

## ■研究紹介

# ILC 施設の土木工事に関するガイドライン策定

KEK 先端加速器推進部・LC 計画推進室

宮原 正信

masanobu@mail.kek.jp

2014年8月10日

## 1 はじめに

わが国での建設を想定した ILC 施設の設計・建設に関し、2004 年以來の長期間にわたり、土木学会による技術支援が継続されてきた。その主な活動は、RDR と TDR の技術検討に併行して実施された 2 段階の調査研究である。本報告は、後者の成果として 2014 年 3 月に最終報告が行なわれた「ILC 施設の土木工事に関するガイドライン」の策定について、その背景と概要を紹介するものである。

## 2 ガイドライン策定の経緯

### 2.1 土木学会と ILC

土木学会は、2004 年 3 月に高エネルギー加速器研究機構（当時、戸塚洋二機構長）からの付託を受け、岩盤力学委員会とトンネル工学委員会のもとに「リニアコライダー土木技術研究小委員会」を設置し、ILC 計画の実現と日本への誘致に向けた技術支援を開始した。

この土木学会への委託研究の背景として、従来の加速器トンネルが比較的浅い深度での開削工法によるコンクリート構造物を主とするのに対し、ILC の加速器施設は地表から数 100m の大深度での岩盤掘削で構築される特殊性がある。すなわち、日本のサイトで想定されている山岳トンネル工法は、必要な断面形状と寸法で岩盤をくり抜き、残された周辺地山（掘削の対象となる自然のままの地盤や岩盤）を構造体として利用する工法である。これには極めて専門性の高い特殊な土木技術を要することから、土木学会に全面的な技術支援を求めるに至ったのが主な経緯である。

その第 1 次調査研究の成果として、2009 年に下記の 2 つの報告書がまとめられ提出されている。

- ①（日本における）長大衝突型加速器計画の建設サイトに関する調査研究報告書
- ② 加速器建設の土木技術に関する調査研究報告書

その後、2011 年に「国際リニアコライダー(ILC)の土木技術に関する示方書策定小委員会」が組織され、第 2 次調査研究が開始された。その主たる目的は、ILC 施設の準備段階における計画業務から設計・施工および維持管理までを包含する総合的な技術指針(ガイドライン)の策定である。

表 1 本委員会の部会構成

部会名	担当業務
企画運営部会	委員会の企画運営全般
計画調査部会	施設全体の計画・調査に関する技術指針
大空洞部会	実験ホールやアクセスホールなどの空洞の設計・施工技術指針
水平坑部会	トンネル構造物の設計・施工技術指針
特殊坑部会	斜坑（トンネル）、立坑、並びに会合部・接続部など特殊部の設計・施工技術指針
防災部会	防災、安全に関する設計・施工技術指針

### 2.2 委員会の構成

本委員会は、企画運営部会と 5 つの技術専門部会で編成され、専門委員には大学や研究機関の研究者のほか、設計コンサルタントや施工会社の実務技術者を含む、50 名を超えるエキスパートによって構成された（表 1）。

## 3 報告書の概要

本ガイドラインは、各専門部会や委員会で検討された草案をたたき台にして、土木学会員や加速器関係者の参加による討論会やコロキウムを通じて広く意見を聴取し、委員会としての最終報告書に取りまとめられた。以下、本ガイドラインの構成と概要を記す。

### 3.1 計画および調査

#### 3.1.1 ILC 施設の基本計画

本ガイドラインには、主要な実験施設が設置される加速器トンネルや実験ホールなどの地下構造物の設計や施工を合理的に進めるために必要な計画および調査に関する指針が示されている。特に、施設全体の平面形状や縦断線形、各施設の所要断面や概略仕様を整理した上で、計画段階で踏まえるべき技術検討課題を 3 つの基本方針にまとめている。

- ① 施設配置計画にあたっては、ビームトンネルや実験ホールの他、アクセス用および設備用の補助施設も含めた施設群全体のレイアウトを合理的に検討し、建設や供用開始後の課題や懸念がないように決定する。

- ② トンネルや地下空洞の調査・計画に際しての基本として、建設開始後に大幅な工程の遅れが生じる事態（破砕帯による地山崩落、大量湧水、その他建設上の大きな支障）に遭遇しないように綿密な計画立案を行う。
- ③ 施設全般にわたり、防災やエネルギー供給システムなどの基幹施設について、供用開始後の長期間にわたる維持管理や経費（LSC）についても慎重に考慮して計画する。

3.1.2 地震影響に関する施設設計の考え方

また、本ガイドラインには、地震大国である日本の山岳サイトでの建設に鑑み、ILC 実験施設の中核をなす地下構造物に要求される耐震性能について、その計画理念と設計指針が具体的に提案されている。

