

3. 倉敷市の事故に関する検討

3.1 工事概要

(1) 工事の概要

図 3.1.1 に工事現場の位置図を示す。事故が発生した工事は、JX 日鉱日石エネルギー(株)水島製油所 A 工場 (旧 新日本石油(株)) と B 工場 (旧 (株) ジャパンエナジー) 間の水島港を横断する配管敷設用トンネルを構築するものであり、B 工場を起点に水島港海底を横断し、A 工場を終点とする延長 790m を泥土圧シールド工法で施工するものである。なお、本工事には、シールドトンネル工のほかに、発進・到達立坑 (ともにニューマチックケーソン工法) と配管敷設用の架台設置といった付帯設備工も含まれている。

[工事概要]

工 事 名 : 第二パイプライン防護設備建設工事

発 注 者 : JX 日鉱日石エネルギー(株)

工 期 : 2010 年 8 月 1 日～2013 年 6 月 30 日

入札方式 : 指名競争入札 (技術提案型) 価格競争方式 (設計・施工一括発注方式)

請 負 者 : 鹿島建設(株)

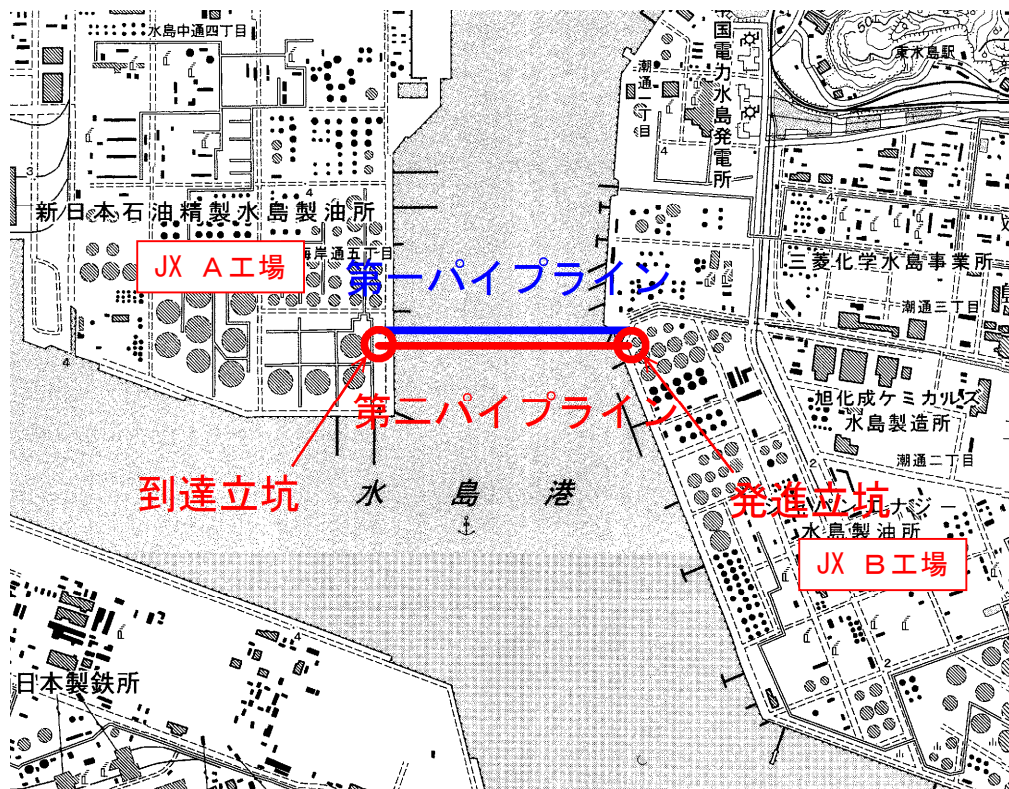


図 3.1.1 工事現場の位置図

(2) トンネルの概要

図 3.1.2 にトンネルの断面図と平面図を、図 3.1.3 にトンネルの縦断図を、表 3.1.1 に設計に用いられた地盤物性値をそれぞれ示す。シールドトンネルは、仕上がり内径が 4500mm、延長が 790m で、トンネルの縦断勾配は 0.0771% の上り勾配、平面線形は直線である。トンネルは、平均 N 値が 43 の洪積第 1 砂礫層 (Dg1) に位置し、土被りは、発進・到達立坑部で約 28m、海底

