

地下道におけるPHb(ポストヘッドバー)工法の採用と積雪寒冷地の施工について

札幌開発建設部 千歳空港建設事業所 ○加藤 幸輝
勇建設株式会社 工事部 佐々木卓哉
株式会社生駒組 土木部 佐藤 明彦

現在、大規模地震によって想定されている空港機能への障害が地域経済活動等に甚大な影響を及ぼさないよう、全国各地の拠点空港において空港施設の耐震検討が進められている。新千歳空港においては、平成19年度から学識経験者等を委員とした「新千歳空港耐震技術検討委員会」を開催し空港土木施設の耐震対策事業を推進しているところである。平成20年度には既設地下道(2連ボックスカルバート構造)の耐震補強工事を実施した。

本報文では、既設地下道を耐震補強する目的で採用した新技術ポストヘッドバー(以下、PHbと略す)工法の実施内容および積雪寒冷地での施工方法について報告する。

キーワード：新技術、防寒養生、設計・施工、コスト縮減

1. はじめに

新千歳空港の滑走路・誘導路等の基本施設直下には、道路・河川・鉄道等のボックスカルバートやその他土木施設が多数埋設されており、大規模地震により被災を受けた際には、空港機能だけでなく地域経済活動に与える影響は甚大である。しかし昭和48年に新千歳空港の設置が告示されて以降、空港整備が本格化した頃の初期の施設(例えば昭和50年代に整備された函渠等)は、活断層直下型の大規模地震を想定した耐震性能の照査がなされていない状況であった。このため平成19年度に学識経験者等を委員とする「新千歳空港防災拠点ありか方検討委員会」「新千歳空港耐震技術検討委員会」において災害時における空港の役割、災害時に空港が確保すべき機能および耐震照査のためのレベル2地震動の算定方法などについて議論が交わされ、土木施設の耐震照査が必要となる各種検討がなされた。耐震照査の結果、複数の土木施設が被害を受けることが判明したことから、平成20年度に既設地下道(2連ボックスカルバート)の耐震対策をおこなうこととなった(図-1)。そして、具体的な耐震対策工法を検討した結果、経済的かつ施工性に優れている新技術ポストヘッドバー(以下PHbと略す)工法を採用したが、同工法の施工実績は少なく、さらに積雪寒冷地での施工実績が全くない状況であったため、工事施工者とともに施工方法を検討した。

本報文では、このような状況で施工した既設地下道におけるPHb工法の実施内容および積雪寒冷地で初めて実施した防寒養生の施工方法について報告するものである。



図-1 新千歳空港地下道

2. 地下道の耐震照査結果とPHb工法の採用

(1) 地下道の耐震照査結果

地下道は昭和54年に設計され昭和55～56年に建設された比較的古い施設である。耐震照査の結果、レベル2地震動により地下道の中壁および側壁においてせん断破壊することが確認された。この結果は、設計当時想定していた地震力よりも大きくなったこと、およびコンクリートの許容せん断力を大きく見込んでいたことにより、地下道にはせん断補強鉄筋が配置されていなかったことが要因であった。一方、耐震対策を必要とする既設構造物に対して、せん断耐力を増加させるための工法はいくつか存在するが、地下道や地下鉄トンネルのような地下構造物の場合では、構造物周辺は地盤であり、そのほとんどが供用中であることが想定されるため、適用できる工法が限定される。そこで、地下道の耐震対策工法は、空

港制限区域内でかつ供用中の施設であることを勘案し、以下の段階を経て選定した。

a)薬液注入で地盤を改良する方法

構造物周辺地盤を改良することにより地盤の変形を抑制し、部材への影響を低減させることによって部材応答値が小さくなることを期待する方法

b)部材を増厚する方法

中壁・側壁がせん断破壊を生じさせる原因の一つに部材が曲げ変形することによりせん断力が発生していることが照査の結果から明らかであるため、壁厚を増大させることによって部材剛性を高めると同時にせん断耐力を増加させる方法

c)部材にせん断補強鉄筋を追加する方法

不足しているせん断補強鉄筋を構造物に直接追加することによってせん断耐力を増加させる方法

これらを検討した結果、**a)**については、部材応答値の低減が可能であるが、構造物自体のせん断耐力が確保できない結果となった。また**b)**については、地下道内空の建築限界を一部阻害して部材を増厚した検討をおこなっても、必要とするせん断耐力が確保できない結果となった。**c)**については、不足するせん断補強鉄筋を壁内部に追加することにより、必要とするせん断耐力が確保できる結果となった(図-2)。したがって、**c)**が唯一せん断耐力を確保できる方法であった。

