

Technical Designステージに入った 国際リニアコライダー計画の現状と土木学会活動

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計画は、宇宙と素粒子の謎を解き明かすための世界的な研究拠点を作ろうとするものがある。その施設の主要装置は、粒子加速器と観測装置から成っているが、周辺環境からの遮断性や施設の直線性の確保などの理由から、現在、加速器やユーティリティを設置する全長約 50km の並走するトンネル（計画；内径 3.2m, 4.0m）と観測装置を設置する地下衝突ホール（計画；幅 35m, 高さ 40m, 長さ 80m）が計画されている。この施設は世界で唯一のものとなるため、誘致に意欲を示している日欧米間において誘致合戦も予想され、特に、日本に誘致するためには、日本サイトでの特徴となっている山岳地域で複雑な地質における施設実現の可能性や有効性を論証する必要があるとされている。2006 年 8 月に開催された日本加速器学会では、初めて加速器建設に関わる科学者や技術者が「加速器土木」のセッションを設けて、本格的な土木技術に関連する課題に関する議論を深めようとする試みがなされ始めた。ユーザとなる研究者と施設を建設する技術者や研究者とが一体となって研究していく必要があるとされている研究用の大型加速器、特に、リニアコライダー研究施設において、土木技術に関する期待やニーズが高いことが分かる。

土木学会では、2006 年 4 月に“リニアコライダー土木技術研究小委員会（以後、LC 小委員会）”を設立して、日本誘致への協力を推し進めるために、この施設の主要部分となる地下構造物の土木技術的課題についての調査研究と今後の展望を探っている。

今年になって、ILC 国際設計チーム（GDE）の作業は、Reference Design から Technical Design のステージへとよいよ本格的な計画設計段階に入ってきており、本小委員会の活動も具体的な内容の調査研究が求められるようになってきている。こうした時期をとらえて、LC 小委員会の全体会議を兼ねて、GDE をはじめとする関連活動の現状と各作業部会の活動報告をする。

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

土木学会の LC 小委員会では、“国際リニアコライダー計画と土木技術 ―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、ILC 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、ILC 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としており、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

項目	2006年度				2007年度				2008年度			
	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10	1
1. 全体計画の策定												
2. 各章の調整												
3. 報告書作成												
4. 各章の計画策定												
4-1 KEKへのヒヤリング												
4-2 関連資料の独自収集												
4-3 資料の分析と評価												
4-4 報告書作成												
5. 既往施設の調査												
6. 外部報告												
7. KEK連絡会議												
8. GDE会議												

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（清木主査，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。

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
	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	中日本高速道路株式会社 中央研究所 トンネル研究室
	島 和彦	鉄道建設(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 原子力電力本部
	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 茂樹	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
	橋本 昌	建設省 建設部
	関部 隆一	独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構
	福原 明	電源開発株式会社エンジニアリング事業部
	真下 英人	(株)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科都市環境学専攻
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ションセンター
	今吉 隆	株式会社阪神コンサルタンツ 大原技術本部
	岩橋 尚広	首都大学東京大学院都市環境科学部都市基盤環境工学専攻
	堀子 清二	株式会社奥村組技術研究所
	太田 岳洋	鉄道総合技術研究所 防災技術研究部 地質
	加藤 香寛	ジオテクノ株式会社 ジオサイエンス事業部
	坂口 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
	山崎 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	芥川 真一	神戸大学工学部市民工学科(土木系教室)
幹事	武内 邦文	(株)大林組 土木技術本部 技術第4部
	宇野 晴彦	東電設計株式会社 技術開発本部
	倉持 秀明	パシフィックコンサルタンツ株式会社 交通事業本部
	武内 秀太	五洋建設株式会社 技術研究所
	関口 高志	戸田建設株式会社 土木本部 岩盤技術部
	平川 秀明	株式会社ニッセイ 地圏グループ 地圏環境チーム
	森田 宏之	日本原子力研究開発機構
	山本 力	(株)水資源機構 総合技術推進グループ
	横崎 昭博	株式会社 不動テトラ 土木事業本部 技術統轄部 技術課
	横江 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	神高速道路総合技術研究所(NEXCO総研) 道路研究部 トンネル研究室
幹事	笹尾 香夫	鉄道建設(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 博敏	五洋建設(株) 技術研究所
	橋高 豊明	(株)奥村組 技術本部 山岳トンネル・ダムグループ
	坂口 和雅	(株)鴻池組 大原本店 土木技術部 技術課
	西室 成英	(株)熊谷組 土木事業本部土木設計部 原子力・エネルギー・建設Gr
	鈴木 洋三	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
	清藤 昭史	(株)地崎工業 技術部 土木研究員
	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
	澤井 昭則	神ハザマ技術研究所技術研究部 土木研究室
	松尾 勝彦	飛島建設(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」部
	森 嘉仁	(株)大日本 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
	柳家 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	清木 隆文	宇都宮大学建設学部建設工学コース
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
企画運営WG		
⑥企画運営WG:	委員長、幹事長、主査、幹事から構成	

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 2006 年度の調査検討

(1) 計画 SWG (SWG に関しては、平成19年度土木学会全国大会 研究討論会の資料参照)

サイト条件評価の一環として、わが国のサイト条件に関する地球科学的課題について文献調査を行った。その結果を、下記項目について整理した。

- i) 岩体の大きさ、ii) 活断層、iii) 地震発生域、iv) 地山の安定

(2) マネジメント SWG

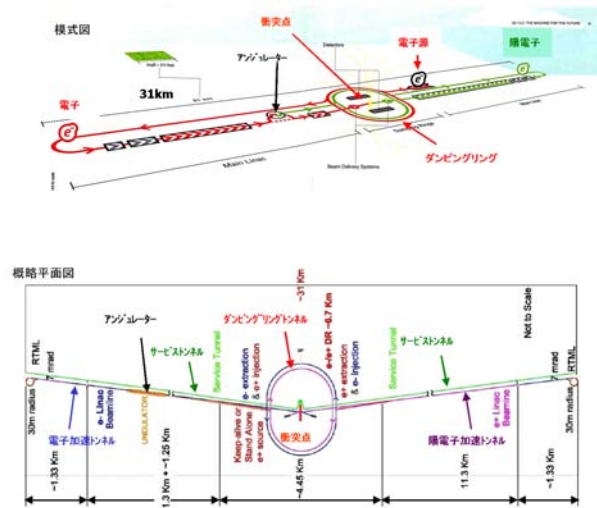
ILC施設の建設におけるマネジメントに関する課題について、プロジェクトリスクマネジメントの観点から検討を加えた。

3-2 2007年度の調査検討（計画 SWG）

地上施設・サービストンネル・加速器トンネル・衝突実験ホール・作業トンネルを計画する上での留意点の抽出を行う。

（1）Reference Design Report 2007（RDR2007）における施設計画の概要

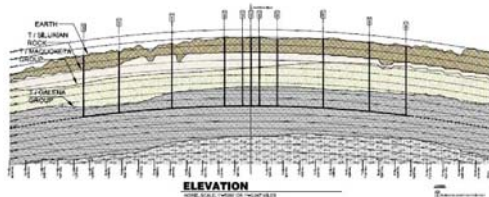
1）ILC RDR2007 の最新レイアウト



2）RDR2007 に示された3箇所のサンプルサイトとレイアウト

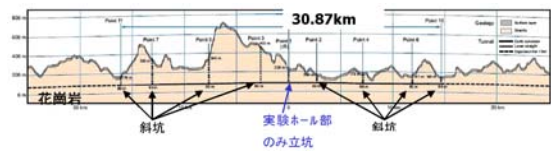
a) アメリカサイト（イリノイ州 Fermilab 近傍）

- ・地表面はほぼ平坦で、海拔200～275m.
- ・土被り30～100mの広域に広がるドロマイト岩盤中に、長大トンネル群が掘削される。



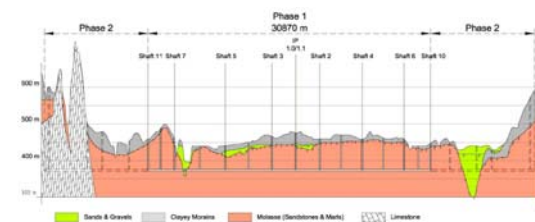
b) アジアサイト

- ・山岳地域で均一な地質の箇所を選定.
- ・地質は均一な花崗岩で、トンネル掘削に極めて適している。
- ・地表から地下へのアクセスは、中央の実験ホールが立坑である以外は、全て長い斜坑トンネルでのアプローチとなっている。

