

報告 急峻な地形での高橋脚施工におけるコンクリートポンプ圧送性の実証的考察

西村 拓也^{*1}・六郷 恵哲^{*2}・堀江 幸生^{*3}・瀬川 敦^{*4}

要旨：新丸山ダム建設にともなう一般国道 418 号付替道路で建設中の新旅足橋において、最大斜度 53 度の急峻な地形に高さ 93.5m の RC 橋脚を施工した。この橋脚のコンクリート打設にあたっては高低差 100m, 実配管長 200m の斜面を打ち下ろした後、鉛直上方へ最大 60m まで連続した下り～上り配管でポンプ圧送を行う必要があった。そこで、事前にコンクリートの圧送性や圧送前後の品質を確認するために試験圧送を実施し、圧送に適した配合を選定した。試験圧送および実際の施工から、下り～上りに連続した配管でのポンプ圧送によるコンクリートの性状変化は比較的小さく、円滑な施工を行うことができた。

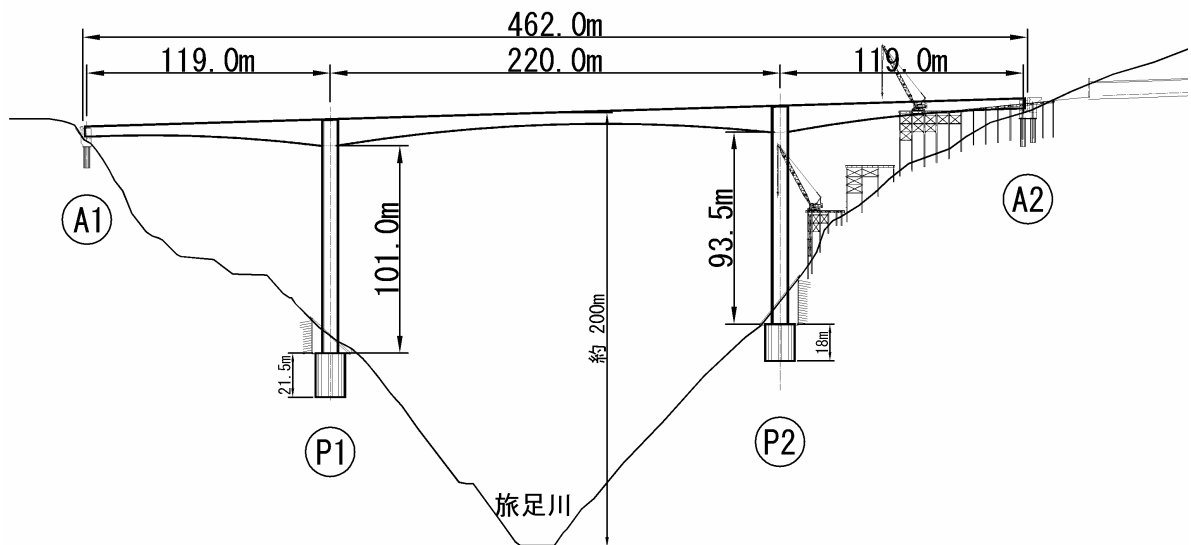
キーワード：高橋脚、ポンプ圧送、高所、低所

1. はじめに

新旅足橋は、新丸山ダム建設にともない水没する一般国道 418 号の付替道路として、旅足川を渡河する PC3 径間連続箱桁ラーメン橋である。この橋梁は、河床面より橋面まで約 200m の標高差を有する V 字渓谷の山岳地を通過するため、橋脚の高さはおおよそ 100m に及ぶ（図－1）。このうち、左岸側の P2 橋脚においては、最大斜度 53 度の斜面中腹に位置するため、そのコンクリ

ート打設にあたっては高低差約 100m, 斜長 200m の斜面を打ち下ろした後、鉛直上方へ最大 60m までポンプ圧送を行う必要があった。

一般に、コンクリートを高所へ圧送する場合は加圧による脱水分離が、低所へ圧送する場合には自重落下による材料分離が生じる傾向にあり、閉塞の危険性が高くなる¹⁾。また、高所への圧送時にはコンクリートのワーカビリティが大幅に低下すること²⁾が知られている。このよ



図－1 新旅足橋概要図

*1 (株) 大本組土木本部技術部 (正会員)

*2 岐阜大学工学部社会基盤工学科 教授 (正会員)