(2) PHb(ポストヘッドバー)工法の採用

既設構造物に対してせん断耐力を増加させる方法は、従来、壁を削孔により貫通させた後、壁両面を鋼板で挟み鋼棒で定着固定する方法などがある。しかし地下道側壁の背面が地盤となっていることから、中壁においては鋼板を挟む補強が可能であっても、側壁での適用は一旦側壁背面を掘削により露出させる必要が生じる。また地下道上方で供用している誘導路を閉鎖しなければならないため、空港の供用性および経済性に不利な方法となる。そこで、側壁に対する補強方法を調べた結果、既設構造物の内空側から直接施工でき、かつせん断耐力のみ増加可能な新技術PHb工法があることが分かった(図-3)。

PHb工法は、異形鉄筋(D16・D19・D22)を使用した新技術である。平成17年に建設技術審査証明を受けており、現在、NETIS技術として登録されている(平成21年6月登録完了)。また同工法の適用範囲の拡大を図るため、D25およびD29の性能試験を実施し、その有用性を確認している。

PHb工法の最大の特徴は、ポストヘッドバーを既設構造物の内空側から直接挿入することにより、せん断耐力のみを増加させることにある。例えば、壁増厚法では、壁増厚によりせん断耐力と同時に曲げ耐力も増加されるため、せん断破壊が先行しないケースもあり得るが、PHb工法では、せん断耐力のみ増加させることが出来るので、せん断破壊が先行するような補強の検討が容易と

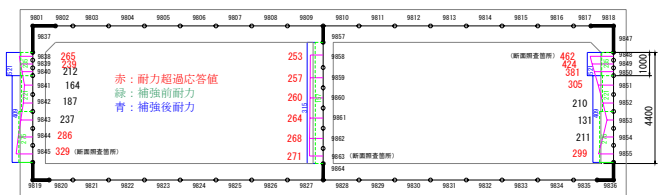


図-2 せん断耐力応答値の結果

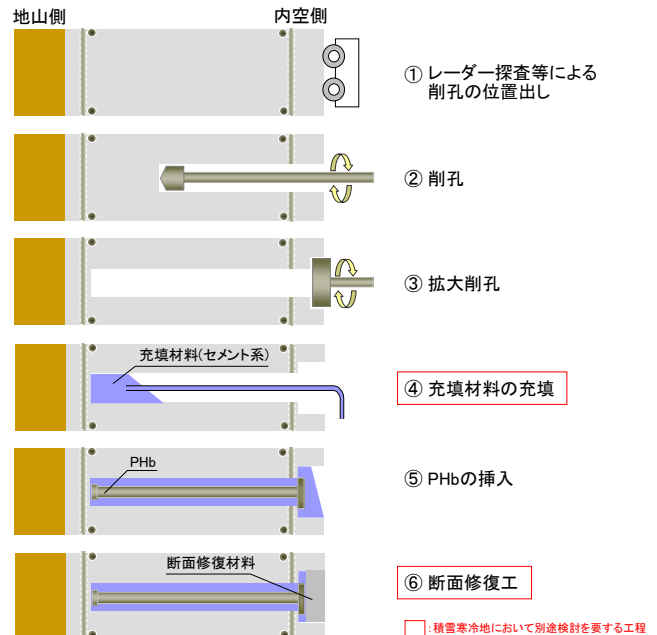
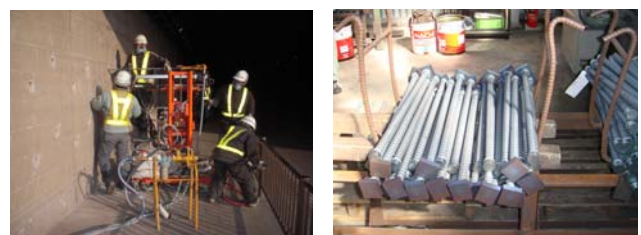