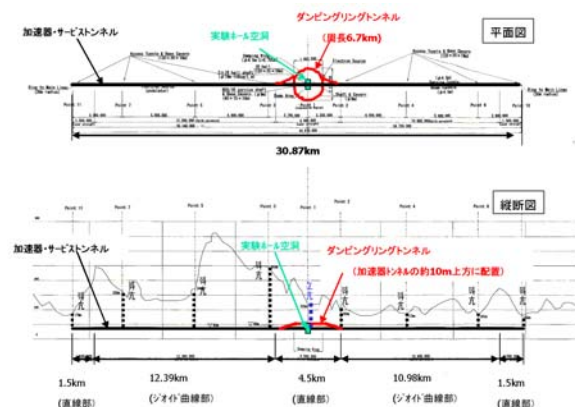


c) ヨーロッパサイト（ジュネーヴ CERN 近傍）

- ・不透水性の堆積岩中にあり、土被りは370m程度となっている。



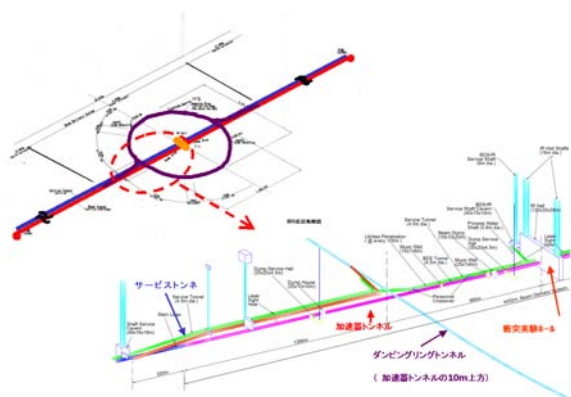
3）RDR2007 アジアサンプルサイトの情報から作成した施設詳細図



（2）ILCレイアウトと特有のトンネル・空洞仕様に 関する留意点

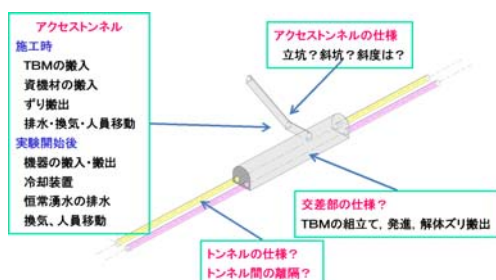
a) 大小複雑な構造の空洞と多様な立坑斜坑の最適配置

- ・大小複雑な構造の補助的空洞や多様な立坑・斜坑が接続、配置されていることから、施設建設のためには、トンネル・空洞群の統合、再配置など、施設計画の最適化が必要。



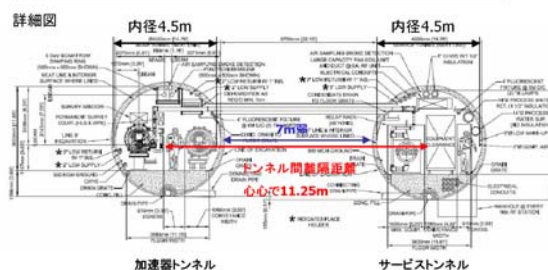
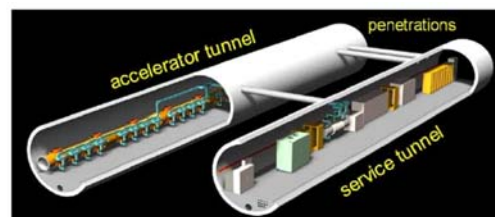
b) アクセストンネル・加速器トンネル・サービストンネルの仕様と位置関係

- ・建設時、運用時にそれぞれ多様な機能を必要とされるアクセストンネルが、加速器トンネル・サービストンネルと接続する。それぞれのトンネル仕様、接続、配置を適切に計画する必要がある。



(3) 加速器トンネル・サービストンネル仕様に関する留意点

- ・2つのトンネルの離隔距離（壁間で7m弱）は、力学的安定性及びサービストンネル内の作業員に対する放射線防護の観点から設定されている。
- ・2つのトンネルを結ぶ貫通孔の大きさは、放射線防護の観点から、十分に小さく設定される必要がある。
- ・防災（消防）避難に関しては、研究者の安全上、十分な考慮がされているか？



(4) 衝突実験空洞付近のレイアウトに関する留意点

a) 実験用アクセス

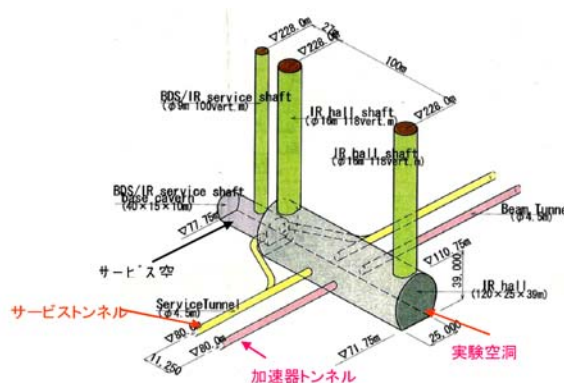
実験用機器の搬入・組み立てには立坑，斜坑のいずれが適切か？

b) 工事用アクセス

作業トンネルの仕様と配置，ならびに工期・工費を考慮した最適な施工法の検討が必要。

c) 地層・地質構造

加速器トンネルのレイアウトで空洞配置が決まり，不利な地質条件で大空洞を計画せざるを得ない可能性が生じる。

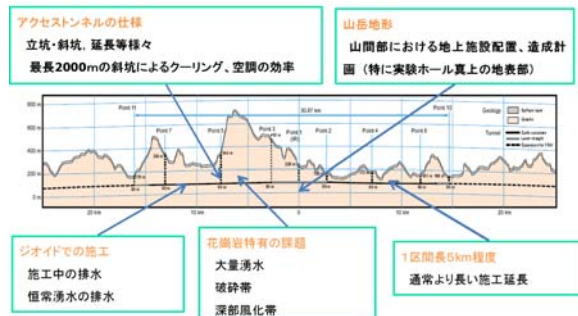


(5) ILC の日本での特殊条件を考慮した計画立案上の留意点

- ・アクセストンネルとして立坑・斜坑のいずれを選択するか，設備計画との整合を図る必要がある。
- ・山岳部において，地上施設は適切に配置できるか。特に，実験ホール直上部にヤードが確保で

