

CONSIDERATIONS ABOUT THE CONSTRUCTION OF AN ACCELERATOR TUNNEL AND THE GROUND CONDITIONS IN THE SEASIDE SITE

Masanobu Miyahara¹

High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken. 305-0081

Abstract

The construction site of J-PARC is located in the dune zone of seaside site. The ground of this site has complicated burying valley formed by erosion caused by former glacier-related sea-level change. It is one of the most important demand performances to make a stable tunnel on the design of the accelerator facilities. However, we were often forced to the review of the original design because of this unfavorable ground. The main change was a pile foundation, sheathing method of construction, and anti-subsurface water measures etc, by this shore-related ground condition. This report extracts a problem of some engineering about the underground structure and the geological feature under the ground that we faced by the construction of MR tunnel. Furthermore, I consider an ideal method about the accelerator facility design and the ground investigation plan for a future accelerator construction project.

臨海サイトにおける加速器トンネルの建設と地盤に関する考察 (J-PARC MRトンネルの土木設計と地盤調査)

1. はじめに

一般に、トンネル等の地下構造物の建設においては、地下地形や地質を事前に正確に把握することが困難であることから、当初設計と施工段階における地盤評価に乖離がおこることが少なくない。このようなケースでも、一般の社会基盤施設の場合には、工事費や工期の変更を伴いつつも、当該施設の基本性能を著しく損うような事態に至ることは少ない。しかしながら、ミクロな粒子ビームを扱う加速器施設においては事情が異なる。例えば、実験装置の一部とさえ位置づけられる加速器トンネル本体の挙動は、加速器の基本的な要求性能の一つである「ビームの安定」に直接影響を及ぼす可能性がある。この要求性能を満足させるためには、トンネルを支える下部及び周辺の地盤性状を事前に可能な限り精査することが極めて重要であり設計の出発点となる。

このような観点から、本報告は、大強度陽子加速器施設 (J-PARC) MR トンネル建設における土木設計と地盤に関する工学的課題に着目し論述する。

特に、臨海部の特異な地盤条件下での建設過程から、設計と地盤調査のあり方に関する課題を抽出する。

2. 地盤の概要

J-PARCの敷地は、図1に示すように、久慈川と那珂川の間、に広がる那珂台地東端の臨海部に位置している。また、MR等の主要施設は久慈川河口から阿字ヶ浦まで続く東海砂丘帯に建設された。

このサイトの最大の特徴は、図2に示すように、氷河性海水準変動による浸食のなごりを残す埋没谷 (埋積谷) の存在と、その後の間氷期・海進時に堆積した砂礫や粘性土が互層になって形成された複雑な地層構成である。



図1：敷地周辺の地形図

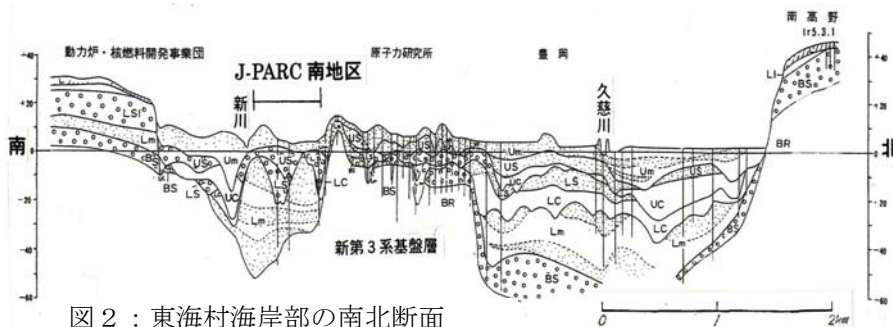


図2：東海村海岸部の南北断面

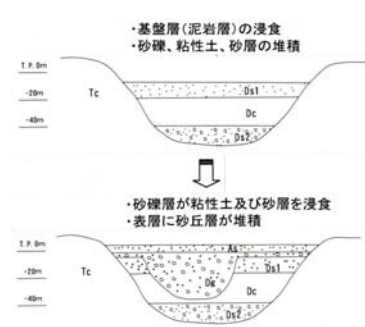


図3：埋没谷の形成過程 (推定)

