

5

大口径場所打ち杭を想定した実大模型によるコンクリートの流動性確認試験

山内 真也*1・柳 博文*2・西脇 敬一*3

概 要

場所打ち杭のコンクリートは、地山の安定を図るため泥水中で打設を行っている。そのため、通常の構造物と異なりコンクリートの締固めを行うことができない。従って、場所打ち杭のコンクリートは、その流動性により充てんする工法で施工されている。しかしながら、近年、構造物の大規模化に伴い場所打ち杭も大口径化している傾向があるため、従来の工法で施工した場合、未充てんなどの施工不良の発生が懸念される。そこで、 $\phi 3000\text{mm}$ 程度の大口径場所打ち杭を想定した打設実験を実施し、コンクリートの流動状況や大口径場所打ち杭で必要となる流動性等の確認を行った。

キーワード：大口径・場所打ち杭・コンクリート・流動性

FLOW CHECK AND MANAGEMENT OF CONCRETE OF LARGE-DIAMETER
CAST-IN-PLACE PILES BY THE REVERSE CIRCULATION DRILL METHOD

Shinya YAMAUCHI *1, Hirofumi YANAGI *2

Keiichi NISHIWAKI *3

Abstract

In construction of cast-in-place piles by the reverse circulation drill (RCD) method, concrete is placed in drilling mud in order to stabilize the ground. Since, unlike ordinary structures, the concrete cannot be compacted, its filling utilizes its own mobility. However, due to recent trends toward larger structures, the diameter of cast-in-place piles has been increasing. Therefore, by the conventional piling method, there is fear of defective construction with insufficient filling. Under these circumstances, concrete placement tests were conducted, assuming a pile about 3000 mm in diameter by the RCD method, to verify the flow condition and mobility required for large-diameter piling by this method.

Keywords: large diameter, cast-in-place pile, concrete, mobility

*1 Foundation / Structure Group, Research and Development Department, Engineering Division

*2 Manager, Foundation / Structure Group, Research and Development Department, Engineering Division

*3 Material / Structure Group, Research and Development Department, Engineering Division

大口径場所打ち杭を想定した実大模型によるコンクリートの流動性確認試験

山内 真也*1・柳 博文*2・西脇 敬一*3

1. はじめに

近年、線路上空などでは柱間のスパンを長くするような大規模構造物が多く計画・施工されている。このような構造物を効率良く建設するために、杭径 $\phi 2000\text{mm}$ を超える大口径場所打ちコンクリート杭の設計、施工が増加している。

場所打ち杭の施工では、地山の安定化のために孔内は泥水で満たされ、コンクリートの打設は、杭の中心部で杭の先端まで挿入したトレミー管を用いて行われる。打設中は、コンクリート面上昇に伴って、トレミー管を上方へ引き上げるが、トレミー管の先端は常にコンクリート中に挿入された状態となっている。このため、場所打ち杭のコンクリートの施工では、通常の構造物と異なり、目視で打設状況を確認することが困難であり、また、バイブレータによる締固め作業も行えないのが実情である。したがって、コンクリートの充てんは、打設したコンクリートの流動性に大きく依存することとなる。

しかしながら、杭径が大きい大口径場所打ち杭では、トレミー管から杭壁までの距離が遠くなるので、従来の杭で施工していたコンクリートの流動性では充てん不良が生じることが危惧される。さらに、過去の実験によると、泥水中ではコンクリートの流動性が低下することが報告¹⁾されていることから、大口径場所打ち杭において、充てん不良の生じることのないコンクリートの流動性の確認が望まれている。

また、場所打ち杭では、泥水とコンクリートが接するとコンクリート表面が劣化し、脆弱なコンクリートが形成されることが報告されてい

る²⁾。場所打ち杭では、泥水中でコンクリートを打設するため、脆弱なコンクリートが形成されることは避けられないが、脆弱部分が杭内部に巻き込まないような施工が求められる。脆弱部分の挙動については、幾つかの研究が行われているが、その研究報告³⁾の1つは、打設したコンクリートはトレミー管先端から上方に向けて噴出するような流動状況を示しており、このような流動状況では打設したコンクリートは常に泥水と接して脆弱な部分が形成されることも考えられる。特に、トレミー管先端から上方へ流動するとした場合、大口径杭では従来のものより脆弱部分の発生が多くなる可能性がある。

