

報告 山間部における下向き長距離圧送事例の報告

赤池 考起*1・山本 朋宏*2・諏訪 健男*3・森本 公彦*4

要旨：本工事は、山間部の谷部に水槽を新設するものである。四方を山で囲まれているため、トラックアジテータが打込み地点まで近接することは不可能であった。そのため、山間部の斜面に沿って、高低差約 200m、延長約 550m、最大傾斜 45 度の下方へコンクリートを圧送して打込みを行った。下向き長距離圧送を行うにあたり、使用するコンクリートは、スランプ等の試験結果や単位セメント量、加圧ブリーディング試験の結果を考慮して選定した。実施工時には、管内圧力を測定し、下向き圧送時の圧力挙動を監視した。さらに、現場で発生した閉塞により、閉塞が発生する条件やそれに対する対策など様々な知見を得られた。

キーワード：長距離圧送、下方への圧送、加圧ブリーディング、管内圧力、閉塞

1. はじめに

「奥泉（発）トリップ時余水対策工設置工事」は、水力発電所の緊急停止時などに余水を一時的に貯留するための水槽を新設する工事である。本工事場所は、山間部の谷部に位置しており、四方を山に囲まれ、電波が届かない場所となっている。そのため、コンクリートの打込みを行う際に、トラックアジテータが打込み場所まで近接することは不可能となっている。また、当初は、索道を使用し、0.8m³ ホッパーによる打込みを計画していたが、1 時間当たりの打込み量が 3m³ と少なく、工事期間内にコンクリートの打込みを完遂することが困難であった。そこで、コンクリートの時間当たりの打込み量を増やし、工期内に水槽の施工を完了させるため、山の斜面に配管を敷設し、コンクリートの圧送を計画し、実施した。圧送条件としては、高低差約 200m、圧送距離約 550m で、最大傾斜 45 度の下方への圧送となっている。下方への圧送は、配管内のコンクリートが自重で落下して材料分離が生じやすくなるため、閉塞の危険性が高くなる。

表-2 使用材料一覧表

材料の種類	内容／物性
セメント (C)	普通ポルトランドセメント (密度 3.15g/cm ³)
水 (W)	簡易水道水
細骨材 (S)	川砂 (密度 2.62g/cm ³)
粗骨材 (G)	川砂利 (密度 2.65g/cm ³)
混和剤 (Ad1)	AE 減水剤標準形 I 種 リグニ ンスルホン酸塩と特殊界面活性剤
圧送改善剤 (Ad2)	増粘タイプ

本報告では、本工事で実施した下向き長距離圧送において、試験練りによる配合の選定過程や、実施工時に計測した管内圧力の管理結果、閉塞の状況や実施した対策について報告する。

2. コンクリート配合の選定

2.1 配合条件、試験項目

今回検討した配合を表-1 に、使用した材料を表-2 に示す。配合条件としては、設計基準強度である呼び強度 24 と単位セメント量を多くし、コンクリートの粘性を高めた呼び強度 27 の 2 つの条件で実施した。それぞれの配合で、他工事の長距離圧送で使用実績のある圧送改善剤¹⁾を添加した。また、呼び強度 27 の配合においては、圧送改善剤を添加していない場合の条件も実施した。圧送改善剤は、下向き配管であるため、増粘タイプを使用した。スランプは過去の実績では、12cm、15cm が多かったが²⁾、現場での施工性を考慮して 18cm とした。試験項目は、スランプ試験 (JIS A 1101)、空気量試験 (JIS A 1128) に加え、加圧ブリーディング試験 (JSCE-F 502-2007)³⁾を実施した。また、時間経過に伴うコンクリートの変化を確認するために、練り上がったコンクリートを静置させた状態で、40 分後、60 分後にスランプ試験、空気量試験を実施した (写真-1)。