¹ E-mail: masanobu@mail.kek.jp

2.1 本サイトの地層構成

南地区全体の地質層序表を表1に、海岸特有の埋没谷地形の形成過程（推定断面）を図3に示す。

表1：地質層序表

地質年代	地質名	記号	層相名	記事	
第四紀	完新世	沖積層	A s	砂質土	細砂～粗砂主体で全域に分布。含水比小。貝殻片混入。
			更新世	洪積層	D g
	Ds1	砂質土			粒径不均一低含水
	Dc1	粘性土			シルト主体、軟質～中硬
	Ds2	砂質土			シルト質細砂主体、礫含
	Dc2	粘性土			シルト主体、不均質
	Ds3	砂質土			シルト質砂主体、不均一
	Dc3	粘性土	シルト砂互層、中含水		
第三紀	鮮新世	新第三紀層	T m	泥 岩	砂質泥含主体で中硬質。一部は風化し固結度低い。N値7～100以上とばらつく。

当該サイト地盤は、約200万年前の新第三紀鮮新世と呼ばれる時代に海底に堆積した砂泥や火山灰が固結してできた砂質泥岩（軟岩）層が基盤層を形成している。この基盤層は、氷期の海水準低下により陸化し浸食された。その後の第四紀洪積世に、氷期と間氷期が繰り返されると同時に海水準の変動に伴う浸食と堆積も繰り返され、凹凸の激しい埋没谷地形が形成されたと考えられている。さらに、約1万年前の最終氷期が終わると海面の急激な上昇が見られ、現在の沖積層が堆積した。この約6千年前の縄文海進によると思われる沖積堆積層が、当該サイト表層部を覆っている東海砂丘層である。

2.2 基盤層の分布、地盤性状

基盤層は、J-PARCの主要施設が杭基礎の支持層としている構造的に重要な地層である。しかし、この層の深度レベルは図4に示すように、TP-7m～TP-55mと極めて激しい起伏を呈している。またエリアによっては、表面部で風化現象が見られ、土質サンプルによっては指圧で容易に粒化するなど、泥弱な性質を示す部分（軟岩・風化岩）も存在する。

2.3 地盤性状のばらつき

図5は、MR直下のボーリング調査孔31箇所の基盤層深度について、隣接の調査孔間での深度レベルの傾斜度を示したものである。図中に示した最大勾配51%は調査孔No. 24-No. 25間の離隔距離（54m）に対して両孔間の深度の落差（25m）を直線分布と仮定した場合に、その傾斜が平均51%になることを示している。当該場所は埋没谷の側面となる埋没段丘面にあたり、通常はこの平均傾斜角よりも大きな傾斜面を形成していることが知られている。

また、南地区の全ボーリング箇所（約70箇所）での標準貫入試験で得られた基盤層表層部でのN値分布を図6に示す。同図は、測定N値が最小12～最大450と大きなバラツキを示している。これに対し、既往の研究報告によると、類似の新第三紀軟岩層での試験データから、測定N値を算定する際に一般的に適用される換算N値算定法によると誤差が大きくなる傾向が報告され、同時にこの誤差をより現実的に修正する補正N値算定法が示されている。

この算定方法を用いて安全側に評価して得られた補正N値を併せて図6にプロットした。この補正N値は、測定N値と比べ比較的まとまりの良い分布を示している。いずれの算定方法にしても、本層のN値が基盤層として期待されるN値に満たない、30未満の泥弱箇所が数カ所存在することに、設計上は特別な留意が必要であったと思われる。

