

[82] ポンプ圧送時のコンクリートの変形性に関する基礎的研究

正会員○大西 精治 (東京大学大学院)

正会員 橋本 親典 (東京大学大学院)

原田 健二 (日曹マスタービルダーズ)

1. はじめに

コンクリートポンプ工法は、工期の短縮・省力化等に多大な効果をもたらし、今やコンクリートの施工には欠くことのできない存在となっている。しかし、コンクリートのポンプ圧送性を重視するあまり、単位水量や単位セメント量を増すなどして、コンクリートの耐久性に悪影響を及ぼしていると思われる。

本研究は、コンクリートのポンプ圧送性のなかで最も重要であると思われる変形性(管内閉塞を起こさないための性質)に着目し、

- 1) コンクリートの変形性を定量的に表すことのできる試験方法を提案し、その妥当性を確認する。
- 2) コンクリートをモデル化し、変形性の支配的要因および閉塞条件を明らかにする。

という2点について述べたものである。

2. 変形性試験方法

本試験は、コンクリートをポンプ圧送中に変形させるために、テーバ管を用いて、実験室的規模のポンプ圧送を行い、ポンプの油圧を経時的に測定することによってコンクリートの変形性を定量化しようとするものである。

試験装置は、図-1に示す通りであり、テーバ管は取りはずしが可能である。また、ピストンスピードは 1.25 cm/s (圧送量: $0.85 \text{ m}^3/\text{h}$)

と実際のポンプに比べ約 $1/100$ 程度であるが、これは、コンクリートを低速圧送することで、経時的なポンプ油圧を詳細に測定することを目指したためである。

試験は、ピストンと管壁との摩擦およびコンクリートの自重による影響を排除するために、試験Aと試験Bとで行う。まず試験Aでは、テーバ管を取りはずした状態で直管にコンクリートを詰め圧送し、ポンプ油圧 (P_a とする) を経時的に測定する。次に試験Bでは、テーバ管を取り付け、テーバ管の先端までコンクリートを詰めた後圧送し、ポンプ油圧 (P_b) を経時的に測定する。なお、各試験ごとに管壁を水洗し、モルタルを付着させた後コンクリートを詰める。両試験終了後、 P_b と P_a との差を求め、テーバ部のみのポンプ油圧を経時的に求める。次に、ポンプ油圧の安定しにくい前後10秒間を除いて、10秒後から70秒後のポンプ油圧 ($P_b - P_a$) の平均値を求め、平均ポンプ油圧とする。また、同区間のポンプ油圧の変動係数も求める。

3. 実験の概要

3-1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント、骨材は川砂、川砂利および碎石、混和剤はA E減水剤標準形を用いた。なお、骨材の物理的性質は表-1に示す通りである。

3-2 実験方法

実験は次に示す2シリーズについて行った。

シリーズI: 変形性試験の妥当性を確認するために、スランプおよび細骨材率がコンクリートの変形性に及ぼす影響について試験する。

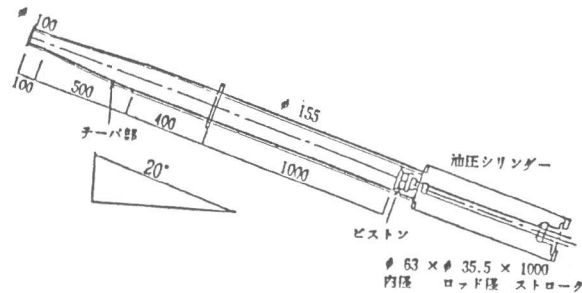


図-1 試験装置

表-1 骨材の物理的性質

産地・種類	M.S.	比重	粗粒率
富士川産川砂	—	2.62	2.76
富士川産川砂利	25	2.62	7.04
富士川産川砂利	15	2.62	6.46
青梅産硬質砂岩碎石	25	2.62	6.97
青梅産硬質砂岩碎石	15	2.62	6.36
富士川産川砂利	40	2.62	7.43

シリーズII：コンクリートを粗骨材（G）とモルタル（M）とから成る2相材料であるとモデル化し、モルタルの性質（W/C、S/C）を一定とすることで、粗骨材の種類と両相の量的関係（G/M：体積比）がコンクリートの変形性に及ぼす影響について試験する。

