

報告 砕石粉使用高流動コンクリートの実大施工実験におけるフレッシュ性状

浦野 英男*¹・芝池 達司*²・立松 和彦*³・寺田 早苗*⁴

要旨：砕石粉使用高流動コンクリートのT型形状の柱壁体による実大施工実験を実施した。コンクリートの運搬時のフレッシュ性状の変化は、スランプフローおよび空気量とも増加の傾向を示した。打込んだコンクリートのフレッシュ性状は、流動距離が長くなるほどスランプフローが増大し、粗骨材量が減少する傾向となり、流動によるフレッシュ性状の変化は、分岐の有無よりも流動距離や柱部の通過による影響が大きくなった。

キーワード：砕石粉、高流動コンクリート、実大施工実験、フレッシュ性状、流動勾配

1. はじめに

近年の骨材事情の悪化に伴い砕石・砕砂の需要が増し、その副産物として発生する砕石粉はそのほとんどが有効利用されことなく放置され、環境汚染の原因ともなっている。この砕石・砕砂の製造過程において産出される砕石粉（乾燥状集塵粉）を、コンクリートに有効利用することを目的としてCSFC研究会（注）を組織し、検討を重ねてきた[1]。平成7年度には、砕石粉使用高流動コンクリートによる実大施工実験を実施し、種々の検討を行った。本報では、フレッシュコンクリートの性状、流動時のフレッシュ性状およびポンプ圧送性状について報告する。

2. 実験計画

2. 1 試験体の形状および配筋

鉄筋コンクリート造建築物の一般的な柱・壁を想定し、構造体が2方向に分岐した箇所におけるコンクリートの流動状態および分岐して流動したコンクリートの品質について確認するために、形状はT字形とした。試験体の形状・寸法および配筋を図-1に示す。高さは3m、長さは1スパン7.5mで、直線方向は2スパン(15m)、折れ曲がり方向は1スパン(7.5m)とした。柱は60cm角で、主筋にはD22を8本、フープ筋はD10を10cmピッチとし、壁は21cm厚で、壁筋は縦横ともD13を20cmピッチのダブ

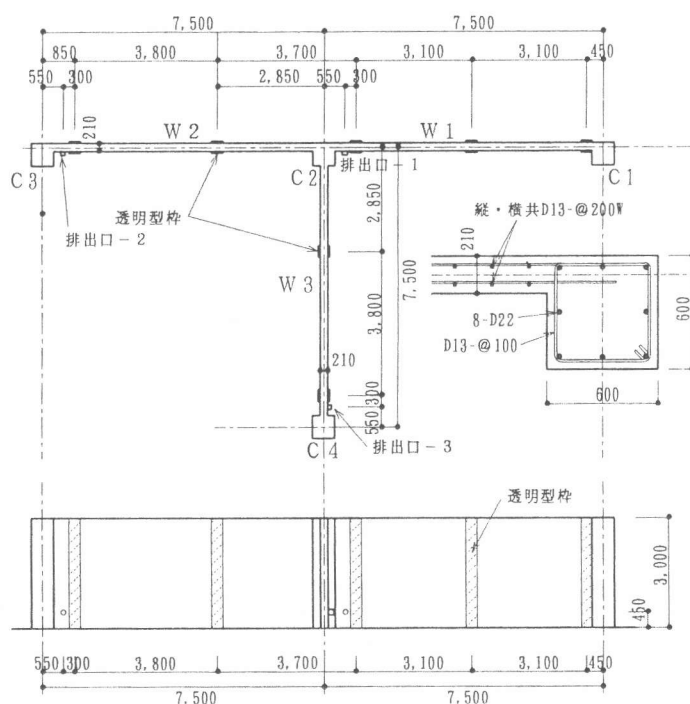


図-1 試験体の形状・寸法および配筋

* 1 (株) 松村組技術研究所 材料研究課課長 (正会員)

* 2 (株) 鴻池組技術研究所 主任研究員 (正会員)

* 3 (株) 浅沼組技術研究所 建築構造研究室主任 (正会員)