*3 国土交通省中部地方整備局新丸山ダム工事事務所 建設監督官

*4 (株) 大本組名古屋支店新丸山旅足橋作業所所長

うな低所または高所への圧送に関しては既往の報告が存在²⁾するものの、下り～上りの複合した条件の大規模な施工事例は極めて少なく、コンクリートの圧送性や圧送前後での品質低下が懸念された。そのため、事前に試験圧送を実施してコンクリートの圧送性や品質について事前に確認することを計画した。本報告は、この試験圧送と実際の施工における各種の測定記録と、圧送前後のコンクリートの性状変化について得られた所見を報告するものである。

2. 工事概要

2.1 構造物の概要

構造物の概要を図－１（前頁）、図－２に示す。

新旅足橋の主な諸元は以下の通り。

- ・上部工形式：PC3 径間連続箱桁ラーメン橋
- ・橋長：462m ・最大支間長：220m
- ・基礎形式：大口径深礎工Φ14.5m
＋竹割り式構造物掘削工

- ・下部工形式：RC 中空壁式橋脚 8.0m×8.0m

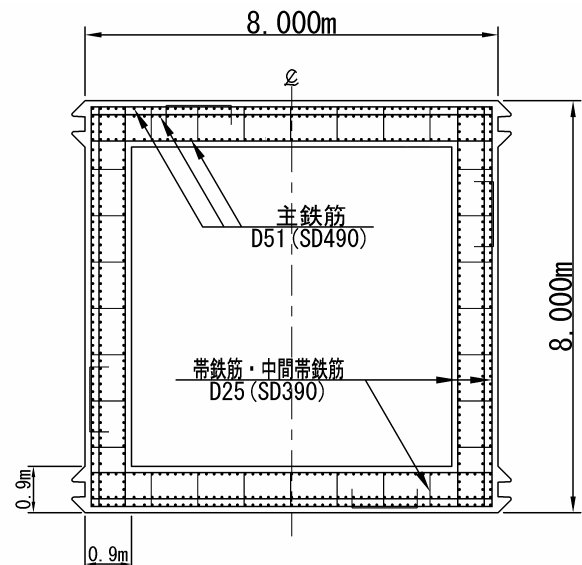
このうち、最大支間長では連続ラーメン橋（ヒンジ無し）の中で国内最長、P1 橋脚の高さは驚見橋²⁾などに次いで国内３番目となる。なお、橋脚工のコンクリートは設計基準強度 40N/mm²であり、主鉄筋には SD490 を使用している。

2.2 施工条件

当現場は工事用道路が A2 橋台までしかなく、橋脚の施工は３段に設置した作業構台を介して行う必要がある。また、作業現場が急峻な山間部に位置するため、最寄りのプラントからの生コン運搬時間は 75 分を要するなど、厳しい条件下での施工を余儀なくされている。したがって、コンクリートの打設にあたっては、何らかのトラブルが生じたとしても即座に対応することは困難で、この観点からも良好な施工品質を有するコンクリートが必要とされた。

2.3 その他の条件

下部工工事は、周辺環境への配慮と品質向上を目的とした「総合評価落札方式」試行工事の対象となっている。コンクリートに関しては、



図－２ P2 橋脚 断面図

中空壁式橋脚における単位水量の低減が評価項目に掲げられており、当工事では最低限度の要求である 172kg/m³ に対して、157 kg/m³ 以下で施工することを提案している。

2.4 施工概要

大口径深礎工Φ14.5m、L=18.0m の施工は打設高さ 3.1m×6 リフト、橋脚工の施工は 5.4m×17 リフトとしてコンクリートの打設を行った。打設時期としては、大口径深礎工が平成 18 年 1 月～2 月、橋脚工が同年 2 月～8 月の計画であったことから、寒中コンクリートに加えて、橋脚工では暑中コンクリートとしての施工が必要とされた。

3. 試験圧送

3.1 試験圧送の概要

実際の施工条件に近い配管状態を再現するため、大口径深礎工の掘削完了時（H17 年 11 月）に試験圧送を実施した。試験圧送時の配管状況を図－３に、圧送ポンプの諸元を表－１に示す。

試験圧送では、スランプが異なる各 3 種類の配合による圧送を行い、最適な配合を決定することを目的とした。

配管経路は、大口径深礎施工を想定した下りのみの配管と、橋脚工施工を想定した下り～上り連続配管の 2 通りである。

まず、深礎工のコンクリート打設をシミュレートするため、実線で示す配管において試験圧送を行った。その後、深礎工天端において破線で示す配管に接続し、橋脚工のコンクリート打設を想定して下段の作業構台上まで圧送した。この時の上り配管高さは橋脚全高の約半分であるが、実際のコンクリート打設時には、橋脚高が下段栈橋よりも高くなった場合に下段栈橋から水平に配管を行う計画であったことから、上記の配管高で最も厳しい打ち上げ高さを再現している。

