

国際リニアコライダー計画と土木技術

土木学会／岩盤力学委員会・トンネル工学委員会／ リニアコライダー土木技術研究小委員会

1. はじめに

国際リニアコライダー（ILC）プロジェクトとは、宇宙の起源と素粒子の謎を解き明かすための研究拠点を造ろうとするものです。その施設は地下に建造され、主要部は全長約 50km の 2 本の直線トンネルと大規模地下空洞で構成されている。そして、これが完成すると史上最大の地下のハイテク施設となり、世界から頭脳が集結する人類の知のフロンティア拠点になる。特に、この研究施設は、世界で一つだけしか建造されないため、現在、世界的な協力体制で実現に向けた設計が進められている。建設場所はまだ決まっていないが、米国を初めとする各国が自国への誘致を目指すことを表明しており、今後国際的な議論が進むと予想される。そして、こうした中で、アジア地域では日本が重要な候補地として多くの国々から期待されている。

このプロジェクトにおいて、わが国の物理学、加速器、機械設備およびシステムに関しては世界的にも高い評価を受けている。しかしながら、この施設を設計するためには、地質や土木工学の専門的視点が必須となる。特に、日本での建設に関しては、山岳地域で複雑な地質を特徴とする日本サイトの可能性や有効性を論証する必要があり、岩盤工学やトンネル工学の協力なくして、日本への誘致はあり得ない状況にある。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（鈴木厚人機構長、高エネルギー加速器研究機構）の協力要請に答えて、本年 4 月、岩盤力学委員会（西脇芳文委員長、東電設計㈱）とトンネル工学委員会（矢萩秀一委員長、東京地下鉄㈱）が連携して“リニアコライダー土木技術研究小委員会（清水則一委員長、山口大学）”を設

立して土木工学分野における研究協力を開始した。

この活動は、わが国の物理学と土木工学が連携した初めての研究となる。そして、世界の新しい科学技術拠点の創出と今後の世界的科学技術の発展に関して、土木工学の貢献が期待されている。

2. リニアコライダー土木技術小委員会の活動

2-1 全体の活動概要

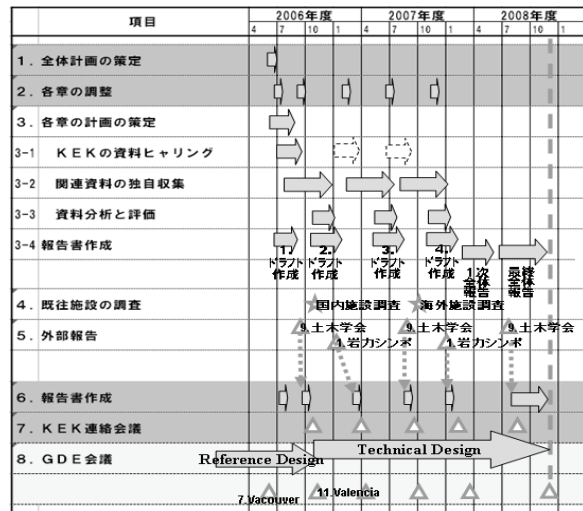
KEK では、これまで独自に有識者や専門会社からの応援や協力を得ながら、さまざまな検討がなされてきており、多くの関連資料を作成してきている。今回、土木学会では、共同研究として、これまで KEK によって作成されてきた資料と独自の資料を基にして、上記目的を達成するために、“国際 LC 計画と土木技術 ―その現状と課題―”としてまとめることを予定している。

本報告書では、LC 研究施設を日本に誘致する場合の現時点における課題と可能性のある対応策について、整理・検討することを予定している。また、活動成果の一部は、国際 LC 計画の技術課題を検討している国際設計チーム（Global Design Effort）での活用も視野に入れており、本小委員会での活動結果が、研究施設の日本誘致に役立つことを期待している。しかし、一方、本小委員会では、土木工学を活用した国土利活用の活性化、それに付随して岩盤工学のさらなる発展と学会活動の活性化も目的にしており、今後の同種の工事やニーズ対応型の学会活動に関する議論も行いたいと考えている。

