

センサーによるグラウト充填の確認方法に関する検討

(社) PC 建設業協会	正会員	○正司 明夫
日本道路公団 静岡建設局	正会員	青木 圭一
日本道路公団 技術部	正会員	大城 壮司
(社) PC 建設業協会	正会員	細野 宏巳

1. はじめに

プレストレストコンクリート (PC) 構造物におけるグラウトは、PC鋼材とコンクリートとの付着確保、PC鋼材の防錆に重要な要素であるが、近年、世界的にPCグラウトの充填不良が報告されており、これが原因で落橋に至った事例¹⁾も報告されている。特に、内ケーブル方式では、グラウトを直接目視できないため、流量計による流量管理、全断面での充填が容易でブリーディングの生じない高粘性型ノンブリーディンググラウトの使用等をこれまで実施してきている。しかし、PC構造物は確実なグラウト充填が前提であり、グラウト充填を確認することは、その後の維持管理を進める上でも必要不可欠である。

直接グラウト充填度を確認する方法として、種々の方法²⁾が検討されているが、本報告ではシース内に直接センサーを埋込み、グラウト注入中の充填度検査の適用性について報告を行うものである。なお、本実験は、100mの実物大実験³⁾において注入勾配5%で高粘性グラウトを使用したもの (Case-1)、注入勾配0%で超低粘性グラウトを使用したもの (Case-2) の2タイプに対して行った。

2. 実験方法

本実験のグラウト充填の確認に使用したセンサーは、MSセンサーと振動デバイスセンサー⁴⁾であり、その形状を図-1に示す。また、以下にその特徴を記す。

MSセンサーは、センサー部に熱電対とヒーターを組み合わせ配置したものである。測定原理は、熱伝導率が異なる周囲媒質によって、ヒーターから放熱される熱量が変化するためセンサー内の温度差が変化し、出力電圧が異なることを利用して判別を行うものである。周囲媒質が空気の場合は、水やグラウトに比べ熱伝導率が大きいため放熱量が多く温度差が大きくなり、出力電圧が7mV以上となることから、グラウト未充填であると判別できる。一方、周囲媒質がグラウトの場合は放熱量が少なく温度差が小さくなり、出力電圧が5mV以下となることから、グラウト充填の確認が行える。

振動デバイスセンサーは、圧電セラミック製であり、測定原理は、センサー自体を可聴域 (3~15kHz) の周波数で変化させながら振動させることによって、接触する周囲媒質 (空気、水、グラウト) の固有振動インピーダンスの違いにより、検出される周波数特性が異なることを利用して判別を行うものである。例えば、周波数7.6~12kHzの範囲で2.5V以上の出力電圧が測定された場合は空気に接している場合であり、4.8~7.6kHzの範囲で3.3V以上で水、2.9~4.8kHzの範囲で3.3V以下でグラウトと接していると判定できる。ただし、振動デバイス自体のばらつき等もあり、この値は変動する可能性がある。

