

論文 鋼材を有するシース管内に充填されたグラウト先端表面の基本特性に関する研究

大島 義信^{*1}・木全 伯光^{*2}・近藤 拓也^{*3}・宮川 豊章^{*4}

要旨：ポストテンション方式のプレストレストコンクリートにおいて、グラウトの充填不足によって生じる硬化後のグラウト表面の特性については、十分に明らかとなっていない。そこで本研究では、鋼材をシース内に配置した模擬供試体を用いて、硬化後のグラウト先端表面の品質評価を行った。その結果、シース傾斜角度を 30°程度とし、超低粘性でブリーディングが多く発生するグラウトを充填した場合、他の傾斜角度や粘性を有する場合よりも、グラウト表面の品質が低下しやすいことが明らかとなった。

キーワード：PC, グラウト, 先端角度, 充填不足, 密度

1. はじめに

ポストテンション方式のプレストレストコンクリートにおいて、鋼材緊張後に充填されるグラウトは、PC 鋼材の腐食防止や躯体との一体化など、重要な役割を果たしている。しかし、近年既設構造物のグラウト充填不足が確認されるようになり¹⁾、シース内空隙部の検知²⁾やグラウトの再充填³⁾などが行われるようになっている。

出雲らの研究によれば⁴⁾、グラウトの注入速度、粘性、シース勾配、鋼より線の位置などが充填性に影響を与えられていると言われており、特に注入時のグラウト先端角度に注意すべきであることなどが指摘されている。また彼らは、グラウト先端角度の予測式を提案し、施工計画時の充填性評価法について検討を行っている。これら既往の研究⁵⁾の多くは、いずれもフレッシュ時のレオロジー性状に関するものであり、充填性の評価を目的とした基礎的な研究といえる。フレッシュ時の性状に関する基礎的な研究が精力的に進められた結果、分離抵抗性の高いグラウト材料や施工法が推奨され⁶⁾、近年では高い充填性が確保されてきている。しかし、高度経済成長期などに建設された PC 構造物の多くは、分離抵抗性の低いグラウト材料・施工法が用いられており、充填不足の一因ともなっている。

一方、角田らは、グラウト注入後の沈下や沈降が充填性に影響を与えるという観点から、硬化後のグラウト品質について検討を行っている⁷⁾。角田らの研究によれば、グラウトの沈下率がシース傾斜角によって異なることが明らかとなっており、この現象を血液中に見られるボイコット効果により説明している。ボイコット効果とは、血液中の赤血球が、管が鉛直時よりも傾斜時に早く沈降するという現象である。この研究は、あくまでもフレッ

シュ時の充填性に関して硬化後の品質を評価するものである。しかし、充填不足が確認されグラウトが再充填されるような場合、既に充填されているグラウト表面の品質がどの程度低下しているのかを評価することは重要であると考えられる。また、角田らの研究では、PC 鋼材のない状態で評価を行っており、鋼材が存在する場合の品質については明らかとなっていない。

よって本研究では、既設構造物の充填不良を生じたグラウト先端表面を想定し、模擬供試体により硬化後のグラウト先端表面の品質評価を行った。特に、フレッシュ時の先端角度、硬化後の先端角度、密度分布などに着目して、PC 鋼より線が配置されたシース内において、粘性の異なるグラウトを注入した場合の硬化後の表面品質について評価を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

本研究では、粘性の違いなどに着目するため、普通セメントおよび早強セメントの 2 種類のセメントを使用した。また、混和剤として、1970 年代に多用されたブリーディング型グラウトである混和剤 A と、現在グラウトの混和剤として推奨されている低粘性型の混和剤 B を使用した。混和剤 A は、リグニンスルホン酸化合物を主成分とした混和剤であり、混和剤 B は、メラミンスルホン酸系化合物と水溶性高分子エーテル系化合物を主成分とした混和剤である。また、練混ぜ水は水道水を利用した。グラウトの要因一覧を表 1 に示す。ただし、混和剤 A では、ブリーディング水を排除するためのアルミニウム粉末の投入などは行っていないため、必ずしも 1970 年代のグラウト品質を模擬していない。

