

# スリップフォーム工法による煙突施工 200.3 m

## Chimney Construction H=200.3 m by Slipping Form Method

藤守 真治\*  
Shinji Fujimori

下岡 聡\*\*  
Satoshi Shimooka

### 要 約

今回施工した煙突は、外壁高 200.3 m、外径 25.0~21.0 m、壁厚 700~350 mm の RC 構造であり、上昇に伴い外径・壁厚共に連続的に変化する。本報告書は、煙突のスリップフォーム工法採用による施工について報告するものである。

### 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 概 要
- § 3. 工法の特徴
- § 4. コンクリート配合設計
- § 5. 機械選定
- § 6. 施工実績
- § 7. ま と め

#### § 1. はじめに

本工事は、図一1 に示すタイ国ラヨン県マプタプット工業団地内（首都バンコクより約 250 km 南方に位置する）に新設される 70 万キロワット 2 基の石炭火力発電所である。なお写真一1 に示す煙突に関しては、当社の設計施工である。

#### § 2. 概 要

##### 2-1 工事概要

工 事 名：マプタプット火力発電所建設工事  
発 注 者：BLCP Power Limited  
企 業 先：三菱商事株式会社  
工事場所：タイ国ラヨン県マプタプット工業団地内  
工 期：2003 年 9 月 30 日～2006 年 9 月 30 日(36ヶ月)

##### 2-2 煙突概要

PC 杭：φ 600 mm，L=20 m 平均，413 本  
基礎コンクリート打設：4,643 m<sup>3</sup>，鉄筋量：464 ton  
外筒コンクリート打設：7,332 m<sup>3</sup>，鉄筋量：538 ton  
外壁高：H=200.3 m

\* タイ国（営）BMA（出）

\*\* タイ国西松建設 BLCP（出）



図一1 施工位置図



写真一1 発電所全景

外径：OD=25.0~21.0 m

壁厚：t=700~350 mm

煙筒は、高さ 30 m 付近東西から銅製ダクトと接続され、耐酸レンガ並びに耐酸モルタルを使用した内径 6.8 m の 2 本で送煙されるものである。煙筒内は、通常運転時 65°C からバイパス運転時最高 144°C まで上昇する。煙突内部は 20 m 毎に 11 層のプラットフォームからなる。

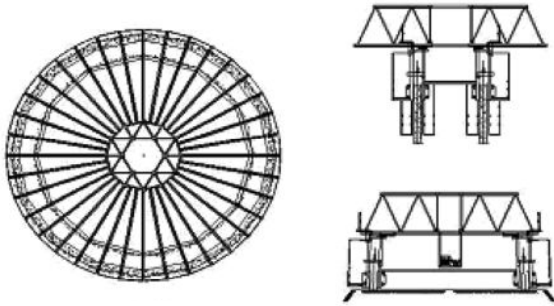


図-2 スリップフォーム構造 (概要図)

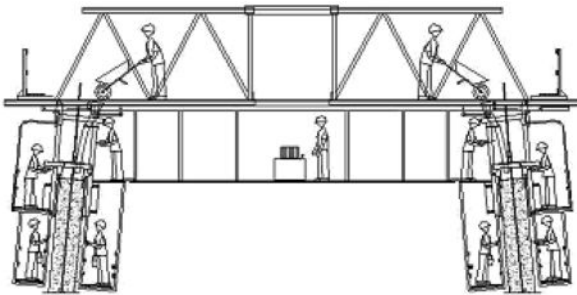


図-3 スリップフォーム構造 (施工詳細図)

### § 3. 工法の特徴

#### 3-1 スリップフォーム構造

中央のトップパートから、30度で均等に計12本のスパイダービーム（メイン）とその間に2本ずつ計24本のウィングビーム（サブ）合計36本のヨーク（ビームトラス）で構成され、それぞれに3ton油圧ジャッキ3本、合計108本からなる。その下には高さ1mの鋼製パネルと、上昇に伴い変化する直径・壁厚調整用の油圧ジャッキが内外両側に設置されている（図-2）。

作業ステージは3段階で構成されている。

- (1) トップステージ：コンクリートの打設。
- (2) ミドルステージ：鉄筋組立と型枠設置，また中央には油圧ジャッキをコントロールする油圧装置。
- (3) ボトムステージ：打設後のコンクリートを仕上げる為の吊り足場で、それぞれ壁を挟む内外両側に設置されている（図-3）。

