

自己充填コンクリートの多層配筋条件における粗骨材閉塞現象に関する研究

宇都宮大学 正会員 ○大森 祐助
 宇都宮大学 正会員 藤原 浩巳
 宇都宮大学 正会員 丸岡 正知

1. はじめに

自己充填性を有する高流動コンクリート（以下、自己充填コンクリート）は締固めなしに自己充填可能なコンクリートである。しかし、実際には型枠内の流動途中で圧力損失により充填不良が生じる可能性があることが指摘されており¹⁾、圧力損失メカニズムの解明が必要とされている。

これまで、流動障害となる鉄筋が一段の単層配筋条件と二段の多層配筋条件について、モデル自己充填コンクリートを用いた可視化実験²⁾を行い、仮想細管モデルを用いた解析や混相流体力学の概念を用いた圧力損失メカニズムの解析³⁾を進め、理論的な検討を行ってきた。しかし、単層配筋条件時の圧力損失メカニズムを多層配筋条件時に適用できるまでには至っていない。そこで本研究では、多層配筋条件時の障害の前後間隔を変化させた場合の、自己充填コンクリートの流動挙動の変化の把握および解明を目的として、モデル自己充填コンクリートの可視化実験を行った。

2. 可視化技術を用いた一定圧力流動試験

2.1 実験概要

本章では、可視化可能なモデル自己充填コンクリート（以下、モデルコンクリート）を用い、多層配筋条件での間隙通過試験を行った。実験では、流動圧力をほぼ一定とすることにより、実施工における型枠内充填状況を模した。また、本実験は流動障害を二段の二層配筋条件とし、モデルコンクリートの粘性および粗骨材体積濃度は一定として試験を行った。

2.2 間隙通過試験

(1) 使用材料

本研究では、自己充填コンクリートをモルタルと粗骨材の固液二相系流体と捉えた。コンクリート中の粗骨材を可視化するため、モデルモルタルとして、水道水に増粘剤（アルキルアシルスルホン酸塩、密度： 1.08g/cm^3 ）を添加したものを、粗骨材はカラーリング

を施した人工軽量骨材（最大寸法： 15mm 、絶乾密度： 1.34g/cm^3 ）を用いた。

(2) 試験方法

一定圧流動とするため、図-1に示すモデル型枠のA槽にモデルコンクリートを投入し続け、一定の水頭高さを保持した。B槽に達したモデルコンクリートは、端部の切欠部より流れ出るようにした。また、実験ではモデルコンクリートを10分間投入し続け、この間に排出された質量を測定し、流量として換算した。

また実験中は、図-2に示す水平流動部の様子を図-1の様に、上方よりビデオカメラで撮影し、各種解析に用いた。

(3) 試験条件

モデルコンクリートの配合条件は、モデルコンクリートの粗骨材体積濃度 X_v が 30%、増粘剤添加率 V を 15%とした。また、モデル型枠条件として、図-2に示す障害のあき L が 21, 24, 26, 30mm の 4 水準、障害の前後間隔 G が 90, 105, 120, 135 および 150mm の 5 水準とした。

