

# THE EARTHQUAKE DISASTER AND PREVENTION MEASURES FOR ILC

Harumasa Okabe<sup>A)</sup>, Masanobu Miyahara<sup>B)</sup>, Kiyoshi Fukui<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> NIKKEN SEKKEI LTD

2-18-3 Iidabashi, Chiyoda-ku, Tokyo 102-8117

<sup>B)</sup> High Energy Accelerator research Organization

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

## Abstract

The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake caused extensive damages to J-PARC. In this report we describe the damages to J-PARC first, and study the prevention measures for earthquake, fire, helium leak etc. assumed to ILC.

## 震災の教訓と ILC トンネルの防災計画

### 1. はじめに

東日本大震災ではマグニチュード9.0という巨大地震が被災地茨城県下の加速器施設に甚大な被害をもたらすと同時に、電力・ガス・上下水道・通信など広域的なインフラ施設にも大きな被害を与え、震災後の復旧作業にも影響を与えている。

ILC トンネルは従来の加速器施設には例を見ないほどの長大構造物（長さ約30km以上）であり、また、我が国に建設される場合には山岳トンネルになるものと想定され部分的には設置深度が数百メートルの大深度になるものと想定される。

ILC トンネルの防災計画を検討するに際しては、これらの特徴に加えて、今回の震災による被災状況を分析し、それらがこうした施設にどのような影響を及ぼすかを慎重に見極め、この教訓を十分に生かしていくことが重要である。

具体的には震災によって引き起こされるかもしれない突然の電力喪失、長時間の停電、岩盤からの漏水、機器からのヘリウムリークなどに対して研究者や作業員の安全性を担保する必要がある。また、機器への被害を最小限に抑える必要がある。

本稿では今回の地震によってもたらされた被害をレビューするとともに ILC トンネルの防災計画を検討する上での条件の整理や避難のシミュレーションを試みる。

### 2. 東北地方太平洋沖地震による加速器施設の被害<sup>[1]</sup>

#### 2.1 概要

茨城県東海村の J-PARC-MR における震度は6弱で、施設は大きな被害を受けた。主な被害は表1の通りである。

表1: J-PARC の主な被害

地下水の漏水	コンクリート躯体の損傷、長期の停電で地下水の漏水および施設の浸水が発生。 一次ビームライン、MR トンネルの一部浸水。 復電後緊急止水注入で対応 (ウレタン樹脂発泡剤)	漏水量 11.7t/日
停電	地震直後から11日間停電 停電の間トンネル内の被災調査不能	
空調停止	停電および工業用水道の停止により、空調が停止した。 空調停止による高湿度、結露による機器損傷懸念。 復電後ヒーターによる換気で除湿。	
トンネルの変形	エキスパンションジョイントのないMR トンネルの変形は軽微。	
エキスパンションジョイントの変形	MR トンネルとサブトンネル間のエキスパンションジョイント部で大きな変形	
二次部材損傷	液体ヘリウムや冷却水系配管架台の沈下、損傷	
建屋と周辺地盤の落差	盛土の亀裂、地盤変形による道路陥没、施設周囲埋戻し盛土部の陥没が顕著、引き込み配管の損傷が発生	

#### 2.2 地下水漏水

加速器トンネルにとって、第一の課題は地下水漏水とその処理である。今回は J-PARC トンネルにおいて長期停電が起こり、同時にコンクリート躯体の古傷が開いて地下水漏水激化が重なり、一部床上まで浸水した。

トンネル内床版両サイドにはピットが設けてあり、ここを經由してトンネル全周に漏水が流れ、各所サンプルピットに集合する。サンプルピットは全て満水、ニュートリノ一次ビームライン、MR トンネルの一部床上浸水に至る。漏水箇所は施工継手(打ち継ぎ)



図 1：漏水養生の状況

部にほぼ限定される。クラックの程度は最大数 mm。漏水量総計は排水量総量から算定すると 3 月 11 日から 25 日間で 292 トン、平均日量 11.7 トンで初期には砂を伴う漏水が顕著であった。

主トンネル躯体に大きな損傷、全く新しい損傷はなかったと見られるが、主に低発熱セメントを採用したことが

と、ひび割れ抑制に軸方向の配筋設計をしたことが効果的であったと考える。

また、主トンネルに Exp.ジョイントを設けなかったことで全周にわたり躯体が一体として動き(強力な軸方向の配筋もあり、弾性変形)段差などを生じなかったため、ビームラインへの重大な損傷は皆無であった。

