

# 論文 ポンプ圧送によるフレッシュコンクリートの性状変化に関する研究

芦澤 良一\*1・坂井 吾郎\*2・坂田 昇\*3・新藤 竹文\*4

**要旨**：本報では、ポンプ圧送におけるコンクリートのフレッシュ性状変化、特に圧送後のスランプの増大に関して検討するため、水平換算距離 453m のポンプ圧送実験および室内の練混ぜ試験を実施した。その結果、圧送後におけるスランプの増減は圧送前のスランプの大きさに影響すること、圧送後のスランプの増大は圧送時に作用するせん断力に起因している可能性があること、また、圧送後のスランプが低下した場合においても振動に対する変形性はほとんど変化しないことが確認された。

**キーワード**：ポンプ圧送, せん断力, フレッシュ性状, スランプ, スランプフロー, 粘性

## 1. はじめに

コンクリートのポンプ圧送においてフレッシュ性状が変化することは一般的に知られており、多くの場合に圧送後のスランプが低下することが報告されている<sup>1) 2)</sup>。しかしながら、場合によってはポンプ圧送に伴いスランプ（スランプフロー）が増大することもあり<sup>3) 4)</sup>、特に、最近、適用が増加している高性能 AE 減水剤（以下、SP と表わす。）を使用したコンクリートでは、AE 減水剤を使用したコンクリートよりもその傾向が顕著である。また、スランプのみならず振動に対する動き易さやコンクリートの粘性が大きく変化する事例も報告されている<sup>5)</sup>。

近年、高品質かつ高耐久なコンクリート構造物を構築する上で構造物の構造・施工条件に対するフレッシュコンクリートの施工性能照査が重要視されている<sup>6)</sup>。こうした状況において、配管筒先でのフレッシュ性状の変化を把握することは不可欠であり、ポンプ圧送に伴うフレッシュ性状変化の機構解明に関する検討が必要であると考えられる。

圧送後のスランプが低下する現象についてはこれまでに多くの研究がなされており、加圧、加圧による脱水や微粒分の凝集<sup>2)</sup>、時間経過によ

る水和の進行などが主たる原因であると考えられているが、スランプが増大する現象についてはその機構が明確になっていない。

本報では、SP を使用したコンクリートを対象に、ポンプ圧送実験により圧送前後のスランプおよび振動に対する変形性について検討するとともに、室内の練混ぜ試験結果に基づきスランプ増大の原因を考察した結果について述べる。

## 2. ポンプ圧送に伴うフレッシュ性状の変化

### 2.1 実験概要

圧送後のフレッシュコンクリートの性状変化について検討するため、実施工を模したポンプ圧送実験を行った。

使用材料およびコンクリート配合を、それぞれ表-1 および表-2 に示す。本実験では、橋梁上部工の施工を想定し、SP を使用してレディーミクストコンクリート工場（以下、レミコン工場と表わす。）にて製造された 40-15-20H のコンクリートを用いた。

配管状況を図-1 に示す。配管実長は水平部で 75m、垂直部で 80m であり、水平換算距離にして 453m とした。ポンプ車はピストン式の配管車（最大吐出量；68m<sup>3</sup>/hr，最大理論吐出圧力；

\*1 鹿島建設（株） 技術研究所 土木構造・材料グループ 研究員 工修（正会員）

\*2 鹿島建設（株） 技術研究所 土木構造・材料グループ 主任研究員（正会員）

\*3 鹿島建設（株） 技術研究所 土木構造・材料グループ チーフ兼上席研究員 博(工)（正会員）

\*4 大成建設（株） 技術センター 土木技術研究所 チームリーダー兼主席研究員 博(工)（正会員）

表-1 使用材料

項目	記号	材料	摘要
水	W	上水道水	—
セメント	C	早強ポルトランドセメント	密度:3.13(g/cm <sup>3</sup> )
細骨材	S	砕砂	表乾密度:2.62(g/cm <sup>3</sup> ), F.M.:2.86, 吸水率:1.58(%)
粗骨材	G	砕石	表乾密度:2.66(g/cm <sup>3</sup> ), 実積率:61.0(%), 吸水率:0.87(%)
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系, 標準形

表-2 配合

W/C (%)	s/a (%)	単体量(kg/m <sup>3</sup> )				SP (C×%)
		W	C	S	G	
41.5	45	161	388	791	983	0.8

