

# あと施工アンカーに用いる耐寒促進剤を調合した無機系接着剤 「セメフォースアンカー寒冷地仕様」の積算温度を用いた付着強度の推定

Cement-Based Adhesive Formulated with Cold Resistance Accelerator used  
for Post-Installed Anchors: Estimating the Bond Strength from  
the Cumulative Temperature of Ceme-Force Anchor for Cold Weather Regions

阿部隆英<sup>\*1</sup> 折田現太<sup>\*2</sup> 安藤重裕<sup>\*3</sup> 兼吉孝征<sup>\*3</sup> 高瀬裕也<sup>\*4</sup>  
Takahide Abe Genta Orita Shigehiro Ando Takayuki Kaneyoshi Yuya Takase

## 【要旨】

本論文では、耐寒促進剤を混練水に配合し、超速硬セメントを主剤としたあと施工アンカー用の無機系接着剤「セメフォースアンカー寒冷地仕様」が、氷点下を含む低温環境下においても初期凍害を防止し、あと施工アンカーの付着強度を確保できることを示した。さらに、 $-10^{\circ}\text{C}$ 環境下においても、養生温度と経過日数から求められる積算温度を用いて、あと施工アンカーの付着強度を推定できる手法を提案した。これにより、施工現場で観測された温度記録や気象庁の気温データを用いて、現時点もしくは次工程時の付着強度を推定することが可能となり、あと施工アンカーに関連する作業工程を詳細に計画することができる。

【キーワード】 あと施工アンカー 無機系接着剤 寒中施工 付着強度 積算温度

## 1. はじめに

あと施工アンカーに用いる無機系接着剤は、有機系接着剤と異なり、揮発性化合物 (VOC) が含まれていないため、施工時の臭気が少ないことや、耐火性を有すること等の長所が挙げられる。これらの利点を有する無機系接着剤はセメント系の材料であるため、寒中施工では強度発現の遅れによる工期の長期化や、初期凍害による不具合が懸念される。

著者らは、寒中施工時にあと施工アンカーとしての付着強度を確保できる無機系接着剤「セメフォースアンカー寒冷地仕様」の開発を行ってきた。この「セメフォースアンカー寒冷地仕様」は、氷点下を含む低温環境下においても初期凍害を防止するため、混練水には凍結防止に効果的な亜硝酸塩を主成分とした耐寒促進剤が調合されている。以下、この耐寒促進剤を配合した混練水を「防凍専用水」と称す。耐寒促進剤を含まない通常の混練水<sup>2)</sup>と「防凍専用水」で製作された無機系接着剤の発現強度は異なる。そのため、実際の施工時において、あと施工アンカーを挿入した後の工程に進むためには、その時点のあと施工アンカーの付着強度 $t_b$ を推定する必要がある。 $t_b$ を推定する方法として、はじめに養生温度と経過時間、つまり積算温度 $M_c$ から「セメフォースアンカー寒冷地仕様」の圧縮強度 $\sigma_c$ を推定し、続いて $\sigma_c$ から $t_b$ を推定できる方法が必要であると考えられる。このことより、著者らは $M_c$ を用いて $\sigma_c$ を推定できる算定式を提案しているが、 $\sigma_c$ から $t_b$ を推定できる算定式は未だ確立していない。

これらより本論文では、養生温度、材齢をパラメータとして $\sigma_c$ と $M_c$ の関係式を評価すること、並びにあと施工アンカーの付着強度実験を行い、この実験結果を用いて $\sigma_c$ から $t_b$ を推定できる算定式を提案することを目的とする。また、寒中施工を想定し、 $M_c$ から $t_b$ を推定する方法を施工工程に活用する例を示す。

