

地下連続壁のコンクリートの充填状況 に関する可視化モデル実験

浦野真次¹・橋本親典²・辻 幸和³・杉山隆文⁴

¹正会員 工修 清水建設株式会社 技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17)

²正会員 工博 徳島大学教授 工学部建設工学科 (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)

³正会員 工博 群馬大学教授 工学部建設工学科 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1)

⁴正会員 Ph.D. 群馬大学助教授 工学部建設工学科 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1)

地下連続壁に打ち込まれるフレッシュコンクリートの充填状況の可視化モデル実験を行い、モデルコンクリートの流動性や施工条件が充填状況に及ぼす影響について検討した。その結果、トレミーの貫入長が実機で2m程度であれば、コンクリートの流動性にかかわらず新しく打ち込むコンクリートが上面に噴出しないうなど、本実験の結果は従来の経験的な知見と一致しており、本実験手法が有効であることが明らかとなった。また、トレミーによる施工性は新しく打ち込むコンクリートの粘性の影響を受けることを確認し、トレミーからの吐出後の充填状況は、コンクリートの流動性、トレミーの貫入長および受持ち面積などの影響を受けることを把握した。

Key Words: diaphragm wall, fresh concrete, visualization technique, placeability,

K funnel time, minislump flow

1. はじめに

近年、LNG地下タンクをはじめとする地下構造物の大型化・大深度化に伴い、掘削深度が100m以上の地下連続壁が施工されるようになり、高強度化あるいは高流動化など、コンクリートに対する要求品質も多様化している¹⁾。この種のコンクリートの施工にあたっては、施工性の良否が硬化後の品質に及ぼす影響が非常に大きいことから、充填性の評価が非常に重要である。充填状況の形態はいくつか予測されている(図-1参照)^{2),3)}が、一般に、地下連続壁においては一つのエレメントにコンクリートを打ち込む際の充填状況を直接観察することは不可能であり、実大実験による定量的評価も容易に行うことはできない。このため、この種のコンクリートの充填性は、各種コンシステンシー試験の組み合わせにより間接的に評価されているのが現状である。しかし、コンクリートの流動性や施工要因が充填性に及ぼす影響については不明な点が多く、合理的に評価されているとは言い難い。

一般に、地下連続壁用コンクリートはトレミー

工法により施工され、締固めを行うことなく溝壁内隔々まで充填するための流動性が要求される。流動性が乏しい場合には、トレミーを中心とする山形状にコンクリートが打ち込まれ、ジョイント部にスライムが溜ったり、スライムや安定液の巻込みによるコンクリートの局部的劣化や空洞などが生じるという不具合が予想される⁴⁾。また、こうしたフレッシュコンクリートの性状以外にも、トレミーの配置や既に打ち込まれたコンクリートへのトレミーの貫入長などの施工要因もコンクリートの充填状況に大きく影響するため、地下連続壁のコンクリートに関しては一般に高度の施工管理が必要となる。しかし、充填状況を直接観察することはできないため、施工管理基準の設定は、これまでの経験に頼らざるを得ないのが現状である。

フレッシュコンクリートの流動性や施工要因が地下連続壁の充填状況に与える影響について定量的に評価するための一手法として、数値解析によるシミュレーションやモデルによる可視化実験がある。著者らは、既に粘塑性空間要素法による動的2次元解析を試みており、地下連続壁における充填状況をフレッシュコンクリートの物性と施工

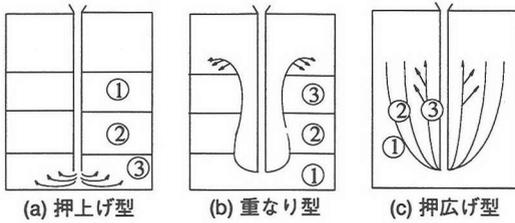


図-1 地下連続壁コンクリートの充填状況予想図²⁾

要因を入力値として解析できる可能性を示した⁵⁾。しかし、解析条件などにおいて種々の仮定が多く設定されるため、実現象に基づく様々な情報の蓄積が必要である。一方、フレッシュコンクリートの可視化実験手法を適用し、溝壁内に既に打ち込まれたコンクリートの中にトレミーによって流入するコンクリートの充填状況を可視化することにより、有効な情報が得られる可能性が大きい⁶⁾。本研究は、地下連続壁内に打ち込まれるコンクリートの充填性の予測技術の確立を目的として、試作した地下連続壁モデル型枠を用いて、モデルコンクリートの流動性や施工要因が充填性に及ぼす影響について検討を行うものである。

2. 実験概要

(1) 地下連続壁のモデル化

本実験で用いた地下連続壁のモデル型枠による流動実験装置を図-2に示す。本研究では、地下連続壁内に充填されるフレッシュコンクリートは、実際の1本のトレミーが受け持つ掘削溝の厚さ方向よりも横幅方向と高さ方向の2次元的挙動が卓越すると考え、厚さ方向は考慮せず、1エレメント内のトレミー筒先周辺におけるコンクリートの充填状況の可視化を対象とした。そこで、本実験装置は、図-3に示すように、トレミー中心軸において左右対称とした半分を取り出しモデル化した。モデル型枠は、これまでの施工実績などから実際の1本のトレミーが受け持つ横幅の標準を3.0mと考え、その半分である1.5mの溝壁内空間を3/25モデルとした高さ1000mm×横幅180mm×厚さ100mm (A型枠と称す、図-4参照)の透明なアクリル樹脂製である。深さ方向に関する大きさは、本実験装置では横幅の5倍程度として1000mm (実機では8.33mに相当)とした。これは、実際の1エレメントの高さすなわち掘削深度は、数10m~100m程度にも達するが、この一つのエレメント全体をモデル化すると、トレミーおよび壁厚が非常に小さくなり、実験を行うことが困難となるためである。ま