21.56MPa, 最大油圧; 24.5MPa) を使用し, 配管は 5B 管とした。圧送速度は 17m<sup>3</sup>/hr とした。実験当日の外気温は 20℃前後であった。また, 荷降り時のコンクリート温度は概ね 21~23℃の範囲にあり, 圧送後では 3℃程度上昇した。

試験は, 出荷 (レミコン工場), 荷降り (圧送前) および筒先 (圧送後) の各段階でスランプおよび空気量の測定を行った。ここで, 各段階の試験は, 同一バッチのコンクリートに対して実施した。また, 振動に対する変形性を確認するため, スランプ試験終了後, 突き棒を 25cm の高さからスランプ板の四隅に順番に落下させて振動を加えるタンピング試験を実施した。突き棒の落下回数は 80 回とし, 20 回ごとにスランプフローを測定した。

## 2.2 実験結果および考察

### (1) スランプの変化

図-2 および図-3 に各段階におけるスランプおよび空気量の測定結果を示す。ここで, 出荷から荷降りまでの時間経過は 30~60 分程度, 荷降りから筒先までは 20~50 分程度であり, 出荷から筒先までにおける経過時間は最大で 101 分であった。出荷時のスランプは概ね 11~15cm の範囲にあり, 同一配合のコンクリートを同一条件で練混ぜているにも関わらず, ばらつきが大きい結果となった。これは, コンクリート製造時において表面水率の変動に伴い, 実質の単位水量が変動したためと考えられる。出荷から荷降りまでの運搬におけるスランプの変化は, 出

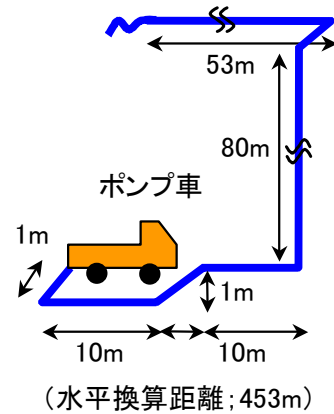


図-1 配管状況

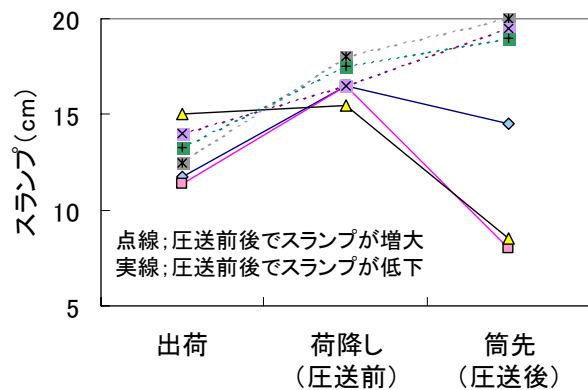


図-2 各段階のスランプ

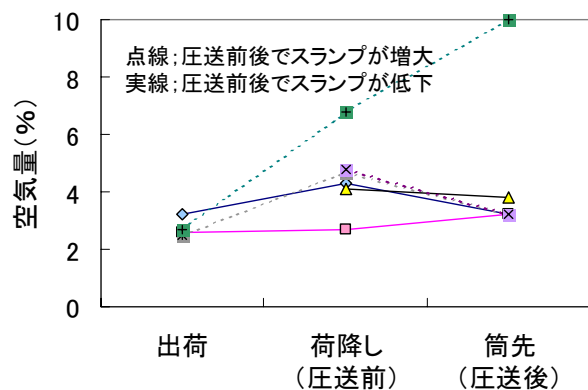


図-3 各段階の空気量

荷時のスランプの大きさによらず 4cm 程度増加した。これは, 運搬中のアジテートによってコンクリートにせん断力が作用することにより, SP の分散効果がさらに発揮されるとともに, ドラム内のコンクリートが十分に攪拌されたこと

