

V 三次元浸透流解析による切羽圧力変化の解析

1. 解析条件

(1) 解析モデル概要

3次元地盤モデルは、縦断方向 700m、横断方向 700m の矩形、鉛直方向は GH-60m~GH+10m の範囲である。また、要素分割はシールド軸方向、および横断方向について最小距離 0.2m として詳細分割し、セグメントの変状比較的地盤データの少ない地域は、地形凹凸が再現でき、地表水の流下が再現できる程度までの分割とし、要素分割数は表 1.1 に示す通りである。

表 1.1 3次元地盤モデルの要素分割

要素数	2,545,100	要素分割最小長 シールド縦断方向 0.20m 横断方向 0.20m 鉛直方向 0.05m
節点数	1,321,344	
水理区分数	6	

(2) 帯水層区分と水理定数

本地盤モデルにおける帯水層区分は、既往地質概要を基に 4 区分とし、各地層に透水係数、体積含水率、比貯留係数を設定した。

表 1.2 帯水層区分と水理定数

	地質	透水係数の試験値 (cm/sec)	透水係数 (cm/sec)	飽和体積含水率 (%)	比貯留係数 (-)
1	表層(As1)	-	1.00E-03	3.00E+01	1.00E-03
2	Ac		1.00E-05	3.00E+01	3.00E-03
3	Dg1	1.00E-2~7.00E-3	1.00E-02	3.00E+01	1.00E-04
4	Dg2	1.00E-1~2.00E-2	1.00E-01	3.00E+01	1.00E-04
5	トンネルセグメント(全線)		1.00E-10	1.00E-03	1.00E-10
6	Kセグメント		1.00E-10	1.00E-03	1.00E-10
7	Kセグメント破損部		1.00E-01	3.00E+01	1.00E-04
8	シールド外周緩み範囲		1.00E-01	3.00E+01	1.00E-04
9	立坑コンクリート		1.00E-10	1.00E-03	1.00E-10

(3) 検討ケースと水理定数

検討ケースは、以下に示す 4 つの項目について行っている。

- ①破損個所の規模
- ②緩みゾーンの透水性
- ③Kセグメント自体の透水性
- ④地山の比貯留係数

また、各項目における水理定数等は表 1.3 に示す通りである。なお、各ケースの共通事項として、地山の透水係数については、図 1.1 に示す実験値の最大値を採用している。

表 1.3 検討ケースと水理定数

No	検討項目	ケース名	地山の透水係数(cm/s)		セグメントの破損部分		比貯留係数 (地山)	シールド周辺の 緩み範囲 透水係数 (cm/s)
			Dg1	Dg2	破損の幅 (m)	透水係数 (cm/s)		
1	破損範囲の大小	CASE-101	1.00E-02	1.00E-01	0.10	1.00E-02	1.00E-04	1.00E-01
		CASE-102			0.20			
		CASE-103			0.30			
		CASE-104			0.70			
		CASE-105			1.40			
2	緩みゾーンの透水性	CASE-193	1.00E-02	1.00E-01	0.30	1.00E-02	1.00E-04	1.00E-02
		CASE-195			1.40			
3	Kセグメントの透水性	CASE-313	1.00E-02	1.00E-01	0.30	1.00E+00	1.00E-04	1.00E-01
		CASE-323			0.30	1.00E+01		
4	地山の比貯留係数	CASE-413	1.00E-02	1.00E-01	0.30	1.00E-02	1.00E-06	1.00E-01
		CASE-423			0.30		1.00E-05	
		CASE-433			0.30		5.00E-05	

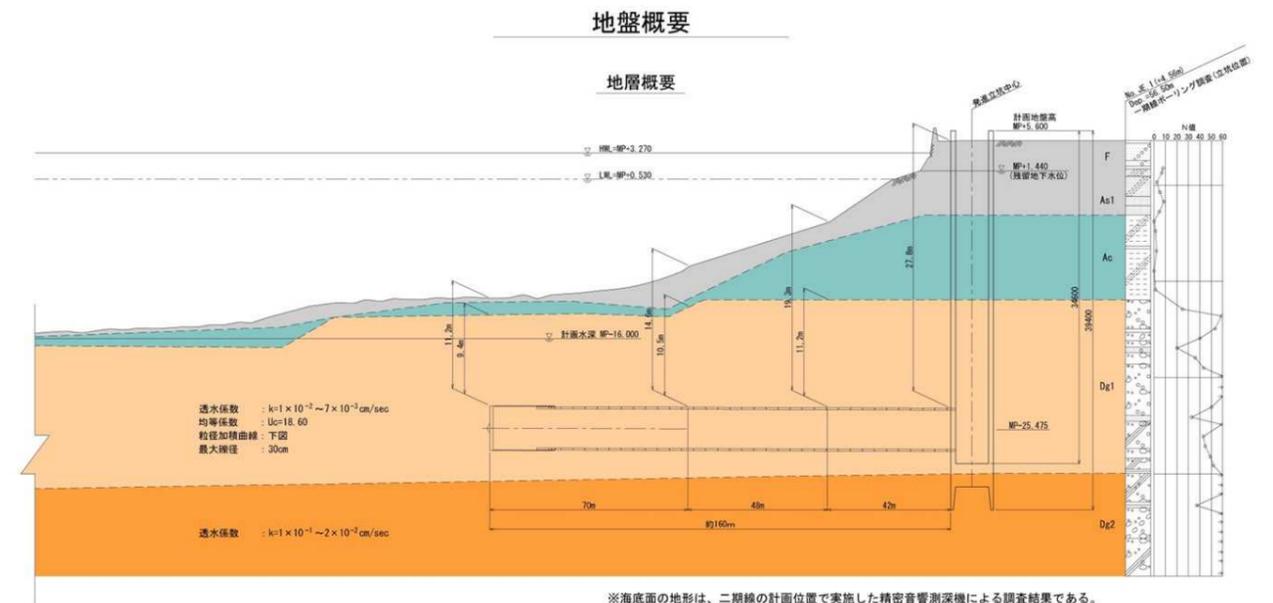


図 1.1 地質断面図

2. 解析結果

(1) 破損個所の規模

破損の幅（規模）が大きいほど、センサー位置の水圧低下も大きい。また、破損の幅が大きいほど、破損部の流量は大きい（範囲が拡大されることが原因）。破損の幅の拡大は周辺への影響を増大させる傾向を示し、**センサーの実測値に近似するケースは、0.70m以上の破損規模が必要である**。ただし、この場合、間隙水圧の低減は、上に凸（実績は下に凸）である。