土木学会は、1995年に発生した阪神・淡路大震災を受けて「耐震技術等基本問題検討会議」を設置し、土木構造物の耐震基準に関する提言[1]を公表している（表2, 3）。その中で、土木構造物の耐震性の照査にあたって3段階の地震動レベルを設定しているが、ILC 施設においては構造物の重要性と特殊性に鑑み、以下の2種類の地震動レベルを適用した耐震性能を提案している（表4）。

- ① レベル 1(L1)地震動：従来の耐震設計でも想定されていた地震外力にあたり、構造物の使用期間中に数回発生すると考えられる強さの地震を示す。
- ② レベル 2(L2)地震動：近傍で発生する大規模なプレート境界地震（東北地方太平洋沖地震など）に加えて、兵庫県南部地震時における内陸直下型地震による地震動も対象とした発生確率の極めて低い地震動を示す。

表2 山岳トンネルの耐震性能[2]

耐震性能	定義	備考
性能レベル I	地震後にも補修せずに機能を維持し、かつ過大な変形を生じない	地震後の構造物の損傷が十分に小さい範囲に留まり、大きな変位を生じない
性能レベル II	地震後に補修を必要とするが早期に機能が回復できる	補修に困難が伴う構造物の残留変形や部材の損傷が許容限度内に収まる
性能レベル III	地震によって構造物全体系が崩壊しない	修復不可能となったとしても、土圧などによって崩壊しない

表3 山岳トンネルの具現すべき耐震性能[2]

地震動	具現すべき耐震性能
L1 地震動	性能レベル I
L2 地震動	性能レベル II

表4 ILC 施設が具備すべき耐震性能（提案）

対象	地震動	性能レベル	適用範囲
加速器トンネル	L1 地震動	性能レベル I：無補修での機能保持	加速器トンネル -メインライナック -ダンピングリング
	L2 地震動	性能レベル II：早期に機能回復	補助施設 -アクセストンネル -アクセスホール
実験ホール	L1 地震動	性能レベル I：無補修での機能保持	実験ホール空洞 補助施設 -アクセストンネル
	L2 地震動	性能レベル II：早期に機能回復	-補助トンネル -補助空洞

これまでの土木学会による研究成果と知見を基に、本ガイドラインでは、ILC 施設の地下構造物に要求される耐震性能について、表4に示すとおり具体的な提案をおこなっている。ここでは、ILC 施設が一般施設と異なり、機器設置やメンテナンス作業に多数の人が長時間従事することや、供用開始後も関係者が随時アクセスすることなどに着目し、地震時における安全性の確保を最重要課題と位置付け、一般施設よりも高い耐震性能の確保を求めている。

3.1.3 ILC 施設の概要調査計画事例

本ガイドラインでは、トンネルや地下空洞などの地下構造物の計画にあたって必要となる地山条件の調査に関して、①計画・調査段階、②設計段階、③施工段階、④維持管理段階の各段階で実施すべき調査事項を示し、参考事例も引用しながら調査目的や調査内容などについて解説している。

また、検討段階で想定されていた国内の2つの候補サイトの地形・地質条件についても、第三者的立場からその特性などについて検討され、さらに、今後の本格的な地質調査に資するため、トンネルや地下空洞の調査項目に関する調査計画の基本的なあり方として、一般的調査とILC 施設独自の調査（地殻変動、常時微動など）に区分して考えている。

3.1.4 ILC 施設の設計・施工のための調査

ILC で想定されているサイトの地質は、全般的には良好な花崗岩と見なされるが、局所的には断層破砕帯や風化による脆弱層あるいは大量湧水帯の出現などの可能性もある。これらは、トンネルの設計・施工上の大きな課題となると同時に、施設の維持管理コストにも直接影響することから、調査計画について以下のような留意事項がある。

- ① サイト全般の地質構造、分布および性状の把握。
- ② 地山分類を行うために必要な基礎資料の入手。
- ③ 坑口部の地形、地質条件に関する基礎資料の入手。
- ④ 掘削工法や補助工法の選定のための基礎資料の入手。
- ⑤ 特殊地山の分布把握や対策のための基礎資料の入手。

