

GROUNDWATER LEAKS IN THE ACCELERATOR TUNNEL OF J-PARC

Yoshio Yamazaki^{1,A)}, Osamu Takeda^{A)}, Nobuharu Miki^{A)*}, Nobuo Ohuchi^{A)},
Masakazu Yoshioka^{B)}, Masanobu Miyahara^{B)} Satoshi Shimazaki^{B)}

^{A)} Japan Atomic Energy Agency (JAEA), J-PARC

2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Ibaraki-Pref., 319-1195

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK), J-PARC

2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Ibaraki-Pref., 319-1195

Abstract

J-PARC accelerator facilities consist of LINAC, RCS, and MR. Their construction methods of buildings are different from each others. Now we have troubles of groundwater leaks in their tunnels. This report introduces their present status of groundwater leaks in the three accelerator tunnels. We investigated their characteristics of each tunnels and tried to propose what to do in the future constructions for accelerator buildings.

J-PARC加速器トンネルにおける地下水漏水

1. コンクリートの基本的性質と

加速器トンネルの防水

土壌やコンクリートの水密性評価にダルシーの法則；

$$Q = KAP/L$$

がよく使われる。ここに Q (cc/s)とは長さ L (cm)、断面積 A (cm²)、水頭差 P (cm)の試験体の透水係数が K (cm/s)のときに、試験体を一秒当りに流れる水の流量である。コンクリートの場合、 K は一般的にはオーダー(10⁻¹⁰ cm/s)と非常に小さく、基本的には普通の施工をすれば不透水性の物体と考えてよい。しかしながらコンクリートは宿命的にひび、施工ジョイント、打ち継ぎ部、じゃんか、充填不良、その他様々な欠陥を生じやすい材料でもある[1]。地下水位面より低い地下トンネルに設置される加速器施設に関する多くの経験では、漏水の発生はコンクリートの透水性によるのではなくこれらの欠陥が原因となっている。加速器トンネルは地下鉄や道路トンネルなどに比較してはるかに漏水を嫌う。その理由は機器への損傷を避けることと、放射線発生装置室に侵入した水は管理して処理するため、出来るだけ少なくしたいためである。加速器担当者はこのことを設計、施工担当者に正しく伝えなければならない。このとき漏水が問題となり得るトンネル工事は建築工事というより土木工事として扱うべき場合が多いことに注意しなければならない。なぜなら設計・施工ともに建築と土木で考え方の基本が異なることがあるからである。

漏水が発生する原因はコンクリート躯体を貫通するひび割れ(クラック)が主であるが、コンクリート内部には上記の欠陥が原因となってクラック以外にも水の通り道(水みち)ができる。コンクリート打設管理が悪いと予期せぬコールドジョイントができる。鉄筋・仮設部材などの下部や、コンクリート型枠を支えるセパレータ周りも水みちになり得る。締め固めが不十分であると「じゃんか」と称する不良箇所もできる。これらのことを踏まえ、地下加速器トンネル防水の基本をまとめる。①まずは様々な欠陥を出来るだけ減らすこと、②そうした上で様々な条件を考慮して防水対策を施すこと、の二つである。欠陥を減らすためには、セメントや骨材などの材料の選択、鉄筋配置設計、コンクリート水分の調整(スランプ)やコンクリート打設計画の最適化、施工管理、山留め方式や各種仮設方式の検討などを徹底しなければならないが、J-PARCのような大規模施設になると不良箇所を減らす努力は当然とするとしても、完璧ということは難しい。我々の経験では欠陥の可能性を前提として、防水はトンネル躯体の外表面(土壌、地下水に接する面)全周にわたり何らかの対策を施す方式がよいと考えている。しかし、様々な理由から全面的な外面防水が採用できない場合もあり、その場合はやむを得ず躯体防水(コンクリート改質材の使用など)とせざるを得ない。

