

既設橋におけるPCグラウトの充填特性

(株) 高速道路総合技術研究所	工修	○宮永	憲一
中日本高速道路(株)	正会員	工修	寺田 典生
(株) 高速道路総合技術研究所	正会員	工修	青木 圭一
(株) 高速道路総合技術研究所	正会員		野島 昭二

Abstract : Although grasping the filling condition of PC grout in sheaths is important in properly maintaining PC structures, no effective non-destructive inspection method is currently available to carry out the checks efficiently. To resolve this problem, the authors built a test piece reproducing the PC steel arrangement of an actual structure and tested the filling characteristics of PC grout made following the old standards which allow bleeding. The test confirmed that the flow of PC grout thinning out at downgrades and bleeding cause vacuums in sections of the sheath. The inspection points for PC bridges were compiled based on the results of this test.

Key words : PC grout , downgrade, bleeding, inspection points

1. はじめに

橋梁構造物を適切に維持管理するためには、点検を実施し、その結果を評価、判定し、必要な対策を講じる必要がある。プレストレストコンクリート (PC) 橋の場合、PC グラウトの充填度が構造物の耐久性を大きく左右することから、効率的・効果的な点検方法が求められている。しかしながら、現状の非破壊検査方法では点検可能な部位の制限があるうえに、目視点検で PC グラウトが起因となる構造物の変状を確認した時点では、部材の耐久性にとどまらず、構造物全体の耐荷性能にも大きな影響を及ぼす事態となる場合も見られる。本実験は、実構造物の PC 鋼材配置を再現した供試体を作製し、旧タイプのブリーディングを許容する PC グラウトを用いて充填特性を確認するとともに、充填不足が発生しやすい箇所を点検の着目点とすることで、点検の効率化を図ることを目的とするものである。

2. 実験概要

2.1 実物大供試体

実物大供試体は、数多い鋼材配置を代表できるように図-1 の PC 鋼線 (12φ7mm) の曲線配置と、図-2 の PC 鋼棒 (φ32mm) の曲線配置とし、1986年の PC グラウト施工マニュアル¹⁾ (以下、「旧マニュアル」という) による施工が再現できるように計画した。PC 鋼線は連続桁の中間支点、および桁端部のケーブル配置を再現したもので、注入口より注入する PC グラウトは、上り勾配→水平区間→下り勾配→水平区間→上り勾配を経て排出口より排出される。PC 鋼棒は張出し架設工法 (ディビダーク

