

自己充填コンクリートの多層流動障害通過時における圧力損失現象に関する研究

宇都宮大学大学院 正会員 ○渡邊 暢
 宇都宮大学 正会員 藤原 浩己
 宇都宮大学 正会員 丸岡 正知
 宇都宮大学 正会員 小倉 恵里香

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が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、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構造について、モデル自己充填コンクリートの可視化実験¹⁾を行い、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²⁾を進め、理論的な検討を行ってきた。一方、実構造物では多層配筋された部材が多くみられる。本研究では、多層配筋通過時の自己充填コンクリートの挙動把握をし、多層配筋構造における圧力損失現象を単層配筋構造時と比較し、推定式²⁾の応用が可能かを解明するための現象把握を目的として、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、多層配筋状態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近い状態を模したものである。

また、本実験は多層配筋構造の第一段階とし流動障害を二段とした二層配筋構造における試験を行った。

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(アルキルアリルスルホン酸塩,密度: 1.08g/cm^3)を添加したものをを用い、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

一定流動圧力下とするため、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ることにより、一定の水頭高さを保持した。B層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形とした。10分間投入し続け、排出された質量を測定し、流量を換算した。その際、図-2に示す水平流動部の様子をビデオカメラで撮影し、各種解析に用いた。

(3) 試験条件

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 26, 30 および 34(%)の3水準, 増粘剤添加率を 20(%)とした。

また、モデル型枠条件として、図-2に示す間隙幅 L が 21, 24, 26, 30(mm)の4水準, 流動障害層の間隔 G は 45, 60 および 75(mm)の3水準とした。

(4) コンクリートの流動挙動

表-1に間隙部における閉塞状況および間隙通過流

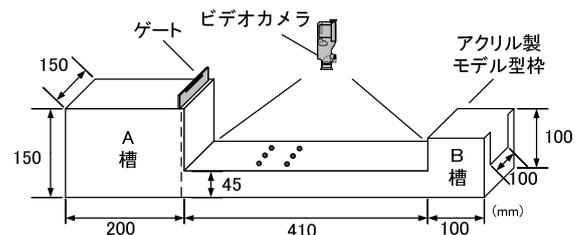


図-1 モデル型枠

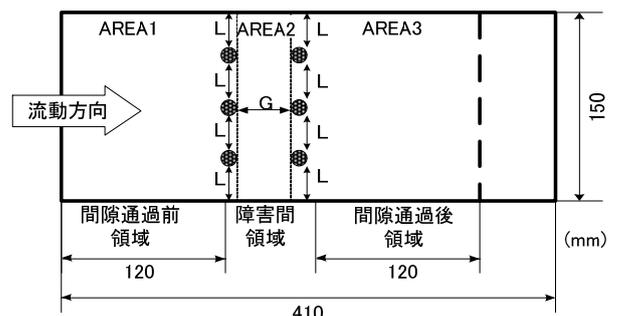


図-2 水平流動部上面図

キーワード: 自己充填コンクリート, 多層配筋構造, 圧力損失, 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

量 (kg/min)を示す。○はすべての間隙が閉塞したもの(全閉塞)を示し、●は完全に閉塞し、モルタルが型枠内に充填できなかったものを示す。

これまでの研究より、粗骨材が鉄筋間隙部分を通過する際、粗骨材の流れに停滞が生じていることが認められている。これより、流動障害上流側で粗骨材体積濃度 X_v が増大する現象が確認されている(以下この現象を濃縮と称す)。また、濃縮が大きいと間隙部で粗骨材のアーチングが起こり閉塞する現象(以下、閉塞現象と記す)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認められた。

流動障害間隔 G は大きい方が閉塞しやすい傾向がみられた。これは AREA2 の範囲の違いが、濃縮の範囲の違いとなり、この範囲が広いと多くの粗骨材が堆積するため、閉塞しやすくなると考えられる。

間隙幅 L が広いほど、 X_v が小さいほど、流動障害間隔 G が大きいほど間隙通過流量が大きくなることわかった。また、流動障害間隔 G による流量の変化は、 X_v が小さいほど大きな変化が認められた。

