

# プレパックド・コンクリート工法における注入モルタルの流動性状について

齋藤二郎  
芳賀孝成

## 概要

プレパックド・コンクリートの品質に大きな影響を与える要因に、注入中のモルタルの材料分離がある。そこで粗骨材中のモルタルの流動状態と材料分離の過程を明らかにするために次の4種の実験を行なった。1)粗骨材の形状とモルタルの流動性に関する実験、2)注入半径2.4mの大型注入実験、3)注入条件とモルタルの流動勾配に関する実験、4)深度方向の強度変動に関する実験。以上の実験によりモルタル自由界面の形状はモルタルの流動性や粗骨材の粒径・形状と密接な関係があり、モルタルの流動劣化の原因はモルタル自由界面において、モルタルが粗骨材の間を越流・落下しながら流れる時の材料分離が主なものであることがわかった。

## 1. まえがき

プレパックドコンクリート工法はこれまで港湾・河川構造物の築造や改修、あるいは基礎工事・建築工事などの多くの方面に应用されてきた。近年この工法は大規模施工に対する適応性を持っていることから、長大橋基礎の築造に有利と考えられ各方面で基礎的、応用的な問題に関する研究が進められている。

プレパックドコンクリートの品質に直接的な影響をおよぼす要因としては粗骨材とモルタルの品質・注入方法・養生条件などがある。プレパックドコンクリート工法はあらかじめ型枠内に詰められた粗骨材の空隙にモルタルを注入するものであるが、この時のモルタル流動中の材料分離は大規模なプレパックドコンクリートの場合特に強度低下の大きな要因と考えられている。そこで粗骨材間のモルタルの流動に関して種々の実験を行ないモルタル流動劣化の原因を究明することとした。

## 2. 粗骨材の形状とモルタルの流動性に関する実験

### 2.1. 実験目的

プレパックドコンクリートの粗骨材としては通常碎石または砂利が用いられているが、これらの形状はまちまちで同一投入方法でも間隙比が異なりモルタルの流動抵抗が変化すると考えられる。このような点から粗骨材形状とモルタル流動状態との関係を明らかにするため粘性流体の流下実験を行なった。

### 2.2. 実験方法

実験は図-1に示す流下装置を用い、流体が粗骨材を通過して流下する時間を測定するものである。モルタルはフロー値が変動しやすく、作成も手間がかかるので、ここでは流動パラフィンを用いた。流動パラフ

インの試験時のフロー値は20~22秒である。粗骨材としては表面形状の異なる5種類のものを選定して使用した。標準表面形状は図-2に示す。骨材の詰め方は3通りとした。また粒径範囲は次の6種類である。5—10, 10—15, 15—20, 5—15, 5—20(mm)

### 2.3. 実験結果

図-3は流体の表面が高さ  $H_1$  から  $H_2$  まで降下するに要した時間  $T_2 - T_1$  と  $H_1/H_2$  の対数との関係を示したものである。両者の関係はほぼ直線的であり流れは整流に近いことが認められる。この場合の透過係数 ( $k$ ) は次式により求められる。

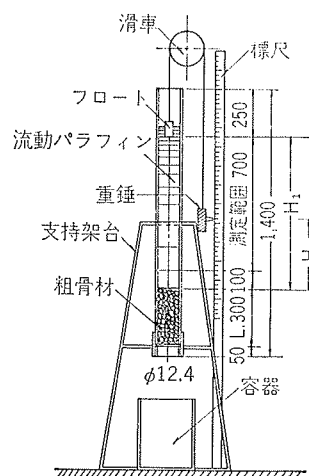


図-1 流下実験装置

粗骨材	A	B	C	D	E
形状					

図-2 粗骨材の形状

$$k = 2.3 \frac{L}{T_2 - T_1} \log_{10} \frac{H_1}{H_2}$$

図-4は透過係数(k)と粗骨材の粒径に間隙比を乗じた値(de)との関係を両対数紙上に示したものであるがほぼ直線的な関係になっている。deが大きくなればkも大きくなり骨材が角ばったものほどその傾向は著しい。また粒径が小さい範囲では角ばったものほど透過係数は小さく、粒径が大きい範囲ではやや逆の傾向が認められる。これは粒径が小さい場合は流路の屈折数が多く透過係数が骨材の形状に影響され、粒径が大きい場合は間隙比に影響されるためと思われる。通常の骨材の粒径は比較的大きいので間隙比の影響の方が支配的となる。この場合角ばった骨材ほど一般に間隙比は大きいので透過係数も大きくなると考えられる。