2.2 試験結果

スランプ試験、空気量試験の結果を表-3 に示す。表

表-1 配合一覧表

配合 No.	呼び方	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad1	圧送改善剤 Ad2
1	24-18-25N	52.0	4.5	49.6	168	323	888	914	3.46	0.5
2	27-18-25N	47.5	4.5	48.9	168	354	865	914	3.79	-
3	27-18-25N	47.5	4.5	48.9	168	354	865	914	3.79	0.5

*1 ㈱安藤・間 建設本部 土木技術統括部 土木設計部 (正会員)

*2 ㈱安藤・間 名古屋支店 土木部

*3 中部電力㈱ 静岡水力センター 技術課

*4 丸河商事㈱

のカッコ内の数字は、練上がり直後のスランプ、空気量の変化量となっている。

スランプの結果より、全ての配合において、練上がり直後のスランプは規格(±2.5cm)を満たし、60分後のスランプの変化量は、配合 No.1 で 6.0cm, 配合 No.2 で 7.0cm, 配合 No.3 で 8.5cm 低下した。空気量においては、全ての配合において空気量の規格(±1.5%)を満たし、60分後の空気量の変化量は、配合 No.1 で 1.2%, 配合 No.2 で 0.7%, 配合 No.3 で 1.6%減少した。これらの結果より、圧送改善剤を入れた配合の方がスランプの低下量は大きく、空気量の減少も大きくなった。空気量の減少が大きかった原因は、ベースコンクリートを練混ぜた後、圧送改善剤を添加して、再び練混ぜを行ったため、空気が巻き込まれ初期の空気量が大きくなり、時間経過により、エントラップトエアが逸脱したためだと考えられる。空気量の減少が大きいため、スランプの低下量も大きくなったと考えられる。また、呼び強度 24 と 27 を比較すると呼び強度 27 の方がスランプの低下量が大きくなった。しかし、今回は静置でのスランプ経時変化の確認であり、施工時にはトラックアジテータで攪拌されているため、スランプの低下量は今回の結果の 1/3～1/4 程度になる⁴⁾と考えられる。このため、呼び強度の違いや圧送改善剤の添加の有無による影響は小さいと考えられる。

加圧ブリーディング試験の結果を図-1 に示す。この図中に標準曲線 B, C も示した²⁾。圧送性はこの標準曲線の間にあれば問題ないと判断できる。3 配合ともに標準曲線内に分布していることが確認できた。最終脱水量においては、配合 No.1 で 113mL, 配合 No.2 で 87mL, 配合 No.3 で 80mL という結果となった。この結果より、



写真-1 スランプ試験



写真-2 滑り落ちる時の性状確認状況

呼び強度 27 の方が、呼び強度 24 より脱水量が少ないことが確認できた。また、圧送改善剤の有無に関しては、最終脱水量は 7mL の差があったが、脱水量の分布を見ると大きな差はなかったと判断できる。

これらの結果より、脱水量が少なく、単位セメント量の多い、呼び強度 27 の配合を使用することとした。

また、圧送改善剤の有無については、今回の圧送が下向き配管であるため、配管内を滑り落ちるときのコンクリートの性状を見て判断した(写真-2)。この実験方法は、約 7L のコンクリートを配管の端部に詰めた後、コンクリートが滑り落ちるまで徐々に配管を傾かせ、その時の性状を確認した。練上がり直後は、圧送改善剤の有無に関わらず、材料分離することなく滑り落ちる性状を示した。練上がりから 60 分経過すると、圧送改善剤を添加していない配合 No.2 においては、粗骨材が先行して滑り落ちる性状を示し、圧送改善剤を添加している配合 No.3 においては、練上がり直後同様に材料分離することなく滑り落ちる性状を示した。以上のことから、今回の施工で採用した配合は、呼び強度 27 で圧送改善剤を添加した配合 No.3 とした。

3. 現場でのコンクリート圧送

3.1 現場概要

当工事場所は、四方を山で囲まれた谷部に位置しているため、荷卸し地点と打込み地点の往復は山の斜面上からモノレールによって行う。このモノレールは片道 15 分程度時間がかかり、電波の届かず、連絡手段として無線