* 4 近畿砕石協同組合 技術委員長

ル配筋とした。各壁には、流動試料採取用の排出口および流動勾配測定用として3.1m～3.8mの間隔でスリット状の透明型枠を7ヶ所設置した。

2. 2 使用材料と調合

本実験で使用したコンクリート材料を表-1に、碎石粉の品質を表-2に示す。セメント、骨材については、使用するレディーミクストコンクリート工場で用いている材料を使用した。混和剤は、ポリカルボン酸系の高性能AE減水剤とし、空気量は空気量調整剤で調整した。碎石粉は、使用する碎石の製造工場から産出された硬質砂岩集塵微粉(DU-4)を使用した。なお、碎石粉を使用した高流動コンクリートの特徴として、室内実験における他の粉体(石灰石粉、高炉スラグ、フライアッシュ)を使用した場合の同調合・同目標性能で比較すると、混和剤使用量が多い、フロー時間が長い、ブリージング量が少ないなどの違いがみられた。

調合は、室内実験および実機による試し圧送実験の結果より決定した。水セメント比50%、単位水量 170kg/m^3 、水粉体量比を38%とし、粗骨材かさ容積は 520l/m^3 とした。本実験に用いた調合を表-3に示す。コンクリートの目標性能は、荷卸し時でスランプフローを $65\pm 5\text{cm}$ 、空気量を $4.5\pm 1.5\%$ 、VF(s)値を15～22cm程度とした。コンクリートの製造は、容量 2.0m^3 の2軸強制攪拌式ミキサーを用い、1バッチ 1.5m^3 で練り混ぜた。練り混ぜは、材料の計量後、細骨材→粗骨材→[セメント+碎石粉]の順にミキサー内に投入し、空練り30秒の後、練り混ぜ水を注水しさらに150秒間練り混ぜた。練り混ぜ時間はあらかじめ行った予備実験での練り混ぜ時の目視観察状況およびミキサー負荷電流の測定結果より決定した。

2. 3 打込み手順

打込み時のタイムフローを図-2に、打込み手順および試験手順を図-3に示す。コンクリートの運搬は大型生コン車を用いて行い、No.1～No.4に 4.5m^3 、No.5・No.6に 3.0m^3 を積載した。

打込みにはピストン式ブーム付きポンプ車(最大吐出量 $115\text{m}^3/\text{h}$)を用い、No.1とNo.2およびNo.3とNo.4のコンクリートは、ポンプ車のホッパーに同時に荷卸しして打込んだ。ただし、出荷時および荷卸し時の試験は、各運搬車毎に実施した。

コンクリートの練り上がり開始から打込み終了までの所要時間は40分～100分であった。

打込みは、型枠柱頭部からコンクリートを試験体に落下させる方法とし、試験体内での自由落下高さが一般的には分離しない範囲とされる 1.5m を超える場合には、ポンプ筒先を型枠内部に

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 比重 3.16
細骨材	城陽産山砂・高槻産砕砂の混合(8:2) 比重 2.58
粗骨材	高槻産碎石 比重 2.69
混和材	高槻産硬質砂岩集塵微粉(DU-4)
混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤

表-2 碎石粉(DU-4)の品質

記号	岩質名	比重	比表面積 (m^2/g)	砂当量	メチレンブルー 吸着量 (mg/g)
DU-4	硬質砂岩	2.67	5470	61.6	5.5

粒径(μm)通過率:(%)									
150	75	44	32	21	12	9	6	3	1
100	99	97	90	68	34	28	25	22	11

表-3 調 合

W/C (%)	W/P (%)	S/a (%)	単位量(kg/m^3)				
			W	C	S	G	F
50	38	52.6	170	340	863	813	107

註) F: 碎石粉(DU-4), P: 総粉体量($=\text{C}+\text{F}$)