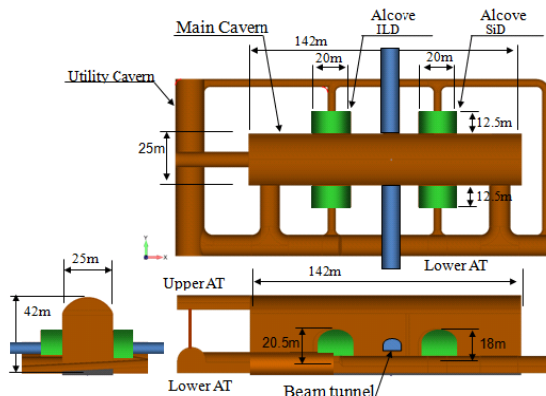


図 1: ILC 実験ホール平面, 立面, 断面

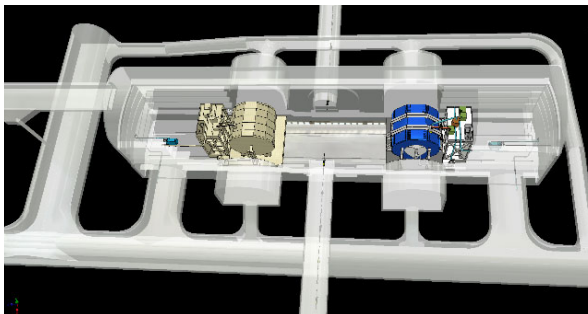


図 2: ILC 実験ホール俯瞰図

さらに立地条件に関わる調査として、環境調査、工事規制に関する調査、補償対象調査などが必要となる。

## 3.2 大空洞

トンネルには、用途や施工法および形態の特長などから様々な分類法がある。その中で、仕上がり断面の大きさによる分類では、10 平米未満の小断面、10–50m<sup>2</sup>の中断面、50–100m<sup>2</sup>を大断面、および、100m<sup>2</sup>以上のトンネルを超大断面などと区分している。一方、地下空洞では大規模な地下発電所で見られるような、幅と高さとともに数十メートルにおよぶ大断面を有するものを一般に大空洞と呼ぶ(ちなみに、スーパーカミオカンデは世界的にも有数の規模を誇る地下大空洞の1つである)。

### 3.2.1 ILC 施設における地下空洞

ILC おける地下施設のうち、実験ホールやアクセスホールなどの地下空洞に関して、その特徴を紹介した上で、計画・設計・施工上の技術的課題について考える。特に、超精密な素粒子物理実験が行われる大深度の地下空間という特異な機能に着目し、次の5項目が土木工学的な視点からの大空洞に要求される基本性能となる。

- ① 長期的にも岩盤空洞の安定性が確保されること。
- ② 地震時の空洞安定性が確保されること。
- ③ 測定器の移動によって生じる岩盤の変位が実験に影響を及ぼさないこと。
- ④ 伝播してくる各種振動が実験に影響を及ぼさないこと。
- ⑤ 実験装置に影響を及ぼすような湧水や滴水がなく、温度や湿度などの室内環境が適正に保持されること。

### 3.2.2 空洞安定の設計

ILC 実験ホール空洞の平面・断面形状を図 1 に、俯瞰図を図 2 に示した。実験ホール空洞の構築には大規模な岩盤掘削を要することから、空洞自体の安定設計を最重要課題の1つとしてあげている。特に計画段階においては、空洞の安定を阻害する要因を極力少なくするための配置計画、空洞形状の選定などを最優先の検討課題と位置づけている。

#### a) 配置計画および空洞形状の選定

実験ホールの配置計画では、まず何よりも良好な地質のサイト選定が重要であるとした上で、今後の本格的な地質調査によって明らかになる初期地圧や地山性状の把握、ならびに弱層の分布などを考慮に入れた空洞の安定性に関する検討が基本的な考え方になる。ここで、初期地圧とはトンネル掘削などの影響を受けず、岩盤内部で上載圧や地殻変動に起因して作用している自然状態の応力のことをいう。また同時に、ILC 施設では、長大なメインリアック(ML)トンネルの配置も大きな制約条件となるため、施設全体の配置計画の最適化をはかることが最重要の課題とされている。

また、空洞の形状については、我が国における地下発電所や地下備蓄基地などの豊富な建設実績を踏まえた上で、①きのこ型、②卵型、③弾頭型などの基本形状とその特性を考慮に入れ決定されることになる。

#### b) 空洞支保の設計

空洞支保とは、掘削から覆工完了までの間、地山からの荷重に十分対抗し、地山の崩壊などを防止して所定の掘削断面を維持し、かつ能率的に坑内作業が行われるように設置する地山支持構造物のことをいう。

ILC 施設は長期間にわたって供用される施設であることに鑑み、長期的な安定性を確保する観点から、空洞の支保設計手法の選択は重要な要素となる。また、類似した大空洞の施工実績として、国内の地下発電所や地下備蓄空洞などを取り上げ、吹付けコンクリートやロックボルトおよび PS アンカーなどを用いた支保設計が必要になる。

