

PC グラウトの設計・施工について

— 第二東名高速道路 狩宿高架橋 —

青木 圭一*1・高橋 章*2・牧田 通*3・藤井 康平*4

1. はじめに

プレストレストコンクリート構造物の内ケーブルにおけるグラウトは、PC鋼材の防錆およびPC鋼材とコンクリートの一体性を確保するために重要な要素であるが、その確実な充填には、これまで課題があったのも事実である¹⁾。日本道路公団においては、確実なグラウトの充填が可能で、かつ検査が容易な方法について検討を行い^{2)~4)}、その管理、検査方法の確立へ向けて検討を行っているところである。そこで、確実な充填に向けて、第二東名高速道路 狩宿高架橋（下り線）では、グラウト設計およびその施工の検証を行っている。本橋は現在施工中であり、すべてのグラウト作業を完了していないが、現段階までの途中経過について報告する。

2. 狩宿高架橋の概要

狩宿高架橋は、現東名高速道路と第二東名高速道路を結び引佐連絡路のうち、静岡県引佐郡引佐町に位置する。こ

のうち下り線はPC 4径間連続2主版桁橋、PC 3径間連続ラーメン箱桁橋、PC 13径間連続2主版桁橋で構成されており、PC 3径間連続ラーメン箱桁部において、セメント系グラウトを用いた内ケーブル構造を採用した。橋梁一般図を図-1に示す。

箱桁橋のプレストレス導入方法について、全外ケーブル構造とする案、張出し架設ケーブルを内ケーブル、連続ケーブルを外ケーブルとする内外ケーブル併用構造案とで比較・検討した。主要材料比較を表-1に示すが、内外ケーブル併用構造の場合、全外ケーブル構造に比べてコンクリート、鉄筋、PC鋼材量ともに大幅に削減され、グラウト充填方法や維持管理へこれまで以上に費用を要したとしても経済的利点が多いと判断される。

3. グラウト設計

グラウトの充填性を確保するには、その充填メカニズムを把握したうえでの、施工の容易さ、確実さが必要であり、それを検証するためにはグラウトの充填確認ができること

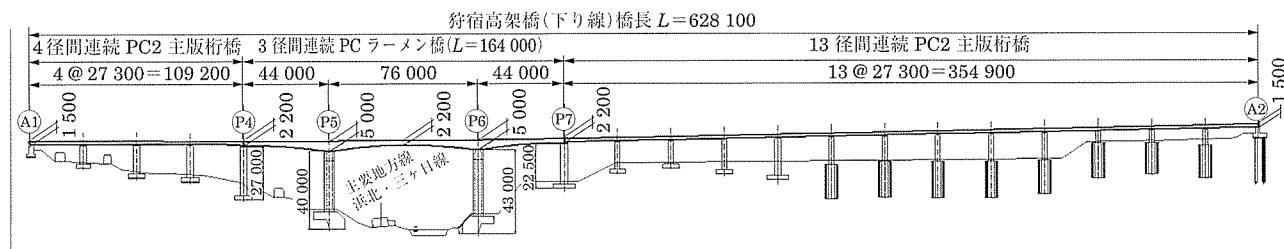


表-1 主要材料の比較

項目	種別	単位	全外案	内外併用案
コンクリート	P 2-2	m ³	1 953	1 754
鉄筋	P	t	352	317
PC 鋼材	架設ケーブル	12 S 12.7	—	29.8
		19 S 15.2	35.0	—
	連続ケーブル	19 S 15.2	29.3	21.8
合計		t	64.3	51.6