表 2.1 Kセグメントの破損規模（トライアル-1）

No	検討項目	ケース名	地山の透水係数 (cm/s)		セグメントの破損部分		比貯留係数 (地山)	シールド周辺の緩み範囲透水係数 (cm/s)
			Dg1	Dg2	破損の幅 (m)	透水係数 (cm/s)		
1	破損範囲の大小	CASE-101	1.00E-02	1.00E-01	0.10	1.00E-02	1.00E-04	1.00E-01
		CASE-102			0.20			
		CASE-103			0.30			
		CASE-104			0.70			
		CASE-105			1.40			

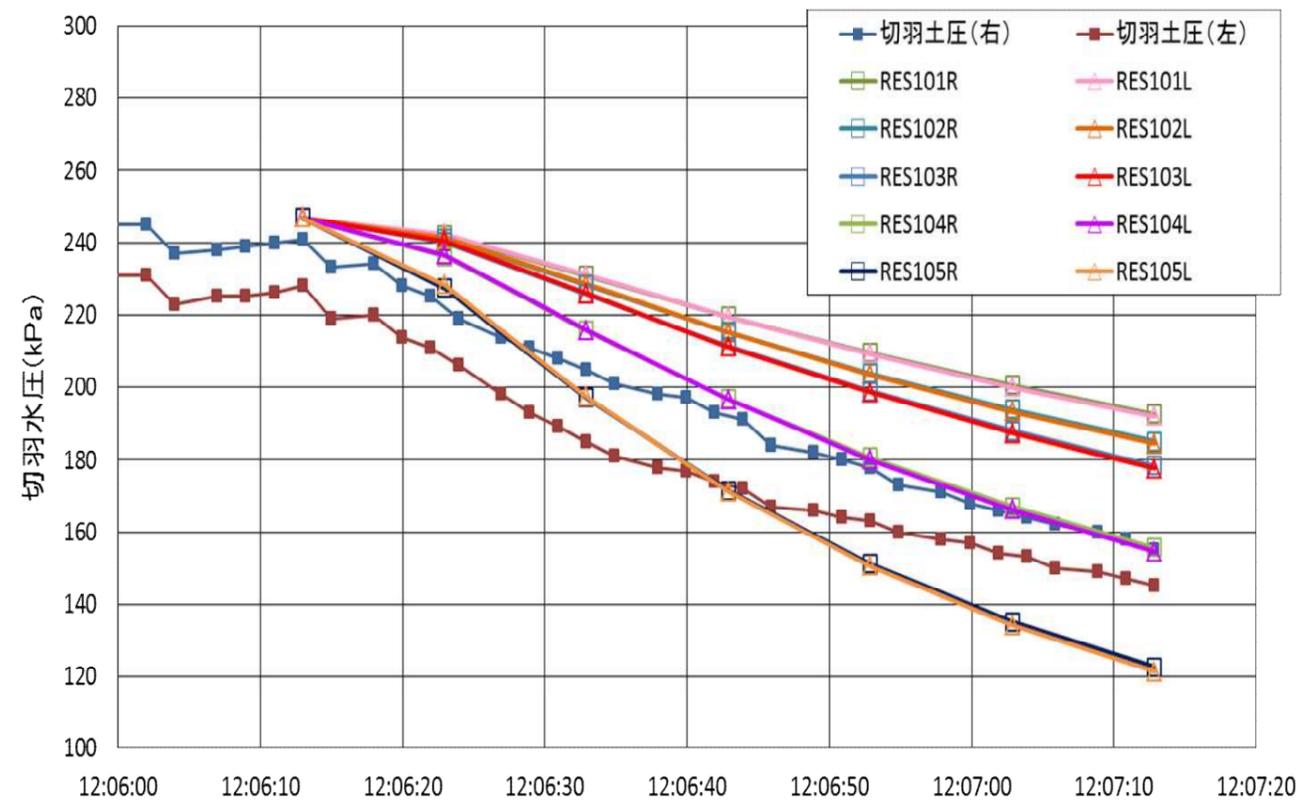


図 2.1 Kセグメント破損の幅（規模）に伴う間隙水圧の低減（トライアル-1）

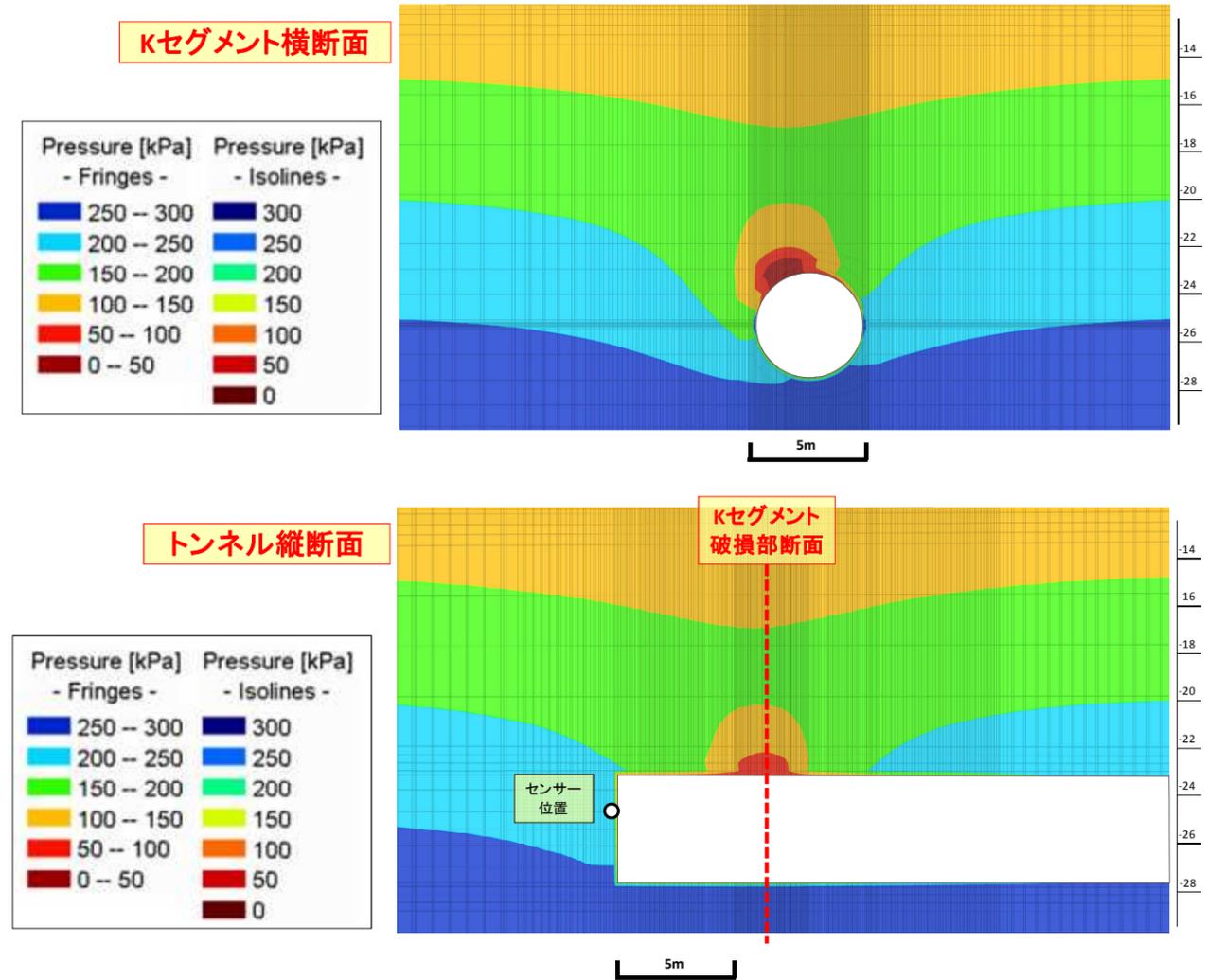


図 2.2 CASE-105（1.40mの破損規模）における間隙水圧分布（トライアル-1）

(2)緩みゾーンの透水性