一定圧力で流動を続けていると徐々に濃縮が生じる現象が認められた。

表-1 間隙部における閉塞状況および流量

V (%)	G (mm)	Xv (%)	L (mm)	閉塞現象		モルタル先流れ	流量 (kg/min)	
				一層	二層			
20	45	26	30				0.11	
			26				0.13	
			24				0.04	
			21	○	○		0.04	
		30	30					0.03
			26					0.05
			24	○				0.01
			21	○	○			0.01
		34	30					0.04
			26					0.04
			24	○				0.03
			21	○	○	○		0.00
	60	26	30				0.17	
			26				0.15	
			24	○				0.07
			21	○	○	○		0.01
		30	30					0.13
			26	○				0.14
			24	○				0.02
			21	○	○			0.06
		34	30					0.12
			26	○	○	○		0.14
			24	○	○	○		0.07
			21	○	○	○		0.03
	75	26	30				0.38	
			26	○	○		0.25	
			24	○	○	○		0.13
			21	○	○	○		0.08
		30	30	○	○			0.22
			26	○	○	○		0.23
			24	○	○	○		0.10
			21	●	○	×		0.00
		34	30					0.11
			26	○	○	○		0.12
			24	●	○	×		0.00
			21	●		×		0.00

※○を部分閉塞、◎を全閉塞、●を間全閉塞とする。

3. 可視化実験結果の数値的解析

3.1 目的

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-2に示す各 AREA を検査領域をとし、短冊状に区間分割する。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。間隙通過前後領域における各区間の粗骨材の流動速度を流動解析ソフト PIV (Particle Image Velocimetry) を用いて測定した。測定範囲は撮影した映像の 1~10 分間であり、1 秒毎の流動速度を測定し、平均した。また、時系列に伴う変化を追った。時系列における測定対象時間はそれぞれ流動開始から 1.5、3、4.5、6、7.5、9 分後とした。また、この解析値は各時間前後 10 秒間の平均値とした。

(2) 時系列に伴う粗骨材体積濃度の変化の算定

粗骨材体積濃度は、間隙を通過する際、停滞・濃縮現象を生じるため時間経過に伴い変化する。間隙通過後粗骨材体積濃度 $X_v'_n$ (%) は、間隙通過試験中の図-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、AREA1, AREA2 および AREA3 における静止画像に二値化処理を行い、白色を粗骨材、黑色をモルタル部分とみなし、領域毎に白色が占める粗骨材面積割合を画像解析ソフトにて測定した。

AREA1, AREA2 および AREA3 における粗骨材面積割合をそれぞれ S_1, S_2 および S_3 (%) とする。

これから、間隙通過後の粗骨材体積濃度 X_v' は式(1)で表される。

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

ここに $n=1, 2, 3$ とする。

$X_v'_n$: 間隙通過後粗骨材体積濃度 (%)

X_v : 配合時の粗骨材体積濃度 (%)

A_1, A_2, A_3 : AREA1, 2, 3 の検査領域面積 (%)

S_1, S_2, S_3 : AREA1, 2, 3 の粗骨材面積割合 (%)

また、対象測定時間は(1)の解析と同一とした。

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における粗骨材の平均流速を分割した区間ごと、時系列 t (min) を追って、解析値を整理した。本節では、流動試験の傾向を強く認められた $X_v=30\%$ における結果を示す。粗骨材平均流速 ($X_v=30\%, G=45\text{mm}$) を図-3に、粗骨材平均流速 ($X_v=30\%, G=60\text{mm}$) を図-4に、粗骨材平均流速 ($X_v=30\%, G=75\text{mm}$) を図-5にそれぞれ示す。それぞれ左から間隔幅 $L=30, 26, 24\text{mm}$ とした。

$t=3\text{min}$ 以後の粗骨材平均流速を流動障害間隔 G ごとに比較すると、 G は広い方が、流速が速い傾向が認められた。また、 $t=1.5\text{min}$ において $G=75\text{mm}$ にて低い値を示している。しかし、図-3より間隙通過流量が多いため、本条件の流速は速いと容易に推測できることから、本条件においては、 $t=1.5\text{min}$ 以前にて最大流速をとると考えられる。このため、本解析結果は、最大流速を示すことができなかつたと考えられる。また、図-4に示す $L=30, 26\text{mm}$ の条件も同様に流速のピークは $t=1.5\text{min}$ 以前と考えられる。

同一間隔幅 L で比較した場合、 G が狭い方が、流速が安定するまでの時間が短い傾向が認められた。また、同一流動障害間隔 G で比較した場合、 L が大きいほうが、流速が安定するまでの時間が短い傾向が認められた。これらでは間隙流量が少なく、閉塞現象が生じていない配合ほど定常流となるまでの時間が短いと考えられる。