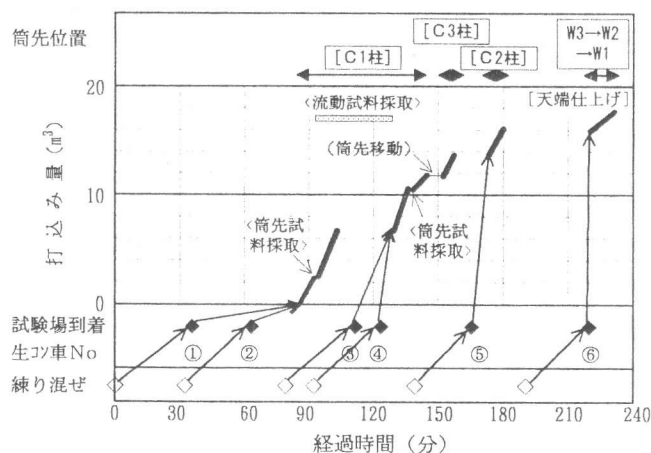


図-2 打設タイムフロー

挿入して行った。打込み順序は、C 1 柱より開始し、柱頭にコンクリートが打上がるまで筒先を移動せずに打込み、その後順次 C 3 柱、C 2 柱と筒先を移動しそれぞれ柱頭まで打込んだ。最後に W 3、W 2、W 1 の壁を筒先を移動しながら天端を仕上げた。この間、打込み時の振動やたたきによる締固めは一切行わなかった。なお、打込み当日の天候は晴、気温は27℃であった。

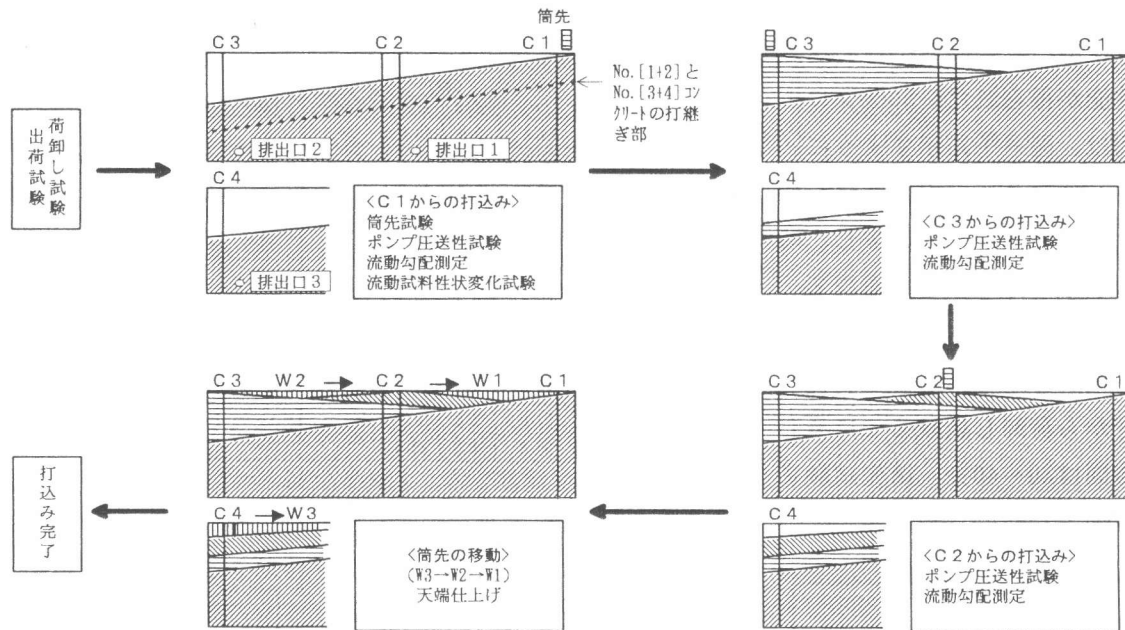


図-3 打込み手順および試験手順

2. 4 試験項目

試験内容と試験項目を表-4に示す。

- 1) 出荷時試験・荷卸し試験：生コン車のドラムを20秒間高速回転した後に試料を排出し、最初の30～70ℓを廃棄して得た試料について、所定の試験を行った。
- 2) 筒先試験：筒先試料は、No. [1+2]およびNo. [3+4]の打込みをそれぞれ約半分終えた時点で、ポンプ筒先から試料を採取し、所定の試験を行った。
- 3) ポンプ圧送性試験：一定速度で圧送したときのポンプのストローク数と主油圧の最大値を測定し、理論吐出量および理論吐出圧の推定を行った。
- 4) 流動勾配測定：試験体に設置した7ヶ所の透明型枠部分を流動するコンクリートの上端を1分間隔でマーキングし、コンクリートの流動状態を測定した。
- 5) 流動試料性状変化試験：試験体に設置した3ヶ所の排出口から流動したコンクリートを採取し、所定の試験を行った。

