

フィンバック PC 橋における真空ポンプ併用グラウト — 北陸新幹線 姫川橋りょう —

萩原 秀樹 *1・清田 三四郎 *2・武田 哲郎 *3・内山 周太郎 *4

1. はじめに

姫川橋りょうは、新潟県糸魚川市に位置し一級河川姫川を渡河する橋長 462 m の 7 径間連続 PC フィンバック橋である。本橋梁は、日本海の海岸線から約 700 m に位置し、厳しい腐食性環境にさらされることから、とくに耐久性に配慮した設計・施工を行っている。グラウト施工においても、シース内への確実な充填が必須となるが、フィンバック形式であるため主ケーブルの配置は大きな角度変化および、急な上り勾配と下り勾配が含まれる。そこで、主ケーブルのグラウト注入においては、急な角度変化をもつシース内へのグラウトの充填を確実にし、より一層の充填度を得るために真空ポンプを併用することにした。

本稿では、フィンバック部の実際のケーブル形状を模擬した試験体を用いて行った真空ポンプ併用グラウト注入確認試験と、この結果をふまえて行った実施工について報告する。

2. 姫川橋りょうの概要

姫川橋りょうの工事概要を以下に、完成予想図を図 - 1 に示す。

工事名：北陸幹（上・糸）、姫川 B 上部工他工事
 工事箇所：新潟県糸魚川市寺島・須沢地内
 工期：平成 16 年 7 月～平成 19 年 7 月
 発注者：(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構
 北陸新幹線第二建設局
 施工者：ピーエス三菱・興和・常磐 JV
 構造形式：7 径間連続 PC フィンバック橋
 橋長：462.0 m
 支間：57.0 + 69.0 + 3@70.0 + 69.0 + 57.0 m

総幅員：13.3 m

平面線形：直線

縦断勾配：6.0 %～ level

架設方法：固定式支保工架設工法

3. グラウト注入確認試験

3.1 試験体の概要

本橋梁のフィンバック部における主ケーブルの鋼材配置を図 - 2 に示す。試験体はフィン部ケーブルの 1 本を模擬し、注入するグラウトの粘性を試験要因としてケース 1 (W/C = 43 %), ケース 2 (W/C = 44 %) の同形状のものを 2 本作製した。試験体の全長は水平距離が約 40 m で、注入側端部から約 4m の区間は直線配置としており、上り勾配は約 24°, 下り勾配は約 19°, 曲げ半径は $R = 8\,000$ mm である。写真 - 1 にグラウト試験体の全景を、図 - 3 にその形状を、表 - 1 に使用材料を示す。

シースにはグラウトの充填状況の確認が可能な白色ポリエチレン (PE) シースを使用し、試験体の両端部には定着

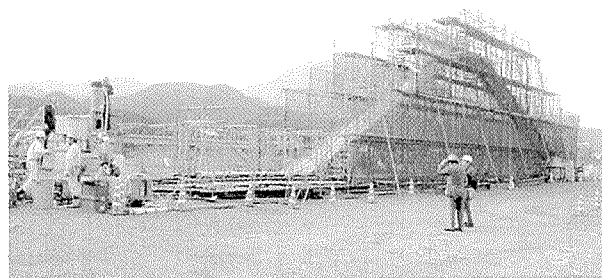


写真 - 1 グラウト試験体全景

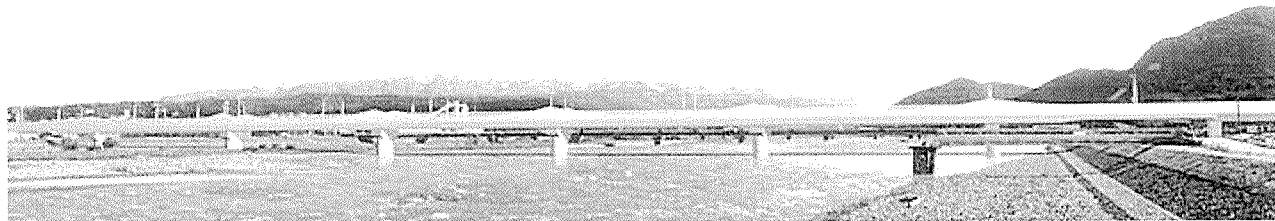


図 - 1 完成予想図

*1 Hideki HAGIWARA : 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 糸魚川鉄道建設所 所長

