

3.6 解析フロー

本報告における地下水流動解析の作業のフローを図 3-1 に示す。

解析手順を以下に示す。

- ① Femap で有限要素モデルを作成し、パラメータ及び境界条件を設定する。
- ② ①で作成した Femap の neutral ファイルを PASS_PRE で MIG2DF 用の入力データファイルに変換する。
- ③ MIG2DF で解析を実施する。
- ④ 任意の位置を出発地点（中間地点または到着地点）としたときの流速の動きを PASS_TRAC にて追跡する。
- ⑤ 可視化ソフト及びプログラムにて、③で出力された水頭分布や④で出力された流跡線を可視化する。



図 3-1 二次元地下水流動解析フロー

4. 標準モデルの解析

4.1 立地・環境条件の設定

4.1.1 周辺の環境条件の設定

本解析でのコンクリートピット処分施設が設置される周囲の環境条件として、概念設計³⁾で設定した我が国における一般的な立地条件に基づいて設定した。設定した環境の概略を図 4-1 に示す。

周辺地層

本解析においてコンクリートピット施設周辺の地層は、表層部に存在する土壌層、廃棄物及び構造物の荷重に十分耐えられると目安である「N 値が 50 以上」の岩盤層（以下、「岩盤新鮮部」という。）と風化によって N 値が 50 以下となった表層に近い部分の岩盤層（以下、「岩盤風化部」という。）の 3 層に大きく分けることとした。これらの層は、表層から、土壌層、岩盤風化部、岩盤新鮮部の順に存在するとし、深度については、概念設計³⁾を参照し、土壌層が 6[m]、岩盤風化部が 8[m]、そして、これら 2 つの層を合わせた 14[m] 以深を岩盤新鮮部とした。

これら 3 つの地層の透水係数については、過去の解析と比較することを考慮し、土壌層の透水係数は一般に $1.0E-06 \sim 1.0E-03$ [m/s] の範囲内であることから、透水性の大きい土壌に着目し、 $1.0E-04$ [m/s] とした。岩盤層は、岩盤風化部を $1.0E-06$ [m/s]、岩盤新鮮部を $1.0E-07$ [m/s] とした。

動水勾配

動水勾配は、小起伏山地・丘陵で約 3 [%]、台地・河岸段丘で約 2 [%] と地形ごとに異なっていることから、動水勾配が大きいほど流速が大きくなり安全評価では保守的となるため、3 [%] とした。

地下水位

地下水位は、概念設計³⁾で設定された地下水位である約 5 [m] に、気候による変動が ± 1 [m] 程度と考え、 $5 - 1 = 4$ [m] とした。

4.1.2 コンクリートピット処分施設

コンクリートピット施設の概略図を図 4-2 に示す。本解析における処分施設の設置環境は、概念設計³⁾の条件に基づいて設定した。コンクリートピットは、1 基の大きさが約 36 [m] (幅) × 約 40 [m] (奥行き) × 約 7 [m] (高さ) とし、格子状に 2 基 × 9 基の計 18 基配置している。地下水の流向は、コンクリートピットの配置に対して短軸方向に流れるときに浸出し

た放射性核種の放射能濃度が高くなるため、安全評価において保守的と考えられる。従って、本解析は2次元にて行うことから、幅36[m]、高さ7[m]のピットが2基並び、モデル化はされないが、奥行きが40[m]あり、さらに9基並ぶ状態を想定した。コンクリートピット間の距離及び、ピット側面から掘削面までの距離を12[m]とした。

掘削面の傾斜は、岩盤新鮮部で1:0.3、岩盤風化部で1:0.5、土壌層で1:1.5とした。また、コンクリートピットは、放射性核種の地下水移行を抑制させる必要があるため、低透水性のベントナイト混合土を、上面及び側面を厚さ2[m]のベントナイト混合土で覆う設計とした。さらに、コンクリートピット施設及び処分する廃棄物の荷重に耐える強度を有する地層に設置しなければならないため、透水性の低い地層で、且つ、N値50以上の岩盤層中に設置するとした。透水係数は、コンクリートピット施設では、終局的な状態に至る過程は考慮せず、初期状態として砂程度まで劣化した状態を仮定することとし1.0E-05[m/s]、ベントナイト混合土は、1.0E-9[m/s]とした。

4.1.3 覆土

覆土は、コンクリートピット施設周囲を上面までを埋め戻した領域（以下、「側部覆土」という。）、岩盤風化部と土壌の境界までの層を覆土した領域（以下、「覆土」という。）及び土壌層と同様層の領域（以下、「表層覆土」という。）に分けた。これらの覆土の透水係数は、周辺層と同様のものとし、側部覆土及び覆土は1.0E-06[m/s]、表層覆土は1.0E-04[m/s]とした。

4.2 標準モデルの作成

底辺水平モデル及び底辺傾斜モデルの概形を図4-3及び図4-4に、メッシュ図を図4-5及び図4-6に示す。これらのモデルは、日本原燃資料⁷⁾を参考にして作成したモデルである。

1つは、モデルの底辺が水平になっており、幅800[m]、左側境界の深さが357[m]、右側境界の深さが333[m]となっている。モデル上辺の傾斜は、3.2.3で示した平均的な地形傾斜3[%]を考慮したものであり、モデル底辺は、深層部には地層の形成時に取り込まれた水循環に関与しない化石塩水が存在した場合を考慮していることから、水平な不透水境界としている¹²⁾。(以下、「底辺水平モデル」という。)

もう1つは、モデルの底辺が傾斜したものであり、幅800[m]、深さは左右ともに357[m]である。これは、深層部に非常に低い透水性の地層が存在した場合を考慮したものである。(以下、「底辺傾斜モデル」という。)

4.3 解析パラメータの設定

4.1 で示した通り、解析で用いたパラメータを表 4-1 に示す。これを標準パラメータとして、本報告書で扱うこととする。また、間隙率は、概念設計³⁾で設定されたものを用いた。

4.4 解析結果

4.4.1 全水頭分布図

底辺水平モデル及び底辺傾斜モデルの全水頭分布図を図 4-7 及び図 4-8 に示す。

どちらのモデルにおいても、全水頭値はモデルの上流側が高く、モデルの下流側が低いことから、水の流れはモデルの左から右へと流れる結果となっていたことから、設定した動水勾配の通りに流動場が計算できていることが分かる。この結果より、以下、モデル左側を「上流側」、モデル右側を「下流側」とする。

2 つのモデルを比較すると、底辺水平モデルの全水頭分布はモデルの底辺に対して垂直な分布を示していたが、底辺傾斜モデルは、底辺に対して若干斜めな分布を示していたことから、2 つのモデルにおける流動場は異なっていることが分かる。これは、モデル底辺の不透水境界による影響と考えられる。モデルの下方の流動場は、底辺の不透水境界の影響を大きく受けるため、底辺傾斜モデルでは、底辺の傾きにより全水頭が若干歪んだ分布を示したと考えられる。

4.4.2 地下水の流速及び流向

底辺水平モデル及び底辺傾斜モデル全体の地下水の流速・流向図を図 4-9 及び図 4-10 に示す。この図はメッシュ毎の流速及び流向について、流速は矢印の色、流向の違いは矢印の向きを表している。

モデル全体では、透水係数の高い表層部の流速が比較的速く、岩盤新鮮部に位置する領域の流速は、表層より遅くなっていた。また、コンクリートピット施設周辺の流速は、ベントナイト混合土領域の流速は非常に遅いが、ピット内部、側部覆土やピットの下部の岩盤新鮮部の流速や流向が複雑になっていることが分かる。

そこで、流速及び流向が複雑となっているコンクリートピット施設周りの様子を見るために、底辺水平モデル及び底辺傾斜モデルについて、モデル中 2 つのコンクリートピット施設は、モデル上流側のコンクリートピット施設（以下、「ピット①」という。）及び下流側のコンクリートピット施設（以下、「ピット②」という。）をそれぞれ拡大した図を図 4-11、図 4-12、図 4-13 及び図 4-14 に示す。

ピット①及びピット②の流速及び流向については、底辺水平モデル及び底辺傾斜モデルの 2 つのモデルの違いによる大きな変化はなかった。これより、モデル下辺の境界条件は、コン

クリートピット施設周辺の流速及び流向にほとんど影響しないと考えられる。また、コンクリートピット施設周辺の流速及び流向は、ピット①及びピット②に違いは見られなかった。

流速については、コンクリートピット施設の上部に位置する覆土は、透水係数が上部の覆土と同じ $1.0E-06[m/y]$ である側部覆土より流速が速くなっていた。これは、地下水の流れる方向に、透水係数が $1.0E-09[m/y]$ と非常に低いベントナイト混合土が存在することにより、地下水が流れにくくなったと考えられる。また、ベントナイト混合土では、位置によって流速が10倍程度異なる結果となっていた。コンクリートピット施設上部に位置するベントナイト混合土は、左右の端から中心にかけて徐々に流速が遅くなっていくことが分かる。側部覆土に接する位置のベントナイト混合土は、上部に位置するベントナイト混合土の左右の端とほとんど変わらない流速となっていたことから、側部覆土に接するベントナイト混合土は比較的透水性が高いことが分かる。コンクリートピット施設内の流速は、中心部ほど速くなっていた。これは、コンクリートピット施設より透水係数が低いベントナイト混合土や岩盤新鮮部に囲まれているためと考えられる。さらに、ベントナイト混合土と岩盤新鮮部が接する領域では、周辺の流速に比べ、10倍程度流速が速くなっていることが分かる。これは、流れてきた地下水が、ベントナイト混合土に到着したとき、近傍が比較的透水係数が高い岩盤新鮮部であったため、地下水がベントナイト混合土の方ではなく、岩盤新鮮部に向かって流れたため、流速が速くなったと考えられる。

一方、流向については、ほとんどの矢印が動水勾配3[%]の傾きを持つ矢印の向きが描画されていた。しかし、モデルの場所によって、矢印の向きが動水勾配に従わない流向を示す領域があった。

1つ目は、コンクリートピット施設上部のベントナイト混合土の領域の流向である。この領域では、上流側ではコンクリートピット施設の方へ流れる向きである下向きに、中心部では弧を描くように変化し、下流側では覆土へ流れる向きである上向きに矢印が描画されていた。

2つ目は、ベントナイト混合土と岩盤新鮮部が接する周辺である。この領域では、ベントナイト混合土の下部を弧で描くような流向となっていた。また、ベントナイト混合土と岩盤新鮮部が接する部分は、コンクリートピット施設の上流側と下流側で2か所存在するが、どちらにおいても同様の現象が見られた。

3つ目は、側部覆土とベントナイト混合土が接する部分である。上流側では、流れてきた地下水が透水係数の低いベントナイト混合土に近くなると、透水係数の比較的高い覆土または岩盤新鮮部の方へ分かれるような流向を示していた。下流側では、覆土及び岩盤新鮮部を流れてきた地下水が側部覆土へ向かうような流向を示していた。

以上のことから、流速及び流向は、該当する領域の透水係数のみではなく、周辺領域の透水係数の影響も受けると考えられる。

4.4.3 ピットの浸入・浸出水量

コンクリートピット施設における浸入水量及び浸出水量をコンクリートピット施設の各面ごとに算出した結果を表 4-2 に示す。表に示した計算結果の値は、設定したパラメータの有効数字を 2 桁としたため、同様に有効数字 2 桁として、3 桁目を四捨五入した結果を示している。

どちらのモデルにおいても、各面の浸入及び浸出水量ともに、ほとんど差は見られなかった。これは、2 つのモデルにおいて、ピット周辺の環境がほとんど変わらなかったことが理由として考えられる。

側面の地下水の水収支の関係を見ると、上流側の地下水は、ピット①、ピット②ともに浸入水量 120[m³/y]に対し、浸出水量は 0[m³/y]、一方、下流側の地下水は、ピット①は浸入水量が 0[m³/y]に対し、浸出水量は 120[m³/y]、ピット②は浸入水量が 0[m³/y]に対し、浸出水量は 110[m³/y]だった。このことから、地下水の流れは、上流側から下流側へ一方向に地下水が流れ、下流側から上流側へ流ることがないことがわかる。

底面の浸入及び浸出水量は全体の約 80[%]以上を占めていた。コンクリートピット施設の透水係数が 1.0E-05[m/s]に対し、上面及び側面は 1.0E-09[m/s]のベントナイト混合土で囲まれ、底面は 1.0E-07[m/s]の岩盤新鮮部に接している。従って、結果として、コンクリートピット施設より透水係数が低いが、岩盤新鮮部へ地下水が流れやすくなったため、底面での水収支の割合が大きくなったと考えられる。

上面の浸入及び浸出水量が全体の 2[%]程度だったことにおいては、底面の場合とは反対に、透水係数の低いベントナイト混合土で覆われているため、水収支が非常に少なくなったと考えられる。

合計の浸入及び浸出水量については、底面水平モデル及び底面傾斜モデルともに、ピットごとの浸入及び浸出水量は同じ値を示した。これにより、水収支が成立していることがわかる。しかし、ピット①の浸入及び浸出水量の値と、ピット②の浸入及び浸出水量の値が、底面水平モデルでは、920[m³/y]、940[m³/y]、底面傾斜モデルでは、930[m³/y]、940[m³/y]とピット②の方が浸入及び浸出水量が大きい値を示していた。これは、ピット②へ浸入した地下水は、ピット①の浸出水量に加え、岩盤からさらにピット①を通過していない新たな地下水が浸入したためと考えられる。

4.4.4 コンクリートピット施設からの浸出水量の覆土及び岩盤への移行評価

埋設処分施設の安全評価を行うにあたり、コンクリートピット施設の浸出水量の算出で考慮しなければならない事項の一つとして、浸出水量が生活圏へ到達するまでの速さがある。浸出水量が、その後岩盤風化部または岩盤新鮮部のどちらの領域へ移行するかにより、流速が異なるため、これを評価する必要がある。

コンクリートピット施設からの浸出水は、その後、移行した領域の透水係数に依存した流速で流れる。岩盤風化部の透水係数は 1.0E-06[m/s]であり、岩盤新鮮部の透水係数 1.0E-07[m/s]

と比べて大きいため、流速は、岩盤風化部を流れる地下水の方が速くなり、結果として、放射性核種を含む地下水の生活圏への到達が速くなる。従って、コンクリートピット施設からの浸出水量がその後岩盤風化部または岩盤新鮮部のどちらの領域へ流れるか評価をする必要がある。本解析では、浸出水量の移行を評価する地点は、後に実施する線量評価を考慮し、概念設計³⁾で設定した値と同様に100[m]とした。

コンクリートピット施設から100[m]の地点、且つ、岩盤風化部及び岩盤新鮮部の境界の座標を通過する地点（以下、「評価点」という。）流跡線を、底辺水平モデルについて全体図を図4-15、その拡大図を図4-16、底辺傾斜モデルについて全体図を図4-17、その拡大図を図4-18に示す。

どちらのモデルにおいても、流跡線のスタート位置は岩盤新鮮部であり、その後、2つのコンクリートピット施設、側部覆土を上昇し、そしてもう一度岩盤新鮮部を通過して評価点へ到達していた。また、評価点を通過後は、岩盤風化部及び岩盤新鮮部のどちらかの領域に流れるのではなく、境界を流れる結果となっていた。

2つのモデルの流跡線を比較するために、底辺水平モデル及び底辺傾斜モデルの評価点を通過する流跡線を重ね合わせた図を図4-19に示す。

モデル上流側の境界付近の流跡線は、底辺水平モデルの流跡線は、底辺傾斜モデルの流跡線の下側を通過していた。そして、コンクリートピット施設に近づくと2つの流跡線が重なり、コンクリートピット施設を通過後は、若干の違いが見られた。コンクリートピット施設と通過した後の流跡線を拡大した図を図4-20に示す。図より、側部覆土を通過後、流跡線に違いがあることが分かる。従って、モデルの底辺が異なることにより、流跡線に違いが生じることが分かる。

コンクリートピット施設からの浸出水量の合計値並びに評価地点100[m]において浸出水の覆土及び岩盤への移行量の計算結果を表4-3及び図4-21に示す。

合計の水量は底辺水平モデル及び底辺傾斜モデル共に940[m³/y]と同じ値の結果となった。しかし、地下水量の経路の割合は、底辺水平モデルは覆土へ約30[%]、岩盤へ約70[%]流れ、底辺傾斜モデルは覆土へ約25[%]、岩盤へ約75[%]と、底辺傾斜モデルの方が岩盤へ流れる割合が約5[%]多かった。この理由としては、4.4.1の結果からも言える通り、モデルの形状に起因するものと考えられる。

表 4-1 標準モデルの解析で用いたパラメータ

	透水係数[m/s]	間隙率[-]
コンクリートピット	1.0E-05	0.35
ベントナイト混合土	1.0E-09	0.46
表層覆土	1.0E-04	0.46
覆土	1.0E-06	0.46
側部覆土	1.0E-06	0.46
土壌層	1.0E-04	0.46
岩盤風化部	1.0E-06	0.46
岩盤新鮮部	1.0E-07	0.47

表 4-2 標準モデルの浸入及び浸出水量

モデル	地下水が 浸入・浸出する面	流量[m ³ /y]			
		ピット①		ピット②	
		浸入	浸出	浸入	浸出
底辺水平 モデル	上面	21	14	17	19
	側面（上流）	120	0	120	0
	側面（下流）	0	110	0	120
	底面	790	800	810	800
	合計	920	920	940	940
底辺傾斜 モデル	上面	23	13	18	18
	側面（上流）	120	0	120	0
	側面（下流）	0	110	0	120
	底面	780	800	810	800
	合計	920	920	940	940

表 4-3 標準モデルにおける覆土・岩盤へ移行する浸出水量

	浸出水量[m ³ /y]	
	底辺水平モデル	底辺傾斜モデル
覆土	290	240
岩盤	650	700
合計	940	940

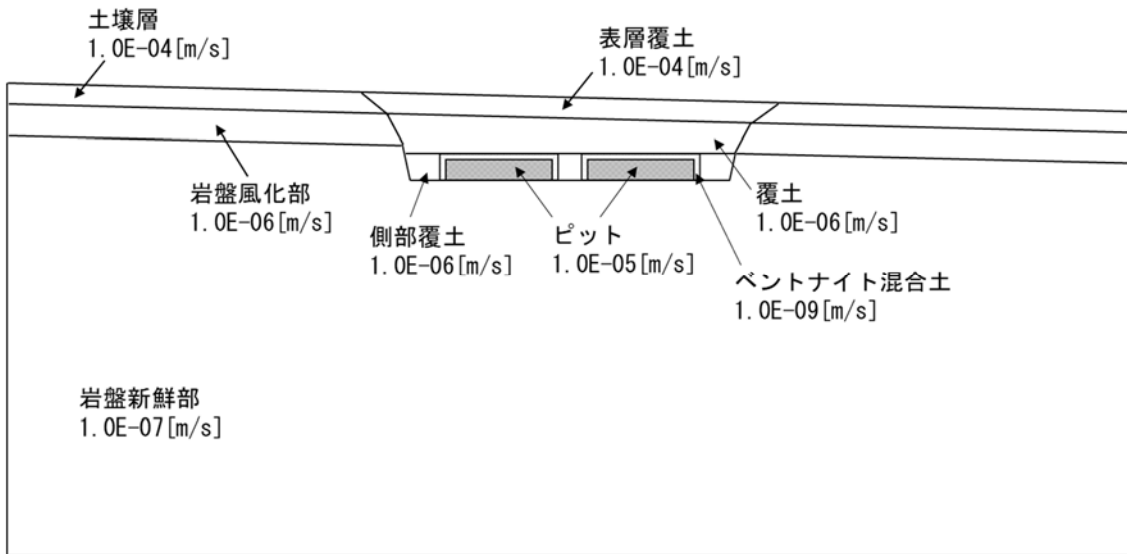


図 4-1 標準モデルの概略

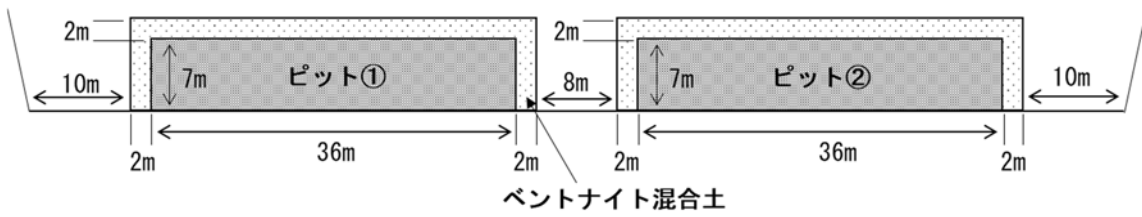


図 4-2 コンクリートピット施設の概略

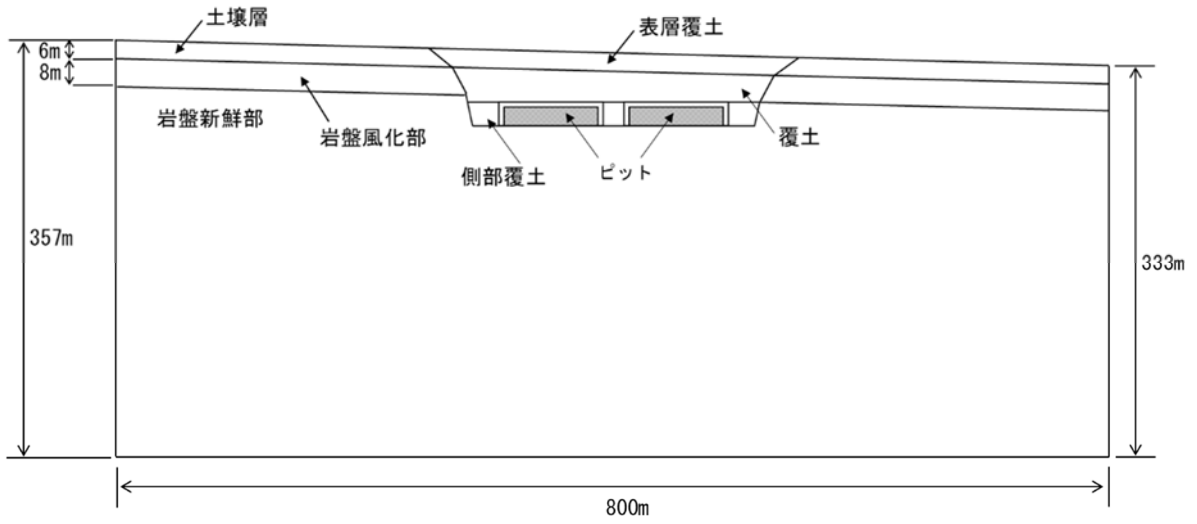


図 4-3 底辺水平モデルの概形

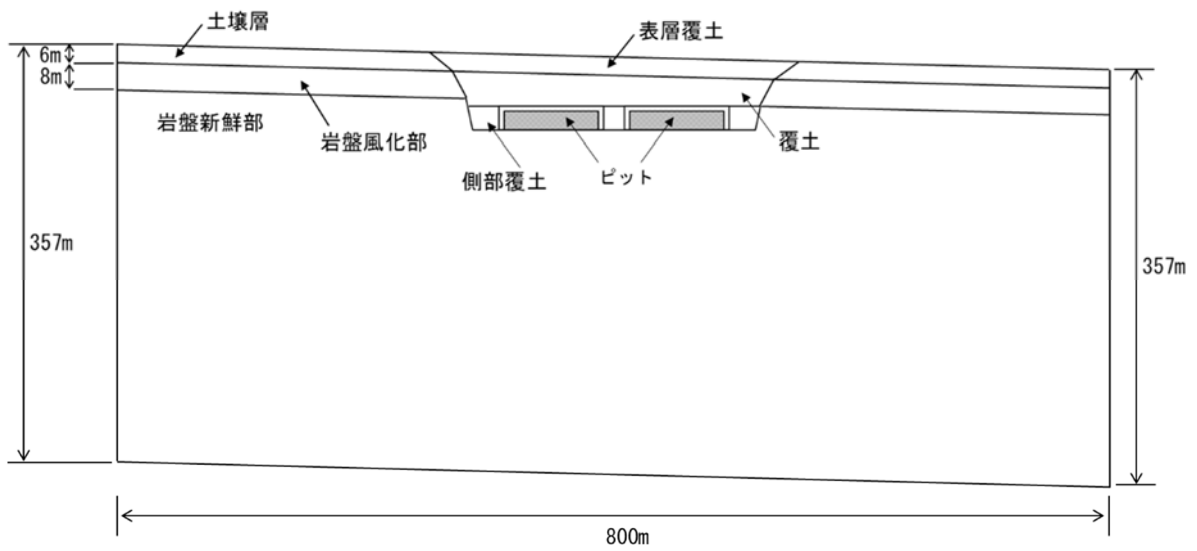


図 4-4 底辺傾斜モデルの概形

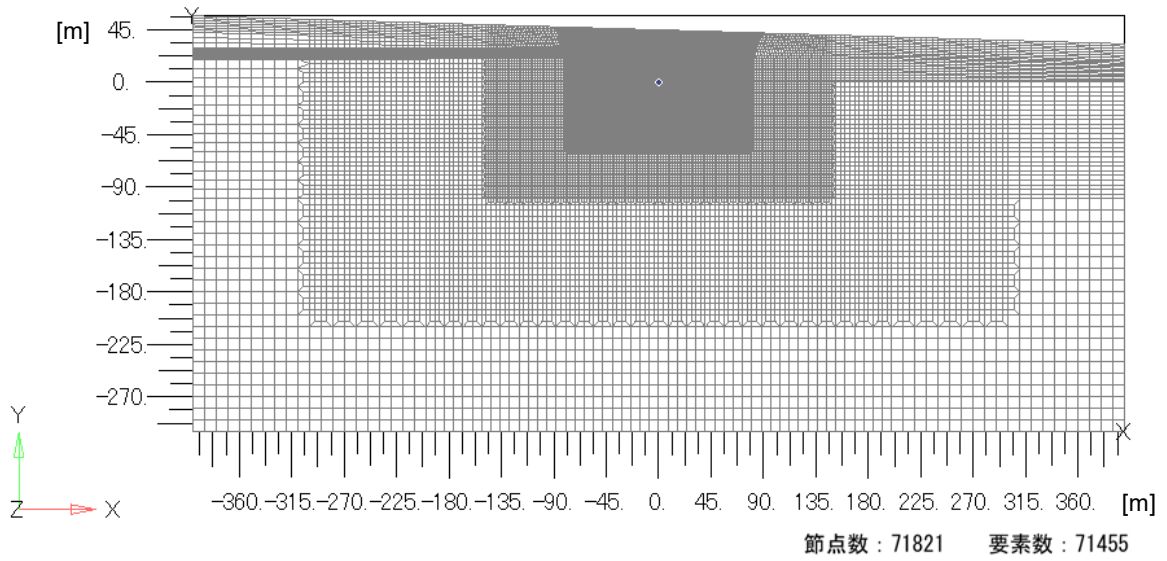


図 4-5 底辺水平モデルのメッシュ図

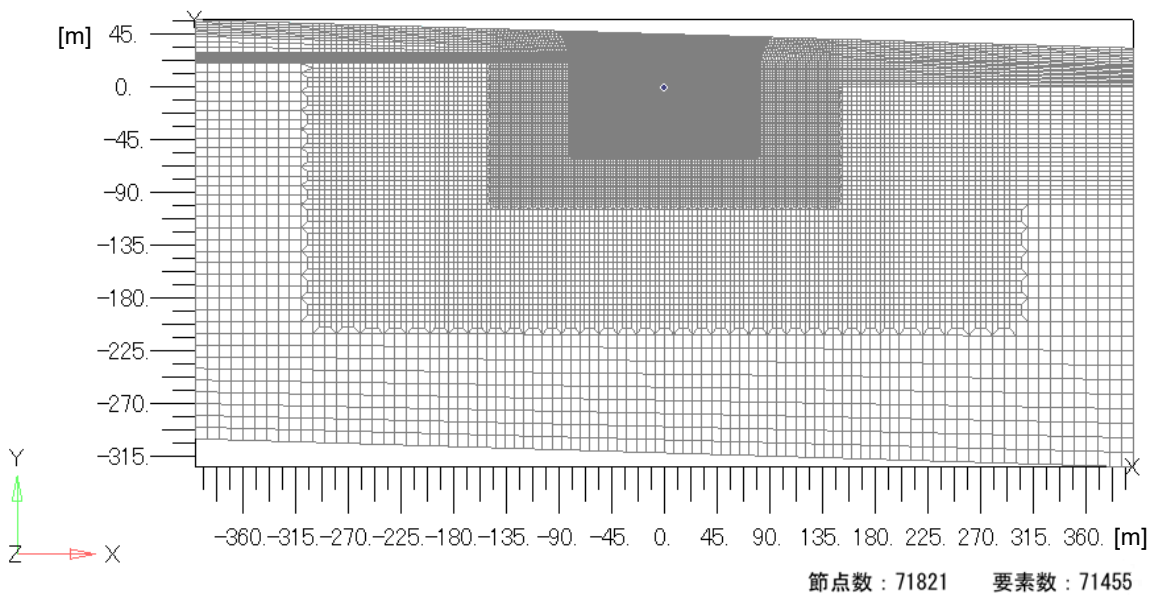


図 4-6 底辺傾斜モデルのメッシュ図

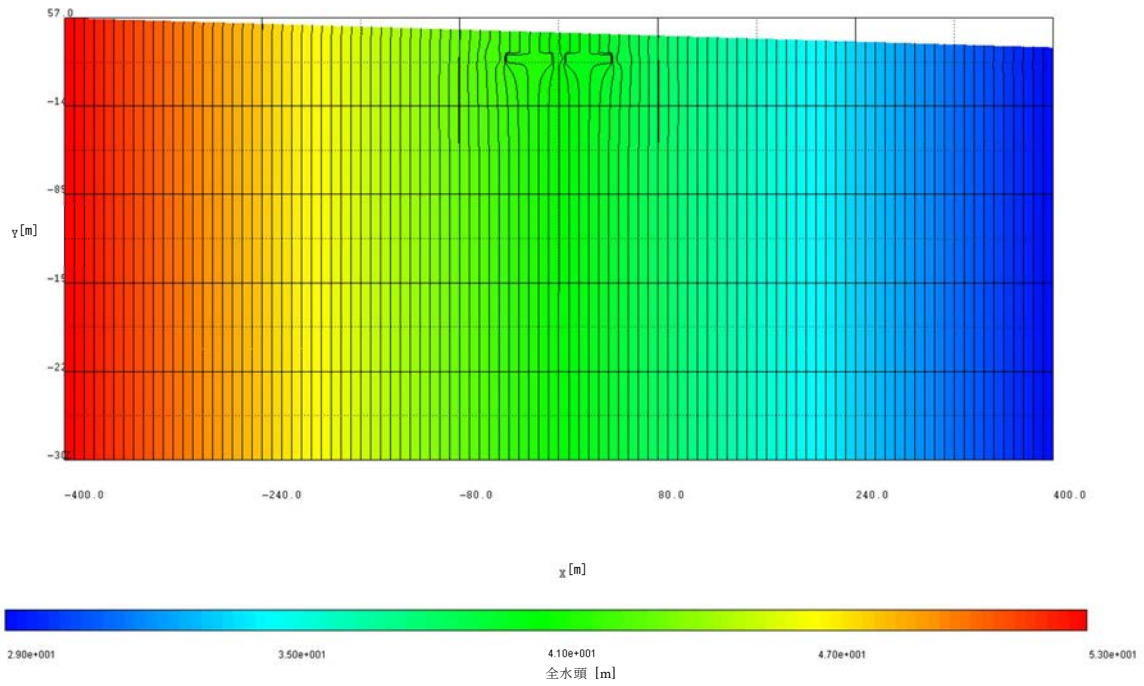


図 4-7 底辺水平モデルの全水頭分布図

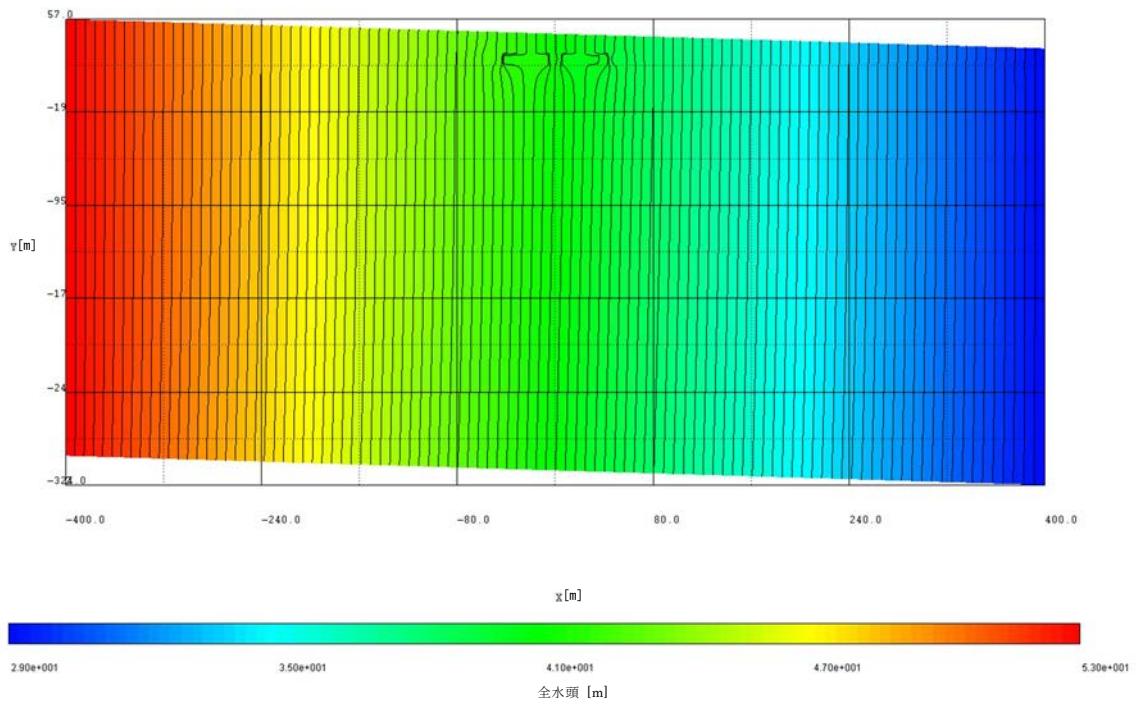


図 4-8 底辺傾斜モデルの全水頭分布図

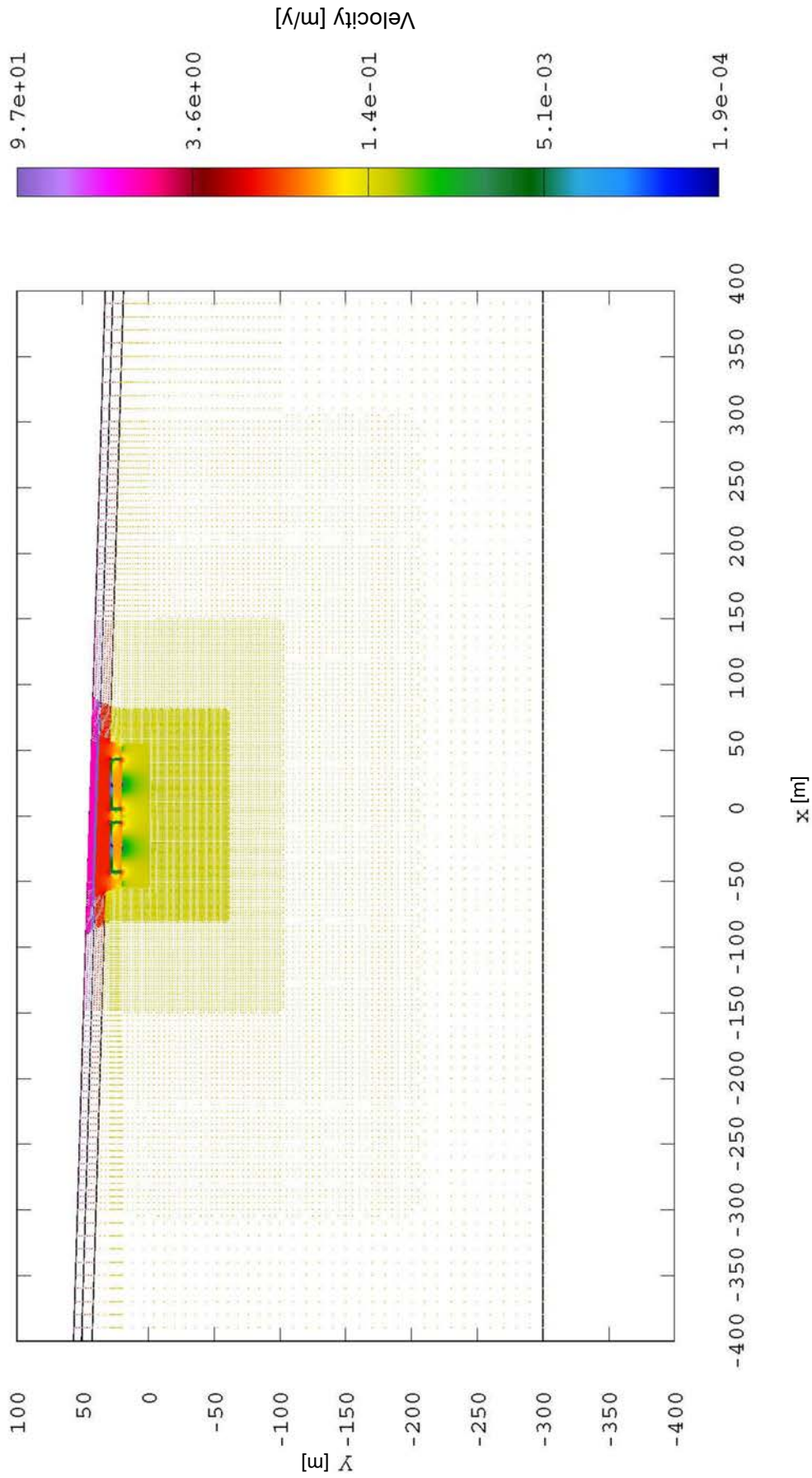


図 4-9 底辺水平モデルの流速・流向図（全体）

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

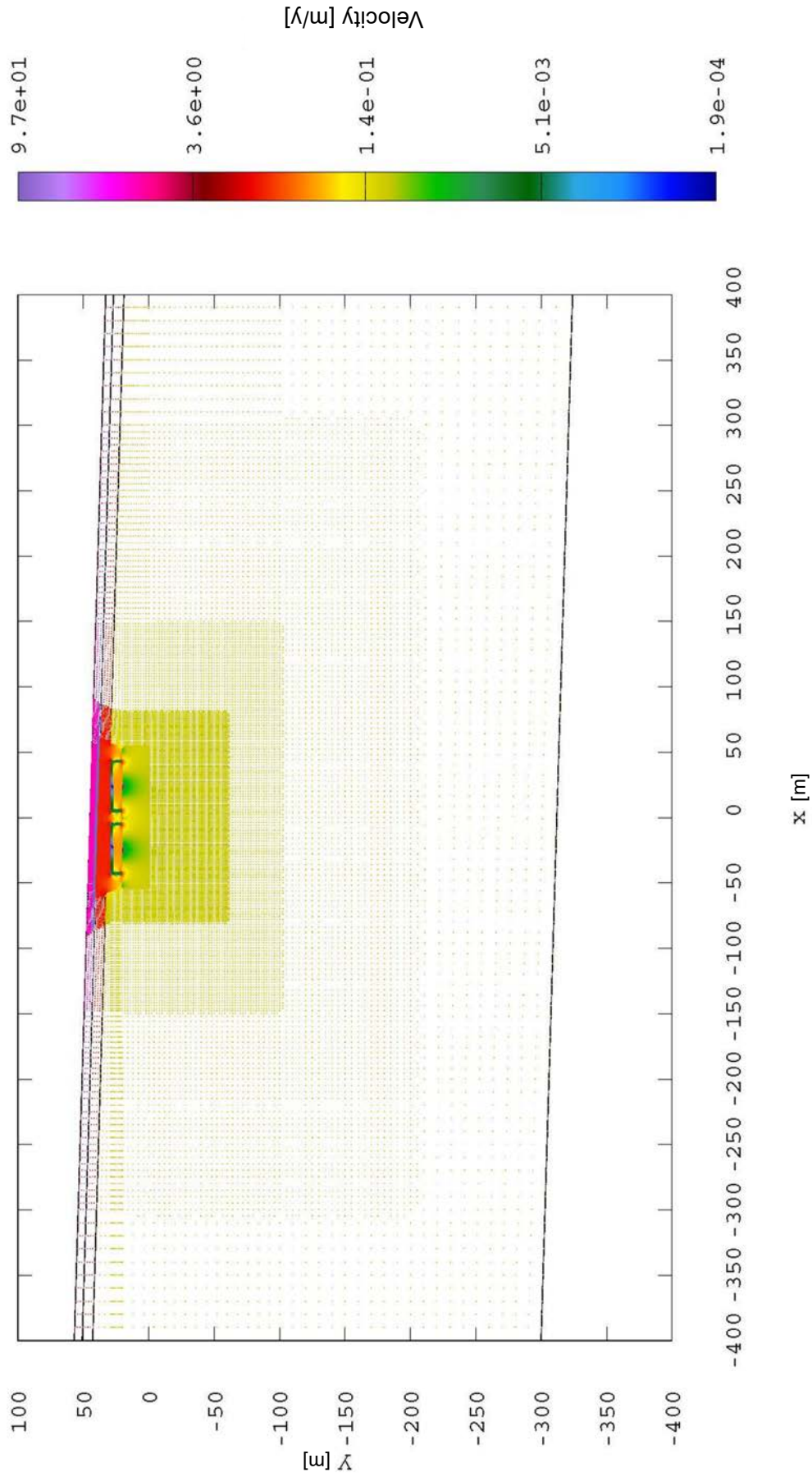


図 4-10 底辺傾斜モデルの流速・流向図（全体）

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

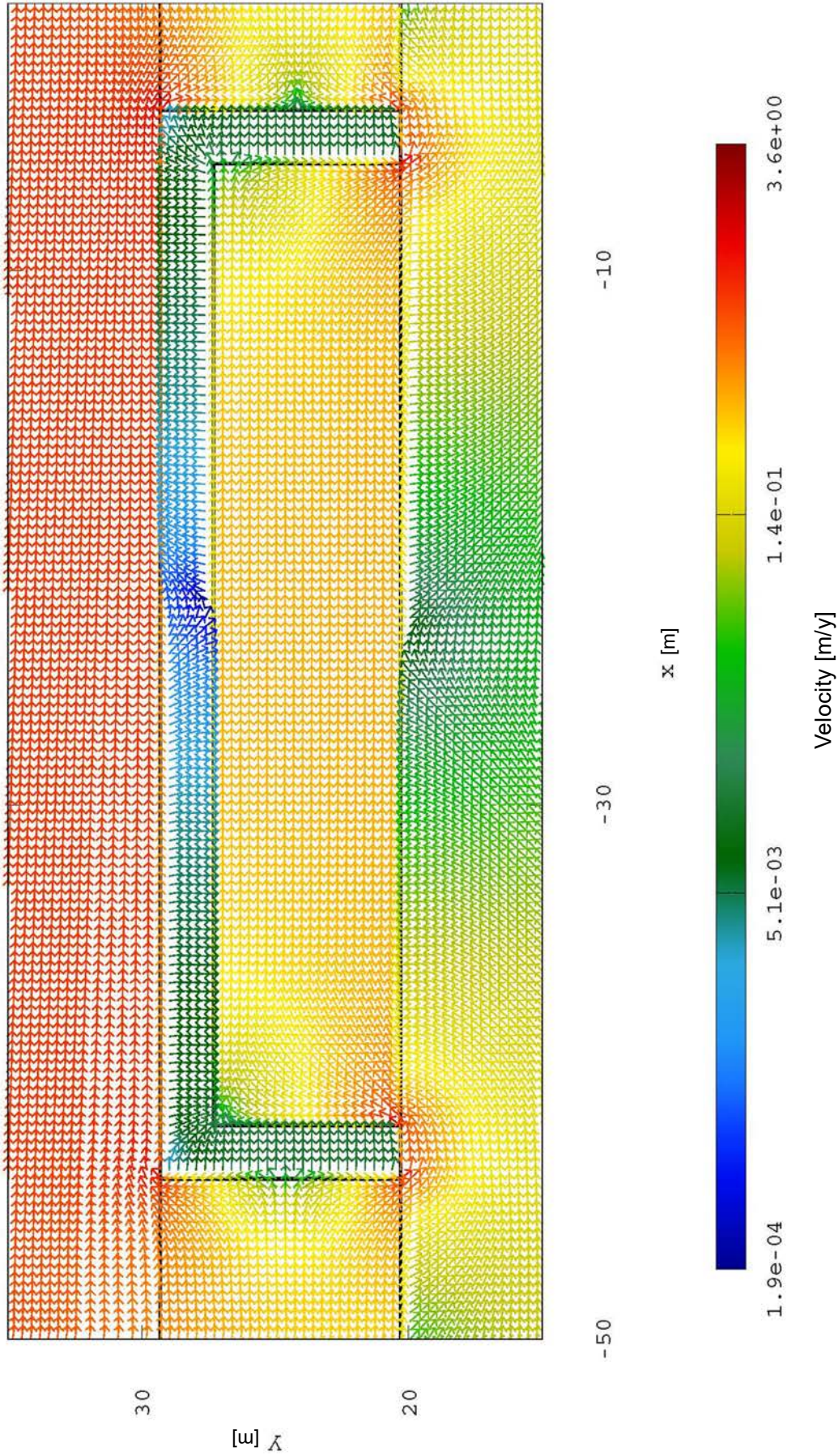


図 4-11 底辺水平モデルの流速・流向図（ヒット①拡大）

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

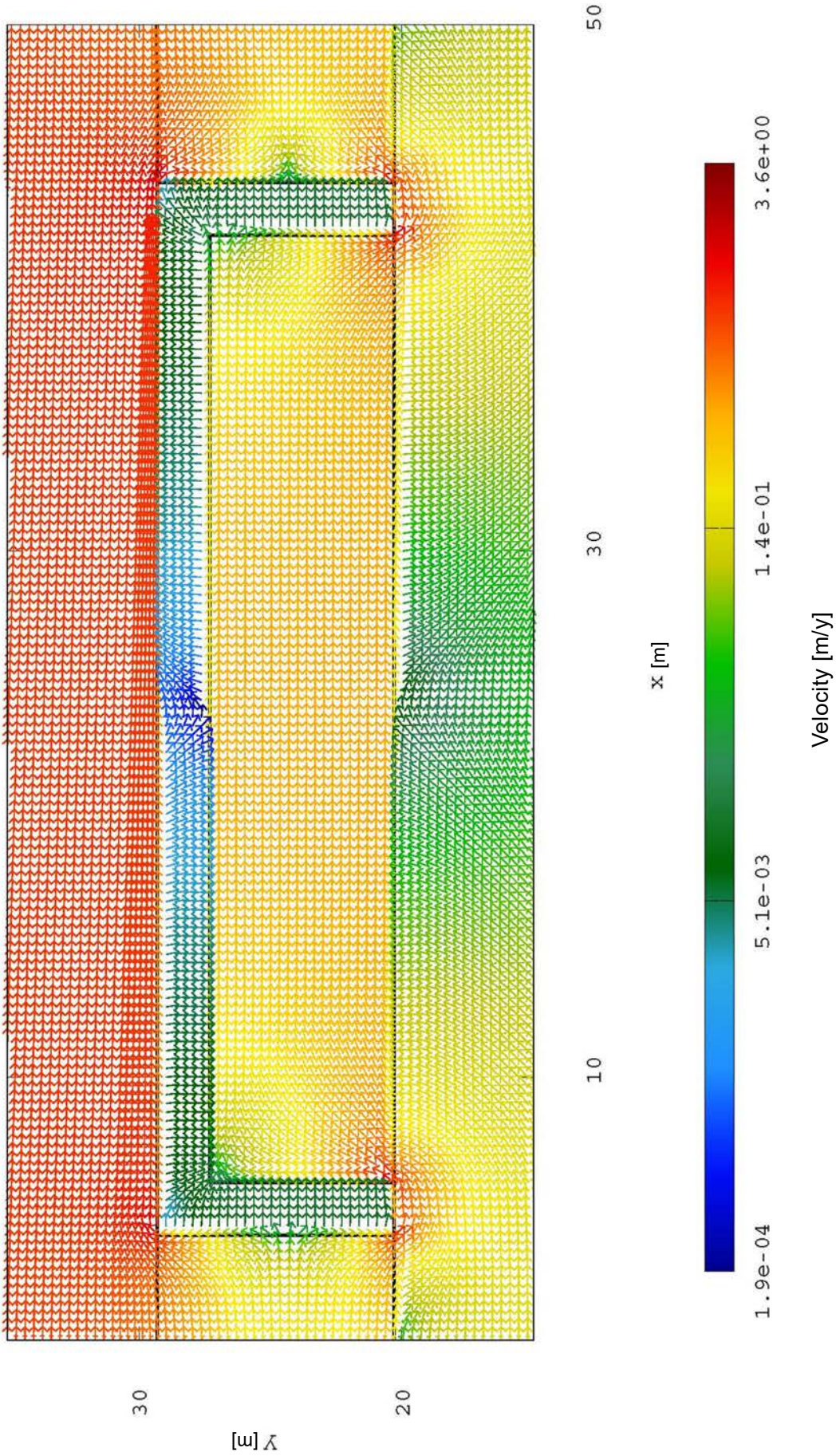


図 4-12 底辺水平モデルの流速・流向図（ピット②拡大）

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

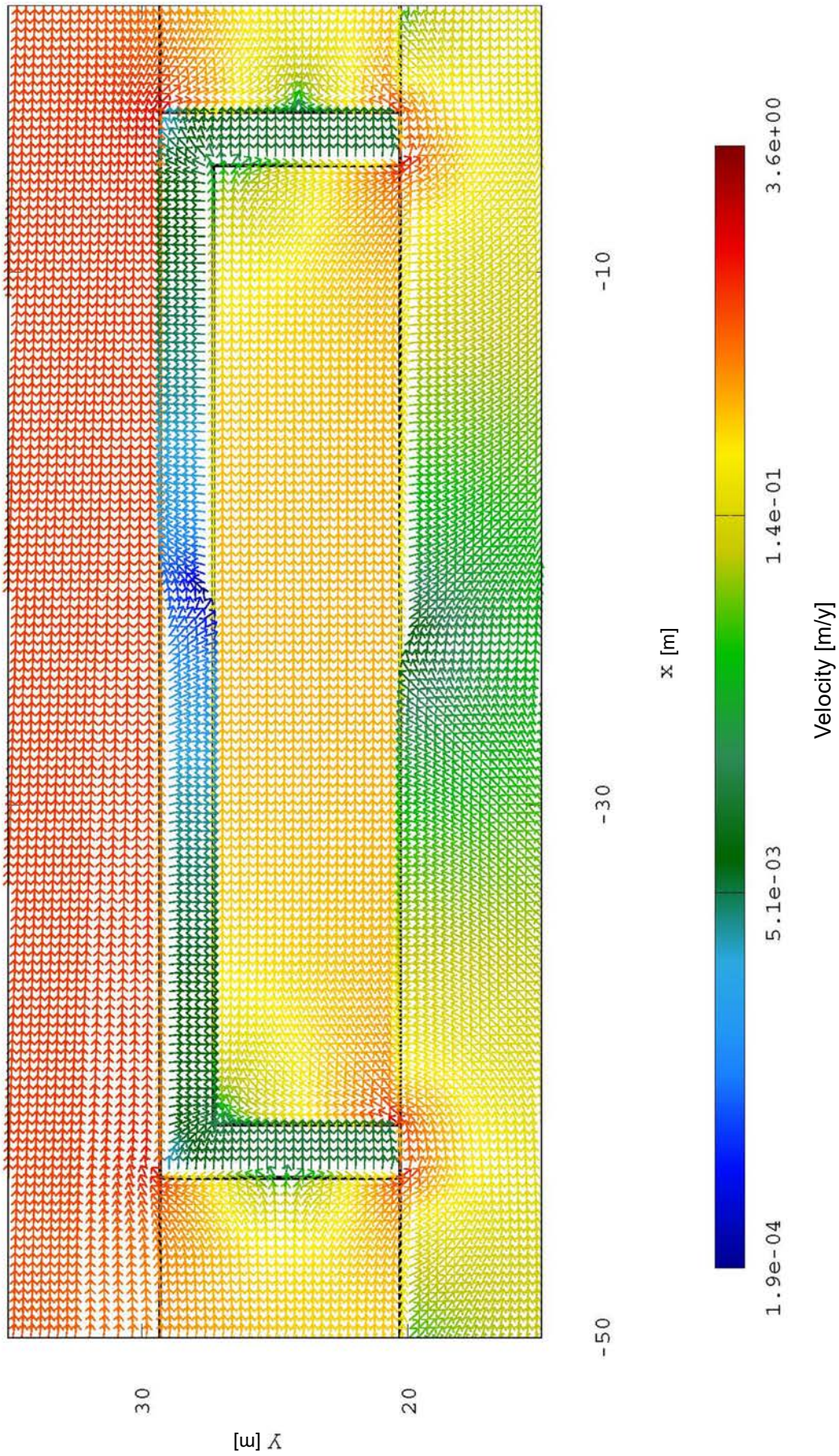


図 4-13 底辺傾斜モデルの流速・流向図 (ピット①拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