シールドマシンの近傍における緩み範囲の透水性は、CASE-105 (1.0×10^{-1}) と比べて、1 オーダー程度小さくしても、センサー位置における間隙水圧分布に関与していない。なお、緩み範囲の透水性が大きいほど、流速も大きく、流量も多量になる。緩み範囲の透水性では、センサー位置の実測値に近似できない。

表 2.2 シールドマシン近傍の緩み範囲 (トライアル-2)

No	検討項目	ケース名	地山の透水係数 (cm/s)		セグメントの破損部分		比貯留係数 (地山)	シールド周辺の緩み範囲透水係数 (cm/s)
			Dg1	Dg2	破損の幅 (m)	透水係数 (cm/s)		
2	緩みゾーンの透水性	CASE-193	1.00E-02	1.00E-01	0.30	1.00E-02	1.00E-04	1.00E-02
		CASE-195			1.40			

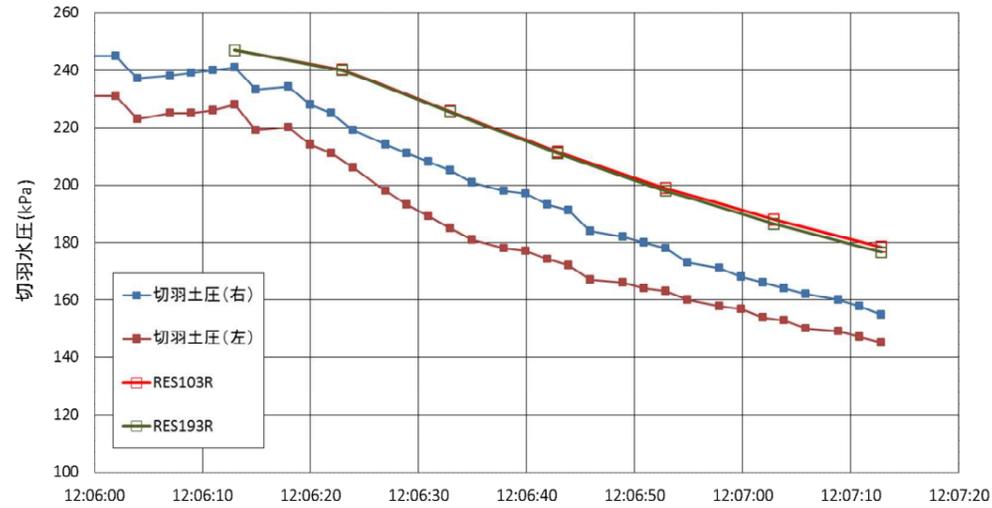


図 2.3(1) CASE-193 (破損規模 0.3m) の間隙水圧の変化

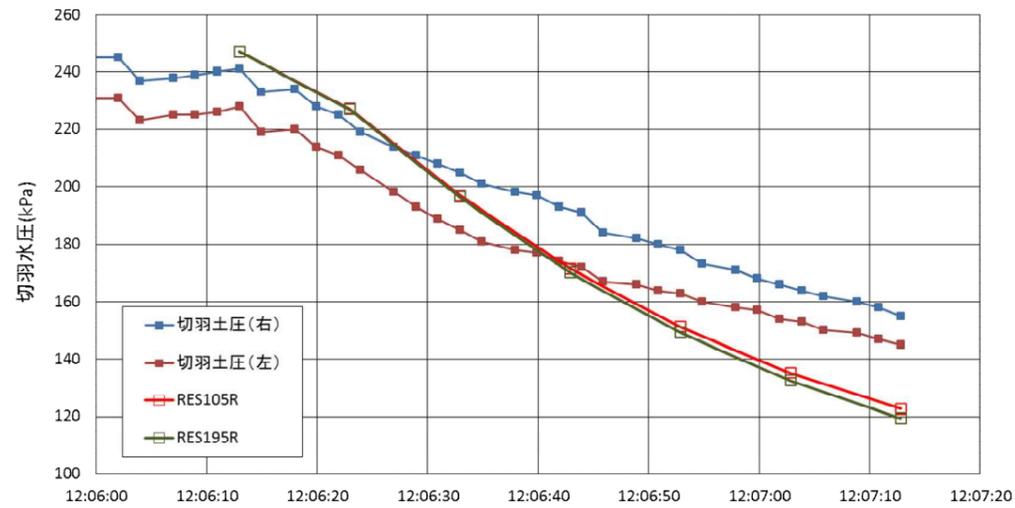
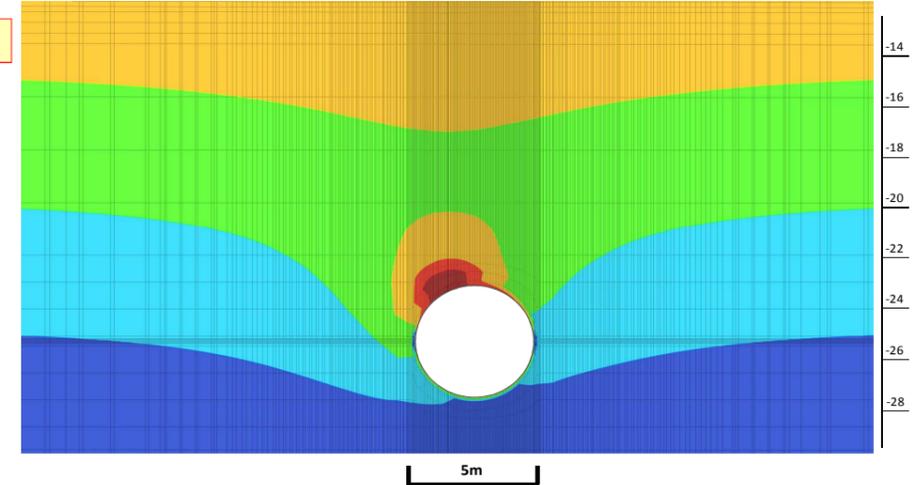
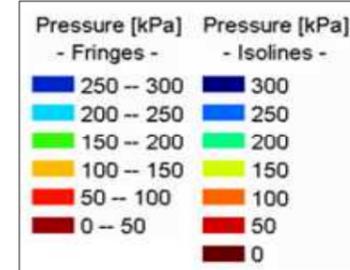