*2 Sanshiro KIYOTA : 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 糸魚川鉄道建設所

*3 Tetsuro TAKEDA : ピーエス三菱・興和・常磐共同企業体 所長

*4 Shutaro UCHIYAMA : 極東鋼弦コンクリート振興(株) 技術研究所 主任

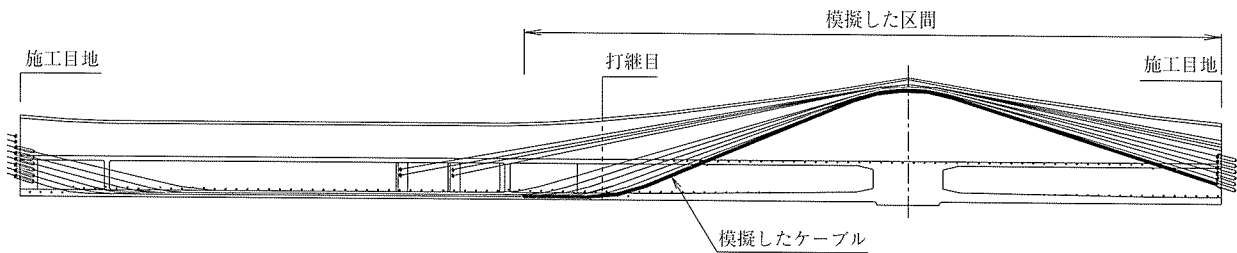


図 - 2 主ケーブル鋼材配置図

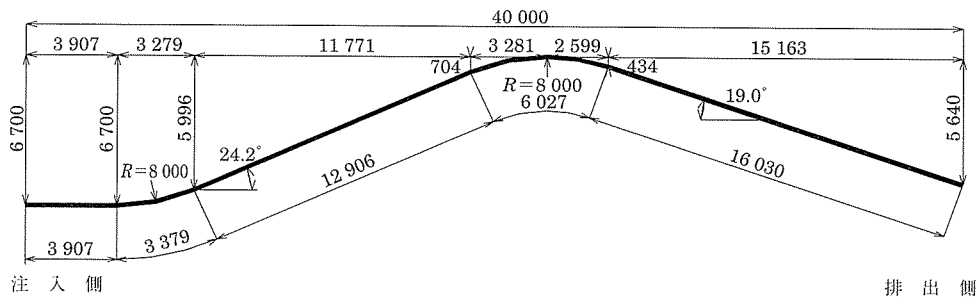


図 - 3. 試験体の形状

表 - 1 使用材料表

シース			テンドン	
材質	色	寸法 (mm)	定着具	PC 鋼材
PE	乳白色	80/95	12T15M319	12S15.2

具 12T15M319 を配置した。シース断面に占める空隙率を実構造と同じにするため、シース内部には全長にわたり PC 鋼より線 12S15.2 を配置した。ただし、緊張は行っていない。

機器の配置と充填確認ホース位置を図 - 4 に示す。図中に示す充填確認ホースとは、真空ポンプを併用しない注入の場合、排気口となるものであるが、真空ポンプ併用の場合には閉じて使用し充填確認に用いるため、今回は充填確認ホースと記している。なお、真空ポンプを併用したグラウト注入後の再加圧、および再注入時にはこのホースを排出口として利用する。充填確認ホースは、内径 $\phi 19$ mm、長さは約 1.5 m とし、減圧による変形を防止するため、ら

せん鉄線により補強されたものを使用した。なお、図中の機器および充填確認ホースには記号を付けており、以降の説明にはこの記号を用いている。

3.2 真空グラウト注入の手順とその特徴

グラウトの注入は図 - 5 に示す手順に従って行った。

(1) グラウト機器の設置

注入側に設置したグラウトプラントは、一般的に使用されているグラウト機器を使用した。

写真 - 2 に使用した真空装置およびデカンタを示す。この真空装置には 2 台の油回転真空ポンプ（以下真空ポンプと称する）が内蔵されている。デカンタとは真空ポンプへのグラウトの流入を防止するための仮のグラウト貯蔵用タンクである。

