

## 報告 高低差185m, 圧送距離600mの高所・長距離圧送

黒田泰弘\*1・山崎庸行\*2・柳澤保治\*3・小笹寿幸\*4

**要旨:**高所・長距離圧送に関する工事報告は少なく、施工計画を立案するにあたっての情報は十分でない。そこで、赤城山無線中継所建替工事で行った高低差185m, 圧送距離600mの高所・長距離圧送について、コンクリートポンプや調合の選定、施工方法およびコンクリートの品質管理結果を示すとともに、圧送前後のコンクリートの品質変化やポンプの主油圧の計測を行い、ポンプ圧送性への影響を評価した。その結果、今回のケースのように圧送条件の厳しい施工では、コンクリートの品質変動や見掛けの管内圧力損失が、通常の場合より幾分大きくなる可能性があることを指摘できた。

**キーワード:**高所・長距離圧送, 圧送前後の品質変化, 見掛けの管内圧力損失

### 1. はじめに

赤城山無線中継所は赤城山の地蔵岳山頂に立地しており、山頂に通じる車道がない。このため、建替工事では、高低差約185m, 配管長約600mの高所・長距離圧送を行った。

近年、理論吐出圧力が10N/mm<sup>2</sup>を超えるコンクリートポンプが開発され、高さが200mを超える高所圧送や配管長が1000mを超える長距離圧送が可能となった<sup>例え(1)</sup>。しかし、高所・長距離圧送に関する工事報告は少なく、施工計画を立案するための情報は十分とはいえない。

そこで、本報では、コンクリートポンプや調合の選定、施工方法およびコンクリートの品質管理結果を示すとともに、実際の高所・長距離圧送で得られたコンクリートの品質変化や見掛けの管内圧力損失に関する検討を行った。

### 2. 工事概要とコンクリートポンプの選定

#### 2.1 工事概要

工事概要は以下に示すとおりである。

・工事名: 赤城山無線中継所建替工事

- ・所在地: 群馬県勢多郡富士見村大字赤城山
- ・工期: 平成9年4月～平成10年7月
- ・建築面積: 100m<sup>2</sup>, 延床面積: 200m<sup>2</sup>
- ・階数: 2階 (パラペット天端 8,350mm)
- ・構造: RC造 (コンクリート量 300m<sup>3</sup>)

なお、コンクリートポンプおよび調合の選定にあたっては、以下のような条件を考慮した。

- ①高所・長距離圧送となるため、高い吐出圧を有するコンクリートポンプを選定する必要がある。また、コンクリートは圧力負荷が小さく、品質変化の少ない調合とする必要がある。
- ②生コン工場が遠く、レディーミクストコンクリートの輸送に約1時間を要する。圧送に要する時間と合わせると少なくとも2時間は品質変動のないコンクリートが必要である。
- ③コンクリート工事は8月から11月にかけて行う。このため、コンクリート温度10～35℃に対応できる調合でなければならない。

#### 2.2 コンクリートポンプの選定

配管条件を図-1のように仮定し、コンクリートポンプに加わる圧送負荷Pの計算を日本

\*1 清水建設(株)技術研究所建設技術開発部 工修(正会員)

\*2 清水建設(株)技術研究所建設技術開発部部長 工修(正会員)

\*3 東京電力(株)群馬支店工務部建築グループマネージャー

\*4 東京電力(株)群馬支店工務部建築グループ副主任

建築学会のコンクリートポンプ工法施工指針<sup>2)</sup>をもとに式 (1) によって行った。

$$P = K (L+3B+2T+2F) + 0.0098 \times WH \quad (1)$$

ここに、P：圧送負荷 (N/mm<sup>2</sup>)

K：水平管の管内圧力損失 (N/mm<sup>2</sup>/m)

L：直管の長さ (m)

B：ベント管の長さ (m)

T：テーパ管の長さ (m)

F：フレキシブルホースの長さ (m)

W：コンクリートの単位容積質量 (t/m<sup>3</sup>)

H：圧送高さ (m)

