

ベトナム中部地帯に建設されるハイパンプトンネルの概要紹介

—— 東南アジア最長となる道路トンネル ——

(株)間組 国際事業統括支店土木部
ハイパンプトンネル 作業所
黒田昌司

要 旨

ハイパンプ峠を越える既設山岳舗装道路(高低差:475m,延長約22km)は,その地形から急勾配・急カーブの連続であり南北縦貫道路(国道1号線)のボトルネックとなっている。全長6.3kmを越えるハイパンプトンネルの建設は 物流の主幹線としての機能アップを主目的として計画・実施されている。トンネル工事はNATM工法(ベトナム/道路トンネルで最初)を採用,長大トンネルである為集塵設備・換気坑併用の軸流ファンによる換気システム また供用時の総合監視システムの導入と最新先端技術を活用しながら,2000年10月1日工事着工,2003年10月30日貫通を経て2005年初旬の供用開始を目指し鋭意建設中である。

目 次

1. まえがき
2. 工事概要
3. トンネル土木工事
4. トンネル建設技術移転
5. あとがき

1. まえがき

ベトナムの国道1号線は, 国土を南北に縦貫する物流の幹線であり, 中部地帯に位置するハイパンプ峠区間(フェータン間に位置する全長約22kmの峠区間)は, 随時改修工事が施され路面は良い状態が維持されているが 勾配が急であるとともにその地形より急カーブが多い為, 同路線のボトルネックであり交通の難所となっている。ハイパンプトンネル建設工事は, 日本のODA資金(円借款)を利用して, 当該峠区間に全長約6.3kmの道路トンネル(対向2車線)及びアプローチ道路・橋梁を建設するプロジェクトであり, 土木工事の他電気設備工事・機械設備工事等全部で9つの契約工事(パッケージ)により構成されている。

プロジェクトの特徴として次の点を挙げる事ができる。

① 東南アジアでは初めての長大道路トンネル(6.3km)であり, 供用する本坑とともに緊急時に使用する避難坑が平行して配置されており, 将来のベトナム国経済発展・物流のさらなる需要増加にともない拡幅(避難坑)が計画されている。その際は, それぞれのトンネルにて片側 2車線通行が可能となる。

② 工期短縮を図る為, 土木工事施工中に電気・機械工事(別パッケージ)が同時並行で行われる。同一空間(トンネル坑内)で複数の異業種施工業者の作業が輻輳する。

③ 縦流換気システムの採用による換気用トンネル・静電集塵設備(ループ式トンネル)およびジェットファン設備が設計されている。

④ 供用開始後のO&Mシステムとして総合監視システム(SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition)が計画されている。

2. 工事概要

- 1) 工事名称 : ハイパンプトンネル建設工事
- 2) 企業者 : ベトナム社会主義共和国 運輸省
- 3) エンジニア : 日本工営・Louis Berger Int'l JV.
- 4) 全工事区間 : 12,182m
- 5) 通行区分 : 2 レーン
3.75+1.25路肩
- 6) トンネル延長 : 6,247m (本坑)
6,286m (避難坑)
1,912m (換気坑)
410m (集塵機坑)
- 7) トンネル工法 : NATM
- 8) トンネル掘削断面 : 92.7m²(本坑)
17.6m²(避難坑)
44.5m²(換気坑)
- 9) 連絡坑 : 400m毎
- 10) 換気設備 : ジェットファン 23基
静電集塵用トンネル 3本
換気用トンネル 1本

このうち, 当社が請負っている トンネル土木工事北工区の工事概要

工事名称 : ハイパンプトンネル建設工事 北工区
施工場所 : ベトナム 中部地方 フェー ランコー 地区
工期 : 2000年10月01日～2004年9月30日 48ヶ月
工事内容 :

- ① トンネル延長
本坑 L=3,857m (掘削純断面 92.7m²)
避難坑 L=3,857m (掘削純断面 17.6m²)
換気坑 L=1,912m (掘削純断面 44.5m²)
集塵機坑 L= 273m (掘削純断面 69.5m²)
全掘削数量 530,000m³
- ② 吹付けコンクリート 180,480m²
- ③ ロックボルト 13,000本
- ④ 覆工コンクリート 41,300m³
- ⑤ コンクリート舗装 46,400m²



プロジェクト位置図

3. トンネル土木工事

3.1 工事工程

(1) Mile-Stone

全土木工事の完成を48ヶ月で達成させなければならないという非常にタイトな建設工期であり、なおかつ、異なる3項目の完成期日(Mile-stone)が設定されている。

