

報告 中埋コンクリート圧送時の閉塞対策に関する一考察

松本 勝*1・白岩 誠史*2・立川 大介*3・木村 聡*1

要旨：低所への圧送となり打設する空間が圧気されている状況となるニューマチックケーソン工法の中埋コンクリートの打込みにおける圧送性に関して、2現場の実績から、以下の事項が確認できた。1)配管内のコンクリートの落下および下方からの圧気の上昇が誘引となり閉塞が発生する。2)ポンプ車のブームを使用せず、直接配管することで、圧送管内の空気溜まりの発生を抑制できる。3)スランプフロー60cmの高流動コンクリートの適用が閉塞対策として有効である。4)時間あたりの打設量（以下、打設速度）を増やすことで、閉塞の可能性を小さくできる。

キーワード：ニューマチックケーソン工法、中埋コンクリート、低所への圧送、圧気、閉塞、管内圧力

1. はじめに

ニューマチックケーソン工法における中埋コンクリートの打込みは、低所への圧送作業となる。さらに、打設する空間が 0.4MPa 程度に圧気されているため、コンクリートの流下状況と下方からの圧気の上昇により、圧送管内は複雑な圧送状態となる。そのため、一般的な打込み時とは異なる要因により、閉塞が発生することがある。

本報告では、このような中埋コンクリート打込み時の閉塞状況について、A 現場における実際の打込み時に発生した閉塞時の状況から、低所への圧気された箇所への打込みに特有な閉塞メカニズムについて検討するとともに、B 現場において実施したポンプ車のブームを使用しない打込み方法や圧送に適した配合の提案、圧送時の圧力計測結果から得られた最適な打込み速度について検討した結果を報告する。

2. 中埋コンクリートの概要

2.1 ニューマチックケーソンの施工方法

ニューマチックケーソン (Pneumatic Caisson) は、「空気の函」を意味し、図-1 中の(1)に示すように、地上で構築した鉄筋コンクリート製の函（躯体）を、図-1 中の(2)に示すように、躯体下部に設けた作業室内において掘削機械にて掘削した掘削土をバケットに積載し、マテリアルロックを通じてクレーンにより搬出することにより、地下構造物を沈下させていく工法である。作業室は、圧縮空気を送り圧気し、地下水の侵入を防ぐことで、気中での掘削を可能としている。図-1 中の(4)に示すように、所定の深度まで躯体が到達後、作業室内の掘削設備を撤去し、作業室内に中埋コンクリートを打設し、施工完了となる。

2.2 中埋コンクリートの施工および要求性能

中埋コンクリートの打込みは、掘削に使用した作業室内にコンクリートを充填する作業である。作業室は、高気圧下であり、地上から数十 m 低所への圧送となる。作業室内は、パイプレータによる締固めができないため、作業室内に設置したカメラの映像から流動状況を把握し、ブローパイプと呼ばれる四方に配置した排気管の開閉により、エア抜きおよび流動方向を調整する。