なお、下り配管ではコンクリートの流下速度を制御するため、最上段の作業構台下直と斜面勾配がもっとも大きくなる箇所の配管形状を S 字に配置した。また、下り配管時のコンクリート流出と上り配管時のコンクリート逆流を防止するため、大口径深礎天端位置にシャッターバルブを設置した。

3.2 コンクリートの使用材料・配合

試験圧送したコンクリートの使用材料および配合を表-2、3に示す。完成時に所要の品質を満たすこと、及び施工性能（圧送中に閉塞しないこと、筒先にて必要なワーカビリティを有すること）を満足するコンクリートの配合を決定するために、深礎工及び橋脚工各々について3タイプ（1タイプにつき4.2m³）、合計6タイプの配合で試験圧送を実施する計画とした。

なお、橋脚工の配合においては、前述の単位水量低減を達成するために、スランプの増減は高性能 AE 減水剤の添加量を調整することにより実施している。

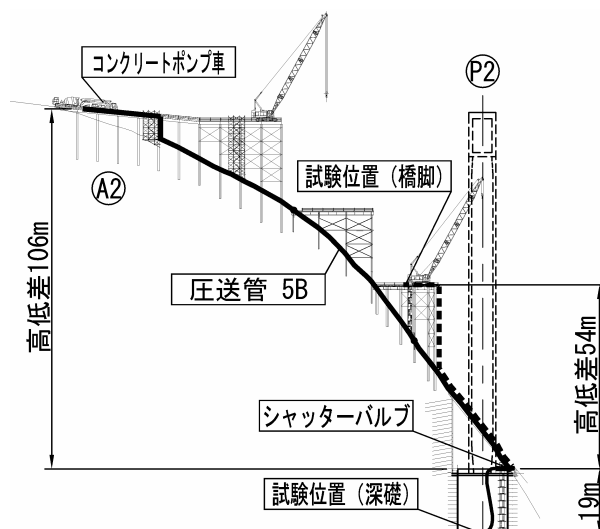


図-3 試験圧送の概要

表-1 圧送ポンプの諸元

形 式	A1000BDH	
ストローク長	1,650mm	
シリンダ数	2 個	
ホッパ容量	0.45 m ³	
輸送シリンダ径	205mm	
	標 準	高 圧
最大吐出量	100 m ³ /h	51 m ³ /h
最大吐出圧	50 kg/cm ²	120 kg/cm ²
水平輸送距離	530m	1020m
垂直輸送距離	125m	280m

表-2 使用材料

材 料	種 類
C:セメント	普通ポルトランドセメント
	高炉セメントB種
S:細骨材	粗砂（木曽川水系）
	細砂（飛騨川産）
G:粗骨材	砂利 25mm（木曽川水系）
Ad:混和剤	高性能AE減水剤標準型I種（橋脚, Ad1）
	AE減水剤標準型I種（深礎, Ad1）
	AE剤I種（橋脚・深礎, Ad2）

表-3 試験圧送のコンクリート配合

試験箇所	試験No.	呼称	空気量	W/C	s/a	示方配合 (kg/m ³)					
						C	W	S	G	Ad1	Ad2
深礎	1	24-12-25BB	4.5%	53.5%	44.7%	303	162	800	1000	1.21	0.0182
	2	24-10-25BB			45.0%	293	157	815	1007	1.17	0.0176
	3	24-8-25BB			45.1%	286	153	823	1015	1.14	0.0172
橋脚	4	40-18-25N	4.5%	42.9%	44.8%	361	155	792	987	4.69	0.0361
	5	40-15-25N			44.8%	361	155	792	987	3.97	0.0289
	6	40-12-25N			44.8%	361	155	792	987	3.25	0.0217

3.3 測定項目

圧送前後のコンクリートの品質、性状変化及び施工性能を把握するために、表－４に示す項目の測定を実施した。

3.4 試験圧送結果

(1) ワーカビリティー

圧送前後のスランブ変化を図－４に示す。下り配管のみの深礎配合（No. 1～No. 3）では、何れの配合においてもスランブロスが 1cm 程度ではほぼ同一の傾向を示したが、橋脚配合においては元のスランブが大きい No. 4（スランブ 18cm）ではスランブロスが大きく、No. 5（スランブ 15cm）の配合ではほとんどスランブロスが現れない結果となった。なお、No. 6 の配合については試験圧送を中止した（後述）。

