

## CONSIDERATION ON DISPLACEMENT OF 50GeV MR TUNNEL

Masanobu Miyahara<sup>1,A)</sup>, Kenichi Wakabayashi<sup>A)</sup>, Masakazu Yoshioka<sup>A)</sup>, Shigeru Takeda<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization

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

### Abstract

The tunnel for 50GeV MR of J-PARC, completed in Autumn 2006, is supported by piled-foundation corresponding to the local geological characteristics. We surveyed behaviour of the tunnel-structure during three years, beginning of the construction and finishing. We have observed raising the ground level within several months after the completion. In this paper we show the typical observing results on differential levels of tunnel-floor and the study for related factors on displacement of tunnel structure. We propose to introduce the advanced observation system for relational analysis between tunnel structure settlement and geological structure.

## 大強度陽子加速器施設50GeVMRトンネルの変位特性に関する考察

### 1. はじめに

大強度陽子加速器施設 (J-PARC) 50GeVリングトンネル (図1; トンネル平面図) は、2003年に着工、約4年にわたる工事期間を経て2006年秋、周長約1,600mのトンネル本体が完成した。現在、トンネル内では2008年のビーム運転開始に向け電磁石等の最終アライメント作業が進められている。

加速器トンネルの建設では、ビーム軌道の安定に直接的に影響を与える地盤変動やトンネル本体の挙動を把握することが極めて重要と考えられる。本論文は、50GeVリングの施工中及び施工後に観測した床版レベルの変位特性について報告するとともに、今後の加速器建設プロジェクトにおける設計手法や施工管理のあり方について考察を加えるものである。

### 2. 地盤特性とトンネル構造概要

#### 2.1 地盤の特性

図2.1にトンネル縦断方向の地質断面図を、図2.2にトンネル本体及び基礎構造 (アーク部、直線部) を示した。地質断面図が示すとおり、建設サイトは表層全域を覆う砂丘層 (As) に続き、層厚が10-40m

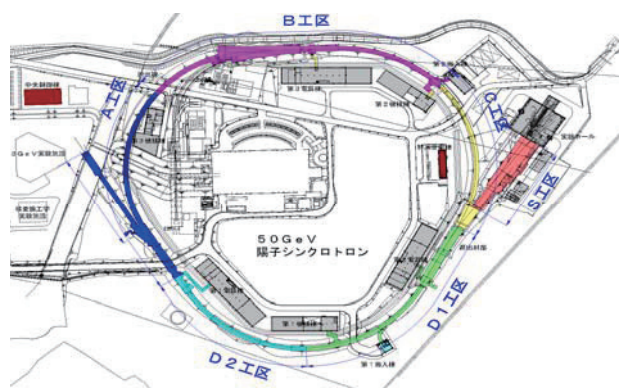


図1 50GeVリングトンネル平面図

と起伏の激しい砂礫層 (Dg) が全面に分布している。砂礫層の下部には、細砂分の多い砂質土層 (Ds) やシルト混じりの粘性土層 (Dc) が複層的に堆積している。断面図の最下部を構成している層は第3紀に形成された砂質泥岩層 (Tm) で、N値50以上、S波速度500m/sec以上の地盤性能を保有し、本構造物を支持する基盤層として十分な地耐力を保有している。