このような内容の委員会活動に関して、短期間の呼びかけにも拘わらず 59 名もの土木学会員が自主

的に参加を希望し、それぞれの専門的な立場から積極的な調査研究活動を実施している。

表－2.1 LC 小委員会の全体活動工程



表－2.2 LC 小委員会の委員

	氏名	所属
委員長	清水 則一	山口大学工学部社会建設工学科
幹事長	近久 博志	山口大学地域共同研究開発センター
①計画・マネジメントWG		
主査	大津 宏康	京都大学大学院経営管理研究部
幹事	福田 和寛	清水建設(株) 土木技術本部 技術第2部 岩盤空洞グループ
	井上 誠	日本工営株式会社 首都圏事業部 総合技術センター
	佐野 信夫	中日本高速道路㈱ 中央研究所 トンネル研究室
	島 和彦	鉄建建設(株)エンジニアリング本部土木技術部
	下河内 隆文	(株)竹中工務店 原子力火力本部
	長 秋雄	産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門
	鶴田 正治	九州電力株式会社 土木部 技術・環境グループ
	南部 茂泰	東京電力(株)土木 建築技術センター 地下構造技術グループ
	榎本 哲	東京電力(株)建設部
	服部 修一	独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構
	福原 明	電源開発㈱エンジニアリング事業部
	真下 英人	(独)土木研究所
	南 博行	東京電力(株)建設部土木 建築技術センター
②調査・試験・環境アセスWG		
主査	市川 康明	名古屋大学環境学研究所都市環境学専攻
幹事	関根 一郎	戸田建設株式会社 岩盤技術部
	青木 智幸	大成建設(株)技術センター 土木技術研究所
	石塚 志雄	清水建設(株)技術研究所インキュベートセンター
	今吉 隆	株式会社阪神コンサルタンツ 大阪技術本部
	岩橋 敬広	首都大学東京大学院都市環境科学研究所都市基盤環境工学専攻
	梶子 清二	株式会社奥村組技術研究所
	大田 岳洋	鉄道総合技術研究所 防災技術研究部 地質
	加藤 豊寛	ジオテックス 株式会社 ジオサイエンス事業部
	塚口 秀一	西松建設(株) 土木設計部設計課
	津崎 高志	(株)開発設計コンサルタント 土木事業部第2グループ
	村山 秀幸	株式会社フジタ 技術センター土木研究部
	山地 宏志	三井住友建設(株) 技術研究所 土木研究開発部
③設計・環境設計WG		
主査	市川 康明	神戸大学工学部建設学科(土木系教室)
幹事	武内 邦文	(株)大林組 土木技術本部 技術第四部
	宇野 晴彦	東電設計株式会社 技術開発本部
	倉持 秀明	パンフィックコンサルタンツ株式会社 交通事業本部
	武内 秀木	五洋建設株式会社 技術研究所
	中村 隆浩	戸田建設株式会社 岩盤技術部
	平川 芳明	㈱ニューチェック 地圏グループ 地圏環境チーム
	森岡 宏之	日本原子力研究開発機構(東京電力(株)から出向中)
	山本 力	(独)水資源機構 総合技術推進グループ
	横崎 昭将	不動建設株式会社 土木事業本部 技術統括部
	横辻 幸	北海道電力(株)土木部 土木エンジニアリンググループ
④施工・メンテナンスWG		
主査	佐野 信夫	中日本高速道路㈱ 中央研究所 トンネル研究室
幹事	笹尾 泰夫	鉄建建設(株)エンジニアリング本部 土木技術部
	石山 宏二	西松建設(株) 技術研究所 土木技術研究課
	井田 隆久	(株)鉄高組 技術本部
	井上 博之	前田建設工業(株)土木技術部トンネルグループ
	大森 雅敏	五洋建設(株) 技術研究所
	橋高 豊明	(株)奥村組 技術本部 土木部 山岳トンネル・ダムグループ
	村口 和雅	(株)鴻池組 大阪本店 土木技術部 技術課
	四室 成実	(株)熊谷組 土木事業本部土木設計部 原子力・エネルギー施設グループ
	鈴木 祥二	東急建設(株) 技術本部 土木エンジニアリング部 トンネルグループ
	須藤 敦史	(株)地崎工業 技術部
	西村 和夫	首都大学東京 都市環境学部 都市基盤環境コース
	松尾 勝弥	飛鳥建設(株) 土木本部
	三河内 永康	(株)フジタ 土木技術統括部トンネル・トンネル部
	森 義仁	(株)大林組 技術本部 エンジニアリング部
	山田 和男	(株)竹中土木 技術本部 開発グループ
	朝家 邦泰	大成建設(株) 土木本部土木技術部
⑤海外情報調査WG		
主査	清水 隆文	宇都宮大学建設学系建設工学コース
幹事	日比谷 啓介	鹿島技術研究所
	亀村 勝美	大成建設(株)原子力本部
⑥企画運営WG		
委員長、幹事長、主査、幹事から構成		

こうした背景を勘案して、本小委員会を、次のように分けて、活動する。

- ① 計画・マネジメント作業部会 (大津主査、福田幹事)
- ② 調査・試験作業部会 (市川主査、関根幹事)
- ③ 設計・環境設計作業部会 (芥川主査、武内幹事)
- ④ 施工・メンテナンス作業部会 (佐野主査、笹尾幹事)
- ⑤ 海外情報調査作業部会 (清水主査、日比谷幹事)

加えて、これらの活動を横通して調整する企画運営作業部会を設置して調査研究活動を実施する。

2-2 目的

本小委員会では、つぎのことを目的に、今後の同種の共同研究や技術支援の要請を視野に入れながらも、ILC 研究施設を日本誘致するために、学会として日本の最新の土木技術を駆使してこの施設の計画・設計や施工を研究していくことになる。

- 1) 土木工学を活用した国土利活用の活性化
- 2) 日本における岩盤工学を活性化
- 3) 土木工学の技術的観点から、ILC 研究施設の日本への誘致の可能性を向上

3. 計画・マネジメント作業部会

3-1 活動方針

本作業部会を、大きく計画とマネジメントの副作業部会に分けて活動することとした。

(1)計画副作業部会：

加速器トンネル、ユーティリティ・トンネル、地上設備、衝突実験ホール、地上と地下との連結トンネル、作業トンネル等の諸元を検討し、施設構成を明らかにする。また、仮設定したサイトとその地質環境条件を基にして、ILC 施設の計画上の課題を抽出し、検討する。