図-3 PHb工法の施工方法



(a) 歩道での施工状況

(b) ポストヘッドバー(D22)

図-4 PHb工法の施工状況

なる。一方、同工法の施工性については、専用の削孔機械がコンパクトであるため、大がかりな仮設は不要で、かつ狭い空間で任意の方向にPHbの挿入が可能である。地下道側壁の施工では、歩道幅内で施工が出来たため、車道の規制は不要となった(図-4)。また1箇所当たりの削孔径がφ80mmと小口径であったため、空港関連施設と直結している複数の既設高圧電気ケーブル等を移設することなく一連の施工が可能となった。経済性については、鋼板を挟むような従来工法と比較した結果、約43%のコスト削減が図られた。

以上のように、PHb工法は、施工性および経済性において優れていることから、地下道の耐震対策工法として採用することとなった。しかし施工実績は工事発注時点(平成20年8月)で工事件数が13件、施工本数は8,168本であり、北海道での施工実績は0件であった。また地下道の補強で必要とするPHbの施工本数は12,288本であり、同工法の施工実績を上回る本数であった。さらに積雪寒冷

地での施工方法については、前例や知見がなかったため、現地施工においては、別途検討が必要となった。

3. 積雪寒冷地におけるPHb工法の施工検討

PHb工法は特許工法であるため、特許に関わる施工方法を容易に変更することができない。またPHbを既設構造物に定着させるために用いるセメント系充填材料は、専用材料の使用を推奨しており、+5°C以上での使用を条件としているが、具体的な防寒養生の方法については規定されていない。このため、専用材料の低温特性や防寒方法を把握する目的で(1)から(5)の検討をおこない、積雪寒冷地における防寒養生方法と品質管理基準を定めることとした。

(1) セメント系充填材料の低温特性把握

セメント系充填材料(以下、充填材料と略す)の温度性能は、カタログ²⁾に記載されており、材料混合時における練混ぜ水の標準温度は、+30°C、+20°Cおよび+5°Cとなっている。外気温度が常時+5°Cを下回る冬期間において+5°Cの練混ぜ水を現場で使用することは、強度低下を招く虞があるため、練混ぜ水の標準温度を+20°Cと定めることとした。しかし現場での練混ぜ作業開始から施工終了までの一定時間、充填材料は低温下におかれることが想定される。そこで、充填材料の温度が外気によって低下してしまう状況を想定し、充填材料を氷によって強制的に温度を降下させる簡易的な低温試験をおこない、その影響について圧縮強度およびフロー値で確認することとした(図-5)。ただし、この低温試験では恒温室が確保できなかったため、外気温度約+20°Cの下で実施した。

試験結果を表-1に示す。表-1より圧縮強度およびフロー値はカタログに記載された参考値と同等であった。また、氷により充填材料周辺温度を30分間+4°C以下としたが、材料自体の温度低下が+14°C前後で停滞し、自己発熱により材料の温度は低下しにくいことが確認された。この結果から、充填材料の練混ぜ水を標準温度+20°Cとし、練混ぜから充填終了までの時間を30分以内と定めた。

(2) 防寒養生の検討

PHbを既設構造物に定着させるためには、充填材料の圧縮強度が発現されるまでの一定時間、防寒養生が必要である。しかし、歩道での限られたスペースではシート囲いの設置が困難であった。そこで、電気毛布やカーペットに使用されているパネルヒータを応用した電熱ヒータを特注し、防寒養生に用いることとした(図-6)。そして、充填材料の練混ぜから養生完了に至るまでの一連の作業を-15°Cの冷凍コンテナ内部でおこない、電熱ヒータの防寒性能および充填材料の圧縮強度を確認する試験施工をおこなった(図-7,図-8)。試験施工では各所の温度状況を把握するため、熱電対温度計を設置した。試験条件は