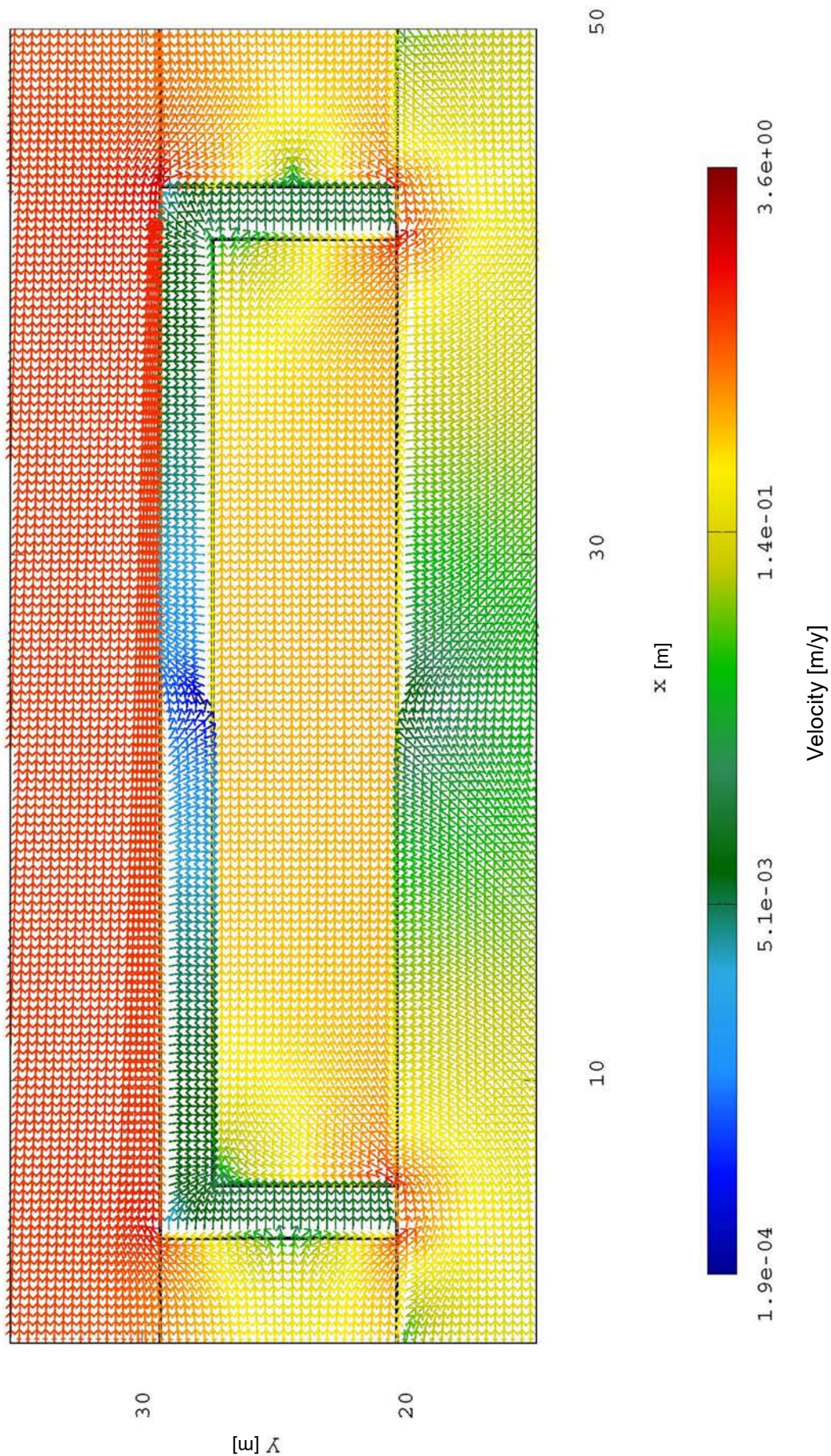


図 4-14 底辺傾斜モデルの流速・流向図（ピット②拡大）

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

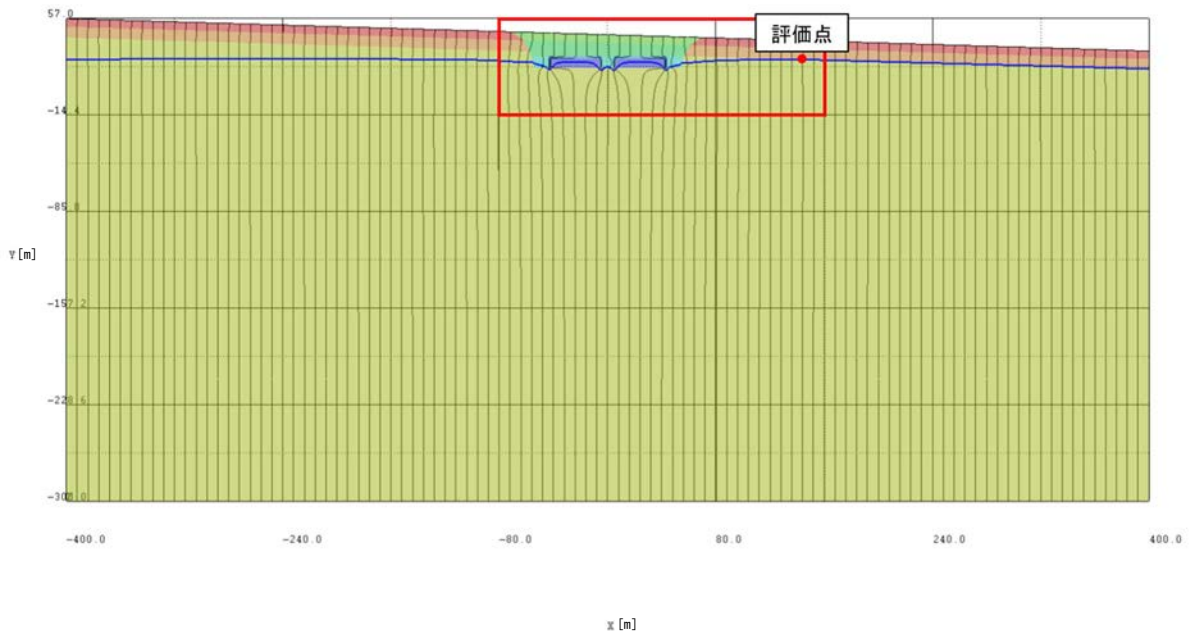


図 4-15 底辺水平モデルの評価点を通過する流跡線（全体）

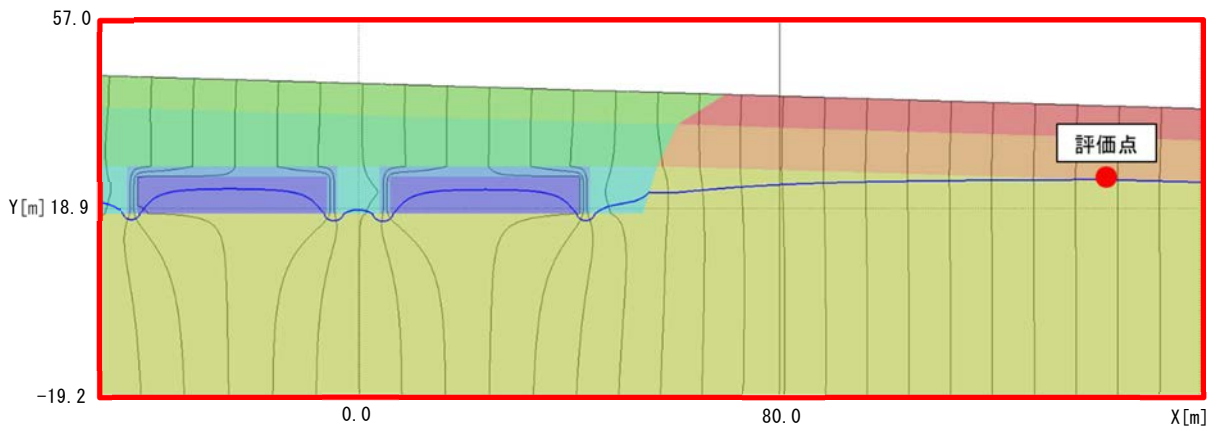


図 4-16 底辺水平モデルの評価点を通過する流跡線（拡大）

※図 4-15 の赤枠で囲んだ領域を拡大した図である。

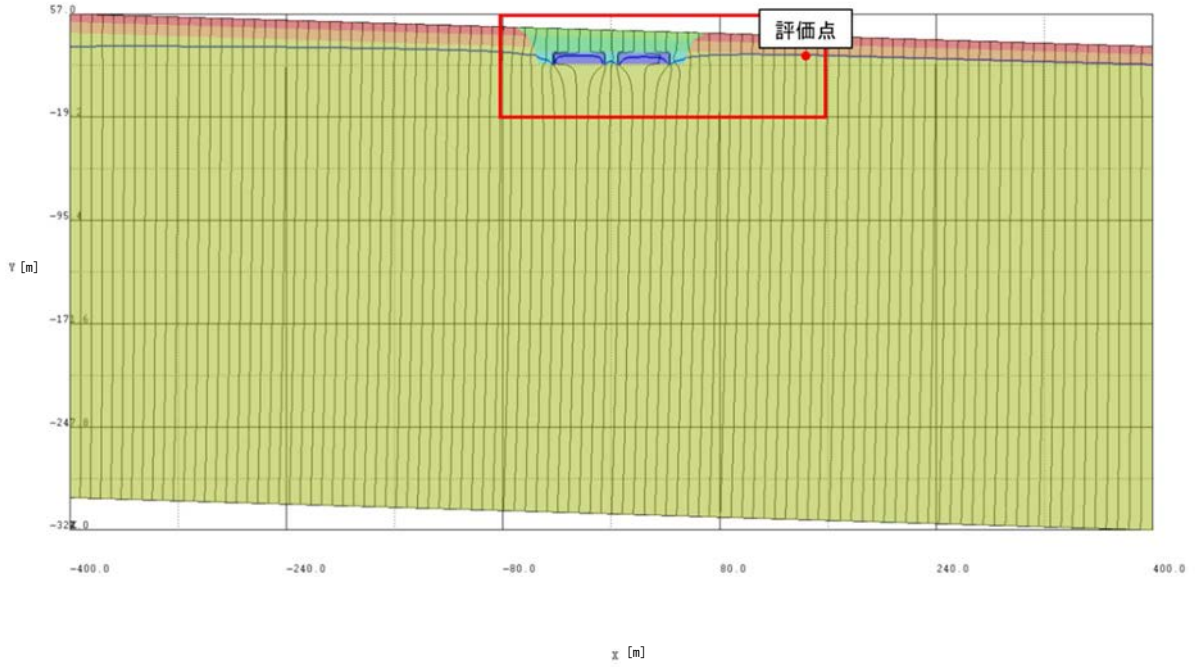


図 4-17 底辺傾斜モデルの評価点を通過する流跡線（全体）

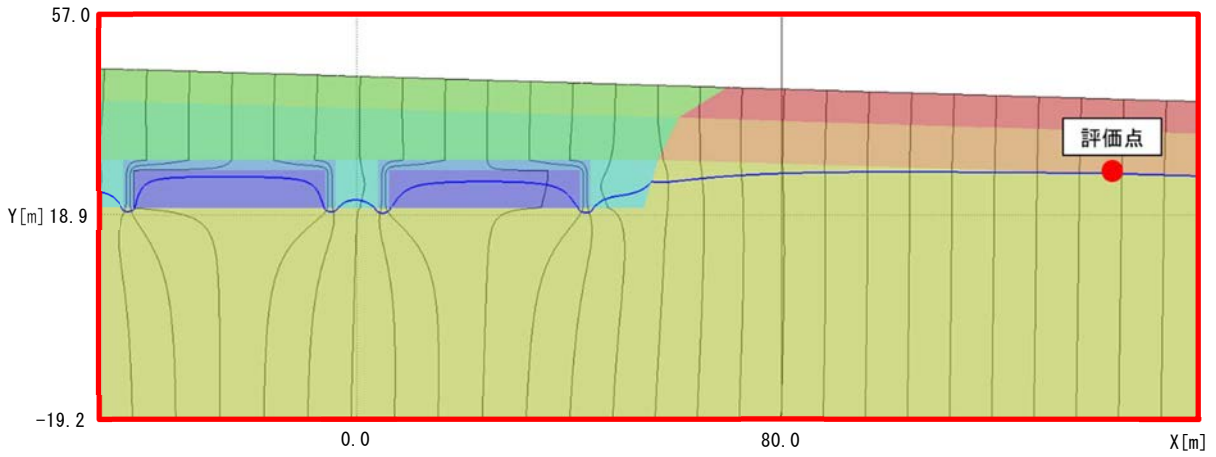


図 4-18 底辺傾斜モデルの評価点を通過する流跡線（拡大）

※図 4-17 の赤枠で囲んだ領域を拡大した図である。

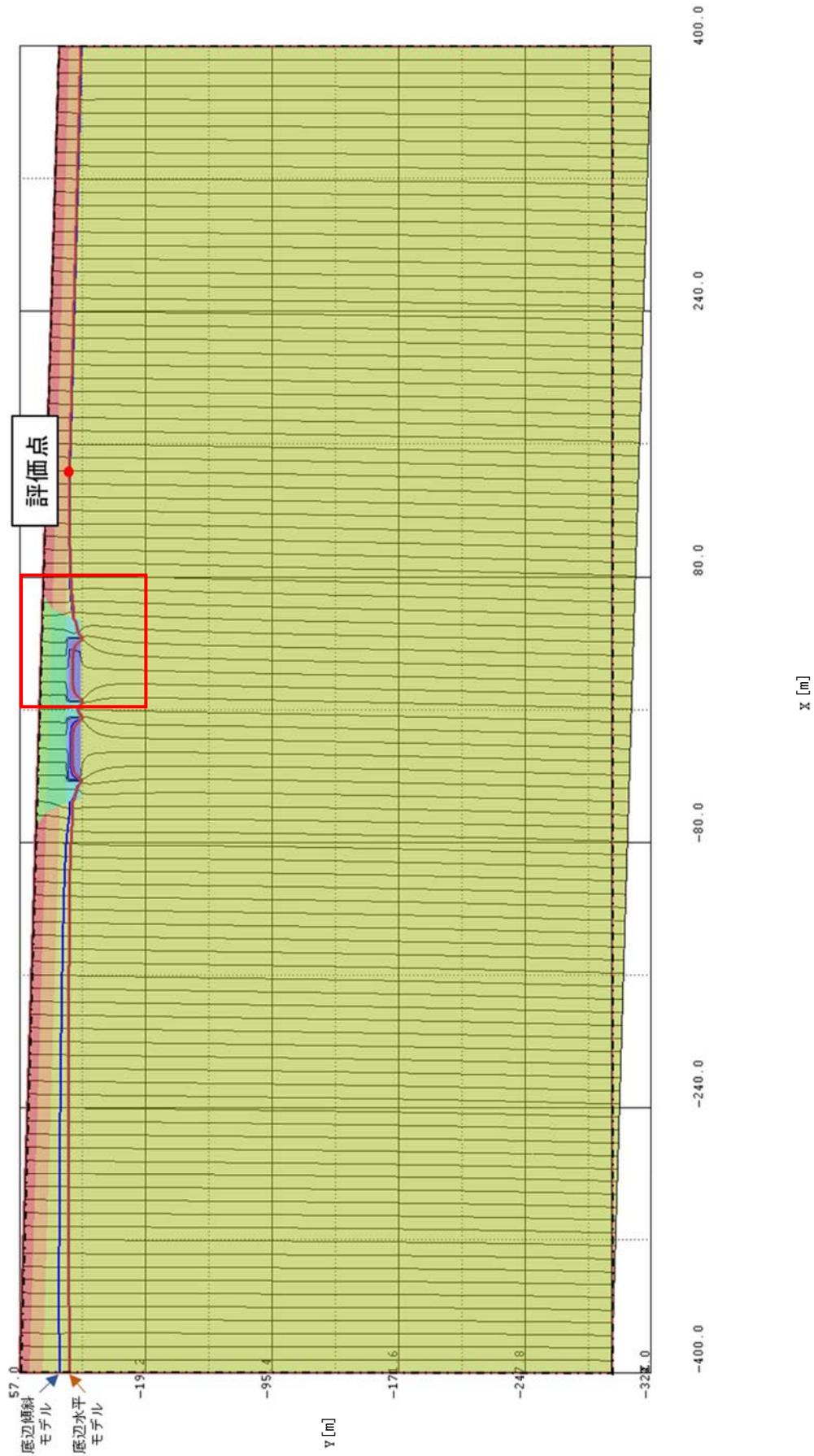


図 4-19 標準モデルの評価点を通過する流跡線 (全体)

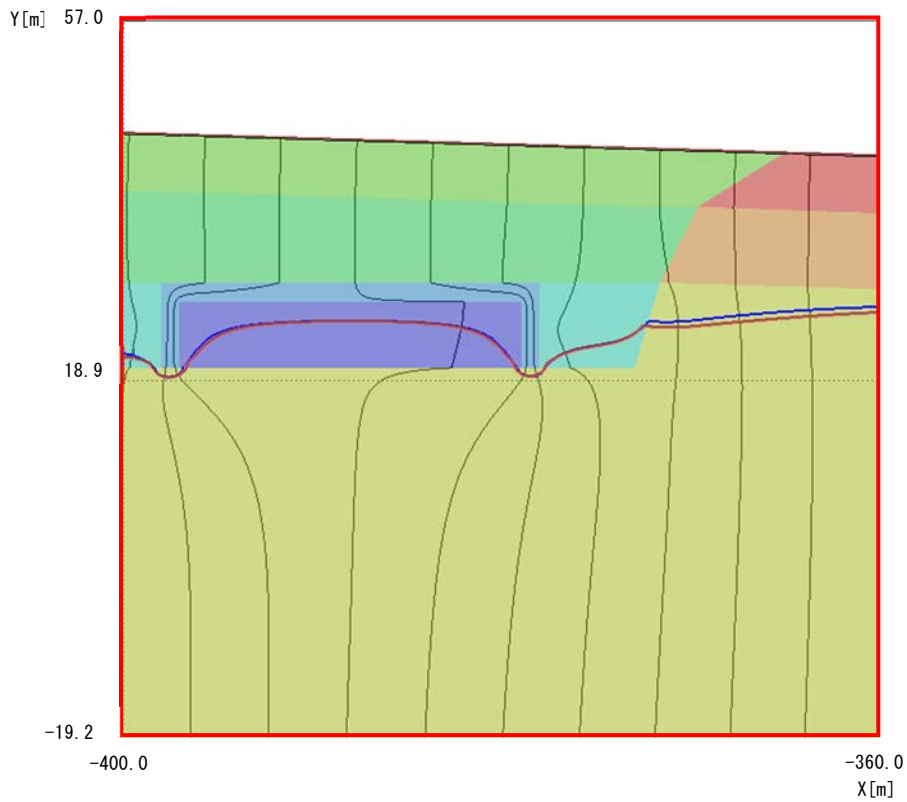


図 4-20 標準モデルの評価点を通過する流跡線（拡大）
 ※図 4-19 の赤枠で囲んだ領域を拡大した図である。

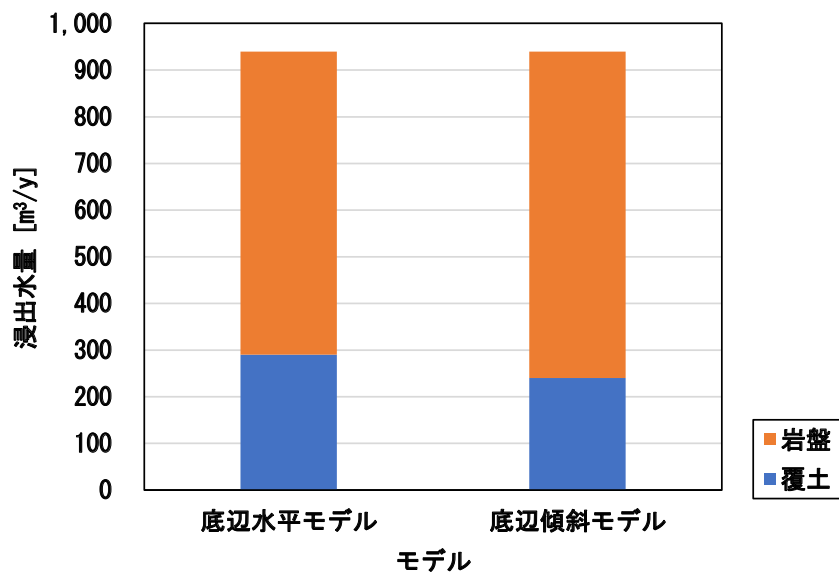


図 4-21 標準モデルにおける覆土・岩盤へ移行する浸出水量

5. 感度解析の検討ケースの設定

4.4 で示した 2 つの標準モデルの結果をリファレンスとして、以下に示す条件を変化させて感度解析を実施した。その内容について以下に示す。

① 側部覆土の透水係数

→ 側部覆土はコンクリートピット施設の側面に位置する覆土であるため、透水係数を低く設計することで、側面からの地下水の浸入水量が減少し、その結果、浸出水量の減少を期待する。

② ベントナイト混合土の破断

→ ベントナイト混合土が長期経過後に劣化することを想定し、本解析では、力学的な応力によりベントナイト混合土に破断が生じたと仮定し、浸出水量の増加量を検討する。

③ 側部覆土の低透水性による防御

→ ①で検討した側部覆土の透水係数を低くすることにより、ベントナイト混合土が破断した場合における、浸出水量の低減ができるか検討する。

④ 上部覆土の充填

→ コンクリートピット施設上部の覆土の透水係数を低くすることにより、さらなる浸出水量の低減を期待する。

⑤ 上部及び側部覆土の低透水性による防御

→ 上部及び側部に透水性の低い覆土を充填した場合、ベントナイト混合土が破断したときの浸出水量の低減ができるか検討する。

以上の感度解析を行い、コンクリートピット施設の設計において、重視すべき観点を検討することとする。

6. 感度解析結果

6.1 側部覆土の透水係数

概念設計³⁾において、側部覆土の透水係数を $1.0E-06$ [m/s]とじていたため、標準モデルにおいても、同様の値を設定した。しかし、側部覆土の透水係数を低くすることができれば、コンクリートピット施設側面の地下水の流れが穏やかになると考えられ、浸出水量の低減が期待できる。そこで、まず、コンクリートピット施設の側面に位置する側部覆土の透水係数を低くしたときの地下水の浸出水量の変化を調べた。

6.1.1 解析モデルの検討

解析モデルは、4.2 で示した標準モデルを用い、側部覆土の透水係数のみを $1.0E-07$ [m/s]及び $1.0E-08$ [m/s]に変化させて計算を行った。

6.1.2 解析結果

ピットの浸入及び浸出水量

コンクリートピット施設の各面における浸入及び浸出水量を表 6-1 に示す。

側部覆土の透水係数を $1.0E-07$ [m/s]にした場合では、どちらのモデルにおいても、コンクリートピット施設の全体の浸入及び浸出水量が 100 [m³/y]程度、各面においては、上面についてはほとんど変化なかったが、側面については $10\sim 20$ [m³/y]、底面からの浸入及び浸出水量が $80\sim 100$ [m³/y]減少した。このことから、側部覆土の透水係数を低くすることで、側面だけではなく、底面を通過する地下水量の減少が可能となることが分かった。これは、側部覆土の透水係数が岩盤と同じく $1.0E-07$ [m/s]となったため、透水係数がやや大きい $1.0E-06$ [m/s]の岩盤風化部や覆土に流れる地下水が相対的に増加したと考えられる。また、側部覆土の透水係数が $1.0E-8$ [m/s]では、コンクリートピット施設の浸入及び浸出水量の合計値が $60\sim 80$ [m³/y]、側面については $10\sim 20$ [m³/y]、底面については $50\sim 80$ [m³/y]となり、 $1.0E-07$ [m/s]の場合に比べてさらに減少する結果となった。

従って、側部覆土の透水係数を低く設計することは、コンクリートピット施設を通過する地下水量の低減に効果的な方法であると言える。

地下水の流速及び流向

側部覆土の透水係数 $1.0E-08$ [m/y]としたときの地下水の流速分布及び流向図のピット①及びピット②周辺を拡大した図を、底辺水平モデルについて図 6-1 及び図 6-2、底辺傾斜モデル

について図 6-3 及び図 6-4 に示す。

底辺水平モデルにおいては、側部覆土の透水係数を $1.0E-08[m/s]$ としたことにより、側部覆土領域の流速が遅くなっていた。さらに、コンクリートピット施設中心部の流速及びベントナイト混合土と岩盤新鮮部が接する部分の周辺についても流速が遅くなっていた。また、4.4.2 の結果と比較すると、コンクリートピット施設上部に充填されているベントナイト混合土の流向が、上流側では下向きだったものが、中心近くになると徐々に方向を変えるとともに流速が遅くなり、下流側では流速は上流側と同様程度に戻り、流向は上向きに変化していた。この流向が変化する位置が、ピット①では 4.4.2 に比べてより下流側に、ピット②ではより上流側に生じていた。これは、側部覆土の透水係数が $1.0E-06[m/s]$ から $1.0E-08[m/s]$ へと変えたことにより、ベントナイト混合土の透水係数に近くなったことが原因と考えられる。この原因については今後の課題の一つとして考慮していくこととする。

コンクリートピット施設からの浸出水量の覆土及び岩盤への移行評価

評価点を通過する流跡線のコンクリートピット施設周辺の拡大図を、側部覆土の透水係数 $1.0E-07[m/s]$ の場合における底辺水平モデルについて図 6-5、底辺傾斜モデルについて図 6-6、側部覆土の透水係数 $1.0E-08[m/s]$ の場合における底辺水平モデルについて図 6-7、底辺傾斜モデルについて図 6-8 に示す。

底辺水平モデルの結果及び底辺傾斜モデルの側部覆土の透水係数が $1.0E-07[m/s]$ の場合には、4.4.3 の結果と同様に 2 つのコンクリートピット施設を通過し、側部覆土、再び岩盤新鮮部を通過して、評価点へ流れていた。一方、底辺傾斜モデルの側部覆土 $1.0E-08[m/s]$ の場合には、コンクリートピット施設の上部、特にコンクリートピット施設とベントナイト混合土の境界を通過するような流跡線となった。

流跡線の結果を基に算出した、コンクリートピット施設からの浸出水量の合計値並びに評価地点 100[m] における覆土または岩盤へ移行する浸出水量の計算結果を表 6-2、グラフ化したものを図 6-9 及び図 6-10 に示す。表 6-2 の括弧内の数字は、4.4.4 の結果（側部覆土の透水係数が $1.0E-06[m/s]$ のとき）と比較した増減を百分率で示したものである。

浸出水量の合計値は、側部覆土の透水係数が変化しても、底辺水平モデル及び底辺傾斜モデルどちらも同じ値を示していた。このことから、深層部（300[m]以上）の地下環境の違いによる、側部覆土の透水係数の影響は、コンクリートピット施設からの浸出水量についてはほとんど関係がないと考えられる。

経路毎の浸出水量については、どちらのモデルについても、岩盤への浸出水量に減少傾向は見られなかった。しかし、覆土への浸出水量の減少率は、底辺水平モデルの場合、側部覆土の透水係数が $1.0E-06[m/s]$ から $1.0E-07[m/s]$ で 48[%]、 $1.0E-06[m/s]$ から $1.0E-08[m/s]$ で 62[%] の減少がみられた。また、底辺傾斜モデルの場合においても、側部覆土の透水係数が $1.0E-06[m/s]$ から $1.0E-7[m/s]$ で 50[%]、 $1.0E-06[m/s]$ から $1.0E-08[m/s]$ で 93[%] と、底辺水平モデルに比べ、大きい減少率を示した。従って、側部覆土の透水係数を低くすることで、浸出水量の全量だけでなく、岩盤に比べて評価点へ速く到達する覆土へ流れる水量も減少させることが可能であることが分かった。

岩盤へ流れる水量について、底辺水平モデルでは、値の変動はあるが、その傾向に規則性は見受けられなかった。しかし、底辺傾斜モデルについては、岩盤への浸出水量が側部覆土の透水係数を低くするにつれて、700[m³/y]、710[m³/y]、750[m³/y]と増加する傾向を示した。この原因として考えられる理由のイメージを図 6-11 に示した。図から分かる通り、側部覆土の透水係数を低くしたことにより、側部覆土領域に地下水が流れにくくなっており、岩盤から浸出した地下水が側部覆土を通過して覆土へ流れる経路の水量が減少したと推測される。従って、浸出水量の合計及び覆土へ流れる地下水量は減少するが、岩盤へ流れる地下水量が増加する結果となったと考えられる。

6.2 ベントナイト混合土の破断

日本原燃資料⁷⁾において、廃棄物に含まれる金属の腐食によるコンクリートピット施設の膨張により、難透水性のベントナイト混合土が破断するという評価が、厳しいシナリオとして実施されていた。ベントナイト混合土が破断することで、コンクリートピット施設中を地下水が通りやすくなり、放射性核種の移行の抑制効果の大幅な低下が推測される。そこで、ベントナイト混合土が破断した場合の環境における地下水流動解析を行うこととした。

6.2.1 解析モデルの検討

標準モデルにおいて、ベントナイト混合土はコンクリートピット施設の上面及び側面を厚さ2[m]で設定している。コンクリートピット施設における廃棄物及びコンクリートピット施設の構造材中の物質（金属）が化学反応を起こし、体積膨張が生じ、コンクリートピット施設全体が膨張する事象が厳しいシナリオとして想定される可能性がある。本検討では、この膨張により、ベントナイト混合土が応力に耐えきれなくなり破断し、コンクリートピット施設の上部の端1[m]がむき出しになると仮定し、解析を実施した。イメージを図6-12に示す。ただし、膨張によるコンクリートピット施設の変形は考慮しないこととし、さらにピット①、ピット②どちらでも起こると仮定する。

ベントナイト混合土の破断による、コンクリートピット施設の浸入及び浸出水量の変化を調べるため、ベントナイト混合土の破断した領域（以下、「破断部」という。）の透水係数が1.0E-08[m/s]、1.0E-07[m/s]、1.0E-06[m/s]と周囲の覆土と同等の透水係数まで大きくなったときの変化を調べた。

6.2.2 解析結果

ピットの浸入及び浸出水量

コンクリートピット施設の各面における浸入及び浸出水量の解析結果を、表6-3に示す。

底辺水平モデルにおける、コンクリートピット施設の浸入及び浸出水量の合計量は、破断部の透水係数が大きくなるにつれて増加する傾向を示し、特に破断部の透水係数が1.0E-06[m/s]のときは、1.0E-07[m/s]のときより約2倍程度増加した。

各面ごとの浸入及び浸出水量を比較すると、底面の水量は大きな変動がなかったが、上面の浸入及び浸出水量は、破断部の透水係数が1.0E-08[m/s]のときに比べ、1.0E-06[m/s]のときでは3~4倍増加した。この大幅な増加は、破断部の透水係数が周囲の覆土と同等となったことにより、地下水が非常に流れやすくなったことによる影響と考えられる。また、側面についても、破断部の透水係数が1.0E-08[m/s]のときに比べ、1.0E-06[m/s]のときでは約2倍増加していた。これは、側面のベントナイト混合土は健全と仮定しているが、上部の端の破断部の影響

によりコンクリートピット施設の交差する壁で形成される角周辺の水の流れが増加したため、結果として側面の浸入及び浸出水量が増加したと考えられる。

また、底辺傾斜モデルの結果は、先述の底辺水平モデルの結果とほとんど変わらなかった。これより、モデル底辺の境界条件が異なる影響がほとんどないと考えられる。

地下水の流速及び流向

破断部の透水係数が $1.0E-08[m/s]$ ～ $1.0E-06[m/s]$ のときのピット①及びピット②周辺の拡大した流速及び流向図を、底辺水平モデルについて図 6-13～6-16、底辺傾斜モデルについて図 6-17～6-20 に示す。

破断部が $1.0E-08[m/s]$ のときでは、底辺水平モデル及び底辺傾斜モデルどちらにおいても破断部の流速が健全なベントナイト混合土の流速より 10～100 倍速くなっていた。また、コンクリートピット施設内の流速も 4.4.2 の結果と比較すると、少し早くなっていた。一方、破断部が $1.0E-06[m/s]$ のときでは、破断部の流速が健全なベントナイト混合土と比べ 1000 倍程度早くなり、さらに、コンクリートピット施設内の流速も破断部が $1.0E-08[m/s]$ のときより早くなっていた。これは、破断部の透水係数が周囲の覆土と同じ $1.0E-06[m/s]$ としたことにより、地下水が通過しやすくなり、透水係数が $1.0E-05[m/s]$ のコンクリートピット施設内を自由に浸入及び浸出できる環境になったためと考えられる。ベントナイト混合土の破断部周辺では、破断部における流速が非常に速いため、ベントナイト混合土に位置する覆土の流向が、破断部へ向かうような矢印となっていた。

従って、ベントナイト混合土が破断した際、破断部の透水係数が周囲の覆土と同程度まで高くなった場合、コンクリートピットを通過する地下水の流速が速くなり、結果として流量が多くなることが分かった。

コンクリートピット施設からの浸出水量の覆土及び岩盤への移行評価

底辺水平モデルについて破断部の透水係数が $1.0E-08[m/s]$ 、 $1.0E-07[m/s]$ 及び $1.0E-06[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線のコンクリートピット施設周辺の拡大図を、図 6-21、図 6-22 及び図 6-23 にそれぞれ示す。また、底辺傾斜モデルについて破断部の透水係数が $1.0E-08[m/s]$ 、 $1.0E-07[m/s]$ 及び $1.0E-06[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線のコンクリートピット施設周辺の拡大図を図 6-24、図 6-25 及び図 6-26 にそれぞれ示す。

底辺水平モデルにおける評価点を通る流跡線は、破断部の透水係数によらず、4.4.3 の結果と同様に 2 つのコンクリートピット施設を通過し、側部覆土、再び岩盤新鮮部を通過して評価点へ流れる経路と結果となった。一方、底辺傾斜モデルでは、破断部の透水係数を $1.0E-06[m/s]$ としたときに、1 つ目のコンクリートピット施設を通過する位置が、今までのケースでは底辺だったのに対し、上流側の側辺となっていた。

また、どちらのモデルにおいても、破断部の透水係数が大きくなるにつれて、コンクリートピット施設を通過する流跡線の位置が下へずれる結果となっていた。

コンクリートピット施設からの浸出水量の合計値及び評価地点 100[m]における覆土または岩盤へ移行する浸出水量の計算結果を表 6-4、その結果をグラフ化したものを底辺水平モデルについて図 6-27、底辺傾斜モデルについて図 6-28 に示す。

底辺水平モデルでは、ベントナイト混合土の破断部の透水係数が大きくなるにつれ、合計の浸出水量及び覆土への浸出水量が増加していた。中でも、破断部が周囲の覆土と同等の透水係数 $1.0E-06$ [m/s] の場合は、覆土への浸出水量が 2000 [m³/y] と、透水係数が $1.0E-07$ [m/s] のときの浸出水量の合計量 1200 [m³/y] よりも水量が多くなっていた。また、岩盤への浸出水量は、透水係数が増加しても、 650 [m³/y]、 640 [m³/y]、 640 [m³/y]、 610 [m³/y] と大きな変化はなかったが、浸出水量の合計量が増加していたため、覆土への浸出水量は透水係数に応じて増加した。

底辺傾斜モデルにおいても、底辺水平モデルと同様の傾向を示し、破断部の透水係数が大きいほど覆土及び合計の浸出水量が増加していた。岩盤への浸出水量についても同様に、 700 [m³/y]、 710 [m³/y]、 710 [m³/y]、 720 [m³/y] とほとんど変化がなかったが、合計量が増加したため、覆土への浸出水量は透水係数に応じて増加した。底辺水平モデルのときより岩盤への浸出水量の割合がやや大きいのが、これは、4.4.2 で示した通り、モデル下辺の境界条件による影響と考えられる。

以上より、ベントナイト上部に破断が生じた場合、コンクリートピット施設を通過する地下水量が増加し、その水量の増加分はほとんどが覆土へ流れることが分かった。このことから、ベントナイト混合土の破断が生じた場合、ベントナイト混合土によるコンクリートピット施設からの浸出水量の抑制が困難になる。従って、ベントナイト混合土の破断が生じても、浸出水量を抑制する対策を検討しておく必要がある。

6.3 側部覆土による防御

6.2 の検討により、ベントナイト混合土の破断が生じると、著しい浸出水量の増加が見受けられたため、対策を検討する必要がある。そこで、6.1 の検討において、浸出水量の低減に有効的であるとされた、側部覆土の透水係数を低くした場合、ベントナイト混合土の破断が生じたときの浸出水量の増加を抑えることが可能か検討することとした。

6.3.1 解析モデルの検討

側部覆土の透水係数を $1.0\text{E-}07$ [m/s]、または、 $1.0\text{E-}08$ [m/s]としたときに、ベントナイト混合土に透水係数 $1.0\text{E-}06$ [m/s]の破断が生じた場合における、コンクリートピット施設を通過する浸出水量について感度解析を実施した。

6.3.2 解析結果

ピットの流入先の浸入及び浸出水量

ベントナイト混合土に透水係数 $1.0\text{E-}06$ [m/s]の破断が生じた場合における、側部覆土の透水係数を変化させたときの各面の浸入及び浸出水量の結果を表 6-5 に示す。

底辺水平モデル及び底辺傾斜モデルともに、側部覆土の透水係数を低く設計しても各面における浸入及び浸出水量に大きな変化は見られなかった。これは、ベントナイトが破断した位置がコンクリートピット施設の上面であり、側部覆土の透水係数を変化させても影響がない場所であったためと考えられる。

地下水の流速及び流向

破断部の透水係数を $1.0\text{E-}06$ [m/s]、側部覆土の透水係数を $1.0\text{E-}08$ [m/s]としたときのピット①及びピット②周辺の拡大した流速及び流向図を、底辺水平モデルについて図 6-29 及び図 6-30、底辺傾斜モデルについて図 6-31 及び図 6-32 に示す。

底辺水平モデル及び底辺傾斜モデルとでは流速及び流向の違いは見られなかった。

6.2.2 の結果と比較すると、側部覆土の透水係数を $1.0\text{E-}08$ [m/s]としても、コンクリートピット施設内の流速はあまり変わらなかった。これは、ベントナイト混合土が破断した位置が上部だったためと考えられる。

コンクリートピット施設からの浸出水量の覆土及び岩盤への移行評価

評価点を通過する流跡線のコンクリートピット施設周辺の拡大図を、底辺水平モデルにおける側部覆土の透水係数が $1.0\text{E-}07$ [m/s]の場合を図 6-33、 $1.0\text{E-}08$ [m/s]の場合を図 6-34 に示す。また、底辺傾斜モデルにおける側部覆土の透水係数が $1.0\text{E-}07$ [m/s]の場合を図 6-35、 1.0E-

08[m/s]の場合を図 6-36 に示す。

底辺水平モデルの側部覆土の透水係数が $1.0E-07$ [m/s]のときは、1つ目のコンクリートピット施設の上流側の側辺を通過して、底辺から出て、その後、次のコンクリートピット施設に底辺から入り、底辺から出て岩盤新鮮部、側部覆土、再び岩盤新鮮部を通過して、評価点へ流れる結果となっていた。側部覆土の透水係数が $1.0E-08$ [m/s]のときでは、1つ目のコンクリートピット施設へ浸入する際、透水係数 $1.0E-07$ [m/s]のときより上流側の側辺のより上辺から浸入し、そして、2つ目のコンクリートピット施設から出るときは、底辺からではなく、下流側の側辺を通過する流跡線となっていた。

底辺傾斜モデルの側部覆土の透水係数が $1.0E-07$ [m/s]のときでは、1つ目のコンクリートピット施設に上流側の側辺から浸入し、底辺から浸出後、2つ目のコンクリートピット施設の底辺から浸入し、底辺から浸出する流跡線となっており、底辺水平モデルの側部覆土の透水係数が $1.0E-07$ [m/s]のときと似ていた。一方、透水係数が $1.0E-08$ [m/s]のときでは、1つ目のコンクリートピット施設へ上辺の破断部から浸入し、下流側辺から浸出後、2つ目のコンクリートピット施設の上流側の側辺から浸入し、上辺の破断部から浸出するという他の3つのケースとは異なった流跡線となっていた。

流跡線の結果を基に、コンクリートピット施設からの浸出水量の合計値と、評価点 100[m]における覆土または岩盤へ移行する浸出水量を、表 6-6、それらのグラフを図 6-37、図 6-38 に示す。

底辺水平モデル及び底辺傾斜モデルともに、浸出水量の合計は側部覆土の透水係数を低くする毎に 100 [m³/y]程度ずつ減少し、覆土へ流れる水量も減少していた。しかし、6.1 で計算したときほどの水量の低減に対する有効性は確認できなかった。従って、コンクリートピット施設上面に設計されているベントナイト混合土が破断した場合を想定し、コンクリートピット施設上面における対策を検討する。

6.4 上部覆土の充填

6.2 の検討より、ベントナイト混合土が破断した場合、コンクリートピット施設を通る地下水量のみではなく、透水係数の大きい覆土へ流れる水量も大幅に増加することが分かった。また、6.3 の検討により、側部覆土の透水係数を低く充填しても浸出水量の低減に有効ではなかった。従って、ベントナイト混合土の上部に充填する覆土の透水係数について検討する必要がある。そこで、コンクリートピット施設の設置位置を深くし、透水係数の低い覆土とベントナイト混合土の周囲を覆うように、上部覆土の領域を新たに設定することとする。これにより、コンクリートピット施設を通る地下水量の低減を検討した。

6.4.1 解析モデルの検討

コンクリートピット施設を囲むベントナイト混合土を透水係数の低い上部覆土及び側部覆土で覆うこととした。上部覆土は、下流側のコンクリートピット施設が最低でも 0.5[m]となるようにコンクリートピット施設の設置深度を深く設計することとした。イメージ図を図 6-39 に示す。上部覆土と覆土の境界は岩盤新鮮部と岩盤風化部の境界と等しくなるようにモデルを作成した。また、上部覆土及び側部覆土の透水係数は $1.0\text{E}-07$ [m/s]、または、 $1.0\text{E}-08$ [m/s]とし、コンクリートピット施設の設置深度が変わっているため、 $1.0\text{E}-06$ [m/s]についても解析をおこなった。

6.4.2 解析結果

ピットの浸入及び浸出水量

各面におけるコンクリートピット施設からの浸入及び浸出水量の結果を表 6-7 に示す。

コンクリートピット施設上部覆土を充填したときの浸入及び浸出水量の結果と、上部覆土を設定しなかった 6.1.2 及び 6.2.2 の解析結果を比較すると、どの透水係数においても、ほとんど水量に差は見られなかった。これは、コンクリートピット施設の上部及び側部には非常に透水係数の低いベントナイト混合土が設置されているため、上部にやや透水係数の低い覆土を充填しても影響がほとんどなかったと考えられる。

地下水の流速及び流向

上部及び側部覆土の透水係数を $1.0\text{E}-08$ [m/s]としたときのピット①及びピット②周辺を拡大した流速及び流向図を、底辺水平モデルについて図 6-40 及び図 6-41、底辺傾斜モデルについて図 6-42 及び図 6-43 に示す。

4.2 の結果と比較すると、上部及び側部覆土領域の流速は、透水係数を $1.0\text{E}-08$ [m/s]と低くしたため遅くなっており、さらに、ベントナイト混合土と岩盤新鮮部が接する領域の流速も遅

くなっていた。しかし、コンクリートピット施設上部のベントナイト混合土の一部が速くなっていた。これは、ベントナイト混合土の透水係数と、ベントナイト混合土と接している上部覆土の透水係数との差が小さくなったため、2つの領域を地下水が行き来しやすくなったと考えられる。

流向については、コンクリートピット施設上部のベントナイト混合土の領域の流向が4.2では上流側でいた向きで、下流側では上向きの矢印を描画していたが、上部覆土に近い上流側のみ、右斜め下の方向を向いた矢印を描画していた。これは、先述した理由と同様に、上部覆土とベントナイト混合土の透水係数の差が小さくなったためと考えられる。

コンクリートピット施設からの浸出水量の覆土及び岩盤への移行評価

評価点を通過する流跡線のコンクリートピット施設周辺の拡大図を、底辺水平モデルについて充填する上部覆土及び側部覆土の透水係数が $1.0E-06[m/s]$ の場合を図6-44、 $1.0E-07[m/s]$ の場合を図6-45、 $1.0E-08[m/s]$ の場合を図6-46に示す。また、底辺傾斜モデルについて充填する上部覆土及び側部覆土の透水係数が $1.0E-06[m/s]$ の場合を図6-47、 $1.0E-07[m/s]$ の場合を図6-48、 $1.0E-08[m/s]$ の場合を図6-49に示す。

図6-44～49の流跡線と、充填する覆土の設計が異なる4.4.3及び6.1.2の流跡線を、側部覆土の透水係数が等しいケース同士で比較すると、ほぼ変わらない結果となっており、流跡線が通過する経路の大きな違いは見られなかった。

流跡線の結果を基に、上部覆土及び側部覆土の透水係数を変化させたときの浸出水量の合計値と、評価点100[m]における覆土または岩盤へ移行する浸出水量の計算結果を表6-8、これらのグラフを図6-50及び図6-51に示す。

覆土または岩盤へ流れる浸出水量についても、上部覆土及び側部覆土の透水係数を低くしていない6.1.2及び6.2.2の結果とほとんど変わらず、側部覆土の透水係数のみを低くしていったときに底辺水平モデル及び底辺傾斜モデルとの間で見られた違いについても同様の傾向がみられた。従って、透水係数の低い上部覆土を充填した場合でも、ベントナイト混合土の低透水性の影響により、ほとんど変化がないことが分かった。

6.5 上部及び側部覆土の低透水性による防御

6.2 の検討では、ベントナイトの上部両端に 1[m] の破断が生じ、その生じた破断部の透水係数が覆土と同等の $1.0E-06[m/s]$ まで大きくなった場合、コンクリートピット施設からの浸出水量が約 $940[m^3/y]$ から約 $2600[m^3/y]$ と大幅に増加した。このことを踏まえて、6.3 では、上部及び側部に設置されているベントナイト混合土をさらに覆うように透水性の低い覆土を充填することを検討した。その結果、破断が生じていないときでは、コンクリートピット施設を通過する地下水量にほとんど変化は見受けられなかった。

そこで、本項では、6.3 で検討したモデルに、6.2 と同様の上部両端に 1[m] の破断がベントナイト混合土に生じた場合のコンクリートピット施設の浸入及び浸出水量および、覆土または岩盤への浸出水量を試算し、コンクリートピット施設を通過する地下水量の低減が可能であるのか検討することとした。

6.5.1 解析モデルの検討

モデルのイメージ図を図 6-52 に示す。ベントナイト混合土に生じた破断部の透水係数は、最もコンクリートピット施設からの浸出水量の増加が著しかった $1.0E-06[m/s]$ をパラメータとして設定し、周辺覆土の透水係数は、 $1.0E-07[m/s]$ 、または、 $1.0E-08[m/s]$ の場合における底辺水平モデル及び底辺傾斜モデルでの試算を行った。

6.5.2 解析結果

ピットの浸入及び浸出水量

コンクリートピット施設からの各面における浸入及び浸出水量の計算結果を表 6-9 に示す。

底辺水平モデルでは、すべての面において浸入及び浸出水量の減少があり、それに伴って合計量の減少も確認された。特に、上面の浸入及び浸出水量は、6.2.2 では $1500\sim 1600[m^3/y]$ の水量であったことに対して、 $1.0E-07[m/s]$ のときでは $550\sim 750[m^3/y]$ と半分程度に、 $1.0E-08[m/s]$ では $70\sim 170[m^3/y]$ とさらにその半分程度にまで減少していた。底辺傾斜モデルにおいても、底辺水平モデルと同様の傾向が見られていた。

以上のことから、コンクリートピット施設周囲にベントナイト混合土の設置及び透水性の低い上部覆土及び側部覆土の充填の両方を行うことは、ベントナイト混合土が破断した際に増加する浸入及び浸出水量の抑制が可能であることが分かった。

地下水の流速及び流向

破断部の透水係数を $1.0E-06[m/s]$ 、上部覆土及び側部覆土の透水係数を $1.0E-08[m/s]$ としたときのピット①及びピット②周辺の拡大した流速及び流向図を、底辺水平モデルについて図 6-

53 及び図 6-54、底辺傾斜モデルについて図 6-55 及び図 6-56 に示す。

流向については、6.4 とほとんど変わらない結果が得られた。流速については、6.2 の結果と比較すると、底辺水平モデル及び底辺傾斜モデルどちらにおいても、透水係数の低い覆土をコンクリートピット施設の上部に充填することにより、破断部及びコンクリートピット施設内の流速が、10 倍程度小さくなっていた。しかし、ピット②の下流側の破断部の流速は、他の破断部の流速に比べて速くなっていた。これは、下流側になるほど、透水係数 $1.0E-08[m/s]$ の上部覆土の領域が小さくなっているためと考えられる。

従って、コンクリートピット施設上部のベントナイト混合土の破断による流速の増加を防ぐためには充填する上部覆土の幅を十分に厚くする必要があると考えられる。

コンクリートピット施設からの浸出水量の覆土及び岩盤への移行評価

底辺水平モデルについて充填する上部覆土及び側部覆土の透水係数が $1.0E-07[m/s]$ 及び $1.0E-08[m/s]$ の場合におけるベントナイト混合土が破断したときの、評価点を通過する流跡線のコンクリートピット施設周辺の拡大図を図 6-57 及び図 6-58 に示す。また、底辺傾斜モデルについて充填する覆土の透水係数が $1.0E-07[m/s]$ 及び $1.0E-08[m/s]$ の場合におけるベントナイト混合土が破断したとき、評価点を通過する流跡線のコンクリートピット施設周辺の拡大図を図 6-59 及び図 6-60 に示す。