*1 京都大学大学院 工学研究科准教授 博士 (工) (正会員)

*2 京都大学大学院 工学研究科 (学生会員)

*3 西日本旅客鉄道 (株) 鉄道本部施設部土木技術課 修士 (工) (正会員)

*4 京都大学大学院 工学研究科教授 工博 (正会員)

表－1 グラウト要因一覧

セメント	普通	早強	普通	早強
混和剤	A	A	B	B

表－2 グラウトの配合（各要因共通）(1m³)

W/C	W	C	添加率	添加量
45%	586kg	1302kg	1.0%	13.02cc

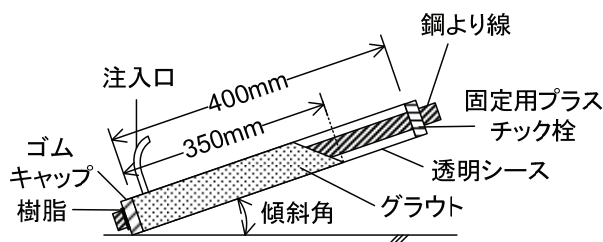
使用したグラウトの配合を表－2に示す。配合は、PCグラウト施工マニュアル⁶⁾に示された標準配合とした。各混和剤の添加量はセメントに対して一定の1.0%とした。なお、セメント種類に伴う混和剤の変更は行っていない。

グラウトの練混ぜは、水、混和剤、セメントの順で投入し、ブレードタイプのハンドミキサにより所定の時間練混ぜを行った。一回のグラウト練混ぜ量は8Lとし、普通セメントの場合は3分間、早強セメントの場合は5分間を規定の練混ぜ時間とした。また、練混ぜは、気温20±1℃、湿度80±10%の室内で行った。

2.2 注入方法と評価

グラウト注入の状況を図－1に示す。供試体として、透明シース（内径20mm×長さ400mm）内にPC鋼より線（SWPR12.7）を配置したものを準備した。シース内径とPC鋼より線径については、空隙率が実構造物と同程度となるよう設定した。ここでの空隙率は68.7%である。また、鋼材位置は、シース中央の場合、およびシース上端の場合の2種類を想定した（図－2）。鋼より線は、下端のゴムキャップと上端のプラスチックキャップで固定した。ただし、注入時のグラウトの流出を防ぐため、より線のゴムキャップ付近を樹脂でシールしている。グラウトの注入は、下端部から約10mmの位置に空けた孔よりφ9のグラウトホースを用いて行った。注入は、手動グラウト圧入ポンプで行い、上り勾配でグラウト先端がシース下端より350mmの位置に来るまで行い、目標位置まで注入後、注入口を閉じて副次的なグラウトの沈下が生じないように配慮した。注入速度は、注入開始から注入終了までの時間から平均流速として求めた。

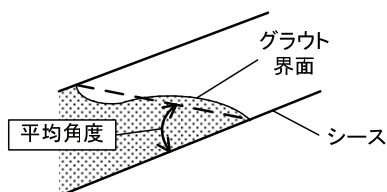
また図－1に示すように、供試体は5°、10°、15°、30°に傾斜させ、注入時の傾斜角とした。また、それぞれの角度において供試体を5体作製した。グラウトのコンシステンシー試験として、JSCE-F 531-1999に規定されているJPロート流下時間の測定を行った。測定は、時間経過なども考慮し、練混ぜ直後とグラウト注入終了時の2回行っている。また別途、JSCE-F 532-1999に定めるポリエチレン袋法によるブリーディング量の測定も行った。打設時角度、および硬化後角度については、図－3に示すとおり、グラウト先端の上下二点を結ぶ直線とシース底面のなす角として定義した。



