

国際リニアコライダ（ILC）施設の土木工事に 関するガイドラインの策定

土木学会 国際リニアコライダ施設の土木工事にに関する指針策定委員会

本委員会では、ILC施設の土木工事にに関する課題や問題点に対して、現時点で考えられる対応策をガイドラインとしてまとめる計画である。3年間の委員会の中で初年度は、国際リニアコライダー小委員会の研究成果である「加速器建設の土木技術に関する調査研究報告書」を基にして、今後の活動の方向性や方針を検討している。このため、今回のパネル・ディスカッションでは、ILC計画の最近の動向を説明した後、土木技術に関する課題や問題点とガイドライン策定に向けた方向性についての議論を予定している。実際的な作業に入る前に、ILC施設や学会の関係者の皆さんから幅広い意見を戴き、今後の活動に役立てていきたい。

Key Words : *International linear collider, Collaboration between particle accelerator and civil engineering, Underground openings, Guideline for civil works of ILC*

1. はじめに

土木学会では、研究主体である高エネルギー加速器研究機構（KEK）の要請に応じて、岩盤力学委員会とトンネル工学委員会に標記小委員会を設立して、ガイドラインの策定に向けて調査研究を開始した。そして、国際リニアコライダー計画の技術課題を検討しているGlobal Design Effort（GDE）の活動が、技術検討書（TDR: Technical Design Report）を策定する段階に入ったのを受けて、ILC施設の土木工事にに関する課題や問題点に対して、現時点で考えられる対応策をガイドラインとしてまとめる。

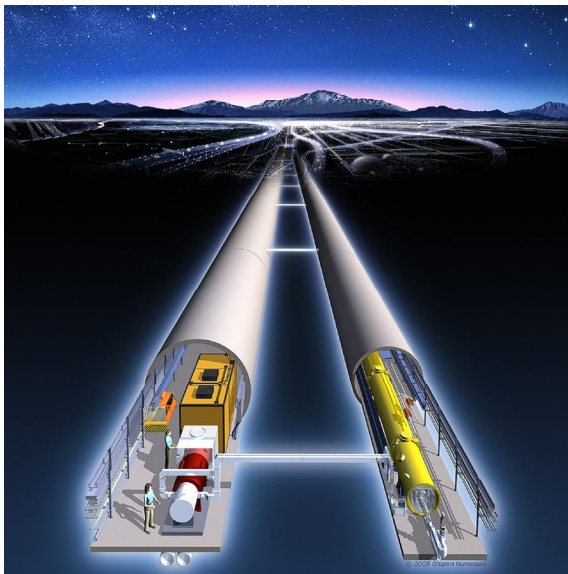


図-1 リニアコライダ概念図

本委員会では、ILC施設を日本サイトで施工することを前提にガイドラインの策定をすることになる、しかし、その成果が成果が多様化が始まった日本の地下空間利用施設や海外における地下空間を利用した加速器の建設にも役立つことを期待している。

2. 委員会

(1) 活動目的

本小委員会は、ILC施設（図-1）が日本に建設される場合を想定して、トンネルや地下空洞の建設に関する課題や問題点を整理し、現時点におけるガイドラインを策定する。

(2) 委員構成

委員構成を下記に示す。H22年度は、委員会の活動の方向性や方針を整理しているが、来年度は、実際的な活動を実施するに際して、表-1のような部会を設置する予定である。

表-1 小委員会の委員構成

氏名	委員（担当部会）	所属
近久 博志	委員長	山口大学
真下 英人	委員（計画・調査部会）	(独)土木研究所
西本 吉伸	委員（大空洞部会）	電源開発(株)
中野 清人	委員（TBM・山岳トンネル部会）	(株)高速道路総合技術研究所
岡部 治正	委員（防災部会）	(株)日建設計
宮原 正信	幹事	高エネルギー加速器研究機構
来山 尚義	幹事	復建調査設計(株)

