B104 地下連続壁のコンクリートの充填状況の可視化

群馬大学 橋本 親典[○], 加古 慎, 辻 幸和
清水建設 浦野真次

Visualization of Fresh Concrete Placing in Diaphragm Wall

Chikanori HASHIMOTO*, Makoto KAKO*, Yukikazu TSUJI* and Shinji URANO**

The diaphragm wall is a rectangular reinforced wall for preventing landslide and water leak by enclosing the underground. In order to analyze the flow of fresh concrete placing in diaphragm wall, a new technique was discussed in this paper. In this study, a model concrete was developed and used to simulate actual fresh concrete placing in diaphragm wall. Then, visualization technique enabled the rising velocity of the surface of the model concrete within diaphragm wall to be determined. The model concrete was made of water added to super absorbent polymer and viscosity agent, where there was no aggregate mixed. The yield value and the plastic viscosity of the model concrete were varied to study effects of these characteristics on its rising velocity. The consistency of the model concrete was adjusted with the additive amount of the polymer and the viscosity agent.

As a result of this study, it was found that the rising velocity of the surface of the model concrete placing in diaphragm wall was influenced more considerably by the plastic viscosity than the yield value.

1. はじめに

地下連続壁とは、各種断面の垂直な板状エレメントの深い溝を地上から直接掘削し、この溝に場所打ちコンクリートを打ち込み、地下構造物を建設するために土中に一定の空間を造ることを目的とした一連の地下壁のことである。地下連続壁の施工状況をFig.1に示す。

地下連続壁のコンクリートの施工は、ベントナイト溶液等の安定液で満たされた掘削溝内にトレミーを地上から鉛直下に挿入し、トレミーを通してコンクリートを溝壁内底部から充填し、上方に向かって打ち上げていく。最終的に安定液をコンクリートと置換することにより、掘削溝部分の連続壁が造られる（以後、溝壁内にあるコンクリートを溝壁内コンクリート、トレミーにより溝壁内に打ち込まれるコンクリートを流入コンクリートと称す）。溝壁内コンクリート上面は常に安定液と接触しているため、トレミーの筒先は常にコンクリート内部

Fig.1 Outline of sequence of diaphragm wall construction

* Dept. of Civil Eng., Gunma University, 1-5-1, Tenjincho, Kiryu, 375 Japan

** Institute of Technology, SHIMIZU CO. LTD., 4-17 Etchujima 3-Chome, Koto-ku, Tokyo

に挿入されており、コンクリートの打ち上がりに伴い、トレミーの筒先は地上に引き上げられる。したがって、地下連続壁に用いられるコンクリートは、締固めを行うことなく溝壁内の隅々まで充填するための高い流動性が要求される。また、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挿入深さが、コンクリートの硬化後の品質に大きく影響するものと考えられるため、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。しかしながら、地下連続壁の建設では、地上の構造物と異なり、溝壁内コンクリートの充填状況を管理することが非常に困難であり、現場の熟練作業員の経験に頼らざるを得ないのが現状である。

本研究では、地下連続壁内に打ち込まれるコンクリートの施工性の予測技術を確立することを目的として、フレッシュコンクリートの可視化モデルを用い、溝壁内コンクリート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の可視化を試みる。

2. 実験概要

2.1 地下連続壁モデル型枠流動実験装置

本研究で用いた地下連続壁モデル型枠流動実験装置をFig.2に示す。実験装置は、実際の1本のトレミーが受け持つ掘削溝の横幅3.0mの半分である横幅1.5mの溝壁内空間を3/25モデルとして高さ1000mm×横幅180mm×厚さ100mmの透明なアクリル樹脂の型枠である。横幅方向の縮尺のみに着目した理由は、トレミー筒先周辺の溝壁内空間のコンクリートの充填状況の可視化を

Fig.2 Schematic representation of experimental apparatus

対象としたためである。実際の溝壁の高さは数10m～100m程度にも達するが、本実験装置では横幅の5倍程度として1000mm（実物大では8.33m）とした。溝壁内のコンクリートの流動が厚さ方向よりも高さ方向と横幅方向の2次元挙動の方が卓越すると考え、厚さ方向は無視した。トレミーの縮尺に関しては、実際のトレミーは円管であるが、実験装置では、実際のトレミーの半径を12.5cmとし3/25モデルとして幅15mm×厚さ100mmの矩形断面とした。

本流動実験では、前段階においてトレミーを引き上げて、新しくコンクリートを打ち込む段階として、トレミーの挿入深さを240mm（実物大では2m）とした。また、溝壁内にあるコンクリートの初期充填高さは440mm（実物大では3.67m）で一定とした。

トレミーよりコンクリートを打ち込む速度は、実際の地下連続壁の現場と同様に重力による自然落下とした。実際の現場では、コンクリートの上面には安定液が存在し、コンクリートの比重が2.3程度で安定液の比重が1.3程度である。したがって、安定液中におけるコンクリートの浮力を考慮すると見かけのコンクリートの比重は1.0程度となり、モデルコンクリートの比重1.0程度と一致する。そのため、可視化実験では、安定液に関するモデル化は無視した。

2.2 フレッシュコンクリートの可視化モデル

フレッシュコンクリートの可視化モデルとして増粘剤を添加した高吸水性高分子樹脂水

溶液による無色透明な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、モデルの縮尺が3/25であるため、実際のコンクリートの粗骨材の最大寸法25mmが可視化モデルでは3mmとなるため、粗骨材粒子のモデル化は無視した。