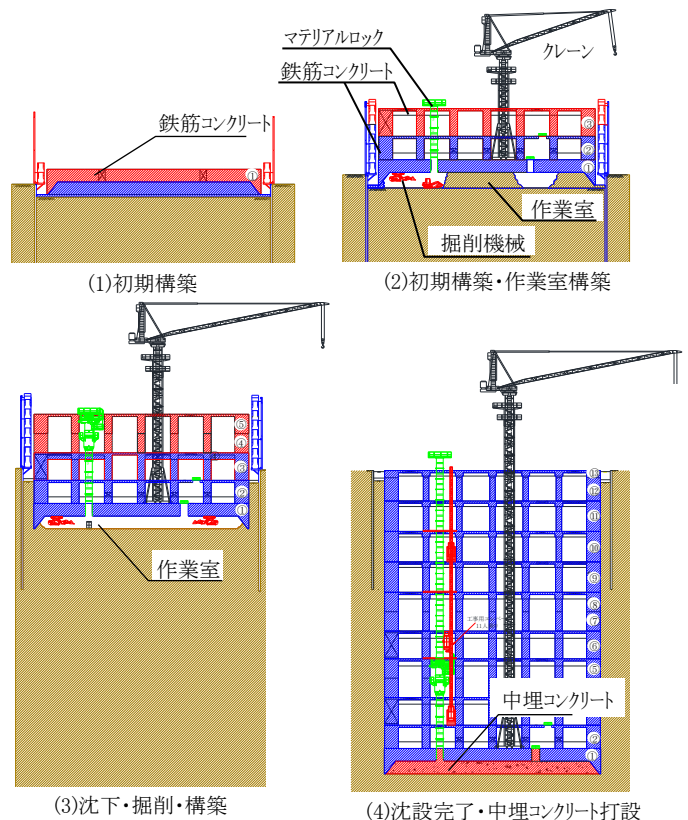


図-1 ニューマチックケーソン施工順序図

*1 株式会社 安藤・間 土木事業本部技術二部（正会員）

*2 株式会社 安藤・間 土木事業本部土木設計部 工博（正会員）

*3 株式会社 安藤・間 北陸支店土木部

以上のような施工環境の中、中埋コンクリートには、地盤と密着し、構造物を安定させるとともに、作業室内を充填し、地下水の侵入を防ぐ機能が求められている。そのため、一般的に以下の性能が求められている¹⁾。

- (1) **強度**: 地盤もしくは構造物と同程度の強度、または、地盤反力を確実に構造物に伝達するために必要な強度が要求される。一般的に設計強度は、 $18\text{N}/\text{mm}^2$ であることが多い。
- (2) **流動性**: 作業室内を締め固めることなく充填させるのに必要な高い流動性が要求される。
- (3) **分離抵抗性**: 圧送管内の流下中に、分離した骨材のアーチングにより、閉塞を生じさせない分離抵抗性が要求される。

3. 閉塞が発生したA現場での施工

3.1 打込み設備と配合

A現場において、図-2に示すように、ポンプ車ブームの5インチの配管から、6インチの鉛直下向き配管に接続し、地上から約70m下方の0.4MPaに圧気された作業室へコンクリートを圧送した。

打込み設備は、打込み箇所である作業室からの圧気の上昇および打込み時に巻き込んだ空気等を抜くために、配管上部には、2.5インチボールバルブを設置している。1日の予定打込み数量が大量であるため、鉛直圧送管は6インチとし、ポンプ車4台での打ち込みとなるため、図-2の平面図に示すように、鉛直配管は6系統準備した。また、図-2中の(A)に示す5インチピンバルブより上部の配管は固定されておらず、ブーム配管により圧送を行った。このような打込み方法は、中埋コンクリートの打込みで一般的に行われている方法である。

スランプの状態および配合表を写真-1および表-1に示す。圧気された作業室での充填性および圧送管の閉塞危険性を低減させるため、「スランプは18cm以上、単位水量は $175\sim 190\text{kg}/\text{m}^3$ 、空気量は2%、 $W/C=55\sim 60\%$ 」¹⁾とする必要性が報告されているが、本配合は、単位水量およびW/Cが上記範囲の上限近くであったといえる。

3.2 閉塞発生状況

閉塞発生時の打込み条件は、表-2に示す通り、荷卸し時のコンクリートの最高温度が 35°C と比較的高温であり、打込み速度は平均 $32\sim 46\text{m}^3/\text{h}$ であった。

閉塞は、表-2に示す配管No.1~4の4系統の配管で発生し、事後の調査から、全て吐出口近くに配置したベント管の箇所が発生したと考えられる(図-2中の(B))。また、その内の1系統(表-2におけるNo.4)は、圧送停止が遅れ、コンクリートが、配管上部の2.5インチボールバルブ(図-2中の(C))より上まで充填され、ピンバルブの位置でも閉塞が発生した。その結果、ピンバルブより上部のポンプ車ブーム内にも圧縮された空気が残存する