試験ダクトの下り勾配部は 19° と急傾斜であるため、注入時のグラウトの先流れ、または、注入終了後の下方からの気泡の上昇により頂部付近にはエアだまりが形成される可能性が考えられた。そこで先流れによりエアだまりが形成された場合においても、その部分の真空度が確保できる

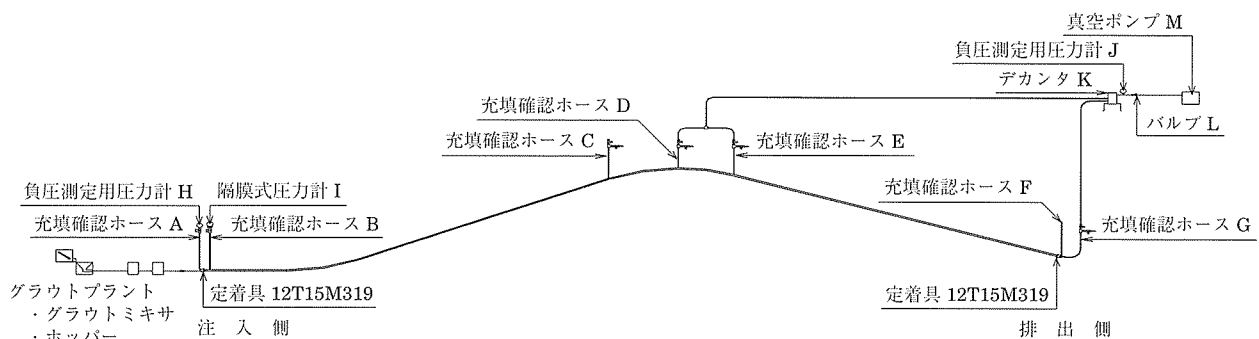


図 - 4 機器の配置と充填確認ホース位置

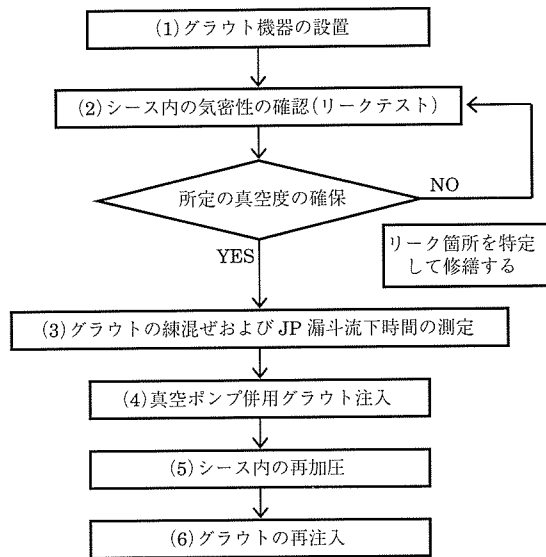


図-5 注入の手順

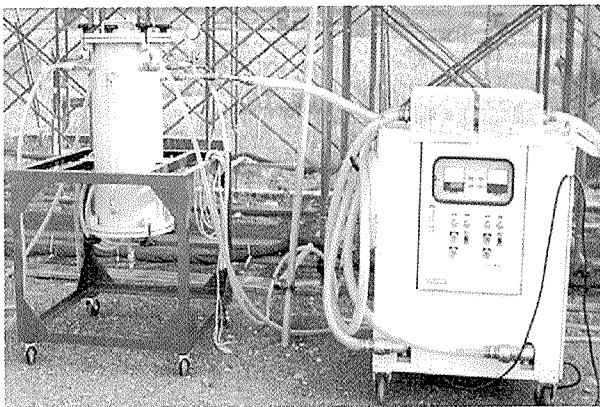


写真-2 真空装置(右)およびデカンタ(左)

