

## 流動解析によるフレッシュコンクリートの施工性評価に関する検討

清水建設技術研究所 正会員 ○浦野 真次  
 清水建設土木技術本部 正会員 根本 浩史

### 1. 目的

著者らは、粒子法の1種であるMPS(Moving Particle Semi-implicit)法によるコンクリートの流動解析手法を用いて、フレッシュコンクリートの流動停止の判定条件をスランプの挙動についての結果をもとに検討し、既に報告した<sup>1)</sup>。フレッシュコンクリートの流動停止は、実際の施工においてスランプやスランプフローのような流動停止だけではなく、狭隘な断面や鉄筋などの障害物での骨材のアーチングなどが発生した場合でも生じる。しかし、フレッシュコンクリートをビンガム流体と仮定した場合の流動解析では、材料の均一性は変化せず、材料分離や閉塞は発生しない。そこで、障害物が存在しその断面減少部分などでの流動停止の現象を評価するためには、何らかの境界条件の設定や判定方法を検討する必要がある。そこで、本研究では、MPS法を用いたフレッシュコンクリートの流動解析を行い、解析で得られたせん断ひずみ速度分布を用いた施工性の判定方法について検討を行った。

### 2. 分離限界点による施工性の判定

コンクリートは、間隙通過時や強制的なせん断力を受ける流動の状態では、材料の均一性に関して限界状態がある。すなわち、ある一定以上の大きなせん断応力やせん断ひずみ速度となる変形領域では、実際のコンクリートでは材料分離や断面変化部分での骨材のアーチングなどが発生し、流動停止や閉塞が生じる。フレッシュコンクリートをビンガム流体と仮定した場合について、村田は、コンシステンシー曲線は無限長の直線とならず、図-1に示すようにある点においてコンクリートの材料分離を表す「分離限界点」が存在するとしている<sup>2)</sup>。本報では、コンクリートをビンガム流体と仮定した流動解析を行うため、材料の均一性は変化せず流動停止や閉塞は流動解析上発生しないことから、この分離限界点という条件を導入し、分離限界点を強制的に上回るせん断ひずみ速度を与えられた場合に材料分離や閉塞等の危険性が著しく上昇する、という設定を行うこととした。

分離限界点の設定は、図-2に示すようにV漏斗試験時に生じる流動中の経過時間に伴うせん断ひずみ速度の分布から求めることとした。Vg/Vmは粗骨材とモルタルの体積比率を示す。コンクリートの配合を変化させてV漏斗流下時間を変化させた場合、V漏斗流下時間が大きいほど発生するせん断ひずみ速度の最大値も大きくなり、最大で10.0/s程度である。V漏斗流下時のコンクリートの流下時間やせん断ひずみ速度は、コンクリートの変形性能に対応して変化すると考えられる。このため、例えばV漏斗流下時間12.0秒で発生したせん断ひずみ速度の最大値が2.0/s程度のコンクリートに10.0/s程度のせん断ひずみ速度が生じるようなせん断力等を与えた場合には、材料分離や閉塞するものと考えた。断面が急激に変化するV漏斗試験装置内で発生するせん断ひずみ速度は、各流下時間を示すコンクリートの変形性能の最大限と断定できないが、材料分離や閉塞等の危険性が著しく上昇する値であると思われる。そこで、V漏斗試験装置内に発生するせん断ひずみ速度の最大値(図-2中の $\dot{\gamma}_v$ の最大値)を分離限界点と仮定し、これを強制的に上回るせん断ひずみ速度を与えられた場合に材料分離や閉塞等の危険性が著しく上昇すると判定することとした。

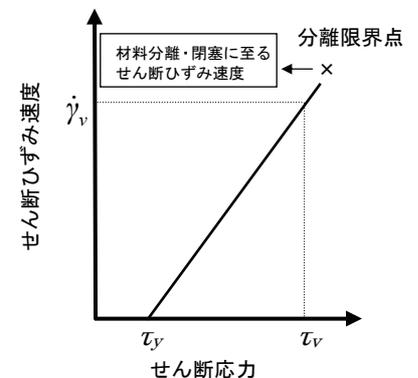


図-1 分離限界点の概念図

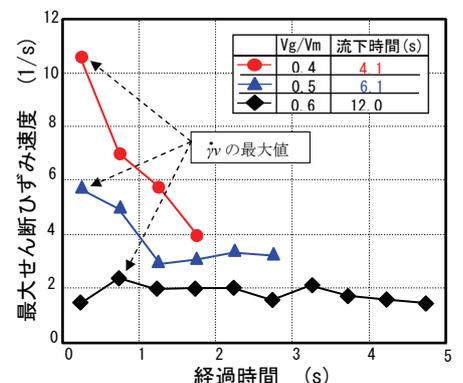


図-2 V漏斗試験の最大せん断ひずみ速度

キーワード フレッシュコンクリート, 流動解析, MPS法, ビンガム流体, 分離限界点

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株)技術研究所 TEL 03-3820-6967

3. 流動解析による施工性判定の概要

ここではコンクリート充填鋼管柱 (CFT) を対象として、コンクリート圧入時におけるダイヤフラム部付近の流動解析を実施した事例をもとに施工性の判定の概要について述べる。本解析では、コンクリートをビンガム流体と仮定して、せん断応力が降伏値近傍の応力に達するまでは、高粘性流体として扱う bi-viscosity モデルとした<sup>1)</sup>。図-3 に示すような CFT ダイヤフラム部付近の形状を対象として、コンクリート圧入状況の解

