

## [8] ポンプ圧送時におけるフレッシュコンクリートの変形性

正会員 〇一色 真人 (東京大学大学院)

山崎 実 (日曹マスタービルダーズ)

正会員 榎本 松司 (東京大学工学部)

### 1. はじめに

コンクリートポンプ工法の普及は、工期の短縮・省力化等に多大な効果をもたらした。しかし、材料分離によって閉塞を起こす場合のメカニズムが明らかにされていないため、圧送計画を立てる場合は圧送限界だけをチェックする方法が採られており、閉塞条件のチェックは行われていない。そのため、単位水量や単位セメント量を増して閉塞を防ぐ結果、ひびわれが増加し耐久性や外観に悪影響を及ぼす結果となっている。

本研究は、コンクリートの管内閉塞と最も関係の深いポンプ圧送時におけるフレッシュコンクリートの変形性に着目し、簡単なコンクリートポンプを用いて、その閉塞のメカニズムと閉塞を誘発する因子を明らかにし、さらに閉塞を誘発する因子に着目して、コンクリートの変形性について述べるものである。

### 2. 実験の概要

#### 2. 1. 使用材料及び実験装置

セメントは普通ポルトランドセメント、骨材は川砂利 (比重2.65, M.S.25mm) 及び川砂 (比重2.62, F.M.2.87), 混和剤はA E減水剤標準形を用いた。実験に用いたコンクリートポンプは、ピストンスピードが13cm/s, ストロークが1mである。テーバ管は図-1に示すように、閉塞した部分のコンクリートを乱さずに分析できることを考慮して、2分割できる形状となっている。

#### 2. 2. 実験方法

実験は、次に示す3シリーズについて行った。

シリーズⅠ…閉塞して最終的な状態に至ったコンクリートの状態を知るため、閉塞後コンクリートが完全に停止したことを確認して、管内のコンクリートを分析する。

シリーズⅡ…閉塞を誘発する因子を知るため、ポンプ油圧が急変した瞬間にピストンをバックさせ、コンクリートにかかる力を0として管内のコンクリートを分析する。

シリーズⅢ…コンクリートの変形性を評価するため、閉塞しないコンクリートを圧送し、圧送終了後に管内のコンクリートを分析する。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3. 1. 閉塞のメカニズム及び閉塞を誘発する因子に関する実験結果及び考察

シリーズⅠの実験は、表-1に示す6種類の配合を用いて行った。配合1は閉塞せず、配合2～6は閉塞する配合である。

図-2は閉塞して最終的な状態に至ったコンクリートの状態であり、閉塞部の先端には

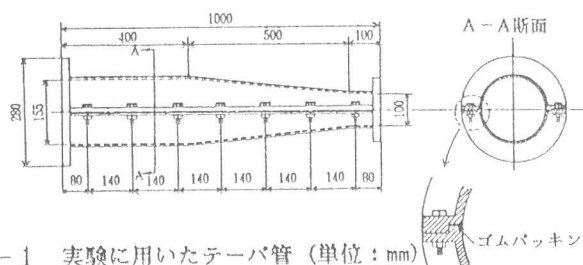


図-1 実験に用いたテーバ管 (単位: mm)

表-1 実験に用いたコンクリートの配合

| 配合 | H.S.<br>(mm) | 空気量<br>(%) | W/C<br>(%) | 細骨材率<br>(%) | 単位量 (kg/m³) |     |     |      | スランプ<br>(cm) |
|----|--------------|------------|------------|-------------|-------------|-----|-----|------|--------------|
|    |              |            |            |             | W           | C   | S   | G    |              |
| 1  | 25           | 4±1        | 53.6       | 41          | 150         | 280 | 775 | 1127 | 7.0          |
| 2  | 25           | 4±1        | 53.6       | 36          | 150         | 280 | 680 | 1223 | 5.7          |
| 3  | 25           | 4±1        | 53.6       | 49          | 150         | 280 | 926 | 975  | 3.4          |
| 4  | 25           | 4±1        | 98.2       | 43          | 167         | 170 | 833 | 1116 | 5.0          |
| 5  | 25           | 4±1        | 53.6       | 36          | 165         | 308 | 658 | 1182 | 7.5          |
| 6  | 25           | 4±1        | 70         | 44          | 150         | 214 | 855 | 1101 | 5.2          |