図 2.3(2) CASE-195 (破損規模 1.40m) の間隙水圧の変化

Kセグメント横断面



Kセグメント横断面

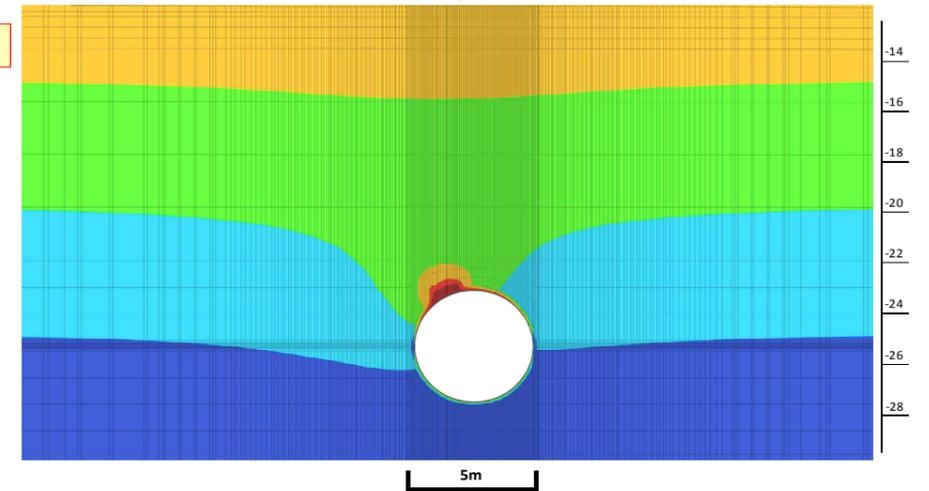
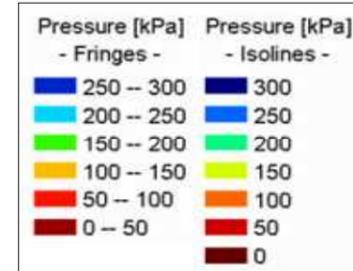


図 2.4 破損 1.40m の場合の非定常 60sec 後の間隙水圧分布 (上図: CASE-105、下図: CASE-195)

(3) Kセグメント自体の透水性

Kセグメント自体（近傍）の透水性が破壊の進展とともに大きくなる可能性もあることから、Kセグメント近傍の透水性を大きくしてみたが、透水性を大きくしても、センサー位置における間隙水圧は殆ど変化していない。ただし、Kセグメント破損部の透水性が大きいほど、流速も大きくなるが、出水量は殆ど変わらない。したがって、**Kセグメント自体の透水性を大きくしても、センサー位置の間隙水圧にはあまり影響を受けない。**

表 2.3 Kセグメント自体の透水性（トライアル-3）

No	検討項目	ケース名	地山の透水係数 (cm/s)		セグメントの破損部分		比貯留係数 (地山)	シールド周辺の緩み範囲透水係数 (cm/s)
			Dg1	Dg2	破損の幅 (m)	透水係数 (cm/s)		
3	Kセグメントの透水性	CASE-313	1.00E-02	1.00E-01	0.30	1.00E+00	1.00E-04	1.00E-01
		CASE-323				1.00E+01		

