論文 縮小モデルを用いたコンクリートの充てん性に及ぼす配筋条件とコン システンシーの影響

田中博一*1•栗田守朗*2•木村克彦*3•浦野真次*4

要旨:実大施工実験の簡略化を目的とした縮小モデルによる充てん性評価手法を確立するため 壁状構造物を対象としたコンクリートの充てん性に及ぼす配筋条件とコンシステンシー の影響について検討した。その結果,コンクリートの流動勾配は,主として流動方向に直角 に配置された鉄筋の影響が大きいことを明らかにし 縮小モデル実験から所定の配筋条件に おけるスランプフローと流動勾配の関係を把握することにより,良好な充てん性が得られる スランプフローを簡易に選定できる可能性が得られた。

キーワード:縮小モデル,充てん性,流動勾配,格子状鉄筋,せん断筋,コンシステンシー

1. はじめに

コンクリート構造物が設計時に要求された所 要の性能を満足するためには,施工時にコンク リートが構造物の隅々まで確実に充てんされる ことが大前提となる。

一方,近年,耐震性能の確保のために補強材 量の増加や断面の複雑化ならびに柱とはりの接 合部など,補強材が極めて過密に配置される場 合が増加している。このような場合には,実際 の部材断面を模擬した実大規模の施工実験を行 うことが多い^{1),2}。しかし,実大規模の施工実験 は,時間および費用が多くかかるため,実験数 が限定されることも多く,その結果,充てん性 を確保するめに過剰な配合,施工方法となって いるのが現状である。

コンクリートの充てん性を室内規模の実験で 検討し,評価できることが可能となれば,施工 条件や構造条件に適した配合や施工方法を効率 的に選定することが可能となる。そこで,筆者 らは,縮小モデル実験によるコンクリートの充 てん性評価手法を確立する目的で研究を実施し ている^{3)~5}。

本研究では、壁状構造物に比較的流動性の高

いコンクリートを締め固めせずに施工すること をモデル化した 1/2 スケールの縮小モデル実験 におけるモデルコンクリートの充てん性に及ぼ す配筋条件とコンシステンシーの影響について 検討した。

2. 縮小モデル実験

実大モデルとして壁厚 800mm 程度の壁状構造 物を対象とし、壁厚方向に2分割したモデルを設 定した。コンクリートは、締固めを行わないで 充てん性が確保できることを前提とした。縮小 モデルは実大スケールの1/2とし、以下の考え 方により縮小モデル実験を実施した。

2.1 型枠および配筋

型枠寸法および鉄筋径および鉄筋間隔は,幾 何学的に実大スケールの1/2になるようにした。

2.2 モデルコンクリート

筆者らの既往の研究⁵⁾から,縮小モデル実験 に実際のコンクリートを適用した場合,実大ス ケールと縮小モデルの比較実験において,充て ん状況が著しく異なることが示された。

そこで,縮小モデル実験の縮尺を1/2とした 場合は,モデルコンクリートとして,粗骨材の

*1	清水建設(株)	技術研究所	土木研究開発部	工修 (正会員)	
*2	清水建設(株)	技術研究所	土木研究開発部	主任研究員 工修	(正会員)
*3	清水建設(株)	技術研究所	土木研究開発部	主席研究員 工博	(正会員)
*4	清水建設(株)	技術研究所	土木研究開発部	工博 (正会員)	

最大寸法を1/2(10mm),単位粗骨材量を実際の コンクリートの粒径10~20mmの粗骨材量と同量 とし,スランプフローを実際のコンクリートと 同程度としたものを適用することとした。また, 実験時の経時変化を小さくするため,セメント の代替材料として石灰石微粉末を使用した。

2.3 充てん性評価

コンクリートの充てん性評価は,流動勾配を 指標として行った。高流動コンクリート施工指 針⁶⁾によれば,標準的な施工条件の場合には,流 動勾配は1/10~1/30程度を想定している。ま た,既往の研究⁷⁾では,良好な充てん性を確保 する場合には,少なくとも流動勾配を1/10以下 にする必要があることが示されている。そこで, 本研究では,流動勾配10%以下を良好な充てん 性が得られる指標とした。

3. 実験概要

3.1 モデルコンクリートの使用材料および 配合

セメントには,代替材料として石灰石微粉末 (P)(比表面積3500cm²/g,密度2.70g/cm³)を使 用した。細骨材(S)には,高知県烏形産砕砂(表 乾密度2.65g/cm³,吸水率1.59%,粗粒率3. 39)と千葉県市原産山砂(表乾密度2.60g/cm³, 吸水率2.54%,粗粒率2.17)を4:6で混合し たもの,粗骨材(G)には東京都青梅産硬質砂岩砕 石(表乾密度2.67g/cm³,吸水率0.7%,最大 寸法10mm)を使用した。混和剤には,ポリカル ボン酸系高性能AE減水剤(SP)およびウェランガ ム増粘剤(V)を使用した。