### 3.2.3 地震時の空洞安定性

一般的に、地下空間は地上施設に比べ地震の影響が小さいとされていることから、耐震設計が導入される事例は少

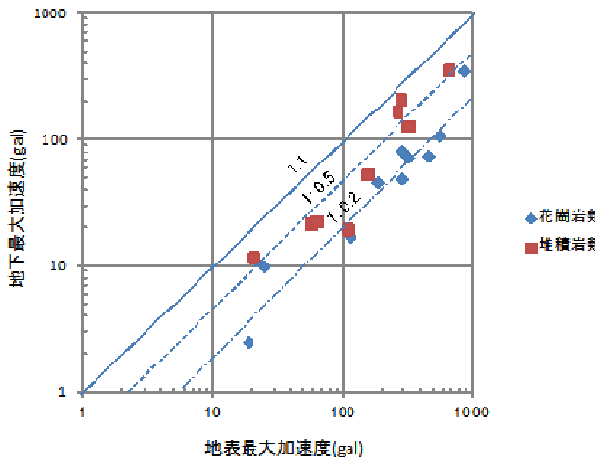


図 3: 東日本大震災時の最大加速度の岩盤による比較[3]

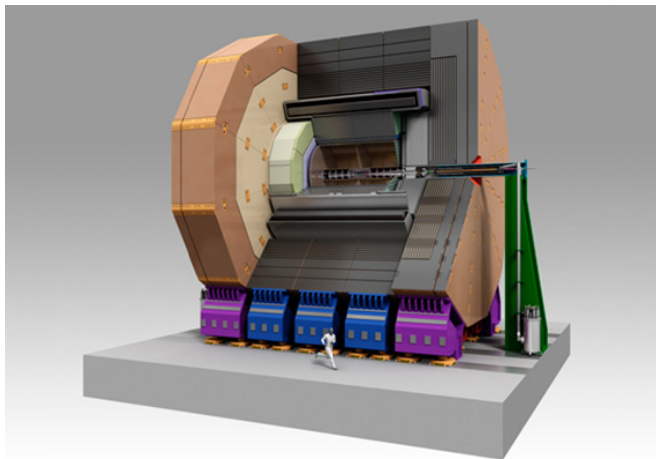


図 4: ILC 測定器とパレット

ないのが実情である。図 3 に、東日本大震災時の花崗岩と堆積岩における地表と地下（地下深度 100m）の最大加速度の比較データを示す。花崗岩サイトでは、地下と地表の加速度の比が 0.2~0.3 程度に集中しているのがわかる。

また、ガイドラインには、常時多数の研究者や技術者が出入する実験ホールの特性に留意し、石油や天然ガスなどの地下備蓄基地の建設事例（高圧ガス保安法や建築基準法などの適用事例）を参考例として紹介している。我が国の法体系には、ILC のような地下空間を利用した実験施設の建設に対して強制的に適用する規定は少ないが、ガイドラインには ILC 施設特性に対応した耐震設計の必要性を示している。

具体的には、従来からの耐震設計手法である静的震度法に加え、①応答変位法、②応答震度法、③動的解析法などの高度な手法を紹介しており、実験ホールが設置される岩盤固有の地質や岩盤の性状を適切に評価した上で、より合理的な耐震設計手法の適用を推奨している。

### 3.2.4 測定器の移動と岩盤変位

次に、実験ホールに設置される 2 つの測定器 (ILD と SiD) の Push-Pull 方式での移動に伴って発生する岩盤変位に関する予測および対応策について考えよう。

2 つの測定器は、図 4 に示すコンクリート製のパレット上に設置されるが、この測定器の移動に伴って実験ホール空洞周辺の岩盤に生じる変形がビーム制御に及ぼす影響を排除する必要が出てくる。ガイドラインでは、極微細な岩盤変形は避けられないとしても、実験への影響を極力避けるために、弾性変形量やクリープ変形の性状などについて、あらかじめ把握しておく必要があるとしている。そして測定器の移動に伴う弾性変形解析の事例を紹介している。

ILD と SiD の 2 つの測定器の移動に伴う岩盤変位シミュレーションの結果、最大変位量は、図 5 に示す通り 0.1mm 程度に収まり、この岩盤変位は堅固な花崗岩においては弾性的な範囲に留まると想定されている。また、長時間を経て発生するクリープ変形量も微小と見られるが、詳細設計の段階では岩盤調査結果に基づいたより詳細な解析が必要と考えられる。