そこで、大口径場所打ち杭の品質を確認することを目的に $\phi 3000\text{mm}$ の場所打ち杭モデルを用いて、打設実験を実施し、実際のコンクリートの流動状況や大口径場所打ち杭で必要となるコンクリートの流動性等の確認を行った。

2. 実験概要

実験は、表-1に示す3種類の実験を行った。

表-1 実験一覧

実験名	目的
流動性確認実験	泥水中でのコンクリートの流動性を確認する
実大モデル実験	実際の杭をモデル化して打設を行い、充てん性を確認しスランプ等の仕様を提案する
実大打設実験	試験杭を用いて、提案した仕様の妥当性を確認する

2.1 流動性確認試験

泥水中では、コンクリートの流動性が低下することが報告されている¹⁾。そこで、泥水中のコンクリートの流動性を確認するため、事前に

*1 エンジニアリング本部 研究開発部 基礎・構造グループ

*2 エンジニアリング本部 研究開発部 基礎・構造グループ グループリーダー

*3 エンジニアリング本部 研究開発部 建設材料グループ

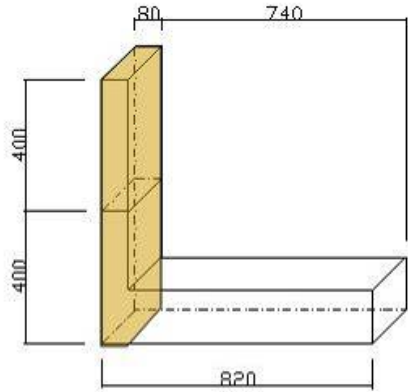


図-1 Lフロー試験装置

予備試験として図-1に示すLフロー試験を実施した。通常のLフロー試験では、コンクリート試料を充てんする部分の高さを400mmとしている。しかし、今回の試験では、泥水がコンクリートの流動状況に及ぼす影響を確認することを目的とするため、高さを2倍にしてコンクリート試料を増量して行った。試験は、コンクリートが流動する部分に清水や比重の異なる泥水を満たした状態で行った。その後、杭孔の中でのコンクリートの流動状況の確認を目的として、内径 ϕ 3.0m、高さ1.5mの円形型枠を用いた流動性確認実験を実施した。実験では、円形型枠内を泥水で満たしておき、トレミー管を用いて1.5m³のコンクリートを打設した。実験のパラメータは、コンクリートのスランプとし、場所打ち杭で一般に用いられているスランプ18cmと流動性を増大させたスランプ21cmの2種類について実験を行った。

2.2 実大モデル実験

実大モデル実験では、大口径場所打ち杭を想定した図-2に示すモデル実験体を円形型枠で作製した。実験体には、図-3に示すような鉄筋籠を、また中心部にトレミー管を配置した。鉄筋籠には、実杭での鉄筋継手をモデル化した箇所を設けており、あきを78mmと設定した。