(a) 氷を用いた低温試験 (b) 練混ぜ温度確認状況

図-5 低温練混ぜ試験の様子

表-1 低温練混ぜ試験の結果(充填材料)

	練混ぜ水温度 (°C)	練混ぜ温度 (°C)	テーブルフロー値 (mm)	圧縮強度 (N/mm)		備考
				3日	28日	
カタログ値	+20°C	+20°C	190±20mm	40.0N/mm	62.2N/mm	カタログ値は参考値
低温試験値	+20°C	+20°C→+14°C	187mm	39.1N/mm	58.1N/mm	氷により練混ぜ温度を強制的に低下させた



(a) 発熱側 (b) 背面側

図-6 電熱ヒータ(200mm×200mm)

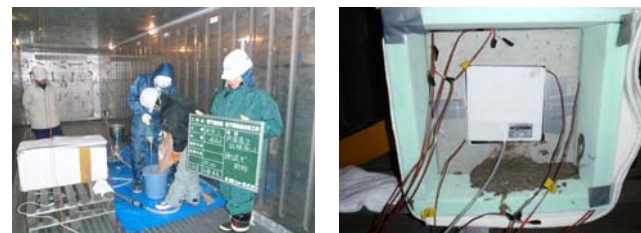


図-7 冷凍コンテナによる試験施工

a)からc)のとおりである。

a) 冷凍コンテナ内温度

施工箇所(千歳市美々)における過去3年間の日最低気温が平均-14.9°Cであったことから、冷凍コンテナ内温度を-15°Cと設定した。また外気温-15°Cでの施工を想定し、充填材料の練混ぜから充填および電熱ヒータの設置までの一連の作業を-15°Cの冷凍コンテナ内で実施した。

b) 試験施工用ブロック寸法

地下道の中壁(t=800mm)は、両壁面ともに外気温の影響を受けることから、両面から冷却される条件を設定し、試験施工用ブロックの両面を露出させ、他の面を断熱材で覆った。また、PHb1箇所当たり外気温の影響を受けると考えられるコンクリート表面積を設定し、試験施工用ブロック寸法を350mm×350mm×650mmとした(図-8)。

c) 孔内寸法

中壁における充填材料の注入量と同等な内空体積となるよう、孔内寸法をφ50mm×550mmとした。また、試験施工用ブロック内に注入される充填材料の圧縮強度試験用の供試体4個(半日養生,1日養生,3日養生,28日養生)が採取できる寸法とした(図-8)。

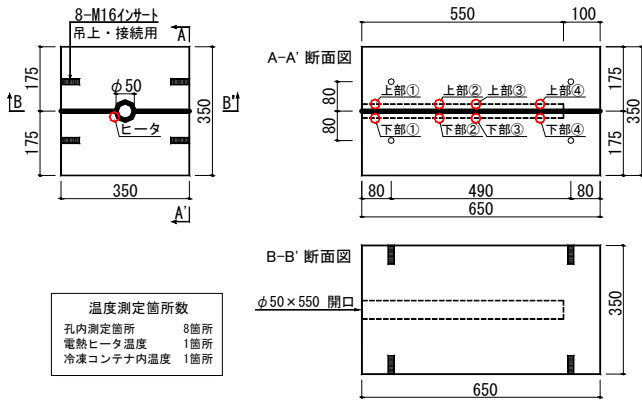


図-8 試験施工用ブロック (350mm×350mm×650mm)