きるか。

- ・花崗岩体中に建設する場合、花崗岩特有の課題について、設計、施工上の対策が必要になる。



以上に掲げた計画上の留意点は、それぞれ検討が必要となるが、施設の実現を妨げるものではない。

4 調査・試験作業部会

4-1 地震・断層 SWG

(1) 2006 年度の調査検討

下記項目について ILC と関係する基本的な情報を整理した。

- ① 断層の影響
- ② 地震の影響
- ③ 常時微動の影響

(2) 2007 年度の調査検討

1) ILC 施設に周辺活断層が及ぼす影響

活断層デジタルマップ（東大出版会2002）により活断層と ILC サイト候補の位置関係確認（4 サイト程度を予定）

2) 地下深部における地震動特性調査

（例：釜石鉱山における調査結果（電力中央研究所報告））

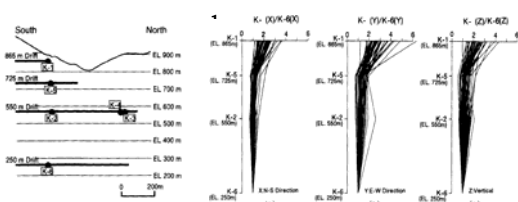


図-4.1 釜石鉱山における地下の最大加速度の比較

(Shimizu I 他 1996)

4-2 地下水・水質環境 SWG

(1) 2006 年度の調査検討

リニアコライダー施設用のトンネルに関する地下水に関する課題の整理

- ・地下水の放射化
- ・湧水の水質環境
- ・広域地下水流動

(2) 2007 年度の調査検討

- 1) 水文調査（坑内湧水、周辺環境への影響、竣工後の維持管理）
- 2) 水質環境調査（建設時の工事排水の水質、操業時の湧水排水の水質）
- 3) 地下水の放射化
 - ・水質環境調査

表-4.1 水質汚濁防止法による排水基準と環境基本法による環境基準

項 目	排水水の基準 (mg/L)	
	排出基準	環境基準
カドミウム	0.1	0.01
鉛	0.1	0.01
六価クロム	0.5	0.05
砒素	0.1	0.01
総水銀	0.005	0.0005
セレン	0.1	0.01
ほう素	海域以外の公共用水域に排出されるもの 海域に排出されるもの	10 230
ふっ素	海域以外の公共用水域に排出されるもの 海域に排出されるもの	8 15
		海域以外 海域
		1 適用外
		0.8 適用外

項目	超過井戸有りの自治体数
カドミウム	0
全シアン	2
鉛	70
六価クロム	12
砒素	256
総水銀	27
アルキル水銀	0
PCB	0
セレン	3
ふっ素	122
ほう素	54
計(重複有り)	546

※1 内訳においては項目ごとに集計しており、自治体がそれぞれ重複して集計されている。

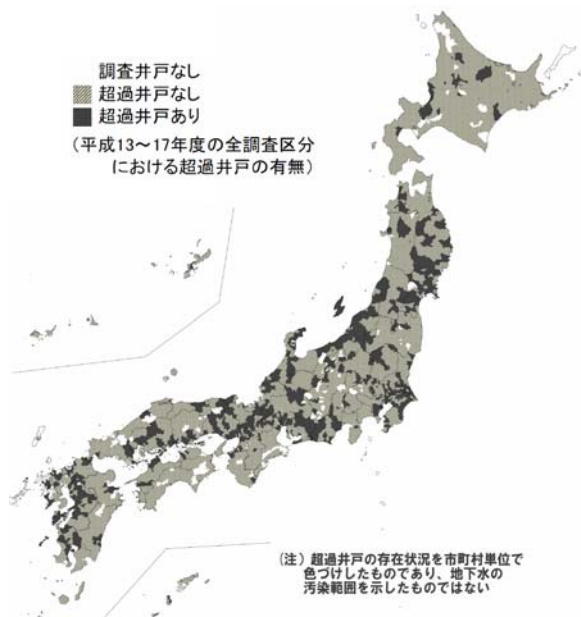


図-4.2 超過井戸の分布

4-3 長期変位 SWG

(1) 2006 年度の調査検討

- ・空洞・トンネル壁面（底盤）の長期変位

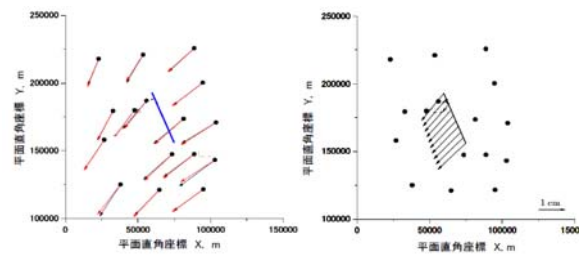
(2) 2007 年度の調査検討

- ・テクトニックな長期変位の影響は？

日本列島はプレートの動きにより広域的に変形している。ILC への影響は問題になるか？

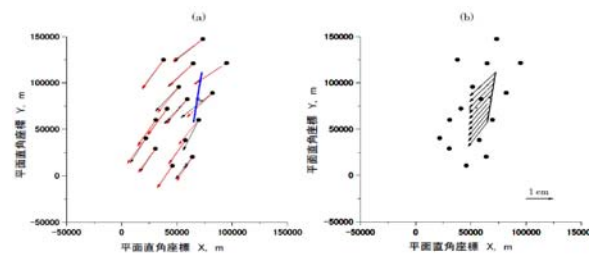


図-4.3 日本のひずみ集中帯(朝日新聞)



a) 電子基準点に置ける表示 b) ILC 軸線に沿った表示

図-4.4 相対変位増分の計算例(相対変位が比較的大きい場合)



a) 電子基準点に置ける表示 b) ILC 軸線に沿った表示

図-4.5 相対変位増分の計算例(相対変位が比較的大きい場合)

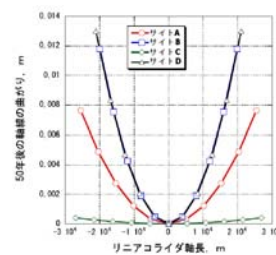


図-4.6 ILC 軸線に沿った曲がり

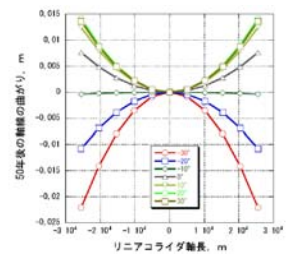


図-4.7 ILC 軸線の角度をさせた場合の軸線の曲がり計算例

4-4 調査法 SWG

(1) 2006 年度の調査検討

- ①長大トンネルおよび地下発電所空洞の事前調査に関する資料収集
- ②環境アセスメントの事例調査

(2) 2007 年度の調査検討

- ①長大トンネルの事前調査
 - ・TBM トンネルの事例調査例調査

(津久井導水路, 道志導水路, 飛驒トンネル,
ゴッタルトベーストンネル)

- ・ 長大トンネルの調査はどうあるべきか?
- ・ 大土被りの地山の事前調査の可否は?