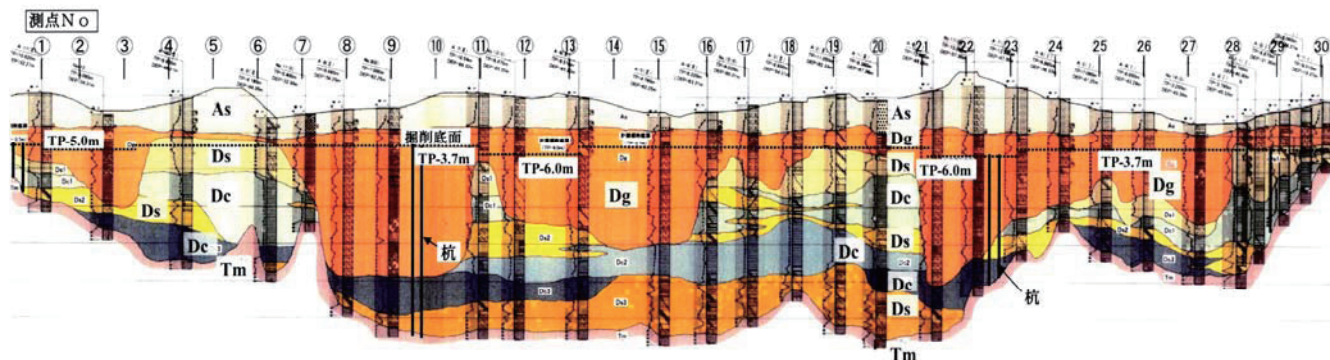


図2.1 地質断面図 (50GeVリング全周縦断図)

<sup>1</sup> E-mail: masanobu@mail.kek.jp

## 2.2 基礎構造

50GeVリングトンネルの構造計画では、当初、長期荷重に対する地盤支持力の観点から砂礫土層を対象とした直接基礎の採用が検討されたが、下部に分布する粘性土層の沈下量が加速器施設の求める許容沈下量を満足させることが困難との判断から杭基礎構造とし、支持層には砂礫層より深部の泥岩層が選定された。約1200本に上る杭材は直径80cmのP H C杭、工法は騒音振動抑制のためプレローリング埋込み杭が採用された。

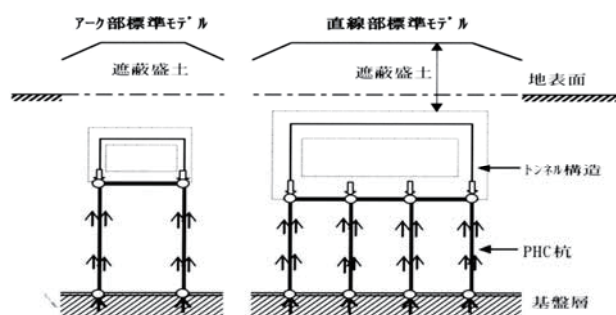


図2.2 トンネル・基礎構造モデル

表1：杭基礎構造の概要

	杭長	杭反力	支持力	先端率*	負担面積
測点	m	KN	KN	%	m <sup>2</sup> /本
2	19	3303	4070	41	11.0
10	50	3607	4227	23	17.7
12	51	3883	7662	23	12.8
15	49	3839	7987	21	18.5
23	54	4374	6865	36	14.0
28	30	4191	4699	30	17.0

先端率\* = 先端支持率；支持力の内、先端支持力の占める割合  
(杭支持力 = 杭先端支持力杭 + 周面摩擦力)

## 3. トンネル変位の観測

### 3.1 変位観測計画

50GeVリングでは、工期の制約から歩床コンクリト打設後に盛土が施工されることから、床レベルの設定にあたって、先行工区での沈下性状を把握し、その結果を後続工区の施工計画に反映させることを基本課題として取り組んだ。

変位観測にあたっては、1.6kmに及ぶ加速器トンネルの床版レベルの垂直変位を測定することによって、リング全体の床レベルの変動状況を経時的に把握することを主眼とした。具体的には、各工区の本体施工が終了した段階で、トンネル床版上に約27m間隔、合計60点の水準観測用モニュメント（真鍮釘）を設置し、地上から導入した水準点を基準とする水準測量を実施した。