なお、No. 6のコンクリートは、コンクリート数量調整のため試験は行わず打込みのみとした。

3. 実験結果

3. 1 各種コンシステンシー試験による評価

出荷時、荷卸し時および筒先におけるフレッシュコンクリートの試験結果を表-5に示す。

表-4 試験内容と試験項目

出荷時試験	スランプフロー試験・空気量 コンクリート温度・単位容積質量
荷卸し試験	スランプフロー試験・空気量 コンクリート温度・V F試験 L型フロー試験・単位容積質量 粗骨材量試験
筒先試験	スランプフロー試験・空気量 コンクリート温度・V F試験 L型フロー試験・単位容積質量 鉄筋間通過性試験・粗骨材量試験
ポンプ圧送性試験	ストローク回数、主油圧
流動勾配測定	流動勾配測定
流動試料性状変化試験	スランプフロー試験・空気量 コンクリート温度 粗骨材量試験・単位容積質量

1) スランプフロー

スランプフロー試験はJIS A 1101に準拠し、詰め方は、3層5回突きとした。出荷時と荷卸し時および筒先におけるスランプフローおよび50cmフロー時間の変化を図-4、図-5に示す。出荷時から荷卸し時および筒先までスランプフローは、やや増大傾向を示しているが、混和剤の影響を考慮した製造により、荷卸し時には、変動幅の小さい所要の性能が得られた。50cmフロー時間は、図-7に示すように、スランプフローの増大に反し50cmフロー時間がやや減少し、時間の経過あるいは運搬過程で、やや流動性が増し粘性は小さくなる傾向を示した。なお、練り混ぜから荷卸し試験までに要した時間は30~40分、筒先試験までは60~100分であった。

表-5 出荷時、荷卸し時および筒先におけるフレッシュ試験結果

No.	試験時期	スランプフロー試験			Lフロー試験		VF試験		
		スランプフロー (cm)	50cm	最終	L70- (cm)	Lスランプ (cm)	L70-時間 (秒)	VFスランプ (cm)	VF時間 (秒)
1	出荷時	64.0	6.0	43.0	—	—	—	—	—
	荷卸し時	65.8	7.3	37.9	71.5	34.5	67.1	15.0	85.0
2	出荷時	63.0	6.0	49.0	—	—	—	—	—
	荷卸し時	64.0	6.7	46.7	72.0	34.5	68.4	16.0	82.0
1+2	筒 先	66.8	4.2	38.9	65.0	33.5	60.4	17.0	69.0
3	出荷時	62.5	7.0	44.0	—	—	—	—	—
	荷卸し時	67.5	3.6	37.1	72.0	34.5	73.3	25.0	80.0
4	出荷時	63.5	7.0	60.0	—	—	—	—	—
	荷卸し時	65.5	5.5	45.9	71.0	34.0	77.4	12.5	71.0
3+4	筒 先	66.3	3.7	37.4	66.5	34.0	69.4	15.0	86.0
5	出荷時	61.0	7.0	57.0	—	—	—	—	—
	荷卸し時	63.8	4.9	33.6	—	—	—	—	—