また、スランブ試験後に敷板を叩いてコンクリートの流動性状や分離状況を確認した結果（写真－１），No. 4 配合の圧送後では目視による粗骨材の分布に偏りがあり、やや分離気味の傾向が確認された。

(2) コンクリートの空気量・圧縮強度

圧送前後の空気量および圧縮強度の変化を図－５，６に示す。下り配管のみの深礎配合では空気量が微増，圧縮強度はほぼ変わらない結果であったが，橋脚配合では圧送後に空気量が 2 % 程度増加しており，これにともない圧縮強度が低下する傾向が見受けられた。エントレインドエアは一般的に経時的に増加することはないと考えられるため，今回の試験圧送で認められた空気量の増加は圧送中にエントラップトエアが増加したものと推測される。

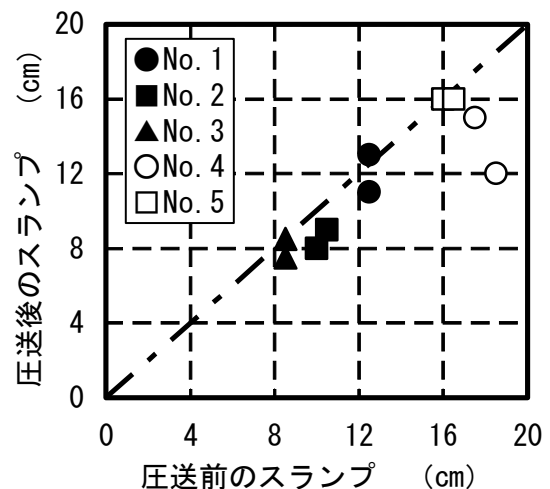
当現場においては，この空気量の増加に対して最適なバイブレーターの加振時間を検討し，これを 15 秒と設定することによって締め固め後のコンクリートが所定の空気量および圧縮強度を満足することを追加検証により確認した。

(3) ポンプバビリティー

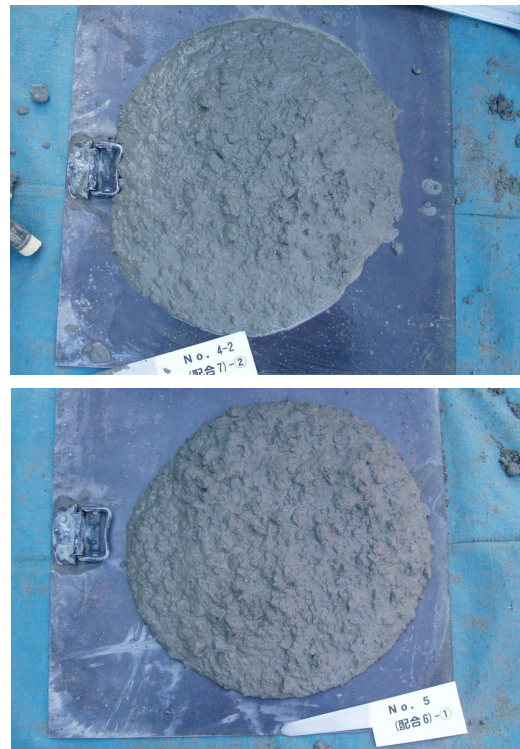
各配合におけるポンプ圧の測定結果を表－５に示す。下り配管の深礎配合ではスランブが小さくなるにしたがい，ポンプに作用する油圧が

表－４ 試験項目

実施項目	測定方法・測定目的
スランブ 空気量 単位水量 圧縮強度 (7日, 28日)	荷卸し場所および筒先にて測定。 圧送前後の変化を把握する。 スランブ試験は 1 配合につき 2 回実施し，圧送による材料分離の判断の目安とする。
ポンプ主油圧	ポンプ油圧を圧力変換機を介してパソコンに自動記録。最大油圧の 80% を目安に，圧送の可否を判断する。



図－４ 圧送前後のスランブ



写真－１ コンクリートの性状確認
(上:No. 4, 下 No. 5)