横断面で最小となり 4.95m である。

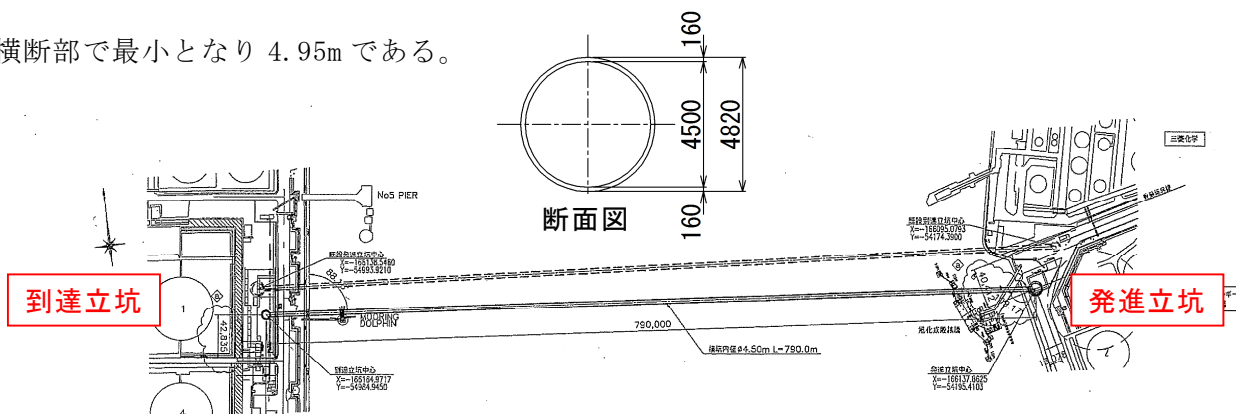


図 3.1.2 断面図、平面図（鹿島建設(株)資料より）

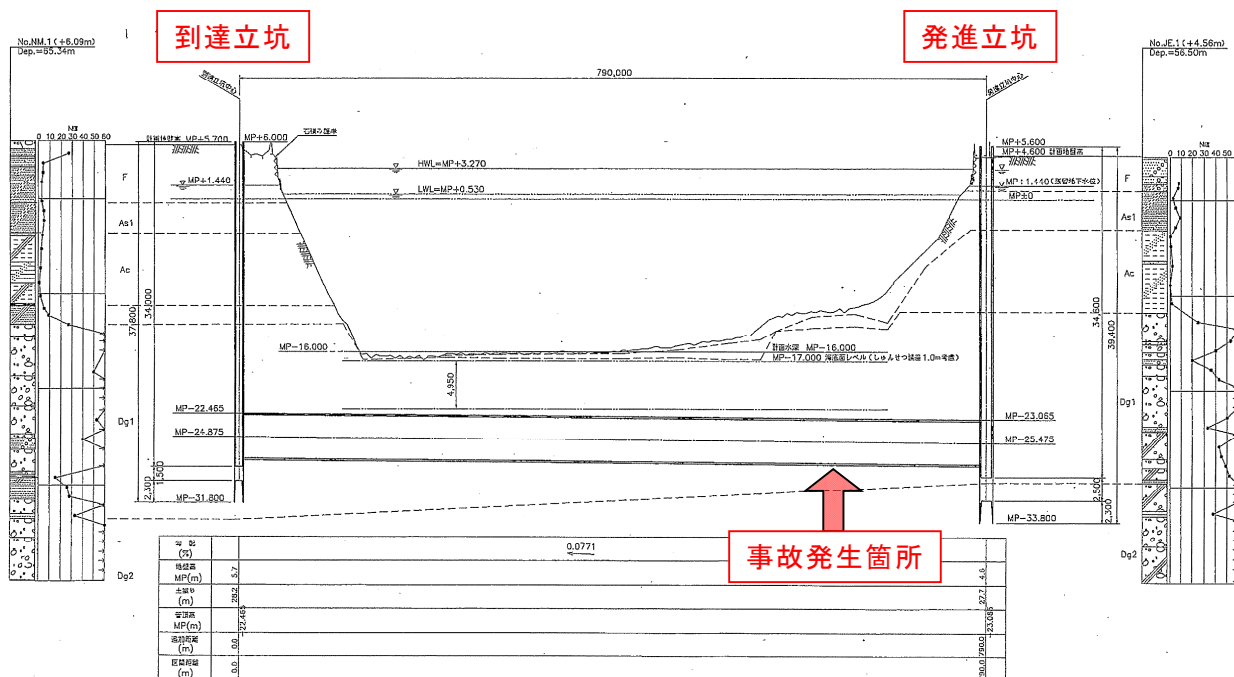


図 3.1.3 縦断図（鹿島建設(株)資料より）

表 3.1.1 設計用地盤物性値（鹿島建設(株)資料より）

土質	記号	平均 N 値	単位体積重量 γ (kN/m ³)	粘着力 C (kN/m ²)	内部摩擦角*2) ϕ (deg)	変形係数 E_0 (kN/m ²)
埋土層	F	3	18.0*1)	0	22	8,800*4)
沖積第1砂質土層	As1	5	18.0*1)	0	24	12,000*3)
沖積粘性土層	Ac	2	17.4	67	0	11,600*3)
洪積第1砂礫層	Dg1	43	19.0*1)	0	40	118,000*4)
洪積第2砂礫層	Dg2	50	20.0*1)	0	42	137,200*4)

*1) JH 設計要領第一集に示される値より推定。

*2) $\phi = \sqrt{(15N) + 15}$ より推定。

*3) 坑内水平載荷 $E_0 = E_s$ $\alpha = 4$

*4) N 値より換算 $E_0 = 2.74N$ $\alpha = 1$ を乗じている。

(3) セグメント構造の概要

本工事で用いられたセグメント構造の概要を表 3.1.2 に、セグメントの構造図を図 3.1.4 に、A1 型セグメントの配筋図を図 3.1.5 に示す。

図、表から、本工事で用いられたセグメントは、以下の特徴が挙げられる。

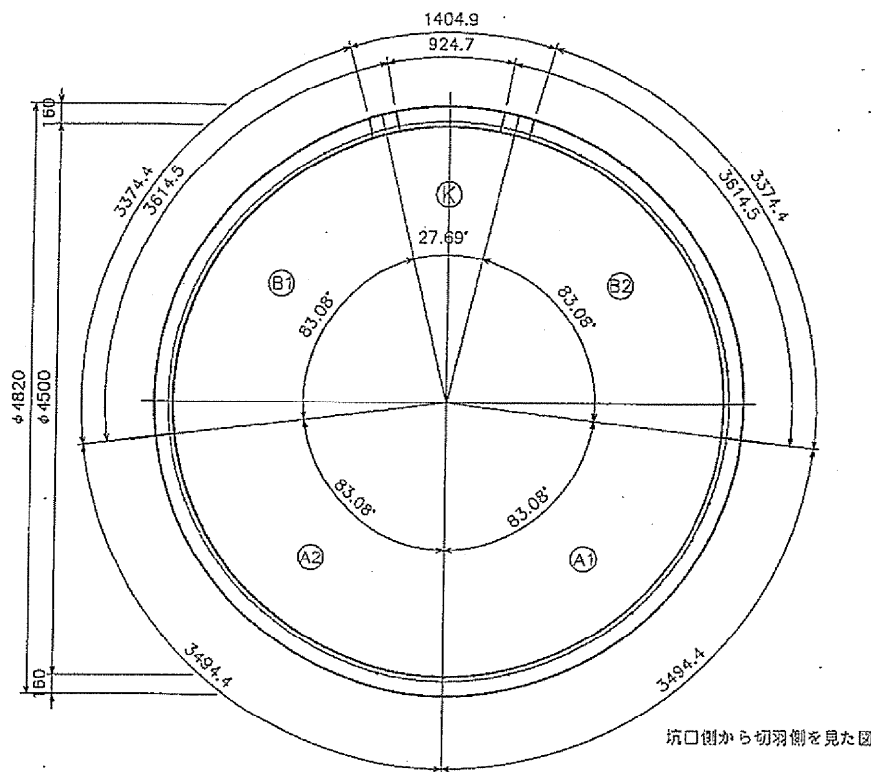
- ・セグメント厚さと外径の比率が 3.3% であり、「シールド工事用標準セグメント 平成 13 年 7 月 1 日改正 日本下水道協会」で目安としている 4% 以上を下回っており、外径に対して厚さが薄いセグメントである。
- ・セグメント幅と厚さの比が 8.8 であり、「シールド工事用標準セグメント」で目安としている 7 以下を上回っており、厚さに対して幅が広いセグメントである。
- ・セグメントの分割が 5 分割であり、「シールド工事用標準セグメント」では本セグメントの外径クラスにおいては 6 分割であることから、セグメントの分割数が少ない。
- ・セグメント継手が突合せ継手構造であり、セグメント継手間の締結力を有していない。
- ・リング継手はボルト継手構造で 1 リングあたり 13 本の継手を配置しているが、分割数を少なくしていることにより、ボルトの本数が「シールド工事用標準セグメント」の 16 本に比べて少ない。また、配筋図からわかるように、リング継手の埋込みインサートの部分で、セグメント内側の鉄筋が配置されていない。
- ・軸方向挿入型 K セグメントの挿入代が 350mm と少なく、それにとまって挿入角度が 9.7deg と大きくなっている。

