

報告 高所長距離圧送への圧送改善剤の適用効果

白岩 誠史*1・高瀬 清隆*2・吉浪 雄亮*3・村田 安之*4

要旨：高低差 80m，斜距離で 350m 程度の山肌に鉄筋コンクリートの水槽を建設するために，圧送改善剤を適用した配合による高所長距離圧送を実施した。本報告では，現場において“ブリーディング試験”，“N 式貫入試験”，“管内圧力の測定”を実施し，圧送改善剤の添加量および成分調整について考察した。その結果，圧送改善剤の分離防止成分を多く添加すると，滞留時間が延長した場合にスランプロスが大きくなった。このため，圧送による材料分離を防止できる範囲で分離防止成分を低減し，滑剤成分を多くする方が，圧送性の改善効果（管内圧送圧力の低減，スランプロス低減）が高いことが確認できた。

キーワード：高所長距離圧送，圧送改善剤，管内圧力，スランプロス

1. はじめに

本工事は，岐阜県飛騨市神岡町の山岳部に位置し，1920 年（大正 9 年）に運転を開始した神岡鉱業株式会社所有の土第一発電所（更新後 1 865kW）の更新工事である。当工事では，取水口から導水された水を貯水する水槽を新たに構築する工事が含まれ，水槽の建設位置は，写真-1 および図-1 に示すように，発電所の位置する地上部からは，高低差 80m，斜距離で 350m 程度の山肌に位置し，工事車両が通行できる運搬路はない。そのため，水槽を建設するコンクリートをアジテータ車で打設箇所まで運搬することは不可能であり，圧送管を斜面に配管して，低所から高所へ圧送する長距離圧送（水平換算距離 907m）による打込みを選択した。

今回のような高所長距離圧送時は，閉塞の危険性が高いと判断し，圧送性に優れたコンクリート配合としたが，さらに安全を見込み，主に貧配合のコンクリートの圧送改善を目的として使用されている圧送改善剤¹⁾の後添加を検討し，実施工に適用した。本報告では，現場で“ブリーディング試験”，“N 式貫入試験”²⁾および“管内圧力の測定”を実施し，圧送改善剤の添加量および成分調整について考察した結果について報告する。

2. 打設条件

打設箇所の断面図を図-1 に示す。図中に示す配管の種類（超高压管，中圧管，標準管）は，土木学会発行の“コンクリートのポンプ施工指針（以下，ポンプ指針）”に示された方法³⁾に沿って，必要吐出圧力を表-1 に示すように算出し，水平換算距離と見込まれる管内圧力の関係から図-2 に示すように管種を決定した（表-1 中の水平管換算距離は，配管経路中の 44 個の曲管および先端ゴムホースを考慮している。）。計画時の打設速度は 12m³/h としたが，施工時，管内圧力を確認しながら，打設速度を 20m³/h まで上げたため，打設速度 16m³/h，20 m³/h の場合の必要吐出圧力も併記した。ポンプ車は，超高压仕様（高压 22/通常 15MPa）の通常仕様で打設した。



