



## シンガポールと東マレーシアの土木技術研修旅行報告

— 第9回北海道土木技術会土質基礎研究委員会研修旅行報告 —

小野田ケミコ株式会社 札幌支店  
技術士（建設部門）

竹田 敏彦

### 1. はじめに

北海道土木技術会土質基礎研究委員会では、これまでロシア(サハリン)、韓国、マレーシア、タイ、台湾、シンガポール、ベトナム、ミャンマーを対象として土木技術研修を実施してきており、今回「シンガポールと東マレーシアの土木技術研修」が計画された。今回の研修旅行の目的は、東南アジアの中で目覚ましい発展を続け、国家プロジェクトを推進するシンガポールの社会資本整備状況の視察とGDP4%を超える成長を続けながら雄大な自然を有する東マレーシアの自然環境を視察することである<sup>1)</sup>。以下に、研修旅行の概要を報告する。

### 2. 研修旅行概要

- 日程：2004年4月23日～29日
- 研修地：シンガポール、東マレーシア  
(コタキナバル)
- 団員構成：団長 神谷光彦(北海道工業大学)、北健治(ジオテック)、下倉 宏(日本工営)、武田覚(ドーコン)、真田英夫(ドーコン)、石塚 学(アクアジオテクノ)、池田晃一(北海道土質コンサルタント)、竹田敏彦(小野田ケミコ)

以上の8名

- 視察場所：①シンガポール地下鉄MRT(Mass Rapid Transit)環状線(Circle Line)のNicoll Highway 駅建設現場及びシンガポール大深度ケーブルトンネル(SENOKO-GAMBAS CABLE TUNNEL)建設現場
- ②東マレーシア(コタキナバル)MAMUT銅採

掘跡地及び世界遺産のキナバル自然公園と東南アジア最高峰を誇るキナバル山(4,095.2m)

### 3. シンガポール編

シンガポールには、千歳空港を午前8時に出発し、関西空港でトランジットの後、現地時間の午後6時20分(日本時間午後7時20分)にシンガポールチャンギ空港に到着した。移動時間として、延べ11時間20分かかったことになる。シンガポール到着後、空港を出るなり気温30度の暑さと、むっとする湿度による南国特有の気候を体感した。

今回、再度、シンガポールが研修旅行地に選定された理由は、東南アジアの点にすぎない小国シンガポールが建設市場を海外に開放することにより国際競争を利用し、新技術の導入を含め低コストで高付加価値を生む都市と国土を造り上げてきていること、また、日本や欧米の技術とローカルの知恵を混ぜ合わせたメルティングポットのような技術で施工していること等、技術の応用展開能力には学ぶべき物が多く、エンジニアにとっては身近な勉強の場であるためである。

#### 3.1 シンガポール地下鉄 Nicoll Highway 駅建設現場

今回、視察を予定にしていたシンガポール地下鉄MRT(Mass Rapid Transit)環状線(Circle Line)のNicoll Highway 駅建設現場で、我々の出発3日前に図-1の現地新聞報道のように大崩壊事故が発生し、現場で作業中の作業員1名が死亡、3名負傷、また他に3名が生き埋め状態(最終的に4名死亡)

にあった。見学の当日も救出作業が続いており、現場が立ち入り禁止状態にあったため、急遽、崩壊現場(写真-1)の災害状況視察を行い、崩壊原因について我々なりのディスカッションを行った。工事現場概要と崩壊状況について新聞で報道された内容を紹介する。

シンガポールの地下鉄は、すでに南北線、東西線、北東線、空港線(路線延長 110 km、65 駅)が整備されており、都市中心乗換駅の混雑を避けるバイパスとして、現在、環状線(延長 33.3 km、29 駅、全線開通: 2010 年、建設費: 6.7 兆シンガポールドル)の建設が進められている。見学を予定していた Nicoll Highway 駅建設現場は、図-2、3 に示すように既存の Nicoll Highway の下に駅舎部を構築するもので、地盤としては軟弱な海成粘土が深く堆積している埋立地盤を地下 33 m まで掘削して築造する非常に困難な工事である。崩壊前には、すでに 30 m は掘削済みで、残り 3 m の掘削を残し、最終の 9 段梁を設置している時に土留め壁(連壁:  $t=80$  cm)の崩壊を生じたようである。