図－1 グラウト注入



図－2 鋼材の配置

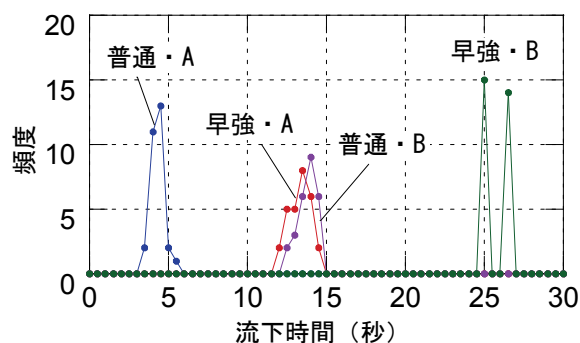


図－3 グラウト先端角度

3. 実験結果

3.1 コンシステンシー

図－4に、注入した全てのグラウトにおけるJPロート流下時間の結果を頻度として表したものを示す。図より、普通・混和剤A（以下、普通A）が最も短く、早強・混和剤A（早強A）と普通・混和剤B（普通B）が同程度、また早強・混和剤B（早強B）が最も長くなっていることがわかる。PCグラウト施工マニュアル⁶⁾による流下時間による分類に従うと、普通Aは超低粘性型、早強Aおよび普通Bは低粘性型、早強Bは高粘性型となる。今回使用した早強セメントは、普通セメントと比べ比表面積が1300cm²/g程度大きい。一般に、比表面積が大きいセメントを使用すると、材料分離に対する抵抗性が増加する。そのため、セメント種類の違いにより、粘性にも大きな違いが現れたものと考えられる。また、混和剤Aを用いた場合のブリーディング率は普通セメントで4.0%、早強セメントで1.8%であった。一方、混和剤Bを用い



図－4 JPロート流下時間（頻度分布）

た場合のブリーディング率はほぼゼロであった。すなわち、今回使用したグラウトの粘性と分離抵抗性は、普通 A が最も低く、早強 A と普通 B が同程度、早強 B が最も高いことを意味している。

3.2 打設時および硬化後角度

図-5 には、普通 A における、シース傾斜角と打設時平均角度 (a)、硬化後平均角度 (b)、硬化後と打設時の平均角度の差との関係 (c) および硬化後のグラウト先端状況 (d) を示す。ただし、図中に示す、「中央」および「上端」とは、それぞれ鋼材配置が中央および上端である場合を示す。

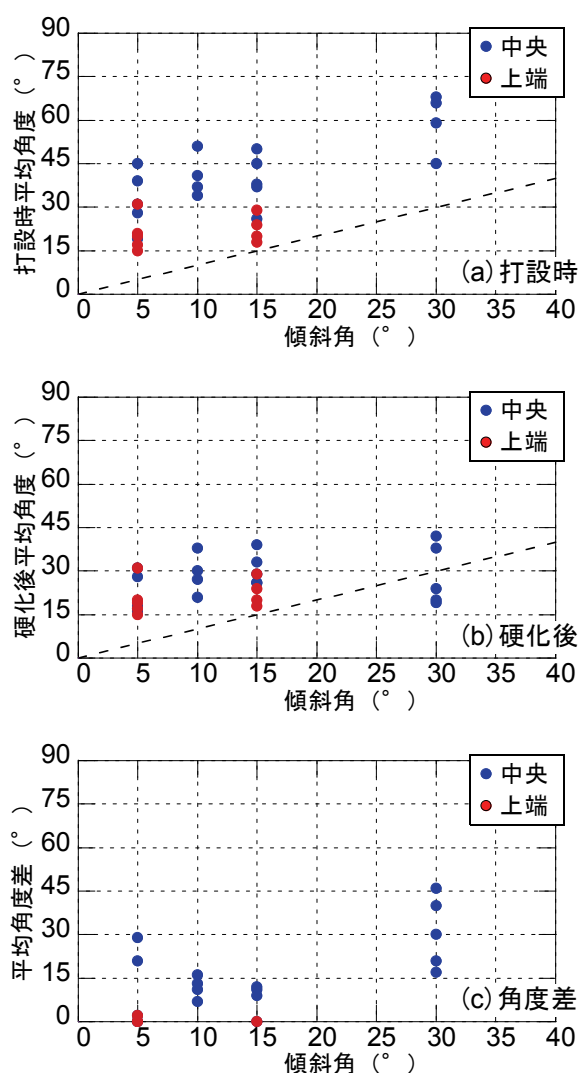


図-5 傾斜角度と平均角度との関係 (普通 A)