(2) マネジメント副作業部会：

既往の大型プロジェクトにおける建設マネジメントやリスクマネジメントの実態を調査し、ILC 建設における建設マネジメント・リスクマネジメントの課題を抽出し、検討する。

3-2 当面の活動工程

つぎに、本作業部会の活動工程を示す。

表-3.1 計画・マネジメント作業部会の活動工程

	2006.				2007.				2008.			
	4.	7.	10.	1.	4.	7.	10.	1.	4.	7.	10.	1.
計画 SWG.		KEKヒアリング 課題抽出										
マネジメント SWG.		資料収集 課題抽出										
報告			十木学術 岩カシノボ									報告書完成

3-3 活動の近況報告

ILC の現状、当作業部会の検討範囲、施設内容に関する質疑を行った。しかし、ILC に関する知識が不足していることが認識されたため、KEK より提示されたBCD(The International Linear Collider Global Design Effort Baseline Configuration Document)に関する理解を深めることを申し合わせた。

つぎに、副作業部会の担当を示す。

1) 計画副作業部会：

- ・サイト条件評価、仮レイアウト
- ・地上施設、ユーティリティ・トンネル
- ・加速器トンネル、衝突実験ホール

2) マネジメント副作業部会：

- ・建設マネジメント
- ・リスクマネジメント

計画副作業部会では、当面、BCD などの利用可能な既存資料に基づき仮レイアウトを行い、計画上の課題抽出を行うこととした。マネジメント副作業部会に関しては、検討可能な項目を整理することとした。特に、リスクマネジメントについては、サイトを特定しなければ具体的な検討ができないので、検討に困難が伴うとの意見が出された。

つぎに、BCD に示されたわが国の ILC 施設の仕様・寸法に関するいくつかの模式図を紹介する。

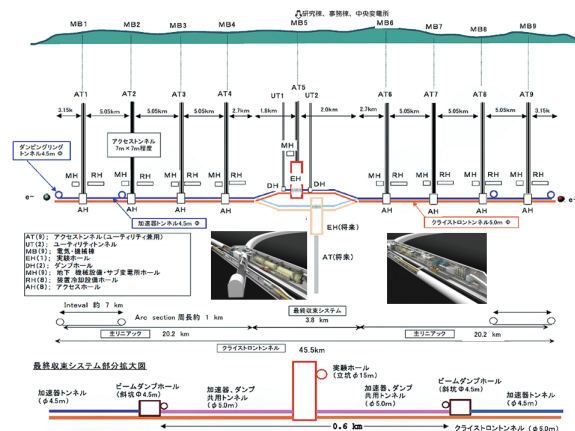


図-3.1 ILC 研究施設の構成

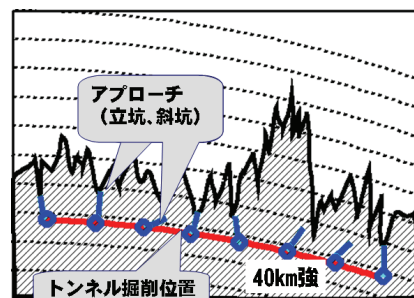


図-3.2 わが国におけるトンネル縦断

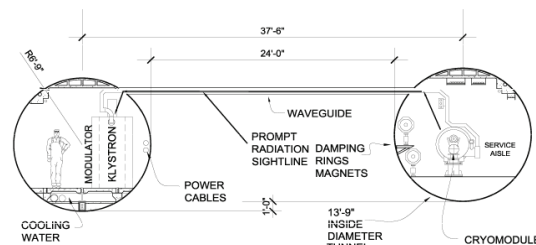


図-3.3 トンネルの標準断面

4 調査・試験作業部会

4-1 活動方針

ILC プロジェクトの調査・試験フロー、調査・試験項目などがどうあるべきかを検討するとともに、調査段階での技術課題を取り上げ、土木学会での技術の蓄積を生かして検討を加えることにより、ILC プロジェクトの実現に寄与することを目的とする。そして、技術課題としては次の項目を取り上げ、副作業部会を組織して調査検討を進める。

- 1) 地震・断層副作業部会
- 2) 地下水・水質環境保全副作業部会
- 3) 長期変位副作業部会
- 4) 調査法副作業部会
 - ・既存資料調査後、必要に応じて副作業部会編成の見直しを行なう。
 - ・ボランティアベースの委員会活動で解決できない重要な課題があった場合、その旨をあげる。

4-2 活動工程

つぎに、本作業部会の活動工程を示す。

表一4.1 調査・試験作業部会の活動工程

SWG	2006年度				2007年度			
	4	7	10	1	4	7	10	1
地震・断層SWG								
地下水・水質環境保全SWG								
長期変位SWG								
調査法SWG								

4-3 活動の中間報告

(1) 地震・断層副作業部会

わが国は環太平洋地震帯の地殻変動が盛んな地域に位置している。ITER（国際熱核融合炉）の誘致活動の際には、日本には地震が多いことが建設地点としては相応しくない理由のひとつとされた。このため、ILC 施設を日本に誘致するためには、地震・断層が多くても、建設や実験に問題はないという回答を用意する必要があると考えられる。例えば、活断層の確実度とその ILC と建設位置の関係などを踏まえて、地震や断層活動の ILC の運転への影響度合いについて検討する。ILC の運転に影響が少ない場合には、その根拠を簡潔にまとめる。