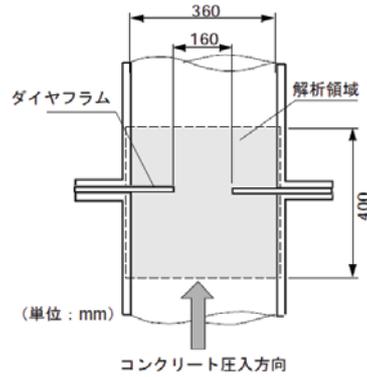


図-3 CFT ダイヤフラム部形状

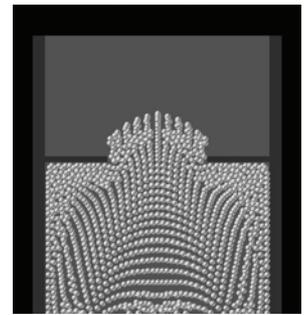
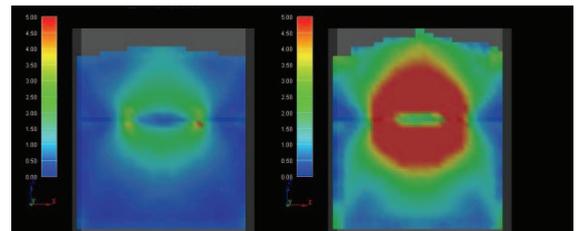


図-4 ダイヤフラム部付近の充填解析結果の例

析を実施した。コンクリート部分を粒子径 10mm で粒子化し、鋼管柱およびダイヤフラム等の壁境界として表面メッシュを用いた。また、壁境界はノンスリップ条件とした。粒子化はコンクリートのみであり、1つ1つの粒子が均質なビンガム流体の流動を表現しており、コンクリート中の骨材の動きを表現するものではない。圧入される粒子に鉛直上向きに圧入速度を与え、16.7mm/s および 66.7mm/s の2種類(それぞれ 1.0m/min および 4.0m/min の打上り速度に相当)とした。圧入するコンクリートのビンガム定数は、降伏値 51 Pa、塑性粘度 300 Pa・s とした。



(16.7mm/s)

(66.7mm/s)

図-5 圧入中のせん断ひずみ速度の分布状況図

圧入されダイヤフラムの開口部から流出した状況の充填解析結果の例を図-4 に示す。この図によれば、圧入されるコンクリートの状況は観察できるものの、閉塞の危険性の有無までは評価することはできない。流動が解析領域の上端まで達した時のそれぞれの圧入速度における粒子間の相対変位から計算されるせん断ひずみ速度分布のコンター図を図-5 に示す。赤い部分がせん断ひずみ速度の大きい部分 (4.5~5.0/s) を示し、青色になるほどせん断ひずみ速度の小さい部分 (0.0~0.5/s) を示す。圧入速度の大きい 66.7mm/s の場合、開口部の上下でせん断ひずみ速度の大きな領域が発生している。仮にこの時のコンクリートの V 漏斗流下時間が 12.0 秒であった場合、図-2 より分離限界点は約 2.0/s と仮定することができ、解析結果でのせん断ひずみ速度のレベルはこの倍程度となるため、閉塞等の危険性が大きいと判定できる。一方、高流動コンクリートの V 漏斗流下時間が 4.0 秒と非常に速い配合であった場合、図-2 より分離限界点は約 10.0/s と仮定することができ、閉塞等の危険性が小さいと考えられる。以上の方法により、材料分離や閉塞の危険性について評価できる可能性があると考えられる。

4. 配筋した型枠内への充填解析への適用

鉄筋を配置し、上面が閉鎖されたスラブ状型枠内へのコンクリートの充填<sup>3)</sup>に関して、3次元流動解析を3章と同一のモデルで行い、実験結果と比較した。スランプフロー60cm、V 漏斗流下時間約 6 秒の高流動コンクリートを開口端部より充填した場合、写真-1 に示すように充填途中で流動が停止した。図-6 に示す流動解析結果では、鉄筋間の通過時や鉄筋と型枠に囲まれた



写真-1 スラブ状型枠への充填状況

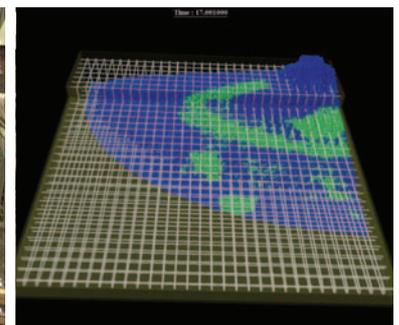


図-6 スラブ状型枠への流動解析結果

間隙を粒子が通過する際に算定されたせん断ひずみ速度の大きさから、図-2 より分離限界点を約 6.0/s と仮定し、6.0/s 以上のせん断ひずみ速度の大きさの箇所の粒子を緑色で表示させた。その結果、コンクリートの流動が途中で円弧状に分離限界点を越える領域が発生し、流動が停止すると予想される状況が再現されており、実験と比較的良好一致する結果となった。今後は、実際の各種の配合から精度の高い分離限界点の設定方法を検討する予定である。

参考文献 1) 浦野, 根本, 崎原: 流動解析におけるコンクリートの流動停止に関する検討, 第 67 回年次学術講演会講演概要集, V-601, pp.1201-1202, 2012.9 2) 村田, 岡田: フレッシュコンクリートのレオロジー・コンクリートの弾性とクリープ, pp.43-51, 山海堂, 1970. 3) 下田, 吉永, 古堀, 浦野: 高流動コンクリートを用いた鉄道高架橋の新旧一体化施工, コンクリート工学, pp.29-34, Vol.48, No.3, 2010.3