写真-1 現場状況

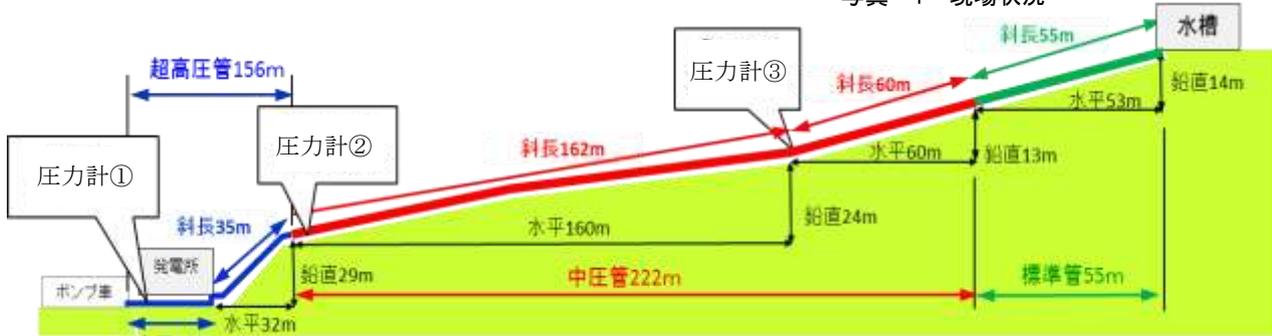


図-1 配管状況断面図

*1 株式会社 安藤・間 土木事業本部土木設計部 工博（正会員）

*2 株式会社 安藤・間 名古屋支店土木部

*3 花王株式会社 テクノケミカル研究所 理修

*4 萬城株式会社

また、管内圧力の計測は、計4回の打込み時に実施し、それぞれの打設日および打設条件は表-2、コンクリートの配合は表-3、使用材料は表-4のとおりである。

圧送改善剤は2種類あり、通常タイプ（以下、タイプN）は、滑剤成分（合成系高分子）、分離防止成分（セルロース系）、流動保持成分（ポリカルボン酸系）、気泡制御成分（アニオン系）の4成分からなるが⁴⁾、粘性低減タイプ（以下、タイプH）は、分離防止成分を取り除いて、滑剤成分を増加したタイプである。粘性の高いコンクリートは、圧送時の材料分離の懸念は小さいが、粘性が高く圧送圧力が増加する可能性があるためである。本現場ではこれら2タイプの圧送改善剤の混合使用を検討した。

表-1 必要吐出圧力の算出

打設速度 (m ³ /h)	作業効率	必要吐出量 (m ³ /h)	水平換算長さ (m)	1m当り圧力損失 (10 ⁻³ MPa/m)	必要吐出圧力 (N/mm ²)
12	0.4	30	907	0.95	10.77
16	0.4	40	907	1.20	13.61
20	0.4	50	907	1.40	15.87

*：安全率は1.25で算出。

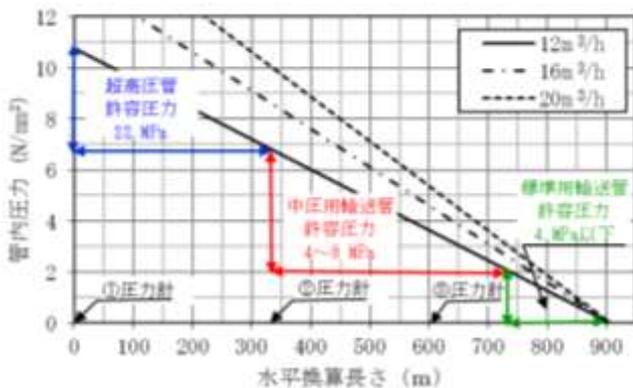


図-2 配管種類の選定

表-2 打設条件

打設箇所	打設日	コン最高温度 (°C)	打設数量 (m ³)	打設開始時刻	打設完了時刻	打設速度* (m ³ /h)
均しコン	6/28	25.0	24.0	10:00	12:27	9.6
1リフト	7/11	31.0	72.0	9:45	13:58	18.0
2リフト	7/26	29.0	100.0	7:57	12:45	20.0
3リフト	8/10	31.0	56.0	7:42	11:35	7.8

*：打設開始から完了までの平均打設速度

表-3 コンクリートの配合 (30 18 20N)

W/C (%)	s/a (%)	配合 (kg/m ³)						
		C	W	S1	S2	G	Ad1	Ad2
47.0	45.3	368	173	683	121	979	0.06	3.68

3. 性状確認試験

3.1 ブリーディング試験

圧送改善剤のタイプNおよびタイプHの2種類の混合量を変えたコンクリートの材料分離抵抗性を比較するため、ブリーディング試験 (JISA 1123) を実施した。その結果を表-5および図-3に示す。

No.1のベースコンクリートのブリーディングは、0.084cm³/cm²であった。日本建築学会の指針における標準⁵⁾が“0.3cm³/cm²以下”であることを考慮するとブリーディングの非常に少ない配合であると判断できる。

次に、分離防止成分の入ったタイプNを1.0kg/m³添加したNo.2は0.045cm³/cm²、添加量を0.5kg/m³に低減したNo.3は0.067cm³/cm²となった。分離防止成分のあるタイプNを増加すると、ブリーディングが低減できることが確認できた。

次に、タイプNとタイプHをそれぞれ0.25kg/m³混合したNo.4は、ベースコンクリートと同程度の0.081cm³/cm²、タイプHのみを添加したNo.5は、0.090cm³/cm²となり、ベースコンクリートよりもわずかに増加した。