#### 3-2 スリップフォーム工法

スリップフォーム工法とは、打設後のコンクリートとジャッキロッドを反力とし、油圧装置により型枠を連続的にスライドしながら上昇し、止めることなく鉄筋組立、開口部においては型枠設置、コンクリート打設、打設後の仕上げ作業と一連の作業を行っていくものである。ジャッキロッドはRB20のねじ込み式とする。

開始とともに24時間休むことなくコンクリート打設を繰り返す工法であり、タワークレーンによる鉄筋の供

給および鉄筋組立作業、コンクリートバッチングプラントからの供給および打設、コンクリートの硬化速度、オペレータのジャッキアップ作業、そして当煙突に関しては上昇に伴い連続的に変化する径・壁厚の管理そして検査と1つの要素が欠けても成り立たない点が最大の特徴と言える。

また、仮に問題が生じてスリップフォームを一時中断する際には、打ち継ぎ目のレイタンス処理や型枠に付着したコンクリートの清掃作業等で多くの時間を要する。

本工法は煙突やサイロ等の塔状構造物を構築する場合、合理的かつ迅速な施工法として採用されることが多い。

#### 3-3 コンクリート打設

1回の打設厚は、管理基準を1層約250mmとし1mの型枠を4層に分け、どの位置も水平かつ均等となるように打設する。この管理を怠ると、コンクリートの硬化にバラつきが生じ、ジャッキアップ後の仕上げ面に影響する。コンクリートの輸送方法は、初期の段階ではクレーンとバケットを使用する。GL+29.0mに達した後、コンクリートポンプと5インチ輸送管（打設後の内側壁に固定）を設置して、最上階のステージに設置したホッパーに圧送し、そこから作業員による人力での打設となる。その後、通常のコンクリート打設要領と同様にパイププレートによる締め固めを行う。養生は、型枠スライド後に膜養生剤を散布する。

#### 3-4 ジャッキアップ

ジャッキアップのタイミングは、オペレータが打ち込まれたコンクリート上端から貫入棒を使用して貫入試験を行い、下層のコンクリートの硬化を確認した後ジャッキアップする。

したがって、硬化速度が早いとジャッキアップを繰り返すことができるが、鉄筋組立が追いつかず、その待機時間により型枠下層のコンクリートが硬化し、型枠内面に付着してしまう。また、無理やり引き上げることにより、パネルと共に持ち上がる現象が生じてしまう。その結果、仕上がりが悪く補修に時間を要する。逆に硬化が遅いと、ジャッキアップは行えず作業が中断しコンクリートの硬化待ちとなる。仮に硬化を待たずジャッキアップした場合、反力が取れずジャッキロッドの座屈が生じる。

一般的には、コンクリートの強度が上がり過ぎている場合よりも、まだ完全に固まりきらず自立する程度で仕上げを行える速度でのジャッキアップが望ましい。

### § 4. コンクリート配合設計

当工法においてスリップフォームのジャッキアップを左右し日々の進捗に大きな影響を及ぼす最大の要因として、コンクリートの配合設計がある。打設しながら型枠

をスライド上昇させるため、コンクリートは数時間で脱型されるこの時点で自立する必要がある。したがって、コンクリートに通常求められる構造体強度、耐久性、施工性の他に、初期強度発現性が求められる。

4-1 試験練り

硬化速度、配合の異なる 10 種類の試験練りを 3 か所のバッチングプラントで行った。

- (1) 現場内に設けたプラント
- (2) 運搬時間約 30 分のプラント (工業団地内)
- (3) 運搬時間約 45 分のプラント (工業団地郊外)

4-2 配合

スランプ値は、ポンプを使用して垂直 200 m までの圧送を考慮し、17.5±2.5 cm とした。主に遅延剤の量を変えることにより硬化速度の調整を目的とした配合である。配合表を表-1 に示す。

