

コンクリートのこわばり低減技術 「チキソリデュース」の開発

根本 浩 史・平 野 修 也・石 本 陽 一

コンクリートの初期欠陥の要因の一つに、コンクリート特有の性状変化である「こわばり」があげられる。そのこわばりの影響を低減できる新しい混和剤「チキソリデュース」（以下「本混和剤」という）を開発した。室内実験においては、回転粘度計による初期せん断力が本混和剤を用いた場合には用いない場合よりも37%低下し、こわばり低減効果が確認された。また、本混和剤を、高密度配筋部を有する場所打ち杭のコンクリートに適用した結果、コンクリートのワーカビリティが改善され、高密度配筋部にコンクリートがしっかり充填できていることが確認された。コンクリートのこわばりを低減できる本技術は、複雑化するコンクリート施工に対して初期欠陥を低減する効果があると考えられる。

キーワード：こわばり低減剤、初期欠陥、長距離圧送、場所打ち杭、チキソトロピー

1. はじめに

社会基盤整備に大きな役割を果たすコンクリート構造物を取り巻く状況は、近年大きく変化してきた。耐震性能の要求水準の引き上げによる鋼材の増加や、環境問題や資源の有効利用等の時代の要請に伴う材料特性の変化は、コンクリート施工の難易度を著しく増大させ、初期欠陥が発生するリスクが増大する結果になっている¹⁾。そのような問題に対して土木学会コンクリートライブラリー126「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）」により、コンクリートのスランプが時間的に変化すること、構造部材や施工条件によって必要とされるスランプが異なることを考慮した施工性能の性能照査システムが示され、構造条件等に対する施工性能の重要性が浸透し、大きな前進が図られたといえる。

しかしながら、その後もコンクリート工事における豆板や未充填等の初期欠陥の発生は顕著に減少していないのが実情である。その要因は、人手不足や地球温暖化などの環境変化、構造条件や施工条件の複雑化など多岐にわたると考えられるが、要因の一つにコンクリート特有の性状変化である「こわばり」があると考えられる。コンクリートの施工途中にコンクリートがこわばると施工性能が大きく低下し、初期欠陥の要因となってしまう。

本稿では、このコンクリートのこわばりについて、そしてこわばりがコンクリートの施工に与える影響、

また、こわばりへの対策技術として新しく開発した本混和剤について説明する。

2. コンクリートのこわばり

コンクリートには、練り混ぜられて製造された後、一旦静置されて時間が経過することにより硬くなり、所要の流動性が損なわれて動きづらくなる若しくは動かなくなる現象を示すことがある。この現象は、練混ぜによって分散されたセメント粒子が静置によって凝集し、凝集体を形成することに起因すると考えられる。セメントの凝集体はコンクリートが流動する際に抵抗となり、攪拌や振動によって凝集体が破壊されて、コンクリートは再び流動性を得ることができる。レオロジーの分野では、このような性質をチキソトロピーと呼び、時間によって性質の度合いが変わることから時間依存流体とも呼ばれる。

コンクリートのこわばりの程度が大きくなると、再び流動させるのにはより大きな外力が必要となる。もしくは、十分な外力を与えられない場合は、コンクリートのこわばりが解消されずに流動性が不足し、充填性が損なわれることを示唆している。コンクリートがこわばるという現象は、実際の工事現場において不具合を招く要因となる。

コンクリートのこわばりが不具合となる事例として、場所打ちコンクリート杭や逆打ち部分へのコンクリートの充填、またはコンクリートポンプを使用した

圧送等があげられる。場所打杭ではコンクリートをトレミー管により打込む場合が多いが、先に打ち込まれたコンクリートがこわばって流動性を失ってしまうとトレミー管が閉塞しコンクリートが打ち込めない状況となる場合がある。また、オールケーシング工法の場合はケーシングチューブを引き上げた跡にコンクリートが充填される必要があるが、既に打ち込まれたコンクリートがこわばって流動性が不足していると、ケーシング跡は未充填箇所となり欠陥が生じる（写真—1参照）²⁾。逆打ち部でも先に打ち込まれたコンクリートがこわばってしまうと、後から打ち込まれたコンクリートの充填が阻害され、未充填の原因となる。圧送においてはポンプ配管内で先行して打込まれたコンクリートがこわばると、後から圧送されたコンクリートの変形に追従できず管内で閉塞する恐れがある（写真—2参照）。さらに再圧送時の圧送負荷が著しく増加した場合、配管の接続箇所など局所的な破裂のリスクが高くなり、不具合の復旧に時間と労力が費やされる



写真—1 場所打ち杭における未充填箇所発生状況



写真—2 ポンプ施工における配管閉塞

こととなる。

また、コンクリートのこわばりが顕著な場合、打重ね部で下層のコンクリートにおけるパイプレータの振動による影響範囲が小さくなり、上層と下層の一体化が阻害されコールドジョイントの発生につながる可能性もある。