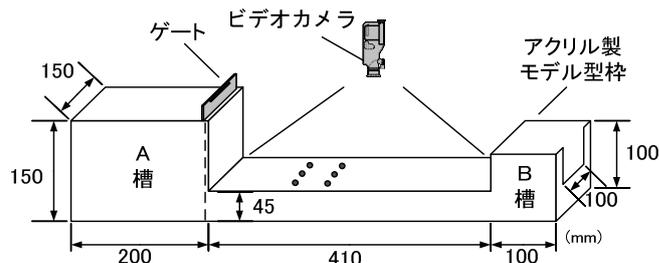


図-1 モデル型枠

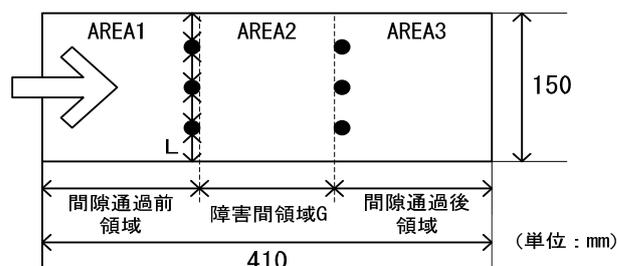


図-2 水平流動部上面図

キーワード：自己充填コンクリート，多層配筋条件，閉塞現象，可視化モデル，一定圧力

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科材料研究室 TEL028-689-6211

(4) コンクリートの流動挙動

表一1に、流動障害近傍における粗骨材の閉塞状況、モルタルの先流れ現象の有無および障害通過流量 (m³/min) を示す。部分的閉塞を生じたものを○, モルタルの型枠内充填は可能だが、すべての間隙が粗骨材により閉塞したもの(全閉塞)を◎として示す。

これまでの研究³⁾より、粗骨材が障害部分を通過する際、粗骨材の流れに停滞が生じ、流動障害上流側で粗骨材体積濃度 X_vが増大する現象(以下、濃縮現象)が確認されている。また、障害間で粗骨材のアーチングが起こることによって濃縮が大きくなり閉塞する現象(以下、閉塞現象)が生じる。この現象は、一層目および二層目共に生じることが、これまでの研究より確認されている⁴⁾。

表一1で、○および◎がないものに関しては、閉塞現象が生じることなく流動しているか、一層目で濃縮現象を生じたことにより、二層目の粗骨材体積濃度が減少し閉塞現象を生じなかった。

障害のあき L が大きい場合、障害の前後間隔 G の大きい方が、流量が大きくなる。また、障害のあき L が小さい場合は、障害の前後間隔 G の小さい方が、流量が大きくなる傾向が認められた。流量の変化や閉塞現象の発生には、障害の前後間隔 G と障害のあき L が相互に影響していると考えられる。

表一1 間隙部における閉塞状況および流量

V (%)	X _v (%)	G (mm)	L (mm)	閉塞現象		モルタル先流れ	流量 (m ³ /min)
				一層	二層		
15	30	90	30	○	○		0.00026
			26	○	○	○	0.00023
			24	○	○	○	0.00009
			21	◎	○	○	0.00008
		105	30	○	○	○	0.00025
			26	○	○	○	0.00030
			24	◎	○	○	0.00011
		120	21	◎		○	0.00006
			30	○	○		0.00023
			26	○	○	○	0.00010
			24	◎	○	○	0.00011
		135	21	◎	○	○	0.00006
			30				0.00029
			26	◎	○	○	0.00011
			24	◎		○	0.00006
		150	21	◎	○	○	0.00002
			30	○			0.00041
			26	○	○	○	0.00017
			24	◎	○	○	0.00005
					21	◎	○

※○を部分閉塞, ◎を全閉塞とする

3. 可視化実験結果の数値的解析

3.1 実験概要

流動挙動を目視のみでなく、数値的に捉えるため、撮影した映像を画像処理し、解析を行った。本研究では粗骨材平均速度および粗骨材体積濃度 X_v の変化について解析を行った。

3.2 解析方法

(1) 粗骨材平均速度の算出

図一2に示す各 AREA を検査領域とし、流動方向と直角に区間分割する。分割幅は AREA1, AREA3 をそれぞれ5分割し、AREA2は粗骨材最大寸法の15mmとした。よって AREA2 では、障害の前後間隔 G が 90, 105, 120, 135 および 150mm と変化するに従い、それぞれ 6, 7, 8, 9 および 10 分割とした。各検査領域における粗骨材の流動速度を市販の流動解析ソフト PIV (Particle Image Velocimetry) を用いて測定した。

測定時間は、流動開始から1分間の流動速度の平均と1~10分間の流動速度の変化を測定した。また、測定対象時間は、全試験条件において、モデル型枠内の充填完了を確認することができた、流動開始から1.5分後を基準に、1.5分間隔でそれぞれ3, 4.5, 6, 7.5, 9分後とした。また、この測定値は各時間前後10秒間の平均値とした。