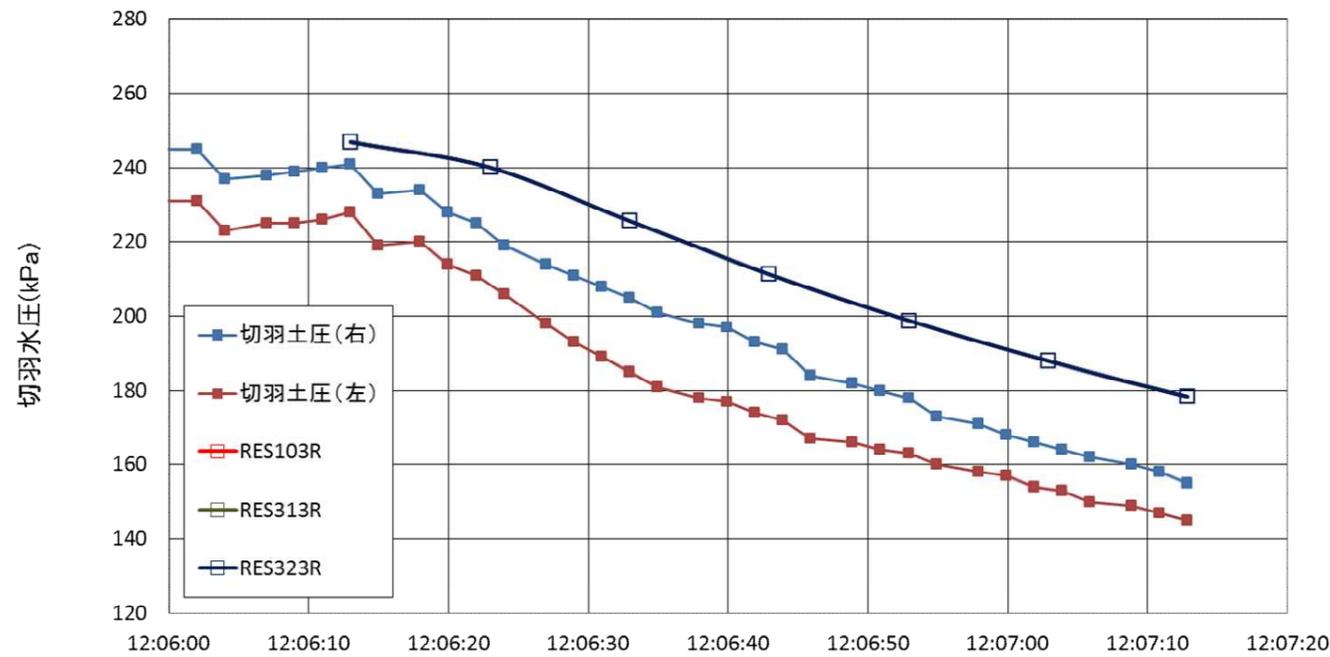
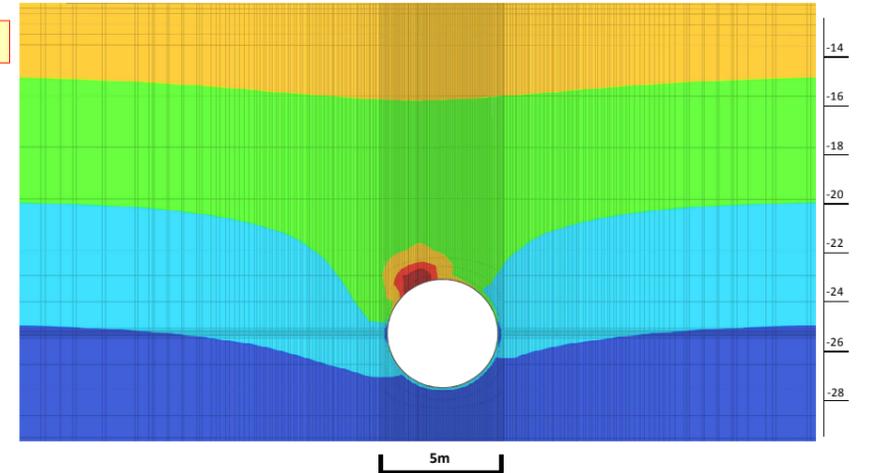
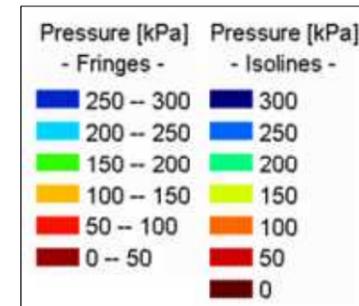
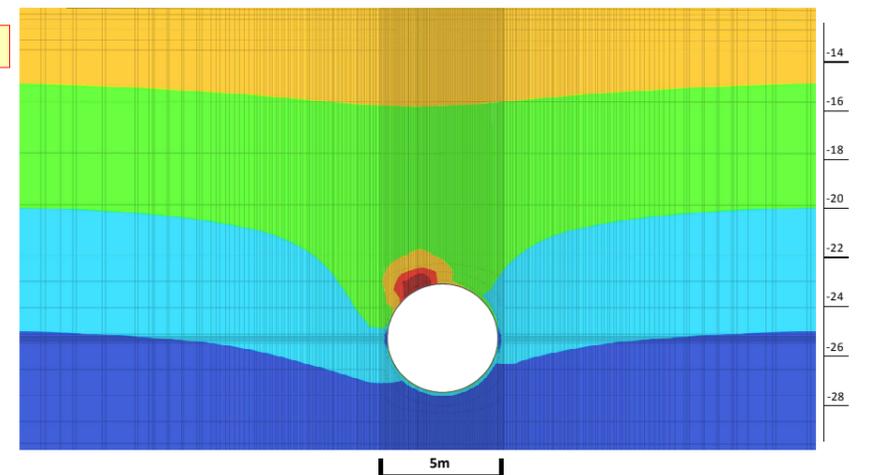
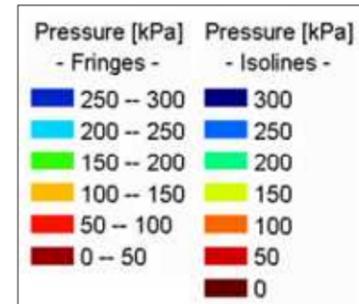


図 2.5 CASE-313~CASDE-323（破損規模 0.3m）の間隙水圧の変化

Kセグメント横断面



Kセグメント横断面



Kセグメント横断面

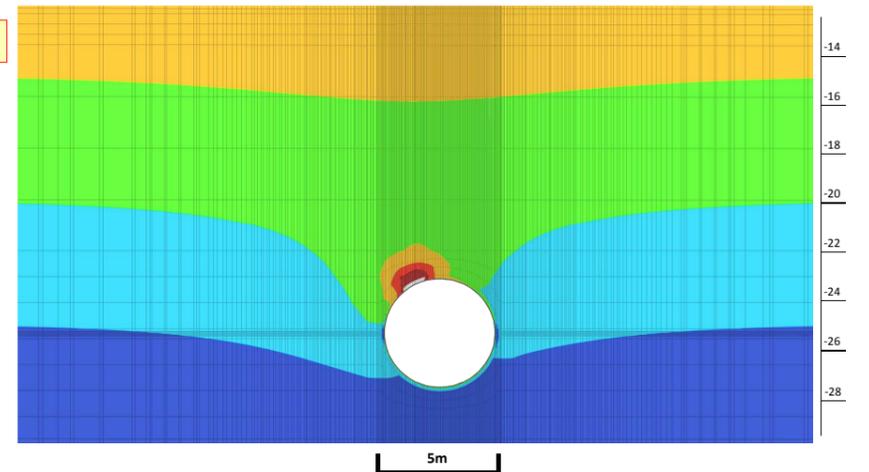
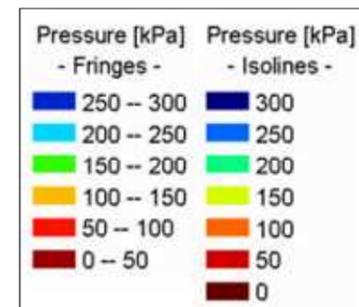


図 2.6 破損 0.30m の場合の非定常 60sec 後の間隙水圧分布
(上図 : CASE-103、中図 : CASE-313、下図 : CASE-323)

(4)地山の比貯留係数

地山の比貯留係数は、本解析モデルの場合、鋭敏な間隙水圧変化を再現する。比貯留係数が大きいほど、センサー位置の水位低下も大きい。また、比貯留係数が大きくても、流速は殆ど変わらないが、流量は小さくなる。したがって、比貯留係数は小さいほど急激に大きく水圧低下を示し、**センサーの実測値に近似するケースは、CASE-433 ($S_s=5 \times 10^{-5}$ ：一般値の半分程度) と推察される。**

表 2.4 地山の比貯留係数の差異 (トライアル-4)

No	検討項目	ケース名	地山の透水係数 (cm/s)		セグメントの破損部分		比貯留係数 (地山)	シールド周辺の緩み範囲透水係数 (cm/s)
			Dg1	Dg2	破損の幅 (m)	透水係数 (cm/s)		
4	地山の比貯留係数	CASE-413	1.00E-02	1.00E-01	0.30	1.00E-02	1.00E-06	1.00E-01
		CASE-423			0.30		1.00E-05	
		CASE-433			0.30		5.00E-05	