による効果と考えられる。また、空気量の変化は増加傾向にあるものの、4%程度増加した1バッチを除いてわずかであった。

一方、圧送前後で比較した場合、圧送後のスランプは各バッチで増大あるいは低下し、出荷および荷降しよりもばらつきが大きい結果となった。また、圧送後の空気量は大きく増加した1バッチを除いて若干低下する傾向にあり、今回の実験の範囲では、圧送前後におけるスランプの変化と空気量の変化に相関は認められなかった。圧送前のスランプと圧送によるスランプ変化量の関係を示した図-4によれば、圧送によるスランプの変化は圧送前のスランプの大きさに影響される結果となった。今回の実験では、概ね圧送前のスランプが16cm以下で圧送後のスランプが低下し、圧送前のスランプが17cm以上で圧送後のスランプが増大する傾向を示し、圧送前のスランプ16~17cmは遷移領域であると考えられる。図中には、既往の文献<sup>3)</sup>で示されるAE減水剤を使用したコンクリートの圧送前後のスランプの関係を併記しているが、同データでは、概ね圧送前のスランプが18cm以上で圧送後のスランプが増大し、本実験の結果と同様の傾向であることが確認される。ただし、本実験の結果は既往文献のデータより圧送前後におけるスランプの変化量が大きい傾向にある。これは、SPを使用したコンクリートが、普通コンクリートよりも種々の影響因子に対してスランプが変化しやすいためであると考えられる。

ポンプ圧送時における配管内のコンクリートの挙動は、図-5に示すようにスランプが小さい、すなわち流動性が小さい場合には、配管壁面付近のコンクリートがせん断変形するのみであり、それ以外のコンクリートはほとんど変形せずに配管内を移動すると考えられる。これに対して、スランプが大きく、流動性が大きい場合には、配管内でコンクリートが流動しやすくなり、せん断変形する領域が広がってせん断力の影響が大きくなると考えられる。出荷から荷降しまでの間のスランプの増大は、前述したようにアジ

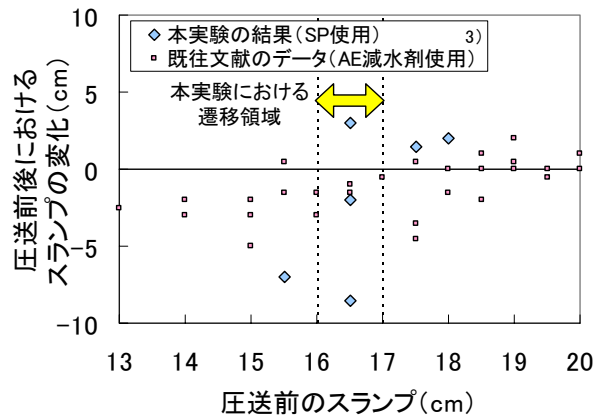


図-4 圧送前のスランプと圧送によるスランプ変化の関係

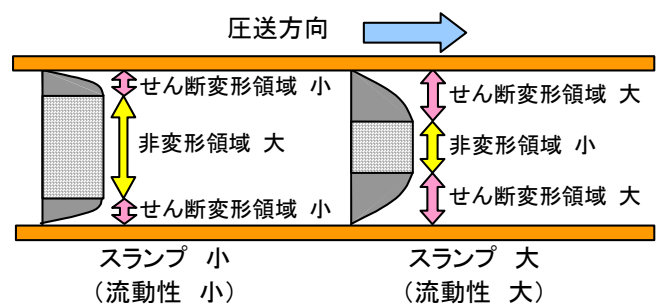


図-5 配管内におけるコンクリート挙動

テータ車内での攪拌によりせん断力が作用してコンクリートが十分に攪拌された影響と推察される。このことを踏まえると、ポンプ圧送時の配管内におけるせん断力もこれと類似した現象として作用する可能性が考えられる。すなわち、圧送前のスランプが大きいコンクリートほど圧送によるせん断力の影響が大きく、その影響によって、圧送後のスランプが増大する可能性があるものと考えられる。

ポンプ圧送前後でコンクリートのスランプが変化する要因としては、加圧、加圧による脱水や微粒分の凝集、時間経過による水和の進行、せん断力の作用などが考えられるが、これらの中でスランプが低下する要因の影響に対して、上述したようなせん断力に関わる要因の影響が卓越した際に圧送後のスランプが増大するものと考えられる。