ように、通常では充填確認ホース G からのみの真空吸引であるが、今回は充填確認ホース D, E からも吸引した。また、エアだまりが残存したときのグラウトの再注入作業を念頭に置き、頂部付近の充填確認ホース C, D, E にはあらかじめバルブを設けた。

(2) シース内の気密性の確認

真空ポンプ併用グラウトの充填性を確保するためには、注入時におけるグラウト漏れとリーク部からの空気の流入を防止しなければならない。そのため、注入前のリークテストが必要不可欠である。リークテストにおいて注意すべき点は、ダクト内をある程度の真空度に低下させた後、バルブ L を閉じ、ダクトを閉じた状態で行うということである。バルブ L を開けて真空ポンプを作動しながらリークテストを行うとシース内の気圧が低下しないので、きわめて大きなリーク箇所の特定はできるが、小さなリーク箇所の存在には関係なく、一定の真空度が確保されるため、その存在を確認できないおそれがある。そこで、今回はダクト内の気圧を -0.09 MPa (約 0.1 気圧) まで下げた後、バルブ L を閉じ、2 分間その状態で圧力計 H, I, J をモニターし、気圧が低下しないことを確かめ、試験体のシース内に

小さなリーク部も存在しないことを確認してからグラウト注入を行うことにした。

(3) グラウトの練混ぜおよび流下時間の測定

グラウトの配合を表-2に示す。グラウトのJP漏斗による流下時間は、それぞれ平均でケース1 ($W/C = 43\%$) が 19.8 秒、ケース2 ($W/C = 44\%$) が 16.8 秒であった。グラウト混和剤には、ノンブリーディング・高粘性型タイプを、セメントには高炉セメント B 種を使用した。

表-2 グラウトの配合

試験体	水セメント比 (%)	単位重量 (kg/m ³)		
		水セメント (高炉 B 種)	水	混和剤 (セバックス 208)
ケース 1	43	1 319.5	567.4	13.195
ケース 2	44	1 302.3	573.0	13.023

(4) 真空ポンプ併用グラウト注入

グラウト注入において留意した点は、注入速度をほぼ一定にすることおよび、注入するにつれてシース内部の未充填部が少なくなることによるシース内の真空度の低下を防ぐことである。また、逆に真空度が上がりすぎると、グラウトの先流れを誘発し、水分の気化による温度降下等、充填度に悪影響を及ぼすおそれがある。したがって、注入作業中はシース内の真空度をつねに圧力計 J によりモニターし、真空ポンプを作動しながらバルブ L の開閉により、約 -0.09 MPa の一定に保持した。なお、注入時の吐出量は 10 l/分を目標とした。

(5) シース内の再加圧

注入終了直後、すべてのバルブを閉じた状態で圧力計 I の示度が 0.5 MPa になるまで再加圧しグラウトの注入を完了する。

(6) グラウトの再注入

充填完了の約 1 時間後、ダクト頂部にエアだまりが見られる場合、充填確認ホース E から手動ポンプによりグラウトを注入し、充填確認ホース D から良質なグラウト排出を確認するまで再注入する。

3.3 注入試験結果

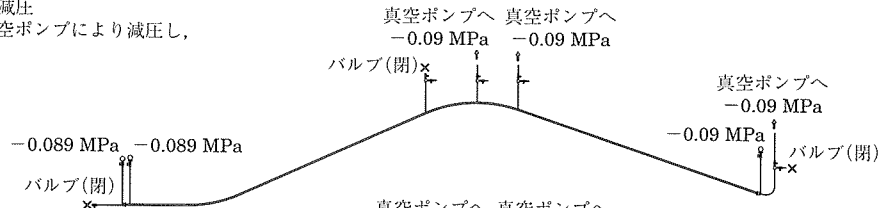
(1) 試験体の気密性

リークテストの結果、減圧完了から 2 分後においても注入側 (圧力計 H)、排出側 (圧力計 J) 付近の真空度はほぼ目標負圧の -0.09 MPa であり、真空度の低下はほとんど見られず、シース内部の気密性はきわめて良好であった。なお、40 m の試験体シース内部を -0.09 MPa まで減圧するのに要した時間は、約 1 分程度であった。このように、作業時間を要せずに真空度からシース内部の気密性を事前に確認できることも真空グラウト注入の一つの利点といえる。