底辺水平モデルでは、充填する覆土の透水係数が $1.0E-07[m/s]$ の場合における評価点に到達する流跡線は、1 つ目のコンクリートピット施設の底辺から浸入及び浸出して、その後再び岩盤新鮮部を通過してから 2 つ目のコンクリートピット施設の底辺を浸入及び浸出して評価点へ流れる結果となっていた。覆土の透水係数が $1.0E-08[m/s]$ のときでは、1 つ目のコンクリートピット施設の上流側の側辺から浸入して底辺から浸出し、側部覆土と岩盤新鮮部の境界を通過し、2 つ目のコンクリートピット施設の底辺から浸入して上辺のベントナイト混合土の破断部から浸出し、評価点へ流れる結果となり、覆土の透水係数が $1.0E-07[m/s]$ の場合と異なっていた。

また、底辺傾斜モデルでは、充填する上部覆土及び側部覆土の透水係数が $1.0E-07[m/s]$ の場合では、1 つ目のコンクリートピット施設の上流側の側辺から浸入して底辺から浸出、そして、2 つ目のコンクリートピット施設の底辺を浸入及び浸出して評価点へ流れる結果となっていた。透水係数が $1.0E-08[m/s]$ のときでは、1 つ目のコンクリートピット施設の底辺から浸入及び浸出し、岩盤新鮮部を通過して、2 つ目のコンクリートピット施設の底辺から浸入及び浸出する結果となり、底辺水平モデルと同様に、透水係数が $1.0E-07[m/s]$ の場合と異なる結果であった。

評価点 100[m]における覆土または岩盤へ移行する浸出水量の計算結果を表 6-10 に示す。また、それらの結果をグラフ化したものを底辺水平モデルについて図 6-61、底辺傾斜モデルについて図 6-62 に示す。

底辺水平モデル及び底辺傾斜モデルともに、上部覆土及び側部覆土の透水係数を小さくすることにより、コンクリートピット施設からの浸出水量を、 $1.0E-07[m/s]$ のときで約 60[%]、 $1.0E-08[m/s]$ のときで約 35[%]に抑えることができていた。また覆土への浸出水量については、底辺水平モデルにおいて、全体の約 76[%]だったのに対して、透水係数が $1.0E-08[m/s]$ のときで

25[%]、底辺傾斜モデルでは、全体の約 69[%]だったのに対して、覆土の透水係数 $1.0E-08[m/s]$ のときで約 17[%]と、絶対値のみではなく、覆土へ流れる割合も減少していた。

以上の結果より、コンクリートピット施設周囲に透水性の低い上部覆土及び側部覆土を充填することにより、コンクリートピット施設を通過する地下水量及び覆土へ浸出する地下水量を抑えることが可能であることから、コンクリートピット施設の設計時に考慮すべき事項であると言える。

表 6-1 側部覆土の透水係数を変化させたときの浸入及び浸出水量

モデル	透水係数 [m/s]	地下水が 浸入・浸出する面	流量[m ³ /y]			
			ピット①		ピット②	
			浸入	浸出	浸入	浸出
底辺水平 モデル	1.0E-07	上面	25	13	16	22
		側面（上流）	100	0	100	0
		側面（下流）	0	100	0	100
		底面	700	710	720	710
		合計	820	820	830	830
	1.0E-08	上面	29	12	15	25
		側面（上流）	81	0	84	0
		側面（下流）	0	83	0	81
		底面	640	660	660	650
		合計	750	750	750	750
底辺傾斜 モデル	1.0E-07	上面	27	11	17	20
		側面（上流）	100	0	100	0
		側面（下流）	0	98	0	100
		底面	700	720	710	710
		合計	820	820	830	830
	1.0E-08	上面	32	9.4	17	22
		側面（上流）	82	0	84	0
		側面（下流）	0	83	0	80
		底面	640	660	650	650
		合計	760	760	750	750

表 6-2 側部覆土の透水係数を変化させたときの覆土・岩盤へ移行する浸出水量

モデル	分類	浸出水量[m ³ /y]		
		側部覆土の透水係数[m/s]		
		1.0E-06	1.0E-07	1.0E-08
底辺水平 モデル	覆土	290	150 (-48%)	110 (-62%)
	岩盤	650	680 (+4.6%)	650 (±0%)
	合計	940	830 (-12%)	760 (-20%)
底辺傾斜 モデル	覆土	240	120 (-50%)	17 (-93%)
	岩盤	700	710 (+1.4%)	740 (+7.1%)
	合計	940	830 (-12%)	760 (-20%)

表 6-3 ベントナイト混合土が破断したときの浸入及び浸出水量

モデル	破断部の 透水係数 [m/s]	地下水が 浸入・浸出する面	流量[m ³ /y]			
			ピット①		ピット②	
			浸入	浸出	浸入	浸出
底辺水平 モデル	1.0E-08	上面	47	37	41	44
		側面（上流）	120	0	120	0
		側面（下流）	0	110	0	120
		底面	780	800	810	800
		合計	950	950	970	970
	1.0E-07	上面	280	250	260	270
		側面（上流）	140	0	140	0
		側面（下流）	0	130	0	140
		底面	760	800	800	790
		合計	1200	1200	1200	1200
	1.0E-06	上面	1600	1500	1500	1600
		側面（上流）	240	0	240	0
		側面（下流）	0	230	0	240
		底面	670	740	740	710
		合計	2500	2500	2500	2500
底辺傾斜 モデル	1.0E-08	上面	49	36	42	42
		側面（上流）	120	0	120	0
		側面（下流）	0	110	0	120
		底面	780	800	800	800
		合計	950	950	970	970
	1.0E-07	上面	280	240	270	270
		側面（上流）	140	0	140	0
		側面（下流）	0	130	0	140
		底面	760	800	800	790
		合計	1200	1200	1200	1200
	1.0E-06	上面	1600	1500	1600	1600
		側面（上流）	240	0	240	0
		側面（下流）	0	230	0	240
		底面	660	760	730	720
		合計	2500	2500	2500	2500

表 6-4 ベントナイト混合土が破断したときの覆土・岩盤へ移行する浸出水量

モデル	分類	浸出水量[m ³ /y]		
		破断部の透水係数[m/s]		
		1.0E-08	1.0E-07	1.0E-06
底辺水平モデル	覆土	320	560	1900
	岩盤	640	640	610
	合計	960	1200	2500
底辺傾斜モデル	覆土	260	500	1800
	岩盤	700	710	720
	合計	970	1200	2600

表 6-5 ベントナイト混合土破断の場合における側部覆土の透水係数を変化させたときの浸入及び浸出水量

モデル	側部覆土の透水係数[m/s]	地下水が浸入・浸出する面	流量[m ³ /y]			
			ピット①		ピット②	
			浸入	浸出	浸入	浸出
底辺水平モデル	1.0E-07	上面	1500	1400	1500	1500
		側面（上流）	210	0	220	0
		側面（下流）	0	210	0	220
		底面	590	690	680	620
		合計	2300	2300	2400	2400
	1.0E-08	上面	1500	1400	1500	1500
		側面（上流）	200	0	210	0
		側面（下流）	0	200	0	200
		底面	540	650	640	560
		合計	2300	2300	2300	2300
底辺傾斜モデル	1.0E-07	上面	1500	1400	1500	1500
		側面（上流）	210	0	220	0
		側面（下流）	0	210	0	220
		底面	580	700	670	630
		合計	2300	2300	2400	2400
	1.0E-08	上面	1600	1400	1500	1500
		側面（上流）	200	0	210	0
		側面（下流）	0	200	0	200
		底面	520	670	630	570
		合計	2300	2300	2300	2300

表 6-6 ベントナイト混合土破断の場合における
側部覆土の透水係数を変化させたときの覆土・岩盤へ移行する浸出水量

モデル	分類	浸出水量[m ³ /y]		
		側部覆土の透水係数[m/s]		
		1.0E-06	1.0E-07	1.0E-08
底辺水平 モデル	覆土	1900	1800	1700
	岩盤	610	620	620
	合計	2500	2400	2300
底辺傾斜 モデル	覆土	1800	1600	1500
	岩盤	720	840	830
	合計	2600	2400	2300

表 6-7 上部覆土及び側部覆土の透水係数を変化させたときの浸入及び浸出水量

モデル	上部覆土及び側部覆土の透水係数 [m/s]	地下水が浸入・浸出する面	流量[m ³ /y]			
			ピット①		ピット②	
			浸入	浸出	浸入	浸出
底辺水平モデル	1.0E-06	上面	21	14	17	19
		側面（上流）	120	0	120	0
		側面（下流）	0	110	0	120
		底面	790	800	810	800
		合計	920	920	940	940
	1.0E-07	上面	24	14	15	23
		側面（上流）	98	0	97	0
		側面（下流）	0	97	0	98
		底面	710	720	720	710
		合計	830	830	830	830
	1.0E-08	上面	23	11	12	25
		側面（上流）	82	0	84	0
		側面（下流）	0	84	0	82
		底面	650	660	660	650
		合計	760	760	760	760
底辺傾斜モデル	1.0E-06	上面	23	13	18	18
		側面（上流）	120	0	120	0
		側面（下流）	0	110	0	120
		底面	780	800	810	800
		合計	930	930	940	940
	1.0E-07	上面	26	12	16	21
		側面（上流）	99	0	98	0
		側面（下流）	0	96	0	97
		底面	710	720	710	710
		合計	830	830	830	830
	1.0E-08	上面	26	9.2	15	22
		側面（上流）	83	0	84	0
		側面（下流）	0	84	0	81
		底面	650	670	650	650
		合計	760	760	760	760

表 6-8 上部覆土及び側部覆土の透水係数を変化させたときの
覆土・岩盤へ移行する浸出水量

モデル	分類	浸出水量[m ³ /y]		
		上部覆土及び側部覆土の透水係数[m/s]		
		1.0E-06	1.0E-07	1.0E-08
底辺水平 モデル	覆土	260	150	110
	岩盤	650	680	650
	合計	940	830	760
底辺傾斜 モデル	覆土	220	120	20
	岩盤	720	720	750
	合計	940	840	770

表 6-9 ベントナイト混合土破断の場合における
上部覆土及び側部覆土の透水係数を変化させたときの浸入及び浸出水量

モデル	上部覆土及び 側部覆土の 透水係数 [m/s]	地下水が 浸入・浸出する面	流量[m ³ /y]			
			ピット①		ピット②	
			浸入	浸出	浸入	浸出
底辺水平 モデル	1.0E-07	上面	550	500	610	750
		側面（上流）	140	0	150	0
		側面（下流）	0	140	0	150
		底面	670	730	760	620
		合計	1400	1400	1500	1500
	1.0E-08	上面	92	71	92	170
		側面（上流）	86	0	92	0
		側面（下流）	0	89	0	90
		底面	650	670	690	610
		合計	830	830	870	870
底辺傾斜 モデル	1.0E-07	上面	560	480	620	740
		側面（上流）	140	0	150	0
		側面（下流）	0	140	0	150
		底面	660	740	740	630
		合計	1400	1400	1500	1500
	1.0E-08	上面	97	66	97	160
		側面（上流）	87	0	92	0
		側面（下流）	0	89	0	89
		底面	650	680	680	620
		合計	830	830	870	870

表 6-10 ベントナイト混合土破断の場合における
 上部覆土及び側部覆土の透水係数を変化させたときの覆土・岩盤へ移行する浸出水量

モデル	分類	浸出水量[m ³ /y]		
		上部覆土及び側部覆土の透水係数[m/s]		
		1.0E-06	1.0E-07	1.0E-08
底辺水平 モデル	覆土	1900	900	220
	岩盤	610	610	650
	合計	2500	1500	870
底辺傾斜 モデル	覆土	1800	860	150
	岩盤	720	650	720
	合計	2600	1500	870

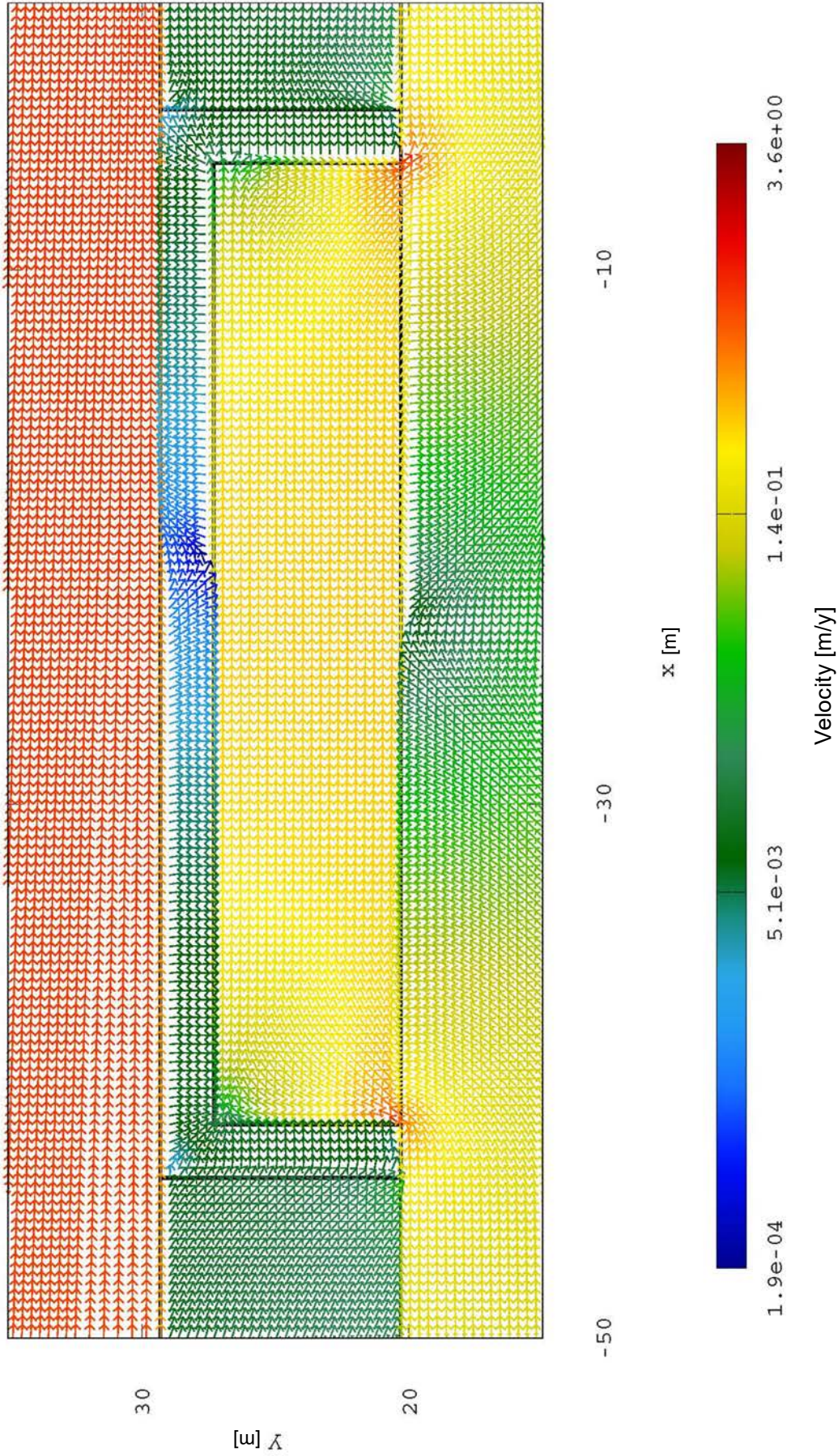


図 6-1 底辺水平モデルにおける側部覆土 1.0E-8[m/s]のときの流速・流向図 (ピット①拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。(矢印の長さは関係ない。)

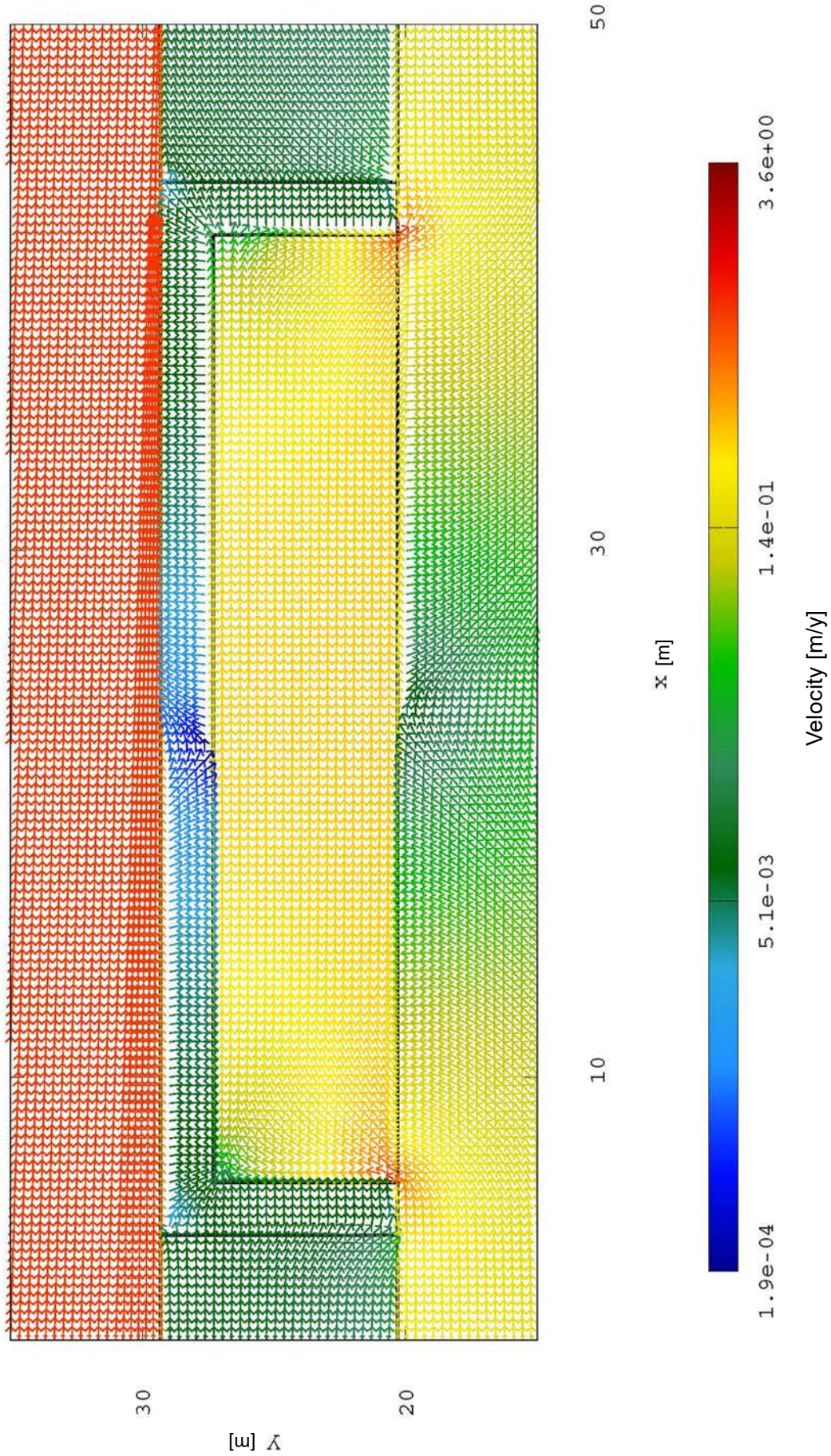


図 6-2 底辺水平モデルにおける側部覆土 1.0E-8[m/s]のときの流速・流向図 (ピット②拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

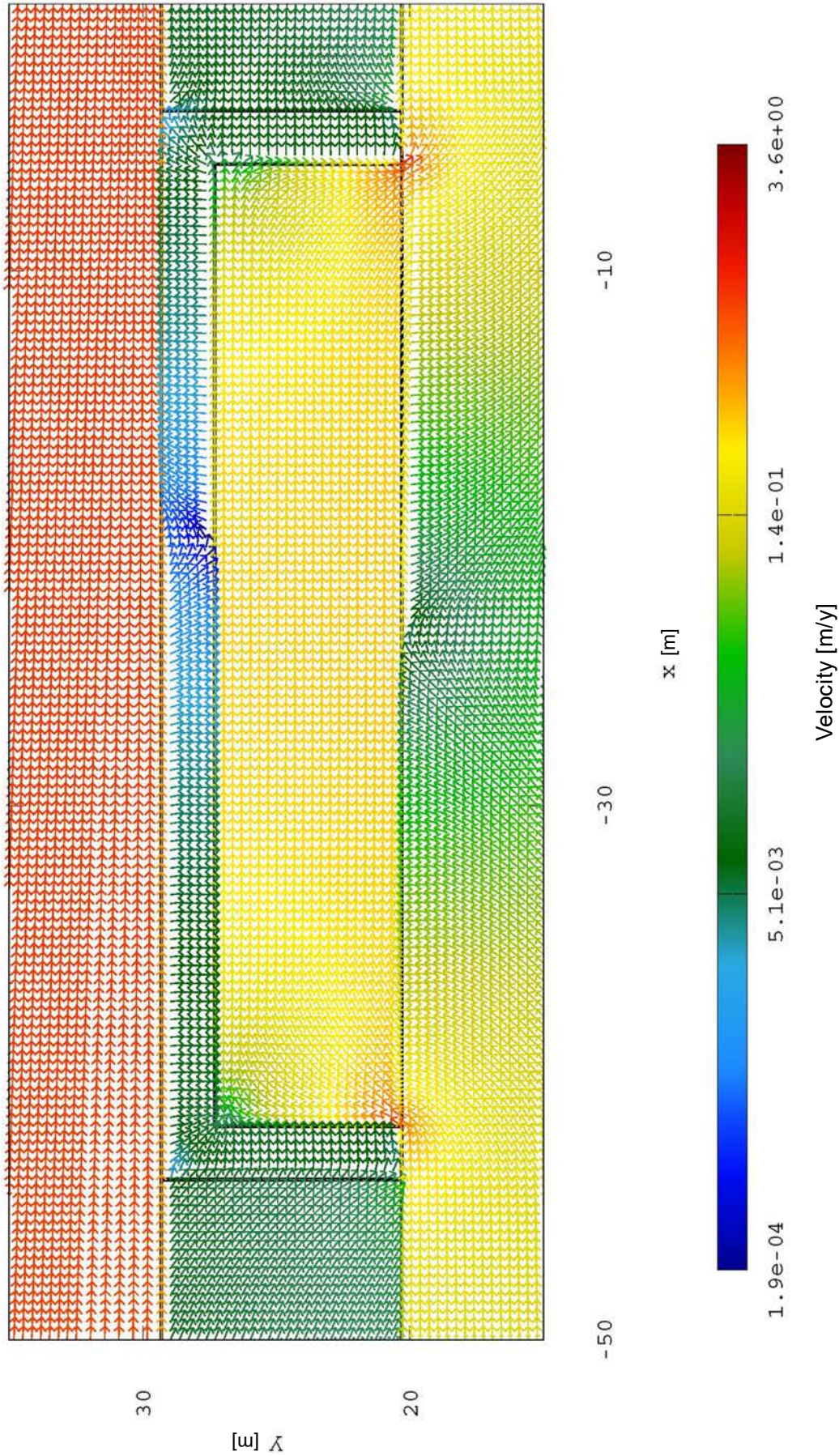


図 6-3 底辺傾斜モデルにおける側部覆土 1.0E-8[m/s]のときの流速・流向図 (ピット①拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

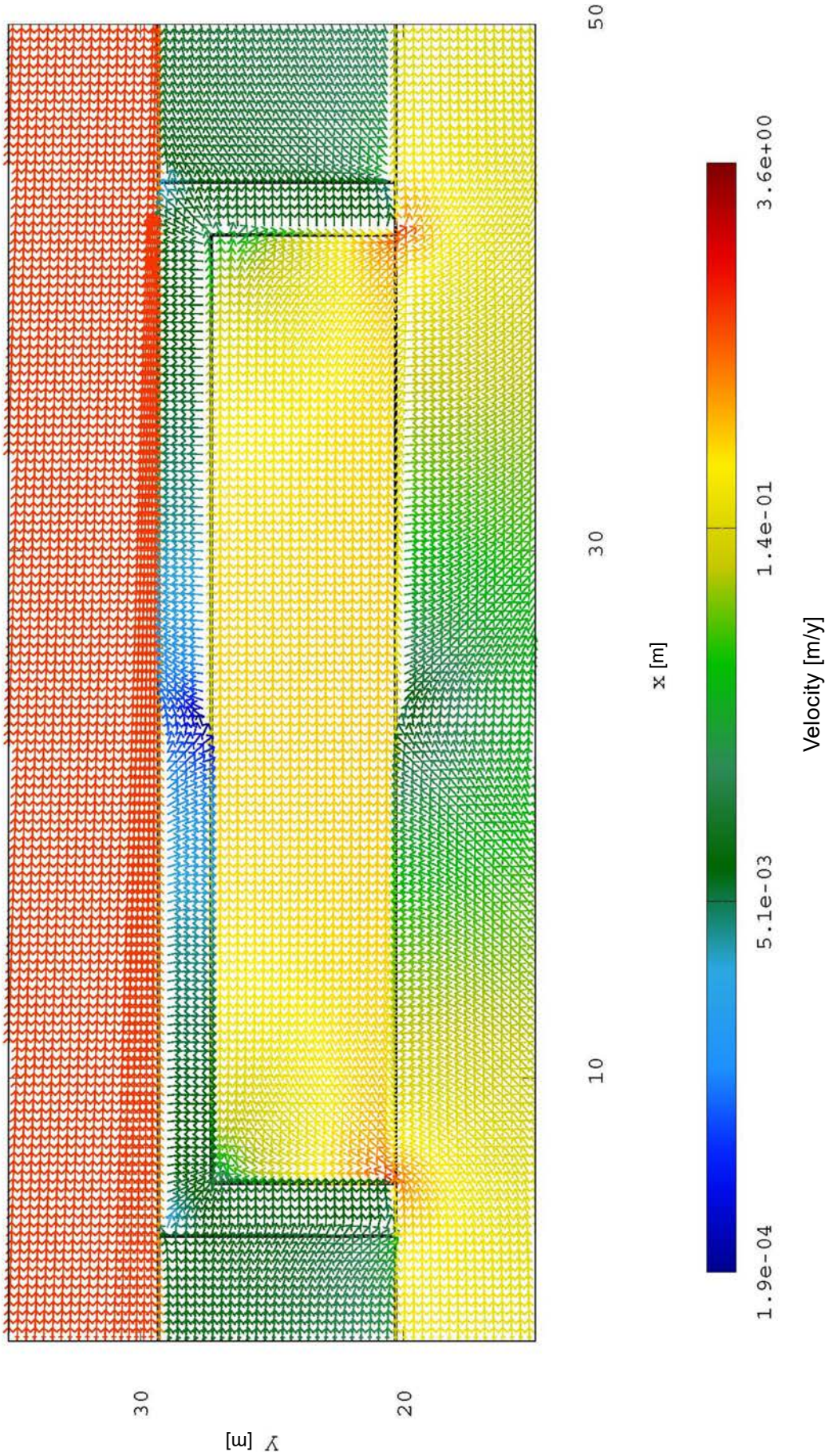


図 6-4 底辺傾斜モデルにおける側部覆土 1.0E-8[m/s]のときの流速・流向図 (ピット②拡大)
 ※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

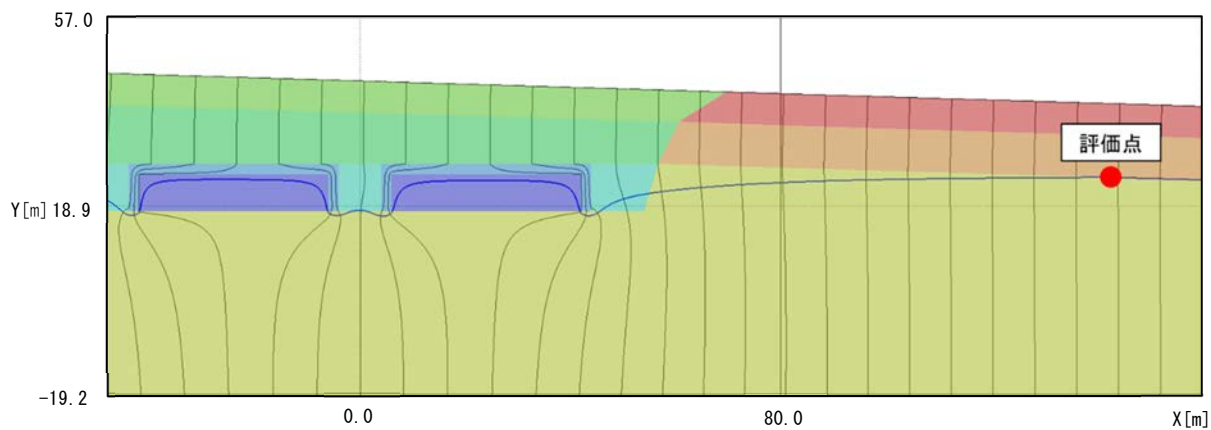


図 6-5 底辺水平モデルにおける側部覆土 $1.0E-7[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)

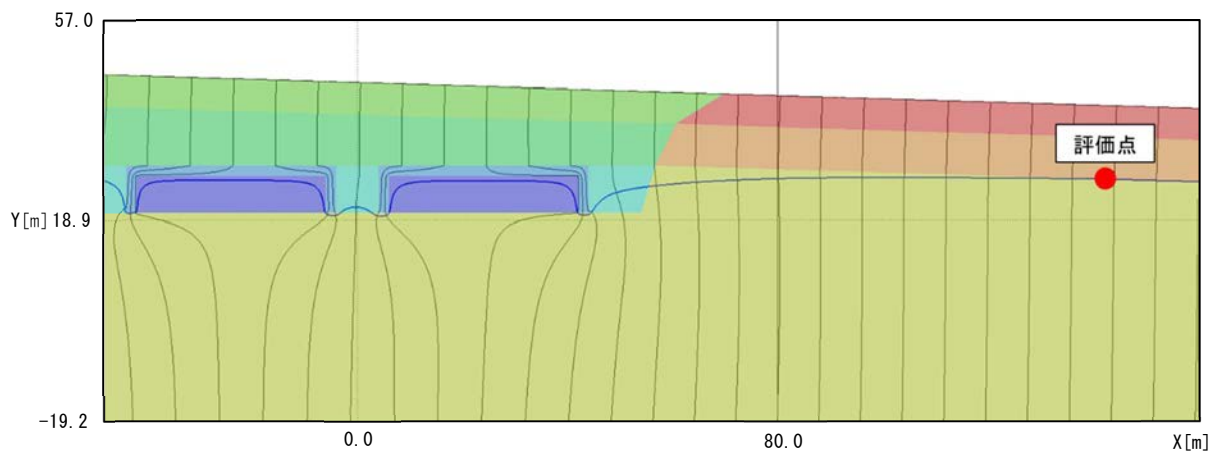


図 6-6 底辺傾斜モデルにおける側部覆土 $1.0E-7[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)

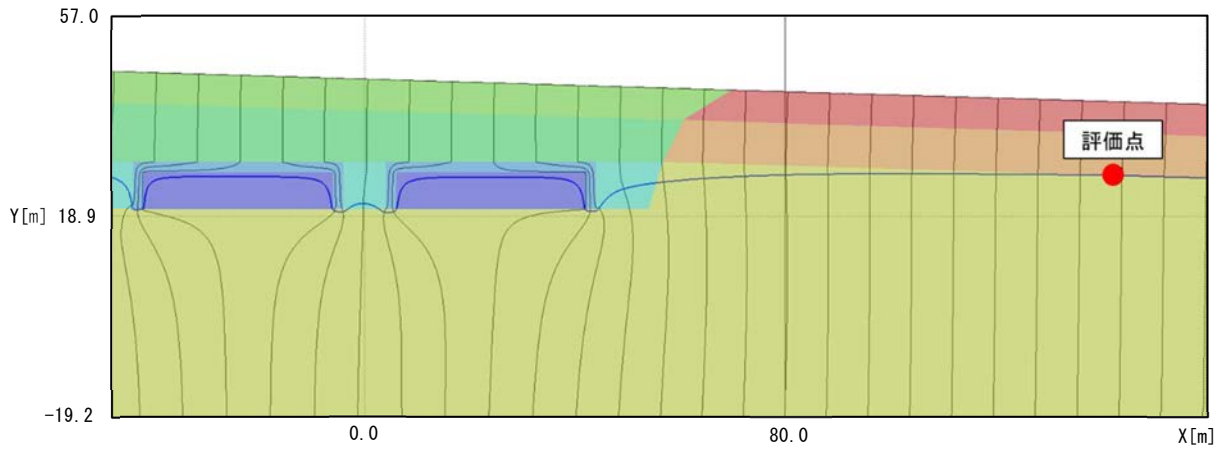


図 6-7 底辺水平モデルにおける
側部覆土 $1.0E-8[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)

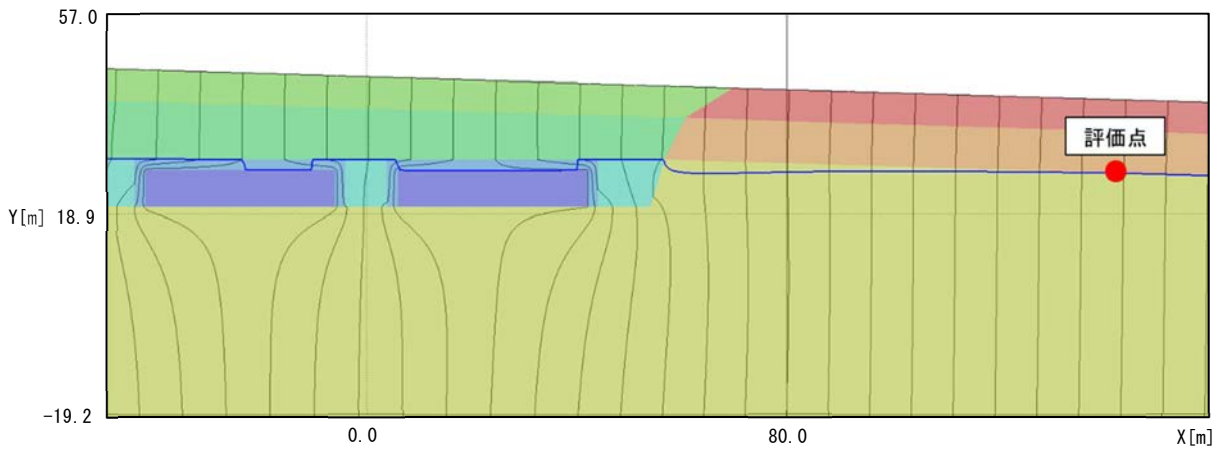


図 6-8 底辺傾斜モデルにおける
側部覆土 $1.0E-8[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)

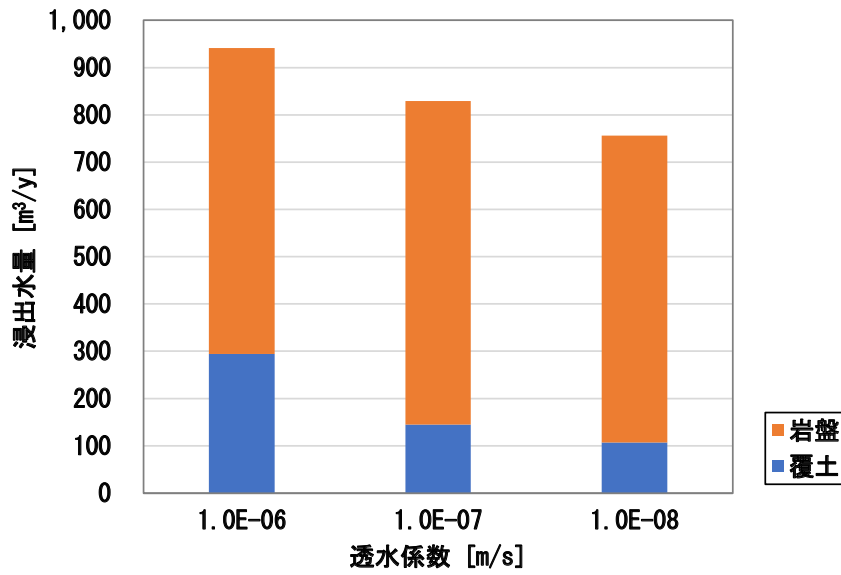


図 6-9 底辺水平モデルにおける側部覆土の透水係数を変化させたときの浸出水量の移行評価

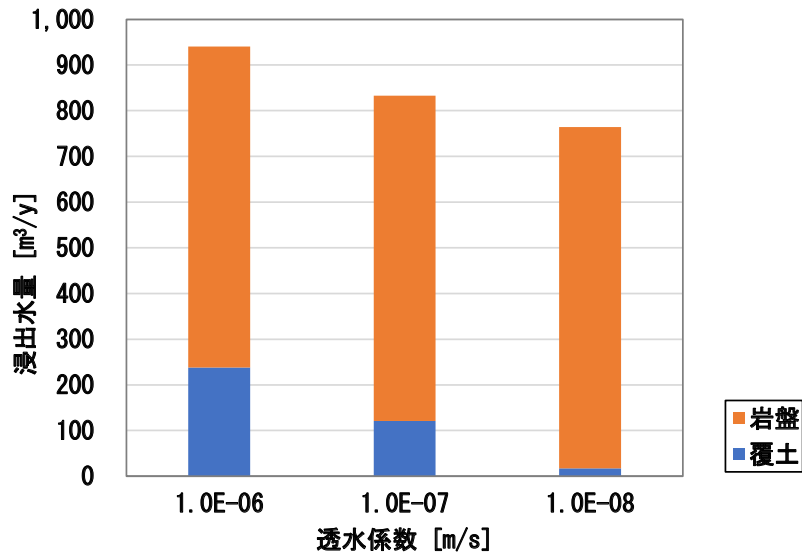


図 6-10 底辺傾斜モデルにおける側部覆土の透水係数を変化させたときの浸出水量の移行評価

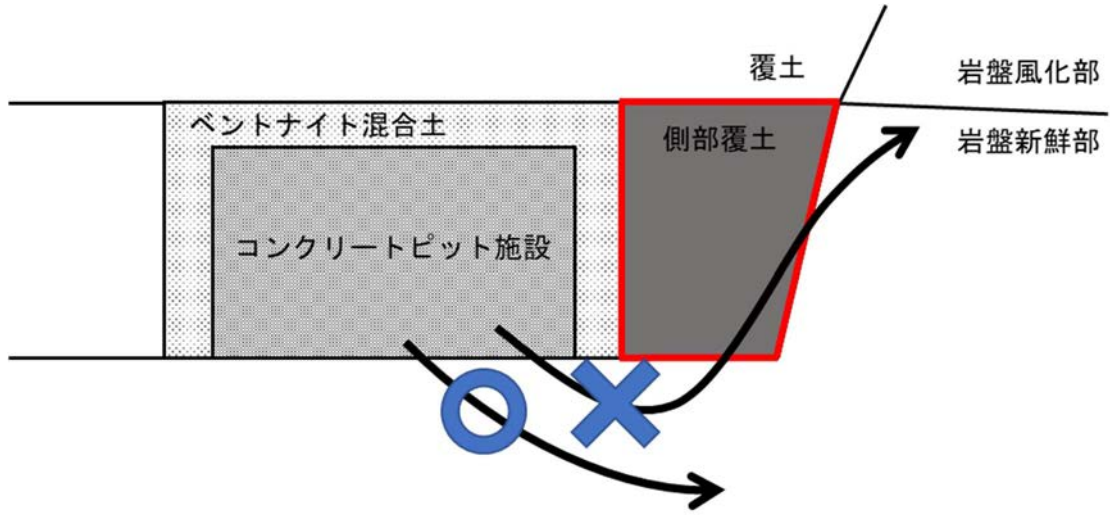


図 6-11 側部覆土の透水係数を低くしたときの地下水流向のイメージ

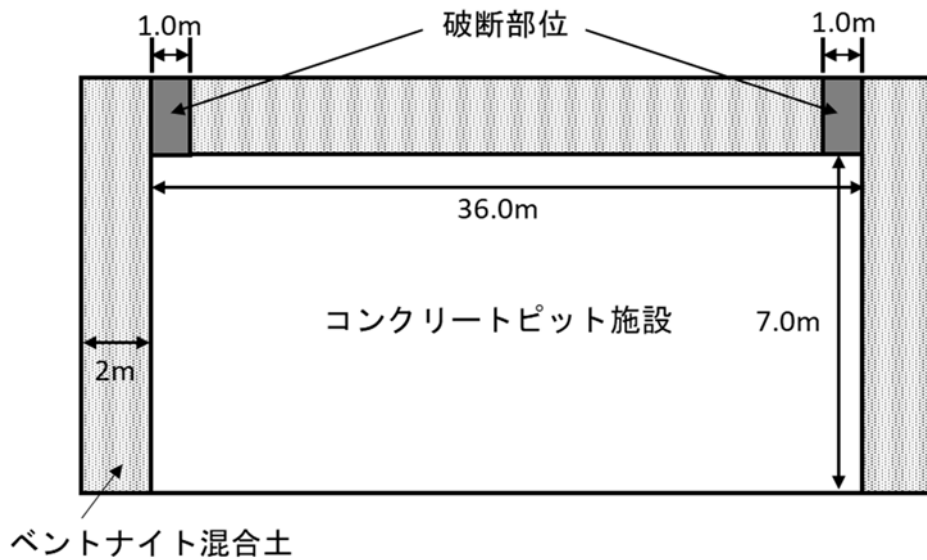


図 6-12 ベントナイト混合土が破断したときのイメージ

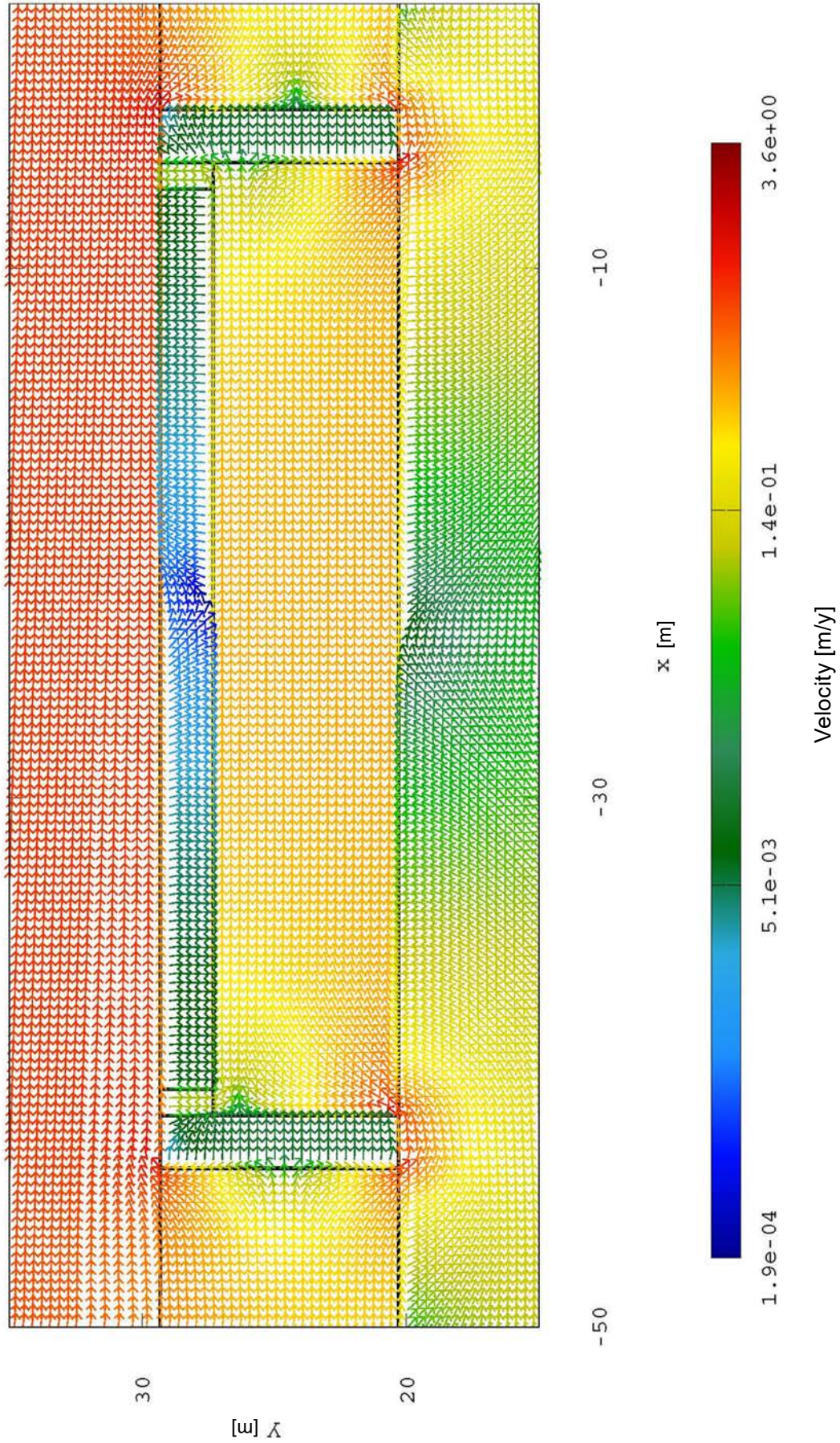


図 6-13 底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-8[m/s]$ のときの流速・流向図（ピット①拡大）

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

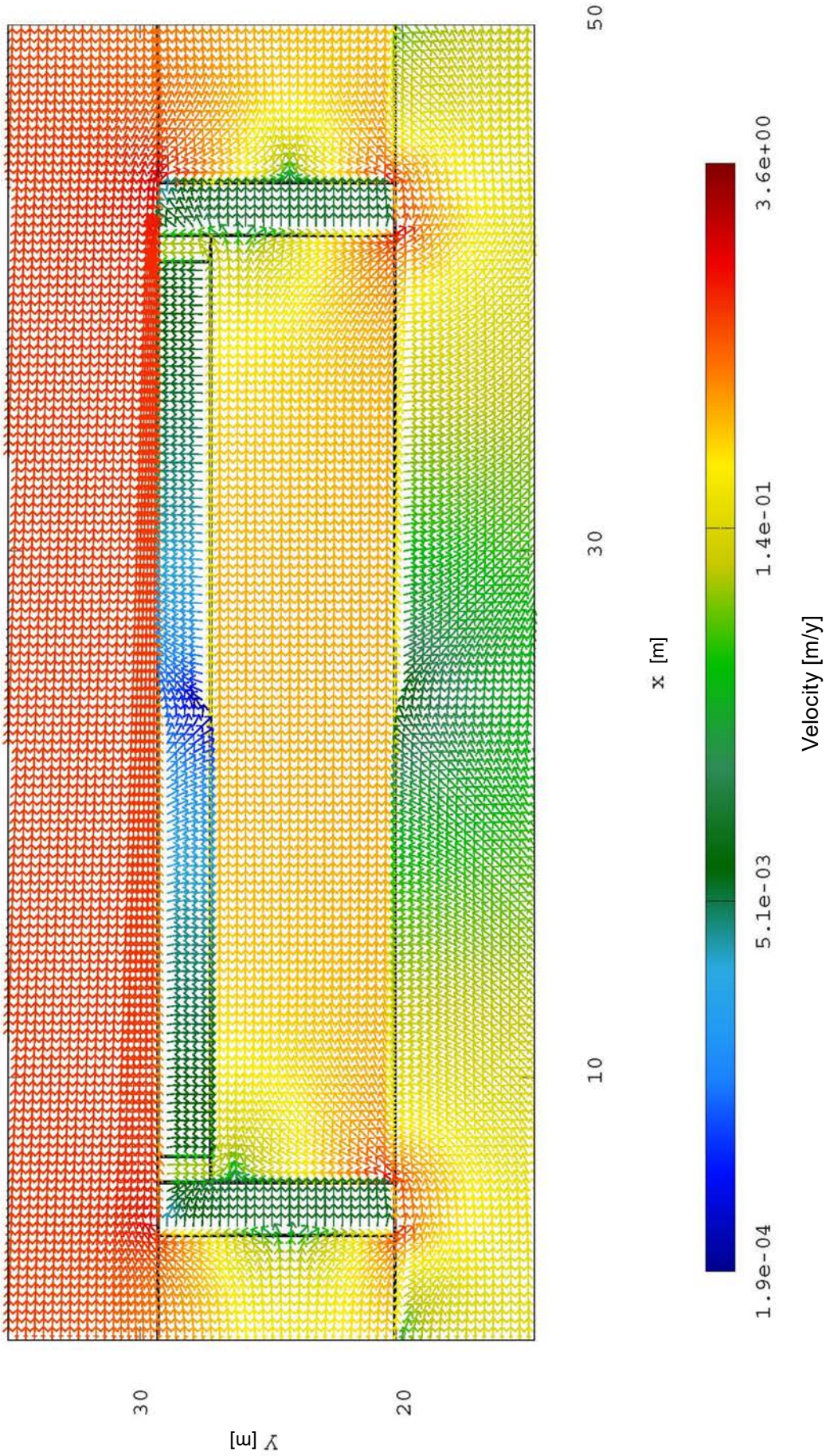


図 6-14 底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-8[m/s]$ のときの流速・流向図 (ピット②拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

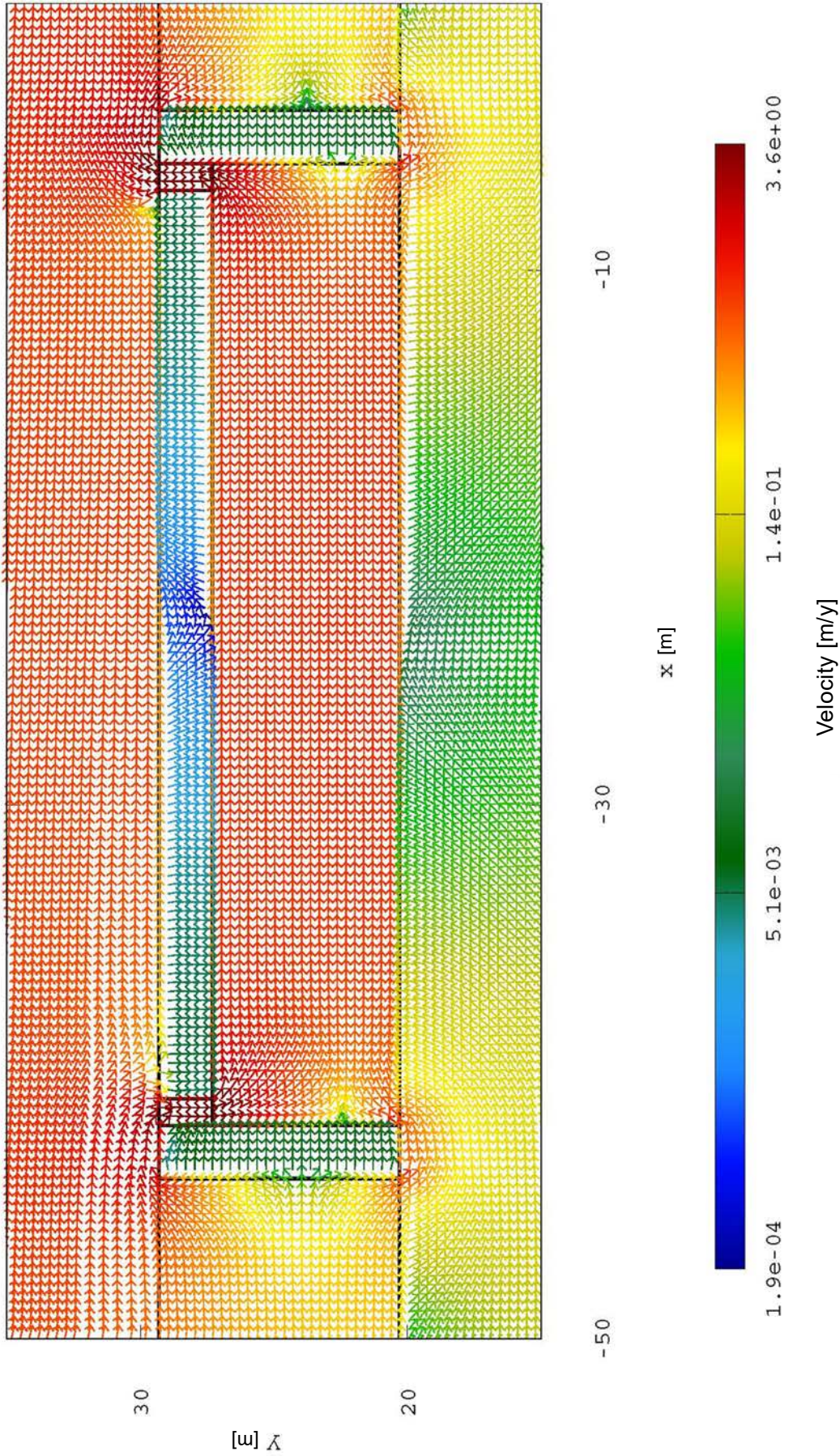


図 6-15 底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-6[m/s]$ のときの流速・流向図 (ピット①拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