コンクリート工事を円滑に進めるためには、コンクリートのワーカビリティを確保することが重要であるため、流動性の保持性能に優れ、こわばりによる影響が小さいことは、コンクリートのワーカビリティの観点で望ましいと言える。しかし、コンクリートのこわばりによる影響を定量化できる評価方法は確立されておらず、静置したコンクリートを対象としたスランプ試験の応用やレオロジー試験の結果に基づく検証などは今後の検討課題である。

3. 本混和剤の開発

こわばりが原因で生じる不具合は、フレッシュコンクリートがチキソトロピー性を有していることに起因しており、流動している場合には問題にならないが、一旦静置されて、時間が経過して再び動き始める際に流動抵抗（降伏値に近似）が著しく大きくなることが問題となる。チキソトロピーによる影響を低減することができれば、こわばりによる不具合を防止する上で有効であると考えられ、化学混和剤を利用してセメントの近接や凝集を抑制することは、コンクリートのこわばりを低減するのに有効であると考えられる。

以上を背景に、コンクリートのこわばりやチキソトロピーによる影響を低減する新しい本混和剤が開発されることとなった。

本混和剤の主成分は、オキシカルボン酸塩およびグリコールエーテル系誘導体の粉体であり、液体の混和剤に比べてコンクリートへの溶解速度が遅い点が特徴である。

グリコールエーテル系誘導体は非吸着で液相中に残存しデプレッション作用による弱い分散性とコンクリートのフレッシュ性状に寄与する保水性を有する成分からなり、分散したセメント粒子間に入り込んで、セメントの近接や凝集を抑制する効果がある。

本混和剤は、写真—3に示すように水溶性の紙袋に梱包されたパック型の粉末状の混和剤である。1パック当たりの内容量は250gであり、バッチャープラントのミキサーやアジテート車に必要なパック数を投入して使用する。必要パック数は、対象となるコンクリートの配合や使用材料、目標スランプ、添加時期や



写真—3 本混和剤の荷姿

こわばりの程度によって異なるが、アジテート車の積載量が4～4.25 m³の場合、標準使用量は4パックであり、添加に必要な計量設備が不要であり、製品の取扱いと比較的容易である。

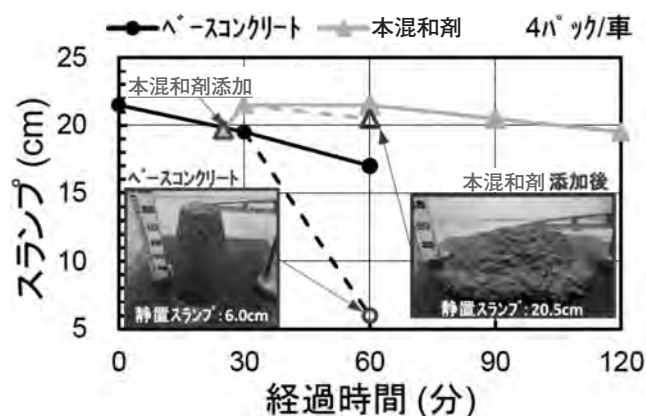
4. 本混和剤のこわばり低減効果³⁾

本混和剤を添加したコンクリートのこわばりを簡易的に評価するために写真—4に示すような静置スランプ試験を実施した。この試験は、スランプ試験で使用するスランプコーンの中にコンクリートを詰めて、



写真—4 静置スランプ試験 試験状況

所定の時間静置させた後にスランプコーンを引上げて、静置したコンクリートのこわばりによる影響を確認するものである。表—1の配合 No.1 で高性能 AE 減水剤を使用したベースコンクリートを対象に、練上がりからの経過時間 30 分時点で本混和剤を添加した効果をスランプ試験と静置スランプ試験（静置時間は 30 分）によって確認した。その経時変化試験の結果を図—1に示す。練上がりからの経過時間 60 分でベースコンクリートのスランプが 17.0 cm であったのに対して、破線で示した静置スランプは 6.0 cm まで低下し、こわばりによってコンクリートの降伏値が著しく増加したことが推察される。一方、本混和剤を添加したコンクリートのスランプ保持性は向上し、静置スランプはコンクリートがこわばることなく 20.5 cm となった。