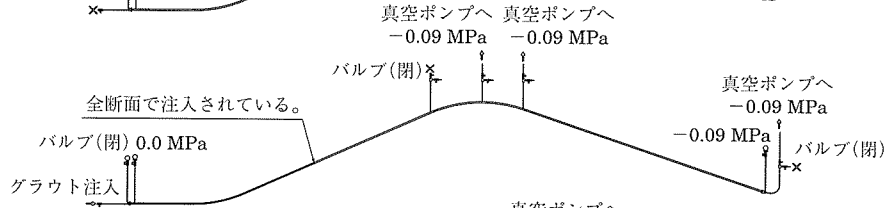
(2) 注入ポンプおよびシース内部に発生した圧力

図-6に注入時におけるポンプの注入圧とシース内に生じた圧力の測定結果を示す。注入開始直後、シース内部の圧力は真空のため、大気圧に対し約 0.1 MPa 低くなっており、充填完了後においても 0.23 ~ 0.25 MPa ときわめて低

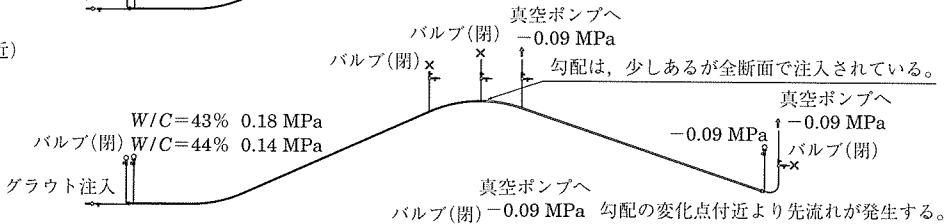
1. 真空ポンプによるシース内の減圧
 排出側および、最頂部より真空ポンプにより減圧し、
 シース内全体を減圧する。



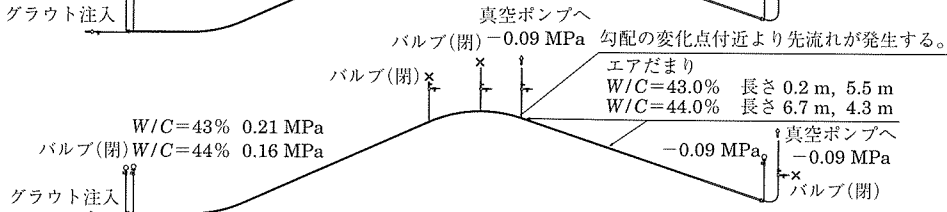
2. グラウト注入状況(上り勾配)



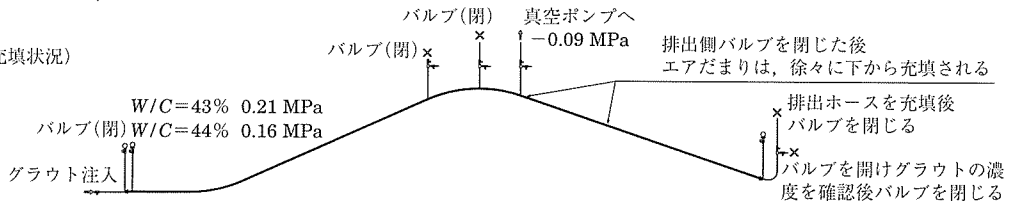
3. グラウト注入状況(最頂部付近)



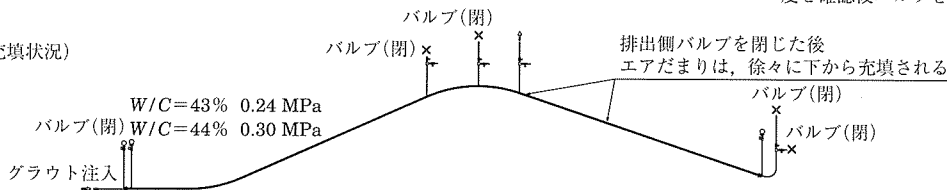
4. グラウト注入状況(下り勾配)