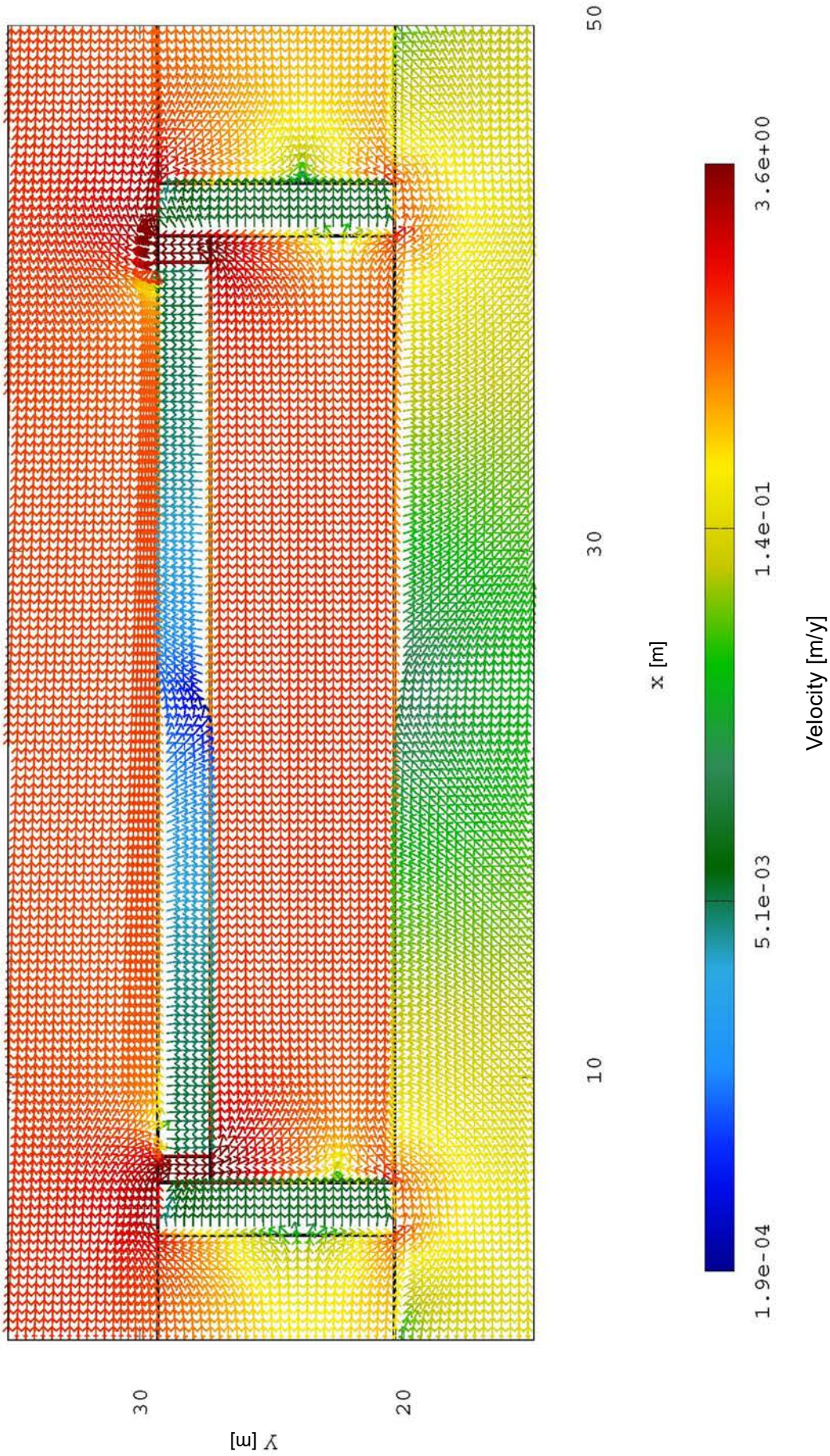


図 6-16 底辺水平モデルにおける破断部 1.0E-6[m/s]のときの流速・流向図 (ピット②拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

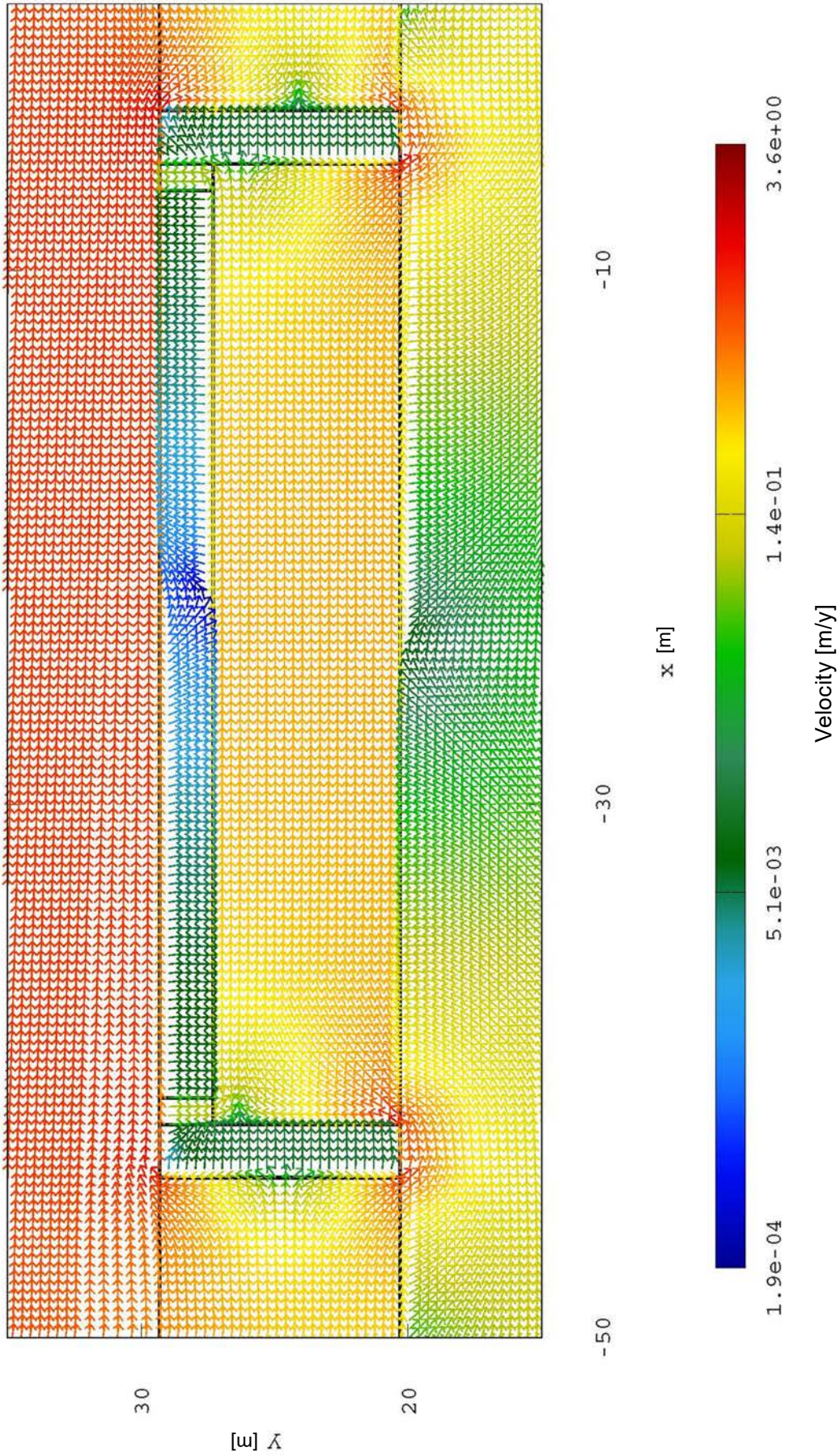


図 6-17 底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-8[m/s]$ のときの流速・流向図 (ピット①拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

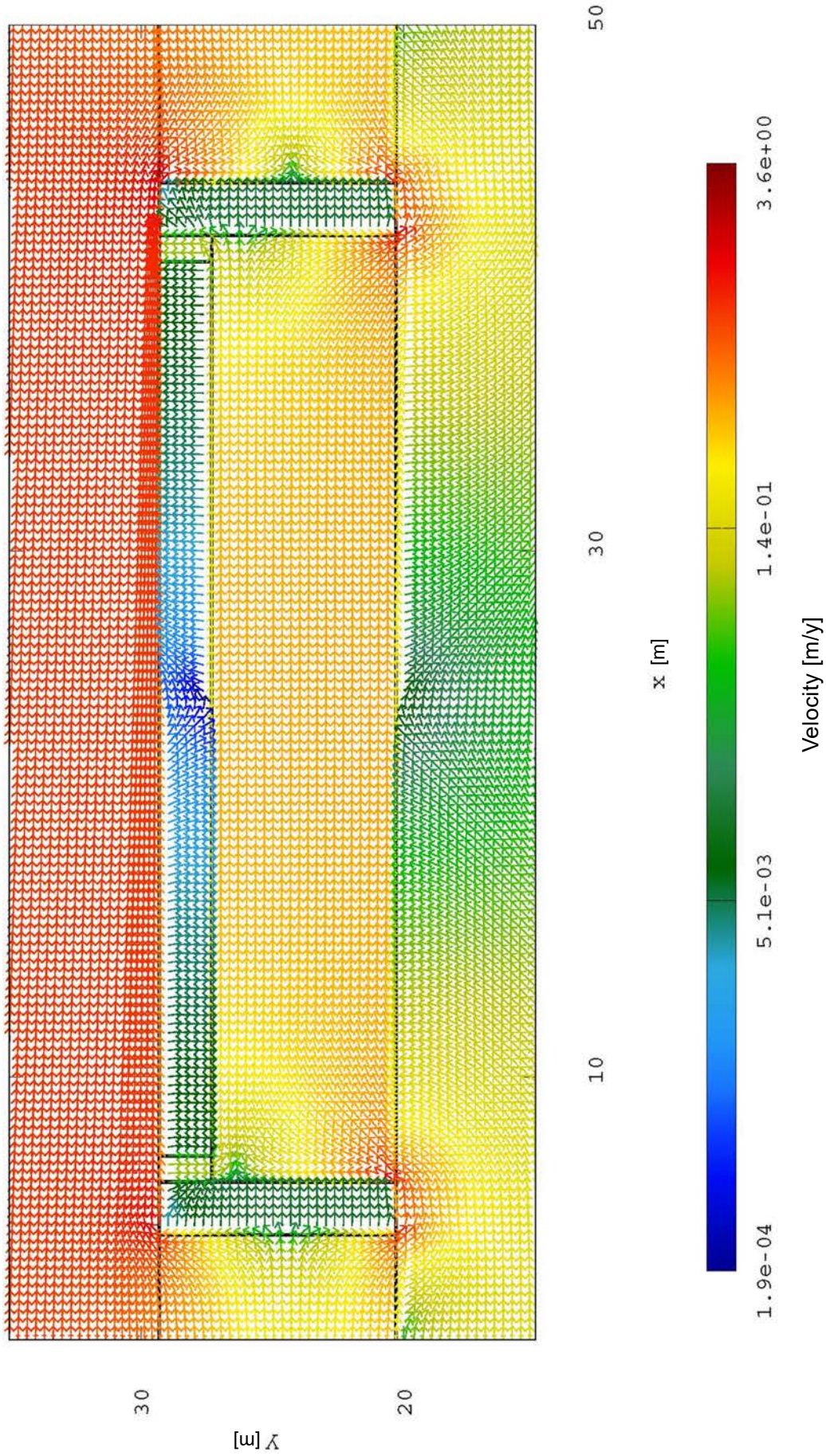


図 6-18 底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-8[m/s]$ のときの流速・流向図（ピット②拡大）

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

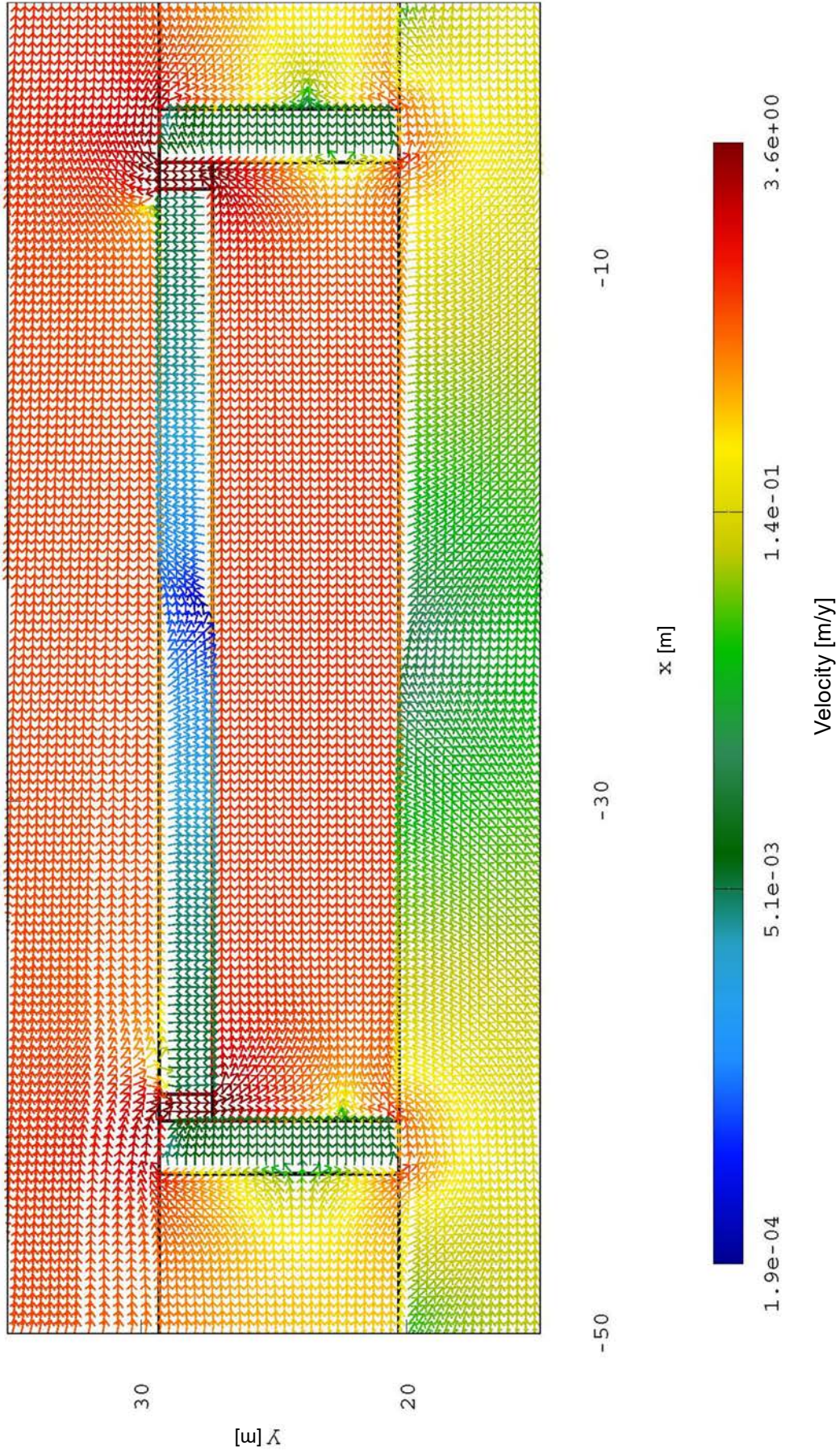


図 6-19 底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-6[m/s]$ のときの流速・流向図（ピット①拡大）

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

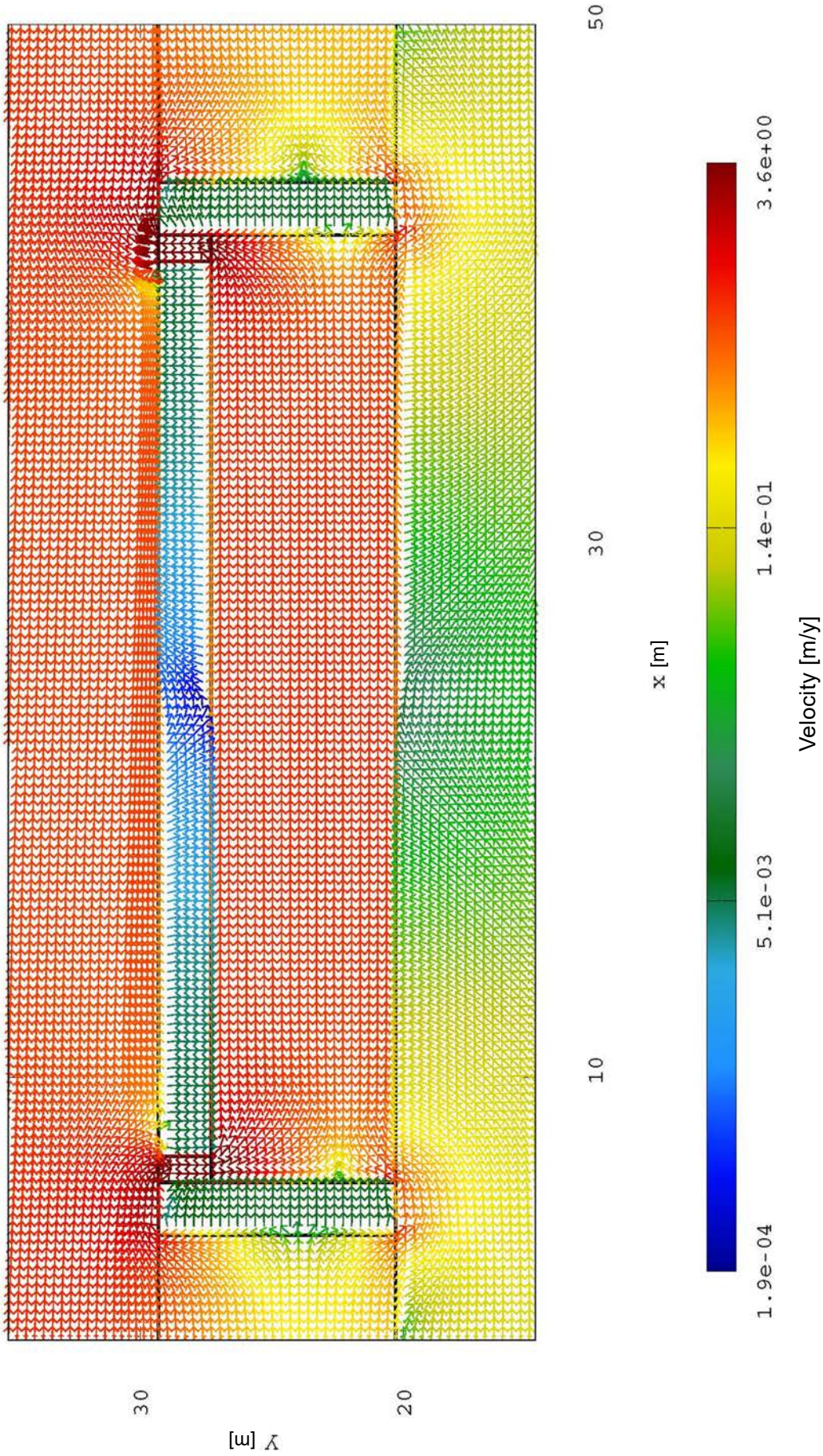


図 6-20 底辺傾斜モデルで破断部 1.0E-6[m/s]のときの流速・流向図 (ピット②拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

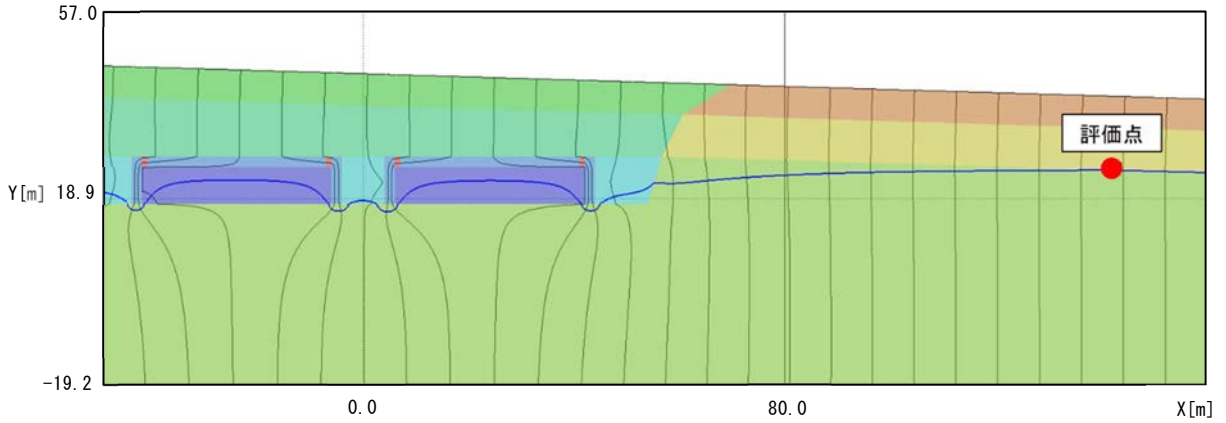


図 6-21 底辺水平モデルにおける
破断部 $1.0E-8[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)

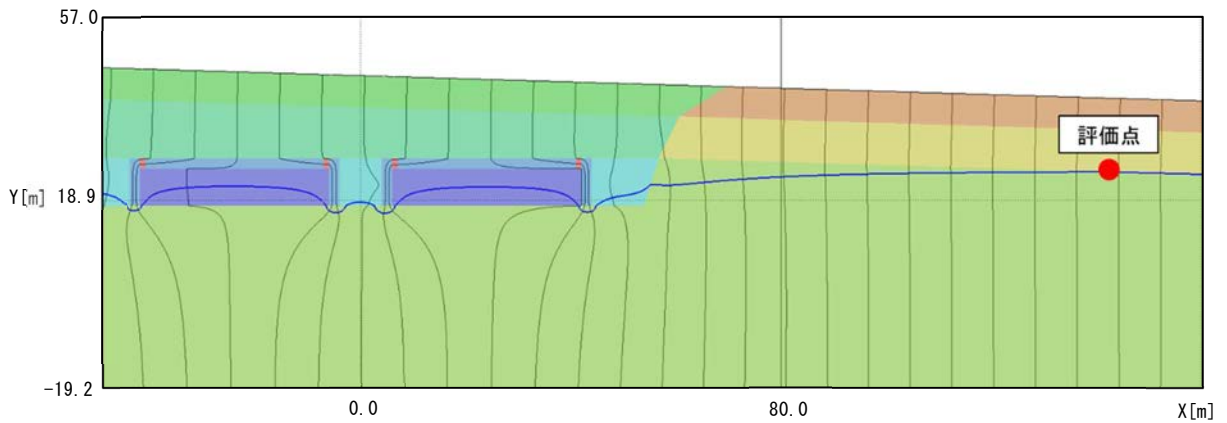


図 6-22 底辺水平モデルにおける
破断部 $1.0E-7[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)

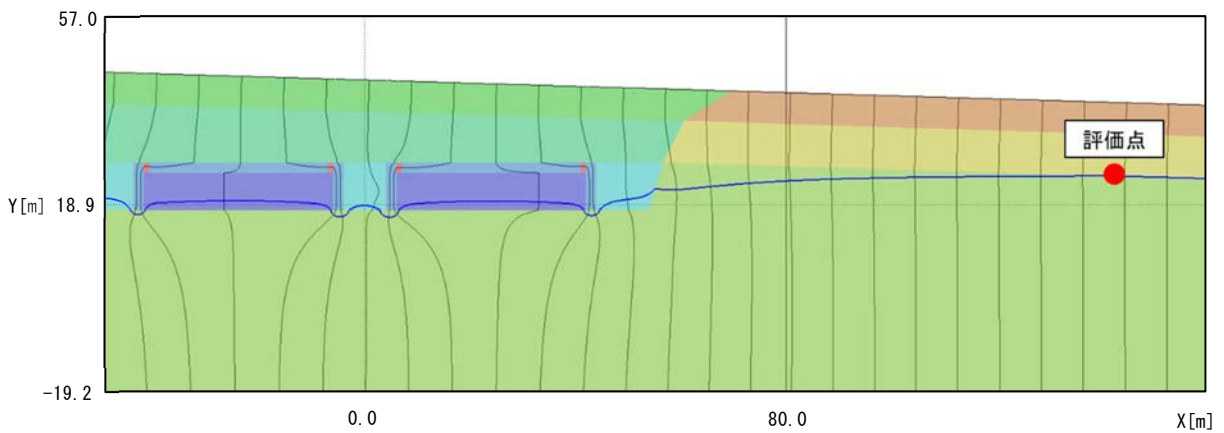


図 6-23 底辺水平モデルにおける
破断部 $1.0E-6[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)

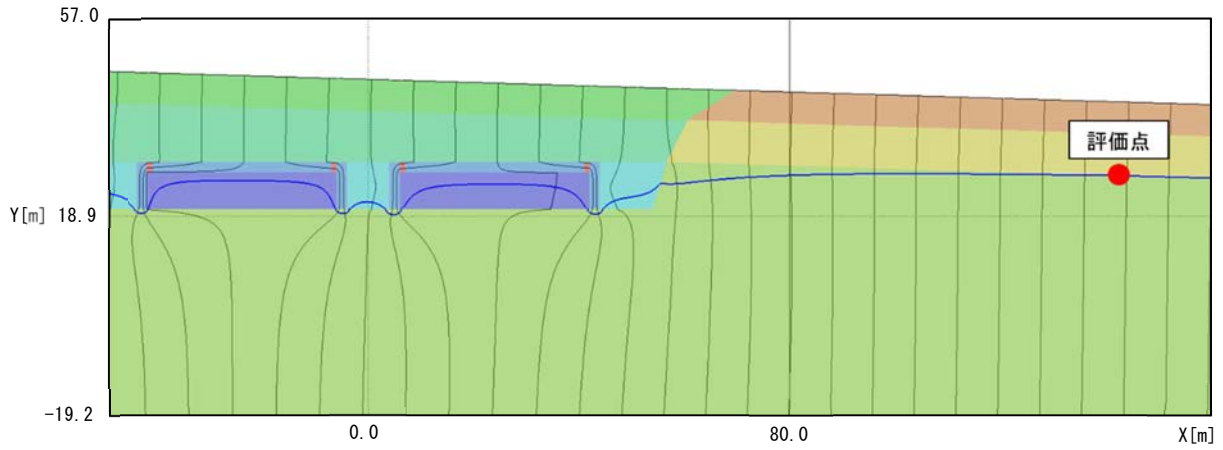


図 6-24 底辺傾斜モデルにおける
破断部 $1.0E-8[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)

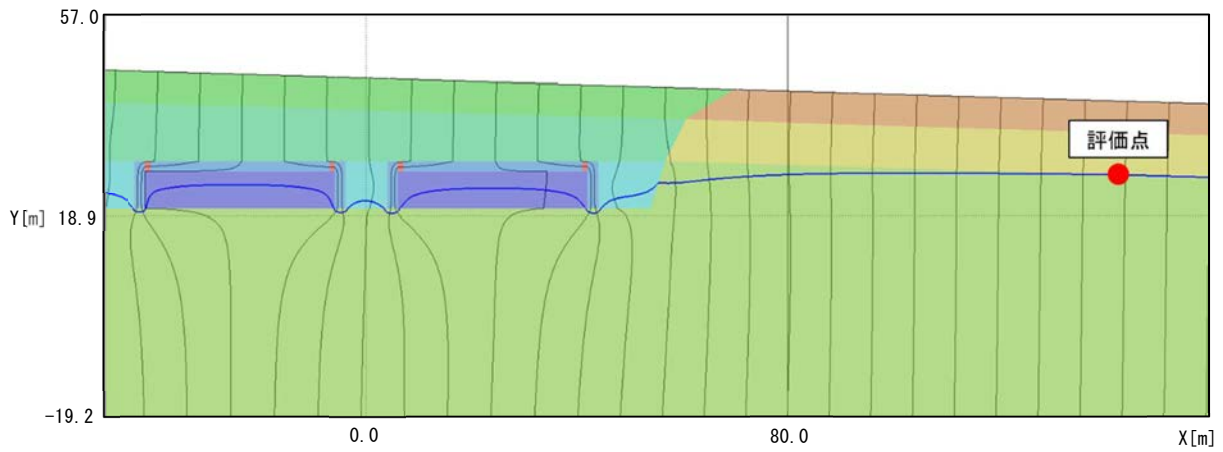


図 6-25 底辺傾斜モデルにおける
破断部 $1.0E-7[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)

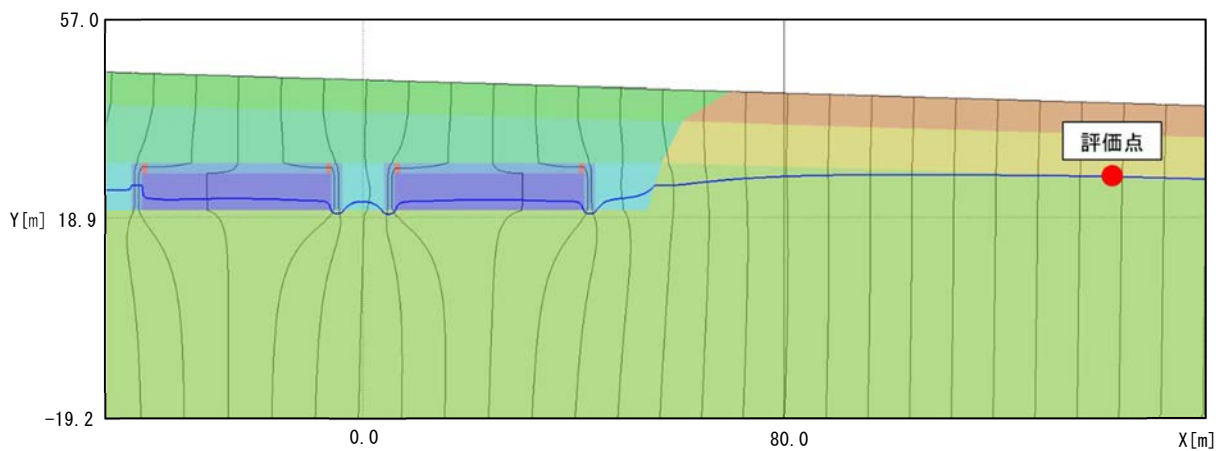


図 6-26 底辺傾斜モデルにおける
破断部 $1.0E-6[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)

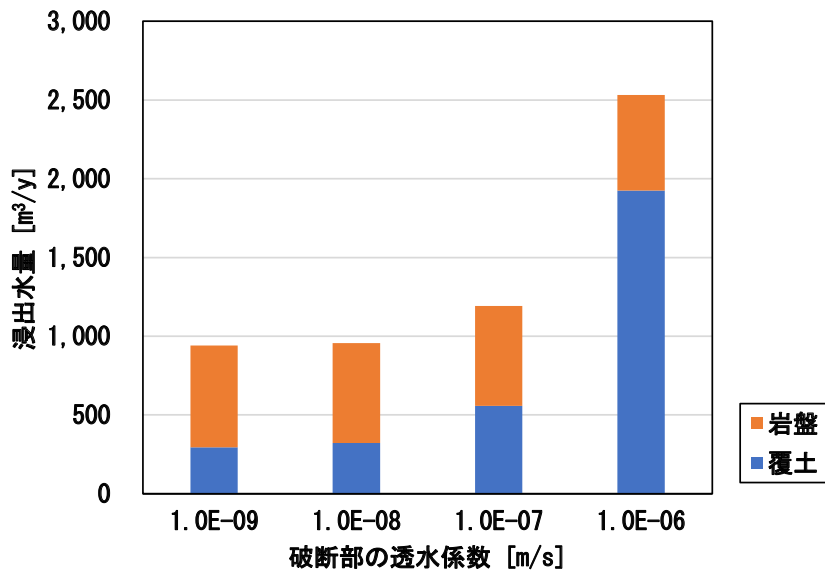


図 6-27 底辺水平モデルにおける

破断部の透水係数を変化させたときの浸出水量の移行評価

※透水係数 1.0E-09[m/s]の時は、ベントナイト混合土の破断がない場合である。

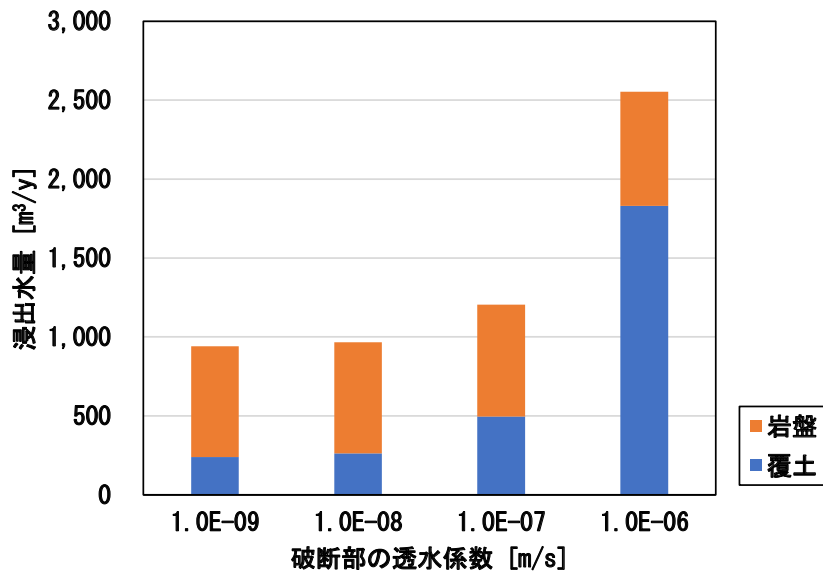


図 6-28 底辺傾斜モデルにおける

破断部の透水係数を変化させたときの浸出水量の移行評価

※透水係数 1.0E-09[m/s]の時は、ベントナイト混合土の破断がない場合である。

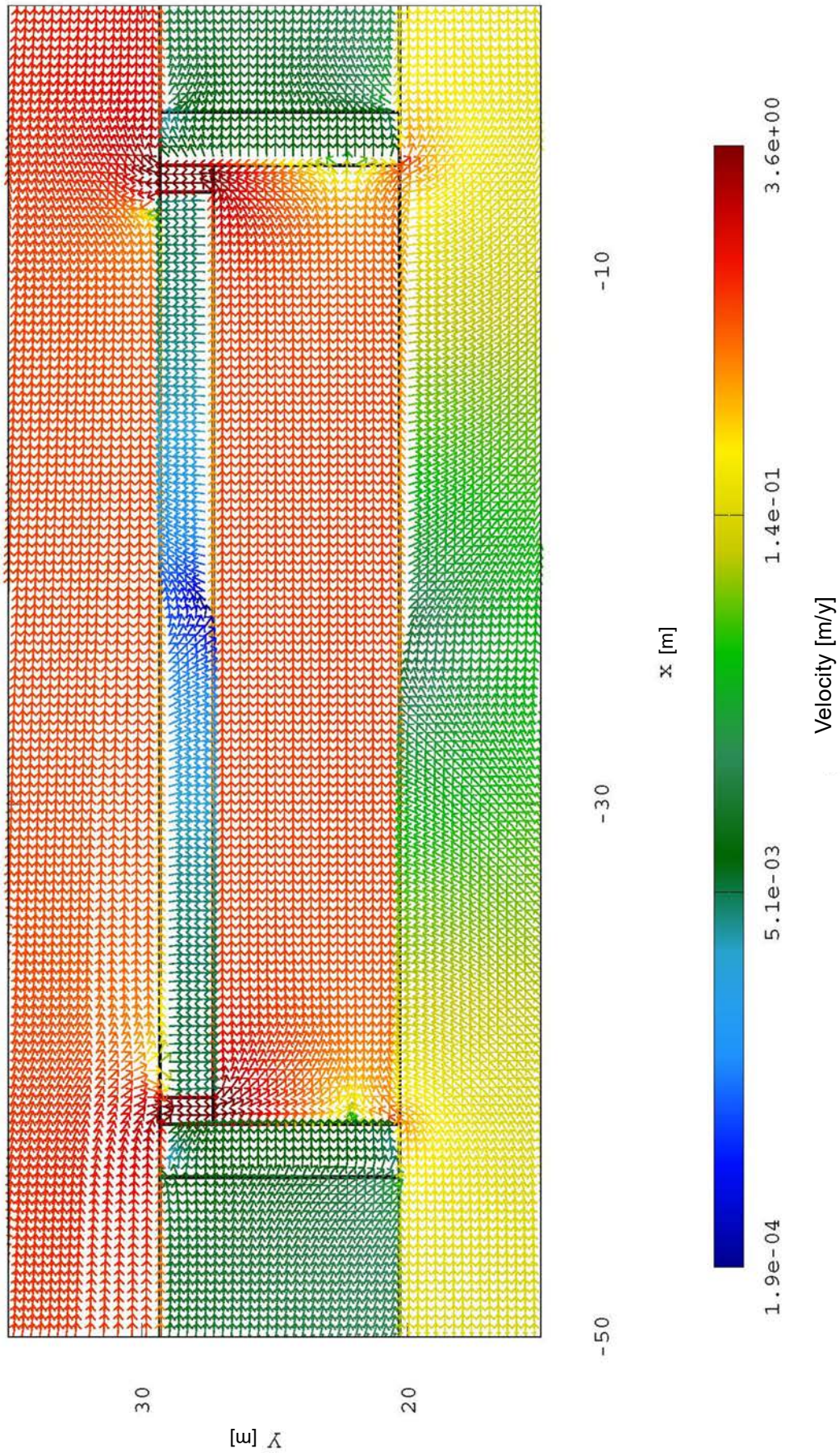


図 6-29 底辺水平モデルにおける破断部 1.0E-6[m/s]、側部覆土 1.0E-8[m/s]のときの流速・流向図 (ピット①拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

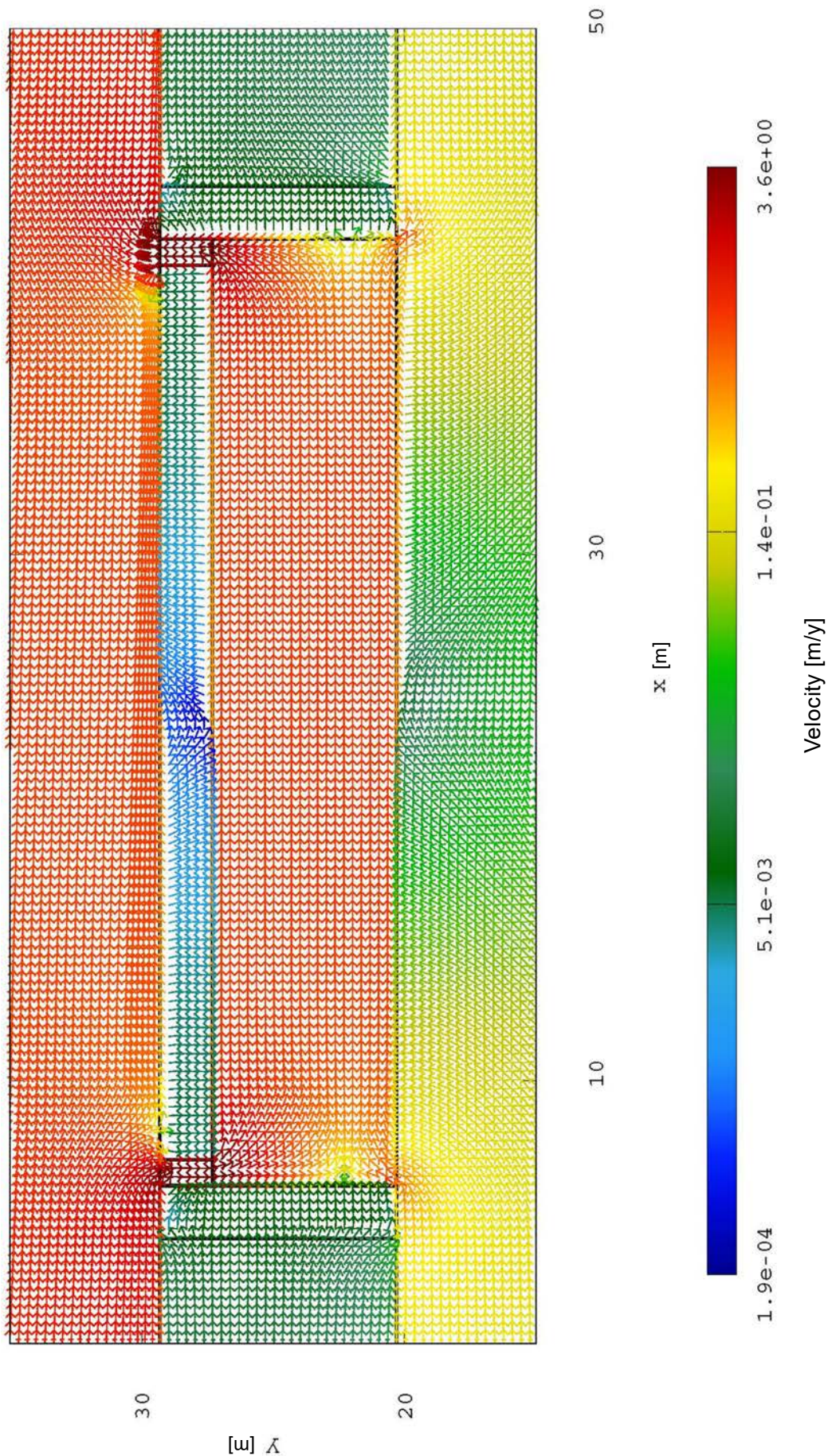


図 6-30 底辺水平モデルにおける破断部 1.0E-6[m/s]、側部覆土 1.0E-8[m/s]のときの流速・流向図 (ピット②拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

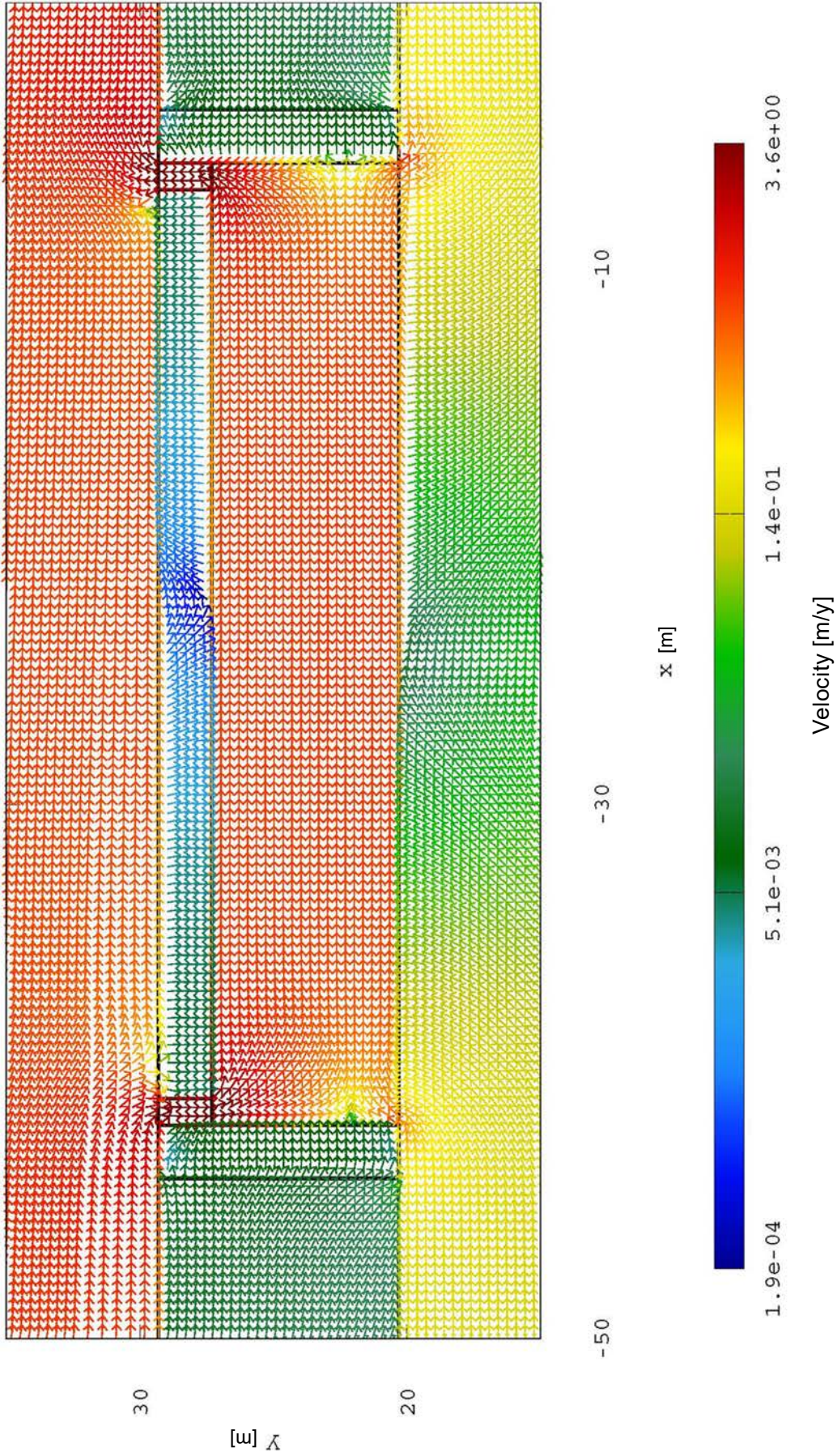


図 6-31 底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0\text{E-}6$ [m/s]、側部覆土 $1.0\text{E-}8$ [m/s]のときの流速・流向図 (ピット①拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

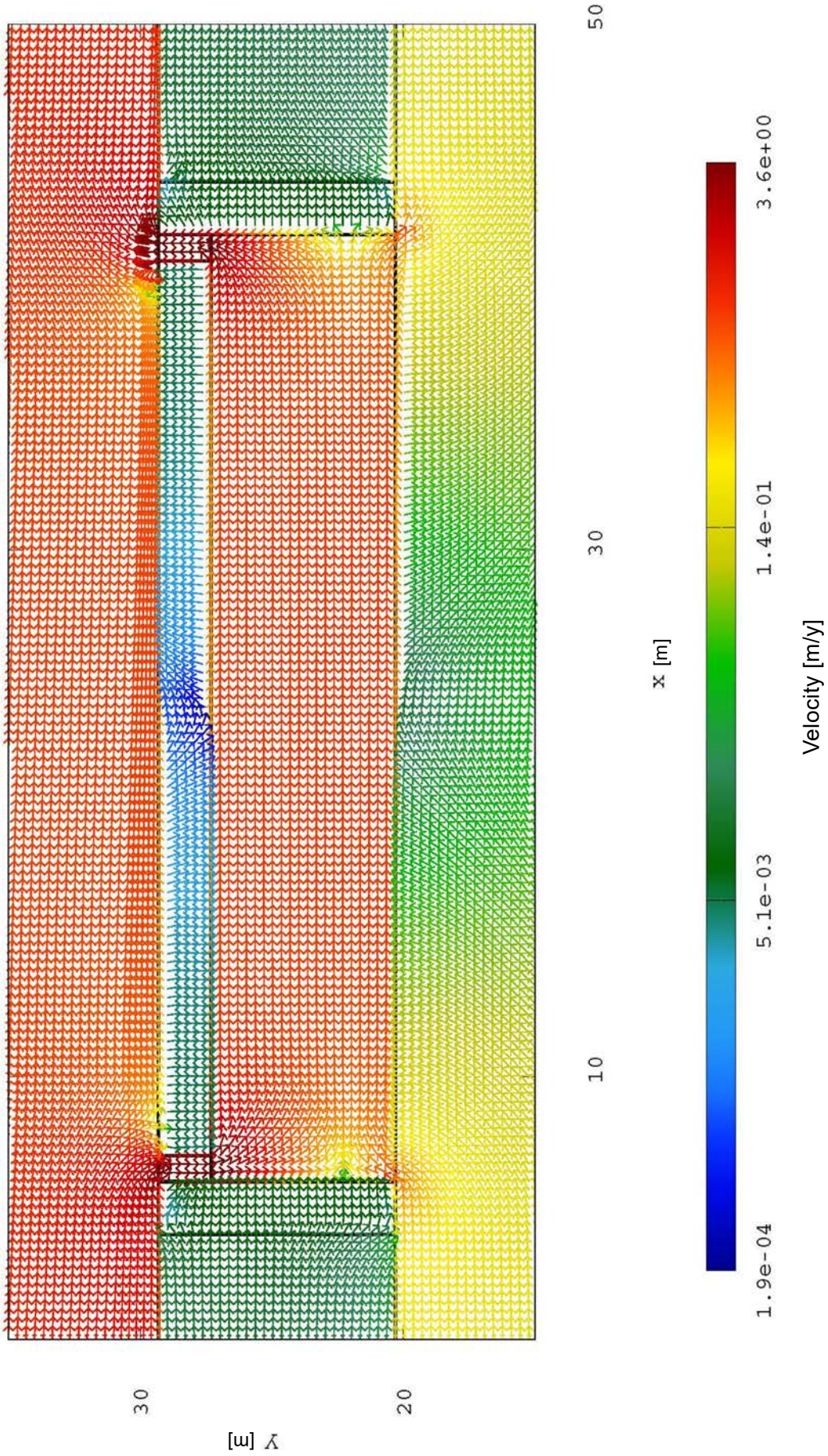


図 6-32 底辺傾斜モデルにおける破断部 1.0E-6[m/s]、側部覆土 1.0E-8[m/s]のときの流速・流向図 (ピット②拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

