

## REQUIRED PERFORMANCE TO THE CONCRETE STRUCTURE OF THE ACCELERATOR FACILITIES

Masaaki Irie<sup>1,A)</sup>, Masakazu Yoshioka<sup>B)</sup>, Masanobu Miyahara<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Department of Civil Engineering, The University of Tokyo  
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656

<sup>B)</sup> High Energy Accelerator Research Organization  
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki prefecture 305-0801

### Abstract

As for the accelerator facility, there is many a thing which is constructed as underground concrete structure from viewpoint such as cover of radiation and stability of the structure. Required performance to the concrete structure of the accelerator facility is the same as the general social infrastructure, but it has possessed the feature where target performance differs largely. As for the body sentence, expressing the difference of the performance which is required from the concrete structure of the social infrastructure and the accelerator facility, construction management of the concrete structure which it plans from order of the accelerator engineering works facility, reaches to the design, supervision and operation it is something which expresses the method of thinking. In addition, in the future of material structural analysis of the concrete which uses the neutron accelerator concerning view it showed.

### 加速器施設におけるコンクリート構造物の要求性能

#### 1. はじめに

加速器施設は、放射線の遮へいや構造物の安定性などの観点から鉄筋コンクリート造として建設され、一般社会基盤施設に比べ厚い躯体構造となるなど大きく異なる形態をしている。

加速器施設のコンクリート構造物への要求性能は、一般の社会基盤施設と同じと考えられるが、目標性能が大きく異なる特徴を有している。この目標性能は、構造物の重要度や精度、地質および地盤構造、さらに建設サイト・環境雰囲気などにより決定されるものである。これらの観点から、加速器施設建設において要求性能を確実に性能照査するためには、責任の所在を明確にした発注体系下で、計画から維持管理までを一元化したシステムが必要と思われる。

本論文は、加速器施設の目標性能とプロジェクトマネージメントの考え方を示したものである。また、加速器施設のコンクリート分野への適用の将来展望も合わせて記した。

#### 2. 既存加速器施設のレビュー

高エネルギー加速器研究機構では、1982年からTRISTAN加速器トンネルを建設し20数年を経過している。また、その後も多くの加速器施設を建設し、さらに維持管理していくつかの問題点を発見しさらに設計変更などの改良を行ってきた。図1はその典型的な不具合であるひび割れ漏水である。これらのひび



図1 ひび割れ漏水[1]

割れ現象は、セメントの水和熱により発生するもの、環境雰囲気の変化、降雨や引力等による地下水位の変動、さらに設計施工上の目標性能の設定の甘さ等さまざまな条件下で発生している。このひび割れは、加速器の性能には直接的に影響を及ぼさないものもあるが、躯体沈下、地下水変動による躯体振動や漏水滴下などは直接的に実験精度に影響を及ぼすため設計施工時の配慮が重要となってくる。

#### 3. コンクリート構造物の要求性能

##### 3.1 コンクリート構造物の要求性能

鉄筋コンクリート造施設の要求性能[2]は、大きく 構造性能、 構造影響度に関する耐久性能、 環境適応性能、 の3つに分けられる(図2参照)。また、それぞれの性能は、表1に示すように作用外力や対象部位などにより階層分類ができる。構造性能とは、部材および構造物に外力が作用した時に求められる性能で、耐力並びに変形により評価されるもので、「安全性」と「使用性」に分類される。また、構造影響度に関する耐久性能とは、部材および構造物がそれらが置かれている環境や雰囲気により

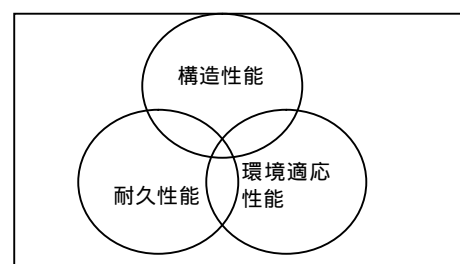


図2 要求性能[2]

<sup>1</sup>E-mail: irie@concrete.t.u-tokyo.ac.jp

構造性能に影響を及ぼす性能を評価したもので、特に材質変化などを示したものである。さらに、環境適応性能とは、部材および構造物が建設並びに存在することにより、周辺環境や第三者に影響を及ぼす性能を評価したものである。これらの要求性能に対して評価指標を設定して、その評価指標にも「高い、標準、低い」の3段階の目標性能が位置づけられている。この目標性能は、施設の重要度、復旧性さらに維持管理性などを考慮して決定される目標レベルである。したがって、施設全体での重要度を鑑み、さらに部材レベルの重要度を設定して、目標とする性能を選択することになる。