まず、鋼材配置中央における打設時の先端角度については、傾斜角よりも大きく形成され、かつ傾斜角の増加とともに打設時の先端角度が増加していることがわかる。ただし、ばらつきが大きく、いずれの傾斜角でも 20° 近い変動が見られている。これは、グラウト普通 A の粘性が小さいために、手動ポンプによる流速のばらつきの影響が大きくなったものと考えられる。また、上端に配置した場合には、若干ばらつきが小さく、かつ傾斜角度によらず先端角度が 20° 程度に形成されることがわかる。上端配置した場合は、中央配置に比べて鋼材などから受ける摩擦抵抗が小さくなることから、ばらつきが小さくなったと考えられる。

一方、硬化後の先端角度については、傾斜角 30° を除いて、傾斜角よりも先端角度が大きくなっている。また、鋼材配置の違いも明確でない。図(c)により、打設時と硬化後の先端角度の違いを確認すると、鋼材配置が中央の場合、傾斜角が 30° で角度差が大きくなっていることがわかる。これは、傾斜角が 30° において、硬化により表面に大きな変化が生じやすいことを意味している。このことは、ボイコット効果により、傾斜角が 30° 付近で最も沈下量が多くなるという角田らの研究と整合している。また、鋼材配置が上端の場合、ほとんど角度差が生じていないことがわかる。これは、沈下などの影響が出やすい上端部に鋼材が配置しているため、その影響が小さくなったものと考えられる。ただし、傾斜角 30° での試験は実施していないため、傾斜角 30° では変化が生じる可能性がある。

図-6 には、早強 A における、シース傾斜角と打設時平均角度 (a)、硬化後平均角度 (b)、硬化後と打設時の平均角度の差との関係 (c) および硬化後のグラウト先端状況 (d) を示す。鋼材配置中央における打設時の先端角度については、ばらつきが大きいものの、傾斜角の増加とともに先端角度の増加が確認できる。また硬化後の先端角度についても、打設時とほぼ変化がなく、先端表面の変化が小さいことを示している。特に、傾斜角 30° の場合にも変化が小さくなっている。このことは、鋼材配置が上端の場合にも同様である。打設時のばらつきが若干低減され、また硬化後と打設時の差が極端に小さくなったのは、早強セメントにより分離抵抗性が高まったためと考えられる。特に、傾斜角 30° の場合でも変化が少なかったため、ボイコット効果が発生するような沈下は生じていないことがわかる。このことは、ブリーディング量が 4% から 2% 程度まで低減したことで確認できる。

次に、普通 B についての各結果 (打設時平均角度(a)、硬化後平均角度(b)、平均角度差(c)、先端状況(d)) を図-7 に示す。図より、打設時の先端角度はいずれも傾斜角

より大きく、混和剤 A を使用した場合よりもばらつきが少ない傾向が確認できる。また、硬化後の先端角度については、打設時のばらつきが低減され、いずれも傾斜角に近い角度で形成されている。これは、混和剤 B の効果により粘性が上昇し、かつブリーディングが発生していないためだと考えられる。このことは、いずれの鋼材配置でも確認された。

図-8 には、早強 B における、シース傾斜角と打設時平均角度 (a)、硬化後平均角度 (b)、硬化後と打設時の平均角度の差との関係 (c) および硬化後のグラウト先端状況 (d) を示す。早強 B の場合、鋼材配置を中央とす