水平管の管内圧力損失 K は、吐出量を 30m<sup>3</sup>/h、スランブを 21cm として、指針の解説図を参考に、K = 0.007N/mm<sup>2</sup>/m と設定した。また、図-1 より直管の長さ L = 665m、ベント管の長さ B = 8m (半径 1m の 90° ベント管に換算して 5 本分相当)、テーパ管の長さ T = 1m (配管根元)、フレキシブルホースの長さ F = 8m、圧送高さ H = 180m とし、コンクリートの単位容積質量は W = 2.3t/m<sup>3</sup> とした。従って、圧送負荷は P = 9.06N/mm<sup>2</sup> となった。

コンクリートポンプは一般に、圧力負荷 P にコンクリートの変動に対する余裕やポンプ内部の機械的損失などを見込み、1.25 倍した値を上回る最大理論吐出圧力を有するものを選定する。そこで、本工事では、表-1 に示す仕様のコンクリートポンプを採用した。なお、このポンプの吐出圧は、標準の場合でも 12.9N/mm<sup>2</sup> あることから、高圧でなく、標準で用いることとした。

### 3. コンクリート調合の選定

#### 3.1 調合選定の条件

長距離圧送に関する実績<sup>3)</sup>などを参考に、使用するコンクリートの調合選定のための条件を表-2 のように設定した。

#### 3.2 使用材料および調合

使用材料は表-3 に示すとおりである。ただし、使用する高性能 AE 減水剤は、施工当日の温度を予測して遅延成分の量を調節することとした。室内および実機による試験練りを行い、表

-4 に示す調合を選定した。

実機試験練りにおけるスランブおよび空気量の経時変化を図-2 に示す。スランブの保持時間は 120 分以上あり、空気量の変化もほとんどないことが確認できた。また、環境温度を 20、30、35℃ と変えた室内実験を行い、それぞれの温度に適した高性能 AE 減水剤の遅延成分および添加率を把握した。高性能 AE 減水剤の添加率は 1.8% を標準とし、コンクリート温度が 30℃ を超える場合には、遅延成分を増やすとともに添加率を 0.1~0.2% 程度増やす必要のあることがわかった。

高性能 AE 減水剤の添加率を振って、スランブを 19.0~22.5cm として行った加圧ブリーディング試験の結果を図-3 に示す。いずれも圧送性は良好な範囲にあった。ただし、スランブが 22.5cm の場合には上限となったケースもあり、この調合の場合、スランブが 22.5cm を超えないように注意する必要があることがわかった。

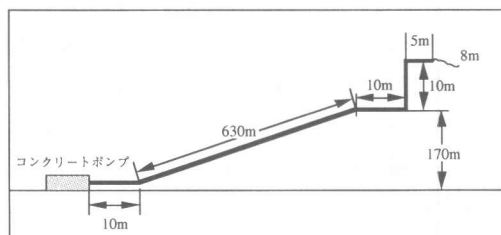


図-1 仮定した配管条件

表-1 コンクリートポンプの仕様

型式名		BP8000HDR-18HP
形式		高低切換ピストン式
油圧シリンダ	シリンダ径	150mm
	ロッド径	90mm
コンクリートシリンダ径		180mm
ストローク長		2000mm
標準	最大吐出量	87m <sup>3</sup> /h
	最大吐出圧力	12.9N/mm <sup>2</sup>
高圧	最大吐出量	55m <sup>3</sup> /h
	最大吐出圧力	20.1N/mm <sup>2</sup>
ホッパ容量		0.4m <sup>3</sup>
製造会社		SCHWING

表－2 調査選定の条件

項目	目標	理由等
設計基準強度	18N/mm <sup>2</sup>	設計条件による。
スランプ	21.0±1.5cm (120分後まで)	圧送によるスランプロスを見込むとともに、圧送抵抗が小さくなるように大きめに設定した。なお、120分後まで一定のスランプを保持するために、高性能AE減水剤の使用を前提とした。
空気量	4.5±1.5%	設計条件による。
単位水量	180kg/m <sup>3</sup> 以下	単位水量を多くしてスランプを増大すると材料分離が生じやすくなるため、過大とならないように設定した。
単位セメント量	350kg/m <sup>3</sup>	モルタル量が多い方が圧送抵抗が小さくなるため、過去の実績を参考に設定した。また、高性能AE減水剤の使用量が結果的に増えることになるので、一定のスランプを長時間保持しやすくなる。
細骨材率	50%程度	単位セメント量と同様に過去の実績を参考に設定した。