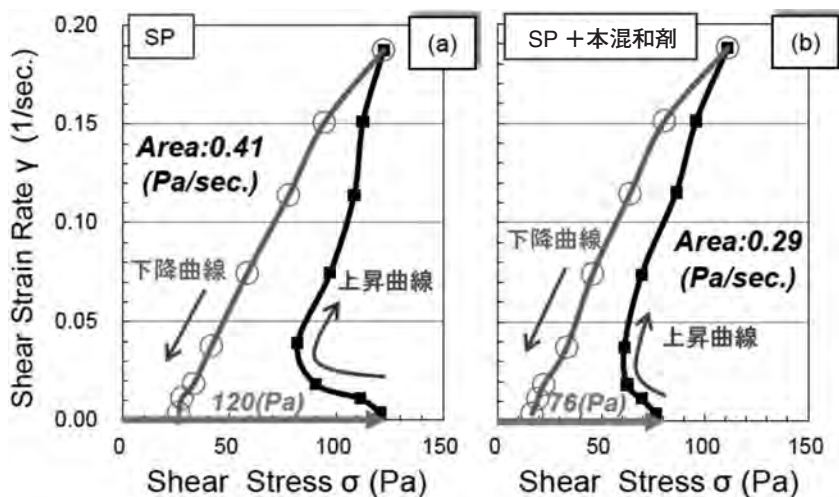
図—1 本混和剤を添加した効果（静置スランプ試験）

また、コンクリートのチキソトロピーを評価するために、回転翼型のブレードを装着した回転粘度計を用いてせん断ひずみ速度制御によるせん断応力の履歴（ヒステリシスループ）を得た。表—1の配合 No.2 で高性能 AE 減水剤を使用したコンクリートを対象に、練上がりから 60 分間コンクリートを容器内に静置した場合のヒステリシスループを図—2に示す。本実験では、せん断ひずみ速度を徐々に上げていく上昇曲線を経て、最大速度に到達後、せん断ひずみ速度を下げていく下降曲線を描くことになるが、図—2 (a)

表—1 コンクリートの配合および使用材料

No.	W/C (%)	s/a (%)	目標スランプ [*] (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)			
					W	C	S	G
1	50.0	48.0	21 程度	4.5±0.5	170	340	839	933
2	35.0	49.0	23 程度	4.5±0.5	175	500	787	840

C: 普通ポルトランドセメント(三種等量混合 密度:3.16g/cm³) S: 山砂(静岡県掛川市 表乾密度:2.58g/cm³,吸水率:1.90%,F.M.:2.78) G: 硬質砂岩碎石 2005(東京都青梅市 表乾密度:2.65g/cm³,吸水率:1.05%,実積率:59.5%)



図一2 本混和剤を添加した効果（回転粘度計による測定）

で見受けられるようにコンクリートのこわばりによって初期せん断応力（図中の x 軸上の矢印）が著しく増加する傾向が認められた。これに対して、本混和剤を添加した場合は、図一2 (b) のように初期せん断応力が約 37% 低下し、こわばりの低下が示唆された。ヒステリシスループで囲まれた面積は、試料が上昇曲線および下降曲線の応力—ひずみ履歴に晒されて、凝集構造が破壊され、次第に凝集が回復する履歴のずれの度合いを示し、換言すればチキソトロピーの度合いを示唆する。本実験結果では、本混和剤を添加することで、ヒステリシスループで囲まれた面積が約 29% 減少し、静置したコンクリートのチキソトロピーが低減する効果が認められた。

5. 高密度配筋の場所打ち杭コンクリートにおける本混和剤適用事例

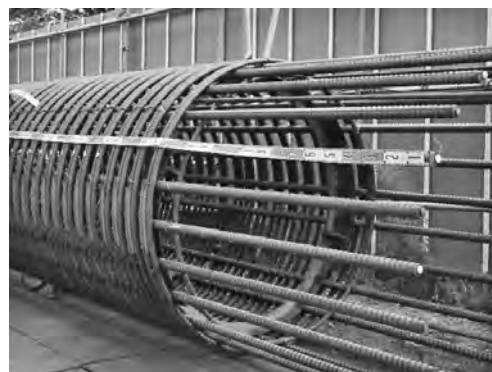
開発した本混和剤を場所打ち杭のコンクリートに適用した事例を以下に紹介する。

本混和剤を適用したのは相模鉄道本線（星川駅～天王町駅）連続立体交差工事にともなう TBH 工法によ

る場所打ち杭コンクリートの夏期施工分（平成 29 年 8 月 23 日から 9 月 15 日施工分）である（写真—5 参照）。場所打ち杭の杭径は 2.0 m、杭長は 14～17 m、鉄筋かごの配筋は杭頭から約 5 m が高密度配筋部となっており、D32 の帯筋が二重（ダブル）で配置され、あき（86 mm）を確保するために束ね筋としている（写真—6 参照）。本混和剤は夏期施工でのスランプロスの低減と、高密度配筋部でのこわばりを低減して確実にコンクリートを充填することを目的とし杭頭から約



