

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

THE DEFORMATION OF FRESH CONCRETE PUMPED THROUGH PIPELINE

一色真人*・山崎 実**・岡村 甫***

By Makoto ISSIKI, Minoru YAMAZAKI, and Hajime OKAMURA

The mechanism of blocking of fresh concrete in pumping and the causing factors are discussed. In the series of experiments, the blocking of concrete at the taper pipe was artificially produced and analyzed by splitting pipes. From the experimental results, it is made clear that the arching of coarse aggregates which results in the stiffening of concrete due to the squeezing of water in mortar primarily produces the blocking of fresh concrete in pipe.

Accordingly, the authors took the degree of segregation of coarse aggregates in pipe defined as "deformation" into account. And, it is recognized that the size distribution of coarse aggregates through pipeline should be the practical index in the evaluation of the deformation.

1. はじめに

近年、建設業界において、コンクリートポンプ工法が広く普及し、工期の短縮および省力化に多大な効果をもたらした。コンクリートポンプ工法の普及に伴い、コンクリートの長距離圧送および高所圧送に関する研究も進み、圧送計画を立てる場合には圧送負荷より圧送限界を算出してポンプの機種および配管を検討する方法が採用されている¹⁾。しかし、テーパ管およびベント管における管内閉塞機構が明らかにされていないため、管内閉塞を防止するための基準は、いまだに不明確であり、そのため、管内閉塞を防止するあまり、単位水量、単位セメント量および細骨材率を増加させる傾向にある。その結果、コンクリートの乾燥収縮が増大し、ひびわれの発生、耐久性および外観に支障をきたしている。このような悪影響を低減するためにもポンパビリチーの評価方法を確立する必要がある。

コンクリートのポンパビリチーを評価するためには、ポンプ圧送時におけるコンクリートの流動性、変形性お

よび脈流に対する分離抵抗性の3つの点を評価する必要がある。流動性とは、コンクリート固体栓が管壁近傍でどの程度滑動できるかということで、ここ数年の研究でその判定基準も確立されてきた^{2),3)}。また、変形性とは、テーパ管およびベント管におけるように、コンクリート中の各粒子間に相対移動が生じる場合、いかに円滑に相対移動できるかということで、コンクリートの管内閉塞と最も関係が深いにもかかわらずほとんど研究の進んでいない分野である。さらに、脈流に対する分離抵抗性とは、圧力と圧送速度が規則的に変化する脈流の状態にあるコンクリートにおいて、どの程度流動性および変形性を維持できるかということで、これもまたほとんど研究の進んでいない分野である。

ところで、管内閉塞機構には、2つの説がある。1つは、水あるいはセメントペーストの分離により、骨材密度の大きい層ができポンプ能力をはるかに超える高摩擦領域を形成し、管内閉塞に至るという説²⁾であり、もう1つは、粗骨材から細骨材、さらにセメントへと粒径の大きい粒子から次々にかみあいを起こし（以下、このかみあいを起こす現象をアーチング現象と記す）、最終的に水が分離して管内閉塞に至るという説⁴⁾である。しかしながら、これらの説を裏付ける実験は現在までほとんど行われていない。

* 正会員 工修 西松建設

** 日曹マスタービルダーズ

*** 正会員 工博 東京大学教授 土木工学科

(〒113 文京区本郷7-3-1)

そこで、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、実験室実験の行えるような小型で簡単なコンクリートポンプ実験装置を用い、管内閉塞機構および管内閉塞を誘発する要因を明らかにし、さらに、管内閉塞を誘発する要因に着目してフレッシュコンクリートの変形性について述べたものである。すなわち、本研究は、シリーズⅠおよびⅡの実験より管内閉塞機構および管内閉塞を誘発する要因を明らかにし、シリーズⅢの実験よりフレッシュコンクリートの変形性を評価することを試みたのである。

2. 実験概要

(1) コンクリートポンプ実験装置

実験に用いたコンクリートポンプ実験装置を図-1に示した。このポンプ装置は、ピストンを駆動する油圧シリンダーを有し、そのストローク長さは1 mである。内径 $\phi 155$ mm、管長1 mの直管がその先端にあり、その中をピストンヘッドが動くようになっている。さらに、その先にテーパ管を有する管（以下、テーパ管と記す）が接続されている。テーパ管は図-2に示したように、内径 $\phi 155$ mmの直管部が40 cmあり、その後、 $\phi 155$ mmから $\phi 100$ mmに50 cmの間隔でテーパを有している。またこの管は、管内閉塞を起こした部分のコンクリートを乱さずに取り出して分析できるように、2分割のできる形状のものとし、さらに、管内閉塞を起こさせることを目的としたため、テーパの角度を大きくした。しかし、閉塞したコンクリートの状態は、通常のテーパ角度のものとは変わらないものと思われる。