4-3 弱材令強度試験

弱材令強度試験 (1 時間程度から強度判定出来る) を行い、データ収集解析した (写真-2)。それぞれ 3 本の



写真-2 弱材令強度試験器

表-1 配合表

MIX NO.	COMPRESSIVE STRENGTH (kgf/cm <sup>2</sup> )		MIX PROPORTION IN 1 m <sup>3</sup> (kg)					ADMIXTURE	cc.	WATER / BINDER RATIO	SLUMP (cm)
	CUBE 15×15×15 (cm)	CYLINDER φ15×30 (cm)	CEMENTITIOUS MATERIALS		WATER	SAND	ROCK				
			Cement	PFA							
1	320	280	304	130	175	Normal	3/4" #4	C40401	0	0.41	17.5 ±2.5
						790	1,000	C10106	2,435		
2	320	280	304	130	170	Normal	3/4" #4	C40401	760	0.40	17.5 ±2.5
						800	1,010	C10106	2,435		
3	320	280	304	130	170	Normal	3/4" #4	C40401	915	0.40	17.5 ±2.5
						800	1,010	C10106	2,435		
3	320	280	304	130	170	Normal	3/4" #4	C40401	915	0.39	17.5 ±2.5
						770	980	C10106	2,435		
4	320	280	304	130	170	Normal	3/4" #4	C40401	1,065	0.40	17.5 ±2.5
						800	1,010	C10106	2,435		
5	320	280	304	130	165	Normal	3/4" #4	C40401	1,220	0.39	17.5 ±2.5
						800	1,010	C10106	2,435		
6	320	280	304	130	165	Normal	3/4" #4	C40401	1,370	0.39	17.5 ±2.5
						800	1,010	C10106	2,435		
7	320	280	304	130	160	Normal	3/4" #4	C40401	915	0.37	17.5 ±2.5
						810	1,020	C10106	2,435		
8	320	280	304	130	160	Normal	3/4" #4	C40401	1,065	0.37	17.5 ±2.5
						810	1,020	C10106	2,435		
9	320	280	304	130	160	Normal	3/4" #4	C40401	1,220	0.37	17.5 ±2.5
						810	1,020	C10106	2,435		
10	320	280	304	130	160	Normal	3/4" #4	C40401	1,370	0.37	17.5 ±2.5
						810	1,020	C10106	2,435		

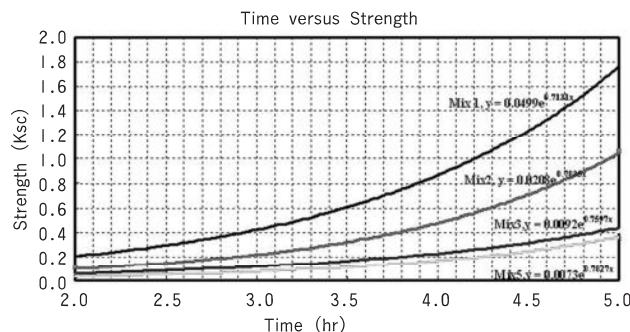


図-4 コンクリート弱材令試験結果

供試体を取り、2 時間から 5 時間で圧縮試験を行うものとした。当試験器は、慎重に扱わないとデータの収集がうまくいかず、最初は何度も繰り返し行われた。また遅延剤の多いタイプのものは、コンクリートの自立が出来ず測定不能場合も見られた。

4-4 選定

2, 4, 6 時間で硬化すると予測されるタイプを選定したコンクリート弱材令試験の結果を図-4 に示す。

図の縦軸は供試体のコンクリート強度を、横軸は時間を表す。曲線が急なほど、コンクリートの硬化が早いと言える。またコンクリートが自立し始める強度、すなわちスリップフォームのジャッキアップに必要な最小強度の目安を 0.4 Ksc とする。

Mix 1 は他に比べ、遅延剤の量を抑えているため、硬化し始めると急激に硬化が進む。Mix 2 と Mix 3 は、遅延剤の量のみ変えセメント・砂・水の量は同じである。この 2 つを比較すると、遅延剤により硬化開始時間と硬化速度を調整出来ることがグラフから分かる。

このことより、開口部では補強筋の組立、型枠の設置に時間を要するため硬化速度の遅いタイプを選定し、通常は硬化速度の早いタイプを選定した。

表一 打設高変化に伴うコンクリート打設量

高さ (m)	外径 (mm)	壁圧 (mm)	コンクリート量 (m <sup>3</sup> /m)
1.00	24,986	699	53.4
10.00	24,801	683	51.8
20.00	24,598	668	50.1
50.00	23,997	616	45.1
100.00	22,996	527	37.1
200.30	21,000	350	22.8

