

# 大規模地下コンクリート構造物におけるひび割れ制御と防水対策 —高エネルギー加速器研究機構 大強度陽子加速器施設の施工—

Waterproofing and Crack Control Measures  
for a Massive Underground Concrete Structure  
—Construction of Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC)  
at KEK Tokai Campus—

竹内 明文<sup>\*1</sup> 高橋 昌秀<sup>\*1</sup> 蛭牟田 修<sup>\*1</sup>  
Akifumi Takeuchi Masahide Takahashi Osamu Hirumuta  
榎島 修<sup>\*2</sup> 田中 斉<sup>\*3</sup>  
Osamu Makishima Hitoshi Tanaka

## 【要旨】

高エネルギー加速器研究機構(東海)大強度陽子加速器施設(原子核・素粒子) [J-PARC] におけるスイッチヤード部構造物は、高い施工精度に加えて、優れた防水性能が要求されるコンクリート構造物である。特に、構造物の部材断面が非常に大きいために、コンクリート硬化に伴う水和熱による温度上昇を原因とする温度応力によるひび割れの発生が漏水を助長する懸念がもたれた。本工事では、漏水助長につながる温度ひび割れの抑制対策やコンクリート構造物の外周面への止水処理、並びにそれらの対策をさらに確実なものとするための打継ぎ部の一体性確保、コンクリートの水密性向上対策など数多くの対策を行い、高い防水性能を目指した。本工事にて実施した大規模コンクリート構造物に対する一連の防水対策について報告する。

【キーワード】 加速器施設 マスコンクリート ひび割れ制御 防水対策

## 1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構・東海キャンパスにおいて大強度陽子加速器施設 [J-PARC] が建設されている。50GeV シンクロトロンにおいて加速されたビームはスイッチヤードを経て原子核・素粒子実験施設に導かれる。スイッチヤード部構造物は、放射線の遮蔽を目的としてコンクリート部材が厚く、部材断面の非常に大きな構造となっている。そのため、施工時には、セメントの水和熱による温度応力を原因とするひび割れ発生の危険性が極めて高いことが危惧された。また、加速器施設としては、高い施工精度が要求されることに加えて、優れた防水性能が要求される。立地条件が、海岸に隣接する砂地盤にあり、完成時には地下水位以下に大部分が埋設される構造物であるため、加速器

施設に求められる高い防水性能を満足するには、極めて厳しい施工環境にあった。

高い防水性能を確保するためには、高品質なコンクリート構造物の構築、ひび割れの抑制対策、発生するひび割れの適切な処置および信頼性の高い止水処理などの数多くの対策を講じるが必要不可欠である。

この対策として、良質で施工条件に適した建設材料を用いること、並びに信頼性の高い施工法や施工技術の検討など、土木技術の基本に立ち返って工事全般を見直し、高い防水性能確保を目指した。

ここでは、大規模コンクリート構造物の構築にあたって実施した各種防水対策を紹介する。

1. 関東土木支店 高エネ研作業所 2. 土木本部 土木設計部 3. 防災 R&D センター 技術研究所

## 2. 工事経過

本工事は、2003年9月から松林伐採の後(写真-1)、埋蔵文化財調査などの約6ヶ月間の工事中断を経て、2005年4月より施工基盤(TP+3.0m)への基面整正土工事、基礎杭打設工事(PHC杭・φ800・L=42~52m・244本:写真-2)、柱列式地下連続壁工事(H・400×200・L=9.0~12.5m・壁長=33~40m:写真-3)、鋼矢板打設工事(SPIII型・L=6.5~11.5m)が進められた。2006年1月からは掘削工事(約32,000m<sup>3</sup>)に着手し、3月下旬に均しコンクリート打設(写真-4)を行い、躯体工事が開始した。

