

# 震災時のガスパイプライン修復における フライアッシュセメントを用いた瞬結材の開発

## Application of Flash Setting Material for Temporary Earthquake Disaster Restoration of Gas Pipelines Using Fly Ash Cement Mixtures

九州大学工学研究院 島田 英樹・笹岡 孝司・松井 紀久男  
Kyushu University Hideki Shimada, Takashi Sasaoka, Kikuo Matsui

There are many earthquakes in Japan. If a large earthquake were to occur, it is necessary to consider how pipelines such as: gas, sewage, telecommunications, and so on are restored quickly. At that time, damaged gas pipelines are very dangerous because fire in large areas could be caused by the leakage of gas from the damaged pipeline. Accordingly, it is necessary for gas companies to stop the supply of gas to houses over a large area. Once the gas supply is stopped, there is a considerable amount of time to repair the pipelines over the area. For this reason, a quick method for restoring damaged gas pipelines would be useful after an earthquake. Recently, we have been developing new flash setting material for the damaged gas pipeline by an injection into the house connection of gas when the gas supply is stopped quickly in an emergency. From these points of view, in order to clarify to what degree the contents of flash settling material affect the properties of the injected fly ash mixture causing heavy damage to the gas pipeline in an earthquake, different combinations of fly ash, chemical agents and water were considered in several experiments.

### 1. はじめに

トンネル覆工では、覆工背面と地山との間に空隙が生じないように施工しなければならない。このため、余掘りがある場合には、そこに良質のズリを詰め込む従前からの方法もあるが、最近ではコンクリート打設時に覆工厚外までコンクリートを充填し、その後に残る空隙は覆工後にモルタル等を注入して充填されることが多くなっている。この空隙充填材としては、一般にモルタルが利用されているが、これの硬化にはある程度の時間を要するため、破損したライフラインの補修に関わる裏込め注入のような充填の迅速性が求められる場合には、セメントに珪酸塩溶液を混合した薬液を用いて硬化時間の短縮が図られている。しかし、現実には十分な成果が得られていないという報告も少なくない。

そこで、上述のような充填の迅速性を要求される瞬結材の開発を行うために、本報告ではフライアッシュセメントに珪酸塩溶液を混合させたゲルタイム30秒以内の瞬結材の開発を目指し、種々検討した結果について述べる。

### 2. 瞬結材が具備すべき条件

充填の迅速性が求められるライフライン等の補修に関わる瞬結材としては、ゲルタイムが小さいこと、充填が確実に行われることが挙げられる。なお、ゲルタイムは溶液を混合して流動性を失うまでの時間であり、この値が大きいとゲル化するまでの時間が長いことを意味する。市販の瞬結材とモルタルを混合させた場合のゲルタイムは80~120秒<sup>1)</sup> であることやモルタルの水セメント比が大きい場合にはブリージングにより体積減少が認められることから<sup>2)</sup>、市販の材料では瞬結材として具備する条件を十分には満足していないのが実状である。

### 3. フライアッシュセメント瞬結材の開発

#### 3.1 フライアッシュの配合

薬液注入工法に用いられる瞬結材は、珪酸塩溶液が主成分であるA材とモルタルが主成分であるB材を混合してゲル化させ、硬化させることにより迅速性のある空隙充填が確保できる。そこで、本研究では、まずB材のモルタルの一部にフライアッシュを代替させた場合の瞬結材の機能保持の可否を検討した。

表1にA材およびB材の配合を示す。なお、A材には土質改良用の薬液に一般的に利用される珪酸ソーダ3号30%溶液を用い<sup>1)</sup>、A材とB材を容積比1:1で混合させた。

ゲルタイムの測定は施工条件の気温変化を想定して、両液の温度をいずれも20℃に保ち測定した。なお、計測は3度繰り返し平均値を記録した。また、粘性の大小を表すパラメータとしてフロー試験を行った。フロー試験は、一般には上部および下部内径がそれぞれ70mmおよび100mm、高さ60mmのフローコ

表1 瞬結材の配合(単位:g)

A材	珪酸ソーダ3号		水	
	150		350	
B材	C	S	FA	水
No.1	200	400	0	298
No.2	200	300	100	291
No.3	200	200	200	284
No.4	200	100	300	277
No.5	200	0	400	270

ただし、C：セメント、FA：フライアッシュ、S：珪砂

ーン(JIS-R-5201) に試料を充填し、ガラス板上でコーンを引き抜き、直角2方向の広がり直径の平均値をフロー値として求めるものであるが、今回は簡易試験として内径50mm、高さ50mmの円筒容器を使用してフロー値を求めた。フロー値は、物体が流動を開始する降伏応力に関係しており、フロー値が大きいと降伏応力が小さく、圧送性に優れることを表している<sup>3)</sup>。さらに、ブリージング試験では、1リットルのメスシリンダーに高さ30cmまで試料を入れ、時間の経過による試料と水の分離高さを測定してブリージング率<sup>2)</sup>を求めた。

表2に各配合試料のゲルタイム値およびB材のみのフロー値、24時間後のブリージング率をそれぞれ示す。これらの結果より、モルタルセメントの骨材である珪砂からフライアッシュに代替する割合が増大するほどゲルタイムが減少することが分かる。また、No.5の24時間後のブリージング率は4.0%で他に比べて良好な結果ではあるが、完全に気液体を遮断できる材料であるとは言い難い。

表2 瞬結材のゲルタイム、フロー値、ブリージング率

試料	ゲルタイム (秒)	フロー値 (mm)	24 時間後のブリージング率 (%)
No.1	81	260	24.5
No.2	74	280	22.5
No.3	66	260	11.9
No.4	65	230	4.9
No.5	60	165	4.0