◇ 活断層の確実度と ILC

- 確実度Ⅰ： 活断層の存在が確実なもの
- 確実度Ⅱ： 疑いがあるが基準地形がないなど、決定的な理由がないためにⅠよりは確実度が低いもの
- 確実度Ⅲ： 活断層以外の地質現象も考えられ、可能性が小さいもの

今後、設計作業部会で、中越地震などの地震時のトンネル被害を調査し、断層部のトンネル設計を検討予定である。重複作業が多くなるので可能なところは共同で作業する。放射性廃棄物処分施設に関する公開資料などを参考とし、地震・断層の影響をまとめる。

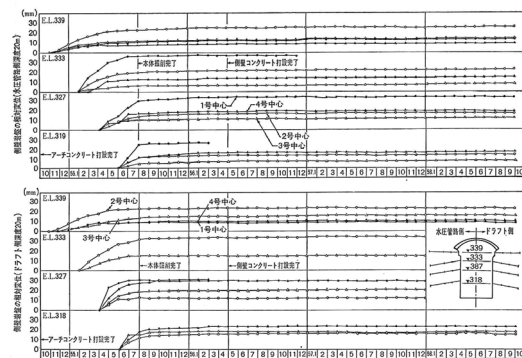
(2) 地下水・水質環境保全副作業部会

加速器施設には、湧水が放射化するという特殊な問題がある。ILC 建設の有力候補として挙げられている花崗岩帯では、破砕帯からの高圧・大量湧水が生じる場合や重金属などの水質問題が生じるケースがある。地下水の問題は実験の実施に大きな影響を与えるので、大量の湧水や水質問題を中心に、湧水に関する調査法および対策方法を検討する。

今後、トンネル等施設からの湧水が問題になった事例の調査を行い、湧水対策および地下水の水質環境保全対策をまとめる。

(3) 長期変位副作業部会

ILC では、横 500nm、縦 5nm の極細の電子ビームと陽電子ビームを衝突させる。このため実験ホールの床面は、安定であることが求められ、年間変位量が数 mm 以下であることが望まれる。空洞掘削による空洞底版の長期変位が ILC の運転に影響を与えるほど大きいことはないかどうかを検討する。そして、地下発等大型空洞やトンネルなどの既存施設の長期変形データを入手、検討する。岩盤のクリープ的挙動に関する研究事例を調査し、ILC に与える影響を検討する。土木構造物としては問題にならない程度の微小な長期変形の計測例を図-4.1 に示す。



図一4.1 地下大空洞の長期変位計測(下郷発電所)

(4) 調査法副作業部会

ILC の地下施設、特に比較的土被りの小さな大空洞、TBM による長大トンネルの建設に当って、事前調査はどのようにあるべきか検討し提言する。環境アセスメントを円滑に実施することはプロジェクトの遂行上重要なので、環境アセスメントの実施項目やスケジュールなど全般的な調査も対象とする。今後、地下発等大型空洞やトンネルの調査、環境アセス事例を入手整理する。ILC 地下施設の事前調査のフロー、調査、環境アセスメント項目等を検討し、まとめる。

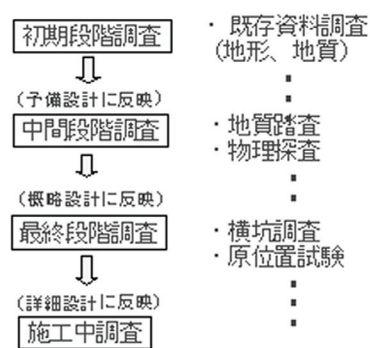


図-4.2 事前調査の流れ(実験ホールの場合)

5. 設計・環境設計作業部会

5-1 活動方針

つぎに、本作業部会の活動方針を示す。

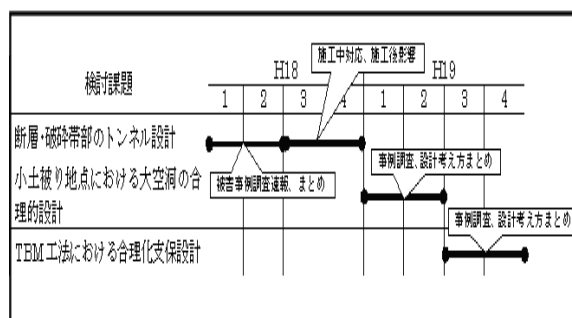
- 1) プロジェクトの初期段階における設計としては、その中で学会活動であることやわが国に ILC 施設を立地するために重要と考えられる検討課題に絞ることとする。
- 2) 設計検討項目を整理、検討した結果、ILC 施設に重要な以下の課題を学会活動として取り上げることとする。
 - ① 地震・断層破碎帯部のトンネル設計
 - ② 小土被り地点における大空洞の合理化検討
 - ③ NATM や TBM 工法における合理化支保設計
- 3) 学会活動として当面上記課題を中心に具体的な調査検討を進めるとともに、ILC プロジェクトの推進にハードルとなる具体的な設計課題が

明らかになった場合には、それを検討するようにする。

5-2 活動工程

つぎに、本作業部会の活動工程を示す。

表-5.1 設計・環境設計作業部会の活動工程



5-3 活動の中間報告

つぎに、活動内容を示す。

(1) 活動内容

- 1) ILC 施設における地震・断層破碎帯部のトンネル設計に資するため、以下の分類で手分けして既往トンネルにおける地震被害事例調査を実施し、約 30 件の地震被害事例を集約しまとめた。