(2) 時間変化に伴う粗骨材体積濃度 X_v の変化の算定

粗骨材体積濃度は、障害を通過する際、停滞・濃縮を生じるため、流動の時間経過に伴い変化する。障害通過後の粗骨材体積濃度 X_{v'}_n は、間隙通過試験中の図一2に示す各 AREA における X_v を示すものであり、濃縮の程度が大きいほど大きくなるものと考えられる。

まず、各 AREA における静止画像に二値化処理を行い、白色を粗骨材、黒色をモルタル部分とし、領域毎に粗骨材面積割合を、画像解析ソフトを用い測定した。

ここで、各 AREA における粗骨材面積割合をそれぞれ S₁, S₂ および S₃ % とした。これから、障害通過後の粗骨材体積濃度 X_{v'} を式(1)で。

$$X_{v'_n} = \frac{S_n(A_1 + A_2 + A_3)}{A_1S_1 + A_2S_2 + A_3S_3} X_v \tag{1}$$

ここに n=1, 2, 3 とする。

X_{v'}_n : 障害通過後の粗骨材体積濃度 (%)

X_v : 配合時の粗骨材体積濃度 (%)

A₁, A₂, A₃ : AREA1, 2, 3 の検査領域面積 (mm²)

S₁, S₂, S₃ : AREA1, 2, 3 の粗骨材面積割合 (%)

3.3 実験結果および考察

(1) 粗骨材平均流速

モデルコンクリート中の粗骨材の平均流速を、分割した区間ごとに時間経過に従い、測定値を整理した。ここでは、障害のあき L が 30mm および 26mm における時間変化に伴う流速の変化を求めた。粗骨材平均流速について、 $G=90\text{mm}$ の場合を図-3に、 $G=105\text{mm}$ の場合を図-4に、 $G=135\text{mm}$ の場合を図-5に、 $G=150\text{mm}$ の場合を図-6にそれぞれ示す。また、各図において左図を障害あき $L=30\text{mm}$ 、右図を 26mm とした。

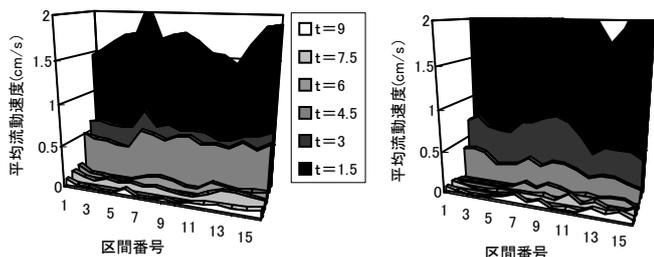


図-3 粗骨材平均流速; $G=90\text{mm}$ (左より $L=30, 26\text{mm}$)

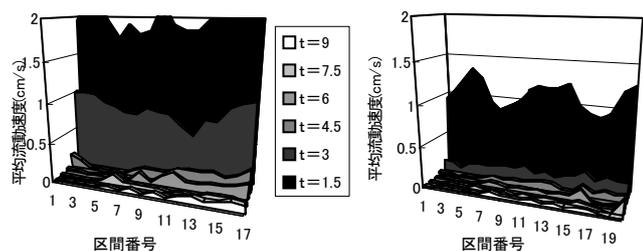


図-4 粗骨材平均流速; $G=105\text{mm}$ (左より $L=30, 26\text{mm}$)

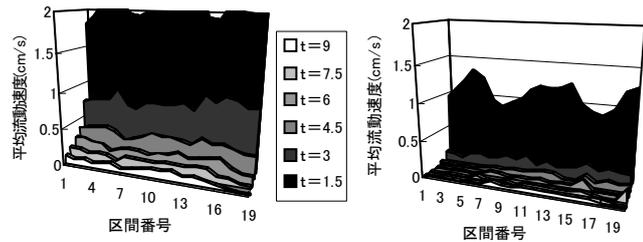


図-5 粗骨材平均流速; $G=135\text{mm}$ (左より $L=30, 26\text{mm}$)