モデルコンクリートが間隙を通過する際、粗骨材の流速が、間隙直前で増加する場合と間隙直後で増加する場合が認められた。

(2) 時系列に伴う粗骨材体積濃度の変化

各 AREA の粗骨材体積濃度を、時系列 t (min) を追

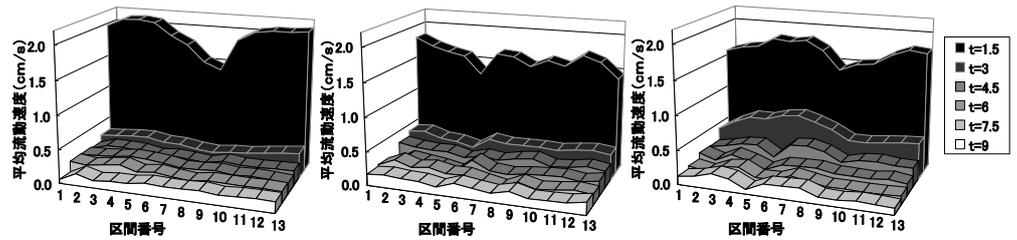


図-3 粗骨材平均流速; $X_v=30\%$, $G=45\text{mm}$, (左より $L=30, 26, 24\text{mm}$)

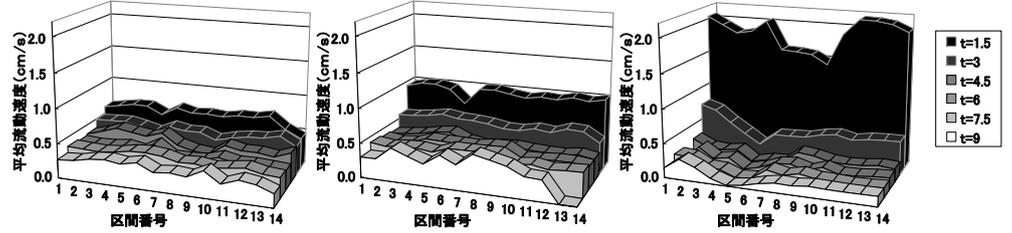


図-4 粗骨材平均流速; $X_v=30\%$, $G=60\text{mm}$, (左より $L=30, 26, 24\text{mm}$)

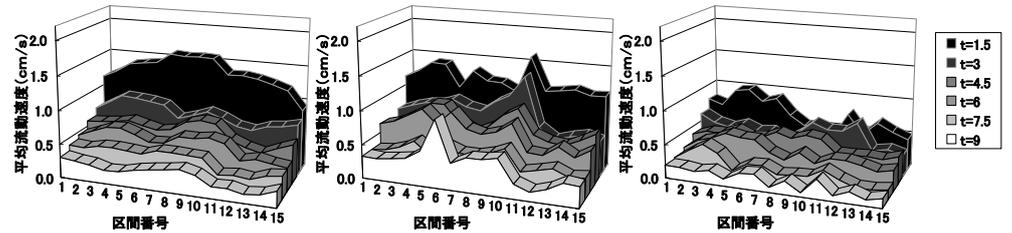


図-5 粗骨材平均流速; $X_v=30\%$, $G=75\text{mm}$, (左より $L=30, 26, 24\text{mm}$)

て、解析した。粗骨材の平均流速と同様に、流動試験の傾向を強く認められた $X_v=30\%$ における結果を示す。粗骨材体積濃度の変化 ($X_v=30\%, G=45\text{mm}$) を図-6に、粗骨材体積濃度の変化 ($X_v=30\%, G=60\text{mm}$) を図-7に、粗骨材体積濃度の変化 ($X_v=30\%, G=75\text{mm}$) を図-8にそれぞれ示す。また、それぞれ左から間隔幅 $L=30, 26, 24\text{mm}$ とした。

流動障害層の間隔 G は、狭いと濃縮が小さく、広いと濃縮が大きという傾向が認められた。 $G=45\text{mm}$ において、 L が大きい条件では、 X_v の変化が小さく、良好な流動状態を示した。しかし、条件が厳しくなるほど、 $t=6\text{min}$ 以降で濃縮が大きくなった。また、 $G=75\text{mm}$ では、全体的に濃縮が大きく、早い時点で濃縮が起きていた。

また、濃縮の状況として、大きく二つ挙げられる。一つは、濃縮を生じていなかったものが時間経過とともに徐々に濃縮を生じる現象である。この現象を遅れ濃縮と呼ぶこととした。二つ目は流動開始直後から大きな濃縮を生じるものが挙げられる。この濃縮現象は、 G が広いときに多くみられるため、流動速度が速いと生じ易いと考えられる。

(3) 両解析の相関

濃縮の小さい配合は、流速が安定するまでの時間が

短いという傾向が認められた。この傾向は流量が少ないほど多く認められた。つまり、流動速度が遅くなり易い配合が、閉塞現象を生じにくいと考えられる。

濃縮の大きい配合は、モルタルの先流れ現象を生じ、流速は安定しにくい傾向が認められた。この傾向は、流量が多いほど多く見られた。つまり、流動速度が速くなり易い配合だと、濃縮および閉塞現象が生じ易いと考えられる。