### 3. 大型注入実験

#### 3.1. 実験目的

プレパックドコンクリート工法における注入モルタルが粗骨材空隙中をどのように流れるのか、材料分離はどのようにして生ずるのかということは、実際の注入モルタルの流れを観察して求めるのが最も確実な方

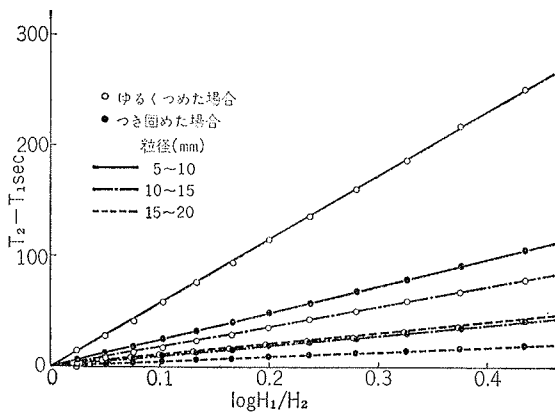


図-3  $T_2 - T_1$  と  $\log H_1/H_2$

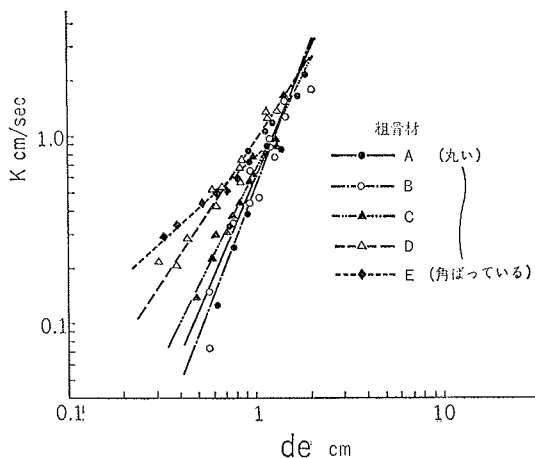


図-4 K と de

法である。このためモルタルの流動状態が3次元的に求められるような3角形状の実験槽を作成して注入実験を行なった。

#### 3.2. 実験方法

注入モルタルの正確な流動状態を求めるためには、室内実験などに通常使用される長方形の実験槽では2次元的な実験結果しか得られず不相当である。このため図-5に示すように注入管の位置から30°に拡大する一部の注入領域を考えて、この領域だけの実験槽を作成して実験を行なった。

注入実験方法を図-6に示す。実験はモルタルフロー値、注入速度および注入方法を変えてモルタルを注入するものである。注入方法は鉛直に設置した注入管の下端から注入する場合と注入孔がある間隔で開けられた注入管を実験槽底面に水平に設置して注入する場合の2方法とした。注入速度は電磁流量計による方法と実験槽上部より排出される水量を測定する方法の2方法によって求めた。モルタル自由界面の上昇状態は実験槽側面の透明アクリル板からの観察による方法と粗骨材中に設置した5本の電極検知管による方法の2方法から求めた。またモルタルの材料分離の状態は注入後ただちに実験槽側壁の一部を解体しながらモルタルを採取し、これに10%砂糖溶液を加え凝固を停止させた後分析を行なって求めた。粗骨材は平均粒径25mmの川砂利で、細骨材は平均粒径0.5mm粗粒率2.23の海砂である。モルタルの配合は次のとおりである。