また、溝壁内コンクリートと流入コンクリートの境界面が明確に可視化できるように、溝壁内コンクリートにはインスタントコーヒーの粉末を少量添加し黒色化し、流入コンクリートには発泡スチロール粒子を混入した。

流動実験は全部で6回行い、各流動実験に用いたモデルコンクリートの高分子樹脂と増粘剤の添加量およびコンシステンシー試験結果をTable 1に示す。モデルコンクリートのコンシステンシーは、Fig.3に示す縮尺がJIS A 1101に規定するスランプコーンの1/2のミニスランプコーンを用いたミニスランプフロー¹⁾と試作したK漏斗による流下時間¹⁾によって評価した。河井らの研究¹⁾から、実際のモルタルでは、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おり、両指標はその物理的意味が明確であると考えられる。

同一実験条件で流入コンクリートと溝壁内コンクリートのコンシステンシーは同程度になるように高分子樹脂の添加量を調節したため、黒色化した溝壁内コンクリートの高分子樹脂添加量が流入コンクリートよりも多い。

2.3 実験方法

トレミーの筒先位置を型枠装置底面から200mmの位置に設置し、ビデオの撮影位置を固定する。黒色化された溝壁内コンクリートを底面から240mmの位置までトレミーより型枠槽内に投入する。次に、発泡スチロール粒子を混入した流入コンクリートを自然落下でトレミー上部の投入口より投入する。溝壁内コンクリートが動き始めた瞬間を流動開始とし、所定の充填高さ870mm(トレミー挿入深さ670mm)の位置に溝壁内コンクリート上面が達した時点を実験終了時刻とする。6回の流動実験の全流動時間は、Table 1に示す。ビデオの画像データから充填状況の可視化情報として、溝壁内コンクリート上面の打上がり速度と流入コンクリートと溝壁内コンクリートの流動実験終了時の境界面の形状を求めた。

3. 実験結果および考察

Fig.4は、平均打上がり速度と各実験の流入コンクリートと溝壁内コンクリートのK漏斗流下時間の関係を示す。平均打上がり速度とK漏斗流下時間には強い相関性が認められる。一方、ミニスランプフローに関しては、明確な相関性が認められなかった。したがって、コンクリートの塑性粘度が地下連続壁のコンクリートの打上がり速度に与える影響は降伏

Table 1 Test runs

Run	Concrete	Polymer (g/l)	Viscosity Agent (g/l)	Mini slump flow (cm)	K funnel time (sec)	Total flow time (sec)
1	Inlet	3.0	0.0	22.5×22.5	1.84	100
	Within	3.4	0.0	21.5×22.0	2.32	
2	Inlet	2.7	0.0	26.0×26.0	1.38	15
	Within	2.9	0.0	26.5×26.5	1.31	
3	Inlet	3.5	0.0	18.5×19.0	4.48	140
	Within	4.0	0.0	17.5×18.0	7.10	
4	Inlet	3.0	1.0	24.5×24.5	2.76	170
	Within	3.4	1.0	23.0×22.0	4.86	
5	Inlet	3.0	2.0	24.0×23.5	4.26	240
	Within	3.4	2.0	24.0×23.5	7.40	
6	Inlet	2.7	2.0	29.5×29.5	2.22	87
	Within	2.9	2.0	29.0×28.0	1.95

Fig.3 Detail of mini slump cone and K funnel

値よりも大きいと考えられる。

Fig.5は、流入コンクリートと溝壁内コンクリートの境界面の形成状況を示す。Run 3の境界面は、溝壁外側の壁に接しトレミー周辺の溝壁高さ方向にはあまり流動しない。一方、Run 6の境界面は、溝壁

側面方向よりも溝壁高さ方向に大きく流動する。最も良好な充填状況は、流入コンクリートが溝壁内コンクリートの打上げ面を越えることなく、既に充填されている溝壁内コンクリートの位置を変化させないようにトレミー周辺上方に充填されることである。本可視化実験では、いずれの実験条件でも流入コンクリートが溝壁内コンクリートの打上げ面を越えることはなかった。しかし、Run 2, 3の境界面よりもRun 5, 6のように溝壁横方向にあまり流動しなくトレミー周辺高さ方向に流動する方が良好な流動であると考えられる。

Fig.6は、モデルコンクリートのミニスランプフローの逆数とK漏斗流下時間との関係を示す。境界面が良好と思われるRun 5, 6は、グラフの左下に位置し降伏値と塑性粘度ともに小さく変形性の良好なコンクリートである。一方、境界面としてあまり良好でないRun 3はグラフの右上に位置し降伏値と塑性粘度とも大きく、変形しにくいコンクリートである。よって、コンクリートの変形性が地下連続壁の流入コンクリートの充填性に与える影響は大きいことが予想され、これらの知見は従来の経験的な事実と一致する。

4. 結論

本研究では、地下連続壁内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に関する新しい可視化実験方法を提案し、モデルコンクリートのコンシステンシーが充填状況に与える影響について検討した。その結果、打上がり速度と塑性粘度の相関性が認められた。また、コンクリートの変形性と溝壁内への流入コンクリートの充填性の関係については、従来の経験的な知見と一致しており、本実験方法の有効性が示された。

参考文献 1)河井徹・橋田浩・黒田泰弘・井上秀之：1559 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（関東），1993.9, pp.1117-1118

Fig.4 Relationship between rising velocity of the surface of concrete and K funnel time

Fig.5 Boundary lines between inlet-concrete and within-concrete

Fig.6 Relationship between mini slump flow and K funnel time