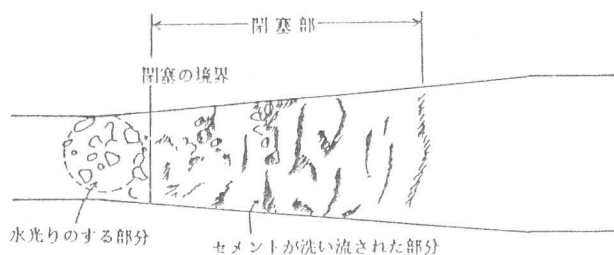


図-2 閉塞して最終的な状態に至ったコンクリートの状態

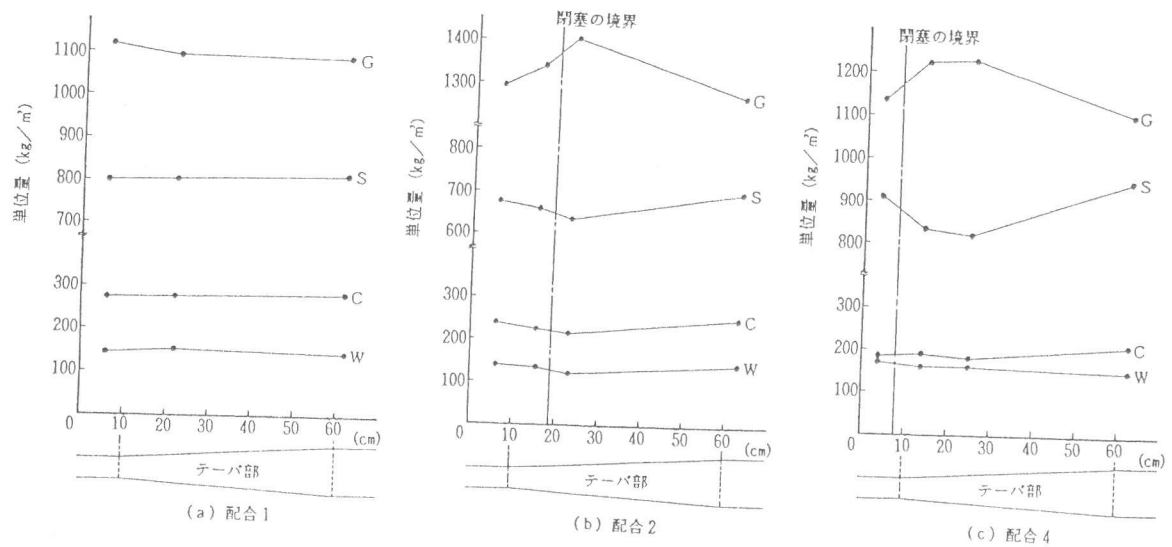


図-3 管内各部における配合分析結果

明確な境界（以下、閉塞の境界と称す）が見られた。ここに、閉塞部とは、水の移動によって骨材周囲のセメントが洗い流された部分が存在する範囲と定義した。また、管を分解した時に、完全に分離した W/C の大きいペーストが、特に閉塞部から流れ出す現象が見られた。

図-3(a)(b)(c)は、それぞれ配合 1, 2, 4 の管内各部における配合分析結果である。閉塞しなかった配合 1 の場合は、管軸方向の各単位量は均一である。一方、閉塞した配合 2, 4 の場合は、閉塞部で粗骨材が多くモルタルが少なくなっている。また、配合 2, 4 の場合は、単位水量と単位セメント量が示方配合より小さな値となっている。これは、前述したように閉塞によってペーストの一部が完全に分離してしまうためと思われる。配合 3, 5, 6 の場合も図-3(b)(c)に示す配合 2, 4 の場合と同じ傾向であった。また、配合 2~6 においては、全て閉塞部で W/C が小さくなっていた。

次に、配合分析を行った各試料について骨材のふるい分け試験を行った。その結果、粗骨材の粒度にはばらつきが見られたが、細骨材の粒度には、全ての配合においてばらつきが見られなかった。このことより、閉塞時にアーチングを生じるのは粗骨材だけで、細骨材は単に粗骨材間を埋めているにすぎないと考えられる。そこで、アーチングを生じる粗骨材の粒径について検討を行った。図-4(a)(b)(c) (配合 1, 2, 4) は、管軸方向における粗骨材の各粒径の分布である。縦軸は、全粗骨材量 (G) に対する各粒径ごとの粗骨材量 ( $G'$ ) の重量比である。閉塞しなかった配合 1 の場合は、管軸方向における粗骨材の各粒径の分布は均一である。一方、閉塞した配合 2 の場合には、閉塞部で 15mm 以上の粗骨材が多く 15mm 以下の粗骨材が少なくなっている。配合 3 の場合はこれと同じ傾向であった。つまり配