また、静的解析で濃縮を示した条件では、動的解析において間隙通過後の流速の増加が認められ、モルタルの先流れを生じることが認められた。これより、静的解析と動的解析の相関が認められた。

4. まとめ

一定流動圧下において、自己充填性を有する高流動コンクリートが二層配筋構造の流動障害を通過する際、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。その結果、次のことが明らかになった。

実施工時に大きな問題となる充填不良の主要因として、圧力損失が挙げられる。圧力損失が増大する原因とされる濃縮および閉塞現象は流量が多いほど、つまりコンクリートの流動速度が速いほど生じ易いことが明らかになった。

また、流動障害層の間隔 G が広くなるほど、流速は増加することより、濃縮および閉塞現象が生じ易くなると考えられる。濃縮および閉塞現象発生において、間隙幅 L の影響より流動障害層の間隔 G の影響が大きいことが認められた。

濃縮の発生状況として、大きく二つに分類された。一つは、流動開始初期に濃縮を生じていなかったものが流動時間を長くしていくと徐々に濃縮が生じてしまう現象である。この現象を遅れ濃縮と呼ぶとした。二つ目は流動開始直後から大きな濃縮を生じる場合であ

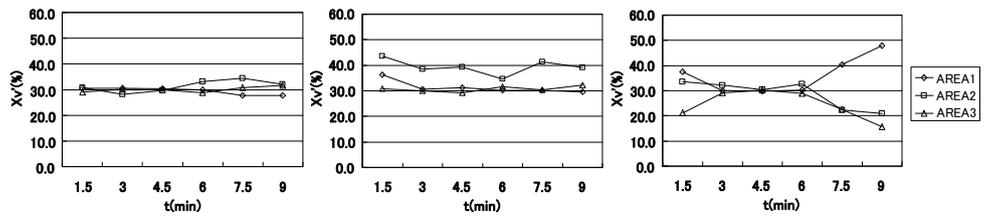


図-6 粗骨材体積濃度の変化 ; $X_v=30\%$, $G=45\text{mm}$, (左より $L=30, 26, 24\text{mm}$)

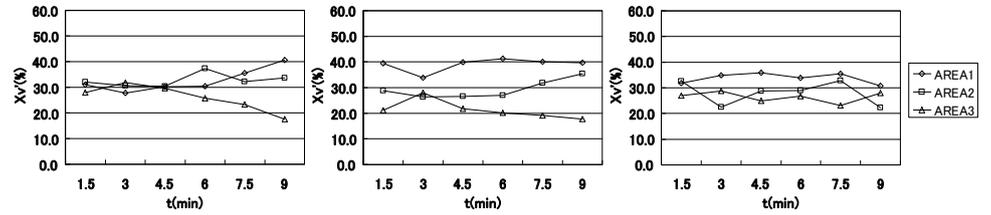


図-7 粗骨材体積濃度の変化 ; $X_v=30\%$, $G=60\text{mm}$, (左より $L=30, 26, 24\text{mm}$)

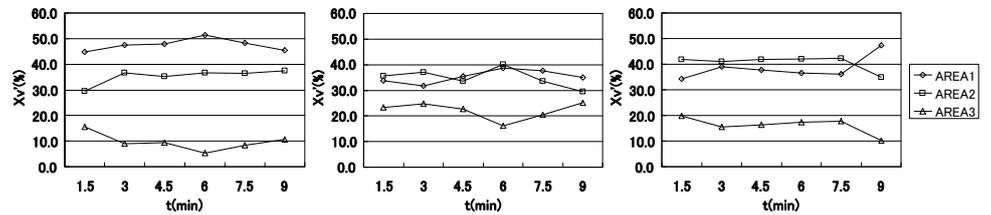


図-8 粗骨材体積濃度の変化 ; $X_v=30\%$, $G=75\text{mm}$, (左より $L=30, 26, 24\text{mm}$)

る。

これらの結果より、濃縮および閉塞現象が生じにくい配合の傾向認められた。今後の検討として、この濃縮の生じにくい配合の試験結果を用いて、各 AREA の粗骨材体積濃度 X_v の推定式を求める。更に単層配筋構造において、解明を進めていた推定式を用いて、多層配筋構造における圧力損失値推定式構築を図る。

謝辞

本研究で使用した増粘剤を提供していただいた花王(株)関係者各位に御礼申し上げます。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。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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集，Vol.28，No.1，pp1139-1144，2006