表-3 試験練り結果

経過時間 (min)	スランプ(cm)*			空気量(%)*		
	0	40	60	0	40	60
配合 No.1	18.5	15.5 (-3.0)	12.5 (-6.0)	4.9	4.4 (-0.5)	3.7 (-1.2)
配合 No.2	16.5	11.0 (-5.5)	9.5 (-7.0)	4.4	3.9 (-0.5)	3.7 (-0.7)
配合 No.3	17.0	11.0 (-6.0)	8.5 (-8.5)	5.1	4.3 (-0.8)	3.5 (-1.6)

*0)内は練上がりからの変化量

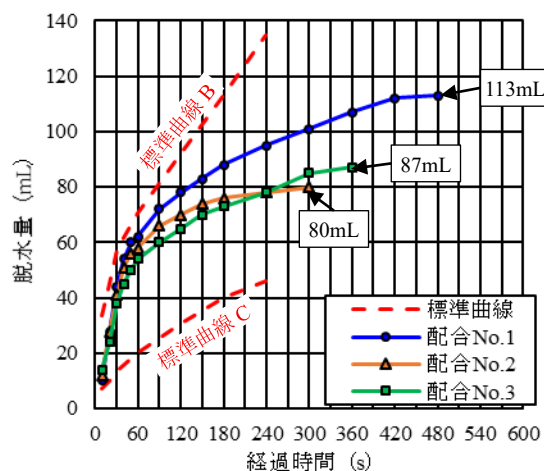


図-1 加圧ブリーディング試験結果

を使用しているため、お互いの状況をリアルタイムかつ詳細に把握することは難しい。また、現場付近は山道であるため、トラックアジテータの対面交通はできなく、山道途中に数箇所設けてある離合場所にて車のすれ違いを行った。本水槽のコンクリート総量は2,540m³であり、そのうちの約2,200m³を圧送した。圧送による打込みは、約6ヶ月間、計33回実施した(写真-3)。夏季においては、混和剤を遅延形に変更し、現場にて遅延剤の後添加を行い、コンクリートの凝結を遅らせた。

コンクリート配管(5インチ中圧管)は、モノレールの導線に沿って配管するとし、閉塞時に迅速な対応を行えるようにした。(図-2、図-3)。圧送条件は、高低差194m、圧送距離約550m、最大傾斜45度の下方への圧送となっている。閉塞時の対策として、150mに1つ程度ビ