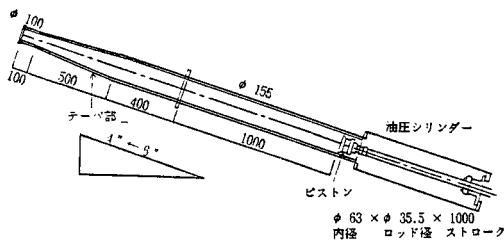


図-1 実験に用いたコンクリートポンプ実験装置

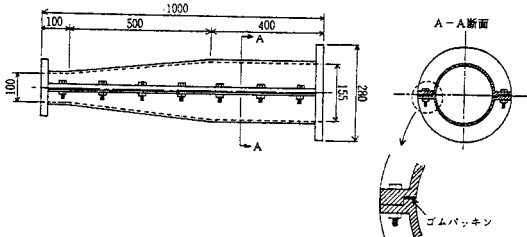


図-2 テーパ管の概要 (単位: mm)

(2) 実験内容

コンクリートのポンプ圧送は、次の手順に従って行った。

- 1) ピストンを最も引込めたところにセットしておき、 $\phi 155$ mmの直管を残してテーパ管をはずしておく。
- 2) $\phi 155$ mmの直管の先端まで直径9 cm円盤をつけた棒でコンクリートを押し込む。
- 3) テーパ管を取り付け、テーパに入る手前まで直径9 cmの円盤をつけた棒でコンクリートを押し込む。
- 4) ピストンを13 cm/sの速度で前進させ、コンクリートを圧送する。

ここで、コンクリートの管内閉塞は、

- 1) 圧送中にポンプ油圧が急変すること。圧送中は、通常ポンプ油圧が20~30 kg/cm²であるが、管内閉塞を起こした、場合急に150 kg/cm²以上になること
- 2) 管内のコンクリートにポンプの圧力(150 kg/cm²以上の圧力)が加わった状態で管内のコンクリートが完全に停止し、管の先端から分離した水がしみ出すこと

の2つをもって確認した。

さて、本実験では、管内閉塞機構および管内閉塞を誘発する要因を明らかにするために2シリーズ(シリーズⅠおよびシリーズⅡ)、およびフレッシュコンクリートの変形性を評価するために1シリーズ(シリーズⅢ)の合計3シリーズの実験を行った。それらの概要は以下に示すとおりである。

- シリーズⅠ…管内閉塞を起こしたコンクリートの状態を把握することを目的とし、閉塞を上記の2つの条件で確認した後、テーパ管を2分割し管内のコンクリートの目視観察、管内各部分における配合、骨材の粒度分布、粗骨材の分布状態および管内各部分のW/Cの変動を調べる。コンクリートは、使用した各配合につきそれぞれ3パッチ練り混ぜ、1パッチ目で目視観察および配合試験を行い、2パッチ目で強度試験用供試体を作成し、3パッチ目で単位容積質量を測定する。なお、各パッチごとにスランプおよび空気量を測定し、コンクリートにばらつきがないことを確認する。
- シリーズⅡ…管内閉塞を誘発する要因を明らかにすることを目的とし、上記1)の条件になったとき(以下、管内閉塞を起こした瞬間と記す)にピストンをバックさせてコンクリートにかかる圧力を0にした後、テーパ管を2分割して、管内のコンクリートの目視観察および管軸方向におけるW/Cの変動を調べる。

- ・シリーズⅢ…フレッシュコンクリートの変形性を評価することを目的し、管内閉塞を起こさないコンクリート（すなわち、ポンプ油圧が20~30 kg/cm²でほぼ一定圧力で圧送されたコンクリート）を用いて、圧送後テーパ管を2分割して、管軸方向における管内のコンクリート中の粗骨材の粒度分布を調べる。

シリーズⅠの実験に先立ち、コンクリートの配合を比較的精度よく求められる方法を検討した。コンクリートの配合を求めるには、水セメント比、砂セメント比、細骨材率および単位容積質量を求めればよい。そこで、本研究においては、図-3に示した配合分析方法を用いた。これは、W/CおよびS/Cを逆滴定法⁵⁾により求め、またs/aを洗い試験により求める方法である。さらに、単位容積質量は、管内閉塞を起こしたコンクリートをテーパ管から取り出さずに硬化させ、その後、配合分析を行った部分に対応する部分の空中重量および水中重量より求めた。この配合分析方法によるW/CおよびS/Cの分析精度は、W/Cが±2%程度、S/Cが±0.05程度である。

(3) 使用材料および実験に用いたコンクリートの示方配合

セメントは普通ポルトランドセメントを用い、細骨材は富士川産の川砂、粗骨材は富士川産および大井川産の川砂利を混合して用いた。それらの物理的性質を表-1に示した。混和剤は、AE減水剤標準形のものを用い、