### 2.3 停電

震災発生が 3 月 11 日、電気復帰は 3 月 22 日で、停電日数は 11 日間であった。トンネル内緊急調査が可能になったのは 3 月 25 日、震災後 2 週間後であった。復電後サブピットからの排水を開始し、排水は DP タンクに入れ、放射線レベル確認の後に放水した。幸い、排水ポンプが間に合って、浸水は一部床にとどまった。

### 2.4 空調停止

加速器トンネルにとって、地下水漏水の次に問題となるのが湿度管理である。空調が停止すると、急速に高湿度、結露状態となり、これが長期にわたると機器の損傷の原因となる。

今回の震災では空調の長期停止を余儀なくされた。空調運転には電力と熱源(工業用用水)の二つの条件が必要で、今回は工水の復旧に手間取っていることが空調の本格回復の妨げになった。

### 2.4 トンネルの変形

加速器トンネルには一見したところ座屈などの大きな損傷はない。しかし観測によると東海地区で太平洋側に 1.2m 移動し、0.3m の沈下があった。しかし、メイントンネルはエキスパンションジョイントのない構造であったため、変形は軽微であった。

### 2.5 サブトンネルと主トンネルの関係

主トンネルは Exp.ジョイントを廃したが、主トンネルに接続するサブトンネル(直接基礎)は Exp.ジョイントで区切られている。全 40 箇所のうち、5 箇所が緊急対処が必要と思われる程度のズレがあった。

サブトンネルが鉛直方向に最大 8cm 程度落ちている。長期的ストレスもさることながら、今後の地震により、さらなるずれが生じることもあり得る。そのときラバー・シールが破れた場合は、砂と水が一気に大量に侵入することが予想される。その場合は甚大なる被害が想定されるので、これを回避する対策が必要である。



図 2：トンネルの変形によるエキスパンションジョイントの損傷状況

### 2.7 建屋基礎と周辺地盤の落差

ニュートリノターゲットステーション(TS)では、杭基礎の TS 躯体部とシートパイルの山留めとの間の締固め部分が大きく陥没した。外部からの引きこみケーブルラックや配管系統に損傷があり、外部設置機器も損傷を受けた。MR は盛土部分、盛土上のケーブルラックなど、部分的な陥没が見られる程度であった。



図 3：建物周囲陥没と配管の破断

## 3. 震災の教訓と ILC の防災計画

ILC は、過去に前例のない規模の長大なトンネル計画であり、今回の地震によって受けた類似施設の被害から学ぶべきものは多い。また、地震に限らずあらゆる災害を想定してその被害想定と対策を講じておく必要がある。

### 3.1 震災の教訓と対策

今回の地震で受けた被害およびその ILC における

対策を以下にまとめる。

- トンネルの変形対策

ILC の大部分は岩盤内空洞であり、一般的には地震時の変形は微小である。しかしながら岩盤の弱部（破碎帯など）でトンネルのくい違いが発生しないとは限らない。また、弱部から湧水が大量に発生しないとも限らない。これら変形や湧水を未然に防ぐことは難しいので、設計段階で十分検討を重ね、予測される変形や湧水を評価し対策を施す必要がある。

変形を完全に抑えることは不可能なので、モジュールのアジャストを容易に可能とする機構を機器側で持っていることが重要である。また、湧水に関しては復工コンクリートならびに排水層により排水し、空洞内への浸入を極力防ぐ必要がある。

一方地表部との接続部は地盤内に設置されることとなるので、地表地盤の安定性を確保すべく十分な対策を施す必要がある。

- トンネルの浸水対策

浸水に対しては、まず浸水をさせない対策が必要で、躯体のクラック防止、エキスパンション部からの漏水対策が必要である。それでも進入してくる水に対しては、漏水を加速器トンネルから速やかに排水し、自然流下で排出する設備がベストである。今回計画しているツイントンネルでは、サブトンネルのレベルをメイントンネルより低く想定し、そこへまず水を排出することを考えている。サブトンネルからの排水は、ポンプによるが万が一ポンプが停止しても、十分な水の貯留容量を確保することで施設への浸水を防ぐ計画としている。

- 停電対策

加速器施設は地下の密閉された施設なので避難用の照明には停電後瞬時に起動するバックアップが必要である。

また、停電による電源の喪失に対しては、被災後のスタッフの避難、施設の緊急点検など緊急活動に必要な容量と日数分の電源容量を持った自家発電設備を確保しておく必要がある。

- 二次部材損傷対策

躯体の変形は少なくとも、配管の架台の損傷や機器の脱落、転倒があると機器に大きな損傷が生じる。地中の地震加速度は地上に比べると小さいものであるが、それに見合う固定や、補強が必要である。

- 地上施設・設備の対策

ILC の施設の大半は地中に埋まっているが、避難施設ともなるアクセストンネルや、モジュール冷却のための熱交換機などが地上施設として必要で、それらの地盤変形に対する

