東北ILC施設計画

2020年10月

東北ＩＬＣ事業推進センター

協　力
高エネルギー加速器研究機構

はじめに

国際リニアコライダー（International Linear Collider; ILC）を東北地方の北上サイトに建設する場合の施設計画については，2014 年頃より建設候補地周辺の関係機関が調査・検討を進めてきた。現在では, 高エネルギー加速器研究機構の協力の下，ILC 国際設計チームによる検討結果を余すことなく取り入れた計画となっている。

ILC 施設は大規模な地下工事を伴うことから，その施設計画の技術的成立性については岩盤力学・工学の専門的観点から評価されることが重要である。そこで，東北地方の北上サイトにおける ILC 施設計画（以下,「東北 ILC 施設計画」）については，2019 年度に（公社）土木学会岩盤力学委員会の下に設置された ILC 施設計画評価小委員会によって技術的成立性の検討が行われ，“「東北 ILC 施設計画」は技術的成立性を担保しているものと評価，その内容は妥当であると結論する”との評価を頂いた。

当推進センターは，施設計画の建設技術に関わる内容を公開し，多方面における様々な科学的・技術的検討に資することが ILC の実現に向けての極めて有用かつ不可欠な一歩であると考えるものである。そこで，当推進センターは，北上サイトにおける ILC 施設計画の技術的内容を再整理し，ここに紹介することとした。

本書を通して ILC 施設計画が広く理解されると共に，その技術的内容について，様々な分野の多くの専門家の皆様による検討が進展することを期待している。

東北 ILC 事業推進センター
代表　鈴木 厚人

東北 ILC 施設計画の公開に寄せて

東北 ILC 施設計画は，東北 ILC 準備室が高エネルギー加速器研究機構（KEK）と共にまとめ，公益社団法人土木学会岩盤力学委員会 ILC 施設計画評価小委員会が岩盤力学・工学の視点から技術的成立性を評価したものである。以下にその経緯を記すと共に，土木学会による評価結果を掲載する。

土木学会 岩盤力学委員会
ILC 施設計画評価小委員会

I. 経緯

1. 東北 ILC 施設計画

ILC 計画は Technical Design Report（技術設計書:2013 年）を基本として，我が国では高エネルギー加速器研究機構（KEK）が中心となって各国研究者との国際共同作業によりコストダウン検討等が進められ，現在では ILC 計画の仕様は概ね確定するという段階に至っている。

他方，大規模な地下工事を伴う ILC 計画では，計画地点に固有な地形や地質等の条件を考慮することが不可欠であることから，立地候補地である東北地域においては，ILC 立地実現に向けて東北 ILC 準備室が地点調査や概念設計等を自主的に進めてきた。

ここに示す東北 ILC 施設計画は，国際的に検討が進められている仕様に，候補地点の固有条件を加味して，東北 ILC 準備室が KEK と共にまとめたものである。

2. 施設計画の評価

ILC 施設建設は大規模な地下工事を伴うことから，岩盤力学・工学の視点から施設計画の成立性が十分に担保される必要がある。そのため，第三者機関として，過去にも ILC 施設計画に関する技術的検討を実施してきた公益社団法人土木学会岩盤力学委員会に本施設計画の評価が委託された。

3. 土木学会 岩盤力学委員会 ILC 施設計画評価小委員会

3.1 小委員会の設置ならびに委員構成

岩盤力学委員会では，委員会の下に専門の「ILC 施設計画評価小委員会」を設置して評価作業を進めることとした。委員については広く岩の力学連合会（Japanese Society for Rock Mechanics：JSRM）のメンバーの中から各々の専門分野を考慮して選考し，岩盤力学・工学の分野におけるオール・ジャパン体制で作業に臨むこととした。

ここにいう JSRM は，岩盤力学・工学の世界的学会組織である国際岩の力学会（International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering：ISRM）の日本支部として，土木学会，地盤工学会，資源・素材学会，日本材料学会の 4 学会が組織母体となっている日本学術会議の協力学術研究団体であり，我が国の岩盤力学・工学に携わる研究者・技術者の大多数が所属している。

本小委員会は，JSRM メンバーから成るオール・ジャパン体制の委員構成に加え，大西委員長は ISRM の元副総裁であり，JSRM の現理事長，元理事長 2 名（尾原，京谷）も委員として名を連ねるなど，国内のみならず国際的にも十分信頼に足る作業チームである。

3.2 委員名簿

委員長	大西 有三	（京都大学名誉教授）
幹事長	京谷 孝史	（東北大学 大学院工学研究科 土木工学専攻）
幹　事	佐貫 智行	（東北大学 大学院理学研究科 物理学専攻）
	照沼 信浩	（高エネルギー加速器研究機構）
委　員	児玉 淳一	（北海道大学 大学院工学研究院 環境循環システム部門）
	清木 隆文	（宇都宮大学 地域創生科学研究科 社会デザイン科学専攻）
	長田 昌彦	（埼玉大学 大学院理工学研究科 環境システム工学系専攻）
	徳永 朋祥	（東京大学 大学院新領域創成科学研究科 環境システム学専攻）
	岸田　潔	（京都大学 大学院工学研究科 都市社会工学専攻）
	小山 倫史	（関西大学 社会安全学部 安全マネジメント学科）
	芥川 真一	（神戸大学 大学院工学研究科 市民工学専攻）
	安原 英明	（愛媛大学 大学院理工学研究科 生産環境工学専攻）
	三谷 泰浩	（九州大学 大学院工学研究院 社会基盤部門）
	尾原 祐三	（熊本大学 工学部 社会環境工学科）
	伊藤 高敏	（岩の力学連合会理事長）
	西本 吉伸	（岩盤力学委員会委員長）
	山下　了	（東京大学 素粒子物理国際研究センター）
	道園 真一郎	（高エネルギー加速器研究機構）

3.3 委員会活動

活動内容：

(1) ILC 計画概要と施設計画の説明
(2) 東北 ILC 施設計画の説明
(3) 候補地の視察と留意点の抽出
(4) 評価及び留意事項のまとめ

委員会の開催および現地視察：

・第 1 回委員会（令和元年 7 月 30 日）
・第 2 回委員会（令和元年 8 月 30 日）
・第 3 回委員会（令和元年 11 月 11 日）
・現地視察　　（令和元年 11 月 27 日）
・第 4 回委員会（令和元年 12 月 19 日）
・第 5 回委員会（令和 2 年 2 月 20 日）

以上

土木学会 岩盤力学委員会
ILC 施設計画評価小委員会
幹事長　京谷 孝史

Ⅱ.　東北 ILC 施設計画に対する評価結果（抜粋）[1)]

「東北 ILC 施設計画」は技術的成立性を担保しているものと評価，その内容は妥当であると結論する。

ILC 施設計画評価小委員会の活動は，1) ILC 計画概要と施設計画の説明　2) 東北版 ILC 施設計画の説明　3) 候補地の視察と留意点の抽出　4) 評価および留意事項のまとめ　という施設計画全体を網羅した幅広い内容をカバーしている。

小委員会は，令和元年 7 月半ばから評価作業を開始し，令和 2 年 2 月に作業を終了した。本施設の特徴は，ビームが走る主要トンネルの総延長が 20.5 km と長大であり，それに 5 本のアクセストンネル（断面は幅 8 m，高さ 7.5 m のかまぼこ型）が付随し，さらに検出器を収める大空洞となるホール（内空は幅 25 m，長さ 108 m ～ 133 m，高さ 42 m）を有することである。施設が大規模であり，地下に設置され，及ぼす影響がさまざまであるため，施設計画書の内容の妥当性を評価するには，岩盤工学，地盤工学，水理地質学などの幅広い観点からの検証が必要であり，過去に通常の土木施設としてトンネルや地下空洞を構築してきた日本の土木技術に照らし合わせて，計画書の妥当性を検討する必要があった。

地下施設は複雑な地質条件を有する地下岩盤の内部に構築されるため，建設予定地の固有の特性調査，事前の地表・地下探査による地盤・岩盤・地下水の性状把握，地下施設が安全に建設できるかどうかの力学的安定性の確認，設計が適切に行われていて安全かつ迅速な施工が可能かどうかといった施工性への影響のチェック，経済性を考慮した計画の立案などが構築されているかどうかが論点となった。

我が国を代表する該当分野の専門家たちから成る小委員会は，様々な意見交換を基に慎重かつ丁寧な評価作業を行い，専門的立場からみて「東北 ILC 施設計画」は技術的成立性を担保しているものと評価，その内容は妥当であると結論づけた。

令和 2 年 2 月 20 日

土木学会 岩盤力学委員会
ILC 施設計画評価小委員会
委員長　大西 有三

[1)] 評価結果は，土木学会 岩盤力学委員会 ILC 施設計画評価小委員会のウェブページ（http://www.rock-jsce.org/index.php?ILC_subcommittee_2th）に公開されている。

目 次

第 I 部　International Linear Collider (ILC)　1

1　ILC 施設概要　3

1.1　ILC 加速器の構成 3

1.2　ILC 地下施設 4

2　設計要件　5

2.1　アクセストンネル・アクセスホール 5

2.2　加速器トンネル 8

2.2.1　ダンピングリング トンネル 8

2.2.2　主線形加速器トンネル 10

2.2.3　BDS トンネル 12

2.3　検出器ホール・周辺トンネル 14

第 II 部　北上サイト　17

3　地形地質　19

3.1　地形概要 19

3.2　地質概要 20

4　地質調査　23

4.1　地質調査内容 23

4.2　地質調査結果概要 25

第 III 部　東北 ILC 施設計画 **33**

5　計画策定の経緯・条件 **35**

6　施設配置 **37**

6.1　配置計画 37

6.1.1　配置計画の考え方 37

6.1.2　ILC 施設配置計画 38

7　アクセストンネル・アクセスホール **41**

7.1　設計諸元 41

7.1.1　坑口位置の選定 41

7.1.2　地山等級 42

7.1.3　アクセストンネル・アクセスホールの寸法諸元と構造 42

7.2　施工計画 54

7.2.1　計画概要 54

7.2.2　坑口ヤード造成 54

7.2.3　掘削方法 54

7.2.4　仮設備計画 55

7.2.5　工程計画 55

8　加速器トンネル **57**

8.1　設計諸元 57

8.1.1　地山等級 57

8.1.2　加速器トンネルの寸法諸元と構造 57

8.2 施工計画 64
8.2.1 計画概要 64
8.2.2 概略工事工程計画 64

9 検出器ホール・周辺トンネル 67

9.1 設計諸元 67
9.1.1 岩盤等級 67
9.1.2 検出器ホール・周辺トンネルの寸法諸元と構造 67
9.1.3 支保設計 69
9.2 施工計画 76
9.2.1 施工概要 76
9.2.2 概略工事工程計画 76

10 排水設備 79

10.1 ILC 加速器が排水設備に求める要件 79
10.1.1 加速器トンネル 79
10.1.2 排水トンネル 79
10.1.3 排水系統 79
10.2 設計諸元 80
10.2.1 湧水条件 80
10.2.2 加速器トンネル坑内区間排水方法 80
10.2.3 排水トンネルの寸法諸元と構造 81
10.3 施工計画 89
10.3.1 施工概要 89

10.3.2 概略工事工程計画 89

11 概略施工計画 91

12 概算工事費 93

13 今後の課題 95

第 IV 部 補遺 99

A 施設配置計画別案 101

B 主ビームダンプ空洞の検討状況（参考） 103

C 検討図面集（参考） 107

第 I 部

International Linear Collider (ILC)

1　ILC 施設概要

1.1　ILC 加速器の構成

ILC（International Linear Collider）加速器の構成を図 1.1 に示す [1, 2]。まず，中央付近にある電子銃・陽電子源によって，素粒子研究に用いる大量の電子や陽電子を生成する。数百億個の電子・陽電子をかたまり（バンチと呼ぶ。）とし，ダンピングリングへ送り込む。バンチはダンピングリングを周回するうちに細く絞り込まれ，平行度の高い高品質なビームとなる。ダンピングリングから出た電子ビーム・陽電子ビームは，両端まで輸送された後にターンアラウンド部で進行方向を反転し，中央の衝突点へ向けて主線形加速器で一気に加速される。加速されたビームは最終収束光学系（Beam Delivery System; BDS）によって中央まで輸送され，最終的にはナノメートルレベルの極小サイズにまで収束された後に衝突する。衝突の際に起こる素粒子反応は，衝突点を取り囲むように設置した検出器によって余すことなく記録され，素粒子物理学の研究を行う。衝突点通過後のビームは，ビームダンプにおいて水に吸収される。

ILC のような線形加速器は，延伸によって更に高いエネルギーでの実験が可能になる。延伸による高度化は，円形加速器にはない線形加速器の際だった特長である。現在の ILC 計画は，現時点で最も重要，かつ喫緊の研究課題である「ヒッグス粒子」の研究に最適化しており，その到達エネルギーを 250 GeV，延長を 20.5 km としている。ILC での研究の進展により更に高いエネルギーでの実験の重要性が確認されることに備え，延伸・高度化が可能な設計としている。

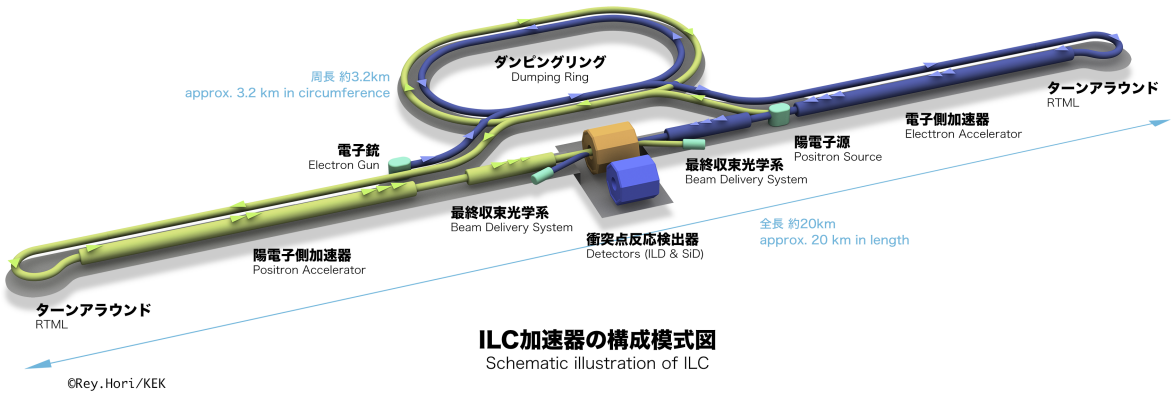


図 1.1: ILC 加速器の構成

1.2 ILC 地下施設

ILC 加速器を設置するために必要な地下施設の概観は，図 1.2 のようになる。

主線形加速器及び BDS 機器を設置するために，電子側と陽電子側の地下トンネルを対向する形で配置する。中央の衝突点を通過後のビームが対向する加速器へ進入しないように，両者のトンネルは水平面内に 14mrad の角度をもっている。両端部にはターンアラウンド部を収めるループ状のトンネルが必要である。中央部には，ダンピングリングを収めるレーストラック型のトンネルや，検出器を収める検出器ホール等を建設する。

地下トンネルと地表を繋ぐためには，5 本のアクセストンネル（中央部に 1 本，電子側及び陽電子側に 2 本ずつ）を用いる。アクセストンネルが地下トンネルに接続する位置は，加速器の設計によって決まる。また，検出器ホールは，2 本の立坑によって地表と接続する。

延長は電子側が 10.9 km，陽電子側が 9.6 km であり，総延長は 20.5 km となる。電子側には陽電子生成用の機器が設置されるために，その延長は陽電子側よりも長くなる。

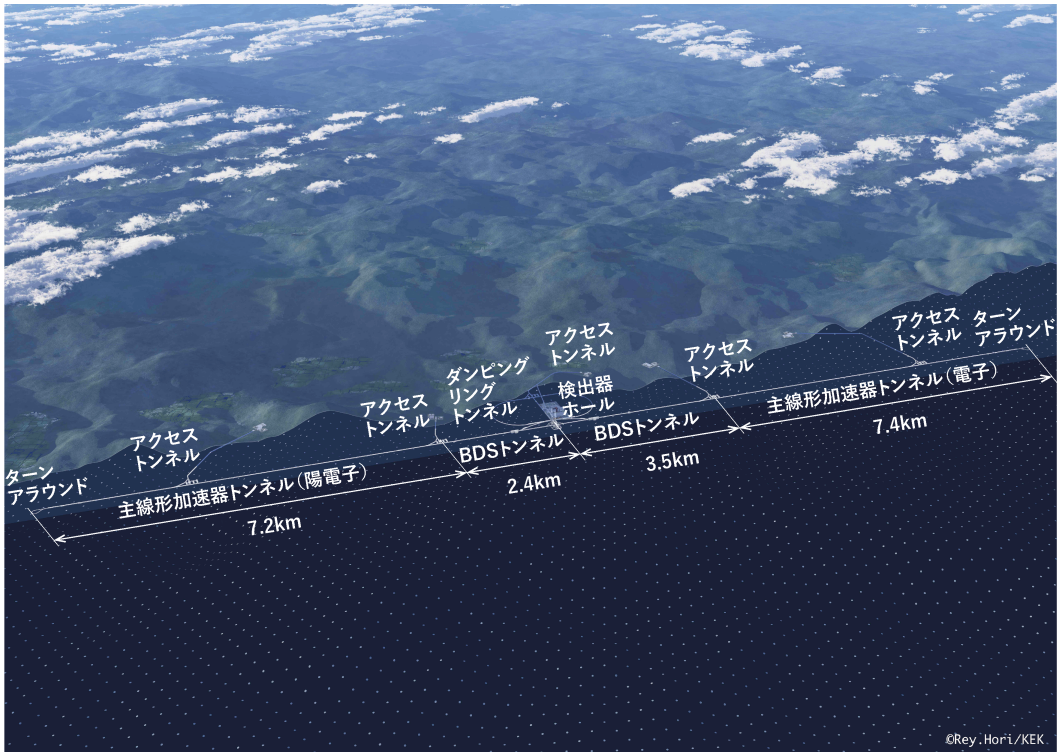


図 1.2: ILC 地下施設概観図

2　設計要件

2.1　アクセストンネル・アクセスホール

地表と加速器トンネルは，進入用の斜坑であるアクセストンネル（Access Tunnel; AT）によって接続される。アクセストンネルは，電子側に接続するものが 2 本（AT−8，AT−10），陽電子側に接続するものが 2 本（AT+8，AT+10），並びにダンピングリング・検出器ホールに接続するものが 1 本（AT−DR/DH）である[2)]。アクセストンネルと加速器トンネルの接続部には，ILC 運用に必要な各種設備を収めるアクセスホール（Access Hall; AH）が建設される（図 2.1）。

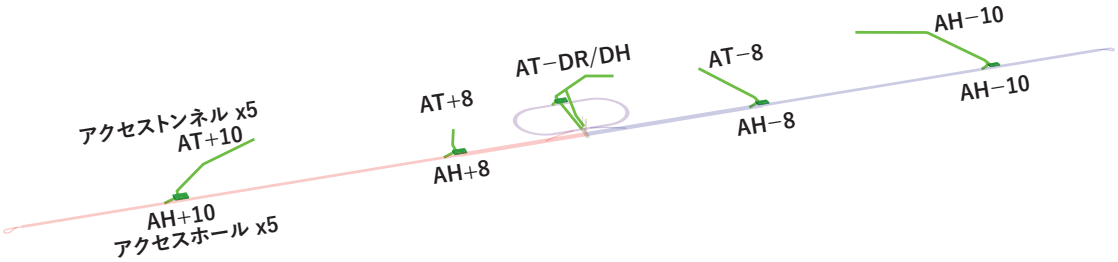


図 2.1: アクセス トンネル

アクセストンネルは，コールドボックス等の大型機器の搬入，並びに，ILC 運用に必要な各種ケーブル，配管，ダクト等の敷設に使用する（図 2.2）。これらの用途を考慮し，断面は幅 8 m，高さ 7.5 m のかまぼこ形（馬蹄形型）としている。また，アクセストンネルの斜度については，道路構造令に示されている縦断勾配の最大値が 12%（第 1 種，第 2 種及び第 3 種普通道路の特例値）であることを参考にして，最大 10 %（平均 9 %）の下り勾配としている。

アクセストンネル坑口部は，加速器トンネルへ至る進入路の拠点（Access Station; AS）となり，電気や機械等の各種設備を設置するために 18,200 m^2 のヤードが必要である。この AS ヤードは，建設時の仮設ヤードとしても用いる。

アクセスホールは，機械設備，変電設備，液体ヘリウムプラント，及び各種サービス設備を収める 4 つのドーム（それぞれ，M ドーム，E ドーム，He ドーム，及び S ドームと呼ぶ。）から構成される（図 2.3，図 2.4）。

なお，各アクセスホールと衝突点の距離は，ILC 加速器の設計によって決められている。

[2)] アクセストンネルに付す番号（−8，−10，+8，+10）は，『Technical Design Report』[1] に従った。

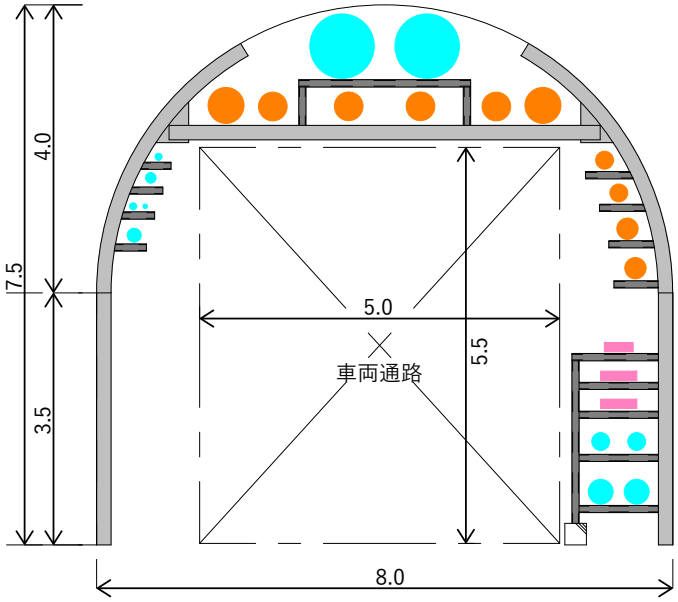


図 2.2: アクセストンネル内部の様子（配管の配置については検討中）

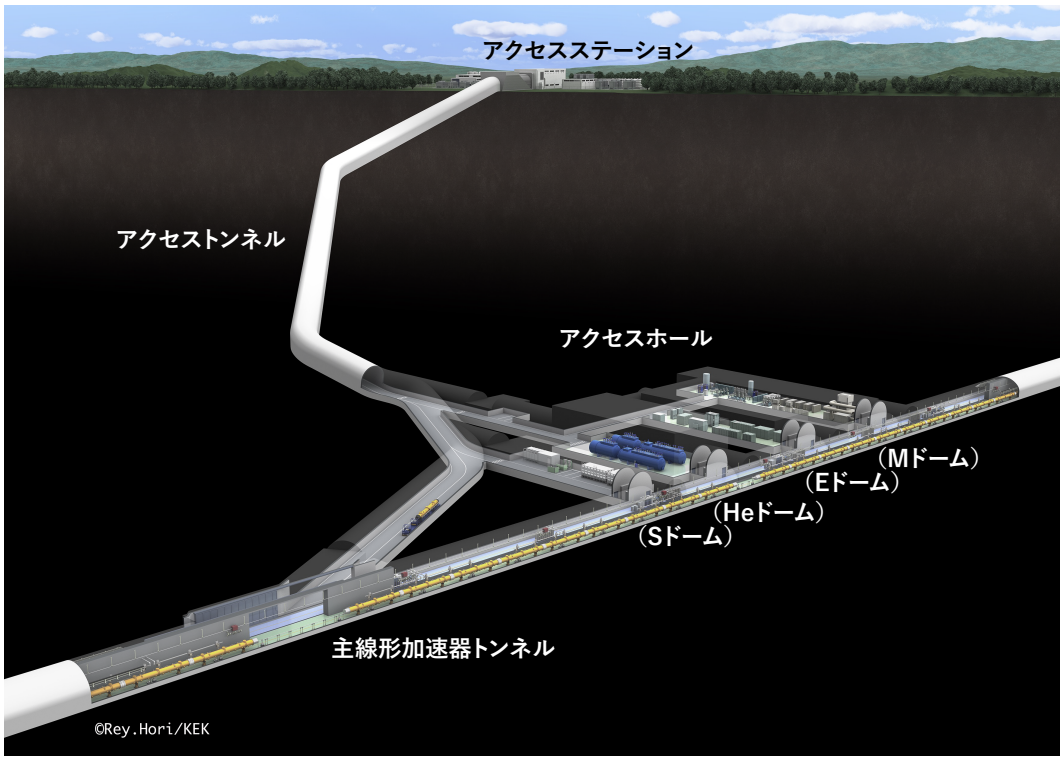


図 2.3: アクセスステーションから主線形加速器トンネルまで

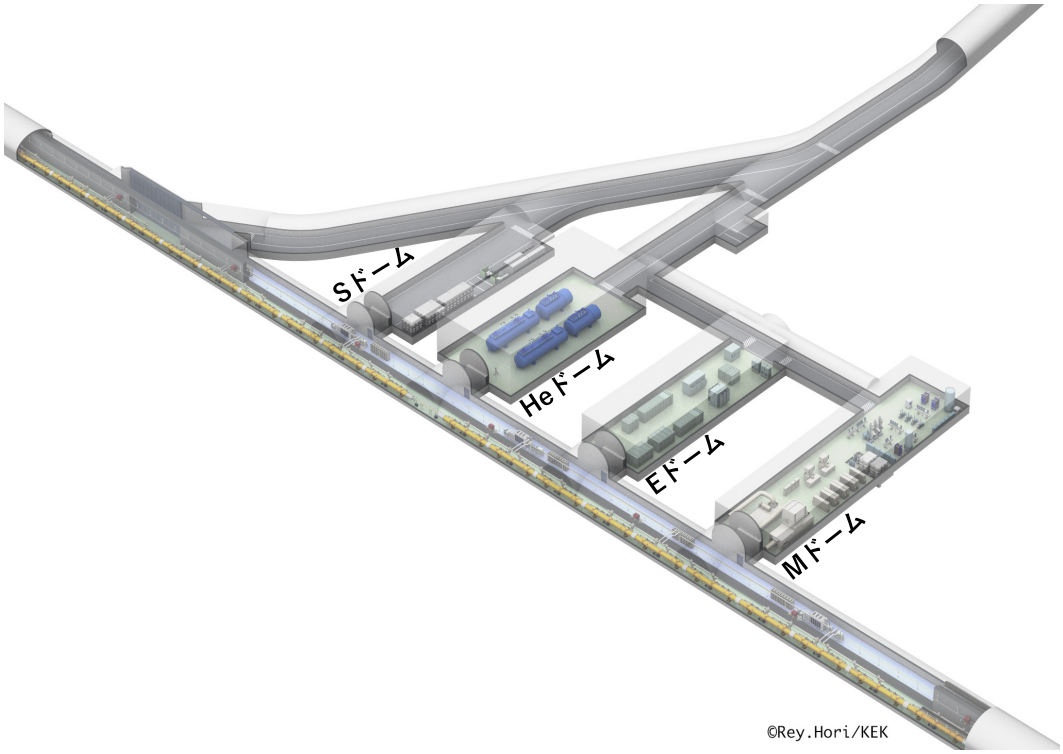


図 2.4: アクセスホール内部の様子

2.2 加速器トンネル

加速器トンネルは，ダンピングリング トンネル，主線形加速器トンネル，BDS トンネル，及びそれらを連絡するトンネルから構成される。

2.2.1 ダンピングリング トンネル

ダンピングリングを収めるトンネルは中央部に位置し，直線部と曲線部を組み合わせたレーストラック型となる（図 2.5）。その周長は 3.2 km である。

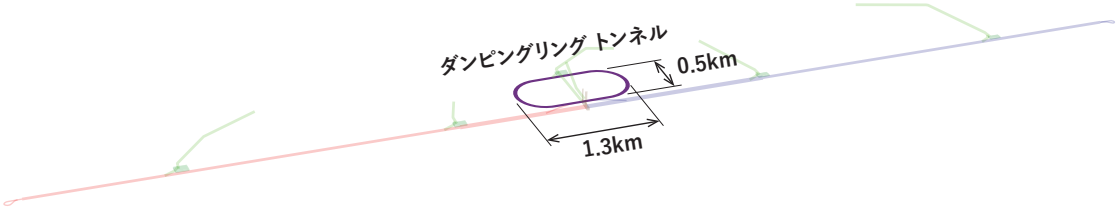


図 2.5: ダンピングリング トンネル

ダンピングリングトンネル内には，電子用ダンピングリングと陽電子用ダンピングリングを 2 段に重ねて設置する（図 2.6）。陽電子リングを追加設置することで性能向上を図れることから，3 段重ねにしたリングを収容可能な内空を確保する。

ダンピングリングトンネル曲線部には偏向磁石のみが設置され，幅 5.5 m，高さ 4.7 m 以上の内空が必要である。一方，直線部には，超伝導高周波加速装置（クライオモジュール）及び高周波発生装置を設置し，両者の間にはコンクリート製遮蔽壁を設けることから，曲線部よりも広い幅 11 m，高さ 5.5 m 以上の内空が必要である。

図 2.6: ダンピングリングトンネル曲線部内部の様子

2.2.2 主線形加速器トンネル

電子ビーム・陽電子ビームを所定のエネルギーまで加速する主線形加速器は，対向する直線トンネルに収められる（図 2.7）。衝突エネルギーとして 250 GeV を目指す現行計画では，主線形加速器トンネルの延長は電子側が 7.4 km，陽電子側が 7.2 km である。

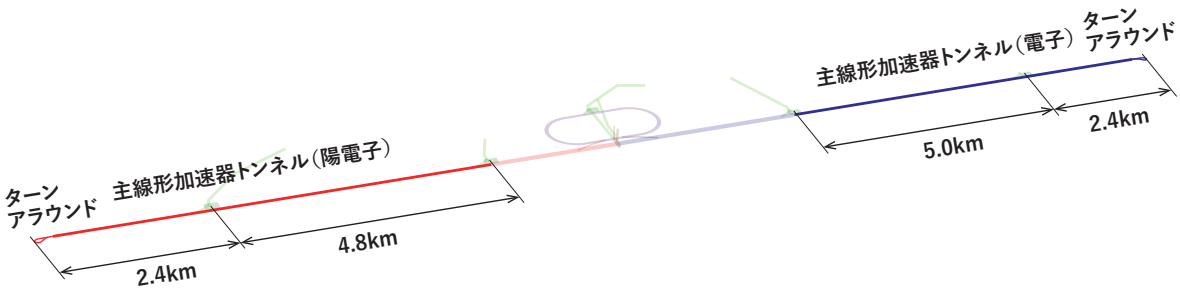


図 2.7: 主線形加速器トンネル

主線形加速器トンネルには，超伝導高周波加速装置（クライオモジュール）及び高周波発生装置を設置する。図 2.8 中で，黄色の筒状のものがクライオモジュールである。トンネル中央には，クライオモジュールと高周波発生装置を隔てる厚さ 1.5 m のコンクリート製遮蔽壁を設置する計画である。高周波発生装置の運転に必要な電力線，冷却水配管等も併せて敷設する。また，クライオモジュール等の設置や交換に必要十分な空間の確保も必要である。以上の条件から，主線形加速器トンネルの内空断面は，幅 9.5 m，高さ 5.5 m のかまぼこ形（馬蹄形型）とされている。

ターンアラウンド部には，ビーム軌道を曲げるための偏向磁石が設置される。コンクリート製遮蔽壁は不要なことから，幅 4.5 m，高さ 4.0 m のかまぼこ形（馬蹄形型）断面が計画されている。

なお，クライオモジュール内で液体ヘリウムを用いることから，主線形加速器トンネルはジオイド面に平行とする。

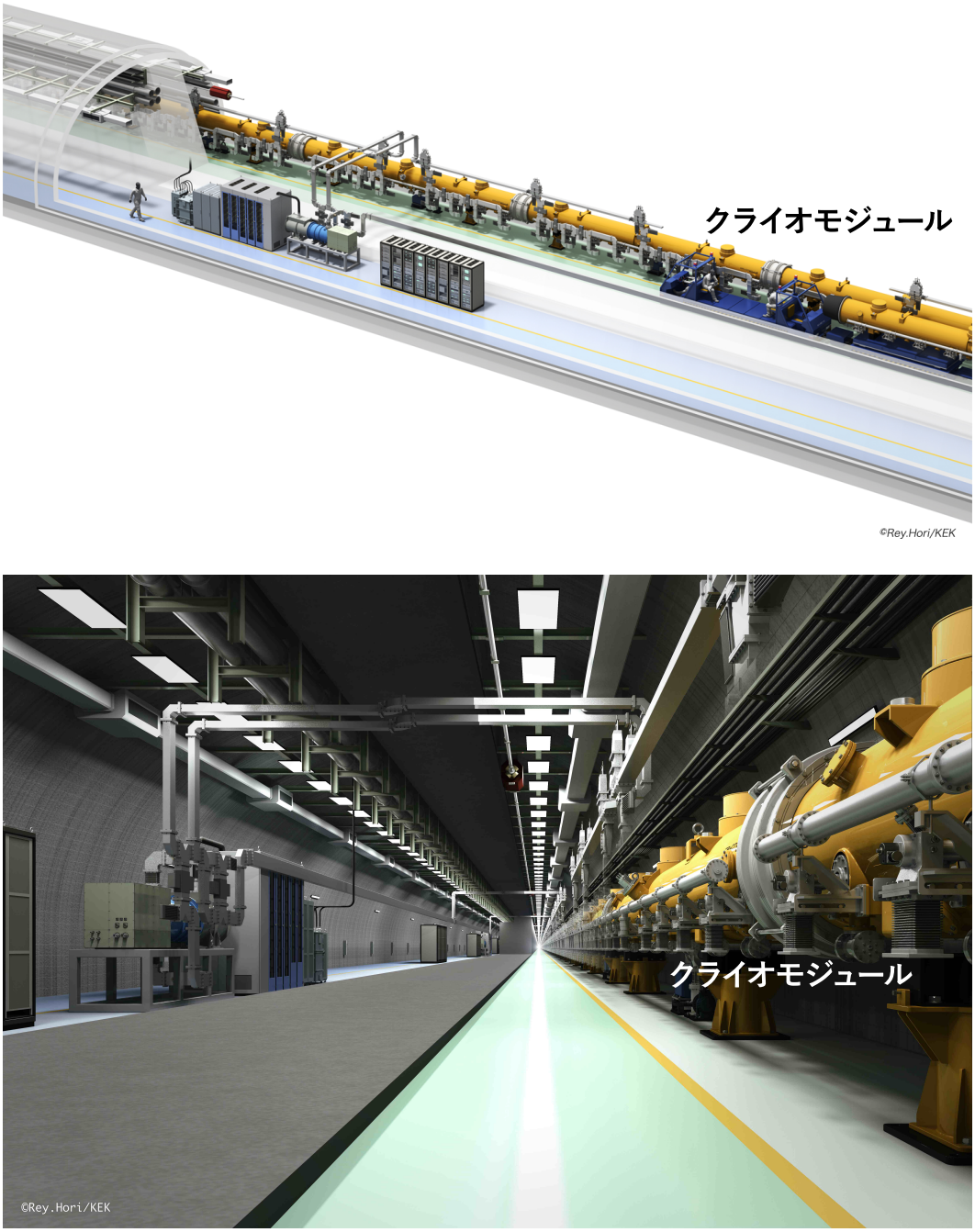


図 2.8: 主線形加速器トンネル内部の様子（遮蔽壁は表示していない）

2.2.3 BDS トンネル

主線形加速器で加速した電子ビーム・陽電子ビームを衝突点まで輸送するシステム（Beam Delivery System; BDS）を収めるトンネルである。BDS ビームラインを構成する磁石群を収めるビームトンネル，及び電磁石用電源等を収めるサービストンネルの 2 本が並走する[3)]。BDS トンネルの延長は電子側が 3.5 km，陽電子側が 2.4 km である（図 2.9）。