結果となった。

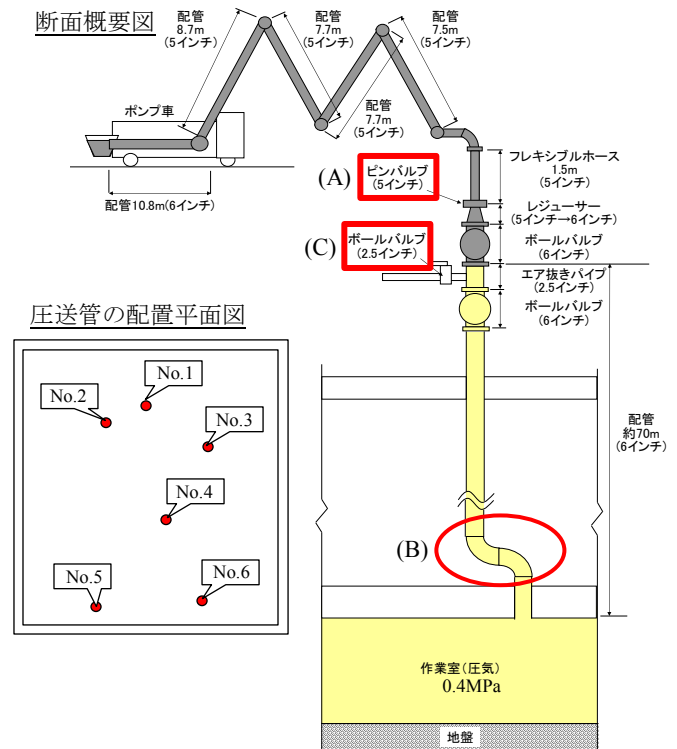


図-2 打込み設備概要図



写真-1 スランプの状態 (測定値 20.5cm)

表-1 配合表 (21 21 20BB)

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
		C	W	S	G	Ad
60	49.5	316	191	886	927	3.16

S: 山砂と砕砂の混合(平均FM2.70), G: 砕石(平均FM60)
Ad: AE 減水剤遅延型

表-2 閉塞発生時の打込み概要

ポンプ車 No.	配管 No.	C.T. (°C)	打設数量 (m ³)	打設開始時刻	打設終了時刻	打設速度 (m ³ /h)
A	1	34	247	8:09	13:40	45
	2	34	114	14:10	17:00	40
B	3	35	378	8:29	16:45	46
C	4	34	298	8:14	17:30	32
D	5	35	170	11:22	15:40	40

C.T.: 荷卸し時のコンクリートの最高温度

打設終了時刻は

ポンプ車 A は、No.1 が閉塞したため No.2 からの打込み

3.3 閉塞の原因および対策の検討

コンクリート打込み時に、閉塞を解消できなかった原因を考察する。ピンバルブ部の閉塞を解消するために、ポンプ車を逆回転して配管内のコンクリートをポンプ車ホッパーに戻したが、閉塞は解消されず、ポンプ車ブーム内に発生した圧縮空気が抜けなかった。ポンプ車逆回転によるホッパーへのコンクリートの戻しが不十分だったこと、ポンプ車ブームにエア抜きバルブが設置されていなかったことが圧縮空気を抜くことができなかった原因と考えられる。

次に、閉塞が発生した原因および圧縮空気がポンプ車ブーム内に発生した原因について考察する。図-3は、ピンバルブ位置で閉塞したNo.4の事後の調査結果を元に、閉塞時の配管内の状況を想定した図である。図-3中の(A)に示すように、ポンプ車側の2本の鋼管はコンクリートで満管であり、その後の2本の鋼管およびフレキシブルホースには、(B)に示すように、圧縮された空気が発生していたと考えられる。このような状況に置かれた原因を推定する。

ポンプ車の配管は5インチであるが、No.4の鉛直配管は6インチである。そのため、コンクリートの供給量が鉛直配管部で相対的に不足し、圧送管内をコンクリートが自由落下していたと考えられる。そのため、自由落下時に材料分離した骨材が、図-3中の(C)に示すベント部にアーチを形成し、閉塞が発生したと考えられる。また、コンクリート打込み時は、鉛直配管内が満管になっていないため、作業室内の0.4MPaの圧力がポンプ車ブームまで常に達していたと考えられる。No.4に関しては、ベント部で閉塞が発生した後も圧送し続けたため、(D)に示すピンバルブまで配管内がコンクリートで満管となった。

以上のような閉塞を防ぐため、図-4に示す配管とした。既往の研究²⁾では、管径6インチを使用した下向きへの圧送の場合、打込み速度を60m³/h以上にするのが報告されている。そのため、鉛直配管の径を4インチにして自由落下を防ぐこととした。また、打込み時に配管内が満管になっても、圧送停止時の圧送管内のコンクリート

の落下により、ポンプ車ブーム内の上部に図-3に示すように圧縮性のある空気が滞留する箇所が発生する。そのため、図-4に示すように、配管の最上部にエア抜きバルブを設置した。