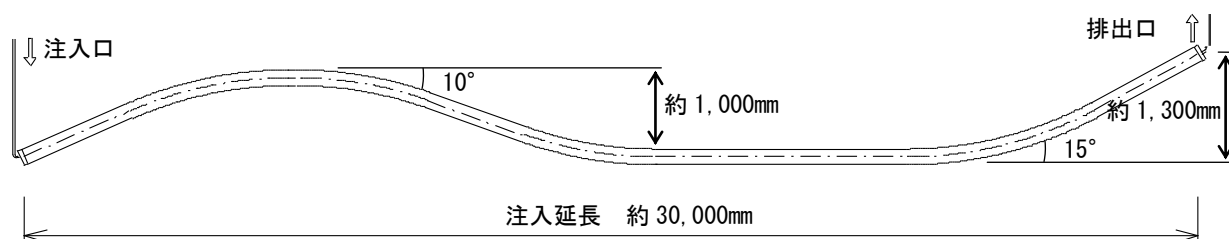


図-1 PC 鋼線 (12φ7mm) の供試体形状図

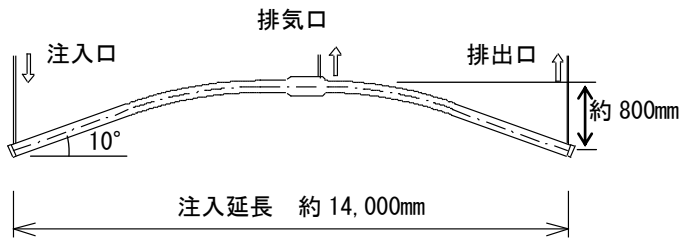


図-2 PC 鋼棒 (φ32mm) の供試体形状図

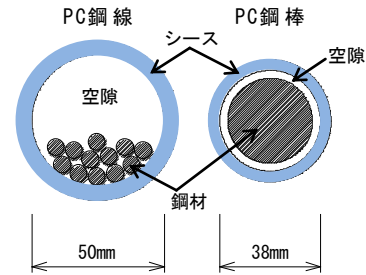


図-3 シース空隙の概念図

工法) の中間支点部の鋼棒配置を想定して、おがみ形状としており、注入延長の中間付近にカップラー継手を配置している。シースは気密性と注入中の PC グラウトの充填状況確認の容易さを考慮して、プラスチック製の透明パイプを用いることとした。シースの内径は、実物の金属製シースに近い内径のものとし、PC 鋼線で φ50mm、PC 鋼棒で φ38mm を選定した。ただし、PC 鋼棒のカップラー継手 (内径 φ70mm) と定着部は金属製シースとした。グラウトホースは内径 φ15mm の透明の耐圧ホースを

注入口、および排出口に設置し、PC 鋼棒のカップラー継手の一部を除いて排気口は設けないこととした。PC 鋼線の定着部はフレシネー工法を模擬したモルタル製の定着部を作製し、シース内に φ7mm の PC 鋼線 (SWPR1) を 12 本配置したのちに、シース端部に固定した。PC 鋼棒の定着部はアンカープレートタイプとし、φ32mm の PC 鋼棒 (SBPR 930/1080) を配置したのちに、ナットでシース端部に固定した。定着部、カップラー継手の金属シース部分はグラウトの漏出が懸念されるため、コンクリートで巻立てた。使用した PC 鋼材とシースの空隙率の関係を図-3、表-1 に示す。

表-1 PC 鋼材とシースの空隙率

PC 鋼材		シース		空隙面積 (mm ²)	空隙率 (%)
種別	面積 (mm ²)	内径	面積 (mm ²)		
PC 鋼線(12φ7)	461.76	φ50	1963	1502	76.5
PC 鋼棒(φ32)	804.40	φ38	1134	330	29.1

表-2 PC グラウトの品質基準

PC 鋼材の種別	流下時間 J 漏斗(秒)	膨張率 (%)	ブリーディング率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)
PC 鋼線(12φ7)	6~12	≤10	≤3	≥20
PC 鋼棒(φ32)	5~11	≤10	≤3	≥20

表-3 PC グラウトの配合

セメントの種類	水セメント比 (%)	混和剤 ポゾリス No.8 (C*×%)	膨張材 アルミ粉 (C*×%)
中庸熟ポルトランドセメント	48	0.25	0.007

※C: 単位セメント量

2.2 PC グラウトの配合

旧マニュアルに示される PC グラウトの品質基準は表-2 に示すもので、この品質に適合するよう配合設計を行った。本実験で使用した PC グラウトの配合を表-3 に示す。セメントは、旧マニュアルが使用されている当時の PC グラウトで用いられた普通ポルトランドセメントの比表面積と同程度となる中庸熟ポルトランドセメントを選定した。その理由としては、現在の普通ポルトランドセメントを用いた配合により予備実験を行ったところ、流動性を確保できる時間 (ハンドリングタイム) が非常に短いものであり、本実験に用いる PC グラウトとしては適さないことが判明したためである。これは、セメントの比表面積が異なるためと判断した。水セメント比は、ブリーディングによる影響が顕著となるように、品質基準に示される流下時間の範囲の中で小さい側 (W/C が大きい側) となるように設定した。この設定方法は、旧マニュアル適用時代において、グラウトの閉塞をできるだけ避けたいがためにとる調整方法と一致する。

2.3 PC グラウトの施工方法

PC グラウトの製造は、表-3 の配合に基づきセメント袋 4 袋分 (25kg/1 袋) を 1 バッチとし、グラウトミキサ (日産機社製 MG-100 角型, 100L 練り) 用いて練り混ぜた。製造した PC グラウトは 1.2mm

ふるいを通過させたのちに品質検査を実施した。流動性が品質基準に適合することを確認したのち、グラウトポンプ（日産機社製 NR-25-5 型、スクイーズ方式）を用いて注入口のグラウトホースより約 10L/min の一定量で、注入圧力が概ね 0.8MPa を超えないことを確認しながら注入した。

表-4 実験条件

PC 鋼材の種別	供試体番号	水通し	膨張材	カップラー部排気口
PC 鋼線(12φ7)	1-1	あり	あり	
	1-2	なし	あり	
	1-3	あり	なし	
	1-4	なし	なし	
PC 鋼棒(φ32)	2-1	あり	あり	あり
	2-2	あり	あり	なし
	2-3	あり	なし	あり
	2-4	あり	なし	なし