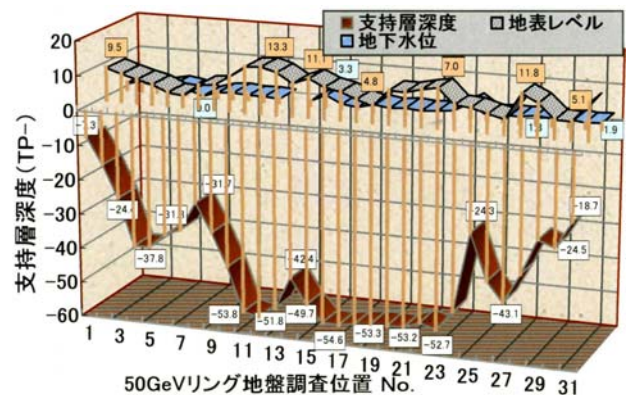


図4：MR直下の基盤層の深度分布

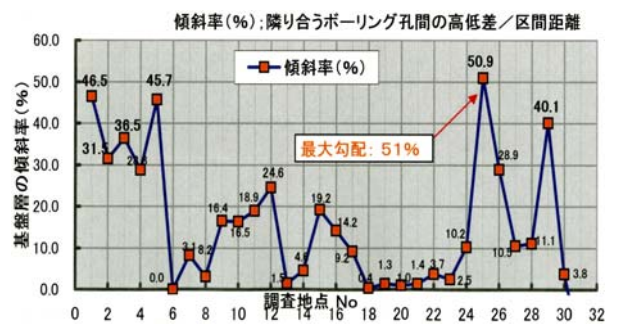


図5：基盤層深度の傾斜度

図7に、埋没谷におけるボーリング調査孔の代表的な柱状図サンプルを参考に示した。測定されたN値が、砂質土の含有率と相関すると同時に、シルト質粘性土粒の含有率と負の相関関係にあることが明確に示されている。さらに、ここでは図示していないが、N値と弾性波速度の相関関係も確認された。

さらに、本サイトの泥岩サンプルによる岩質調査結果の概要を図8に示す。一軸圧縮強度は比較的安定しているものの、剛性率や弾性波速度、動弾性係数などにおいては、相当のばらつきが観測された。

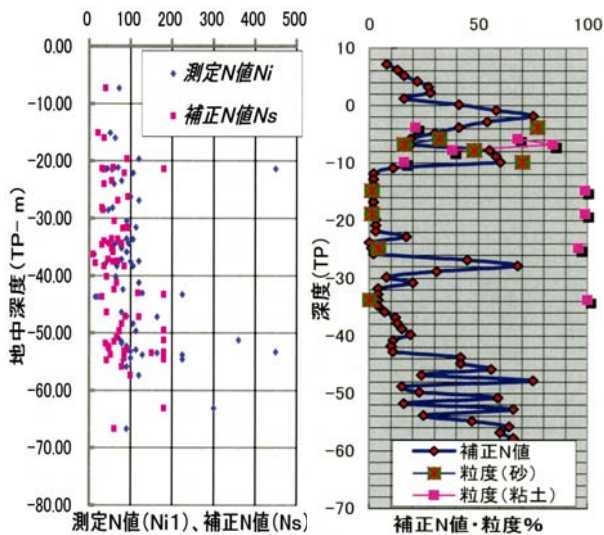


図6: 基盤層N値分布

図7: N値と土質

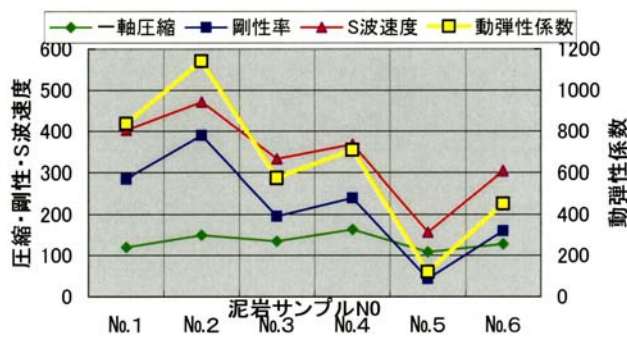


図8: 泥岩サンプルの土質

3. MRトンネルの設計・施工と地盤

前項までに、臨海部にあるJ-PARCサイト地盤の特異性を列記したが、これらの地盤条件が、加速器トンネルの設計や施工にどのような影響や制約をもたらしたか、検証を試みた。表2は当該トンネル土木工事の全工区について、当初の設計内容を変更して施工された事例中、変更の主たる理由が地盤条件に起因するものに限ってリストアップしたものである。表示されているように、地盤起伏の激しさに伴う杭長変更、土留め工法の変更、排水工法や遮水工法等の地下水対策など、全工区で多岐にわたる設計変更を余儀なくされた経緯が確認される。