## (2) 振動に対する変形性の変化

図-6および図-7にポンプ圧送前後のタンピング試験結果を示す。図-6は圧送後のスランプ

が増大した場合、**図-7**は圧送後のスランプが低下した場合の試験結果である。突き棒により80回振動を加えた後のスランプフロー（以下、加振フローと表わす。）は、圧送後のスランプが増大した場合、圧送前よりも圧送後の方が大きくなった。一方、圧送後のスランプが低下した場合には、一般に、加振フローも小さくなるものと考えられるが、今回の実験では圧送前後の加振フローの変化は同程度であった。既往の研究<sup>7)</sup>によれば、静置後、再攪拌によってせん断力を作用させたモルタルでは、スランプなどの流動性の指標である降伏値が増大する一方で、粘性の指標である塑性粘度は低下することが報告されており、練混ぜによるせん断力の作用に起因して粘性が低下することが考えられる。本実験で圧送後のスランプが低下した場合においても振動に対する変形性がほとんど変化しないことの理由の一つとして、配管内において練混ぜ時に作用するせん断力と類似した力がコンクリートに働いたことによる可能性が考えられる。

### 3. フレッシュ性状変化の原因に関する検討

#### 3.1 実験概要

圧送後のスランプが増大する要因として、前章のポンプ圧送実験の考察から、せん断力の作用に着目し試験を実施した。ここで、実際にポンプ圧送時のせん断力を作用させる実験を実施、計測することは困難であることから、コンクリートの練混ぜ時間を変化させることでコンクリートに作用するせん断力を変化させ、その際のフレッシュ性状を測定することによって、せん断力の作用がフレッシュ性状に及ぼす影響について検討した。

実験では、スランプ15cm程度および18cm程度の2配合のSPを使用したコンクリートについて、それぞれ練混ぜ時間を変化させ、スランプおよび空気量を測定した。また、振動に対する変形性を確認するために前章と同様の方法でタンピング試験を実施した。ここで、スランプが異なるコンクリートにおいて、タンピング開始前

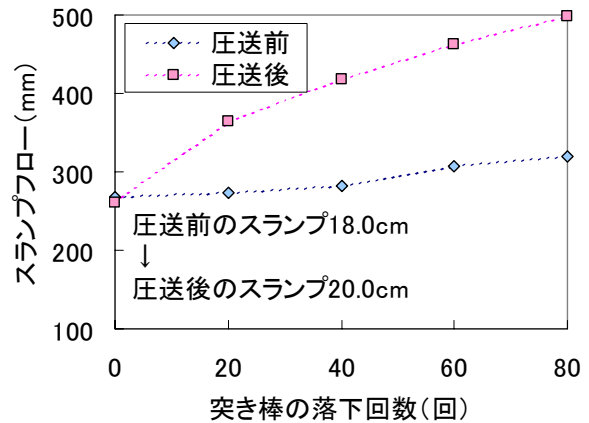


図-6 加振によるスランプフローの変化  
(圧送後でスランプが増大した場合)

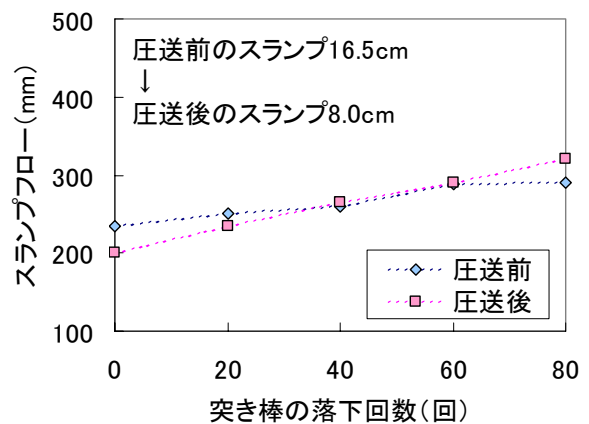


図-7 加振によるスランプフローの変化  
(圧送後でスランプが低下した場合)

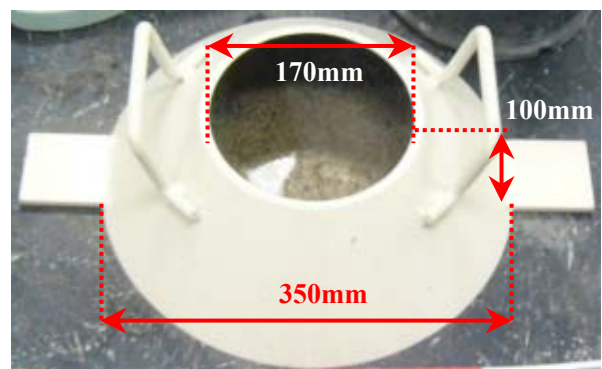


写真-1 改良スランプコーン

の初期高さの違いが加振フローの拡がりに与える影響を相殺するため、本実験では**写真-1**に示す改良スランプコーンを用いてタンピング試験を行った。この改良スランプコーンは、スランプ20cmまでのコンクリートについてスランプしないようあらかじめ高さを10cmとしたものであり、容量は通常のスランプコーンとほぼ同