### 3.2.5 振動の影響

岩盤変位と同様に、振動によるビームへの影響も排除しなければならない。主な振動源としては、実験ホール近傍に設置される機器自体が発する機械振動、地上部の生活圏や交通、工場などから発せられる社会的振動および自然界からの地震・常時微動などの影響が懸念されている。本ガイドラインでは、振動をもっとも嫌う最終収束マグネット (QD0) 部を例示して、振動対策に関する工学的な考え方を示している。

### 3.2.6 空洞内の環境

精密な実験装置を設置するため、温度や湿度を一定範囲に保持すると共に新鮮空気の導入を図るなど、一般作業に適切な室内環境の維持が求められる。また、実験ホール空

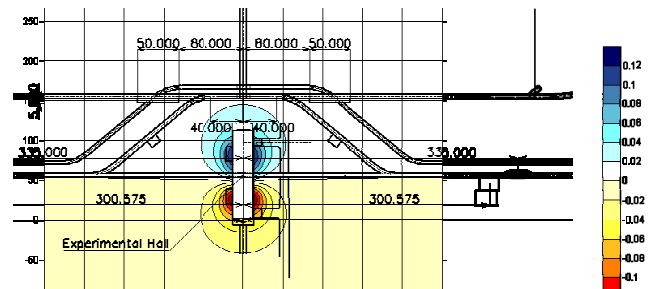


図 5: 中央部における測定器移動に伴う岩盤変位分布

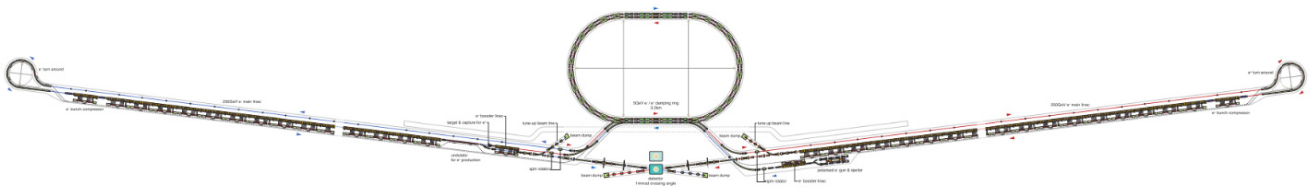


図 6: ILC 地下施設全体レイアウト

洞は地下水水面下に構築されることから、地下水の湧出に対する対策が必要となる。実験ホール内への過度の湧水を生じさせないために、周辺トンネルにおける排水処理やホール内の湧水抑制処理が必須課題となる。さらに、天井部からの滴水や側壁部からの湧水については、実験装置を保護する屋囲いの設置などについても提案されている。

### 3.3 水平坑

水平坑は、メインリニアック (ML) およびダンピングリング (DR) などの縦断勾配がほぼ水平となるトンネル構造物のことである。本ガイドラインには、これらのトンネル構造物の設計・施工上の課題を抽出するとともに、基本的な対応策についてまとめている。

#### 3.3.1 水平坑の設計

##### a) 設計手法

加速器トンネルが山岳地域の花崗岩帯に建設されることを前提に、水平坑の設計にあたっての基本的な設計手法が示されている。ILC の地下施設全体のレイアウトを図 6 に示す。その中で、経済性や安全性、周辺への影響評価、施工性および供用後の保守性などを総合的に勘案して設計することの重要性が強調されている。さらに、具体的な設計手法の適用に関して、①標準設計の適用、②類似条件での設計の適用、③解析的手法の適用、を紹介している。

##### b) 海外の岩盤分類との対比

岩盤分類は、トンネルの支保規模を決定する指標として活用され、施工費に直接影響することになる。そのため、設計の対象となる岩盤の分類方法についての国内外の基準の相違を示した上で、国際事業として ILC 建設を進めるにあたっての岩盤分類に関する留意事項を示している。そして、海外で広く採用されている岩盤分類法[4]を示すとともに、日本国内での現行基準との比較をしている。

##### c) 隔壁

ML トンネルの断面中央部の隔壁は、ビームラインと高周波エリアを機能的に分割するとともに、遮蔽性をもつ重

要な区画壁である。ILC 地下施設全体のレイアウトイメージを図 7 に、ML トンネルの断面図を図 8 に示す。この隔壁の構造は、現状案では現場打ちコンクリートによって施工されることになっている。現場打ちコンクリートの打設は、一般的には、型枠を設置してからコンクリートを流し込む施工手順となる。しかし、トンネルの形状や大きさを考慮すると、この隔壁工事はトンネル掘削が完了してからの作業となるため、全体工程が長くなる懸念がある。