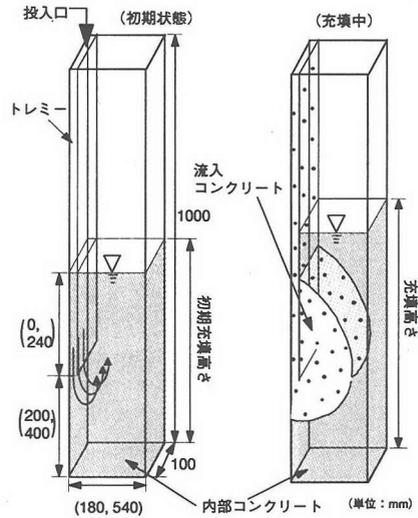


図-2 地下連続壁モデル型枠の概要

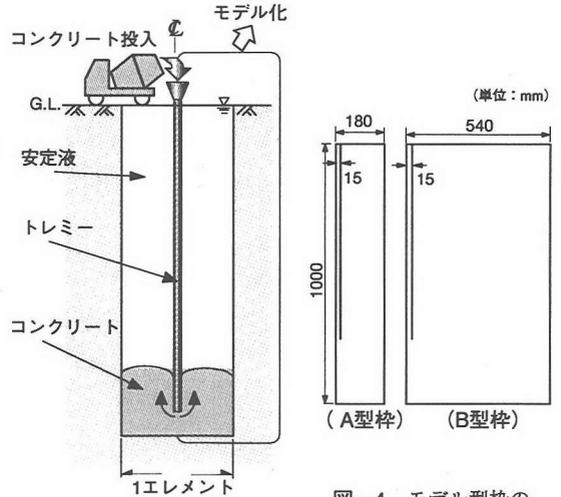


図-3 地下連続壁施工概念図

図-4 モデル型枠の形状・寸法

た、トレミーの縮尺に関しては、実際のトレミーの半径を125mmとし、3/25モデルとして15mm×100mmの矩形断面とし、やはり壁厚方向は考慮していない。また、1本のトレミーの受持ち面積の違いが充填状況に及ぼす影響を検討するため、横幅のみを実機で3倍の9.0mとした高さ1000mm×横幅540mm×厚さ100mmの型枠 (B型枠と称す、図-4参照)も作製し、実験を行った。鉄筋かごに関しては、トレミーの配置位置における横幅と高さ方向に関する2次元的な単純なモデルとするため、考慮していない。

(2) モデルコンクリート

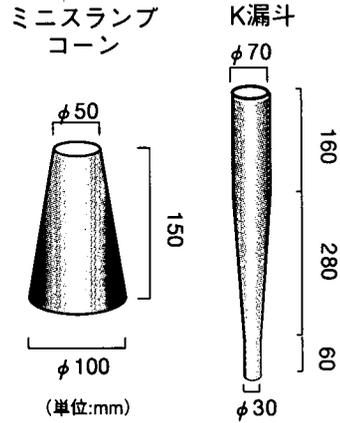
本研究において、フレッシュコンクリートの可視

表一 モデルコンクリートの配合

No.	コンクリートの種類	高分子添加量(g/l)	増粘剤添加量(g/l)	ミニスランプ70-(mm)	K漏斗流下時間 (s)	総流入時間 (s)
A-1	流入	3.0	0	225	1.84	98
	内部	3.4	0	220	2.32	
A-2	流入	2.7	0	260	1.38	16
	内部	2.9	0	265	1.31	
A-3	流入	3.5	0	190	4.48	142
	内部	4.0	0	180	7.10	
A-4	流入	3.0	1.0	245	2.76	178
	内部	3.4	1.0	225	4.86	
A-5	流入	3.0	2.0	240	4.26	240
	内部	3.4	2.0	240	7.40	
A-6	流入	2.7	2.0	295	2.22	87
	内部	2.9	2.0	285	1.95	
A-7	流入	2.7	0	255	1.45	22
	内部	4.2	0	170	13.76	
B-1	流入	3.0	0	215	3.98	595
	内部	3.4	0	230	2.43	
B-2	流入	2.7	0	275	1.44	47
	内部	2.9	0	255	1.77	
B-3	流入	2.7	2.0	305	1.98	431
	内部	2.9	2.0	290	2.68	
B-4	流入	2.7	0	260	1.39	63
	内部	4.2	0	170	13.98	

化モデルとして採用すべき材料は、実際のコンクリートとある程度相似則を満足するものでなければならない。しかしながら、実際のコンクリートの挙動を支配する物理的法則をすべて考慮して相似則（ビンガム定数や重力等）を満足させることは不可能である⁷⁾。このため、寸法に関する相似率が3/25の本研究では、モデルコンクリートの流量や既に打ち込まれたコンクリートと新たに打ち込まれるコンクリートの相互の挙動だけに限定して相似性を満足する材料を使用することとした。そこで、モデルコンクリートとして、高吸水性高分子樹脂（以下、高分子と称す）および増粘剤（メチルセルロース系）を水に添加して得られる無色透明な1相系粘性流体（比重1.0）を用いた。粗骨材粒子は混入していない。これは、実際のコンクリートの粗骨材の最大寸法25mmを、モデル型枠の縮尺である3/25とすると3mmとなり、粗骨材粒子のモデル化が困難であるとともに、材料分離がないことを前提としたためである。また、本モデルコンクリートは、著者らが提案してきたこれまでのモデルコンクリート⁸⁾とは増粘剤を添加している点においても異なる。これは、従来は高分子の添加量の調整によってのみコンクリートの流動性を決定してきたが、高強度・高流動コンクリートのモデルの作製には、主として粘性の調整が重要であると考えたためである。