②花崗岩類に建設された地下空洞の調査事例調査

- ・ 地下空洞事前調査フローのブラッシュアップ

③環境アセスメント

- ・ 予測・評価項目の事例調査など

飛驒トンネル事例調査

- ①広域地表地質踏査
- ②坑口部および周辺部におけるボーリング調査
- ③弾性波探査 (白川方 1km, 河合方 1.6km)
- ④トンネル全線について電磁探査
- ⑤低比抵抗部の実態を把握するための地表部からの深層ボーリング (掘削長 968m)

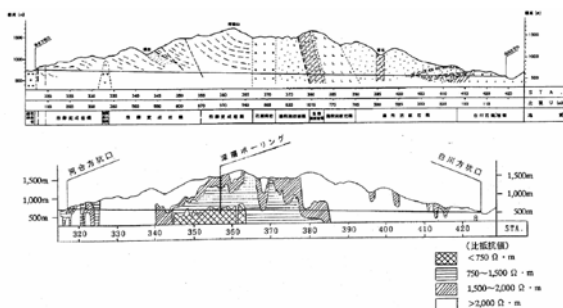


図-4.8 飛驒トンネルの事前調査
(L: 10.7km, 最大土被り約 1000m)

5. 設計・環境設計作業部会

5-1 断層・破砕帯部トンネル設計 SWG

(1) 2006 年度の調査検討

- 1) 岩盤内トンネルの地震被害事例調査
- 2) 断層・破砕帯部の支保構造案の検討

(2) 2007 年度の調査検討

- 1) 断層・破砕帯部の支保構造案
数案程度の支保構造案を策定 (図-1参照)
- 2) 横浜国立大学の谷教授らの研究事例調査
(図-2参照)

(図-2参照)

- ・ 地表地震断層等の立地制約が厳しいネット
ワークインフラの被害軽減方策
- ・ 数千年に一度という低確率事象を対象に断
層ずれという極めて厳しい作用を考慮
- ・ 新幹線の大脱線のような壊滅的な事故を防
止することが研究目的

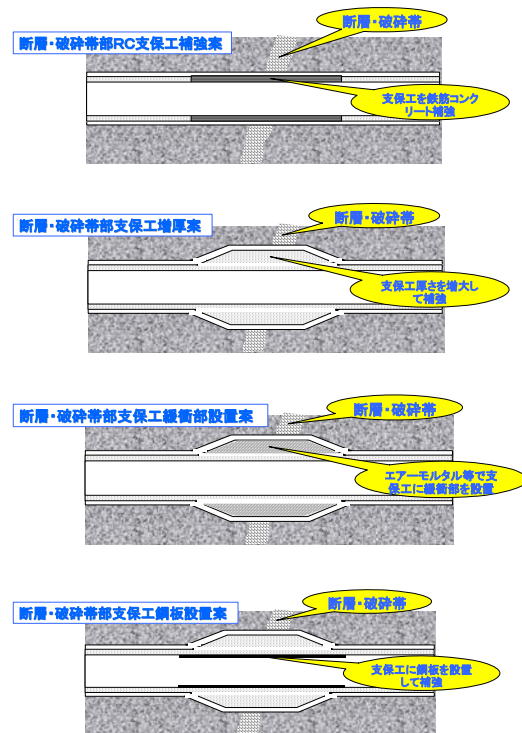
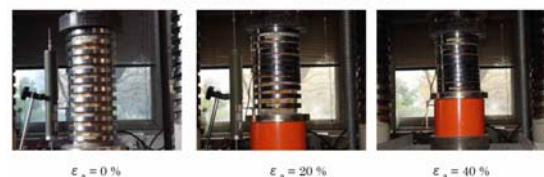
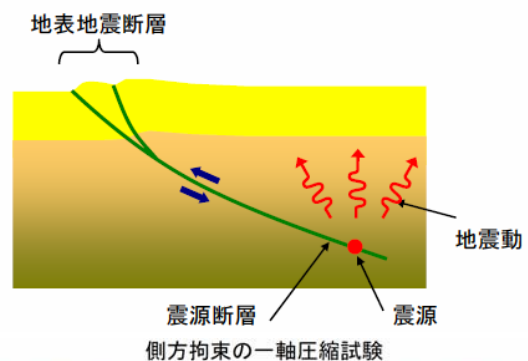
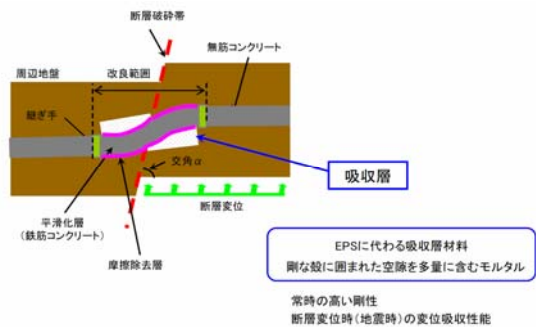
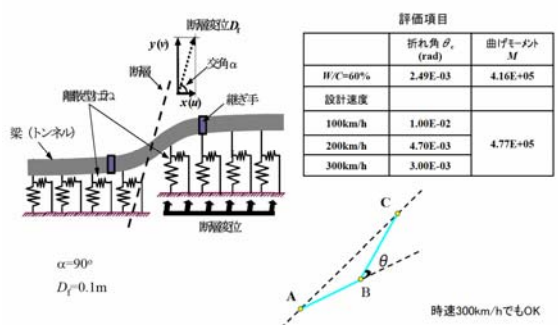


図-5.1 断層・破砕帯部における支保構造案





ばね支承モデルによるトンネルの変形解析



軸応力 q_a ～ 軸ひずみ ε_a 関係

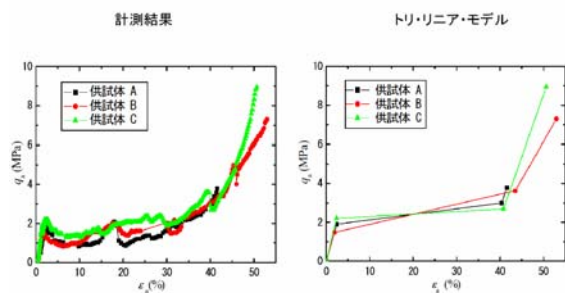


図-5.2 横浜国立大学の谷教授らの研究事例概要(玉置・谷: 断層変位に対する吸収層の圧縮特性をもとめるための圧縮試験方法の開発, 第 36 回岩カシンポ, 2007, 其他関連文献)

L120m) の大空洞の建設実績は多い

・岩級, 岩盤特性により, コンクリートライニング, 吹き付けコンクリートによる支保工を選択

・大規模空洞の支保実績(経験式)によれば, 天井部, 側壁部ともに 14m 程度の PS エアンカーによる補強工で空洞の安定性確保可能

・大規模空洞のアーチ部に取付く堅坑の建設実績はあり, 硬岩中における建設は可能と推定

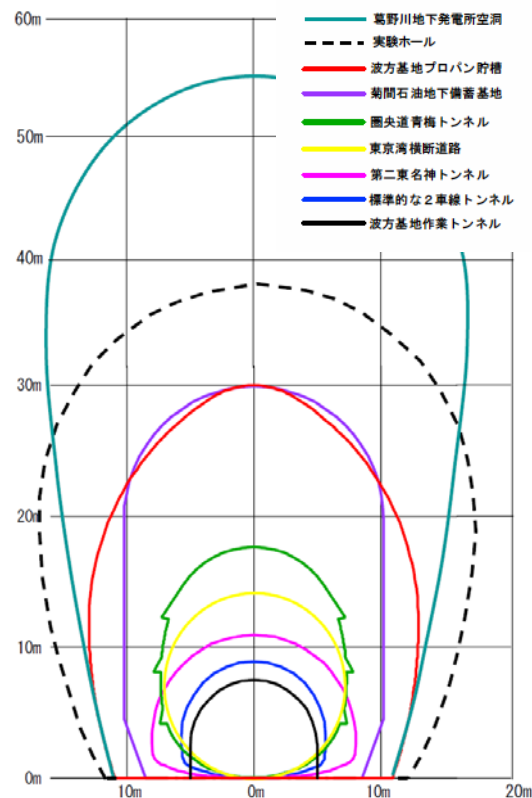


図-5.3 わが国における大空洞建設実績



5-2 大空洞の合理化検討 SWG

(1) 2006 年度の調査検討

- 1) 大空洞である実験ホールの概要調査
- 2) わが国における大空洞建設実績(図-3参照)

(2) 2007 年度の調査検討

- 1) わが国における大空洞建設実績の調査(継続, 図-4参照)
- 2) 大空洞アーチ部に取付く堅坑建設実績の調査(図-5参照)