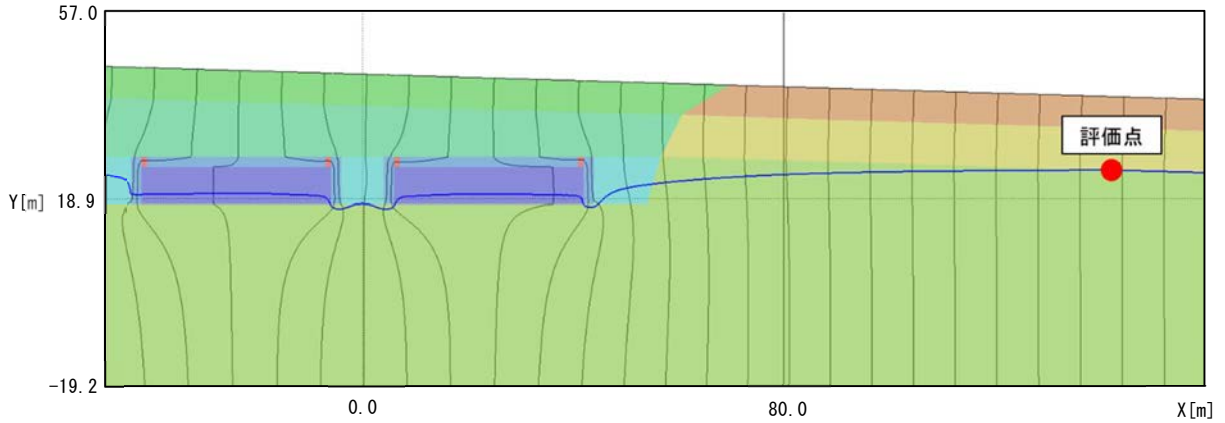


図 6-33 底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-6[m/s]$ 、側部覆土 $1.0E-7[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)

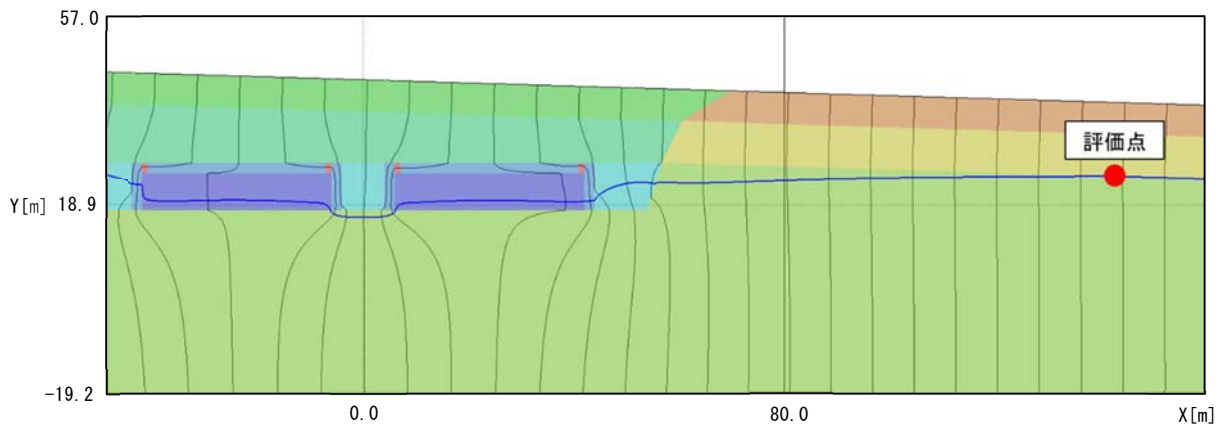


図 6-34 底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-6[m/s]$ 、側部覆土 $1.0E-8[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)

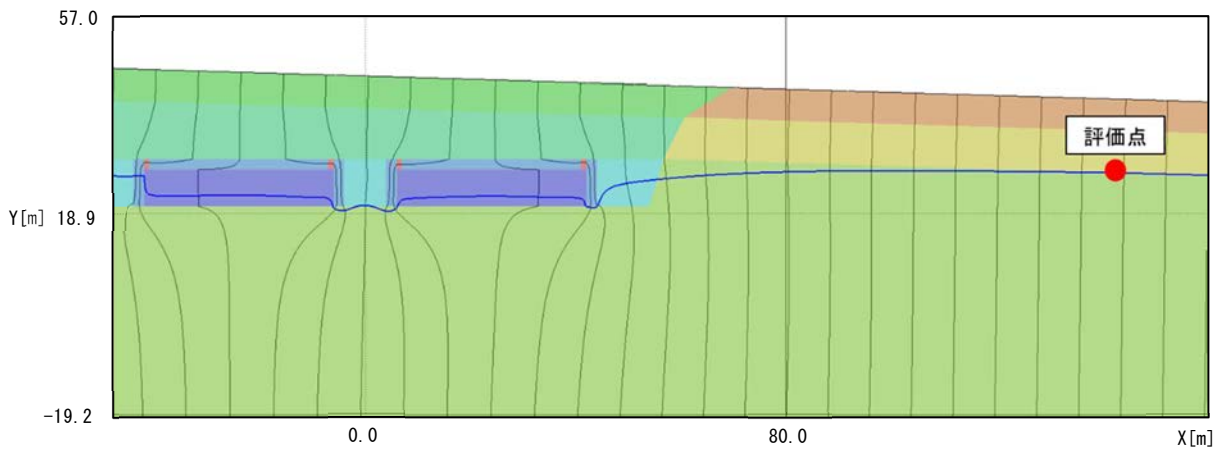


図 6-35 底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-6[m/s]$ 、側部覆土 $1.0E-7[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線 (拡大)

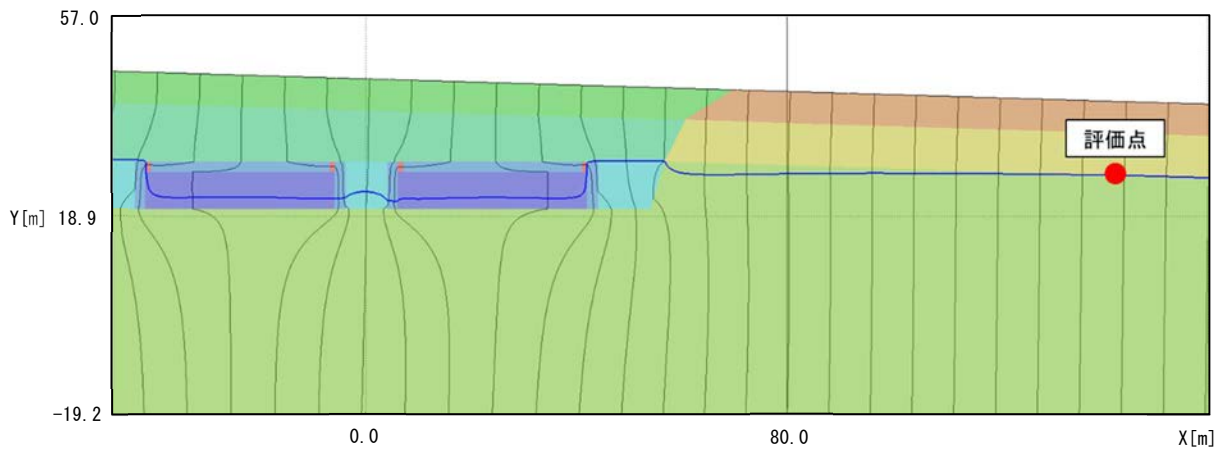


図 6-36 底辺傾斜モデルにおける破断部 $1.0E-6[m/s]$ 、側部覆土 $1.0E-8[m/s]$ のときの評価点を通過する流跡線（拡大）

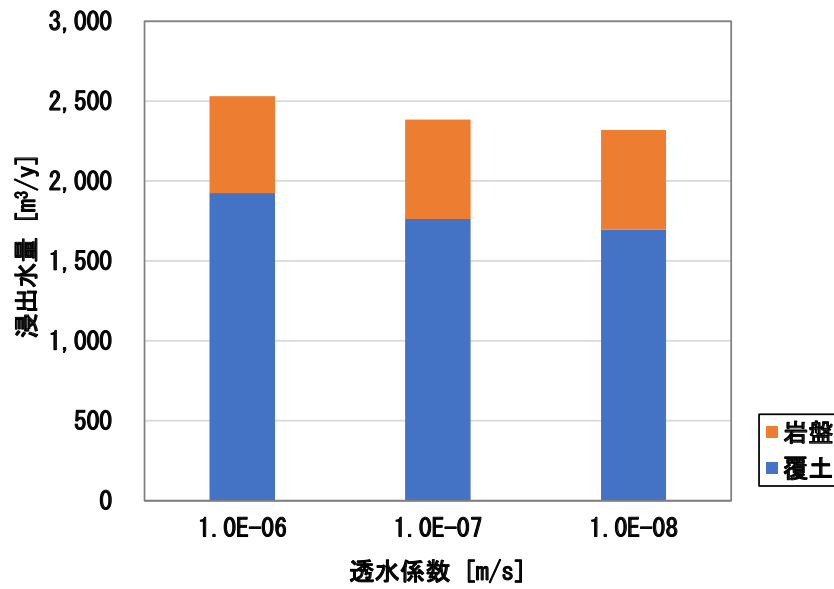


図 6-37 底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-6[m/s]$ で側部覆土の透水係数を変化させたときの浸出水量の移行評価

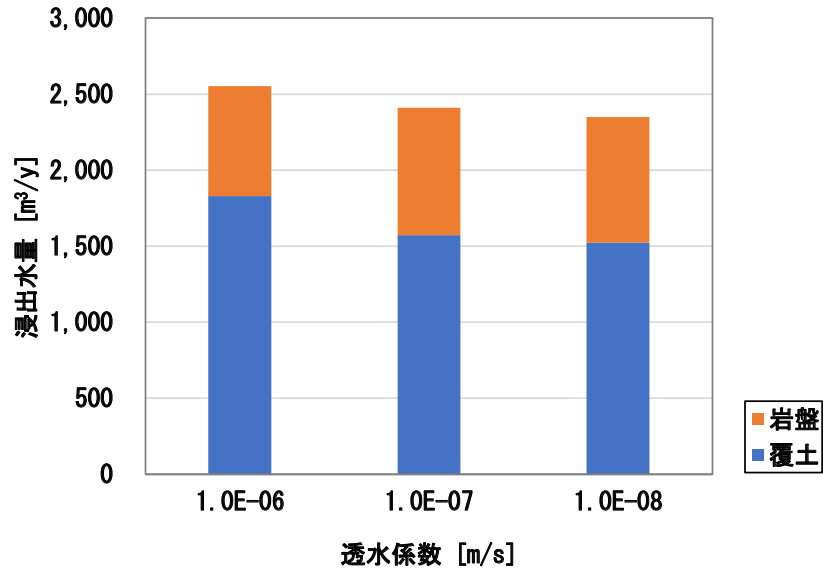


図 6-38 底辺傾斜モデルにおいて破断部 1.0E-6[m/s]で側部覆土の透水係数を変化させたときの浸出水量の移行評価

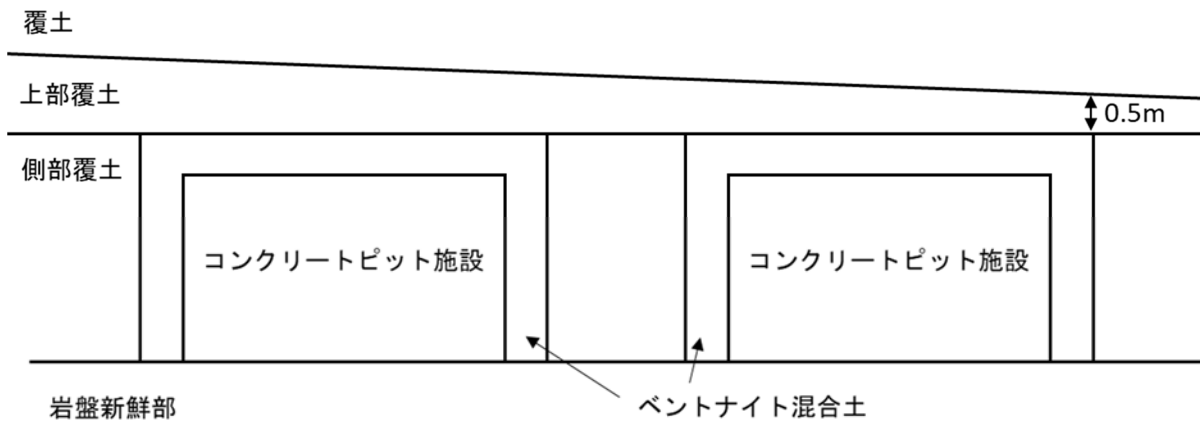


図 6-39 コンクリートピット施設に上部覆土を充填したイメージ

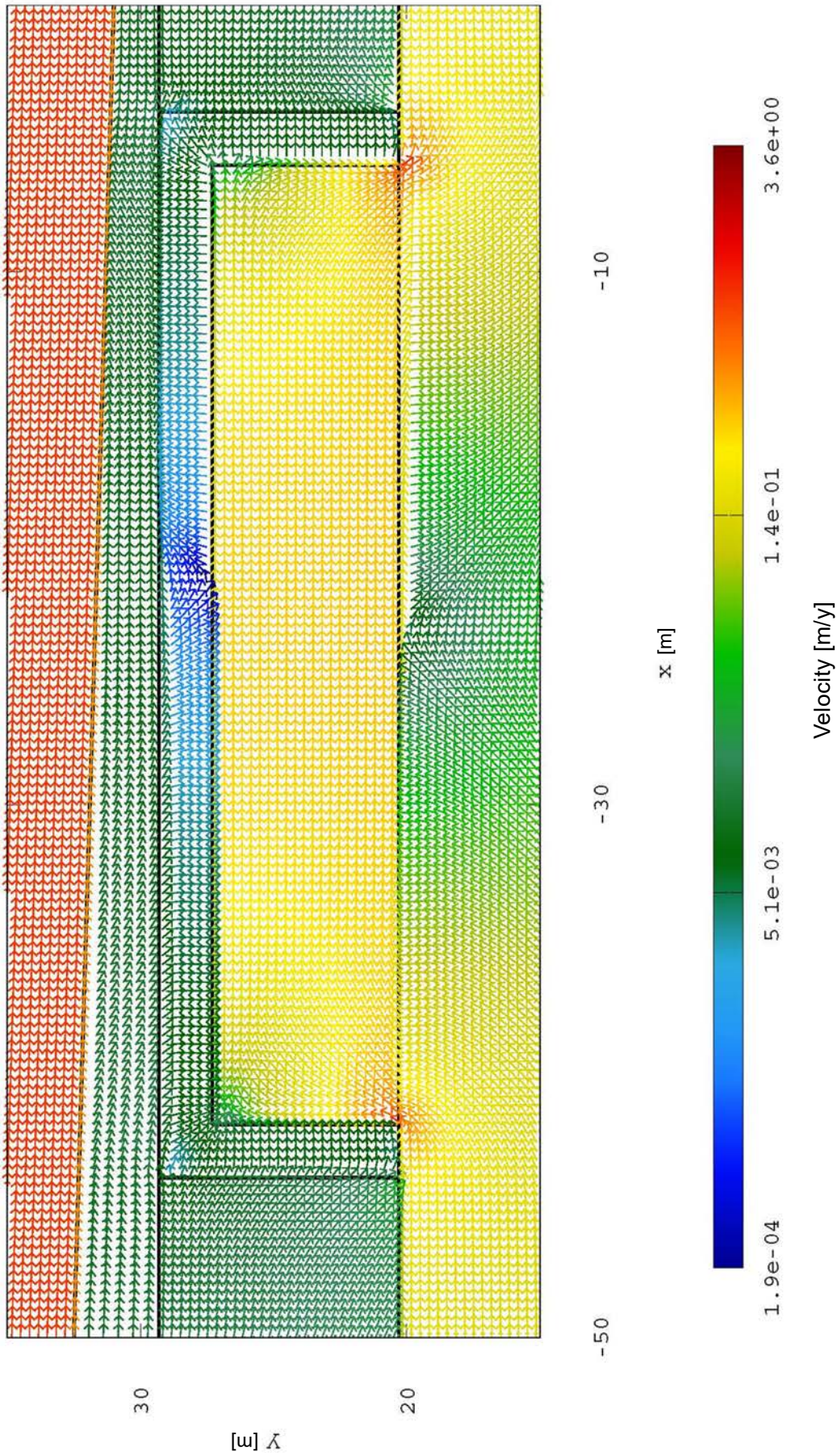


図 6-40 底辺水モデルにおける上部及び側部覆土 1.0E-8[m/s]のときの流速・流向図 (ピット①拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

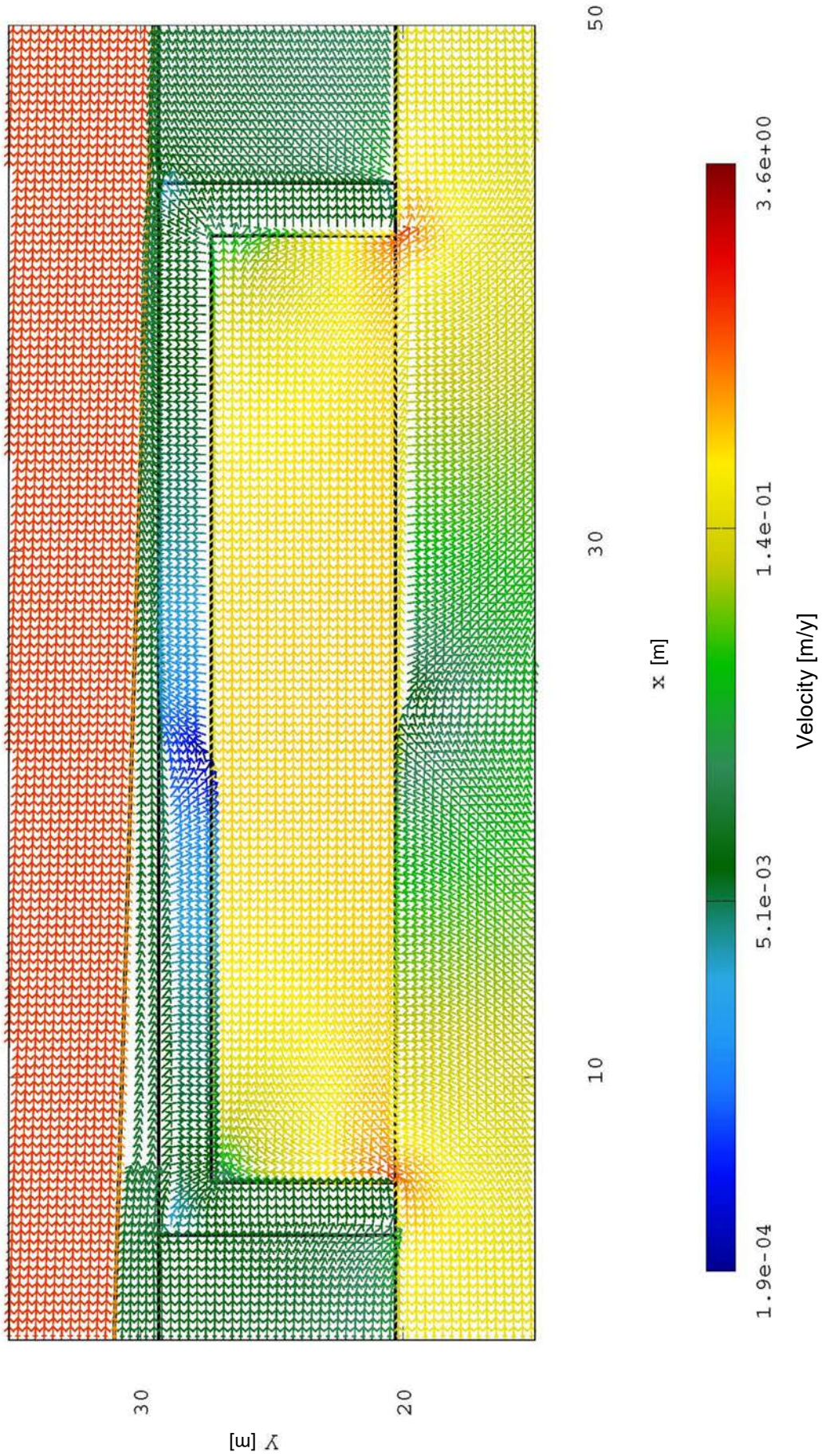


図 6-41 底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土 1.0E-8[m/s]のときの流速・流向図（ピット②拡大）

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

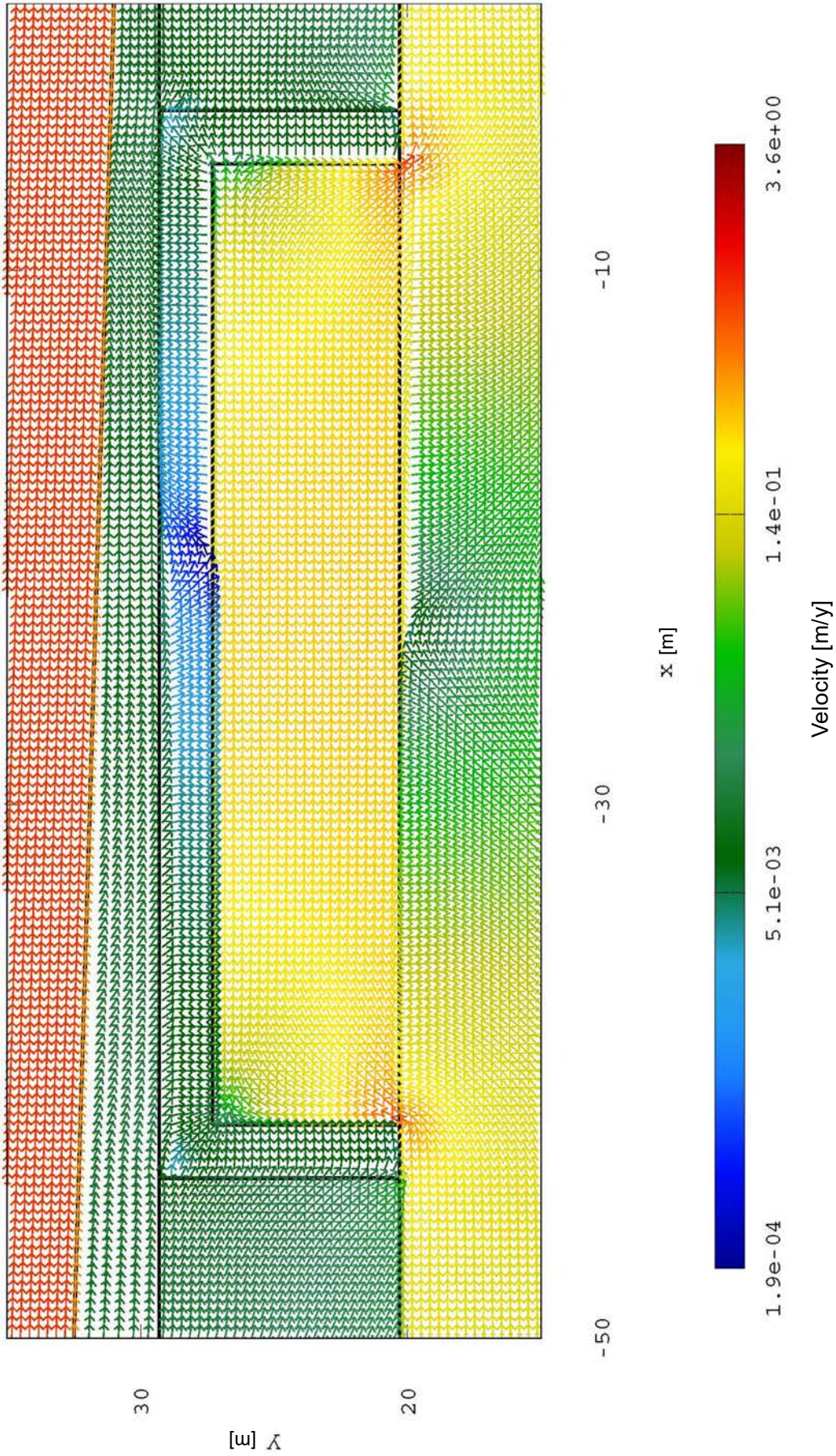


図 6-42 底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 1.0E-8[m/s]のときの流速・流向図 (ピット①)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

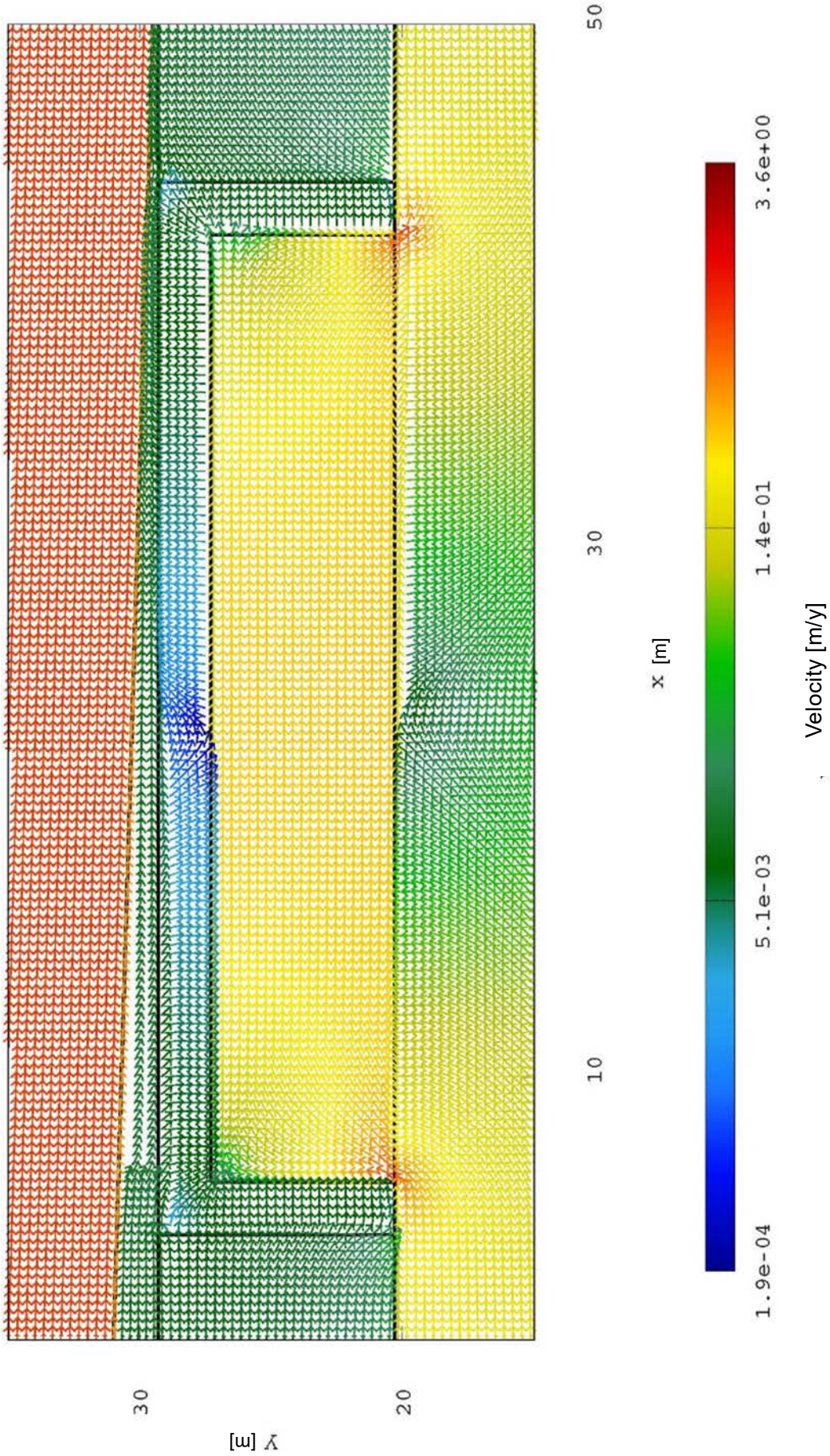


図 6-43 底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-8[m/s]$ のときの流速・流向図 (ピット②)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

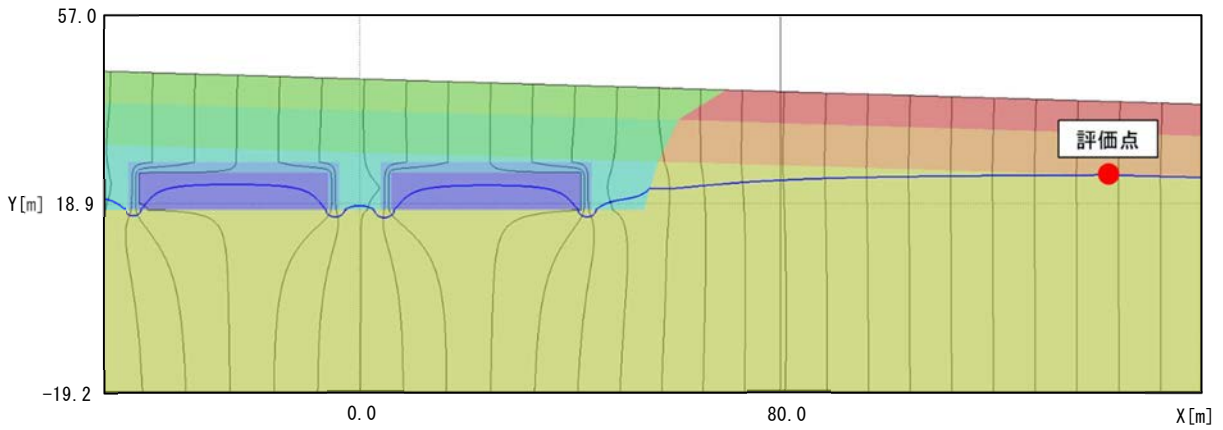


図 6-44 底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-6[m/s]$ のときの
評価点を通過する流跡線 (拡大)

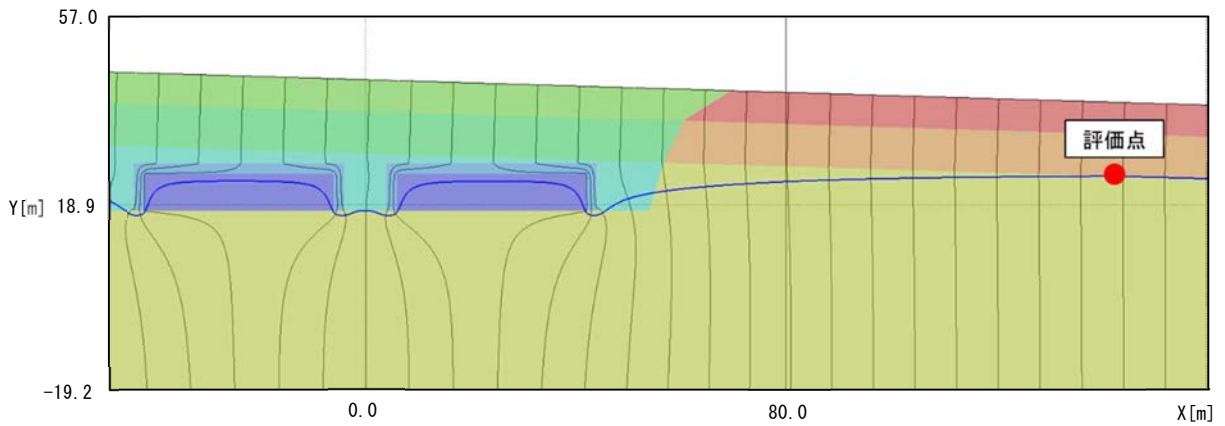


図 6-45 底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-7[m/s]$ のときの
評価点を通過する流跡線 (拡大)

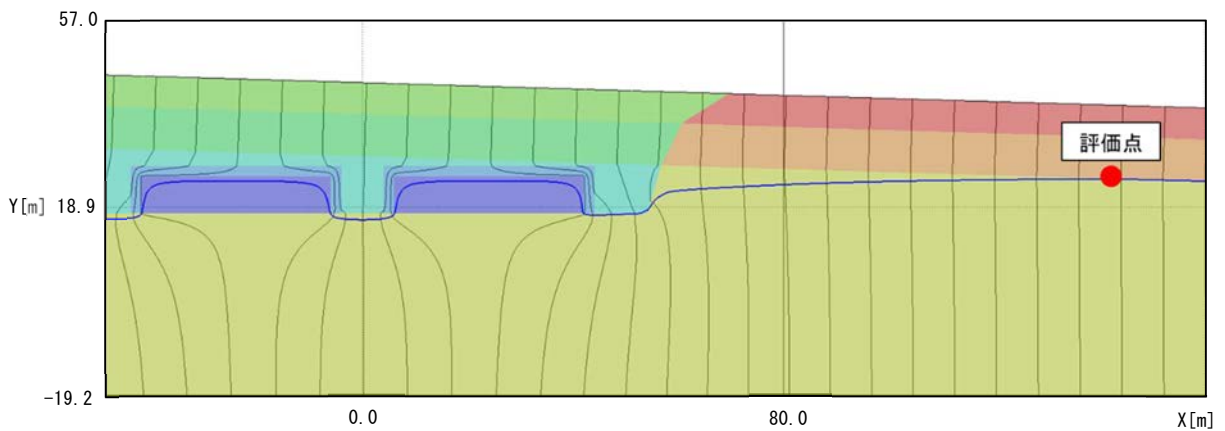


図 6-46 底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-8[m/s]$ のときの
評価点を通過する流跡線 (拡大)

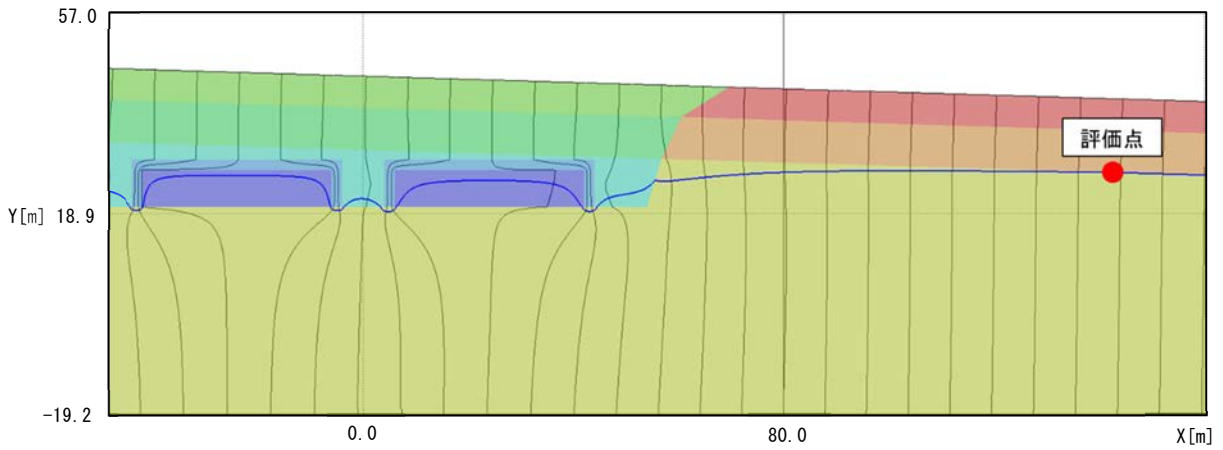


図 6-47 底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-6[m/s]$ のときの
評価点を通過する流跡線 (拡大)

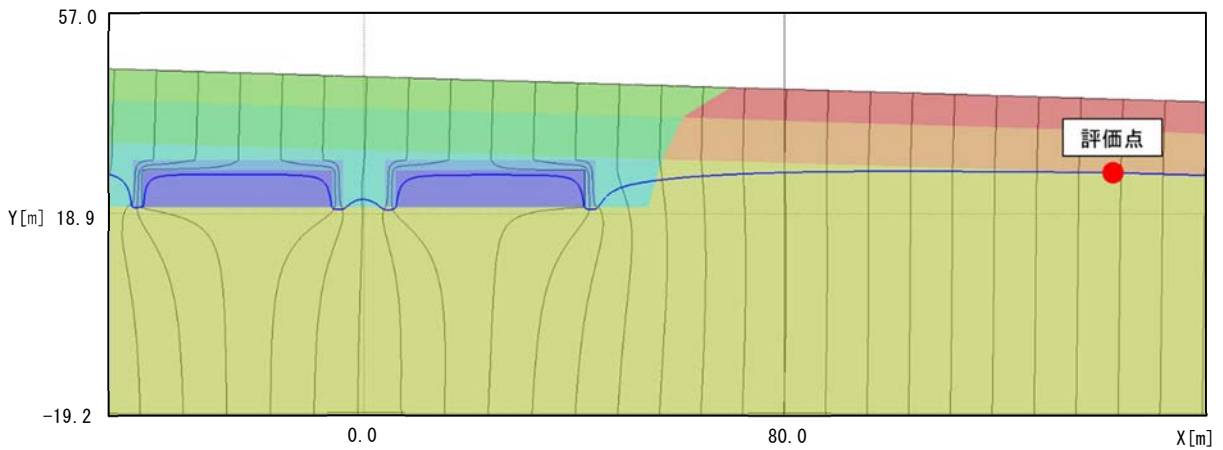


図 6-48 底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-7[m/s]$ のときの
評価点を通過する流跡線 (拡大)

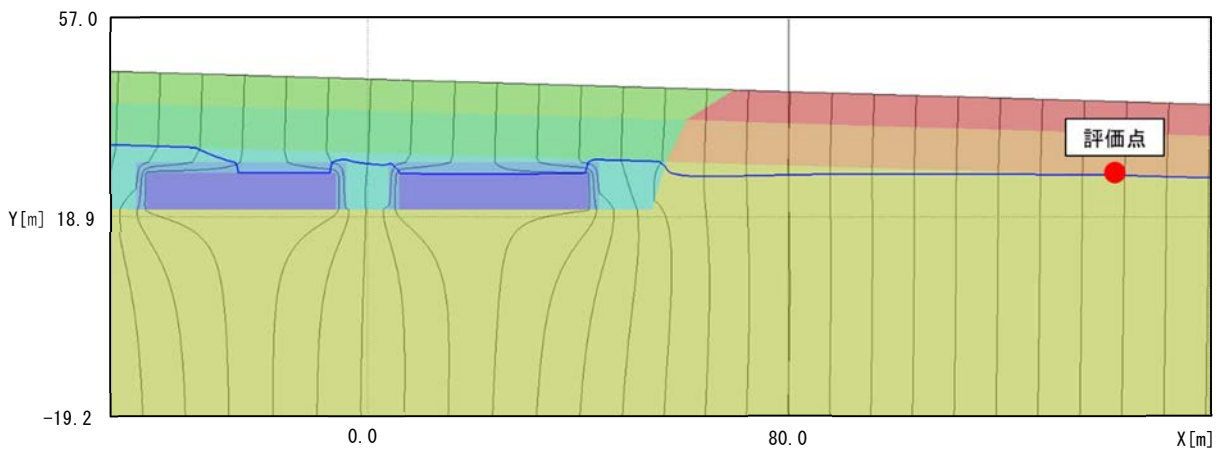


図 6-49 底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-8[m/s]$ のときの
評価点を通過する流跡線 (拡大)

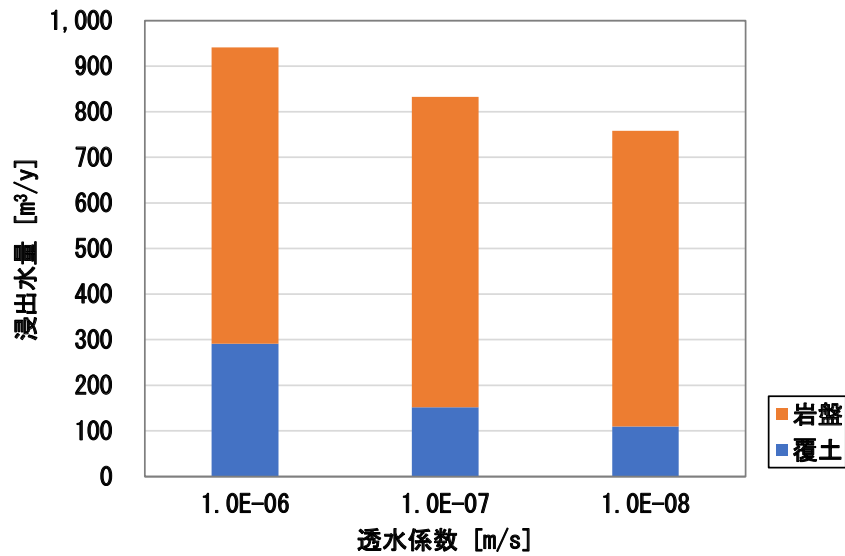


図 6-50 底辺水平モデルにおける
上部及び側部覆土の透水係数を変化させたときの浸出水量の移行評価

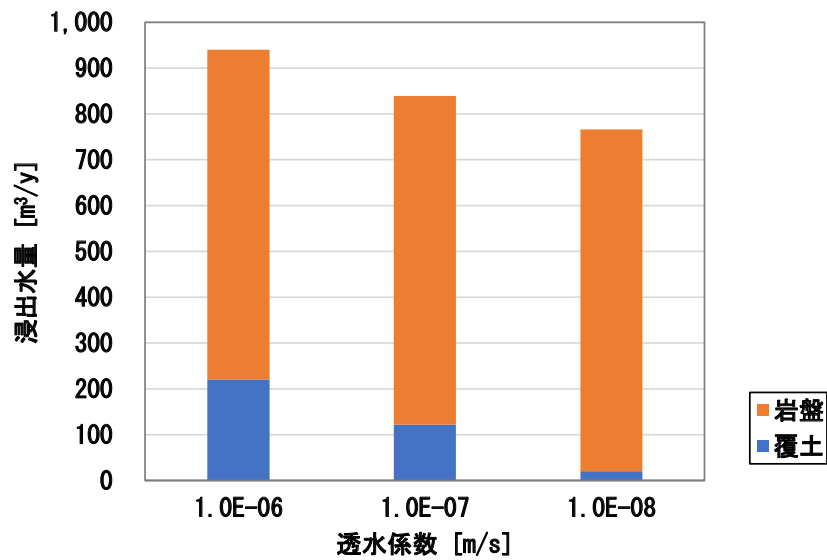


図 6-51 底辺傾斜モデルにおける
上部及び側部覆土の透水係数を変化させたときの浸出水量の移行評価

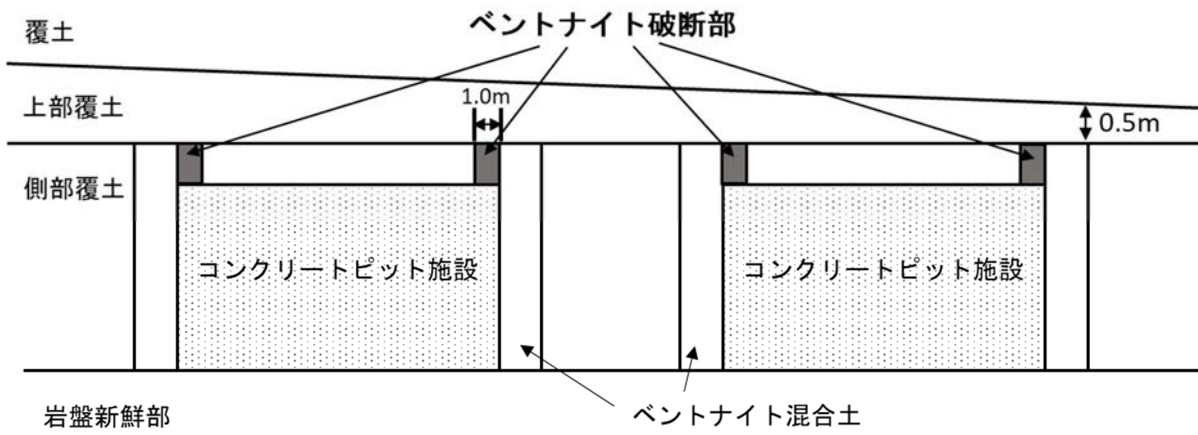


図 6-52 上部覆土を充填したときのベントナイト混合土破断のイメージ

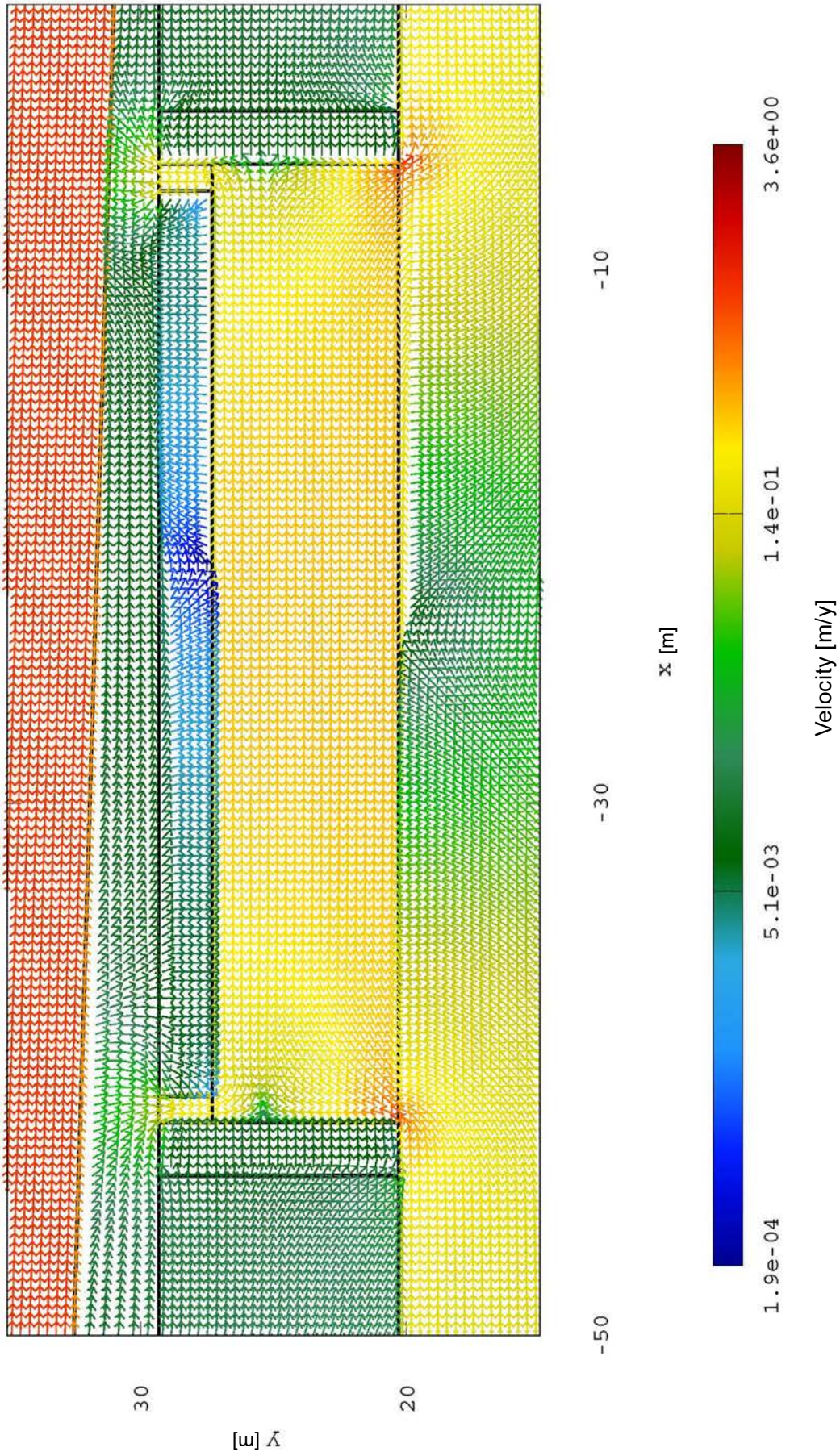


図 6-53 底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-8$ [m/s]、破断部 $1.0E-6$ [m/s]のときの流速・流向図（ピット①拡大）

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

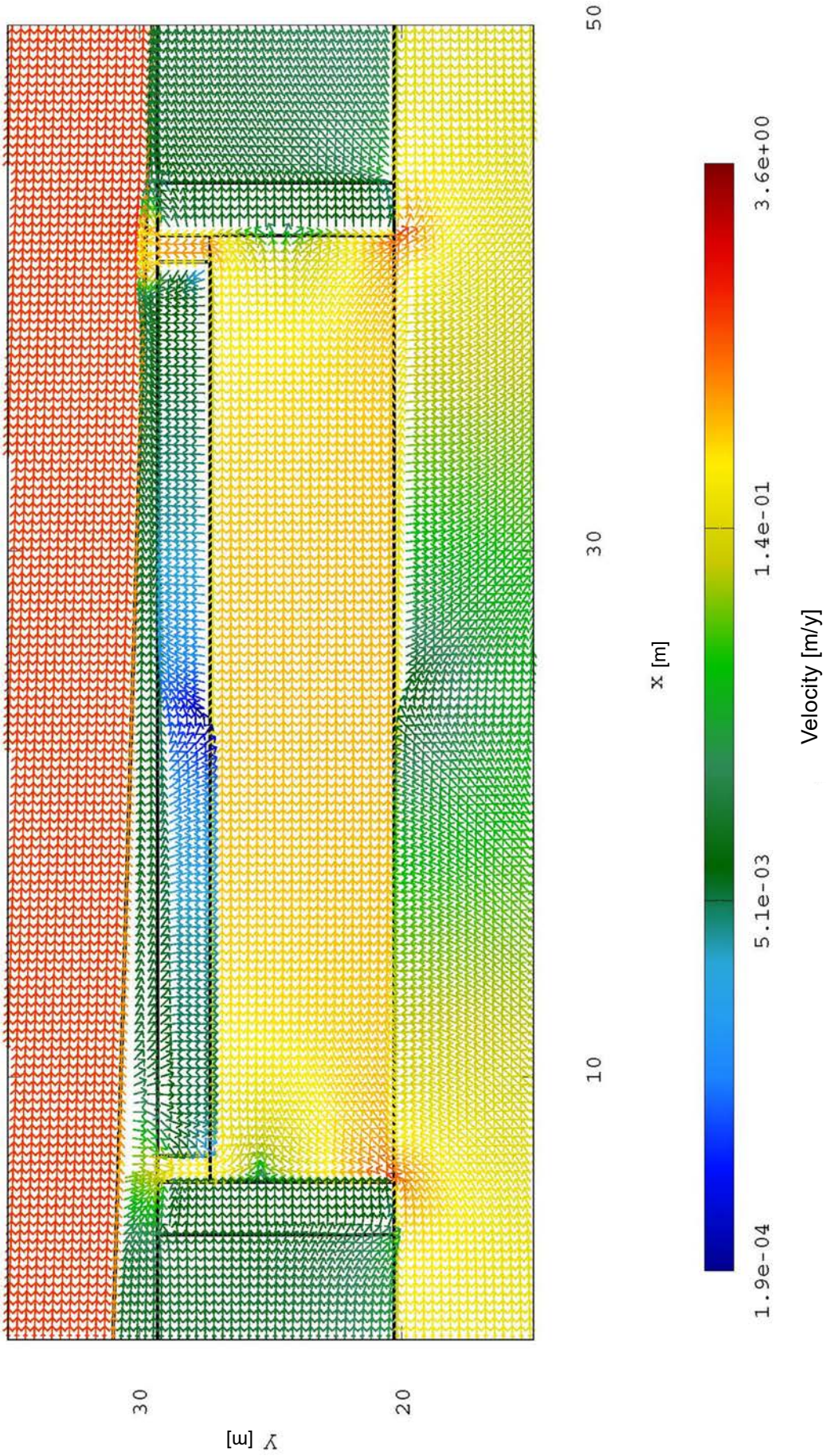


図 6-54 底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-8[m/s]$ 、破断部 $1.0E-6[m/s]$ のときの流速・流向図（ピット②拡大）