本実験では、トレミーが既に打ち込まれたコンクリートにある長さ貫入しており、そこに新たにコンクリートが打ち込まれる状況を模擬している。



図一5 ミニスランプコーン・K漏斗の形状・寸法

そこで、既に打ち込まれたモデルコンクリートを以下、内部コンクリートと称し、新たに打ち込まれるモデルコンクリートを以下、流入コンクリートと称し、内部コンクリートと流入コンクリートの境界面あるいは混合の様子が明確に可視化できるように、内部コンクリートは黒色に着色し、流入コンクリートにはコンクリートの流動を追跡するトレーサ粒子として発泡スチロール粒子（平均粒径2.5mm，比重0.02）を適量混入した。

モデルフレッシュコンクリートの流動性が充填状況に及ぼす影響を検討するため、表一に示すように、高分子と増粘剤の添加量によりモデルコンクリートの流動性を変化させた。モデルコンクリートの流動性は、図一5に示ような実モルタルに適用されているミニスランプフローおよびK漏斗による流下時間により評価した。河井らによれば、実モルタルの場合、ミニスランプフローは降伏値と強い相関が、またK漏斗流下時間は塑性粘度と強い相関があることが報告されている⁹⁾。したがって、両指標をモデルコンクリートの流動性である降伏値および粘性を示す指標として有効であると考え、コンシステンシー試験として用いることとした。各試験結果より、高分子の添加量の調節のみでは、降伏値および塑性粘度が同時に変化してしまっていたが、増粘剤を添加することにより、降伏値をほぼ一定として塑性粘度を変化させることが可能となった。なお、同一実験条件では、流入コンクリートと内部コンクリートの流動性が同程度となるように高分子の添加量を調節したため、着色剤の影響で黒色化した内部コンクリートの高分子添加量が流入コンクリートよりも0.4g/l程度多くなった。

実験は、既に打ち込まれたコンクリートと新たに打ち込むコンクリートの流動性がほぼ同程度なもの

表一 トレミー貫入長および筒先位置の条件

No.	コンクリート 配合No.	貫入長 (mm)	筒先位置 (mm)	総流入時間 (s)
—	A-1～A-5	240	200	—
A-6(1)	A-6	240	200	87
A-6(2)	A-6	0	200	130
A-6(3)	A-6	240	400	47
A-7(1)	A-7	240	200	22
A-7(2)	A-7	0	200	24

と、既に打ち込まれたコンクリートの性状が変化し、流動性が低下した場合について行うこととした。流入コンクリートと内部コンクリートの流動性は、No.A-1～A-6、B-1、B-2およびB-3では同程度となるよう高分子の添加量を調節した。No.A-7およびB-4は、黒色化した内部コンクリートの高分子添加量を極端に多くすることにより、既に打ち込まれたコンクリートが流動性が低下した状態を模擬したものであり、流入コンクリートと比較してミンスランプフローを小さく、K漏斗流下時間を大きくしたものである。

一般に、コンクリートが打ち込まれていない溝壁内には、安定液が存在する。安定液の比重が1.1程度、かつコンクリートの比重が2.3程度であるとすると、安定液中におけるコンクリートに作用する浮力を考慮すれば、見かけのコンクリートの比重は1.2程度となり、モデルコンクリートの比重とほぼ一致する。したがって、浮力に関しては相似率が1/1である。これは、浮力に関する相似則を満足する実験材料が選定できないことや、流量に関する相似性を満足させる上では浮力に関する相似率は1/1でも問題ないもの⁷⁾と考えたためである。

(3) 実験方法

本実験では、新しく打ち込むコンクリートを任意の時間に打ち込む段階として考え、まずトレミーの内部コンクリートへの貫入長を土木学会コンクリート標準示方書(解説⁴⁾)に示された下限値である2.0mを標準として実験を行った。したがって、モデルでは貫入長を240mmとした。トレミー筒先位置は、モデル全体の大きさを考慮して、型枠底面から200mmの位置を標準としたため、内部コンクリートの初期充填高さは、440mm(実機で3.67m)とした(図一2参照)。

次に、トレミー貫入長やトレミー筒先の位置が充填状況に及ぼす影響についても把握するため、表一1の配合No.A-6およびA-7を用いて、それぞれ表一2に示すように貫入長および筒先位置を変化させた。No.A-6(2)およびA-7(2)は貫入長が無い場合について、No.A-6(3)は筒先位置が型枠底面から離れた場合についてそれぞれ実験を行った。内部コンクリートの初期充填高さは、No.A-6(2)およびA-7(2)では200mm、No.A-6(3)では640mmとした。

黒色化された内部コンクリートを、底面から所定の位置までトレミーより型枠内に投入・充填する。次に、発泡スチロール粒子を混入した透明な流入コンクリートをトレミー上部の投入口より投入する。このときの打込み方法は、実際の打込みと同様に、トレミー内への重力による打込みとした。

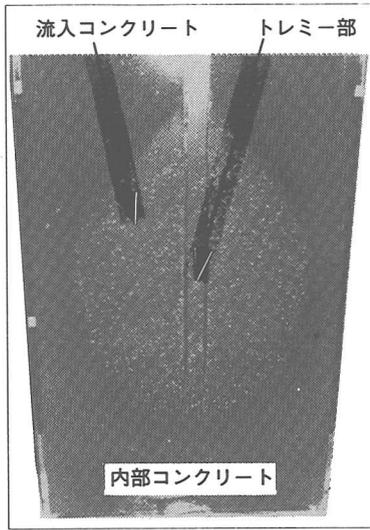
流入コンクリートを投入し、内部コンクリートが動き始めた瞬間に充填開始とし、トレミー内に常に流入コンクリートを満たした状態で充填させた。ビデオの画像データ精度の制約から、モデル型枠すべての部分を撮影することが不可能であったため、所定の充填高さ870mmの位置にコンクリート上面が達した時点を終了時刻とした。これをすべての配合について行い、充填開始から終了時刻までの総流入時間を計測する。ビデオの画像データより、流入開始から所定の充填高さまでの距離を到達した時間、流入コンクリートと内部コンクリートの境界面の形状およびトレミーからの流入コンクリートの流跡線等を求めた。

