

WATERPROOF PERFORMANCE OF J-PARC 50GeV MR TUNNEL AND OTHER FACILITIES

Nobuo Kitami^{1,A)}, Kazuki Yamaguchi^{A)}, Masakazu Yosioka^{B)}, Masanobu Miyahara^{B)}

^{A)} Japan Xypex

2-22-3 Minami-Aoyama, Minato-ku, Tokyo, 107-0062

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tukuba-shi, Ibaraki prefecture, 305-0801

Abstract

The main accelerator tunnel of J-PARC was constructed on the gravel bed where the groundwater level was very high on the site near by the coast. In these tunnels it was planned that a lot of magnets and the ultrahigh vacuum systems were set up. Therefore, high watertight and the waterproof property were requested as for the tunnel structure. When this project was designed, the Concrete Reforming Waterproof “XYPEX” was adopted for severe demand as the outside waterproof material of the tunnel. We executed the performance examination by using the concrete test-pieces from the completed tunnel structure to verify the effect of construction with this material. At a result of the examination, it was confirmed that this material advanced concrete exact making. In addition, it was confirmed to have been progressed the self restoration action in the crack part under the passage of enough time.

J-PARC 50GeV MR トンネル等の防水性能

1. はじめに

大強度陽子加速器計画 (J-PARC) の加速器施設は、電磁石、超高真空システムなどの精密機器を多数設置しており、漏水防止のため水密性が要求された。しかも、建設位置は海岸に近接した砂丘地帯となるため、トンネル等の施設は、地下水位が高い上に非常に高い透水性をもつ砂礫帯水層に構築することが余儀なくされた。

このような厳しい条件の中で、50GeVMRトンネルを中心とする加速器施設 (図1) では、KEKにおける直近の類似施設での実績から、無機質セメント結晶増殖材 (ザイペックス) による外防水工法が採用された。

本報告は、現場での施工状況の詳細を示すとともに、本工法の最大の特徴であるコンクリートの緻密化と、ひび割れ部の自己修復作用による改質効果を確認するために実施した防水性能に関する確認試験の結果を報告する。

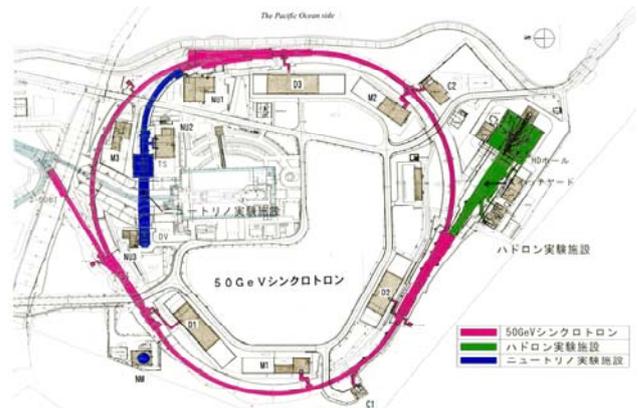


図1 : 50GeVシンクロトロン等 配置図

2. 外防水工法概要及び施工数量

無機質セメント結晶増殖材「ザイペックス工法」は、主材であるザイペックスコンセントレート (粉体) を水と練混ぜ、ペースト状にしてコンクリートの表面に塗布・吹付けおよび打継目に充填することで、材料に含まれる触媒性化合物が、コンクリートの内部に浸透拡散して、毛細管空隙やひび割れ面、及び骨材界面などの弱点に新たなセメント結晶の再生を促し、コンクリート躯体そのものを緻密化する工法である。

本プロジェクトの内、50GeVMRトンネル、ハドロン実験施設及びニュートリノ実験施設においては、この「ザイペックス工法」によって、躯体コンクリートの水密性と防水性を高めると同時に、施設の耐久性向上を図ることが提案された。