対策が必要である。地中から建屋への配管の取り入れ部のフレキシブル化や、地盤の変形に耐える基礎や躯体の設計が必要である。

### 3.2 その他の災害と対策

- 停電

停電については地震のところでもふれたが、福島第一の原発事故以降の供給電力不足などによる計画停電等に対しても、対策を考えておかなければならない。ILC は大量の電気を使用する施設なので常用の電力についても、ガスタービン発電機や太陽光発電など買電に頼らない電力を自ら確保していくことも今後の課題であろう。

- 給排水の喪失

冷却系でクーリングタワーなど水冷の機械を使うと、給水が途絶えることで冷却機能を失うことになる。給排水喪失時の冷却対策が課題である。

- 火災

地下の密閉空間である ILC では火災に備えた確実な避難計画が必要である。今回計画しているダブルトンネルでは一方の火災に対して、他方が避難経路となるので冗長性のある避難が可能となる。避難安全については煙の降下と避難時間を比較するシミュレーションを試みた。また火災時には消防署からの消防車の出動に頼った消防計画は地中深く存在する今回の施設の場合は期待できないので、自らの設備で本格消火が可能な設備の設置が必要である。

- ヘリウム漏洩

ILC 特有の設備としてヘリウムガスを使った冷却系があり、その漏洩対策も重要である。ヘリウムガスは空気よりはるかに軽く空間上部から滞留していくが、大量に放出されると酸素欠乏により危険な状態となる。これについてもシミュレーションによる確認を試みた。

以下に火災時の煙降下と避難及びヘリウムガス漏洩時拡散シミュレーションの一例を示す。<sup>[2]</sup>

シミュレーションの前提条件	使用ソフト	pyro Sym
・ヘリウムガス漏洩	漏洩量	1.58m <sup>3</sup> /s
・煙降下と避難	火源発熱速度	250kw/m <sup>2</sup>
	火源面積	10m×0.3m
	避難者人数	40名 ランダム配置