練り混ぜ水は上水道水を用いた。コンクリートの練り混ぜは、4切の可傾式ミキサを用い、全材料投入後3分間練り混ぜた。実験に用いたコンクリートは、表-2に示した13種類である。配合1は、スランプ8cm、W/C=53.6%であり、閉塞しない配合である。配合2および配合3は、配合1を基本にs/aのみを変化させた配合であり、配合4および配合6は、単位セメント量が著しく少ない、いわゆる貧配合コンクリートである。さらに、配合5は、W/C=53.6%であるが、S/Cを小さくしてコンクリート中のモルタル部分の粘性を小さくした配合である。なお、配合2~配合6は、すべて閉塞した配合である。また、配合7および配合9は、単位水量が160 kg/m³および170 kg/m³における最適s/aとした配合である。ここに最適s/aとは、同一単位水量において、コンクリートがワーカブルであるときに、コンシステンシーを最大にするようなs/aと定義する。配

表-1 セメントおよび骨材の物理的性質

セメントの物理的性質

比重	初末度 (cd/g)	凝 結		安定性	フロー値 (mm)	曲げ強さ (kg/cd)			圧縮強さ (kg/cd)			
		水量 (%)	始発 (h-m)			終結 (h-m)	3日	7日	28日	3日	7日	28日
3.15	3300	28.0	2-40	3-45	良	250	36	52	70	148	247	420

細骨材の物理的性質

産地	比重	吸水率 (%)	粒 度 分 布 (残留%)						粗粒率
			5.0	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
富士川産川砂	2.62	2.08	0	7	38	63	82	97	2.87

粗骨材の物理的性質

産地	骨材の大きさ (mm)	比 重	吸水率 (%)	粒 度 分 布 (残留%)						粗粒率
				25	20	15	10	5	2.5	
富士川産川砂利A	15~5	2.65	1.31	0	0	0	27	95	100	6.22
大井川産川砂利B	25~10	2.65	0.64	0	20	54	100	100	100	7.20
混合砂利 A : B = 1 : 1	25~5	2.65	—	0	10	27	64	98	100	6.72

表-2 実験に用いたコンクリートの示方配合

配合	H.S. (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)			
						W	C	S	G
1	25	8±1	4±1	53.6	41	150	280	775	1127
2	25	—	4±1	53.6	36	150	280	680	1223
3	25	—	4±1	53.6	49	150	280	926	975
4	25	—	4±1	98.2	43	167	170	833	1116
5	25	—	4±1	53.6	36	185	308	685	1182
6	25	—	4±1	70	44	150	214	855	1101
7	25	12±1	4±1	53.6	42	160	299	776	1084
8	25	—	4±1	53.6	47	160	299	868	990
9	25	17±1	4±1	53.6	43	170	317	777	1041
10	25	—	4±1	53.6	48	170	317	867	950
11	25	—	4±1	53.6	53	170	317	957	859
12	25	—	4±1	53.6	58	170	317	1048	767
13	25	—	4±1	53.6	39	170	317	704	1114

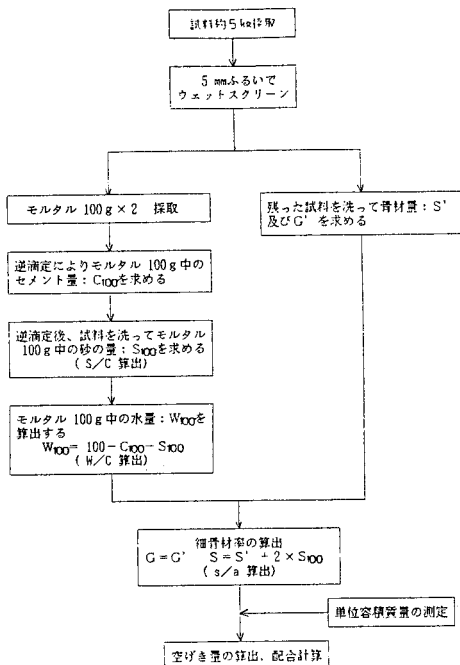


図-3 配合分析方法

合8は、配合7と同一単位水量で、また配合10～配合13は配合9と同一単位水量で、 s/a のみを変化させた配合である。

3. 管内閉塞機構

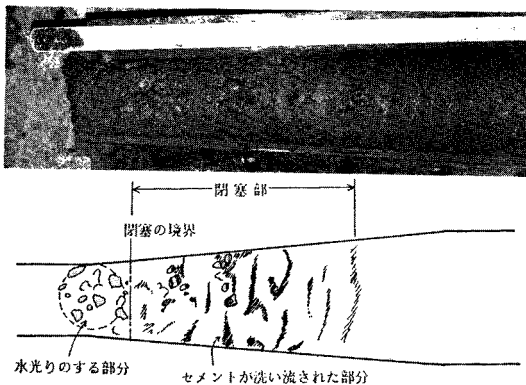
(1) 目的

前述のように、管内閉塞機構には2つの説があるがそれらの説を裏付ける実験がほとんど行われていない。そこで、シリーズⅠの実験を行い、管内閉塞したコンクリートの状態を把握し、さらにシリーズⅡの実験を行い、管内閉塞を誘発する要因を明らかにし、その結果を踏まえて、管内閉塞機構を考察することを目的とした。