PC グラウトを排出側のグラウトホースより十分排出させ、グラウトホースを折り曲げて閉塞させた。続いて注入側のグラウトホースも閉塞し注入を完了した。

PC グラウトの注入中、および注入完了後のブリーディングの発生状況は、目視で観察した。PC グラウトが硬化後に供試体を切断し、PC グラウトの充填度合いを切断面で測定した。

2.4 実験条件

実験の条件は、表-4 のとおりである。水通しとは、旧マニュアルでは、PC グラウトの注入前にダクトの導通確認などのために水を注入するケースがあり、それを再現するものである。旧マニュアルでは、膨張材を一般に混入することとしていたが、ヒューマンエラーなどにより混入がなかったケースも考えられることから、膨張効果の有無による充填度合いの違いを条件に加えた。PC 鋼棒では、水通しはすべて実施し、カップラー部の排気口の有無を条件とした。

3. 実験結果および考察

PC グラウトの練混ぜ直後の流下時間（J 漏斗）は、5.3～5.5 秒の範囲であった。ブリーディング率は膨張材ありで 2.0%、膨張材なしで 2.8%であった。20 時間後の膨張率は、膨張材ありで+3.5%、膨張材なしで-2.8%であった。

3.1 PC 鋼線（12φ7）

PC 鋼線シリーズの曲線部の下り勾配となる区間では、PC グラウトの先流れ現象が発生し、PC グラウト通過直後よりシース上端には写真-1 に示すように広い範囲で空隙が生じたままとなり、注入が完了した時点においても、空隙が縮小することはなかった。さらに注入直後よりブリーディング水の発生が顕著であり、写真-2 に示すように時間の経過とともに空隙部に続いてブリーディング水の層が増加した。さらに空隙は曲げ上げ部の水平区間にも達しており、ブリーディング水の発生の進行によりさらに広がる傾向であった。

曲げ下げ部の水平区間から曲げ上げ部に移行する曲線区間、および排出口側の定着部付近の上端では、注入直後は良好な充填が確認できたものの、ブリーディング水の発生とその集中により、写真-3 に示すように空隙範囲が時間の経過とともに増加していく

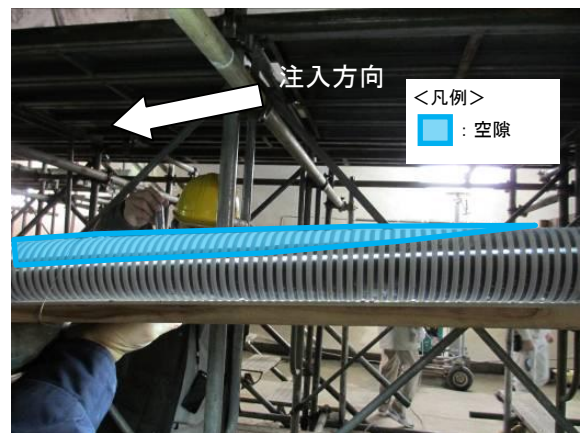


写真-1 下り勾配部の空隙

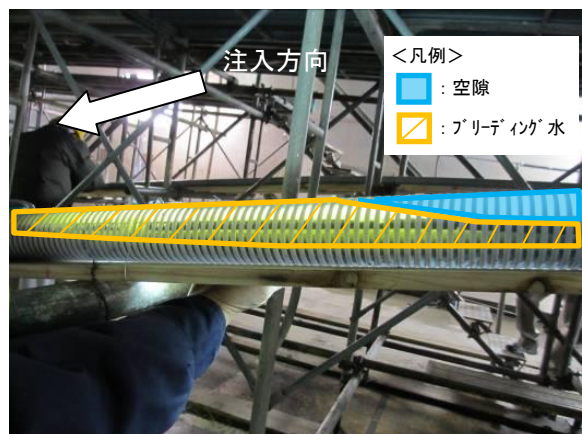


写真-2 ブリーディング水の発生と集中



写真-3 定着部のブリーディング水の集中



写真-4 PC グラウト充填度の解体調査

ようであった。

膨張材はブリーディング水を排出し、シース内の充填度を高めるために使用しているものといわれているが、閉塞したグラウトホースの観察結果では、ブリーディング水が上昇する気配はなく、またシース内の空隙も PC グラウトの膨張により縮小しているようには見えなかった。