- ①: 本坑内すべてのコンクリート工事(舗装工含む)を全工事終了の6ヶ月前に完了させなければならない。
- ②: 坑内にある 静電集塵機用トンネル(2本)の土木工事を全工事終了の11ヶ月前に完了させなければならない。
- ③: 換気坑を全工事終了の3ヶ月前に完了させなければならない。

このMile-stoneの設定については、本プロジェクトの特徴のひとつである土木・機械設備・電気設備の異業種パッケージ工事が同時に施工される事に起因している。

一方、コンクリート舗装工はトンネル土木工事において工程の最後に施工する工種であり、この工事の終了をもって土木工事完了となるのが一般的である。換言すれば全体工期48ヶ月が設定されているが、実質42ヶ月の工期内に土木工事のマイルストーン工事を完了させなければならない事と同意である。

(2) Partial-Handover

Mile-stoneの他にPartial-Handoverとして他パッケージ業者へ土木工事の部分完成引渡しが行われている。

幸いな事に、機械設備・電気設備業者ともに日系企業が参画しているため、相互に各々の工事の重要性を認識したなかで、工程のすり合わせ・調整を行なう事ができている。

3.2 トンネル掘削

(1) 地質概要

ハイパシの地質は、玉石(V=3~5m3程度)を多く含んだ地層厚約3~8mの表土に深は先カンブリア紀に属する花崗岩により形成されている。換気坑・避難坑においては坑口付け部の土砂ならびに強風化作用による脆い状態の花崗岩の介在は比較的少なく、坑口より比較的短い距離

で新鮮な花崗岩に遭遇した。本坑においては、坑口より約40mまでは強風化作用を受けた地山等級D1~D2分類に属し、トンネル支保構造としてタイプVI(インハート付き)で施工した。その後、40~75mまでは地山等級D~C分類に属する地質となり支保タイプV、75~120mまでは地山等級C~B分類に属する地質となり支保タイプIV~IIIで施工した。掘削工法として上部半断面先進工法を採用した。坑口より120m以遠については、新鮮な花崗岩の出現により地山等級B~A分類に属する地質となり支保タイプII、さらに300m以遠では完全に新鮮な花崗岩のみとなり地山等級A分類に属する一軸圧縮強度値150~200Mpa程度の非常に硬い岩盤の切羽となり、支保タイプIによる全断面掘削工法にて施工を行なった。岩盤の亀裂については概ね1.0m以上の間隔でトンネル軸に対して15°程度の走行を持つ高角度な亀裂が卓越していた。

トンネル掘削が終了した北工区においては当初設計に比べて地山等級別延長距離比率について特筆すべき結果が得られた。等級A(30%)+B(30%)で全体の6割程度が100Mpa以上の硬度な地山であろうと予想されたが、現実には、最も硬い等級Aが84%以上を占めた。

一方、南工区を含めた全延長においては等級Aが75%、等級Bを含めると92%が100Mpa以上の一軸圧縮強度を持つ岩盤が占めた。トンネル掘削に関して、坑口付け部分を除き、全線に亘り特別な補助工法の必要性もなく地質の観点から見ると恵まれた状況であった。

本坑における支保タイプ緒言

Support Type	Round Advance	Section	Support members					
			Shotcrete		Rock-bolts (per round)	Wiresmesh (per 1.0m)		Forepoling (per 1.0m)
			mm	m2/m	SN(D25)/ IBO(R32)/ S.swellex	CQS 6	CQS 7	IBO(R32)/ Lances(Ø26, Ø36)
I	>3.0	92.66	50	25.59				
II	2.0	92.66	50	25.59	3.0m, 13.5nos.	25.59		
III	1.5	93.95	100	25.59	3.0m, 15.5nos.	25.59		
IV	1.2	93.95	100	25.59	3.0m, 15.5nos.	25.59	H 125x125	
V	1.0	95.25	150	25.59	4.0m, 19.5nos.		25.59	H 125x125 3.0m, 16.5nos.
VIA	1.0	117.74	200	37.89	4.0m, 19.5nos.		75.78	H 150x150 4.0m, 16.5nos.