なお、本システムは、新設時のみならず既存施設の構造および耐久性診断にも用いることができる。

表1 鉄筋コンクリート施設の要求性能[2]

部材および構造物に求める 要求性能			評価指標 (構造物形態により異なる)	目標性能		
大分類	中分類	小分類		高い	標準	低い
構造性能	(構造) 安全性	耐荷性能	損傷度など			
		変形性能	沈下など			
	(構造) 使用性	使用性	地下水など			
		機能性	内空確保など			
		第三者影響度に関する性能	付着力など			
構造影響度に関する耐久性能	(材料) 安全性	耐荷性能	鋼材腐食など			
		変形性能	自己収縮など			
	(材料) 使用性	使用性	ひび割れ漏水など			
		機能性	平滑度など			
		第三者影響度に関する性能	放射化など			
環境適応性能	(環境) 負荷低減性	CO2排出量低減	セメント種類など			
		CO2排出量削減	産業廃棄物使用など			
	(環境) 適応性	美観・景観	色彩など			
		美観・景観影響度に関する性能	汚れ(汚染)など			

注) 印は、加速器施設で目標性能が高い項目

### 3.2 加速器施設の目標性能

加速器施設[3]のコンクリート構造物の場合、一般社会基盤施設と異なり躯体の安定性が直接実験精度に大きく影響を及ぼすため、安定性に関わる目標性能が高いレベルで求められる。この安定性とは具体的には、地球引力や降雨による地下水位の上下などの鉛直振動、地盤圧密、杭や支持層沈下などの地盤安定性、躯体の外部及び内部環境の変化による収縮膨張、等である。また、これらの安定性に

関わる挙動の内、定常挙動は制御が比較的可能であることから対策が取り易いが、非定常挙動は対策が難しく、設計の段階で事前に予測して排除しておくことが必要である。

さらに、加速器施設の特徴である放射線遮への要求性能からコンクリート躯体が厚くなるため、水による温度ひび割れがし難くかつ低放射化のセメント種の選定が必要となる。また、フェールセーフの観点から、ひび割れ発生後の自己修復性能を持たせた改質材の使用なども対策として重要である。

## 4 加速器施設の性能発注

### 4.1 コンストラクション・マネージメント

コンクリート造施設を建設する場合、施設の品質や性能はマネジメントの手法により大きく影響を受ける。それは、計画、設計、施工、維持管理の建設プロセスの中で、その責任の所在が明確かどうかで決定されると言っても過言ではない。通常日本で行なわれている一括請負方式やピュアーCM方式は(図3参照)は、施工責任こそ施工者にあるが、計画や設計の責任の所在が不明確で必ずしも品質向上につながっていない。一方、欧米で盛んに行なわれているCM方式は、アットリスクCM方式[4](図3参照)と呼ばれ、発注者は、CMRと呼ばれている会社と契約するため、責任が一元化される。さらにCMRは、設計者や施工者を選定して建設されるために、プロジェクト全体を一括管理できるので、品質の統一化や現場での臨機応変の対応が可能となる。



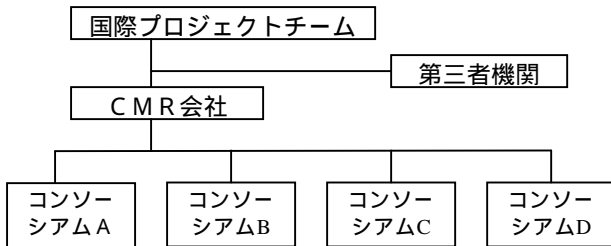
図3 発注方式と契約[4]

しも品質向上につながっていない。一方、欧米で盛んに行なわれているCM方式は、アットリスクCM方式[4](図3参照)と呼ばれ、発注者は、CMRと呼ばれている会社と契約するため、責任が一元化される。さらにCMRは、設計者や施工者を選定して建設されるために、プロジェクト全体を一括管理できるので、品質の統一化や現場での臨機応変の対応が可能となる。

### 4.2 性能発注

施設建設での責任の所在と品質確保さらには、建設費の削減など、加速器既設にとって重要な工事では、目標性能を確実に守って品質の高い施設を建設

することである。これらを確実に実現するためには、従来の発注様式である仕様発注ではなく、要求性能を明確にした性能発注が必要である。



注) コンソーシアムは、設計・施工を一括で行うSPCで、設計会社、施工会社、設備メーカー、重工業メーカーなどから組織される。設計から維持管理までを総合的に行うグループである