PC グラウトが硬化したのちに写真-4 に示すように供試体を切断、解体し、PC グラウトの充填状況を詳細に測定した結果を図-4 に、供試体番号 1-1 における下り勾配区間の充填状況を拡大したものを図-5 に示す。PC グラウトの充填状況は、先流れが生じた下り勾配部分で大きな空隙が発生しており、下り勾配区間の中でもその上部の空隙が著しいことが分かる。これは、注入時の PC グラウトの先流れ現象とブリーディングによるものである。曲げ上げ部の水平区間、曲げ下げ部の水平区間から曲げ上げ部に移行する曲線区間、および排出側の定着部付近にも、比較的大きな空隙が存在することが分かる。これは、主にブリーディングによるものである。一方、膨張材の使用の有無によって各供試体の充填状況に大きな差は生じていない。膨張剤材はブリーディング水を排出し、シース内のグラウト充填度を高めるために使用するものとされているが、シース内の閉鎖空間では、PC グラウトの先流れやブリーディングによって生じる空隙を PC グラウトの膨張で縮小することは困難であることが示唆された。

3.2 PC 鋼棒 (φ32)

PC 鋼棒シリーズでは、注入時に空隙の発生は確認することができず、ブリーディング水の発生、移動も目視ではほとんど確認できなかった。

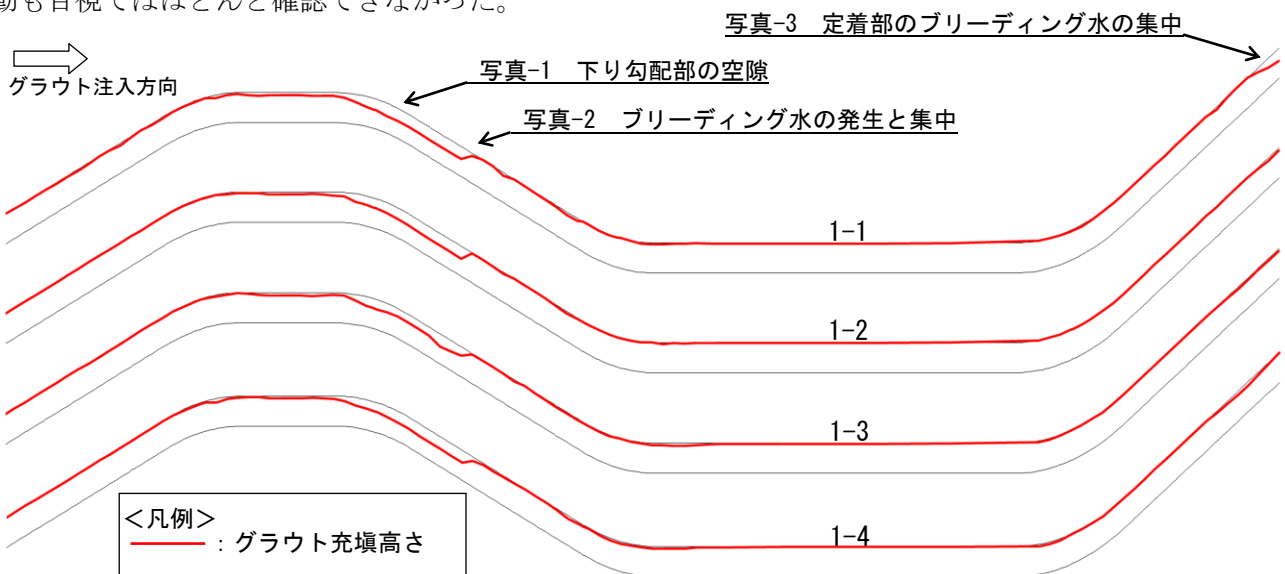


図-4 PC グラウトの充填度の計測結果

PC グラウトが硬化したのちに供試体を解体し、PC グラウトの充填状況を確認した。一般部の状況は写真-5 に示すようであり、充填は良好であった。PC グラウトの上層と下層では品質の差があるように見え、ブリーディングの影響を受けているものと推察された。カップラー部の充填状況は写真-6 に示すようであり、若干の空気だまりはあるものの、充填度は良好であった。排気口の有無による違いも見られなかった。