表 3.1.2 セグメント構造の概要（鹿島建設(株)資料より）

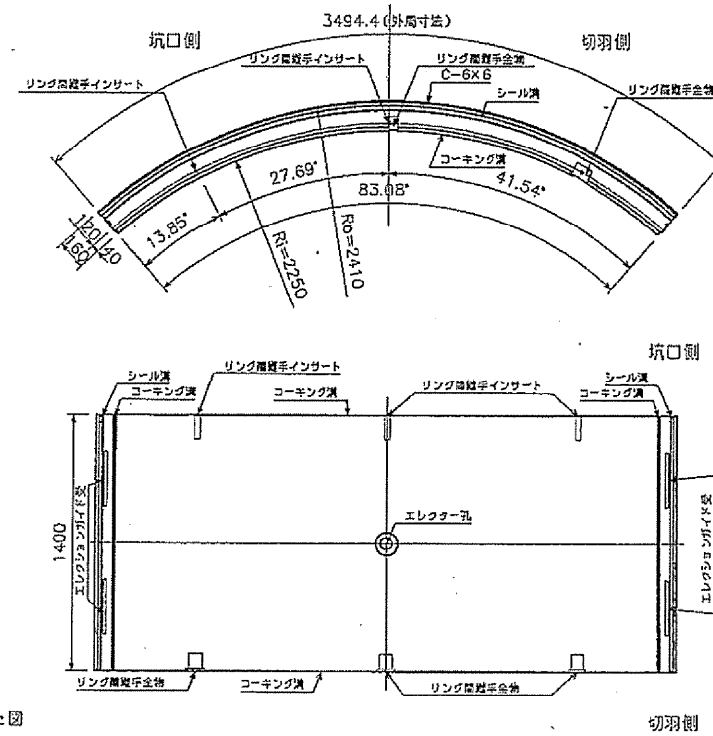
本体構造	内径	4500mm
	外径	4820mm
	厚さ	160mm
	幅	1400mm
	分割数	5 分割 (4 + K)
継手構造	セグメント間	突合せ継手構造
	リング間	ボルト継手構造 M16(8.8) × 13 本
K セグメント	挿入方向	軸方向挿入
	挿入代	350mm
	中心角、外周寸法	27.69deg、1164.8mm
	挿入角度	9.7deg