写真-3 貯留水槽全景

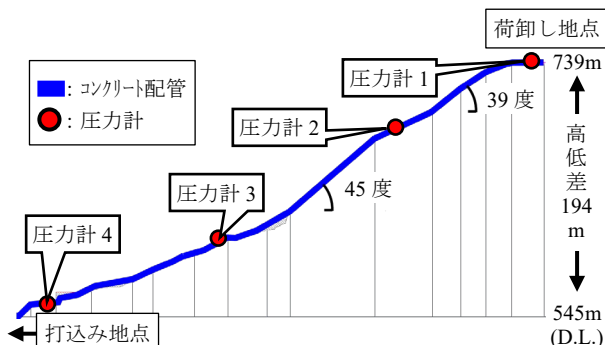


図-2 コンクリート配管縦断面図

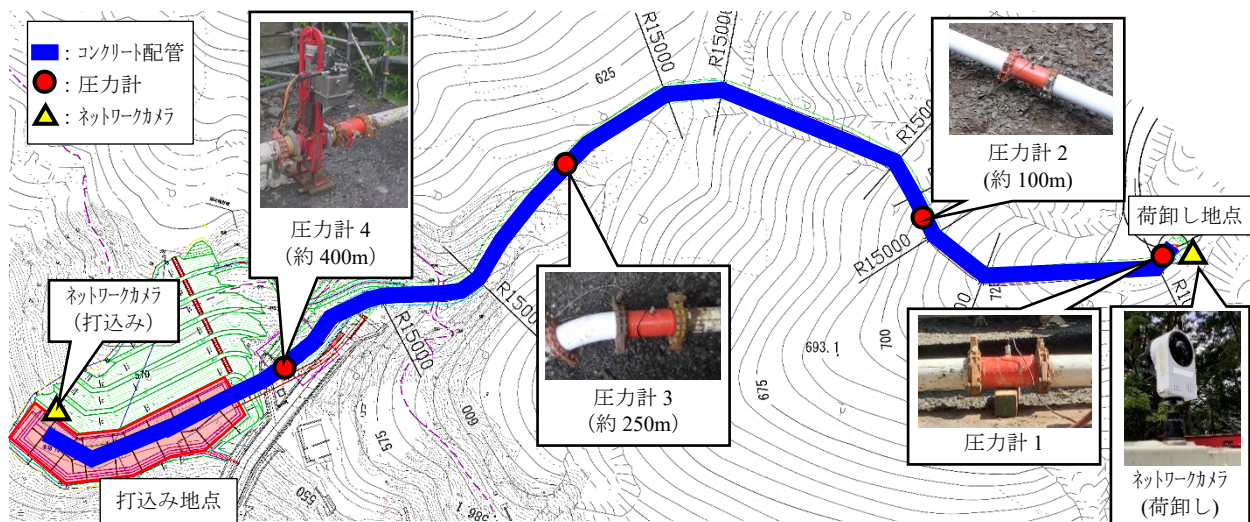


図-3 配管状況、各管理の実施箇所

ンバルブを設置し、コンクリートの流出を最低限にするようにした。さらに、下向き配管が終了した箇所には油圧式シャッターバルブを設置し、先端ホース手前の箇所には手動式のシャッターバルブを設置した。これらのシャッターバルブは、コンクリート圧送停止時に自重による脱水を極力防ぐように水密性の高いものを使用した。

3.2 施工管理項目

今回実施した管理項目の一覧表を表-4に示す。管内圧力測定において、測定位置は図-3に示す位置で実施した。圧力計1は、コンクリートポンプ車(最大吐出量70m³/h、最大吐出圧力5.4MPaの油圧ピストン式)の配管の根元に設置し、圧力計2は、圧力計1から約100mの箇所に設置し、圧力計3は、圧力計1から約250mの箇所に設置し、圧力計4は下向き配管が終了し、油圧シャッターバルブの手前(圧力計1から約400m)の箇所に設置した。圧力計にはフラッシュダイアグラム形の圧力計を使用し、コンクリートの打込み中は、管内圧力を荷卸し地点に設置しているパソコン上にリアルタイムで表示し、圧力挙動を監視した。

ネットワークカメラにより、荷卸し地点と打込み地点に設置しお互いの状況を確認できるようにした(写真-4、写真-5)。前述したとおり、携帯電話の電波も入らない山間部であったため、現場内にアクセスポイント(5GHz)を4つ設置してWi-Fi環境を構築し、離れた場所の映像をリアルタイムで確認、共有することを可能とした。また、荷卸し地点に設置した管内圧力の監視用パソコンの画面も、このWi-Fi環境を構築することにより、

表-4 管理項目一覧

項目	頻度	実施場所
管内圧力測定	2回/秒	配管各所(4箇所)
ネットワークカメラによる確認	常時	荷卸し地点 打込み地点
スランプ試験	1回/2台程度	荷卸し地点 打込み地点