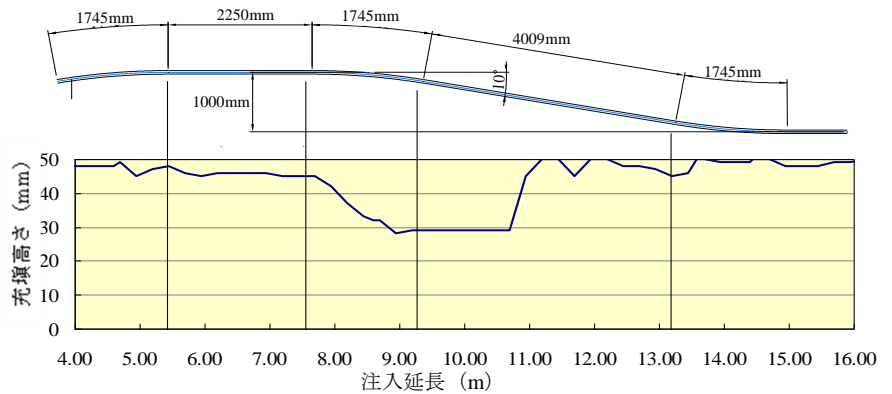


図-5 PC グラウトの充填度の計測結果 (下り勾配部)

3.3 PC グラウトの品質確認

PC グラウトを注入して硬化したあとの品質は、ブリーディングの影響を受けるため、場所によって異なると想定できる。そこで、解体した供試体から採取したグラウト片を用いて、引っかき試験と比重試験により硬化した PC グラウトの品質の状態を確認することとした。

(1) 引っかき試験

引っかき試験は引っかき試験器を用いてコンクリート試料表面に傷をつけ、その傷の幅によって試料表面の強度を推定するものである²⁾。本実験の対象はセメントペーストである PC グラウトのため、実物大供試体の引っかき試験を行う前に、圧縮強度試験用の供試体を用いて、圧縮強度と引っかき傷の幅の程度について比較を行い、表-5 に示す結果を得た。同一の PC グラウトであるが膨張材の有無により圧縮強度が異なっており、圧縮強度が大きいほど引っかき傷幅が小さくなり、相関があることが分かる。

実物大供試体で引っかき試験を行った、PC 鋼線の結果を図-6 に、PC 鋼棒の結果を図-7 に示す。PC 鋼線、PC 鋼棒ともに、PC グラウトの下側で正常に近い強度があると推定でき、上側は相対的に強度が小さくなっていると推定できる。これはブリーディングによる影響があったものと推定できる。PC 鋼線の注入延長方向の傾向を表-6 で見てみると、シースの勾配が影響していると考えられるばらつきがあり一概にはいえないが、注入側に比べて排出側にむけて、相対的に強度が低下しているようである。PC グラウトが PC 鋼線と接触する延長とブリーディング量に何がしかの関係があると推察できるが、本実験の範囲では明言できない。



写真-5 PC 鋼棒一般部の充填状況



写真-6 カップラー部の充填状況

表-5 強度と引っかき傷幅、かさ比重

膨張材	材齢	圧縮強度 (N/mm ²)	引っかき傷幅 (mm)	かさ比重 (g/cm ³)
あり	12日	12.8	0.60	1.75
なし	12日	22.0	0.40	1.89

(2) かさ比重試験

かさ比重試験も事前に圧縮強度との比較を行い表-5の結果を得た。PC鋼線、PC鋼棒の実物大供試体のかさ比重試験結果を図-8, 9に示す。PC鋼線においては、ほとんどの箇所、上側のかさ比重が下側に対して相対的に

表-6 引っかき試験結果 (PC鋼線)

単位: mm

供試体番号	高さ位置	注入口からの距離(m)							
		0.0	3.8	6.6	8.7	14.5	19.5	26.0	30.0
1-1	上	0.55	0.70	0.75	0.55	0.85	0.90	0.70	—
	中	0.55	0.50	0.35	0.40	0.60	0.45	0.45	0.50
	下	0.55	0.40	0.35	0.35	0.50	0.40	0.50	0.40
1-2	上	0.50	0.80	1.10	0.75	0.80	0.85	0.85	—
	中	0.40	0.45	0.50	0.45	0.50	0.45	0.45	0.45
	下	0.60	0.45	0.50	—	0.55	0.45	—	0.40
1-3	上	0.55	0.65	0.70	0.55	0.80	0.90	0.80	—
	中	0.55	0.45	0.40	0.40	0.60	0.50	0.40	0.40
	下	0.55	0.40	0.45	0.45	0.60	0.45	0.40	0.40
1-4	上	0.65	0.65	1.00	1.10	0.85	0.90	0.85	0.80
	中	0.40	0.45	0.45	0.40	0.65	0.45	0.40	0.45
	下	0.55	0.50	0.40	—	0.65	0.45	0.45	0.40