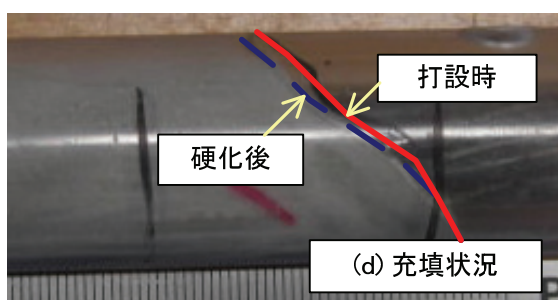
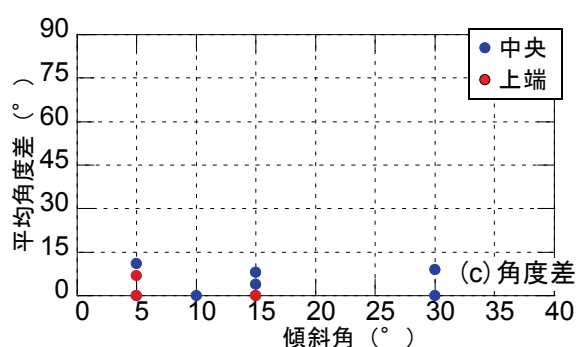
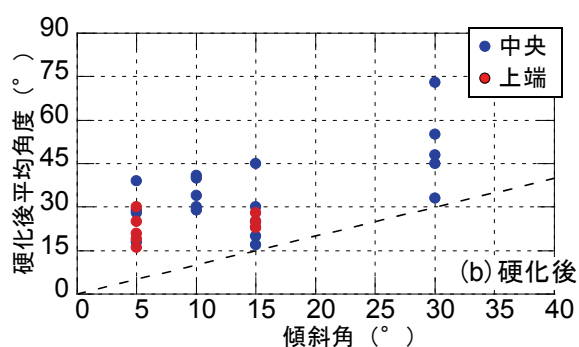
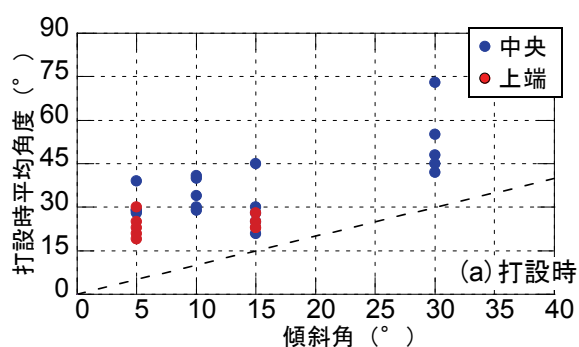


図-6 傾斜角度と平均角度との関係 (早強 A)

ると、打設時の先端角度は傾斜角を大幅に超えて、シースの傾斜角によらず $60 \sim 90^\circ$ と大きく形成されることがわかる。これは、混和剤 B と早強セメントにより粘性が大きく上がった結果、注入時にグラウト表面が自立し、シースに対して垂直に近い表面が形成されたためと考えられる。また、高い粘性のため手動ポンプによる注入のばらつきも増大し、先端角度のばらつきを生じさせていると思われる。しかし、鋼材配置が上端の場合、比較的他のケースと同じような結果が得られている。つまり、鋼材配置が中央の場合、高い粘性と分離抵抗性、また鋼材からの摩擦抵抗が強く発生し、ポンプ圧入のばらつき

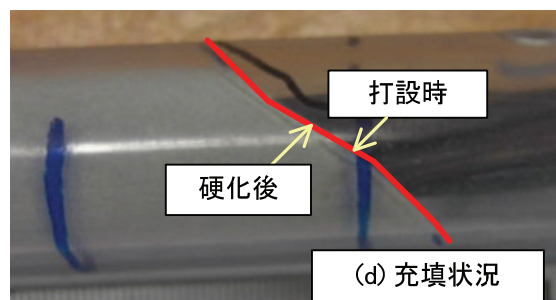
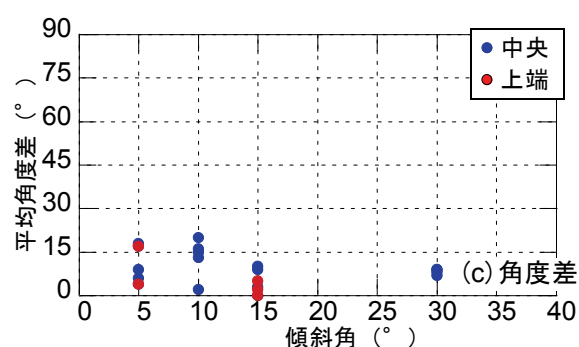
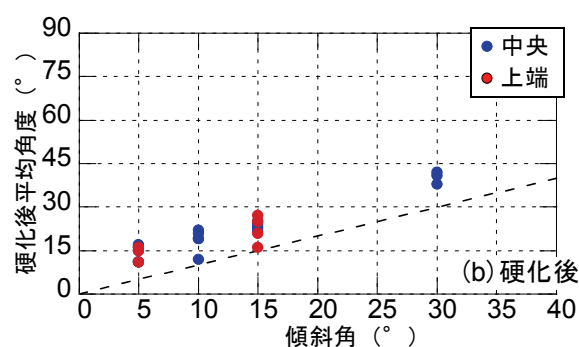
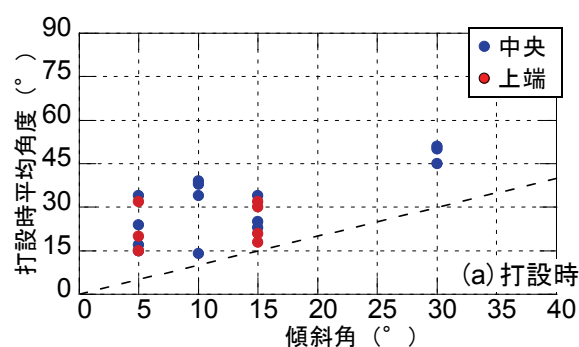