3. 実験結果および考察

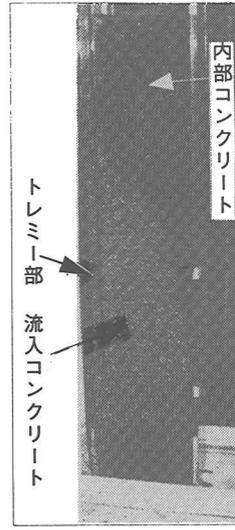
(1) 充填状況の観察

本研究で提案したモデル型枠は、内部コンクリートと流入コンクリートの境界面あるいは混合状態などの充填状況が左右対称であることを前提として作製したものである。左右対称の確認のための予備実験として、B型枠の中心に30mm×100mmの矩形断面のトレミーを設置し、充填状況の観察を行った。

写真一1には、B型枠中央から充填した実験結果を、写真一2には、A型枠における実験結果の一例を示す。型枠中央から打ち込んだ写真一1では、内部コンクリートと流入コンクリートは混合せず、ほぼ明確な境界線を有しており、卵形の充填状況となった。A型枠における実験結果では、写真の白い部分を比較して分かるように、中央から打ち込んだ場合の半分の形状で打ち込まれており、ほぼ同じ形状である。したがって、今回の地下連続壁モデル型枠を用いることにより、左右対称な充填状



写真一 充填状況の左右対称性
(中央投入方法)



写真二 モデル型枠による充填
状況の一例 (A型枠)

況が十分に再現できているものと考えられる。

表一に示したすべての配合について、横幅方向の2次元的挙動は、既に写真一に示したように、内部コンクリートを側方向および上方向に押しやるような状態でトレミーに近い位置に沿って流入コンクリートが上昇した。実験終了時では写真に示すように流入コンクリートが卵形の半分の形状に充填された。いずれの配合においても、内部コンクリートと流入コンクリートが、複雑に混合するような状況は観察されなかった。また、内部コンクリートおよび流入コンクリートの流動性にかかわらず、表一に示すように総流入時間が変化しても、トレミーの貫入長を240mm(実機で2.0m)とすることで、上面にコンクリートが噴出する状況は認められなかった。

(2) 施工性に及ぼす各種条件の影響

本実験は、型枠の縮尺すなわち相似率を3/25として行っているため、型枠に打ち込まれるコンクリートの流量に関してもある程度相似率を満足している必要がある。実施工では、待ち時間などを含まないトラックアジテータ車からの打込み速度に相当する実流量は、150~300m³/hrである¹⁰⁾。可視化実験では、流入量を総流入時間で除し、さらに流量に関する相似率(3/25)³を用いて算出した平均換算流量は、67.5~1050m³/hrとなった。したがって、一部流量の大きいものも存在するが、流量に関する相似性も十分に満足していると考えられる。

各種要因が施工に及ぼす影響を検討するため、

上述のように求めた平均換算流量を施工性の指標として流入および内部コンクリートのコンシステンシー試験結果との関係を求め、図一6~図一9に示した。既に述べたように、平均換算流量は、モデルコンクリートの流動性が変化することにより67.5m³/hr程度から1050m³/hr程度まで変化したため、縦軸の平均換算流量は対数軸で表している。

配合No.A-1~B-4の流入コンクリートのミニスランプフロー試験結果と平均換算流量の関係を示した図一6では、明確な関連性は認められない。内部コンクリートのミニスランプフロー試験結果と平均換算流量の関係を示した図一7においても同様である。

一方、流入コンクリートのK漏斗流下時間と平均換算流量の関係を示した図一8では、K漏斗流下時間が増加すると平均換算流量が減少する傾向が認められる。また、内部コンクリートのK漏斗流下時間との関係を示した図一9より、流動性を同程度とした配合No.A-1~A-6, B-1, B-2およびB-3では同様な傾向となるが、K漏斗流下時間が大幅に大きいA-7およびB-4では異なる傾向を示す。No.A-7およびB-4は、流入コンクリートの流動性がほぼ同一のA-2およびB-2と比較して、換算流量がわずかに低下する傾向になるものの、流入コンクリートのK漏斗流下時間が換算流量に及ぼす影響が非常に大きいことが分かる。これは、地下連続壁の施工性は、新しく打ち込むコンクリートの粘性によりトレミー通過時間が変化し、この影響が卓越するためと考えられる。