写真-1 崩壊現場状況(土留め壁崩壊により Nicoll Highway が幅 150 m、長さ 100 m、深さ 30 m 陥没)<sup>2)</sup>



図-1 Nicoll Highway 駅建設現場の崩壊事故を伝える現地の新聞記事(4/21 付 The Straits Times)<sup>2)</sup>

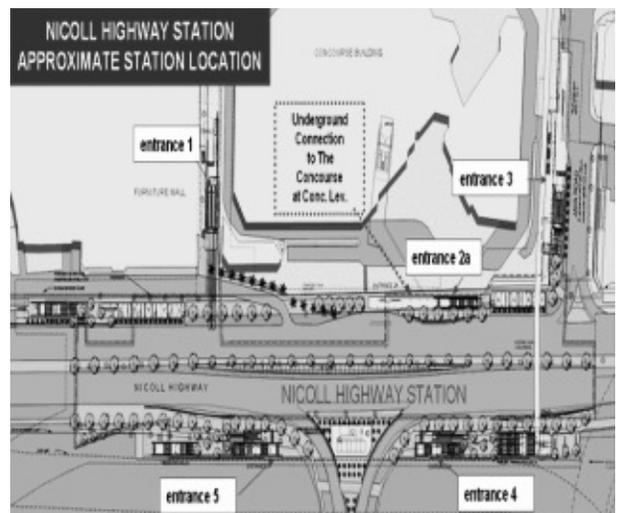


図-2 Nicoll Highway 駅舎部建設位置図<sup>3)</sup>

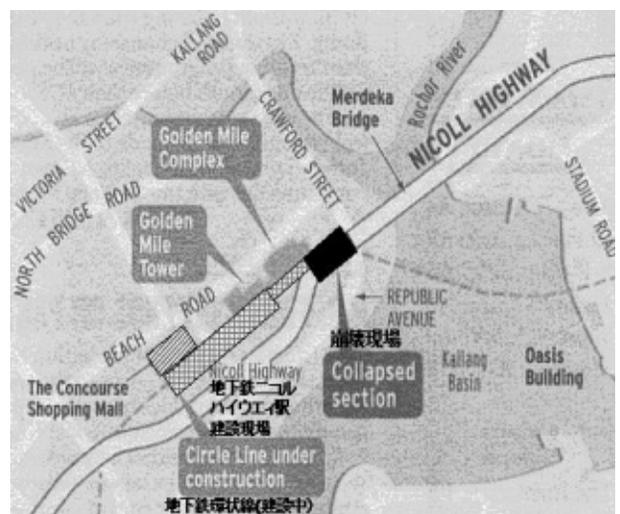


図-3 Nicoll Highway 駅建設現場及び崩壊位置<sup>2)</sup>

今回の崩壊事故原因についての詳細は、現地の事故検討委員会が調査中だが、急激に崩壊を生じていることと、崩壊前に土留め架工鋼材の軋む音が聞こえたという証言等から、土留め架工が土圧に耐えられなくなって崩壊したのではないかと考えられる。

現場の土留め状況及び地質状況を図-4に示す。

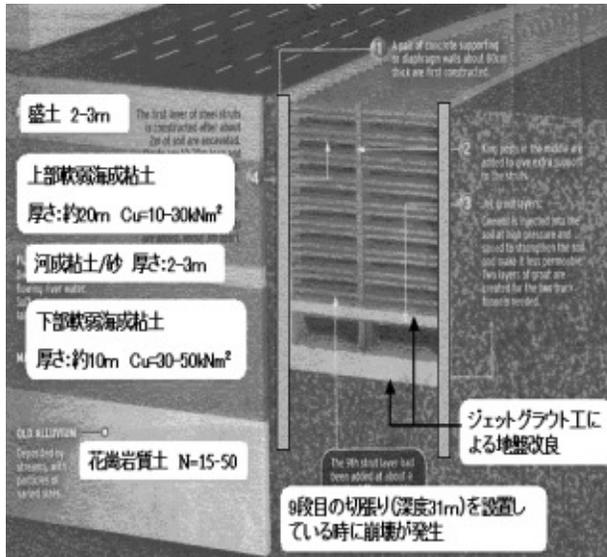


図-4 崩壊部の土留め状況と地質概要<sup>2)</sup>



写真-2 崩壊現場を視察中の団員  
(車はテレビ局の中継車)

### 3.2 シンガポール大深度ケーブルトンネル

(SENOKO-GAMBAS CABLE TUNNEL) 建設現場

シンガポールの電力事情として、シンガポールでは1995年に公益事業としての電力・ガス事業を国から分離し、シンガポールパワー社を設立した後、パワーセラヤ社を含む国営発電会社3社がシンガポールパワーの傘下を離れ、分離・独立した民間組織と