工程を短縮するためには、この隔壁のプレキャスト化に



図 7: ILC メインリニアック(ML)の模式図

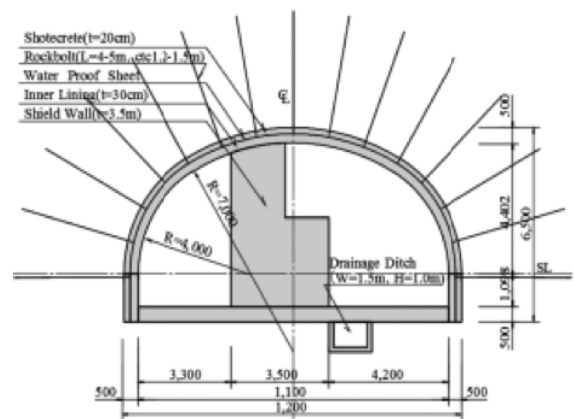


図 8: ILC メインリニアック(ML)の標準断面

よる施工法も有力視されるが、ブロックの分割方法や組立方式と同時に、導波管や電源ケーブル貫通孔などの仕様なども考慮して慎重な検討が必要となる。

#### d) 防水工および排水溝

漏水や湧水の処理、トンネルの内空の確保や美観などの目的のためにトンネルの掘削面を被覆する構造体、またはその構造体を構成することを覆工という。覆工背面の防水工（地下水のトンネルへの漏水を防ぐために、覆工や躯体を不透水性の材料で処理する工事）は、一般の道路トンネルや鉄道トンネルに準じた防水工で対応可能であり、土木学会標準示方書の「防水工」[5]が適用できる。また、防水工を施してもなお漏水が発生する場合には、前述の示方書が示す対策工により坑内排水へ導水することができる。

ILC は全長 30km に及ぶ長大トンネルで、総排水量は約 30t/min に及ぶと推定されている。現行計画では、この排水を自然勾配で近隣河川に放流する計画案が検討されているが、ML はジオイドに平行で、中央部はレーザーストレートのため、特別な対応策が求められる。以下、排水溝に関する主な課題を列記する。

- ① 排水施設の縦断勾配に関する検討。
- ② 坑内水の導水方式（ポンプ方式、自然流下方式）。
- ③ 排水溝の断面計画、構造計画。
- ④ 坑外への排出方法。
- ⑤ 排水の清濁分離方式、沈砂方式。

### 3.3.2 施工

#### a) 施工一般

施工に先立ち、地山条件や立地条件、周辺環境および安全性を考慮した適切な施工計画立案の重要性について強調している。

施工中の騒音、振動、低周波空気振動などの一般的な建設関係諸法規の遵守とともに、湧水や地表面沈下、汚濁排水、交通障害などの抑制、その他自然環境保全策などについて列記している。また、想定されている花崗岩地帯ではズリおよび湧水に自然由来の重金属の含有事例が多く見られることについての特別な留意を求めている。

#### b) 測量計画

ILC 施設は、設置される精密機器の関係から、特に床版面に要求されるレベル精度は非常に厳しいことに留意が必要である。また、加速器トンネルはジオイド面に沿った区間とレーザーストレート区間では、そのレベル管理が異なるために、必要な精度を確実に確保するために慎重な測量計画が必須となる。

さらに本指針では、トンネル延長が 30km 以上の長大施設にも拘わらず、地上からのアクセスが最大 5km 間隔に限

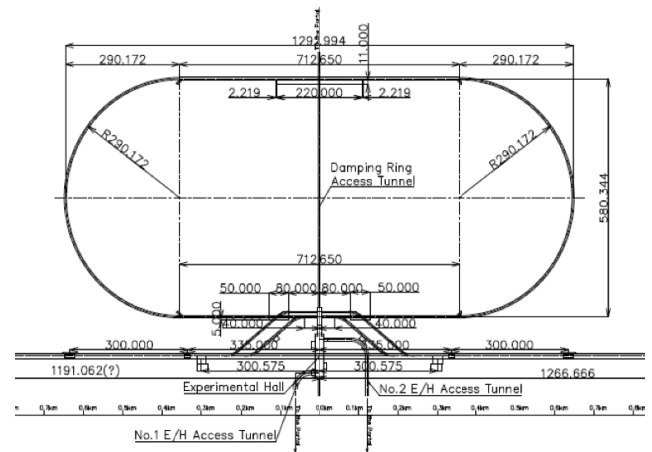


図 9: 中央部・DR レイアウト

定される厳しい制約条件に留意すること、および坑外基準点の配置や地下基準点への引照精度の確保など、加速器施設特有の測量上の配慮を求めている。

#### c) 環境保全・安全衛生

ILC 施設は、閑静な山岳地域での施工となるため、騒音や振動、粉塵、湧水、汚濁排水および工事車両による交通障害などの自然環境の保全対策を入念に行う必要がある。特に、大量に発生する掘削ブリの処理、湧水対策および自然由来の有害物質について十分に留意する必要がある。