表-4 使用材料

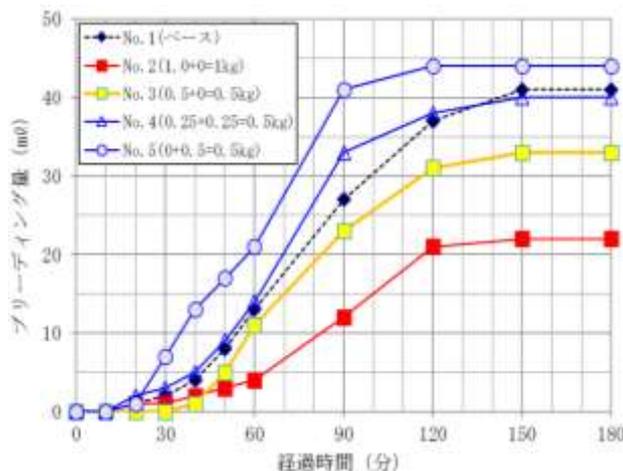
材料の種類	内容/物性
セメント	普通ポルトランドセメント (密度 3.15g/cm ³)
水	地下水、回収水
細骨材1	砕砂 (粗) 密度 2.67g/cm ³ , 粗粒率 2.60
細骨材2	砕砂 (細) 密度 2.67g/cm ³ , 粗粒率 1.50
粗骨材	砕石 2005, 比重 2.69, 実積率 60%
混和剤	Ad1: A E 剤I種 天然樹脂酸塩 Ad2: A E 減水剤標準型 リグニルスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体
圧送改善剤	通常タイプ (タイプN) 粘性低減タイプ (タイプH)

表-5 ブリーディング試験結果

No.	圧送改善剤(kg/m ³)		ブリーディング	
	タイプ N	タイプ H	累加水量 (ml)	量 (cm ³ /cm ²)
1	-	-	41	0.084
2	1.0	-	22	0.045
3	0.5	-	33	0.067
4	0.25	0.25	40	0.081
5	-	0.5	44	0.090

3.2 N式貫入試験

圧送改善剤のタイプ H およびタイプ N の混合量および使用量を変えて N 式貫入試験を実施した。その結果を表-6 および図-4 に示す。コールドジョイントは、貫入量 5~10cm 程度で発生する²⁾ことが報告されているため、今回の実験では、試験開始後 10 cm 到達時間と 5cm 到達時間を求めた。



* : 凡例の () 内は、(N 添加量+H 添加量=合計添加量)

図-3 ブリーディング試験結果

表-6 N 式貫入試験結果

No.	圧送改善剤(kg/m ³)		N 式貫入試験	
	タイプ N	タイプ H	10 cm 到達時間(分)	5 cm 到達時間(分)
1	-	-	100	120
2	1.0	-	84	110
3	0.5	-	95	120
4	0.25	0.25	95	127
5	-	0.5	103	127

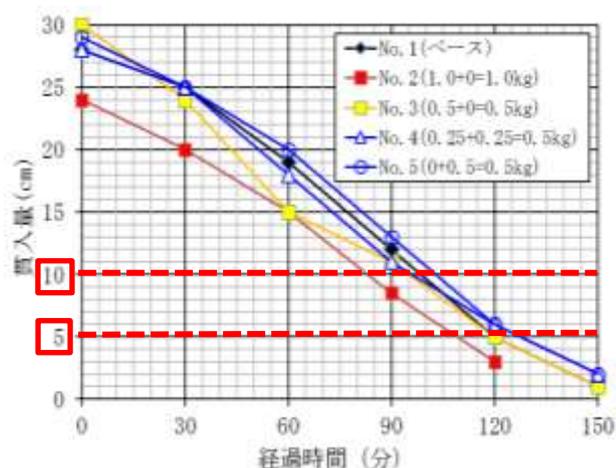


図-4 N 式貫入試験結果

No.1 のベースコンクリートは、試験開始後から貫入量 10 cm までの到達時間は、100 分であった。分離防止成分の入ったタイプ N を 1.0kg/m³ 添加した No.2 は 84 分、添加量を 0.5kg/m³ に低減した No.3 は 95 分となった。分離防止成分を含むタイプ N を増加すると凝結を促進させる可能性があることが確認できた。