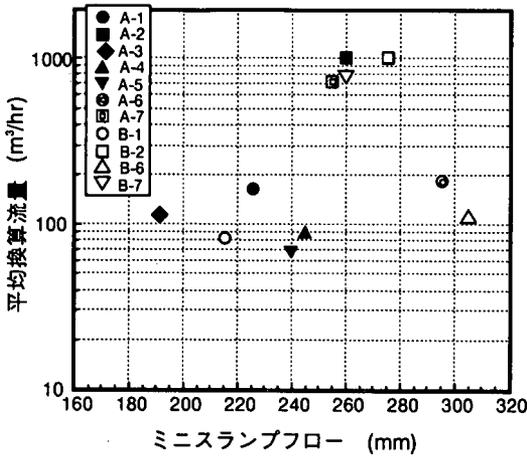


図-6 流入コンクリートのミスランブフローと平均換算流量の関係

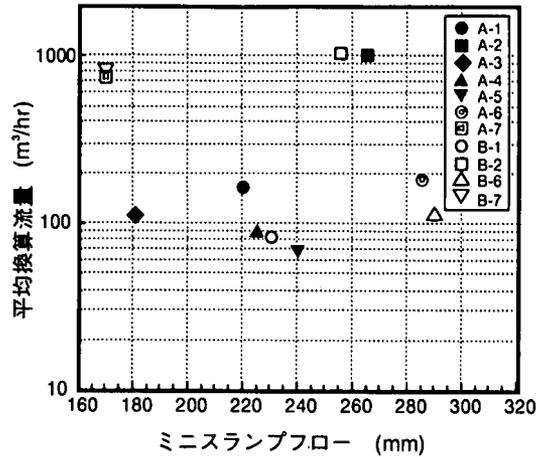


図-7 内部コンクリートのミスランブフローと平均換算流量の関係

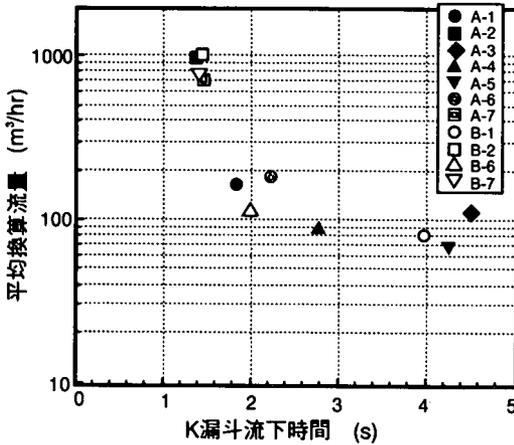


図-8 流入コンクリートのK漏斗流下時間と平均換算流量の関係

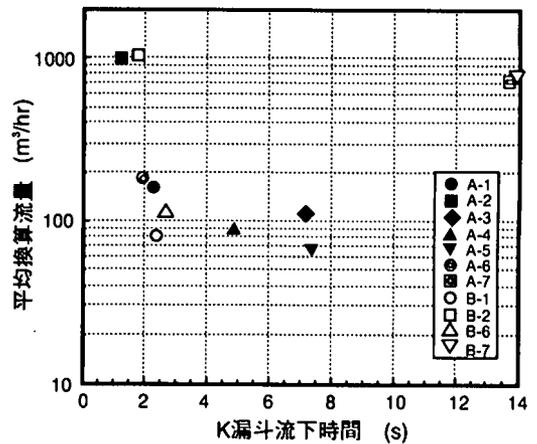


図-9 内部コンクリートのK漏斗流下時間と平均換算流量の関係

図-10には、トレミーの貫入長および筒先位置を変化させた場合(表-2参照)におけるモデルコンクリートのK漏斗流下時間と平均換算流量の関係を示す。配合一定の場合、換算流量はほとんど変化が無く、今回の実験条件の範囲内では、トレミーの貫入長および筒先位置の影響を受けにくいと言える。しかし、実際は打ち上がって行くにしたがって速度が低下することから、貫入長が2m以上から打込みを開始した場合には換算流量が低下するものと思われる。

これらの結果から、地下連続壁のコンクリートのトレミーによる施工性に与える影響は、新しく打ち込むコンクリートの粘性の方が降伏値よりも大きいと考えられる。本実験では、トレミー部分が矩形をしているが、本実験結果は、施工性が漏斗流下時間で示される粘性で評価できるとした実施工時の既往の研究結果¹¹⁾と一致しており、粘性がト

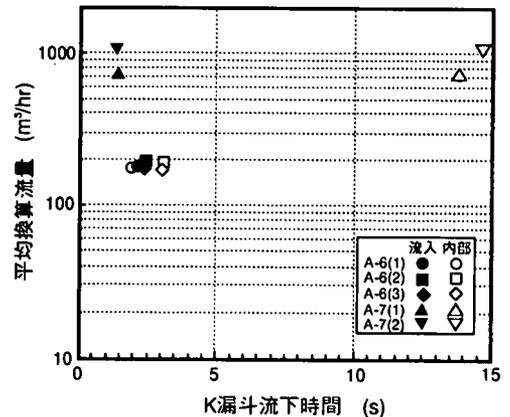


図-10 K漏斗流下時間と各種施工条件での平均換算流量の関係

レミーによる施工速度に及ぼす影響が大きいことが確認された。

(3) コンクリートの充填状況

図一11に、各実験条件における、流入コンクリートと内部コンクリートの境界面の形成状況の経時変化を示す。いずれのケースにおいても1.0tの線で示す白色部分と着色部分の境界面が実験終了時(所定の充填高さ870mm到達時)の形状であり、それ以外は、総流入時間を5等分した時間間隔ごとに得られた境界面を示したものである。なお、モデル型枠の大きさおよびビデオの画像データ精度の制約から、型枠の下端と上端は図中に示していない。

まず、流入コンクリートと内部コンクリートの流動性が同程度の配合No.A-1～A-6のケースでは、トレミー先端から下方向に流入したコンクリートは、ある程度以上は下方向に流動せず、内部コンクリートを側方向および上方向に押しやるような状態でトレミーに近い位置に沿って上昇し、卵形の境界面を形成し充填していく。特に0.6t以上は上方向への発達が大きい。境界面の下端はほぼ同じ位置にあるものの、その形成状況は、各配合により特徴を有している。No.A-1をはじめA-3までの各境界面は、トレミー先端位置付近の高さにおいて最も側方向に流動してほぼ側面まで達し、上昇するほど流入コンクリートの断面が細くなっている。一方、No.A-4～A-6の各境界面は、比較的側方向には流動せず、高い位置までその断面を保ったまま上昇しており、高さ方向に大きく流動している。

流入コンクリートと内部コンクリートの流動性が大きく異なる配合No.A-7では、下方向への流動が特に小さく、上方向に行くにしたがって最も側方向に流動している。No.A-7と流入コンクリートの流動性がほぼ同一のNo.A-2の0.4t付近の5秒間におけるトレーサ粒子の流跡線を図一12に示す。この図からも明らかなように、流入コンクリートの流動性が同一であっても、トレミー筒先より吐出したコンクリートの流動状況は異なり、No.A-2では側方向への大きな流動が発生し、No.A-7ではすぐに上方向への流動となっている。

次に、B型枠における配合No.B-1、B-3およびB-4のケースでは、A型枠と同様、トレミー先端から下方向に流入したコンクリートは、内部コンクリートを側方向および上方向に押しやるような状態でトレミーに近い位置に沿って上昇し、それぞれの境界面を形成しながら充填していく。しかし、横幅方向がA型枠と比較して3倍となっているため、流入コンクリートが大きく側方向に流動して充填している。No.B-1の境界面は、下方向は型枠底