また、地下部から地上への換気距離が長くなることを考慮し、工事中の粉塵処理や換気設備などの作業環境対策も入念に行うことが求められている。

### 3.3.3 その他（ダンピングリング）

ダンピングリングは、図 9 に示すとおり直線部と曲線部で構成するレーストラック形の平面形状である。トンネルの標準断面は ML に比べ小さな断面が計画されているため、施工計画にあたっては断面規模に適応した掘削計画やズリだし方法を検討する必要性に言及している。また、DR 部には、ML からの入出射トンネルやアクセストンネルなどが複雑に交差するため特に入念な施工計画を要する。

### 3.3.4 TBM

本ガイドラインでは、山岳トンネル工法の選択肢の 1 つとして一般に検討される TBM 工法についても、その急速施工性、安全性、地山の補強などの特性やメリットについての解説をしている。しかし、ILC 施設においては既に山岳トンネル工法を前提に計画されていることから、本編では巻末資料として TBM 関係の計画・調査・施工などの技術情報を添付している。

### 3.4 特殊坑

特殊坑とは、主として地上と地下を結ぶ斜坑(トンネル)と立坑を示すが、本ガイドラインでは、換気孔や測量坑およびトンネルの会接合部や空洞との接続部などの特殊断面部も含め特殊坑として扱っている。

#### 3.4.1 斜坑の設計・施工

本ガイドラインには、加速器用、実験ホール用を合わせて合計10本の斜坑の設計に関して基本的な考え方を示している。特に、ILC 施設は、大きさの違う様々なトンネルと空洞が複雑に交差あるいは接続しているのが特徴となっている。そこで、交差部や接続部の設計に当たっての留意事項として以下の5項目が指摘されている。

- ① 交差部における地山の応力集中に対する配慮。
- ② 交差部や接続部の補強方法と補強領域の検討。
- ③ 交差部や接続部の支保工や覆工の設計。
- ④ 交差部や接続部の事前補強の重要性。
- ⑤ 交差部や接続部の施工中の応力計測の実施。

基本計画にあたっては、平面線形上は出来る限り直線が望ましいとした上で、曲線部については施工機械や実験機器の搬送に必要な線形の確保についての留意を求めている。縦断勾配については、機器の搬送機能に対応した勾配を例示している。

また、施工時の環境対策として、過去の事例を基にして、発破による騒音・振動、交通障害、重金属の溶出や工事排水による河川汚濁、湧水や地盤沈下および薬液注入による地下水汚染などを紹介し、それぞれの環境対策における課題を説明している。さらに、完成後の河川や井戸の枯渇、地山の緩みや地表面陥没などへの留意点を示している。

#### 3.4.2 立坑の設計・施工

立坑は、人員の入出坑、資機材の搬出入、換気および施工時のズリ搬出などに活用される。ここでは、国内での事例紹介とともに、空洞安定性の観点からの断面計画や支保

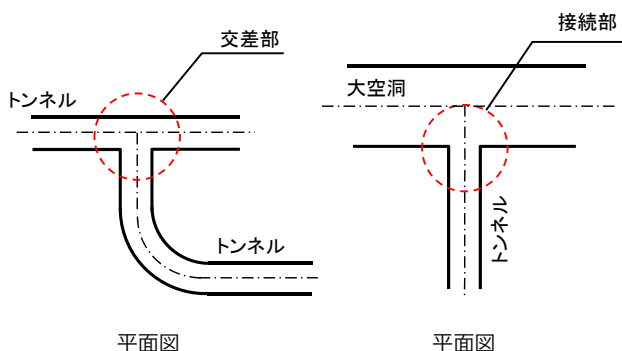


図10 接続部・交差部

部材の設計、耐震設計上の留意点などを紹介している。

#### 3.4.3 交差部・接続部

トンネルが相互に接続する箇所を交差部、トンネルと空洞が接続する箇所を接続部として、設計と施工についての基本方針を解説している(図10)。

設計にあたっては、交差角度や地山の応力状態に応じた補強が必要であり、次のような部位については覆工を補強する必要がある。①極端に悪い地質に遭遇、②耐震性能が必要、③大断面および扁平な断面、④掘削前後に変位挙動が発生、⑤多量の湧水に遭遇。