コンクリートの充てん状況、および流動状況を把握するために、生コン車(4.5m³)ごとにコンクリートを着色し、実験体を切断することで確認した。

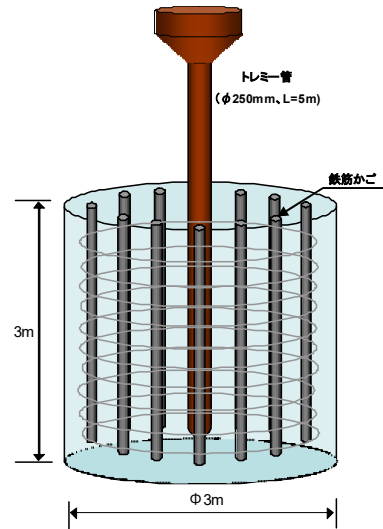


図-2 実大モデル試験概要

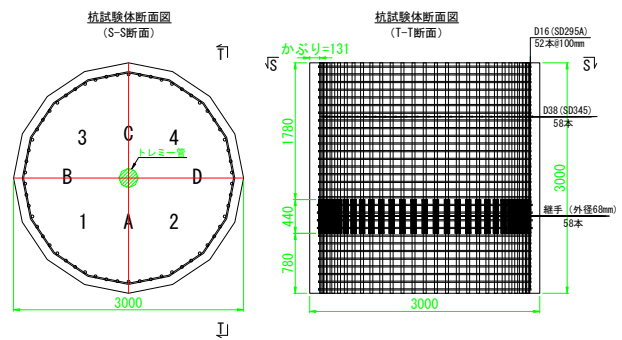


図-3 実大モデル鉄筋籠図

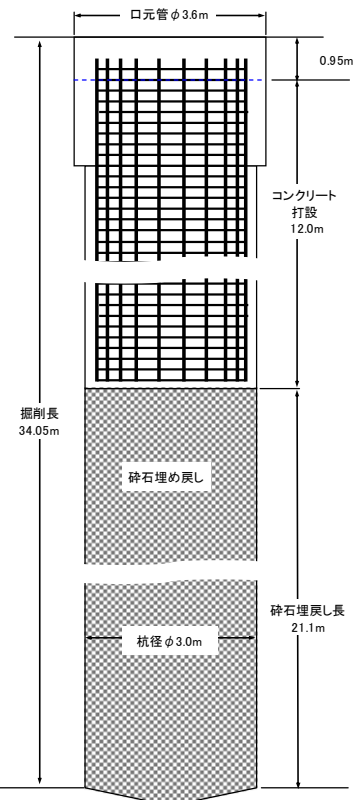


図-4 実大打設実験 杭概要図

2. 3 実大打設実験

実大モデル実験の実験結果によって得られたコンクリートの仕様および打設方法を確認するために、図-4に示すような実際の大口径杭を用いて打設実験を行った。杭の配筋は、実大モデル実験と同様の鉄筋籠を設置した。実験では、トレミー管を用いて地表面から10m以上の長さの打設を行った。

3. 実験結果

3. 1 流動性確認実験

Lフロー値は、図-5に示すように大気中と清水中では、ほとんど変化が見られなかったが、泥水中では大きく低下することが確認された。しかし、今回の試験の範囲では、泥水の比重の違いがLフロー値に及ぼす影響に大きな差異は見られなかった。泥水とコンクリートが接した部分には、コンクリート表面に薄い膜状のものが形成されており、これがコンクリートの流動性を阻害しているように推察される。

以上の結果より、泥水中ではコンクリートの流動性が低下することが確認されたため、円形型枠を用いた流動性確認実験では、場所打ち杭で一般的に使用されているスランブ18cmと流動性を向上させたスランブ21cmのコンクリートを用いることとした。

写真-1に流動性確認実験でのコンクリート硬化後の外観状況を示す。スランブ18, 21cmのコンクリートともに円形型枠の端部まで流動していることを確認した。スランブ18cmで打設したものは、コンクリート表面部分にトレミー管を中心とした放射状の割れ目が発生している。スランブ21cmのものについても、同様の放射状の割れ目が生じているが、割れ目の深さはスランブ18cmのものと比較して浅い傾向であった。以上のことから、コンクリートはトレミー管先端から上部へ吹き上がるような流動経路をとっていると推察された。

3. 2 実大モデル実験

実大モデル実験で用いたコンクリートの配合などの仕様を表-2に示す。スランブ18cmに設定した実験ケース①では、予定数量(約21m³)の約半分を打設した時点でトレミー管からコンクリートが流下しなくなったため打設を終了し