図4 加速器施設の理想的発注システム

以上の観点から、加速器トンネルを建設する場合、図4に示す体制が理想的な発注システムと考えられる。設計からオペレーション時の維持管理までを一括で行える法人格をもった特別目的会社などによるCMRを行い、設計施工一括のコンソーシアムを組織するシステムである。この方式は、CERNなどの海外加速器工事では一般的なシステムであり、日本での建設においてもシステムの検討が必要であると思われる。なお、本システムは、CMRの役割が重要で、土木建築さらに加速器を理解できるエンジニアが指揮することが必要である。

## 5. 中性子散乱のコンクリートへの適用

### 5.1 コンクリートの耐久性評価

コンクリートは、セメント粉体と水との水和反応であるため、水和進行にともない空隙を形成する特徴を有している。この空隙は、図5にあるようにセメント結晶中のゲル空隙(10<sup>-9</sup>m)から練混ぜ時に巻き込むエントラップドエア(10<sup>-3</sup>m)まで存在し、大きく4種類の空隙として分類されている。中でもその空隙体積の70~80%を占めているのが毛細管空隙である。この毛細管空隙は、水や有害物質の物質移動空間部であることから、コンクリートの耐久性に直接大きく影響を及ぼす空間として知られている。しかし、この空間には水和時間履歴などにより水分の

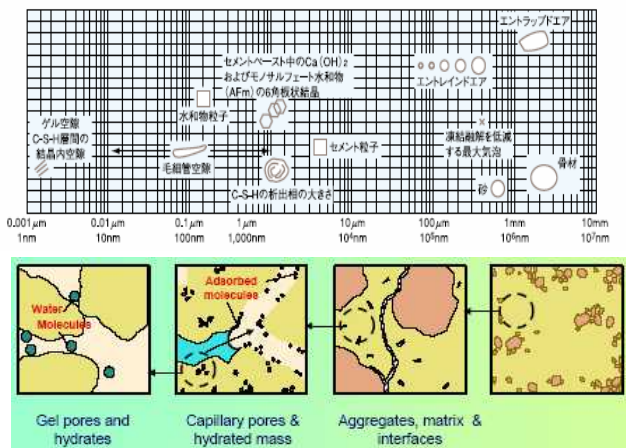


図5 空隙構造とスケール

消費・逸散・移動が繰り返され、収縮性能に大きく及ぼしている。しかし、現在までにこの空隙量や構造さらに形状などを正確に計測する手段が存在しないことから、モデル化やその検証実験等により推定されているに過ぎない。このコンクリートの耐久性に大きく影響を及ぼす空間を正確に時間履歴を考慮しながらかつ非破壊で計測することができれば、コンクリートの革命とさえ言われている。これらの空隙構造の解明には、中性子散乱による水和や水分の存在を計測することで、表2に示した耐久性指標の確立が実現できると考えている[5]。

表2 X線と中性子使用の性能の比較

耐久性指標	XRD	中性子 (連続、パルス)
セメント水和生成物	結晶質のみ	
水和物の重合度	×	
空隙構造	×	
物質移動と有機吸着	×	



### 5.2 コンクリート中の空隙と物質移動

中性子散乱は、水素などの原子を捕らえることが得意な素粒子である。この中性子散乱をコンクリートに照射することで、水の存在や移動、逸散が計測できるので、コンクリートの耐久性を直接的にかつ非破壊で計測することが可能となった。

そして、時間を考慮した4次元解析を行なうことで、図5に示すようにコンクリート中の空隙構造と物質移動のメカニズムの解明ができる。現在、この解明に向けて取り組みを始めているところであり、数年後には、セメント種類の違いや骨材の影響などさまざまなコンクリートの空隙構造の解明が出来ると思われている。

## 6. 最後に

加速器施設の建設では、加速器の目標性能を把握した土木技術者によるPMが必要である。今後のILCプロジェクトに向けて一丸となって、世界最高レベルの加速器施設建設を目指したいものである。  
参考文献

- [1] 吉岡正和、入江正明ほか。“加速器トンネルにおける漏水防止”, Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan,.
- [2] 入江正明ほか。“トンネルの要求性能”, トンネルの要求性能WG資料,2006
- [3] 吉岡正和。“プロジェクトJ - PARC大強度陽子加速器計画”, 文教施設, pp100-116,2006年第21号.
- [4] 池田謙太郎。“新交通日暮里・舎人線車両基地整備事業に見るアットリスクCM方式”, 東京土木施工管理技士会, 第33号、平成17年12月1日発行
- [5] 入江正明,宮原正信,池田進, 神山崇, 森一広,“プライベートコミュニケーション”, 2006.2.21