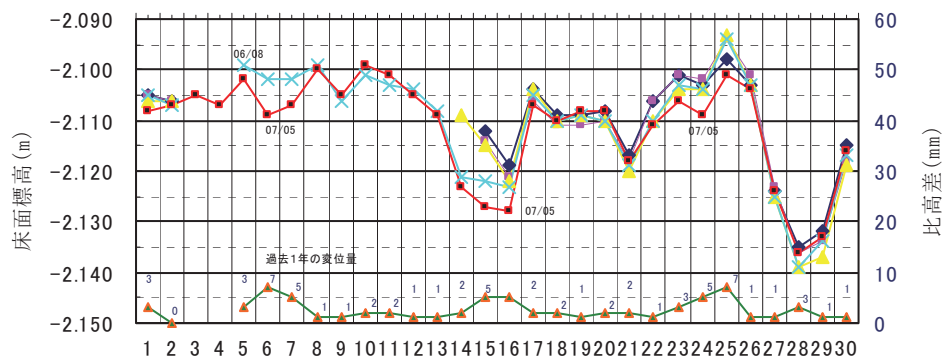


図3.1 トンネル全周の床レベル変位

### 3.2 観測結果

リング全周の観測結果(測点1-30)を図3.1に示す。

#### (1) リング全周の変位状況

最新観測時(2007年5月)の計測値によれば、現況での最高レベルはTP-2, 099mm、最低レベルはTP-2, 136mm、その比高差は37mmである。仮に床版の当初設定レベルをTP-2, 100mmとすれば、現況での最大沈下量は測点No. 28の36mm、次に大きいのが測点No. 15で沈下量25mmとなっている。

この二つのエリアを除けば、リング全周の沈下としては当初の管理目標値±10mmの範囲に概ね収束している。また、図3.1のグラフ上で沈下が継続しているように見える数箇所のエリア(測点6-7、5-16、23-25)についても、当該エリアでの施工記録と照合した結果、前回測定後に行われた盛土施工による沈下を反映していることが確認された。

さらに、継続的な沈下が見られたエリアにおいても「下げ止まり」や「浮上り」が観測されることから、周辺に比べて過大な変位が観測されたエリアは、変位を発生させる原因が特定されるか、若しくは、それらの複合要因によって発生した「即時沈下」を示しているものと判断される。

#### (2) トンネルの変位観測 (CASE-1)

図3.2は測点No. 10における床レベルの経時的変位を示したものである。本工程の荷重条件から見て、このケースはリング全体の平均的な変位傾向を示しているものと見られる。約1年間に及ぶ経時観測によって、①盛土による載荷重に伴うトンネルの即時的な挙動(沈下)、②地下水位の回復に伴う浮上り現象、などが観測されている。

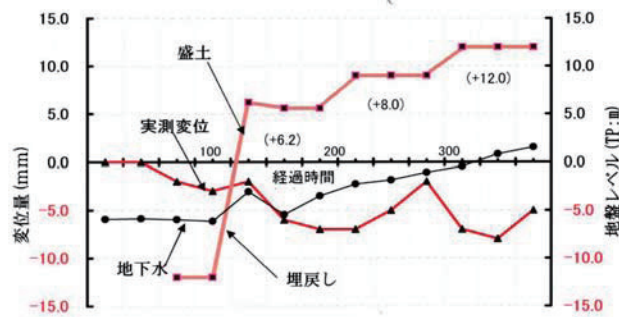


図3.2 <CASE-1>標準的な経時変位 (測点10)

### (3) トンネルの変位観測 (CASE-1)

測点No. 28付近の経時的変位を図3.3に示した。設計段階で予期しない大きな変位(沈下)を発生させたと思われる要因について分析した。このエリアは、①埋没谷を形成する基盤層が著しく傾斜している、②埋没谷にシルト質の軟弱な粘性土層が厚く堆積している、③透水性の高い帯水層(砂礫層)の層厚が急激に変化している、などの特異な地形地質を形成している。そのため、トンネル荷重を支える杭基礎の設計では、深部の泥岩層に到達させるため長尺の杭が採用されている。

さらに、このような複雑な地盤条件に加え、測点No. 28とNo. 29の中間部で、3NBTトンネルが直上部を横断している。当該エリアの沈下量が設計段階での想定に比べ3倍以上の大きさを示していることや、上部トンネルもほぼ同程度の沈下量を記録していることなどから、両トンネルが一体化して過荷重となり、下部トンネルの杭基礎に想定外の過大な変位を発生させたものと推測される。