打込み地点で閲覧することを可能にした。

スランブ試験は、圧送におけるスランブの低下量を把握するため、同一のトラックアジテータに対して、荷卸し地点と打込み地点でスランブ試験を実施した。

3.3 現場での施工結果

(1) 先行モルタル閉塞時の管内圧力

初回のコンクリート圧送は、先行水を約 0.2m^3 、圧送改善剤を添加した 1:2 モルタルを 1m^3 先行させた後、コンクリートを圧送する手順とした。先端ホースより、モルタルが排出されるのを確認するまでは、吐出量を約 $60\text{m}^3/\text{h}$ で圧送し、排出確認後は、トラックアジテータの搬送サイクルに合わせて、吐出量を約 $20\text{m}^3/\text{h}$ 程度で圧送する計画としていた。

先行モルタル圧送時、配管長約 250m 付近（圧力計 3 の手前）で閉塞した。閉塞した時点での管内圧力の結果を図-4 に示す。圧力計 1 および圧力計 2 においては、閉塞時の最大管内圧力が 4MPa を超える結果となり、圧力計 3 の管内圧力は負圧で、圧力計 4 の管内圧力はほぼゼロの結果となった。これより、圧力計 2 から圧力計 3 の約 150m の間で閉塞したと推定することができた。また、圧力計 1 における管内圧力は、管内圧力が最大となる 3 分前に管内圧力は上がり始めている。しかし、この時の値が 0.2MPa と小さい値であったため、閉塞が発生すると判断することは難しいと考えられる。最大管内圧力が 0.5MPa となったあたりから急激に上昇し、30 秒後には最大管内圧力が 4.3MPa となった。このため、急激な上昇をした場合は閉塞だと判断できるが、その判断時間は 30 秒と短い時間で判断する必要がある。

今回のモルタル閉塞において、詰まっていたモルタルはセメント分が少なく、砂分の多いモルタルであった。



写真-4 ネットワークカメラによる撮影動画（荷卸し）



写真-5 ネットワークカメラによる撮影動画（打込み）

このことから、配管や配管途中に溜まっていた先行水にモルタルのセメント分がとられたため閉塞したと考えられる。このため、2 回目以降の打込みにおいては、先行モルタルを 1:2 モルタルから、単位セメント量の多い 1:1 モルタルに変更した。この結果、2 回目以降で先行モルタルが閉塞することはなかった。

(2) コンクリート通常圧送時の管内圧力

コンクリートを通常圧送した場合の管内圧力の測定結果を図-5 に示す。圧送条件は先行モルタルを変更した以外は初回の時と同じである。先行モルタル圧送時には、吐出量が約 $60\text{m}^3/\text{h}$ で圧送しており、圧力計 1～4 すべてが正圧となった。通常はコンクリートポンプ車に近い方が圧力は高くなるが、今回の結果で一番高くなったのは、圧力計 3 の 1.5MPa 程度で、圧力計 3 よりコンクリートポンプ車に近い、圧力計 1 および圧力計 2 は 1.0MPa 程度となっている。これは、圧力計 1 と圧力計 2 の部分で満管でなかったため、圧力は低くなったと考えられる。このため、コンクリート配管すべてを満管にするには、吐出量 $60\text{m}^3/\text{h}$ 以上で圧送する必要があることが確認できた。

また、吐出量が約 $20\text{m}^3/\text{h}$ 程度の通常圧送時において、圧力計 3 と圧力計 4 で管内圧力が正圧になり、圧力計 1 で管内圧力がほぼゼロとなり、圧力計 2 で管内圧力が負圧となった。このため、ポンプから圧力計 3 までの区間はコンクリートが満たされていなかったと考えられ、管内圧力が負圧であることから粗骨材等が分離しやすい状況であったと考えられる。

図-5 において、圧力計 4 の管内圧力が $1.2\sim 2.0\text{MPa}$ 程度まで上昇している箇所（図中点線部分）は、圧送を停止した箇所である。この圧送を停止した箇所の圧力挙動の詳細図を図-6 に示す。圧力計 3 および圧力計 4 においては、圧送を停止した時点から管内圧力が上昇していることが確認できる。これは、配管内のコンクリート