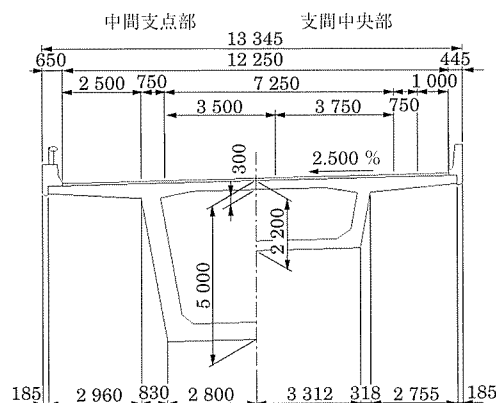


図-1 橋梁一般図

*1 Keiichi AOKI : 日本道路公団 静岡建設局 建設部 構造技術課 課長代理
 *2 Akira TAKAHASHI : 日本道路公団 静岡建設局 建設部 構造技術課
 *3 Toru MAKITA : 日本道路公団 静岡建設局 浜松工事事務所 引佐西工事区
 *4 Kouhei FUJII : (株)富士ビーエス 設計部 設計課

が必要条件と考える。充填ケーブルの配置形状、グラウトの流動性、および注入・排気・排出口の位置を適切に計画することが必要であり、さらに、非破壊検査可能なケーブル配置とすること、および充填度検査用センサーを適切な位置に配置することも必要である。

(1) ケーブル配置の決定方法

これまでの実験等^{2) 3)}において、確実なグラウト充填が確認されているものは、ケーブル配置が上床版内の直線配置で、定着部付近の鉛直下り勾配角度は縦断勾配を含めて最大で10°以内のものである。そこで、本橋梁では、グラウト充填の非破壊検査可能な精度を考慮し、図-2に示すようにケーブル配置を床版内に1段、間隔125mm以上、かつ床版上面からケーブルの芯まで200mm以内の深さとした。

シースの空隙率は、実験²⁾において充填性が確認されている、表-2のポリエチレンシースから選ぶこととし、本橋梁では12S 12.7に対応する内径70mmを使用した。なお、シースは耐久性および施工時のつぶれ等を勘案して高密度ポリエチレンシースとした。

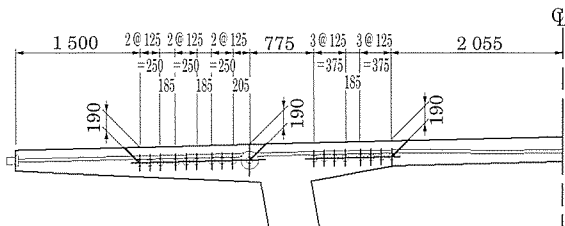


図-2 柱頭部のケーブル配置図

表-2 充填が確認されているシース²⁾

PC鋼材の構成	高密度ポリエチレンシース寸法		PC鋼材断面積 (mm ²)	空隙率 (%)
	内径 (mm)	外径 (mm)		
12S 12.7	70	83	1 184.5	69.2
12S 15.2	80	93	1 664.4	66.9

(2) グラウトの種類と流動性の設定

グラウトは、ノンブリーディング型かつ非膨張型のものを使用するものとし、かつ先流れ現象の少ないと思われる高粘性タイプ(表-3)を用いることとした。

表-3 流動性の種別

流動性の範囲を示す呼称	JP漏斗試験による流下時間(秒)の範囲
高粘性タイプ	14 ~ 23 以下
低粘性タイプ	6 ~ 14 未満
超低粘性タイプ	3 ~ 6 未満

(3) グラウト注入時の圧力検討

グラウト注入中にポンプホースやグラウトホースに過大な圧力が作用した場合、注入口の接続部が外れる等のトラブルが発生し、適切なグラウト注入が不可能となる。そこで、グラウト注入時のポンプホースとグラウトホースに作用する圧力を設計段階において検討した。なお、制限値は各ホースの最小破裂圧力に対し4倍の安全率を考慮し、ポンプホースを2.0MPa、グラウトホースを0.6MPaとしている。ケーブル長が長く注入時にこれらの圧力を超える場合は、シースの途中に中間注入口を設け、注入作業の段階に応じて注入口を移動し注入するステップバイステップ式注入方法を採用することとした。