- ① 兵庫県南部地震
- ② 新潟県中越地震
- ③ その他の地震

- 2) 地震被害調査に際しては、つぎのことを前提にして、ILC 施設に関連する知見を抽出、整理する。

- ① 岩盤内に建設されたトンネル等の地下構造物を対象とし、トンネルが建設された地質構造条件等の概要を記入する。ただし、地震被害のうち坑口斜面に関連するものは除くこととする。

- ② 事例調査に際しては、地震名称、発生時期、規模・震源、関連断層等を分かる範囲で明示し、一つのトンネルでの被害事例をまとめる。

- ③断層または破碎帯に関連する覆工等の被害状況、地震により生じた変位量(沈下量の場合もある)等について特に注意して調査する。

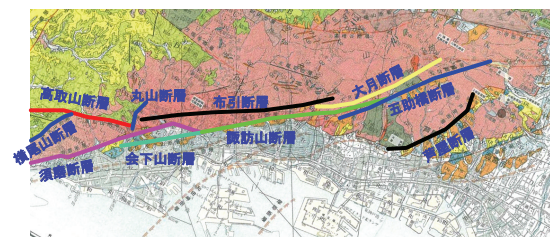


図-5.1 兵庫県南部地震時に動いたと考えられる断層

(2) 活動成果の概要

1) 兵庫県南部地震

- ① 当該地域内の約 10%程度のトンネルで覆工破壊等の地震被害を受けた。
- ② 岩盤トンネル被害は活断層を多く含んでいるにもかかわらず、地上構造物の被害に比べて、軽微な剥離、クラック程度であった。
- ③ 典型的な覆工被害の事例として、輪切り状ひび割れの状況を図-5.2 に示す。

表-5.2 兵庫県南部地震によるトンネル被害

トンネル名称	トンネル概要	地質条件	主な活断層	被害状況	LCプロジェクトに向けた知見
六甲トンネル (1970年竣工)	延長約16.25km 幅 11m 高さ 8.6m	花崗岩	岩屋断層 五助橋断層 大月断層	覆工に大抵約100箇所変位被害発生。コンクリート塊の剥離、クラックが発生	トンネル上部の地盤に被害発生。トンネルには大きな変位はなかった
熊鷹トンネル (1990年竣工)	延長 1743m	花崗岩	五助橋断層 大月断層	五助橋断層部に変位発生。大月断層部は鉄筋コンクリートと覆工の一部が剥離し鉄筋露出、構造物自体は発生	2箇所の断層部で被害発生。トンネルには大きな変位はなかった
東山トンネル (1928年竣工)	延長 141.43m	大阪層群	会下山断層	断層口付近で10mm程度に達する数本の輪切り状のクラック発生。ほぼトンネル全線で目視確認できるクラック発生	トンネル全線でクラックが確認できる。ほぼトンネル全線であるが軌道変位はなし
塩屋谷川放水路トンネル (1985年竣工)	延長 1442m 幅 7.4m 高さ 7.4m	花崗岩と神戸層群の境界	横尾山断層	横尾山断層部、輪切り状のクラック発生。トンネルの上下に5cm、左右に10cmのズレが発生	岩盤に変化する断層では、設計時注意が必要
布引トンネル (1983年竣工)	延長 約3km 幅 9.5m 高さ 7.6m	花崗岩	諏訪山断層	若干のクラック・剥離の他、断層部の一部で長さ5mに及び幅の約3cm、厚さ10~15cm剥離が発生	破砕帯や風化が進んだ花崗岩であるが、トンネルは軽微であった
舞子トンネル (1997年竣工)	延長 約3.3km 幅 16m 高さ 11m	未固結しき質大阪層群花崗岩	—	施工中の地震が発生したため、約10mのコンクリートで厚さ5cm、中継ぎはでの中継ぎ付コンクリートで厚さ10cm一部剥離が発生	土締めが弱い、固結地山条件下で施工したため、被害は軽微であった
新湊川会下山トンネル (1991年竣工)	延長 約670m 幅 6.7m 高さ 7.6m	大阪層群	会下山断層	坑門部で2cm程度の食い違いを伴うひび割れ、覆工に最大3mm程度のクラック発生	かなり古いトンネルであるため、被害は軽微であった

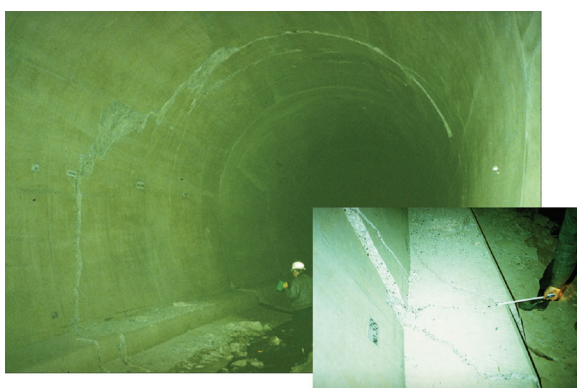


図-5.2 トンネル覆工のひび割れ
(塩屋谷川放水路トンネル)