5. グラウト注入状況(下り勾配充填状況)

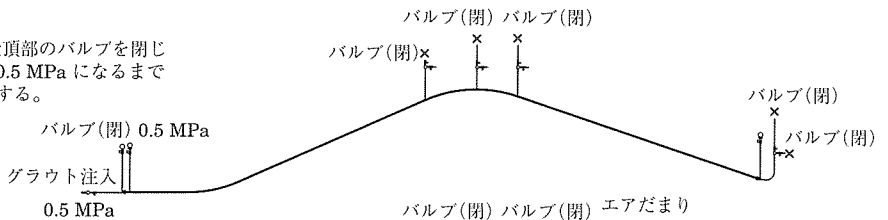


6. グラウト注入状況(下り勾配充填状況)



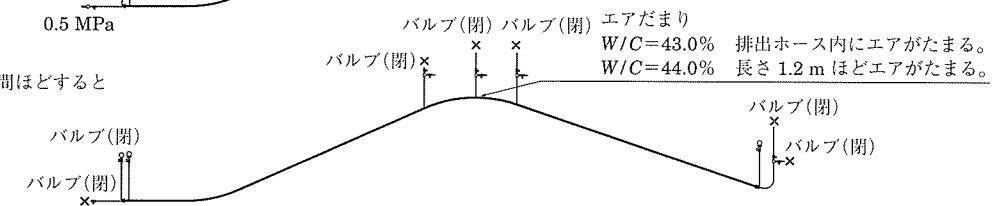
7. グラウト充填完了

グラウトが充填完了したら、最頂部のバルブを閉じ
 注入側のグラウトの圧力が、0.5 MPaになるまで
 加圧し、バルブを閉じて終了する。



8. 充填完了後約1時間

グラウト充填完了後、約1時間ほどすると
 最頂部にエアだまりができる。



9. 最頂部グラウト再注入

手動ポンプにより再注入する。

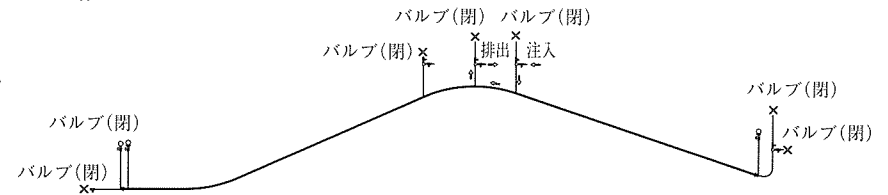


図 - 7 グラウト注入状況図

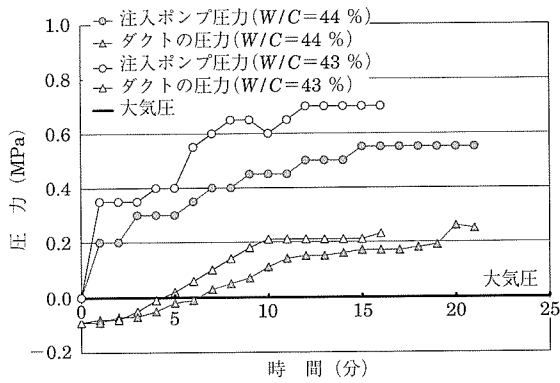


図 - 6 グラウト注入圧力図

い圧力で充填を終えることができた。真空ポンプ併用によりグラウト注入圧を低減できることは、高低差があり、長いケーブルの注入に有効と思われる。

(3) 注入状況

グラウト注入の状況を図 - 7 に示す。グラウトの先端部は、ケーブルの直線部および上り勾配部から頂部付近においてはある程度の角度を保ち、シース全断面で注入されていく。ただし、頂部付近を通過して、下り勾配部の充填確認ホース E 付近ではすでに写真 - 3 に示すようにグラウトは鋼材に沿って先流れしていた。この先流れ現象により下り勾配部には一時的に未充填箇所が発生するが、グラウト