セメント(C):フライアッシュ(F):砂=1:0.4:1.4

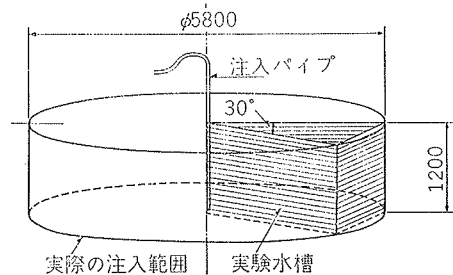


図-5 実験の考え方

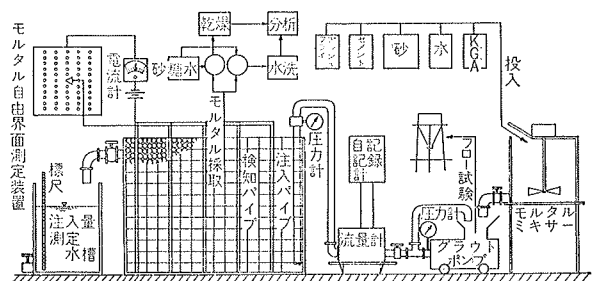


図-6 実験方法

KGA(混和剤)/C + F = 0.2%

計画フロー値は4段階変化させ、注入速度は2段階変化させた。

3.3. 実験結果

写真-1は注入実験状況を示す。表-1に実験の内容を示す。モルタル自由界面勾配はフロー値に非常に影響を受けることがわかる。

図-7、図-8は鉛直注入パイプによる場合と水平注入パイプによる場合のモルタル自由界面の変化を示す。モルタル自由界面は前者の場合、注入初期にはほぼ相似形であり、注入後期にはモルタル到達側の側壁の影響がみられる。後者は複雑な形状を示しており、これはすべての注入孔からモルタルが均等に流出せずしかも時間と共にそれらの流出割合が変わるためである。この現象はモルタルが Bingham 流体に近いために起るものと考えられる。

図-9は注入中のモルタルの流れを示すものである。注入されたモルタルは、先に注入されたモルタルを貫流しながら上昇し、水との界面に達した後その斜面に沿って流下堆積する。モルタル自由界面が大きくなるにしたがいモルタル流路の先端は次第に分岐する。自由界面に出たモルタルは粗骨材の間を流れ下るがその途中で粗骨材によるせき上げ、越流現象によって水中落下し、この時材料分離が起る。写真-2、写真-3はこの状況を示すものである。分離したセメント粒子は砂よりも粒径が小さいので、遠方に流れ下り堆積または浮遊する。自由界面を流れ下ったモルタルによって底面に近いモルタルの流路は長くなり流体抵抗が大

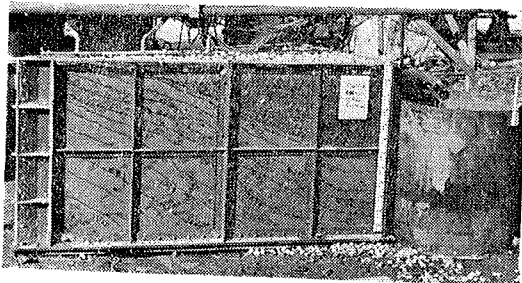


写真-1 注入実験状況

実験番号	粗骨材 粒径	粗骨材 容積比	モルタル 容積比	水含有率 (%)	注入速度 (mm/sec)	注入時間 (分)	必要時間 (分)	注入方法	モルタル 自由界面勾配
1 0 1	20-30mm	0.857	40%	13.1sec	9-10	55	55	鉛直パイプ 注入	1.94
1 0 2	"	0.599	49	13.8	5-6	103	"	"	2.17
103-1	"	0.659	45	13.9	9-10	69	"	"	2.51
103-2	"	0.958	43	20.1	9-10	32	"	"	1.33
104-1	"	0.650	45	16.3	5-6	65	"	"	1.84
104-2	"	0.963	43	22.2	5-6	32	"	"	0.81
2 0 1	"	0.945	49	14.8	5-6	60	5-6	水平パイプ 注入	---
2 0 2	"	0.536	49	14.0	"	42	"	"	---
2 0 3	"	0.937	49	13.3	"	129	"	"	---

表-1 注入実験結果

きくなって流れは止まり、別の流路が上方に生ずる。こうして流路の流体抵抗が常にバランスするような形状で自由界面が形成されてゆく。

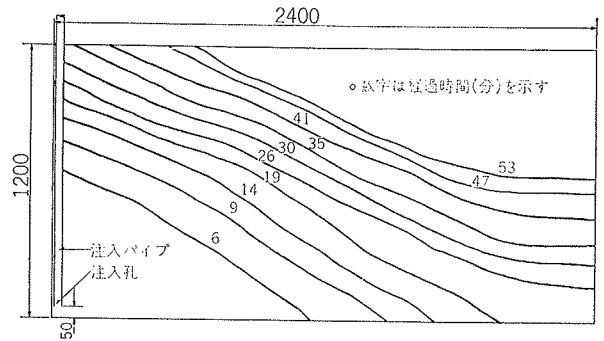


図-7 モルタル自由界面形状 (実験101)