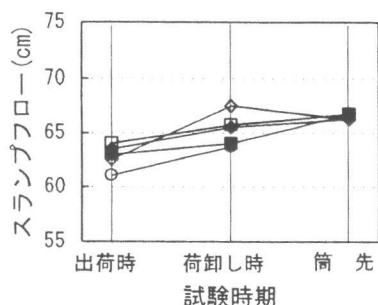


図-4 スランプフローの変化

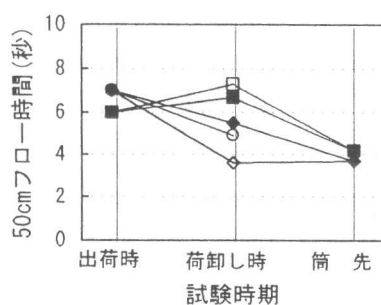


図-5 50cmフロー時間の変化

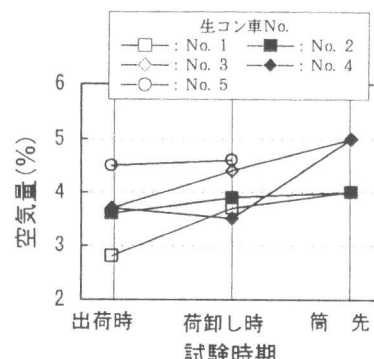


図-6 空気量の変化

2) 空気量

空気量の試験は、JIS A 1128に準拠し、詰め方は、3層10回突きとし、叩きを行わなかった。出荷時から荷卸し時および筒先における空気量の変化は図-6に示すように、時間経過および圧送により増大する傾向を示した。

3) VF試験

VF試験は、荷卸しおよび筒先の試料により、土木学会規準によるバイブレータを取り付けないVF試験装置を用い、中央円筒部内に棒突きを行わずに連続投入して行った。図-8にVFスランプとVF時間の関係を示す。今回の実験では、No. 3試料を除けば、VFスランプはやや小さいが荷卸しと筒先試料に大きな差はなかった。No. 3試料は、出荷時からの性状変化から荷卸し時に流動性の増大、粘性の減少が他の試料よりも大きくなったことが考えられる。*で示したコンクリートは分離していたので、データとして採用しなかった。

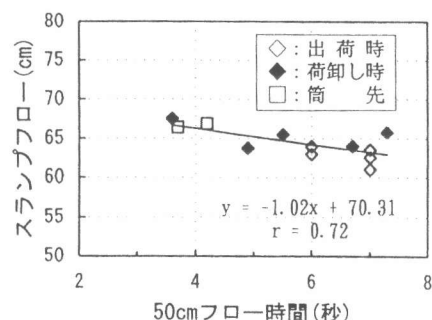


図-7 50cmフロー時間とスランプフロー

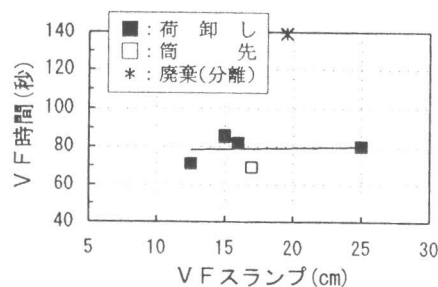


図-8 VFスランプとVF時間

4) Lフロー試験

Lフロー試験は、荷卸しおよび筒先の試料により、試料は2層に分けて詰め、突き数は5回として行った。試験結果より、ポンプ圧送によりLフローが減少し、流動初期のLフロー速度は遅くなったが、同じ流動性の評価試験としてのスランプフローおよび50cmフロー速度とは逆の結果となった。図-9にスランプフローとLフローの関係を示す。同図より、荷卸し時には両者は高い相関関係を示しているが、筒先においてはバラツキが大きく、荷卸し時とは異なった傾向を示した。今回の実験の範囲では、ポンプ圧送後の性状についてスランプフロー試験とLフロー試験とで異なる評価となった。

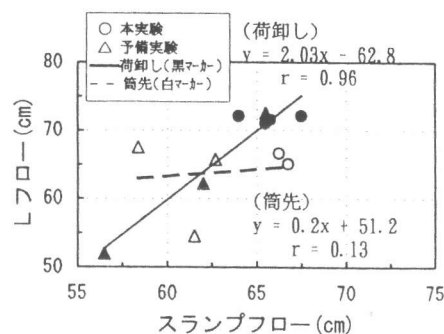


図-9 スランプフローとLフロー

5) 鉄筋間通過性試験

試験は筒先試料により、図-10に示すように、 $H \times B \times D = 40 \times 28 \times 10$ cm の箱型容器に高さ80mmの開口を設け、開口部に径10mmの鉄筋を配し、その間隔を37, 46, 60mm として行った。試料は棒突きを行わず1層で詰め、開口部の蓋を解放して鉄筋を通過した試料の質量および通過試料の粗骨材量比を求めた。