して運営している。また、現在、シンガポールの電力供給システム改善の一環としての第一期大深度(地下30-50m)ケーブルトンネルの施工を、大林組とオーストラリアの建設会社マッコネルダウエル社とのJVで施工中である。

今回、シンガポールでの民間の施主による設計施工(デザイン・ビルド)の現場で、図-5に示すように複雑な花崗岩層、硬岩層、完全風化花崗岩層をTBMと地盤改良を併用して施工している状況を視察した。

視察現場は、マレーシアとの国境に近いセノコの発電所から新興住宅地のGANBAS側に送電する為の地下ケーブルトンネル工事現場(延長:1.56km×2本)の内、TBM(トンネル外径:φ4.1m、内径:3.7m)の発進・到達用のGANBAS立坑(掘削深さ55m)である。リフトに乗って円形立坑の地下50mまで降りたが、地盤が悪く地層が複雑に変化している30m付近までは、コンクリート連壁による土留め工を行い、それ以深については素掘りにショットクリート施工という掘削仕様で施工してあった。底盤近くにあった風化花崗岩の状態を観察したが、風化が激しい物はマサ化によって軟弱土化していた。また、岩盤の亀裂部分は風化により、茶褐色に変色し、湧水も見られた。

トンネル掘削中の湧水対策には、マイクロセメント(アロフィックスMC)を地上から約50m削孔して岩盤亀裂部に注入して処理したことを現地ONODA CHEMICO ASIA社の山根社長から説明を受けた。



写真-3 大林組・マッコネルダウエル JV 現場事務所事前説明を受けた後、立坑に向かう準備中の団員



写真-4 GANBAS 立坑(内径：12 m、掘削深さ：55 m)  
現場前  
これから地下に向かう前の安全点検



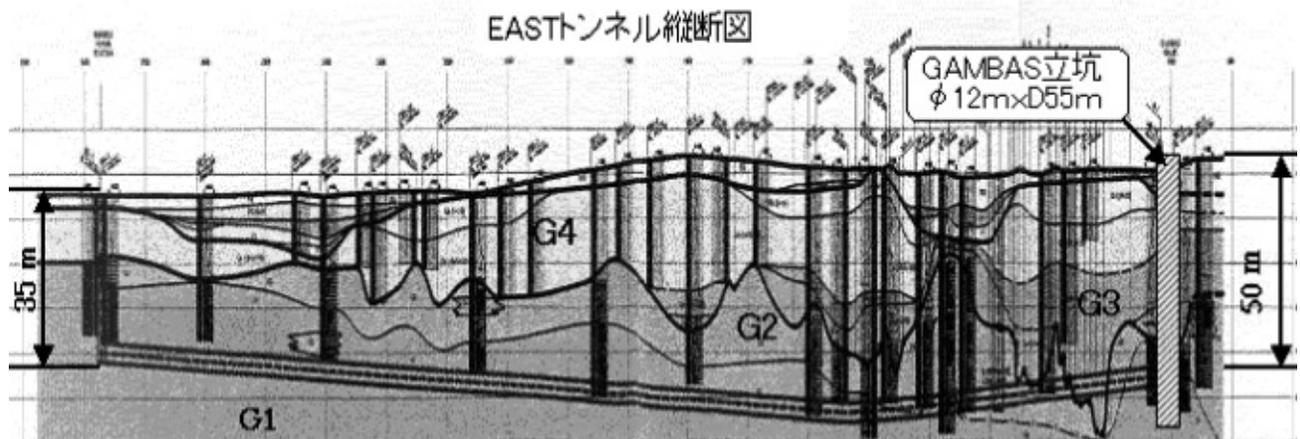
写真-6 花崗岩の状況(茶褐色の部分は風化作用を受けて変色しており、亀裂が発生している。亀裂の黒色は、MC グラウトの跡。完全に止水されている。)



写真-5 トンネル断面(内径：3.7 m)：完成後400 kV、230 kV、66 kVのケーブルがこの中に設置される

#### 4. 東マレーシア編

今回の視察地は、東マレーシアのサバ州都コタキナバルとコタキナバルから車で2時間ほど離れたRANAUという街にあるMAMUT銅採掘跡地及び世界遺産であるキナバル自然公園とキナバル山(4,095.2 m)である。サバ州は、世界で3番目に大きい島、ボルネオ島の北端で、赤道のすぐ北に位置しているため一年中熱帯性の気候にある。