モデルコンクリートの配合を表-1に示す。モ デルコンクリートの特徴は,縮尺を1/2とする ことを考慮し,粗骨材の最大寸法を10mmとし, 単位粗骨材量を実際のコンクリートにおける粒 径10~20mmの粗骨材量と同量としたことであ る。なお,実際のコンクリートの粒径5~10mm の粗骨材はモデルコンクリートでは細骨材に置 換した。スランプフローは,高性能AE減水剤の 添加量を調整(5.3~7.9kg/m³)することによ り変化させた。

3.2 充てん性試験

充てん性試験は,図-1に示す流動状況を確認 するため前面をアクリル板(他の面は表面塗装 した鋼製板)とした試験槽(横100×高さ50× 厚さ20cm)の中に図-2や図-3に示す鉄筋を配 置して行った。

2枚の仕切りゲートを閉じた状態で容器右側の コンクリート投入槽(形状:横25×高さ50×厚 さ20cm,容量:25L)にモデルコンクリートを投 入した後,仕切りゲートの1枚を一気に引き上 げ,もう一枚の仕切りゲートの開口部から流動 させた。仕切りゲートの開口部は,形状を高さ 12.5×幅7.5cmとし,型枠背面側下部に設けた。 モデルコンクリートの流動が停止した後,図-1 に示す水平方向に6箇所(流動距離:0,150,300, 450,600,750mm),壁厚方向に3または4箇所 (型枠前面からの位置:25,75,125,200mm,格子 状鉄筋2段の場合は4箇所でその他は3箇所とし た)で充てん高さを測定した。

3.3 検討要因および水準

本実験で検討した要因および水準を表 -2 に,

表-1 モデルコンクリートの配合

Gmax	W/P	空気量	単位量(kg/m ³)					
(mm)	(%)	(%)	W	Р	S	G	SP	V
10	35	3.0	185	528	1126	450	*	0.1
*・スランプフローにより調整								





図-2 格子状鉄筋の配筋状況(間隔100mmの例)

衣・2 女凶のよび小竿						
要	因	水準				
スランス	プフロー	450~600mm程度				
	鉄筋の 種類	格子状鉄筋(D22)(実スケールでD41を想定) せん断筋(D10)(実スケールでD19を想定)				
配筋 条件	鉄筋 間隔	62.5mm , 100mm (実スケールで125 , 200mmを想定)				
	鉄筋 段数	1段 , 2段 (格子状鉄筋のみ)				

西田や トッジャン 進

配筋条件の組合せを表-3に示す。

鉄筋は,図-2に示す主筋を想定したD22を62. 5mm および 100mm 間隔で格子状に配置したもの (以下格子状鉄筋)と図-3に示すせん断補強筋を 想定した D10 を壁厚方向に 62.5mm および 100mm 間隔で配置したもの(以下せん断筋)を使用し た。格子状鉄筋は,図-2の側面図に示すように 鉄筋段数を1段および2段とした。実施工上で は、格子状鉄筋とせん断筋が組み合わされるが、 充てん性に及ぼす影響を個別に評価するため, 本実験では格子状鉄筋とせん断筋に分けて実験 を実施した。

コンシステンシーは, スランプフローの範囲 を 450 ~ 600mm 程度に変化させた。

実験結果および考察 4.

4.1 フレッシュ性状

モデルコンクリートの練上り直後および充て ん性試験後のフレッシュ性状の測定結果の一例 を表-4に示す。同一バッチの試料では,最大3 回の充てん性試験を行い,練上がりから充てん 性試験終了までの時間は40分程度であった。ス



図 -3 せん断筋の配筋状況(間隔100mmの例)

No	힌모	配筋条件				
NO.	記ち	鉄筋径	種類	鉄筋間隔	鉄筋段数	
1	無筋	-	-	-	-	
2	格子状鉄筋62.5-1		格子状鉄	62.5mm	· 1	
3	格子状鉄筋100-1	022		100mm		
4	格子状鉄筋62.5-2	UZZ	筋	62.5mm		
5	格子状鉄筋100-2			100mm		
6	せん断筋62.5	D10	十 () 影 ()	62.5mm	-	
7	せん断筋100	010	ピアレビ川加	100mm	-	