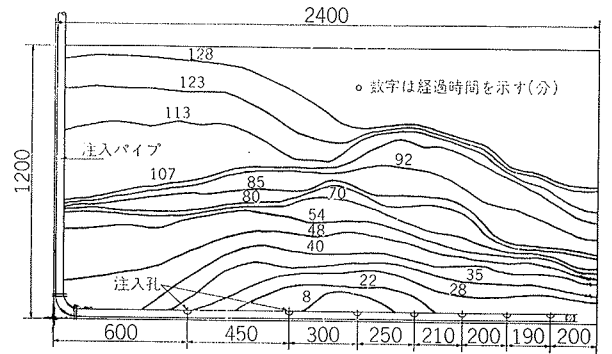


図-8 モルタル自由界面形状 (実験203)

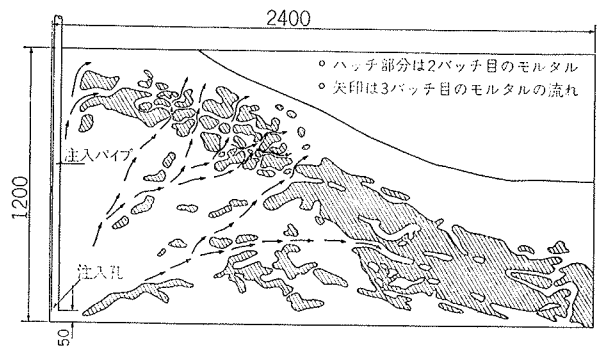


図-9 モルタル流動状態 (実験101)

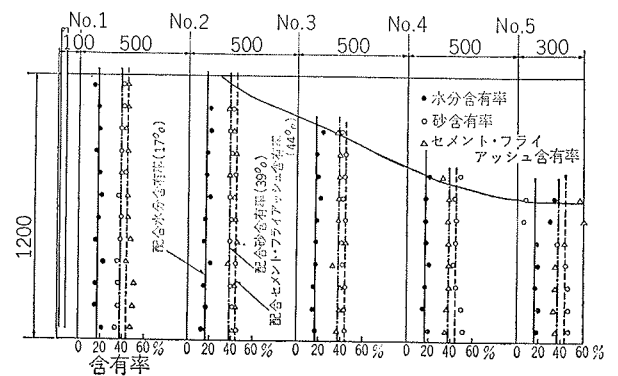
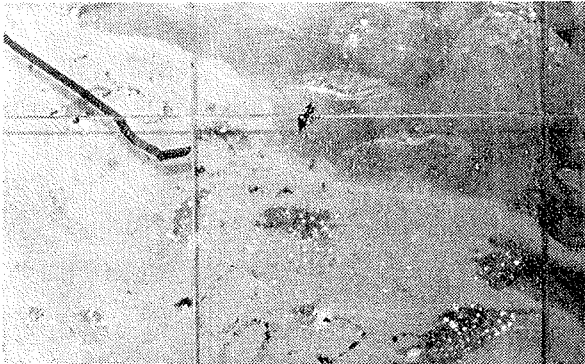


図-10 モルタル分析結果 (実験101)

図一10は注入後のモルタルの分析結果である。モルタル単位量あたりのセメント・フライアッシュ・砂・水の比率は配合比率と余り変わっていない。しかし自由界面に近い部分では水分の比率は高く、特に注入管に最も遠い位置ではその傾向が著しい。この部分のモルタルは砂分が少なくセメント分が多い。一方砂分が非常に多いモルタルが注入領域内に局部的に介在することも認められた。



写真一2 モルタルの材料分離状況(1)



写真一3 モルタルの材料分離状況(2)

#### 4. 注入条件と流動勾配に関する実験

##### 4.1. 実験目的

プレパックドコンクリート工法におけるモルタルの流動勾配はモルタルフロー値・粒骨材粒径・注入速度などによって異なる。これらの注入条件と流動勾配との関係は定量的に求められていないので、基礎的な注入実験によりこれらの関係を求めることとした。