図-11に鉄筋間隔と鉄筋間通過率および筒先試料と通過試料の粗骨材量比を示す。筒先[1+2] 試料よりも粗骨材量比がやや大きい筒先[3+4] 試料の通過率が小さくなった。通過試料中の粗骨材量比は、鉄筋間隔37mmでは平均30.8%となり、計画調合の粗骨材量比(35.5%)よりも粗骨材が4.7%減少したが、鉄筋間隔60mmでは粗骨材量の減少はほとんどなかった。

なお、粗骨材量比は、空気量試験に供した試料または鉄筋間通過試料により、5mm ふるいでウェットスクリーニングして残った骨材の表乾重量とコンクリート重量との比率として求めた。

3. 2 流動距離によるコンクリートの性状

流動中のコンクリート試料は、型枠壁面に設けた3ヶ所の排出口から採取した。試料の採取は、生コン車No. 1とNo. 2から同時に供給されたポンプの筒先およびC1柱から打込み流動しているコンクリートを各排出口部でせき止めて行った。図-12、13に流動距離とスランプフロー、空気量および粗骨材量比の関係を示す。図より、流動によるフレッシュ性状は、流動距離が長くなるほど、スランプフローおよび空気量が増大し、粗骨材量が減少する傾向となった。また、排出口2と3では、C2柱での分岐により流動経路は異なるが、両者のフレッシュ性

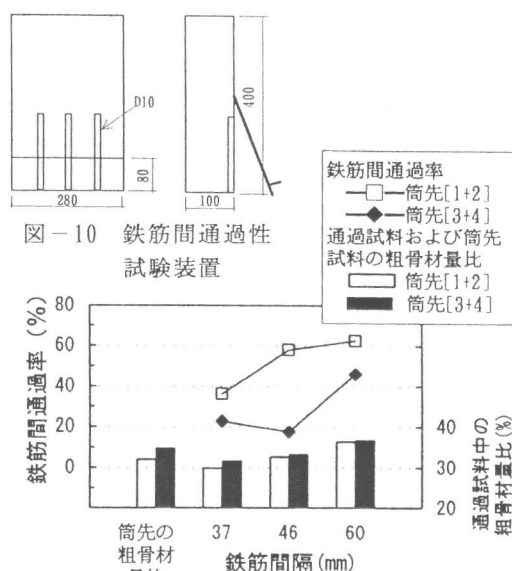


図-11 鉄筋間通過率と粗骨材量比

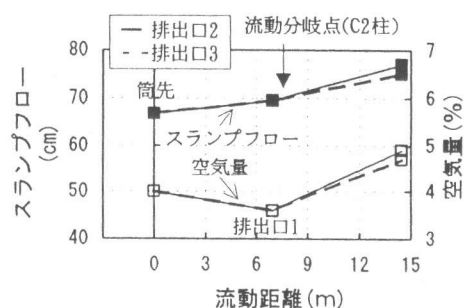


図-12 流動距離とスランプフロー、空気量

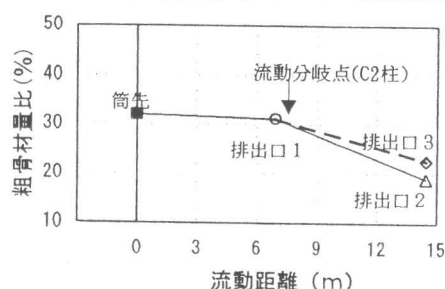


図-13 流動距離と粗骨材量比

状には大差はなかったことから、流動によるフレッシュ性状の変化は、分岐の有無よりも流動距離や柱部の通過などによる影響度が大きくなると考えられる。

3. 3 流動勾配

図-14にC1柱から打込みを行った場合の打上がり高さと流動停止時の高さを示す。C3柱およびC4柱ではほぼ同じ打上がり高さとなり、C2柱部での分岐による流れの方向性はなかった。また、流動勾配では、C2柱部で流れが分岐することに加え、流動距離が長くなることによりモルタル分が多くなり、分岐前のB-C間の平均流動勾配が12.5%に対し、分岐後のD-E間で平均4.9%、F-G間で平均5.0%となり、流動勾配は緩やかになった。