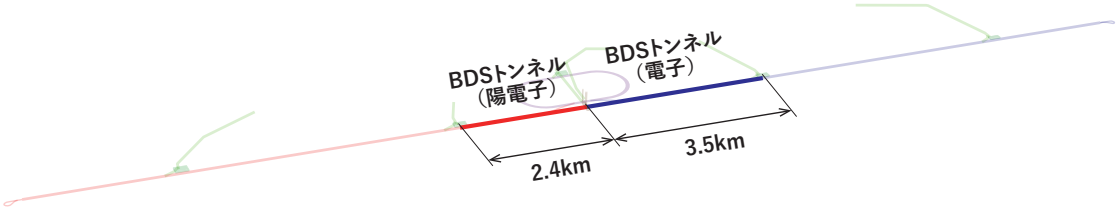


図 2.9: BDS トンネル

BDS ビームラインは，主として電磁石によって構成される。図 2.10 は，ILC 用 BDS の実証を目指して KEK に建設された ATF2 ビームラインである。ILC 用の BDS ビームラインも，規模は異なるが ATF2 ビームラインと似たものになる。BDS トンネル内には，BDS ビームラインに加えて電子源・陽電子源のビームラインも設置される。ビームライン同士の離隔が一定でないために大きな断面が必要となり，幅 8.0 m，高さ 5.0 m のかまぼこ形（馬蹄形型）断面が計画されている。サービストンネルには電磁石用の電源装置を収めるのに十分な幅 4.5 m，高さ 4.0 m のかまぼこ形（馬蹄形型）断面が計画されている[4)]。

電子ビームと陽電子ビームを十分に高い頻度で衝突させるためには，BDS ビームラインではビーム軌道を鉛直方向に曲げない（直進させる）ことが重要となる。このため，ジオイド面と平行に建設する主線形加速器トンネルとは異なり，BDS トンネルは平面内（レーザーストレート）に建設する（図 2.11）。

[3)] ILC 国際チームの検討の結果，現在の設計では 1 本のトンネルに集約されている。
[4)] 1 本に集約されたトンネルの断面は，幅 11 m，高さ 5.5 m のかまぼこ形（馬蹄形型）である。

図 2.10: BDS 実証試験用ビームライン ATF2

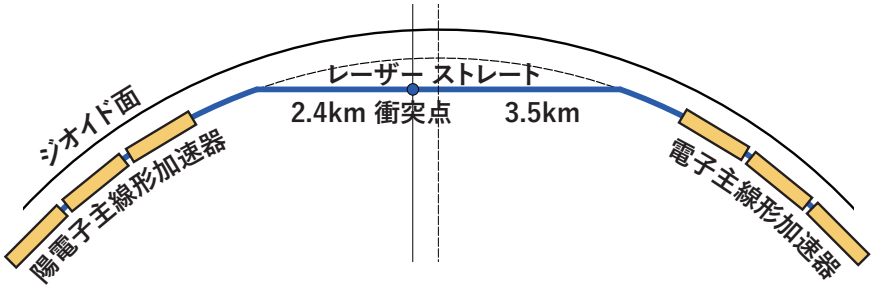


図 2.11: ILC 加速器のジオイド面に対する相対位置

2.3 検出器ホール・周辺トンネル

電子ビームと陽電子ビームが衝突する箇所には，検出器を収めるホールを建設する。検出器ホール内では，移動式の台座上に建設した 2 台の検出器が，交代で衝突点へ移動してデータ収集を行う。同じホール内には，空調等の各種機械設備も設置される。

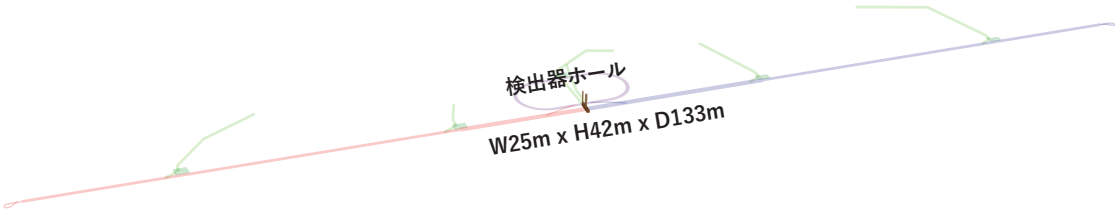


図 2.12: 検出器ホール

検出器に必要な内空は，幅 25 m，長さ 108 m，高さ 42 m とされている。これに加え，機械設備等を設置するために 25 m 延長し，長さ 133 m の地下空洞として計画する。

検出器ホールと地表は，検出器の搬入に用いる直径 18 m の立坑，電力線や各種配管等を敷設する直径 10 m の立坑，並びに斜坑（アクセストンネル）によって接続される（図 2.13，図 2.14）。周辺トンネルについては，用途によって幅 8 m と幅 4 m の区間がある。

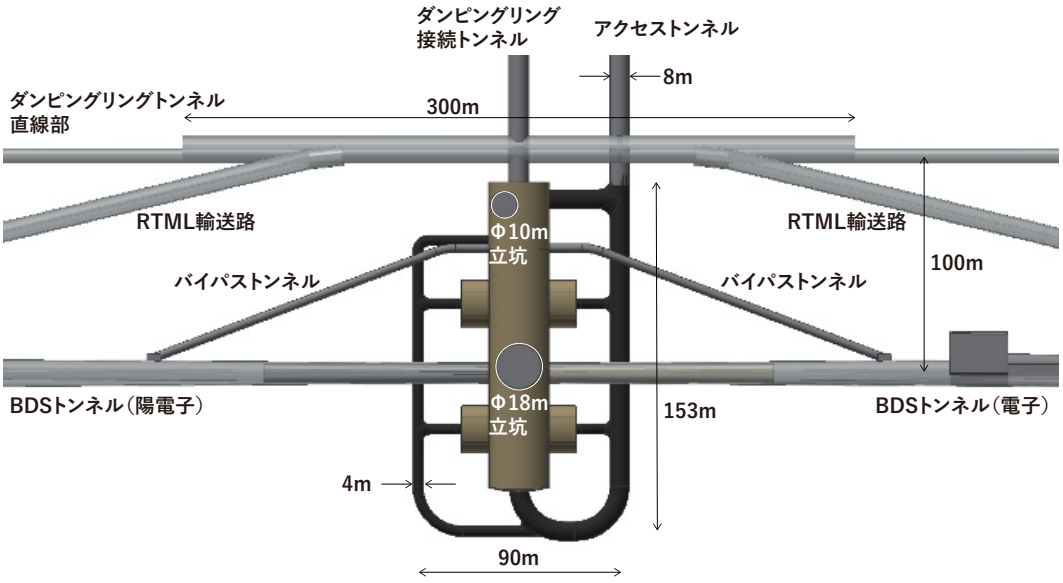


図 2.13: 検出器ホール周辺の平面図

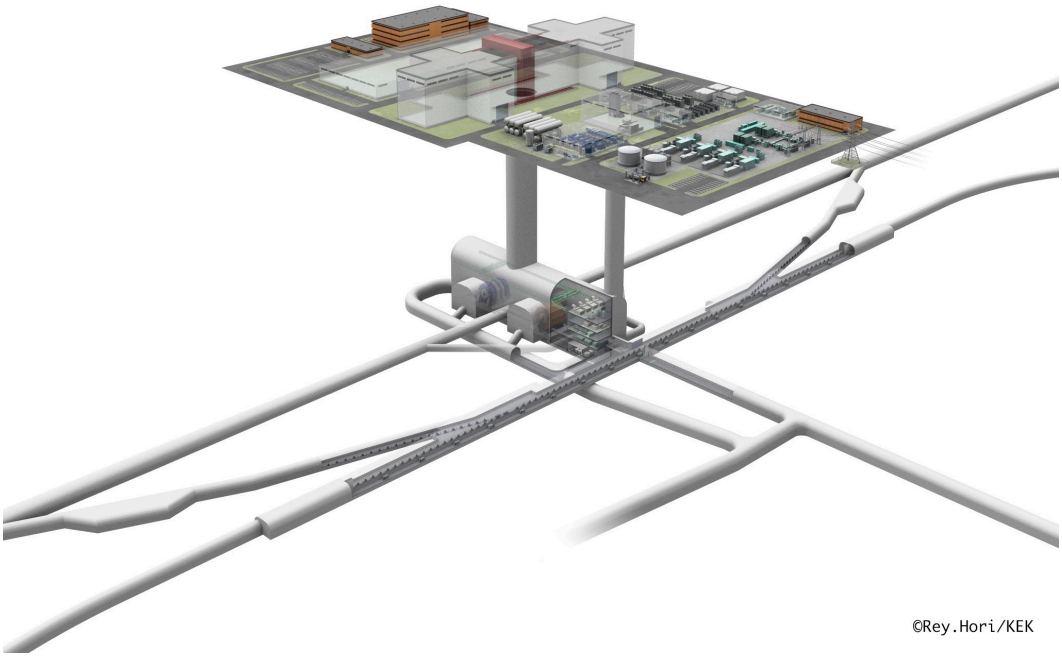


図 2.14: 検出器ホール及び周辺トンネルの様子

第 II 部

北上サイト

3　地形地質

3.1　地形概要

北上山地は，南北 250 km，東西 80 km におよぶ非火山性の山地である。尾根には定高性があり，起伏が小さいなだらかな高原状地形を示すことがその地形的特徴で，隆起準平原の一例とされている。東北日本弧には構造性盆地が発達するが，北上山地にはみられない。また大規模な河川はなく，川沿いの谷は概して幅広くゆるやかである。

ILC の計画地は北上山地の南部にあたる。北上サイトの地形図を図 3.1（左図）に示す [3]。地形の特徴として，人首地区から鳥海川沿いに続く帯状の地形と沖田地区から藤沢町に続くしずく状の地形が挙げられる。これらの地形は，人首深成岩体，千厩深成岩体に属する花崗岩類の分布地と一致しており，花崗岩体の周囲が貫入時の接触変成作用により硬質なホルンフェルスとなっているため，風化の進みやすい花崗岩体を縁取る特徴的な地形を形成している。ILC 計画地の西側は，北上山地の西縁となる北上川が北から南に向けて流下している。計画地内の河川はこの北上川の支流であることが多いため，大部分の河川は蛇行しながらも東から西に向けて流れている。主には，北より人首川，伊手川，砂鉄川，千厩川などで，南端に近い神山川や津谷川は南南東に向かい太平洋に注いでいる。ILC の計画地沿いでは，標高 700 – 900 m の山体が多く形成されている。花崗岩類からなる山体は，阿原山が最も高く標高 782 m である。そのほかは，標高 400 – 500 m 程度の山体が見られる程度で，全体になだらかな高原状の地形となっている。花崗岩類の周囲は熱変成が進む中・古生層が分布しており，標高 700 – 800 m の山体が多く存在する。北から，天狗岩山（標高 775 m），蓬莱山（標高 788 m），徳仙丈山（標高 712 m）などで，この付近の最高点となる室根山（標高 895 m）は古生層や折壁複合深成岩体に岩脈群が貫入して形成されている。

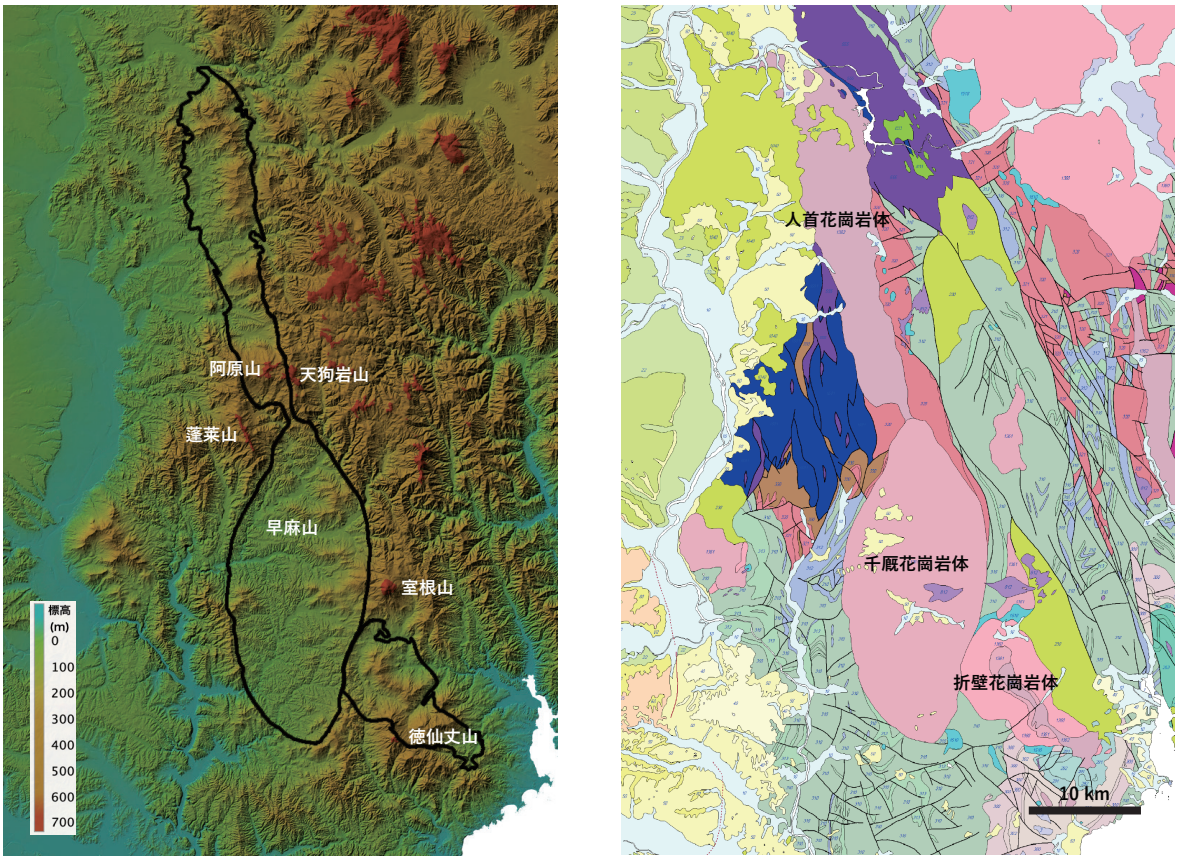


図 3.1: 北上サイトの地形図（左図），及び地質図（右図）

3.2 地質概要

北上山地は，主に古・中生代の堆積岩類とそれに貫入する白亜紀の花崗岩類からなる。地質的には盛岡から釜石に位置する北西—南東方向の早池峰構造帯を境に，北部北上山地と南部北上山地に分けられる。ILC の計画地は，このうち南部北上山地に含まれる。北部北上山地に分布する地質は，西側の葛巻－釜石帯と東側の安家－田野畑帯に分けられるが，いずれもチャート等の異地性岩体を含む中・古生層を主とするのに対し，南部北上山地の地質は先シルル系を基盤岩として浅海性の堆積岩が分布している。そして，これらの地質に花崗岩を主とする深成岩体が多く併入する。

北上サイトの地質図を図 3.1（右図）に示す [4]。ILC を 50 km まで延伸した際の計画は，南部北上山地の南西部に接しながら続く人首深成岩体，千厩深成岩体，及び折壁複合深成岩体を貫き，南側の一部で中生代三畳系にあたる稲井層群に至る。花崗岩を取り囲む地質は北側でより

古い地質が露出しており，宮守，母体付近で当地区の基盤岩となる先シルル系の塩基性岩類や変成岩類が見られ，その南側で人首深成岩体，千厩深成岩体に接して石炭系が分布する。そして，この石炭系と人首深成岩体，及び折壁複合深成岩体を取り囲むように二畳系が見られ，その南側に稲井層群などの三畳系が分布している。石炭系や二畳系は，石灰岩を挟む泥質岩，砂岩からなり，三畳系は，泥岩，砂岩，及びその互層となる。南部北上山地では，北北西－南南東方向に続く日詰地区から気仙沼地区にかけて断層構造が見られ，日詰－気仙沼断層と呼ばれる。南部北上山地には同方向の褶曲構造が広く発達しており，これらは主に白亜紀に活動した大島造山運動による構造とされる。大島造山運動は，中期ジュラ紀〜白亜紀初期に異地性の北部北上山地の地層群が付加したことに続き，東西方向への圧縮により褶曲構造や同方向の断層が形成されるとともに火山活動や深成岩の貫入などを生じた一連の運動と考えられている。新期堆積物は，川沿いの谷に沖積層や段丘堆積物が分布するほか，千厩花崗岩体西部の一部に鮮新統が不整合で被覆している。

4 地質調査[5)]

4.1 地質調査内容

地質調査は，人首花崗岩体，千厩花崗岩体，及び折壁花崗岩体を通る直線にほぼ沿って実施してきた。表 4.1 に，これまでの地質調査の概要をまとめる。また，主な調査地点を調査結果概要と併せて図 4.1 に示す。2017 年度までに，総延長 30 km の弾性波探査，総延長 13 km の電磁・電気探査，6 ヶ所（7 本）のボーリング調査を実施した。

表 4.1: 地質調査概要

実施年度	主な調査項目	調査内容	発注主
2009	地表地質踏査 弾性波探査 放射線探査	人首・千厩花崗岩体接触部（“くびれ部”）の調査	岩手県
2010	地表地質踏査 弾性波探査 電磁探査 ボーリング調査	人首・千厩花崗岩体の性状調査 河川横断部の調査	東北大
2011	地表地質踏査	早麻山，稲井層群の概略調査	東北大
2012	航空レーザ測量	DEM（1m grid）から 地形図（1m/5m contour）を作成	東北大
	地表地質踏査 弾性波探査 電磁探査 ボーリング調査	衝突点候補地付近の地質の性状調査 地質境界部の調査 地形判読 (検出器ホールへのアクセスには斜坑を仮定)	東北大
	地表地質調査	リニアメント・活断層調査	岩手県
2015	地表地質踏査 弾性波探査 電磁探査 ボーリング調査	衝突点候補地付近の地質の性状調査 (検出器ホールへのアクセスには立坑を仮定)	東北大
2016	弾性波探査	阿原山北斜面の性状調査	東北大
2017	弾性波探査	30km 全線	東北大

[5)]2017 年度までに実施した地質調査の概要は，『日本学術会議 国際リニアコライダー計画の見直し案に関する検討委員会』へ報告した資料（技術検証分科会 第 6 回（平成 30 年 10 月 2 日）資料 1 − 3）にある (http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/ILC/ILC24.html)。本書では，施設計画に関連する内容について簡単にまとめる。

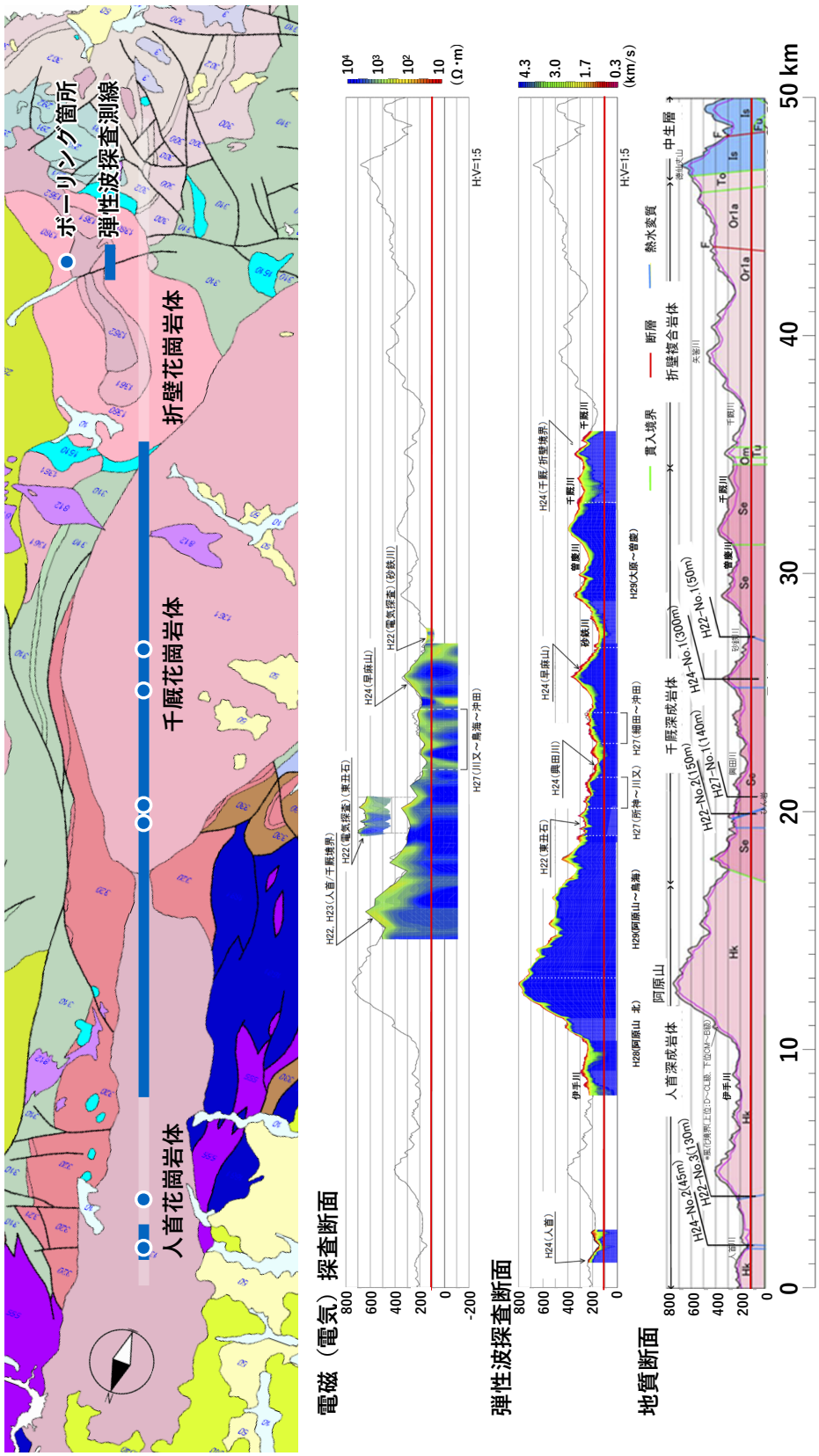


図 4.1: 地質調査結果概要

4.2　地質調査結果概要

電磁（電気）探査

図 4.1 に示した電磁（電気）探査の結果では，深度 100 m 以深の電気抵抗率は概ね 10^4 Ω·m 以上と高い値を示すが，10^2 – 10^3 Ω·m となる箇所が局所的に見られる。電気抵抗率が低い箇所では水の入った割れ目の存在が疑われるものの，ほぼ全域で割れ目の少ない健岩が広がっていると予測できる。

弾性波探査

図 4.1 に示した弾性波探査の結果から，弾性波速度（P 波速度）は地表付近を除いて 4 – 5 km/s と非常に早いことが分かる。6 章で説明するように，東北 ILC 施設計画では ILC トンネルの計画標高を 110 m としている。図 4.2 に，標高 100 m 及び 120 m における弾性波速度を示す。ILC トンネルの計画標高付近では，弾性波速度は概ね 5 km/s 以上である。距離程 5 km 付近は土被りが大きいために弾性波探査の精度に問題があり得るが，地表付近でも弾性波速度は 4 km/s を超えていることから，標高 110m 付近の弾性波速度も 5 km/s 以上であると期待できる。一方，小土被りとなる河川横断部については，弾性波速度が 4 km/s 程度，もしくはそれ以下になる。興田川，砂鉄川を横断する箇所で，それぞれ 3 km/s，2 km/s であった。

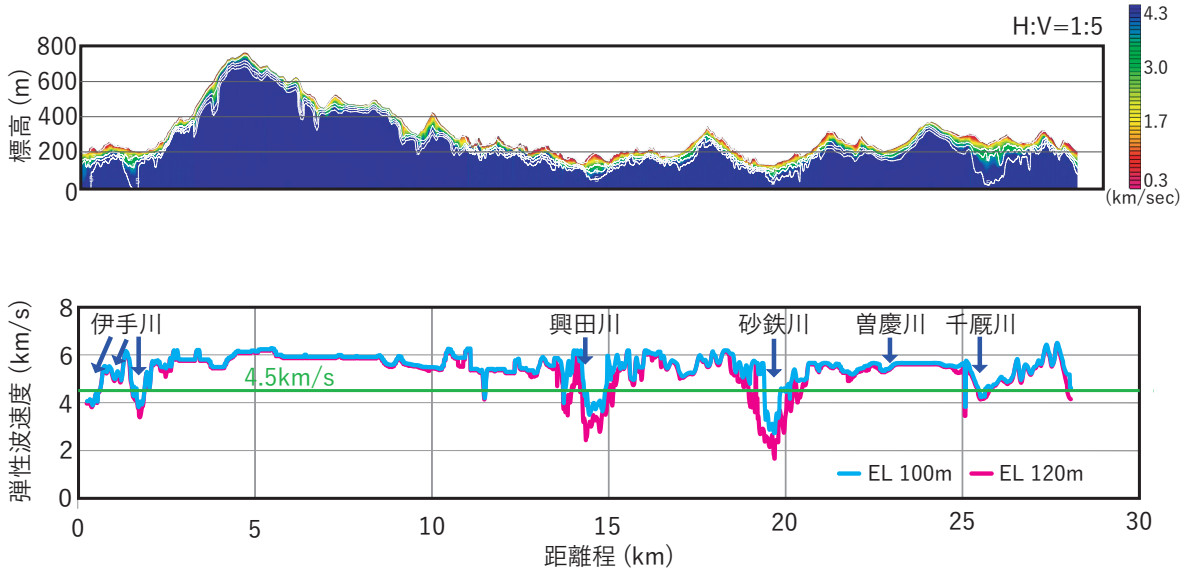


図 4.2: 弾性波速度（P 波速度）

ボーリング調査

ボーリング調査では全長にわたってコアを採取し，ボーリング孔を使った各種検層を実施した。

図 4.3 に，加速器トンネルを予定している標高 110m 付近のコアの写真，及び RQD の値を示した。トンネル標高では，地表の標高に関わらず花崗岩が広く分布していることが確認できる。また，RQD については，H24-2 ボーリングと H22-1′ ボーリングを除いて概ね 80%以上であり，割れ目の少ない健岩が分布していると考えられる。

なお，H24-2 ボーリング，及び H22-1/-1′ ボーリングは土被り厚が薄い区域での表層土の性状や花崗岩の風化状況を調査することを目的として，人首川，及び砂鉄川の河岸で実施した。これら 2 本のボーリングで得たコアは，指圧でマサ状に崩れるような状態であった。H22-1′ ボーリングを実施した位置は，電気探査で低比抵抗領域として認められた。一方で，H22-1′ ボーリングから 100 m 程離れた位置で実施した H22-1 ボーリングでは，非常に良質の花崗岩が得られた。以上から，河川横断領域では強風化，あるいは熱水変質を受けた箇所が局在していると考えられる。

ボアホールカメラ

ボーリング孔内壁の様子をボアホールカメラによって観察した。

ボアホールカメラ観察では，主に節理を中心とする割れ目を読み取ることができた。確認できた割れ目の頻度分布を図 4.4 に示す。千厩花崗岩体では水平に近い低角度の傾斜を持つ割れ目が数多く確認された。人首花崗岩体では ENE-WSW 系の走向で S 方向へ傾斜する割れ目が多く見られた。なお，6 章で説明する施設配置計画における ILC トンネルの軸方向，及び検出器ホールの長軸方向を図 4.4 に示した。

初期地圧測定

早麻山山頂付近のボーリング孔（H24-1）を用いて，水圧破砕法による初期地圧測定を実施した。測定結果を表 4.2 と図 4.5 に示す。

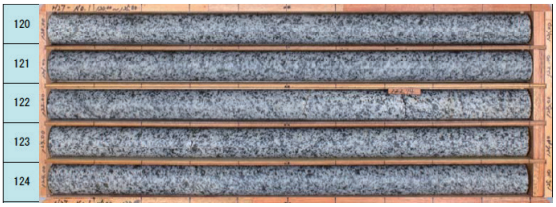
測定で得られた初期地圧は日本国内で測定された地圧と同様であり，特殊な地圧条件ではないと考えられる。

H24-2（人首花崗岩体；孔口標高 146m）

H22-3（人首花崗岩体；孔口標高 210m）

H22-2（千厩花崗岩体；孔口標高 214m）

H27-1（千厩花崗岩体；孔口標高 231m）



H24-1（千厩花崗岩体；孔口標高 346m）

H22-1（千厩花崗岩体；孔口標高 128m）

H22-1'（千厩花崗岩体；孔口標高 130m）

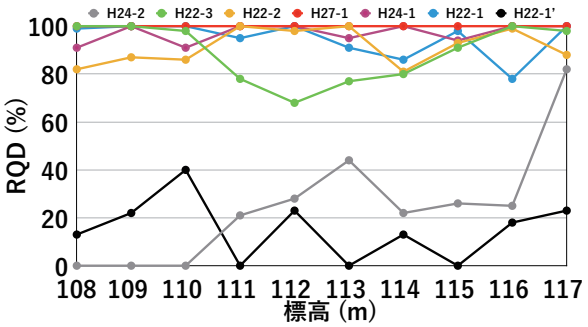
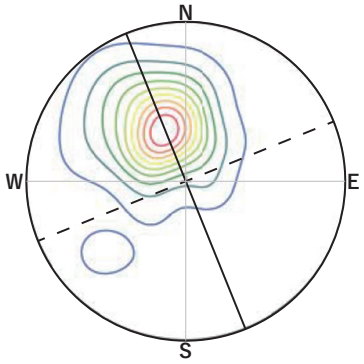
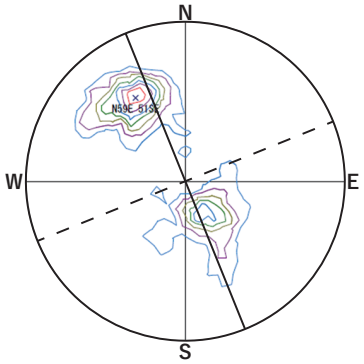


図 4.3: 標高 110m 付近のコア写真及び RQD（コア写真の数値は深度 (m) を示す）

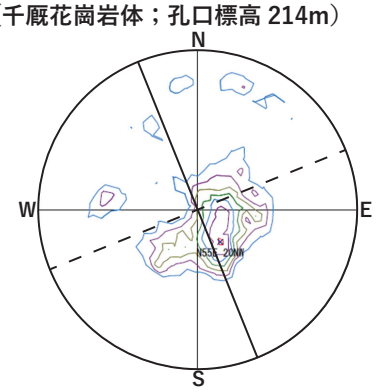
H24-2（人首花崗岩体；孔口標高 146m）



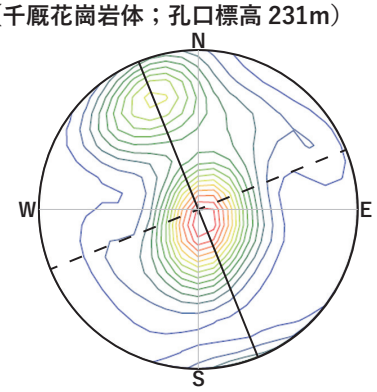
H22-3（人首花崗岩体；孔口標高 210m）



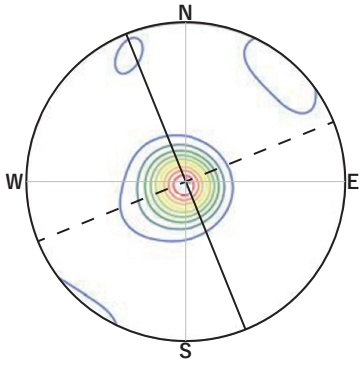
H22-2（千厩花崗岩体；孔口標高 214m）



H27-1（千厩花崗岩体；孔口標高 231m）



H24-1（千厩花崗岩体；孔口標高 346m）



H22-1（千厩花崗岩体；孔口標高 128m）

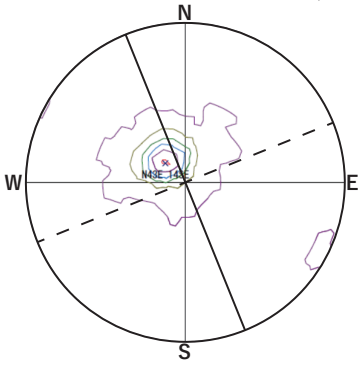


図 4.4: ボアホールカメラで確認できた割れ目の頻度分布。ステレオネットはシュミットネット（等積投影）を用い，下半球投影の極投影図で示す。実線は ILC トンネルの軸方向，破線は検出器ホールの長軸方向を示す。

表 4.2: 初期地圧測定結果

深度 (m)	標高 (m)	最大主応力 σHmax (MPa)	最小主応力 σHmin (MPa)	鉛直応力 [1] σz (MPa)	最大側圧比 σHmax/σz	σHmax の方位 (degree)
200.1	145.9	9.49	5.11	5.36	1.77	N44-86W
210.7	135.3	9.68	6.17	5.64	1.71	N54-77W
230.0	116.0	10.72	5.75	6.16	1.74	N14-39W
247.3	98.7	11.31	5.83	6.62	1.71	N21-35W
261.7	84.3	9.45	5.34	7.01	1.35	N32W
296.5	49.5	10.59	6.10	7.94	1.33	N45W