- ・わが国での実験ホール規模 (H39m x W35m x



図-5.4 わが国における大空洞建設事例



図-5.5 わが国における大空洞と豎坑建設実績事例
(LPG 備蓄波方基地)

5-3 合理化支保設計 SWG

(1) 2006 年度の調査検討

- 1) ビーム・サービストンネルの要件整理
- 2) TBMトンネルの事例調査と分析 (図-5.6参照)

(2) 2007 年度の調査検討

- 1) 無支保トンネルの建設実績の調査
- 2) 漏水対策の検討 (図-5.7参照)
 - ・ビームトンネルとサービストンネル内には配管、ケーブル、照明、空調ダクトなど多くの諸設備が配置されるため、壁面にこれらの諸設備を保持することが可能な漏水対策構造
 - ・面導水や線導水のメンテナンスの必要性、方法について計画段階で十分に整理しておく必要性
 - ・力学的に二次覆工が必要でない場合には、漏水対策構造を取る方策あり

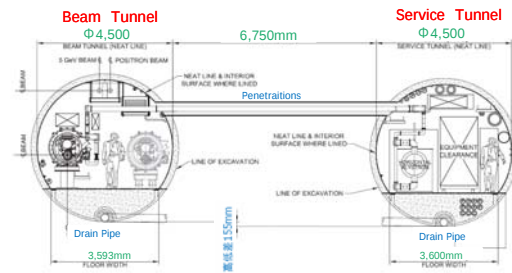


図-5.6 ILC ビームおよびサービストンネルの断面計画案
(RDR 報告書)

①線導水 湧水量:少 分布範囲:局所的	②面導水(部分的) 湧水量:少～中 分布範囲:帯状
③全面防水パネル 湧水量:中 分布範囲:全面	④シート防水 湧水量:少 分布範囲:全面



図-5.7 トンネルにおける漏水対策案の整理

6. 施工・メンテナンス作業部会

6-1 不良地山対策・前方探査

サブ WG1 では過去の事例調査を行い、花崗岩地帯でのトラブル事例を調査した。また、トラブルを未然に防止する有効な手段として施工中の切羽前方の地質調査が多く用いられているため、前方探査手法についても調査を行った。

表-6.1 に花崗岩地帯でのトラブル実績を示す。ここでは、TBM で施工されたトンネルと、通常の山岳工法 (NATM) で施工されたトンネルの両方について調査を行った。地質不良によるトラブルでは断層、破碎帯、強風化花崗岩 (マサ)、多量湧水が原因としてあげられている。

表-6.1 TBMと山岳工法によるトラブル実績(花崗岩帯)

TBMおよび山岳工法 花崗岩施工トラブル実績調査表													
トンネル名	掘削時期	延長 (m)	掘削径 (m)	全長 (m)	トラブル発生箇所	トラブル発生原因							
						断層	破砕帯	圧入地層	山はた	硬質	軟弱地層	軟弱地層	地質調査不足
豊橋トンネル	1985.08～ 1985.09	2958	5.3	最大1370m	新橋側断層で の発生								
宮ヶ崎ダム増大断トンネル	1984.06～	700	3.5										
神田トンネル	1972.42～ 1972.04	527	3.2	最大約100m	切羽側								
関東本力発電所増大断トンネル	1982.08～ 1984.11	838	6										
同上		838	6		新橋側断層 発生								
種子トンネル増坑	1981.03～ 1982.10	200m以上	5	坑内で深下28 ～30m	切羽側								
地盤掘削地盤増大断トンネル (中谷トンネルおよび谷川トンネル)	1984.11～ 1995.07	4018	3.9	最大約210 m	切羽側								
深川地区下水道7号トンネル	1986.08～ 1997.10	148	3.15		工区側								
新橋トンネル上り線	1986.09～	2618	5										
新橋トンネル下り線	1986.09～	2618	5										
新橋トンネル上り線	工期： 2000.06～ 2004.03	3641	5	最大約230 m	切羽側								

表-6.2 トンネル(TBM)前方探査

「トンネル(TBM) 前方探査」													
探査技術	測定原理	測定方法	使用情報	探査 距離	計測 時間	解析 時間	断層 情報	地質 情報	地下水 情報	特色と限界			
1 TSP探査法 (Tunnel Seismic Prediction)	トンネル坑内で反射波地震探査を行い、反射波と直達波の状況からトンネル前方や周辺に存在する反射面(断層、破砕帯、地質境界等)の位置・状況を予測する。	多数の発振孔と受振孔1孔を側壁に一直線上に設置し、受振孔で受振波形を測定収録する。	弾性波反射(P波)発振は発破ほか	◎ 150m程度	○ 1～2h	○ 2～4h	○	△	△	短時間で測定・解析が可能 3次元的な把握が可能 準備(発振孔、受振孔設置と発破準備)に半日程度を要す。 解析に経験とノウハウが必要(ノウハウは蓄積された) 測定精度が不明確(±5m以内が多い) 短時間で測定が可能。解析は長時間を要す。 準備に半日程度を要す。 構造(走向・傾斜)の把握が可能			
2 HSP探査法 (Horizontal Seismic Profiling)		側壁に、一直線上に発振孔1孔と多数の受振孔を設置し、初動走時を測定する。	弾性波反射(P波)発振は発破ほか		○	△	○	△	△				
3 TRT探査法 (Three-dimensional Reflector Tracing)		壁面に設置の約10箇所の加速度計で反射波を受振。地山速度構造と反射面の位置を同時に求める解析法により不連続面の位置と傾きなどの3次元的地質構造を検出する。	弾性波反射発振は発破のほか、ハンマー、掘削振動、ブレーカー、電磁制御式発振装置など	◎ 150m程度?	○ 準備、計測で1日		○	△		掘削振動を利用すれば掘削作業を止めずに測定可能 複雑な地層を3次元的にイメージ可能			
4 削孔検層 (穿孔探査法)	油圧削岩機による削孔時のデータを測定・解析し、地山の状況を予測する方法	切羽において、削孔装置で数mの削孔を行い、削孔速度や掘削ずり、トルクなどを測定する。	削孔データ 削孔速度、打撃圧、打撃回数、回転圧、フィード圧、ダンピング圧、削孔エネルギーなど	○ 30～50m	○ 2h	○ 数時間	◎	△	○	点でのデータであり、TSPなどとの併用が望ましい。 定量的情報として使いにくい。 TBMでは切羽面が閉塞されているため削孔できる位置が限定される。TBM掘進中でも削孔できる技術が望まれる。 TBM掘削データとの組合せ事例あり。			
5 表面波探査法	周波数によってレーリー波の伝播速度が異なる性質(分散性)を利用する探査手法	TBM面版位置で振動と音を発信して、同じ面版に設置した受信器で記録して切羽前方地質等を探査する。	レーリー波、音波	△ 10m程度	◎ 15分	◎				画像化により専門知識を必要としないでデータ判読が可能。 探査精度は50cm程度			
6 電磁波法	地中に入射した電磁波により地下に誘導された電磁波を計測して地下の比抵抗分布を求め、地山の状況を予測する方法	電磁レーダーのアンテナを切羽面(TBM面版位置)に設置し、切羽前方の電磁波の反射面を探索し、破砕帯、大きな亀裂、帯水層などを検出する。	反射電磁波	△ 10～20m	○	◎ 即時				探査結果がその場で画像データで示される。連続監視が可能。 解釈には専門的知識が必要?			
7 切羽画像解析	切羽の画像データを取得し、その時系列な変化状況から地質状況を予測する方法	トンネル掘進に伴って進行する切羽の画像データにより、亀裂などの時系列な変化を追跡する。	表面画像	× 切羽近傍のみ	◎	◎				長距離の予測はできない。 TBMでは採取できる坑壁が限定される。			
8 コアボーリング	ボーリング機械により切羽前方の水平ボーリングを行う方法	削孔速度やスライムの変化から地質変化をある程度予測する。必要に応じてコアを採取したり、ボーリング孔を速度検層や画像検層に利用できる。	削孔速度、スライムコア	○ 数10m	×	△	◎	◎	◎	コアの採取が可能で確実な調査手法 土抜き孔としても利用可能 調査時間、調査コストが大きい。			
9 複合	削孔検層、電磁探査、弾性波反射法などを組合わせた方法	複数の測定法でそれぞれの短所を補いながら高精度に予測する。	TBM機械データ 削孔データ 弾性波反射 反射電磁波	◎ 150m程度	△?	△?				組合わせるため精度が高まるが調査時間、コストが大きくなる。? 弾性波反射法の準備に半日程度を要す。			