2) 新潟県中越地震

- ① 岩盤内トンネルの地震被害は NATM で約 10%以下、在来工法で約 20%程度であった。

- ② トンネル被害は覆工の剥離や崩落はあっても、トンネル全体にわたる崩壊はなかった。
- ③ 主たる被害状況は、断層変位等地山変位にともなうもので、高周波地震成分による被害説もある。

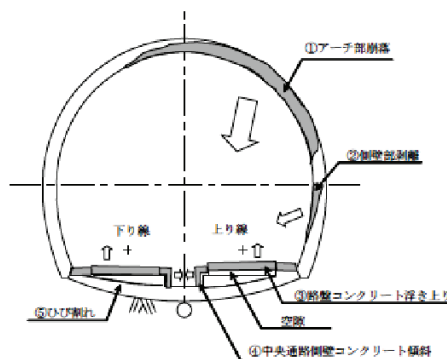


図-5.3 トンネルの変状状況

3) その他の地震

- ①被害メカニズムは断層変位、偏圧、不良地山で、覆工の被害状況は分類できる。
- ②一部の事例は地震活断層中を貫通しており、トンネル中心線のずれ等による覆工のひび割れなどの被害がある。
- ③ 地下空洞における地震観測結果から、地表に比べて地下は加速度観測値が小さい。



図-5.4 トンネルの被害状況



図-5.5 トンネルの舗装版のひび割れ

設計・環境設計作業部会につぎのように副作業部会を設置して、各メンバーが得意な分野を中心に調査研究を進める。

- ## 6. 施工・メンテナンス作業部会

(1) 重点検討課題

TBM による急速施工、不良地山遭遇時の対策、施工上の課題および解決方法を調査、検討する。

過去の施工事例を分析し、現状の技術レベルを整理する。そうした結果を基にして、ILC の施工条件をシミュレーションする。

本部会では、次のようなことを目標とする。

- ## ① ILC の地下施設に対する理想的な施工条件の提案

- ## ② コスト低減、工期短縮を実現する施工法の提案

① TBM の型式選定を行うための精度の高い事前
の地山調査法の技術開発

- ② 現段階では、確立されていない支保部材の材料や施工方法の経済性を追求した標準化
- ③ トラブルが懸念されるような不良地質の事前予測手法の確立と判定基準（予測値）の標準化
- ④ 不良地山区間における TBM の基本機能（起動時トルクアップ、前方探査・先受け工の施工性等）の整理と実現のための技術開発

つぎに、本作業部会の活動工程を示す。

施工・メンテナンスWG 活動工程

[illegible]

モデル立地、地質条件、要求仕様、設計等は、他作業部会が事前に決定することを前提とする。施工・メンテナンス作業部会独自の観点から最適と考える立地・地質・地形条件、レイアウト等を提案し検討する。

- 1) 加速器トンネル, サービストンネル

急速施工性，コストミナム（工費，メンテナンス費用，ランニングコスト，LCC 等）の観点から、ILC 計画を検討する。

- ## 2) 実験ホール

施工性、コストミニマム、メンテナンス等の観点から、ILC 計画を検討する。

- 3) 坑外仮設ヤード、アクセス坑

施工性、工期、工費等の観点から、計画を検討する。

- 4) その他

不良地山対策（断層・破碎帯，多量出水）、施工のIT化や情報化施工技術の高度化を検討する。そして、工事用アクセス坑道の形式を選定する。

このとき、一般的な記述を含めた網羅的な報告ではなく、対象とする建設工事に特有な課題を抽出し、その対応策について整理した報告書とする。

本作業部会では、これまで、つぎのような項目について審議した。

- ## ・施工・メンテナンス作業部会設置の経緯

- つぎに、日本における TBM の施工実績について、日本トンネル技術協会、「最新の TBM の実態および急速施工技術 平成 18 年 9 月」を紹介する。

対象:1995-2004 31TBM工事
(1964-2004 157件)
用途:21件 道路トンネル(導坑、避難坑)
6件 水路
4件 下水道
TBMの施工延長:
海外 6km以上
[TBM設計条件:
TBMライフ・掘削距離]

Response	Number of Cases
No	22
Yes	3

▼EISA型車

工車数

タイプ	工車数
オープン型	17
シーリング型	14

■シーリング型
■オープン型

タイプ	シーリング型	オープン型	合計
海陸両用型	7	6	13
火山型	6	1	7
原形	4	7	11

TBM型式	平均月進 (m/月)
オープン型	356.2
シールド型	260.6

Figure 5: Open-type TBM land use distribution. The pie chart is divided into five segments: a large purple segment (F) at 44.0%, a blue segment (G) at 26.8%, a light blue segment (D) at 17.7%, a small dark blue segment (H) at 5.1%, and a small orange segment (E) at 16.2%.

Figure 6: Shield-type TBM land use distribution. The pie chart is divided into five segments: a large purple segment (F) at 45.4%, a blue segment (G) at 12.6%, a light blue segment (D) at 11.5%, a small dark blue segment (H) at 15.9%, and a small orange segment (E) at 14.6%.