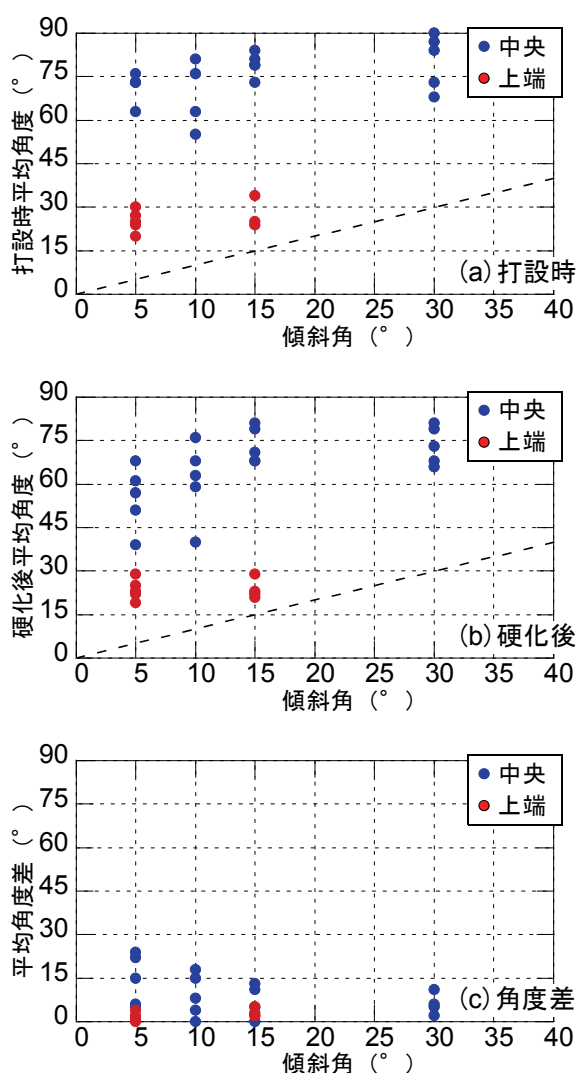
図-7 傾斜角度と平均角度との関係 (普通 B)

が大きくなったと思われる。

以上より、打設時および硬化後のグラウト表面の形成については、使用する混和剤の種類、セメント種類によって大きく変化することがわかった。特に、傾斜角度が 30° の場合、超低粘性型の普通 A では、打設時と硬化後の角度差が大きくなり、また低粘性型の普通 B において、もっともばらつきが少なくなった。