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

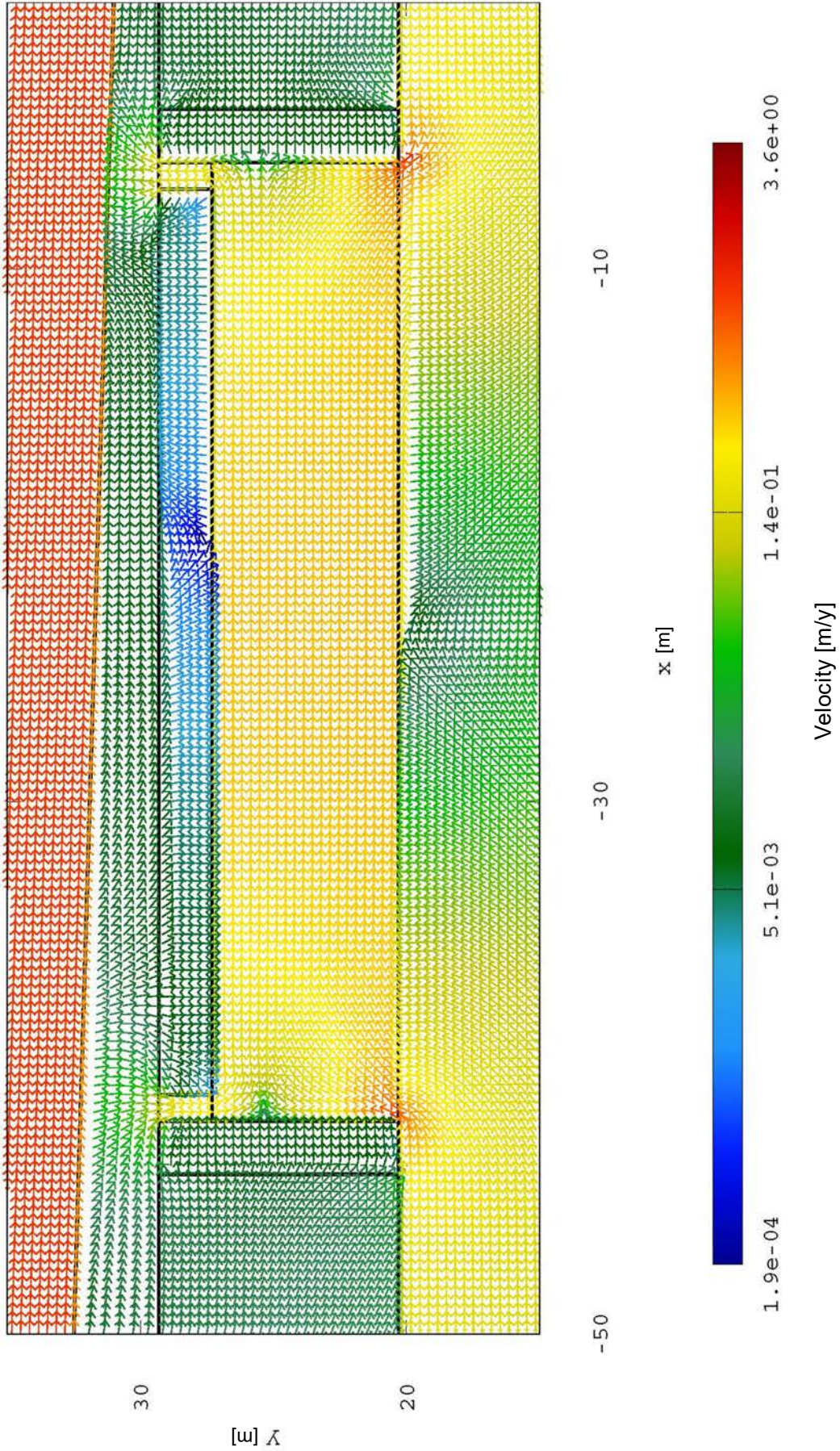


図 6-55 底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-8$ [m/s]、破断部 $1.0E-6$ [m/s]のときの流速・流向図（ピット①拡大）
 ※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

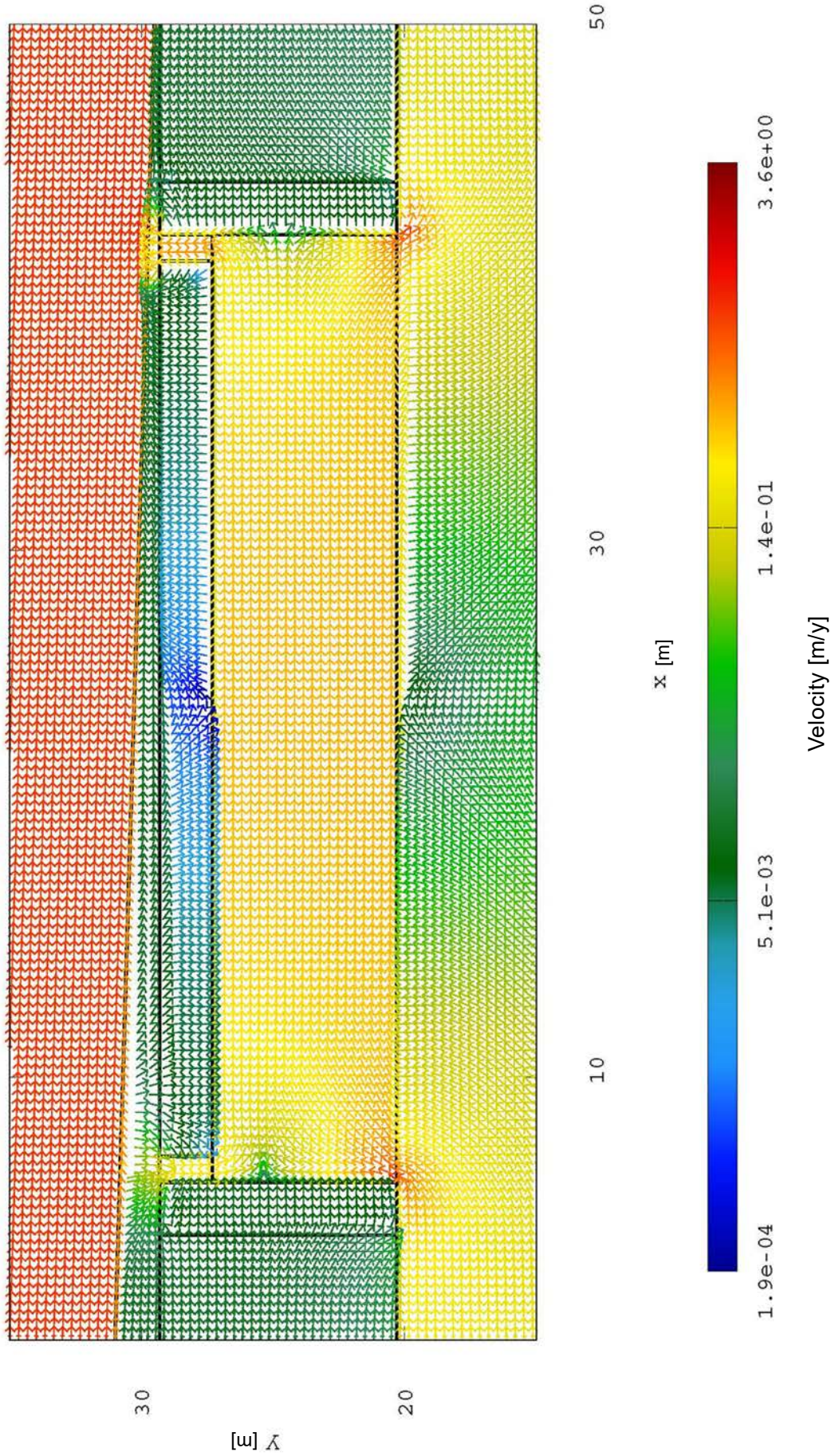


図 6-56 底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-8[m/s]$ 、破断部 $1.0E-6[m/s]$ のときの流速・流向図（ピット②拡大）

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

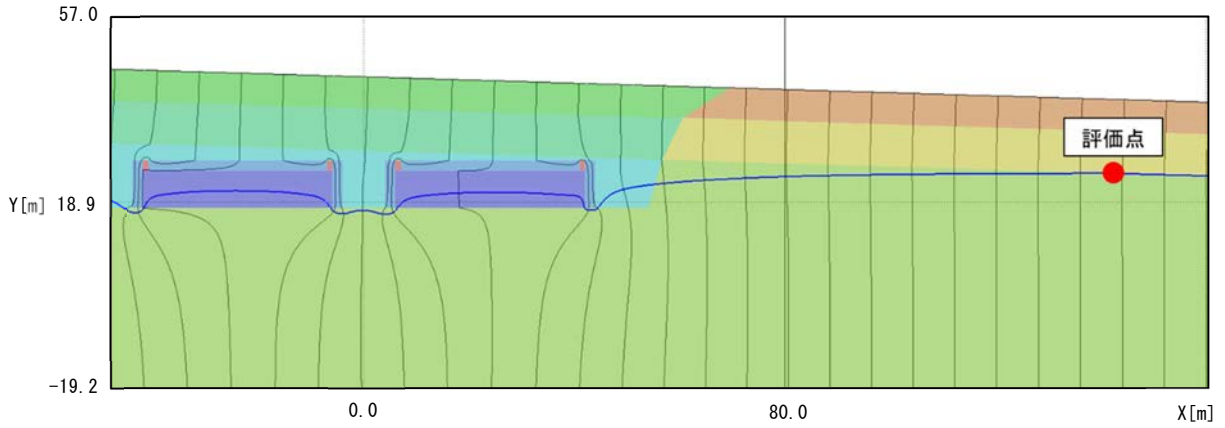


図 6-57 底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-7[m/s]$ 、
破断部 $1.0E-6[m/s]$ ときの評価点を通過する流跡線 (拡大)

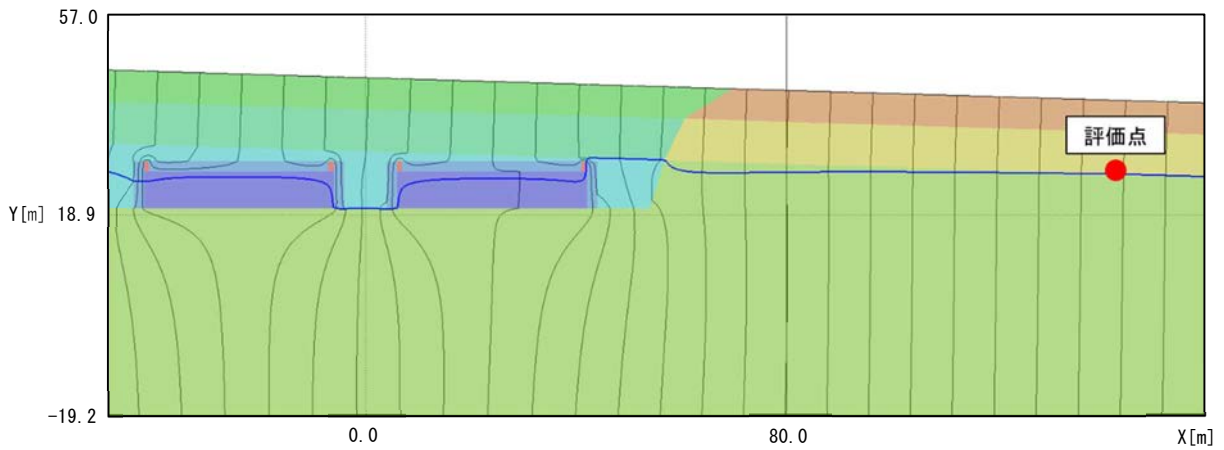


図 6-58 底辺水平モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-8[m/s]$ 、
破断部 $1.0E-6[m/s]$ ときの評価点を通過する流跡線 (拡大)

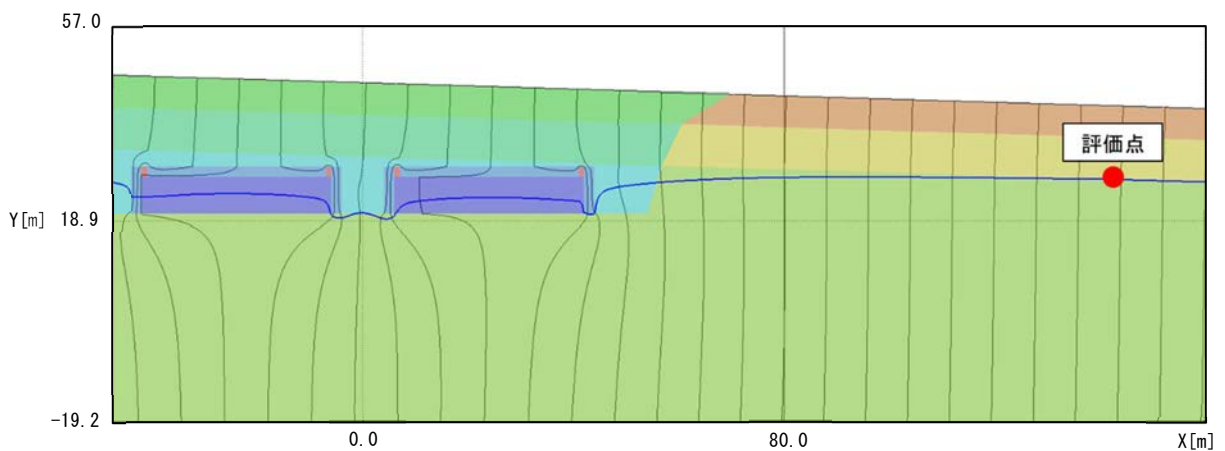


図 6-59 底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-7[m/s]$ 、
破断部 $1.0E-6[m/s]$ ときの評価点を通過する流跡線 (拡大)

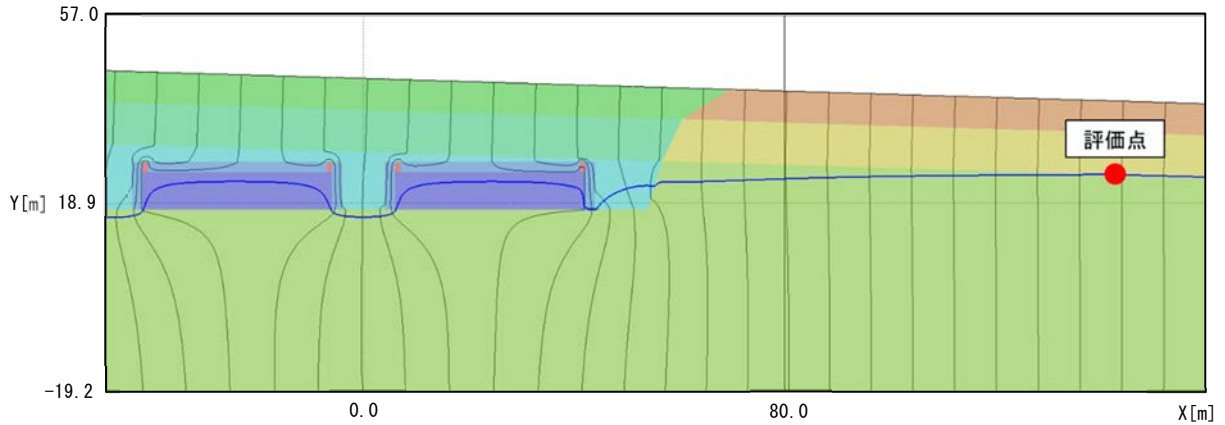


図 6-60 底辺傾斜モデルにおける上部及び側部覆土 $1.0E-8[m/s]$ 、
破断部 $1.0E-6[m/s]$ ときの評価点を通過する流跡線 (拡大)

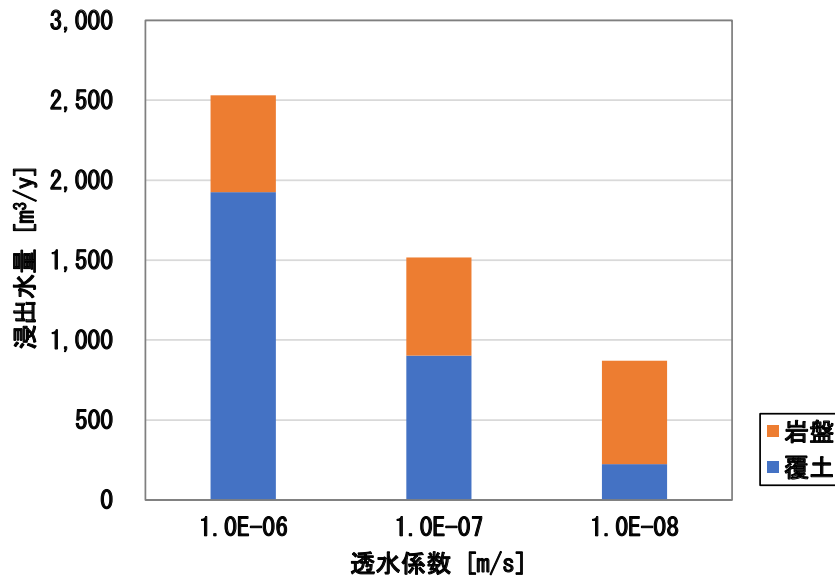


図 6-61 底辺水平モデルにおける破断部 $1.0E-06[m/s]$ で
上部及び側部覆土の透水係数を変化させたときの覆土・岩盤へ移行する浸出水量
※透水係数 $1.0E-06[m/s]$ のときの結果は、6.2 を参照

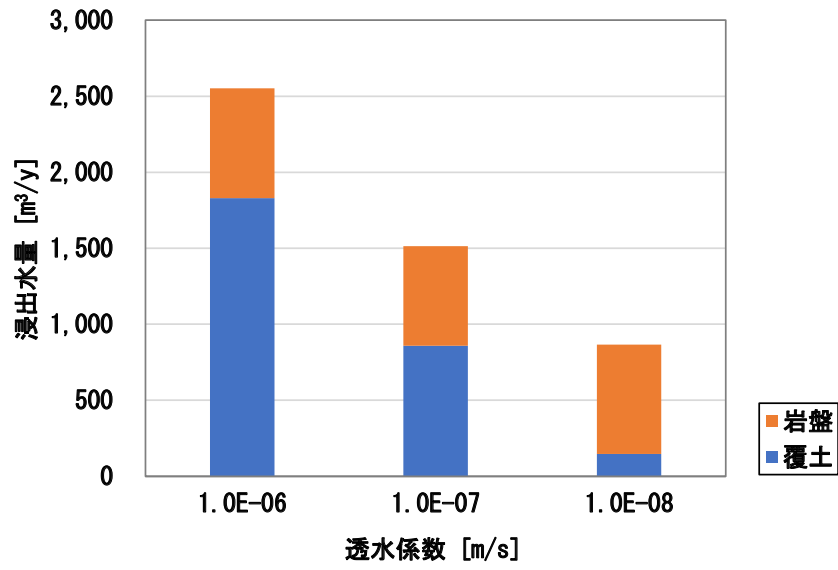


図 6-62 底辺傾斜モデルにおける破断部 1.0E-06[m/s]で
 上部及び側部覆土の透水係数を変化させたときの覆土・岩盤へ移行する浸出水量
 ※透水係数 1.0E-06[m/s]のときの結果は、6.2 を参照

7. 検討結果及び今後の課題

本報告書では、概念設計³⁾における一般的な立地環境条件にコンクリートピット処分施設を設置した場合、覆土の透水係数やベントナイト混合土の設置等の設計上のモデル及びパラメータの変化させた感度解析を実施し、コンクリートピット処分施設を通過する地下水量の軽減制御が可能となる方法を把握することとした。地下水流動解析は、日本原燃資料⁷⁾を参考にして作成した2つの底辺の境界条件が異なるモデルである、底辺水平モデル及び底辺傾斜モデルを用いて実施した。

これら2つの底辺の境界条件が異なるモデルは、コンクリートピット施設を設置する地形の条件を考慮して設定した。解析結果から、2つのモデルにおいて、コンクリートピット施設を通過する地下水量にはほとんど影響しなかったが、評価点を通過する流跡線及び覆土又は岩盤への移行する浸出水量の割合が異なる結果となった。

従って、解析モデルの作成において、実際のコンクリートピット施設を設置する場所の環境条件を考慮することが非常に重要と考えられる。

また、2つのモデルを用いて、以下の事項について感度解析を実施し、コンクリートピット施設の設計において考慮すべき事項を検討した。

- ① 側部覆土の透水係数
- ② ベントナイト混合土の破断
- ③ 側部覆土の低透水性による防御
- ④ 上部覆土の充填
- ⑤ 上部及び側部覆土の低透水性による防御

これらの感度解析の結果より、コンクリートピット施設を通過する地下水量を低減する方法として、周辺覆土の透水係数を低く設計することが有効であるとわかった。

ベントナイト混合土の破断を考慮しない場合では、側部覆土の透水係数を低く設計するだけでも、浸出水量をコンクリートピット施設上部のベントナイト混合土に破断が生じると、その影響により浸出水量の著しい増加が見受けられ、その増加率は、破断前の約3倍に及んだ。従って、厳しいシナリオを想定したベントナイト混合土の破断による劣化した場合に備えて考慮し、側部のみではなく、上部に0.5[m]程度の透水係数の低い覆土の設置を考慮する必要がある。

本評価の結果も取り入れて、埋設処分された廃棄物中の放射性核種の生活圏への移行を十分に抑制させた実現可能な設計ができるように引き続き解析を行っていく必要がある。検討が必要な今後の主な課題としては、以下のことが挙げられる。

- ・ベントナイト混合土の化学的な劣化による影響

→ベントナイト混合土の主成分のモンモリロナイトは、長期間経過後に、アルカリ成分により変質または溶解し、低透水性の機能が低下すると評価されている⁷⁾。コンクリートピット施設は、セメントが多く使用されており、そのセメントが地下水へ溶解することにより、高アルカリ性の地下水となると推定される。従って、これらベントナイト混合土の化学的な劣化による透水係数の低下を想定して浸出水量の変化を試算し、対策の必要性を検討する必要がある。

- ・周辺覆土の設計

→6.5 において、コンクリートピット施設周辺の覆土の透水係数を低くすることにより、ベントナイト混合土の破断による影響が低減されることが示された。しかし、透水性の低い覆土は通常の覆土にベントナイト混合土を混合させたものであることから、多くの領域をその覆土で設計するとコストが大幅に上昇する。従って、ベントナイト混合土の破断による影響を抑えることができ、且つ、低透水性覆土の使用量も最低限となる設計を検討する必要がある。

また、様々な条件における地下水流動解析によって得られた結果を基に、線量評価コードを用いて、被ばく線量評価を行い、コンクリートピット施設の安全性を評価していく予定である。

謝辞

本報告書をまとめるにあたり、貴重なご意見をいただいたバックエンド統括本部埋設事業センター事業計画室 技術副主幹 齋藤龍郎様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日本原子力研究開発機構, 埋設処分業務の実施に関する計画 (平成 21 年 11 月 13 日), 2009.
- 2) 天澤弘也他, 研究施設等廃棄物の概念設計に供する前提条件の調査及び設定, JAEA-Technology 2010-043, 2011, 153p.
- 3) 天澤弘也他, 研究施設等廃棄物浅地中処分施設の概念設計, JAEA-Technology 2012-031, 2012, 338p.
- 4) H. Kimura, The MIG2DF Computer Code User's Manual, JAERI-M 92-115, 1992, 48p.
- 5) 高井静霞他, 地下水流動解析コード MIG2DF 第 2 版の開発, JAEA-Data/Code 2020-007, 2020, 174p.
- 6) 坂井章浩他, 研究施設等廃棄物浅地中処分施設の立地環境条件に関する感度解析, JAEA-Technology 2013-039, 2014, 228p.
- 7) 日本原燃株式会社, 廃棄物埋設施設における許可基準規則への適合性について (2020 年 5 月), 2020.
- 8) 藤縄克之, 地下水数値計算法(2) 1-1. 有限要素法による飽和浸透流の解析, 地下水学会誌, 第 32 巻, pp.103-110, 1990.
- 9) 藤崎克博, 地下水数値計算法(6) 1-5. 差分法の基礎, 地下水学会誌, 第 32 巻, pp.285-292, 1991.
- 10) 藤野和徳, 地下水数値計算法(8) 1-7. 境界要素法の基礎, 地下水学会誌, 第 33 巻, pp.43-50, 1991.
- 11) 坂井章浩他, 浅地中処分施設の周辺環境における予備的な三次元地下水流動解析, JAEA-Technology 2016-032, 2017, 117p.
- 12) 丸井敦尚, 水循環における深層地下水の役割, 日本水文科学会誌, 第 42 巻, pp.61-68, 2012.

付録1 コンクリートピット施設からの浸出水量の算出方法

流体力学上、流量 Q [m^3/y]はダルシー流速 u [m/y]と断面積 A [m^2]を用いて以下の式にて算出される。

$$Q = u \times A$$

本計算では、単位時間ごとのピットから浸出した地下水量を求める。そのため、ダルシー流速 u は、ピットと周辺環境との境界の流速を用いる必要がある。一般には、境界に接する要素の流速を平均して求められる。しかし、この方法は、透水係数が近い場合には有効であるが、大きく差がある場合では、流れが複雑になるために誤差が大きくなる恐れがある。従って、ピット境界の流速は、節点流速を用いて平均し、ピット境界の流速を求めることとした。図付 1-1 に流速算出のイメージを示す。平均した節点の流速は、隣り合う節点間の流速とすると、単位時間あたりにピットから浸出した地下水の流速と考えることができる。流速の符号は、ピットに対する流向を基準とするために、ピットから浸出する流向を正、浸入する流向を負となるように修正する。これにより、浸出量が正の整数、浸入水量が負の整数とわかりやすくなる。

断面積 A は、コンクリートピット施設の仕様に基づき、(節点間の距離) × (ピットの奥行き:40[m]) × (奥行き方向にあるピット数 9基) とした。

以上より、流速と断面積を掛け合わせ、節点間の流量が算出される。流量のうち、正の整数の和が浸出水量、負の整数の和が浸入水量の合計となる。

また、コンクリートピット施設を通った地下水はその後、地層を通して人間の生活圏に何らかの形で到達するとされている。通る地層によって透水係数が異なることから、地下水の移行経路も考慮する必要がある。本解析における地下水の移行経路は、この後に行う線量評価での複雑化を避けるために、以下の 6 通りとした。

- ① コンクリートピット上面から浸出し、岩盤風化部へ。
- ② コンクリートピット上面から浸出し、岩盤新鮮部へ。
- ③ コンクリートピット下流側側面から浸出し、岩盤風化部へ。
- ④ コンクリートピット下流側側面から浸出し、岩盤新鮮部へ。
- ⑤ コンクリートピット底面から浸出し、岩盤風化部へ。
- ⑥ コンクリートピット底面から浸出し、岩盤新鮮部へ。

イメージを図付 1-2~1-4 に示す。コンクリートピットから浸出する地下水は、すべての移行経路において、並列している 2 つのコンクリートピットを必ず通るとしたため、浸透水量の算出は、下流側のコンクリートピットのみで行った。しかしこの場合、上流側のコンクリートピットから浸出して直接評価点へ流れた水量(直接水量と呼ぶこととする。)の分だけ過少評価してしまうため、保守的な結果を得るため、直接流出量も算出しコンクリートピット施設からの浸出水量として加えた。

計算手順

1. PASS_PRE の出力データの「.MDATA」と MIG2DF の出力データの「.MLIST」を用いて、「NodeVelocity.py」プログラムにてコンクリートピット施設の境界節点の x 座標、y 座標及び流速を抽出する（「fileterNodeVelocity.dat」）。
2. 「fileterNodeVelocity.dat」を Excel で開く。
3. Excel シートで流出量を算出。

(1)隣り合う 2 つの節点の距離を求める。2 点間の節点のイメージを図付 1-5 に示す。

計算方法として、三平方の定理を採用（過去のモデルでコンクリートピット施設が傾斜していたことにより、節点の距離を差し引きのみでの算出ができなかったため）。

⇒ L とする。

Excel 式 := SQRT(((x2-x1)^2)+(y2-y1)^2))

(2)隣り合う 2 つの節点間における \bar{V}_x 、 \bar{V}_y 平均流速を求める。速度要素のイメージを図付 1-6 に示す。

Excel 式 := (Vx1+Vx2)/2 または = (Vy1+Vy2)/2

(3)(2)で算出した \bar{V}_x 、 \bar{V}_y の平均流速のうち、ピットの境界辺と同じ方向の速度を 0 にし、平均流速の和を求める。（ピット上辺及び下辺の場合は \bar{V}_x 、ピット側边上流及び下流の場合は \bar{V}_y を 0 にする）。

→今回は、ピットが水平に設置されているため、ピットから浸出する地下水の流向は、ピットの境界辺に対して垂直方向のみになる。

(4) \bar{V}_x 及び \bar{V}_y の流速（符号）をピットの水の浸入・浸出に合わせる。

図付 1-7 及び図付 1-8 に流向のイメージを示す。

→MIG2DF で出力された流速のままでは、右(\bar{V}_x)または上(\bar{V}_y)方向の流速が正となっている。そのため、ピットの底面及び側面下流側についてはピットに対して浸入する流速が正、浸出する流速が負となっている。

従って、ピットから浸出している場合正、浸入している場合負になるように流速の符号を変更する。（-1 を掛ける。）⇒ \bar{V}_x' 、 \bar{V}_y' とする。

(5)平均流速 \bar{V}_x 及び \bar{V}_y の和 V を算出。

→本来であれば、速度の合成となるため、 \bar{V}_x' 及び \bar{V}_y' それぞれの 2 乗の和を平方根するが、今回は、 \bar{V}_x' または \bar{V}_y' のどちらかが 0 となっているため、計算では 2 つの流速の和とした。⇒ V とする。

Excel 式 : $=\sqrt{V_x'+V_y'}$ (本当は $=SQRT((V_x'^2)+(V_y'^2))$)

(6)(1)で算出した節点間の距離 L と、(5)で算出した平均流速 V と、ピットの仕様 (奥行き 40m×9 基) の積を算出。⇒節点間の流量 Q

Excel 式 : $=L*V*9*40$

4. ピットごと、且つ、各辺 (上辺、側辺 (上流・下流)、底辺) ごとの浸入水量及び浸出水量を 3 で求めた節点間の流量を用いて算出。

→各節点間の流量のうち、正の値が浸出水、負の値が浸入水として区別。

Excel の関数 'SUMIF' を用いると便利 ($=SUMIF(範囲, ">0", 範囲)$) : 範囲には指定したい辺の節点間の流量の全範囲を選択、この場合、0 より大きい値 (浸出水量) の和が計算される。符号を逆にすると 0 より小さい値 (浸入水量) の和が計算される。)

5. ピットごとに、浸入水量と浸出水量の合計値 (上辺+側辺 (上流) +側辺 (下流) +底辺) を算出。

→ピットの水収支を確認。(水が入ったらその分出る。) 解析の誤差の目安がわかる。

6. ピット①から直接評価点へ流れた水量を算出。

→パターンごとに計算

- ・ピット①の底辺からの浸出水量とピット②の底辺への浸入水量の和。
- ・ピット①の下流からの浸出水量とピット②の上流への浸入水量の和。
- ・ピット①の上辺からの浸出水量とピット②の上辺への浸入水量の和。

※ピット①を通った水は必ずピット②を通ると仮定しているため、ピット②から浸出した水量を結果として用いる。しかし、ピット①を通り、ピット②を通らずに評価点へ流れる水量があり、これを考慮しないと過小評価となるため、重畳しない水量の計算を行う。

7. 今回の解析における上辺、側辺 (下流)、底辺の浸出水量を算出。

→ (5 で算出したピット②の浸出水量) + (6 で算出した直接流出量が正の値のみ (負の値だった場合は無視))。また、側辺 (上流) は基本的に浸出水量が 0 となるため記載なし。

8. 覆土/岩盤へ流れる水量を算出。

(1) 評価点 (今回はピット②の下流側の端 (X 座標は 42) から 100[m]の地点の覆土 (岩盤風化部) と岩盤 (岩盤新鮮部) の境界点を中間地点とする流跡線を PASS_TRAC にて計算する。図付 1-9 にイメージを示す。

(2) 出力された「.TLIST」より、ピット②の流出地点の座標を調べる。(これを「境界浸出

点」と呼ぶこととする。) 図付 1-10 にイメージを示す。

(3) 境界流出点を挟む節点 2 つを調べる。

(4) 調べた 2 つの節点間の流量は 3 の(6)にて求めているため、この流量を覆土/岩盤に分ける。

1. 2 つの節点の X 座標の場合は流速 V_y 、Y 座標の場合は流速 V_x の値を用いて、散布図を作成。図付 1-11 に概要を示す。線形近似し、直線の式を出力する。(上辺及び底辺の場合は X 座標と V_y 、側辺(下流)の場合は Y 座標と V_x)

※直線式は小数点以下だ 7 桁以上にすることが必要(最後に計算に間違いがないか、値が一致することを確認する)。

2. 直線の式に境界流出点の座標を代入し、境界流出点の流速を求める。イメージを図付 1-12 に示す。

3. 境界流出点を境にして台形積分を行い、さらにピットの仕様(奥行き 40m×9 基)をかけ、浸出水量を算出。イメージを図付 1-13 に示す。

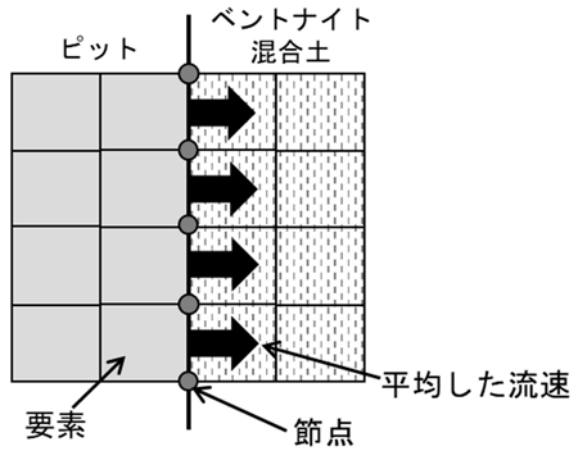
→このとき、流速の補正前の値となっているため符号に注意する。

4. 求めた節点と境界流出点の間の浸出水量のうち、覆土または岩盤へ移行する水量を算出する。イメージを図付 1-14 に示す。

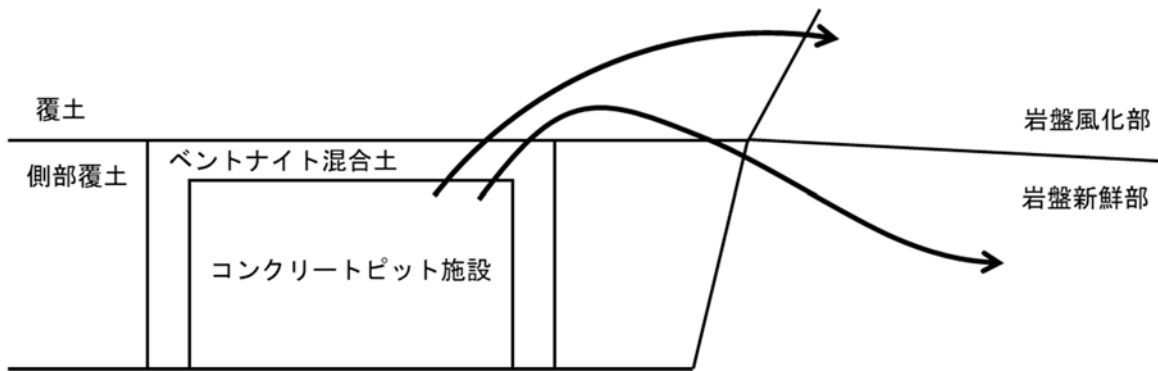
→境界流出点の位置により変わるため注意する。

5. 節点間の覆土及び岩盤への浸入水量を足し合わせ、3 の(6)で求めた浸出水量と一致しているか確認。

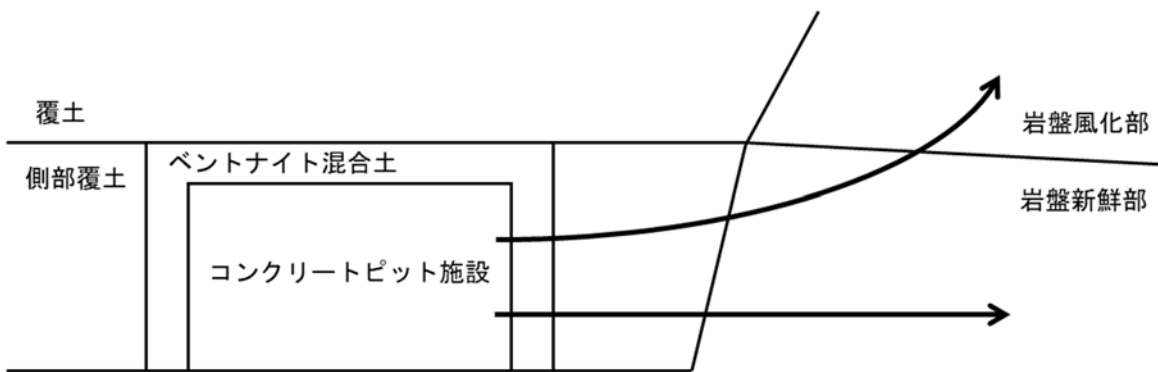
(5) 覆土への浸出水量、岩盤への浸入水量の合計を算出。



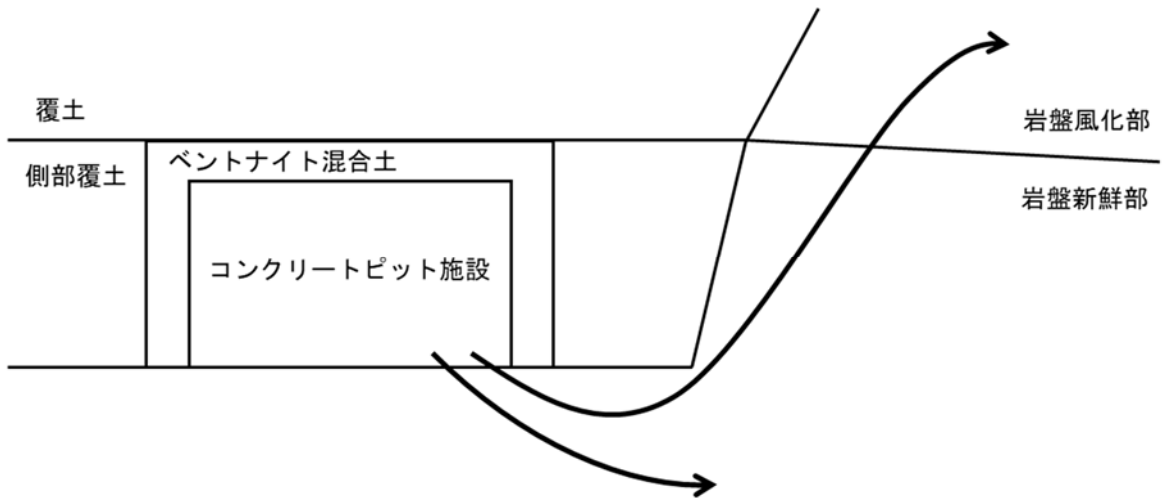
図付 1-1 流速算出位置のイメージ



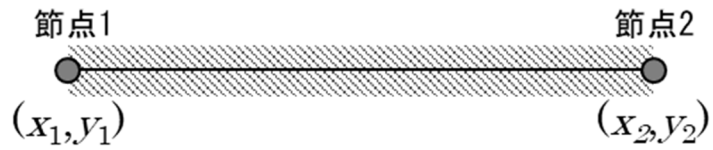
図付 1-2 コンクリートピット施設上部からの地下水の流れのイメージ



図付 1-3 コンクリートピット施設側部からの地下水の流れのイメージ



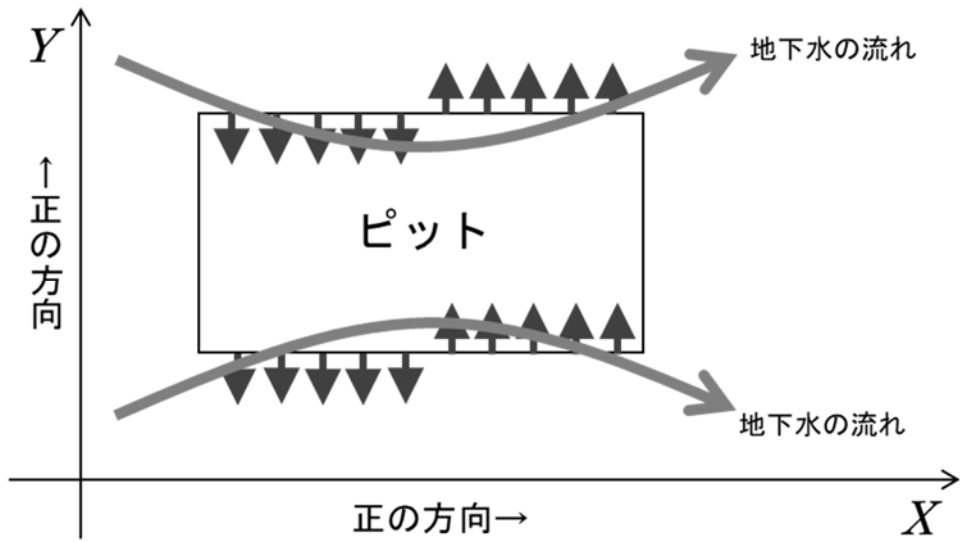
図付 1-4 コンクリートピット施設底部からの地下水の流れのイメージ



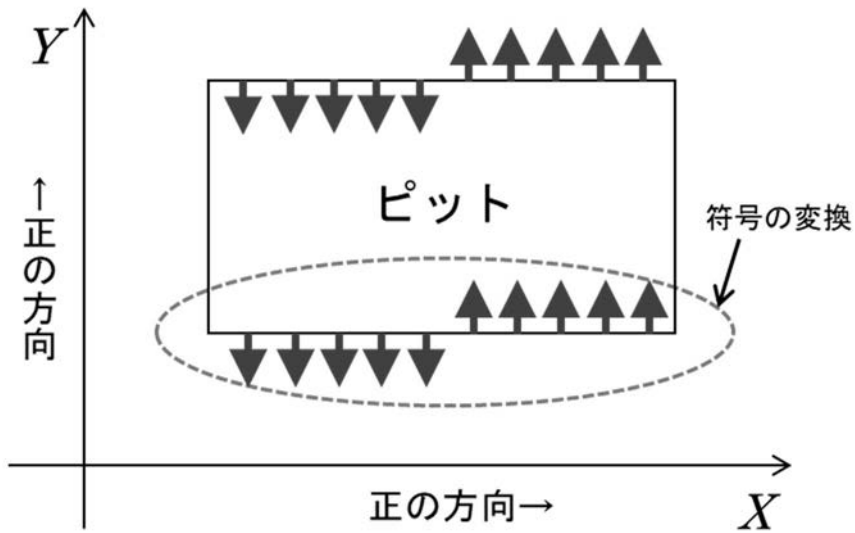
図付 1-5 2点の座標イメージ



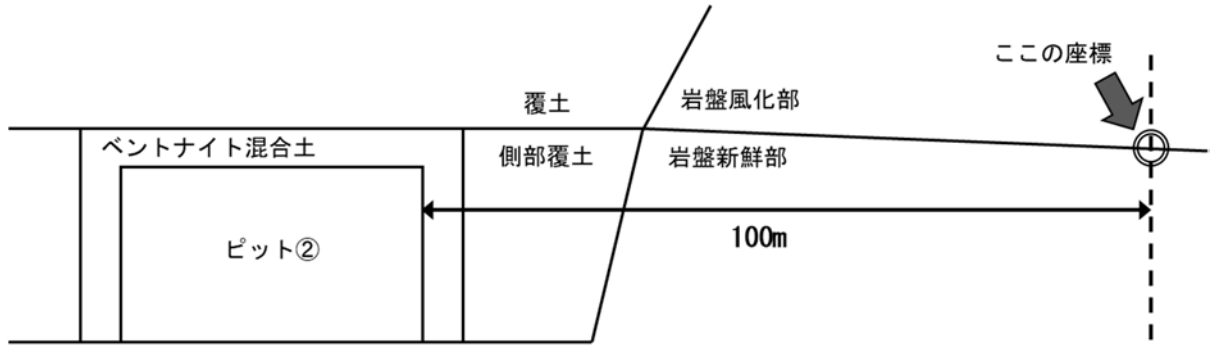
図付 1-6 2点の速度要素イメージ



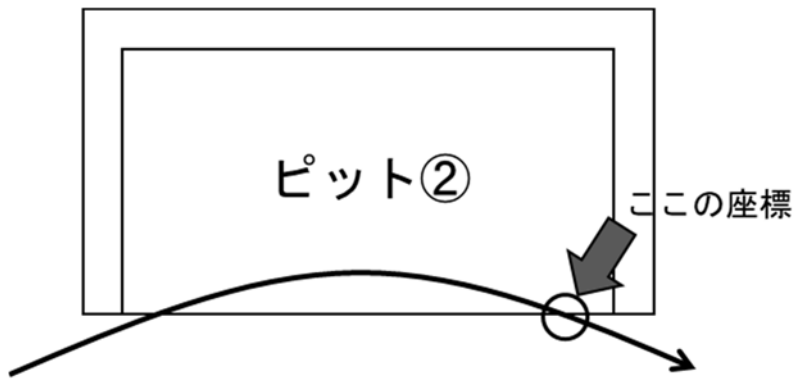
図付 1-7 ピット周囲の節点の流向イメージ



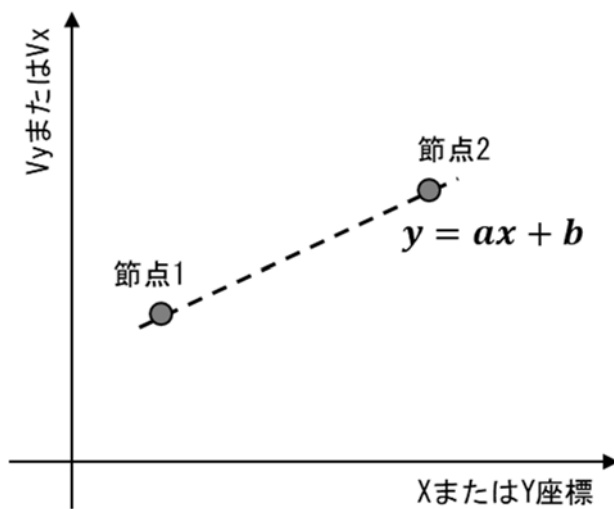
図付 1-8 ピット周囲の節点の流向の符号を変更する位置



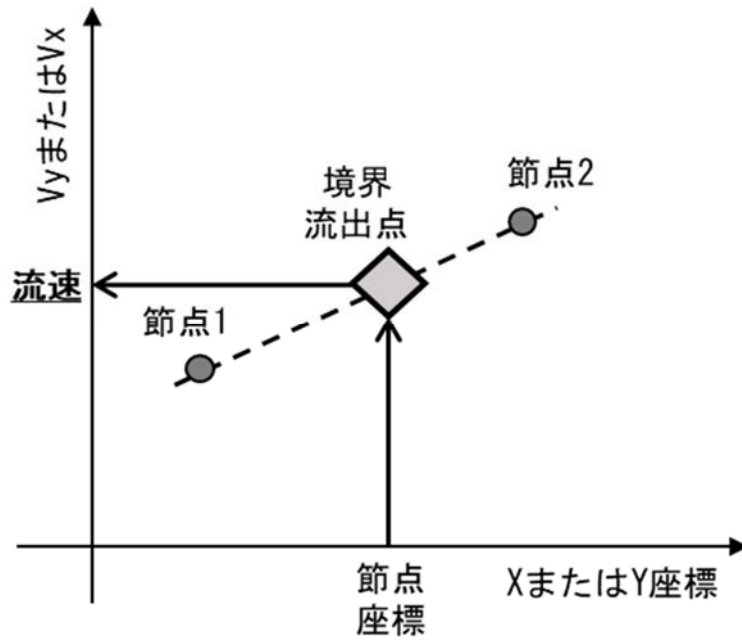
図付 1-9 コンクリートピット施設からの浸出水量の評価点



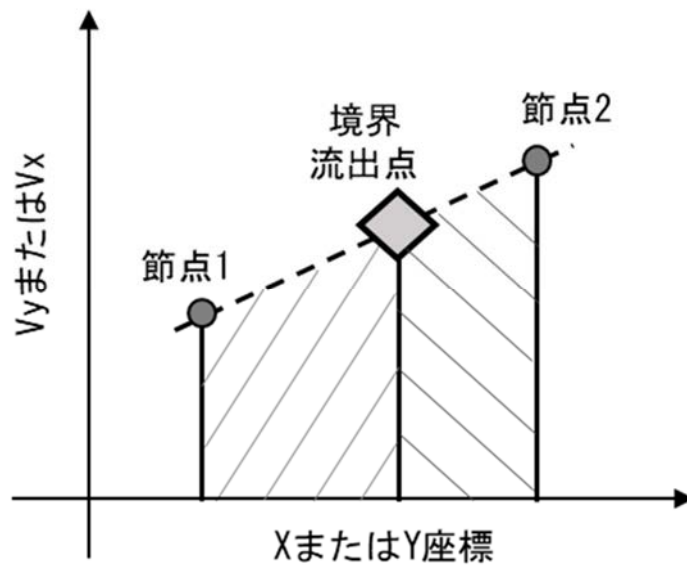
図付 1-10 評価点を通過する流跡線のイメージ



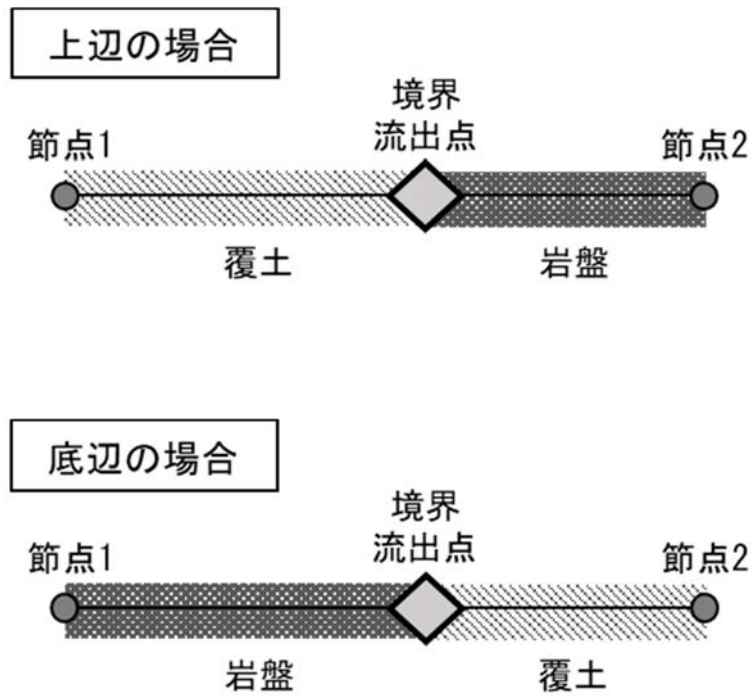
図付 1-11 近似曲線作成の概要



図付 1-12 近似式より算出する流速の概要



図付 1-13 浸出水量算出のイメージ



図付 1-14 覆土または岩盤へ移行する浸出水量の算出イメージ

付録 2 概念設計モデル及び感度解析モデルとの比較

本報告書では、過去に行われてきた概念設計¹⁾に基づいて作成した解析モデルを見直し、日本原燃資料²⁾を参考にして作成したモデルを用いて解析を実施した。しかし今まで行ってきたモデルと形状が異なるため、どの程度の差が生じているのか確認を行うこととした。

比較する対象モデルは、概念設計を実施した報告書（JAEA-Technology 2012-031）¹⁾を基に作成したモデル（以下、「概念設計モデル」という。）と地質及び水理等の感度解析を実施した報告書（JAEA-Technology 2013-039）³⁾で用いたモデル（以下、「感度解析モデル」という。）とした。これらのモデルを用いて、本報告書における解析と同じ条件で再解析を実施し、コンクリートピット施設からの浸出水量の結果を比較した。