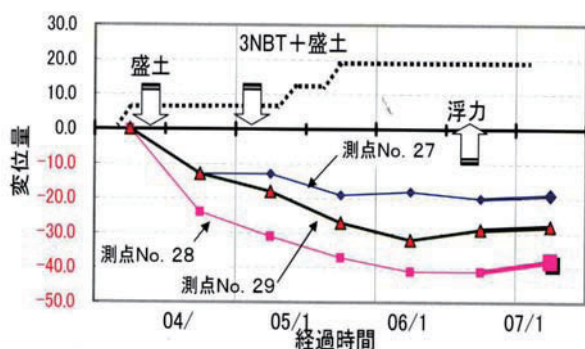


図3.3 <CASE-2> 測点28における経時変位

### 3. 観測結果のまとめと考察

静的な地盤に構造物や盛土などの荷重を加えたり、大規模な掘削によって地盤内の応力を解放すると、地盤中には新たな応力が発生し、同時に変形が発生する。この変形が、まさに今回50GeVリングトンネルで観測した「沈下」や「浮き上がり」である。

今回の観測結果を踏まえ、加速器施設としての基本的な要求性能であるトンネル挙動の安定性を確保する観点から、有害な変位・変形を引き起こす可能性のある影響因子を表2に抽出した。

表2: トンネル挙動に及ぼす影響因子

項目	影響因子	設計	施工	計測施工項目
沈下	固定荷重	○	-	(自重等)
	上載荷重	○	-	(盛土荷重)
	杭支持力	○	○	軸力、変位
	地盤応力	△	○	土圧、水圧、
	地盤変形	△	○	変形係数等
浮上り	浮力	△	○	地下水位
	排土隆起	○	○	リバウンド量

注1) ○; 定量化が可能な段階、△; 推定・概算の段階

注2) 海洋潮汐、常時微動等による影響は本検討の範囲外

前記の影響因子の中で、鉛直荷重による地盤内応力や変位等については、大規模な土木工事においては多数の実施例が報告されているが、加速器施設の求める微細な変位性状をより詳細に把握するためには、トンネル本体工事の前段階で施工される大規模な掘削工事による排土重量にも留意する必要がある。即ち、従来あるいは今回観測された「沈下」と定義される変位が見かけ上の沈下に過ぎず、実際には排土によって引き起こされた地盤隆起(リバウンド)のリアクションに伴う垂直変位である可能性が推測されるのである。

今後の類似施設建設あるいは大規模な加速器建設プロジェクトに際しては、リストアップした個々の影響因子を適切に評価した上で、計画・設計段階から建設段階に至るプロジェクトの各段階で、下記のような課題について十分に考慮すべきと思われる。(計画・設計段階での課題)

1. 加速器の要求性能とリンクした、的確で総合的な地盤調査計画の策定
2. 地質学や地盤工学を含めた総合的な地盤解析結果に基づいた基礎構造計画の実施
3. トンネル構造体の挙動のみならず、構造体と地盤の相互作用を考慮した情報化施工システムを前提とした設計技術の開発 (施工段階での課題)
  1. 設計意図を実現するために必要な、より詳細な地盤調査計画および地下水調査計画等の策定
  2. 要求される構造性能を確実に施工するために必要な、現場計測システムの導入および、計測データを活用した精密な構造解析の実施
  3. 施工結果を完成後も継続的に活用するために必要な情報化施工、管理システムの検討

### 4. 最後に

本プロジェクトでのトンネル挙動計測にあたっては、基準点の信頼性や地上基準点から地下トンネル内への水準移行に伴う測量誤差、さらには工事に伴う振動障害など様々な課題も浮上したが、幸いにも現場技術者の創意工夫によって所期の目的はほぼ達成されたと思われる。

最後に、本考察の主な手がかりは、約3年間に及ぶKEK土木工事連絡会での真摯な報告・検討作業によるものであることを付記する。参加メンバーの鹿島JV、大成JV、清水JV、飛島JV、大林JV、戸田JV、竹中JVの各企業体、測量担当の(株)ミカミ並びに加速器研究施設の関係者各位に感謝申し上げる次第である。

文献

- [1] 吉岡正和、田村彰教、宮原正信、(社)文教施設協会編 “プロジェクトJ-PARC大強度陽子加速器計画”
- [2] 足立格一郎 “建設プロジェクトにおける土質力学”
- [3] 土木学会編 “トンネル標準示方書・開削工法同解説”