(2) 長孔発破掘削

地山強度ならびにタイトな工期を鑑みて、地山等級A分類の切羽における全てのトンネル(本坑・避難坑・換気坑)において、長孔発破掘削を実施した。一進行長L=3.5mを目標とし、大断面(A=100m2)の本坑並びに下り勾配(i=8.667%)で切下がって掘削を行なう換気坑についてはVカット心抜き穿孔の発破構造により、又、小断面(A=18m2)の避難坑についてはバーンカット心抜き穿孔の発破構造にて掘削作業を実施した。長孔発破掘削に関する詳しい報告書は別途作成する事とし、ここでは外周部においてスーパースティング手法により余掘りの軽減ならびに周辺地山への過剰エネルギー伝播の軽減に努めた事を記しておく。



油圧ジャンボによる穿孔状況（本坑）

(3) 坑道換気システム

本坑と平行に避難坑が配置されている点、400m毎に本坑・避難坑が連絡坑で繋がっている点、トンネル掘削延長（北工区）が3,800mを越える長大トンネルである点、又、大断面での長孔発破掘削を実施する事によるズリ出し作業時間の長時間化の問題等を総合的に考慮し本坑（大断面及び主通行帯）を新鮮空気の流入用シャフト、避難坑（小断面及び切羽後方場所の通行規制可能）を排気用シャフトとした坑道換気システムによりトンネル掘削を実施した。

トンネル工事における換気システムの重要性は周知するところであり、その必要空気量を求める計算式・計画方法は、既に定式化されており比較的容易に換気計画をたてる事できる。が、この坑道換気システムについては2本のトンネルが平行に位置しておりかつ片側を排気シャフトとして占有する事（シャフト内作業禁止）が可能である事が最低必要条件となる為、日本国内におけるトンネル建設工事現場においてはこれまであまり例を見ない。ハイバンプトンネル工事においては、当初排気用ファンを避難坑坑口に定置式として設置・使用した。が、掘削延長の増加に伴い送気（新鮮空気）と排気（汚染空気）の微妙な流体バランス崩れをおこし切羽作業環境の悪化に至った。対応策として避難坑坑口に設置した排気ファンを移動式タイプに改良し、できる限り切羽に近い場所にその都度（新規連絡坑の設置毎）移設させる措置を講じ、その結果として汚染空気の早期排出が可能となり切羽作業環境改善・修復を行なう事ができた。



移動式 排気ファン（坑内 引込み前）

(4) 計測システム

NATMによるトンネル掘削工事を進めるにあたり重要な工種として、NATM計測工を挙げる事ができる。ここではNATM計測工の詳細説明は省略するが、ハイバンプトンネル工事における本坑・避難坑・換気坑ならびに静電集塵機坑の全延長L=9,879mでの測定断面数と各トンネルの支保タイプ別における平均変位量の紹介を行なっておく。

- ① 本坑； 52 断面
- ② 避難坑； 47 断面
- ③ 換気坑； 40 断面
- ④ 静電集塵機坑； 8 断面

support type	本坑	避難坑	換気坑	集塵機坑
	mm	mm	mm	mm
VI	40	20	-	-
V	40	15	6	-
IV	20	10	4	-
III	10	10	3	-
II	5	5	5	-
I	3	3	3	3

3.3 トンネル覆工

(1) 防水工

NATM工法によるトンネル工事の特徴の一つとしてトンネル覆工が2次コンクリートもしくは化粧巻きとして捉えられている点が挙げられる。最近のヨーロッパにおけるトンネル工事の世界ではSingle-shellの考え方が主流を成しており吹付けコンクリートのみで最終仕上げとし、工事の完成としているケースが見られる。その為防水工に関しても吹付け防水技術の開発が行なわれておりさらには、吹付けコンクリート自体の品質は然ることながらそのDurabilityについて研究・開発が進められている。この意味はまさにトンネル構造物自体の安定性が覆工コンクリートなしで保たれている事を表しておりこの潮流は日本へも押寄せてくる事必至である。さて、話を戻すがハイバンプトンネル工事における防水工はPVCもしくはEVA素材のシートを全線に亘り張付ける事で防水効果を得ると同時に、吹付けコンクリート面と2次覆工コンクリートとのIsolation効果を期待している。このIsolation効果は長期に亘る地山挙動が原因となる2次覆工コンクリートへの影響エネルギー伝播低減の一助をなし覆工コンクリートの品質劣化防止 + 長期安定性維持につながる。



防水シート 施工状況

(2) 覆工コンクリート

前記したように 2次覆工コンクリートなしでも安定可能な NATMトンネルであるが、供用時の美観アップ・照度アップ・長期安定性維持アップ等の意味合いを持つ覆工コンクリート工事である為 その施工においてはコンクリート表面仕上り具合に細心の注意を払い要求品質に適合した構造物をつくりあげた。ここに、本坑・換気坑ならびに静電集塵機坑におけるそれぞれの打設ブロック数を記す。

- ① 本坑； 333 ブロック (12.0m/ブロック)
- ② 換気坑； 186 ブロック (9.0-12.0m/ブロック)
- ③ 静電集塵機坑； 54 ブロック (3.0-6.0m/ブロック)



覆工コンクリート (坑口付近)