本防水工法においては、底版を含むトンネル外周部を塗布・吹付け工法で施工した。(図2参照) 施工上生じる打継部は図3に示すように打継ぎ処理工法で施工した。

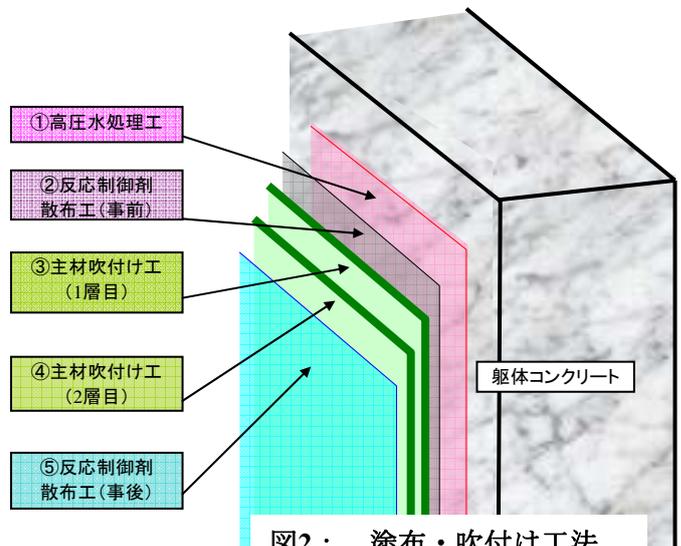


図2 : 塗布・吹付け工法

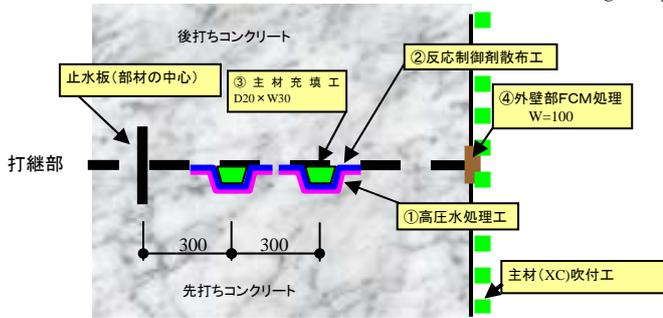


図3： 打継ぎ処理工法

工事は2003年9月から始まり、塗布・吹付工法による外防水工で87,000m²、打継ぎ処理工を約12,200mの施工が2008年7月で完了した。(表1)

表1： 施工数量及び実施工程表

| 分類 | 工事件名 | 塗布・吹付工法 | 打継ぎ処理工法 | 単位 | 平成15年 | | | | | |
|---------------|-----------------------|-----------------------|---------|----|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| | | | | | 平成16年 | 平成17年 | 平成18年 | 平成19年 | 平成20年 | |
| Soviet Tunnel | A工区 | 18,970 m ² | 1,586 m | | | | | | | |
| | C工区 | 7,970 m ² | 1,044 m | | | | | | | |
| | D1工区 | 14,419 m ² | 1,488 m | | | | | | | |
| | D2工区 | 7,470 m ² | 1,598 m | | | | | | | |
| | 第1電線槽(軸)壁 | 220 m ² | 0 m | | | | | | | |
| | 小計 | 47,049 m ² | 5,698 m | | | | | | | |
| ハドロン実験施設 | 原子核・素粒子 | 14,458 m ² | 2,442 m | | | | | | | |
| | 第3機械等 | 403 m ² | 88 m | | | | | | | |
| | 原子核・素粒子実験 | 8,350 m ² | 0 m | | | | | | | |
| | 小計 | 23,211 m ² | 2,530 m | | | | | | | |
| ニュートリノ実験施設 | ディケイボリウム | 3,348 m ² | 1,018 m | | | | | | | |
| | アーク部 | 5,093 m ² | 820 m | | | | | | | |
| | ターゲットステーション | 3,842 m ² | 922 m | | | | | | | |
| | 第1電線槽その他 | 414 m ² | 0 m | | | | | | | |
| | ディケイボリウム下 | 4,246 m ² | 1,247 m | | | | | | | |
| | 小計 | 16,740 m ² | 4,007 m | | | | | | | |
| 合計 | 87,000 m ² | 12,233 m | | | | | | | | |

取したコンクリートコアを使って、走査型電子顕微鏡 (SEM) による結晶生成状況を確認しコンクリートの緻密化を検証する手法によった。また、同時に同コアサンプルを使ってコンクリートの透水係数値を測定し参考とした。

試験サンプルはコアボーリングにより、全てφ75mmでL=500mmとした。(図4)