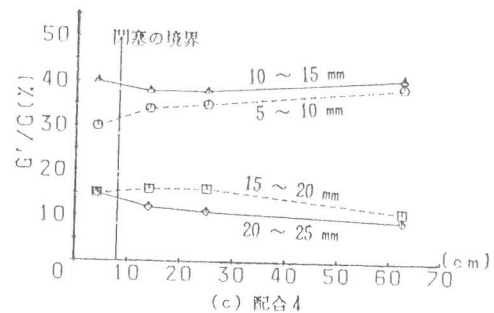
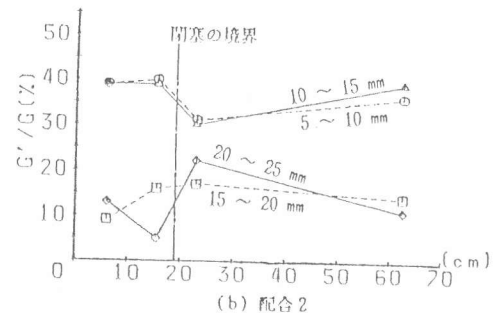
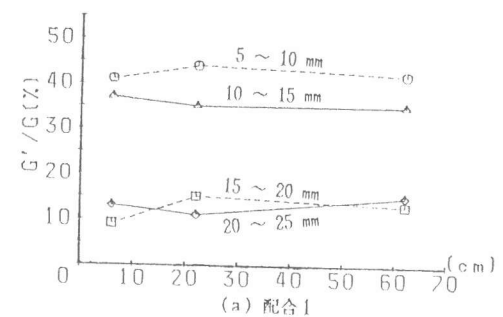


図-4 管軸方向における粗骨材の各粒径の分布

合2, 3の場合は, 15mm以上の粗骨材でアーチングを生じているものと思われる。ところが, 配合4の場合は, 閉塞したにもかかわらず粗骨材の分布にほとんど乱れが生じていない。配合5, 6の場合もこれと同じ傾向であった。これは, 配合4, 6では  $W/C$  が大きく, 配合5では  $S/C$  が小さく, いずれの場合もコンクリート中のモルタルの粘性が低く, モルタルと粗骨材が充分に一体化できず, 粗骨材全てでアーチングを生じたためと思われる。

シリーズIIの実験は, 配合3, 6を用いて行った。閉塞した瞬間にコンクリートにかかる力を0にした場合, 管内のコンクリートは, 観察する限りでは均一であった。また, 管を分解した時に前述したような分離したペーストが流れ出す現象は見られず, 管壁には閉塞しなかった配合1の場合と同様に, モルタルあるいはペーストが付着していた。一方, 最終的な閉塞状態にまで至った場合は, 管壁に付着しているのは水で, しかも, 閉塞部にあたる部分では付着している水の量も極めて少なかった。次に, 閉塞した瞬間の管軸方向における  $W/C$  の変動を調べるため, 閉塞の境界より前の非閉塞部, 閉塞部, 及び  $\phi 155\text{mm}$  の直管部の3ヶ所の圧縮強度を調べた。その結果, 配合3の場合  $324\text{kg}/\text{cm}^2$ ,  $320\text{kg}/\text{cm}^2$ ,  $312\text{kg}/\text{cm}^2$  で, 配合6の場合  $168\text{kg}/\text{cm}^2$ ,  $176\text{kg}/\text{cm}^2$ ,  $172\text{kg}/\text{cm}^2$  であり,  $W/C$  の変動は無いと言える。以上のことより, 閉塞した瞬間においては, 閉塞部とそうでない部分におけるコンクリート中のモルタルの品質は均一であると言える。従って, 閉塞を誘発する因子は, 水やペーストの分離ではなく, 粗骨材のアーチングであると判断できる。

シリーズI, IIの実験結果より, テーパー管における閉塞のメカニズムは, 次のように結論づけられる。

- 1) 粗骨材間の距離がしだいに小さくなり, アーチングを生じる。
- 2) 粗骨材間の隙間をモルタルが埋める。
- 3) 水あるいは  $W/C$  の大きいペーストが骨材間を抜けて流れ出す。
- 4)  $W/C$  が小さく, 粗骨材密度の大きい閉塞部を形成する。