セグメント構造図

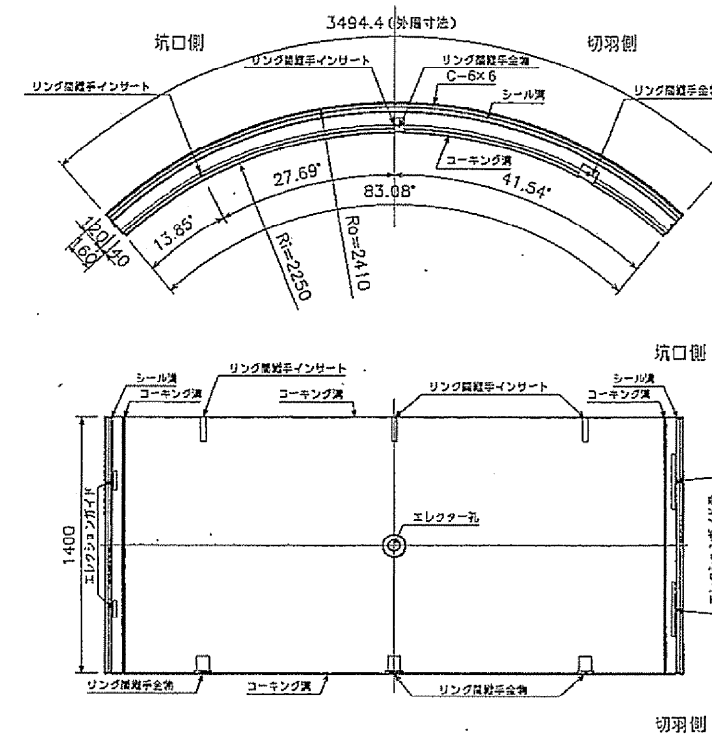
組立図 S=1/30



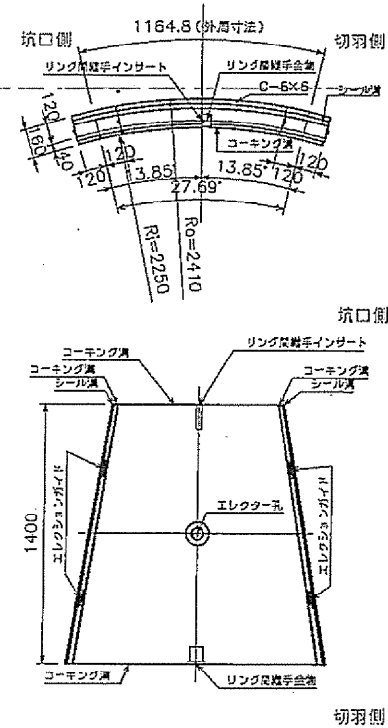
A1型セグメント S=1/20



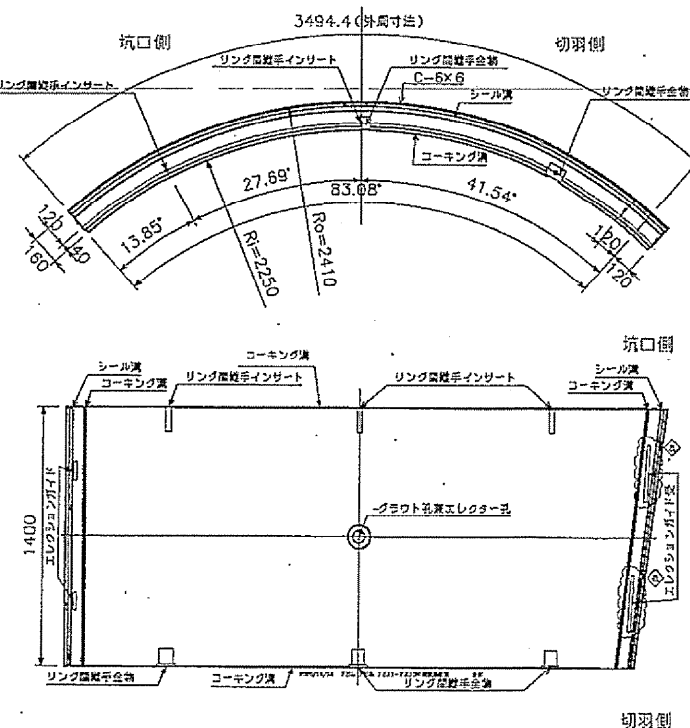
A2型セグメント S=1/20



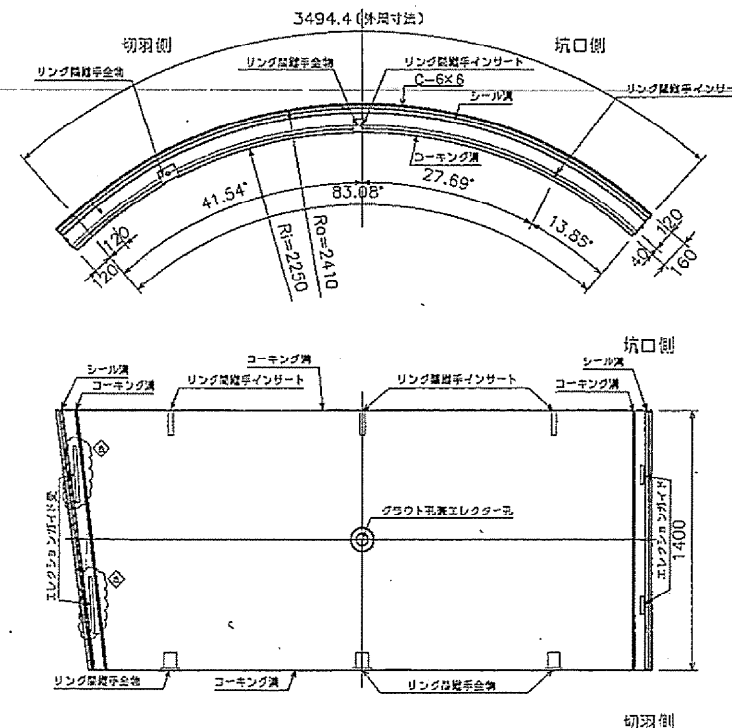
K型セグメント S=1/20



B1型セグメント S=1/20



B2型セグメント S=1/20



※K型のセットバックは350mmとする

図 3.1.4 セグメント構造図（鹿島建設(株)資料より）

コンクリート：設計基準強度 45N/mm²
鉄筋：SD295A

セグメント配筋図 (A1)

A1型セグメント S=1/10

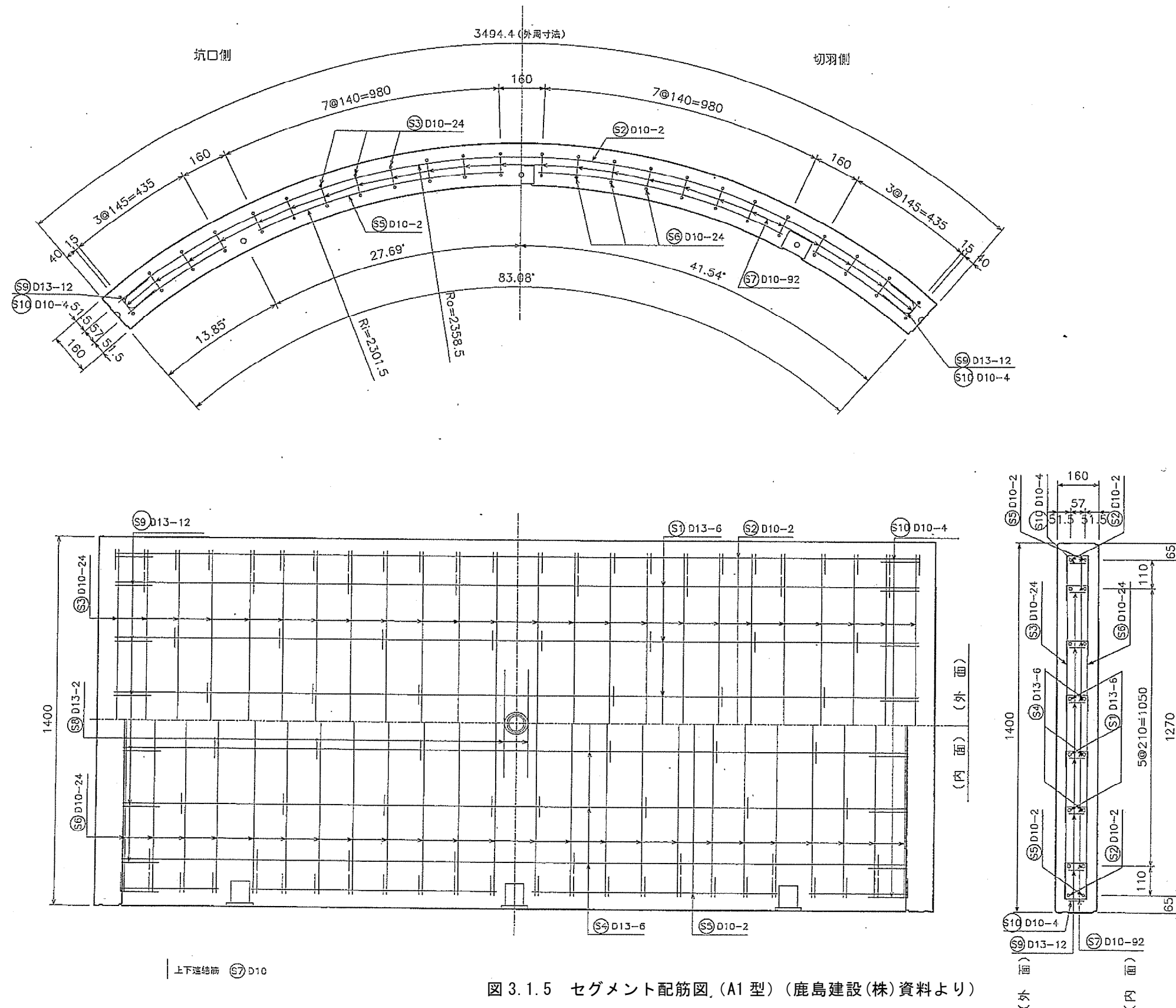


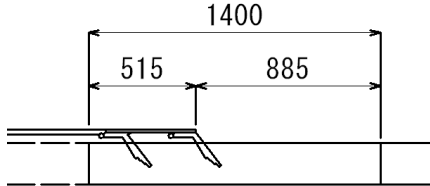
図 3.1.5 セグメント配筋図 (A1 型) (鹿島建設(株)資料より)