注入時圧力計算の概念を図-3に、計算結果を表-4に示す。グラウトホースは実際に使用する長さ1.5mで、ポンプホースは最長の場合を想定して50mで計画した。各区

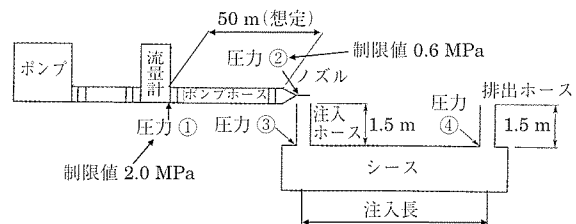


図-3 注入時圧力計算の概念図

表-4 注入時圧力の計算

注入流量 (リットル/min)	シース・管路	図中の位置	内径 (mm)	長さ (m)	mあたり圧力損失 (MPa/m)	注入圧力 (Mpa)		制限圧力 (Mpa)
						全長	累計	
						$P = L \times p$	ΣP	
15	排出グラウトホース	④	19.0	1.5	0.075	0.113	0.113	
	シース	③	70.0	24.5	0.015	0.368	0.481	
	注入グラウトホース	②	19.0	1.5	0.075	0.113	0.594	< 0.6
	ポンプホース	①	25.4	50.0	0.028	1.400	1.994	< 2.0
10	排出グラウトホース	④	19.0	1.5	0.059	0.089	0.089	
	シース	③	70.0	52.5	0.008	0.420	0.509	
	注入グラウトホース	②	19.0	1.5	0.059	0.089	0.598	< 0.6
	ポンプホース	①	25.4	50.0	0.022	1.100	1.698	< 2.0
5	排出グラウトホース	④	19.0	1.5	0.039	0.059	0.059	
	シース	③	70.0	80.0	0.006	0.480	0.539	
	注入グラウトホース	②	19.0	1.5	0.039	0.059	0.598	< 0.6
	ポンプホース	①	25.4	50.0	0.014	0.700	1.298	< 2.0

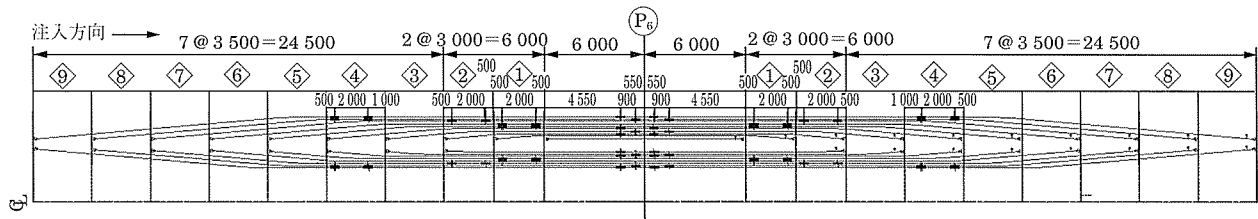


図 - 4 グラウトホースの配置 (平面図)

間の長さや単位長さあたりの圧力損失により各区間の圧力損失を求め、それらを累計した値が各部位に作用する圧力となる。各区間の単位長さあたりの圧力損失は文献2)の高粘性タイプグラウトの値を用いている。注入流量が毎分15、10、5リットルの場合で、グラウトホースまたはポンプホースの圧力が制限値に達する最長のシース長を算出した。毎分15リットルの場合、注入長が24.5mを超えると注入グラウトホースの圧力が制限値を超える。この場合20mごとにステップバイステップ式注入が必要となり施工性に劣る。毎分10リットルの場合、注入長が52.5mを超えると注入グラウトホースの圧力が制限値を超えることとなる。一方毎分5リットルの場合80mまで連続注入可能であるが、注入に時間がかかり施工性に劣る。よって、本橋では、注入流量を毎分10リットルとし、40mごとにステップバイステップ式注入を行う計画とした。