低くなっており、ブリーディングの影響により、上側は強度が小さくなっていると推定できる。これは、引っかき試験結果との傾向と一致する。一方、PC鋼棒のかさ比重については、PC鋼線と同じ傾向を示したが、引っかき試験結果からは上側と下側に明確な差は認められなかった。

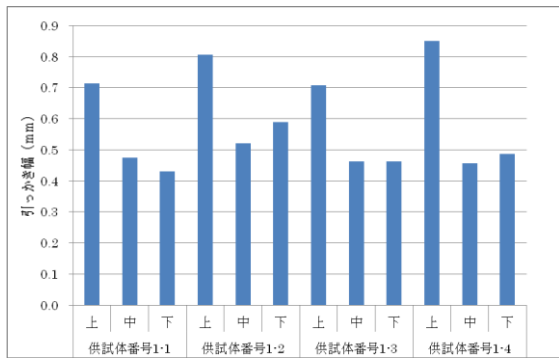


図-6 引っかき試験結果 (PC鋼線)

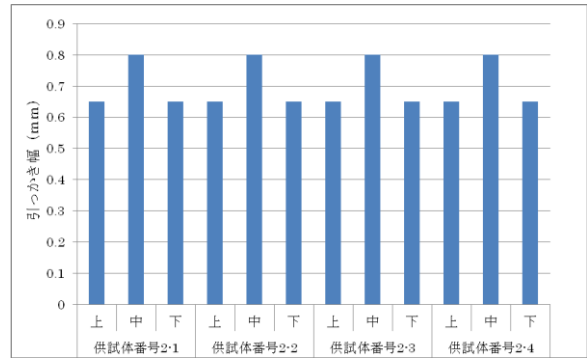


図-7 引っかき試験結果 (PC鋼棒)

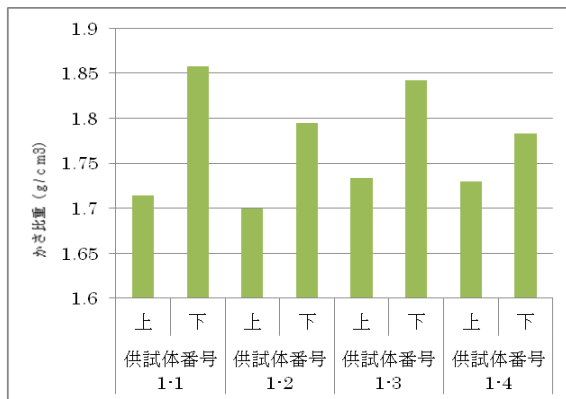


図-8 かさ比重試験結果 (PC鋼線)

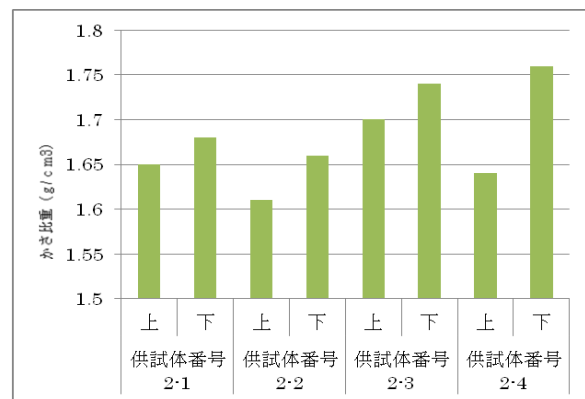


図-9 かさ比重試験結果 (PC鋼棒)

4. まとめ

本実験により、PCグラウトの注入方向に対して下り勾配部の上部や排出口側の定着部付近で充填不足が生じやすいことが明らかとなった。よって、PC構造物の点検においては、このような箇所を重要な着目点とすることが望ましい。また、ブリーディングの影響により、PCグラウトの断面方向の上側では相対的に圧縮強度が小さくなる可能性があることが示唆された。

参考文献

- 1) 社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会：PCグラウト施工マニュアル，1986.11
- 2) 湯浅昇・笠井芳夫・松井勇：引っかき傷によるコンクリートの表面強度測定方法，日本建築学会学術講演梗概集 A-1，pp.677-678，1999.9