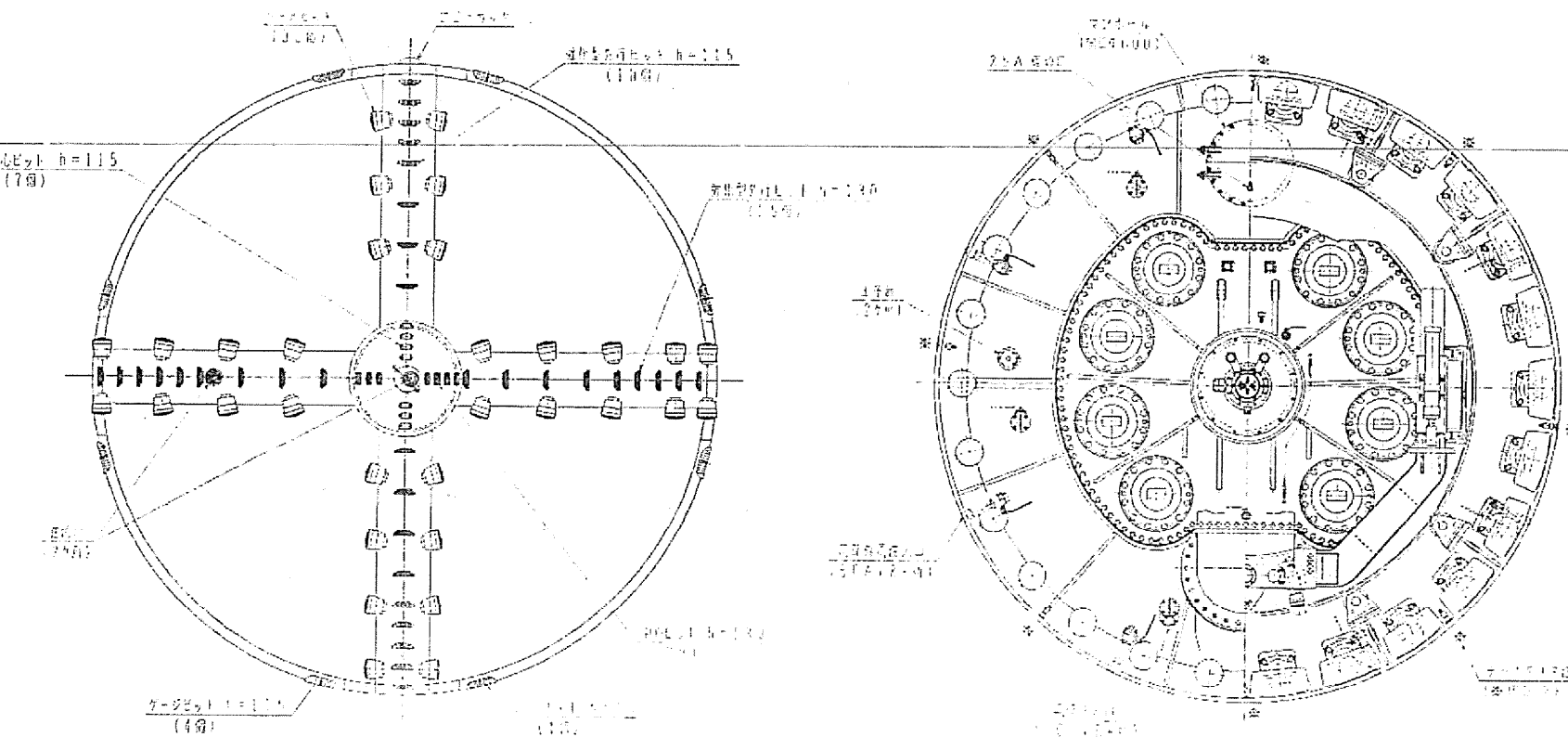
(4) シールドの概要

本工事で用いられたシールドの概要を表 3.1.3 に、シールドの一般図を図 3.1.6 に示す。
図、表から、本工事で用いられたシールドは、以下の特徴が挙げられる。

- ・シールドジャッキの推力と本数が 823kN×26 本（総推力 21,398kN）であり、「下水道用設計積算要領 2010 年版 日本下水道協会」では本セグメントの外径クラスにおいては 1200kN×18 本（総推力 21,600kN）であることから、推力の小さいジャッキを多く装備している。
- ・海底で高水圧が作用する条件下で、テールシールの段数が 2 段である。
- ・掘進完了時におけるセグメントのシールドテール内でのかかり代が 515mm と小さい。これにより、組立てたセグメントは次のリングの掘進完了時には 3 分の 2 程度が地山内となる。
- ・形状保持装置が装備されていない。

表 3.1.3 シールドの概要（鹿島建設(株)資料より）

諸元	外径	4950mm
	掘削外径	4970mm
	全長	6958mm
	スキンプレート厚	36mm
	テールクリアランス	29mm
	テールプレート厚	12mm
装備推力	1 本あたりの推力×本数 (総推力)	823kN×26 本 (21398kN)
テールシール	かかり代の概念図	
	段数	2 段
	材質	ワイヤブラシ
形状保持装置	有無	なし



スクリュコンベヤ	
回転数	0~7.5 min ⁻¹
羽根径Xピッチ	φ700mm×P600mm
回転トルク	75.3kN・m
吐出量	79 m ³ /h (100%効率時)
パワーユニット	電動機 75kW×4P×440V×60Hz×1台 油圧ポンプ 242 l/min×14.7MPa×1台
ゲージング	NO.1 60.6kN×370mm st ×13.7MPa×4本 NO.2 107.8kN×385mm st ×13.7MPa×2本
パワーユニット	電動機 15kW×4P×440V×60Hz×1台 油圧ポンプ 35 l/min×13.7MPa×1台

図 3.1.6 シールド一般図（鹿島建設(株)資料より）

3.2 事故発生時の状況

図 3.2.1 に請負者である鹿島建設(株)が整理した事故発生時の詳細経緯の資料を示す。この資料によると、事故当日(2012 年 2 月 7 日)に発生した主な事象とそこから推定される事柄は表 3.2.1 に示すとおりである。事故は、112 リングの掘進を完了し、A2 セグメント、A1 セグメント、B1 セグメントの順に 3 ピースを組立てたのち、B2 セグメントを組立てるためにシールドジャッキの引抜きを開始したと同時に(12:06:09)にトラブル(浸水)が発生し、その時点から 17 分～23 分後の間に大規模な出水となりトンネルと立坑が浸水したものと推定される。

表 3.2.1 事故当日(2012 年 2 月 7 日)に発生した事象と推定される事柄
(鹿島建設(株)資料より)

時刻	発生した事象	推定される事柄
朝～11:45	112 リングの掘進が完了。 - 切羽圧に大きな異変は見当たらない。	112 リングの掘進までは問題なく進捗していた。
11:45～12:06	シールドジャッキの引抜きと押当てを 3 ピース分行った。	A2、A1、B1 の順に 3 ピースのセグメントを組立てた。
12:06:09～12:07:13	- 新たに 6 本のシールドジャッキを引抜く動作が開始された。 - 上記と同時に、切羽圧の急激な低下が記録された(図 3.2.2)。	- B2 セグメントの組立を開始した。 12:06:09 から何らかの浸水が始まったと思われる。
12:17 頃	作業員から鹿島建設(株)の社員に「何らかのトラブル」を伝える連絡があった。	
12:23～12:29	立坑上部まで浸水し、立坑の天端から水があふれた。	大規模な出水は、12:23～12:29 の 6 分間のうちで生じたものと思われる。