[1] 岩盤の密度を 2.73 g/cm^3 として推定

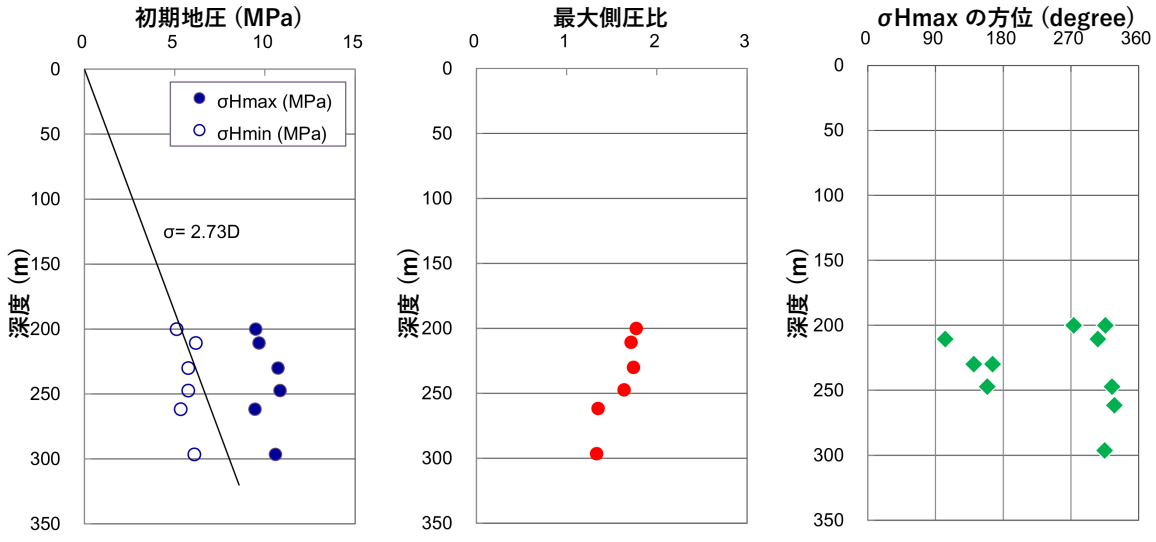


図 4.5: 初期地圧測定結果

室内岩石試験

花崗岩の特性を把握する目的で，室内岩石試験を実施した。ひん岩の貫入が見られた箇所では，ひん岩についても試験を実施した。試験結果を表 4.3 に示す。

標高 120 m 以下の花崗岩では，測定された一軸圧縮強さは 129 MPa 以上，圧裂引張強さは 7 MPa 以上であった。貫入したひん岩の一軸圧縮強さも，花崗岩とほぼ同様の値を示した。超音波速度は，弾性波探査から得られた速度と整合している。

表 4.3: 室内岩石試験結果

ボーリング孔		試料標高 (m)	岩種	一軸圧縮強さ (MPa)	圧裂引張強さ (MPa)	超音波速度	
						V_P (m/s)	V_S (m/s)
人首花崗岩体	H24-2	129.3 – 130.3	花崗岩	141	11.70	6,290	3,190
	H22-3	95.1 – 95.4	ひん岩	121	—	5,680	3,400
	H22-3	86.0 – 86.3	花崗岩	194	—	5,670	3,400
	H22-3	81.5 – 85.8	花崗岩	166	—	5,780	3,500
千厩花崗岩体	H22-2	129.0 – 129.3	ひん岩	253	—	5,770	3,350
	H22-2	87.7 – 88.0	花崗岩	161	—	5,430	3,240
	H22-2	82.0 – 82.3	花崗岩	129	—	5,310	3,190
	H24-1	145.7 – 146.0	花崗岩	90	8.51	6,220	3,170
	H24-1	135.2 – 135.5	花崗岩	76	8.69	6,230	3,160
	H24-1	115.9 – 116.2	花崗岩	153	8.74	6,270	3,180
	H24-1	98.6 – 98.9	花崗岩	142	10.00	6,040	3,140
	H24-1	84.1 – 84.4	花崗岩	152	7.31	6,100	3,130
	H24-1	49.4 – 49.7	花崗岩	158	9.28	5,850	3,040
	H22-1	89.4 – 89.7	花崗岩	176	—	5,240	3,720
	H22-1	87.4 – 88.8	花崗岩	169	—	5,110	3,180
	H22-1	83.3 – 83.7	花崗岩	176	—	4,880	2,940

蛍光 X 線分析

ボーリング調査で取得したコアの中には，脆く崩れやすい箇所や変色した箇所が局所的に見られた。このような箇所は鉱化変質が疑われるため，脆い箇所・変色した箇所から試料を採取し，蛍光 X 線分析を行った。分析結果を表 4.4 に示す。蛍光 X 線分析の結果に鉱化等の兆候は見られず，自然状態の花崗岩であると考えられる。

表 4.4: 蛍光 X 線分析結果

		人首	人首	千厩	千厩	千厩	千厩	千厩	千厩	千厩	千厩
Na_2O	%	3.31	4.13	3.39	3.67	3.79	3.77	1.94	0.67	2.18	3.68
MgO	%	1.73	0.84	2.03	2.15	2.05	2.77	1.53	2.07	1.89	2.56
Al_2O_3	%	15.1	17.4	17.5	16.0	16.0	16.1	18.0	20.3	17.0	16.6
SiO_2	%	68.3	75.2	68.0	70.2	67.3	67.2	67.0	63.9	67.4	67.0
P_2O_5	%	0.138	0.075	0.094	0.151	0.108	0.126	0.091	0.099	0.125	0.102
S	%	-0.029	-0.026	-0.026	-0.021	-0.024	-0.026	-0.026	-0.022	-0.022	-0.025
K_2O	%	2.65	2.20	1.57	2.21	1.94	1.82	1.12	1.27	1.28	1.43
CaO	%	4.40	4.45	5.49	4.94	4.97	5.52	7.49	7.94	6.49	5.70
TiO_2	%	0.49	0.22	0.45	0.47	0.46	0.55	0.37	0.38	0.44	0.48
MnO	%	0.08	0.03	0.07	0.08	0.07	0.09	0.09	0.05	0.07	0.09
Fe_2O_3	%	4.52	2.08	4.28	4.33	4.59	5.25	3.95	3.90	4.70	4.96
V	ppm	78.6	43.8	85.2	84.5	89.2	111	94.3	101	102	103
Cr	ppm	15.9	9.36	16.3	15.3	16.7	41.9	34.7	42.3	37.9	37.6
Co	ppm	11.5	4.60	10.8	11.3	12.4	14.3	9.24	8.96	12.1	13.4
Ni	ppm	12.7	9.29	14.9	14.0	15.3	21.1	17.6	15.4	18.1	20.3
Cu	ppm	10.8	9.76	16.8	13.8	15.8	15.9	26.2	56.4	58.8	24.4
Zn	ppm	61.2	37.0	55.3	59.0	58.1	64.9	48.3	45.7	53.7	61.2
As	ppm	1.51	1.83	3.18	1.87	0.67	0.50	0.93	0.61	0.51	0.97
Rb	ppm	79.2	59.4	33.5	63.8	52.9	49.4	19.1	21.0	33.3	40.0
Sr	ppm	276	310	310	348	359	382	163	106	200	380
Y	ppm	10.4	3.33	10.6	14.4	12.3	13.9	9.80	10.2	11.4	15.8
Zr	ppm	102	90.0	101	108	111	107	84.6	93.6	114	133
Nb	ppm	6.60	4.54	3.93	4.78	4.83	4.75	3.96	4.18	4.75	4.81
Sn	ppm	1.17	0.68	0.78	0.76	0.42	0.60	0.91	0.78	0.93	0.82
Sb	ppm	0.49	0.36	0.82	0.60	0.06	0.09	0.50	0.38	0.34	0.11
Cs	ppm	4.54	2.12	1.71	4.06	2.40	1.85	3.22	2.65	4.36	2.32
Ba	ppm	361	347	348	406	363	347	329	248	343	299
La	ppm	23.6	12.4	7.61	4.83	10.7	8.80	7.51	43.9	8.87	10.1
Ce	ppm	37.4	20.8	18.9	13.7	23.1	20.7	17.4	40.8	18.1	24.3
Pr	ppm	2.09	0.80	0.80	0.80	1.54	1.61	0.97	4.24	1.78	4.28
Nd	ppm	10.7	5.54	9.07	8.23	10.3	10.7	7.63	17.7	9.03	12.2
Pb	ppm	14.2	15.2	9.10	11.2	9.52	8.48	9.21	8.95	8.05	8.64
Th	ppm	10.8	5.62	3.34	5.00	3.88	2.85	3.28	3.70	2.42	3.22
Cd	ppm	-0.05	0.14	0.08	-0.10	-0.07	0.10	-0.02	0.14	-0.02	-0.04
U	ppm	3.76	3.68	3.24	4.48	3.52	3.30	1.18	3.23	1.62	3.25

恒常湧水量予測

鉄道技術研究所（現 公益財団法人 鉄道総合技術研究所）で開発された「水文地質学的な手法」[5, 6] に基づいた「GIS によるトンネル湧水渇水予測システム」[7] を用いて，地形，トンネルルート及び渇水比流量（河川の渇水流量を流域面積で除したもの）から，トンネルへの恒常湧水量を予測した。地形のモデル化には，国土地理院が公開している基盤地図情報数値標高モデルを用いた。3 つの水系（人首川，砂鉄川，千厩川）の河川流量は，国土交通省の水文水質データベースのデータを用いた。この結果から，全路線の平均湧水量は 0.8 m^3/min/km と予測される。

第 III 部

東北 ILC 施設計画

5　計画策定の経緯・条件

ILC 立地候補地点である東北地区においては，国際設計チームによって取りまとめられた技術設計書（Technical Design Report; TDR）[1, 2] を基に，ILC を北上サイトに建設する場合の各種の具体的な検討を行ってきた。

2014 年度から 2017 年度には公益社団法人 地盤工学会 東北支部へ調査業務を委託し，ILC の加速器トンネル，検出器ホール，アクセストンネル，坑口の位置等を含む具体的な検討を行った。2016 年度以降は，高エネルギー加速器研究機構と共に検討を進めている。検討では，地質調査結果や周辺環境条件等を精査した上で，技術的，経済的な評価から合理的な地下施設配置を選定した。また，現地踏査によって現地の地形や構造物の位置を確認し，アクセストンネル坑口位置を選定した。さらに施工計画を検討し，建設の工程やコストを見積もった。

上記の地盤工学会への業務委託による検討期間中にも，国際設計チームによる設計の更新があった。主な設計更新は，主線形加速器トンネルの断面変更（幅 11 m → 幅 9 m → 幅 9.5 m（2015 年度，2016 年度)），及び実験開始時の延長変更（約 30 km → 約 20 km（2016 年度））である。

以上のような経緯があることから，次章以降に述べる東北 ILC 施設計画は，以下のような条件の元で策定したものである。

施工計画：　平成 26 年度版 国土交通省土木工事積算基準に準拠

- 計画策定中に設計変更があった箇所についても上記基準に準拠した。
  - 主線形加速器トンネルの断面変更に際しては，幅 11 m と 9 m について上記基準に準拠して検討した。幅 9.5 m への変更に際しては，幅 9 m の検討結果に対して，コスト及び掘削（月進）工程の評価については断面積に基づいた換算，路盤工工程の評価についてはトンネル幅に基づいた換算を実施した。
  - 延長変更に際しては，延長短縮に伴って不要となる箇所を除外することで対応可能であった。
- 大断面のため上記基準の適応外となる場合には，施工のサイクルタイムを設定の上，上記基準を準用した。
- 必要に応じて，上記基準と同等の日本道路協会道路トンネル技術基準に準拠した。
- 立坑については，東日本・中日本・ 西日本高速道路株式会社設計要領及び日本道路協会道路トンネル技術基準に準拠した。

機械損料等： 建設機械等損料表（平成 26 年度版）に準拠

材料単価： 建設物価（平成 26 年度 8 月）及び積算資料（平成 26 年度 8 月）に準拠

労務単価： 平成 26 年度公共工事設計労務単価に準拠

6　施設配置

6.1　配置計画

6.1.1　配置計画の考え方

以下のような考え方に基づいて ILC 施設配置案を作成した。

ILC 加速器全線を花崗岩体内に収められるようにする

地質境界や断層を横断することによるトンネル掘削時のリスクを最小にするために，ILC 地下施設を 3 つの花崗岩体（人首花崗岩体，千厩花崗岩体，折壁花崗岩体）に収めることを目指した。

ILC 施設を花崗岩体中に収めることとすると，人首花崗岩体と千厩花崗岩体の接触部に見られる花崗岩の “狭窄部” を加速器トンネルが通過するため，路線の自由度は制限される。一方で，花崗岩体同士の境界域を最短距離で通過可能となるため，トンネル掘削時のリスクが最小になると期待できる。

ILC は延伸によって性能向上を図れる（より高いエネルギーに到達できる）ことが，円形加速器にはない非常に重要な特長である。施設配置案を検討する際には，将来的に 50 km まで延伸可能であることを確認した。

加速器トンネルの標高を可能な限り高く設定する（最浅部の土被りを 2D 程度とする）

供用時の利便性と建設コストの観点から，地表と地下施設を繋ぐアクセストンネル（斜坑）の延長は短い方が有利である。このため，加速器トンネルの標高を可能な限り高く設定した。一方で，トンネルの安定性を担保し，また，地上の振動や温度変化の影響を避けるために，最浅部の土被りとして 2D 程度（D は加速器トンネルの幅 9.5 m）を確保することとした。

なお，当該地域で地表標高が最も低くなる箇所は，砂鉄川横断箇所である。砂鉄川横断箇所の河床標高によって，ILC 地下施設の標高が決まることとなる。

土地利用の現状を考慮する

砂鉄川沿岸には集落が点在している。最浅部（砂鉄川横断箇所）では，住宅が集中する地域を避けて ILC 地下施設を配置することとした。

検出器ホールと立坑の安定性・施工性を考慮する

検出器ホールの安定性を担保するために，検出器ホールの土被りとして 2D の健岩（D は検出器ホールの高さ 42 m）を確保できるように計画することとした。

以上のような考え方に基づき，ILC 地下施設配置案を策定した。南北方向に長い人首花崗岩体，及び “狭窄部” を加速器トンネルが通ることとすると，東西方向の位置と方位角がほぼ決まる。また，最浅部（砂鉄川横断箇所）の標高から，トンネルの床面標高は海抜 110 m とした。

地質調査の結果を参考にして風化層の厚さを 30 m と仮定すると，検出器ホールの建設適地は地表標高が 250 m 程度の箇所となる。

ILC 施設の南北方向の位置は，検出器ホールの位置に依存する。地表標高が 250 m 程度であり，かつ，ILC の運用に必要となる地上施設を建設可能であるという条件から，検出器ホールを興田川よりも南側に設定する施設配置案，及び興田川よりも北側に設定する施設配置案を検討した。2 つの案を比較すると，前者は土木工事の工期やコストの観点で有利であり，後者は設計の自由度が高いという特徴がある。以降では，前者の「興田川よりも南側に設定する施設配置案」について述べる。なお，将来的に 50 km まで延伸する際には，加速器トンネルの南端付近を除いて花崗岩体中に掘削可能である。

6.1.2 ILC 施設配置計画

ILC 施設配置計画を図 6.1[3]，及び図 6.2[4] に示す。図 3.1 と図 6.1 から，ILC 施設周辺の標高は，西側に比べて東側の方が高い傾向が見られる。アクセストンネルの延長を短くするためには，坑口の標高は低い方が有利であるので，アクセストンネルは ILC 施設の西側から加速器トンネルへ取り付くこととする。また，図 6.2 から，ILC 施設は人首花崗岩体と千厩花崗岩体の中に収まることが分かる。

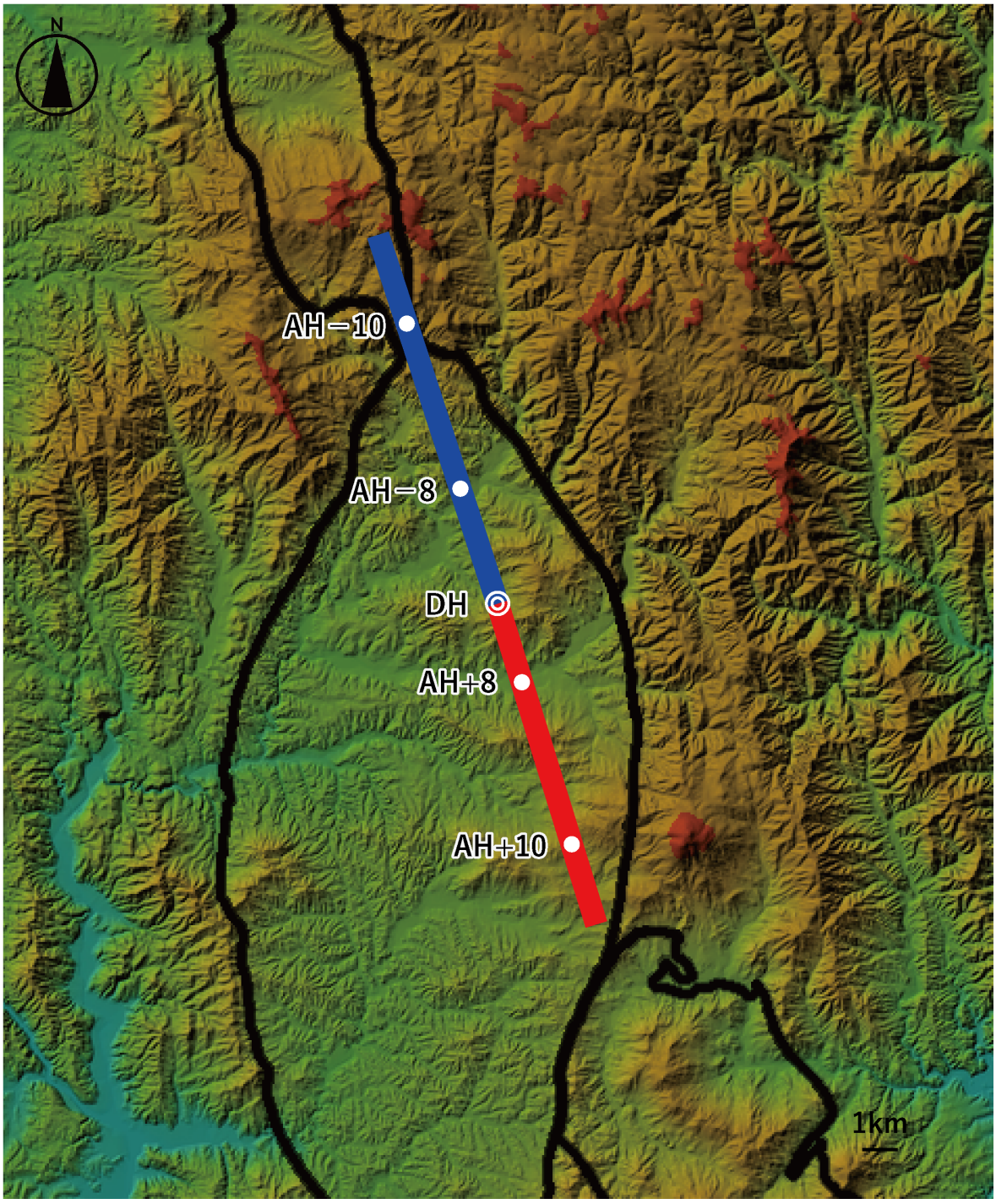


図 6.1: ILC 施設配置計画地形平面図（青線：電子主線形加速器（延長 10.9km），赤線：陽電子主線形加速器トンネル（延長 9.6km））

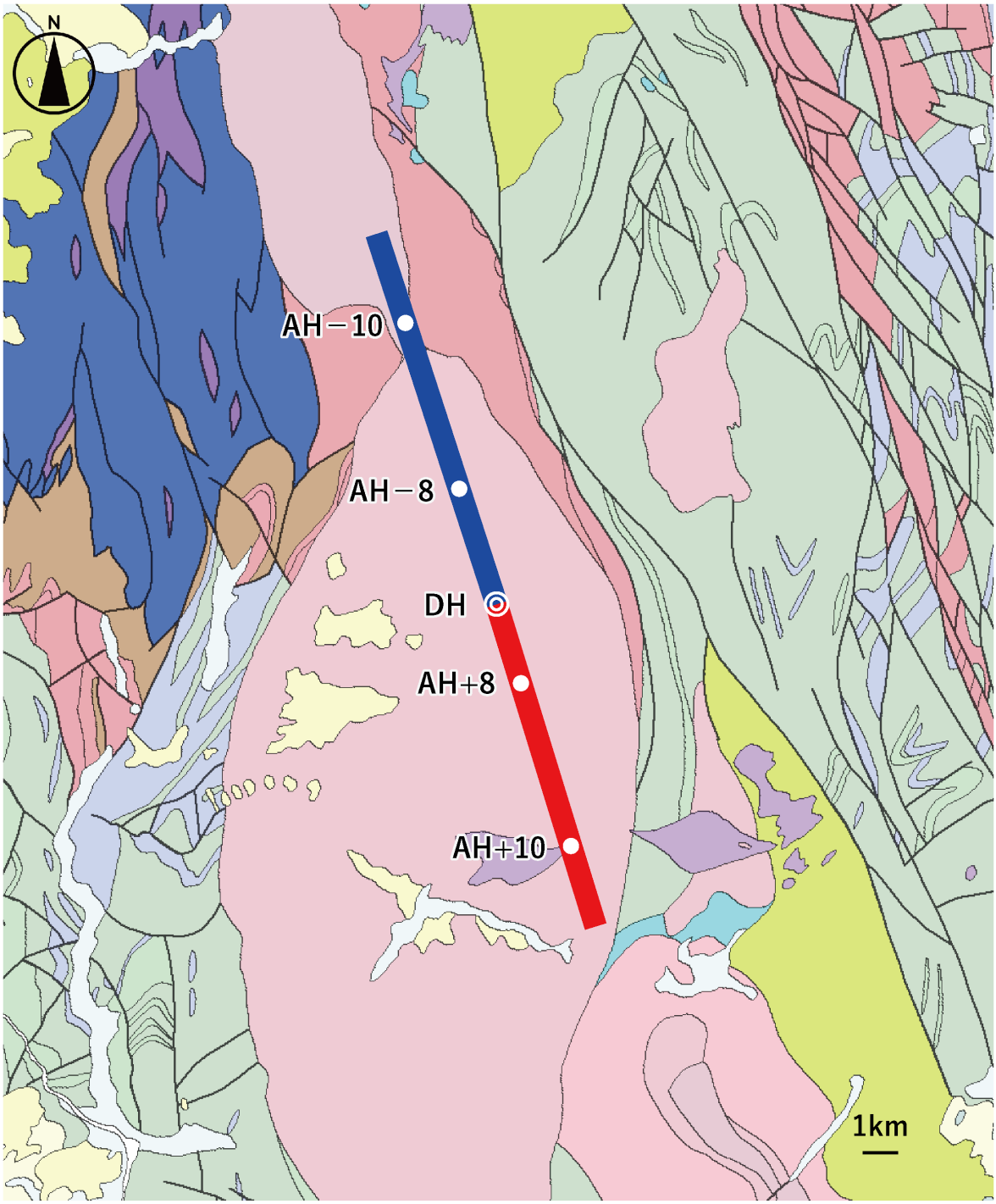


図 6.2: ILC 施設配置計画地質平面図（青線：電子主線形加速器（延長 10.9km），赤線：陽電子主線形加速器トンネル（延長 9.6km））

7　アクセストンネル・アクセスホール

7.1　設計諸元

7.1.1　坑口位置の選定

図 2.7 に示したように，加速器の設計によって各アクセスホールと衝突点の距離は決められるため，衝突点の位置に応じて加速器トンネルとアクセストンネルの接続部の位置が決まる。この条件の下で，アクセストンネルの延長ができるだけ短くなるように，坑口位置の候補地を絞り込んだ。さらに現地踏査を実施して候補地，及び周辺を調査し，より現実的な位置に坑口を設定した。

アクセストンネルの勾配については，全長の 9 割を 10 %の下り勾配，1 割を水平とし，平均 9 % の下り勾配で坑口からアクセスホールとの境界部まで到達することとした。アクセスホールの床面は水平とし，その標高は主線形加速器トンネルと同じ 110 m とした。

表 7.1 にアクセストンネル諸元一覧を示す。表中のヤード面積は坑口前に確保可能な用地面積である。その面積を一律 $19,000\ \mathrm{m}^2$ としているのは，土木工事終了後の設備設置等に必要な面積（$18,200\ \mathrm{m}^2$）を確保可能であるという意味である。なお，検出器ホール接続のアクセストンネル（AT−DH），及びダンピングリング接続のアクセストンネル（AT−DR）は，坑口・坑口ヤードを共用（AS−DH と AS−DR は同一）とし，途中から分岐する計画とした。

表 7.1: アクセストンネル諸元一覧

進入拠点（坑口）	ヤード面積 (m^2)	坑口標高 (m)	平均勾配 (%)	延長 (m)
AS−10	19,000	250	−9.0	1,707
AS− 8	19,000	170	−9.0	817
AS−DH	19,000	170	−3.1	747
AS−DR			−9.0	817
AS+ 8	19,000	135	−9.0	427
AS+10	19,000	200	−9.0	1,147

7.1.2 地山等級

主線形加速器トンネル深度の岩盤評価は B – CH 級の堅硬な岩盤が想定されているが，アクセストンネルは地表面から風化帯を通過して掘削することになる。現地踏査と弾性波探査の結果を参考にして土被り 30 m 周辺まで風化が進行しているとし，土被りに応じて以下のように想定した。地山区分に対応した支保パターンは，国土交通省土木工事積算基準に準じて設定した。

- 「坑口」から「土被り 2D（16 m）」まで：坑口 DIII パターン，
- 「土被り 2D（16 m）」から「土被り 30 m」まで（風化部）：D I パターン
- 「土被り 30 m」から「主線形加速器トンネルと同じ床面標高（110m）」まで：CII パターン
- 「主線形加速器トンネルと同じ床面標高（110m）」：CI パターン

より具体的な設計に際しては，必要に応じて坑口地点の詳細な地質調査が必要である。

7.1.3 アクセストンネル・アクセスホールの寸法諸元と構造

アクセストンネル・アクセスホールの各ドームの断面は以下の通りである。

1. アクセストンネル：幅 8.0 m，高さ 7.5 m
2. アクセスホール（S ドーム，E ドーム，M ドーム）：幅 14.0 m，高さ 12.0 m
3. アクセスホール（He ドーム）：幅 20.0 m，高さ 12.0 m

幅 8.0m のトンネルではダンプトラック，生コン車，ユニック車などの転換が困難である。施工時の車両転換と完成時の車両通行の利便性を考慮し，アクセストンネルには非常駐車帯，及び転換坑（拡幅 2 m，長さ 30 m，水平）を概ね 300 m 間隔に設定することとした。

検出器ホール・ダンピングリング接続のアクセストンネルについては，坑口から分岐点までの共通部（延長 537 m）は大型車両の通行が輻輳するため，仕上がり断面幅を 10.0 m（非常駐車帯部と同断面）に拡幅することとした。

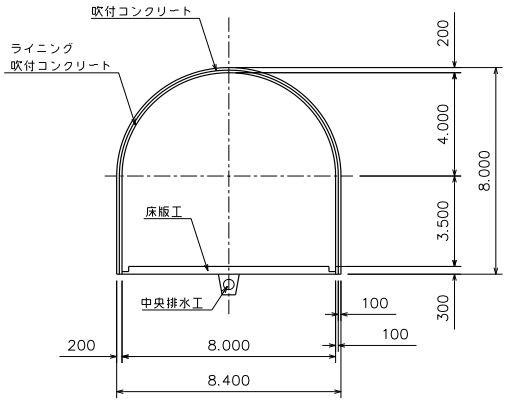
アクセストンネルの構造は，坑口 DIII 区間を除いて覆工コンクリートを省略するシングルシェル構造とし，掘削一次支保の吹付コンクリートに加え，厚さ 15 cm の吹付ライニングを設定した。

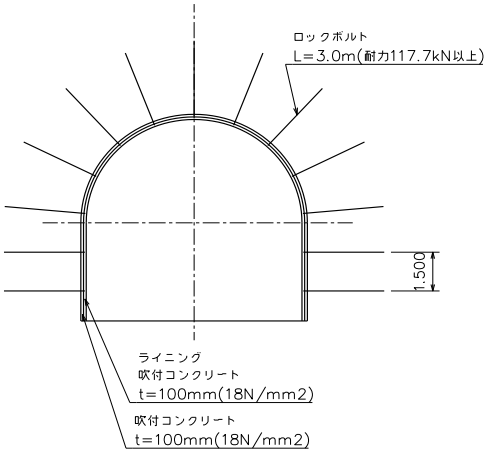
アクセスホールは機器の設置があるが，覆工コンクリートに代り吹付ライニング構造とした。

アクセストンネルの岩級毎の標準断面図及び支保パターンを，標準断面区間については図 7.1 – 7.4 に，非常駐車帯断面区間については図 7.5 – 7.7 に，拡幅断面区間については図 7.8 に示す。また，アクセスホールの He ドーム並びに S/E/M ドームの標準断面図及び支保パターンを，図 7.9 並びに 7.10 に示す。

その他，構造概略は以下の通りである。

- 坑口 DIII 区間は注入式長尺鋼管先受工（AGF 工法）を採用し，インバート閉合（リング構造）断面とした。また，覆工コンクリート（補強鉄筋，防水シート有り）を設定した。
- 防水工については，坑口 DIII 区間では防水シート，他区間はシングルシェル構造のため排水材のみとした。





単位数量表

名称	仕様	単位	数量	備考
掘削断面積(設計)		m^2	59.854	1.0m当り
掘削断面積(支払)	余掘り22cm	m^2	64.521	1.0m当り
鋼アーチ支保工	H-125	基	-	1.5m当り
吹付けコンクリート	t=100	m^2	20.555	1.0m当り
ロックボルト	L=3.0m 耐力117.7kN以上	本	13	1.5m当り
吹付けライニング	t=100	m^2	20.556	1.0m当り
覆工コンクリート	t=300	m^3	-	1.0m当り
路盤コンクリート	t=400	m^3	3.1	1.0m当り
中央排水工(排水管)	φ300(有孔管)	m	10.0	10.0m当り
中央排水工(掘削)		m^3	6.956	10.0m当り
中央排水工(フィルター材)	s-20	m^3	6.016	10.0m当り

諸元表

ロックボルト			鋼アーチ支保工		吹付厚	金網	吹付ライニング	覆工厚		補助工法
長さ	周方向	延長方向	上半部	下半部				アーチ・側壁	インバート	
3.0	1.5	1.5	-	-	10	-	10	-	-	-

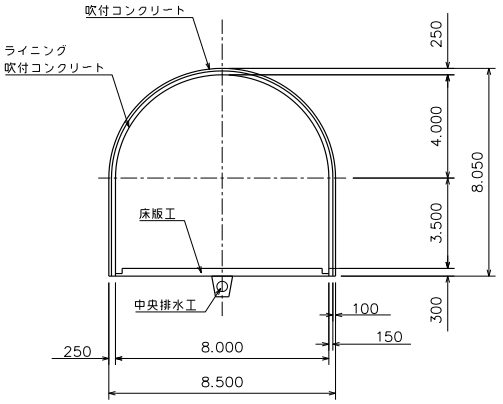
吹付 材量表

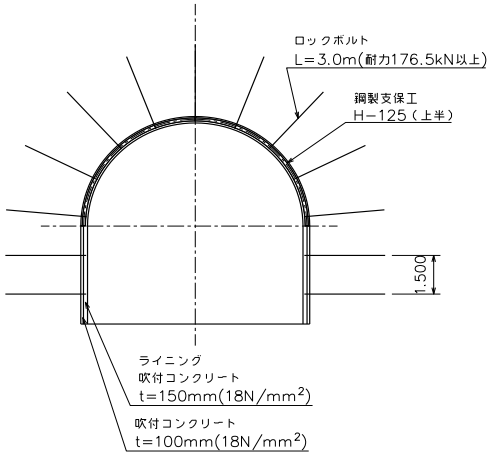
名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
吹付けコンクリート	t=100	σ28=18N/mm2	m2/m	20.555	

ロックボルト材量表

名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
ロックボルト	L=3,000	耐力117.7kN以上	本	13	モルタル全面接着
座金	150x150x9	ss400	枚	13	
ナット		M24	個	13	

図 7.1: CI 区間におけるアクセストンネル標準断面区間の標準断面図（左図）と支保パターン（右図）





単位数量表

名称	仕様	単位	数量	備考
掘削断面積（設計）		m^2	60.900	1.0m当り
掘削断面積（支払）	余掘り20cm	m^2	65.169	1.0m当り
鋼アーチ支保工	H-125	基	上半1	1.2m当り
吹付けコンクリート	t=100	m^2	20.713	1.0m当り
ロックボルト	L=3.0m　耐力17.65kN以上	本	13	1.2m当り
吹付けライニング	t=150	m^2	20.714	1.0m当り
覆工コンクリート	t=300	m^3	-	1.0m当り
路盤コンクリート	t=400	m^3	3.1	1.0m当り
中央排水工（排水管）	φ300（有孔管）	m	10	10.0m当り
中央排水工（掘削）		m^3	6.956	10.0m当り
中央排水工（フィルター材）	s-20	m^3	6.016	10.0m当り

諸元表

ロックボルト			鋼アーチ支保工		吹付厚	金網	吹付ライニング	覆工厚		補助工法
長さ	周方向	延長方向	上半部	下半部				アーチ・側壁	インバート	
3.0	1.5	1.2	H-125	-	10	-	15	-	-	-

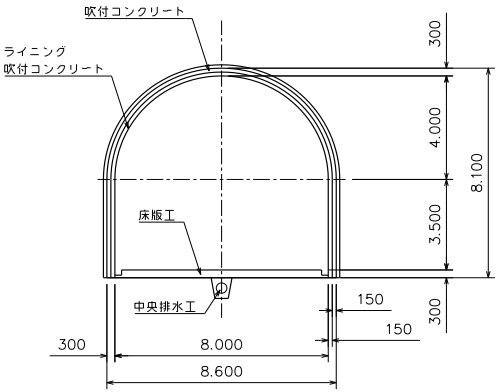
吹付　材量表

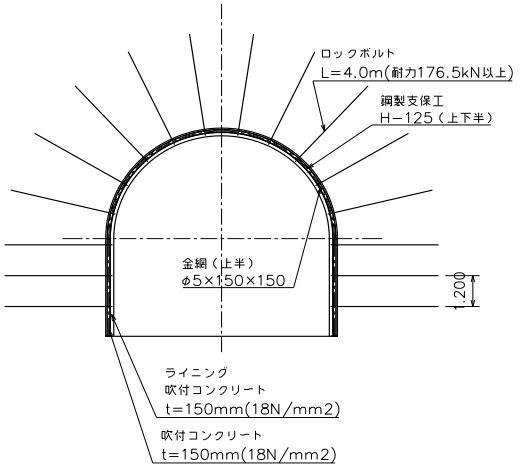
名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
吹付けコンクリート	t＝100	σ28=18N/mm2	m2/m	20.714	

ロックボルト材量表

名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
ロックボルト	L=3.000	耐力17.65kN以上	本	13	モルタル全面接着
座金	150x150x9	ss400	枚	13	
ナット		M24	個	13	