また、TBM で施工したトンネルでのトラブルは非常に少ないが、この原因の一つとして、あらかじめ地質調査を十分に行い、問題が無いと想定された区間でのみ TBM 工法を採用しているため、と考えられる。

トラブルを未然に防ぐために、施工中の調査として、TSP 等による切羽前方探査、地質確認ボーリング、削孔検層が実施されている。表-6.2 に切羽前方探査手法一覧を示す。

6-2 立坑、斜坑の検討

サブ WG2 では、今回、アクセス坑の施工について、立坑と斜坑についての検討を行った。

(1) 立坑と斜坑の一般的な適用区分

立坑、斜坑の選択については、地形・地質条件により異なるが、立坑深さ 200m 程度（斜坑延長 800 m : 1/4 勾配を想定）を境として、短い場合は斜坑が、長い場合は立坑が、工期的にも経済的にもそれぞれ有利であるといわれている。

表-6.3 一般的な立坑と斜坑の比較¹⁾を加筆

項 目	立 坑	斜 坑
準備期間	長い	短い(仮設備で作業可能)
坑底設備期間	やや長い	短い(仮設備で本坑着手可能)
全長	短い	長い
運搬時間	短い	長い
ずり搬出能力	断続的で小さい	ベルコンを敷設すると大きい
測量	バックが短いので精度低い	バックが長くとれるので精度は高い
作業性	通常は掘削と覆工が連続作業	掘削と覆工は並行作業
湧水	非常に弱い	弱い
安全管理	重要(落下対策)	重要(脱線・逸走対策)
工事費	延長の長いときに有利	延長の短いときに有利
維持管理	有利	やや不利

1)トンネル・ライブラリー第7号「山岳トンネルの斜坑と立坑」H68:p23 より

(2) アクセス事例

1) 過去の事例

表-6.4 は文献調査¹⁾により得られた 10km 以上の長大トンネルにおけるアクセス方法の一覧(表-6.5)をまとめたものである。

表-6.4 長大トンネルのアクセス方法一覧(1958 年～1986 年完成まで)

No.	路 線	トンネル名	作業坑数	斜坑数	立坑数
1	北陸本線	北陸	3	2	1
2		頤城	4	4	
3	上越線	新清水	1	1	
4	山陽新幹線	六甲	6	5	1
5		安芸	3	3	
6		新関門	9	8	1
7		北九州	4	2	2
8	武蔵野線	生田	2	1	1
9	東北新幹線	福島	4	3	1
10		蔵王	1	1	
11	上越新幹線	榛名	6	4	2
12		中山	3		3
13		大清水	6	6	
14		塩沢	1	1	
15	津軽海峡線	青函	8	6	2
計			61	47	14

表-6.4 から、アクセスの方法として過去には斜坑が多く用いられていることがわかる。

表-6.5 過去の長大トンネルアクセス事例¹⁾から抜粋

線 名	トンネル	延長	完成年	用途	種別	寸法				掘削工法
						内室VWH	形状	延長・深	勾配(%)	
北陸本線	北陸	13,870m	S33～34	作業坑	斜坑	4,593.3	馬蹄形	487.5	25.0	
				作業坑	立坑	φ6.0	円形	230.2	—	
				作業坑	斜坑	4,693.6	馬蹄形	117.2	25.0	
	頤城	11,353m	S41～43	作業坑	斜坑	4,693.6	馬蹄形	157.1	25.0	
				作業坑	斜坑	4,693.6	馬蹄形	189.8	25.0	
				作業坑	斜坑	4,693.6	馬蹄形	187.0	25.0	
山陽新幹線	新清水	13,489m	S39	作業坑	斜坑	7,095.1	馬蹄形	315.1	25.0	全断面
	六甲	16,250m	S43～44	作業坑	立坑	φ6,091.0	矩形	18.0	—	
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	381.9	24.1	
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	579.4	25.6	全断面・流導
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	397.3	25.6	全断面・ランジ
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	387.1	25.6	全断面
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	235.3	25.6	全断面
	安芸	13,030m	S45～47	調査坑	立坑	φ4.0	円形	28.0	—	全断面
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	534.6	25.0	全断面
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	280.5	25.0	全断面
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	581.5	25.0	全断面
				作業坑	斜坑	4,894.8	馬蹄形	116.4	14.3	全断面・流導
				作業坑	斜坑	5,294.0	馬蹄形	317.5	25.6	全断面
	新関門	18,712m	S48～47	作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	385.0	27.0	
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	286.6	25.0	
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	313.8	25.0	
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	195.3	25.0	
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	245.4	25.0	全断面・側導
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	331.3	25.0	
武蔵野線	生田	10,314m	S47	作業坑	立坑	10,091.0	矩形	14.0	—	トレンザ
				作業坑	立坑	φ7.10	円形	16.5	—	
				調査坑	立坑	φ4.0	円形	24.0	—	
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	218.9	22.6	全断面
				作業坑	立坑	14,091.0	矩形	38.0	—	
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	160.9	26.3	全断面
	武蔵野線	生田	S47	作業坑	斜坑	4,593.3	馬蹄形	145.5	25.0	メッセル
				作業坑	立坑	4,793.9	矩形	24.0	—	全断面
	東北新幹線	福島	S47～48	作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	120.0	25.0	全断面
				作業坑	立坑		円形	25.0	—	
		蔵王	S47	作業坑	斜坑	4,793.9	馬蹄形	149.0	25.0	全断面
				作業坑	斜坑	4,794.4	馬蹄形	286.1	12.5	
上越新幹線	榛名	15,350m	S49～52	作業坑	立坑	φ6.0	円形	35.6	—	ジャクスタフ
				作業坑	立坑	φ6.0	円形	87.2	—	ジャクスタフ
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	262.0	25.0	全断面・流導
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	381.1	25.0	全断面・ペグ
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	462.0	25.0	全断面
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	346.9	25.0	全断面
	中山	14,857m	S48～51	作業坑	立坑	φ6.0	円形	371.6	—	ジャクスタフ
				作業坑	立坑	φ6.0	円形	285.0	—	ジャクスタフ
				作業坑	立坑	φ6.0	円形	312.8	—	ジャクスタフ
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	458.9	25.0	
				作業坑	斜坑	5,294.4	馬蹄形	916.7	25.0	
				作業坑	斜坑	5,144.1	馬蹄形	527.8	25.0	
	大清水	22,221m	S47～49	作業坑	斜坑	5,294.0	馬蹄形	201.9	25.0	
				作業坑	斜坑	4,694.9	馬蹄形	235.6	12.5	
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	157.0	12.5	
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	114.8	21.0	
	塩沢	11,217m	S48	作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	276.4	25.0	全断面
				作業坑	斜坑	5,694.2	馬蹄形	504.4	25.0	全断面
津軽海峡線	青函	53,850m	S42～50	作業坑	斜坑	5,695.4	馬蹄形	1315.0	25.0	全断面
				作業坑	立坑	φ6.5	円形	184.5	—	ジャクスタフ
				作業坑	立坑	φ6.5	円形	188.5	—	ジャクスタフ
				作業坑	斜坑	5,994.2	馬蹄形	1210.0	25.0	全断面
				作業坑	斜坑	4,994.0	馬蹄形	510.6	25.0	全断面
				作業坑	斜坑	4,793.8	馬蹄形	442.1	25.0	全断面