3. 2. コンクリートの変形性に関する実験結果及び考察  
閉塞を誘発する因子が粗骨材のアーチングであることより, 圧送可能なコンクリートにおいても変形性の悪いコンクリートでは管軸方向における粗骨材の各粒径の分布に乱れが生じることが予想される。そこで, シリーズIIIの実験を行い, この粗骨材の乱れの程度によってコンクリートの変形性を評価することを試みた。実験に用いた配合は図-6中に数字で示す7種類である。

配合(3)(5)(6)(7)の結果を図-5(a)~(d)に示す。図-5(a)に示す配合(3)の場合は, 最適  $s/a$  にもかかわらず, 粗骨材の分布にかなりの乱れが見られる。配合(4)の場合も, これと同じ傾向の乱れが同程度見られた。図-5(b)に示す配合(5)の場合は, 多少の乱れはあるものの, はば均一に近い状態である。また, 図-5(c)に示す配合(6)の場合は, 図-4(b)に示す閉塞した場合と同じ傾向で, 閉塞の可能性が非常

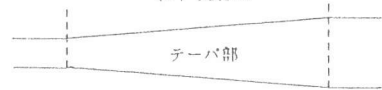
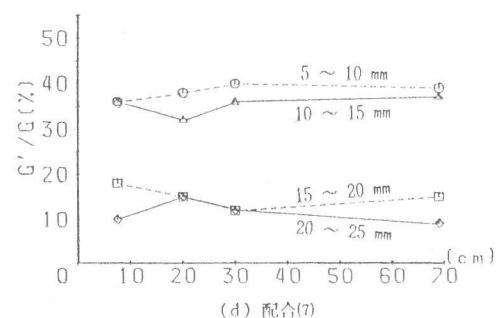
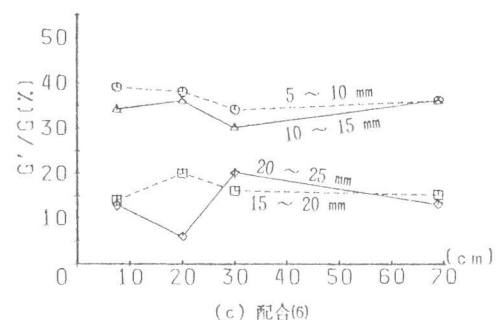
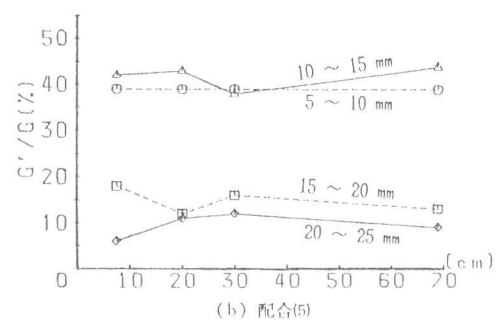
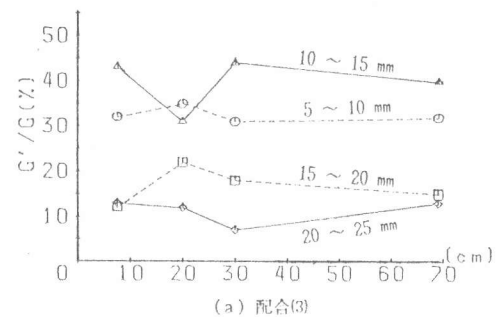


図-5 管軸方向における粗骨材の各粒径の分布

に高いことを示している。ところが、図-5(d)に示す配合(7)の場合は、配合(5)の場合と同様にほとんど均一に近い状態となっている。しかし、これはコンクリートの変形性が優れているために生じたのではなく、前節に述べたように、コンクリート中のモルタルの粘性が低いため、粗骨材とモルタルが充分に一体化できずに生じたものと思われる。