4. 実験結果および考察

4-1 シリーズIの実験結果および考察

従来より、スランブ

表-2 シリーズIに用いたコンクリートの示方配合および試験結果

が大きい程、また細骨材率が大きい程ポンプ圧送性、特に変形性が優れていることはよく知られている。そこでシリーズIでは、表-2に示す6種類の配合のコンクリートを用い

配合 No.	M.S.	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	W/C (%)	S/A (%)	G/M (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	練り上がり温度 (°C)	平均ポンプ油圧 (kg/cm ²)	変動係数 (%)
1	25	8±1	4±1	50	42	56.5	7.7	4.3	19.5	閉塞	閉塞
2					45	62.6	7.5	4.3	19.5	1.56	11.6
3					48	69.5	7.6	4.2	19.5	1.39	8.2
4	25	12±1	4±1	50	43	52.9	11.5	4.1	20.0	1.35	8.3
5					46	58.6	12.6	3.9	19.5	1.25	6.5
6					49	65.0	11.9	3.8	20.0	1.21	6.3

て変形性試験を行い、変形性試験の妥当性を確認することを目的とした。配合1~3はスランブ 8±1 cm、配合4~6はスランブ 12±1 cmであり、それぞれ細骨材率を最適S/Aを中心に上下3%ずつ振ってある。

試験の結果は図-2および図-3に示す通りである。閉塞したのは配合1のコンクリートのみであった。閉塞しないコンクリートのポンプ油圧は時間によらずほぼ一定値をとっており、平均ポンプ油圧を求めることでコンクリートの変形性を定量的に表すことが可能である。

平均ポンプ油圧を見ると、それぞれのスランブにおいてS/Aの増加とともに平均ポンプ油圧が低下している。これは、S/Aの増加が変形性を良くすることを示している。また、配合2と配合5を比較すれば、スランブが大きい程平均ポンプ油圧が小さく、変形性が良い。

以上のことから、本研究で提案する変形性試験は、コンクリートの変形性を定量的に表すことが可能であり、従来より知られているスランブと細骨材率がコンクリートの変形性に及ぼす影響を確認することができる。

4-2 シリーズIIの実験結果および考察

シリーズIIでは、モルタルの性質を一定（W/C=50、S/C=2.7）とし、粗骨

材として、M.S.=25の川砂利（以下、川-25と表す）、川-15、砕-25、砕-15、川-40の5種類を用いた。なお、それぞれの粗骨材につき、G/Mを3~5種類に変化させた。変形性試験結果は図-4、図-5に示し、実験に用いたコンクリートの配合および物理試験結果は表-3に示す通りである。

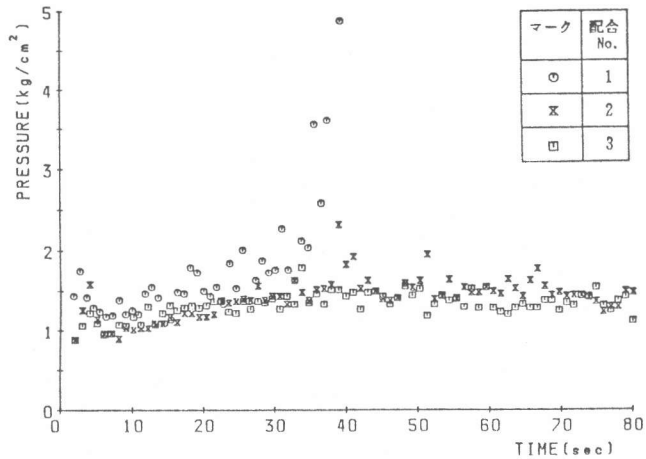


図-2 シリーズIの試験結果（スランブ：8±1 cm）

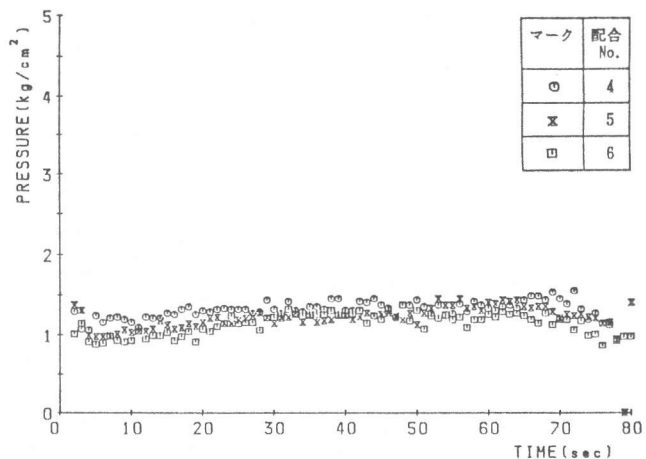


図-3 シリーズIの試験結果（スランブ：12±1 cm）

図-4は、変形性試験結果の一例(川-25)である。配合12と配合13は非常に変形性がよく、配合15は平均ポンプ油圧も1.95と大きく、またポンプ油圧の変動係数も9.8%と大きいことから、変形性が悪いと言える。