¹ E-mail: yamazaki.yoshio@jaea.go.jp

*現所属 日本アドバンステクノロジー株式会社

	トンネル床面レベル	標準断面×長さ 標準部躯体厚さ	セメント	防水
Linac	TP+2m	7.1m(W)×5.5m(H)×約290m(L) 1.9m(底版)、1.1、1.2m(左側壁、右側壁)、1.1m(頂版) ※壁の左右はビーム方向による	高炉B	3面(壁、頂版)アスファルト吹き付け防水 底版は躯体改質
RCS	TP+2m	7.2m(W)×4.4m(H)×約350m(L) 1.3m(床版)、0.9、1.0m(内側壁、外側壁)、1.3m(頂版) ※アーク部の標準断面	高炉B	加速器トンネルは3面ウレタン吹き付け防水 サブトンネルはLinac底版と同じ
MR	TP-2m	5m(W)×3.5m(H)×1568m 1.2m(底版)、1.0、0.8m(内側壁、外側壁)、1.0m(頂版)	低発熱	4面全周コンクリート改質防水 (一部のみウレタン塗膜防水)

表1：トンネルの主なパラメータ、仕様

2. トンネル設計、構造、漏水状況

J-PARC加速器はLinac、RCS、50GeVシンクロトロン (MR) から構成され (図1)、いずれも加速器は地下トンネルに設置されている (図2)。トンネル建設はLinac、RCSは原科研建設室が、MRはKEK施設部が担当した。両者とも同じ設計会社により設計がなされた。統一設計とするような努力が両機関によりなされたが、結果的には防水工事の実績や工事発注時の予算的制約等により、細部の統一までには至らなかった。表1に主な仕様をまとめる。

以下に各施設での漏水状況をまとめる。また、図3, 4, 5に漏水箇所例として、写真を示す。

- ・ LINAC：床面 (湧水日量 640、pH10~11) 一箇所のみ、温度ひび割れ (ヘアクラック) と思われる箇所の毛細管現象、滲む程度 ~10箇所/330m
- ・ RCS：サブトンネル漏水箇所は当初非常に多かった (~80ヶ所/350m) が、漏水量はいずれも滲む程度。直線のクラック、網目状のヘアクラックなどがあり、アンカー打ち込みなどの刺激を与えると漏水にいたるケースもある。大半は、止水されてきているが、現在も10箇所程度は漏水が進行中。トンネル形状変形部、コア抜き、箱抜きなどに付随する場合、応力集中が原因と思われる。
- ・ MR：打ち継ぎ部がメインで、~5箇所/全周、いずれも滲む程度。

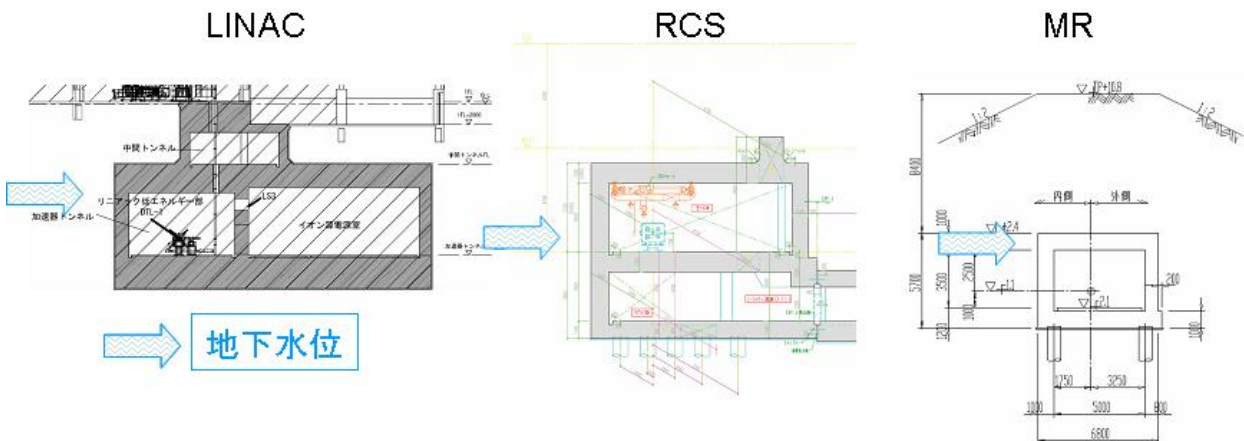
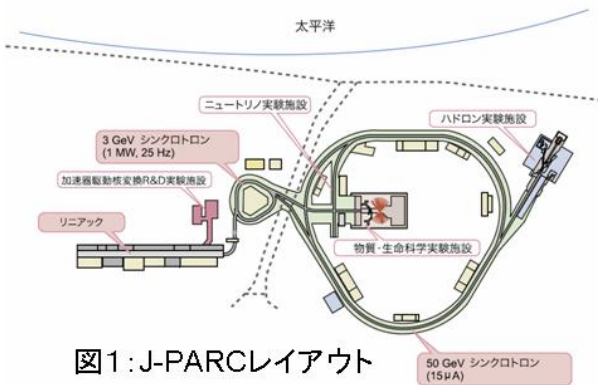