3. 国際リニアコライダー計画の現状

(1) 計画概要

国際リニアコライダー計画（ILC：International Linear Collider）は、世界で一つの計画として推進することが2004年に国際的に合意された電子陽電子衝突型の将来加速器計画である。日本では1990年代はじめより“Japan Linear Collider”として世界に先駆けて研究が進められ、その後アジア各国物理学者の参加を得て“Global Linear Collider”へと展開し開発研究が進められてきた。

2005年以来、ILCの加速器設計のための国際設計チームとしてGDEが組織され、世界の100以上の研究所や大学から、数百名の加速器専門家や技術者及び高エネルギー物理研究者が参加し、ILC加速器の要素技術開発から加速器トンネルや実験施設を含む様々な分野の設計・開発作業が進められている。

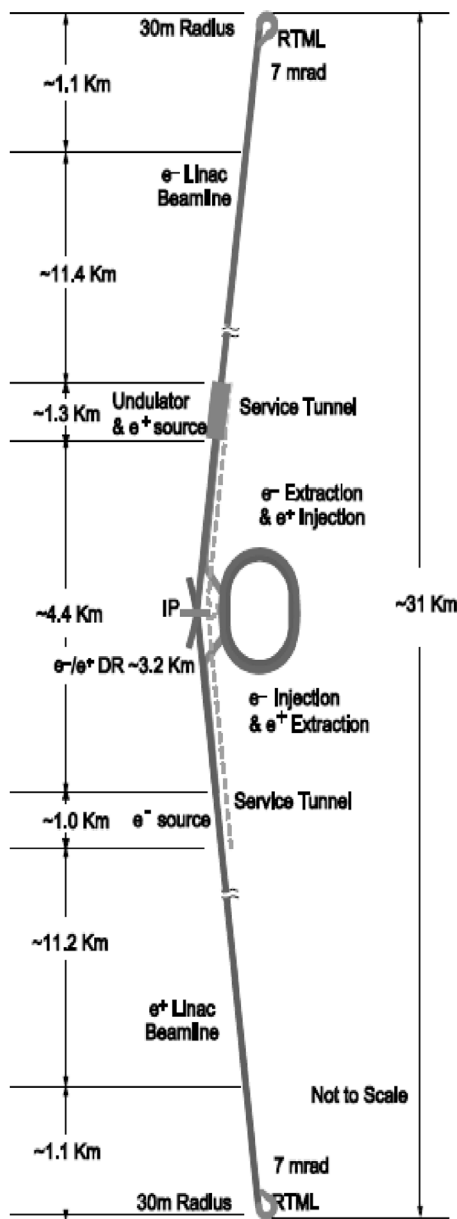


図-2 ILC計画施設の全体レイアウト (SB2009)

(2) ILCの施設計画

ILCが国際プロジェクトとして統合されてからの成果として、GDEは2007年8月に基本計画書“Reference Design Report” (RDR) を発表した。RDRは、ILCが目指す物理の指標や実験装置の素案をはじめ、加速器の基本パラメータから主要加速器施設の規模や一般構造・設備計画及び建設コスト概算に至るまでのプロジェクトの全体計画を網羅し、文字通りILC計画のベースラインと位置付けられている。

ILCの主要施設となる線形加速器は、図-2に示すように、全長約30kmの加速器トンネルで構成される。中央部には衝突点となる実験ホール空洞とダンピングリング等が配置される。メインライナックとしては、中央部を挟み電子加速器用と陽電子加速器用のビームトンネルが配置される。

RDRでは、加速器トンネルは加速器本体を設置するビームトンネルと加速器用電源設備等（クライストロン等）を収納するサービストンネルの、二本のトンネルを平行配置するダブルトンネル計画としている。比較的平坦な海外サイト案では、トンネルは地下約100m程度の深度に設置され、約2.5km毎に配置する立坑により地上施設と連結する。これに対し、起伏の多い山岳地帯での日本サイト案では、立坑のみならず斜坑トンネル方式によるアプローチも想定した計画としている。