#### 4-5 コンクリート配合設計の見直し

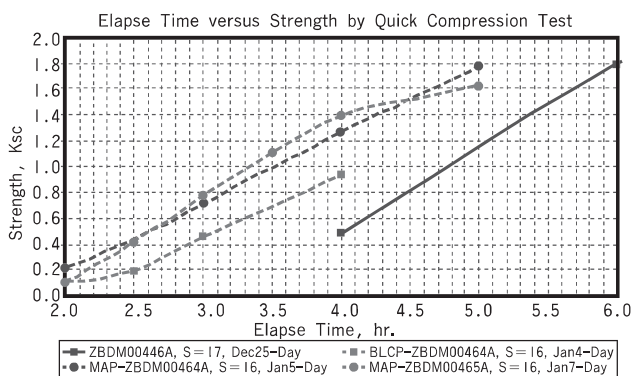
スリップフォームの上昇に伴い、1つ着眼すべき問題が表れた。

当季タイは乾季であり24時間の気温の変化が大きく(日中30°C、夜間18°C)、また高所(50 m超)では、更に気温は下がり風速も強く、同タイプのコンクリートでも昼夜の硬化時間に大きなバラつきが生じ、コンクリート硬化待ち時間が目立った。使用鉄筋も25 mmから20 mm、16 mmと鉄筋径は小さくなり、また鉄筋ピッチも広がることから、鉄筋の組立作業に要する時間が徐々に短縮されていった。

また、1 m毎に10 mmの勾配をつける当煙突ではスリップフォームが上昇するに伴い1 m当たりのコンクリート打設量(表一)と打設に要する時間が減少するため、同じ硬化時間であっても同様のスピードでジャッキアップが出来ない。Mix 1は、データの通り硬化を始めると急激に固まるため、圧送管閉塞のリスクが高く使用を避けた。

そこで、新しいタイプのコンクリートを試験練りすることとした。配合は全く同じで遅延剤の量をMix 1とMix 2の中間のタイプとした。図一5に示すように、3本のラインが新たに試験を行ったタイプの弱剤令強度試験の結果であり、Mix 2より確実に早い時間での硬化が見込め、また遅延剤の効果により、急激に硬化が進むようなリスクも無い。7日間強度の圧縮試験の結果、所定以上の強度が証明され、使用開始となった。

高さ95 mを越えてからの使用で、高所でのコンクリート供給ポンプのリスク等が増えたにも関わらず、それ



図一5 コンクリート弱剤令試験結果(再)

表一3 コンクリートポンプ仕様書

TECHNICAL PARAMETER		4175/5000	
ENGINE/ MOTOR CAPACITY	KW	167/200	
NOMINAL SPEED	rpm	2300	
PUMPING CYLINDER $\phi \times$ STROKE	mm	180 $\times$ 2000	
DIFF CYLINDER $\phi /$ STROKE	mm	125/80/2000	
DIFF CYLINDER DRIVE		p	r
MAX NUM OF STROKES PER MIN		18	30
MAX THEOR CONCRETE OUTPUT	m <sup>3</sup> /h	48	83
MAX CONCRETE PRESSURE	bar	154	91
DEAD WEIGHT (INCL. OIL)	kg	8000	

までは1日のコンクリート打設量が150 m<sup>3</sup>を上回るのは厳しかったが、170~196 m<sup>3</sup>と進捗を伸ばすことが出来た。

## § 5. 機械選定

### 5-1 コンクリート圧送ポンプ

垂直200 mの圧送に対応出来るポンプとして、200 m以上の垂直圧送の実績のあるSCHWING BP4000 HDR-18 HP 167/200 KWを選定した。仕様を表一3に示す。

### 5-2 タワークレーン

200 mの高さに対応出来るタワークレーンは非常に限られ、選定に時間を要したが、最終的にELBA HBK 150.1を選定した。吊り上げ最大荷重は12 ton、ブーム先端では2 tonである。吊り上げ速度は、吊り荷1.5 tonで110 m/min、4.0 tonで65 m/min、7.0 tonで37.5 m/min、12.0 tonで22 m/minとされている。マストは基礎コンクリートから12 mを3本、以降スリップフォームの上昇に伴い、6 mのマストを接続するものとした。フリースタANDINGは、48 mを最長とし壁つなぎを設置する。

## § 6. 施工実績

2004年12月9日18:00のコンクリート打設開始から2005年1月10日20:46の最後のコンクリート打設完了まで実に1536時間46分、64日間に渡る施工であった。