次に、タイプ N とタイプ H をそれぞれ 0.25kg/m³ 混合した No.4 は、95 分、タイプ H のみを 0.5kg/m³ 添加した No.5 は、103 分となり、ベースコンクリートよりも凝結が遅延した。

4. 現場適用試験

図-1 に示す 3 か所の位置に、写真-2 に示す検出管に小型かつ高精度の圧力計を設置し、表-2 に示す 4 回の打設全てにおいて、2 種類の圧送改善剤の混合量を変え、圧送管内圧力を 0.1~0.5 秒間隔で連続的に測定した。

4.1 圧送改善剤の混合量の検討

2017 年 7 月 26 日に打設した 2 リフト目の管内圧力計測結果を図-5 に示す。グラフ中の黒丸数字は、アジテータ車の累加台数を示している。また、青文字は、2 種類の圧送改善剤の混合量を示しており、“タイプ N の添加量(kg/m³)+タイプ H の添加量(kg/m³)”である。圧力計①、圧力計②、圧力計③の管内圧力を連続的に測定した。

次に、図-6 には、図-5 の計測結果から、圧力計①におけるアジテータ車 1 台ごとの最大圧力および計測された圧力の平均値（以後、平均圧力）を算出して、圧送改善剤の添加量と併記した。6~11 台目および 16~18 台目において、タイプ H の添加量を増加させた。その結果、管内圧力は低減し（図-6 中の青矢印）、12~15 台目まで再びタイプ N のみを添加すると、管内圧力は増加する傾向が確認できた（図-6 中の赤矢印）。

荷卸し箇所および筒先のスランプとコンクリートの圧送管内の滞留時間（ポンプ車ホッパにアジテータ車から荷卸し後、筒先から搬出されるまでの時間）の関係を図-7 に示す。また、練混ぜ開始から荷卸し完了時間（生コン工場で練り混ぜを開始し、筒先から搬出されるまでの時間）までの時間を併記している。



写真-2 圧力計設置状況

図-7によると、4台目および14台目、24台目のように、タイプNの混合量が多く、管内の滞留時間が長い場合には筒先でのスランプロスが大きくなる。

圧送改善剤に含まれる材料分離防止成分は、今回のような富配合の場合、管内圧力の微増や管内の滞留時間が延長した時のスランプロスの増加に影響する可能性がある。今後の検討も必要だが、富配合のコンクリートには、滑剤成分を増加させたタイプHの圧送改善剤を適用することで、管内圧力およびスランプロスの低減効果を確保できると考えられる。

4.2 スランプロス影響因子の検討

2リフト目の計測結果から、タイプNの混合量が多く、管内の滞留時間が長い場合にスランプロスが大きくなる傾向があることが確認できた。

2017年8月10日に打設した3リフト目の管内圧力計測結果について、図-8~10に示す。図-9より、2リフトと同様に、タイプNの混合量を増加させると管内の平均圧力が増加し、タイプHを増加させると、低下する傾向が確認できた。また、管内滞留時間とスランプの関係についても、図-10より、2リフトと同様に、滞留時間