[illegible]

日降水量 (mm/day)

オープン年 11.5mm/日

シールド年 8.9mm/日

オープン年 (blue diamonds)

シールド年 (red circles)

	オフサイト型住居環境					シット型住居環境				
A	48%					48%				5.1
B	42%					42%				4.2
C	32%					32%				3.9
D	24%					24%				3.2
E	14%					14%				3.0

火成岩と堆積岩の
カット消費量の違い
は、硬さの違いによ
るものと考えられる。

堆積岩の方が、カット
消費量が少なく経済
的だ。

岩石の種類	火成岩 (CUTTING CONSUMPTION mm³/m²)	堆積岩 (CUTTING CONSUMPTION mm³/m²)
Granite	120	280
Sandstone	300	320
Limestone	420	880
Marble	520	580

カッタ交換時間には、TBM型式およびカッタサイズによる差は見られない。

④トラブル(地質)

表2 TBM停止要因とトラブル内容

TBM停止要因	トラブル内容
1. 崩落、先受け	・大塊岩によるツェンゴの故障 ・カッターヘッド磨耗が激しい、崩落、カッターヘッド回転不能 ・後継機と不適合、グリッドローラーが破損できない
2. 支保補強	・新巻ライナー型状 ・テール後部空間発生
3. 湧水処理	・切羽で湧水が湧出
4. TBM停機	・不良地帯におけるTBM停機
5. 地質調査	・前記調査ボーリングの誤謬

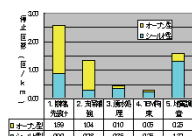


図12 TBM型式別トラブル要因と停止回数

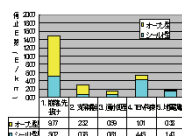


図13 TBM型式別トラブル要因と停止日数

オープン型は、シールド型に比べて、「崩落・先受け」、「支保補強」での停止回数、停止日数が多い。

オープン型は、ライナー類による崩落岩塊などの受け替えが難しいことが一因。

○ 機械設備(地質的トラブル対応)

地質的トラブルに対し、TBMを効率的に施工するために、①不良地山の探査(表3)、②探査結果に基づいた的確な対策工法の確立、③トラブル対策を行いやすいTBM本体、④本体仕様に見合った後続設備の開発を進める必要がある。

表3 前方探査方法の施工実績

調査方法	事例数	方法	事例数
a) 弾性波反射法	9	TSP	9
		HSP	0
b) 先進ボーリング(TSP併用)	24(6)	油圧割岩	14
		ロータリ・パーカッション	8
		ミゼットドリル	2

○ 国内の動向

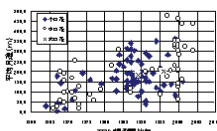


図16 掘削開始年別平均月進(径別)

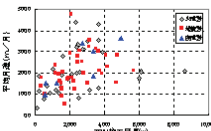


図17 施工延長別の平均月進(岩種別)

注) 平均月進は、掘削延長を実施工程の暦日数で除した後、暦日数30日相当の進捗に換算した

中口径(3.5-7.0m)TBMでは、平均月進450mを超える事例も出現。月進・施工延長等の指標で世界の水準に近づきつつある。

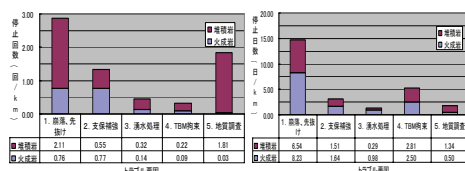


図14 地質別トラブル要因とTBM停止回数の関係

図15 地質別トラブル要因とTBM停止日数の関係

火成岩系では、堆積岩に比べて「崩落、先受け」による停止回数は少ないものの、発生したら大規模(長い停止日数)になっている。(⇒ほとんどがオープン型TBM)

[地質的トラブル予測: 地質データ、機械データの収集、分析手法の確立。予測値判定基準の標準化、ノウハウ]

7. 海外情報調査作業部会

7-1 活動方針

(1) 活動目標

海外が提案する ILC 施設の建設計画について、土木工学と岩盤力学の視点からの資料の収集と整理を実施する。

(2) ILC に関連する精密物理実験施設の国内外の建設事例の収集

Web などを利用して、海外の研究施設を中心に、ILC に関連した精密物理実験施設の地質条件や建設施工に関する情報を作業部会の構成員で検索し、その情報を作業部会内で共有する。

(3) 高エネルギー加速器研究機構(KEK)で検討された国内、海外のサイトの情報の収集

収集した情報を勉強しつつ、これまで KEK で検討された ILC 建設の既往資料の開示を依頼し、開示資料の整理・分析を実施する。そして、他作業部会の活動に必要な情報の収集を行うとともに、個々の作業部会の活動から得られた建設計画に関する情報の整理を実施する。

(4) KEK からのヒアリング

KEK から開示された資料について、ヒアリングを実施し、理解を深める。

(5) 整理・分析する情報

① 地下を用いて作られた物理実験施設の国内外の事例収集

施設名、設置国、建設の経緯(計画)、建設期間、使用目的、施設の特徴、地質構造の特徴、水理地質構造の特徴、環境影響評価の結果(環境に与える影響の評価)、関連する法制度、建設候補地の決定条件、必要とされた新規土木技術、施設から得られた実験成果