### 6-1 進捗

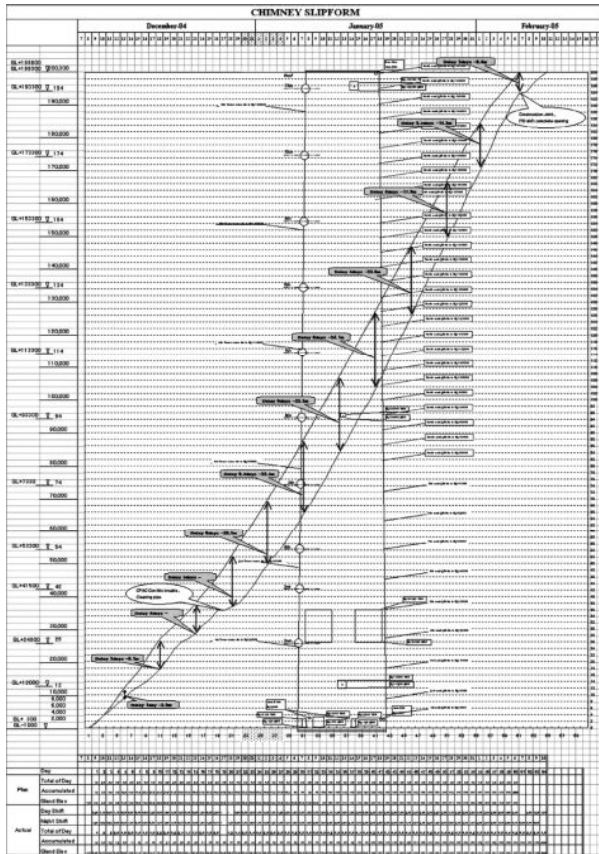
平均日進捗3.1 m、コンクリート打設量121 m<sup>3</sup>、最高出来高5.4 m、最高打設量196 m<sup>3</sup>(/24時間)という結果である。年末年始を挟んでの施工となったが、プラントの協力もあり、この間止めることなくコンクリートを打ち続けることが出来た。しかし、下記の原因で2度の中断を余儀なくされた(表一4)。

#### (1) 1回目の中断

高さ35 m、2004年12月27日12:00から28日21:30までの1日半の中断であった。原因は、コンクリートバ



表—4 進捗管理表



表—5 管理基準表

1 Vertical Alignment	Tolerance of CICIND	
	For ・ $H < 50 \text{ m} : \Delta < 0.05 \text{ m}$ ・ $H > 50 \text{ m} : \Delta < 0.001 \times H \text{ m}$  Note : The center point of the shell not change by more than 25 mm per 3 m	
2 Diameter		$\Delta D < 0.05 + (0.01 \times D) \text{ m}$ $\Delta D$ is a variation of diameter $D$ is a diameter at any height
3 Wall thickness		For ・ $t < 0.30 \text{ m} : \Delta t = 0.01 \text{ m}$ ・ $t > 0.30 \text{ m} : \Delta t = 0.004 + (0.02 \times t) \text{ m}$ $t(\text{Ave}) < t + \Delta t$ $t(\text{Ave}) > t + \Delta t$

ッチングプラントの配合ミスであった。本来配合されるべきの10倍の遅延剤が投入されたコンクリートを知らぬまま打設しており、何時間待っても硬化が始まらないことから、原因を突き詰めたところ発覚した。発覚後型枠内のミス配合した分のコンクリートを全て取り除き、レイタンス処理、型枠のケレン清掃後、再開した。このような配合ミスは、本来想定出来ないものであり再発防止として、バッチングプラントへ定期的に確認しに行くことや、配合表をプリントさせ伝票と共に生コン車運転手に持たせて1台1台確認することとした。

(2) 2回目の中断

高さ194 m、2005年1月7日5:00から8日3:00まで22時間の中断であった。当位置には、同一レベルに8つの開口とその開口上場に屋根スラブの鉄筋436本を壁内に埋め込む作業があり、補強筋組立と型枠設置に時間が掛かり過ぎたことにより、無理して打ち続けることをせず、確実に最後の開口を仕上げるため中断する方を選択した。これは完全に人員配置計画ミスである。当レベルと同様の開口が12 mにもあり、その時はスリップフォームを止めずに施工出来たため、同じ人員で出来ると作業班は考えていた。しかし、開口寸法は同じでも大きく違う点は、12 mの高さでは1 mの型枠を満す打設量が約51.5 m<sup>3</sup>であるのに対し、194 mでは23.6 m<sup>3</sup>と半分以下という点である。同じ開口寸法であるが、2倍以上の鉄筋組立スピードで作業しないと追いつかないことが判明した。