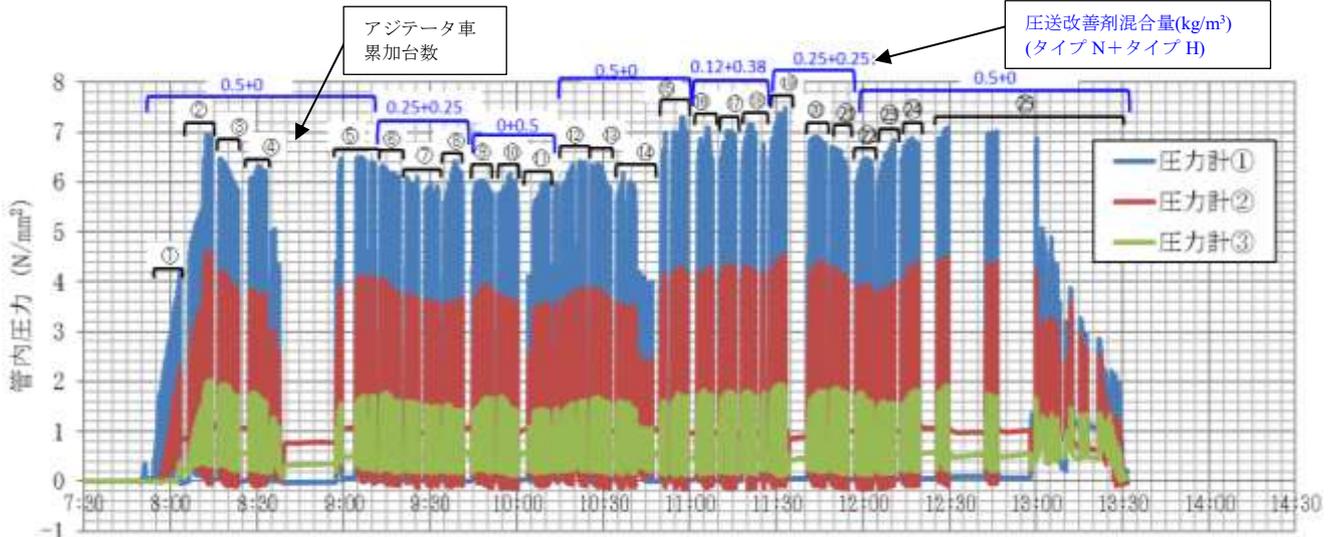


図-5 管内圧力の測定結果 (2リフト目)

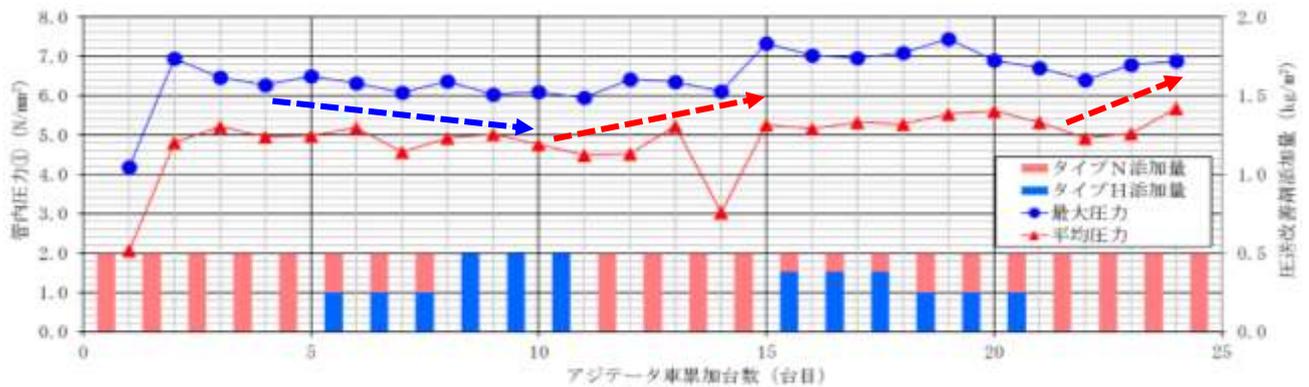


図-6 圧送改善剤添加量と管内圧力① (2リフト目)

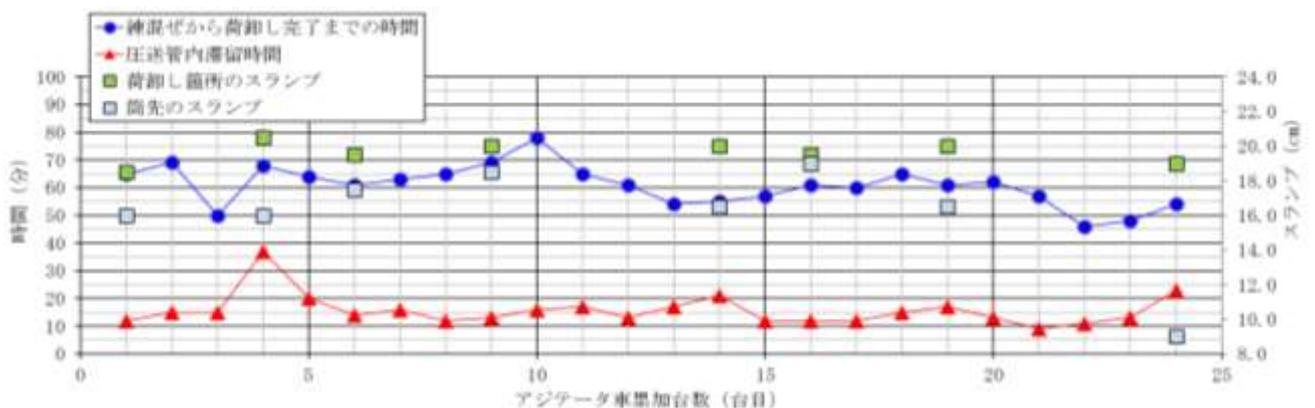


図-7 スランプと管内滞留時間の関係 (2リフト目)