躯体コンクリートは、ひび割れの軽減を目的に、図-1に示す約138mの延長を12ブロックに分割して施工を進めた。躯体構築(写真-5)は、4月下旬~9月下旬の暑中期を中心に1~10ブロックまでの躯体コンクリート打設を連続して行った。その後、躯体外部では防水工事を施工し、躯体内部では歩床コンクリートの施工、塗装工事(写真-6)が進められた。現在(2006年7月)では、主な設備工事を完了し、電磁石の搬入・設置作業が進められている。

なお、残る2ブロック(11,12ブロック)についても、2005年11月末~2006年5月中旬に躯体コンクリート打設を行い、内部塗装工事、附属施設の躯体工事を継続中である。

2006年7月末現在、当工区の進捗率は87%であり、8月下旬には、スイッチヤード部構造物の躯体工事は塗装工事を含め完了し、主要工事が盛土工事(遮蔽盛土)へ移る予定である。

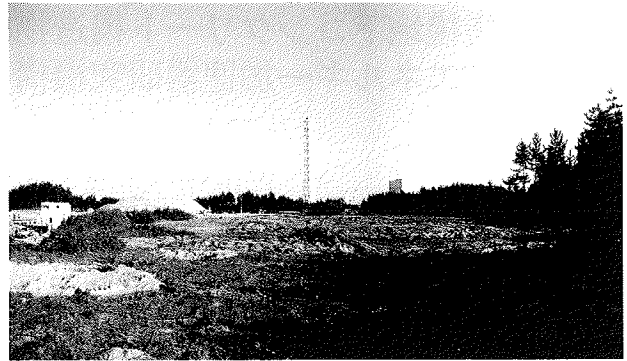


写真-1 松林伐採完了



写真-2 基礎杭打設状況

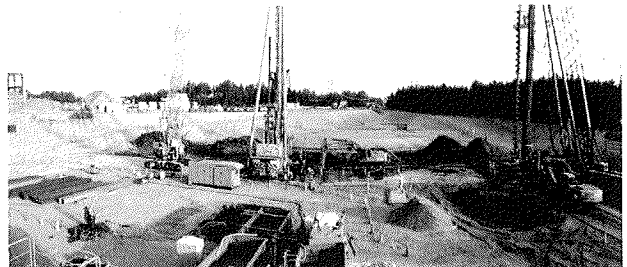


写真-3 SMW施工状況

119947										17900	
13500	13000	10000	13300	12700	13447	10500	13700	7150	12650	8800	9100
1BL	2BL	3BL	4BL	5BL	6BL	7BL	8BL	9BL	10BL	11BL	12BL

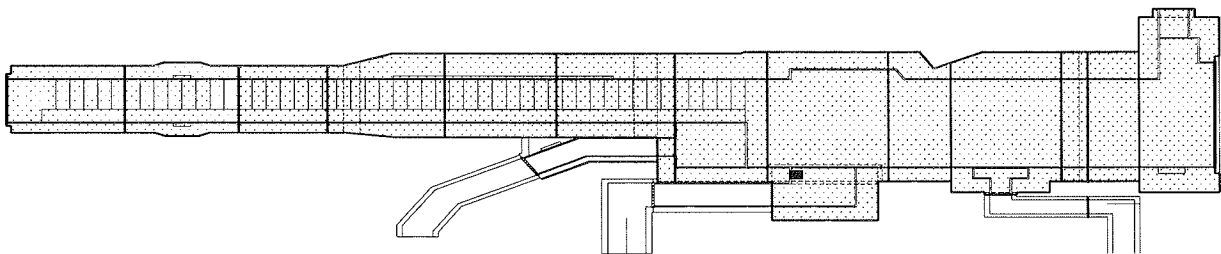


図-1 スイッチヤード ブロック分割図(平面図)