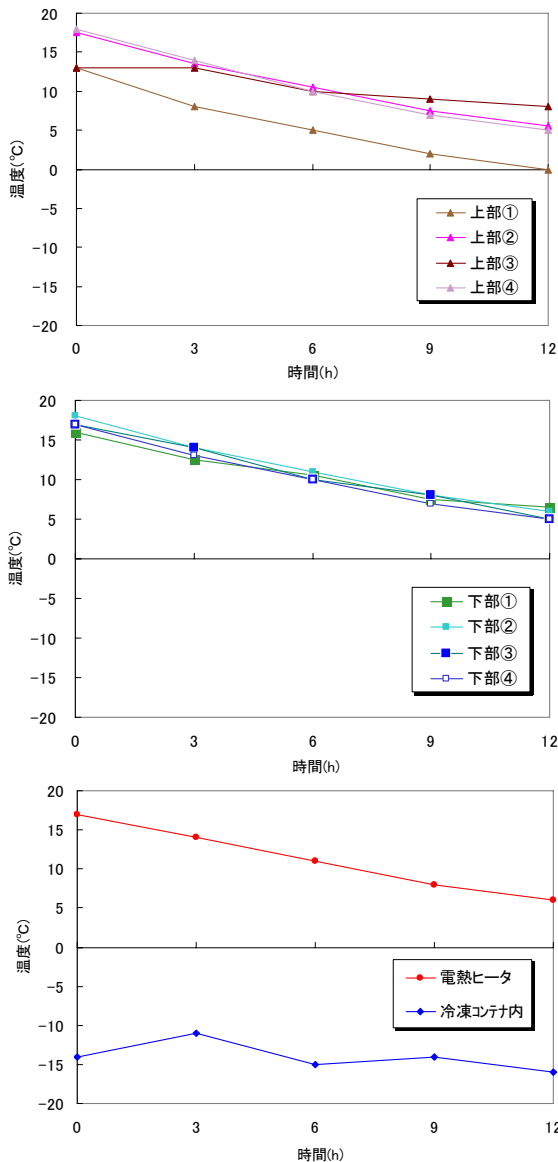


図-9 電熱ヒータによる試験施工における各所の温度

試験施工における各所の温度状況を図-9に示す。練混ぜ水温度を+20℃として充填材料を孔内に充填したが、試験施工開始後、孔内温度は時間とともに降下し、約12時間で材料の使用条件+5℃を下回る結果となったため、試験施工を打ち切った。また試験施工後、試験施工用ブ

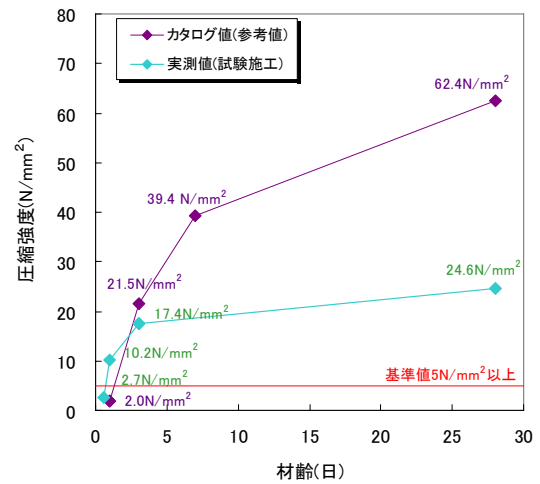


図-10 試験施工における充填材料の圧縮強度

ロックから供試体を取り出し、充填材料の圧縮強度試験を各材齢でおこなった。試験結果を図-10に示す。圧縮強度は材齢3日で17.4N/mm²となり材齢28日で24.6N/mm²を示した。材齢28日の強度はカタログに記載された強度よりも約60%低下しており、強度低下は低温の影響を受けたものと考えられる。一方、工事仕様書によれば、寒中コンクリートの養生について「著しい気象作用を受けるコンクリートの養生終了時の所用圧縮強度の標準(N/mm²)(開発局独自)」として普通の露出状態の場合では5N/mm²と規定している³⁾。防寒養生の終了時期は、工事仕様書に基づき基準値を5N/mm²としたが、試験施工の結果から、中壁のような壁両面が冷却される温度条件や0℃以下の履歴を受けるような温度条件では充填材料の長期強度が担保されないこと、および電熱ヒータのみでは、孔内温度を+5℃以上保持できないことが確認された。このため、防寒時期前までに中壁の施工は完了させることとし、側壁の施工における防寒養生の方法について再度検討した。