図 7.2: CII 区間におけるアクセストンネル標準断面区間の標準断面図（左図）と支保パターン（右図）





単位数量表

名称	仕様	単位	数量	備考
掘削断面積（設計）		m^2	61.956	1.0m当り
掘削断面積（支払）	余掘り17cm	m^2	65.603	1.0m当り
鋼アーチ支保工	H-125	基	上下半1	1.0m当り
吹付けコンクリート	t=150	m^2	20.713	1.0m当り
ロックボルト	L=4.0m　耐力17.65kN以上	本	16	1.0m当り
吹付けライニング	t=150	m^2	20.714	1.0m当り
覆工コンクリート	t=300	m^3	-	1.0m当り
路盤コンクリート	t=400	m^3	3.1	1.0m当り
中央排水工（排水管）	φ300（有孔管）	m	10	10.0m当り
中央排水工（掘削）		m^3	6.956	10.0m当り
中央排水工（フィルター材）	s-20	m^3	6.016	10.0m当り

諸元表

ロックボルト			鋼アーチ支保工		吹付厚	金網	吹付ライニング	覆工厚		補助工法
長さ	周方向	延長方向	上半部	下半部				アーチ・側壁	インバート	
4.0	1.2	1.0	H-125	H-125	15	上半	15	-	-	-

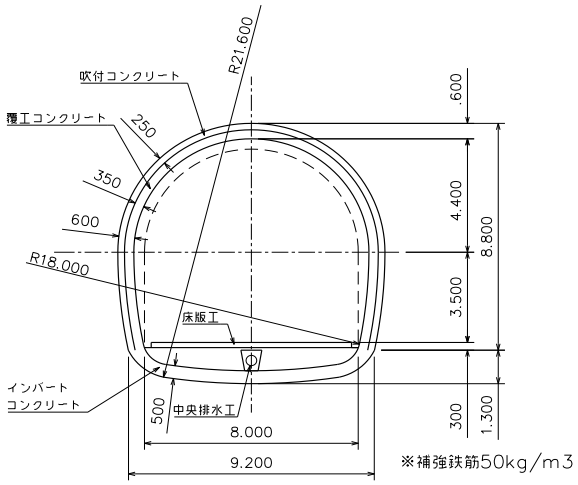
吹付　材量表

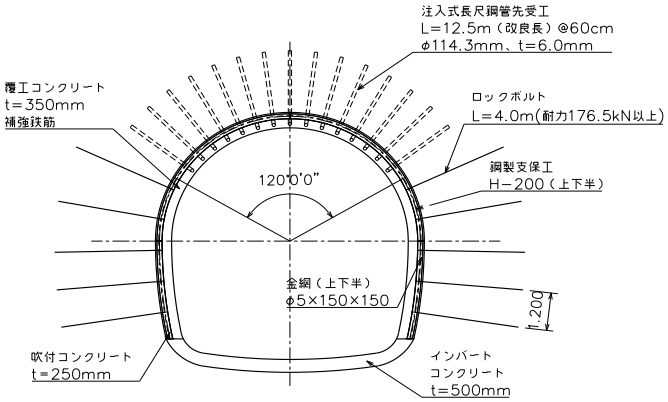
名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
吹付けコンクリート	t＝150	σ28=18N/mm2	m2/m	20.713	

ロックボルト材量表

名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
ロックボルト	L=4,000	耐力17.65kN以上	本	16	モルタル全面接着
座金	150x150x9	ss400	枚	16	
ナット		M24	個	16	

図 7.3: DI 区間におけるアクセストンネル標準断面区間の標準断面図（左図）と支保パターン（右図）





単位数量表

名称	仕様	単位	数量	備考
掘削断面積（設計）		m^2	86.425	1.0m当り
掘削断面積（支払）	余掘り17cm	m^2	90.967	1.0m当り
鋼アーチ支保工	H-200	基	上下半1	1.0m当り
吹付けコンクリート	t=250	m^2	23.448	1.0m当り
ロックボルト	L=4.0m　耐力17.65kN以上	本	10	1.0m当り
吹付けライニング		m^2	-	1.0m当り
覆工コンクリート	t=300、インバートt＝500	m^3	15.202	1.0m当り
路盤コンクリート	t=400	m^3	3.1	1.0m当り
中央排水工（排水管）	φ300（有孔管）	m	10	10.0m当り
中央排水工（掘削）		m^3	-	10.0m当り
中央排水工（フィルター材）	s-20	m^3	6.016	10.0m当り

諸元表

ロックボルト			鋼アーチ支保工		吹付厚	金網	吹付ライニング	覆工厚		補助工法
長さ	周方向	延長方向	上半部	下半部				アーチ・側壁	インバート	
4.0	1.2	1.0	H-200	H-200	25	上下半	-	300	500	AGF

吹付　材量表

名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
吹付けコンクリート	t=250	σ28=18N/mm2	m2/m	23.448	

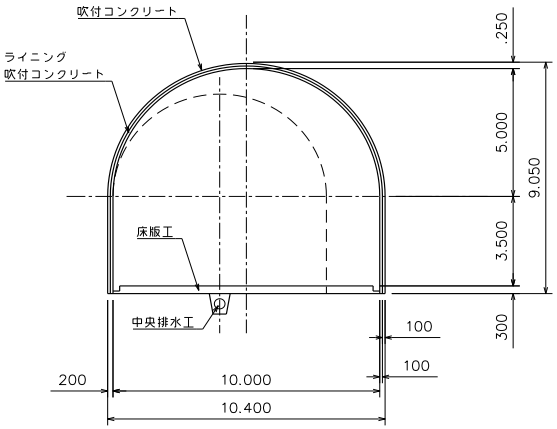
ロックボルト材量表

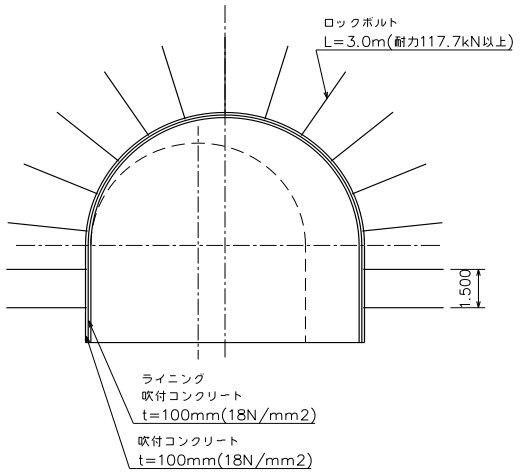
名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
ロックボルト	L=4,000	耐力17.65kN以上	本	10	モルタル全面接着
座金	150x150x9	ss400	枚	10	
ナット		M24	個	10	

AGF 材量表

改良長	周方向	延長方向	鋼管径	鋼管厚		単位	数量	摘要
12.5m	@60cm	@6.0m	φ114.3	t=6.0		本	15	注入式

図 7.4: DIII 区間におけるアクセストンネル標準断面区間の標準断面図（左図）と支保パターン（右図）





単位数量表

名称	仕様	単位	数量	備考
掘削断面積(設計)		m^2	81.973	1.0m当り
掘削断面積(支払)	余掘り22cm	m^2	87.313	1.0m当り
鋼アーチ支保工	H-125	基	-	1.5m当り
吹付けコンクリート	t=100	m^2	23.614	1.0m当り
ロックボルト	L=3.0m 耐力117.7kN以上	本	15	1.5m当り
吹付けライニング	t=100	m^2	23.614	1.0m当り
覆工コンクリート	t=300	m^3	-	1.0m当り
路盤コンクリート	t=400	m^3	3.9	1.0m当り
中央排水工(排水管)	φ300(有孔管)	m	10	10.0m当り
中央排水工(掘削)		m^3	6.956	10.0m当り
中央排水工(フィルター材)	s-20	m^3	6.016	10.0m当り

諸元表

ロックボルト			鋼アーチ支保工		吹付厚	金網	吹付ライニング	覆工厚		補助工法
長さ	周方向	延長方向	上半部	下半部				アーチ・側壁	インバート	
3.0	1.5	1.5	-	-	10	-	10	-	-	-

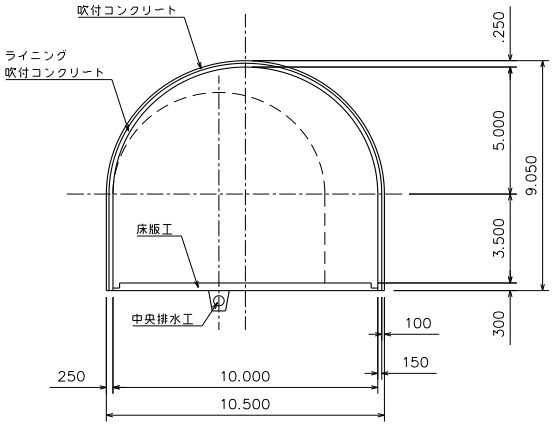
吹付 材量表

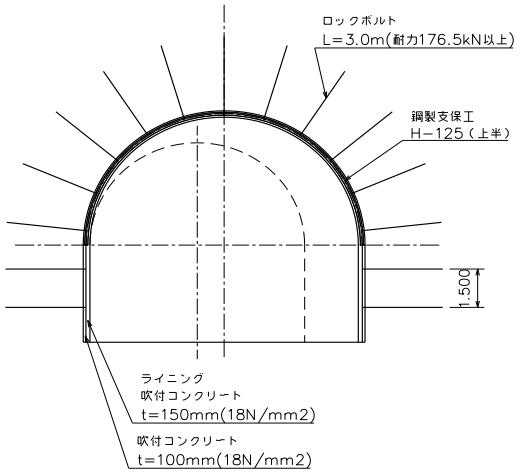
名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
吹付けコンクリート	t=100	σ28=18N/mm2	m2/m	23.614	

ロックボルト材量表

名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
ロックボルト	L=3,000	耐力117.7kN以上	本		モルタル全面接着
座金	150x150x9	ss400	枚		
ナット		M24	個		

図 7.5: CI 区間におけるアクセストンネル非常駐車帯断面区間及び検出器ホール・ダンピングリング接続アクセストンネル共通区間の標準断面図（左図）と支保パターン（右図）





単位数量表

名称	仕様	単位	数量	備考
掘削断面積（設計）		m^2	83.506	1.0m当り
掘削断面積（支払）	余掘り20cm	m^2	88.406	1.0m当り
鋼アーチ支保工	H-125	基	上半1	1.2m当り
吹付けコンクリート	t=100	m^2	23.866	1.0m当り
ロックボルト	L=3.0m 耐力17.65kN以上	本	15	1.2m当り
吹付けライニング	t=100	m^2	35.799	1.0m当り
覆工コンクリート	t=300	m^3	-	1.0m当り
路盤コンクリート	t=400	m^3	3.9	1.0m当り
中央排水工（排水管）	φ300（有孔管）	m	10	10.0m当り
中央排水工（掘削）		m^3	6.956	10.0m当り
中央排水工（フィルター材）	s-20	m^3	6.016	10.0m当り

諸元表

ロックボルト			鋼アーチ支保工		吹付厚	金網	吹付ライニング	覆工厚		補助工法
長さ	周方向	延長方向	上半部	下半部				アーチ・側壁	インバート	
3.0	1.5	1.2	H-125	-	10	-	15	-	-	-

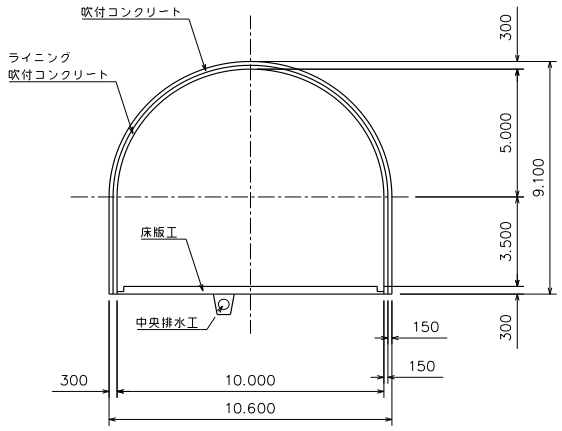
吹付 材量表

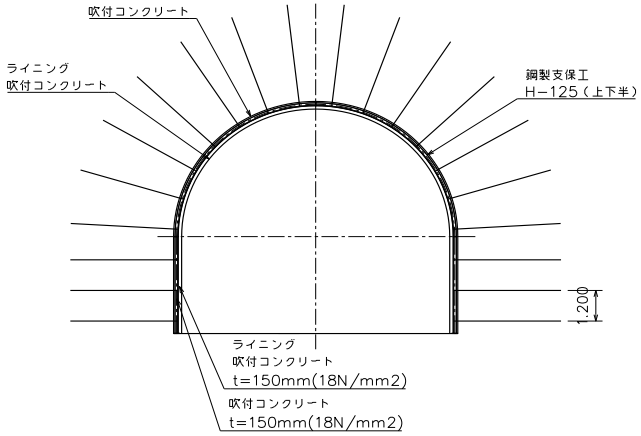
名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
吹付けコンクリート	t=100	σ28=18N/mm2	m2/m	23.866	

ロックボルト材量表

名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
ロックボルト	L=3,000	耐力17.65kN以上	本	15	モルタル全面接着
座金	150x150x9	ss400	枚	15	
ナット		M24	個	15	

図 7.6: CII 区間におけるアクセストンネル非常駐車帯断面区間及び検出器ホール・ダンピングリング接続アクセストンネル共通区間の標準断面図（左図）と支保パターン（右図）





単位数量表

名称	仕様	単位	数量	備考
掘削断面積（設計）		m^2	84.404	1.0m当り
掘削断面積（支払）	余掘り17cm	m^2	89.815	1.0m当り
鋼アーチ支保工	H-125	基	上下半1	1.0m当り
吹付けコンクリート	t=150	m^2	23.866	1.0m当り
ロックボルト	L=4.0m　耐力17.65kN以上	本	20	1.0m当り
吹付けライニング	t=150	m^2	23.866	1.0m当り
覆工コンクリート	t=300	m^3	−	1.0m当り
路盤コンクリート	t=400	m^3	3.9	1.0m当り
中央排水工（排水管）	φ300（有孔管）	m	10	10.0m当り
中央排水工（掘削）		m^3	6.956	10.0m当り
中央排水工（フィルター材）	s-20	m^3	6.016	10.0m当り

諸元表

ロックボルト			鋼アーチ支保工		吹付厚	金網	吹付ライニング	覆工厚		補助工法
長さ	周方向	延長方向	上半部	下半部				アーチ・側壁	インバート	
4.0	1.2	1.0	H-125	H-125	15	上半	15	−	−	−

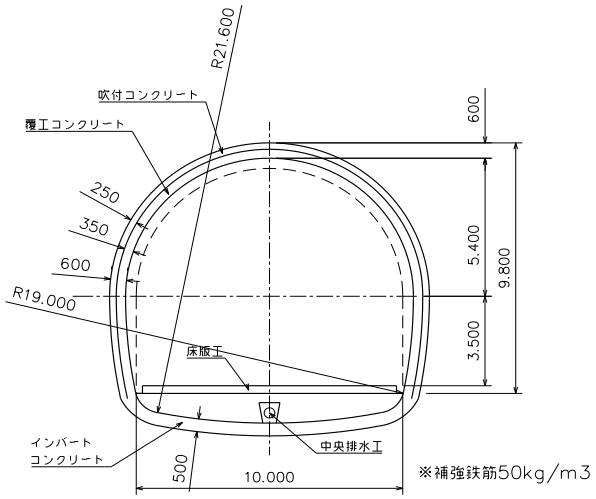
吹付　材量表

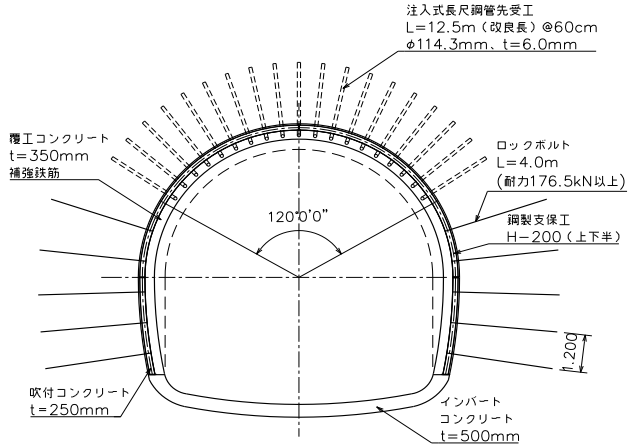
名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
吹付けコンクリート	t＝150	σ28=18N/mm2	m2/m	23.866	

ロックボルト材量表

名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
ロックボルト	L=4,000	耐力17.65kN以上	本	20	モルタル全面接着
座金	150x150x9	ss400	枚	20	
ナット		M24	個	20	

図 7.7: DI 区間におけるアクセストンネル非常駐車帯断面区間及び検出器ホール・ダンピングリング接続アクセストンネル共通区間の標準断面図（左図）と支保パターン（右図）





単位数量表

名称	仕様	単位	数量	備考
掘削断面積(設計)		m^2	154.438	1.0m当り
掘削断面積(支払)	余掘り17cm	m^2	164.337	1.0m当り
鋼アーチ支保工	H-200	基	上下半1	1.5m当り
吹付けコンクリート	t=250	m^2	26.137	1.0m当り
ロックボルト	L=4.0m 耐力17.65kN以上	本	10	1.5m当り
吹付けライニング		m^2	-	1.0m当り
覆工コンクリート	t=300、インバートt=500	m^3	16.945	1.0m当り
路盤コンクリート	t=400	m^3	3.9	1.0m当り
中央排水工(排水管)	φ300(有孔管)	m	10	10.0m当り
中央排水工(掘削)		m^3	-	10.0m当り
中央排水工(フィルター材)	s-20	m^3	6.016	10.0m当り

諸元表

ロックボルト			鋼アーチ支保工		吹付厚	金網	吹付ライニング	覆工厚		補助工法
長さ	周方向	延長方向	上半部	下半部				アーチ・側壁	インバート	
4.0	1.2	1.0	H-200	H-200	250	上下半	-	300	500	AGF

吹付 材量表

名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
吹付けコンクリート	t=250	σ28=18N/mm2	m2/m	26.137	

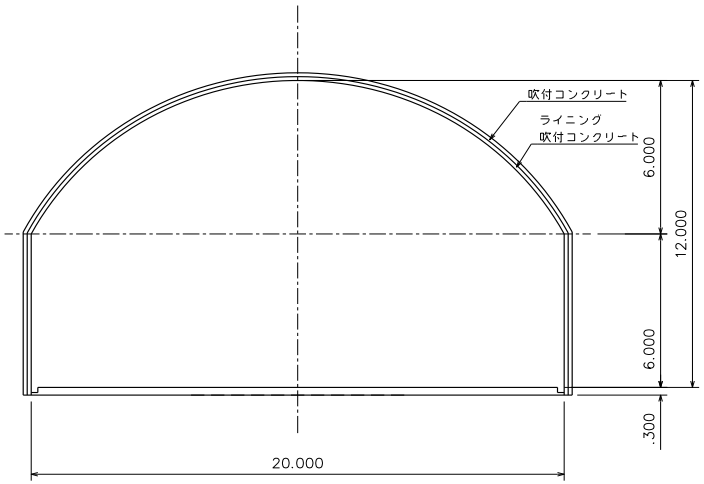
ロックボルト材量表

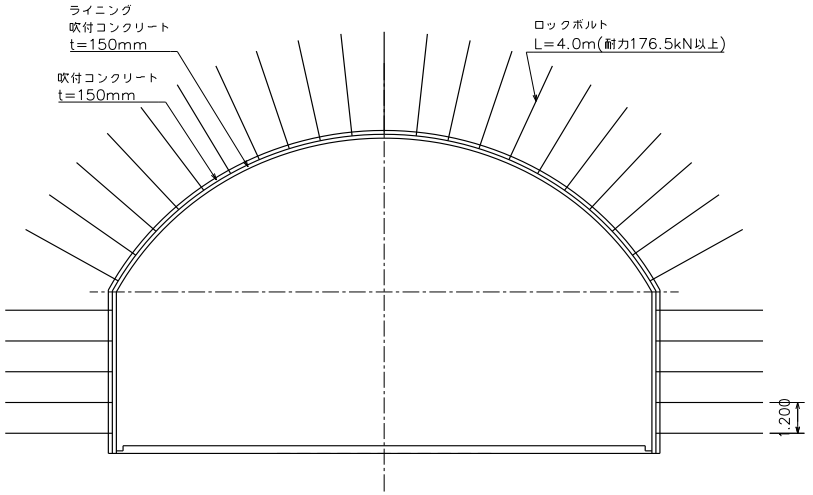
名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
ロックボルト	L=4,000	耐力17.65kN以上	本	10	モルタル全面接着
座金	150x150x9	ss400	枚	10	
ナット		M24	個	10	

AGF 材量表

改良長	周方向	延長方向	鋼管径	鋼管厚		単位	数量	摘要
12.5m	@60cm	@6.0m	φ114.3	t=6.0		本	19	注入式

図 7.8: DIII 区間における検出器ホール・ダンピングリング接続アクセストンネル共通区間の標準断面図（左図）と支保パターン（右図）





単位数量表

名称	仕様	単位	数量	備考
掘削断面積(設計)		m^2	222.766	1.0m当り
掘削断面積(支払)	余掘り	m^2	231.213	1.0m当り
鋼アーチ支保工	H-125	基	-	1.5m当り
吹付けコンクリート	t=150	m^2	37.573	1.0m当り
ロックボルト	L=4.0m 耐力17.65kN以上	本		1.5m当り
吹付けライニング	t=150	m^3	37.573	1.0m当り
覆工コンクリート	t=300	m^3	-	1.0m当り
路盤コンクリート	t=400	m^3	7.9	1.0m当り

諸元表

ロックボルト			鋼アーチ支保工		吹付厚	金網	吹付ライニング	覆工厚		補助工法
長さ	周方向	延長方向	上半部	下半部				アーチ・側壁	インバート	
4.0	1.5	1.5	-	-	15	-	15	-	-	-

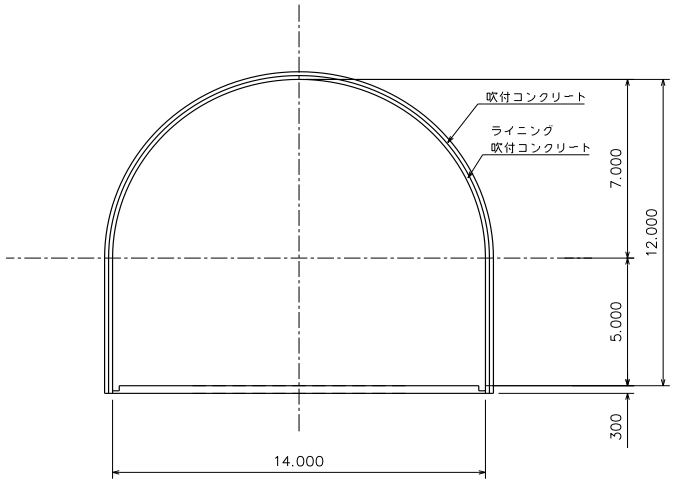
吹付 材量表

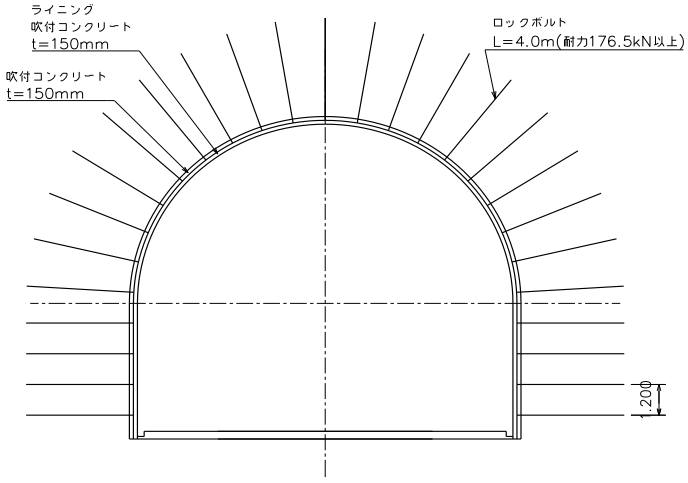
名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
吹付けコンクリート	t=150	σ28=18N/mm2	m2/m	37.573	

ロックボルト材量表

名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
ロックボルト	L=4,000	耐力17.65kN以上	本	31	モルタル全面接着
座金	150x150x9	ss400	枚	31	
ナット		M24	個	31	

図 7.9: アクセスホール（He ドーム）の標準断面図（左図）と支保パターン（右図）





単位数量表

名称	仕様	単位	数量	備考
掘削断面積(設計)		m^2	161.088	1.0m当り
掘削断面積(支払)	余掘り	m^2	168.541	1.0m当り
鋼アーチ支保工	H-125	基	-	1.5m当り
吹付けコンクリート	t=150	m^2	33.062	1.0m当り
ロックボルト	L=4.0m 耐力17.65kN以上	本	27	1.5m当り
吹付けライニング	t=100	m^3	33.062	1.0m当り
覆工コンクリート	t=300	m^3	-	1.0m当り
路盤コンクリート	t=400	m^3	5.5	1.0m当り

諸元表

ロックボルト			鋼アーチ支保工		吹付厚	金網	吹付ライニング	覆工厚		補助工法
長さ	周方向	延長方向	上半部	下半部				アーチ・側壁	インバート	
4.0	1.5	1.5	-	-	15	-	15	-	-	-

吹付 材量表

名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
吹付けコンクリート	t=150	σ28=18N/mm2	m2/m	33.062	

ロックボルト材量表

名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
ロックボルト	L=4,000	耐力17.65kN以上	本	27	モルタル全面接着
座金	150x150x9	ss400	枚	27	
ナット		M24	個	27	

図 7.10: アクセスホール（S/E/M ドーム）の標準断面図（左図）と支保パターン（右図）

7.2 施工計画

7.2.1 計画概要

施工計画は，国土交通省土木工事積算基準に準拠して立案した。ただし，アクセスホール He ドームの施工に関しては，その掘削断面が大きい（222 m^2）ため，支保パターン及び施工歩掛等を上記積算基準に準じて施工のサイクルタイムを設定して計画した。

計画の概略は以下の通りである。

- 支払線（余掘り，余吹き，余巻き）の考え方は上記積算基準に準拠する。
- 掘削機械（ドリルジャンボ，ホイールローダ，吹付機，ブレーカ，ダンプ）の規格は上記積算基準に準拠する。
- 吹付けコンクリート，ロックボルト，鋼製支保工などの規格は上記積算基準に準拠する。
- 掘削ずり処理については，坑口付近に一時仮置し，10 km 離れた場所への 10 t ダンプトラックによる二次運搬を想定する。なお，地質調査の結果から鉱化ずりが出現する可能性は低いものと想定し，鉱化ずり処理に係る費用・施設は考慮していない。施工時に鉱化ずりが見られた場合には，適切に処理する。

7.2.2 坑口ヤード造成

坑口ヤードの造成は，平均的な地形（地表勾配）を有する AS-12 を代表箇所として切盛土量を算出（切土量 88,000 m^3，盛土量 2,200 m^3）し[6)]，他地点ヤードには同じ切盛土量を仮定した。AS-DR，及び AS-DH に関しては，同一ヤード内に仮設備を二式設置することとした。

7.2.3 掘削方法

掘削方法は，坑口区間を除き発破工法とする。発破は，C パターンでは補助ベンチ付全断面工法，D パターンでは上半先進ベンチカット工法とする。

アクセスホール He ドームの掘削に関しては，頂部先進切り上がり二段ベンチ掘削を想定した。

[6)] AS−12 は，延長が 30 km のときに計画されていた坑口ヤードである。現行の計画には含まれない坑口であるが，平均的な地形であることに変わりはない。

7.2.4 仮設備計画

仮設備の概要は以下のとおりである。

- 坑口ヤード仮設備の種類は上記積算基準に準拠する。
- 坑内仮設備は上記積算基準に準拠する。なお，電気設備など一部の仕様は計画した。
- 濁水処理設備は処理量を想定して計画した。

7.2.5 工程計画

各アクセストンネルの工程は，地山等級に対応する各断面ごとに，上記積算基準にある施工歩掛に基づいて算出した。

アクセストンネルが加速器トンネルの所定深度に到達した後，アクセスホールと加速器トンネルを同時掘削するものと想定した。各坑口ヤードは，同時切羽稼働に必要な面積を確保可能である。掘削・ライニング吹付工に続いて排水工（中央排水の掘削，有孔管設置，砕石埋め戻し作業）を実施した後，床盤コンクリートを打設する。

掘削断面が大きいアクセスホール He ドームの工期に関しては，サイクルタイム計算に基づいて施工歩掛を算出する方法は現存しない。そこで，サイクルタイム計算に基づいて施工歩掛を算出する方法の最終適用年度であった平成 17 年度の国土交通省土木工事積算基準を準用し，サイクルタイムを計算のうえ工程を算出した。

なお，一般道から坑口ヤードまでの工事用道路の新設，既存道路の拡幅や補強，橋梁の改築や新設は，必要に応じて別途工事で事前施工されていると仮定し，今回の工事工程計画には含めていない。同様に，坑口ヤード，工事用道路，残土処理場などの用地取得にかかる期間は，今回の工事工程計画には含めていない。

図 7.11 にアクセストンネル・アクセスホールの工程表を示す。工期はアクセストンネルの延長に依存し，最短で 33 ヶ月（AS+8），最長で 54 ヶ月（AS−10）となった。

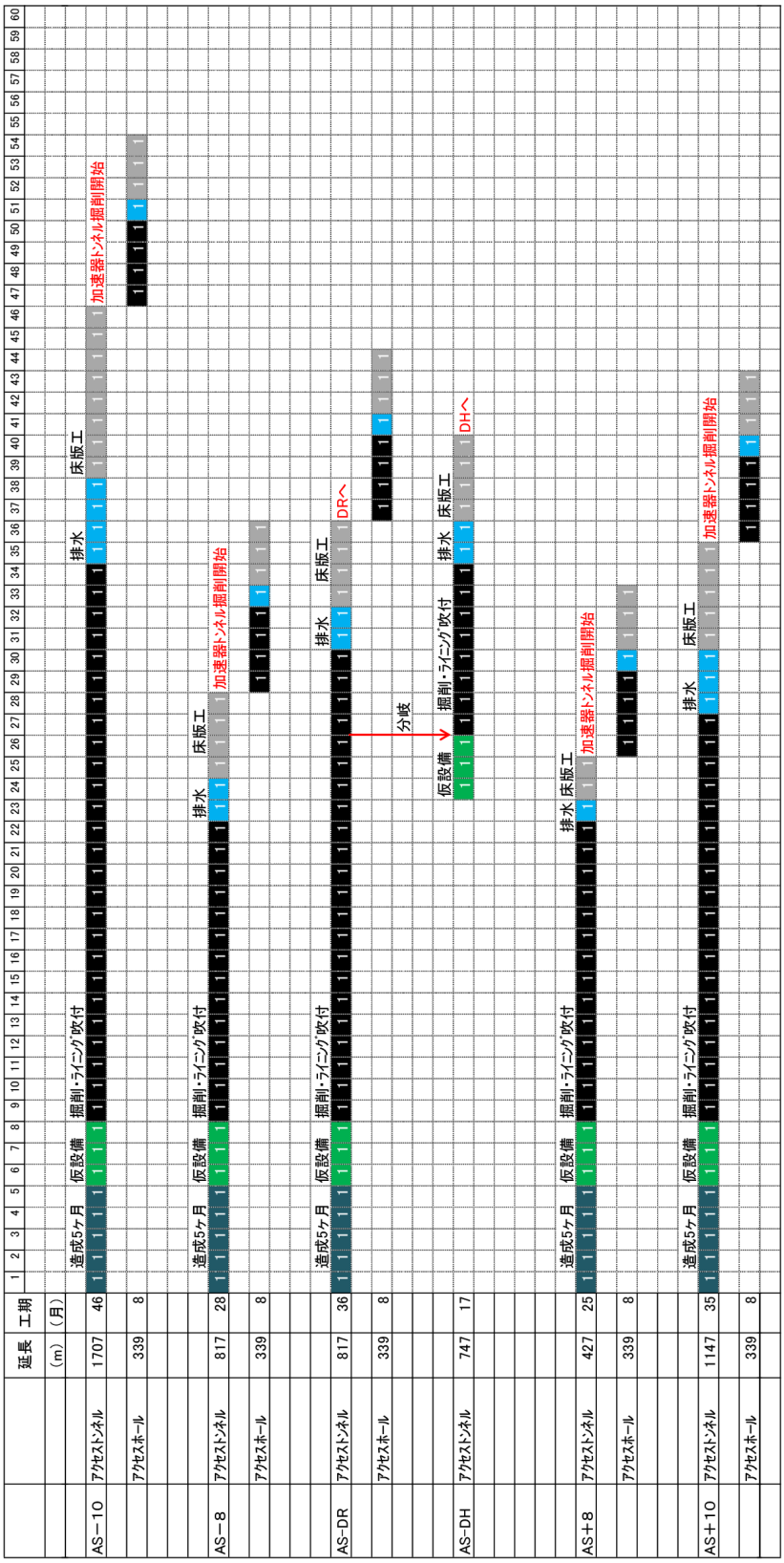


図 7.11: アクセストンネル・アクセスホールの工程

8　加速器トンネル

8.1　設計諸元

8.1.1　地山等級

弾性波探査によれば，加速器トンネルの標高における弾性波速度は河川横断部を除いて 4.5 km/s 以上であり，最も遅い弾性波速度が測定された砂鉄川横断地点でも 2 km/s である。国土交通省土木工事積算基準にある地山分類表を参考にして，地山等級は全域で CI とした。

8.1.2　加速器トンネルの寸法諸元と構造

加速器トンネルには，以下に示す 4 種類の断面がある。

1. 主線形加速器トンネル：幅 9.5 m，高さ 5.5 m
2. BDS ビームトンネル：幅 8.0 m，高さ 5.0 m
3. BDS サービストンネル，両端ループ部：幅 4.5 m，高さ 4.0 m
4. ダンピングリングトンネル：幅 5.5 m，高さ 4.7 m

その他，以下を計上することとする。

- 幅 11 m，高さ 5.5 m，長さ 50 m の拡幅部を加速器関連トンネル全体で 10 箇所計上する。
- 主線形加速器トンネルには，トンネルと同一断面（幅 9.5 m，高さ 5.5 m）で長さが 20 m の転換坑を 76 箇所（総延長 15,287 m の 200 m 毎に 1 箇所）計上する。