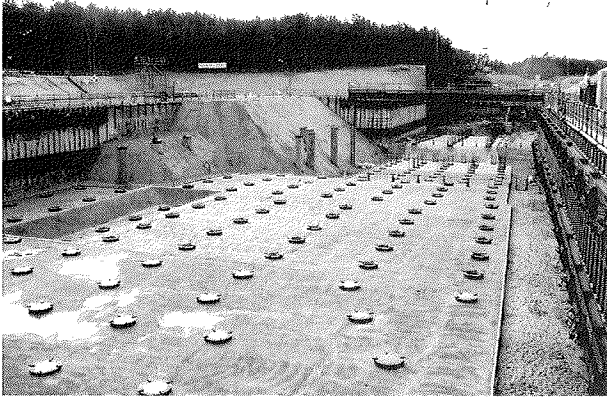


写真-4 均しコンクリート打設完了

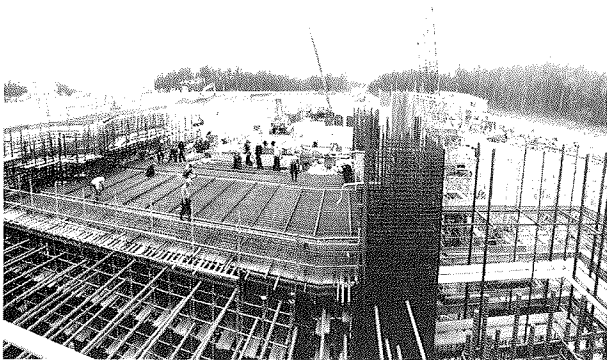


写真-5 頂版鉄筋組立状況 (9ブロック)

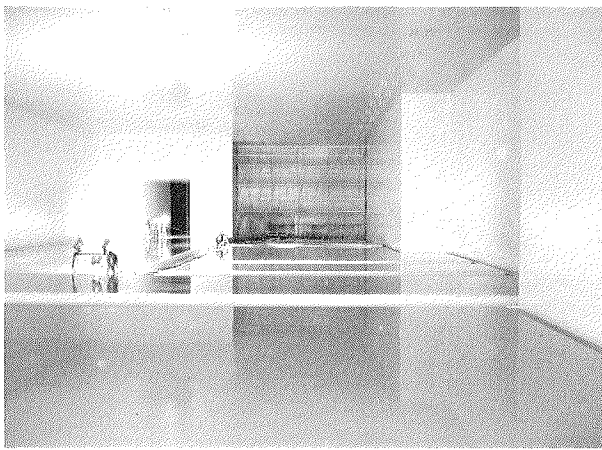


写真-6 塗装完了 (7~9ブロック)

### 3. 防水対策の選定と実施

#### 3.1 実施した防水対策

対象構造物の代表的な断面図を図-2に、施工状況を写真-7、写真-8に示す。当該構造物は、構造耐力以外に放射線の遮蔽を目的として、最大部材厚さ約5mと極めて大きな断面を有している。また、地下水位以下に構造物が埋設されるために、加速器施設内への漏水の進

入を確実に遮断しなければならない。

本工事では、防水性に優れるコンクリート構造物を施工するために、表-1に示す各種対策を実施した。

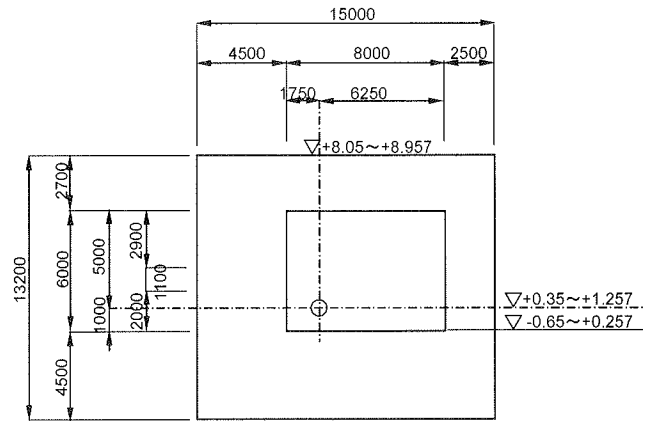


図-2 代表的な断面図 (5ブロック)