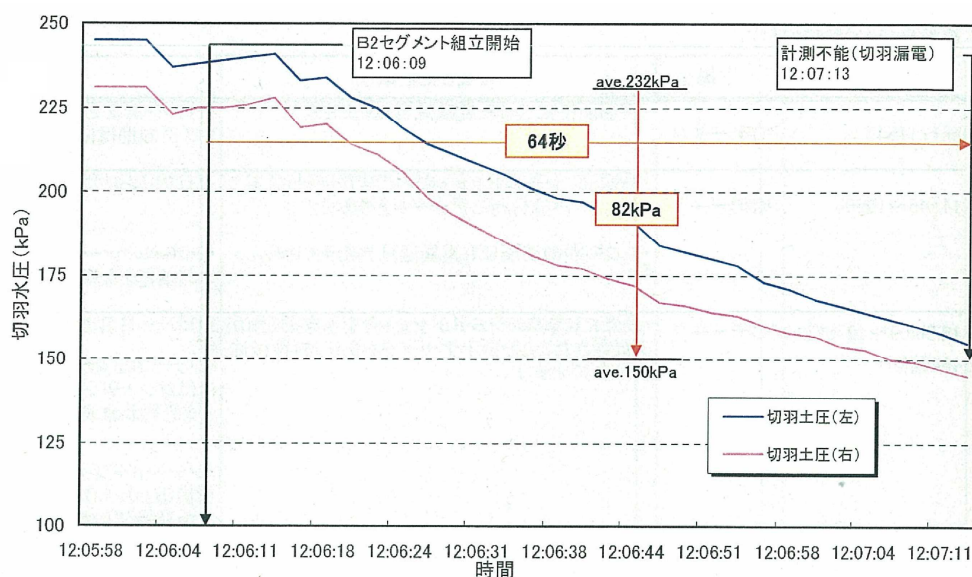


図 3.2.2 事故時の切羽圧の低下 (鹿島建設(株)資料より)

水島海底シールドで発生した事象について
— PCデータの分析から整理した事柄 —

2012.02.28

事故当日(2012年2月7日)

時刻	根拠	発生した事象	推定される事柄	説明	作業員配置
朝～11:45	PCデータ	・切羽圧に大きな異変は見当たりません。	・111リングまでの掘進・セグメントの組立～112リングの掘進は問題なく進捗しました。		地上: A (11:45頃はJV事務所で昼の打合せ) B (セグメント他資材積込)
11:45～12:06	PCデータ	・順次、シールドジャッキの引き抜きと押し当てを、3ピース分行ったデータがあります。 ・この間の切羽圧にも異変は見当たりません。	・112リングのセグメントを組立てていました。 ・26本のシールドジャッキのうち3本が引き抜き済の状態となりました。		立坑下: C (積込) D (バッテリーロコ) 切羽: E (マシンオペ) F (セグメント組立) G (セグメント組立)
12:06:09～12:07:13 (64秒間)	PCデータ	・新たに6本のシールドジャッキを引き抜く動作が開始されたことを示すデータがあり、64秒後に途切れています。	・4ピース目のセグメントの組立を行おうとした。 ・シールドジャッキの引き抜き途中で、12:07:13にはシールドジャッキの操作ができなくなったものと思われます。	・シールドジャッキは(油圧ポンプが作動していても)制御系の電源が停止すると、安全のため稼働しなくなるしくみとなっています。	
12:06:09～12:07:13 (64秒間)	PCデータ	・シールドジャッキの引き抜き開始と同時に、切羽圧の急激な低下が記録され、64秒後に途切れています。	・12:06:09から何らかの浸水が始まったと思われます。	・この引き抜き操作で、111リングのB1は6→1本、B2は6→4本、Kは2→0本での支持となります。	
12:17頃	携帯電話の通話記録	・Aさんから鹿島の社員に「何らかのトラブル(漏電?)」を伝える連絡がありました。			○Eさんが切羽から坑口へ移動し、EVで地上へ。そこでAさんと会話。Aさんは鹿島のHにTEL(12:17)。
12:23	PCデータ	・PCの通信接続が切れました(これ以後、データは取得されていません)。	・この時点までは、シールドトンネル内の水位はシールドトンネル床面から1.25m以下であったと思われます。	・シールドトンネルの床面から1.25mのところにシールド用トランスがあり、冠水すれば停電します。 ・この後もPCは無停電装置で動きます。	○Gさんが坑口へ移動しEVで地上へ。 ○その後、EさんとAさんがEVで降りてきて横坑内へ。
12:23～12:29	観測	①立坑上部まで浸水しました。②海底に直径20m深さ3.5mの陥没が生じていました。③立坑の天端から水があふれました。	・大規模な出水は12:23～12:29の6分間のうちで生じたものと思われます。		○AさんとEさんは横行の途中(坑口から見える範囲)を中へ向かって歩行中。
12:29	PCデータ	・PCの電源が消失しました。	・PCが置かれている計測室の床面が浸水したと思われます。		○横坑内の途中で、Aさんが「逃げろ」と叫んだのを聞いて、Cさんは螺旋階段を駆け上がる。 ○GさんはEVで降下中。