(4) 注入、排気、排出口の配置

グラウトの充填性を確保するには、低い方から高い方に向けて注入を行う必要がある。本橋の縦断線形はP4からP7にかけて昇り勾配であるので、注入はすべてP4側から行うこととした。

ステップバイステップ式注入は40mごととするが、トラブル時に対処できる様に排気口を20mごとに配置し、中間注入口も排気口の注入側2.0mの位置にそれぞれ設けることとした。また、ホース配置位置は施工ミスを防ぐため施工目地から一定の距離とすること、および横筋PC鋼材や横方向鉄筋を避けた位置とすること、さらにホースが一断面に集中しないことに配慮した(図-4)。

(5) 充填度検査用センサーの配置

グラウト充填確認には、全数内部センサーを設けることとし、設置位置は、各ケーブルのもっとも高い位置であるP7側の定着部に1箇所配置することとした。ただし定着部には直接取り付けられないため、定着部背面から500mmの位置に配置した(図-5)。内部センサー(は実験4)において性能が確認されているもののうち、MSセンサーを

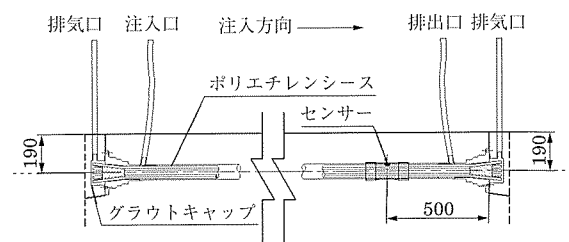


図 - 5 定着部詳細図 (側面図)

使用することとした。

4. グラウトの品質管理・施工

グラウト施工時においてグラウトの充填性を確保するために、計画した施工方法および品質管理をプロセスチェックとして実行し、管理することが必要である。

(1) グラウトの基準試験

グラウト施工の1ヶ月以前に基準試験を実施し、使用するグラウトの配合に対して品質を確認した。ブリーディング率、体積変化率試験は、従来のポリエチレン袋方法⁵⁾に代わり、高さ1.5mの鉛直管にPC鋼材を挿入した「鉛直管試験」³⁾により行った(写真-1)。本試験方法は、ポリエチレン袋方法に比較して、より実環境に近いと思われ、



写真 - 1 鉛直管試験

表 - 5 基準試験結果

4月2日		基準試験	規格値
水結合材比 (%)		42.0	45以下
温度 (°C)	気温	13	
	水温	13	
	セメント	15	
	グラウト	22	
流動性 (秒)	0.0 h	17.6	14 ~ 23
	0.5 h	21.3	
	1.0 h	22.7	
ブリーディング率 (%)		0.00	0.3以下
体積変化率 (%)		- 0.31	± 0.5以内
塩化物含有量 (kg/m³)	水+セメント	0.194	0.30以下
	混和剤	0.007	
	合計	0.201	
圧縮強度 (N/mm²)		57.2	30以上

さらに英国等においても基準化されている方法である。試験結果を表-5に示す。

(2) P6 柱頭部のグラウト施工

2004年10月時点での施工状況を写真-2に示す。

1) シースの設置

シース組立てにおいては、シース端部および定着部から雨水やレイタンス処理水、セメント塊等がシース内に入らないようにキャップを取り付け、密閉している(写真-3)。

グラウトホースは半透明のテロンブレードホースを使用し、注入口、排気・排出口が判別できるように色を使い分け、さらに、グラウトホースはシースに取り付けた地点から鉛直に床版上面へ立ち上げている(写真-4)。



写真-2 P6 柱頭部

てシースの気密性と導通を確認し、確認したグラウトホースにはビニールテープを新たに巻き付け、確認済みの印としている。

4) グラウト注入

グラウト注入は鋼材緊張の翌日に行っている。グラウト練混ぜは、写真-5に示す丸型のミキサを備えたミキシングプラントを設置して行っている。グラウト実施日に行う品質管理項目は、表-6に示す項目であり、ポリエチレン袋方法に代わり鉛直管試験を実施している。品質試験の結果を表-6に、また鉛直管試験における体積変化の経時変化を図-6に示す。品質試験に合格した材料は、アジテータで攪拌し、流動性の低下を防止している。