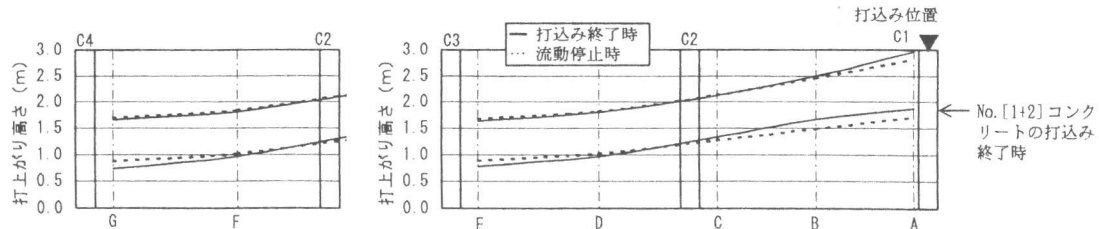


図-14 打上がり高さ (打込み終了～流動停止)

3. 4 ポンプ圧送性

試験体の打込み時に、圧送速度を3段階で変化させて、それぞれの圧送速度における1分間あたりのストローク数と主油圧の最大値を記録した。用いたポンプの仕様を表-6に示す。図-15に理論吐出量と吐出圧力の関係を予備実験時の結果とともに示した。理論吐出量はシリンダー容積にストローク数を乗じたもので、圧送効率が100%の場合の計算上の吐出量である。理論吐出圧力はゲージから読み取った主油圧に油圧シリンダーとコンクリートシリンダーの面積比を乗じた。本実験では、吐出量の増加に伴い吐出圧力はほぼ直線的に増大したが、予備実験では吐出圧力にやや差が生じた。

表-6 ポンプの仕様

最大吐出量(m^3/h)	115 (74)
最大理論吐出圧力(N/mm^2)	4.5 (7.1)
コンクリートシリンダー径(mm)	220
最大ストローク長(mm)	1,600

()内の数値は高圧圧送時

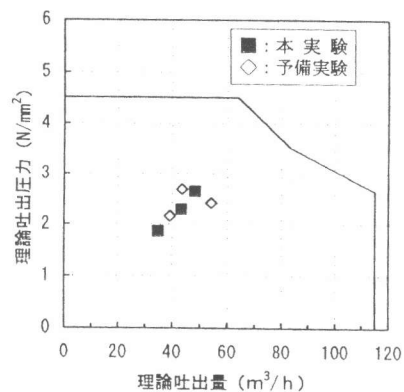


図-15 理論吐出量と吐出圧力

4. まとめ

今回の実験より、以下のことを確認した。

- ①出荷時から筒先までのフレッシュ性状は、スランプフローの増大および50cmフロー時間の減少傾向より、時間経過または運搬により、流動性が増加し、粘性が低下する傾向を示した。
- ②打込んだコンクリートの性状は、流動距離が長くなるほど粗骨材が減少し、スランプフローおよび空気量が増加する傾向となった。
- ③流動によるフレッシュ性状の変化は、分岐の有無よりも流動距離や柱部の通過などによる影響度が大きくなると考えられることから、打込みに際しては、打込み位置を躯体の交差部や流動状況に応じて移動させるなど、打込み計画の十分な検討が必要である。

(注) CSFCはCrushed Stone Fines Concreteの略。会員：近畿砕石協同組合、大阪兵庫生コンクリート工業組合、日本建築総合試験所、王水産業、松村組、竹中工務店、奥村組、鴻池組、新井組、浅沼組、花王、ポゾリス物産、エフ・ピー・ケー、竹本油脂 会長：近畿砕石協同組合理事長

【参考文献】

[1]大橋正治、浦野英男ほか：砕石粉使用高流動コンクリートのフレッシュコンクリート性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.1、pp113-118、1994.6 ほか