##### 4.2. 実験方法

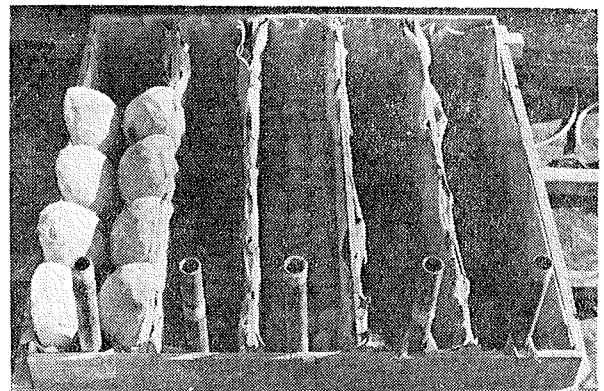
実験に用いた注入実験槽は写真一4に示すように5区分されており、1区分は長さ90cm、巾18cm、深さ40cmである。各区分内にそれぞれ粒径の異なる粗骨材を詰め、実験槽天端より50cmの高さから各区分に同時にモルタルを自然流下方式によって注入し自由界

面形状を測定した。粗骨材には固練りモルタルを球形に固結させたものを用いた。粒径は5段階とし、実験槽内への詰め方は図一11に示す Simplecubic 方式とした。この場合の理論間隙比は0.9098である。

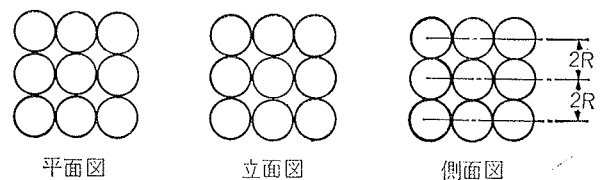
##### 4.3. 実験結果

図一12に注入速度 2l/min の場合のフロー値と最急勾配との関係を示す。フロー値が大きくなると最急勾配は大きくなる。注入速度が異なる場合も同様の関係が認められた。図一13は注入速度2l/min の場合の粗骨材の粒径と最急勾配との関係を示す。粒径が小さくなると最急勾配は大きく増大する。特にフロー値が大きい程その傾向は著しい。これらの関係は他の注入速度の場合でも同様である。粒径とフロー値が同一の場合、最急勾配が最も大きくなる注入速度は 2l/min である。注入速度が大きい場合は自由界面が上昇してもモルタルの流路は鉛直方向に余り移動しないので最急勾配が小さくなり、また注入速度が小さすぎる場合も自由界面に沿うモルタルの流下量が多く最急勾配が小さくなるものと考えられる。このことから最急勾配を小さくし、かつモルタルの分離をなるべく少なくするためには注入速度を大きくする方が良いと考えられる。

図一14はフロー値18秒の場合の粗骨材の粒径と最急勾配との関係を示したもので3、に述べた実験結果なども併記したものである。この結果からプレパックドコンクリートの粗骨材粒径は 10cm 以上が適しているものと思われる。



写真一4 小型注入実験槽



simple cubic packing

図一11 粗骨材の詰め方

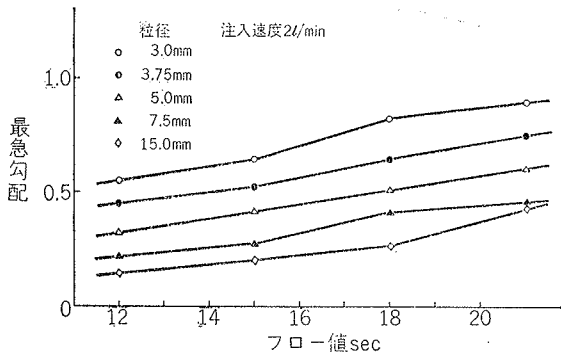


図-12 フロー値と最急勾配

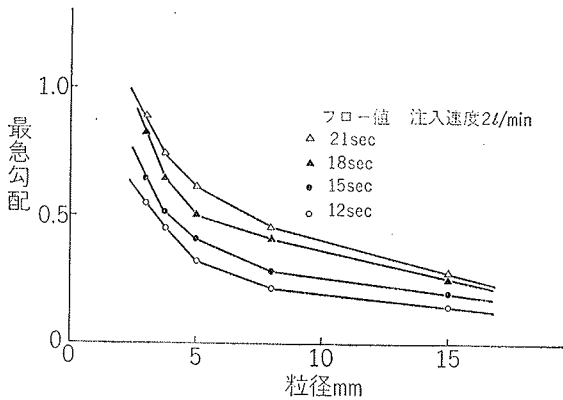


図-13 粒径と最急勾配(1)