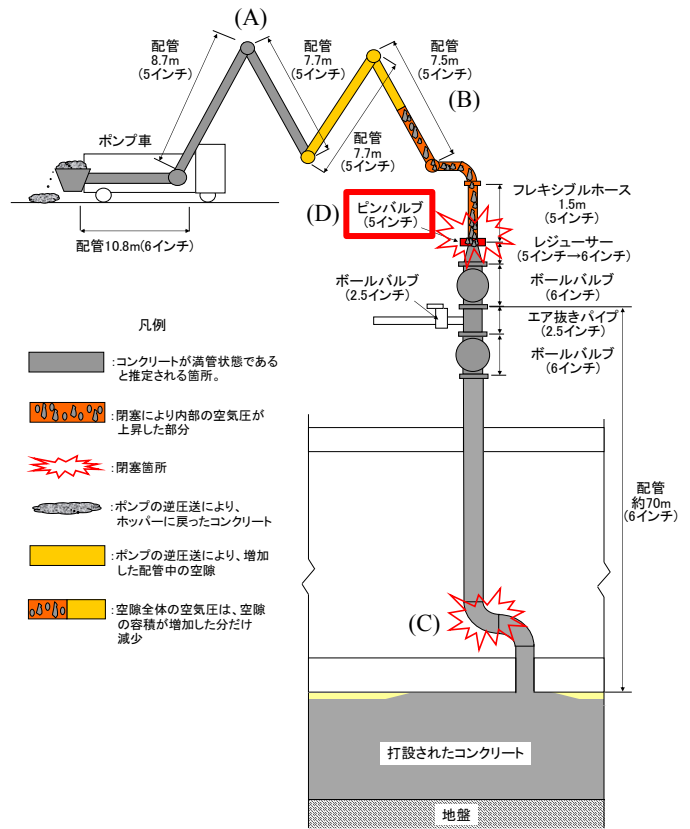


図-3 閉塞発生時の管内状況

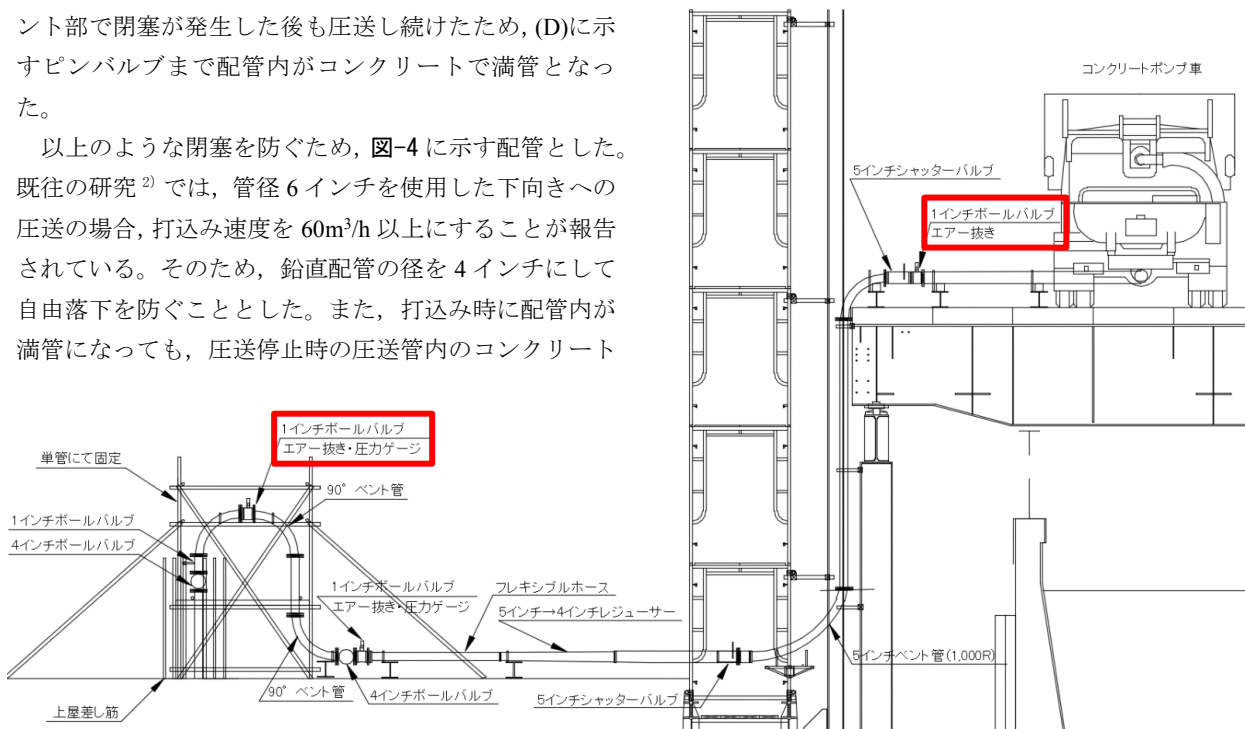


図-4 ポンプ車ブームを使用しない打込み配管

4. 閉塞対策を実施したB現場での施工

4.1 打込み設備と配合

上述した A 現場における検討結果を反映し、B 現場において、図-5 および図-6 に示すように、ポンプ車から鉛直配管までの圧送にブームを使用せず直接配管し、地上から約 50m 下方の 0.4MPa に圧気された作業室へコンクリートを圧送した。また、圧送管の径は 5 インチで統一した。1 日の打込み数量は 240m³ であり、ポンプ車 1 台での打込みであった。