(3) 新たな防寒養生方法の発案

電熱ヒータのみでは充填材料の温度を+5℃以上を継続的に確保できなかったため、新たに熱供給できる方法を検討した。検討の結果、防寒養生を2段階でおこなうこととした。充填材料については、オイルカイロ、除湿材、スポンジおよびストローを用いた防寒養生の方法を発案した(図-11)。この方法により、24時間以上継続して孔内温度を約+10℃とすることが可能となった。また断面修復材料については、電熱ヒータはコンクリート表面を約+20℃で継続的かつ安定的に養生が可能であることから、断面修復工で使用する事とした(図-12)。発案した防寒養生の特徴はa)からd)のとおりである(図-16)。

a) オイルカイロと除湿材による結露防止

オイルカイロが発熱時に発生する水分によりカイロ内のバーナーが結露して消火してしまうため、水分を吸収する除湿材をカイロとともに入れることによって結露発生を防止した(図-11)。



(a) オイルカイロと除湿材 (b) 孔内温度

図-11 発案した充填材料の防寒養生



(a) マジックテープによる固定 (b) 電熱ヒータによる防寒養生

図-12 発案した断面修復材料の防寒養生

b) スポンジとストローによる酸欠防止

オイルカイロが発熱時に発生する二酸化炭素によって酸欠となり消火してしまうため、ストローにより二酸化炭素と酸素を吸排気させ酸欠を防止した(図-11)。

c) マジックテープによる電熱ヒータの固定

マジックテープをコンクリート壁面に張り付ける方法により電熱ヒータを固定させ、電熱ヒータの発熱をコンクリート壁表面に直接伝導させることを可能とした。また取付け取外しが可能となるため、電熱ヒータの反復使用を可能とした(図-12)。

d) 電熱ヒータによるCO2排出量およびコストの縮減

電熱ヒータの使用により、従来の防寒養生の方法と比べCO2排出量を約88%縮減した。また防寒養生にかかる仮設コストを約350万円縮減した(図-12)。

(4) PHbの保温養生

鋼製のPHbは冷気により低温となり易いため、孔内の温度管理や充填材料の防寒養生だけでなく、PHb自体の温度管理にも配慮する必要がある。現地施工に際しては電気毛布およびブルーシートで2重に囲い、24時間保温養生してから施工することとした(図-13)。保温養生されたPHb温度は約+20°Cであり電気毛布から1本毎取り出して迅速に孔内に挿入した。なお防寒養生を必要とするPHbの施工本数は7,490本となり、全体の約60%を占めた。

(5) 充填材料および断面修復材料の温度管理基準

充填材料および断面修復材料のカタログ²⁴⁾では+5°C以上での使用を定めているが、前述のとおり、冷凍コンテナによる試験施工の結果、充填材料が0°C以下の履歴を受けた場合には、強度発現が低下することが確認された。このため、家庭用冷蔵庫を用いて0°C以上+5°C以下の恒温条件を再現し、両材料において不利となる温度履歴を



(a) PHb 保温状況 (b) 保温温度

図-13 電気毛布等による保温養生

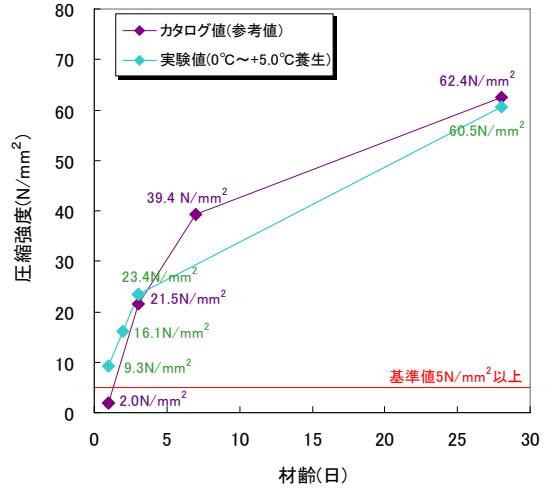


図-14 圧縮強度の比較 (充填材料)