表-3 使用材料

項目	記号	材料	摘要
水	W	上水道水	—
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度: 3.16(g/cm <sup>3</sup> )
細骨材	S	山砂	表乾密度: 2.64(g/cm <sup>3</sup> ), F.M.: 2.65, 吸水率: 1.35(%)
粗骨材	G	碎石	表乾密度: 2.65(g/cm <sup>3</sup> ), 実積率: 64.0(%), 吸水率: 0.72(%)
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系, 標準形

表-4 配合

No.	W/C (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )				SP (C×%)
			W	C	S	G	
配合 1	40.0	44	160	400	776	991	0.8
配合 2	37.5	48	150	400	858	935	1.4

じである。

使用材料および配合は、それぞれ表-3 および表-4 に示すとおりである。練混ぜは、強制二軸ミキサー（容量 50 l）を用いて、1 バッチあたり 50 l の量を練り混ぜた。練混ぜ方法は、水以外の材料を投入して 10 秒空練りし、注水後 10 秒練り混ぜて掻き落としを行い、掻き落とし後に練混ぜを実施し、この練混ぜ時間を変化させた。一般に実機のミキサーでは、練混ぜ時間が実質 30 秒程度であることから、本実験では練混ぜ時間を 30 秒、50 秒、80 秒、140 秒および 200 秒とした。

### 3.2 実験結果および考察

図-8 に、練混ぜ時間とスランプの関係を示す。2 配合ともに、練混ぜ時間 30~80 秒の間でスランプは増大し、練混ぜ時間 80 秒でスランプが最大となり、その後低下した。ただし、練混ぜ時間の増大に伴うスランプの低下は、スランプが大きい配合 2 の方が緩やかであった。一方、図-9 に示すように加振フローの変化は、2 配合ともに練混ぜ時間が 140 秒までは、練混ぜ時間の増大に対して一定あるいは漸増であった。練混ぜ時間 200 秒では、配合 1 では加振フローの変化は増大し、配合 2 では低下した。この理由として、図-10 に練混ぜ時間と空気量の関係を示すように、練混ぜ時間 140 秒までは、2 配合ともに空気量の変化はわずかであったが、練混ぜ時間 200 秒では、配合 1 で 7%と増大したことに對して、