写真-7 対象構造物の施工状況 (打設)

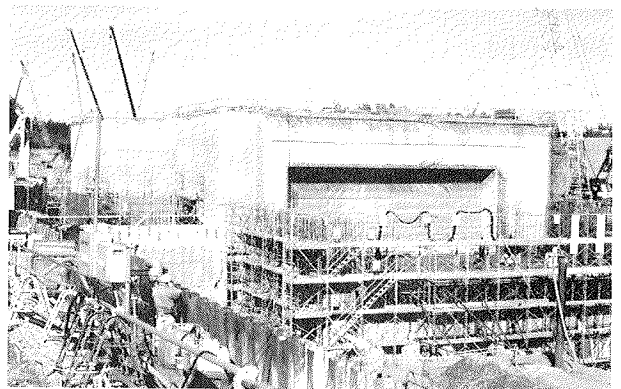
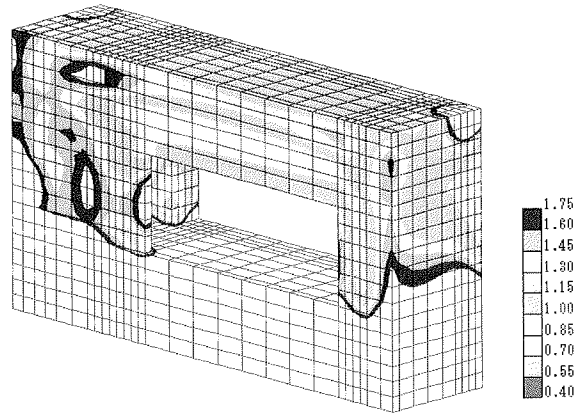


写真-8 対象構造物の施工状況 (型枠解体)

表-1 防水対策実施事項

項目	実施事項	対策
①コンクリートの温度応力ひび割れ対策	コンクリートの発熱抑制	低熱型セメントの使用
	外部拘束力の軽減	ブロック延長の低減
	ひび割れの分散および軽減処置	適切な鉄筋量の設定
②コンクリートの水密性向上対策	暑中期のコンクリートの充填性確保	混和剤(遅延形AE減水剤)の増量添加による流動性確保
	コンクリートの分離による沈降抑制	コンクリートの打込み高さ、打上がり速度管理
	未充填部を作らない	コンクリートの締固め計画
③止水対策	健全部の水密性向上および微細ひび割れ部の止水対策	結晶増殖系防水材料によるコンクリートの外面塗布
	ひび割れ部の止水対策	結晶増殖系防水材料を組み合わせた注入・充填工法の採用
	打継ぎ面の止水対策	打継ぎ位置の変更
		止水版の設置および結晶増殖系防水材料の使用



ひび割れ指数分布図

図-4 温度応力解析結果の例 (12 ブロック)

### 3.2 温度応力ひび割れ対策

スイッチヤード部構造物は非常にマッシブなコンクリート構造物であり、温度応力ひび割れの発生は、漏水発生に直結するものと考え、表-1の①に示すように低熱型セメントを用いた発熱抑制対策や施工ブロック割や打設リフト分割などのひび割れ抑制対策について検討を行い、有効と考えられる施工対策を選定、実施した。

一般に、温度ひび割れの抑制対策は、既往の文献[1][2]により多種多様な方策が示されている。ただし、当該構造物のような特殊な部材形状を持った構造物の場合においても効果的な対策を選定できるように、ひび割れ抑制効果を図-3、図-4に示すようなFEMによる温度応力解析によって予測、評価した。