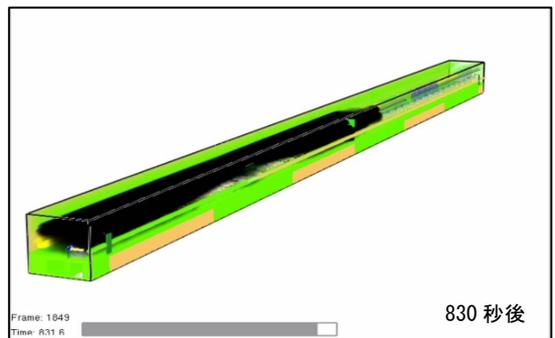
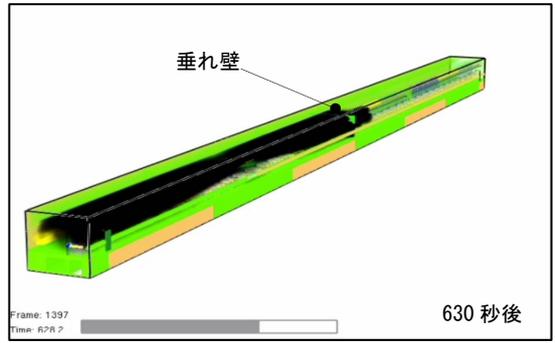
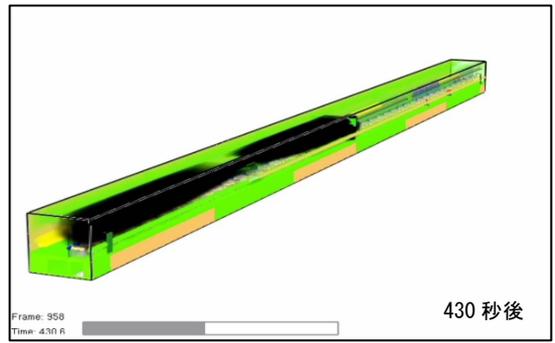
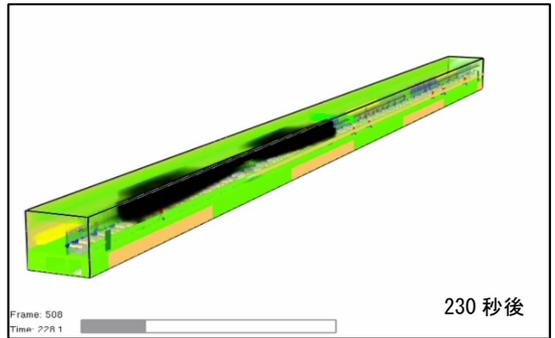
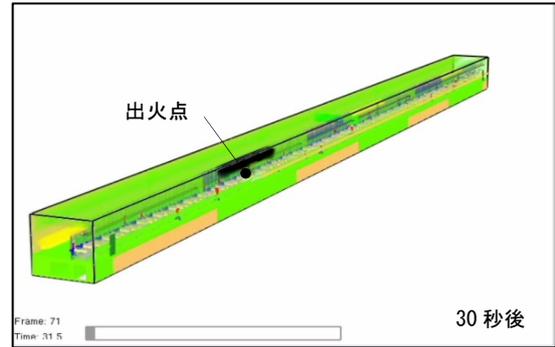
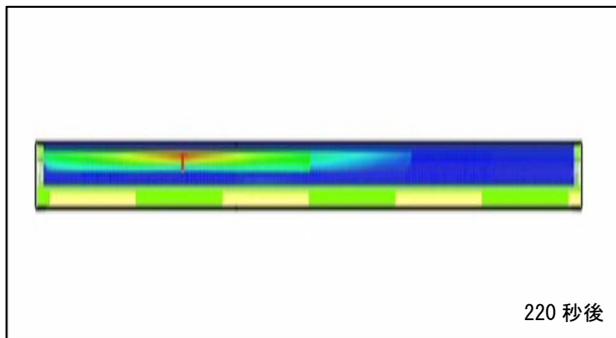
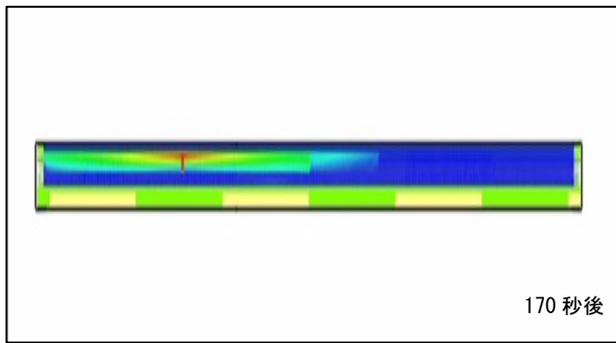
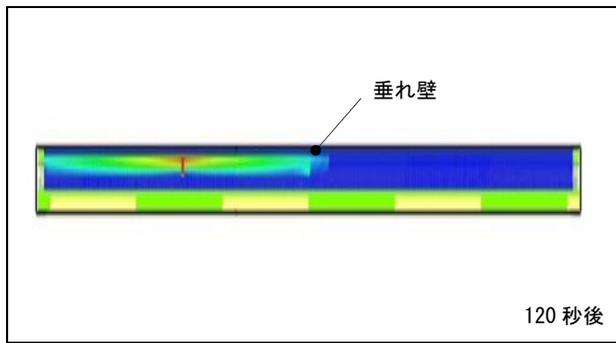
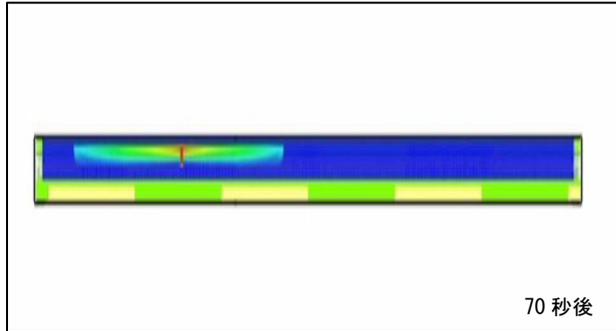
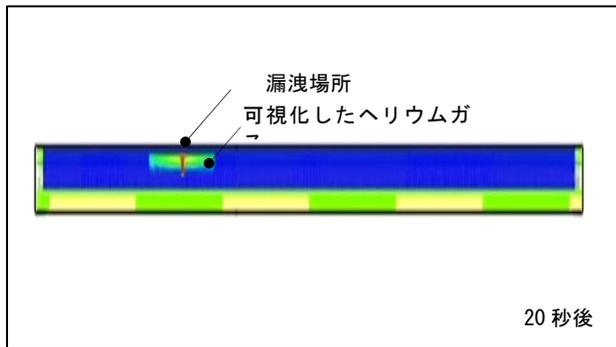


図 4 : ヘリウムガスの漏洩シミュレーション

図 5 : 煙降下と避難のシミュレーション

## 参考文献

- [1] J-PARC-MRの震災による被害について、加速器土木の観点から 吉岡正和、宮原正信2011. 4. 7
- [2] 将来計画加速器トンネルにおける防災シミュレーションに関する技術検討 KEK 日建設計 2011.3