大きくなる傾向が見て取れる。特にスランプが 8 cm の配合においては、圧送時のポンプ圧力が理論最大値の 80%をオーバーする結果となった。

一方、橋脚配合では当初 3 つの配合で試験圧送を行う予定であったが、2 つ目の配合（スランプ 15cm）の圧送中に理論最大吐出圧の 80%に達したため、閉塞の恐れが高いと判断して以降の試験圧送を中止した。しかしながら、その後に残りを圧送したところ、吐出圧はそれ以前よりも低くなり安定した圧送を行うことができた。今回の試験圧送では異なる配合を連続して打設したため、上記の圧力が上昇した時点では、配管内にスランプ 18cm と 15cm の配合が混在している状態であった。その後に吐出圧が低くなった時点では、配管内がスランプ 15cm で全て満たされていたことから、吐出圧が上昇したのはスランプ 18cm の配合が原因だったのではないかと推測された。結果的には、スランプ 15cm の配合の方が圧送性に関しては有利であったと考えられる。

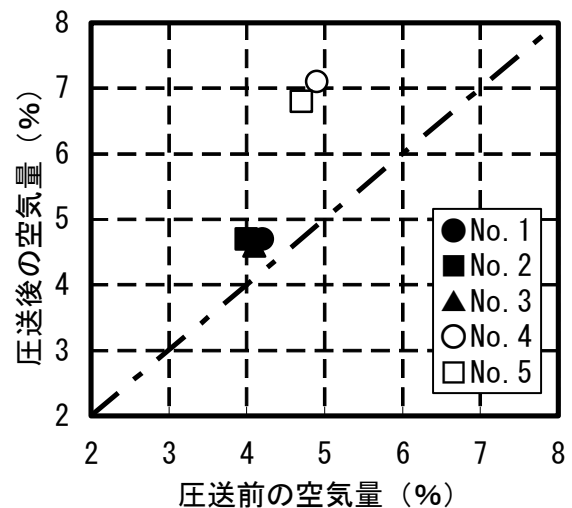
一般的に、コンクリートのポンパビリティーはそのスランプ値の大きさと比例して良くなる傾向にあるが、そのほかに変形抵抗性や材料分離抵抗性にも依存することが知られている。これらの性能は、スランプ値と一義的に比例関係にあるわけではなく、単位セメント量や単位水量、細骨材率など様々な条件によって変化する。本件では、特に単位水量を上げることなく高性能 AE 減水剤にてスランプ値を大きくしているため、スランプ値の増加がポンパビリティーの向上につながらなかったものと考えられる。

(4) 試験圧送結果のまとめ

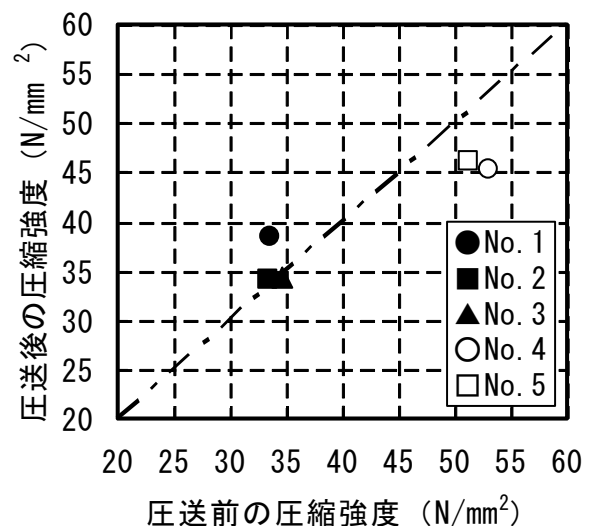
以上の結果より、当工事では以下の配合を採用した。

・深礎工：No. 1（スランプ 12cm）

試験圧送では、ポンプ圧の測定結果からスランプ 10cm の配合でも十分なポンパビリティーを有していると判断された。しかしながら、受入検査におけるスランプ規格値 ± 2.5 cm を考慮すると、施工時のスランプが 8cm を下回ることも



図－５ 圧送前後の空気量



図－６ 圧送前後の圧縮強度 σ_{28}

表－５ ポンプ油圧測定結果

試験箇所	試験No.	測定値 (MPa)	最大値 × 80%
深礎	No. 1 (SL=12cm)	5.697	8.0 (標準時)
	No. 2 (SL=10cm)	7.050	
	No. 3 (SL= 8cm)	8.013	
橋脚	No. 4 (SL=18cm)	18.257	19.2 (高圧時)
	No. 5 (SL=15cm)	19.193	

考えられ、圧送できなくなる危険性が残ることが懸念された。当工事においては、配管延長が長いこと、配管が急斜面上にあり閉塞時の処置が難しいこと、プラントから現場までの距離が遠く、閉塞時の対応が難しいこと、など厳しい条件下でのコンクリート打設作業となることか