その結果、低熱型セメントの有効性の確認や効果的な打設ブロック分割など施工計画の検討に反映させることが出来た[3]。

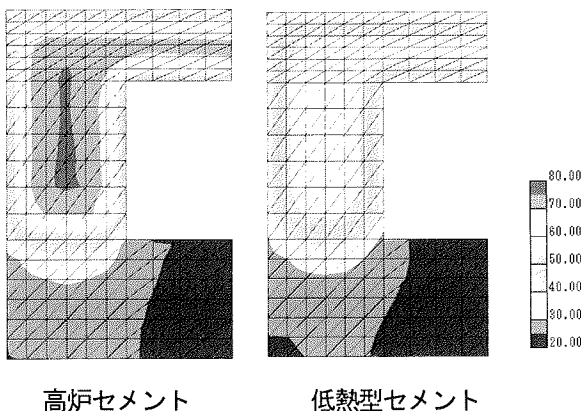


図-3 温度解析結果の例 (5 ブロック)

### 3.3 水密性向上対策

水密性を損なう部材欠陥を作らないために、表-1の②に示す確実な充填や一体性を確保する施工対策を実施した。暑中期という厳しい施工環境であり、特に、コンクリートの確実な充填を確保するために試験検討に基づいてコンクリート用混和剤を増量して、その凝結遅延作用により施工軟度の保持改善を図って、コールドジョイント(脆弱な打継ぎ層)の発生を防止した。(写真-9)



写真-9 混和剤の増量による凝結時間の確認試験

また、コンクリートの打設に際しては、密実なコンクリートを構築する方策の基本に立ち返り、コンクリートの打込み高さ、打上がり速度の管理および締固め作業計画を再検討した。特に、コンクリートの材料分離や脆弱層・未充填部の発生防止のために、以下のような対策をとり確実なコンクリートの施工を実現した。

- ①コンクリート圧送ホースの作業計画
- ②打上がり高さの管理計画
- ③配筋モデル（写真-10）を用いたコンクリートの締固めが充分に行えるパイプレータと作業員の配置計画
- ④コンクリート打設速度をコントロール可能なアジテート車の配車体制
- ⑤作業員全員が確認可能な打上がりの速度目標（目印）の型枠内への設置（写真-11）

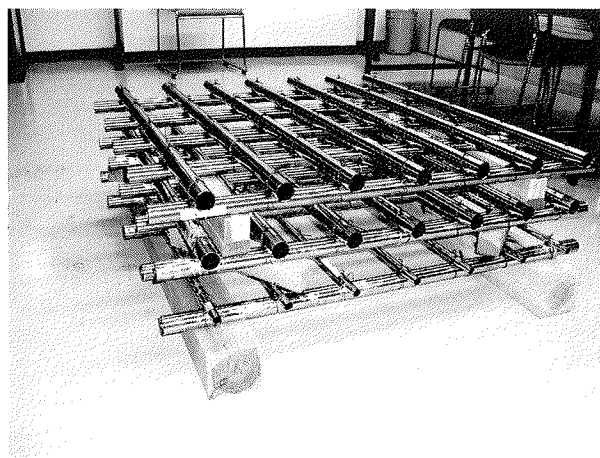


写真-10 配筋モデルを用いた打込み計画

### 3.4 止水対策

防水上弱点となり易いコンクリートの打継ぎ部および構造物外周全面を対象に、表-1の③に示す信頼性の高い止水対策を行った。

ひび割れの他に弱点となりやすい施工打継ぎ部に対しては、出来るだけ打継ぎ面の数を少なくする打設ブロックを計画した。特に、壁・頂版部分については各ブロックにおいて1回で打設を行って、打継ぎ層の施工回数を抑えた。ただし、このときの打設ブロック計画は、先に行った温度応力ひび割れ対策として考慮した打設ブロック割と一致することを確認した。

この結果、壁・頂版部分では、1回のコンクリート打設量が1,500～2,000m<sup>3</sup>にも達したが、コンクリートポンプ車の配置計画（最大4台）や打設作業員の適正配置（最大42人）により、打設計画を満足する良好な施工が実施できた。