1) 斜坑の延長と勾配

表-6.6 はアクセストンネルとして実施された斜坑の延長と勾配を示したものである。本表から以下のことがわかる。

- ① 斜坑の延長は 800m 以下がほとんどで、全体の 94% (全 47 件のうち 44 件) を占める

表-6.6 斜坑の延長と勾配の実績

No.	トンネル名	作業坑数	斜坑数	立坑数	傾斜長(L)			傾斜角(°)		
					L≤200m	200m<L≤800m	800m<L	0≤α≤12.5°	12.5°<α≤25°	α>25°
1	北越	3	2	1		1		1		
2	緑城	4	4		4				3	1
3	新清水	1	1			1				
4	光前	6	5	1		5				4
5	安芸	3	3			3			3	
6	新望門	9	8	1	2	6		1	5	2
7	北九州	4	2	2		1		1	1	2
8	田中	2	1	1						
9	福島	4	3	1	2			1	2	
10	蔵王	1	1			1				
11	峰名	6	4	2		4				4
12	中山	3	3	3						
13	大清水	6	6		1	4	1	2	4	
14	塩尻	1	1							
15	青函	6	6	2		4	2	6		
	計	81	67	14	13	31	3	6	33	9

表-6.7 はアクセストンネルとして実施された立坑の深さと直径をしめしたものである。

表-6.7 斜坑の深さと直径の実績

No.	トンネル名	作業区数	斜坑数	立坑数	立坑深(H)				立坑傾(φ)	
					H≤30m	30m<H≤200m	200m<H	φ=6.0	6.0<φ≤7.0	7.0<φ
1	左脇	3	2	1				1		
2	南城	4	4							
3	新清水	1	1							
4	六甲	6	5	1	1					
5	安芸	3	3							
6	新関門	9	8	1	1					
7	北九州	4	2	2	1				1	
8	生田	2	1	1	1					
9	福島	4	3	1	1					
10	殿王	1	1							
11	峰名	6	4	2	1	1				2
12	中山	3	3				3	3		
13	大清水	6	6							
14	塩沢	1	1							
15	青函	8	6	2		2			2	

- ① 立坑の深さは 50m以下がもっとも多く、全体の 43%（全 14 件のうち 6 件）を占める
- ② アクセスとして利用される立坑の直径は 6.0 mが最も多く全体の 29%を占め、7 m級まで含めると全体の 50%（全 14 件のうち 7 件）を占める

近年は施工機械も大型化し急速施工化が進む中で、アクセストンネルに求められる性能も変化していると考えられる。

表-6.8 は近年の長大トンネルにおけるアクセス
トンネルの実態である.

表-6.8 長大トンネル(鉄道)におけるアクセス事例

種名	トンネル	延長	完成年	用途	名称	本坑掘削量	トンネル			
							平均掘削速度	坑内	坑前・坑後	本坑より掘出
東京メトロ丸の内線	池袋～戸田	23.800m	2000	通勤	新大塚	3,000	30.0	30.0	30.0	
					池袋	3,000	30.0	30.0	30.0	
					有明	3,000	30.0	30.0	30.0	
					大塚	3,000	30.0	30.0	30.0	
					池袋	3,000	30.0	30.0	30.0	
					池袋	3,000	30.0	30.0	30.0	
東京メトロ丸の内線	池袋～八田	26.655m	通勤	新大塚	3,000	30.0	30.0	30.0		
				池袋	3,000	30.0	30.0	30.0		
				有明	3,000	30.0	30.0	30.0		
				大塚	3,000	30.0	30.0	30.0		
				池袋	3,000	30.0	30.0	30.0		
				池袋	3,000	30.0	30.0	30.0		
北九州新幹線	新山	22.225m	通勤	新大塚	3,000	30.0	30.0	30.0		
				池袋	3,000	30.0	30.0	30.0		
				有明	3,000	30.0	30.0	30.0		
				大塚	3,000	30.0	30.0	30.0		
				池袋	3,000	30.0	30.0	30.0		
				池袋	3,000	30.0	30.0	30.0		

① アクセスはすべて斜路もしくは水平坑で計画

② 勾配はすべて 12.5%以下の斜路もしくは水平
坑である

③ アクセス坑延長も勾配との関係から、過去の実績と比較すると長い

④ 内空断面は 25~30m²程度が主体となっている

これらの事項は施工機械の大型化や地形条件等にも起因するが、近年の安全重視の考え方によるところが大きいと想定される。

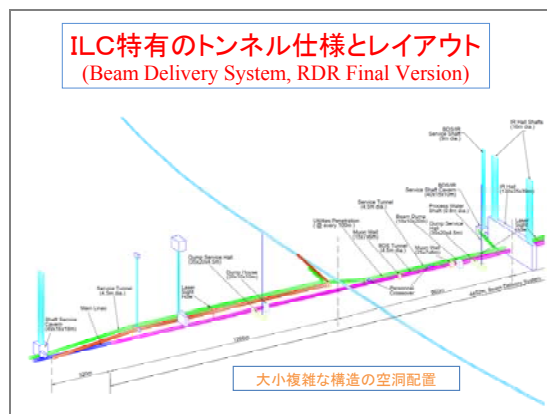
ILC プロジェクトでは施工方法や完成後の用途などの条件から、斜坑（斜路）、立坑の両者がアクセストンネルとして計画されており、大別すると以下の2つに分類される

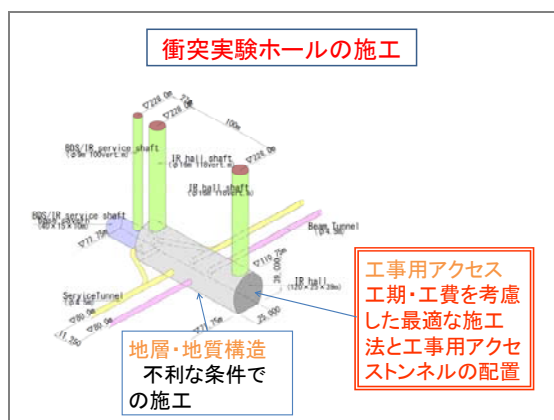
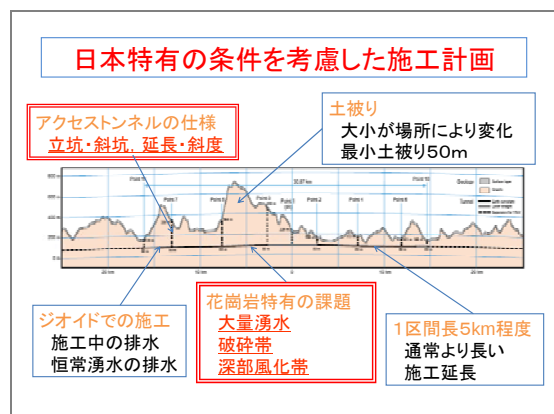
①大空洞（実験ホール等）へのアクセス