(2) 管内閉塞を起こしたコンクリートの状態 (シリーズⅠ)

写真一1は、閉塞したコンクリートの状態である。これを見ると、水の移動により骨材周囲のセメントペーストが洗い流された部分（以下、閉塞部分と記す）と水光りする部分がありこれらには明確な境界（以下、閉塞の境界と記す）がみられる。また、閉塞した場合、管を2分割したとき、完全に分離したW/Cの大きなセメントペーストが特に閉塞部分から流れ出す現象がみられ、さらに管壁には水のみが付着しており、特に閉塞部分に当たる部分では付着している水の量もきわめて少なかった。しかし、閉塞しなかった配合1の場合、管壁にはモルタルおよびセメントペーストが付着していた。

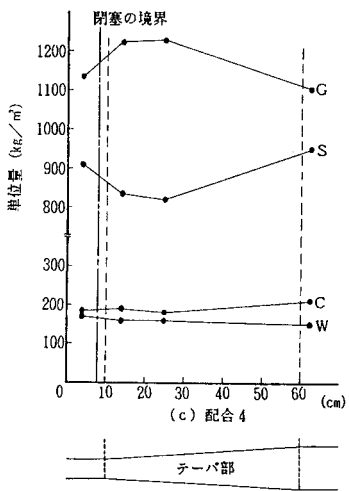
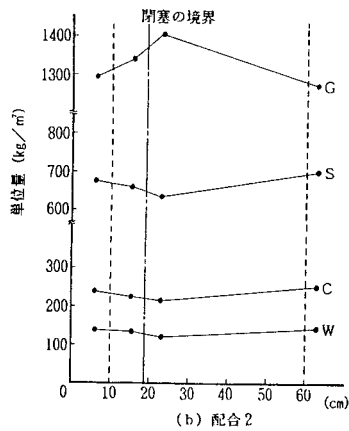
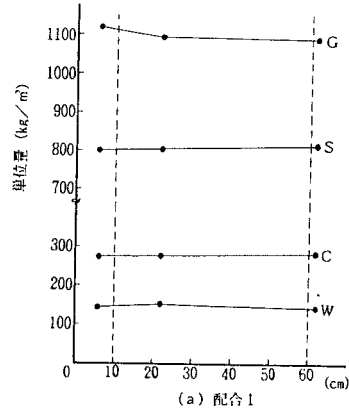
図一4には、配合1、配合2および配合4の管内各部における配合分析結果を示した。閉塞しなかった配合1の場合、管軸方向の各単位量はほぼ均一であるといえる。一方、閉塞した配合2および配合4の場合、閉塞部分で粗骨材量が多く細骨材量が少ないという傾向がみられ、また管内各部における水量およびセメント量は、示方配合におけるそれらよりも小さな値となっている。これは、前述したように、閉塞したことによってW/Cの大きなセメントペーストの一部が分離したためと考えられ



写真一1 管内閉塞を起こしたコンクリート

る。また配合3および配合5の場合も、配合2および配合4の場合と同様な傾向がみられた。

次に、配合分析を行った各部分における骨材の粒度分布を検討するために、骨材のふるい分け試験を行った。その結果、粗骨材の粒度分布にはばらつきがみられたが



図一4 管内各部における配合分析結果

すべての配合において、細骨材の粒度分布には乱れはみられなかった。このことより、ポンプ圧送時にアーチング現象を生じるのは粗骨材のみであり、細骨材は単に粗骨材間を埋めているにすぎないものと考えられる。そこでアーチング現象を生じる粗骨材の粒径について検討を行った。図-5は、配合1、配合2および配合4の場合の管軸方向における粗骨材の各粒径ごとの分布状況を示した。図-5の縦軸は、粗骨材量 (G) に対する各粒径ごとの粗骨材量 (G') の重量百分率である。閉塞しなかった配合1の場合、管軸方向における粗骨材の各粒径の分布はほぼ均一であることがわかる。一方、閉塞した配合2の場合、閉塞部分では15 mm以上の粗骨材が多く、15 mm以下の粗骨材が少なくなっている。また、配合3の場合もこれと同様の傾向であった。すなわち、配合2および配合3の場合、15 mm以上の粗骨材でアーチング現象を生じているものと思われる。ところが、配合4の場合、閉塞したにもかかわらず、管軸方向における