写真-4 打設時のグラウトホース処置

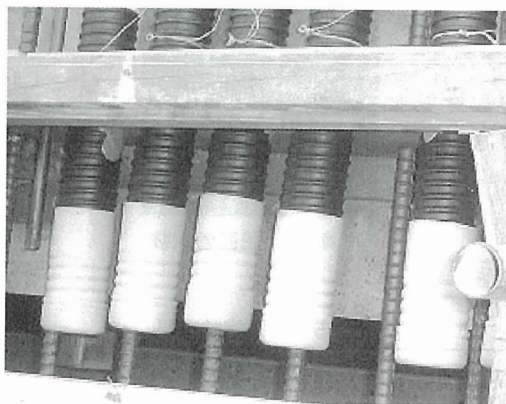


写真-3 シース端部のキャップ

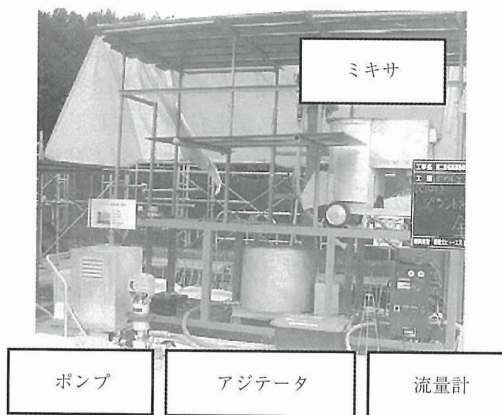


写真-5 ミキシングプラント

2) PC 鋼材の挿入

挿入後の鋼材に有害な錆が生じないようにするため、挿入からグラウト施工までを速やかに行うように工程管理をしている。また、不意の雨等による対策として、挿入した鋼材の余長部分から雨水がシース内に浸入しないように、シートと屋根で養生している。

3) ダクトの気密性、導通の確認

鋼材挿入翌日に PC 鋼材緊張を行っている。緊張後グラウトキャップを取り付け、シース内に圧縮空気を通し

柱頭部のグラウト注入概要を図-7に示す。今回使用するポンプホース長は20mであり、そのときの流量計で管理すべき制限圧力を計算した(表-7)。注入グラウトホースの圧力が0.6MPaのときの流量計の制限圧力は $P = 0.6 + 0.44 = 1.04$ MPaである。流量計のチャートを図-8に、圧力結果の一覧を表-8に示す。チャートにおける時間経過は下から上に向けてであり、縦軸1目盛は1分間である。チャートの圧力を見ると、シース通過中は計算どおりの圧力損失であるが、定着部からグラウト

表 - 6 品質試験結果

5月20日		P6柱頭部	規格値
水結合材比 (%)		40.0	45以下
温度 (°C)	気温	19	
	水温	19	
	セメント	19	
	グラウト	26	
流動性 (秒)		17.7	14 ~ 23
ブリーディング率 (%)		0.00	0.3以下
体積変化率 (%)		-0.38	± 0.5以内
塩化物含有量 (kg/m³)	水+セメント	0.172	
	混和剤	0.007	
	合計	0.179	