図-5からは以下の3つのことがわかる。

1) モルタルの性質が一定の場合、粗骨材の種類によらずG/Mの増加と共にコンクリートの変形性は悪くなり、それぞれの粗骨材により定まる、あるG/M(安定圧送限界、以下限界G/Mと表す)が存在して、G/Mが限界G/Mを越えると、急激に変形性が悪くなって閉塞に至る。

2) 同一G/Mでは砕-15、川-15、砕-25、川-25、川-40の順に変形性が悪く、限界G/Mは、それぞれ、45%、50%、55%、60%、70%であり、また、コンクリートが閉塞に至る最小のG/M(以下閉塞G/Mと表す)もこの順に小さい。

3) G/Mが約40%以下では、平均ポンプ油圧に大きな差はない。

上記の3点につき、先述したコンクリートのモデル(モルタルと粗骨材とから成る2相材料)を用いて考察する。本実験では、モルタルの性質は一定にしてあるから、粗骨材の種類と両相の量的関係(G/M)だけに着目すればよい。

1) について、

粉体工学的な考え方によれば、粉体-水系は含有する水の多寡によってその力学的挙動は大幅に変動する。言い換えれば、粉体に徐々に水を加えていくと、最初はパサパサで、次にネバネバとなり、さらにドロドロとなって、最後にサラサラになる。この現象は、粉体-水系の充填性と密接な関係があり、充填構造の違いから、Pendular, Funicular, Capillary, Slurryの4つの状態に分けられる。

この考え方をコンクリートに適用、つまり、粗骨材を粉体に、水をモルタルに置き換えると、限界G/Mの存在現象を次のように説明することができる。たとえば、川-25を例にとれば、G/Mが無限大の時は全くの粉体状態であり、G/Mが減少するに従って、Pendular状態、Funicular状態となり、G/Mが60%より小さくなるとSlurry状態になると考えられる。すなわち、コンクリートの変形性は、G/Mと密接な関係があり、ある粗骨材量に対して、ポンプ用コンクリートが適度の変形性を維持するために必要不可欠な最小限のモルタル量、(以下必要最小モルタル量と表す)が存在するものと思われる。