②TBM で施工される本坑（加速器トンネル，サービストンネル）へのアクセス

近年の実績ではアクセスの主体は斜路（12.5%未満）であり、将来用途や地形を含む周辺環境条件から立坑を選択する場合は直径6 m以上の規模が標準的な考え方となる。

しかし、大空洞へのアクセス方法はその施工方法によって異なることや、地形・地質条件が不明確であることなどからここでは詳細な検討は避け、近年の事例を踏まえたうえで、アクセストンネルに求められる機能を整理し、当該プロジェクトへの適用について問題点を抽出することとする。





7. 海外情報調査作業部会

7-1 活動内容

(1) 収集資料の分析を実施

- ・RDR Final report¹⁾ (Web から DL 可:URL)
- ・CERN のLHCに関連する資料(LHC Design Report Vol. II Infrastructure and general Service)²⁾
- ・Web 情報 (例えば CERN に関しては, Web 上 CERN Document Server)³⁾
- ・その他 Web 情報

(2) 欧州原子核研究機構(CERN : European Organization for Nuclear Research)におけるLHCの建設について

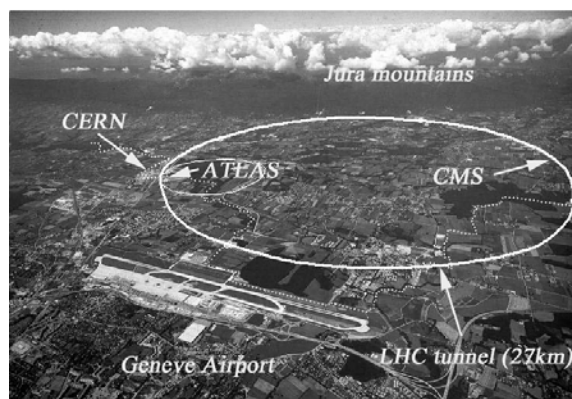


図-7.1 CERN 周辺全景¹⁾

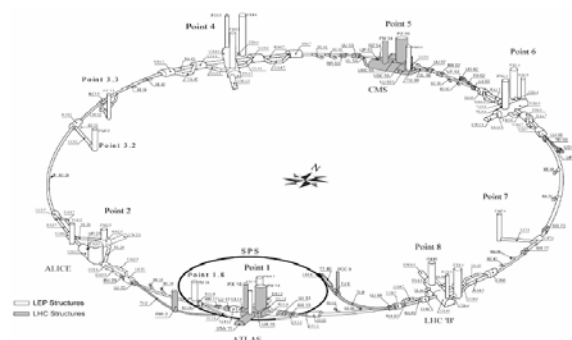


図-7.2 LEP から LHC へ CERN の地下施設²⁾

(3) LEP から LHC へ

世界最大規模のスイス・ジュネーブとフランスの国境を跨ぐ世界最大の高エネルギー素粒子物理学の研究所 LHC (Large Hadron Collider) : 世界最大(周長 27km)の超伝導円形衝突型加速器(陽子どうしを衝突)を 2007 年の稼働に向けて地下 100m に建設中。

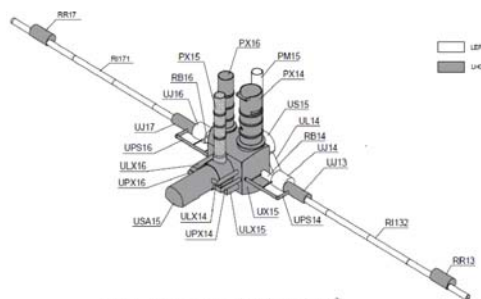
(4) 地下構造物の建設 (主ビームトンネル)

- ・4.50m の掘削径のトンネルをグラウティング, コンクリートのプレキャストをして, 3.76m の直径をもつ主トンネルに仕上げ, 掘削後に molasse 層にライニングを施し, コンクリートセグメントシェルを設置し, 岩盤を支保.
- ・防水加工と排水システムを設定した後, 現場打ちコンクリートで隙間を埋める.

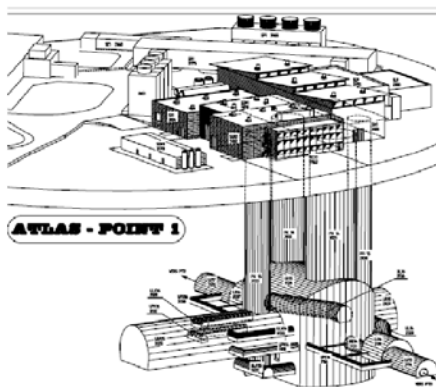
- ・molasse 層では排水システム静水圧負荷を低減・開放するためにライニングの間に設置している。打設継ぎ目と内部のライニングは対漏水性を向上させる
- ・石灰岩層では、ロックボルト、ショットクリート、ラス網および鋼材支保アーチのコンビネーションしっかりと支保し、現場打ちのライニングを実施

(5) Point1 ATLAS の地下空洞

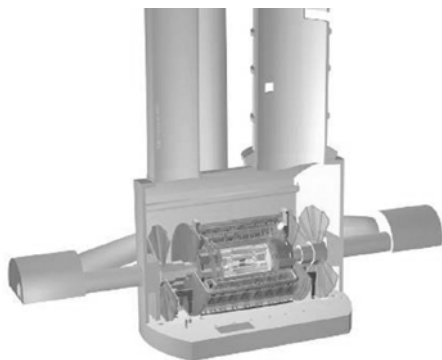
LHC に際して、建設中の大規模検出器(ATLAS)を建設中である。



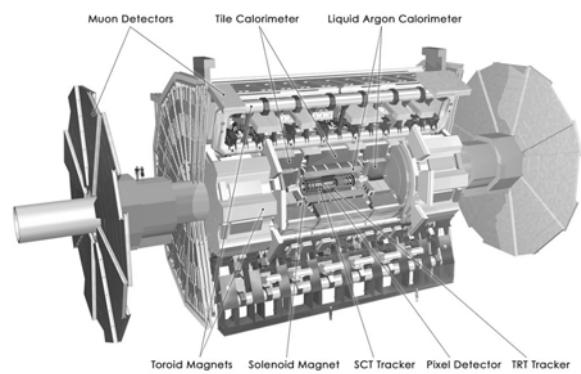
図・7.3 Point1の地下実験施設の概要²⁾



図・7.4 Point1におけるATLAS実験空洞²⁾



図・7.5 実験空洞におけるATLAS検出器³⁾



図・7.6 ATLAS 検出器の概要図

(6) 考 察

a) CERN は、LEP, LEP 2 と現在の地盤で実験を行い、つぎのデータの蓄積がなされている。

- ・地質特性に伴う機器調整の経験値・方法
- ・機器調整の経験値・方法

b) ILC 誘致に際して、つぎの経験値の蓄積は大きい。

- ・FermiLab → SCC 建設準備および Tevatron の実験蓄積
- ・CERN → LEP

c) 日本もサイトの情報蓄積が望まれる。

- 高さ：25m
 - 長さ：40m
 - 重さ：7,000t
 - 1.1 億 channel の data (2007 年中に完成予定) ?
- LEP の設備設定などの経験、事前検討によって、実験空洞設置面の精度、沈下量などの推定を実施。

7-2 今後の活動予定

つぎに今後の活動予定を示す。

- 1) RDRなどの既存の資料の分析を継続する。
- 2) アメリカ、日本、欧州のILC建設サイトと考えられる地域の資料の分析をすすめる。
- 3) ILC施設関連施設に関する取まとめを実施
- 4) 他WGからの要望に対する資料収集

参考文献

- 1) ILC HP (<http://www.linearcollider.org/cms/>)
- 2) KEK HP (<http://atlas.kek.jp/>)
- 3) LHC Design Report Vol. II Infrastructure and General Service
- 4) CERN Document Server(<http://cdsweb.cern.ch/>)