写真—5 TBH 杭施工箇所



写真—6 杭頭部高密度配筋部

5 m 分に適用した。

コンクリートの配合を表—2に示す。実施工の前に室内での試験練りを行い、コンクリートの性状とスランプの経時変化を確認した。図—3に室内試験練りにおけるスランプの経時変化を示す。本混和剤添加によりスランプは1.5 cm 増加した。また、添加後 60

分におけるスランプロスが1 cm となり、本混和剤の高いスランプ保持性能が確認された。

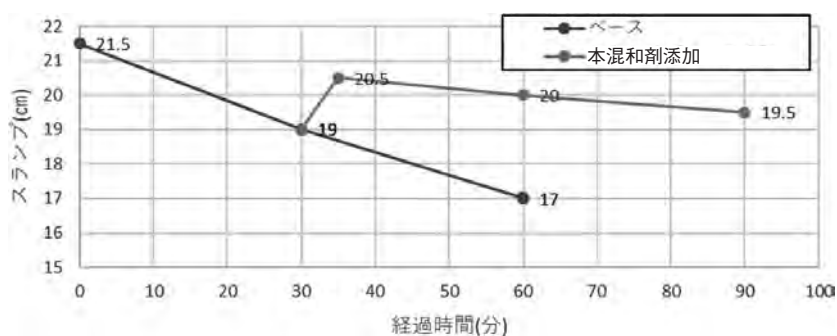
実施工においては、写真—7に示すように現場到着時したアジテータトラックに積載した4.25 m³のコンクリートに本混和剤4パックを投入し2分間攪拌した。コンクリートのスランプは現場到着時が18 cm,

表—2 場所打ち杭コンクリートの配合および使用材料

呼び強度 (N/mm ²)	W/C (%)	s/a (%)	目標スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)				本混和剤 (g/m ³)
					W	C	S	G	
30	47.5	44.5	18	4.5	180	379	757	979	250

C：普通ポルトランドセメント（密度：3.16 g/cm³） S：山砂（千葉県君津市 表乾密度 2.60 g/cm³, FM：2.50）

G：石灰砕石 2005（青森県八戸市 表乾密度 2.69 g/cm³, 実積率 60%） AD：AE 減少済遅延形工種



図—3 スランプ試験の経時変化（室内試験練り）



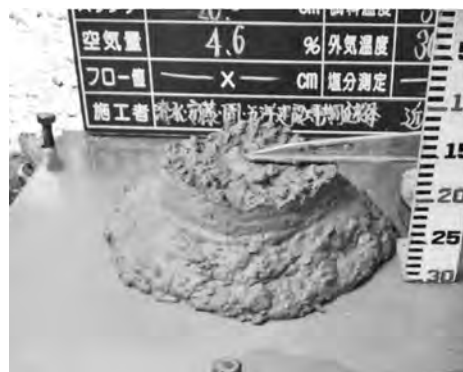
写真—7 本混和剤添加状況



写真—9 コンクリート打込み状況



(a) 本混和剤添加前



(b) 本混和剤添加後

写真—8 スランプ試験（実施工時）

本混和剤の添加後は 20 cm となり 2 cm 増加した（写真—8 参照）。

コンクリートの打込みは、写真—9 に示すようにトレミー管が用いられた。コンクリートの充填は、打込み時に鉄筋の内部と外部（かぶり部）のコンクリート天端の高さを測定することで確認した。杭頭部付近における鉄筋内部と外部の差は 10 cm 程度であり、本混和剤を適用した高密度配筋部において、かぶり部にコンクリートが充填出来ていることが確認された。

6. おわりに

こわばりを低減する新しい本混和剤「チキソリデュース」を開発し、実施工への展開を図った。コンクリートのこわばりを低減できる本技術は、複雑化するコンクリート施工に対し、初期欠陥発生リスクを低減する効果があると考えられる。今後、本技術が広く展開されることで、コンクリートの初期欠陥低減に寄与できれば幸いである。

J C M A

《参考文献》

- 1) 土木学会コンクリートライブラリー 126, 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）, 2007.3
- 2) 大川了, 岡本茂, 野村朋宏, 根本浩史: 場所打ち杭に用いるコンクリートの施工性能評価に関する実験的検討, 土木学会コンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会（341 委員会）委員会報告書, 2011
- 3) 根本浩史, 平野修也, 西祐宜, 伊達重之: こわばり抑制剤を用いたフレッシュコンクリートの性状改善に関する実験的検証, コンクリート工学年次論文集, Vol.39 No.1 pp.1261-1266 2017.7

【筆者紹介】

根本 浩史（ねもと ひろし）
清水建設㈱
土木技術本部 基盤技術部



平野 修也（ひらの しゅうや）
㈱フローリック
技術本部 コンクリート研究所



石本 陽一（いしもと よういち）
清水建設㈱
土木東京支店 横浜土木営業所