※地層：G1-G4:花崗岩の風化程度によって区分 G1新鮮な花崗岩 G4: N<10

図-5 SENOKO -GAMBAS ケーブルトンネルの地層縦断面図

#### 4.1 MAMUT 銅採掘跡地視察<sup>4)</sup>

MAMUT 銅鉱山は、コタキナバルから東に約 60 km 離れたキナバル山（標高 4,095 m）の南東斜面（標高 1,300 m）に位置し、日本の海外鉱物資源開発会社（OMRD）によって 1967 年に採鉱調査が実施され、日系企業が 51%、現地実業家（3 名）が 49% の資本を出して設立した現地企業によって 1975 年から 98 年まで採鉱した所である。当時の鉱物埋蔵量は、銅が 58 万 t、金 43.7 t、銀 3 千 t と想定され、鉱山の寿命としては、2000 年を想定していたが、銅価格の低下と地すべり崩壊により 1998 年に閉鎖した。



写真-8 採掘された銅鉱石の肉眼分析状況

銅鉱を採掘した跡地は、直径 1,200 m、深さ 500 m のクレーターを形成し、4,800 エーカー（約 2 千万 m<sup>2</sup>）もの広大な面積を掘りっぱなしで放置しており、環境破壊の姿をそのままに残している。掘削当時も、銅鉱滓スラリーパイプからの鉱滓のリークや

降雨による鉱滓置き場ダムの流失により、渓谷や河川、水田（8 百万 m<sup>2</sup>）を汚染した。現在でも写真-7 の現場状況を見れば、降雨によって硫化物や鉱滓スライムが右端に見える河川に流失しているように見受けられる。鉱山開発は、環境に対するインパクトが大きいため、閉鎖の際の環境対策を義務づけるべきであると思った。

#### 4.2 キナバル山とキナバル自然公園

東南アジア地域の最高峰キナバル山（標高：4,093 m）は、1.5 百万年前に地殻表層の南シナ海プレートの東方向への移動によって圧縮された海底堆積岩が上昇して陸地化し、その後、地下のマグマ（花崗岩）の上昇によって山体を押し上げるとともに、山頂部では花崗岩が露出して現在のキナバル山を形成したと言われている。また、現在のような山頂部の景観は、氷河期の氷河による侵食の影響とのことである。屋久島がキナバル山と同じように花崗岩の上昇によって山地を形成している。

キナバル山を含むキナバル公園は、1964 年にサバ州で最初に州立公園に指定され、2001 年にはマレーシアで初の世界遺産に登録されている。現在の公園面積は、約 75,000 ha で多様な自然環境を見ることができる。また、公園の標高 500 m 地点の低地熱林帯に、第二次世界大戦初期、ボルネオを占領した日本軍が掘り当てたポーリング温泉（Poring Hot Springs）がある。現在、八つの露天浴槽とバンガロー風屋内浴槽にパイプで硫黄泉の源泉（温度：約 42℃）が引き込まれており、各自自分の好みの温度



写真-7 MAMUT 銅鉱山跡地



写真-8 コタキナバル近郊から見たキナバル山



写真-9 ポーリング温泉の源泉湧き出し口



写真-10 南国の天然温泉を楽しむ団員達

に調整して湯治を楽しむことができる<sup>5)6)</sup>。

#### 4.3 サピ島での休日

飛行機からコタキナバルを眺めると、広がる市街地に隣接して、州立トゥンク・アブデュール・ラーマン海洋公園 (Tunku Abudul Rahman Park) のエメラルドグリーンの海に浮かぶ五つの島々が見え

る。研修旅行の最終日に、自然環境が保護され、珊瑚や熱帯魚、熱帯植物がそのままの状態に残されている無人島のサピ島 (Sapi Island) に渡った。帰りのボートは、激しい南国特有のスコール見舞われ、その寒さに団員達も振るえていました。