地上部については、全ての配管は Uバンド等で固定し、作業室からの圧気の上昇および打込み時に巻き込んだ空気を抜くために、2 箇所にてエア抜きのためのバルブを設置した。また、地上部の配管のベント管の前後に、圧力計を 3 台設置し、リアルタイムに管内圧力を監視できるようにした。予備配管も 1 系統準備した。また、打込み箇所である地下作業室における充填確認のため、打込み箇所に、図-7 に示すように 3 台のカメラを設置した。また、コンクリートの流動方向管理のために、4 インチのブローパイプを 8 本設置した。

以上の打込み設備および監視設備の仕様と適用状況を表-3 および写真-2 に示す。

中埋コンクリートに使用した配合表およびスランプフローの試験状況を、写真-3 および表-4 に示す。配合 No.1 は、充填性を確保するために設計スランプ 21cm からスランプフロー 60cm に変更、材料分離抵抗性を確保するために増粘剤-液系の高性能 AE 減水剤を採用、高圧下(本現場では 0.436MPa 程度)での空気量の減少によるスランプフロー低下を防ぐために空気量を 4.5% から 2% に低減した配合である。試験練り時に、加圧ブリーディング試験により、脱水量は 3 分において 47mL と良好な範囲であることを確認している。また、高気圧下において流動性が低下した場合に備え、配合 No.2 のモルタル配合も準備したが、配合 No.1 で十分な充填性が確保できたため、使用しなかった。