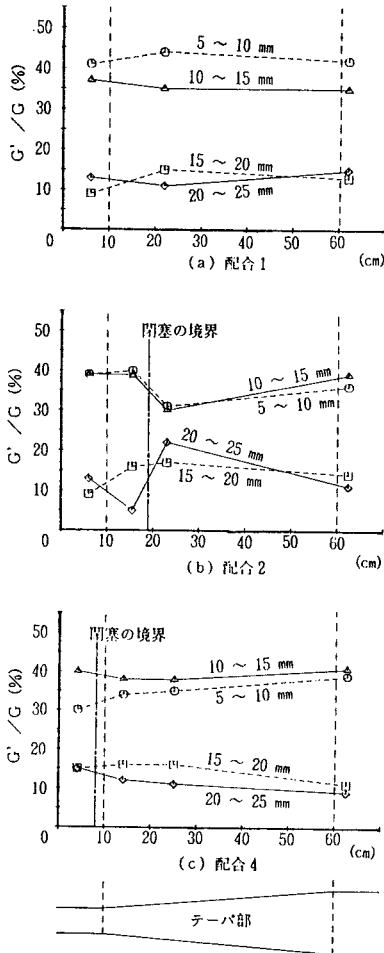


図-5 管軸方向における粗骨材の各粒径の分布

粗骨材の各粒径の分布には、ほとんど乱れが生じていない。また配合5の場合もこれと同様の傾向であった。配合4は貧配合のコンクリートであり、また配合5はS/Cを小さくした配合であり、いずれの配合もコンクリート中のモルタルの粘性が低いため、モルタルと粗骨材が十分に一体化できず粗骨材すべてにわたってアーチング現象を生じたためと考えられる。

最後に、逆滴定法によって得られた各部分におけるW/Cの変動を圧縮強度試験により確認した。図-6には、配合1、配合2および配合4の各部分のW/Cおよび圧縮強度を示した。ここで、供試体は、水光りしていた部分、閉塞部分および $\phi 155$ mmの直管部分から試料を採取し作製した。供試体の寸法は $\phi 10 \times 20$ cm、各1本ずつとした。その後材令28日まで 20 ± 1 °Cの水

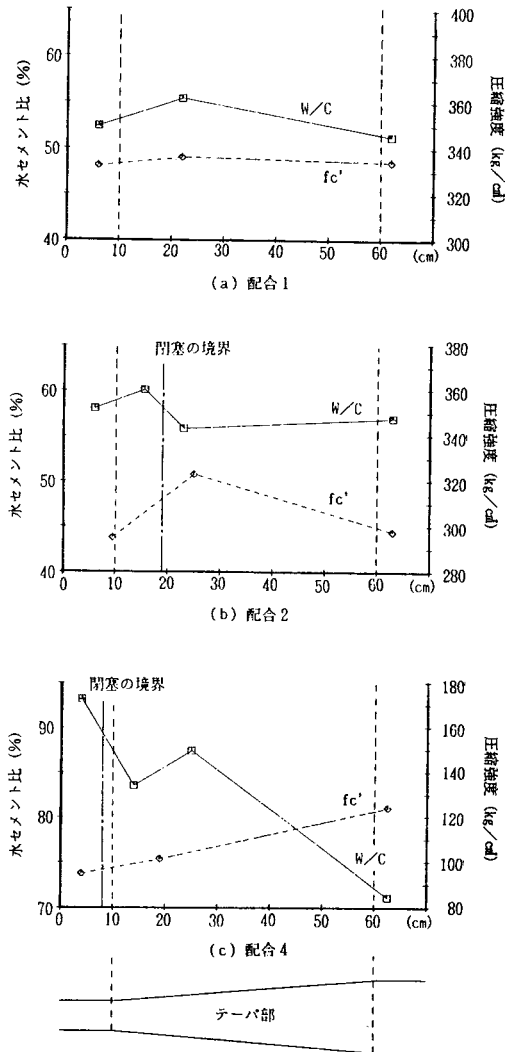


図-6 管内各部分におけるW/Cおよび圧縮強度

中にて養生し圧縮強度を試験した。閉塞しなかった配合 1 の場合、管内のコンクリートの W/C の変動はないが、閉塞した配合 2 および配合 4 の場合、管軸方向における管内のコンクリートの W/C は変動していることがわかる。また、配合 3 および配合 5 の場合も、配合 4 の場合と同様の傾向であった。さらに、管軸方向における管内のコンクリートの W/C の変動には、図-6 (b) および (c) に示した 2 つの傾向があった。これは、加圧ブリージング試験によって評価される各コンクリートの有する脱水性状の差によるもの⁶⁾と考えられる。すなわち、加圧ブリージング試験において、最大寸法の大きい粗骨材を用いた場合や粗骨材量の多いコンクリートを用いた場合には、試験容器内で粗骨材のかみあい⁶⁾が起き、十分な脱水ができないといわれている⁶⁾が、配合 2 の場合がこれに相当し、閉塞部分から直管部分まで、水の移動があまり起こらず W/C にも変化がなかったものと考えられる。