表－3 使用材料

材料名	種類および性質
セメント	普通ポルトランドセメント 比重3.15 比表面積3300cm <sup>2</sup> /g
細骨材	利根川水系陸砂 比重2.60 FM 2.74
粗骨材	利根川水系陸砂利 比重2.61 FM 6.86
混和剤	アミノスルホン酸塩系高性能AE減水剤 (温度条件により遅延成分を調整)

表－4 調査

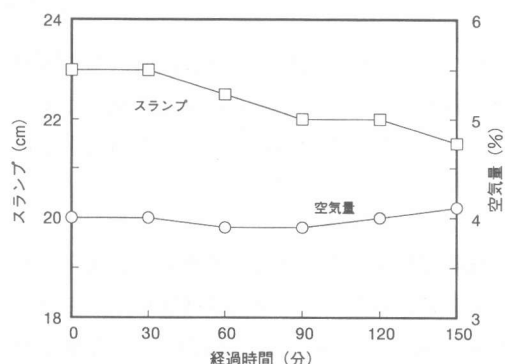
スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				W	C	S	G	AD
21.0	4.5	49.7	51.5	174	350	901	852	6.30

なお、標準養生供試体の圧縮強度は室内試験、実機試験とも40N/mm<sup>2</sup>程度の値であり、設計基準強度18N/mm<sup>2</sup>に対して温度補正として6N/mm<sup>2</sup>を上乗せしたとしても、この調査で十分な圧縮強度の発現が期待できることがわかった。

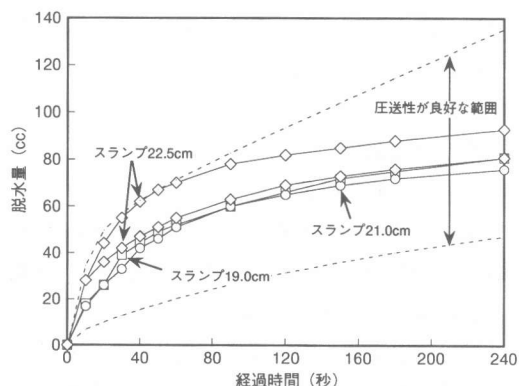
#### 4. 圧送方法

##### 4.1 配管状況

山麓に設置されたコンクリートポンプから山頂の現場付近までの配管図を図－4に示す。写真－1のように、配管は資材運搬用モノレールに沿って、山の傾斜に合わせて行った。配管径は5インチとし、極力曲がりが少なくなるように配管し、十分に補強を行うとともに、エルボ



図－2 スランプおよび空気量の経時変化



図－3 加圧ブリーディング試験結果

部分の下にはシート養生を行った。また、圧送圧を考慮し、コンクリートポンプからの配管延長が約300mまでは配管用炭素鋼鋼管とし、それ以降は一般構造用炭素鋼管として、肉厚も配管延長に合わせて変えた。ジョイントも圧力に