3.3 密度

各供試体における硬化後の密度を確認した。また、比較参照として、PC グラウトマニュアル⁶⁾に定める簡易型枠を用いた単位容積質量測定試験（以下標準試験）も



図－8 傾斜角度と平均角度との関係（早強 B）

同時に行った。供試体の密度計測は、図－9 に示す手順で行った。まず、硬化後の供試体を 50mm 間隔で切断し、その区間の上部および下部に位置するグラウト片を取り出す。次に、それぞれのグラウト片の重量を測定後、水道水を入れたシリンダー内に投入、増加した水量から体積を算出して求めた。ただし、投入後速やかに測定を行っており、試料の吸水は考慮していない。また、試料表面に付着する気泡は確認されなかった。図－10 に、鋼材配置が中央で傾斜角が 5° および 30° における、それぞれのグラウトの密度分布を示す。図中、端部からの位置は切断区間中央の位置を示している。また、図中の実線は、標準試験による結果を示している。

図より、普通 A の傾斜角 30° において、グラウト先端表面付近（250～350mm）での上部密度が低下していることがわかる。これは、ボイコット効果やブリーディングなどの影響によるものと考えられる。また、 5° における密度分布に示されるように、 30° 以外の傾斜角においては、管理供試体で得られた密度近くである、ほぼ 1.9g/cm^3 付近を推移しており、表面付近における密度の低下は見られなかった。この値は、標準試験による値（ 1.89g/cm^3 ）とほぼ等しくなっている。

早強 A においては、上部下部での密度の差が小さくなっている。また、傾斜角 30° での密度分布は、標準試験の値（ 1.87g/cm^3 ）に近い傾斜角 5° での密度分布よりも小さくなっている。さらに、シース下端にいくほど値が若干大きくなっている。これは、傾斜角 30° において、シースに沿ったグラウトの沈下が若干発生したものと考えられる。

一方、普通 B および早強 B における密度分布は、上部下部および上端下端にかかわらず、密度はほぼ一定の 1.9g/cm^3 程度となっている。ただし、それぞれの標準試験の値は 1.93g/cm^3 および 1.86g/cm^3 である。普通 A および早強 A と比較して、普通 B および早強 B の密度が高く、材料分離せずに充填されたことがわかる。

3.4 グラウト表面の品質評価に関するまとめ

粘性を変化させたグラウトを用い、ポストテンション方式 PC のシース内部へのグラウト注入を行った際のグラウト先端部の各種性状について実験的に検討を行った。以上に示した結果から粘性が低い、1970 年代に多用されたグラウトでは、傾斜角によればグラウト先端部分では、品質が安定しない状態が形成されることが分かる。今回試験要因とした傾斜角 30° は、1970 年代に作成された上縁定着を採用している PC 桁で見られる傾斜角である。上縁定着部は、桁上面の水が流入しやすい箇所であり、これらの結果は特に上縁定着を有するポストテンション方式 PC で空隙を有するものについては、グラウト再注入工等、各種対策を実施する必要性を示す一例であ