(3) 管内閉塞を誘発する要因 (シリーズ II)

閉塞した瞬間にコンクリートにかかる圧力を 0 にした場合、管内のコンクリートは、写真-2 に示したように観察した限りでは均一であった。また、管を 2 分割したときに分離したセメントペーストが流れ出す現象はみられず、管壁には閉塞しなかった配合 1 の場合と同様に、モルタルあるいはセメントペーストが付着していた。

次に、管内各部のコンクリートの圧縮強度より、閉塞した瞬間の管軸方向における W/C の変動を調べた。供試体は閉塞部分等が明確でないため、シリーズ I で閉塞した場合に試料を採取した部分に対応させて作製した。供試体は、 $\phi 10 \times 20$ cm, 各 1 本ずつとした。その後、材令 28 日まで 20 ± 1 °C の水中にて養生し圧縮強度を試験した。その結果閉塞の境界より前の部分、閉塞部分および $\phi 155$ mm の直管部分における圧縮強度は、配合 3 の場合、それぞれ 324 kg/cm^2 、 320 kg/cm^2 および 312 kg/cm^2 であり、配合 6 の場合、それぞれ 168 kg/cm^2 、 176 kg/cm^2 および 172 kg/cm^2 であった。すなわち、閉塞した瞬間の管軸方向における管内のコンクリートの W/C には変動がないといえる。

以上のことから、閉塞した瞬間には、水あるいはセメ



写真-2 管内閉塞を起こした瞬間のコンクリート

ントペーストの分離は生じておらず、コンクリート中のモルタルの品質は均一であると考えられる。したがって管内閉塞を誘発する要因は、粗骨材のアーチング現象であり、水あるいはセメントペーストの分離は、その後発生するものと判断できる。

(4) 管内閉塞機構

(2) および (3) の結果および考察から、テーパ管における場合のように各粒子間に相対移動が生じる場合のコンクリートの管内閉塞機構は、次のように結論づけられる。

まず、(1) 粗骨材間にアーチング現象が生じ始め、粗骨材密度のやや大きい層を形成する。この時点では、管内各部においてコンクリート中のモルタルの品質には変化がみられない (シリーズ II の実験結果より)。(2) その後、水あるいは W/C の大きいセメントペーストが骨材間を抜けて管内圧力の低い方に流れ出す。(3) そして、最終的に W/C の小さな粗骨材密度の大きい閉塞部分を形成する。

ところで、(1) で述べた粗骨材のアーチング現象が起こる機構には、次の 2 つが考えられる。1 つは、単位水量の一部が細骨材およびセメントによって保持され、セメント、細骨材および粗骨材の各粒子の摩擦を取り除くのに必要な水量が不足し、各粒子が摩擦流動の状態になるため粗骨材間のスムーズな相対移動ができずアーチング現象に至るもので、配合 3 の場合に相当する。もう 1 つは粗骨材を運ぶのに有効に働くモルタルが不足しているため、粗骨材が取り残されるかたちとなってアーチング現象に至るもので、配合 2、配合 4 および配合 5 の場合に相当する。また、配合 4 および配合 5 の場合のように、コンクリート中のモルタルの粘性が低く粗骨材とモルタルが十分に一体化できないという状態は次のように説明できる。すなわち、各粒子間の摩擦を取り除くための水量が過剰に存在し、粗骨材とそれを運ぶのに有効に働くモルタルとの一体化が水の層によって妨げられている状態であると考えられる。

以上の結果および考察から、コンクリートの管内閉塞は (1) の状態で管内閉塞が開始し、(2) の状態で完全に管内閉塞は終了し、水あるいはセメントペーストの分離は 2 次的に発生すること、およびコンクリートの管内閉塞を誘発する要因である粗骨材のアーチング現象を生じる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が明らかとなったといえよう。

4. フレッシュコンクリートの変形性

(1) 目的

コンクリートの管内閉塞を誘発する要因が粗骨材のアーチング現象であることより、たとえ圧送可能なコン

クリートであっても変形性のよくな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、粗骨材の各粒径の分布の乱れの程度によりフレッシュコンクリートの変形性を評価することを目的とした。また実験に用いたコンクリートの各配合の位置関係を図—8に配合No.で示した。