面まで達し、トレミー先端位置付近の高さにおいて最も側方向に流動し、上昇するほど流入コンクリートの断面が著しく細くなっている。図は割愛したが、No.B-2の境界面もこれと同様であった。No.B-3の境界面もやはり下方向は型枠底面まで達するが、B-1ほど側方向には流動せず、上方向に充填されている。No.B-4はA-7と同様に、下方向への流動が小さく底面までは達せずに、上方向に大きく充填されている。したがって、1本当りのトレミーの受持ち面積を大きくした場合には、流入コンクリートだけでなく内部コンクリートも移動距離が大きくなる。

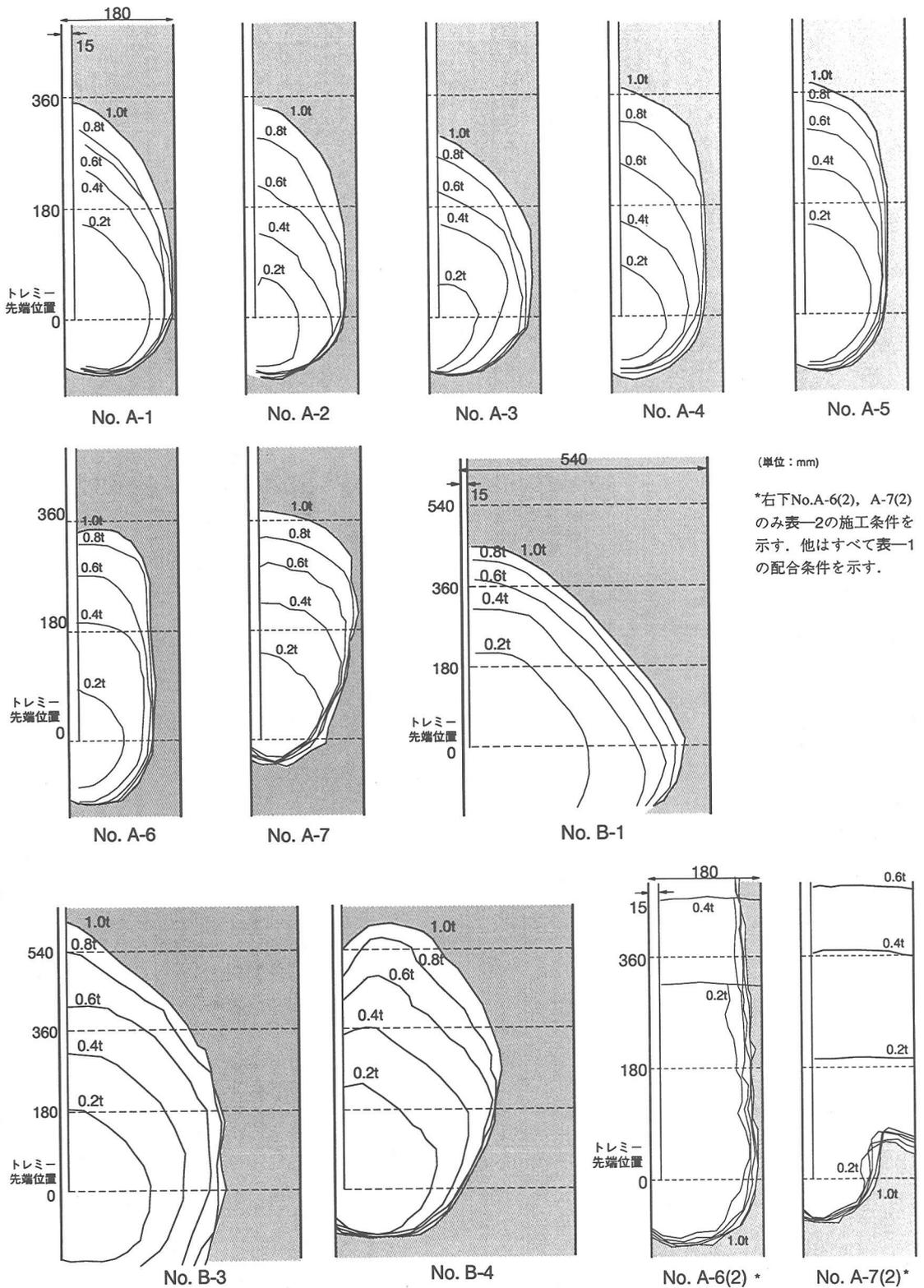
以上のように、図一11で示された充填状況は、これまで予想されていた図一1の各充填状況図のうち、(c)押広げ型に近い形状であり、打ち込まれることが分かった。しかし、コンクリートの配合や1本当りのトレミーの受持ち面積によっては、(a)押し上げ型に近くなるものと考えられる。

トレミーの貫入長に関しては、配合No.A-1～A-7までは240mm(実機で2.0m)とすることで、上面にコンクリートが噴出する状況は認められない。一方、トレミー貫入長を0mとした施工条件No.A-6(2)およびA-7(2)では、境界面の形状に違いはあるものの、打込み始めの流入コンクリートが上面となって充填されることが確認された。