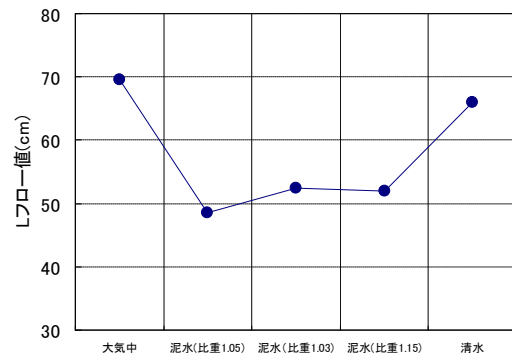


図-5 Lフロー試験の結果



(a) スランブ 18cm±2.5cm



(b) スランブ 21±1.5cm

写真-1 泥水中での流動状況

表-2 コンクリート仕様一覧

実験ケース	コンクリートの種類	流動性 (スランブ)
①	30-18-20-N	SL=18±2.5cm
②	30-21-20-N	SL=21±1.5cm

た。なお、実際に打設したコンクリートのスランプは、表-3に示すように生コン車の2台目に下限値付近であった。コンクリート硬化後に充てん状況を確認したところ、写真-2に示すように、鉄筋継手部分から上部では、かぶり部分にコンクリートが充てんされていなかった。その後、硬化した実験体を切断し、コンクリートの流動状況を確認したところ、写真-3に示すように、杭円周（外側）部分に最初に打設したコンクリートが、中央のトレミー管付近に最後に打設したものが分布していた。また、実験体の上部にも、最後に打設したコンクリートが分布していた。

以上の結果から、実験ケース①では、コンクリートの流動性が不足しており、大口径場所打ち杭に適用する仕様としては不適切であると判断された。また、コンクリートの流動はトレミー管先端から上方へ吹き上がるような挙動を示すと考えられた。

そこで、実験ケース②では、流動性を増大させて再度実験を実施した。実験ケース②の流動性については、下記の点を考慮して決定した。

- ・「施工性能に基づくコンクリートの配合設計・施工指針(案)」(土木学会編⁴⁾)では、杭構造物に関する記述がないが、打ち込み箇所が上方に限定されている柱状構造物ではスランプを12cmから15cm程度を確保することが推奨されている。
- ・流動性確認実験で実施したLフロー試験では、泥水中では2割程度の低下が見られたため、トレミー管口元で流動性としてスランプ18cm以上を必ず確保するものとした。

そこで、JIS規格品のコンクリートで18cm以上のスランプを確保することを考え、スランプ21cmの30-21-20Nを選定した。

実験ケース②について、打設中のコンクリート面の打上がり高さの変化を図-6に示す。鉄筋内側のコンクリート部分はほぼ均等にコンクリート面が上昇しているが、鉄筋外側のかぶり部分は鉄筋内側のコンクリートに比べ、打ち上が

表-3 コンクリートの試験結果
(実験ケース①)

生コン車(台目)	着色	スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(°C)
1	なし	19.5	4.6	29.0
2	赤	15.5	5.8	29.0
3	黒	17.0	5.7	29.0



写真-2 硬化後の外観状況 (実験ケース①)

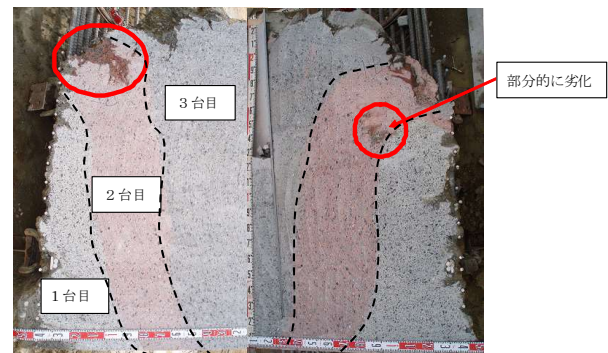


写真-3 切断後の状況 (実験ケース①)

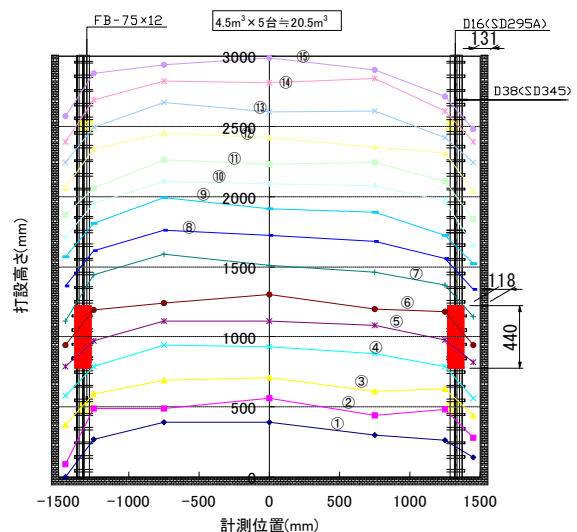


図-6 打上がり状況 (実験ケース②)