各々のトンネルの延長合計を表 8.1 に示す。

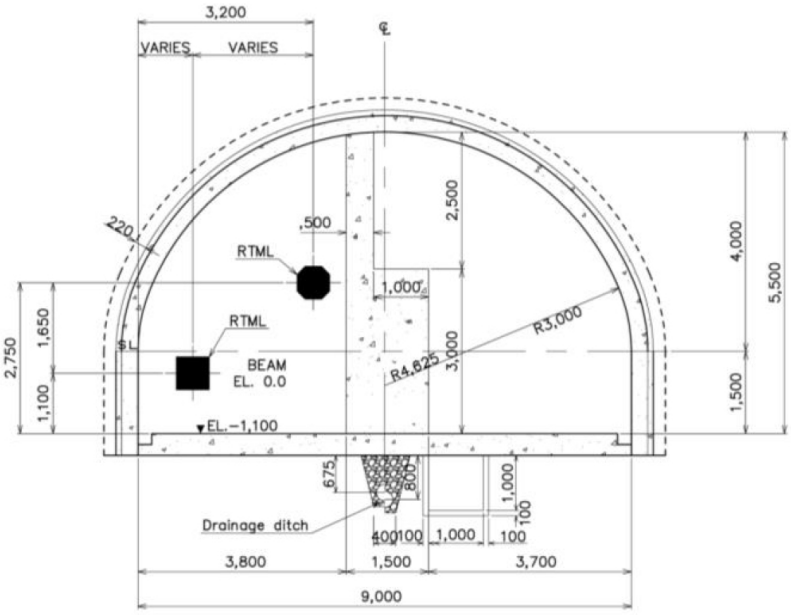
表 8.1: 加速器トンネル一覧

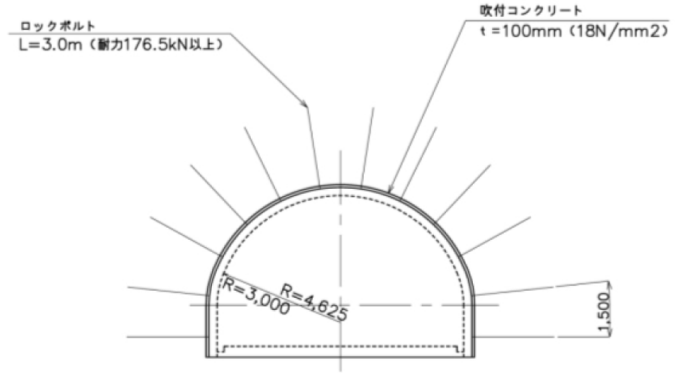
掘削場所	幅 (m)	高さ (m)	延長合計 (m)
主線形加速器トンネル	9.5	5.5	15,287
BDS ビームトンネル	8.0	5.0	5,850
BDS サービストンネル	4.5	4.0	5,850
ダンピングリングトンネル	5.5	4.7	3,725
両端ループ部	4.5	4.0	346
拡幅部	11.0	5.5	500
転換坑	9.5	5.5	1,520

国土交通省土木工事積算基準に準じて，岩区分及び掘削断面積に応じた標準断面図，支保パターンを設定した。各々のトンネルの標準断面図及び支保パターンを図 8.1 – 8.4 に示す[7)]。

なお，土被りが薄くなる河川横断部については，別途詳細な地質調査と設計検討が必要であると考えている。

[7)] 1 章にあるように，主線形加速器トンネルに必要な幅は 9.5 m である。5 章に述べたように，幅 9 m（図 8.1）の検討結果に対して，コスト及び掘削（月進）工程の評価については断面積に基づいた換算，路盤工工程の評価についてはトンネル幅に基づいた換算を実施した。





単位数量表

名称	仕様	単位	数量	備考
掘削断面積（設計）		m²	51.941	1.00m当り
掘削断面積（支払）	余掘り 22cm	m²	56.044	1.00m当り
吹付コンクリート	t=100	m²	26.984	1.50m当り
ロックボルト	L=3.0m 耐力176.5kN以上	本	12	1.50m当り
覆工コンクリート	t=300	m²	5.255	1.00m当り
路盤コンクリート	t=400	m²	3.500	1.00m当り
中央排水工（排水管）	高密度ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ管φ300（有孔管）	m	10.0	10.0m当り
中央排水工（掘削）		m³	6.956	10.0m当り
中央排水工（ﾌｨﾙﾀｰ材）	S-20	m³	6.016	10.0m当り

諸元表

ロックボルト			鋼製支保		吹付厚	覆工厚（cm）			変形余裕量（cm）		
長さ	周方向	延長方向	上半	下半	（cm）	アーチ	インバート		上半	下半	インバート
3.0	1.5	1.5	−	−	10	30	−	−	0	0	−

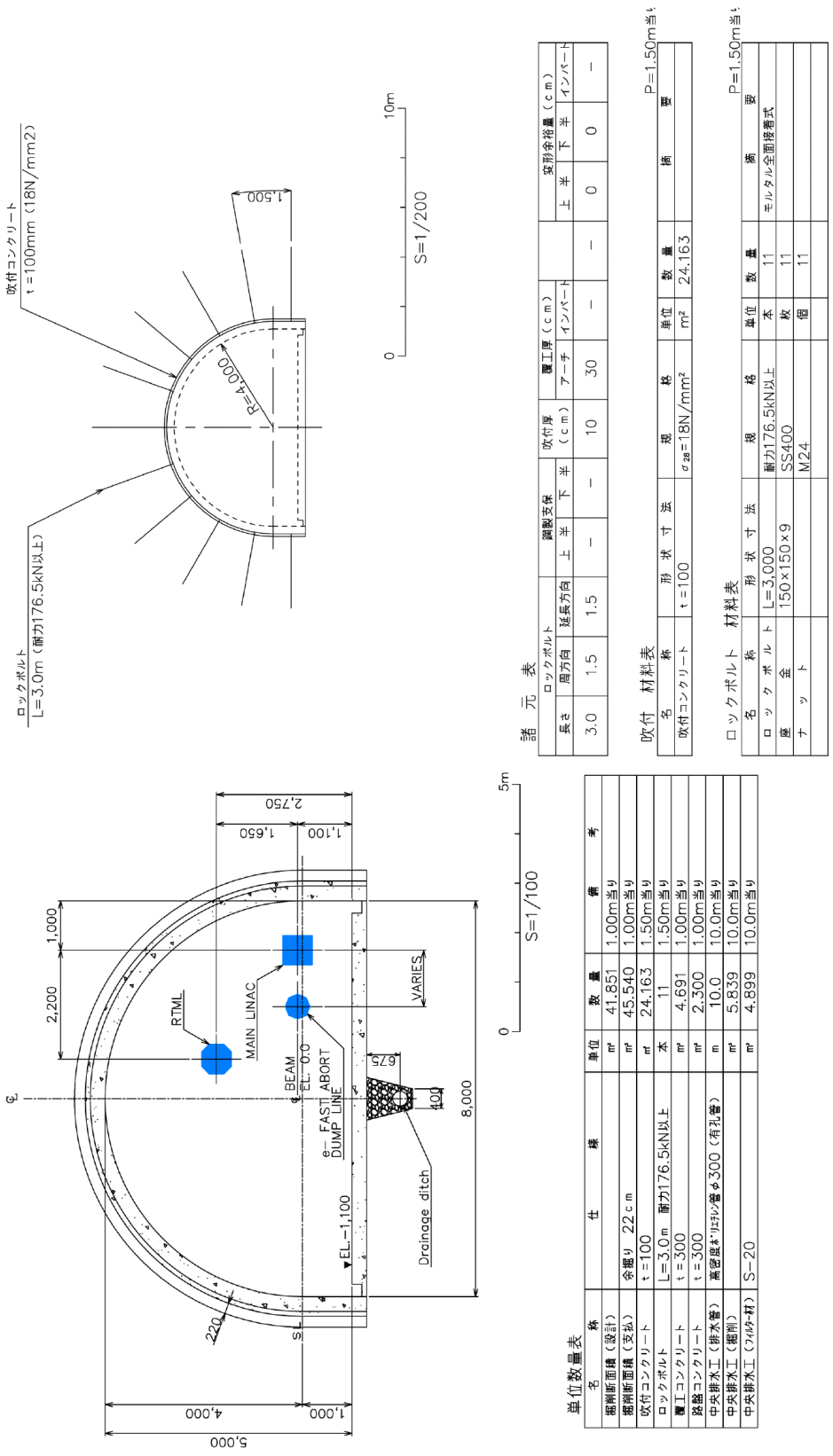
吹付 材料表 P=1.50m当り

名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
吹付コンクリート	t=100	σ_{28}=18N/mm²	m²	26.684	

ロックボルト 材料表 P=1.50m当り

名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
ロックボルト	L=3,000	耐力176.5kN以上	本	12	モルタル全面接着式
座金	150×150×9	SS400	枚	12	
ナット		M24	個	12	

図 8.1: 主線形加速器トンネル及び転換坑の標準断面図（左図）と支保パターン（右図）（5 章に述べたように，幅 9 m の検討結果に対し，断面積・トンネル幅に基づいた換算を実施した。）



諸 元 表

ロックボルト 長さ	ロックボルト 周方向	ロックボルト 延長方向	鋼製支保 上半	鋼製支保 下半	吹付厚（cm）	覆工厚（cm） アーチ	覆工厚（cm） インバート	変形余裕量（cm） 上半	変形余裕量（cm） 下半	変形余裕量（cm） インバート
3.0	1.5	1.5	–	–	10	30	–	0	0	–

吹付 材料表 P=1.50m当り

名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
吹付コンクリート	t=100	σ_{28}=18N/mm²	m²	24.163	

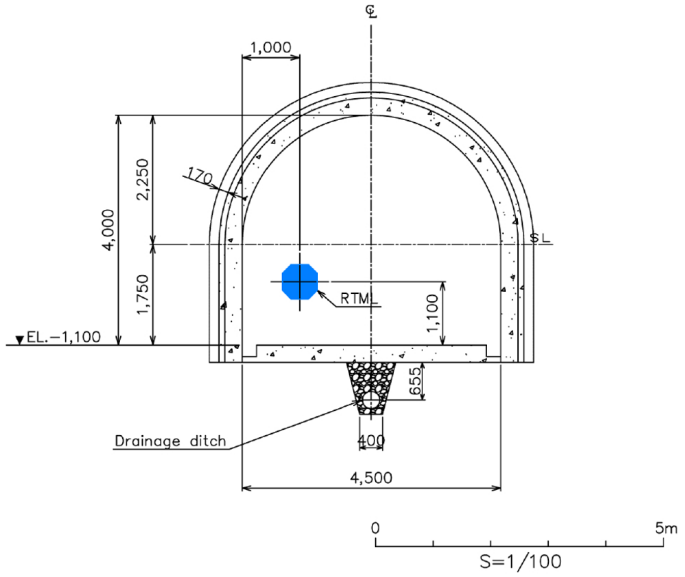
ロックボルト 材料表 P=1.50m当り

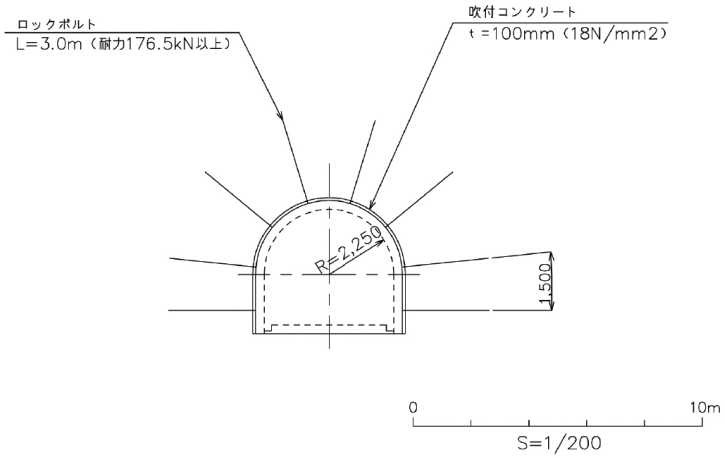
名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
ロックボルト	L=3,000	耐力176.5kN以上	本	11	モルタル全面接着式
座金	150×150×9	SS400	枚	11	
ナット		M24	個	11	

単位数量表

名称	仕様	単位	数量	備考
掘削断面積（設計）		m²	41.851	1.00m当り
掘削断面積（支払）	余掘り 22cm	m²	45.540	1.00m当り
吹付コンクリート	t=100	m²	24.163	1.50m当り
ロックボルト	L=3.0m 耐力176.5kN以上	本	11	1.50m当り
覆工コンクリート	t=300	m²	4.691	1.00m当り
路盤コンクリート	t=300	m²	2.300	1.00m当り
中央排水工（排水管）	高密度ポリエチレン管φ300（有孔管）	m	10.0	10.0m当り
中央排水工（掘削）		m²	5.839	10.0m当り
中央排水工（フィルター材）	S-20	m²	4.899	10.0m当り

図 8.2: BDS ビームトンネルの標準断面図（左図）と支保パターン（右図）





単位数量表

名　称	仕　様	単位	数　量	備　考
掘削断面積（設計）		㎥	21.896	1.00m当り
掘削断面積（支払）	余掘り　17ｃｍ	㎥	24.054	1.00m当り
吹付コンクリート	t=100	㎡	18.167	1.50m当り
ロックボルト	L=3.0ｍ　耐力176.5kN以上	本	8	1.50m当り
覆工コンクリート	t=300	㎥	3.492	1.00m当り
路盤コンクリート	t=300	㎥	1.250	1.00m当り
中央排水工（排水管）	高密度ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ管φ300（有孔管）	m	10.0	10.0m当り
中央排水工（掘削）		㎥	5.668	10.0m当り
中央排水工（ﾌｨﾙﾀｰ材）	S−20	㎥	4.727	10.0m当り

諸　元　表

ロックボルト			鋼製支保		吹付厚	覆工厚（ｃｍ）			変形余裕量（ｃｍ）		
長さ	周方向	延長方向	上　半	下　半	（ｃｍ）	アーチ	インバート		上　半	下　半	インバート
3.0	1.5	1.5	−	−	10	30	−	−	0	0	−

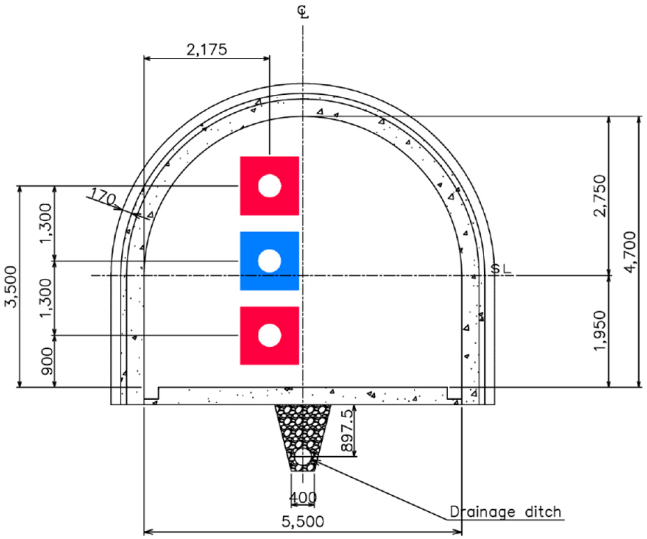
吹付　材料表　　P=1.50m

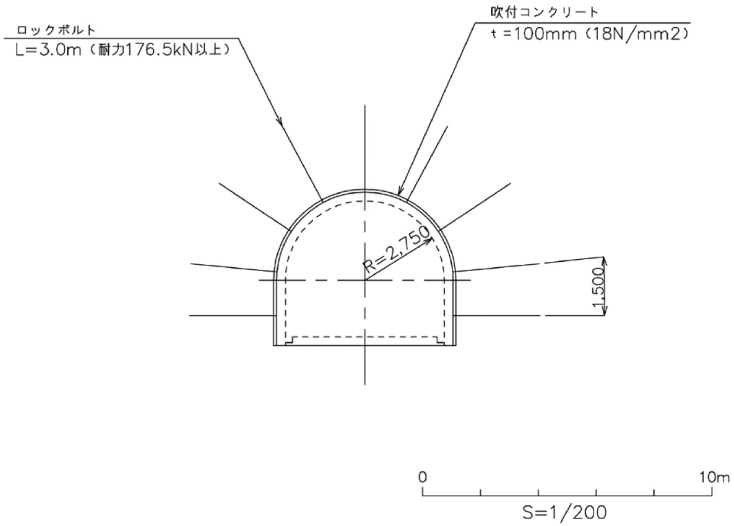
名　称	形　状　寸　法	規　格	単位	数　量	摘　要
吹付コンクリート	t=100	σ_{28}=18N/mm²	m²	18.167	

ロックボルト　材料表　　P=1.50m

名　称	形　状　寸　法	規　格	単位	数　量	摘　要
ロックボルト	L=3,000	耐力176.5kN以上	本	8	モルタル全面接着式
座　金	150×150×9	SS400	枚	8	
ナ　ット		M24	個	8	

図 8.3: BDS サービストンネル及び両端ループ部の標準断面図（左図）と支保パターン（右図）





諸　元　表

ロックボルト			鋼製支保		吹付厚（ｃｍ）	覆工厚（ｃｍ）			変形余裕量（ｃｍ）		
長さ	周方向	延長方向	上　半	下　半		アーチ	インバート		上　半	下　半	インバート
3.0	1.5	1.5	–	–	10	30	–	–	0	0	–

単位数量表

名　　称	仕　　様	単位	数　量	備　　考
掘削断面積（設計）		㎥	29.761	1.00m当り
掘削断面積（支払）	余掘り　17ｃｍ	㎥	32.254	1.00m当り
吹付コンクリート	t =100	㎡	21.123	1.50m当り
ロックボルト	L=3.0ｍ　耐力176.5kN以上	本	9	1.50m当り
覆工コンクリート	t =300	㎥	4.083	1.00m当り
路盤コンクリート	t =300	㎥	1.550	1.00m当り
中央排水工（排水管）	高密度ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ管φ300（有孔管）	m	10.0	10.0m当り
中央排水工（掘削）		㎥	7.882	10.0m当り
中央排水工（ﾌｨﾙﾀｰ材）	S－20	㎥	6.942	10.0m当り

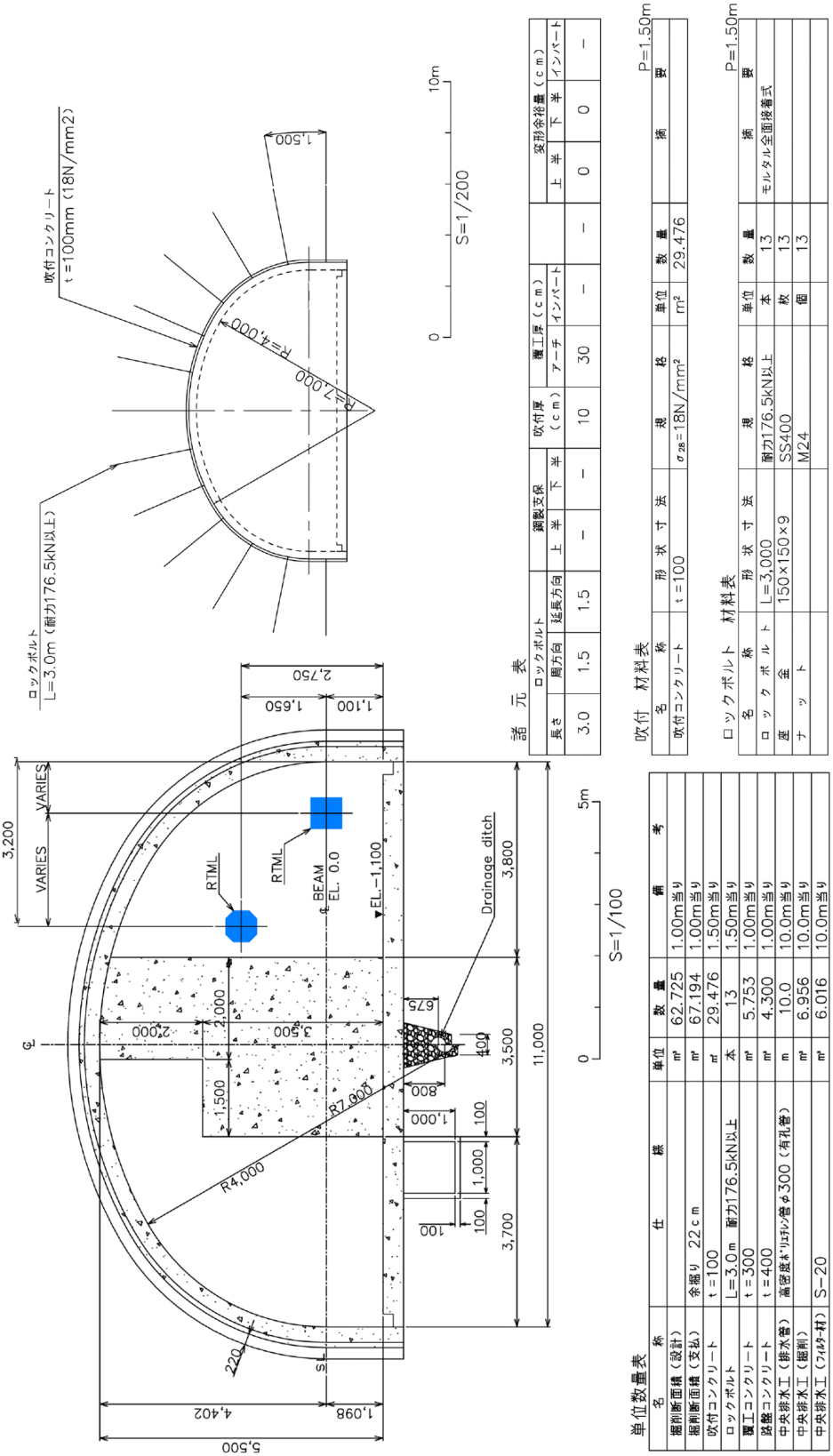
吹付　材料表　　P=1.50r

名　　称	形 状 寸 法	規　　格	単位	数　量	摘　　要
吹付コンクリート	t =100	σ_{28}=18N/mm²	m²	21.123	

ロックボルト　材料表　　P=1.50r

名　　称	形 状 寸 法	規　　格	単位	数　量	摘　　要
ロ ッ ク ボ ル ト	L=3,000	耐力176.5kN以上	本	9	モルタル全面接着式
座　　金	150×150×9	SS400	枚	9	
ナ　ッ　ト		M24	個	9	

図 8.4: ダンピングリングトンネルの標準断面図（左図）と支保パターン（右図）



諸 元 表

ロックボルト 長さ	ロックボルト 周方向	ロックボルト 延長方向	鋼製支保 上半	鋼製支保 下半	吹付厚 (cm)	覆工厚 (cm) アーチ	覆工厚 (cm) インバート	変形余裕量 (cm) 上半	変形余裕量 (cm) 下半	変形余裕量 (cm) インバート
3.0	1.5	1.5	–	–	10	30	–	–	0	0	–

吹付 材料表 P=1.50m

名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
吹付コンクリート	t=100	σ_{28}=18N/mm²	m²	29.476	

ロックボルト 材料表 P=1.50m

名称	形状寸法	規格	単位	数量	摘要
ロックボルト	L=3,000	耐力176.5kN以上	本	13	モルタル全面接着式
座金	150×150×9	SS400	枚	13	
ナット		M24	個	13	

単位数量表

名称	仕様	単位	数量	備考
掘削断面積 (設計)		m²	62.725	1.00m当り
掘削断面積 (支払)	余掘り 22cm	m²	67.194	1.00m当り
吹付コンクリート	t=100	m²	29.476	1.50m当り
ロックボルト	L=3.0m 耐力176.5kN以上	本	13	1.50m当り
覆工コンクリート	t=300	m³	5.753	1.00m当り
路盤コンクリート	t=400	m³	4.300	1.00m当り
中央排水工 (排水管)	高密度ポリエチレン管φ300 (有孔管)	m	10.0	10.0m当り
中央排水工 (掘削)		m³	6.956	10.0m当り
中央排水工 (フィルター材)	S-20	m³	6.016	10.0m当り

図 8.5: 拡幅部の標準断面図 (左図) と支保パターン (右図)

8.2 施工計画

8.2.1 計画概要

施工計画は，国土交通省土木工事積算基準に準じて立案した。表 8.2 に掘削場所ごとの施工諸元をまとめた。ただし，上記基準に示されているのは，片押し延長が 2,500 m までの基準である。片押し延長が 2,500 m を超える場合については，ダンプ台数・トンネル特殊工等の増加を別途考慮して計画を検討した。

表 8.2: 加速器トンネル施工諸元一覧

掘削場所	断面積 (m^2)	適用断面 (m^2)	掘削方式	ずり搬出方式	掘進速度 (m/月)
主線形加速器トンネル	55.75	65.0	NATM	タイヤ	106
BDS ビームトンネル	41.85	40.0	NATM	タイヤ	124
BDS サービストンネル	21.90	20.0	NATM	レール	73
ダンピングリングトンネル	29.76	30.0	NATM	レール	62
両端ループ部	21.90	20.0	NATM	レール	73

その他，計画の概略は，以下の通りである。

- トンネル仮設備ヤードは，アクセストンネル施工時に利用したものを引き続き利用するものとする。また，仮設備ヤードの復旧は考慮していない。
- 掘削ずり処理については，坑口付近に一時仮置し，10 km 離れた場所への 10 t ダンプトラックによる二次運搬を想定する。なお，地質調査の結果から鉱化ずりが出現する可能性は低いものと想定し，鉱化ずり処理に係る費用・施設は考慮していない。施工時に鉱化ずりが見られた場合には，適切に処理する。

8.2.2 概略工事工程計画

工事工程計画については，以下の条件とした。

AH+10/AH−10 からの掘削

1. 端部及び中央部へ向けて，主線形加速器トンネルを 2 方向同時に掘削，

2. 端部へ到達後にループ部を掘削,
3. 掘削完了の 3 ヶ月後に覆工完了,
4. 覆工完了後，端部及び中央部へ向けて 2 方向同時に路盤コンクリートを 21 m/日 の進行で施工する。

AH+8/AH−8 からの掘削

1. 端部へ向けて主線形加速器トンネル，及び，中央部へ向けて BDS ビームトンネル並びに BDS サービストンネルの 3 箇所を同時に掘削,
2. 掘削完了の 3 ヶ月後に覆工完了,
3. 各トンネル覆工完了後，端部及び中央部へ向けて 2 方向同時に路盤コンクリートを 21 m/日の進行で施工する。

ダンピングリング トンネルの掘削

1. 4 箇所同時に掘削,
2. 4 箇所同時施工で掘削完了の 3 ヶ月後に各切羽覆工完了,
3. 覆工完了後，4 箇所同時施工で各切羽路盤コンクリートを 21 m/日 の進行で施工する。

なお，AH+10/AH−10 から端部へ向けての掘削には，主線形加速器トンネルのタイヤ工法とループ部のレール工法を併用することとして検討した。詳細については，施工方法及び工程が確定したのち，再度検討が必要と思われる。

図 8.6 にアクセストンネル建設開始からの累積工期を示す。加速器トンネルの建設開始時期はアクセストンネルの工期に依存するため，加速器トンネルの工期はアクセストンネルの延長に左右される。アクセストンネルが最長となる AS−10 を基点に端部のターンアラウンド部へ向けて掘削する区間の工期が最長であり，累積工期は 90.8 ヶ月となった。

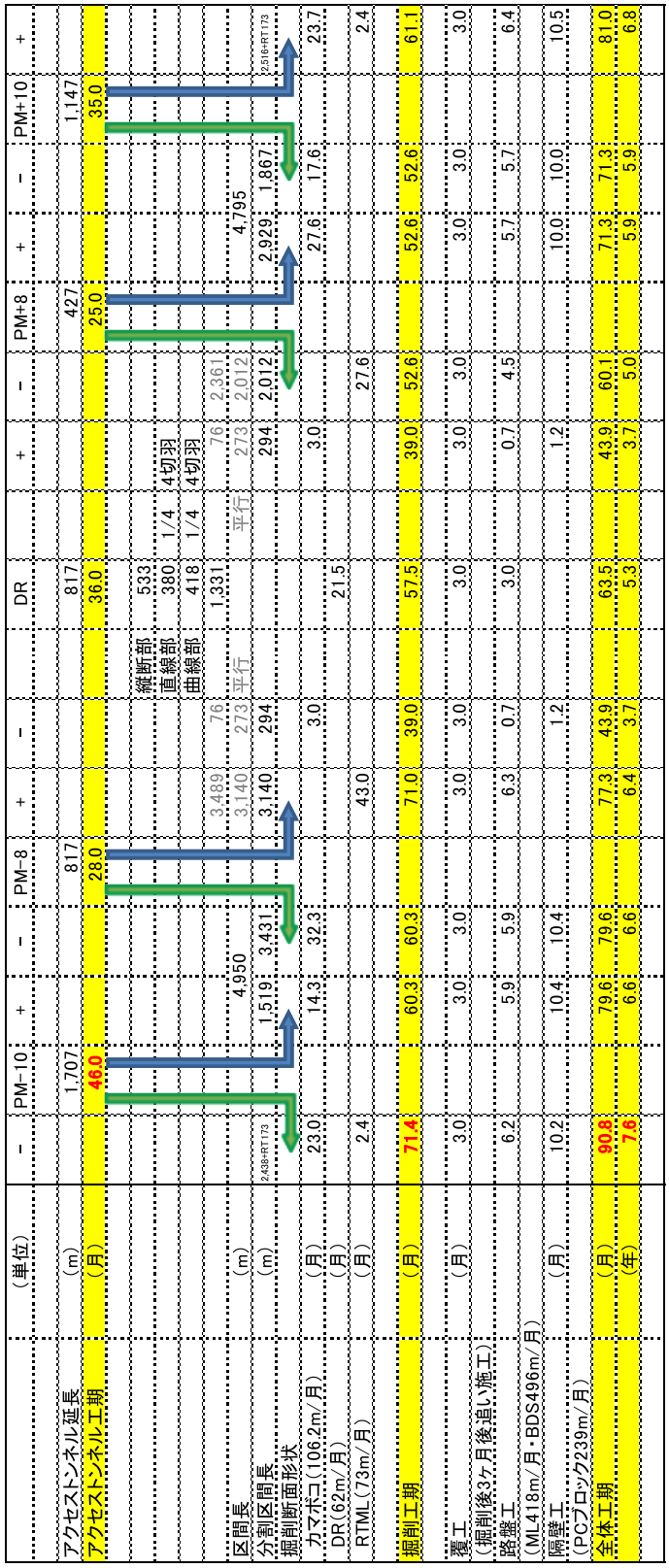


図 8.6: 加速器トンネルの工程

9　検出器ホール・周辺トンネル

9.1　設計諸元

9.1.1　岩盤等級

弾性波探査・ボーリング調査の結果は，検出器ホールを建設する深度には硬質で割れ目の少ない花崗岩が広く分布していることを示している。地質調査結果を参考に，対象岩盤は B~CH 級の花崗岩とした。また，土被りは 100 m 前後である。

検出器ホールの周辺に建設するトンネルについては，他の加速器トンネルと同様，地山等級は CI とした。

9.1.2　検出器ホール・周辺トンネルの寸法諸元と構造

検出器ホール・周辺トンネルの諸元は以下の通りである。

1. 検出器ホール：

   空洞規模： 幅 25 m × 長さ 133 m × 高さ 42 m

   形状： 弾頭形（アーチと垂直壁），立坑貫通部はキノコ型（天井コンクリートあり）

   - 天井は吹付けコンクリート仕上げとし，建築仕上げ工事は別途施工とする。
   - クレーン壁，底盤コンクリート構築を含む。

2. メイン立坑：直径 18 m，深さ 70 m 程度
3. ユーティリティ立坑：直径 10 m，深さ 70 m 程度
4. 周辺トンネル：幅 8.0 m，高さ 7.5 m
5. 周辺トンネル：幅 4.0 m，高さ 4.0 m

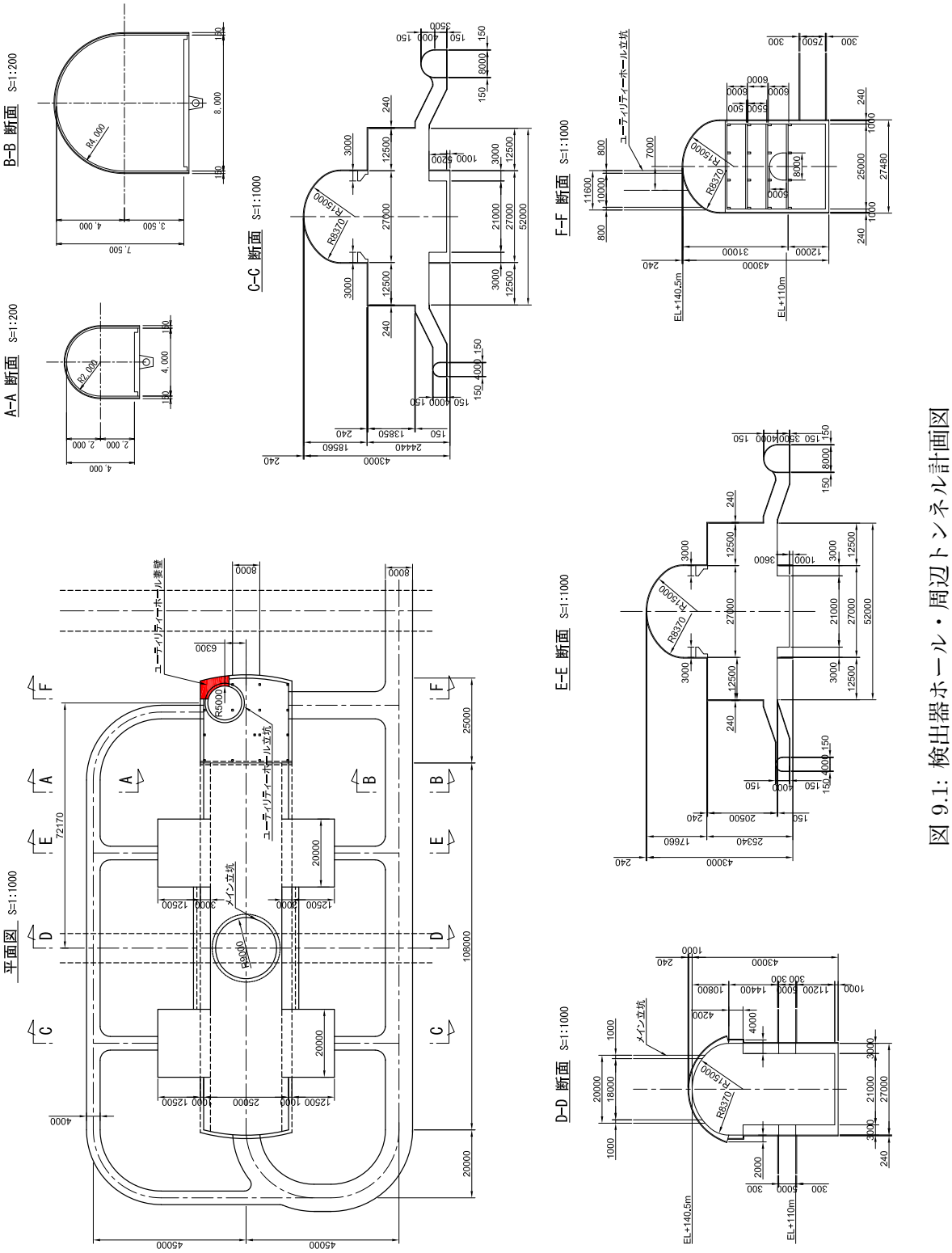


図 9.1: 検出器ホール・周辺トンネル計画図

9.1.3 支保設計

検出器ホール

検出器ホールの支保工については，形状が検出器ホールと同じ弾頭型であり，空洞寸法も似通っている大河内発電所（兵庫県神崎郡）の施工実績を参考にして，ロックボルト，PS アンカー，及び吹付けコンクリートを計画した。