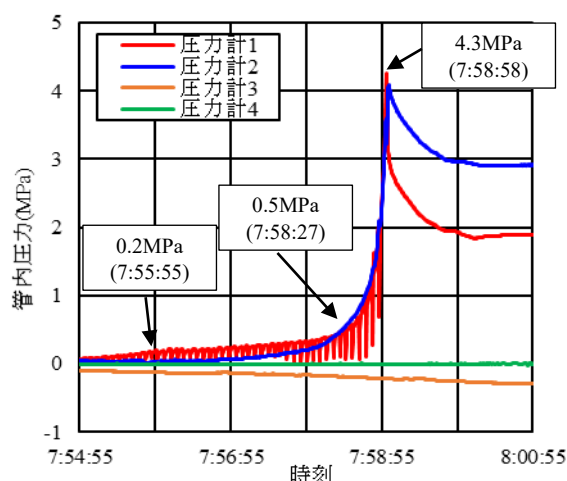


図-4 管内圧力測定結果（モルタル閉塞時）

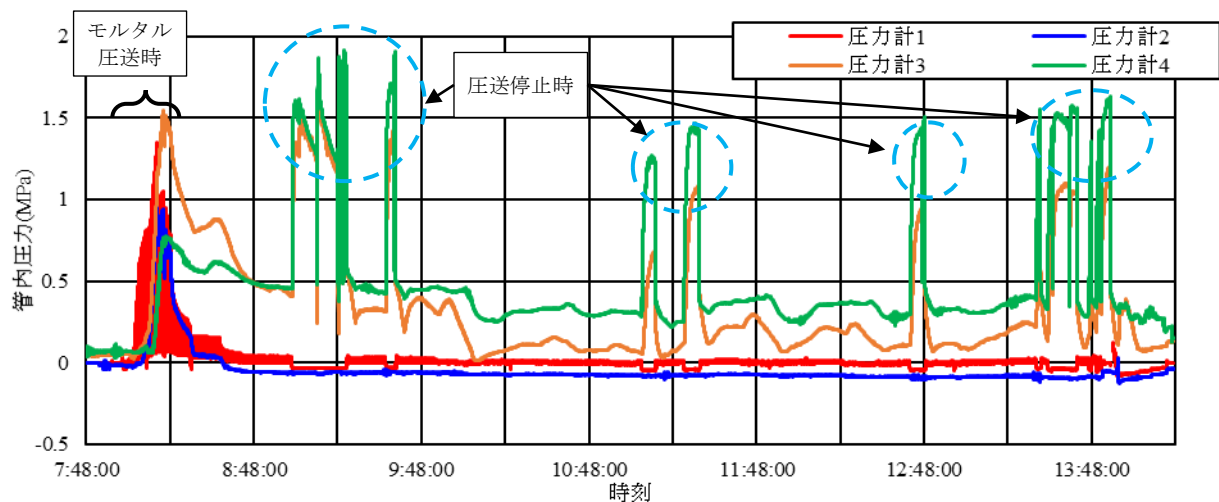


図-5 管内圧力測定結果（通常圧送時）

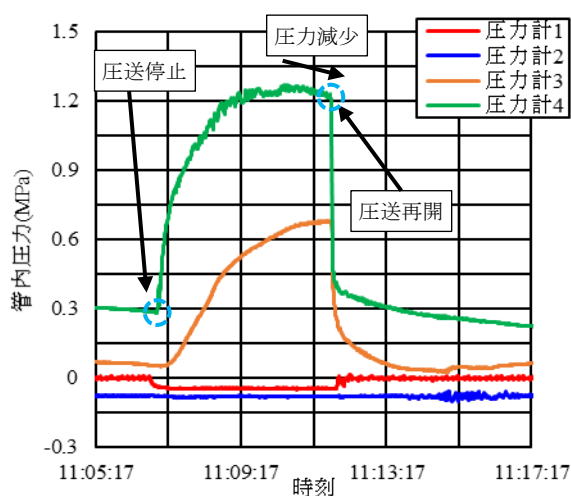


図-6 管内圧力測定結果（圧送停止時詳細）

が自重によって滑り落ちたことにより、管内圧力も上昇したと考えられる。さらに、圧力計4においては、管内圧力が1.25MPa程度まで上昇した後、圧力が減少している。これは、配管内のコンクリートがすべて滑り落ちたことにより、落下の衝撃の分の管内圧力がなくなり、減少傾向を示したのではないかと考えられる。そして、圧送を再開することにより、コンクリートの自重によって上昇していた管内圧力が解放されて一気に管内圧力が減少した。また、圧力計1においては、圧送を停止するとともに負圧に転じている。これは、コンクリートが滑り落ちたことにより、閉ざされていた配管内の空間が広がることで、圧力計1の箇所においても負圧に転じたのではないかと考えられる。

2017年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕⁵⁾（以下、示方書）に記載の方法でポンプに作用する圧送負荷を求めた結果を表-5に示す。その時の条件として、吐出量を60m³/h、下向き配管を水平管と見なした。圧送停止時を除いた実測における最大管内圧力は、圧力計3の1.5MPa程度であった。実測に対して、示方書で求めた圧

表-5 ポンプに作用する圧送負荷の計算結果

水平換算距離 (m)	吐出量 (m ³ /h)	圧送負荷 (MPa)
550	60	6.9
150		1.9

表-6 スランブ試験結果一覧

台数	荷卸し地点		打込み地点	