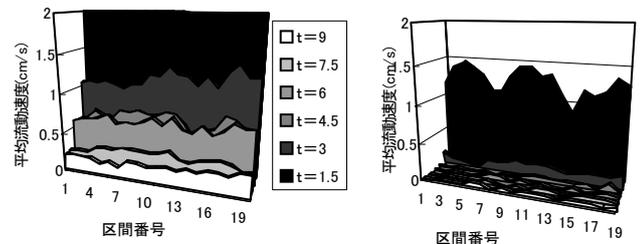


図-6 粗骨材平均流速; $G=150\text{mm}$ (左より $L=30, 26\text{mm}$)

測定時間 $t=1.5\text{min}$ を除き、 $t=3\text{min}$ 以後の粗骨材平均速度を比較すると、障害のあきが 30mm の場合、 G は大きい方が、流速が速く、流速が減少および停止す

るまでの時間が長い傾向が認められた。また、障害のあきが 26mm の場合、 G が大きい方が、流速が遅く、流速が減少および停止するまでの時間が短い傾向が認められた。障害あき L が変化することで流動挙動が変化し、障害の前後間隔 G に影響を及ぼしていると考えられる。

(2) 時間変化に伴う粗骨材体積濃度の変化

障害あき L が 30mm および 26mm、障害前後の間隔 G が 90, 105, 135, および 150mm における各 AREA の粗骨材体積濃度を、時間 t (min) を追って、解析を行った。粗骨材体積濃度の変化について $G=90\text{mm}$ の場合を図-7に、 $G=105\text{mm}$ の場合を図-8に、 $G=135\text{mm}$ の場合を図-9に、 $G=150\text{mm}$ の場合を図-10に示す。また、各図において、左図を障害あき $L=30\text{mm}$ 、右図を 26mm とした。

障害のあき L が 30mm および 26mm の場合、障害の前後間隔 G が大きい場合、濃縮の程度は小さく、 G が小さい場合、濃縮の程度が大きいという傾向が認められた。

濃縮のパターンの一つとして、流動開始直後から大きな濃縮を生じ、その状態のまま流動し続ける現象である。この現象は、障害のあき L が小さい場合に多く認められるため、濃縮を生じやすい条件であると考えられる。また別のパターンとしては、流動開始直後から大きな濃縮を生じるが、流動開始 3 分程度で濃縮が減少していく現象が挙げられる。この現象は、障害の前後間隔 G が大きい場合に多くなる傾向が認められた。この現象の場合、時間変化に伴う流速の変化が小さいため、濃縮をあまり生じない条件であると考えられる。さらには、流動開始直後では濃縮を生じないが、徐々に濃縮を生じるパターンがある。

(3) 両解析の相関

粗骨材平均流速が遅くなり、流れがほぼ停止する状態に至る時間が短い場合、濃縮が生じる傾向が認められた。つまり、流動開始時の流速が短時間で大幅に減少するような条件で、閉塞現象を生じやすいと考えられる。時間変化に伴う流速の変化が、閉塞現象を生じる条件のものより小さい場合、濃縮があまり生じない傾向が認められた。つまり、流動開始時の流速が徐々に減少する条件が、閉塞現象を生じにくいと考えられる。

また、濃縮が生じた条件では、流速が短時間で遅く

なる傾向が認められた。これにより、粗骨材体積濃度と粗骨材平均流速には相関が認められた。

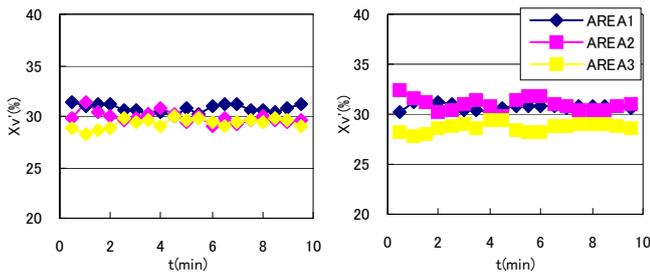


図-7 粗骨材体積濃度；G=90mm(左よりL=30, 26mm)