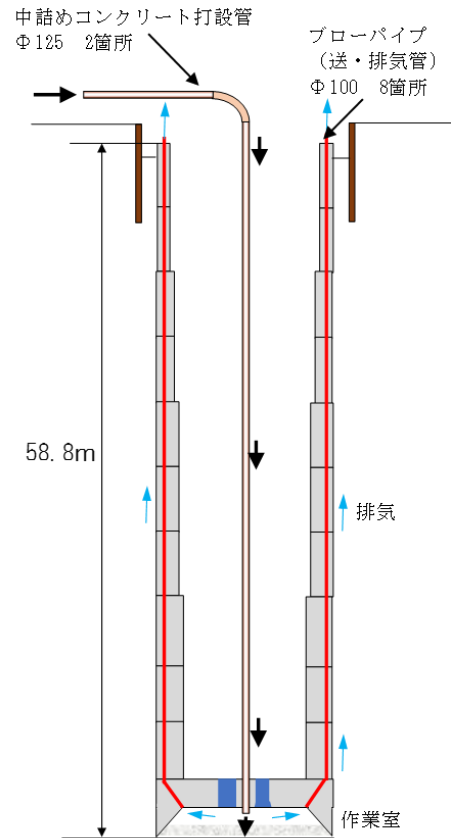


図-6 打込み配管断面図

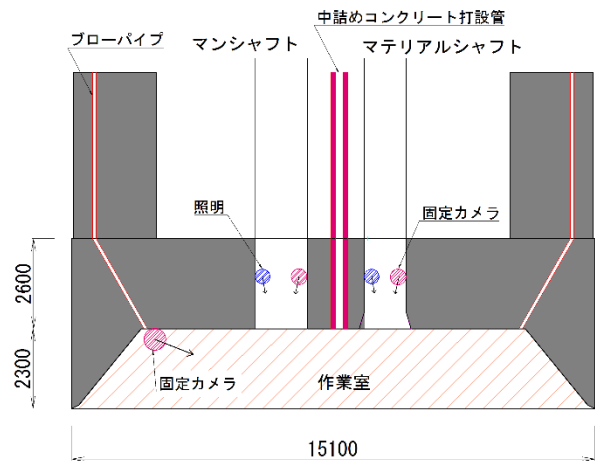


図-7 打込み箇所打設設備

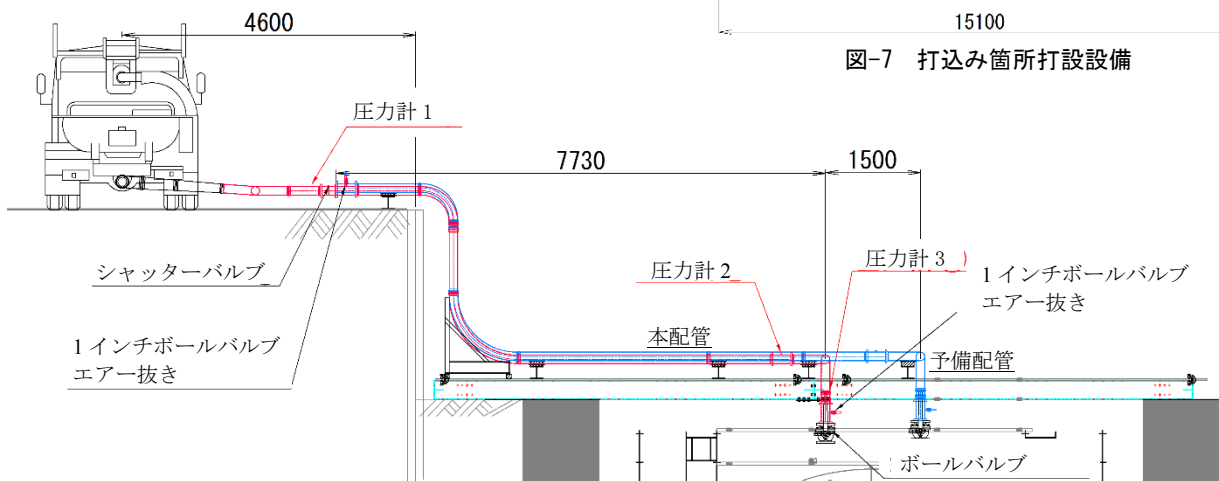


図-5 地上部配管図

表-3 主要打込みおよび監視設備仕様

No.	機材	仕様
1	コンクリートポンプ車	最高出力 240PS 最大理論吐出量 90m ³ /h 最大理論吐出圧力 8.5MPa
2	地上部配管	M型 5インチ, 肉厚 4.5mm ア抜き 1インチ
3	鉛直部配管	フランジ 5インチ, ア抜き 1インチ
4	ブローパイプ	4インチ, ア抜き 1インチ
5	カメラ 1	解像度 25 万画素
6	カメラ 2	解像度 25 万画素
7	圧力計	ダイヤグラム式 PMF-5MPa

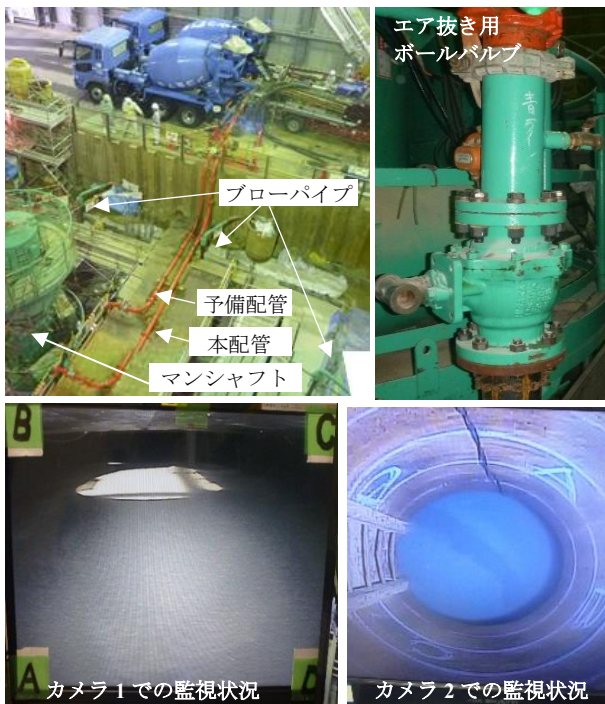


写真-2 主要打込みおよび監視設備

4.2 打込み状況

2017年10月13日8:19にアジテータ車1台目を打込み開始し、60台目(累計コンクリート数量240m³)を13:35に打込み完了した。打込み中は、ポンプ車にアジテータ車を2台付けにし、生コン工場との連絡を密にすることで、連続して平均打込み速度45.5m³/hにて施工した。施工中に閉塞は発生せず、最後の充填確認は、8箇所のブローパイプが全て閉塞し、カメラ2にてマンシャフトが充填されたことにより確認できた。打込み中の作業室の圧力は0.44MPaを目標に管理した。