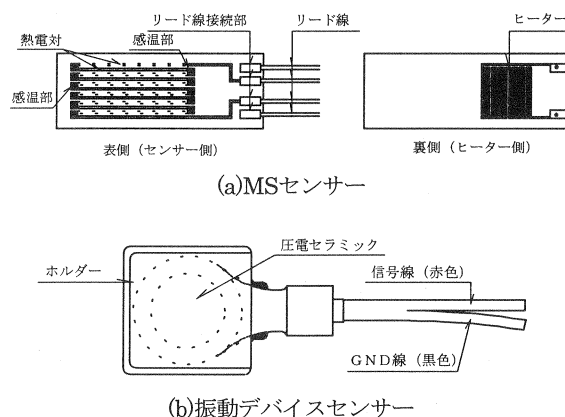


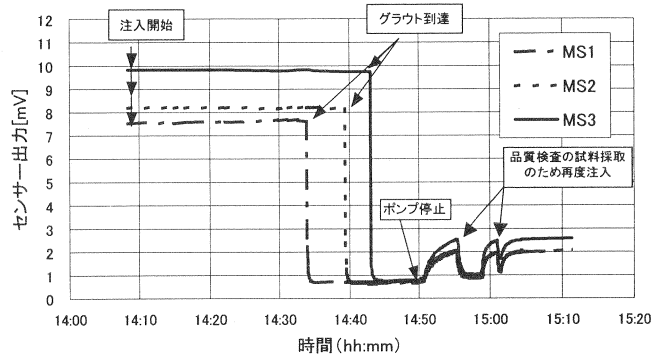
図-1 センサー

3. 実験結果

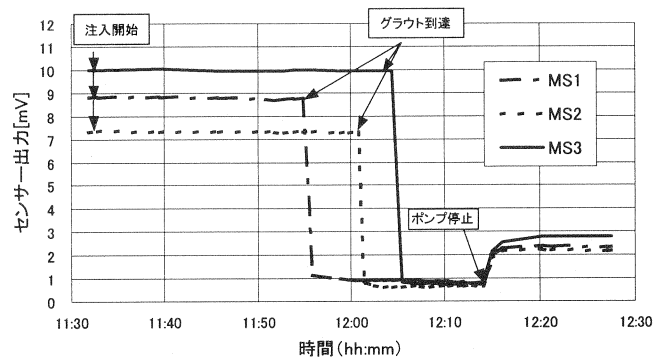
3.1 MSセンサー

MSセンサーの設置位置を図-2 に、計測結果を図-3 に示す。図-3 の横軸は計測時刻、縦軸は計測された出力電圧である。Case-1、Case-2 ともグラウト注入前は7～10mV の出力電圧であったものが、グラウト到達後は急激に低下し、1mV 程度となっている。また、ポンプ停止後に出力電圧3mV 程度と高くなっているのは、グラウトが滞留し、放熱量が小さくなり温度差が大きくなったためと考えられる。このことは、Case-1 のように品質試験の試料採取のためにグラウトの注入を再開した場合 (Case-1 : 14:50～15:00 付近)、再び出力電圧が低下していることから確認できる。また、グラウト注入停止後も、依然として出力電圧は5mV 以下であり、グラウト硬化後もグラウトの有無を確認できることを示唆していると思われるが、今後、長期計測を行い、出力電圧の変動がどの程度生じるか確認する必要がある。

図-3 に示されるグラウト充填前に各々の計測値が7.3mV～10mV 程度と差が生じているのは、センサーの製作時に発生するばらつきによるものと推察される。

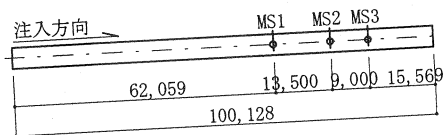


(a)Case-1 高粘性グラウト

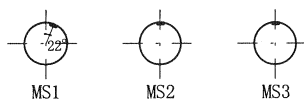


(b)Case-2 超低粘性グラウト

図-3 MSセンサーによる計測結果

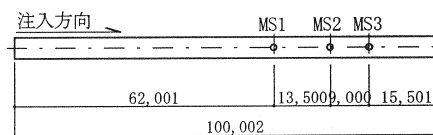


(a)側面図

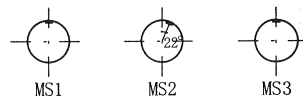


(b)断面図

(1)Case-1



(a)側面図



(b)断面図

(2)Case-2

図-2 MSセンサー配置図

3.2 振動デバイスセンサー

振動デバイスセンサーの設置位置を図-4に、判定基準を表-1に、計測結果を図-5に示す。振動デバイスセンサーによるグラウト充填の判定は、判定基準により設定した判定装置のランプの色の違いで行った。計測結果は、概ね注入側から順にグラウトが充填されていく状況が確認できた。ただし、Case-2のCH14で、水と判定されていたのはブリーディング水に反応した可能性があることが懸念された。そこで、グラウト硬化後、試験体を解体しグラウト充填状況を確認したが、グラウトが充填されていた。また、CH12あるいはCH15で途中水と判定されていたが、これらにおいてもグラウトは充填されていた。グラウト材料試験においても、超低粘性グラウトは一時的に微量のブリーディング水が発生したが⁵⁾、体積変化に影響を与えるほどのものではなかったことが報告されている。本実験においても一時的にブリーディング水が発生したが、その後消滅した可能性もある。また、グラウト充填の保証を行うために注入終了後加圧したが、判定基準内の値が計測されず計測不能となかった。これは本実験で使ったセンサーの耐圧力が0.3MPaであり、それ以上の圧力を与えたからである。ただし、その後、センサーの耐圧力を向上させる改良を行っている。

表-1 判定基準

種類	周波数(Hz)		ピーク波形(V)	
	最小	最大	最小	最大
空気	7600	12000	2.5	10.0
水	4800	7600	3.3	10.0
グラウト	2900	4800	-	3.3

時刻	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	試験状況
14:20:43	-	-	-	-	-	-	○	-	注入開始
14:38:03	○	○	-	-	-	-	○	-	
14:38:25	○	○	○	○	-	-	○	-	
14:43:52	○	○	○	○	○	-	○	-	
14:44:02	○	○	○	○	○	○	○	-	
14:54:24	○	○	○	○	○	○	○	○	
15:01:45	○	○	○	○	○	-	○	○	加圧(1回目)
15:02:51	○	○	○	○	○	○	○	○	
15:06:37	○	○	○	○	○	×	○	○	加圧(2回目)