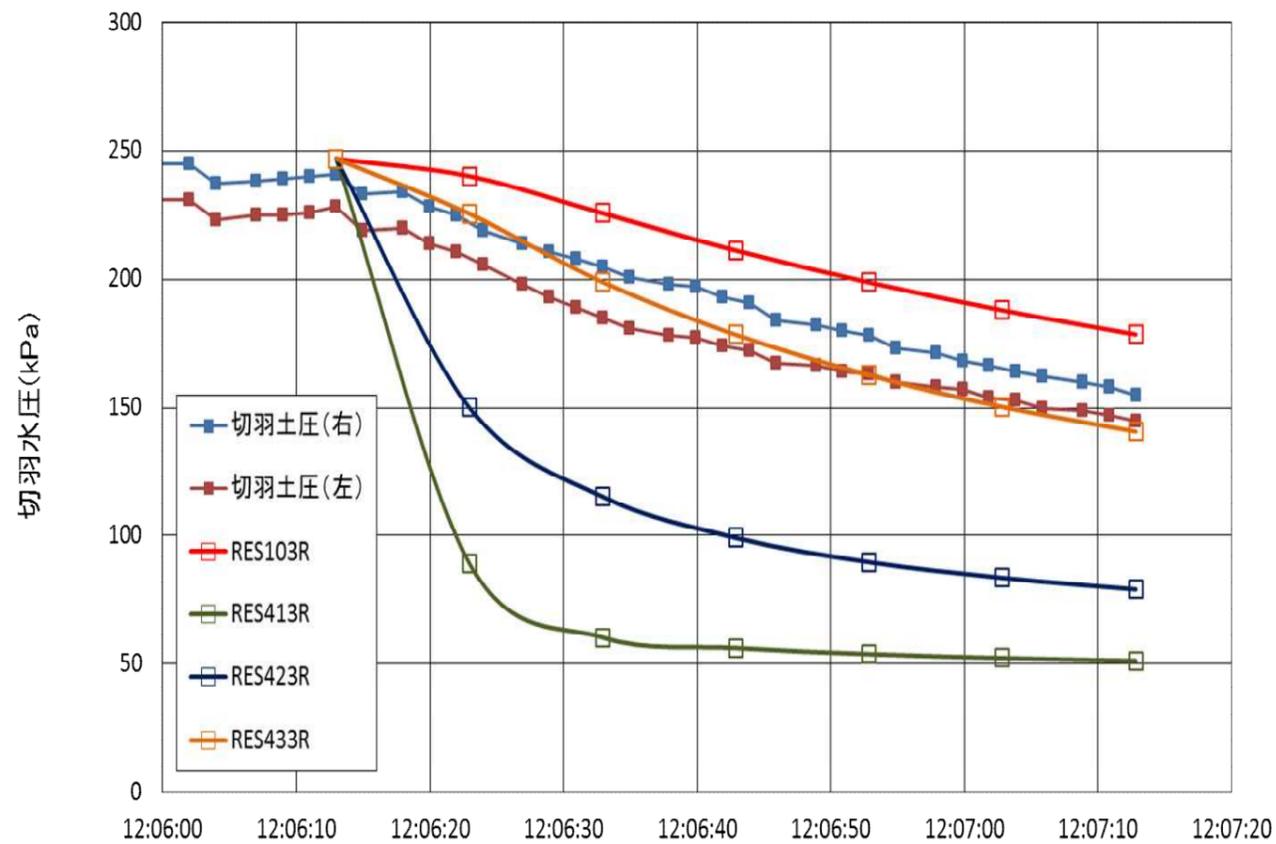
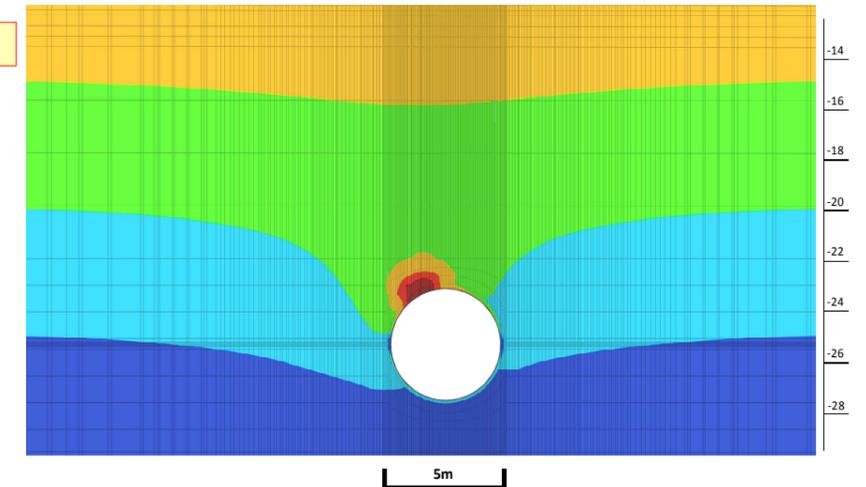
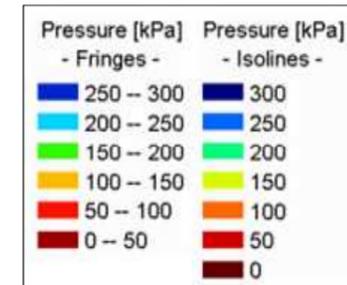
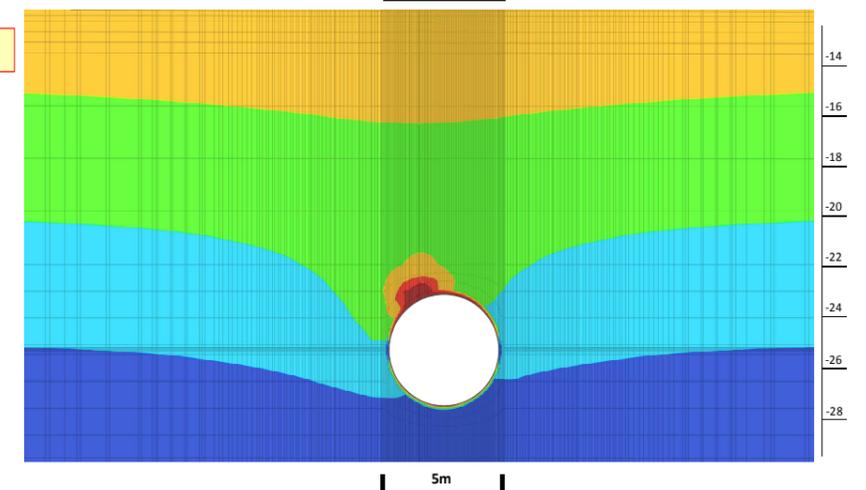
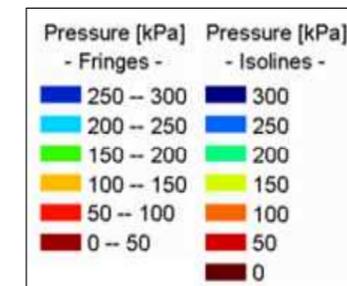