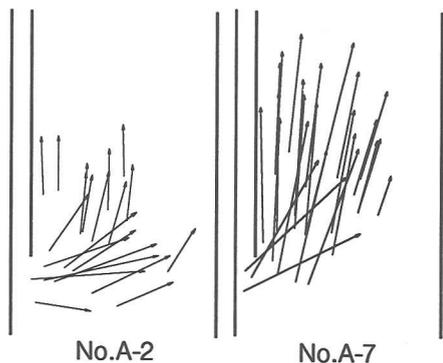
(4) 充填状況に及ぼすコンクリートの流動性の影響

打込み量と打込み条件の等しい配合No.A-1～A-7について、境界面の形成状況の相違とコンクリートの流動性の関係を検討するために、図一13に示すように高さ方向の最大長をH、横幅方向の長さをBとして長短度($=H/B$)を求めた。図一14～図一17に、A型枠での境界面の長短度と流入および内部コンクリートのコンシステンシー試験結果との関係を示す。長短度 H/B は、K漏斗流下時間ではなく比較的ミニスランプフロー、特に内部コンクリートのミニスランプフローと有意な関係がある。境界面の下端の位置にもよるが、内部コンクリートのミニスランプフローが大きい、すなわち降伏値が小さいほど長短度が大きくなり、高さ方向への流動が卓越すると考えられる。この理由は明確ではないが、流入コンクリートによる応力が内部コンクリートの降伏値よりも大きくなった部分から内部コンクリートの変形が開始されることと関連していると推測される。

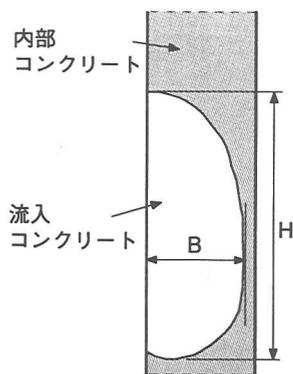
A型枠の中で H/B が最も大きくなったのは、配合No.A-6である。コンクリートの物性の経時変化を考慮すれば、既に打ち込まれたコンクリートを多量に上方向へ押し上げるような充填状況は望ま



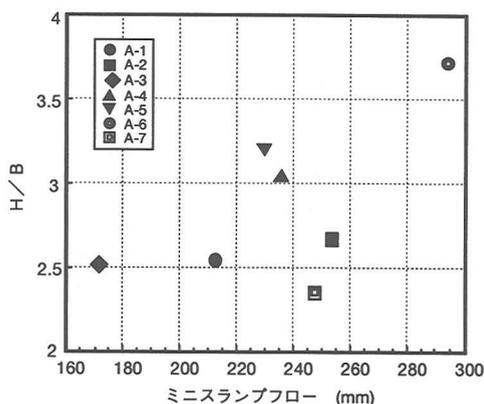
図一11 流入コンクリートと内部コンクリートの境界面の経時変化



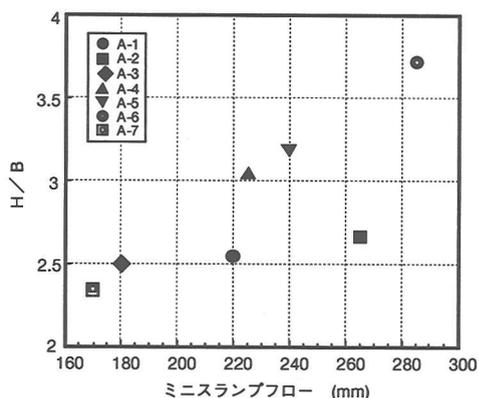
図一12 トレミー管先付近における
流跡線の一例（5秒間）



図一13 境界面の長短度



図一14 流入コンクリートの
ミスランプフローとH/Bの関係



図一15 内部コンクリートの
ミスランプフローとH/Bの関係

しくなく、噴出しないう範囲で新しく打ち込まれるコンクリートが可能ながぎり上昇することが良好な充填状況であると考えられる。このとき、 H/B の値は大きくなると考えられるため、No.A-6は良好な充填性を有していると言える。

(5) 各種施工条件と施工性の良否

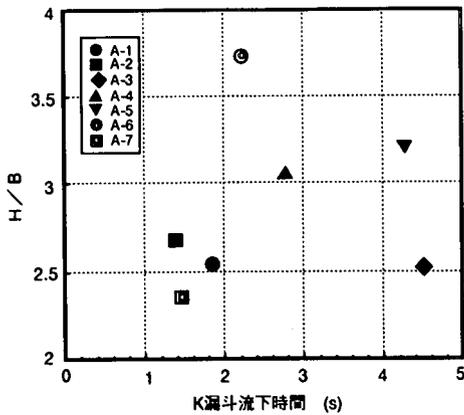
施工性および充填状況の双方の検討結果から、トレミーによる施工速度を低下させずに、良好であると考えられる充填状況となる配合は、No.A-6であると判断される。No.A-6は、ミスランプフローが大きくK漏斗流下時間が比較的小さな高い流動性を示すコンクリートである。

一方、B型枠のように、1本当たりのトレミーの受持ち面積を大きくした場合には、受持ち面積の増加分だけ打込み量を多くしなければならないだけでなく、流入コンクリートおよび内部コンクリート双方の流動距離が大きくなる。このため、打ち込

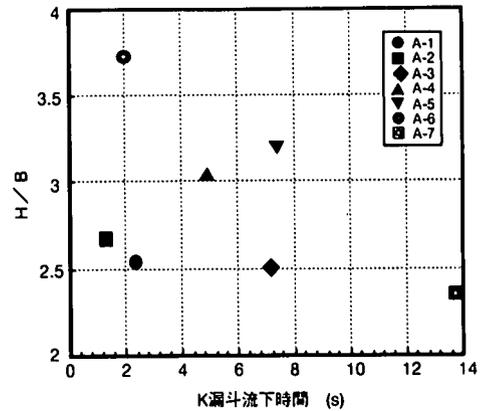
まれたコンクリートの流動性にもよるが、トレミーを中心とする山形状にコンクリートが打ち込まれてジョイント部にスライムが溜ったり、スライムや安定液の巻込みによるコンクリートの局部的劣化や空洞などが生じる等の不具合の可能性は非常に大きくなるものと考えられる。

トレミーの貫入長に関しては、0mでは実流量で示される施工性にはほとんど影響を及ぼさないが、新しく打ち込まれるコンクリートが直接スライムや安定液と接触し、コンクリートの劣化が生じることは明確である。トレミーの配置位置における横幅と高さ方向に関する2次元的な挙動に関しては、本実験のようなモデルコンクリートの性状の範囲では、貫入長を実機で2.0m程度確保することで、上面へのコンクリートの噴出を防ぐことができると考えられる。