6—2 品質管理

CICIND (Comite International des Chemineers Industriellers : フランス Spec) の管理基準を元に企業先と協議の上、当現場独自の煙突管理基準を表—5のように設けた。

(1) 煙突芯

煙突高が50 m超の場合、0.001に高さをかけたもので、

$$0.001 \times 200 \text{ m} = 0.200 \text{ m} \quad (1)$$

となり、最終到達地点のズレが0.200 mより小さく、かつ3 m上昇に対し25 mmより小さい値という基準である。

(2) 煙突径

外径に0.01をかけ0.05を足した値とし、外径が変わり続ける当煙突では外径25 mから21 mで、

$$D = 25 \text{ m} : 0.05 + 0.01 \times 25 \text{ m} = 0.300 \text{ m} \quad (2)$$

$$D = 21 \text{ m} : 0.05 + 0.01 \times 21 \text{ m} = 0.260 \text{ m} \quad (3)$$

となり、煙突高が上がるにつれ管理基準値も0.300 mから0.260 mと小さい値になる。

(3) 壁厚

壁厚が0.300 m超の場合、0.02に厚みをかけ0.004を足した値となり、壁厚0.700 mから0.350 mで

$$t = 0.700 \text{ m} \\ 0.004 + 0.02 \times 0.700 \text{ m} = 0.018 \text{ m} \quad (4)$$

$$t = 0.350 \text{ m} \\ 0.004 + 0.02 \times 0.350 \text{ m} = 0.011 \text{ m} \quad (5)$$

となる。測定箇所は各60度で振り分け6分割それぞれを4か所測定し、平均したものとす。計測は50 cm



写真一3 L=10 m 2004年12月14日



写真一5 L=75 m 2005年1月10日



写真一4 L=25 m 2004年12月21日



写真一6 L=175 m 2005年2月2日

上昇する毎に自主検査、1 m 上昇する毎に計測表を作成し検査を受けるものとした。また昼夜の作業班入れ替え時にも計測後、引継ぎを行った。また各ヨークに取り付けた水盛計を確認することにより、スリップフォーム装置自体の水平を保った。同時にスリップフォーム自体の回転の修正も随時行った。その結果、煙突芯は設計値に対して北に 30 mm、東に 15 mm のズレで、また径・壁圧・傾き・回転ともに日々重なる修正により管理基準値内で完成させることが出来た。施工中の様子を写真一3～6 に示す。

## §7. まとめ

機械性能やメンテナンスが乏しい中、特にコンクリート圧送ポンプに関しては、12時間切り替えを原則とし常時2台配置することによりポンプの負担を軽減させると共にメンテナンスを常に行うことを徹底した。コンクリート輸送管は、管が閉塞した場合にすぐ切り替えることが出来るように予備管として2本設置した。それにもかかわらず、コンクリートポンプの故障や輸送管の閉塞、タワークレーンの度重なる故障、作業員の足ともなる仮設リフトの故障、そしてバッチングプラントの故障と機械トラブルは毎日のことであった。

安全に関しては、地上 200 m もの高所作業なゆえ、上昇を繰り返す度に安全ネットの強化、足場通路の整理

整頓、片付け、飛来落下防止、そして職員・作業員の健康管理は徹底させた。更に 24 時間体制で長期に渡るため、夜間の安全管理体制の強化や緊急時の対処法など、細部に渡り計画する必要がある。

また、コンクリート硬化自立時間を把握することで、当初オペレータの勘と経験に頼っていたジャッキアップのタイミングも職員がコントロール出来るようになり、コンクリート選定も確かなものとなった。また、実際の施工時の気象条件や環境および実際に働く作業員の力量を把握しなくては、どんな実験を重ね、適性と思われるコンクリートを選定しても、適さないということが良くわかった。

1つの要素が欠けても成り立たないスリップフォーム工法の難しさを実感すると共に、事故無く 200.3 m の煙突を完工することが出来たことは大きな収穫である。また、外筒のみならず残りの工種も事故無く確実に完工させ、当発電所がタイ国の電力供給・タイ国の発展に繋がると幸いである。

謝辞：当プロジェクトスリップフォーム工法の計画・施工にあたりまして、大正鉄筋コンクリート株式会社 細川正夫氏より貴重な経験をふまえたご意見、ご指導頂いたことを心より感謝し、厚く御礼申し上げます。また、本社建築設計部の協力、煙突施工に関わった現地スタッフに感謝致します。