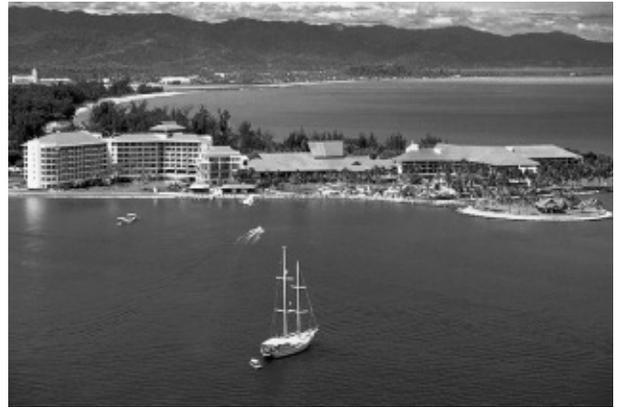


写真-11 宿泊した Shangri-La Tanjung Aru Resort ホテル  
ここからボートに乗り約30分でサピ島に到着する



写真-12 サピ島の船着場 (マリンブルーの海と珊瑚礁に群がる熱帯魚が印象的)

#### 5. おわりに

私こと、平成13年の11月に北海道に転勤してくるまでは、当社の海外担当で東南アジアの海外工事を担当していた。特に平成9年から平成13年までの4年間は、シンガポールの現地法人会社に勤務しており、北海道土木技術会第6回研修旅行の際は、研修旅行を受け入れる立場であった。今回の研修旅行地は、私の古巣の再発見になる有意義な研修旅行でもあった。また、7日間という短い研修旅行であったが、現地の視察の他に、団員と共に行動すること

によって、自分の専門以外の知識を吸収できた。道中、何かと指導してくれた団員の印象をここに紹介して、研修報告のまとめとする。

**神谷団長：**何度もボルネオに泥炭の研究で出張しているようで、現地食に馴染み過ぎ、団長に食材を選んでもらうと、皆が食できない不思議なものを選んでしまう傾向がある。また常にパソコンを持参して、何やら報告書を作成していた。

**池田氏：**旅行の企画・段取り関係を行ってくれた。地質関係が専門で、MAMUT 銅鉱山、キナバル山では地質の生い立ちや鉱物について説明をしていただき、理解を深めることができた。

**武田氏：**何よりも冷えたビールをこよなく愛している。また、結構雑学に優れている。飛行機の中では、座席についているパソコンゲームに夢中になっていたのが印象的だった。

**真田氏：**食事の好き嫌いははっきりしており、現地の食事は、結構大変そうに見えた。常に日本から持参した鮭缶がテーブルに添えてあった。

**北氏：**ホテルで時間ができると暑い気候にもかかわらずランニングで体を鍛えることを欠かさなかった。専門が地盤なのかアスリートなのか疑問。

**下倉氏：**会計幹事のため、皆のわがまま状態のオーダーに対して常に予算管理を行っていただいた。4月に秋田のダム建設現場に転勤になり、今回、わざわざ秋田から参加いただいた。

**石塚氏：**仕事関係上は地下水関係が専門のせいかわれどとの遭遇をこよなく愛する。嫌いな食べ物がないのか、何を食べても「美味しい」の連発と、何を食べても全てに感動する。

**竹田氏：**東南アジアの表、裏に精通しガイド役も兼務する。シンガポール大学で鍛えた英語力は頼もしいが、時々、中国人に間違えられることもある（文責：真田）。

## 謝辞

今回の研修旅行で、シンガポールにおける現場案内・説明をして下さった SENOKO-GAMBAS ケーブルトンネル現場の大林組・マッコネルダウエル社 JV の山下氏、また、コタキナバルの MAMUT 銅

鉱山を案内して下さった市役所の人及び ONODA CHEMICO ASIA 社の山根社長、宮野氏に感謝申し上げます。



写真-13 シンガポール、マーライオンの前で記念撮影

## 参考文献

- 1) 梅津和弘：シンガポール・マレーシアの土木事業、(株)日本技術士会北海道支部・北海道技術士センター（2001）：コンサルタンツ北海道、通巻 95、pp 42-46.
- 2) HP THE STRAITS TIMES INTERACTIVE, <http://straitstimes.asia1.com.sg/mnt/html/webspecial/nicoll/>
- 3) HP LAND TRANSPORT AUTHORITY [http://www.lta.gov.sg/projects/index\\_project\\_ccl.htm](http://www.lta.gov.sg/projects/index_project_ccl.htm)
- 4) Yong Fook Shin: MAMUT COPPER MINE - THE UNTOLD STORY, Mamut Copper Mining Sdn. Bhd.
- 5) HP SABA TOURISM PROMOTION CORPORATION <http://www.sabatourism.com>
- 6) HP JICA BORNEO BIODIVERSITY & ECOSYSTEM CONSERVATION <http://www.bbec.sabah.gov.my/index.asp>