4.3 管内圧力測定結果

管内圧力の測定結果を図-8に示す。図中の打込み速度はポンプの設定吐出量、打込み量は実測値である。

8:19~8:35の打込み開始時は、いずれの圧力計も圧力の変動が大きい。10:00~11:00の打込み速度64m³/hで安定した区間は、どの圧力計の値も小さく、安定している。一方、11:05頃の打込み速度46m³/hに抑制した区間(生コン車の到着遅延による調整)や12:00~12:40の打込み速度35m³/hに抑制した区間(作業員の昼食時間確保)は、



写真-3 スランプの状態(測定値スランプフロー60cm)

表-4 配合表(21 60 20BB)

No	W/C (%)	s/a (%)	配合 (kg/m ³)				
			C	W	S	G	Ad
1	45.0	54.7	383	172	977	834	6.89
2	45.0	100	559	251	1428	0	8.67

S:FM2.66, G:FM60, Ad:増粘剤一液系高性能AE減水剤

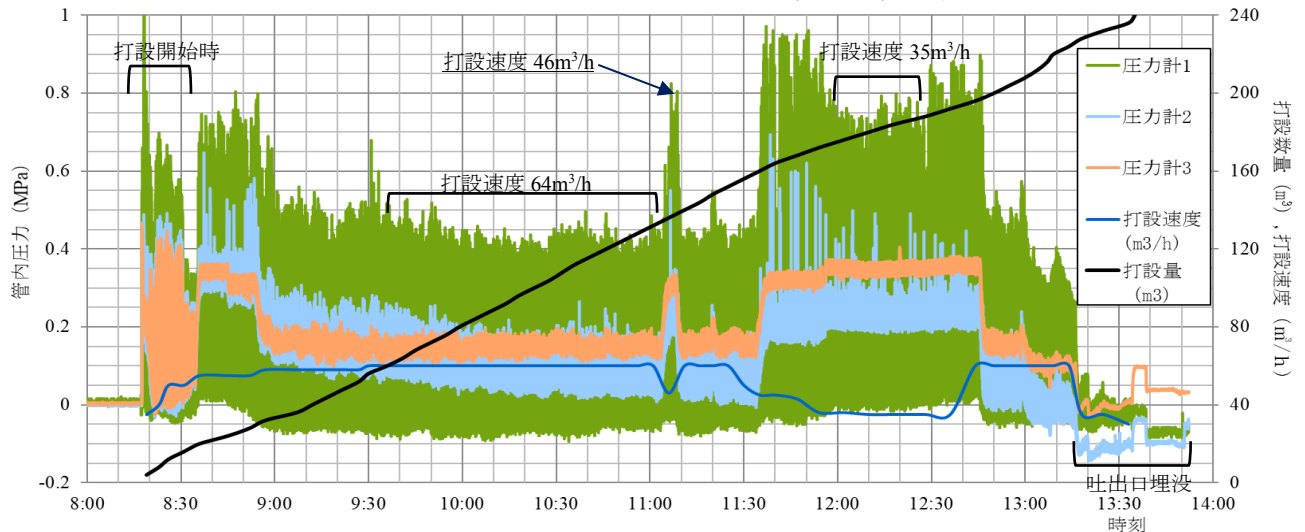


図-8 管内圧力測定結果

打込み速度を抑制したことで、全ての圧力計測地点で値が大きくなった。一般的には打込み速度が速い場合の方が圧力は高くなるが、逆の傾向となった。これらの現象について、考察した。

図-9 および図-10 に配管内部の圧送状況の模式図を示す。打込み速度が 64m³/h と速い場合は、管内が満管に近い状況と仮定すると、図-9 に示すように、管内の自重と圧気および鉛直管の管内摩擦力がほぼ釣り合う。そのため、管内の圧力が低下する結果となったと考えられる。鉛直下向きの配管の管内圧力損失は、地上部の圧力計 1 と 2 の圧力差を水平換算距離で除して求めた水平管 1m あたりの管内圧力損失と同等として算出している。

一方、打込み速度が 46m³ と遅い場合は、管内が満管にならず、コンクリートが分離しながら落下していると仮定すると、図-10 に示すように、鉛直配管内のコンクリートの自重が下向きに作用しないため、管内の圧力が上昇すると考えられる。このように、ニューマチックケーソン工法の中埋コンクリートにおいては、鉛直配管が満管にならない場合、作業室の圧気は、配管内を上昇すると考えられ、地上部での閉塞発生時も圧気による脱水等も考慮して、慎重に復旧作業を行うことが必要である。

また、作業室内に打ち込まれたコンクリート面の高さが上昇し、鉛直管の吐出口が埋没した 13:15 以降は、管内が完全に満管になり、管内の自重のみで打込みできる状況になったため、全ての計測値点で値が小さくなったと考えられる。