#### 3.4.4 支保工の設計・施工

交差部や接続部の補強工(トンネル掘削に際し、不安定化しやすい切羽面および切羽周辺地山の安定を図る手段)は、地山の状況や特殊部の規模などにより適正な選定が求められる。トンネル構造の安定、補強のための支保部材選定も重要な要素となる。

### 3.5 防災

ILC 施設は、従来の加速器と比較して設置深度が深い、岩盤内に設置、長大規模などの特徴を有する。そのため、防災計画の理念として、下記の考え方を基本としている。

- ① 「大深度地下の公共的使用における安全確保に係わる指針」[6]の考え方を準用。
- ② 道路トンネル、鉄道トンネルなどの防災指針を活用。
- ③ 国内外の既存加速器の防災に関する考え方を活用。

#### 3.5.1 火災

一般に、トンネルなどの地下空間での防災対策では、火災を最大のリスクとして取り上げている。大深度で大規模な地下構造物を主体とするILCにおいても、火災発生抑制対策は防災上の最重要課題である。また、本検討では万が一の火災発生に備えた防災計画として、ケーブル火災による火災荷重 $200\text{MJ/m}^2$ を想定し必要な対策を検討している。火災荷重とは、ある空間内に保持されている可燃性材料の潜在的発熱量のことで、防災設計では個々の施設で想定される可燃物の量を基に適正な火災荷重を仮定した上で必要な対策が検討される。

防災計画の基本方針として、火災の早期発見および初期消火のための設備計画を重視すること、および火災発生の際の火煙の流れが避難方向と同じであることを留意し、防火・防煙区画による延焼防止策を図ると同時に、避難路の冗長性確保を必須要件としている。

#### 3.5.2 浸水

洪水などに伴って発生するILCの地下施設への浸水は、入坑者の安全を脅かすと同時に、実験機器に重大な損失を招く恐れがある。設計段階において厳密な浸水対策を講じ

るとともに、有事に備えた避難誘導設備や防災情報システムの構築が求められている。さらに、長時間の停電を想定した排水設備や非常電源設備の整備が必須となる。

### 3.5.3 停電

地下空間では、避難・防災設備を含むすべての活動が電力の供給によって機能していることから、非常時の電源喪失は危機的な重大災害に至ることが想定される。ガイドラインでは、冗長性のある電力供給システムの構築と共に、電力供給側の事故をも想定した上で十分な容量と性能を持つ非常用電源装置の整備の重要性について言及している。

### 3.5.4 地震その他

一般に地下施設においては、地上施設に比べて地震動による影響が少ないことが知られている。しかし、地下構造物の特性から、防災設備とともに電力供給ラインや給排気設備の機能低下を防止する対策が強く求められる。また、ILC 施設内では大量のヘリウム使用が想定されている。密閉空間でのヘリウムリーク事故は、人的被害をうける怖れがあることから、過去に発生したヘリウムガス漏洩事故の詳細な検証を行い、万全の防災設計を図る必要がある。

## 4 おわりに

主として地上に建設される建築物は、規模の大小にかかわらず「建築基準法」に従って設計・施工することが義務付けられている。これに対し、地下構造物を主とする土木工作物については、規模の大小にかかわらず同様の規制法は存在しない。従って、道路・鉄道・トンネル・橋梁などの社会基盤施設をはじめ、港湾やダム、地下発電所などを含む大規模な土木構造物は公共事業として建設されることが多く、事業者や企業体自らの責任において設計し建設されているのが一般的である。ILC 施設の建設プロジェクトに関しても、同様の手続きになる可能性が高いと見込まれている。

このため、このガイドラインは、ILC 施設の建設プロジェクトにおいて、計画段階ではナビゲータとしての役割を担うとともに、実施段階においては設計および施工管理のための基本的指針としての活用が想定されている。

なお、本ガイドラインは、土木学会が多岐の専門分野にわたる研究者や技術者を結集し4年の歳月をかけて策定したものである。土木学会に敬意を表するとともに、執筆された委員各位、並びに編集に当たり貴重な助言をいただいた多くの皆さまに、あらためて感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 土木学会 阪神・淡路大震災対応特別委員会, 土木構造物の耐震基準等に関する提言・解説(2000)
- [2] 朝倉俊弘, 山岳トンネルの地震被害メカニズムと耐震性向上に関する研究(2006)
- [3] 防災科学研究所, KiK-NET観測データを基に加筆(2012)
- [4] Palmstrom. A, Combining the RMR, Q, and Rmi classification system (2009).
- [5] 土木学会, 土木工事標準示方書・同解説 (2006)
- [6] 国土交通省・地域整備局大都市圏整備課, 大深度地下の公共的使用において配慮すべき安全の確保に関する調査報告書第2編 (2004)