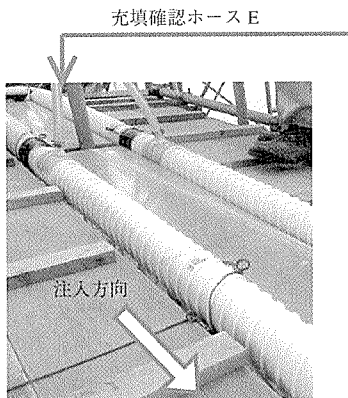


写真 - 3 下り勾配部でのグラウトの先流れ状況

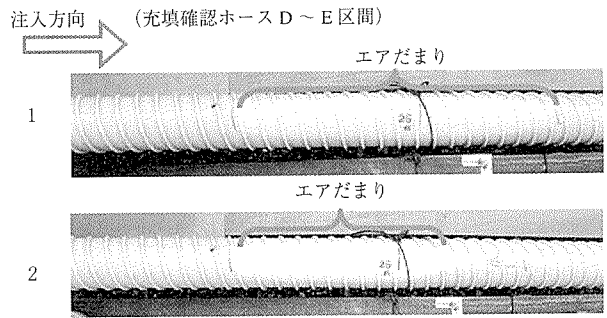


写真 - 4 下り勾配部にてグラウトが充填される状況

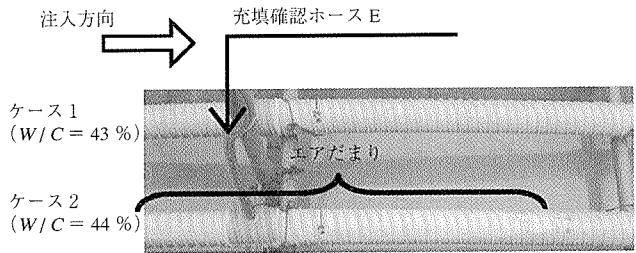


写真 - 5 充填完了から約 1 時間後の最頂部の状況

が排出側に到達した後、充填確認ホース G を閉じると、グラウトは、写真 - 4 に示すように徐々に充填されていった。

グラウト流下時間は、ケース 1 が 19.1 秒、ケース 2 が 16.8 秒と高粘性で値もそれほど変わらなかったが、先流れの状況は異なり、ケース 1 (W/C = 43%) の方は、先流れにより生じたエアだまりは小さく、写真 - 5 に示すように充填完了から約 1 時間経過しても、頂部付近にエアだまりは確認されず、充填確認ホース D に空隙が見えた程度であった。

これに対し W/C = 44% の頂部付近には、最終的に長さ約 1.2 m のエアだまりが形成された。エアだまりの長さは 1 時間を経過すると変化しなくなった。この結果から充填完了から約 1 時間後に再注入を行った。

(4) 充填状況

グラウト硬化後、頂部付近の白色 PE シースの上部を慎重に剥がしグラウトの充填状況を確認した。また、注入側から 2 m、16 m、32 m の箇所の試験体を垂直に切断しその断面を観察した。図 - 8 にグラウト充填状況観察箇所を、