4. トンネル建設技術移転

ベトナム国における初めての NATM工法による道路トンネル工事であることは、先にも述べたが今後も同種の工事が計画されており、ベトナム政府としては今回のハイヴァントンネル建設工事を通じて最新のトンネル建設技術の習得を期待している。

ハイヴァントンネル建設工事にはトンネル建設技術移転プログラムが盛り込まれており、その骨子として日常業務における(OJTによる)施工技術並びにコンサルティング技術の習得と、特別カリキュラムによる NATMトレーニングプログラム(設計+施工)の実施がうたわれている。又、供用開始直前にはコンサルティングエンジニアによる O&M (Operation and Maintenance)会社への全体運営講習が計画されている。

OJTに関しては、請負業者(コントラクター)としての工程管理にはじまり品質管理ならびに安全管理の重要性を全作業員が常に意識する事を最重要課題と捉え、安全朝礼に始まり昼夜交替時の確実な申し送り等 基本的なポイントからトレーニングを行なった。Supervisorとして各作業班を率いた大学卒のローカルエンジニアクラス(全員が英語でのコミュニケーション可能)には物事の本質を見つめる事の重要性も併せて教育を行なった。又、コンサルティングエンジニア側に所属する Inspectorもその大多数がトンネル建設工事への従事は初めてであり我々施工業者のエンジニアクラスのスタッフと一緒にOJTを行なった。(講師はそれぞれ違う場合が多いが・・・)

特別カリキュラムの NATMトレーニングでは企業者である MOT (運輸省)により選抜された20名(今後のベトナムに於ける NATM のリーダー候補生)が 約一ヶ月間の講義による講習を無事

修了し、その後施工中の現場で更なる技術の習得を行なった。

OJTならびに NATMトレーニングにおいて作業員・スタッフに Remindした重要ポイントは「トンネル経験則」の話であった。即ち、「ハイヴァントンネル工事を無事完成させる事ができたとしても、今後建設が予定されているトンネル工事がスムーズにいくと考えてはいけない。何故ならばハイヴァントンネル工事の場合、トンネル掘削に関して言えば硬さゆえの困難さは確かに存在したが地山挙動との戦いを殆ど経験していないからである。トンネルとは線状構造物であり1.0m先の地山状態をどの様に予測するか、またその対応策準備の精度・確度をどこまで引き上げる事できるかがトンネル技術者の使命であり、あらゆるトンネル工事においてまったく違った状況に遭遇するものであるとの認識を持つ事が大切である。勿論、このハイヴァントンネル工事での経験は大いに役立つはずである。」 NATMトレーニングプログラムにおいて講師を担当していただいた山口大学 中川教授がある論文で述べている「臨床トンネル工学」という考え方は 上述のトンネル経験則を基本とし更に学問として進展させたものと言える。

5. あとがき

ベトナム国においては水力発電計画・事業が頻繁に行なわれており導水路トンネル工事の経験は豊富である。その掘削断面もA=40m²程度とトンネル掘削工事としては中規模クラスに属する為、今回のハイヴァントンネル工事におけるトンネル特殊機械の機種・モデル等も既に紹介されているものが数多くあり施工開始時の初期訓練期間を短く終らせる事ができた点は厳しい工程管理の中にあっては明るい材料であった。ベトナム国の著しい経済発展に伴うモータリゼーション時代の到来(我々が乗込んだ2000年09月時の地元タナン地区におけるモーターサイクルの普及率を現在と比べてみるとその差異は歴然としたものがある)を見据えた今回のハイヴァントンネル建設工事へ参画ができた事は、請負業者として喜びでありかつ誇りである。一方、軸圧縮強度が150Mpaを超える新鮮花崗岩(最大被り900m)の地山を一発破で L=3.5m以上の掘削(進行長)を確保する醍醐味(一回あたり火薬消費量 450kg以上)は工事に携った者だけの特権である。また、このレポートでは紹介しなかったけれどもトンネル掘削中に遭遇した異常出水また切羽通過後 後方L=100m以上離れた箇所発生した挙動変位等の事象への対処を確実に実施できたのは、数多くの困難な状況に遭遇し、それらを克服しながらトンネルを完成させてきた日本のトンネル施工技術・施工マナーメント能力が確実に受継がれてきた成果であると感じている。施工業者のみの話ではなくコンサルティングエンジニアも同じであると考え。先人達の努力へ感謝の気持ちを贈りたい。今回のプロジェクトでベトナム国へその一端を伝える事ができたかどうかは 今後のトンネル建設工事で証明されるものと楽しみである。

参考資料

- 1. <http://haivan.cup.com>
- 2. I.Ishimoto, Nguyen.N.Tran : Introduction of Hai Van Pass Tunnel Construction Project in Vietnam 2004