図 2.7 CASE-413~CASE-433 (破損規模 0.3m) の間隙水圧の変化

Kセグメント横断面



Kセグメント横断面



Kセグメント横断面

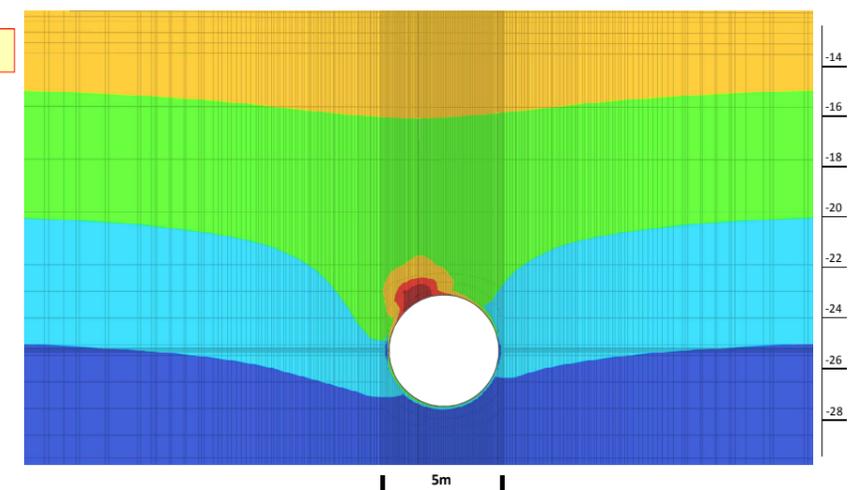
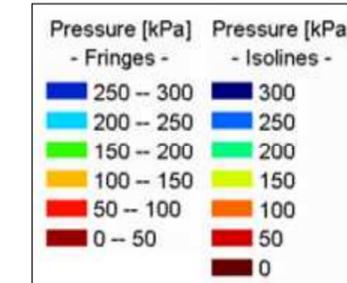


図 2.8 破損 0.30m の場合の非定常 60sec 後の間隙水圧分布 (上図：CASE-103、中図：CASE-413、下図：CASE-433)

3. 追加検討

パラメータ解析を実施した結果、計測された切羽圧の低下に最も近似したケースは、図 2.7 に示したセグメントの拔出し量 300mm で地山の比貯留係数を 5.0×10^{-5} とした CASE-433 である。ただし、図からわかるように CASE-433 の解析結果は、計測値よりも圧力が低下しているため、拔出し量を小さくすることでより近似することが考えられる。また、回収されたセグメントの調査結果から、K セグメントの初期の拔出し量は、エレクトリオンガイドとエレクトリオンガイド溝の寸法より 150mm 程度以内と考えられることから、CASE-433 をベースにセグメントの拔出し量を 100mm としたケースについて追加で検討を行った (CASE-431)。

図 3.1~図 3.3 に CASE-431 の解析結果を CASE-433 とともに示す。図から、拔出し量を 100mm としたケースで、計測された切羽圧の低下を良く表現できていること、この時の湧水量は定常状態で約 $0.9\text{m}^3/\text{min}$ であり、 1cm^2 あたりに換算すると $15\text{cc}/\text{sec}$ であること、出水が発生している K セグメント付近では、急激に水圧が低下し、その後すぐに定常状態となっていることが分かる。