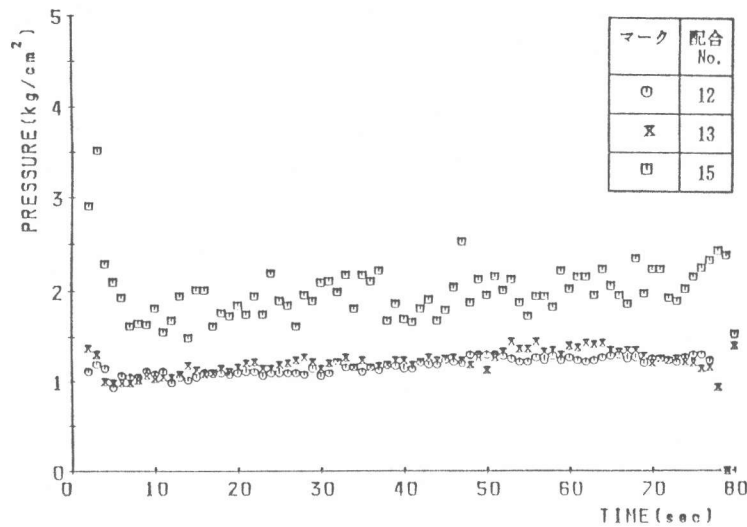


図-4 シリーズIIの試験結果

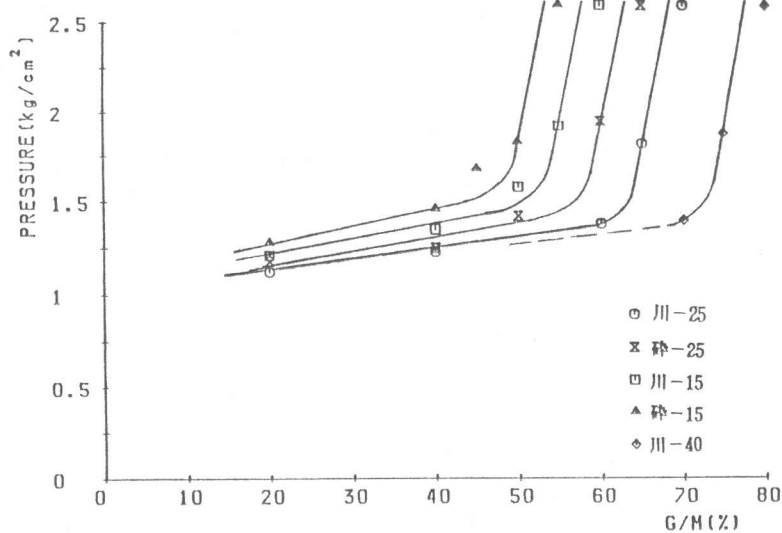


図-5 粗骨材の種類および量とコンクリートの変形性との関係

2) について、

1) より、ある粗骨材量に対して、コンクリートが適度な変形性を有するためのある一定量のモルタルが必要であることがわかる。ところが、粗骨材の種類によって、必要最小モルタル量が異なることから、粗骨材の量の指標としては、体積ではなく、表面積を用いることが適当であると思われる。なぜなら表面積は、粗骨材の粒度、粒径および量などを含んだ値であると考えられるからである。

そこで、本実験に用いた粗骨材の表面積を比較すると単位体積当たりの表面積（以下、比表面積）は砕-15、川-15、砕-25、川-25、川-40の順に大き

いと考えられ、この順に必要最小モルタル量が減少するものと思われる。

3) について、

1) で述べたように、Slurry状態になれば、自由水（コンクリートでは自由モルタル）が連続であり、 $G/M = 40\%$ 以下では、どの粗骨材のコンクリートもSlurry状態であると考えられ、平均ポンプ油圧に大差がなくなったものと思われる。

5. おわりに

本研究により明らかになったことは、以下の3点である。

- 1) 本研究で提案した変形性試験により、コンクリートの変形性を定量的に表すことが可能である。
- 2) G/M の増加とともにコンクリートの変形性は徐々に悪くなり、限界 G/M を越えると急激に悪くなる。
- 3) 粗骨材の種類（比表面積）により、限界 G/M は異なり比表面積が大きい程必要最小モルタル量も大きい。

今後、以下の4点の研究が望まれる。

- 1) ピストン速度がコンクリートの変形性に及ぼす影響
- 2) モルタルの性質がコンクリートの変形性に及ぼす影響
- 3) 限界 G/M 近傍のコンクリートの変形時におけるモルタルと粗骨材の挙動の解明
- 4) 管径、管の種類（水平管、垂直管、ベント管、テーパ管）とコンクリートの変形性との関係

最後ではありますが、終始貴重な御指導をしてくださった東京大学工学部 岡村 甫教授に心から感謝致します。

表-3 シリーズIIに用いたコンクリートの示方配合および試験結果

配合 No.	M.S.	粗骨材の種類	G/M (%)	W/C (%)	S/C	S/A (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	練り上がり温度 (℃)	平均ポンプ油圧 (kg/cm ²)	変動係数 (%)
7	25	川砂利	20	50	2.5	72.1	22.6	4.9	19.5	1.12	3.7
8			40			56.5	18.5	3.8	20.0	1.23	3.4
9			60			46.4	8.6	2.8	20.0	1.38	8.9
10			65			44.4	8.6	2.5	19.5	1.82	8.9
11			70			42.6	7.7	2.0	20.5	閉塞	閉塞
12		砕石	20	50	2.5	72.1	21.3	4.6	19.5	1.18	6.5
13			40			56.5	17.3	3.2	19.5	1.25	6.5
14			50			51.0	15.0	3.2	20.0	1.42	7.2
15			60			46.4	7.6	2.8	19.5	1.95	9.8
16			65			44.4	5.0	1.8	20.0	閉塞	閉塞
17	15	川砂利	20	50	2.5	72.1	22.5	4.9	20.0	1.21	3.9
18			40			56.5	15.3	4.2	20.0	1.35	4.4
19			50			51.0	8.4	3.8	20.5	1.58	8.5
20			55			48.5	8.9	3.2	20.0	1.92	10.3
21			60			46.4	6.1	3.0	20.5	閉塞	閉塞
22		砕石	20	50	2.5	72.1	21.4	4.6	20.5	1.28	5.2
23			40			56.5	12.0	3.8	20.5	1.46	6.5
24			45			53.6	10.0	3.2	19.5	1.68	10.7
25			50			51.0	8.4	3.0	20.0	1.83	10.2
26			55			48.5	4.4	2.8	20.0	閉塞	閉塞
27	40	川砂利	65	50	2.5	44.4	10.4	2.3	20.5	1.40	9.8
28			70			42.6	6.9	2.0	20.5	1.88	10.9
29			75			40.9	4.1	1.8	20.0	閉塞	閉塞