り高さが遅くなった。

硬化後の外観状況を写真-4に示す。コンクリートは、かぶり部分まで完全に充てんされていた。ただし、実験体の外縁部には泥水との接触で生じたと思われる脆弱なコンクリートが全周に分布していた。この脆弱なコンクリートの層厚は10mm程度以下であり、その他の部分は健全なコンクリートであった。

これらより、鉄筋籠でコンクリートの流動は阻害されると考えられるが、かぶり部分まで完全に充てんされていたことから、実験ケース②のコンクリートは必要な流動性を有するものを判断された。写真-5に切断後の状況を示す。実験ケース①と同様に、コンクリートの流動状況を確認する目的で生コン車(4.5m³)ごとに表-4に示すような着色を行った。切断面は、試験体の最外周から中央部のトレミー管に向け、打設した順序で色分けされており、実験結果によれば、杭中に打設されたコンクリートは後から打設されたコンクリートにより徐々に押し出されるような挙動を示していた。また、コンクリートは杭の軸方向にほぼV字状に分布し、最後に打設した5台目(茶色部分)はトレミー管先端部分のみに分布していた。

以上の実大モデル実験の実験結果から、大口径場所打ち杭に適用するコンクリートは、トレミー管口元でスランプ21±1.5cm以上の流動性を確保することが適切と考えられた。

3.3 実大打設実験

実際の杭工事では、実大モデル実験と異なり、コンクリート打設に応じてトレミー管の先端を上昇させるため、トレミー管先端のコンクリート中への挿入深さが変わる。このような、挿入長の変化がコンクリートの充てんに与える影響を実大打設実験で検証した。

コンクリートのスランプは、トレミー管の口元でスランプ21±1.5cm以上を確保するため、圧送時間、トレミー管の切断時間、および生コン車の待機時間などによるスランプの経時変化

を事前に試験によって2cm程度であることを確認し、荷卸し時に23cmと設定した。トレミー管先端のコンクリート中への挿入深さは2~6mとなるように設定した。打設は、通常の施工事例を参考に約30m³/hの速度で行った。

打設中はトラブルの発生もなく、コンクリート打設天端面は図-7に示すように打ち上が



写真-4 硬化後の外観状況 (実験ケース②)

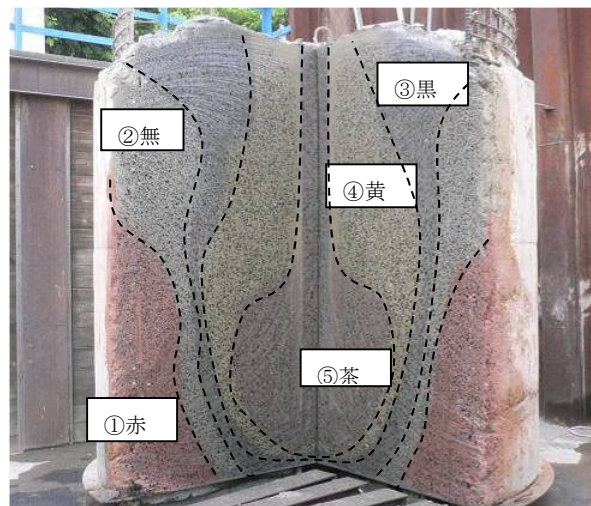


写真-5 切断後の状況 (実験ケース②)

表-4 コンクリートの試験結果 (実験ケース②)

生コン車 (台目)	着色	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
1	赤	22.0	5.7	30.0
2	なし	22.5	-	-
3	黒	22.5	-	-
4	黄	22.0	-	31.0
5	茶	22.0	-	-



写真-6 採取したコア(中心部)