現在GDEでは、大幅なコスト削減を図る観点から計画全体の合理化を目指しRDRの見直し作業に着手しており、2012年度末までにTDRを策定する予定になっている。地下施設面での最大の見直しポイントは、RDRのダブルトンネル方式（図-3, 4）からシングルトンネル方式への転換である。図-2に示す全体レイアウト（SB-2009）は、大型のクライストロンや高周波電源設備等を地上施設内に設置し、大口径の立坑を利用して地下のビームライントンネルに高周波や冷却水、ヘリウムガス及び電源等を供給するシステムである。

これに対し、山岳地域の複雑な地形条件を考慮した日本版シングルトンネル案（図-5）は、クライストロンを小型化し分散配置するDRFSシステムを前提に、全ての加速器装置を1本のメイントンネルに集約する案である。また、この日本案では避難誘導や冷却水、地下水排水の輸送機能等を果たすためにサブトンネルを併設するという独自の提案を行っている。現段階では技術的に克服すべき課題が山積しているが、ILC加速器としての高い要求性能を満たすと同時に、より柔軟で合理的な施設計画・設計を進めていく必要がある。

ILCは、文字通り国際的な最先端研究施設であり世界に誇れる計画として取りまとめていく必要がある。そのため、本計画施設が長大トンネルや大空洞といった土木工学に深く係わる地下構造物であることに留意し、土木工学の最新の知見を計画・設計に反映させていくことが極めて重要なことと考えている。

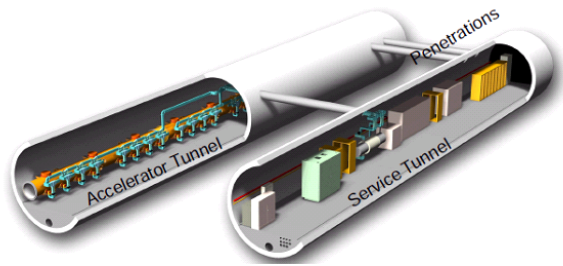
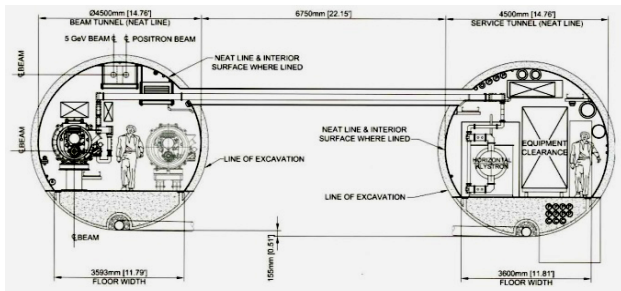
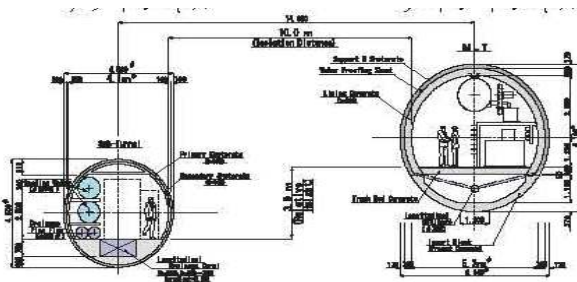


図-3 RDRにおける加速器トンネルの鳥瞰図



ビームトンネル サービストンネル

図-4 RDRにおける加速器トンネル構成



サブトンネル メイントンネル

図-5 日本版シングルトンネル案

4. ILC施設が日本サイトで建設されるとき の土木分野での課題

(1) 計画調査

計画立案上の課題は、大きくはトンネルの設置サイトに関わるものと施設の配置計画に関わるものが挙げられる。設置サイトに関しては、断層や破碎帯などの問題となる地形・地質をできる限り避け、維持管理が容易で周辺環境への影響が小さい位置に計画する必要がある。施設の配置に関しては、加速器トンネルと実験ホール空洞およびダンピングリングの交差部の配置計画、サブトンネルの配置計画、資機材や実験用機器の搬入・搬出のために使用されるアクセストンネルの配置計画が課題として挙げられる。特に、サブトンネルについては、加速器トンネルとの離隔、加速器トンネルとを結ぶ連絡坑の設置間隔、アクセストンネルについては、設備計画との整合を図った立坑と斜坑の選定、配置などの検討が重要となる。また、施設運用時の防災設備、作業環