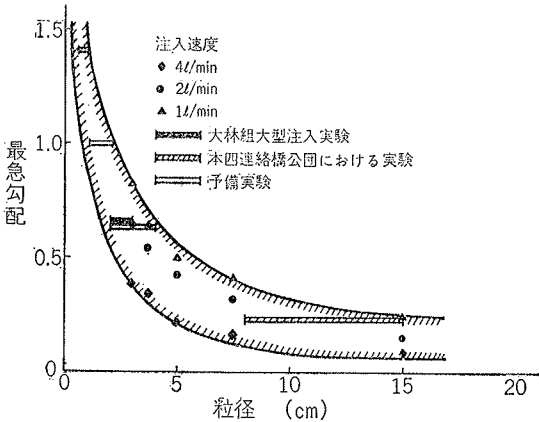


図-14 粒径と最急勾配(2)

## 5. 深度方向の強度変動に関する実験

### 5.1 実験目的

プレパックドコンクリートを一度に大きく打設する場合、上昇するモルタルの流路長が大きくなり、さらにブリージングなどによってモルタルが材料分離を起こすことが考えられる。また深い部分のモルタルは高圧状態での養生を受けることとなるので強度的な差が生ずると考えられる。これらの現象は定量的には余り明らかでないので実験によって究明することとした。

### 5.2 実験方法

実験は直径15cm 長さ2cmで塩ビパイプ数本に粗骨

材を詰め、モルタルフロー値および混和剤(KGA)混入量の異なるモルタルを注入し、28日経過後切断し供試体を作成して強度を求めた。またこの実験に引き続いて、4mの鋼管を水深30mの位置に設置し鋼管内にモルタルを注入し、硬化後コアを採取して深度方向の強度変化を求める実験も行なった。

### 5.3 実験結果

表-2は2mの塩ビパイプ内のプレパックドコンクリートの圧縮強度を示したものである。一般に深度が大きい場合ほど強度は大きい。レイタンスは最大10mmで比較的少ない。図-15は4mの鋼管内のモルタルの圧縮強度および比重の深度方向の変化を示すものである。深度が大きい場合ほど圧縮強度および比重が増大するのが認められた。

実験番号	KGA / C	フロー値	レイタンス	各深さの圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>				
				-20cm	-60cm	-100cm	-140cm	-180cm
1	0%	18sec	5mm	138	137	177	193	163
2	0	12	3	201	143	176	127	228
3	4	12	10	164	166	186	182	179
4	8	12	5	96	119	131	135	160

表-2 コンクリート強度の深度方向変化

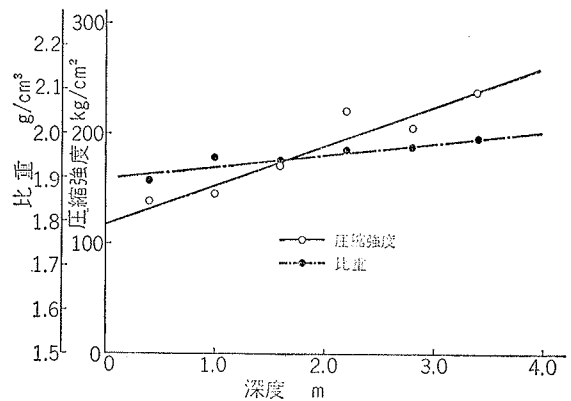


図-15 モルタル強度および比重の深度方向変化

## 6. あとがき

これまで実施してきた種々の実験結果よりプレパックドコンクリートにおけるモルタルの流動に影響をおよぼす要因が明確にされ、モルタル自由界面の発達状況とモルタルの材料分離過程が求められた。このことから大規模なプレパックド工法においてはなるべく大径の粗骨材を用い、しかも注入流量を大きくした方が有利であること、粗骨材形状としてはモルタル流動性の面から考えて碎石のようなものの方が適していること、モルタルの材料分離を減少させるためには注入パイプをなるべく多くして自由界面におけるモルタルの流動距離を少なくさせる必要があることなどもわかった。しかしまだこの工法の問題点は多く残されており、今後、さらに研究を進めてゆく必要がある。