3.1 透水試験結果

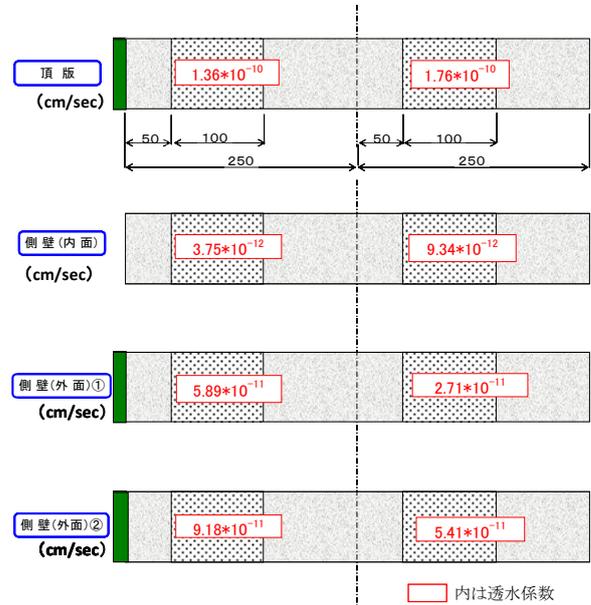


図5： 透水試験概要図

- 1) 透水試験結果の概要を図5に示す。全コアサンプルの透水係数を見ると、最小で $3.75 \times 10^{-12} \text{ cm/sec}$ 、最大が $1.76 \times 10^{-10} \text{ cm/sec}$ と、およそ2オーダー範囲でのばらつきが見られた。
- 2) 同じ仕様で同日の施工にもかかわらず、頂版と側壁では、透水係数に大きな差が確認された。生コン材料自体のばらつきよりも、コンクリート打設順序に起因する圧密度の違い、若しくは締固め等の施工的要因が大きいと考えられる。
- 3) 今回のサンプル採取は1ヶ所当たり1個とした。従って、打設からの時間経過による、透水係数の変化を確認することはできなかった。また、ザイペックス塗布が、透水係数に与える影響の直接観察もできなかった。そのことから、今回の限られたサンプル数では、ザイペックス塗布による緻密化とコンクリートの透水性の関係を判断することは、残念ながら出来なかった。

3.2 SEM解析結果 (1)

一般部箇所からのコアサンプルによるSEM解析

- 1) 頂版でのSEM解析で結晶の生成の有無を確認すると、透水係数が若干大きいため、水の供給が多く、ザイペックスのコンセントレートによる、結晶増殖の浸透が早まることから、セメント結晶増殖に適した条件となり、頂版面より48cmまで多くの針状結晶が一面に生成されているのが確認できた。(図6参照)

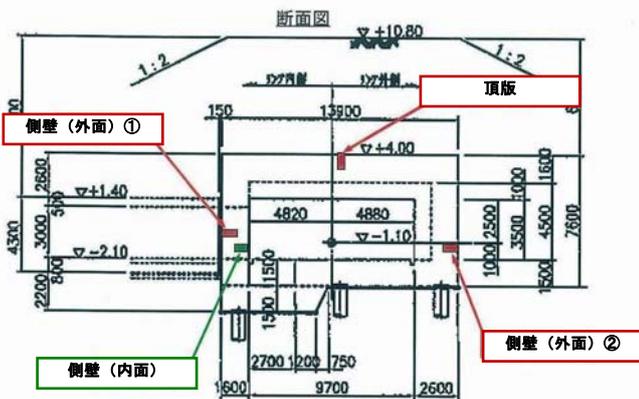


図4 コア採取箇所

3. 性能確認試験

従来、一般的な地下構造物においては、ある程度の漏水や浸水は不可抗力的なものとして許容されてきた経緯があり、防水施工の結果に対する検証が十分に行われてこなかったのが実情である。しかしながら、本加速器トンネルにおいては、高い水密性と防水性を求められていることから、以下の通り、防水施工に関する性能確認試験を実施することとなった。

試験方法は、主として完成後のトンネル躯体から採

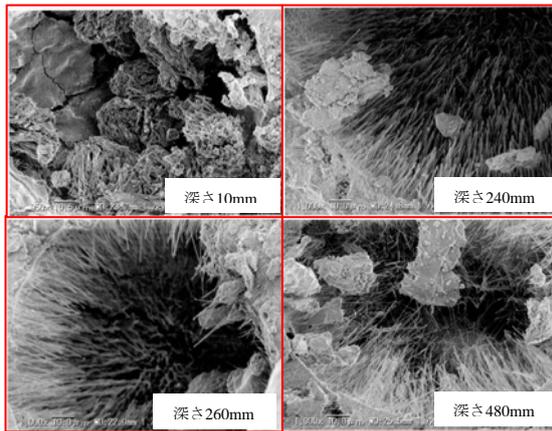


図6 頂版部の結晶写真 (×1000)