MRトンネルの建設では、前述の通り設計段階での想定地盤と施工段階での実地盤との乖離によって、様々な施工リスクが発生した。その主たる原因の一つに、土木設計担当者の地盤調査への関与不足と地盤情報に対する認識の低さが指摘される。とりわけ加速器施設の設計にあたっては、①地盤データの評価技術②設計者と地質技術者の連携③発注側のマネジメント技術等について再検討すべき課題が抽出された。そのような観点から、地盤調査及び地盤評価業務を加速器施設の設計業務の中核に位置づける設計体系に改める必要があると思量される。

表2: MR土木における設計変更

項目	工区					
	①	②	③	④	⑤	⑥
杭深度	●	●	▲	▲	▲	▲
土留工法	—	—	●	—	—	●
排水工法	●	●	●	●	●	●
遮水対策	—	—	●	●	●	●

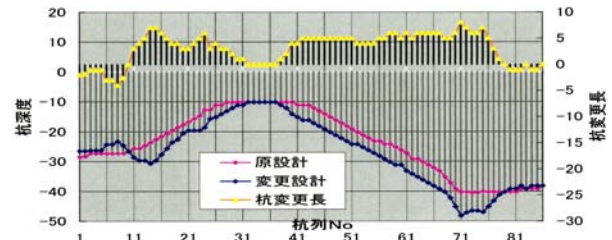


図9: 杭基礎深度の変更事例 (①工区)

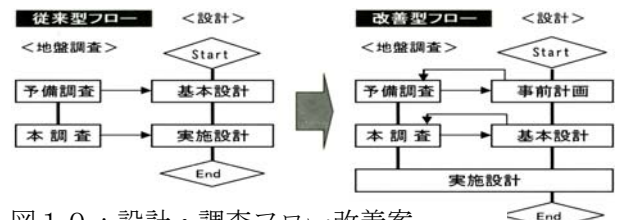


図10: 設計・調査フロー改善案

3. 最後に

MRトンネルの土木工事は、地盤条件に起因する様々な施工上の難局に度々遭遇したが、発注側と施工企業、設計監理者の3者に加え、ユーザーである加速器研究グループも参加した施設建設連絡会を通じての技術交流等に支えられて、度重なる危機を乗り越えることが出来たものと確信する。近い将来に実現が期待されているILC加速器の山岳サイトは、海岸サイトとは別種の困難な局面が予想される。J-PARCでの貴重な経験を活かしていくために技術の継承が強く求められている。最後に、関係各位のご尽力とご協力に対し、あらためて敬意を表すると共に、この間、一貫して先端加速器の要求性能と土木技術の接点を求めて、叱咤激励とご指導いただいたKEK加速器研究施設吉岡教授をはじめとする多くのJ-PARC関係者の皆様に御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 日本原子力開発研究機構(東海研)、応用地質㈱, “大強度陽子加速器施設地下水調査業務報告書”H20-3,
- [2] 東瀬康孝・伊藤稔人, “軟岩における標準貫入試験方法と結果の評価方法”, 土質工学会.1994.
- [3] 日本道路公団, “土質地質調査要領”, 公団.1992.
- [4] 高エネルギー加速器研究機構、応用地質㈱, “高エネ研(東海)大強度陽子加速器施設地盤調査(1)(2)(3)”, H14-6.
- [5] (社団法人)日本建築学会, “Recommendations for Design of Building Foundations”, 日本建築学会.1-2001.