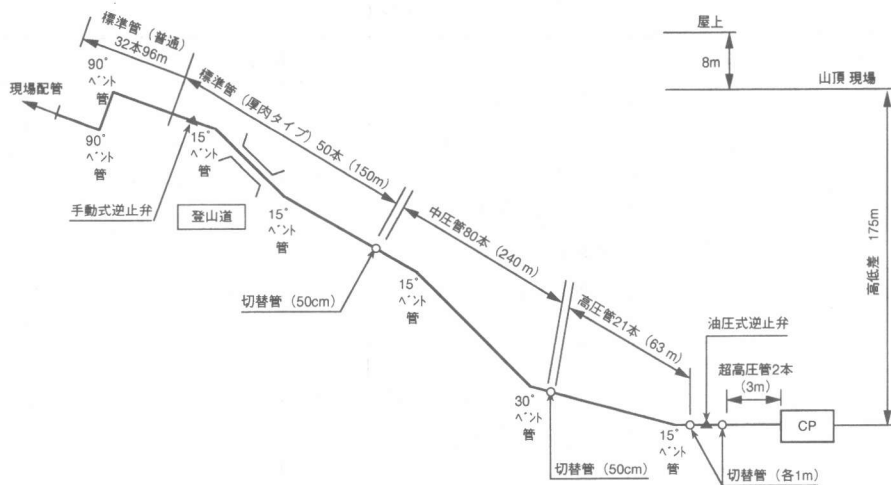


図-4 配管図

応じたものを使用した。さらに、圧送の中断や終了およびトラブルに備え、油圧式逆止弁をコンクリートポンプの出口近くに、手動式の逆止弁を登山道の上部に設置した。

#### 4.2 圧送手順

長距離圧送に関する実績を参考に、先送りモルタルには水セメント比が35.0%の1:1モルタルを、2.0m<sup>3</sup>使用した。圧送は、水、先送りモルタル、コンクリート、の順で行い、最後に配管内に残る7.3~7.6m<sup>3</sup>程度のコンクリートは、専用の水ポンプに切り替えてクリーナーを介して水送りによって圧送した。

### 5. 施工記録

#### 5.1 施工概要

コンクリートの打込みは、8月18日から11月27日の間に計7回行った。1回目を除き、圧送は設定吐出量を25~35m<sup>3</sup>/h程度として行った。2回目の水送りの際に閉塞が生じたことを除けば、特に大きなトラブルはなかった。閉塞の主要原因として以下の2点が考えられる。

- ①荷卸し時のコンクリートのスランプが管理目標を若干上回っていた。このため、この日使用したコンクリートの分離抵抗性が幾分低かった。
- ②配管の盛替え等で、圧送が短時間に何度も中断したことに加え、水送りの段取り替えに時間

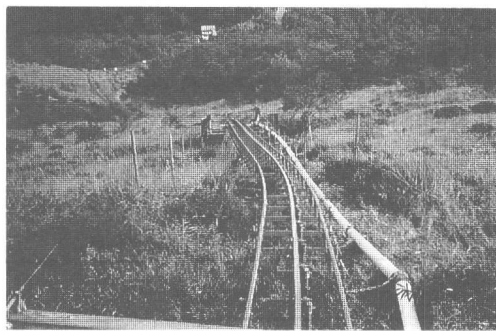


写真-1 配管状況

を要したため、配管内に滞留したコンクリートは脱水が生じやすい状態にあった。

このため、それ以降の施工では、出荷時のスランプの設定値を下げるとともに、圧送が中断しないよう極力連続打込みを行うようにした。

#### 5.2 品質管理結果

##### (1) フレッシュコンクリートの受入検査結果

フレッシュコンクリートの受入検査結果を図-5に示す。生コン工場と現場が離れているため、生コン工場での高性能AE減水剤の遅延成分および添加率の設定が重要であった。スランプが管理目標を外れたのは施工当日の天候が予想と異なった場合である。8月27日は気温が予想を下回ったため、全体的にスランプが大きくなり、11月27日は予想を上回ったため、スランプが小さくなった。スランプが目標を下回る