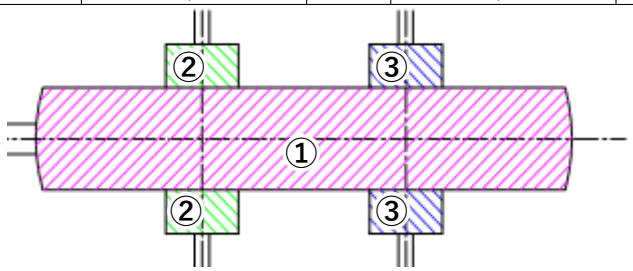
なお，検出器ホールに接続するメイン立坑とユーティリティ立坑の荷重は，各立坑周囲の地山と支保工とのせん断抵抗及び検出器ホールで支持することとした。立坑を支持するために，検出器ホールには以下のような構造を計画した。

- メイン立坑から検出器ホールに作用する荷重は，立坑と接続するアーチ部に打設する覆工コンクリート（天端部厚 1 m）及び検出器ホールの側壁（壁厚 3 m）で支持する。
- ユーティリティ立坑から検出器ホールに作用する荷重は，立坑と接続する妻壁で支持する。

表 9.1，及び図 9.2 – 9.4 に標準支保パターンを示す。

表 9.1: 検出器ホール・標準支保パターン一覧

部位	ロックボルト			PS アンカー		吹付コンクリート $\sigma_{ck} = 18$ N/mm^2
	長さ (m)	耐力 (kN)	周方向/延長方向 間隔 (m)	長さ (m)	周方向/延長方向 間隔 (m)	厚さ (cm)
①	5.0	120	2 / 2	15.0	4 / 4	24
①妻部	5.0	120	2 / 2	15.0	4 / 4	24
②	5.0	120	2 / 2	15.0	4 / 4	24
②妻部	5.0	120	2 / 2	15.0	4 / 4	24
③	5.0	120	2 / 2	15.0	4 / 4	24
③妻部	5.0	120	2 / 2	15.0	4 / 4	24



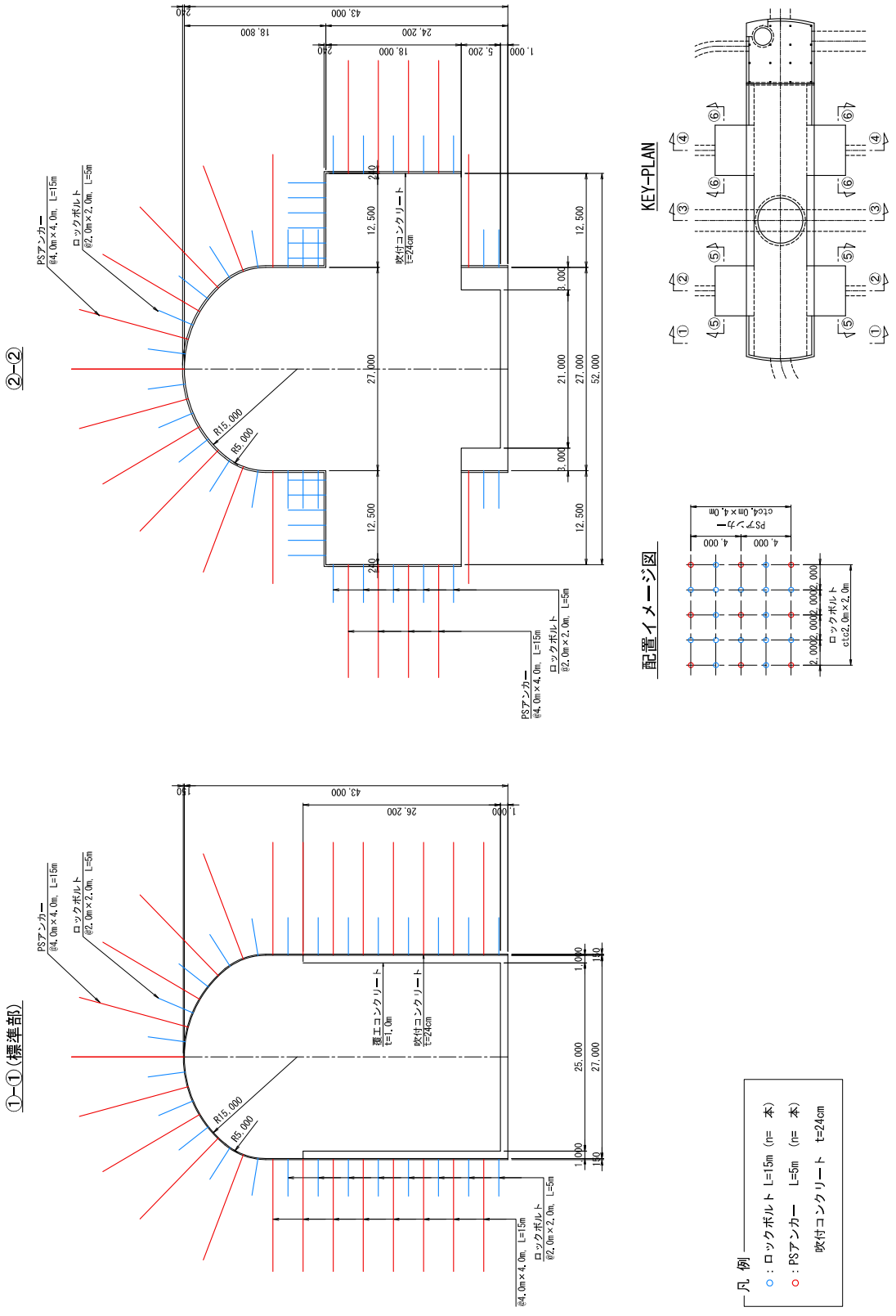


図 9.2: 検出器ホール標準支保パターン (1)

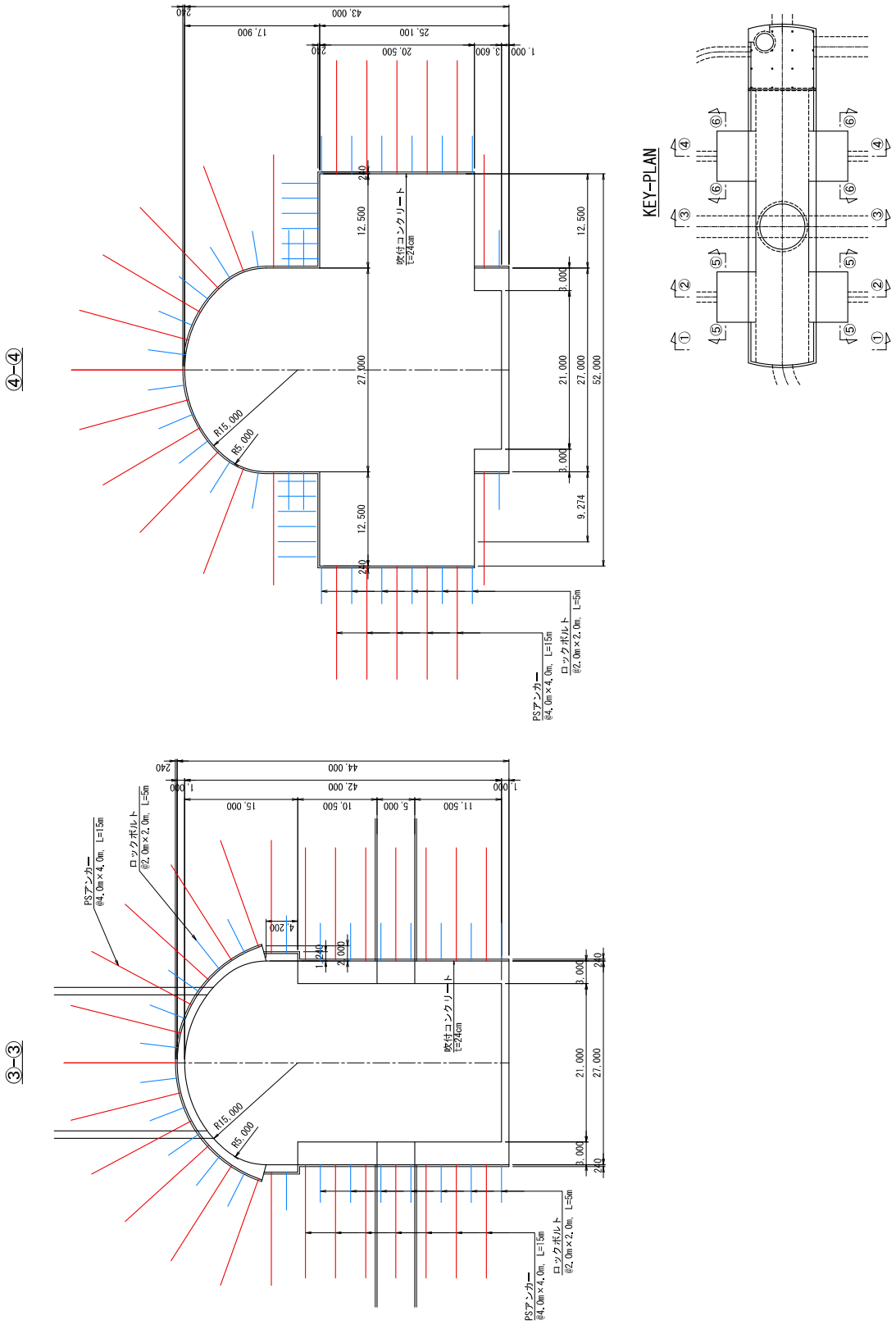


図 9.3: 検出器ホール標準支保パターン (2)

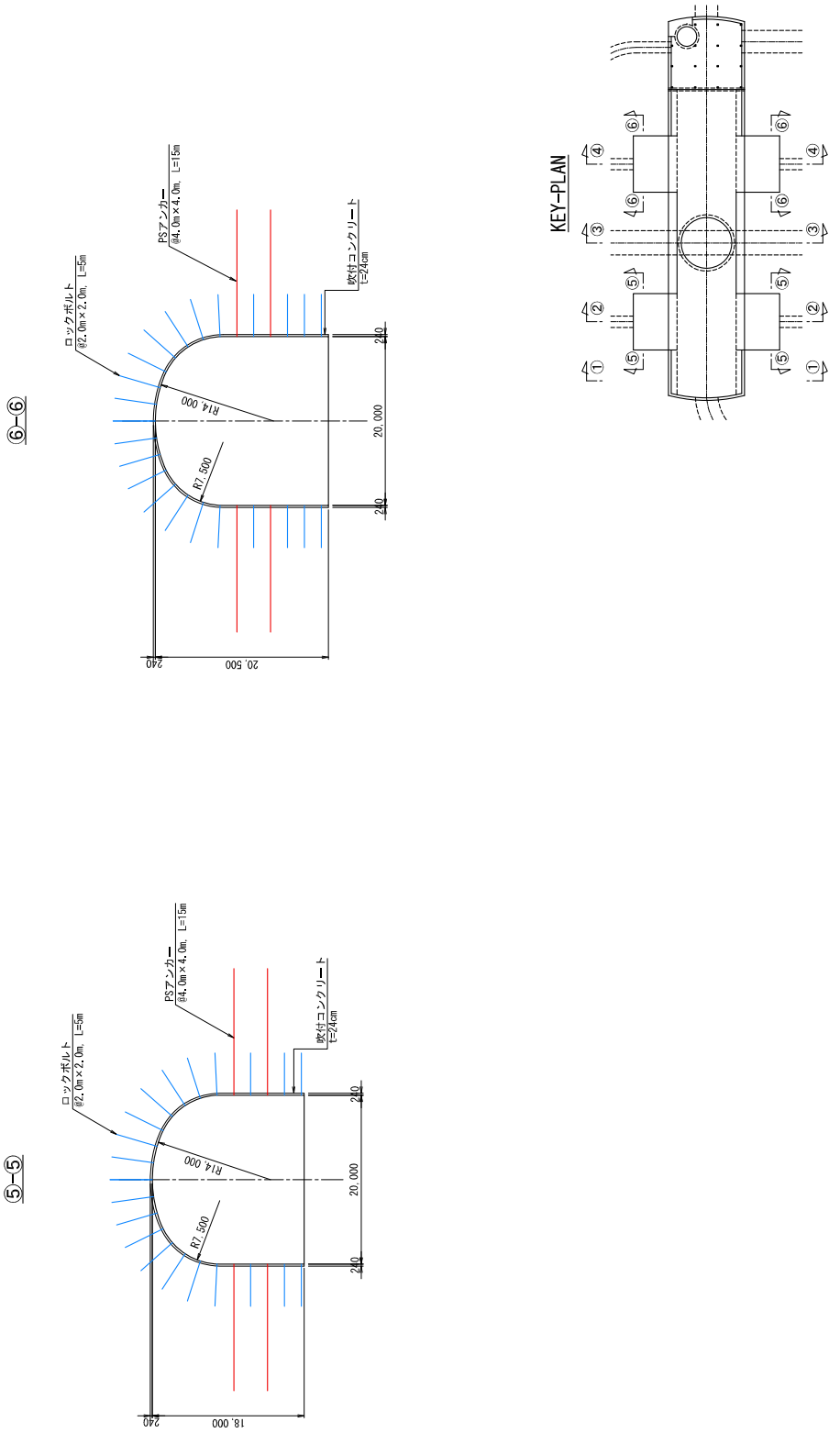


図 9.4: 検出器ホール標準支保パターン (3)

立坑

立坑については国土交通省土木工事積算基準の適応外となるため，同程度の断面寸法を有するトンネル技術基準を準用して支保構造を検討した。

- メイン立坑は直径 18 m の大断面であるため，その支保パターンは，東日本・中日本・西日本高速道路株式会社設計要領の大断面トンネルの標準支保パターンに準じて支保パターンを設定した。
- ユーティリティ立坑（直径 10m）の支保パターンは，日本道路協会道路トンネル技術基準の「道路トンネル（中断面）標準支保パターン」に準じて設定した。

図 9.5 に，メイン立坑及びユーティリティ立坑の支保パターンを示す。

なお，衝突実験空洞天端と立坑の交差部については，別途詳細な検討が必要であると考えている。

周辺トンネル

周辺トンネルの標準支保パターンは，日本道路協会道路トンネル技術基準に準じ，地山等級 CI として設定した。図 9.6 に，周辺トンネルの支保パターンを示す。

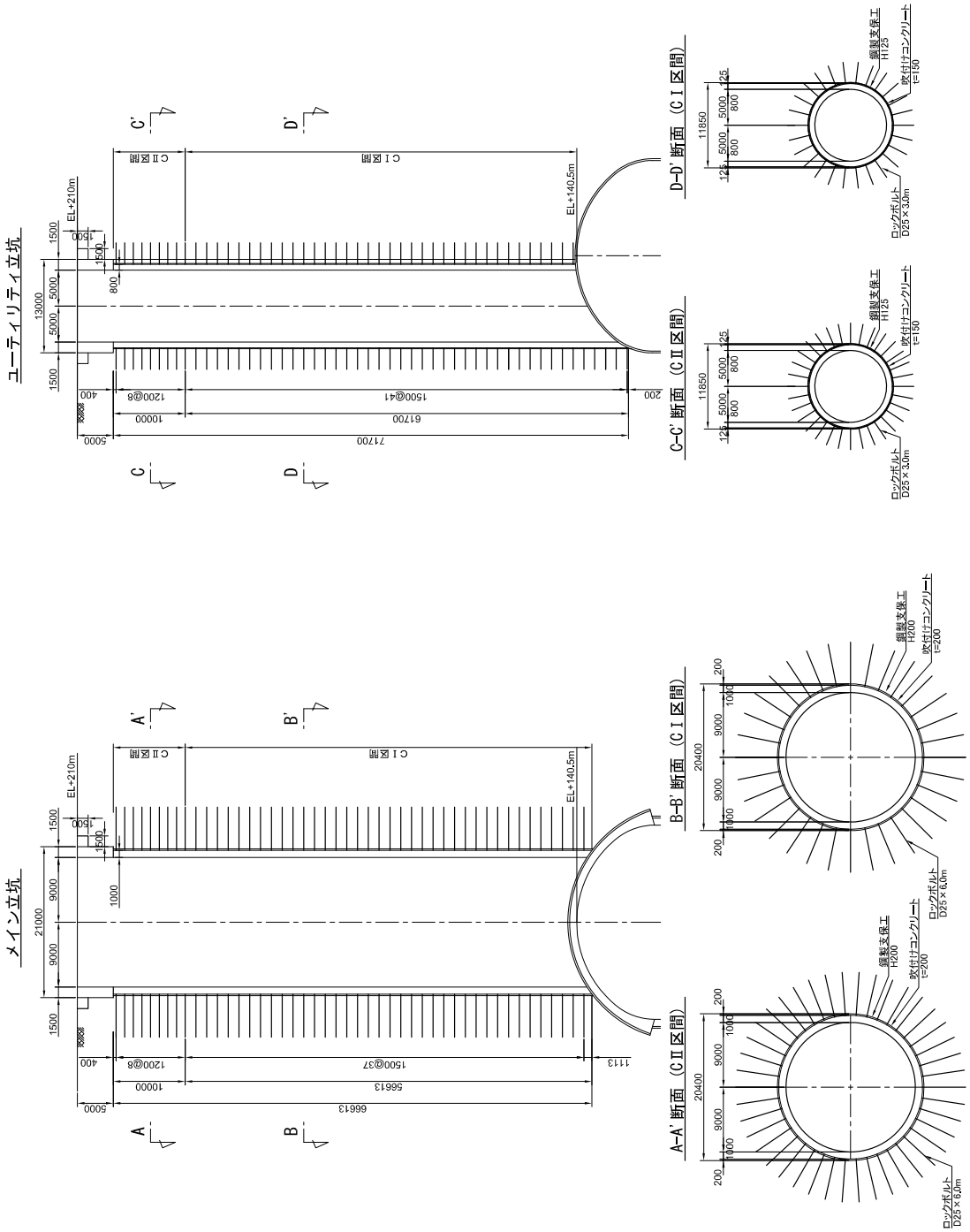


図 9.5: メイン立坑及びユーティリティ立坑の標準支保パターン

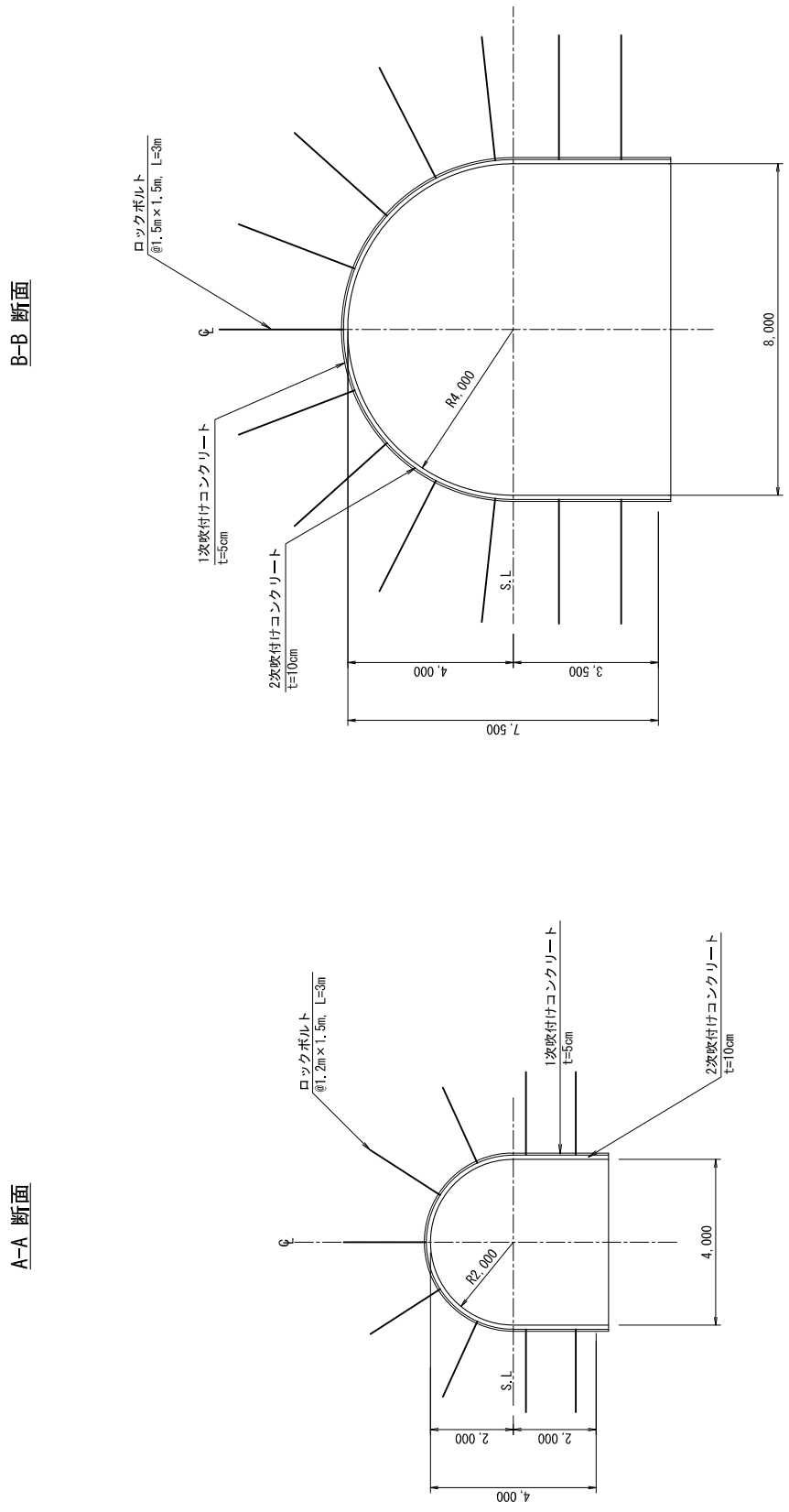


図 9.6: 周辺トンネルの標準支保パターン

9.2 施工計画

9.2.1 施工概要

施工方法については，以下の条件とした。

- 立坑の掘削時には下部に作業坑がないことから，立坑の掘削工法には全断面発破堀下り工法を採用する。
- 検出器ホールは，立坑掘削後に立坑下部にアーチ部掘削用基地を設け，中央導坑先進切り拡げ工法でアーチ部を施工する。本体部の施工時には下段にアクセストンネル・周辺トンネルが到達することから，ずり投入孔を設けベンチ掘削工法で施工する。
- アーチ部掘削ずりは立坑から，また，ベンチ掘削ずりは下部のアクセストンネルから搬出する。
- 掘削ずり処理については，坑口付近に一時仮置し，10 km 離れた場所への 10 t ダンプトラックによる二次運搬を想定する。なお，地質調査の結果から鉱化ずりが出現する可能性は低いものと想定し，鉱化ずり処理に係る費用・施設は考慮していない。施工時に鉱化ずりが見られた場合には，適切に処理する。

9.2.2 概略工事工程計画

立坑の掘削速度については，天ヶ瀬ダム（京都府宇治市）再開発トンネル放流設備ゲート室部他建設工事（深度 49.9 m，仕上り内径 24 m，掘削外径 26.4 m）を参考にし，月進を初期ライナー部 18.9 m，NATM 部 11.6 m と設定した。

図 9.7 に検出器ホール・立坑・周辺トンネルの工程表を示す。工期は 66 ヶ月と見積もられた。

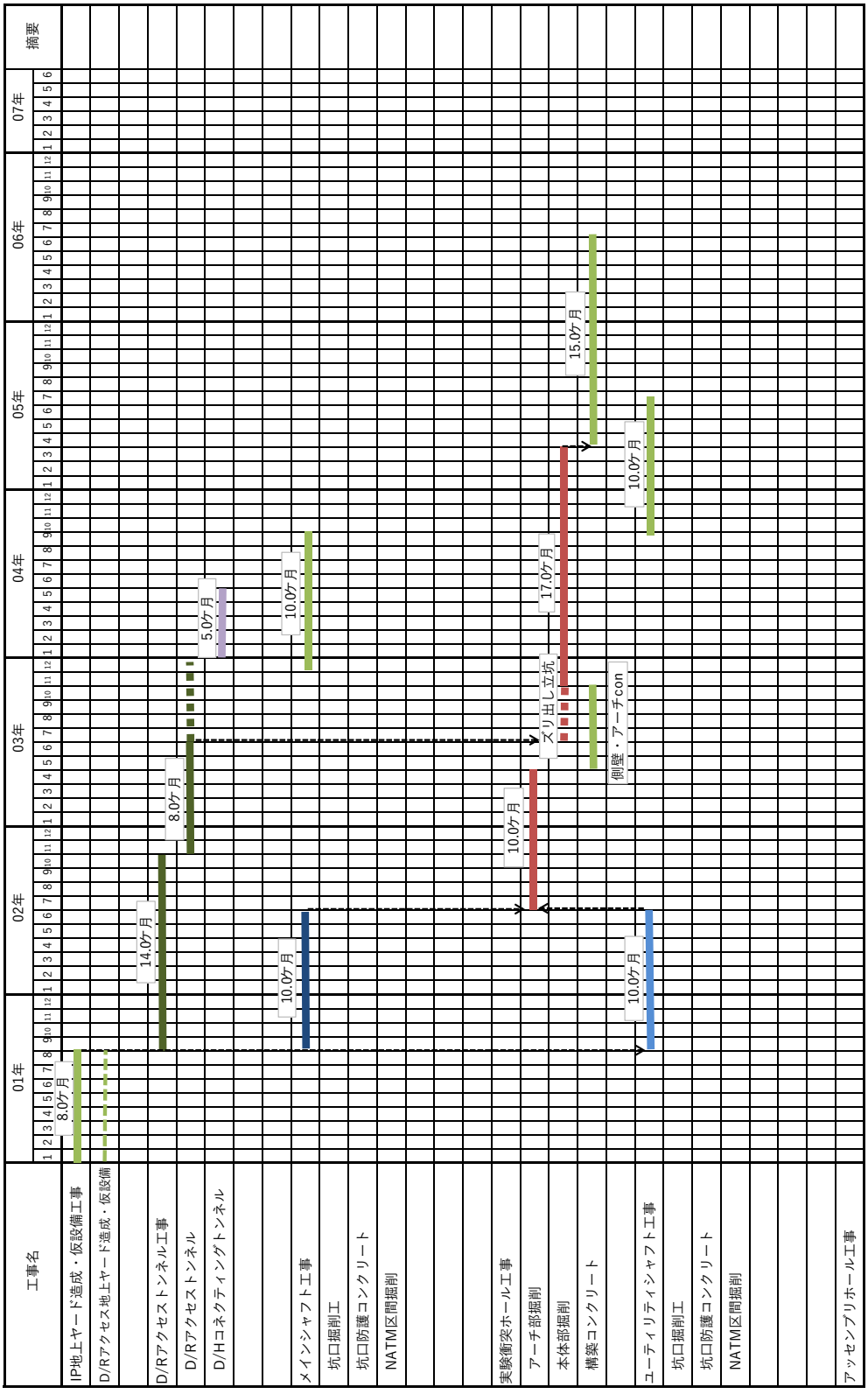


図 9.7: 検出器ホール・立坑・周辺トンネルの工程

10　排水設備

10.1　ILC 加速器が排水設備に求める要件

10.1.1　加速器トンネル

液体ヘリウムを用いる加速器本体（クライオモジュール）を収める主線形加速器トンネルは，ジオイド面に平行である。また，BDS トンネル（中央部付近の約 6 km）は “レーザー ストレート” とされており，中央部へ向けて 1/2,000 程度の下り勾配となる。したがって，施設供用開始後に，水平，もしくは勾配が非常に小さい加速器トンネルへの湧水を坑外へ確実に排水する方法が必要である。

10.1.2　排水トンネル

東北 ILC 施設計画では地下施設を標高 110 m 前後に建設予定であるため，排水トンネルを利用した自然流下による排水も計画可能である。長期にわたる停電等の非常時であっても，排水トンネル経由の自然排水により，機器の完全水没を回避可能である。

国際設計チームによる検討には排水トンネルが含まれていないが，長期にわたる停電等の非常時においても機器の完全水没を回避する目的で，東北 ILC 施設計画では排水トンネルを検討している。

10.1.3　排水系統

施設供用開始後の排水系統図を，図 10.1 に示す。

主線形加速器トンネルへの湧水は，最寄りのアクセスホールまで強制排水する。アクセスホールからは，アクセストンネルを経由してポンプにより地表まで強制排水する。

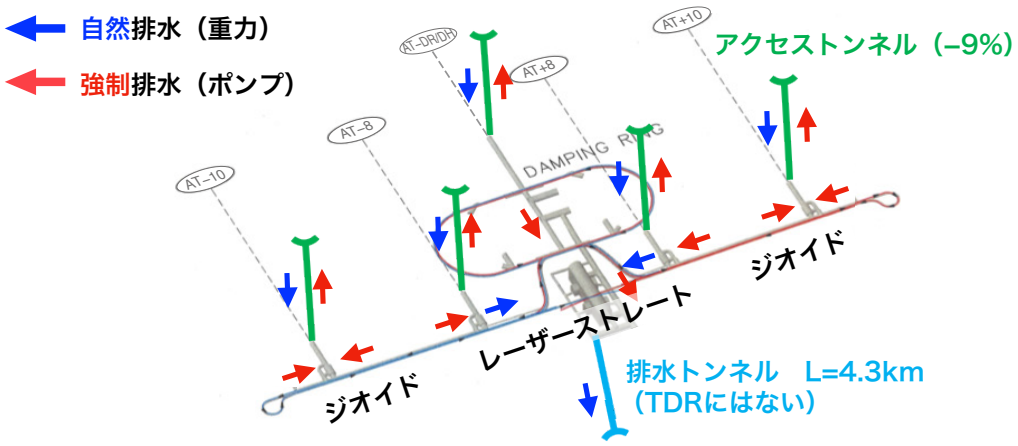


図 10.1: 施設供用開始後の地下施設排水系統図

BDS トンネルへの湧水は，検出器ホールまで自然流下，もしくは強制排水する。検出器ホールからは，アクセストンネルを経由してポンプにより地表まで強制排水，もしくは排水トンネルを経由して自然排水する。

10.2 設計諸元

10.2.1 湧水条件

施設供用開始後の恒常湧水量は，湧水比流量と湧水影響面積から予測した「0.8 m^3/min/km」(3 章）を仮定した。

10.2.2 加速器トンネル坑内区間排水方法

以下の検討では，自然流下による排水に必要な勾配を 0.1 %とする。これは，農業用暗渠管の敷設勾配基準値 1/100〜1/1,000[8] の下限値に相当する。

主線形加速器トンネル坑内の湧排水を最寄りのアクセスホールまで導水するためには，その区間長は約 2.5 km（隣り合うアクセスホール間距離の半分）となる。この最大区間全長分の湧水を自然流下させる場合，0.1 % の勾配を確保するために必要な高低差は 2.5 km×0.1 % = 2.5 m となり，加速器トンネル底盤下の中央排水管の直径 300 mm に対して過大である。

この最大区間長を 2.5 km から「250m」へ短縮すると，0.1 % の勾配に対応する高低差は 250 mm となり，現実的な施工も可能となる。そこで，中央排水管には 0.1 % の勾配を 250 m 毎に交互に持たせることとし，500 m 間隔で設置する排水ピットまで自然流下させる（図 10.2「A-A 断面」）。

加速器トンネル底盤には 0.1 % 勾配の縦断排水溝を設け，500 m 毎に排水タンクを設置する。排水ピットから排水タンクへ流入する湧水は，揚水ポンプによって排水タンク内でポンプアップし，順次導水しながら最寄りのアクセスホールへ向けて強制流下させる（図 10.2「B-B 断面」）。

図 10.2 に，加速器トンネル坑内区間排水系統の概念図を示す。なお，500 m 区間長の湧水量は，農業用排水トンネルの割増率 130 % [9] を考慮して，0.8 m^3/min/km × 0.5 km × 130 % = 0.52 m^3/min と想定される。

10.2.3 排水トンネルの寸法諸元と構造

排水トンネルについては，以下のような条件のもとで設計した。

- 地下施設中央に 1 本のみ設置する。
- 全電源が長期間シャットダウンした場合にも全坑内湧水を自然流下できるよう，排水能力（勾配と断面積）を確保する。
- 内空断面は，排水トンネルの工期を考慮し「掘削と覆工の同時並行作業方式」を採用することから，「仕上り半径 $r = 2.7$ m の標準馬蹄形断面 $2r$ 型」とする。
- 水没リスクについては「停電時に加速器トンネル内でビーム高さ（底版上 1.1 m）まで浸水しなければよい」とする。

排水トンネルの延長は 4,027 m となった。排水トンネル坑口のヤードに (L)50 m × (W)10 m × (H)2 m = 1,000 m^3 の貯留槽を設置し，放流河川までは 258 m の暗渠を設置することとした。総延長は 4,335 m である。