が長くなると、スランプロスが大きくなる関係が確認できた。

通常のコンクリート打設では、スランプロスは外気温の影響を大きく受けるため、今回の圧送による打設において、荷卸時のコンクリート温度および筒先の温度の計測を実施した。斜面に配置した圧送管は、写真-2に示すように、被覆のないオレンジ色で着色した配管である。

図-11 および図-12に計測結果を示す。2リフト目のほうが、3リフト目よりも、外気温およびコンクリート温度が低く、管内の滞留時間も短い、荷卸箇所コンクリート温度より、筒先付近のほうが、温度が1~3℃高くなっており、スランプロスも大きくなっている。温度上昇の原因は、いくつか考えられる。

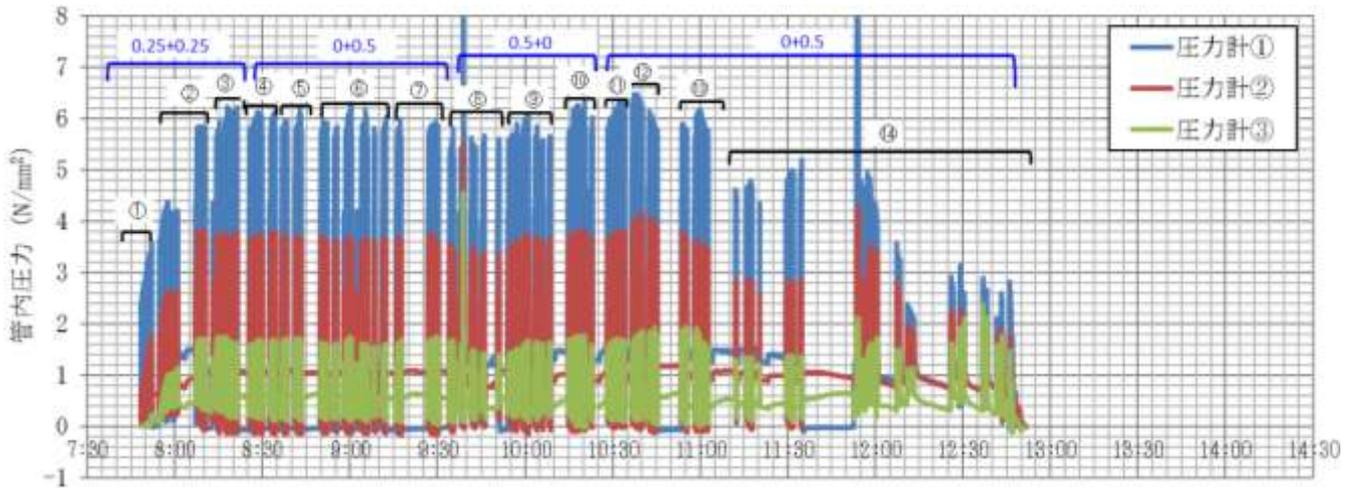


図-8 管内圧力の測定結果 (3リフト目)

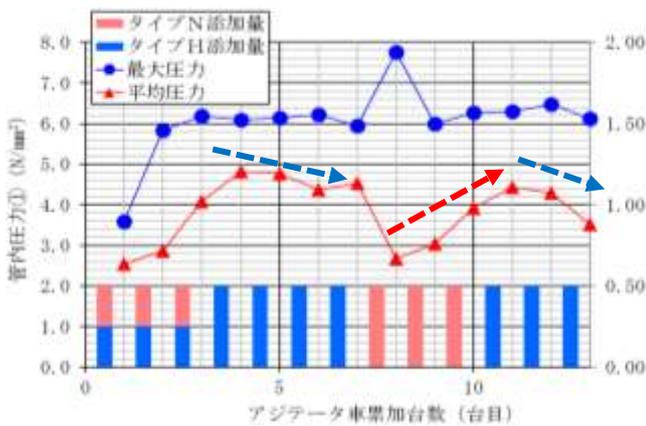


図-9 圧送改善剤添加量と管内圧力① (3リフト目)