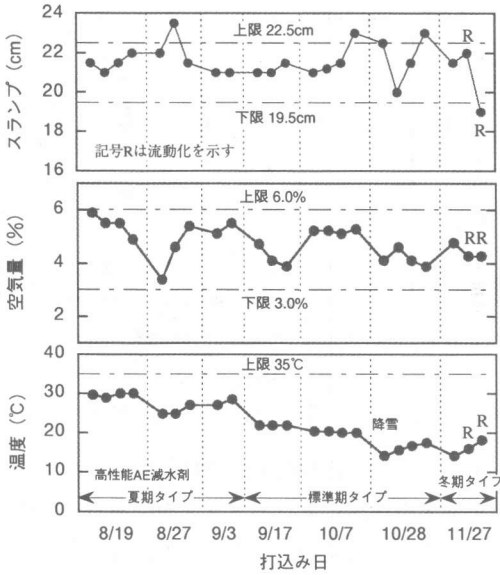


図-5 フレッシュコンクリートの検査結果

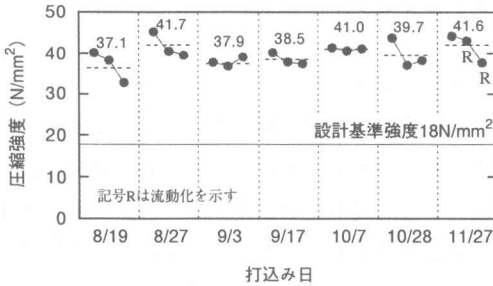


図-6 構造体コンクリート強度の検査結果

ケースでは、荷卸し地点で高性能 AE 減水剤を後添加し、流動化を行った。

## (2) 構造体コンクリートの検査結果

構造体コンクリートの検査結果を図-6に示す。試料採取は筒先で行い、材齢28日まで現場水中養生した。構造体コンクリートの圧縮強度は37~42N/mm<sup>2</sup>と、いずれも設計基準強度を大きく上回っており、良好な品質のコンクリートが打たれていると考えられる。

## 6. ポンプ圧送性

### 6.1 圧送前後の品質の変化

#### (1) スランプの変化

圧送前後のスランプの変化を図-7に示す。圧送後のスランプ低下が大きかったのは、20分以上圧送が中断したケースである。これを除け

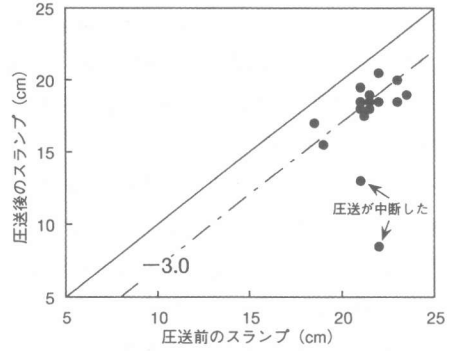


図-7 圧送前後のスランプの変化

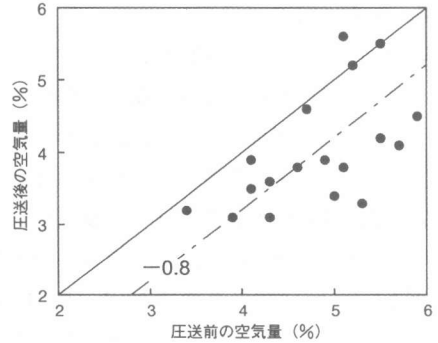


図-8 圧送前後の空気量の変化

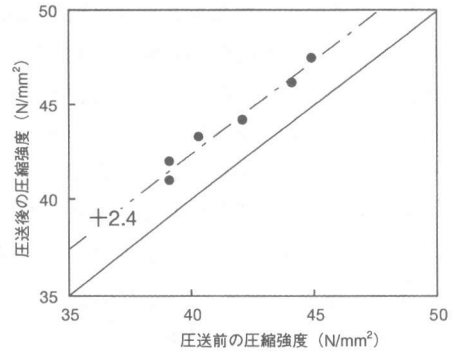


図-9 圧送前後の圧縮強度の変化

ば圧送によるスランプの低下は平均で3.0cmであった。通常の軟練りコンクリートの圧送によるスランプ低下は0.5cm程度とされている<sup>4)</sup>ので、圧送負荷が大きいことや圧送に要する時間が長いことを考慮すれば妥当な値と考えられる。

#### (2) 空気量の変化

圧送前後の空気量の変化を図-8に示す。全体的には、圧送により空気量は低下した。1.0%以上低下しているものもあったが、平均では0.8

%の低下であった。圧送距離が150m以上の場合、空気量は0.5～1.0%程度減少することが多いとされており<sup>5)</sup>、同様の傾向が認められた。

### (3) 圧縮強度の変化

圧送前後の圧縮強度の変化を図-9に示す。圧送後の圧縮強度の方が大きく、平均で2.4N/mm<sup>2</sup>の増加であった。強度増加の主な理由としては空気量の減少が考えられる。