図 10.3 に，排水トンネル全体構造図を示す。

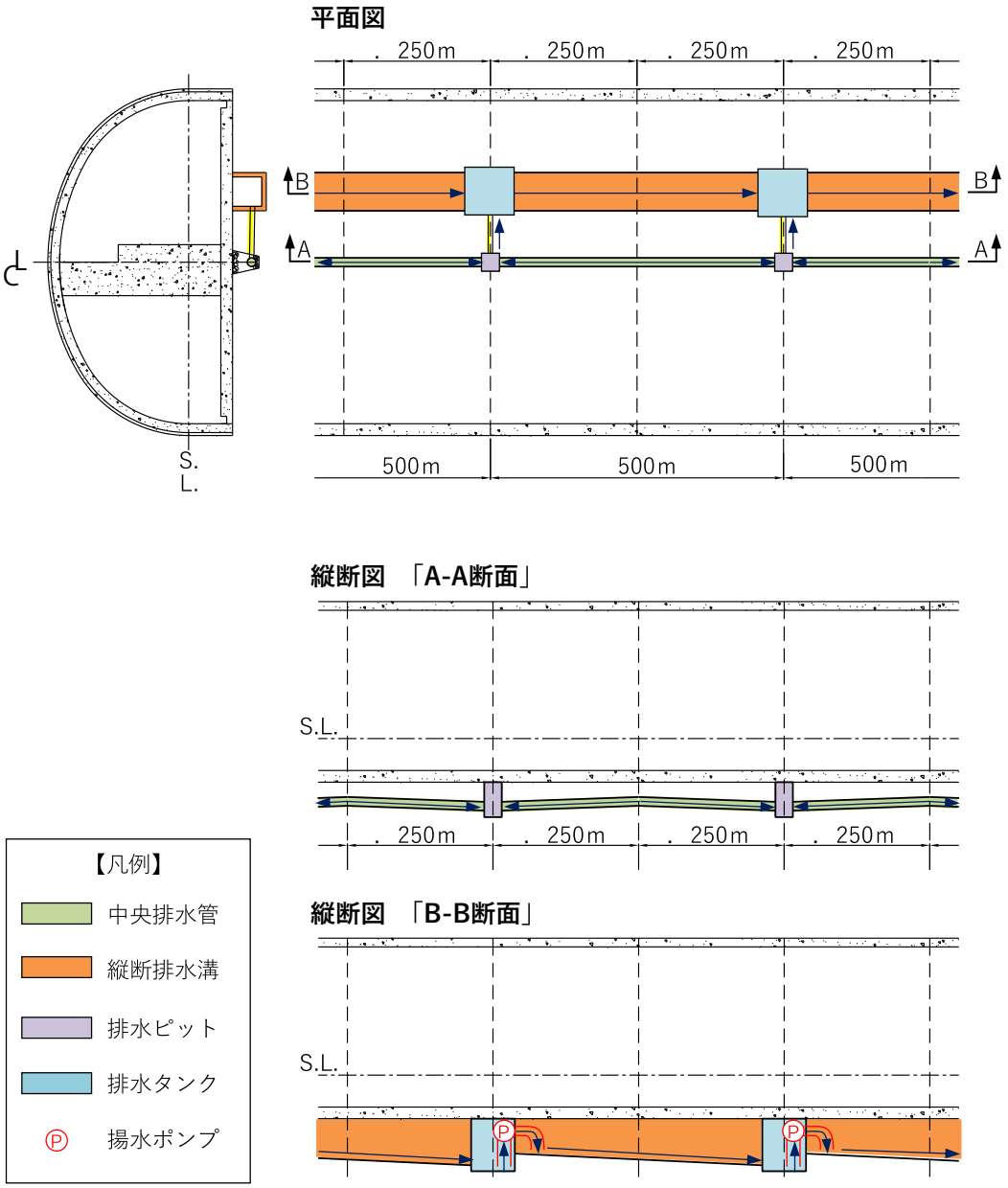


図 10.2: 加速器トンネル坑内区間排水系統の概念図

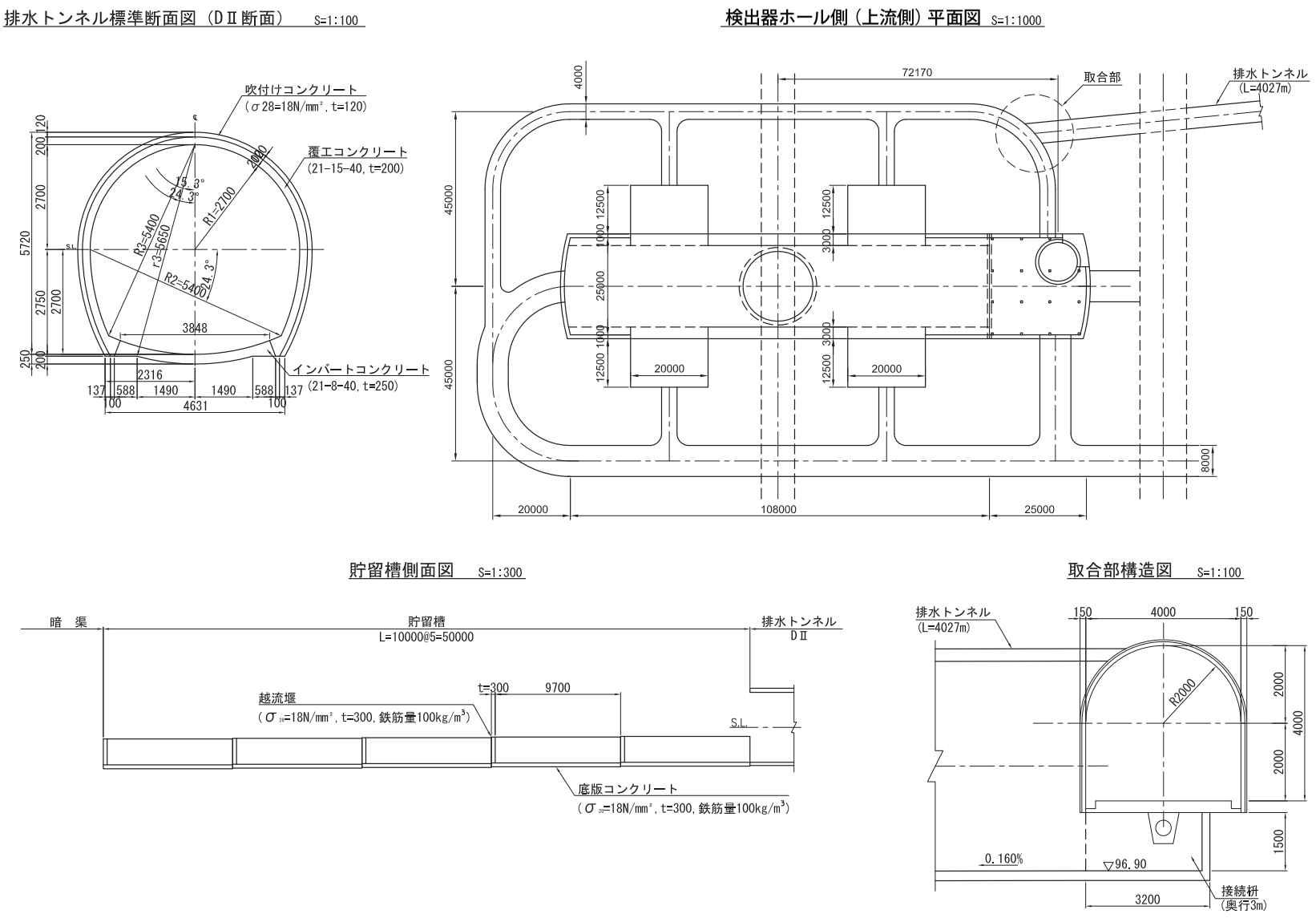


図 10.3: 排水トンネル全体構成図

排水トンネルの支保パターンについては，土被り 2D（12.08 m）以下の区間を坑口 DⅡ パターン，土被り 2D ～ 30 m 区間を DI パターン，加速器トンネル周辺の 147 m 区間は CI パターン，これら以外を CⅡ パターンと設定した。

支保・覆工構造については，農業用排水トンネルの標準支保パターンに準拠し，表 10.1 のように設定した。地山等級ごとの標準断面図と支保パターンを図 10.4 – 10.7 に示す。

表 10.1: 排水トンネルの支保・覆工構造

地山等級	一掘進長	吹付けコンクリート	ロックボルト	鋼製支保工	覆工	インバート工
CI	1.5 m	厚さ 5 cm (18 N/mm^2)	長さ 2 m 周方向@1.2 m 延長方向@1.5 m 耐力 117.7 kN	–	厚さ 20 cm (18 N/mm^2)	厚さ 20 cm (18 N/mm^2)
CⅡ	1.2 m	厚さ 5 cm (18 N/mm^2)	長さ 2 m 周方向@1.2 m 延長方向@1.2 m 耐力 117.7 kN	–	厚さ 20 cm (18 N/mm^2)	厚さ 25 cm (18 N/mm^2)
DI	1.0 m	厚さ 10 cm (18 N/mm^2) 金網全周	長さ 2 m 周方向@1.0 m 延長方向@1.0 m 耐力 117.7 kN	H-100×100 ×6×8 @1.0m	厚さ 20 cm (18 N/mm^2)	厚さ 25 cm (18 N/mm^2)
DⅡ	1.0 m	厚さ 12 cm (18 N/mm^2) 金網全周	(天端部 120° 除く) 長さ 3 m 周方向@1.0 m 延長方向@1.0 m 耐力 117.7 kN (天端部 120°) 「充填式 FP」 長さ 2 m 周方向@0.5 m 延長方向@1.0 m 耐力 117.7 kN	H-100×100 ×6×8 @1.0m	厚さ 20 cm (21 N/mm^2)	厚さ 25 cm (21 N/mm^2)

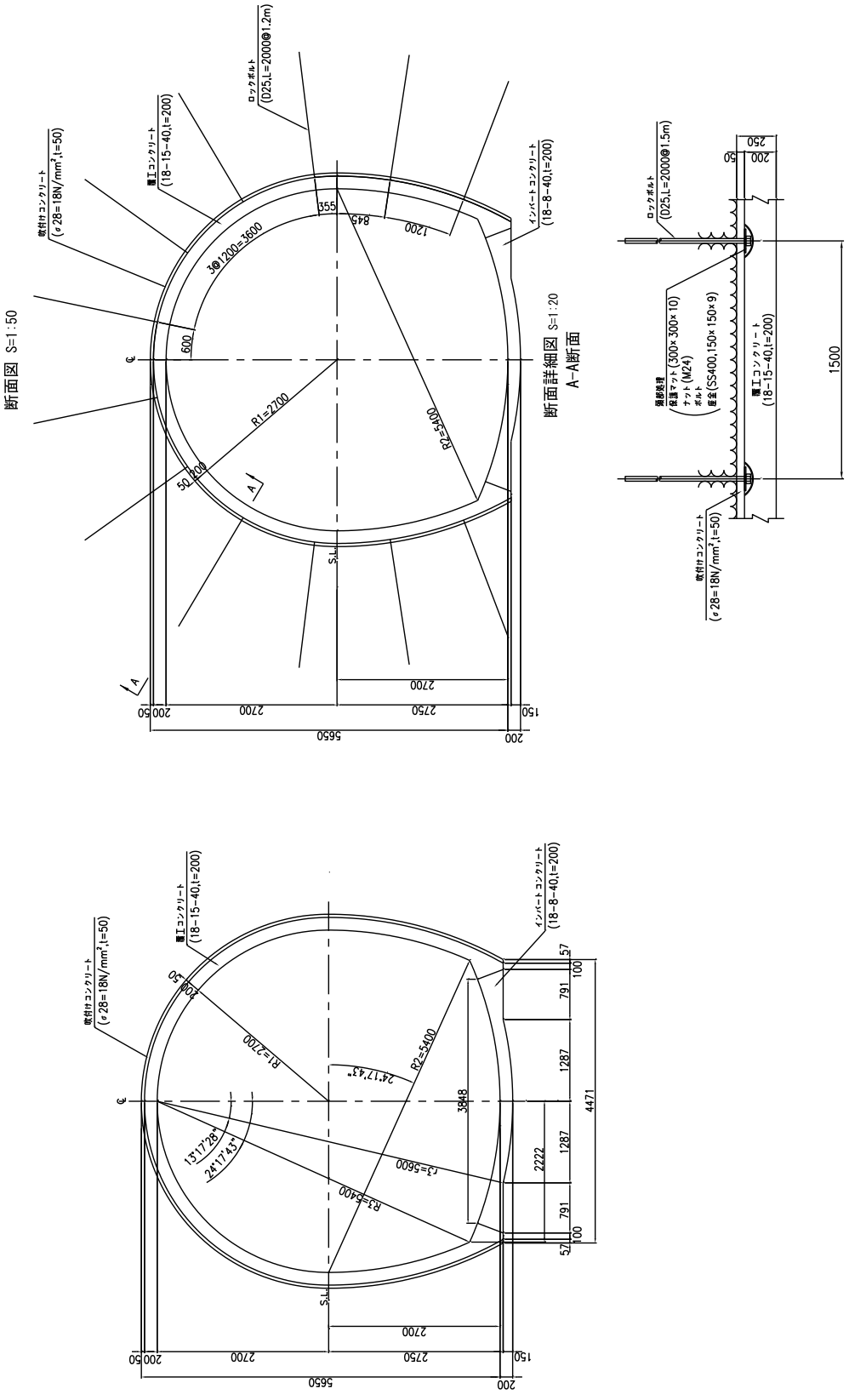


図 10.4: CI 等級の標準断面図（左図）と支保パターン（右図）

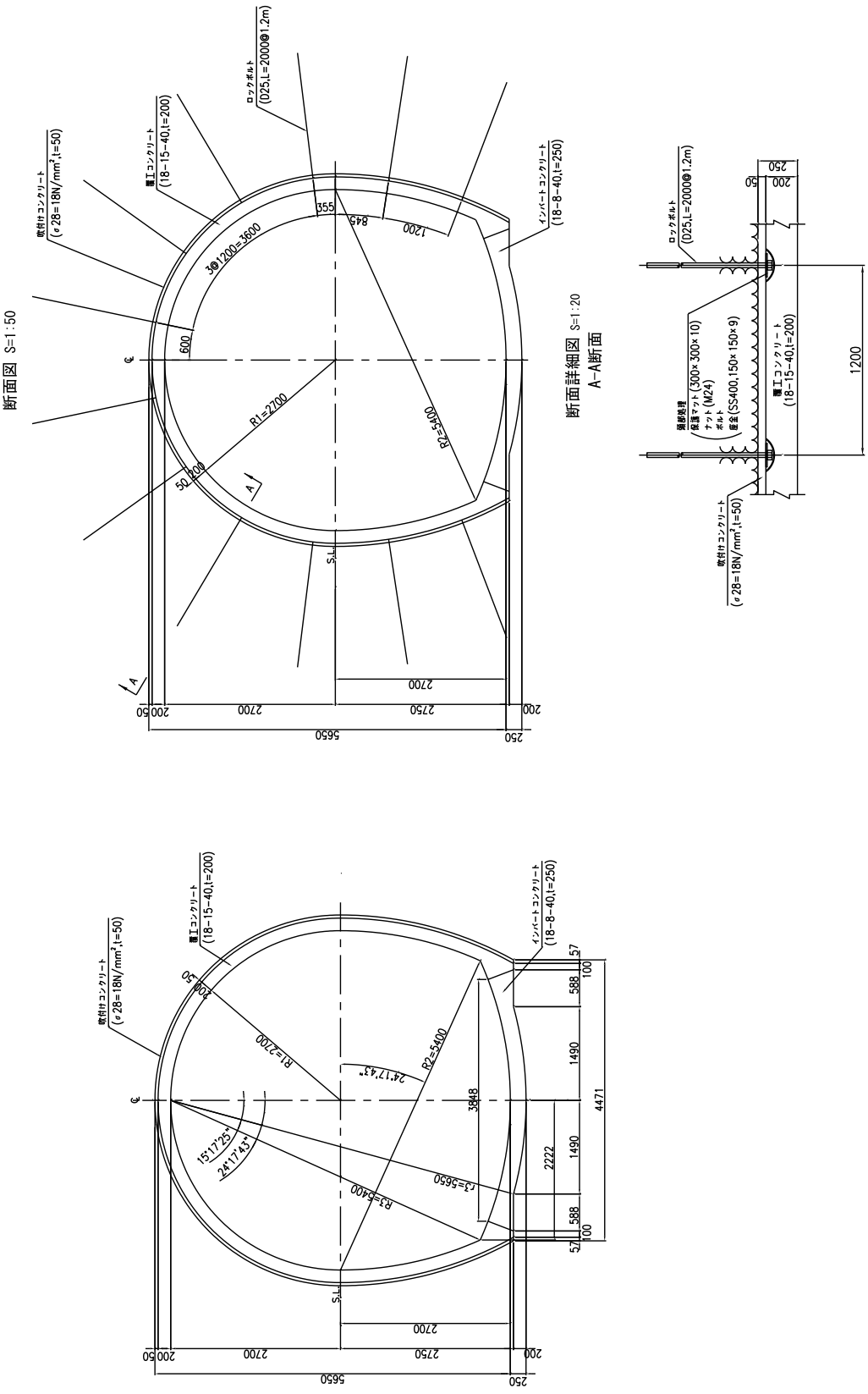


図 10.5: CII 等級の標準断面図（左図）と支保パターン（右図）

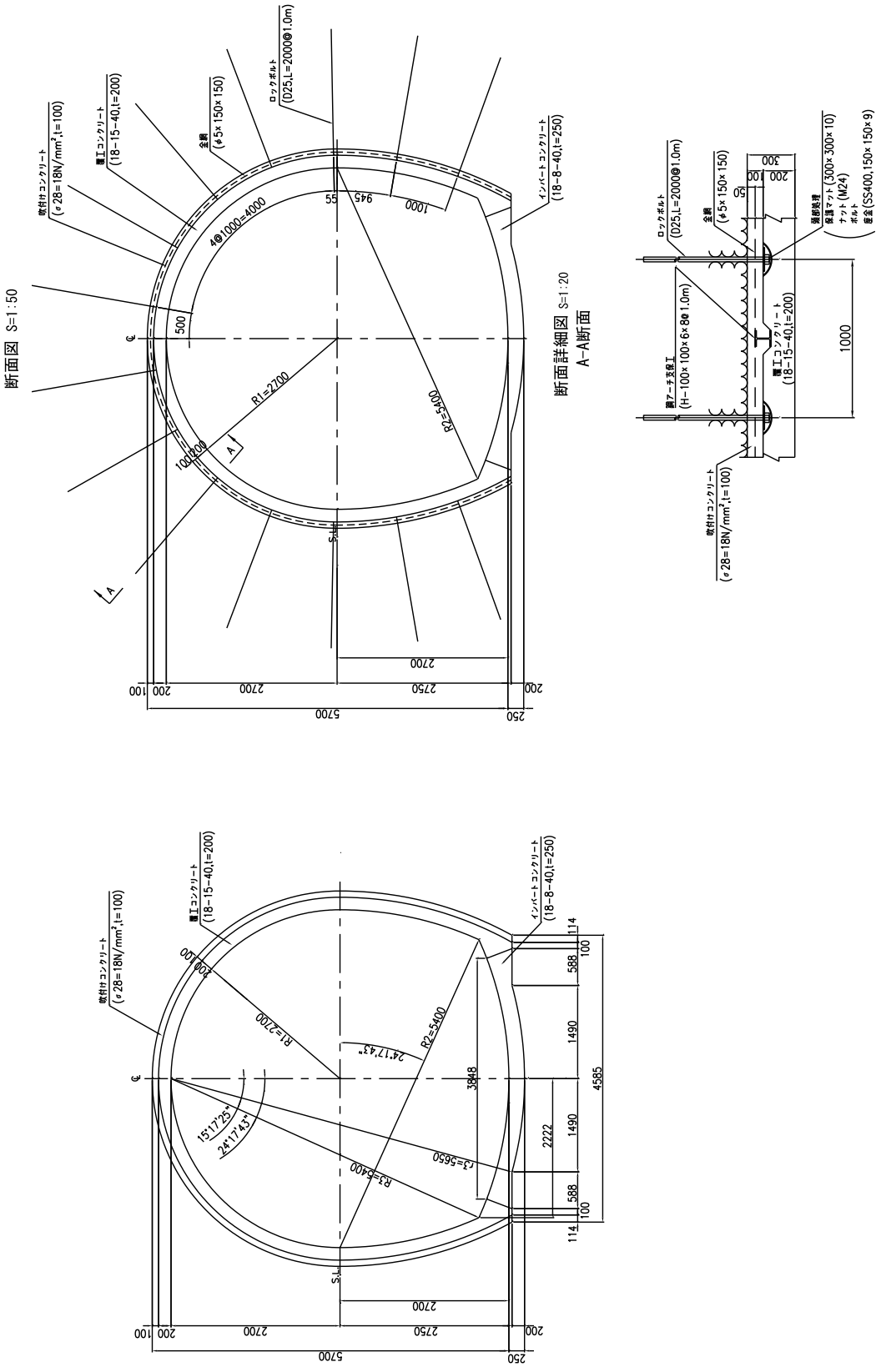


図 10.6: DI 等級の標準断面図（左図）と支保パターン（右図）

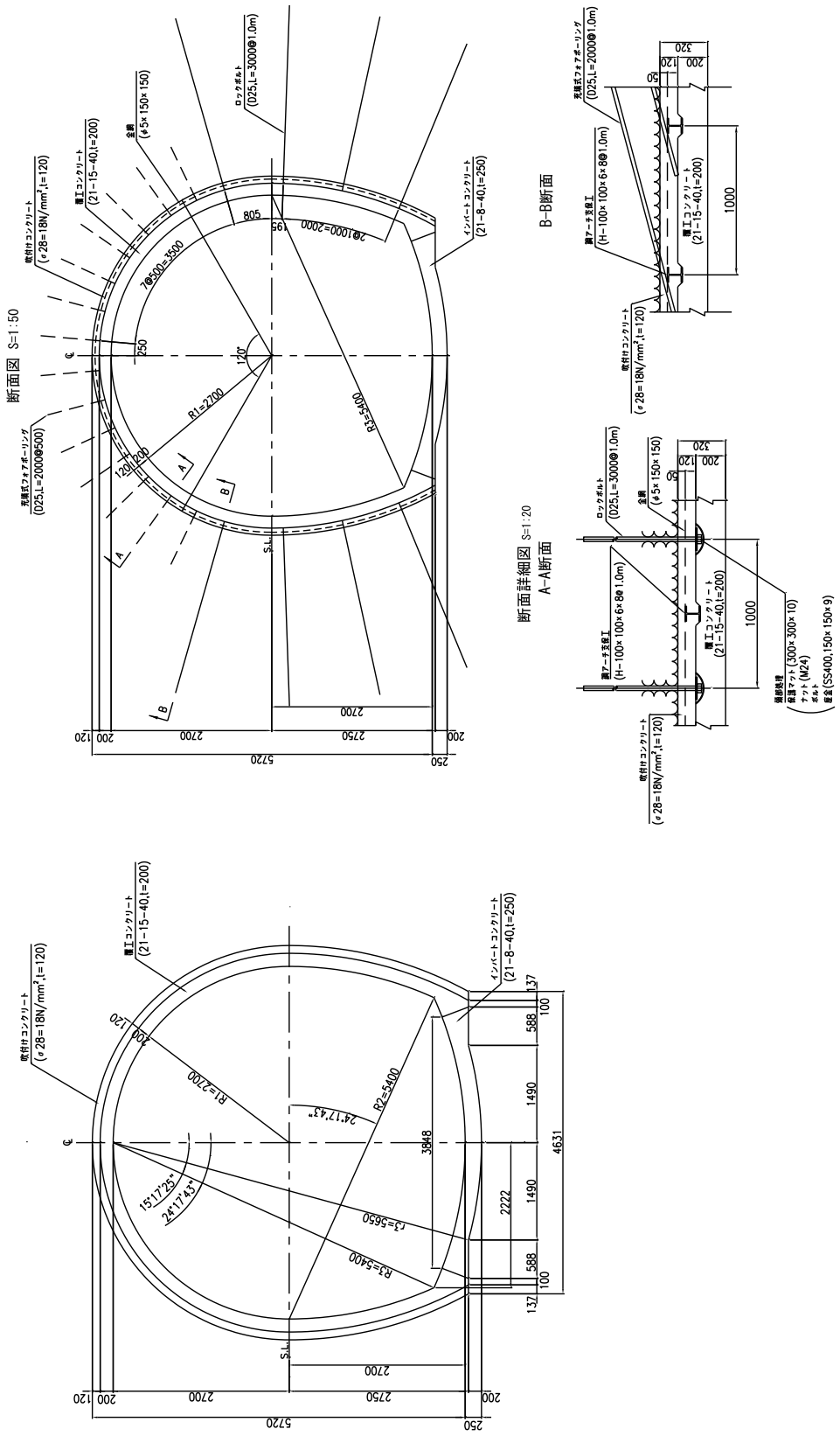


図 10.7: DII 等級の標準断面図（左図）と支保パターン（右図）

10.3 施工計画

10.3.1 施工概要

施工方法については，以下の条件とした。

- 全断面工法の発破掘削方式とする。
- 支払い線（余掘り，余吹き，余巻き）の考え方は積算基準に準拠する。
- 掘削機械（ドリルジャンボ，ずり積機，ずり鋼車，吹付機，アジテータカー，バッテリ機関車等）の規格は積算基準に準拠する。
- ずり搬出方式は，排水トンネルの設計掘削断面積が 20–35 m^2 と小さいので，レール方式（複線）とする。
- 掘削ずり処理については，坑口付近に一時仮置し，10 km 離れた場所への 10 t ダンプトラックによる二次運搬を想定する。なお，地質調査の結果から鉱化ずりが出現する可能性は低いものと想定し，鉱化ずり処理に係る費用・施設は考慮していない。施工時に鉱化ずりが見られた場合には，適切に処理する。
- 坑内，及び坑口ヤード仮設備の種類と規格は積算基準に準拠するが，1,000 m 超過延長分は延長に応じて適切に計上する。

10.3.2 概略工事工程計画

図 10.8 に排水トンネルの全体工程を示す。工期は 88.5 ヶ月となった。

なお，一般道から坑口ヤードまでの工事用道路の新設，既存道路の拡幅や補強，橋梁の改築や新設は，必要に応じて別途工事で事前施工されていると仮定し，今回の工事工程計画には含めていない。同様に，坑口ヤード，工事用道路，残土処理場などの用地取得にかかる期間は，今回の工事工程計画には含めていない。

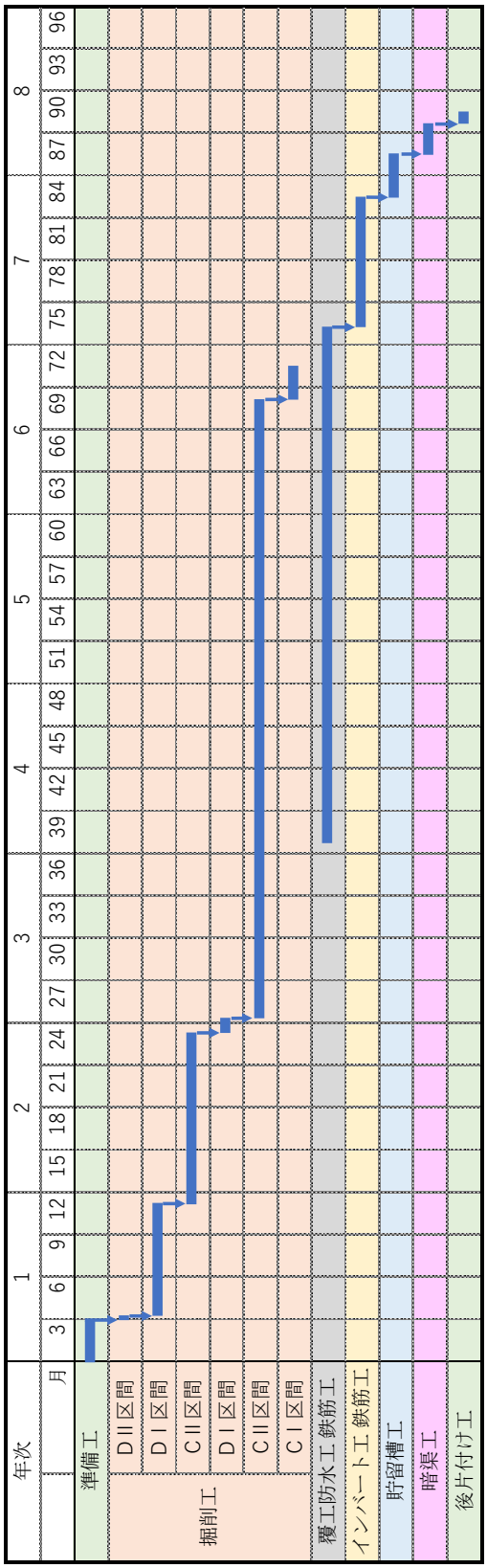


図 10.8: 排水トンネルの工程

11　概略施工計画

概略の全体工程表を図 11.1 に示す。工期は，90.8 ヶ月となった。

工期を決めているのは，AS−10 を起点として端部のループへ向けて掘削する区間である。この区間は，アクセストンネル AT−10 の延長が最長であるために，主線形加速器トンネルへの着工が最も遅くなる。また，端部にアクセストンネルがないために，アクセスホール AH−10 からループへ至る区間は片押しによる掘削となり，工期短縮の手段が限られている。

排水トンネルは延長が 4.3 km と長く，工期も長くなるが，施設の供用開始前には完工する。

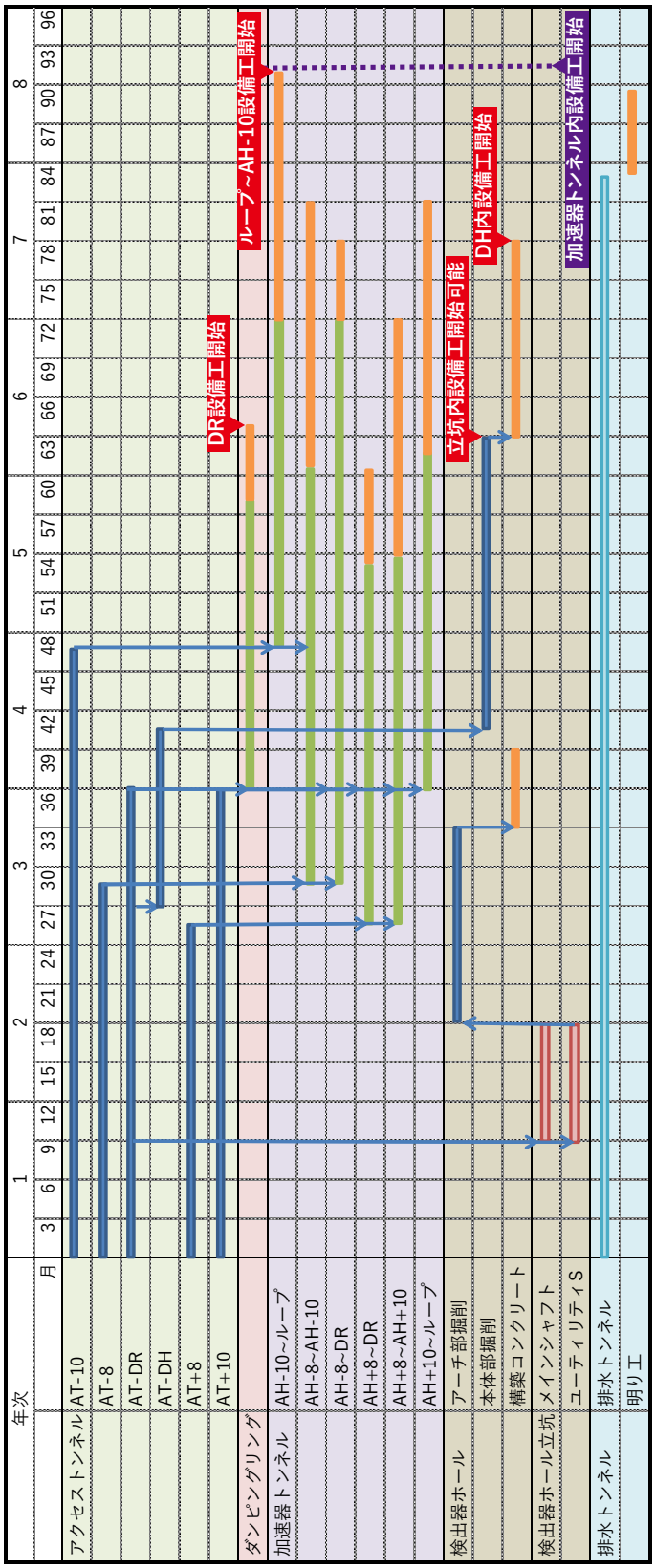


図 11.1: 概略全体工程表

12 概算工事費

概算工事費を表 12.1 に示す。ここに示す工事費は，東北 ILC 準備室が北上サイト固有の条件（地形・地質 等）を考慮して策定した施設計画について，平成 26 年度版国土交通省土木工事積算基準に準拠した施工計画を立案し，平成 26 年度に公表された機械損料，材料単価，及び労務単価に基づいて積算したものである。

平成 26 年度以降，施工計画に大きな変更は不要と考えられるが，単価については年度毎に変動があることから，積算結果も変動が見込まれる。

表 12.1: 概算工事費（単位:億円）

部位	全長 20.5km	
	諸元	工事価格
アクセス トンネル	AT:5 本，延長 5,662m AH:5 か所，248,354m^3 AS ヤード造成:18,193m^2×5 ヶ所	247
加速器 トンネル	かまぼこ型，延長 20.5km 隔壁:現地製作，延長 15.3km DR，端部ループ，BDS(ビーム・サービス)，他	644
測定器 ホール	大空洞，立坑，周辺トンネル AT-DH/AT-DR 坑口共用 ヤード造成:78,500m^2	134
排水設備	トンネル，貯留槽，暗渠，総延長 4,335m 坑内横断排水，坑外設備	73 30
合計		1,127

13　今後の課題

陽電子源周辺，ビームダンプ，検出器ホール周辺等については，国際設計チームにおいて詳細な検討が進められている。今後，検討の進捗に合わせて調整を続けていくことになる。

詳細設計に向けて，別途詳細な地質調査と設計検討が必要であると考えている主な箇所として，

- 河川横断部
- 坑口部
- 衝突実験空洞天端と立坑の交差部

がある。

地質調査の結果は，河川横断部は他に比べると地質条件が悪いことを示している。その範囲が限定的であることから，これまでは詳細な検討は行っていない。土被りが薄く，直上に河川がある箇所における施工方法については，詳細な検討が必要である。また，河川に与える影響についても更なる検討が必要である。

地表となる坑口部の地質条件は概して悪く，また坑口毎に条件が異なると予想できる。坑口部については，実施設計までに詳細な地質調査が必要である。

検出器ホールと立坑については，良好な岩盤条件のため，各々の安定性に問題はないと考えている。一方，立坑と空洞天端（屋根部）の交差部の強度や安定性については，別途詳細な検討が必要であると考えている。

参考文献

[1] C. Adolphsen et al., ILC Collaboration, “The International Linear Collider Technical Design Report - Volume 3.II: Accelerator Baseline Design”, arXiv:1306.6328 [physics.acc-ph].

[2] L. Evans and S. Michizono, Linear Collider Collaboration, “The International Linear Collider Machine Staging Report”, arXiv:1711.00568 [physics.acc-ph].

[3] 地理院地図（国土地理院）に加筆。

[4] 20 万分の 1 日本シームレス地質図（産業技術総合研究所地質調査総合センター）に加筆。

[5] 高橋彦治, “トンネル湧水に関する応用地質学的考察”, 鉄道技術研究報告, No.279，103, 1962.

[6] 大島洋志, 西森紳一, “トンネル工事を対象とした水文調査法の研究”，鉄道技術研究報告, No.1108, 1, 1979.

[7] 文村賢一, 下茂道人, “GIS を用いたトンネル湧水渇水予測システムの開発”, トンネル工学研究発表会論文・報告集, 13, 327, 2003.