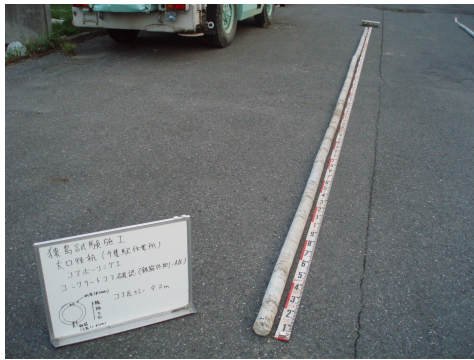


写真-7 採取したコア(かぶり部)

った。打ち上がり高さについては、実大モデル実験と異なり中心部が周囲より少し沈んだような形状となった。かぶり部分については、実大モデル実験と同様に鉄筋内側部より打ち上がり高さは遅くなっているが、鉄筋内側部の打設面に伴って上昇しており、かぶり部分もコンクリートは充てんされているものと推察される。

コンクリートの充てん状況を確認するために、硬化後に杭中心部分及びかぶり部分のコアを採取した。中心部分は全長分のコアを採取できたが、かぶり部分はコアボーリングのビット先端が鉄筋に接触したため、9.2m 分のコアを採取した。採取したコアの外観状況を写真-6と写真-7に示す。コアの外観からは、泥水の巻き込みや未充てんなどの施工不良箇所は観察されなかった。また、採取したコアの圧縮強度は、図-8に示すように、全て 20N/mm² 以上となった。一般に、泥水中に打設したコンクリートは、大気中で施工したものより強度が低下することが知られており、例えば鉄道構造物では、圧縮強度の特性値を呼び強度の 6 割程度^{5),6)}としている。今回の試験では、呼び強度の 6 割以