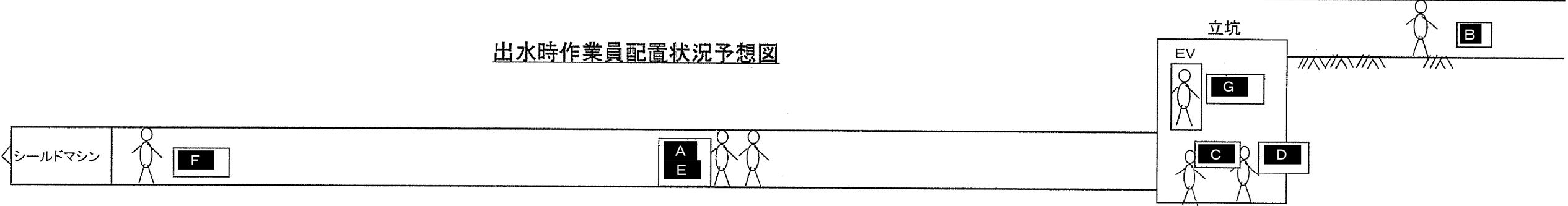
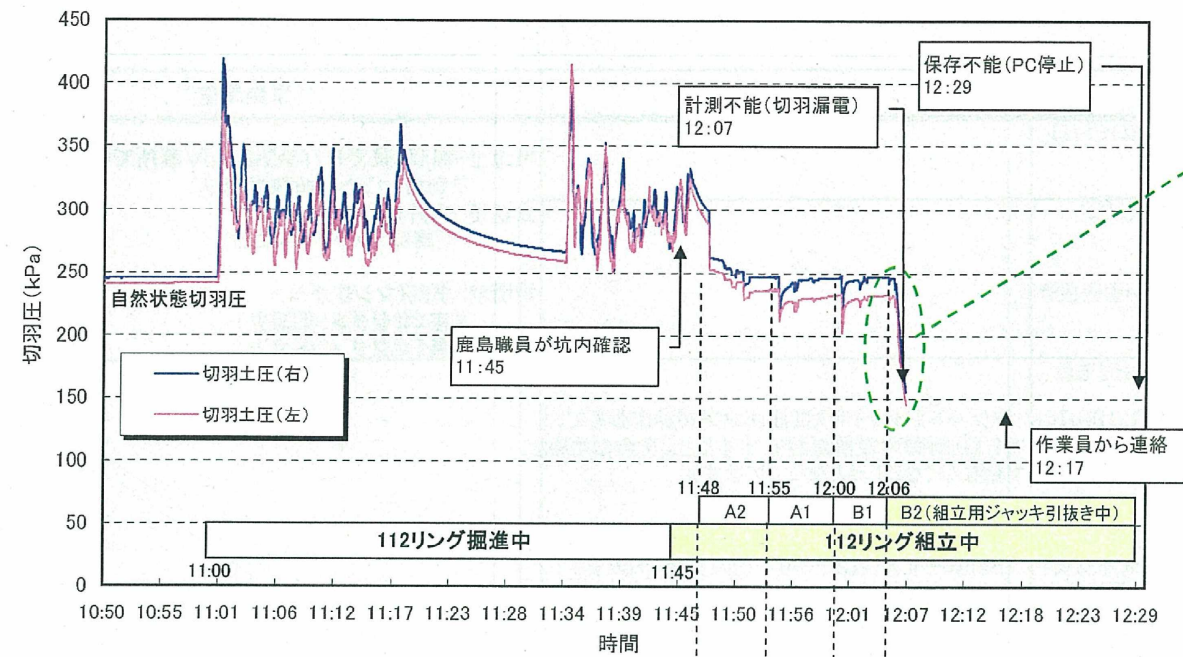
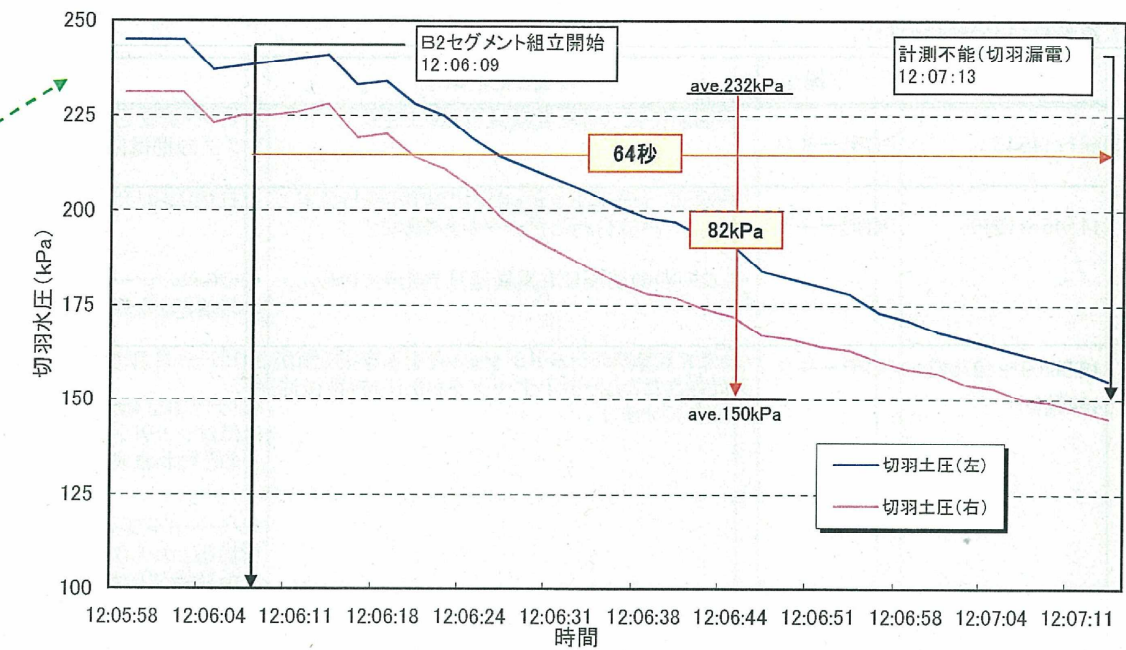


図 3.2.1(1) 事故発生時の詳細経緯 (鹿島建設(株)資料より)

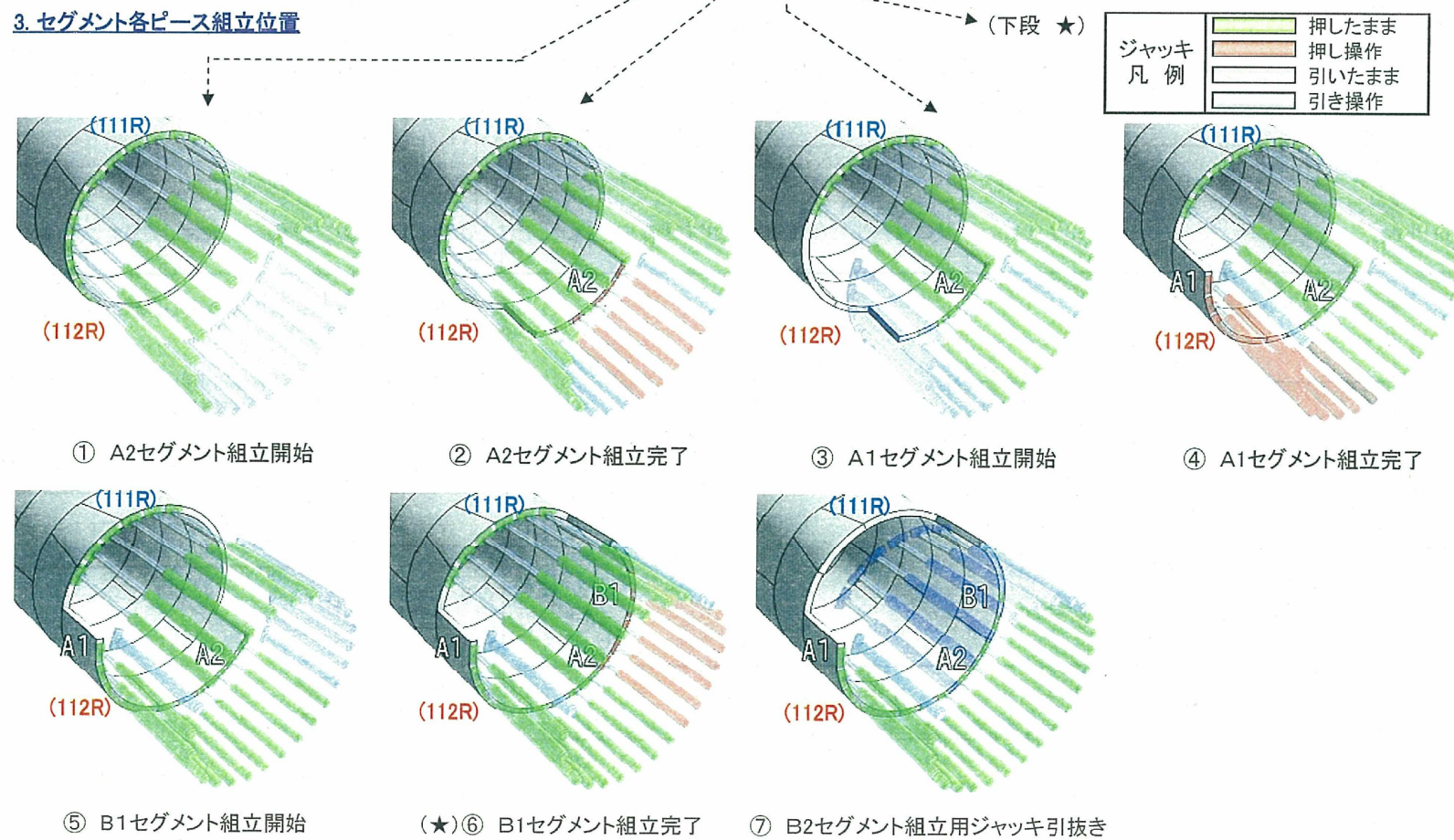
1. 切羽土圧掘進データ(112リング掘進～112リング組立～データ消失まで)