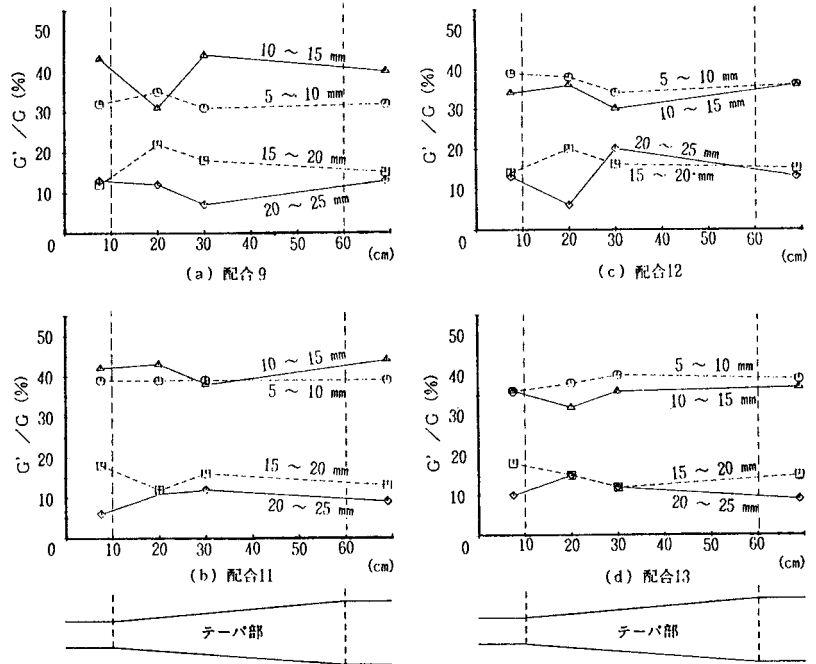
(2) フレッシュコンクリートの変形性(シリーズⅢ)

図—7に、配合9、配合11、配合12および配合13の場合の管軸方向における粗骨材の各粒径ごとの分布性状を示した。配合9の場合、最適 s/a にもかかわらず粗骨材の分布にかなり乱れがみられる。また、配合10の場合もこれと同様な傾向が同程度みられた。配合11の場合、粗骨材の各粒径の分布に多少の乱れはあるもののほぼ均一に近い状態である。また、配合12の場合、図—5 (b) に示した閉塞した配合2の場合と同様な傾向を示しており閉塞する可能性が非常に高いことがわかる。ところが、配合13の場合、配合11の場合と同様に粗骨材の各粒径の分布に乱れが少なくほぼ均一に近い状態である。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、3.(2)で述べたように、図—5 (c) に示した配合4と同様にコンクリート中のモルタルの粘性が低いために粗骨材とモルタルが十分に一体化できず生じたものと考えられる。

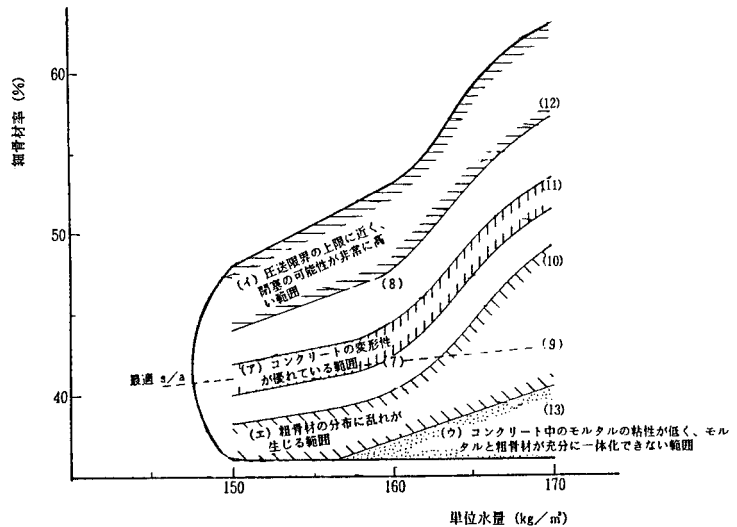
以上の結果と、配合7および配合8の結果および図—5 (a) の場合を考え合わせ、本実験条件、すなわち川砂、川砂利 (M.S. 25 mm) および普通ポルトランドセメントを使用し、 $W/C = 53.6\%$

のコンクリートにおける本テーバ管を圧送するのに可能な範囲を、以下の4つの範囲に区分して示したものが図—8である。

- (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、管内閉塞を起こす可能性が高い範囲
- (ウ) コンクリート中のモルタル部分の S/C が小さい範囲



図—7 管軸方向における粗骨材の各粒径の分布



図—8 フレッシュコンクリートの変形性 ($W/C = 53.6\%$ 、川砂・川砂利・普通セメント使用)