図2: Linac, RCS, MRトンネル断面図 (標準部)



図3 漏水例 (LINAC上流部) : ホースで導いて
ピットに流し込んでいる



図4 漏水箇所の例 (RCSサブトンネル天井)



図5 漏水箇所の例 (MRトンネル天井)

3. まとめと今後の課題

地下トンネルあるいは地下室に大型加速器施設を建設する機会はその頻りにあるものではないが、それだけに過去の経験を系統的に整理し、何らかの指針・基準あるいは標準技術として確立することは重要である。そのポイントを整理し、指針の叩き台として提案する。

①温度ひび割れの抑制；躯体の厚さが1m程度あるいはそれ以上であれば、コストが許せば低発熱セメントの使用を推奨する。水和反応による発熱は大きく、マスコンクリートの中心部と外縁部の温度差を許容以下にしないとひび割れの抑制は難しくなる[2]。

②施工計画の最適化；コンクリート打設に打ち継ぎ部ができるのは必然であるが、その計画を適切にたてることは重要である。一回の打設のブロック割りやブロック毎の打設順序は、コンクリートの強度発現による打ち継ぎ部に発生する応力を考慮しなければならない。打ち継ぎ面の処理も重要である。

③施工管理の徹底；コールドジョイントや「じゃんか」を避けること、また鉄筋、仮設部材、セパレータの下部ができるだけ水みちにならぬよう、打設工事の管理を徹底すること。実際の現場における施工管理の良し悪しは出来上がりの品質を左右する大きな要素である。監督者にはもとより施工に直接携わる人たちにも、加速器トンネルと一般の地下トンネルとの違いを伝えなければならない。

④外面防水は重要性；防水処理は土壌や地下水に接する躯体外面に全面的に施すことが望ましく、これを加速器トンネルの標準工法とすることを提案する。その方法には(1)コンクリート改質防水(外防水)[3]と、(2)混和材によるコンクリート躯体改質の2方式ある。前者の実績を報告する文献[3]は一つの方向性を示すものとして注目に値する。

地盤状況や許容されるコスト、あるいはその他の要因から、ここに提案した指針がそのまま適用できない場合もあり得る。加速器学会はそのような場合にも衆知を集める場になり得ると考える。本論文をその契機としたい。なお放射光施設は地上に建設される場合が多く、建築技術として既にビーム安定化に必要なある程度の標準技術・設計は世界的なレベルで確立されつつある。

(謝辞) 原科研建設室の北見氏と堀口氏には情報の提供をいただきましたことを感謝いたします。

参考文献

[1] 田中亨二、「コンクリートに防水の必要な訳」、日本ウレタン建材工業会技術ノート、2004年2月、<http://www.nuk-pu.jp/Technote/UK27-tanaka.html>

[2] 宮原正信、他「J-PARC 50 GeV MRトンネル等の建設におけるVEとその評価」、本学会F011

[3] 北見宣夫、他「J-PARC 50 GeV MRトンネル等の防水性能」、本学会F014