解析モデル

概念設計モデルの概形を図付 2-1、解析に用いたメッシュ図を図付 2-2、コンクリートピット施設周辺の概略を図付 2-3、また、感度解析モデルの概形を図付 2-4、解析に用いたメッシュ図を図付 2-5、コンクリートピット施設周辺の概略を図付 2-6 に示す。

2つのモデルの概形は、縦 100[m]、幅 1000[m]であり、本報告書で作成したモデルと異なる形状である。また、コンクリートピット施設の設計は、概念設計モデルは本報告書で行った解析モデルと同じである。しかし、感度解析モデルについては、コンクリートピット施設が縦 7[m]、幅 36[m]と本報告書で作成したコンクリートピット施設の長さと同じであるが、3[%]傾いた平行四辺形となっている。

解析パラメータ

解析で設定したパラメータを表付 2-1 に示す。本報告書 4.3 で示したパラメータと同様の値を設定して解析を実施することとした。

解析結果

全水頭分布

概念設計モデルの全水頭分布を図付 2-7、感度解析モデルの全水頭分布を図付 2-8 に示す。

どちらのモデルにおいても、4.4.1 の結果と同様に、モデルの上流側の全水頭値の方が下流側よりも高くなっていた。このことから、モデルの上流側から下流側の方へ水が流れるような分布となっていることが分かる。また、2つのモデルの全水頭分布には大きな差は見られなかった。

地下水の流速及び流向

概念設計モデルにおける全体の流速及び流向図を図付 2-9 に、また、ピット①またはピット②周辺の拡大したものを図付 2-10 及び図付 2-11 に示す。同様に、感度解析モデルの流速及び流向図を同様に図付 2-12～14 に示す。概念設計モデル及び感度解析モデルのメッシュに切り方は、本報告書での解析に用いた底辺水平モデル及び底辺傾斜モデルのメッシュの切り方と異なっているため、図に示されている矢印の数が少なく、矢印間の間隔が広がっている。

いずれの結果においても、本報告書の 4.4.2 の結果と流速及び流向ともに大きな違いは見られなかった。このことから、モデルの概形及びメッシュの大きさが異なっても、流速及び流向はほとんど影響を受けないと考えられる。

ピットの浸入・浸出水量

概念設計モデルと感度解析モデルにおけるコンクリートピット施設の各面の浸入及び浸出水量を表付 2-2 に示す。

概念設計モデルの浸入及び浸出水量は、側面を除いて感度解析モデルよりも減少していた。また、本報告書の 4.4.3 の結果と比較すると、すべての面についての浸入及び浸出水量が減少していた。この理由としては、概形の違いによるものと考えられる。これについては、付録 3 で検討を行うこととする。

感度解析モデルでは、各コンクリートピット施設における浸入水量及び浸出水量の合計値は、ピット①では浸入水量が 940[m³/y]、浸出水量が 930[m³/y]で、ピット②では、浸入水量が 940[m³/y]、浸出水量が 930[m³/y]となっていた。概念設計モデルでは、浸入水量の値と浸出水量の値がピット①とピット②とで同じであったが、感度解析モデルでは約 10[m³/y]の差が生じていた。この理由としては、感度解析モデルのコンクリートピット施設の形状が、平行四辺形型となっていることが考えられる。付録 1 で示した計算方法より、流速はコンクリートピット施設の面（モデル上では辺）に対して垂直な成分のみを用いて算出している。そのため、感度解析モデルでは、コンクリートピット施設の上辺及び底辺が傾斜しているため、垂直成分の流速を算出する際に誤差が生じたと考えられる。

コンクリートピット施設からの浸出水量の覆土及び岩盤の移行評価

コンクリートピット施設から評価点 100[m]の地点、かつ、岩盤風化部及び岩盤新鮮部の境界の座標を通過する流跡線を、概念設計モデルについて全体図を図付 2-15、その拡大図を図付 2-16、感度解析モデルについて全体図を図付 2-17、その拡大図を図付 2-18 に示す。どちらのモデルにおいても、流跡線のスタート位置は岩盤風化部と岩盤新鮮部の境界であり、側部覆土を通過して、一度岩盤新鮮部へ浸入し、2つのコンクリートピット施設を通過して、側部覆土を上昇し、もう一度岩盤新鮮部を通過して評価点へ到達していた。また、評価点を通過後は、概念設計モデルでは、岩盤新鮮部へ流れていたが、感度解析モデルでは、岩盤風化部及び岩盤新鮮部のどちらかの領域に流れるのではなく、境界を流れる結果となっていた。

流跡線の結果を用いて算出した、コンクリートピット施設からの浸出水量の合計値と、線量評価を行う際の評価地点 100[m]における覆土または岩盤へ移行する浸出水量の計算結果を表

付 2-3、それをグラフ化したものを図付 2-19 に示す。

概念設計モデルでは、浸出水量の合計が 920[m³/y]で、覆土へは全体の約 20[%]、岩盤へは全体の約 80[%]が流れるという結果となった。一方、感度解析モデルでは、浸出水量の合計が 930[m³/y]で、覆土へは全体の約 25[%]、岩盤へは全体の約 75[%]が流れるという結果となり、概念設計モデルより覆土へ流れる水量が約 5[%]減少していた。この差は、4.4.4 で示した結果からも言える通り、感度解析モデルでは、コンクリートピット施設が平行四辺形となっていることによる計算誤差が含まれるため、有意な差とは言えないと考えられる。

また、本報告書での解析結果とコンクリートピット施設の設計が同じである概念設計モデルの結果を比較すると、概念設計の方が合計の浸入水量が約 20[m³/y]減少していた。また、覆土及び岩盤へ移行する浸出水量については、底辺水平モデル及び底辺傾斜モデルどちらも異なっており、概念設計モデルの方が覆土へ流れる水量が少ない結果となった。これらに原因についても、4.4.4 の結果と同様に、解析モデルの境界の影響によるものと考えられる。

検討結果

本報告書で行った解析モデルは、過去に埋設事業センターで行ってきた解析モデルとモデルの外形や施設の設計が異なっていた。そこで、過去に行われてきた解析モデルを用いて、本報告書の解析条件で同じように計算を行うこととした。モデルとして、概念設計を実施した報告書を基に作成した概念設計モデルと感度解析モデルを用いて行った。

その結果、概念設計モデルのコンクリートピット施設の各面の浸入及び浸出水量は、側面を除いて感度解析モデルよりも減少していた。また、本報告書の 4.4.2 の結果と比較すると、すべての面についての浸入及び浸出水量が減少していた。これらの原因はモデル境界の違いによるものと考えられたため、付録 3 で再度検討を行うこととした。

感度解析モデルでは各ピットにおける浸入水量と浸出水量とで約 10[m³/y]の差が生じていた。この理由としては、感度解析モデルのコンクリートピット施設の形状が、平行四辺形型となっていることが考えられる。

コンクリートピット施設からの浸出水量の合計値と、線量評価を行う際の評価地点 100[m]における覆土及び岩盤へ移行する浸出水量は、概念設計モデルと感度解析モデルとで約 5[%]の差が生じていたが、これは、コンクリートピット施設の形状の違いによるものと考えられた。

本検討により、コンクリートピット施設のモデルの違いにより、浸出水量に差が生じたことから、地下水流動解析において、施設の設計に準ずるモデルの作成が必要であることが言える。

表付 2-1 概念設計モデル及び感度解析モデルの解析で用いたパラメータ

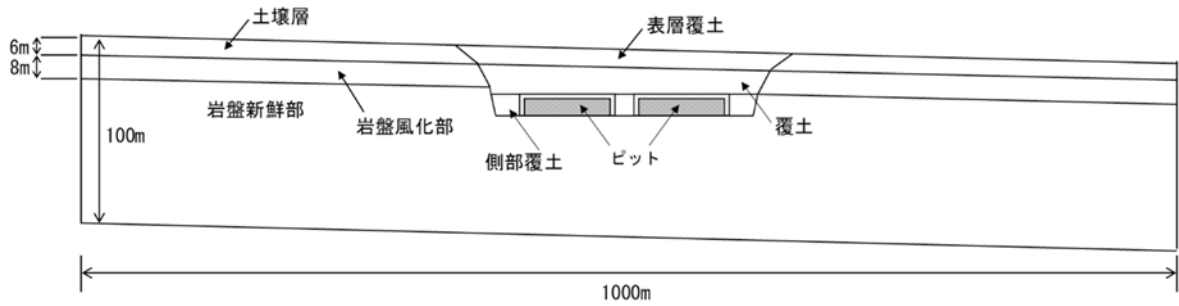
	透水係数[m/s]	間隙率[-]
コンクリートピット	1.0E-05	0.35
ベントナイト混合土	1.0E-09	0.46
表層覆土	1.0E-04	0.46
覆土	1.0E-06	0.46
側部覆土	1.0E-06	0.46
土壌層	1.0E-04	0.46
岩盤風化部	1.0E-06	0.46
岩盤新鮮部	1.0E-07	0.47

表付 2-2 概念設計モデル及び感度解析モデルにおける浸入及び浸出水量

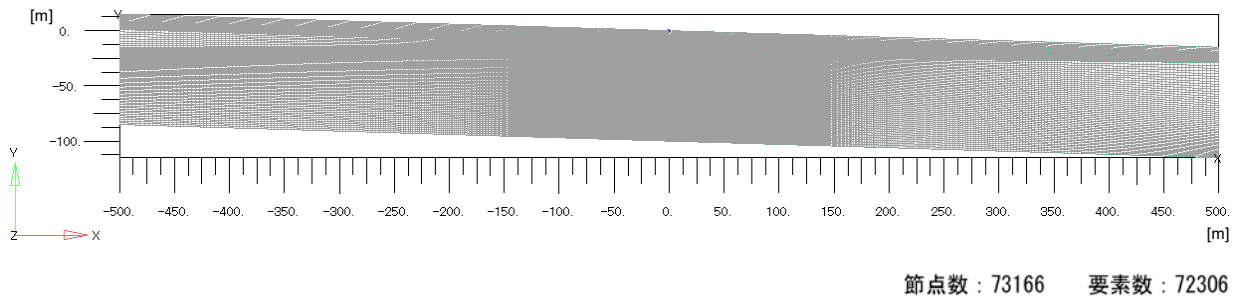
モデル	地下水が 浸入・浸出する面	流量[m ³ /y]			
		ピット①		ピット②	
		浸入	浸出	浸入	浸出
概念設計 モデル	上面	18	7.1	13	11
	側面（上流）	140	0	140	0
	側面（下流）	0	130	0	140
	底面	750	770	770	770
	合計	910	910	920	920
感度解析 モデル	上面	14	10	10	14
	側面（上流）	140	0	140	0
	側面（下流）	0	130	0	140
	底面	780	790	790	780
	合計	940	930	940	930

表付 2-3 概念設計モデル及び感度解析モデルにおける覆土・岩盤へ移行する浸出水量

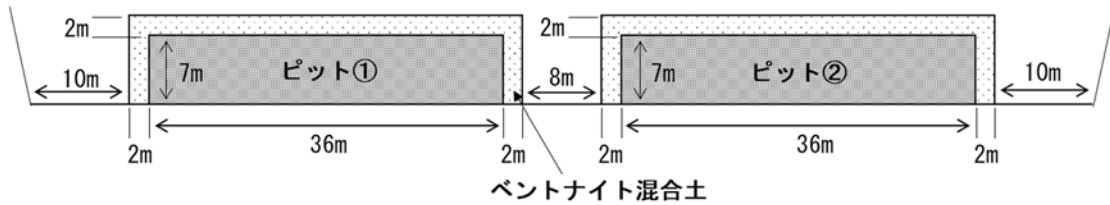
	浸出水量[m ³ /y]	
	概念設計モデル	感度解析モデル
覆土	180	230
岩盤	740	710
合計	920	930



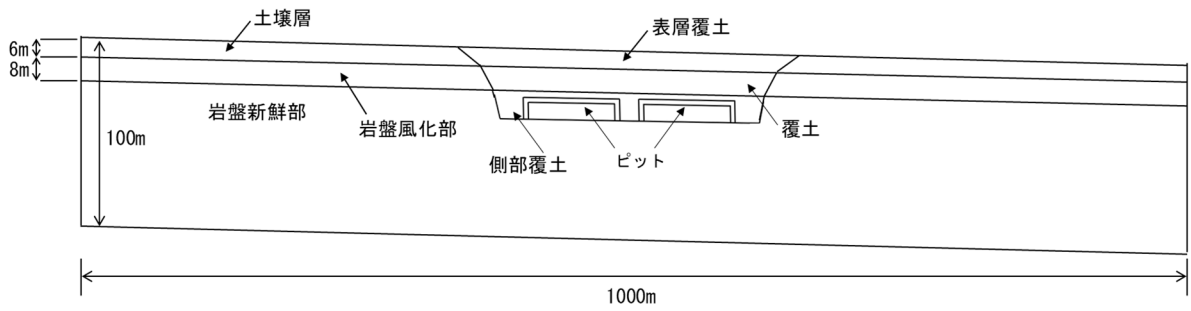
図付 2-1 概念設計モデルの概形



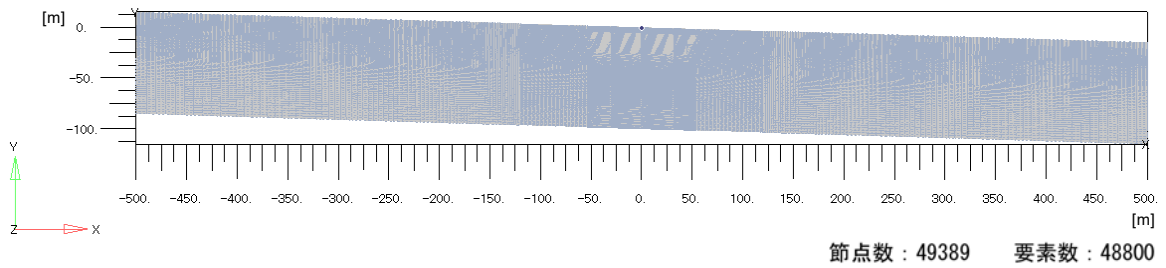
図付 2-2 概念設計モデルのメッシュ図



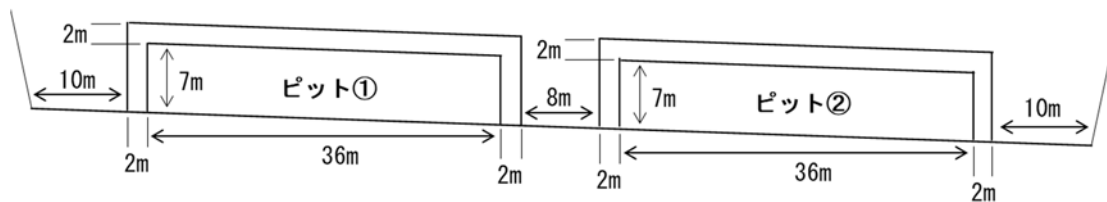
図付 2-3 概念設計モデルのコンクリートピット施設周辺の概略



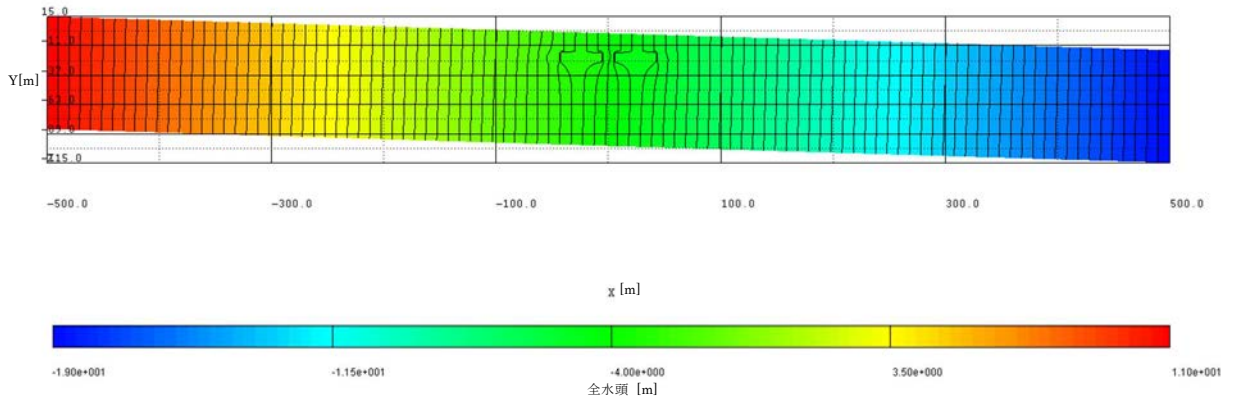
図付 2-4 感度解析モデルの概形



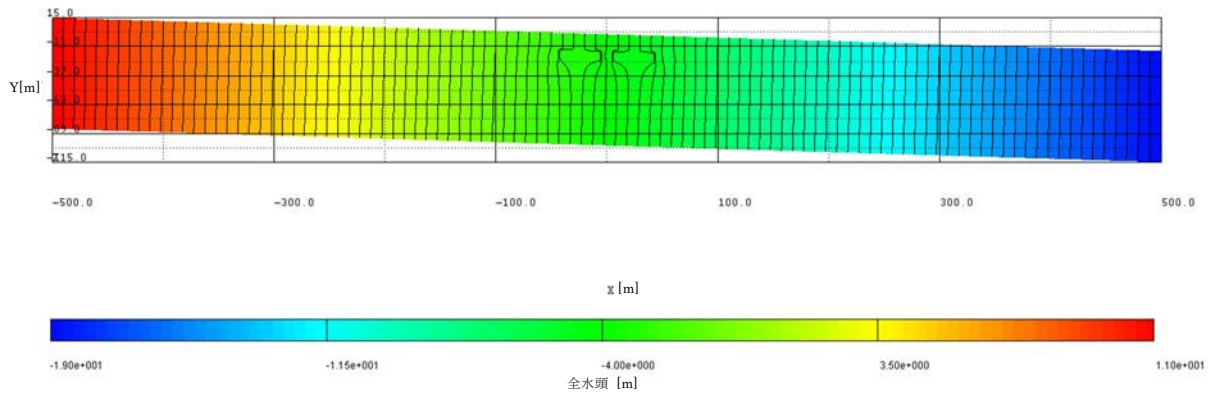
図付 2-5 感度解析モデルのメッシュ図



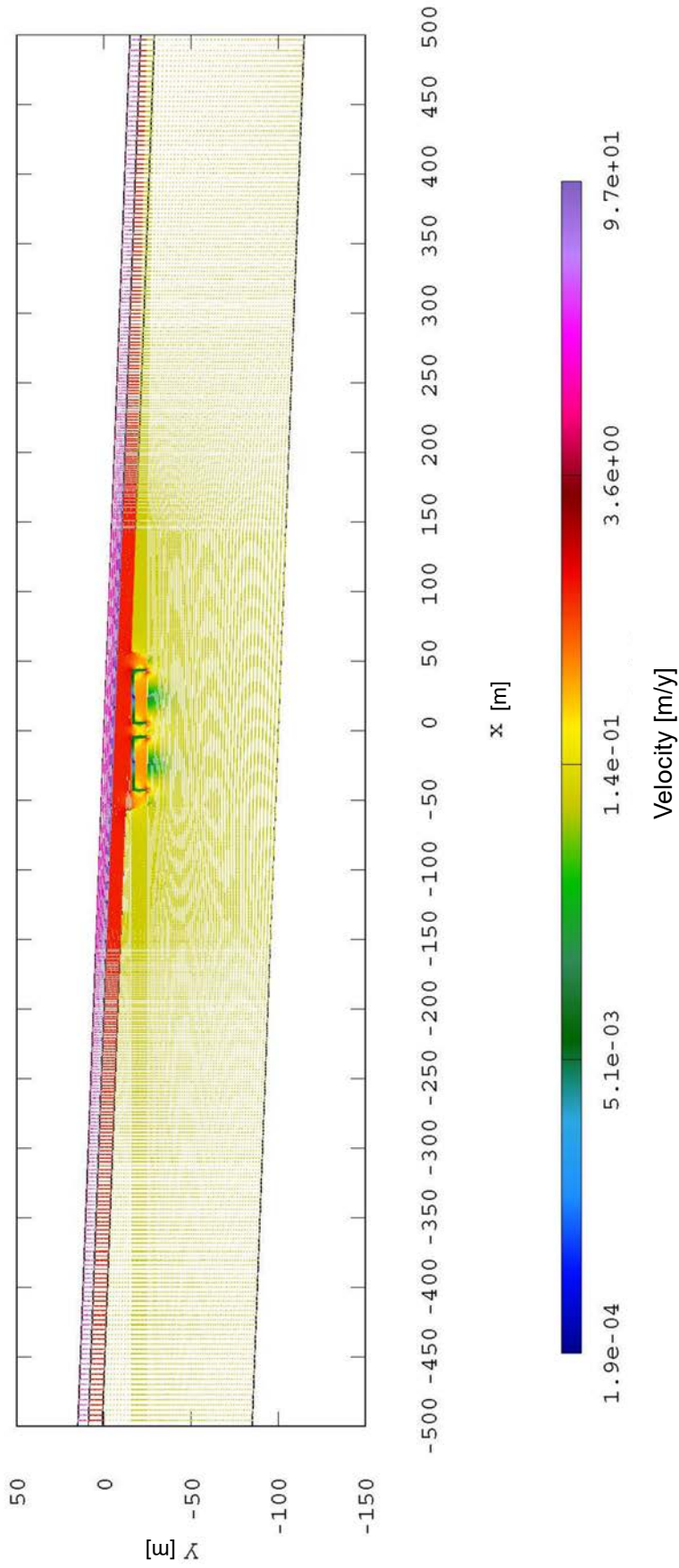
図付 2-6 感度解析モデルのコンクリートピット施設周辺の概略



図付 2-7 概念設計モデルの全水頭分布図

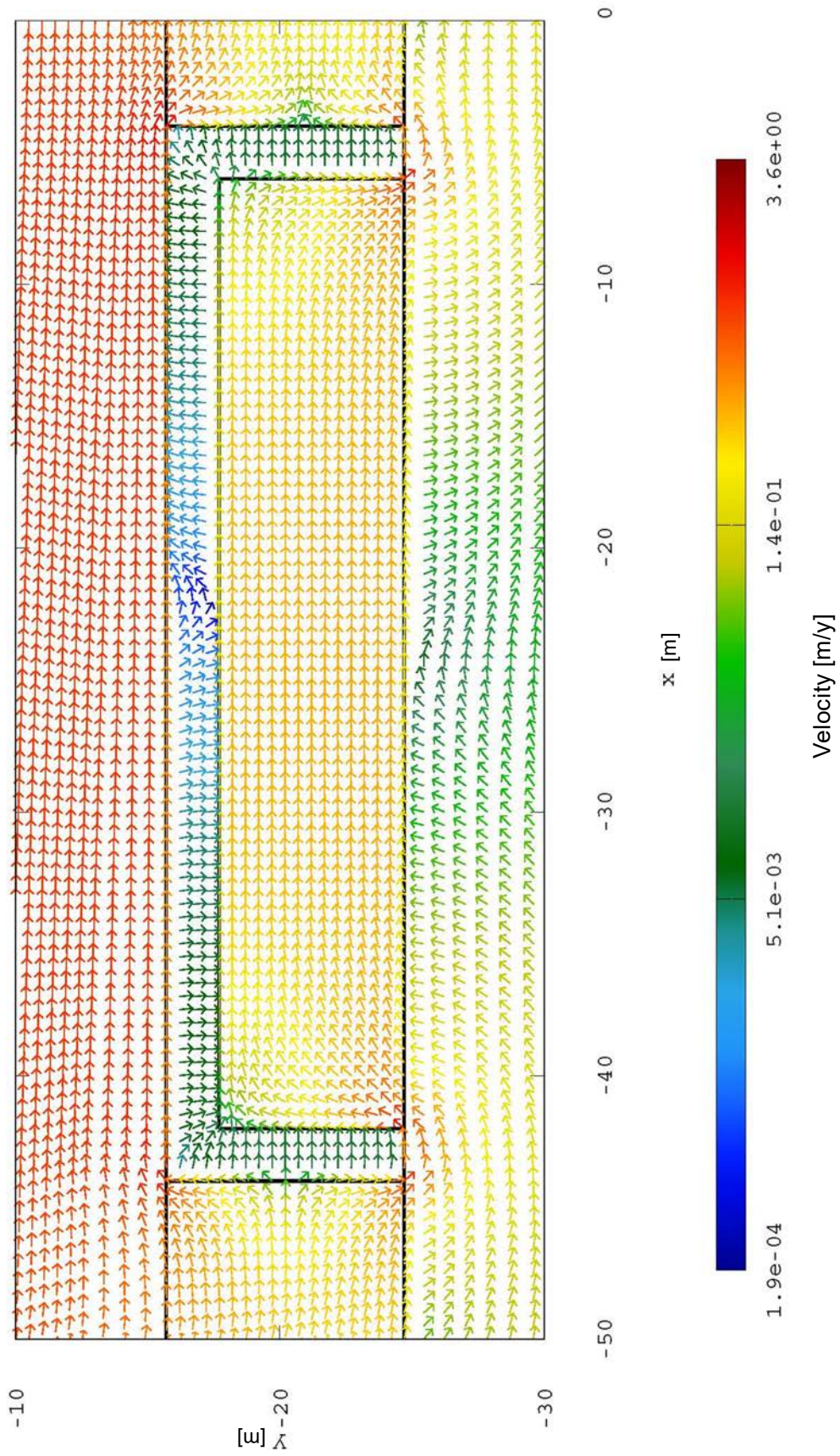


図付 2-8 感度解析モデルの全水頭分布図



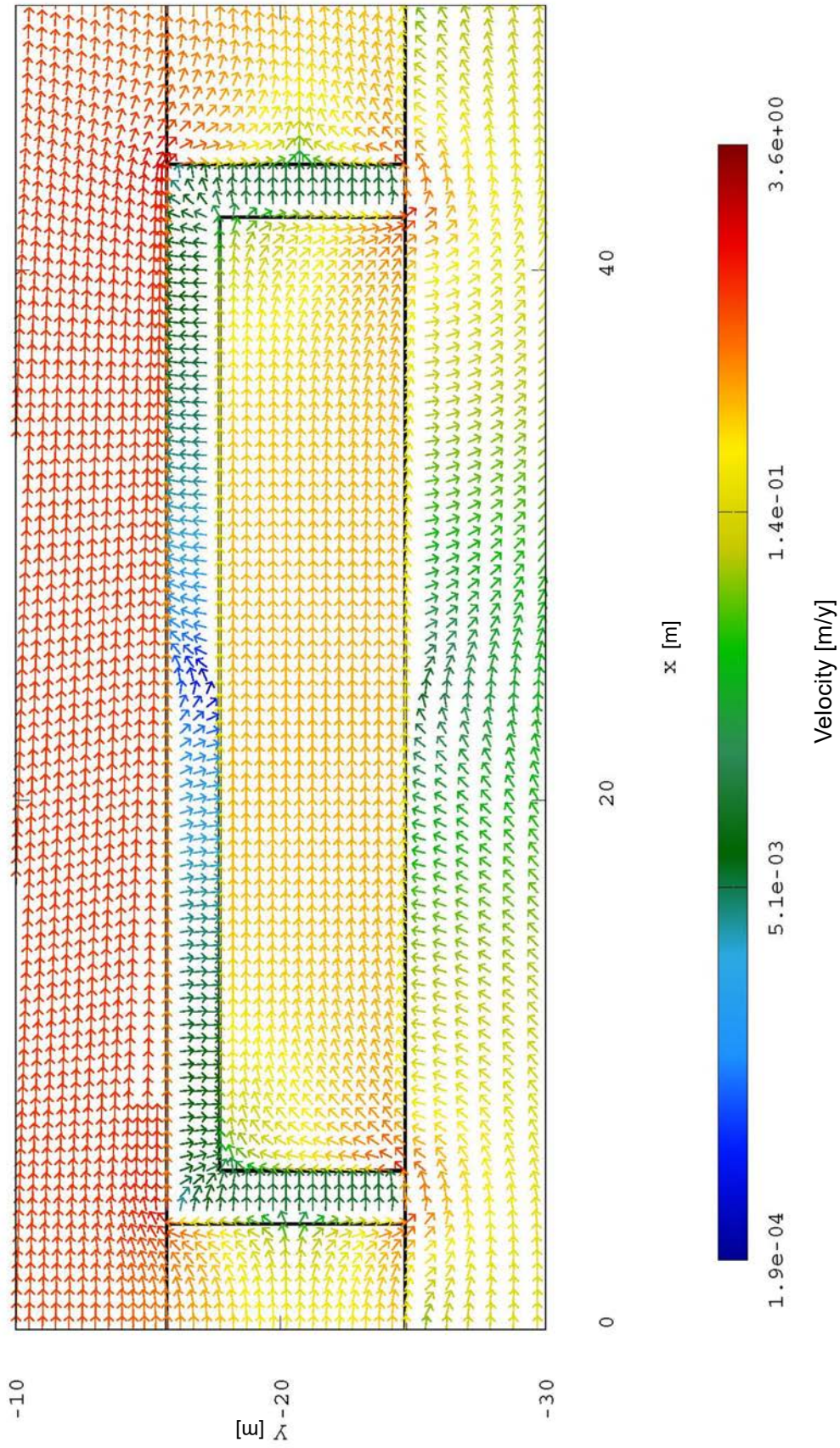
図付 2-9 概念設計モデルにおける流速・流向図（全体）

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。



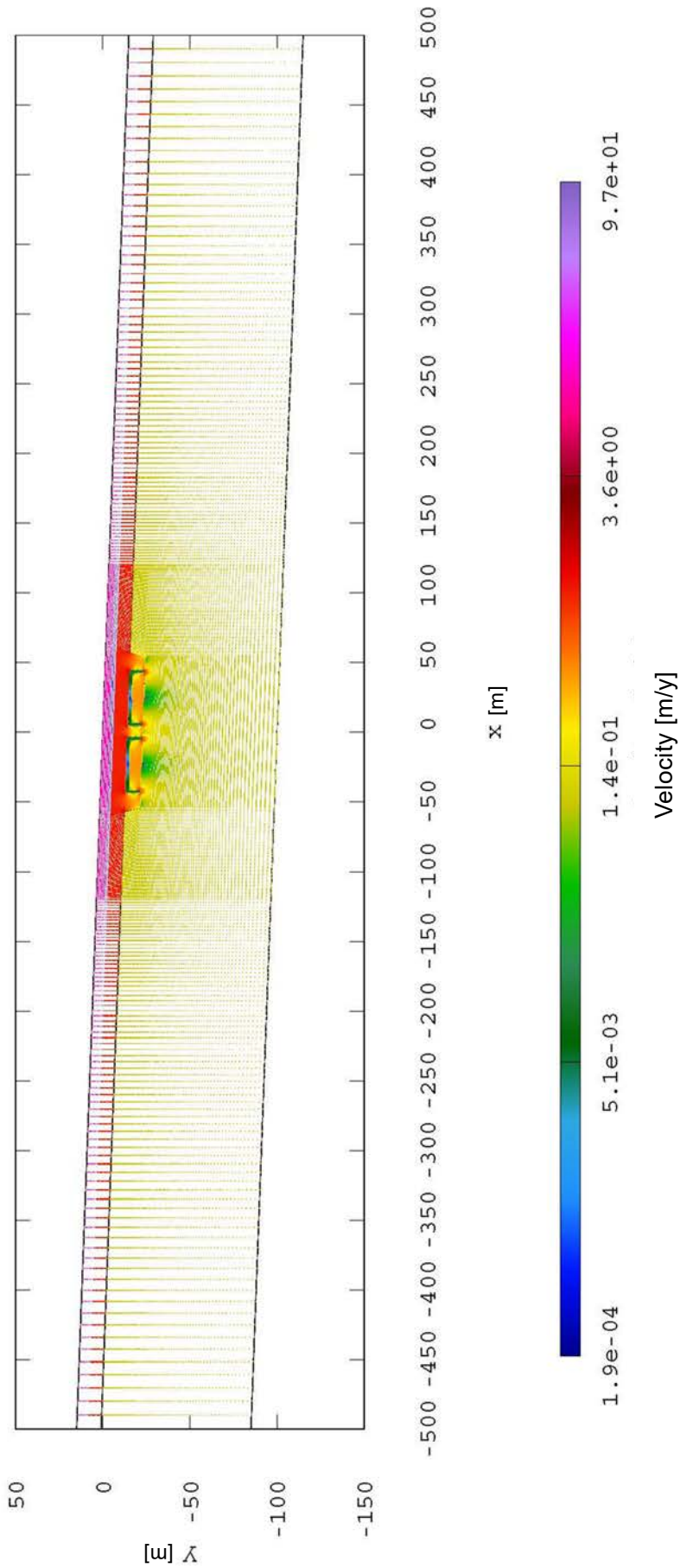
図付 2-10 概念設計モデルにおける流速・流向図 (ピット①拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。



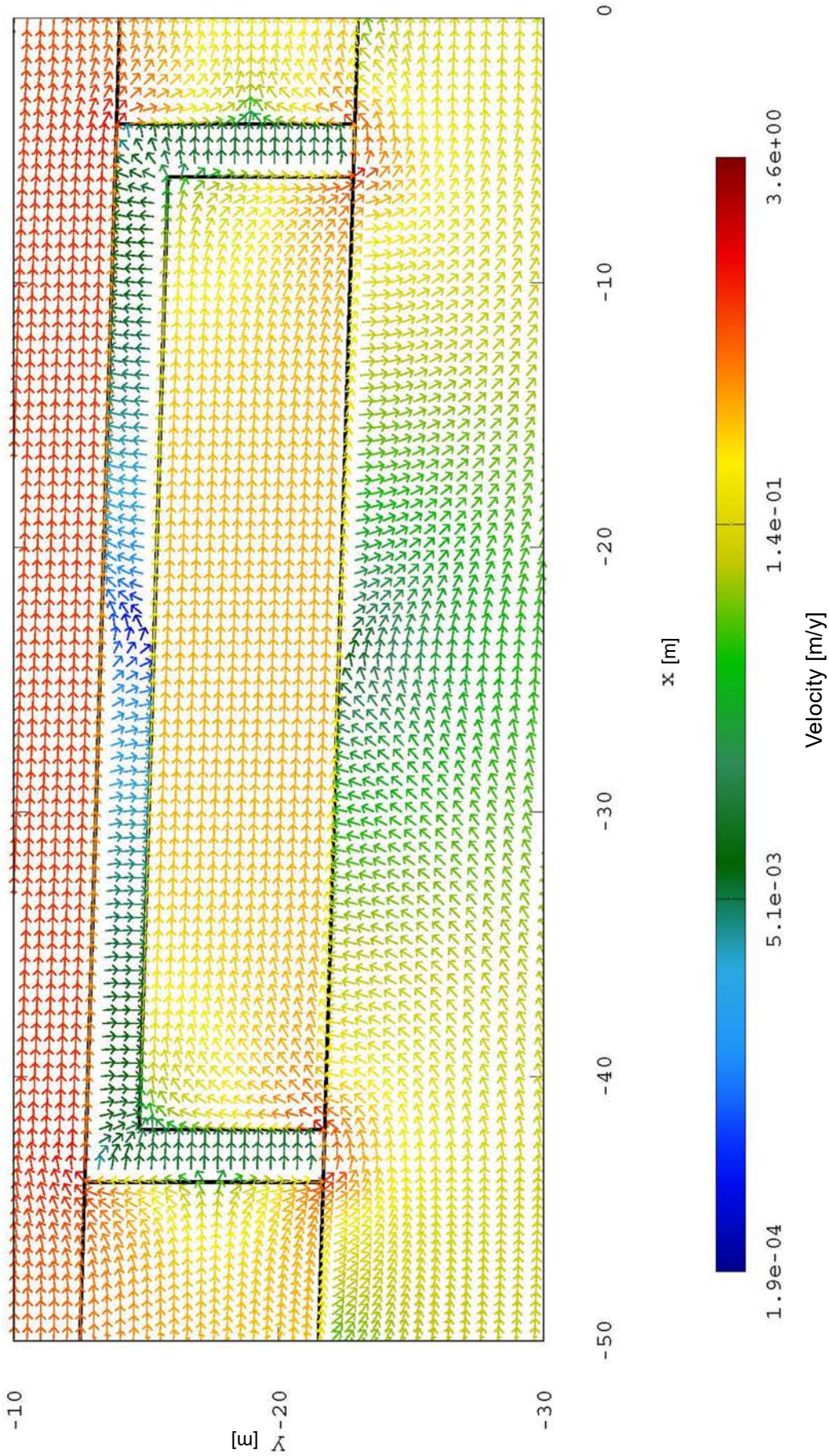
図付 2-11 概念設計モデルにおける流速・流向図（ピット②拡大）

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。



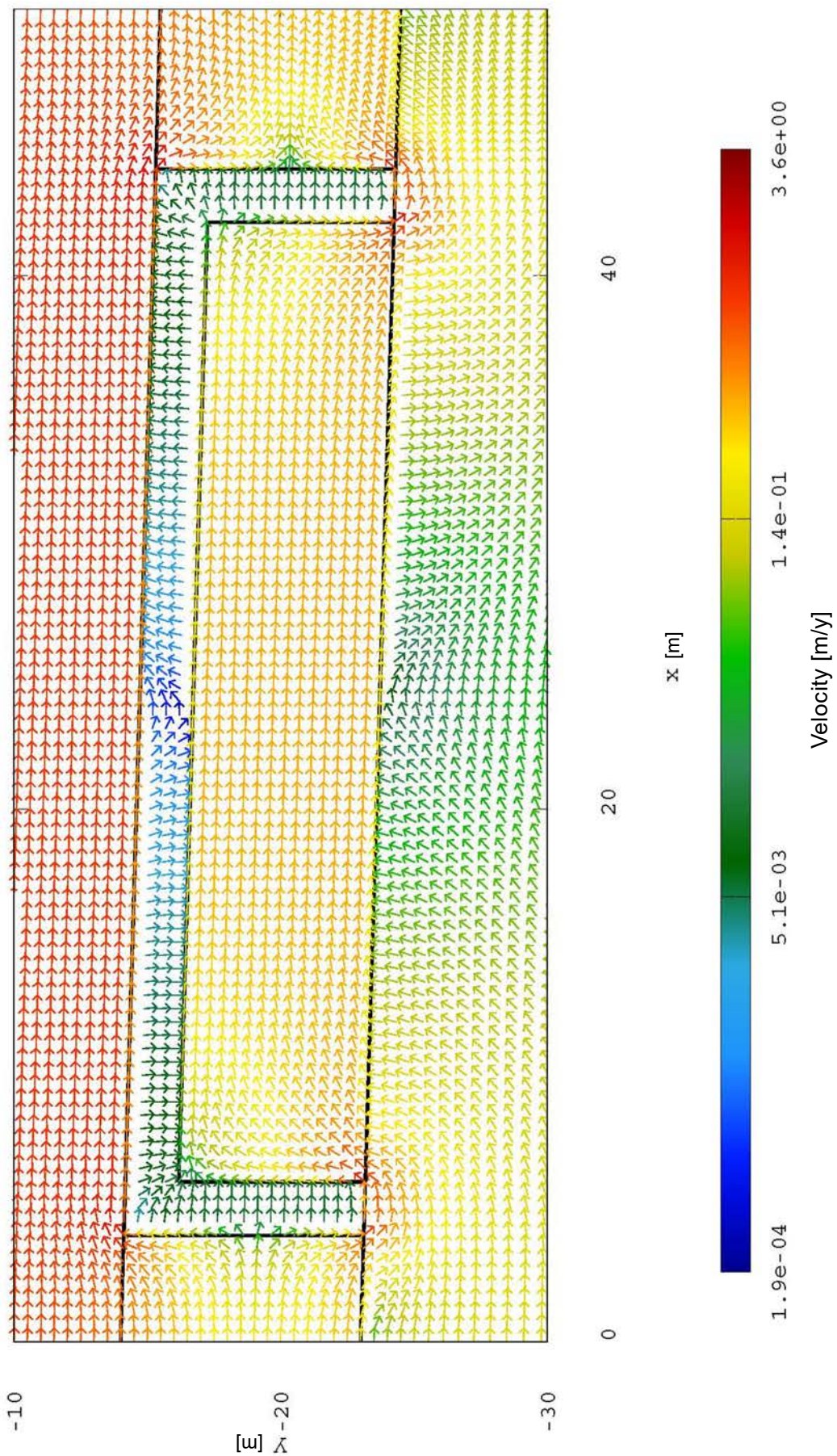
図付 2-12 感度解析モデルにおける流速・流向図（全体）

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。



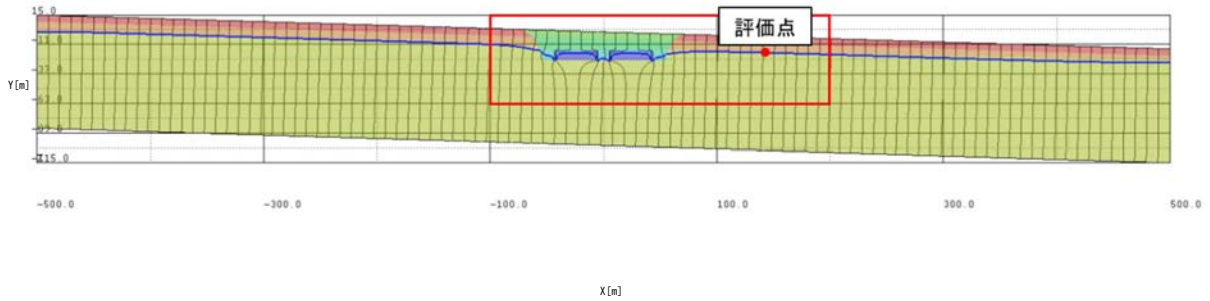
図付 2-13 感度解析モデルにおける流速・流向図 (ピット①拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

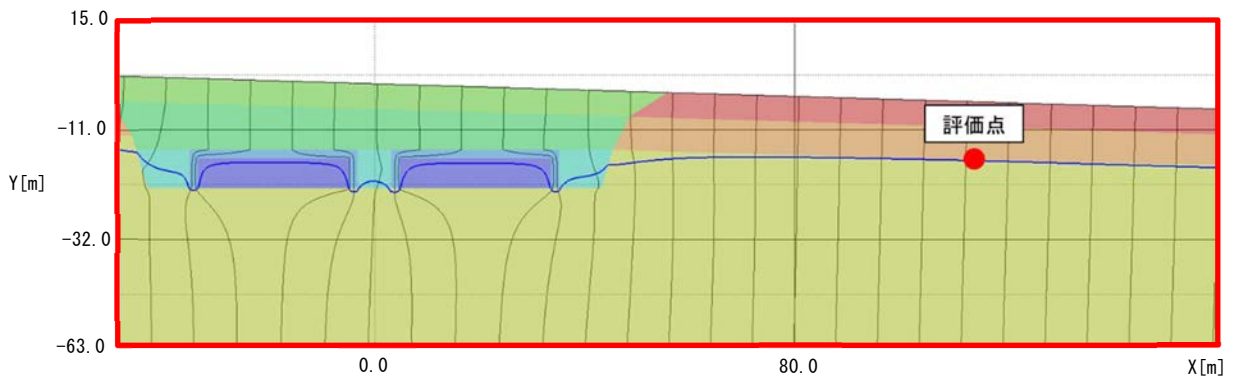


図付 2-14 感度解析モデルにおける流速・流向図 (ピット②拡大)

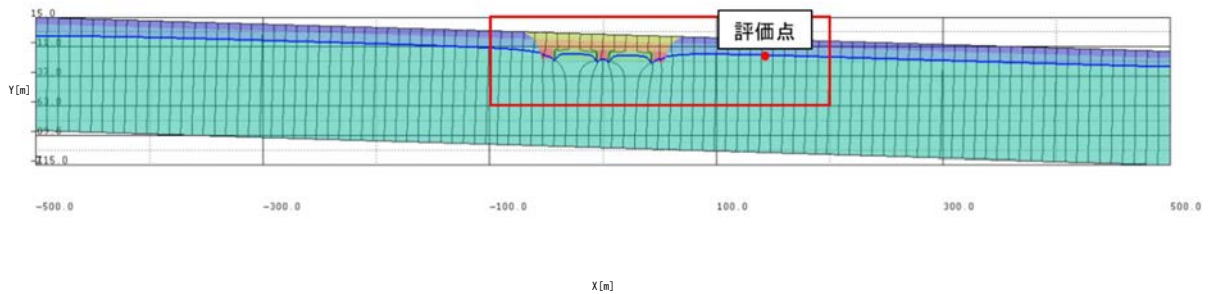
※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。(矢印の長さは関係ない。)



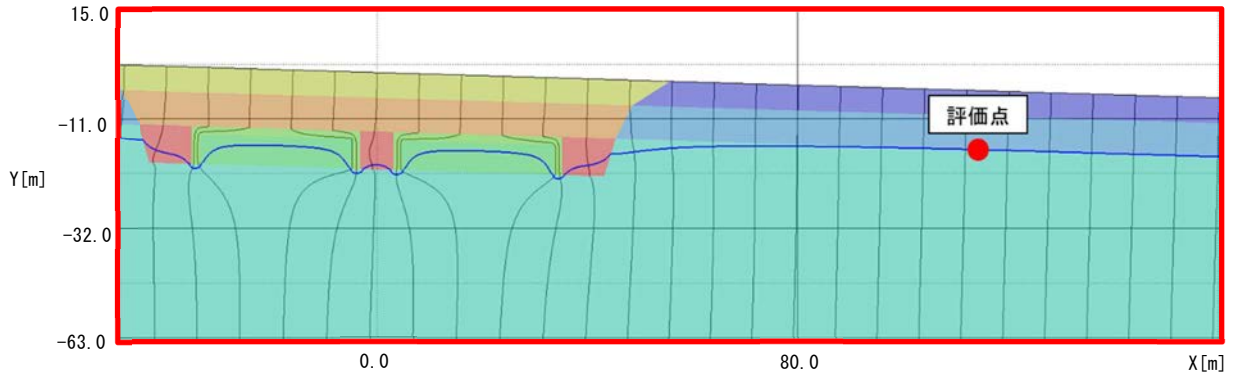
図付 2-15 概念設計モデルにおける評価点を通過する流跡線（全体）



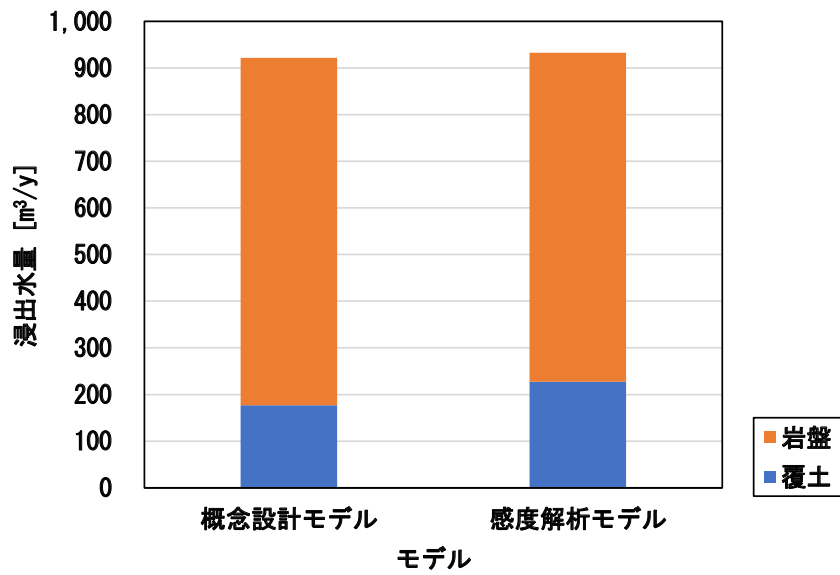
図付 2-16 概念設計モデルにおける評価点を通過する流跡線（拡大）



図付 2-17 感度解析モデルにおける評価点を通過する流跡線（全体）



図付 2-18 感度解析モデルにおける評価点を通過する流跡線（拡大）



図付 2-19 概念設計モデル及び感度解析モデルにおける浸出水量の移行評価

付録 2 参考文献

- 1) 天澤弘也他, 研究施設等廃棄物浅地中処分施設の概念設計, JAEA-Technology 2012-031, 2012, 338p.
- 2) 日本原燃株式会社, 廃棄物埋設施設における許可基準規則への適合性について (2020年5月), 2020.
- 3) 坂井章浩他, 研究施設等廃棄物浅地中処分施設の立地環境条件に関する感度解析, JAEA-Technology 2013-039, 2014, 228p.