境を確保するために必要な換気・照明設備などの配置計画も課題となる。

調査については、一般的なトンネルと同様に地山条件調査と立地条件調査が必要となるが、特にILC実験施設の運転には安定な地盤、自然振動、人工振動が少ないことが必要であるため、地震・断層に関する調査が課題となる。また、長大トンネルの掘削、長期にわたる維持管理の面からは地下水・水質環境に関する調査も課題となる。さらに、衝突実験ホールでは、設備設置箇所の変位が十分に小さいことが要求されるため、地殻変動に伴う変位や岩盤のクリープ変形の有無に関する調査も課題となる。また、ILC実験施設は、延長が約30kmにおよぶ直線状のトンネルおよび地下発電所に匹敵する大空洞からなる大規模な岩盤内構造物であることを考えると、効率的な調査方法、環境アセスメントの進め方なども課題となる。

(2) 大空洞

ILC実験施設には、加速した電子と陽電子を衝突させ、その物理現象を観察する大きな実験ホールが必要である。実験ホールには2種類の検出器が設置される予定であり、幅30m×高さ40m×長さ120mの規模とされており、大規模な地下発電所の規模に匹敵するものとなっている。

- 葛野川地下発電所
- 東京湾横断道路
- - - 衝突実験ホール
- 第二東名神トンネル
- 波方基地プロパン貯槽
- 標準的な2車線トンネル
- 菊間石油地下備蓄基地
- 波方基地作業トンネル
- 圏央道青梅トンネル

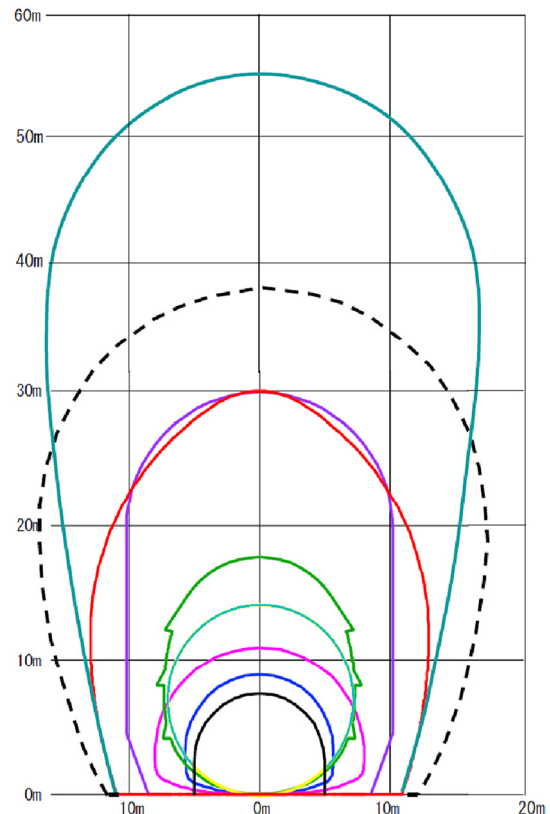


図-7 実験ホールとその他空洞の規模比較

また実験ホール以外にも、加速器附属設備や、加速器を運転のためのインフラ設備（電源、冷却水、極低温ヘリウム供給設備等）を設置する中小規模の空洞も必要となる。

これらの大空洞に要求されることは、①長期にわたる力学的安定性、②精密な物理実験を行なうための長期的な環境維持（湧水の処理や湿度管理）が必要と思われる。

既に、日本国内においては、地下発電所等の大空洞の開発経験は豊富であることから、所要の地質調査に基づき、良好な空洞位置を選定することにより、大空洞の掘削は可能であると考えられる。