	測定時刻	スランブ (cm)	測定時刻	スランブ (cm)
10	10:49	18.5	11:05 (0:16)	20.0 (+1.5)
12	11:08	20.5	11:32 (0:24)	20.5 (±0.0)
14	11:37	18.5	12:11 (0:34)	19.5 (+1.0)
16	12:10	19.0	12:58 (0:48)	16.5 (-2.5)
18	12:50	18.0	13:14 (0:24)	19.5 (+1.5)
20	13:13	18.0	13:41 (0:29)	18.5 (+0.5)

送負荷は6.9MPaとなり、大幅に異なることが確認できた。また、山間部の下向き配管部を除いた150mで圧送負荷を計算すると1.9MPaとなり、今回の最大管内圧力と近い結果となった。このことから、今回の圧送においては、下向き配管の圧送負荷はほぼゼロであったと考えられる。

(3) スランブ試験結果

荷卸し地点と打込み地点で実施したスランブ試験の結果を表-6に示す。表のカッコ内の数値は、測定時刻においては、荷卸し地点で測定した時刻からの経過時間、スランブにおいては、荷卸し地点からの変化量となっている。トラックアジテータの16台目を除いて、すべてのスランブ試験の結果が荷卸し地点より打込み地点の方が大きい、あるいは変化なしという結果になった。スランブが大きくなった原因としては、圧送改善剤に含まれるスランブ保持成分の影響であると考えられる。唯一16台目においては、スランブが2.5cm低下したが、これは荷卸し地点で試験を行ってから48分経過しているため、

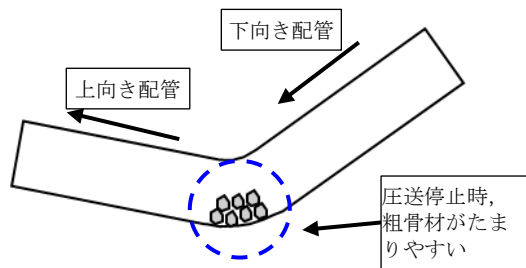


図-7 閉塞多発箇所の模式図

時間経過による影響の方が大きいと考える。以上の結果より、今回の圧送において、圧送前後でのスランプの変化が小さく、下向き配管での圧送負荷による影響が認められなかった。