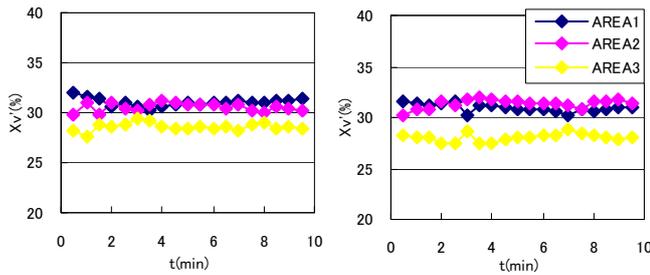


図-8 粗骨材体積濃度；G=105mm(左よりL=30, 26mm)

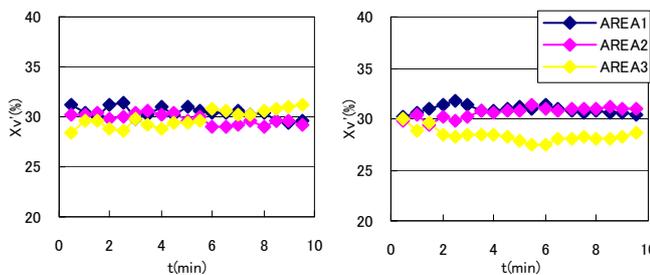


図-9 粗骨材体積濃度；G=135mm(左よりL=30, 26mm)

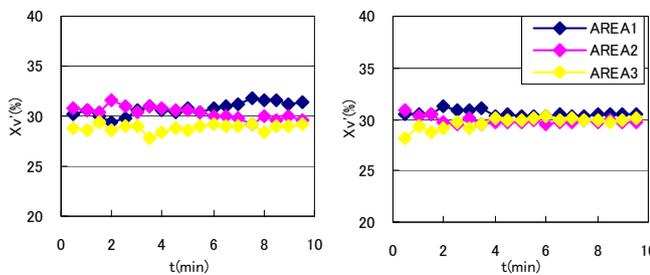


図-10 粗骨材体積濃度；G=150mm(左よりL=30, 26mm)

4. まとめ

型枠内を流動するコンクリートに作用する圧力をほぼ一定とした場合、自己充填性を有する高流動コンクリートが二層配筋条件の流動障害を通過する際の流動挙動、粗骨材の流動速度および粗骨材の分布状況(各AREAにおける粗骨材体積濃度)の把握を試みた。

圧力損失が増大する原因とされる粗骨材の濃縮および閉塞現象は、障害あきLと障害の前後間隔Gの影響が大きいことが認められた。障害の前後間隔Gが大きくなるほど、流動速度が時間と共に減少するので、濃縮および閉塞現象を生じやすくなると考えられる。しかし、障害のあきLが30mmの場合は、障害の前後間

隔が小さい方が、流動速度の減少が顕著になり、粗骨材の濃縮が生じやすくなる傾向が認められた。流速の変化や濃縮および閉塞現象の発生には、障害あきLと障害の前後間隔Gが相互に影響していることが考えられる。

また、濃縮の発生状況としては、大きく次の三つに分類された。①流動開始直後から大きな濃縮を生じ、その状態のまま流動し続ける現象②流動開始直後から大きな濃縮を生じるが、流動開始3分程度で濃縮が減少していく現象③流動開始直後では濃縮を生じないが、徐々に濃縮を生じるものである。

これらの結果より、濃縮および閉塞現象が生じにくい条件がわかった。今後、障害の前後間隔Gと障害のあきLの関係性を明らかにし、更に、条件の異なる間隙通過試験を行うことにより、解明を進めてきた多層配筋条件における圧力損失値推定式構築を図る予定である。

本研究は文部科学省科学研究費補助金基盤研究(C)18560447により行われたことを付記し、謝意を表します。

- 1) 藤原浩己: 自己充填性を有する高流動コンクリートの特性に関する研究, 東京工業大学位論文, 1996.3
- 2) 谷川恭雄ほか: 超流動コンクリートにおける粗骨材連行性に関するレオロジー的考察, 超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集, pp.79-84, 1993.5
- 3) 渡辺有寿ほか: 高流動コンクリートの鉄筋間隙通過時における圧力損失メカニズムに関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.28, No.1, pp1139-1144, 2006.7
- 4) 渡邊暢ほか: 多層流動障害通過時の自己充填コンクリートの圧力損失メカニズム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.29, No.2, pp73-78, 2007.7