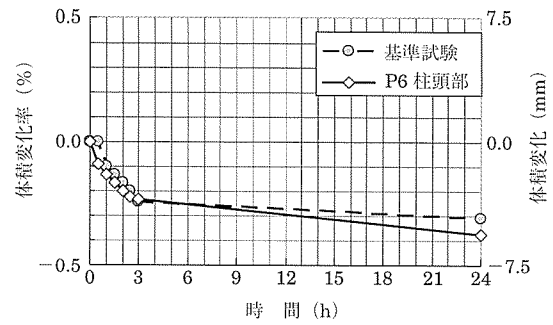


図 - 6 鉛直管試験結果

表 - 7 P6柱頭部の注入時圧力計算

注入流量 (リットル/min)	シース・管路	内径 (mm)	長さ (m)	mあたり圧力損失 (MPa/m)	注入圧力 (MPa)		制限圧力 (MPa)
					全長	累計	
					L	p	
10	排出グラウトホース	19.0	1.5	0.059	0.089	0.089	< 2.0
	シース	70.0	11.8	0.008	0.094	0.183	
	注入グラウトホース	19.0	1.5	0.059	0.089	0.272	
	ポンプホース	25.4	20.0	0.022	0.440	0.712	

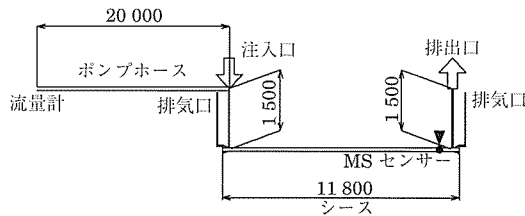


図 - 7 P6柱頭部グラウト注入概要図

表 - 8 P6柱頭部圧力結果

ケーブル番号	流量計圧力 (Mpa)			制限値
	開始	最終	再加圧	
設計	0.44	0.71	—	1.04
C101R	0.45	0.86	0.91	
C101L	0.50	0.81	0.94	