[8] (社) 畑地農業振興会，『暗渠排水の設計と施工』，pp.62，(1982.3)

[9] 農林水産省構造改善局，『土地改良事業計画設計基準設計「水路トンネル」基準書・技術書』，平成 8 年 10 月

第 IV 部

補遺

A　施設配置計画別案

北上サイトは比較的なだらかな地形が広がっており，複数の施設配置計画案を容易に作ることができる。施設配置を変更した場合であっても地下施設については差異が殆ど生じないが，地形条件に左右されるアクセストンネルの延長が変化する。ここでは，検出器ホールの位置が異なる他の 2 案について，アクセストンネルの延長を表 A.1 にまとめた。検出器ホール位置は，A 案が本書で詳しく述べたものである。B 案は，検出器ホールを西へ 180 m ほど移動したものである。C 案は 6 章で紹介した検出器ホールを興田川よりも北側に設定する施設配置案である。3 つの案を比較すると，アクセストンネルの延長合計の変化は 20% 程に収まっている。

それぞれの配置案が異なる特徴を有する。ILC 加速器施設の詳細が最終決定した後に，アクセストンネルの延長合計を含む様々な側面から検討が可能である。

表 A.1: アクセストンネル延長一覧

進入拠点 (坑口)	検出器ホール位置		
	A 案	B 案	C 案
AS−10	1,707 m	1,503 m	1,990 m
AS− 8	817 m	691 m	1,560 m
AS−DH	747 m	693 m	1,075 m
AS−DR	817 m	763 m	560 m
AS+ 8	427 m	283 m	935 m
AS+10	1,147 m	943 m	715 m
延長合計	5,662 m	4,876 m	6,835 m

B　主ビームダンプ空洞の検討状況（参考）

主ビームダンプを収める空洞について，検討が進んでいる。次頁以降に検討図面を示す。

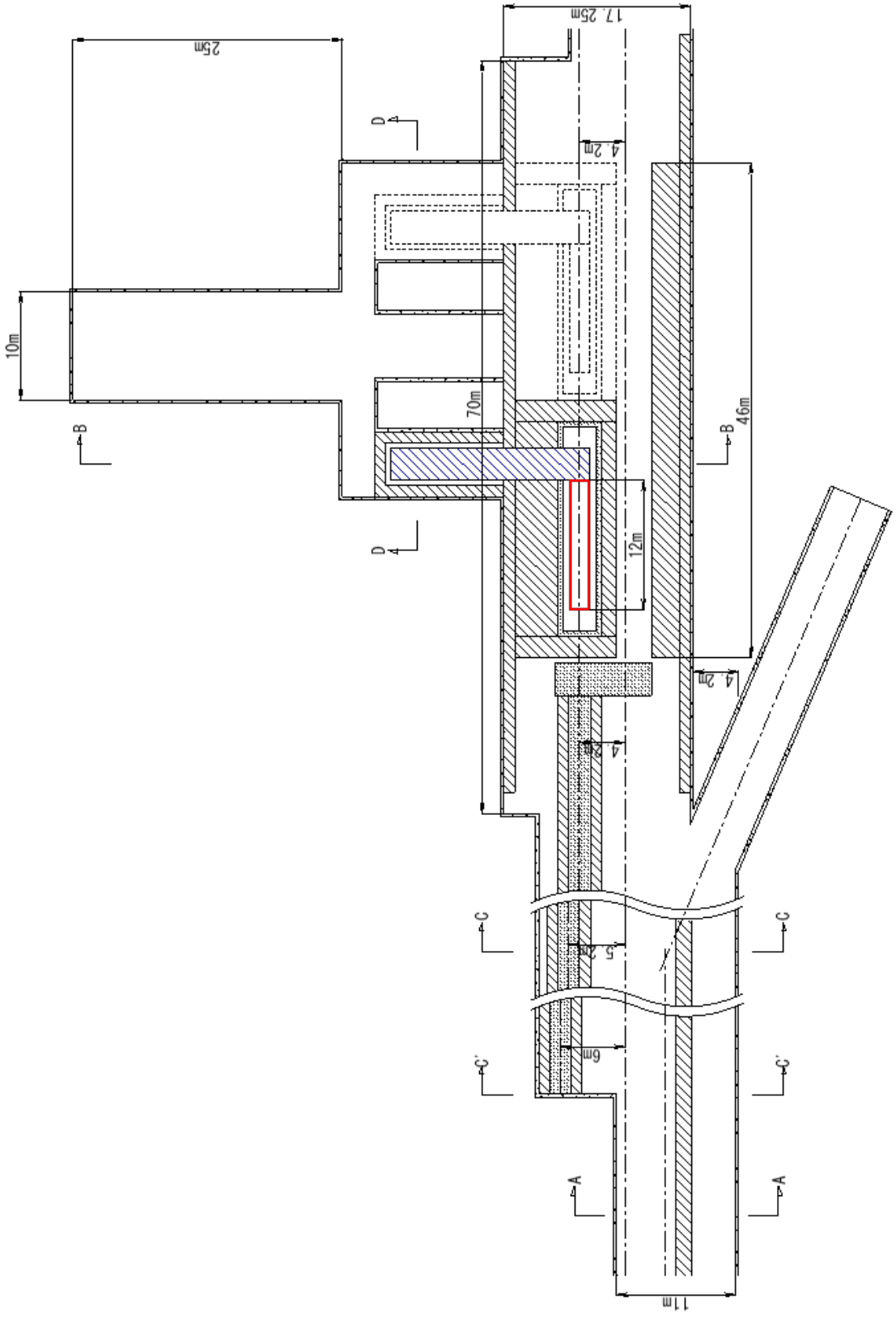


図 B.1: 主ビームダンプ空洞 周辺平面図

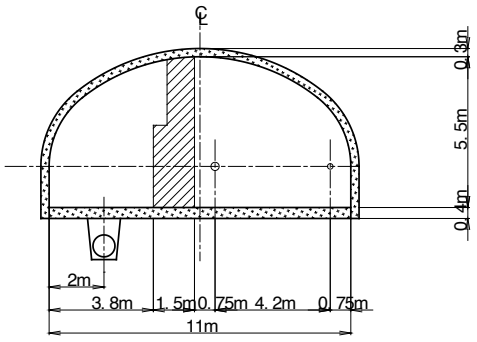


図 B.2: 主ビームダンプ空洞 A-A 断面

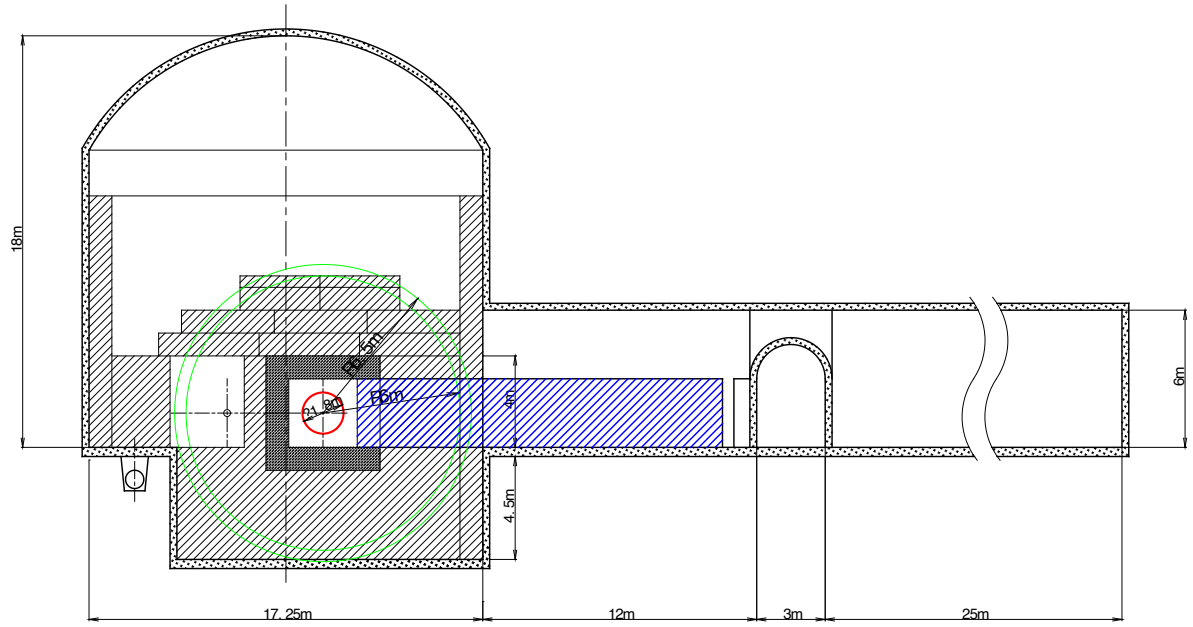


図 B.3: 主ビームダンプ空洞 B-B 断面

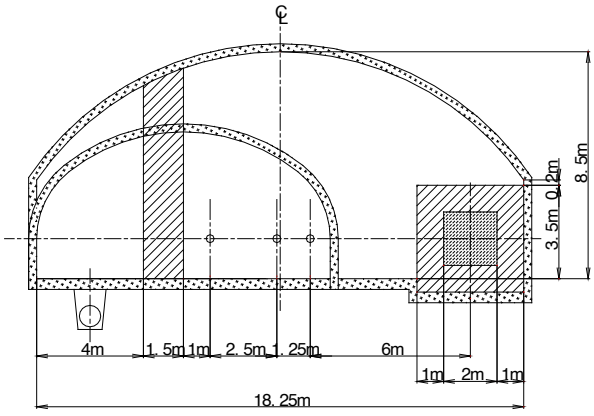


図 B.4: 主ビームダンプ空洞 C-C 断面

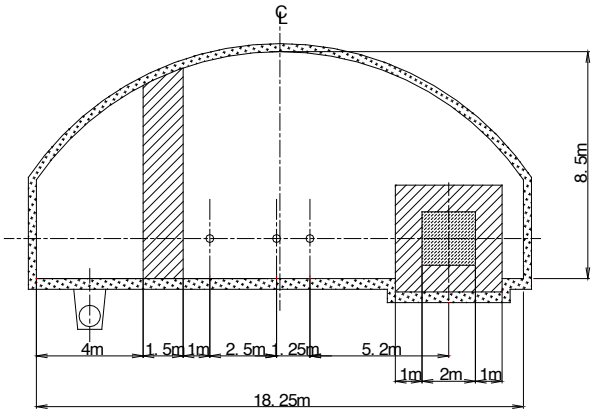


図 B.5: 主ビームダンプ空洞 C′-C′ 断面

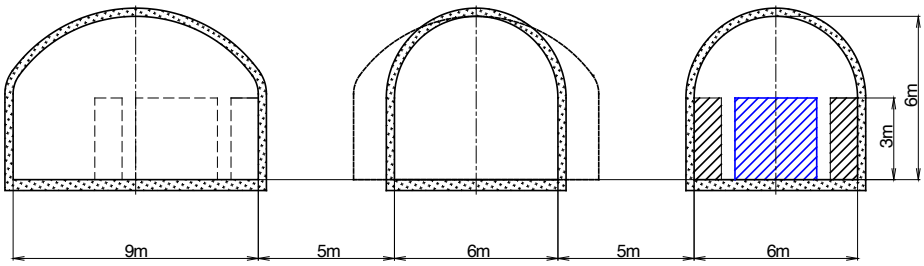
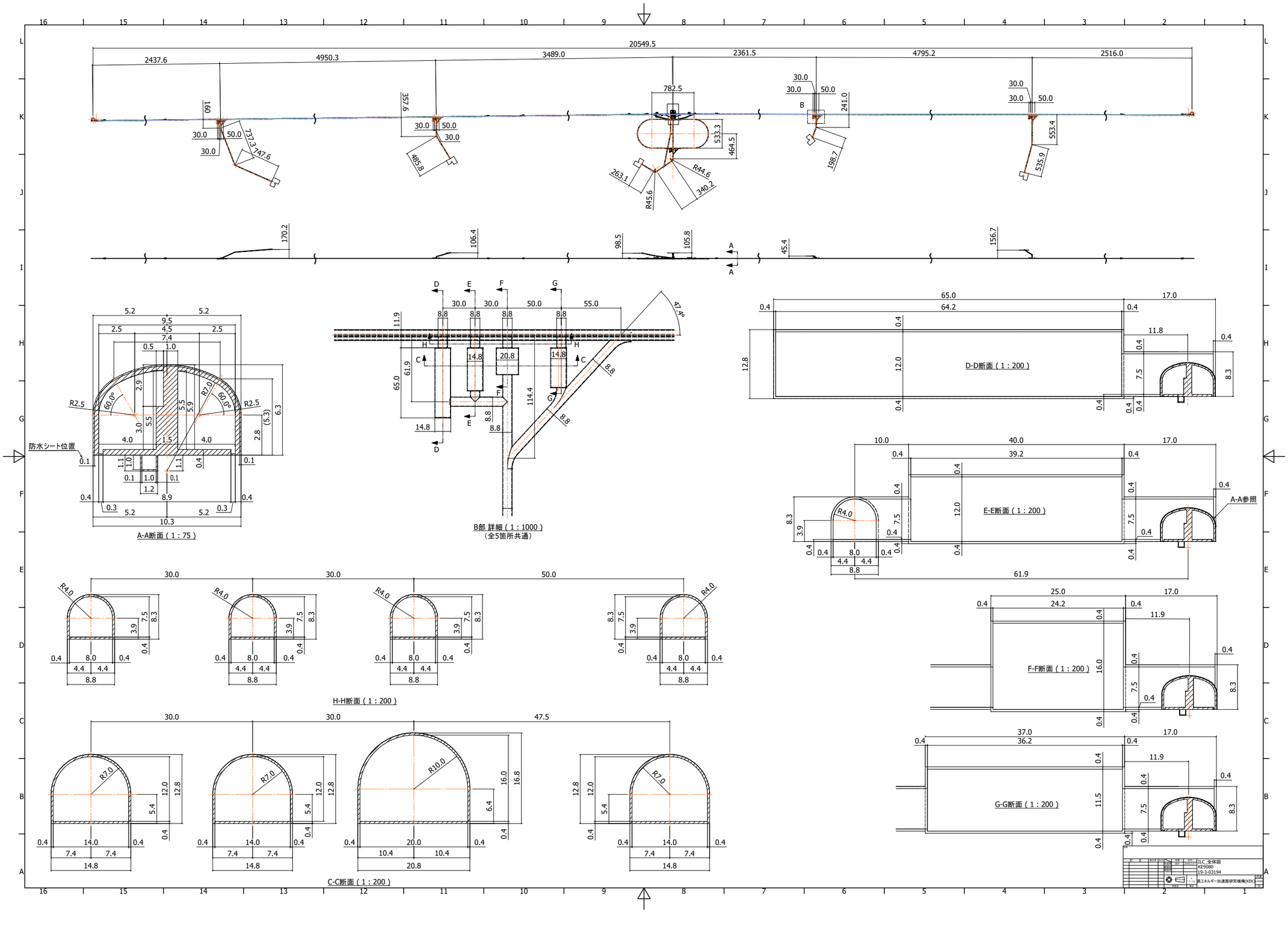
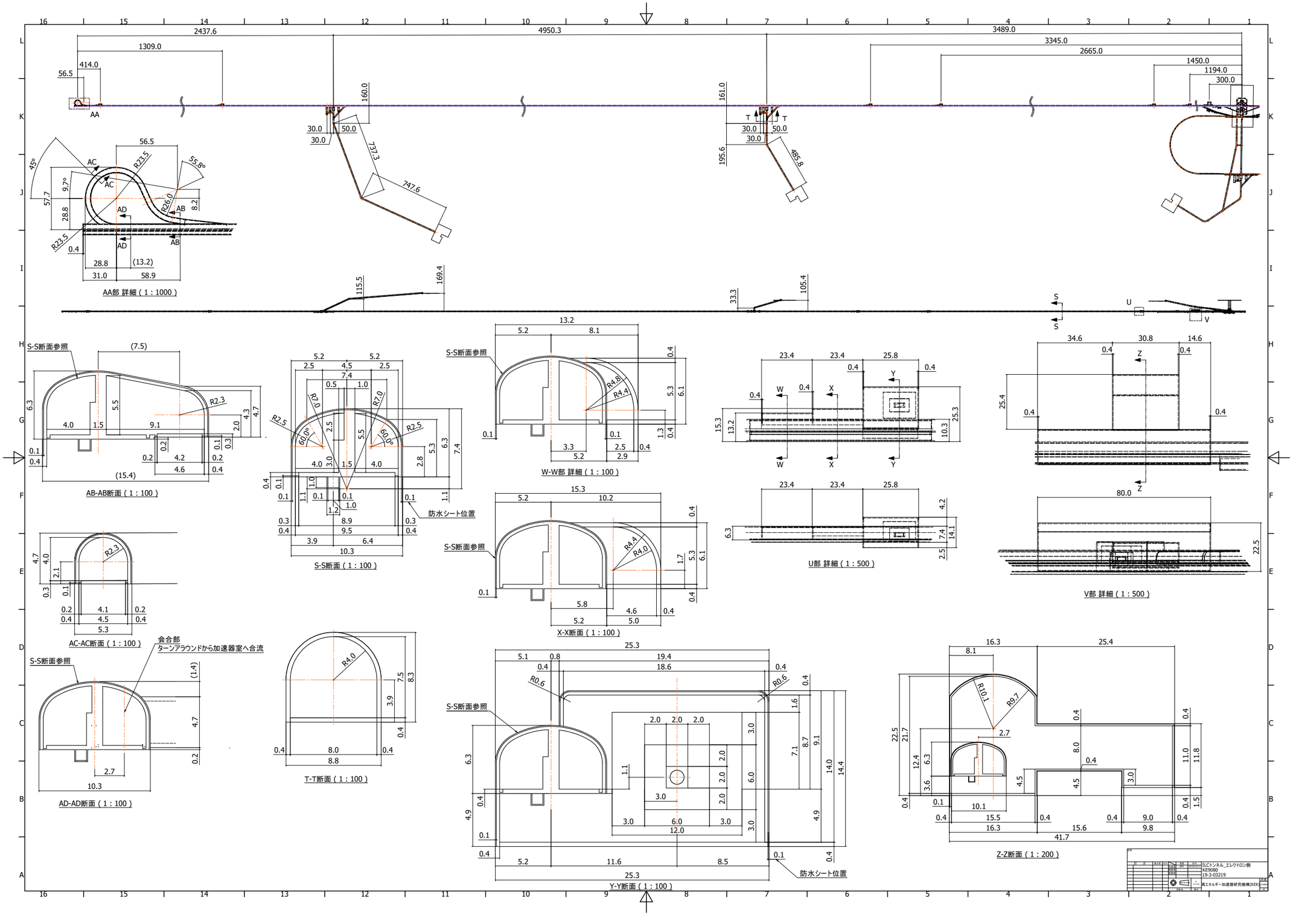


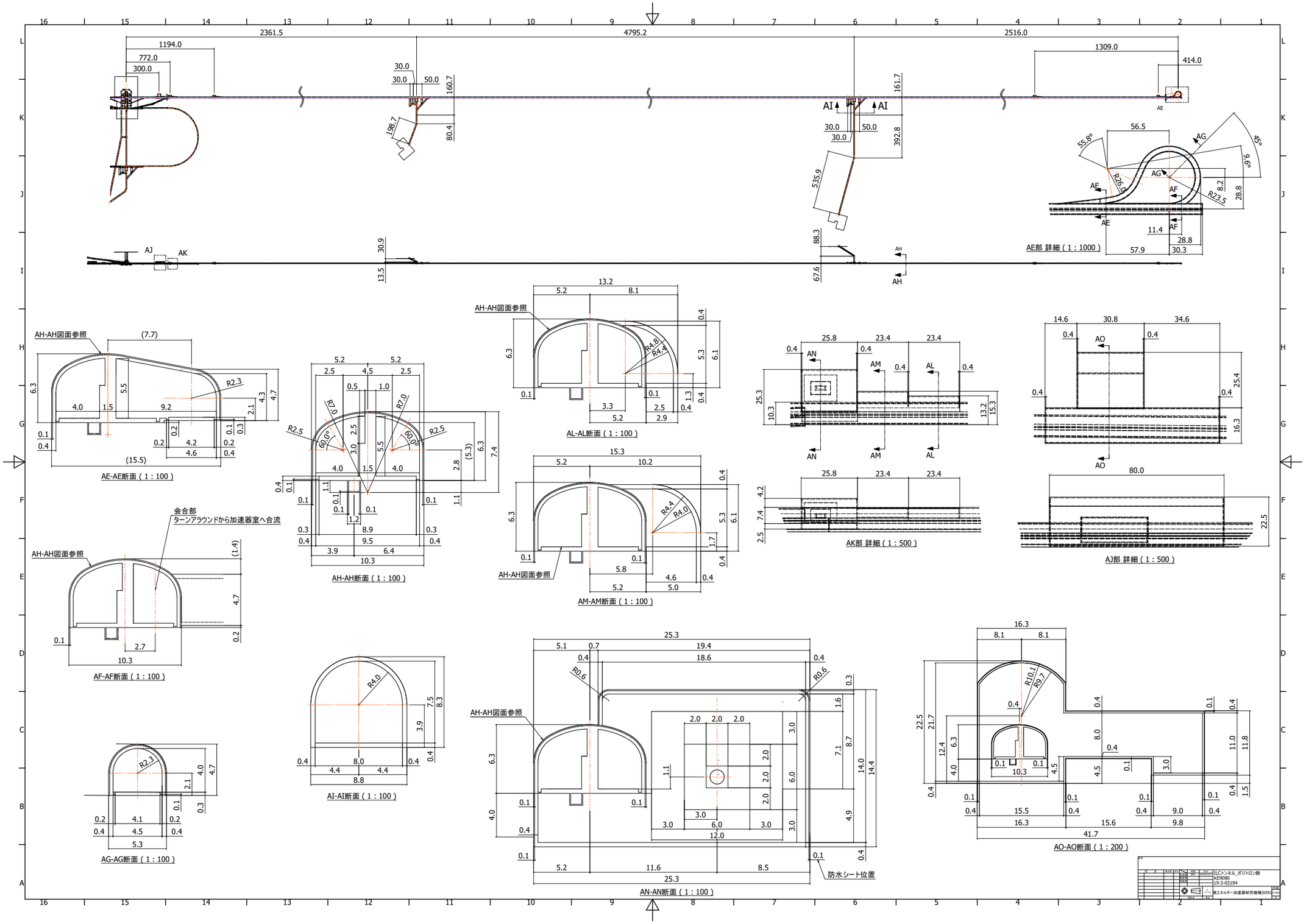
図 B.6: 主ビームダンプ空洞 D-D 断面

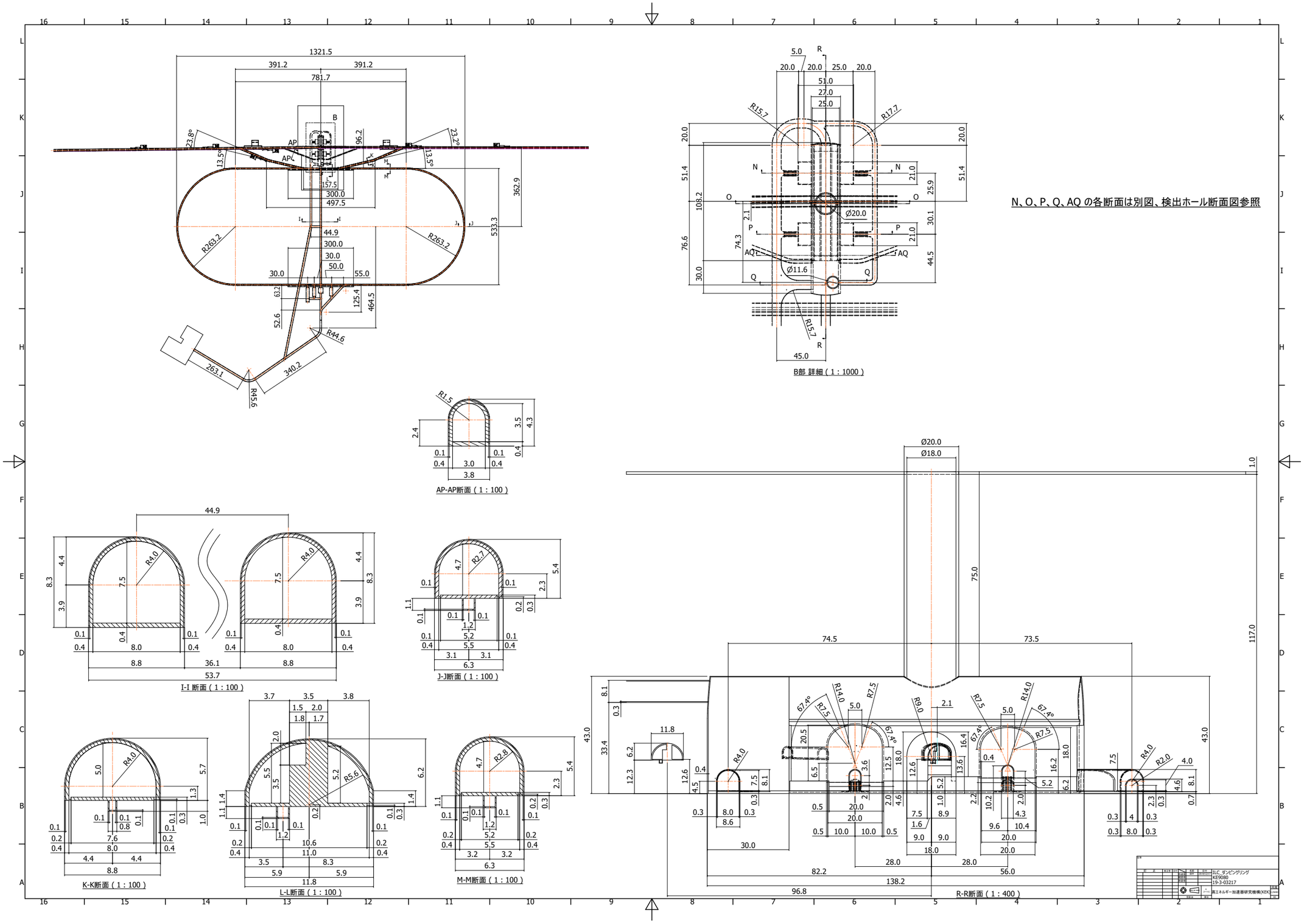
C　検討図面集（参考）

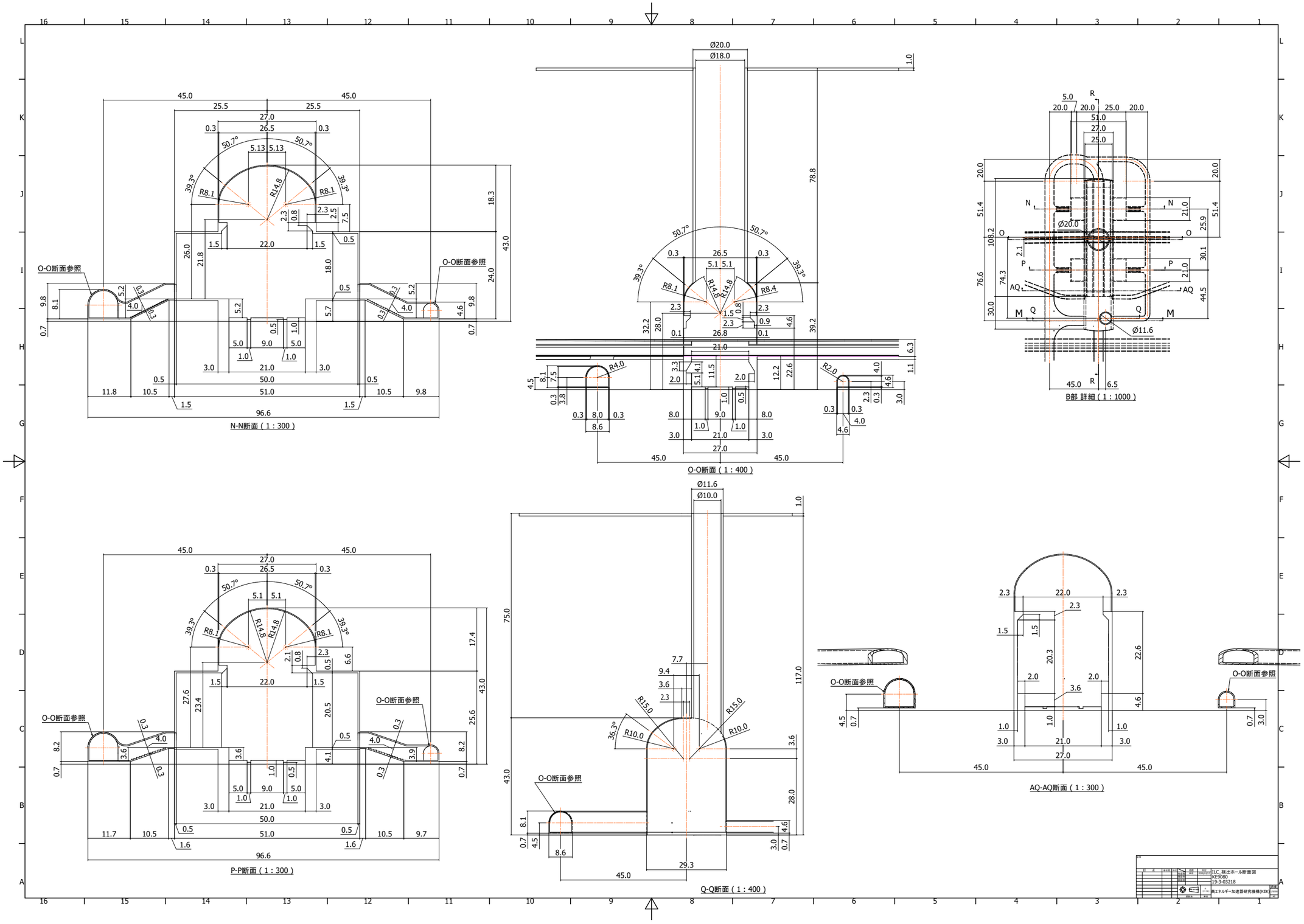
高エネルギー加速器研究機構が中心となって，検討用図面の整理を進めている。2020 年 1 月時点の図面を次頁以降に示す。『東北 ILC 施設計画』は 2018 年時点の図面に基づいた検討であるが，現時点で大きな変更はない。


20549.5
2437.6
4950.3
3489.0
2361.5
4795.2
2516.0
782.5
A-A断面（1：75）
B部 詳細（1：1000）
（全5箇所共通）
D-D断面（1：200）
E-E断面（1：200）
F-F断面（1：200）
G-G断面（1：200）
H-H断面（1：200）
C-C断面（1：200）
A-A参照
防水シート位置
TLC 全体図
KE9080
19-3-03194
高エネルギー加速器研究機構(KEK)


2437.6
4950.3
3489.0
1309.0
3345.0
2665.0
414.0
1450.0
1194.0
56.5
300.0
160.0
161.0
30.0
50.0
737.3
747.6
195.6
485.8
AA
AA部 詳細 (1 : 1000)
115.5
169.4
33.3
105.4
AB-AB断面 (1 : 100)
S-S断面 (1 : 100)
防水シート位置
W-W部 詳細 (1 : 100)
U部 詳細 (1 : 500)
V部 詳細 (1 : 500)
AC-AC断面 (1 : 100)
X-X断面 (1 : 100)
会合部
ターンアラウンドから加速器室へ合流
AD-AD断面 (1 : 100)
T-T断面 (1 : 100)
Y-Y断面 (1 : 100)
Z-Z断面 (1 : 200)
S-S断面参照
ILCトンネル_エレクトロン側
KE9080
19-3-03219
高エネルギー加速器研究機構(KEK)


2361.5
4795.2
2516.0
1194.0
772.0
300.0
30.0
30.0
50.0
160.7
198.7
80.4
AI
AI
30.0
50.0
30.0
161.7
392.8
535.9
1309.0
414.0
AE
AJ
AK
30.9
13.5
88.3
67.6
AH
AH
56.5
55.8°
AG
45°
9.6
AE
R26.9
AG
AF
8.2
R23.5
28.8
AE
11.4
AF
28.8
57.9
30.3
AE部 詳細 (1 : 1000)
AH-AH図面参照
(7.7)
6.3
5.5
R2.3
4.0
1.5
9.2
4.3
4.7
2.1
0.1
0.3
0.2
0.1
0.4
0.2
4.2
0.2
0.4
4.6
0.4
(15.5)
AE-AE断面 (1 : 100)
5.2
5.2
2.5
4.5
2.5
0.5
1.0
R7.0
R7.0
R2.5
R2.5
60.0°
60.0°
2.5
3.0
5.5
(5.3)
6.3
7.4
2.8
4.0
1.5
4.0
0.4
0.1
1.1
0.1
0.1
0.1
0.1
0.1
1.2
0.1
0.3
0.3
8.9
0.4
0.4
9.5
3.9
6.4
10.3
AH-AH断面 (1 : 100)
AH-AH図面参照
13.2
5.2
8.1
0.4
6.3
R4.8
R4.4
5.3
6.1
0.1
0.1
1.3
3.3
2.5
0.4
5.2
2.9
0.4
AL-AL断面 (1 : 100)
15.3
5.2
10.2
0.4
6.3
R4.4
R4.0
5.3
6.1
1.7
0.1
0.1
0.4
AH-AH図面参照
5.8
4.6
0.4
5.2
5.0
AM-AM断面 (1 : 100)
25.8
23.4
23.4
0.4
AN
0.4
AM
0.4
AL
0.4
25.3
10.3
13.2
15.3
AN
AM
AL
25.8
23.4
23.4
4.2
7.4
2.5
AK部 詳細 (1 : 500)
14.6
30.8
34.6
0.4
AO
0.4
0.4
25.4
0.4
16.3
AO
80.0
22.5
AJ部 詳細 (1 : 500)
会合部
ターンアラウンドから加速器室へ合流
AH-AH図面参照
(1.4)
4.7
0.2
0.1
2.7
10.3
AF-AF断面 (1 : 100)
R2.3
4.0
4.7
2.1
0.1
0.3
0.2
4.1
0.2
0.4
4.5
0.4
5.3
AG-AG断面 (1 : 100)
R4.0
7.5
8.3
3.9
0.4
8.0
0.4
0.4
4.4
4.4
8.8
AI-AI断面 (1 : 100)
25.3
5.1
0.7
19.4
0.4
18.6
0.4
R0.6
R0.6
0.3
AH-AH図面参照
1.6
2.0
2.0
2.0
3.0
6.3
2.0
2.0
7.1
8.7
14.0
14.4
6.0
1.1
2.0
0.1
0.1
4.0
3.0
4.9
0.4
3.0
6.0
3.0
3.0
12.0
0.1
0.1
0.4
5.2
11.6
8.5
25.3
防水シート位置
AN-AN断面 (1 : 100)
16.3
8.1
8.1
R10.1
R9.7
0.4
0.4
0.1
0.4
22.5
21.7
8.0
12.4
6.3
0.4
0.1
0.1
11.0
11.8
4.0
10.3
4.5
4.5
0.1
3.0
0.4
0.1
0.1
0.1
0.1
0.4
1.5
0.4
0.1
15.5
0.4
0.4
9.0
0.4
16.3
15.6
9.8
41.7
AO-AO断面 (1 : 200)
ILCトンネル_ポジトロン側
KE9080
19-3-03194
高エネルギー加速器研究機構(KEK)


N、O、P、Q、AQ の各断面は別図、検出ホール断面図参照
B部 詳細 (1 : 1000)
AP-AP断面 (1 : 100)
I-I 断面 (1 : 100)
J-J断面 (1 : 100)
K-K断面 (1 : 100)
L-L断面 (1 : 100)
M-M断面 (1 : 100)
R-R断面 (1 : 400)
ILC_ダンピングリング
KE9080
19-3-03217
高エネルギー加速器研究機構(KEK)


N-N断面（1：300）
O-O断面（1：400）
B部 詳細（1：1000）
P-P断面（1：300）
Q-Q断面（1：400）
AQ-AQ断面（1：300）
O-O断面参照
ILC 検出ホール断面図
KEK9080
19-3-03218
高エネルギー加速器研究機構(KEK)