付録3 コンクリートピット施設とモデル境界との距離の影響

コンクリートピット施設から浸出する地下水量を算出するために、コンクリートピット施設とそれを覆うベントナイト混合土または岩盤新鮮部の境界における流速を用いて計算している。そのため、解析モデルの大きさは、モデルの境界がコンクリートピット施設にほとんど影響しないように、本報告書ではコンクリートピット施設の約4倍としていた。解析モデルは、幅800[m]、上流側の深さが357[m]、下流側の深さが333[m]の底辺水平モデルと、モデルの底辺が傾斜したものであり、幅800[m]、深さは左右ともに357[m]の底辺傾斜モデルの底辺の境界の傾きが異なるモデルを用いた。解析の結果、この2つのモデルでは、コンクリートピット施設の各面の浸入及び浸出水量についてほとんど差はなかったが、評価点での覆土または岩盤へ移行する浸出水量に違いが生じていた。従って、底辺の傾きが異なることにより、結果に違いが生じることが分かった。

そして、付録2において、縦100[m]、幅1000[m]の底辺が傾斜した概念設計モデルにて解析を行った。算出したコンクリートピット施設の浸入及び浸出水量、評価点での覆土及び岩盤へ移行する浸出水量は、同じ底辺が傾斜しているモデルである底辺傾斜モデルと異なる結果となっていた。この理由としては、コンクリートピット施設と底辺及び側辺境界の距離が異なっていることが挙げられた。

そこで、新たに、底辺傾斜モデルを縦100[m]、幅800[m]へと変形させたモデルを作成して解析を行うこととした。概略図を図付3-1に示す。この新たに作成したモデルと、底辺傾斜モデル及び概念設計モデルの解析結果とを比較することにより、境界の違いによる結果への影響について検討することとした。

解析モデル

比較する解析モデルとして、先に述べた通り、本報告書4.1に示した縦300[m]、幅800[m]の底辺傾斜モデルと、縦100[m]、幅800[m]に変更した底辺傾斜モデルの2つを用いることとした。底辺傾斜モデルを変形させた解析モデルのメッシュ図を図付3-2に示す。これは、底辺傾斜モデルの下方の200[m]分を切り取って作成したことから、コンクリートピット施設や覆土等の位置及びメッシュの切り方は底辺傾斜モデルと同じであるため、概念設計モデルとは、モデルの幅だけではなく、メッシュの切り方も異なっている。

解析パラメータ

解析で設定したパラメータを表付3-1に示す。本報告書4.3で示したパラメータと同様の値を設定して解析を実施することとした。

解析結果

全水頭分布

変形させた底辺傾斜モデルの全水頭分布を図付 3-3 に示す。

変形させた底辺傾斜モデルの全水頭分布図も、水頭値がモデルの左側の全水頭値の方が右側よりも高くなっていた。このことから、モデルの左側から右側の方へ水が流れるような分布となっていることが分かる。以下、本報告書と同様に、モデル左側を「上流側」、モデル右側を「下流側」とする。また、本報告書の 4.4.1 に示した図 4-4 の底辺傾斜モデルの全水頭分布と比較すると、下流側のピット②周辺の分布が異なっていることが分かる。このことから、モデル底辺の境界が異なることにより、流動場が変化することが分かる。さらに、付録 2 の図付 2-2 の概念設計モデルの全水頭分布図と比較しても、下流側のピット②周辺の全水頭分布が異なっていることから、モデル側辺の境界が異なることによっても、底辺と同様に、流動場が変わることが分かる。

ピットの浸入・浸出水量

変形させた底辺傾斜モデルにおけるコンクリートピット施設の各面の浸入及び浸出水量を表付 3-2 に示す。

本報告書の 4.4.2 の底辺傾斜モデルの結果と比較すると、大きな差は見られなかった。しかし、付録 2 の概念設計モデルの結果と比較すると、底面の浸入及び浸出水量については約 $30[\text{m}^3/\text{y}]$ 、合計では約 $20[\text{m}^3/\text{y}]$ 増加する結果となっていた。このことから、付録 2 において、底辺傾斜モデルと概念設計モデルとで、浸入及び浸出水量に違いが生じた理由として、モデル側辺の境界によるものであると考えられる。

地下水の流速及び流向

変形させた底辺傾斜モデルの流速及び流向図を図付 3-4 に、また、ピット①及びピット②周辺の拡大したものを図付 3-5 及び図付 3-6 に示す。

本解析 4.4.2 及び付録 2 の解析結果と比較しても、全体及びピット①、ピット②の拡大図のいずれにおいても流速及び流向に大きな差は見られなかった。

コンクリートピット施設からの浸出水量の覆土及び岩盤の移行評価

変形させた底辺傾斜モデルにおける、コンクリートピット施設から評価点 $100[\text{m}]$ の地点、且つ、岩盤風化部及び岩盤新鮮部の境界の座標を通過する流跡線を、全体図を図付 3-7、その拡大図を図付 3-8 に示す。

流跡線は、岩盤風化部と岩盤新鮮部の境界からスタートし、そのまま境界をたどって側部覆土を通過し、一度岩盤新鮮部を通過して、底辺からピット①へ浸入し、そして底辺ピット②から浸出し、側部覆土を通過して、評価点へ流れていた。評価点を通過したあとは、岩盤風化部と岩盤新鮮部の境界をたどっていた。

この結果は、底辺傾斜モデル及び概念設計モデルと比較しても大きな違いは見られなかった。

流跡線の結果を用いて算出した、コンクリートピット施設からの浸出水量の合計値と、線量評価を行う際の評価地点 100[m]における覆土または岩盤へ移行する浸出水量の計算結果を表付 3-3、それをグラフ化したものを図付 3-9 に示す。

変形させた底辺傾斜モデルと本報告書で解析を実施した 4.4.4 の底辺傾斜モデルとでは、浸出水量の合計値に変化は見られなかった。しかし、覆土及び岩盤へ移行する水量は、変形させたモデルでは覆土へ約 18[%]、岩盤へ約 82[%]、底辺傾斜モデルでは覆土へ約 26[%]、岩盤へ約 74[%]となり、底辺傾斜モデルの方が覆土へ流れやすい流動場となっていることが分かった。これは、底辺の境界の違いによる影響と考えられる。

また、変形させた底辺傾斜モデルと付録 2 の表付 2-2 の概念設計モデルの結果を比較すると、合計値は概念設計モデルの方が約 20[m³/y]少なくなっていた。概念設計モデルの覆土または岩盤への移行水量は、覆土へ約 20[%]、岩盤へ約 80[%]と変形させた底辺傾斜モデルの結果と近い割合となっていた。

従って、コンクリートピット施設から浸出した覆土または岩盤へ移行する水量は、モデル底辺境界の影響を受けるが、側辺境界の影響はほとんどないと考えられる。

検討結果

モデルの境界の違いによる結果への影響を調べるために、底辺傾斜モデルの底辺を変形させたモデルを新たに作成し、解析を行った。

その結果、コンクリートピット施設の各面における浸入及び浸出水量については、底辺傾斜モデルとほとんど違いは見られなかったが、概念設計モデルとは、底面について約 30[m³/y]、合計では約 20[m³/y]増加していた。対して、コンクリートピット施設からの浸出水量と評価点における覆土及び岩盤へ移行する浸出水量については、変形させたモデルでは覆土へ約 18[%]、岩盤へ約 82[%]となり、概念設計モデルの結果に近かったが、底辺傾斜モデルでは覆土へ約 26[%]、岩盤へ約 74[%]と 5[%]以上の差が生じていた。

本検討において、解析モデルの境界のうち、底辺を変更すると、評価点における覆土及び岩盤へ移行する浸出水量に差が生じ、側辺を変更すると、コンクリートピット施設の各面の浸入及び浸出水量に違いが生じることが分かった。従って、解析の目的及び条件に応じて、モデルの概形を設定する必要があると考えられる。

表付 3-1 変形させた底辺傾斜モデルの解析で用いたパラメータ

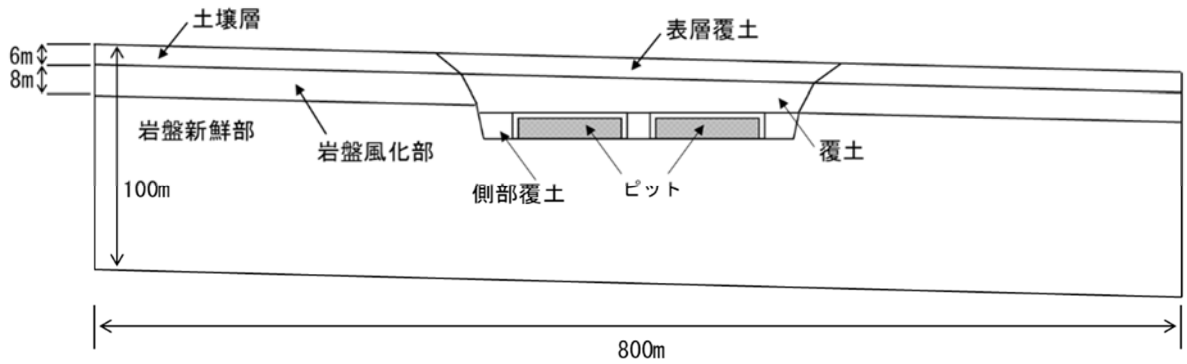
	透水係数[m/s]	間隙率[-]
コンクリートピット	1.0E-05	0.35
ベントナイト混合土	1.0E-09	0.46
表層覆土	1.0E-04	0.46
覆土	1.0E-06	0.46
側部覆土	1.0E-06	0.46
土壌層	1.0E-04	0.46
岩盤風化部	1.0E-06	0.46
岩盤新鮮部	1.0E-07	0.47

表付 3-2 変形させた底辺傾斜モデルの浸入及び浸出水量

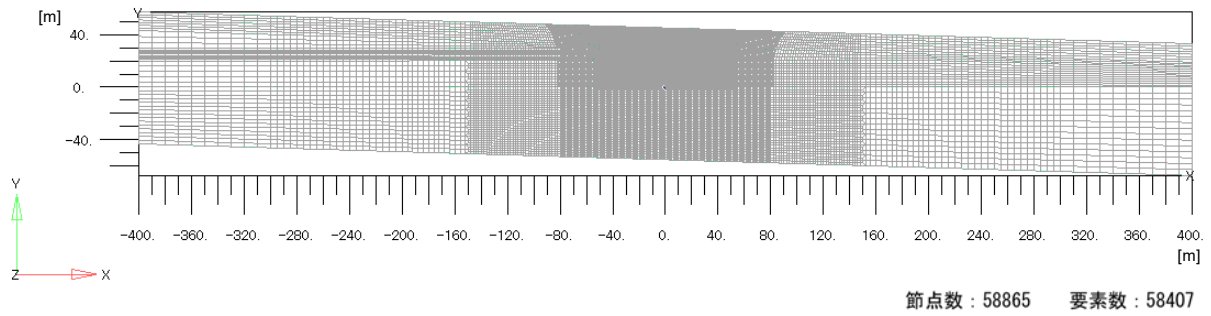
地下水が 浸入・浸出する面	流量[m ³ /y]			
	ピット①		ピット②	
	浸入	浸出	浸入	浸出
上面	24	12	19	17
側面（上流）	120	0	120	0
側面（下流）	0	110	0	120
底面	780	800	800	800
合計	930	930	940	940

表付 3-3 形の異なるモデル別の覆土・岩盤へ移行する浸出水量

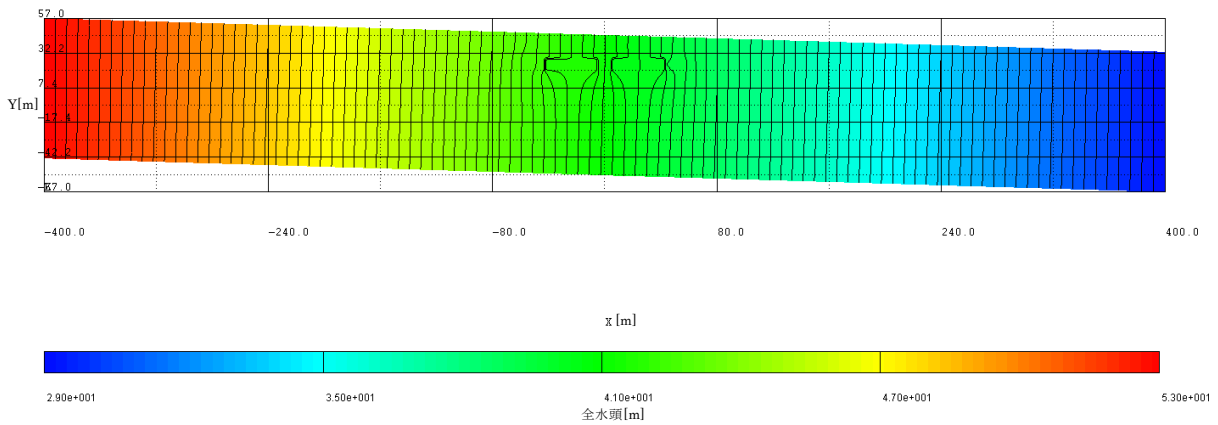
	浸出水量[m ³ /y]		
	変形させた 底辺傾斜モデル	底辺傾斜モデル	概念設計モデル
覆土	170	240	180
岩盤	770	700	740
合計	940	940	920



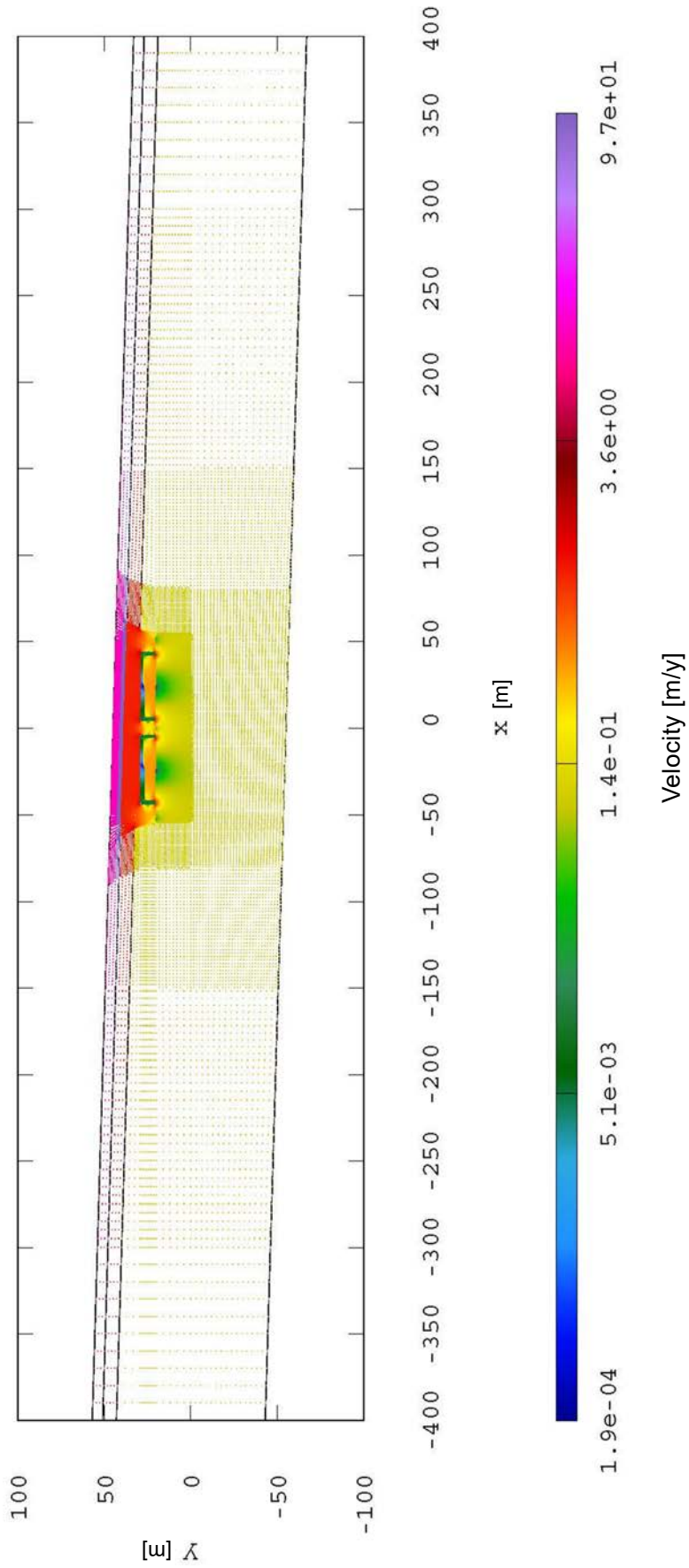
図付 3-1 変形させた底辺傾斜モデルの概略



図付 3-2 変形させた底辺傾斜モデルのメッシュ図

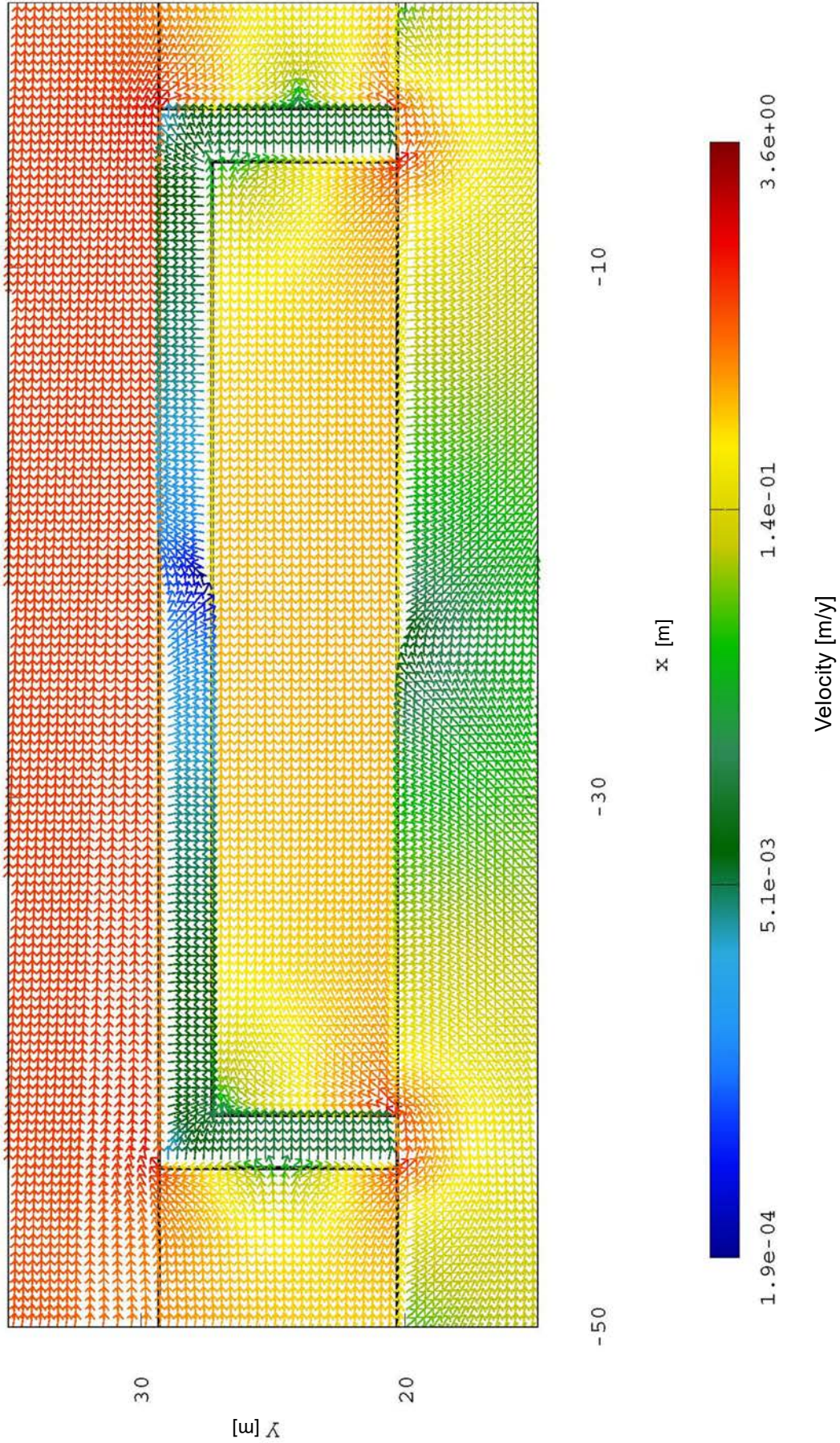


図付 3-3 変形させた底辺傾斜モデルの全水頭分布図



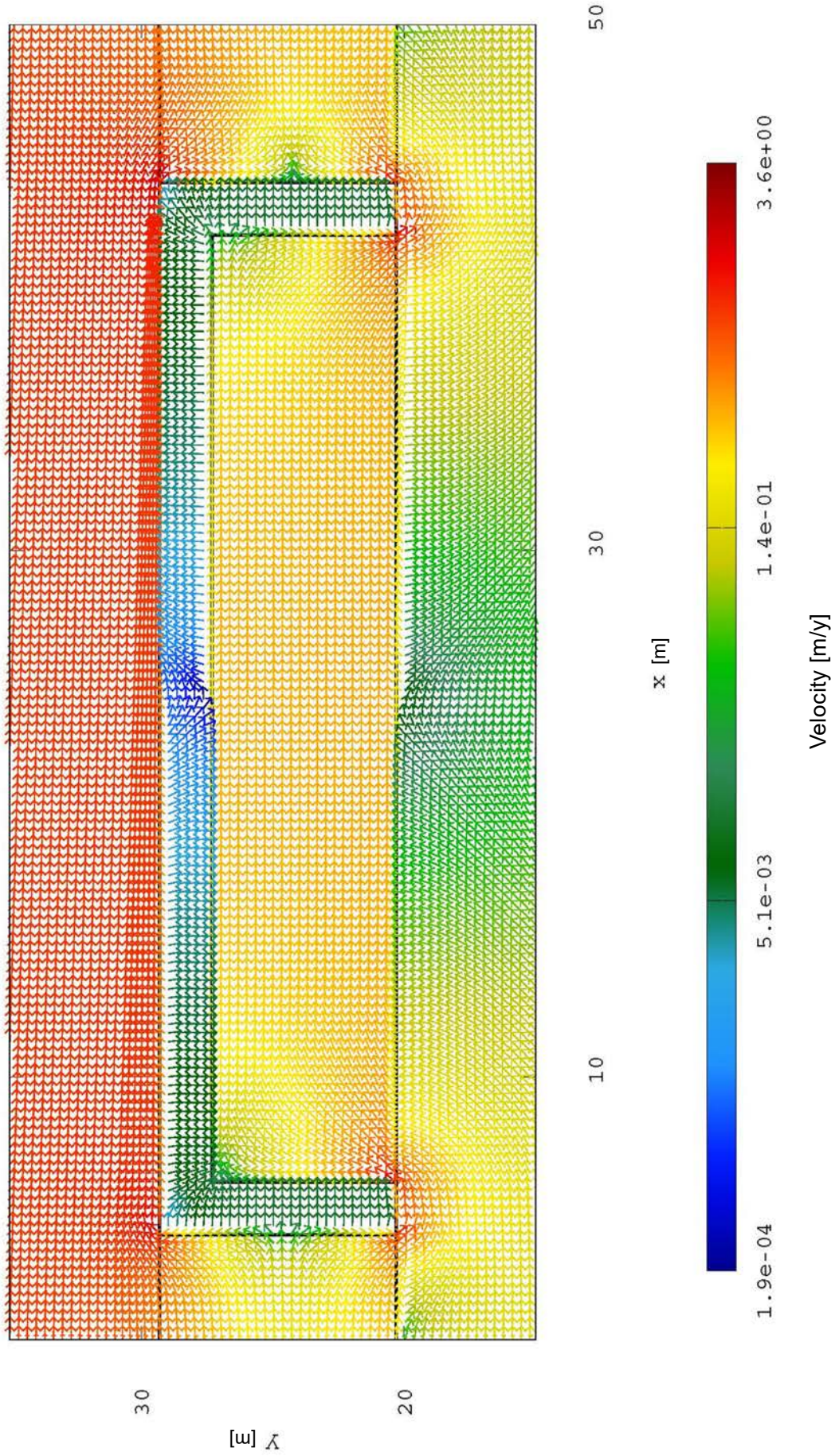
図付 3-4 変形させた底辺傾斜モデルにおける流速・流向図 (全体)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。



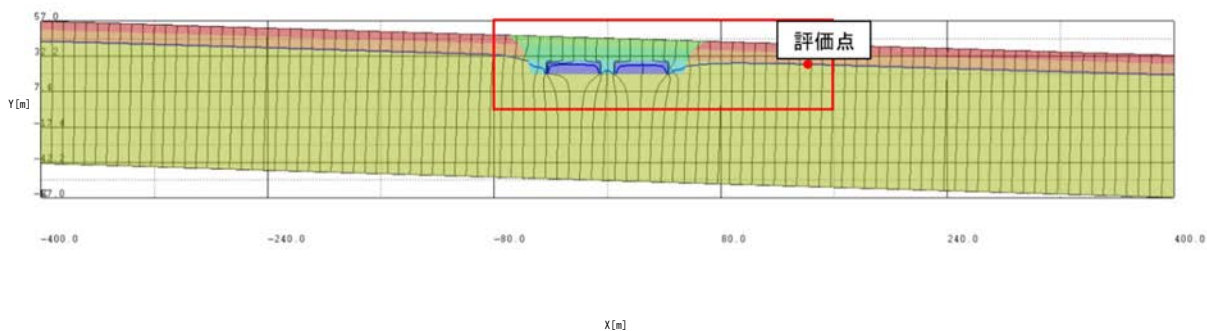
図付 3-5 変形させた底辺傾斜モデルにおける流速・流向図（ピット①拡大）

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

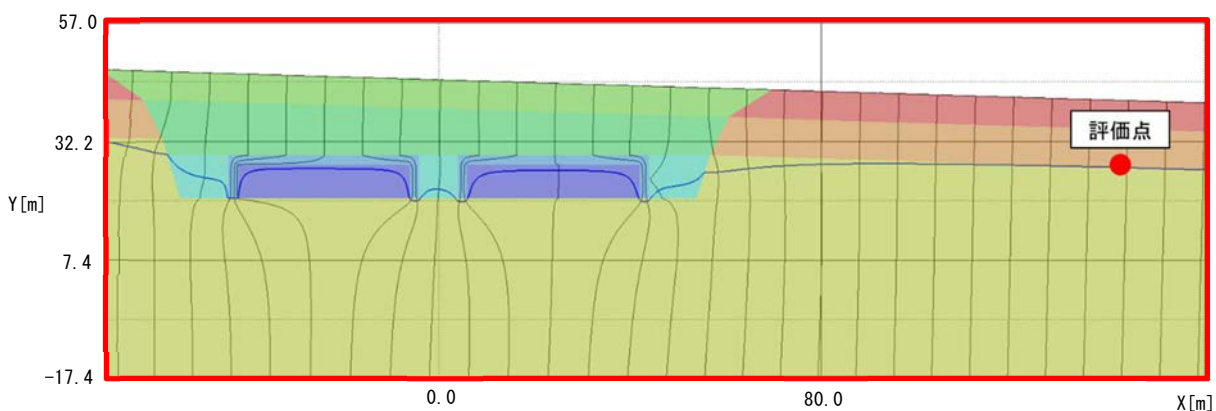


図付 3-6 変形させた底辺傾斜モデルにおける流速・流向図（ピット②拡大）

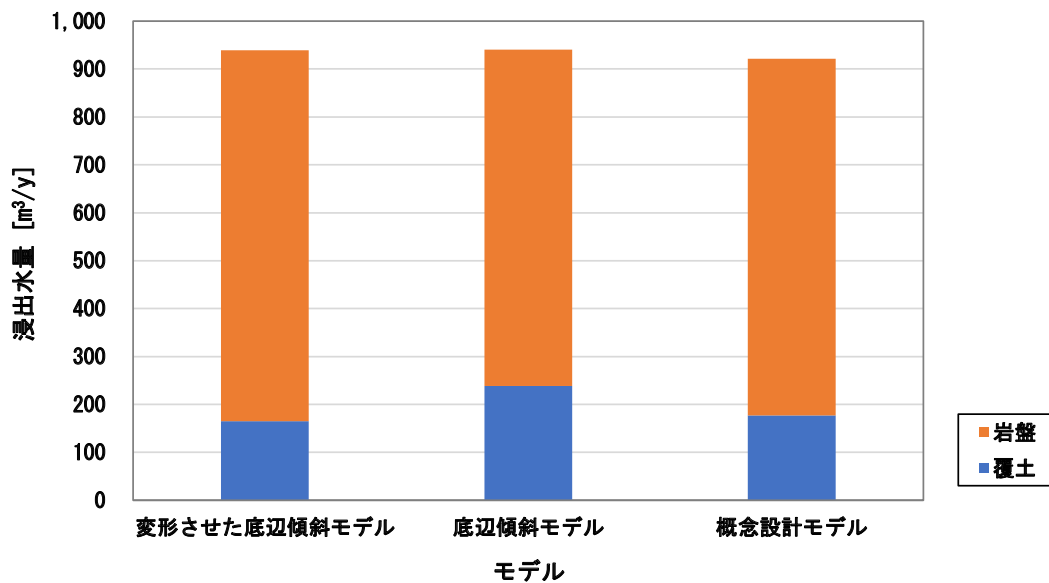
※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。



図付 3-7 変形させた底辺傾斜モデルにおける評価点を通過する流跡線（全体）



図付 3-8 変形させた底辺傾斜モデルにおける評価点を通過する流跡線（拡大）



図付 3-9 形の異なるモデル別の浸出水量の移行評価

付録4 降雨によるモデル上部からの浸透水量の検討

地下水の流れに影響を及ぼすと考えられる自然現象として、降雨による表層からの浸透水量がある。本報告書及び付録で行ってきた解析では、浸透水量のパラメータを設定していなかった。そこで、浸透水量のパラメータを設定し解析を行、浸透水量による地下水流動の変化について検討することとした。

解析モデル

解析モデルとしては、本報告書での解析に用いた底辺水平モデルを用いて計算を行うこととした。また、浸透水量の設定は、モデル上辺の境界条件として入力することとした。

解析パラメータ

解析で設定したパラメータを表付 4-1 に示す。本報告書 4.3 で示したパラメータと同様の値を設定して解析を実施することとした。また、表層からの浸透水量は、一般的な立地環境条件を調査した報告書より、 $0.6[\text{m/y}]$ とすることとし、常にモデル内の流動場へ流入している状態を仮定して実施することとした。

解析結果

全水頭分布

浸透水量 $0.6[\text{m/y}]$ の場合における全水頭分布を図付 4-1 に示す。

全水頭分布は、本報告書の 4.4.1 の図 4-5 の結果で示した全水頭分布と異なった分布となっていた。水頭値がモデルの上流側の全水頭値の方がモデル下流側よりも高くなっていたことはこれまでの解析結果と同様であったが、全水頭の等高線が上流側に湾曲していて、さらに、下流側の方が等高線の間隔が狭まっていた。このことから、上流から下流へ流速が徐々に速くなる分布となっていた。これは、実際は、モデル外からも降雨による浸透水量が存在するのに対し、本解析の条件ではモデル領域にのみ、上辺からの浸透水量の境界条件を入力していることにより、モデル中に存在する水量に偏りができたと考えられる。また、本解析の地下水位の条件の入力方法として、側辺上に地下水位を固定しているため、境界条件として地下水位を設定している維持しながら増加した水を考慮した流れとなり、モデル中央部の水位が上昇するような結果が得られたと考えられる。

地下水の流速及び流向

浸透水量 600[mm/y]ときのモデル全体の流速及び流向図を図付 4-2 に、また、ピット①及びピット②周辺の拡大したものを図付 4-3 及び図付 4-4 に示す。

本解析結果の図 4-7 と比較すると、土壌層の流速が非常に速い領域が大きくなっていた。これは、浸透水量分の水量の増加による影響と考えられる。また、モデルの上流側の流速と下流側の流速とでは、下流側の流速の方が速くなっていた。これは、先述した全水頭分布図の結果と一致している。

一方、各ピットの周辺を拡大した図では、本解析の結果である図 4-9～12 と比較すると、コンクリートピット施設上部のベントナイト混合土領域の流向が、上流側にある矢印が下向きになっていることは変わらないが、下流側で矢印が反転する位置が、より下流側になっていることが分かる。これは、コンクリートピット施設の上部の地下水が浸入する領域の方が多く、浸出する領域が小さいことということである。この理由としては、上部からの浸透水量により、先述の全水頭分布図から、コンクリートピット施設周辺では動水勾配の 3[%]よりも傾きが大きく、よりモデルの深層部方向へ流れやすい環境となったため考えられる。

ピットの浸入・浸出水量

浸透水量 0.6[m/y]の場合におけるコンクリートピット施設の各面の浸入及び浸出水量を表付 4-2 に示す。

各面についての上面及び底面については浸入水量と浸出水量を、側面については、同じピット内の上流と下流の水量を比較した。上面については、浸入量より浸出水量の方が減少し、側面についても、上流より下流の水量の方が少ない結果となっていた。一方、底面については、浸入水量より浸出水量の方が増加する結果となっていた。このことから、浸透水量の影響により、上から下への水の流れができたと考えられる。

コンクリートピット施設からの浸出水量の覆土及び岩盤への移行評価

浸透水量 0.6[m/y]のときの底辺水平モデルにおける、コンクリートピット施設から評価点 100[m]の地点、且つ、岩盤風化部及び岩盤新鮮部の境界の座標を通過する流跡線を、全体図を図付 4-5、その拡大図を図付 4-6 に示す。

流跡線は、土壌層と岩盤風化部の境界からスタートし、そのまま境界をたどってコンクリートピット施設へ近づくと、岩盤風化部へ浸入し、側部覆土を通過し、覆土を通過して、コンクリートピット施設を通過することなく評価点へ流れていた。評価点を通過したあとは、岩盤新鮮部へ流れ、より深部へ流れていた。評価点を通過後、岩盤新鮮部へ流れた原因としては、浸透水量のパラメータが追加されたことにより、上から下への水の流れが追加されたためと考えられる。

流跡線の結果を用いて算出した、コンクリートピット施設からの浸出水量の合計値と、線量評価を行う際の評価地点 100[m]における覆土または岩盤へ移行する浸出水量の計算結果を浸透水量ナシの底辺水平モデルと共に表付 4-3 に示す。

浸透水量ナシの場合では、覆土へ約 30[%]、岩盤へ約 70[%]流れる結果となっていたが、浸

透水量 0.6[m/y]の場合では、コンクリートピット施設から浸出した水量は覆土へは流れず。すべて岩盤へ流れる結果となった。これは、流跡線からもわかる通り、浸透水量の影響により、上から下への水の流れが加わったことによるものと考えられる。

検討結果

本検討より、モデル上辺に浸透水量 0.6[m/y]の境界条件を追加したことにより、モデル領域のみ浸透水量が存在することにより、全水頭分布に歪みが生じた。また、コンクリートピット施設からの浸出水量は、浸透水による下方方向への流向が追加されたことにより、評価点ではすべて岩盤へ移行する結果となった。

以上より、浸透水量を考慮した地下水流動解析を実施する際、降雨が発生している領域を考慮してモデルを作成する必要があると考えられる。

表付 4-1 浸透水量を考慮した解析で用いたパラメータ

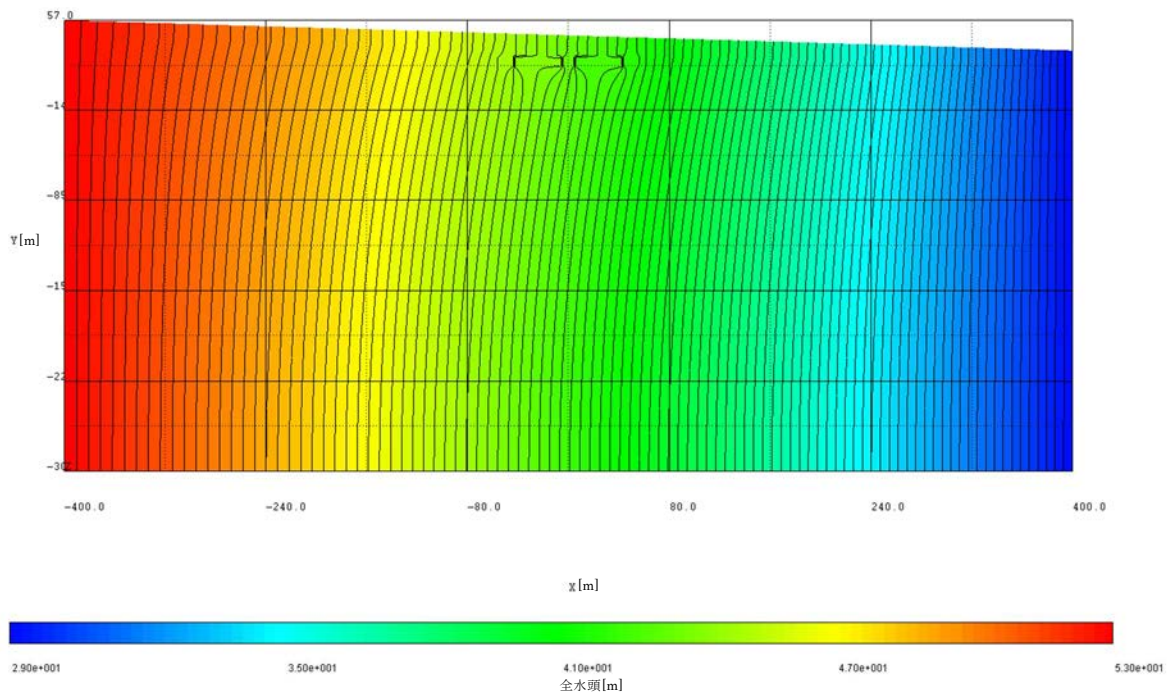
	透水係数[m/s]	間隙率[-]
コンクリートピット	1.0E-05	0.35
ベントナイト混合土	1.0E-09	0.46
表層覆土	1.0E-04	0.46
覆土	1.0E-06	0.46
側部覆土	1.0E-06	0.46
土壌層	1.0E-04	0.46
岩盤風化部	1.0E-06	0.46
岩盤新鮮部	1.0E-07	0.47

表付 4-2 浸透水量 0.6[m/y]における浸入及び浸出水量

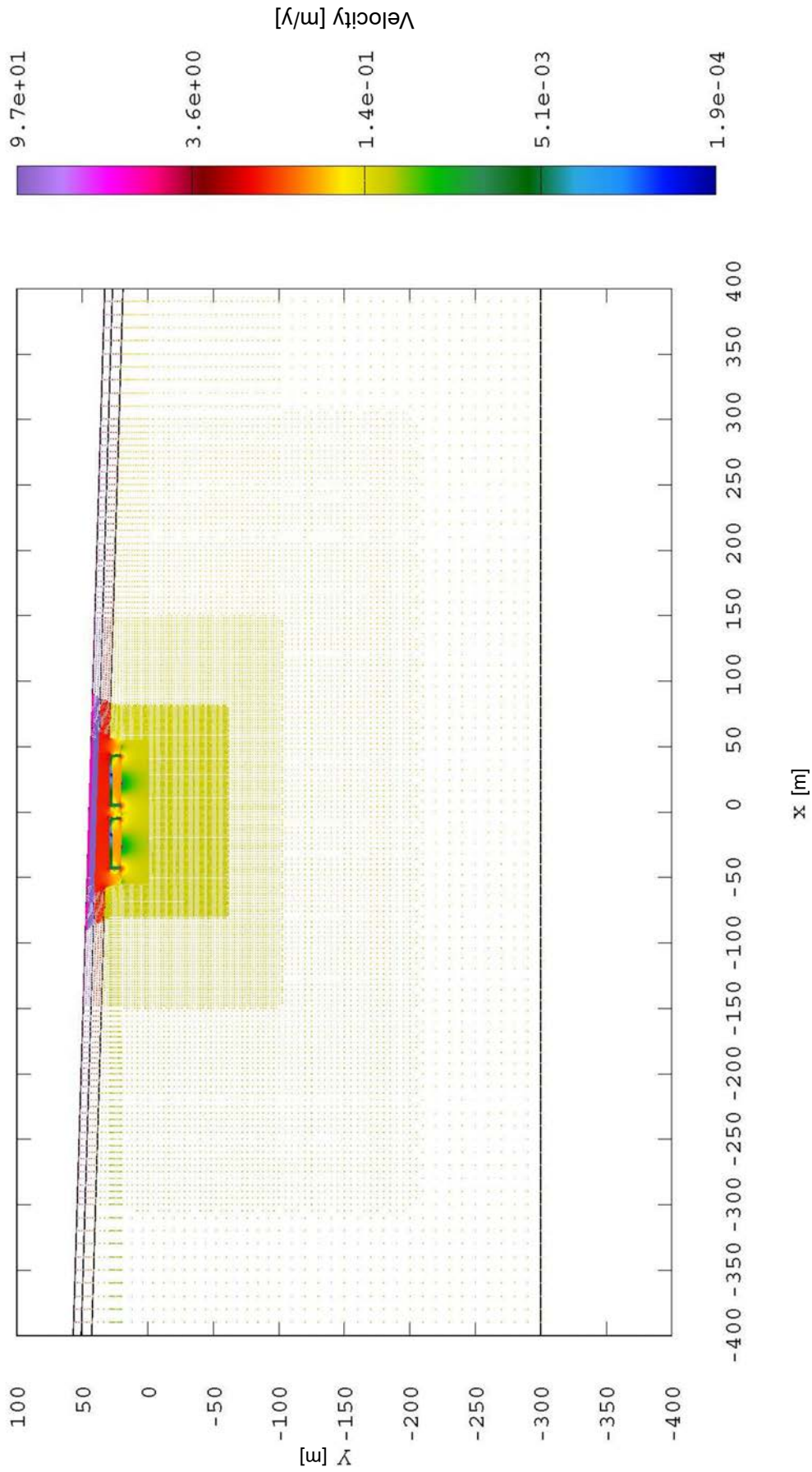
地下水が 浸入・浸出する面	流量[m ³ /y]			
	ピット①		ピット②	
	浸入	浸出	浸入	浸出
上面	41	3.3	35	6.8
側面（上流）	130	0	130	0
側面（下流）	0	98	0	110
底面	750	830	790	840
合計	930	930	950	960

表付 4-3 浸透水量を考慮したときの覆土・岩盤へ移行する浸出水量

	浸出水量[m ³ /y]	
	浸透水量 0.0[m/y]	浸透水量 0.6[m/y]
覆土	290	0
岩盤	650	990
合計	940	990

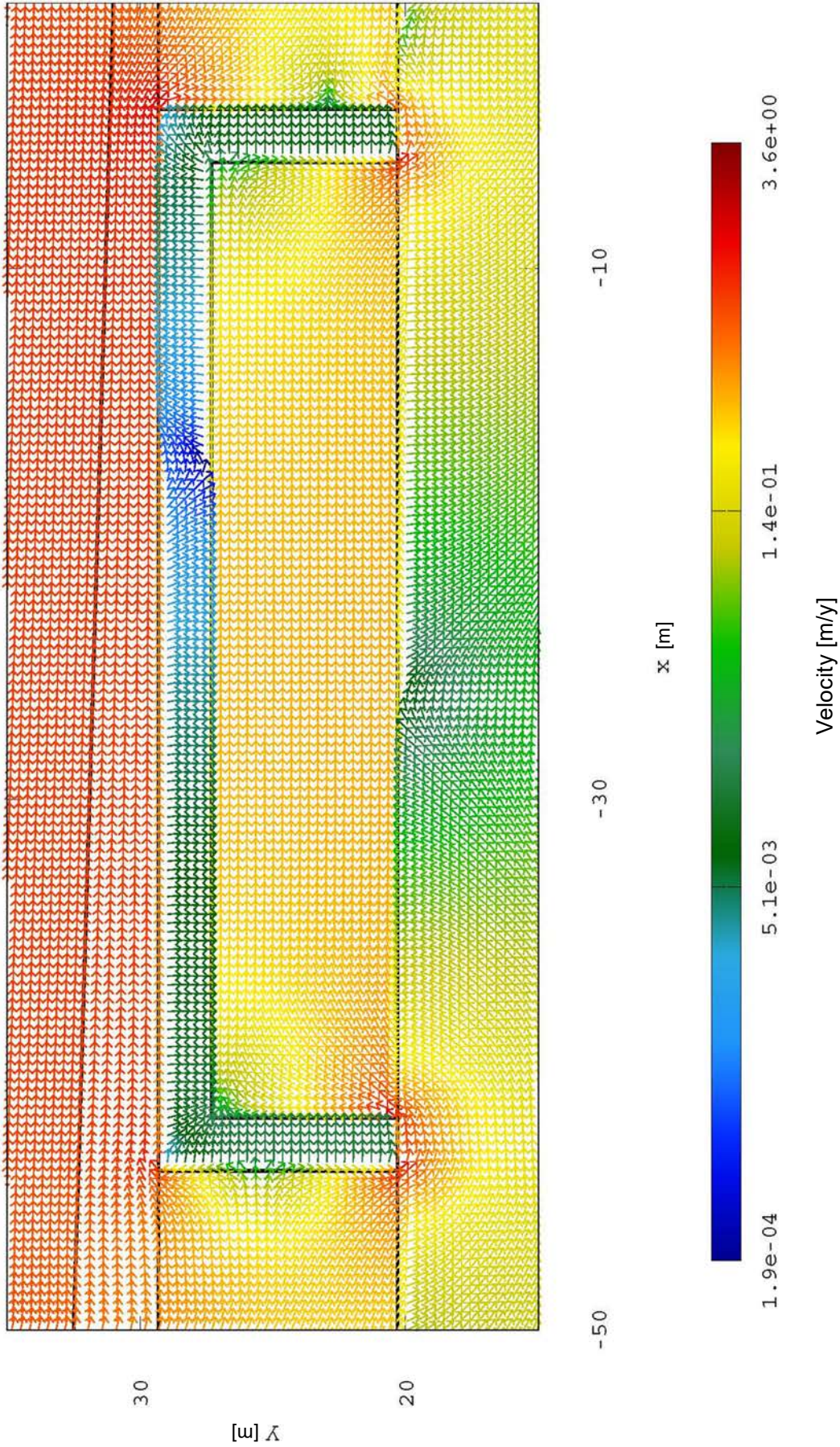


図付 4-1 浸透水量 0.6[m/y]のときの全水頭分布図



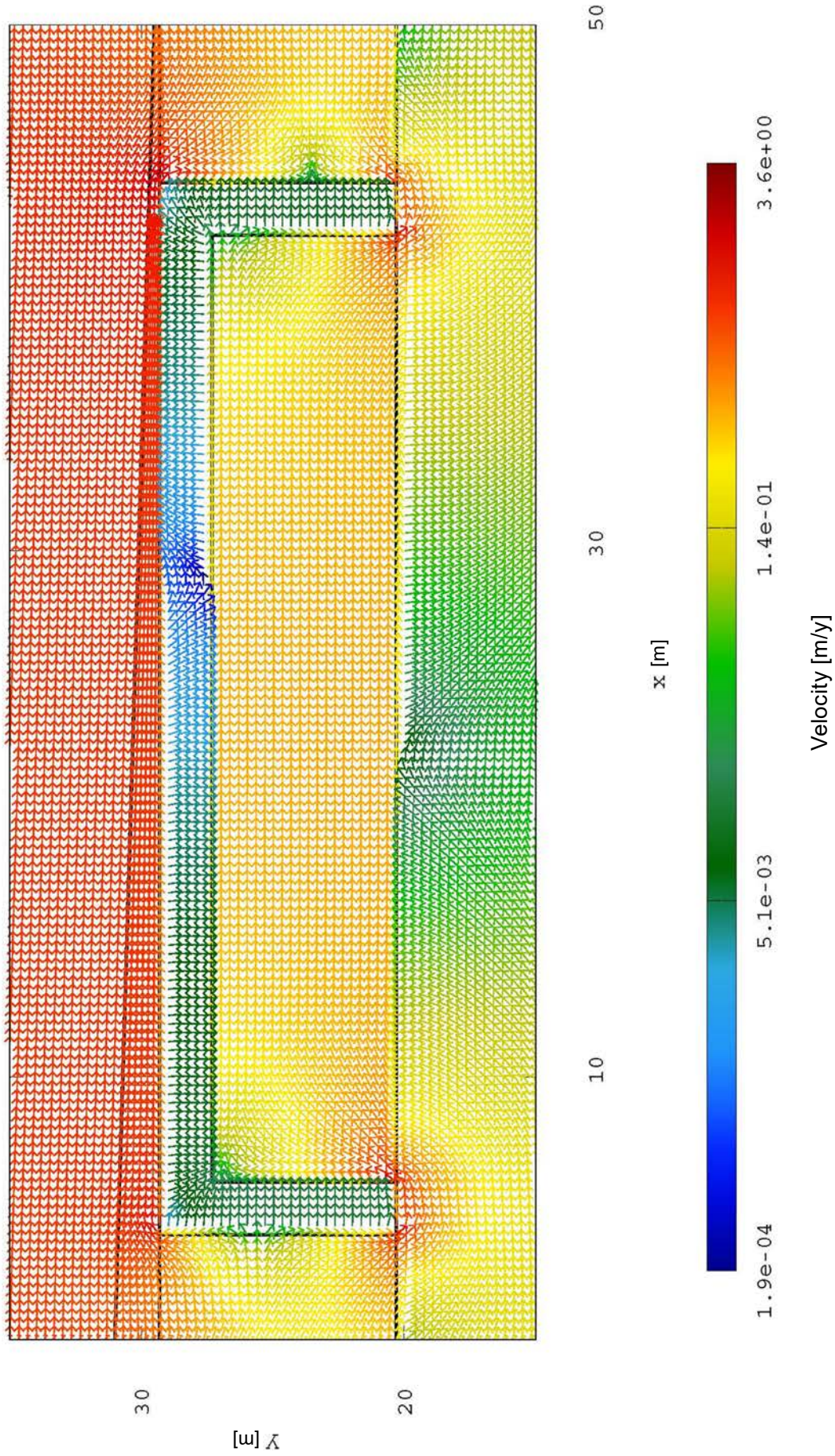
図付 4-2 浸透水量 0.6[m/y]における流速・流向図 (全体)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。



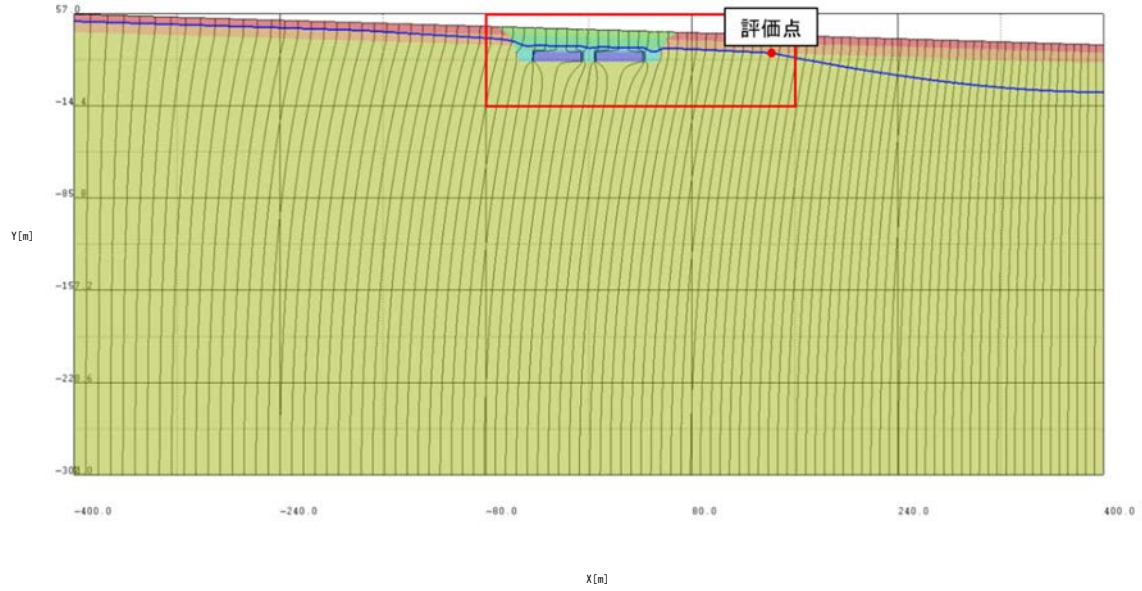
図付 4-3 浸透水量 0.6[m/y]における流速・流向図 (ピット①拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。

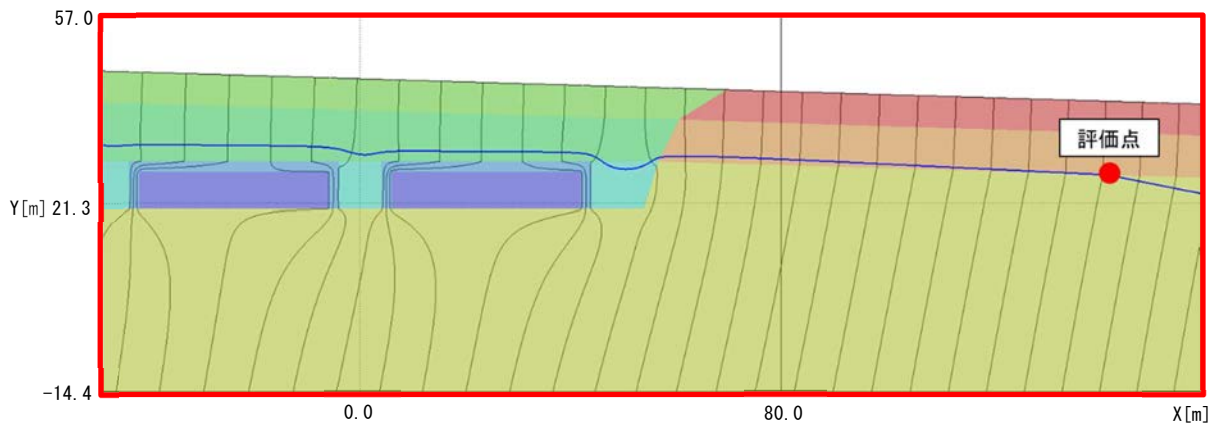


図付 4-4 浸透水量 0.6[m/y]における流速・流向図 (ピット②拡大)

※ 流速は矢印の色、流向は矢印の向きを表している。



図付 4-5 浸透水量 0.6[m/y]における評価点を通過する流跡線（全体）



図付 4-6 浸透水量 0.6[m/y]における評価点を通過する流跡線（拡大）

This is a blank page.