ら、総合的に鑑みてスランプ 12cm のコンクリートが最適であると判断した。

・橋脚工：スランプ 15cm

ポンプ圧の測定結果より、スランプ 18cm の配合では閉塞の恐れが高いことから、スランプ 15cm の配合を採用した。ただし、圧送後には空気量が増加する傾向にあることから、振動締固め時間を十分に管理して施工することとした。

4. 施工結果

4.1 圧送によるスランプロスの傾向

橋脚工の施工時に測定した圧送前後のスランプロスについて、図－7 に示す。試験圧送ではほとんどスランプロスが発生しなかったが、実施工では 0～3.0cm 程度のスランプロスが発生した。しかしながら、その配管高さとの関連性は少なかった。懸念された空気量の増加による圧縮強度の低下については、規定した振動締固め時間の管理により、所要の空気量および圧縮強度を満足することができた。

4.2 打設時間

当工事では、前述の通りプラントから現場までの運搬に 75 分かかり、練混ぜから打設完了までには 120 分を要する。橋脚工の施工は工程上 8 月までかかることから、外気温の上昇によるフレッシュ性状の経時変化、特に大幅なスランプロスが懸念された。

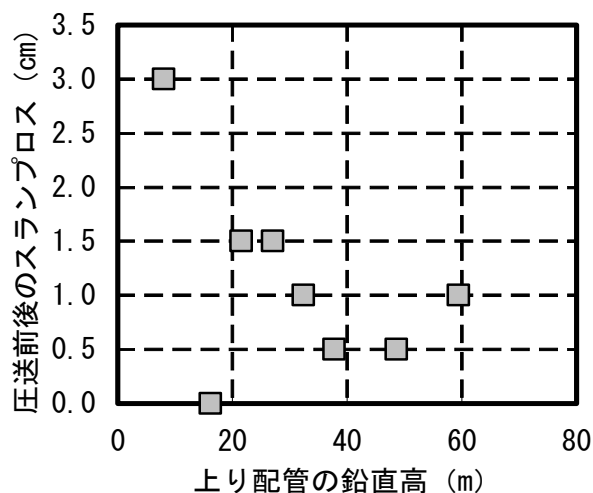
そこで、試験室内で高温環境を再現し、遅延型の高性能 AE 減水剤を用いた配合で、練混ぜから 120 分経過までのスランプの経時変化を測定し、打設完了までに所要のワーカビリティを有することを事前に確認した。その結果、夏季における施工でも、無事にコンクリート打設を終えることができた。

5. まとめ

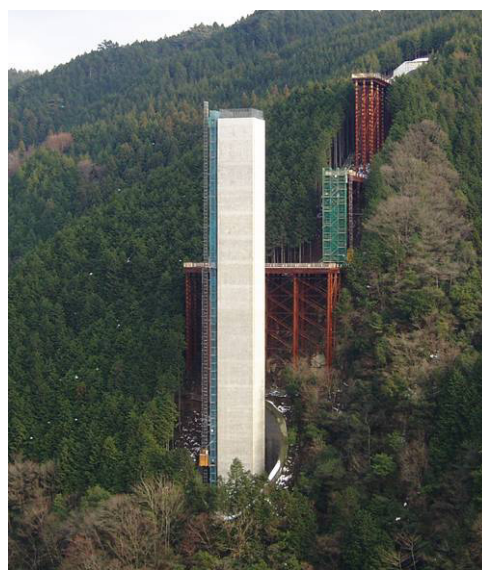
急峻な地形において H=93.5m の RC 橋脚を施工するにあたり、下り 100m～上り 60m の連続した配管でのコンクリート試験圧送を実施した。当工事で得られた知見は以下の通り。

(1) 下りのみの配管では、圧送によるコンクリートの性状変化は小さい。

(2) 下り～上りの連続した配管でも、圧送によるコンクリートの性状変化は、適切な配合のもとでは比較的小さい。ただし、当工事では圧送後に空気量が 2 % 程度増加する傾向があった。



図－7 圧送前後のスランプロス



写真－2 P2 橋脚完了全景

参考文献

- 1) コンクリートのポンプ施工指針[平成 12 年版]，土木学会コンクリートライブラリー第 100 号，p64
- 2) 柳井修司ほか：超高橋脚施工における高強度コンクリートポンプの圧送性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2，pp.1033-1038，1988