5. まとめ

閉塞時の打込み状況および原因の検討結果から、打込み開始直後や打込み速度が配管径に比較して遅いとき、配管径が途中で大きくなる場合においては、鉛直配管内でコンクリートの自由落下による材料分離が発生し、作業室内の圧気が配管内を上昇し、地上部の鉛直配管以外の箇所にも高圧の空隙が発生することで、閉塞が懸念される状況となることが確認できた。

これら 2 現場の実績により、打込み時の閉塞対策としては、以下の事項が有効なことが確認できた。

- (1) 管内の材料分離を抑制するため、管径は統一し、閉塞発生の原因となる圧気の上昇を防止するために、管内を満管に近い状況にできる打込み速度を確保する。
- (2) 上昇した圧気を抜くエア抜きバルブを圧送管の最上部に設置し、閉塞発生時の作業の安全性を考慮して、ポンプ車のブームを使用せず、Uバンド等で固定されたポンプ車からの直接配管とする。
- (3) 打込みするコンクリートは、充填性を高めるだけでなく、材料分離抵抗性の高い配合とする。

本報告が、中埋コンクリートの品質向上および安全施工の一助となれば幸いである。

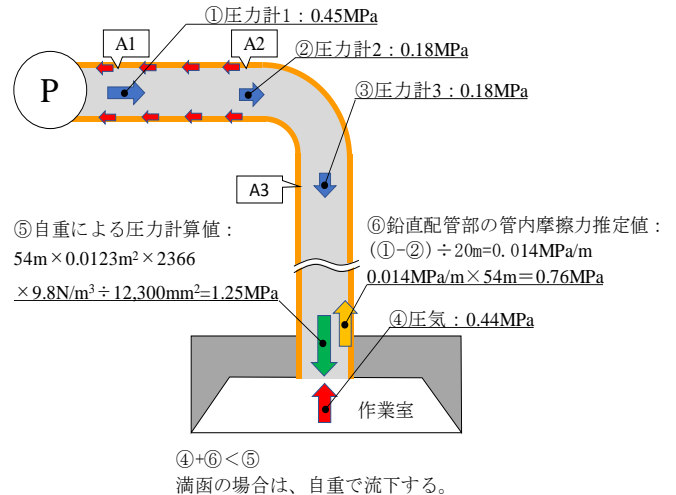


図-9 管内の圧力状況 (64m³/h)

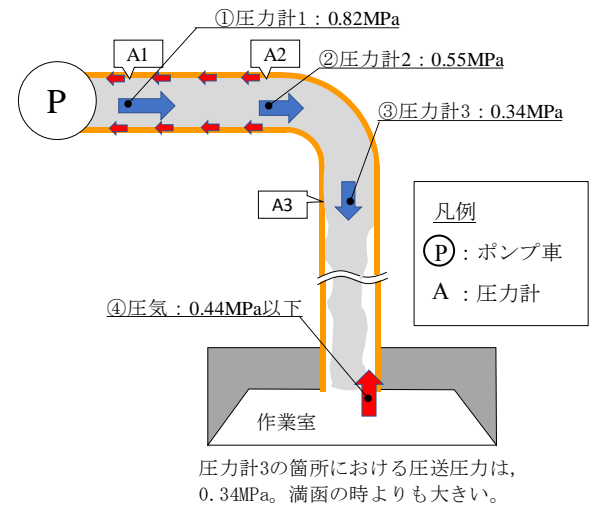


図-10 管内の圧力状況 (46m³/h)

参考文献

- 1) 近藤俊宏・福田淳二・小林俊秋・俵道和：ニューマチックケーソン工法における中埋コンクリートの可視化—充填性向上に向けた工夫—, コンクリート工学, Vol.53, No.5, pp427-430, 2015.5
- 2) 成田一徳・井田康男・虎谷和幸・遠藤志朗, 下方向へのコンクリートポンプ圧送時の管内圧力測定, コンクリート工学年次論文集報告集, Vol.19, No.1, pp457-462, 1997
- 3) 立川大介・吉行史美哉・松田真二・松本勝・白岩誠史：ニューマチックケーソン工法における中埋コンクリートの施工, 土木学会第73回年次学術講演会, V-032, pp.63-64, 2018.8
- 4) 松本勝・白岩誠史・立川大介・松田真二：ニューマチックケーソン工法における中埋コンクリートの管内圧力に関する一考察, 土木学会第73回年次学術講演会, V-033, pp.65-66, 2018.8