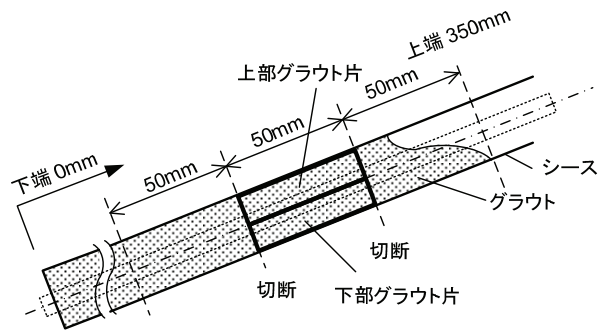


図-9 密度計測位置

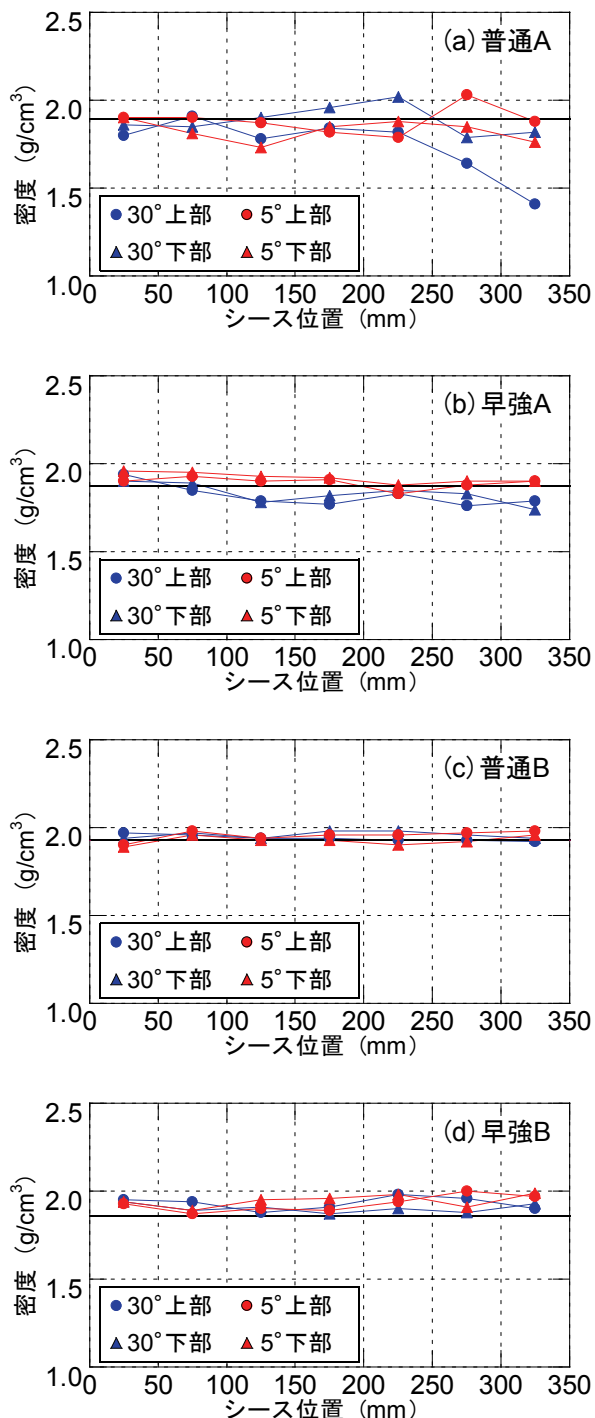


図-10 密度分布

るといえる。

4. 結論

本研究では、既設構造物の充填不良を生じたグラウト先端表面を想定し、鋼材を配置した模擬供試体により硬化後のグラウト先端表面の品質評価を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) ブリーディングが 4%程度発生し、ブリーディング型グラウト（普通 A）を用いた場合、打設時および硬化後のグラウト先端角度はばらつき、また傾斜角 30°において打設時および硬化後の先端角度の差が最も大きくなった。これは、傾斜角 30°付近においてボイコット効果が最も高くなるという既往の研究結果と整合する。
- 2) 高粘性型のグラウト（早強 B）を用いた場合、高い粘性のため注入ポンプ操作のばらつきが大きくなり、打設時傾斜角はばらつき結果となった。また、低粘性型のグラウト（普通 B）を用いた場合、最も安定した結果が得られた。

以上より、ブリーディング型グラウトを用いた PC 構造物において、傾斜角が 30°程度となるシース配置において空隙が確認された場合、グラウト表面付近の品質が特に低下している可能性があると言える。

参考文献

- 1) PC 構造物の現状の問題点とその対策，土木学会，2003.6
- 2) 鎌田敏郎，浅野雅則，川嶋雅道，内田慎哉，六郷恵哲：弾性波による PC グラウト充填評価手法の実構造物への適用，土木学会論文集 E、Vol. 62, No.3, pp.569-586, 2006
- 3) 野島昭二，菅野昇孝，上東泰，紫桃孝一郎：PC グラウトの補修技術の開発，コンクリート工学，Vol.41, No.11, pp.31-43, 2003.11
- 4) 宮本一成，魚本健人，勝木太：各種要因が PC グラウトの充填性に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，vol.24, No.1, pp.1041-1046, 2002.7
- 5) 出雲淳一，山口征伸：シース管内の鋼材がグラウトの充填性に及ぼす影響について，プレストレストコンクリート，vol.46, No.6, pp.84-93, Nov.2004
- 6) 社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル(改訂版)，2006
- 7) 角田忍，岩田卓，永淵強：PC グラウトの沈下・沈降について，セメントコンクリート論文集，No.60, pp.185-190, 2006.7