(4) その他の閉塞事例

コンクリート圧送を行う中で2つの閉塞事例が発生した。1つ目の閉塞事例は、水槽の壁の打込みにおいて、配管の段取り替えを行う必要があった。この段取り替えの時間が15分程度となり、再圧送を行った際に閉塞した事例となっている。これは、圧送を停止したことにより、配管内のコンクリートがシャッターバルブ部において圧密、脱水され固まってしまったことが原因であると考えられる。対策として、配管を型枠の外側ではなく、型枠内側上部に配管することにより、段取り替えが終了していても、型枠内にコンクリートを落とせるようにして、長時間の圧送停止を防止し、圧送停止時間を最大10分とした。また、夏季の高温時には、遅延剤を添加し、コンクリートの凝結を遅らせる対策も行った。

2つ目の事例として、図-7、写真-6に示すような、下向き配管からすぐ上向き配管に変わる箇所（道路におけるサグ区間のような箇所）において、圧送停止からの再開の時に、閉塞する事例が多く発生した。この原因としては、圧送停止時に、サグ区間の箇所に分離した粗骨材が溜まったためだと考えられる。この対策として、サグ区間にならないように配管を修正した。この結果、この箇所での閉塞はなくなった。前述したモルタルの閉塞も同じ箇所で発生していたことから、この箇所に先行水が溜まったことにより、モルタルが洗われて、細骨材分の多いモルタルになった一因だと考えられる。

4. まとめ

- (1) コンクリートの配合は、加圧ブリーディング試験の脱水量、単位セメント量、配管を滑り落ちる時の性状を考慮して選定した。
- (2) 閉塞時の管内圧力の結果から、管内圧力の上昇量から閉塞の前兆を確認できたが、判断時間は30秒程度と短い。
- (3) 先行モルタルは、配管や先行水にセメント分が取

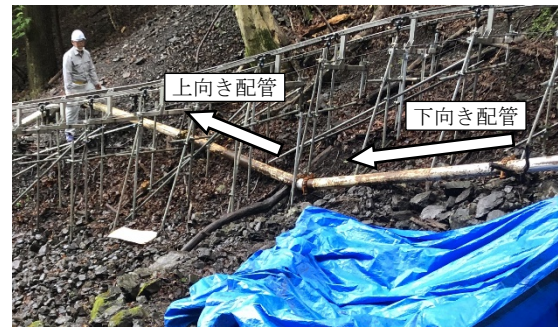


写真-6 閉塞多発箇所

られるため、単位セメント量の多い1:1モルタルを使用した方がよい。

- (4) 打込みの吐出量が小さいと負圧となり、閉塞の危険性が高まるため、吐出量を大きくする必要がある（今回の場合で60m³/h程度）が、現場の条件で吐出量を大きくできない場合は、単位セメント量を増やすことや圧送改善剤を使用するなどして、材料分離抵抗性を高める必要がある。
- (5) 管内圧力やスランプの結果より、下向き配管における圧送は、圧送負荷およびスランプの低下に対する影響は認められなかった。
- (6) 15分以上圧送停止すると閉塞の危険が高まるため、圧送停止時間は最大10分とした。
- (7) コンクリート配管において、道路におけるサグ区間のような箇所では、閉塞の原因となることが多い。そのため、サグ区間においては、下向き配管と上向き配管の間に水平区間を設けるとよい。

謝辞

本工事の下向き長距離圧送において、花王株式会社、萬城株式会社の皆様に多大なるご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 白岩誠史，高瀬清隆，吉浪雄亮，村田安之：高所長距離圧送への圧送改善剤の適用効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.40，No.1，pp.1413-1418，2018
- 2) 土木学会：コンクリートライブラリー135 コンクリートポンプ施工指針[2012年版]
- 3) 土木学会：2018年制定コンクリート標準示方書【標準編】土木学会規程および関連規準
- 4) 近松竜一，入矢桂史郎，十河茂幸：スランプの経時変化を考慮した配合の選定方法に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.2，pp.7-12，2008
- 5) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書【施工編】，pp.110-115，2017