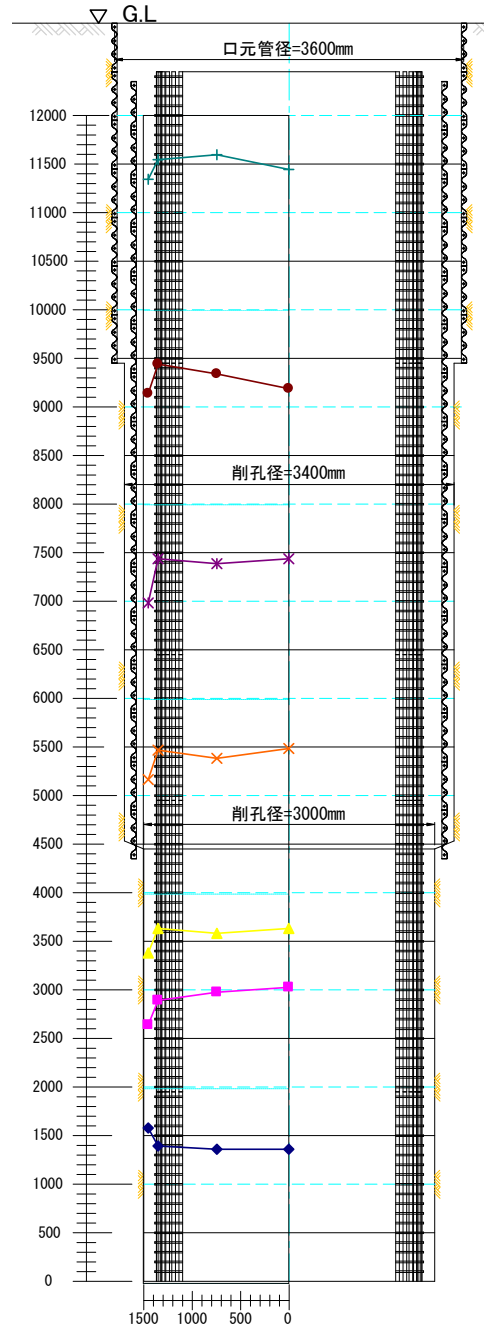


図-7 実大打設実験での打上がり状況

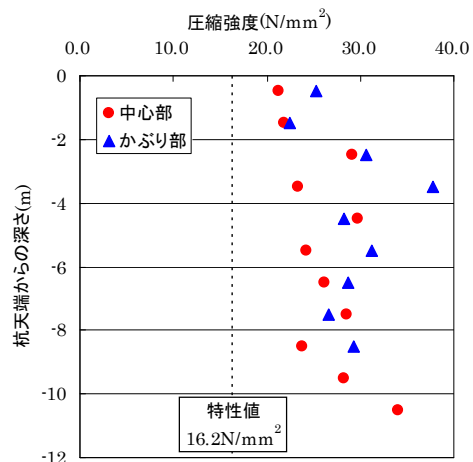


図-8 コアの強度分布

上の圧縮強度が確保されており，コンクリート中に泥水の巻き込みによる脆弱部は形成されていないと判断できる。

以上の結果から，大口径場所打ち杭で適用するコンクリートはトレミー管口元でスランプ $21\pm 1.5\text{cm}$ 以上を確保することが必要であると考えられる。

3. 4 コンクリート流動状況

杭内のコンクリート流動状況については，流動性確認実験および実大モデル実験の結果から，**図-9**のように推察される。その流動状況は，トレミー管先端から杭壁面に向けコンクリートが流動し，壁面までに達する。次にトレミー管先端から流出したコンクリートは，トレミー管に沿って上方向に吹き上がり，それ以前に打設されたコンクリートは，壁面方向に押されるような挙動を示す。このような流動状況となるため，泥水と接触して劣化したコンクリート表面部分は杭壁面に分布することになるものと推察される。したがって，鉄筋内側のコンクリート部分には，泥水で劣化した脆弱なコンクリートは含まれないと考えられる。

4. まとめ

大口径場所打ち杭の品質を確保する目的で，杭の打設実験を行った結果をまとめると以下のようなになる。

- (1) 泥水中では，コンクリートの流動性が低下する。
- (2) 鉄筋籠でコンクリートの流動が阻害されるが， $\phi 3000\text{mm}$ 程度の杭径で鉄筋のあきが 80mm 程度の場合，トレミー管口元でスランプ $21\pm 1.5\text{cm}$ 以上を確保すれば充てんは可能である。
- (3) 場所打ち杭におけるコンクリートでは，先に打設されたコンクリートが外側に押し出されるような状況になり，トレミー管先端から流出したコンクリートはトレミー管に沿って上部方向に流動する。

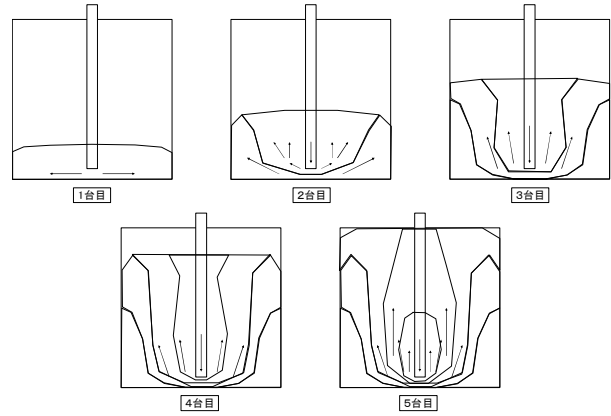


図-9 コンクリートの流動状況

以上の結果に基づいて，今後，大口径場所打ち杭の施工計画を立案する場合，コンクリートの仕様については今回の結果を盛り込んで協議していきたい。ただし，本報告では鉄筋のあきを最大骨材径の4倍程度で実験を実施しており，鉄筋のあきがさらに狭い場合には別途検討が必要である。

参考文献

- 1) 石黒和浩ほか：場所打ちコンクリート杭の孔底付近の性状に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，No.545，pp.95-102，2001.6
- 2) 槻田理ほか：場所打ち杭における打設時孔底部付近の流動性状の可視化（その2 直杭と拡底杭），日本建築学会大会学術講演概要集，pp.579-580，1999.9
- 3) 川村政史ほか：場所打ち杭における打設時孔底部付近の流動性状の可視化（その1 清水と安定液との違い），日本建築学会大会学術講演概要集，pp.577-578，1999.9
- 4) 土木学会：施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針（案），コンクリートライブラリー126，
- 5) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物
- 6) 神田政幸・西村昌宏・西岡英俊・千葉佳敬：泥水濃度に着目した場所打ちコンクリートの強度評価法，鉄道総研報告，Vol.24，No.7，2010.7