2. 切羽土圧掘進データ(112リング組立～計測不能)



3. セグメント各ピース組立位置



4. マシン・セグメント最終状態(推定)

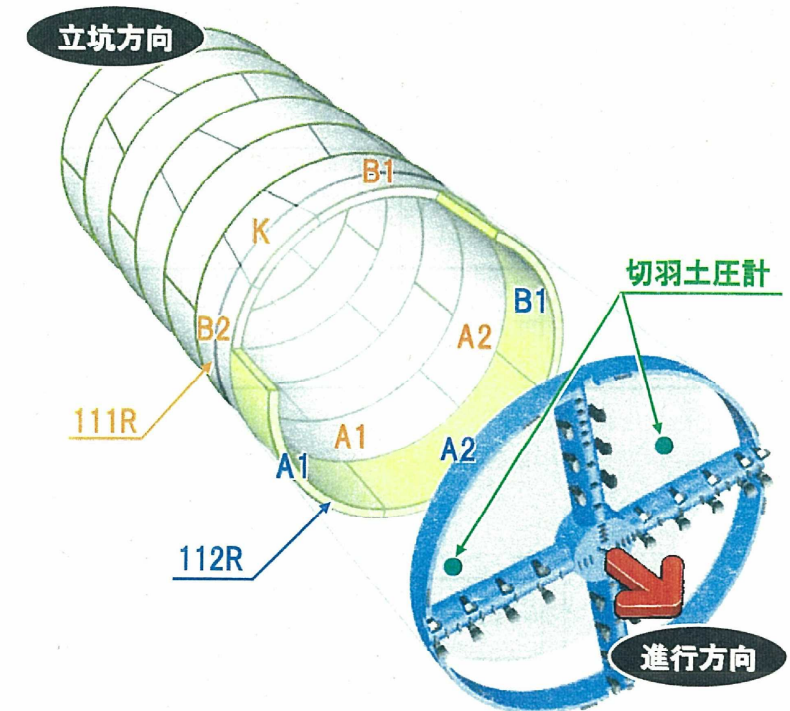


図 3.2.1(2) 事故発生時の詳細経緯 (鹿島建設(株)資料より)

5. 電源消失について(112リング掘進～112リング組立～データ消失まで)

※UPS：無停電電源装置

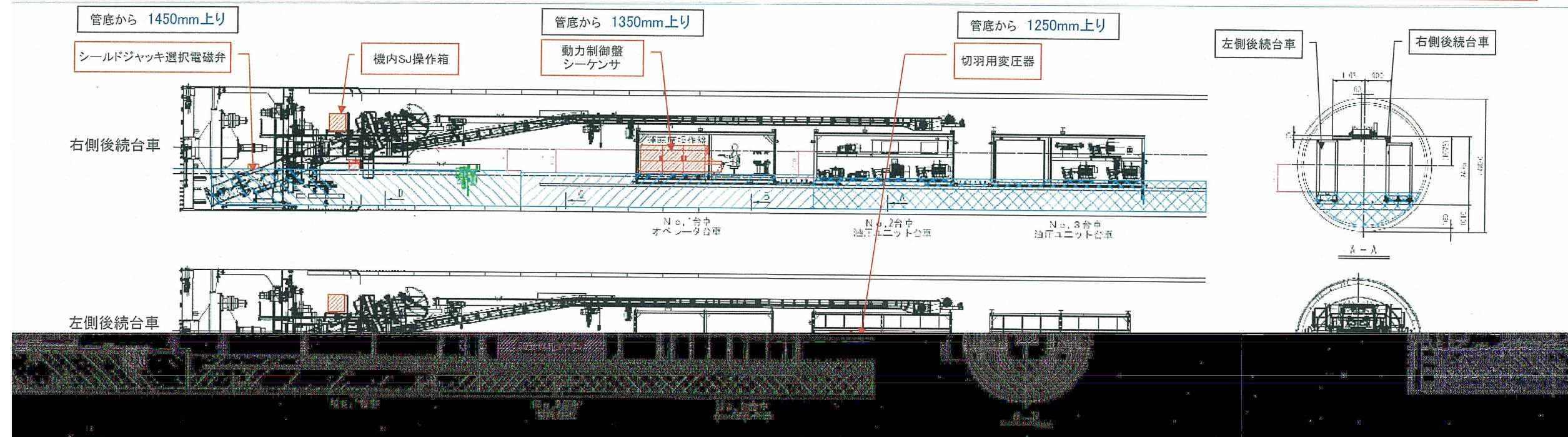
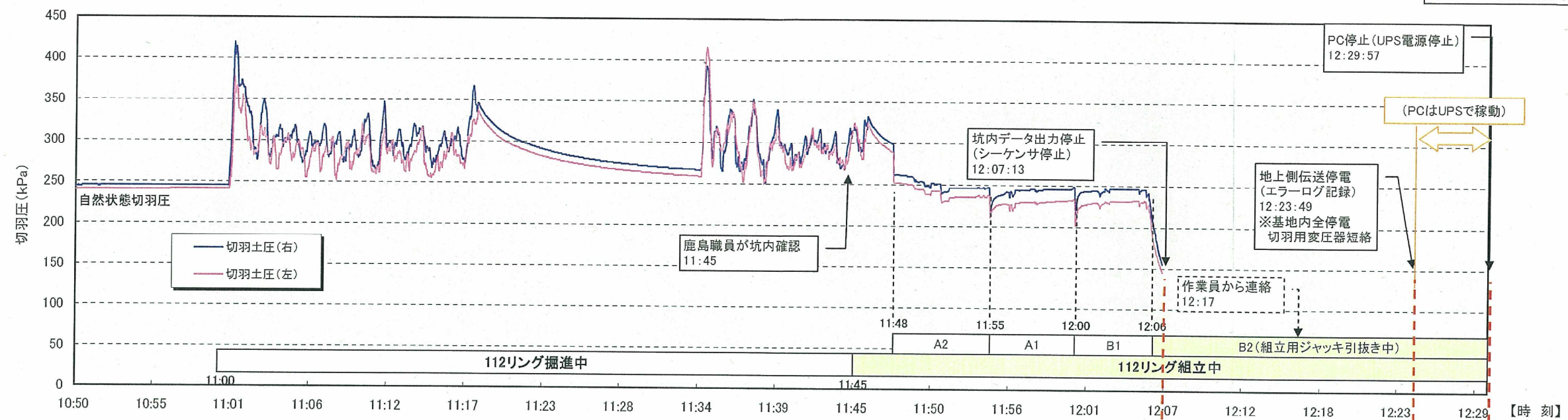


図 3.2.1(3) 事故発生時の詳細経緯 (鹿島建設(株)資料より)