以上の結果及び配合(1)(2)の結果と図-4(a)を考え合わせ、 $W/C = 53.6\%$ における圧送可能範囲を、

(ア) コンクリートの変形性が優れている範囲  
(イ) 圧送限界の上限に近く、閉塞の可能性が非常に高い範囲

(ウ) コンクリート中のモルタルの粘性が低く

貧配合コンクリートと同じ挙動を示す範囲に区分したものが図-6である。図-6中の圧

送限界曲線は、あらかじめ様々な配合を用いて圧送可能か否かを調べて決定したものであり、右上がりの直線群と右下がりの直線群は、それぞれ  $S/C$  及びコンクリート中の粗骨材の容積を表している。また、図-6中の(エ)は、(イ)と同様に管軸方向における粗骨材の分布に乱れが生じる範囲であるが、この範囲は  $W = 160\text{kg}/\text{m}^3$  付近を境に性質が異なってくるものと思われる。つまり、 $W = 150 \sim 160\text{kg}/\text{m}^3$  においては閉塞の可能性が非常に高く、 $W > 160\text{kg}/\text{m}^3$  においては粗骨材の分布に乱れが生じるが閉塞しにくい範囲である。しかし、後者の場合も、ピストンスピードが極端に速くなる等の極めて圧送条件が厳しい時には、閉塞の可能性が高くなるものと思われる。

図-6より、今回用いた実験条件における変形性に優れている範囲は、 $W = 150 \sim 160\text{kg}/\text{m}^3$  程度では最適  $s/a$  付近であるが、 $W > 160\text{kg}/\text{m}^3$  においては最適  $s/a$  よりかなり高い  $s/a$  となる。これは、単位水量が増すとコンクリートはせん断変形しやすくなるが、その程度が大きくなりすぎると、ポンプ圧送時に材料分離を起こすことになる。この材料分離を起こす境界が  $W = 160\text{kg}/\text{m}^3$  付近にあり、それ以上の単位水量になると、材料分離を防ぐために粘性を増すことが必要になるためであると考えられる。なお、 $W = 150\text{kg}/\text{m}^3$  を下回るところでは、コンクリートの圧送性が頭打ちになっており、これはコンクリートが閉塞しないために必要な単位水量の限界とも考えられるが、この原因を明らかにするためには、さらに粗骨材量とモルタルの性質との関係についてより詳細な研究が必要である。

#### 4. おわりに

本研究は、コンクリートの管内閉塞と最も関係の深い、ポンプ圧送時におけるフレッシュコンクリートの変形性に関して実験的な検討を行ったものである。本研究の範囲内において、以下のことが明らかとなった。

(1) 閉塞して最終的な状態に至ったコンクリート、及び閉塞した瞬間のコンクリートを分析することにより、閉塞のメカニズムを明らかにした。この結果、閉塞を誘発する因子は粗骨材のアーチングであること、またアーチングを起こす粒径はコンクリート中のモルタルの粘性によって異なることを見いだした。

(2) 閉塞を誘発する因子が粗骨材のアーチングであることより、ポンプ圧送時におけるフレッシュコンクリートの変形性を評価する方法としては、圧送時の管軸方向における粗骨材の各粒径の分布を調べる方法が有効であると判断された。この方法により、今回用いた実験条件における  $W/C = 53.6\%$  のコンクリートの変形性を評価し、最適  $s/a$  において変形性が優れている範囲が存在することを見出した。

本研究を行うにあたり、東京大学工学部岡村甫教授、リブコンエンジニアリング(株)伊東靖郎氏、大成建設(株)技術研究所早川光敬氏より多大な御指導、御援助を賜った。最後ではありますが、厚くお礼申し上げます。

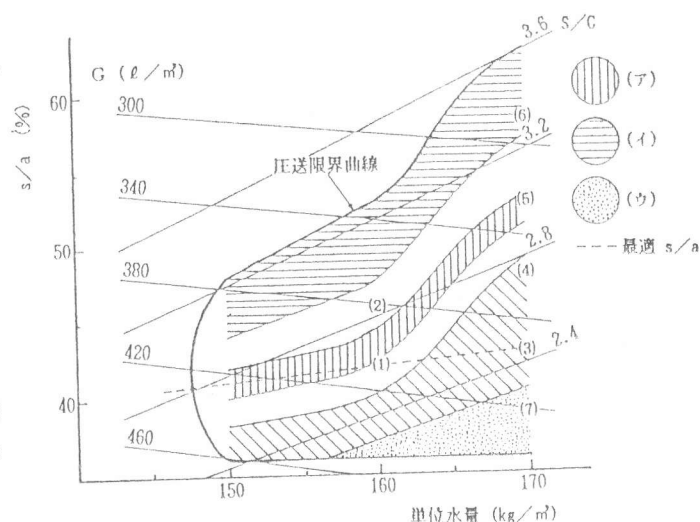


図-6  $W/C = 53.6\%$ におけるコンクリートの変形性