配筋冬性の組合せ 圭 2

表-4 フレッシュ性状測定結果の一例

No.	時期	スランプ フロー (mm)	50cmスランプ フロー到達 時間 (sec)	空気量 (%)	温度 ()	V漏斗流下 時間 (sec)
1	練上り後	475	-	2.4	20.9	6.3
1	充てん試験後	445	-	-	-	-
2	練上り後	535	9.4	2.6	20.0	8.3
	充てん試験後	530	10.5	-	-	-
3	練上り後	605	6.4	2.8	19.5	8.0
	充てん試験後	605	7.8	-	-	-

ランプフローが小さい場合は,練上り後から充 てん試験終了までの経時変化が30mm程度と若干 大きいものの,スランプフローが500mm 程度以 上では経時変化は 5mm 程度以下であり小さかっ た。

4.2 充てん状況

充てん性試験時に目視により観察した流動挙 動の概略を図-4に示す。図-4(a)で示すように 無筋およびせん断筋の場合は,水平方向のほぼ1 方向に流動した。一方,図-4(b)で示すように格 子状鉄筋の場合は、まず図に示す矢印(1)のよう に開口部から型枠背面と格子状鉄筋の間を水平 方向に流動し,次に矢印(2)のように型枠前面方 向に流動しながら格子状鉄筋を通過した後,矢 印(3)のようにかぶり部を水平方向に流動した。

代表的なモデルコンクリートの流動距離と充 てん高さの関係を図-5~7に示す。なお,上段 はスランプフローが比較的小さい場合,下段は 比較的大きい場合を示している。

無筋の場合はほぼ水平に充てんしているが, 鉄筋を配置した場合には,配筋条件やスランプ フローによって,充てん性が大きく異なる結果 となった。また,無筋とせん断筋の場合は,型 枠前面からの位置によって充てん高さがほぼ同 じであるが,格子状鉄筋の場合は,型枠前面に 近くなるほど充てん高さが低くなった。

充てん性に及ぼす影響ををさらに検討するため,図-1に示す水平方向と壁厚方向の流動勾配 について検討した。

(1)水平方向の流動勾配

スランプフローと型枠前面からの位置25mmに おける水平方向平均流動勾配の関係を図-8およ び図-9に示す。格子状鉄筋,せん断筋のいずれ においてもスランプフローが大きくなるに従い, 水平方向の流動勾配がほぼ直線的に小さくなる 傾向が認められた。スランプフロー500~600mm 程度の流動勾配は,格子状鉄筋場合で5~25%程 度,せん断筋の場合で10~30%程度となった。

格子状鉄筋の鉄筋間隔については,段数が同 じ場合,鉄筋間隔が変化してもスランプフロー と流動勾配の関係はほぼ同一直線上にあり,鉄 筋間隔が水平方向の流動勾配に及ぼす影響は小 さいと考えられる。格子状鉄筋の鉄筋段数につ いては,1段より2段の方が水平方向の流動勾配 が大きくなった。せん断筋の鉄筋間隔について









図 -8 スランプフローと水平方向流動勾配の 関係(格子状鉄筋)



図-10 スラフラフローと至厚方向派動勾配の 関係(格子状鉄筋)

は,鉄筋間隔が小さくなると水平方向の勾配が 大きくなった。

これは,格子状鉄筋が型枠上面からみて図-4 (b)に示す(1)や(3)の流動方向とほぼ平行に配置 されているため,鉄筋間隔が小さくなっても水 平方向の流動勾配は同程度となったと考えられ る。一方,せん断筋の間隔が小さくなる場合は, 図-4(a)に示す流動方向に対して直角に配置され る鉄筋数が多くなることから,水平方向の流動 勾配が大きくなったものと考えられる。した がって,コンクリートの流動勾配は,主として 流動方向に対して直角に配置された鉄筋の影響 を大きく受けると考えられる。

図-8,9より,水平方向の流動勾配を良好な充 てん性が得られる指標である10%以下にするた めのスランプフローは,格子状鉄筋については, 鉄筋間隔に関わらず,鉄筋段数1段の場合で



図 -9 スランプフローと水平方向流動勾配の 関係(せん断筋)



図-11 スランプフローと壁厚方向流動勾配の 関係(せん断筋)

550mm 程度以上,鉄筋段数2段の場合で600mm 程 度以上とする必要があり,せん断筋については, 鉄筋間隔100mmの場合で580mm 程度以上,鉄筋間 隔62.5mmの場合で620mm 程度以上とする必要が あると考えられる。