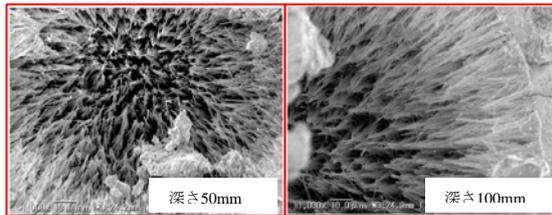


図7 外壁部の結晶写真 (×1000)

- 2) 外壁では、透水係数が小さく、水の供給も側面側からとなるため少ない。頂版部に比較するとセメント結晶増殖が少ないが、外壁面より10cmまでは多くの針状結晶が確認できた。(図7参照)

3.3 SEM解析結果 (2)

ひび割れ発生箇所からのコアサンプルによるSEM解析

- 1) 漏水発生から6ヶ月後(漏水収束後)にトンネル内壁面からコアを採取し確認したところ、ザイペックス・コンセントレート塗布面から47cm~78cmに至る全ての箇所では結晶が確認できた。結晶の形は、内壁面より2cm~18.5cmでは未熟な雲状結晶をしていたが、塗布面に近づくにしたがい針状及び柱状に発達した結晶が一面に生成されているのを確認できた。(図8参照)

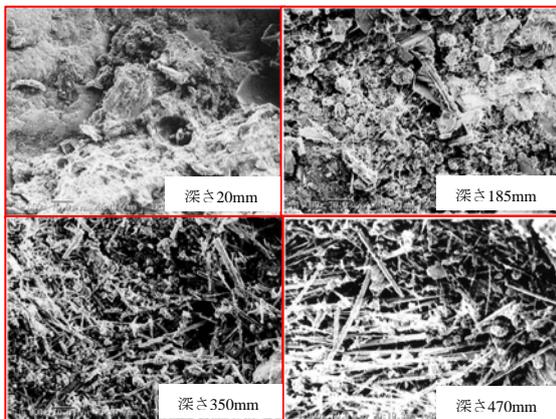


図8 ひび割れ部(漏水収束後)結晶写真 (×1000)

4. 試験結果まとめと考察

加速器トンネル本体から採取したコンクリート試験

片を使った透水試験、SEM解析の結果、本工法の最大の特長であるコンクリートの緻密化、ひび割れ等の欠陥箇所での自己修復作用について、所期の性能が十分に発揮されていることを確認することができた。

以下に、その試験結果と考察及び今後の課題をまとめた。

- 1) 透水試験の結果、トンネル躯体を構築しているコンクリートの透水性に係数値のばらつきが確認された。コンクリート管理上の今後の留意点と考えられる。
- 2) 全てのコアサンプルで、セメント結晶の増殖が確認された。但し、結晶化が確認された深度は、サンプルによって相違が見られ、緻密化の進展にコンクリート自体の性状(密度など)が大きく関与しているのではないかと知見が得られた。
- 3) 漏水発生箇所でのサンプリングコアの試験から、トンネル内面でもセメント結晶の浸透現象が確認された。また、深度毎のSEM解析から、自己修復作用による緻密化の進展プロセスを裏付ける解析結果が得られた。現場での止水状況とも符合している。
- 4) 施工上の打ち継ぎ箇所については、明快な解析結果が得られなかった。これは同部位での亀裂が、時間経過と共に伸縮を繰り返すなど、特異な挙動を示しているためではないかと推測される。
- 5) 加速器施設に限らず、社会基盤施設において極めて基幹的な材料の一つであるコンクリートは、本来、実質的には不透水性物質といえる。しかし、コンクリートは製造、施工及び凝結の様々な過程において、多くの宿命的な弱点を内包しうる特異な材料でもある。今回のような、完成現場からのサンプルによる性能試験を実施することは一般的には困難である。それだけに、本試験で得られたデータは、極めて貴重であり、今後も経過を注意深く観察していきたい。

5. 最後に

本試験にあたり、SEM解析を含めた全ての試験を実施していただいた法政大学工学部都市環境デザイン工学科満木研究室のご尽力とご協力に感謝申し上げます。また、試験片を採取させていただいたトンネル工区の請負会社の皆様にも、この紙面を借りてお礼申し上げます。

文献

法政大学 工学部 都市環境デザイン工学科 満木研究室 “高エネ研(東海)大強度陽子加速器施設新営土木工事、現場採取コア 透水試験・走査電子顕微鏡観察結果報告書”