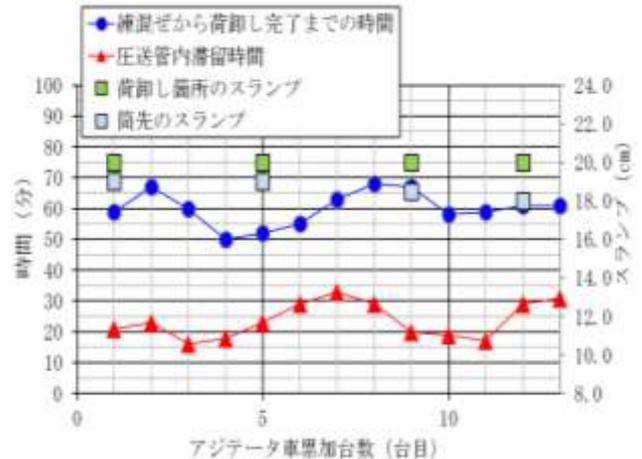


図-10 スランプと管内滞留時間の関係 (3リフト目)

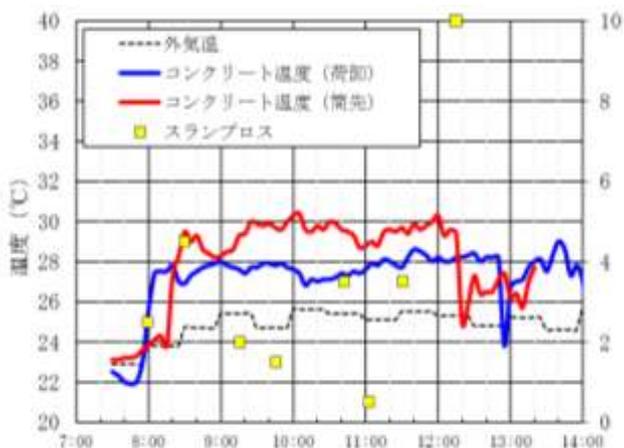


図-11 管表面温度とコンクリート温度 (2リフト目)

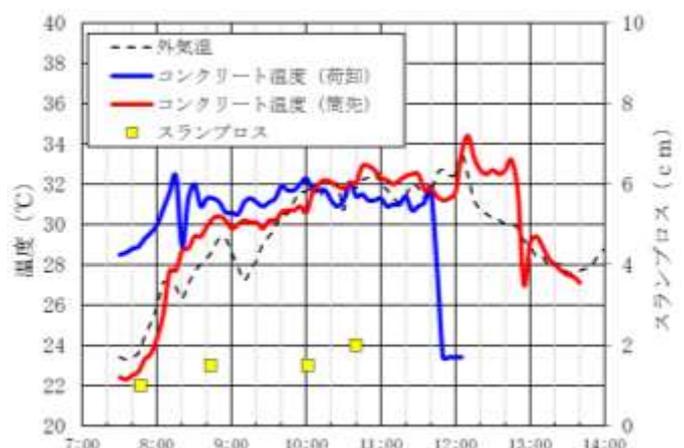


図-12 管表面温度とコンクリート温度 (3リフト目)

- (1). 表-2 より, 2 リフト目の方が, 圧送速度が速いため, 管内側とコンクリートの摩擦が卓越し, 温度上昇した。
- (2). 2 リフト目は, 粘性も付与するタイプ N を主に使用しているため, 管内側とコンクリートの摩擦が卓越し, 温度上昇した。

現時点では, 圧送中のコンクリートの温度上昇が, スランプロスを大きくしている可能性が高いことは確認できたが, 温度上昇する原因の特定については, 今後の課題である。

4.3 圧送改善剤による管内圧力の低減効果

圧送改善剤による管内圧力の低減効果を把握するため, ポンプ指針に記載の実績値と圧送改善剤の使用量を変更した配合の計測値との比較を行った。

図-13 に, 今回, 現場で圧送実験した配合ごとの実吐出量 (圧送速度) と水平管 1m 当りの管内圧力損失の実測された最大値と平均値との関係を示す。タイプ N のみの No.2 の配合において, 最大値が実績値を上回る値を記録した。また, タイプ H のみの No.5 の配合においては, 実績値より最大値および平均値とも大きく低下している。