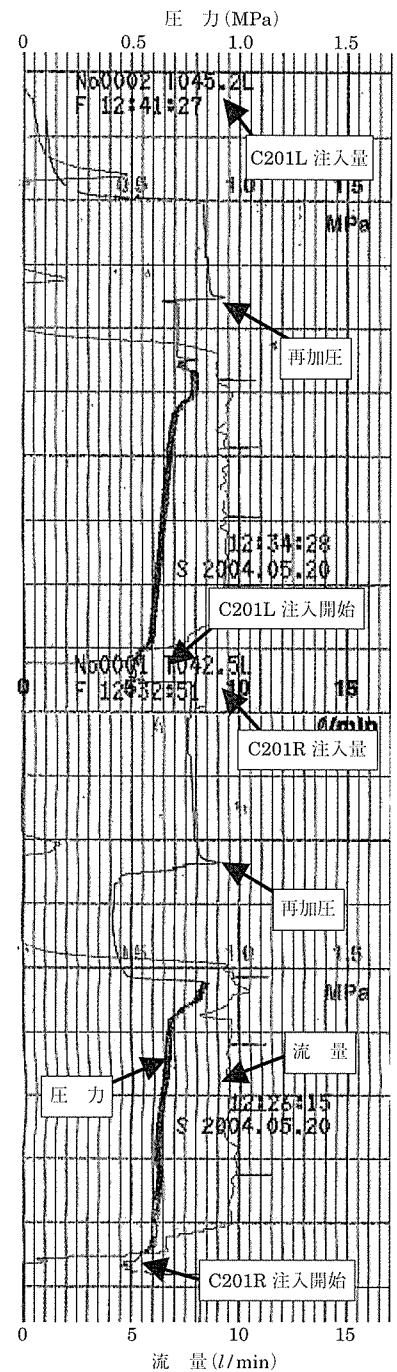


図 - 8 流量計のチャート



写真 - 6 グラウトの排出確認

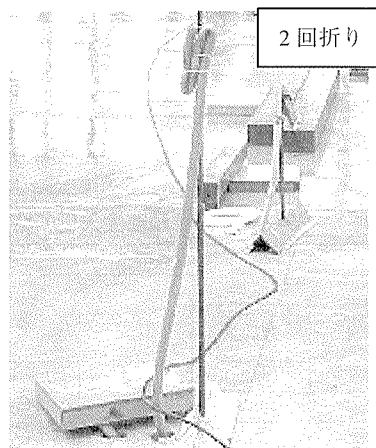


写真 - 7 グラウトホースの保持

を排出させる際には 0.8 ～ 0.9 MPa 程度の圧力が必要であることが分かった。

排気口および排出口ではグラウトホースの途中に空気だまりが残らないように排出し、一様な品質のグラウトが排出されることを確認した後さらに 5 秒程度排出し、グラウトホースを閉じた（写真 - 6）。グラウトホースは 2 回折りで閉じることにし、すべての排気・排出口を閉じた後に行う再加圧時の圧力に耐えられること、およびグラウトホース上端までのグラウト充填を確保している。閉じたホースは床版上面から 1.0 m 以上立ち上げ、硬化まで保持した（写真 - 7）。

5) 流量計による注入量管理

グラウト注入量の設計値は、シースの凸部を考慮した空隙に加え、グラウトキャップおよびグラウトホース内の注入量も考慮した。

本橋で使用したシースの、凸部を考慮した断面積は 4 281 mm² であり、この断面積から求めた空隙率は 72.3 % である。グラウトキャップは、キャップの内空から定着部の分を引いて 0.7 リットル/箇所、グラウトホースは内径 φ 19 mm、長さ 1.5 m から 0.4 リットル/本を設計量とした。P 6 柱頭部の設計量と実注入量の比較を表 - 9 に示す。いずれのケーブルも設計量を満足している。

6) 内部センサーによる充填度検査

内部センサーとして使用した MS センサー（写真 - 8）は、センサー部に熱電対とヒーターを組み合わせたもので、測定原理は以下のとおりである。

センサーの周囲の物質が変化すると、物質によって熱伝導率が異なるので、ヒーターから放熱される熱量が変化し、それをセンサー内の温度差の変化として検知する。それを電圧の変化として出力することで、周囲の物質の判別を行う。たとえばセンサーの周囲が空気の場合はグラウトに比べて熱を伝えにくいので、ヒーターが発する熱はあまり発散されない。このとき写真 - 8 に示す、ヒーターの近くにある熱電対①は、ヒーターの発熱の影響を受けて検知温度が高くなり、ヒーターの温度の影響を

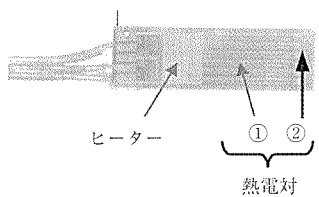


写真 - 8 MS センサー

受けない熱電対②の検知温度との差が大きくなって出力電圧が高くなる。一方センサーの周囲がグラウトの場合は空気に比べて熱を伝えやすいため、ヒーターの熱はグラウトに発散されて熱電対①の検知温度は低くなり、熱電対②の検知温度との差が小さくなることにより、出力電圧が低くなる。

測定器を写真 - 9 に、P 6 柱頭部の測定結果を図 - 9 に示す。グラウト注入前は 9 ～ 10 mV の出力電圧であったものが、グラウト到達後は急激に変化し 1 mV 以下の値となっている。その後 2 mV 程度まで上昇しているが、これは次の理由による。注入中のグラウトは移動しているためヒーターの放熱が大きく熱電対①と②の温度差は小さくなり、よって出力電圧は低くなる。一方注入完了後にグラウトが滞留すると、対流がなくなることからヒーターの放熱が小さくなり、①と②の温度差が大きくなって出力電圧が若干高くなる。実験⁴⁾では出力電圧 5