## 6. 2 見掛けの管内圧力損失

理論吐出量と見掛けの管内圧力損失との関係を図-10に示す。

理論吐出量はシリンダ容積を50リットルとして、1ストロークに要する時間より求めた。見掛けの管内圧力損失は、管吐出口における圧力を0とし、主油圧から求めたポンプ前面圧が配管全長における圧力損失であると仮定して、式(1)のPをポンプ前面圧とし、Kを見掛けの管内圧力損失とし、逆算して求めた。L、B、T、Fは配管の実況によった。W = 2.3t/m<sup>3</sup>とした。

図中の直線は通常のコンクリートの水平管1m当たりの管内圧力損失をスランブ別に示したものである<sup>2)</sup>。工事初期の見掛けの管内圧力損失はスランブ21cmの直線と比較的合っていたが、工事終盤で高くなった。コンクリートポンプや配管が工事期間中設置したままであったため、メンテナンスが十分でなく、例えばコンクリートシリンダやバルブにコンクリートが付着して残り、ポンプ内部での圧力損失が大きくなった可能性などが推定される。

今回の場合、主油圧から求めたポンプ前面圧の最大値は11.8N/mm<sup>2</sup>であった。この際の理論吐出量は36m<sup>3</sup>/hであり、式(1)より管内の圧力損失をK=0.0075N/mm<sup>2</sup>/mとして圧送負荷を算出すると、P=9.02N/mm<sup>2</sup>となった。したがって、ポンプ前面圧の最大値を、算出した圧送負荷で除すと、ポンプ選定時に見込んだ余裕(1.25倍)を上回る1.31倍となった。

今回のように圧送条件の厳しい場合のコンクリートポンプの選定では、圧送によるスランブ低下が大きくなる可能性(特に圧送が中断した

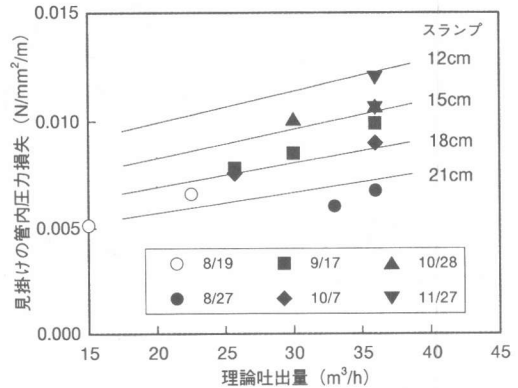


図-10 見掛けの圧力損失

場合には、大きな低下が認められた)やメンテナンスの状態によってポンプ内部あるいは配管中での圧力損失が大きくなる可能性などを考慮して、さらに大きな余裕を見込む必要があると考えられる。

## 7. まとめ

赤城山無線中継所建替工事において高所・長距離圧送を行い、ポンプ圧送性について検討した。圧送前後のコンクリートの品質変動は通常の場合より幾分大きく、圧送が中断した場合のスランブロスは特に大きくなった。また、理論吐出量に対する見掛けの管内圧力損失は、工事初期では通常のコンクリートの水平管1m当たりの管内圧力損失と同等であったが、工事終盤で大きくなった。コンクリートポンプのメンテナンス状態の影響などが考えられる。

### <参考文献>

- 1) プツマイスタージャパン(株)技術資料
- 2) 建築学会:コンクリートポンプ工法施工指針・同解説, 1994.1
- 3) 熊野知司ほか:長距離ポンプ圧送を考慮したコンクリート配合の検討, 土木学会第49回年次学術講演会, pp.530-531, 1994.9
- 4) 毛見虎雄:コンクリートポンプ工法の動向, コンクリート工学, Vol.27, No.5, pp.5-21, 1989.5
- 5) 土木学会:コンクリートのポンプ施工指針(案), コンクリートライブラリー, 1985.11