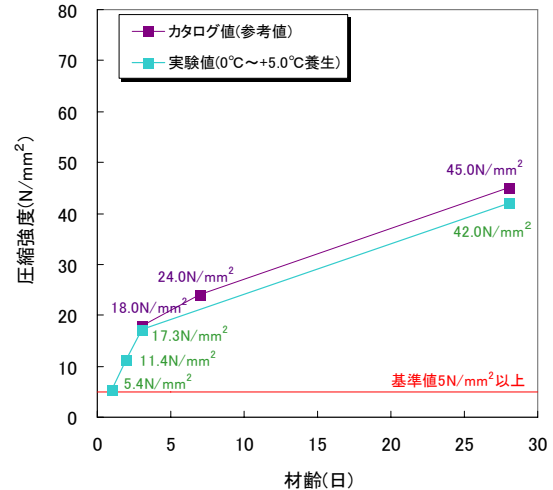


図-15 圧縮強度の比較 (断面修復材料)

与えて圧縮強度試験をおこなった。その結果を図-14および図-15に示す。両図より、0°C以上+5°C以下の温度履歴を受けた両材料は、カタログに記載されている参考値と同等の強度が確認できた。したがって、両材料の温度が0°C以下とならぬよう温度管理基準を+5°C以上と定めた。また両材料の圧縮強度が5N/mm²以上発現するまでの期間を防寒養生期間とし、充填材料は1日間、断面修復材料は2日間を防寒養生期間とした。

4. 積雪寒冷地におけるPHb工法の施工方法

(1) 防寒養生の方法

防寒養生の方法を図-16に示す。赤色で示した部分が新たに発案した積雪寒冷地における防寒養生の方法であ

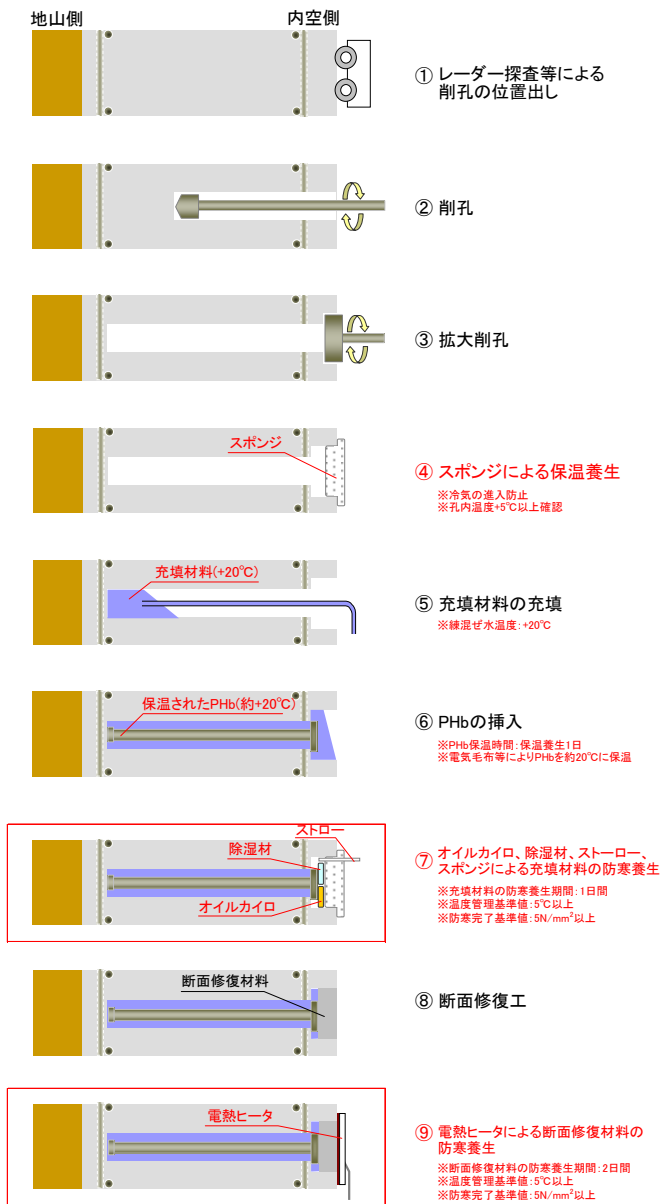


図-16 防寒養生の施工方法⁵⁾

る。施工中における防寒養生の温度測定結果の一例を図-17および図-18に示す。両図のとおり、新たに発案された防寒養生によって適正に温度管理をおこなうことが出来た。