次に, 図-14 に, 配合ごとの管内圧力の測定値を, 配管種類の選定に使用したポンプ指針の実績による図-2 の水平換算距離と管内圧力のグラフにプロットした。どの配合も配管選定時に想定した管内圧力よりも小さい値となった。管内圧力は, タイプ N のみの No.2 の配合が高く, タイプ H のみの No.5 の配合が低い傾向となった。

これらの結果から, ポンプ指針の実績による事前の検討が安全側であることが確認できるとともに, 潤滑剤の混合量を高めた No.5 の配合は, 管内圧力を低減できると考えられる。

5. まとめ

比較的富配合のコンクリートに, 分離防止成分を多く添加すると, ブリーディングが低減できるが, 凝結が促進され, 滞留時間が延長した時のスランプロスの増加に影響する可能性がある。そのため, 富配合のコンクリートに適用する場合は, 圧送による材料分離を防止できる範囲で, 分離防止成分を低減し, 滑剤成分を多くする方が, 圧送性の改善効果 (管内圧送圧力の低減, スランプロス低減) が高いと考えられる。また, 経済的なコンクリートとするために, 圧送改善剤を利用した貧配合コンクリートの圧送についても検討し

ていきたい。

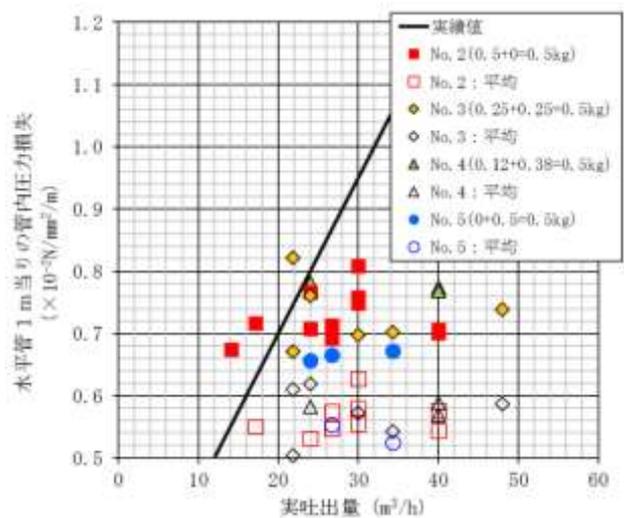


図-13 圧送改善剤添加量と管内圧力損失の関係

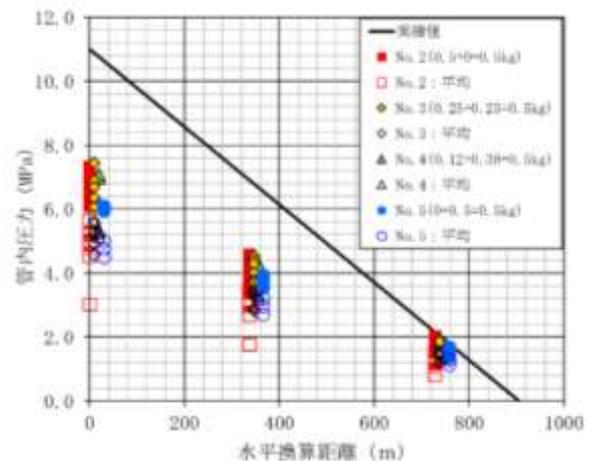


図-14 圧送添加剤添加量と管内圧力の関係

参考文献

- 1) 竹山博之, 北野潤一, 橋本紳一郎, 泉達男, 谷所美明: 圧送改善剤を用いたコンクリートの圧送性に関する検討, 土木学会第 72 回年次学術講演会, VI-137, pp.273-274, 平成 29 年 9 月
- 2) 土木学会: コンクリートライブラリー103 コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策, 2000
- 3) 土木学会: コンクリートライブラリー135 コンクリートのポンプ施工指針 (2012 年版)
- 4) 谷所美明, 泉達男, 橋本紳一郎, 北野潤一: 化学混和剤によるモルタル特性の改質向上に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.1255-1260, 2017
- 5) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御指針・施工指針 (案)・同解説, p.106