また、温度応力ひび割れの抑制を目的とした分割によって生じる鉛直施工打継ぎ面及び底版と壁の水平施工打継ぎ面については、止水効果の高いアスファルト系止水版を配置するだけでなく、その外側に結晶増殖系防水材料を2重に設置（写真-12）して、より信頼性の高い防水対策を図った。

さらに、底版と壁に生じる水平施工打継ぎ面の施工に際しては、打継ぎ位置を当初計画の壁の下端位置から40cm上方に移動させて、供用時に水平打継ぎ層に漏水の生じる事態が起きる場合にも、容易に注入・充填などの止水対策が実施可能な安全処置も配慮した。（写真-13）



写真-11 打上がり速度目標の設置



写真-12 水平施工打継ぎ面の止水対策

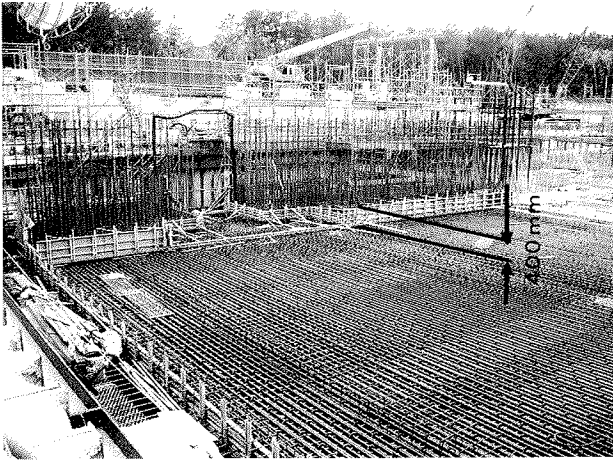


写真-13 打継ぎ位置の移動

#### 4. 対策の効果

現在工事の進行中の段階ではあるが、先に示した各種の温度応力ひび割れ対策とコンクリートの水密性向上対策を講じることによって、漏水につながる有害なひび割れを大幅に軽減できた。

なお、各種の止水対策の効果については、構造物の埋め戻しが完了していない段階であるので、それらの有効性を確認できないが、現在までのひび割れの発生状況や経過観察の状況からは、所要の防水性能を確保しているものと判断される。

今後、構造物が土中に埋設され、加速器施設として供用される中で、目指した防水性能が試されることとなる。

#### 5. 結び

本報告では、施工段階に於ける防水対策の一例を紹介した。加速器施設の固有の要求性能を満足し、かつ、経済的、合理的に建設するためには、計画・設計から施工および維持管理に至るまで一貫した検討が不可欠であると考える。

#### 謝辞

本工事の実施並びに本報告のまとめにあたって、高エネルギー加速器研究機構（KEK）の吉岡正和教授および宮原正信係長に多大な助言を頂きました。ここに記して、感謝の意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 日本コンクリート工学協会編：マスコンクリートのひび割れ制御指針,1991.9
- 2) 津崎淳一，梶田茂世：マスコンクリートの温度ひび割れ制御システムについて,とびしま技報（土木）,No.38,1987
- 3) 松元和伸，槇島修，蛭牟田修，竹内明文：温度計測に基づいた逆解析によるコンクリートの安定性評価,第3回日本加速器学会,2006.8

**Summary** The Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC) has been under construction at the KEK Tokai Campus. Beams accelerated in the 50GeV Synchrotron are led to the Nuclear and Particle Physics Facility through a switch yard 138m in length. The concrete sections of the switch yard are very thick to meet the demanding requirements for radiation shielding, causing concern about high heat of hydration as the concrete hardens. Temperature cracking could lead to water leakage. A number of measures were therefore taken to ensure watertightness of this important concrete structure. This paper reports on the measures taken and the resulting waterproofing performance of this structure.

**【Keywords】** particle accelerator, massive concrete, crack control, waterproofing measures