(2)壁厚方向の流動勾配

スランプフローと壁厚方向平均流動勾配の関 係を図-10および図-11に示す。壁厚方向の平均 流動勾配は,流動距離の各位置で測定した6箇所 の壁厚方向の流動勾配を平均したものである。

壁厚方向の場合と同様に,格子状鉄筋および せん断筋のいずれのケースについてもスランプ フローが大きくなるに従い,壁厚方向の流動勾 配は直線的に小さくなった。スランプフロー500 ~ 600mm 程度の流動勾配は,格子状鉄筋の場合 で15~55%程度,せん断筋の場合で2~6%程度 となった。 格子状鉄筋の間隔については,鉄筋間隔が小 さくなると流動勾配が大きくなった。これは,格 子状鉄筋を通過する場合,水平方向ではなく図-4(b)に示す(2)のように型枠背面から前面方向へ 流動し,その場合,格子状鉄筋が流動に対して 直角に配置されるためであると考えられる。

格子状鉄筋の段数については,鉄筋間隔100mm の場合では1段と2段がほぼ同じ流動勾配を示し たが,鉄筋間隔62.5mmの場合では1段より2段 の方が流動勾配が大きくなった。したがって,壁 厚方向の流動勾配に対しては,鉄筋間隔がある 程度小さくなると,鉄筋段数の影響が現れるも のと考えられる。

せん断筋の間隔については,いずれのケース でも壁厚方向の流動勾配は非常に小さく,無筋 の場合とほぼ同様な傾向を示した。

図-10,11より,壁厚方向の流動勾配を良好な 充てん性が得られる指標である10%以下にする ためのスランプフローは,格子状鉄筋について は,段数に関わらず,鉄筋間隔100mmの場合で 650mm程度以上,鉄筋間隔62.5mmの場合で680mm 程度以上とする必要があると推測される。せん 断筋については,鉄筋間隔62.5mm以上であれば, スランプフローに関わらず,壁厚方向の流動勾 配が10%以下になると考えられる。

以上より,縮小モデル実験により,所定の配 筋条件におけるスランプフローと水平方向およ び壁厚方向の流動勾配の関係を把握することに より,コンクリートの流動勾配を良好な充てん 性が得られる指標である10%以下とするスラン プフローを簡易に選定できる可能性が得られた。

5. まとめ

本研究の範囲で得られた知見を以下に示す。 (1) コンクリートの流動勾配は,主として流動 方向に直角に配置された鉄筋の影響を大きく受 ける。

(2)水平方向の流動勾配は,格子状鉄筋の段数 が増加する場合やせん断筋の鉄筋間隔が小さく なる場合に大きくなるが,格子状鉄筋の鉄筋間 隔が水平方向の流動勾配に及ぼす影響は小さい。 (3)壁厚方向の流動勾配は,格子状鉄筋の鉄筋 間隔が小さくなる場合に大きくなるが,せん断 筋の鉄筋間隔が壁厚方向の流動勾配に及ぼす影 響は小さい。

(4)縮小モデル実験により,配筋条件に応じて, コンクリートの流動勾配を良好な充てん性が得 られる指標である10%以下とするスランプフ ローを簡易に選定できる可能性が得られた。

今後は,データを蓄積し実大スケールと縮小 モデルの関係を把握し,縮小モデル実験の適用 範囲を明確にすることが課題として考えられる。

参考文献

1)青柳隆浩ほか:高流動コンクリートを用いた MMST中詰めコンクリートの施工,コンクリート 工学年次論文集,Vol.22,No.2,pp.1309-1314, 2000

2)大友健ほか:地下連続壁用水中コンクリート の安定液中の過密配筋への打込み性能評価,コ ンクリート工学年次論文集,Vol.23,No.2,pp. 1225-1230,2001

3) 栗田守朗ほか:縮小モデルを用いたコンク リートの充てん性に関する検討,土木学会第55 回年次学術講演会講演概要集,V-88,2000.9 4) 木村克彦ほか:コンクリートの充てん性に及 ぼす鉄筋間隔およびコンシステンシーの影響, 土木学会第57回年次学術講演会講演概要集,V-707,pp.1413-1414,2002.9

5) 栗田守朗ほか: コンクリートの流動性状に関 する縮小モデルを用いた検討, 土木学会第57回 年次学術講演会講演概要集, V-708, pp.1415-1416, 2002.9

6) 土木学会:高流動コンクリート施工指針, pp.17-19,コンクリートライブラリー93,1998.7 7)近松竜一ほか:高流動コンクリートの自己充 てん性に及ぼす打設方法の影響,コンクリート 工学年次論文集,Vol.22,No.2,pp.925-930, 2000