### 3.2 珪酸塩溶液の選定

市販の珪酸塩溶液は、用途によりその性質や価格、汎用性が異なるため、裏込め注入に適した珪酸塩溶液を選別する必要がある。この際、検討する要因は、硬化速度すなわちフライアッシュセメントと珪酸塩溶液を混合した後のゲルタイムの把握が必要不可欠である。そこで、4種類の珪酸塩溶液をフライアッシュセメントに混合した場合の水温20℃におけるゲルタイムを求めた。試験に供した試料は、前掲表1のB材は試料No.5であり、A材には、珪酸ソーダ2～5号および珪酸カリウムを表1同様350gの水に対して150g混合したものである。表3の結果より、いずれもゲルタイムが要求される値より極めて大きい、珪酸ソーダ3号溶液のゲルタイムが他に比べて小さい。

以上の結果より、どの配合試料を用いても特にゲルタイムと遮蔽性に関しては瞬結材を具備する条件を満足しないことが判る。そこで、表1に示したA材は珪酸ソーダ溶液3号、B材は試料No.5を用い、これに新たな添加剤を付加して瞬結材としての更なる改良を行った。

表3 A材が異なる場合のゲルタイム (単位: 秒)

A 材	2 号	3 号	4 号	5 号	珪酸カリウム
ゲルタイム	114	60	92	83	200 以上

## 4. フライアッシュセメント瞬結材の改良

### 4.1 付着剤の添加

次に、瞬結材の機能を満足させるために、上述のNo.5試料にセメントの吹き付け工事に一般的に使用される市販の再乳化型付着剤を混合させて遮蔽性の向上を試みた。この付着剤を使用する場合、混合時に発生する泡ならびに流動性の低下を抑制するために、消泡剤および分散剤を併せて添加した。

付着試験には、75×250mmのアクリルパイプモールド管を用いて、表4に示した配合割合の供試体を作製し、1日間自然養生させ、アクリルパイプモールドの上部に重錘を載せ、養生した試料がモールドから動き出す応力を圧着強度と定義した。これらの試料のゲルタイムならびに圧着強度を計測した結果を表5に示す。

表4 付着剤添加瞬結材の配合 (単位: g)

A 材	珪酸ソーダ 3 号			水		
	150			350		
B 材	C	FA	付着剤	消泡剤	分散剤	水
No.1	200	400	0	0	0	254
No.2	200	400	15	7.5	10.5	268
No.3	200	400	30	15	21	279
No.4	200	400	45	22.5	31.5	284
No.5	200	400	60	30	42	307

表5 瞬結材のゲルタイムおよび圧着強度

試料	ゲルタイム (秒)	圧着強度 (kPa)
No.1	49	0
No.2	48	0
No.3	48	1.0 未満
No.4	46	1.0 未満
No.5	46	2.0 ~ 4.0

これらの試験結果を見ると、圧着強度が極めて小さくかつゲルタイムも所定の値を満足していない。また、養生した試料には目視できる空隙も多数認められたため、遮蔽機能も有していないと判断される。

### 4.2 膨張剤の添加

前述の問題点を解決するために、表4の配合を基にさらに膨張剤の添加を試みた。その配合例を表6に示す。

膨張剤には、セメントモルタルの収縮抑制に用いられる市販材料を適用し、ゲルタイムならびに圧着強度を測定した。なお、付着剤、消泡剤および分散剤の配合量を変化させた試料についても試験を施したがここでは省略する。表7に表6で示した配合試料の試験結果を示す。

表6 膨張剤添加瞬結材の配合の一例 (単位: g)

A 材	珪酸ソーダ 3 号				水		
	150				350		
B 材	C	FA	膨張剤	付着剤	消泡剤	分散剤	水
No.1	200	375	25	30	15	21	289
No.2	200	350	50	30	15	21	289
No.3	200	300	100	30	15	21	289
No.4	200	250	150	30	15	21	289
No.5	200	200	200	30	15	21	289

表7 瞬結材のゲルタイムおよび圧着強度

試料	ゲルタイム (秒)	圧着強度 (kPa)
No.1	32	0
No.2	30	5.7
No.3	32	1,710
No.4	30	2,660
No.5	28	2,960

これらの結果より、フライアッシュセメントに付着剤および膨張剤を添加することにより、ゲルタイムが30秒程度となり、

圧着強度も表4の配合試料に比して大幅に向上した。さらに、アクリルパイプモールドで養生した試料の上部から水を注入したところ、72時間経過後でも養生試料上部から目視で1~3mm程度しか浸潤しなかったことから、遮蔽性も具備したと判断される。

以上の結果より、フライアッシュセメントに付着剤および膨張剤を添加することにより、充填の迅速性を要求される瞬結材としての機能を付与できることが分かった。

## 5. おわりに

充填の迅速性を要求される瞬結材の開発を行うために、フライアッシュセメントに珪酸塩溶液を混合させたゲルタイム30秒以内の瞬結材の開発を目指した結果、具備する条件を満足する材料の開発に成功した。今回開発した瞬結材は、震災時のライフラインの修復への利用が要求されており、具備する条件をより満足するために、今後更なる改良を予定している。

## 参考文献

- 1) 三木他、可塑剤グラウト注入工法、相模書房、(2001).
- 2) Yoshida et al., Proc. of 10th Conference on Environment and Mineral Processing, 1, 93 (2006).
- 3) 土木学会、コンクリート標準示方書標準編、(2002).