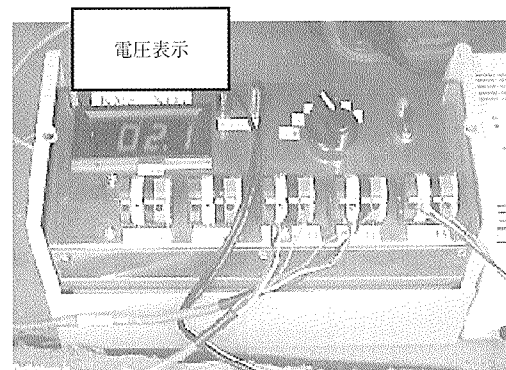


写真 - 9 MS センサー測定器

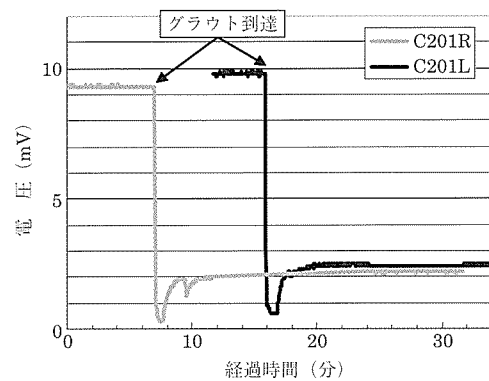


図 - 9 MS センサーの計測結果

表 - 9 P 6 柱頭部注入量の結果

ケーブル番号	設計量									実注入量
	シース				グラウトホース	グラウトキャップ		合計		
	シース長	シース断面積	空隙率	設計量		(箇所)	(リットル)			
	(m)	(mm ²)	(%)	(リットル)	(本)	(リットル)	(リットル)	(リットル)	(リットル)	(リットル)
C201R	11.8	4281	72.3	36.5	4	1.6	2	1.4	39.5	42.5
C201L	11.8	4281	72.3	36.5	4	1.6	2	1.4	39.5	45.2
合計									79.0	87.7

mV 以下の場合にグラウトの充填が確認されているので、本橋の場合もグラウトが充填されていると判断できる。

5. おわりに

本橋の張出し架設施工は平成 16 年秋までを予定している。今後も内ケーブルのグラウト施工において充填不良が発生しないよう管理を行っていく所存である。また架設完了後は床版上面から任意箇所において非破壊検査を行い、内部センサーによる検査結果と合わせて、橋梁全体のグラウト充填を確認する予定であり、現在、その頻度等について検討を行っており、次の機会に報告したいと考えている。

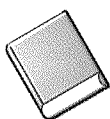
参考文献

1) 青木, 益子, 森, 山本: ドイツの外ケーブルを使用したコンクリー

ト橋に関する指針, プレストレストコンクリート, Vol.42, No.5 pp.81-88, 2000.10

- 2) 亀山, 青木, 大城, 高木: PC グラウトの注入実験 (その 1) 一部分モデルによる充填性確認結果一, 土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集第 V 部, pp.635-636, 2003.9
- 3) 東田, 大城, 濱田, 山崎: 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 58 回年次学術講演会講演概要集第 V 部, pp.627-628, 2003.9
- 4) 正司, 青木, 大城, 細野: センサーによるグラウト充填の確認について, 土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集第 V 部, pp.631-632, 2003.9
- 5) 土木学会: 2002 年制定コンクリート標準示方書 [規準編] 土木学会規準, 2002.3

【2004 年 10 月 18 日受付】



刊行物案内

第 1 回 *fib* コンgress 2002 — 21 世紀のコンクリート構造 — 論文集

(平成 14 年 10 月)

平成 14 年 10 月に大阪で開催された標記コンgressの講演論文集です。
下記の 2 種類となります。

(1) プロシーディングス 1 (印刷物 全 2 巻):
全ての招待講演論文および採用論文の要旨
(1 論文あたり 2 ページ) を掲載
会員 特価: 10 000 円 (税込み・送料 協会負担)
非会員価格: 12 000 円 (税込み・送料 協会負担)

(2) プロシーディングス 2 (印刷物 全 8 巻):
プロシーディングス 1 および全ての採用論文
を掲載
会員 特価: 30 000 円 (税込み・送料 協会負担)
非会員価格: 36 000 円 (税込み・送料 協会負担)