② ILC の国内外のサンプルサイトの整理分析

国名、地質の特徴、地質構造の特徴、水理地質構造の特徴、環境影響評価の結果、関連する法制度、建設候補地の選定理由、必要とされる新規土木技術

(6) 情報の公開

活動を通して得られた情報を整理して、土木学会の年次講演会などで発表し、最終的には、報告書にまとめる。

7-2 活動工程

図中に作業部会の活動工程一覧を示す。

- ・ 2006 年 9 月 年次講演会、2007 年 1 月 岩カシンポジウム、2007 年 7 月 岩の力学シンポジウムなどターゲットに、そのときまでの資料の整理と、今後の展望に関する資料を作成する。
- ・ 作業部会間で必要とされる情報を整理し、情報の収集、ヒアリングを実施する。
- ・ 最新の情報を得るため、適宜 KEK と連絡をとり、情報の更新を行う。

表-7.1 海外情報調査作業部会の活動工程

年	2006					2007												2008						
月	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
1.1 関連施設の検索																								
1.2 KEK からの情報収集						KEK に依頼																		
2. KEK からのヒアリング (1.2 の情報から時期を判断)						KEK と連絡して実施																		
4.追加調査(必要に応じて)																			調査、分析と整理					
報告書																			資料の整理					
イベント		○					○							○										

7-3 活動の中間報告

つぎに、これまで実施した活動内容を示す。

(1) 国内外の主要施設の資料収集

- ・ 海外の主要施設に関する資料を、Web などでも検索し、重要と考えられる資料を収集した。
- ・ 企画運営作業部会の活動(海外情報調査作業部会活動の一環)として、8 月上旬に KEK を訪問し、LC 研究会などの活動を通して、KEK で、今まで ILC について検討された資料の開示を依頼した。

(2) ILC 関連の資料の整理・分析

現状で、収集した資料、主に基本構成指針(BCD:Baseline Configuration Document, http://www.linearcollider.org/wiki/doku.php?id=bcd:bcd_home)を参考にして、ILC に関して日本と海外の動向について分析を進めた。

地質などの条件比較				
初期設計データ	アメリカ地域	アジア地域	ヨーロッパ地域 (CERN)	ヨーロッパ地域 (DESY)
加速器トンネル直径	4 m	3.2 m	3.2 m	3.2 m
保守用トンネル直径	4 m	4 m	4 m	4 m
トンネル深さ(概算)	120 m から 150 m	数十mから 200 m	基本 100m から 130m, 代替 30m から 130 m	7 m から 30 m
トンネル掘削方法	TBM	TBM	TBM および TBM/タビエの ドリフトトンナ	シールド、TBM および TBM/タビエの ドリフトトンナ
地 質	Galena-Platteville ドロサイト	山岳部の花 崗岩基盤	レマン平野の Molasse 砂岩	第四紀砂層、一部 泥灰岩
サイトの長さ	50km 以上	50 km 以上	50km 以上	50km 以上

(BCD: Conventional Facilities & Siting, 2006.Mar)

アメリカ地域のサンプルサイト



- ・ 8,000箇所以上のボーリングデータを取得。
- ・ TARPで地質上で問題となる箇所はない。
- ・ 同様の地質内に、直径2mから10.75mまでのトンネルを総延長162km掘削した実績あり。
- ・ トンネル延長の工事が最高で45%安値で落成された。
- ・ Galena-Plattevilleドロサイトの2倍近い強度を持つドロサイトを平均2.3m/時、55m/日で掘削可能なため、60m/日は可能と予測。

(http://www.aoca.org/monthlyproject0999.html) (Geology of the Greater Fermilab Region, 1996)

現状分析

アメリカ

- ・ Fermilabの周辺立地条件検討済み。
- ・ かなり詳細の地質データ収集済み。
- ・ 国家からの研究予算の増額が見込まれる。
- ・ 一国を挙げてのILC誘致を実施

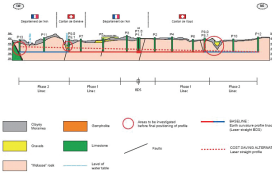
アジア地域

- ・ 日本国内のサイトとして適当な場所の絞り込みを行っている。
- 2006年6月に議員連盟立ち上げ。

ヨーロッパ地域

- ・ CERN、DESYがそれぞれの研究所の近くでILCの建設サイトを検討。

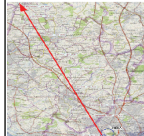
CERN のサンプルサイト



- ・ フランス、スイス国境をまたぐ構造
- ・ 地質: 砂岩層を対象(ガス、石油の有無を確認)。
- ・ 3本の断層
- ・ トンネル深さ30m~130m(コスト低減)
- ・ 2箇所の谷部の地質調査が必要
- ・ CERNのLHCと一部を研究設備を共同利用
- ・ CERNから440kVの電力供給可能。
- ・ ジュネーブ空港近傍。
- ・ 高速道、鉄道が利用可。

(BCD: Conventional Facilities & Siting, 2006.Mar)

DESY のサンプルサイト



- ・ ドイツ・ハンブルグ市近傍
- ・ 地質: 第四紀の砂層、一部泥灰岩
- ・ トンネル深さ7m~30m
- ・ DESYの研究設備を共同利用
- ・ DESYから110/220kVの電力供給可能。
- ・ 空港近傍。
- ・ 高速道、鉄道のネットワーク利用可
- ・ 立坑部の敷地は、国で買い上げる。
- ・ 地上の既存・歴史的建築物の保護が必要。

(BCD: Conventional Facilities & Siting, 2006.Mar)