判定凡例 - : 空気 △ : 水 ○ : グラウト × : 判定外

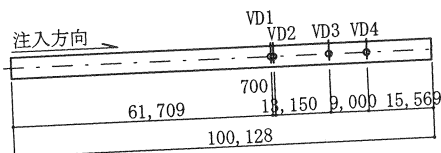
(a) Case1 高粘性グラウト

時刻	CH9	CH10	CH11	CH12	CH13	CH14	CH15	CH16	試験状況
11:30:38	-	-	-	-	-	-	-	-	注入開始
11:58:31	○	○	-	-	-	-	-	-	
11:58:57	○	○	○	×	-	-	-	-	
11:59:01	○	○	○	○	-	-	-	-	
12:04:28	○	○	○	○	○	△	-	-	
12:08:12	○	○	○	△	○	△	○	○	
12:16:56	○	○	○	○	○	△	○	○	
12:17:40	○	○	○	○	○	△	△	○	
12:18:24	○	○	×	○	○	△	○	○	加圧(1回目)
12:31:06	○	○	×	○	○	△	○	×	加圧(2回目)

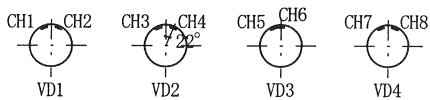
判定凡例 - : 空気 △ : 水 ○ : グラウト × : 判定外

(b) Case-2 超低粘性グラウト

図-5 振動デバイスセンサーによる計測結果

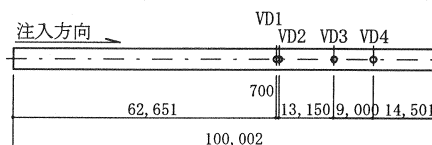


(a) 側面図

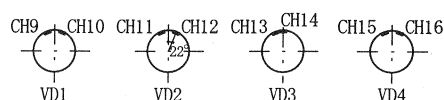


(b) 断面図

(1) Case-1



(a) 側面図



(b) 断面図

(2) Case-2

図-4 振動デバイスセンサー配置図

4. まとめ

本実験によって、以下の知見を得た。

- 1) MSセンサー、振動デバイスセンサーはともに高粘性および超低粘性グラウトの充填の確認を行うことができる。ただし、超低粘性グラウトの充填確認実験において、CH12 あるいは CH15 で途中水と判定されたものがブリーディング水に反応したのか、あるいは判定時の誤差であるかの原因を究明する必要がある。
- 2) MSセンサーによるグラウト充填の検証は、本実験の範囲内では、7mV 以上の電圧が測定された場合は未充填、5mV 以下の電圧が測定された場合は充填と判定できる。また、グラウト充填時に連続して出力電圧を計測した場合は、急激に出力電圧が下がることが確認できた。
- 3) 振動デバイスセンサーによるグラウト充填の検証は、本実験の範囲内では、周波数 7.6~12kHz の範囲で 2.5V 以上の電圧が測定された場合は未充填、2.9~4.8kHz の範囲で 3.3V 以下の電圧が測定された場合は充填と判定できる。
- 4) グラウト硬化後の充填確認検査においても、測定値がグラウト未充填の場合と異なることからMSセンサーおよび振動デバイスセンサーで確認できる可能性がある。ただし、振動デバイスセンサーによってグラウト硬化後もグラウトの存在を確認するためには、グラウト充填後に行う加圧に耐えられるものにする必要があるとともに、2タイプのセンサーとも、長期計測を行い出力電圧の変動およびセンサーと接続コードの耐久性の確認をする必要がある。

センサーを用いたグラウト充填の確認検査は、センサーが周囲媒質に対して過敏に反応することから、今後、センサー自体あるいは判定時のばらつきを把握することにより、センサーのシース内での設置位置によって、グラウトの充填だけでなく確実にグラウト充填度の判定ができるものと考えられる。

本検討は(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会の「PC橋のグラウトに関する技術検討」の一環として行われたものである。センサー関係では、東亜電気(株)、曙ブレーキ工業(株)に提供を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) R.J.Woodward et. al: Collapse of Ynys-y-Gwas Bridge, West Glamorgan(Proceeding of The Institution for Civil Engineers Part 1, Aug.1988)
- 2) 細野ら: PC グラウトの注入実験(その2)ー実物大(延長 100m) グラウト注入試験結果ー, 土木学会第 57 回年次学術講演会, 第 5 部門(投稿中)
- 3) 例えば, 国枝ら: 弾性波の伝播速度に着目した PC グラウトの充填評価手法, コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No. 1, pp. 1551-1556, 2002
- 4) 金子ら: 振動を利用したコンクリート充填検知システムに関する基礎実験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 12, No. 1, pp1527-1532, 2002
- 5) 東田ら: PC グラウトのブリーディング試験方法について, 土木学会第 57 回年次学術講演会, 第 5 部門(投稿中)