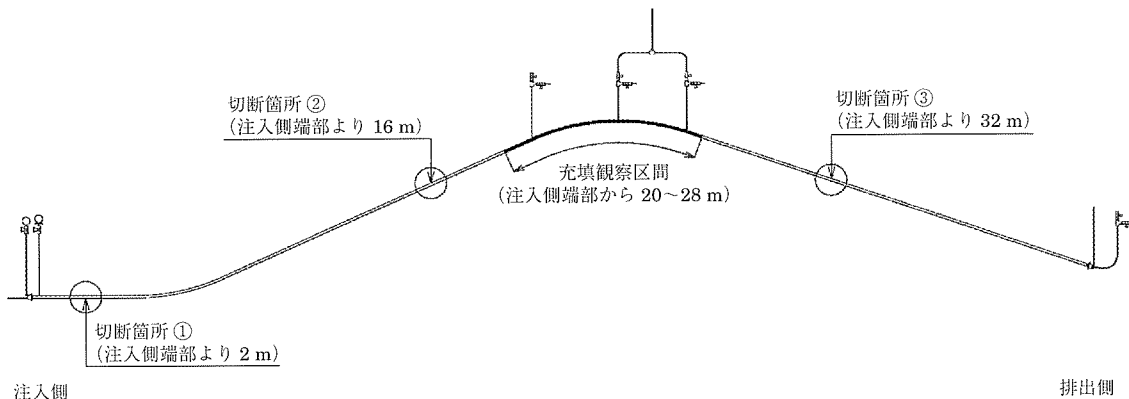


図 - 8 グラウト充填状況観察箇所

※ 注入側端部からの距離



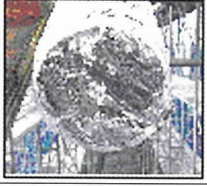



照査箇所※	ケース 1 (W/C = 43%)	ケース 2 (W/C = 44%)
2 m		
16 m		
32 m		

写真 - 6 試験体の充填形状 (断面)

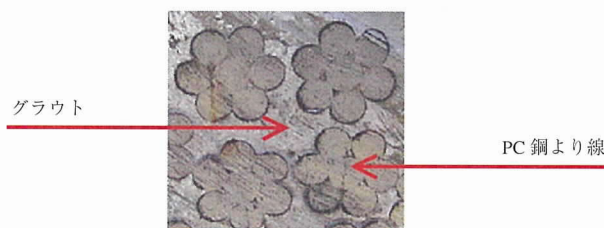


写真 - 7 PC 鋼より線内部の充填状況の一例

写真 - 6 に試験体の充填状況 (断面) を示す。

白色 PE シースのリップ上部にて若干の気泡が見られた箇所もあったが、両試験体ともグラウトは確実に充填されていた。また、PC 鋼より線の素線間の充填状況も目視のぎりぎりでは良好であった。尚、写真の硬化したグラウトの中央部の線はシースを剥がす際に使用したサンダーの跡である。

このような急傾斜のケーブルの頂部付近にはエントラップエアが時間の経過とともに集まるようである。しかし、下り勾配部の充填確認ホース E からグラウトを再注入し、ケーブルのもっとも高い箇所から残存した気泡を排出させることにより、頂部付近においても完全にグラウトを充填できることが確認された。これらの結果から、実施工ではグラウトの W/C を 43% とし、注入終了約 1 時間後に充填確認ホース E から再注入を行うこととした。

4. 実 施 工

グラウト注入確認試験の結果を踏まえ、3 径間部分のフィンバック部ケーブルにおいて真空ポンプ併用グラウトで注入を行った。ケーブルの全長は水平距離で 52.3 ~ 143.5 m、最大高低差 6.82 m である。注入方法はグラウト注入確認試験に準じて行い、使用材料、真空装置についても同様のものを使用した。また、充填完了から約 1 時間後に再注入を行い、ダクト頂部への充填を確実なものとした。写真 - 8 に施工状況を示す。



写真 - 8 施工状況

5. ま と め

フィンバック部の主ケーブルへの真空ポンプ併用グラウト注入確認試験および実施工を行い、以下のことが得られた。

- 1) グラウト注入確認試験の結果、シース内に発生した最大圧力は 0.23 ~ 0.25 MPa であった。一般に行われている圧送のみの注入と比較して、真空ポンプ併用グラウトの注入ではダクト内圧を低減することができ、高低差があり長いケーブルへのグラウト注入には効果的な注入方法であることがあらためて確認された。
- 2) 真空ポンプを併用することにより、下り勾配部においてもシースのリップや PC 鋼材間に密実にグラウトが充填されることが確認された。
- 3) フィンバック部のような急傾斜のケーブルの場合、グラウト注入後、頂部に下方からの気泡が上昇し、エアだまりが発生するおそれがあるが、約 1 時間後に頂部付近に再注入を行うことにより、頂部へのグラウト充填を確実なものとし、PC 鋼材の耐久性を確保できることが確認された。

最後に、本報告が今後のグラウト注入計画の資料になれば幸いである。

【2005 年 10 月 26 日受付】