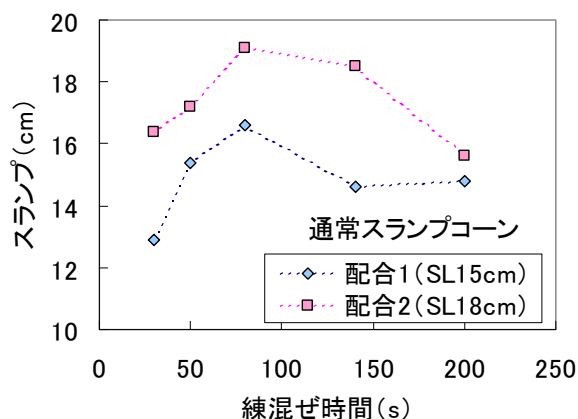


図-8 練混ぜ時間とスランプの関係

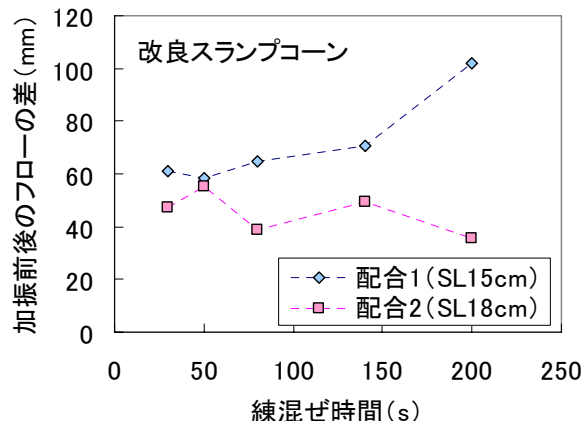


図-9 練混ぜ時間と加振前後でのスランプフローの差の関係

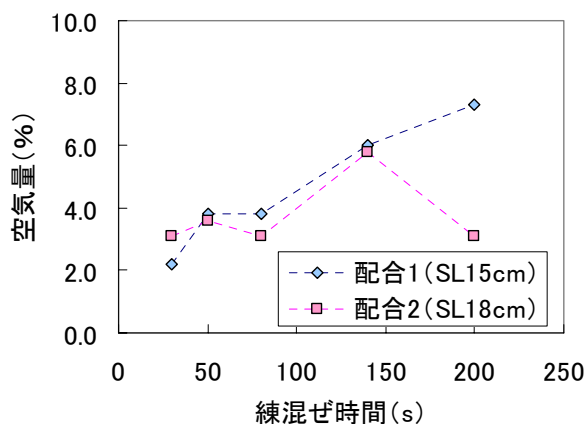


図-10 練混ぜ時間と空気量の関係

配合 2 では 3%と低下したことが考えられる。ある程度の範囲で練混ぜ時間が増大するほど

スランプが増大し、さらに練混ぜ時間が増大するとスランプが低下すること、また、スランプが低下しても加振フローが同じあるいは増大する現象は、前章のポンプ圧送実験によく一致している。このことから、練混ぜ時間を変化させることによって、ポンプ圧送時のせん断力の作用によるコンクリートのフレッシュ性状の変化をある程度説明できる可能性がある。実際のポンプ圧送においては、他の要因も複雑に影響しているため、本実験でスランプの変化を再現することは困難であるが、ポンプ圧送において、スランプ低下の要因による影響よりも、せん断力の作用が卓越した場合に、スランプが圧送後に増大するものと考えられる。

#### 4. まとめ

本報では、ポンプ圧送後のフレッシュ性状の変化、特にスランプが増大する現象に関して、実機によるポンプ圧送実験および室内の練混ぜ試験を行い検討した。その結果、以下に示す知見が得られた。

- (1) ポンプ圧送によるスランプの変化は圧送前のスランプの大きさに影響され、圧送前のスランプが大きいと圧送後のスランプが増大する傾向にある。
- (2) 圧送後でスランプが増大する要因として、ポンプ圧送時に作用するせん断力の影響による可能性が考えられ、他のスランプ低下要因より卓越した場合にスランプの増大が生じることが推察される。
- (3) 圧送後でスランプが低下した場合においても振動に対して変形しやすくなる傾向が確認され、これは、せん断力の作用による影響である可能性が考えられる。

今後、ポンプ圧送前後のスランプおよび振動

に対する変形性に関するデータを蓄積するとともに、圧送時に作用するせん断力がフレッシュ性状変化に及ぼす影響を定量的に評価できる方法について検討する予定である。

#### 5. おわりに

本研究は、東京大学前川宏一教授のご指導のもと、大成建設株式会社、鹿島建設株式会社が実施した二社共同研究の一部である。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートのポンプ施工指針,p.32,2000
- 2) 浦野真次,熊野知司,名倉健二,河井徹：ポンプ圧送によるフレッシュコンクリートの性状変化に関する実験的検討,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.21,No.2,pp.343-348,1999
- 3) 鈴木利雄他：コンクリートの圧送前後における性状変化について、生コン技術大会研究発表論文集,Vol.5,pp.81-86,1989
- 4) 土木学会：高流動コンクリート施工指針,pp.140-141,1998
- 5) 伊藤智章,松永篤：ポンプ圧送性に及ぼすセメントおよび混和材の種類の影響,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.21,No.2,pp.1099-1104,1999
- 6) 新藤竹文,坂田昇,前川宏一；初期欠陥を未然に防ぐコンクリート施工性能評価技術について,コンクリート工学 2005 年 2 月号,pp.27-34,2005
- 7) 大津武,竹内資雄,渡辺健治,小野博宣：ポンプ圧送前後におけるフレッシュコンクリートのレオロジー性質に関する理論的・実験的研究,日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1,材料施工,Vol.2003,pp.479-480,2000