いため、モルタルの粘性が低く、モルタルと粗骨材が十分に一体化できない範囲

(エ) (ア) より s/a の小さい範囲で、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範囲
ただし、図-8中の圧送限界曲線は、あらかじめさまざまな配合のコンクリートを用いて圧送可能か否かを調べて決定したものがある。

図-8より、今回用いた実験条件において、コンクリートの変形性が優れている範囲は、単位水量が150~160 kg/m³程度、すなわち、スランプ8 cmから13 cm程度では、最適 s/a 付近であり、単位水量が160 kg/m³を超える場合、すなわちスランプ13 cmを超える場合、最適 s/a よりかなり高い s/a となる。このことは、次のように説明することができる。すなわち、一般に、単位水量が増加するのに伴ってコンクリートの降伏値も減少しせん断変形をしやすくなるが、せん断変形のしやすさ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が考えられる。本実験では、この材料分離を起こす境界が単位水量で160 kg/m³付近にあり、これを越えたために s/a が増加したものと考えられる。

さらに、単位水量が150 kg/m³を下回る場合、すなわちスランプ8 cmを下回る場合、コンクリートの圧送性が頭打ちになっている。これは、コンクリートがこのテーパー管内で閉塞を起こさないために必要な単位水量の最小値、すなわちスランプ5 cm程度であると考えられるが、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関して、より詳細な研究が必要である。

5. 結 論

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コンクリートの変形性に着目し、管内閉塞機構および管内閉塞を誘発する要因を明らかにしさらに管内閉塞を誘発する要因に着目してフレッシュコンクリートの変形性について述べたものである。以下、本研究において明らかになったことの要点を述べる。

(1) 管内閉塞を起こした瞬間のコンクリートを分析した結果、コンクリート中のモルタルの品質に、差は認められなかった。このことにより、コンクリートの管内閉塞を誘発する要因は、水あるいはセメントペーストの分離ではなく粗骨材のアーチング現象であることが明らかとなった。また、管内閉塞を起こしたコンクリートの分析結果を考え合わせた結果、テーパー管における場合のように各粒子間に相対移動が生じる場合の管内閉塞機構は、以下のとおりであると判断された。

(1) 粗骨材間の距離がしだいに小さくなり、アーチ

ング現象を起こし粗骨材密度のやや大きい層を形成する。

(2) 水あるいは W/C の大きいセメントペーストが骨材間を抜けて流れ出す。

(3) W/C が小さく、粗骨材の密度が大きい閉塞部分を形成する。

(2) コンクリートの管内閉塞を誘発する要因が粗骨材のアーチング現象であることより、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いて、フレッシュコンクリートの変形性を調べた。その結果、変形性に優れている範囲は、スランプ8 cmから13 cm程度の場合、最適 s/a 付近であったが、スランプ13 cm程度を超える場合、最適 s/a 付近では、圧送中のコンクリートのせん断変形のしやすさが、材料分離を防ごうとする粘性の限界を上回ってしまうため、最適 s/a よりかなり高い s/a となることが認められた。さらに、 $W/C=53.6\%$ でも、モルタル部分の S/C が2.3程度以下になると、粗骨材の挙動および管内閉塞機構は、貧配合コンクリートと同様となる。

今後、ポンプ圧送時におけるフレッシュコンクリートの挙動をより詳細にとらえるため、ピストンスピードを変化させた場合、管径と粗骨材の最大寸法の比を変化させた場合、骨材の種類を変えた場合および流動化コンクリートを使用した場合に関する研究、ならびにコンクリートのせん断変形のしやすさに有効に働く水量および粗骨材間の距離を保つのに有効に働くモルタルに関する研究等が重要であると思われる。

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会：コンクリートポンプ工法施工指針案同解説，昭和54年度版。
- 2) Brown, R.D. and Barforth, P.B. : Test to Establish Concrete Pumpability, Journal of A.C.I., May 1977.
- 3) 田沢・山本・坂本：特殊コンクリートの圧送性と品質に関する研究，大成建設技術研究所報，第12号1980-12.
- 4) 田沢：ポンプ圧送技術の現状と問題点，コンクリート工学，Vol.21, No.11, Nov.1983.
- 5) 笠井・松井：まだ固まらないコンクリートの単位セメント量の判定試験方法（逆滴定法），コンクリート品質の早期判定に関するシンポジウム発表論文集，日本コンクリート工学協会，昭54.2.
- 6) 田沢・山本・坂本・早川：SECコンクリートにおけるポンプ圧送性の評価方法，フレッシュコンクリートの物性値の測定ならびに挙動に関するシンポジウム論文集，土木学会，昭58.3.

(1984.4.5・受付)