ただし、国内において、この実験設備がどの法規制下で開発されるのか、現時点では明確ではなく今後の検討事項となる。

従来の地下発電所等の大空洞開発の経験を通じて得られた知見を反映し、岩盤工学の視点から適正な設計ができるような進め方が必要である。

そのためには地下発電所等の大空洞の設計事例や供用段階の挙動を体系的に整理しておくことが重要であると思われる。

(3) トンネル

ILCにおけるTBMの施工に関する課題は、高速掘進を阻害する要素の排除、または対策を中心に検討を行ってきた。堅固な岩盤を掘削する条件とし、一部は切羽の崩壊を伴う風化部、熱水変質を受けている岩体、さらに大量湧水区間などトラブルに遭遇することを前提として対策を事前に用意しておくことが重要である。

具体的には高速掘進については、特に施工中の前方探査によって地質不良部を予測し、対策の検討を早く行うことによって実現性が高まる。施工中の切羽前方探査として中・長距離（100～200m）を対象にしたTSP等波動を媒体とする方法がある。この手法を用いて切羽前方の地質を調査することにより、TBMのトラブル要因となる脆弱部の存在の有無が三次元的に判定できる。しかしながら、脆弱の程度や地下水の状況を判断することは難しい。そのためこの調査で不良地山が想定された区間で脆弱部の数十m手前で削孔検層することにより、切羽到達前の地山強度や地下水の状況を把握した上で、地山補強や地下水対策などの補助工法の必要性の判定が可能となる。これらを繰り返すことにより、TBMの掘削を順調に進めることができる。

この他、ジオイドで掘進するため、湧水の自然流下が困難であることから、突発湧水に伴う安全管理について事前に十分に検討しておく必要がある。工程管理上は最短工程とするだけでなく、サブトンネルをメイントンネルの地質予測のための先進坑となるようにメイントンネルより先進させることが必要である。

斜坑や立坑などのアクセストンネルの施工については、山岳トンネル工法を採用し、全体として効率的な施工計画を検討していく必要がある。

(4) 防災

ILCは通常の類似土木構造物（道路トンネル、鉄道トンネル等）とは空間の利用方法が大きく異なるため、防災に関する考え方も独自の考え方が求められる。一方、既存のKEKB加速器やJ-PARCとは規模（長さ）や設置レベルは異なるものの、空間の利用方法はほぼ同一である。そこでこれら既存加速器施設の防災の考え方をベースに、長さ約30km、深さ数百mという長大構造物であることを加味して防災の方針を検討する必要がある。

ILCで想定される主な災害としては、火災、ヘリウムリークであるが、つぎのことが主たるテーマとなる。

- ①「災害が起こらないような工夫」、
- ②「災害が起こったときの人の避難」、
- ③「災害の沈静化」

このうち②の人の避難については、「計画上の工夫・対策」が検討されつつあるが、現時点で想定される主な工夫と対策はつぎのようになる。

- ・メイントンネルとサブトンネルとに分離——火災、ヘリウムリークの原因となりえる設備をメイントンネルに設置し、サブトンネルを避難に使えるようにする。
- ・メイントンネルとサブトンネルは約600mごとの接続し、避難計画の安全性を検証する。
- ・5,000m毎に設置されたアクセストンネルによって、サブトンネルから地上へ避難できるような避難計画を検討する。
- ・「すばやく安全な地上へ避難する」ことを基本に、避難計画を立てる。このとき、かなり長い間(最長2,500m)サブトンネル内を移動することになるため、サブトンネルは、メイントンネル内の災害の影響を受けないように両者は確実に区画された構造とする。

4. おわりに

本小委員会は、ILC施設の土木工事に関する課題や問題点に対して現時点で考えられる対応策をガイドラインとしてとりまとめようとするものである。このパネルディスカッションでは、今後の委員会活動に関して、ILC施設や学会の関係者から幅広い意見を頂き、今後の委員会活動に役立てていきたいと考えている。

ILC計画の実現に向けた積極的な意見と今後の部会活動へのご協力をよろしくお願いします。