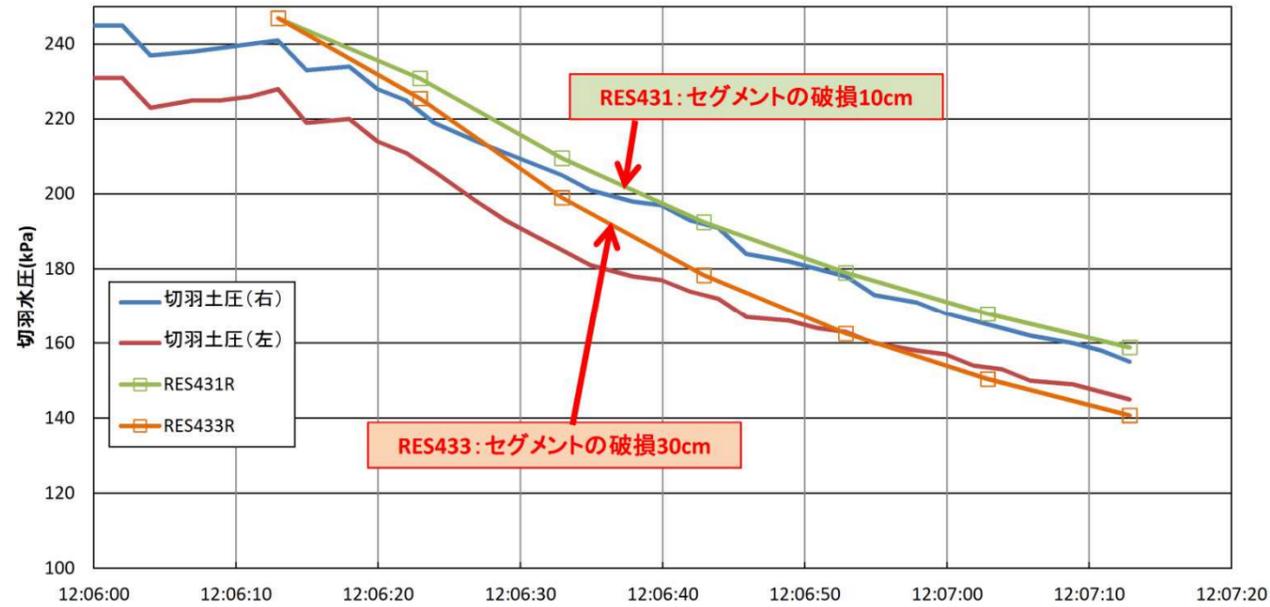


図 3.1 CASE-431、CASE-433 の間隙水圧の変化

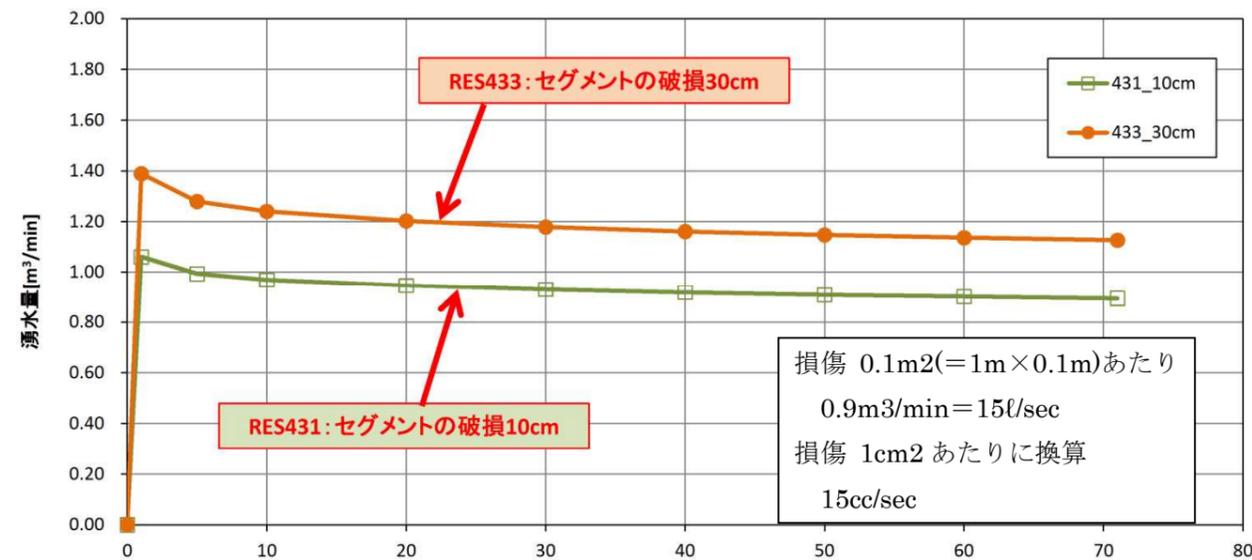


図 3.2 CASE-431、CASE-433 の湧水量

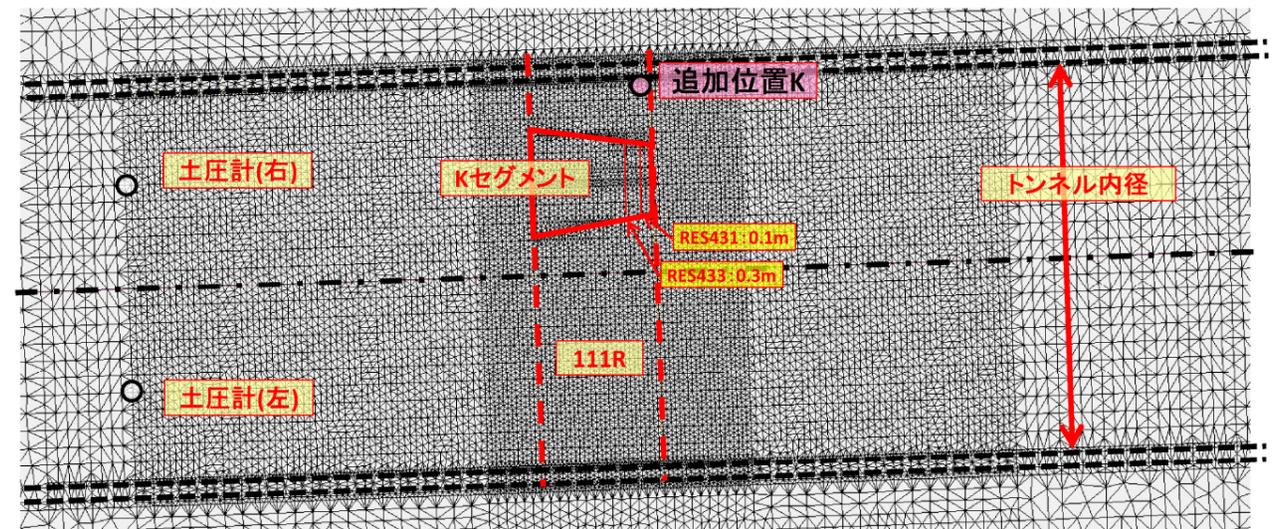
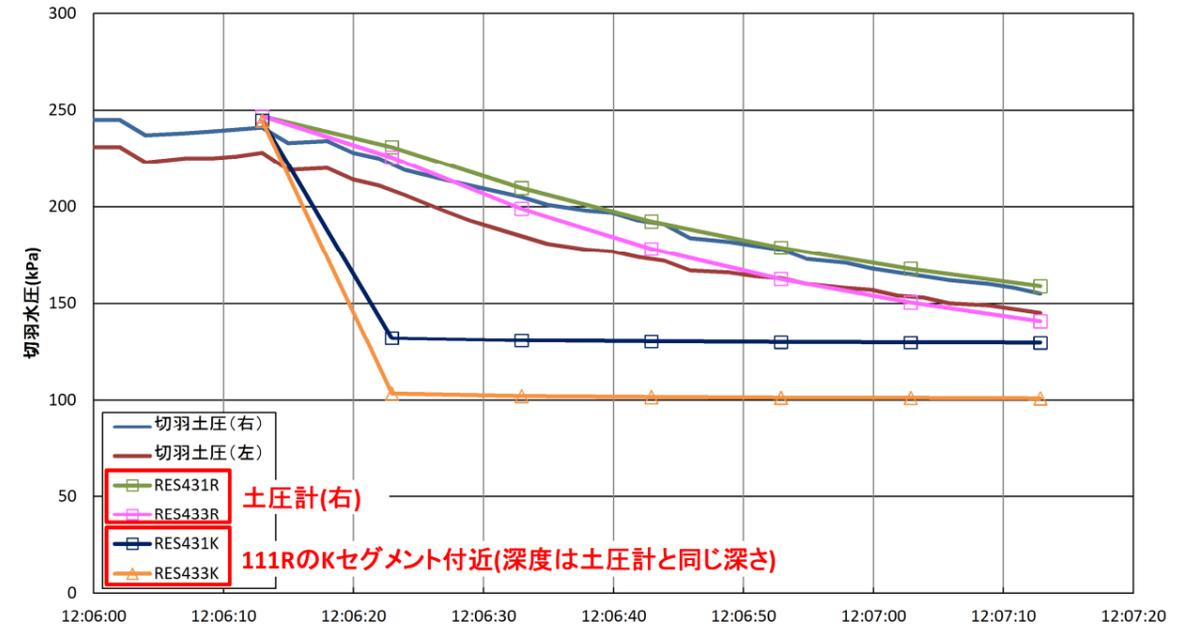


図 3.3 土圧計と K セグメント付近の間隙水圧の変化