5. まとめ

本報文をまとめると以下のとおりである。

- ① PHb工法は、せん断耐力のみを増加させる工法として有用であり、従来工法と比べ建設コストの縮減が可能である。
- ② PHb工法において防寒養生をおこなう場合は、触媒カイロと電熱ヒータ等の併用が有用であり、従来の防寒養生と比べ仮設コストおよびCO₂の縮減が可能である。但し施工箇所の温度環境を事前に把握し、その適用性を現地で確認する必要がある。

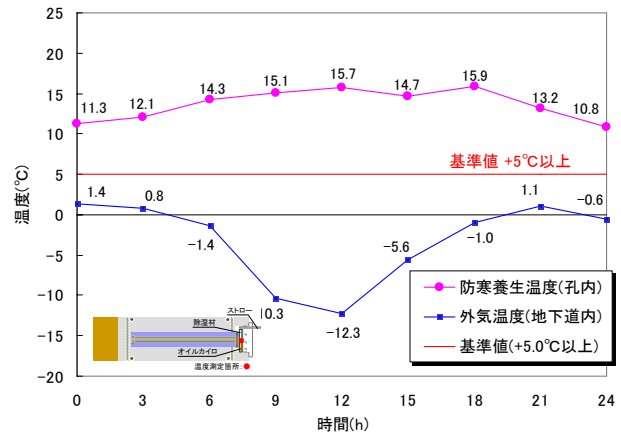


図-17 防寒養生の温度測定結果の一例(充填材料)

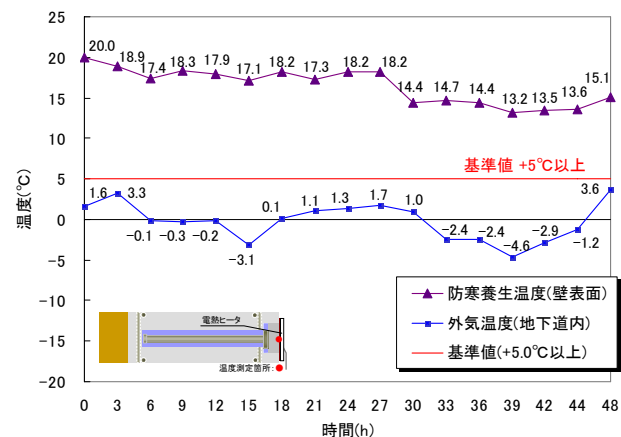


図-18 防寒養生の温度測定結果の一例(断面修復材料)

6 おわりに

公共工事のコストを縮減させる手段として新技術を積極的に採用し活用するためには、発注者と工事施工者がともに協働して施工検討することが重要である。しかし過去の施工実績が少ないことや現場条件に合致しにくい等の理由により採用までには至らないケースもあり、新技術が広く一般的に活用されるまでには時間を要する。特に北海道での適用は、積雪寒冷地という条件がさらに付けられる。

本報文で紹介した新技術PHb工法は、施工性および経済性に優位であるという理由で発注者が採用したが、その新技術を積雪寒冷地で適用させるためには、北海道の地域性、環境特性を熟知した工事施工者の知恵と協力が必要であった。また同工法を開発した企業におかれては、積雪寒冷地での適用に配慮した技術の発展を期待する。

参考文献

- 1) 岡本晋, 三橋達夫, 堀口賢一, 岡本修一, 中條基, 府川徹: 後施工プレート定着型せん断補強鉄筋による耐震補強工法の展開, 大成建設技術センター報, 第42号, 2009.
- 2) VSL JAPAN(株): ポストヘッドバー工法専用材料セメント充填材PHbモルタルN, カタログ
- 3) 空港工事仕様書: 北海道開発局事業振興部技術管理課, 第1編共通編 1-58, 平成21年度版
- 4) 太平洋マテリアル(株): RSモルタル-P(厚付け用), カタログ
- 5) Post-Head-bar 工法研究会 HP: <http://phb-koho.jp/study-group.html>の工法資料に筆者が加筆