これらの施工性、トレミーの受持ち面積およびトレミー貫入長に関する知見は、実際の施工状況



図—16 流入コンクリートの
K漏斗流下時間とH/Bの関係



図—17 内部コンクリートの
K漏斗流下時間とH/Bの関係

から得られた経験的な結果^{4),11)}と一致しており、本実験が地下連続壁内に打ち込まれるコンクリートの充填性の予測技術として有効であると考えられる。

4. 結論

地下連続壁のコンクリートの充填状況に関して、地下連続壁モデル型枠およびフレッシュコンクリートモデルによる新しい可視化実験を提案し、コンクリートの流動性や施工要因が充填性に及ぼす影響について検討した。本研究で得られた結論は、以下のとおりである。

- (1) 本実験結果から得られた知見は実際の施工状況から得られた経験的な結果と一致しており、本実験手法は、地下連続壁内に打ち込まれるコンクリートの充填性の予測技術として有効である。
- (2) モデルコンクリートの充填状況は、通常の1本当りのトレミーの受持ち面積でかつトレミーの貫入長が実機で2.0m程度の条件の場合には、内部コンクリートと流入コンクリートは混合せず、ほぼ明確な境界線を有しており、左右対称な卵形の充填形状に打ち込まれる。
- (3) 充填状況の形態は、予想図の図—1(c)押広げ型に最も近い形状で打ち込まれ、トレミー先端から下方向に流入したモデルコンクリートは、ある程度以上は下方向に流動せず、内部コンクリートを側方向および上方向に押しやるような状態でトレミーに近い位置に沿って上昇しながら充填される。
- (4) モデルコンクリートの平均換算流量で示される地下連続壁の施工性は、新しく打ち込むモデルコンクリートの粘性の影響を受け、K漏斗流下時間が増加するに従って平均換算流量が減少する。

(5) トレミーの貫入長を240mm(実機で2.0m)とすることで、上面にコンクリートが噴出する状況は認められない。一方、トレミー貫入長を0mとした場合には、新しく打ち込んだコンクリートが上面となって充填され、直接スライムや安定液と接触する。

(6) 1本当りのトレミーの受持ち面積を大きくした場合には、下方向および側方向への充填が大きくなり、流入コンクリートだけでなく内部コンクリートも移動距離が大きくなる。

(7) 充填状況は、内部コンクリートのミニスランプフローと有意な関係がある。

(8) トレミーによる施工速度を低下させずに、良好であると考えられる充填状況となる配合は、ミニスランプフローが大きくK漏斗流下時間が比較的小さな高い流動性を示すコンクリートである。

今後は、実験の3次元化を検討するとともに、鉄筋かごや型枠とコンクリートとの摩擦等についても検討を行う予定である。また、本研究で得られた知見を基にして、数値解析手法の開発を行う予定である。

謝辞：本研究の遂行に際し、名古屋大学工学部森博嗣助教授には、終始貴重なご助言を頂きました。また、本研究の実施に際しては、群馬大学工学部に在学中であった加古慎氏、小山広光氏に実験にご協力を頂きました。ここに記して深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 青木茂, 三浦律彦, 十河茂幸: 地下連続壁用コンクリートの現状と動向, セメント・コンクリート, No. 580, pp.8-16, 1995.6.
- 2) 日本建設機会化協会: 9.6コンクリート工, 地下連続壁工法設計施工ハンドブック, pp.335-344, 1975.

- 3) 地中連続壁基礎協会：10.コンクリート工，地中連続壁基礎工法ハンドブック，pp.163-174,1991.7.
- 4) 土木学会：24.4 場所打ち杭および地下連続壁に使用する水中コンクリート，コンクリート標準示方書施工編，pp.246-251,1996.
- 5) 浦野真次，北大路洋，谷川恭雄，森博嗣：地下連続壁のコンクリートの充てん状況に関する解析的研究，土木学会高流動コンクリートシンポジウム論文集，pp.31-36, 1996.
- 6) 浦野真次，橋本親典，加古慎，辻幸和：可視化実験による地下連続壁のコンクリートの充てん状況の評価，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19, No.1, pp.439-444,1997.
- 7) 江守一郎：模型実験の理論と応用，技報堂出版，1985.7.
- 8) 橋本親典，丸山久一，清水敬二：フレッシュコンクリートの管内流動における閉塞過程の可視化に関する実験手法，コンクリート工学，Vol.26, No.2, pp.119-127,1988.2.
- 9) 河井徹，橋田浩，黒田泰弘，井上秀之：高流動コンクリートのレオロジー特性に関する実験的研究（その1：モルタルの特性），日本建築学会大会学術講演梗概集，A, pp.1117-1118,1993.
- 10) 水野直也，永島三雄，牧野総一，岡田武二：地下連続壁トレミーの閉塞防止対策，コンクリート工学論文集，Vol.8, No.1, pp.251-265,1997.1.
- 11) 三浦律彦，青木茂，神代泰道，河村秀紀：超高強度・低発熱連壁コンクリートの配合選定と実施工時のフレッシュ性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18, No.1, pp.267-272,1996.

(1997.9.30 受付)

VISUALIZATION OF PLACING OF CONCRETE FOR DIAPHRAGM WALL

Shinji URANO, Chikanori HASHIMOTO, Yukikazu TSUJI and Takafumi SUGIYAMA

We investigated experimentally placing of fresh concrete for diaphragm wall by visualization technique using model diaphragm wall. As a result, it was found that this experimental method was suitable for the simulation of placing of fresh concrete for diaphragm wall. Furthermore, it was also found that casting velocity of the concrete was influenced by the viscosity of the concrete, and casting form of the concrete was influenced by the consistency of the concrete and execution conditions.