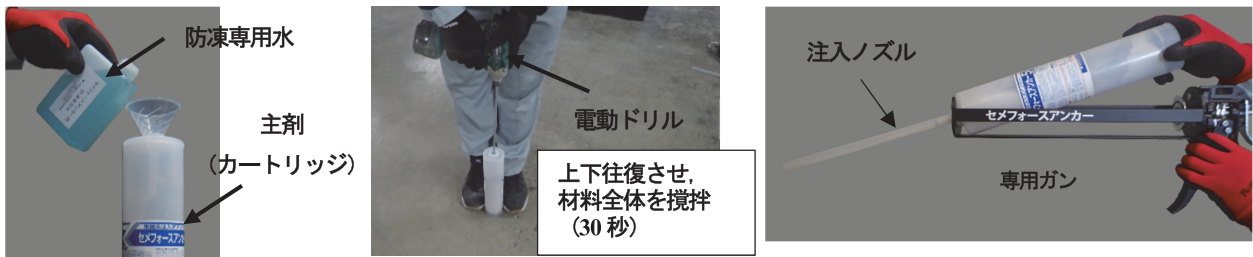
## 2. 「セメフォースアンカー寒冷地仕様」の概要

あと施工アンカーにおける「セメフォースアンカー寒冷地仕様」の区分は、注入方式によるカートリッジ型ブレ混合式である。主剤は超速硬セメントであり、乾燥珪砂と混和剤を混合した $S/C=1.0$ のプレミックスの粉体である。また、防凍専用水に調合されている耐寒促進剤は、凍結防止に効果的な亜硝酸塩を主成分とした防凍成分濃度45.5%の水溶液である。写真-1に「セメフォースアン



写真-1 「セメフォースアンカー寒冷地仕様」の外観

1.技術研究所 研究開発G 第四研究室 2.技術研究所 研究開発G 第三研究室 3.住友大阪セメント 4.室蘭工業大学



(a) 手順1 防凍専用水の注水 (b) 手順2 混合攪拌 (c) 手順3 専用ガンにセット

写真-2 セメフォースアンカー寒冷地仕様の製作手順

表-1 実験パラメータ及び材料試験結果の一覧

試験体名	養生温度 (℃)	荷材材齢 (日)	$\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_C$ (N/mm <sup>2</sup> )
0-1-9N	0	1	15.9	23.0
0-7-9N		7	18.1	31.2
0-28-9N		28	19.6	37.2
-5-2-9N	-5	2	17.7	22.0
-5-7-9N		7	18.6	33.2
-5-28-9N		28	19.6	33.9
-10-4-9N	-10	4	13.4	24.9
-10-7-9N		7	14.5	27.6
-10-28-9N		28	18.8	38.4

$\sigma_B$ : 母材コンクリートの圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_C$ : 「セメフォースアンカー寒冷地仕様」の圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

「セメフォースアンカー寒冷地仕様」の外観を示し、写真-2に「セメフォースアンカー寒冷地仕様」の製作手順を示す。製作手順は、まず同写真(a)に示すように、前述の粉体が収納されたカートリッジ内に、防凍専用水を注入する。続いて同写真(b)に示すように、混合攪拌は攪拌用のミキサーが接続された電動ドリルを用いて30秒間行う。最後に、同写真(c)のように専用ガンにカートリッジをセットして「セメフォースアンカー寒冷地仕様」を穿孔内に注入する。以降、本論文では、セメフォースアンカー寒冷地仕様をCFWと略称する。

### 3. 実験概要

付着強度実験を行う際に、CFWの圧縮強度 $\sigma_C$ と養生した温度 $T$ を記録する。なお、養生温度の記録時間の間隔は2分とした。

#### 3.1 実験パラメータ

実験パラメータ及び材料試験結果の一覧を表-1に示す。養生条件は、セメント系材料が初期凍害を受けると想定される0℃、-5℃、-10℃の3水準とした。また、CFWの材齢は、同表に示す通りとし、アンカー筋を定着するコンクリート（以下、母材コンクリートと言う）は1水準とした。各パラメータの試験体数は3体とした。

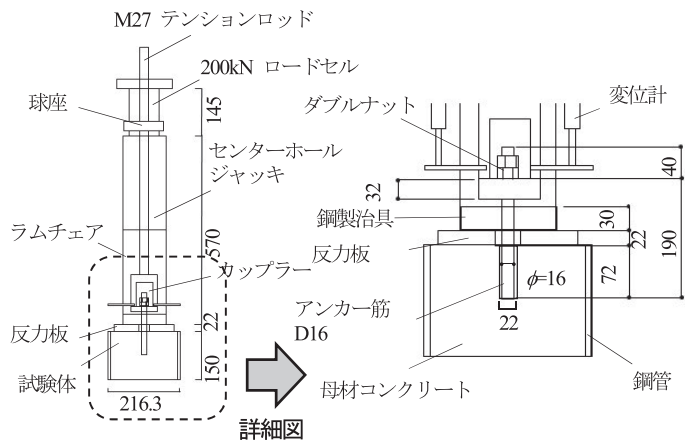


図-1 付着強度実験の試験体及び荷方法

#### 3.2 付着強度実験

##### (1) 試験体作製方法

図-1に付着強度実験の試験体及び荷方法を示す。試験体の作製は、外径216.3mmの鋼管内部に母材コンクリートを打設し、コンクリート硬化後、湿式コアドリルを用いて、穿孔径22mm、深さ $4.5d_a$  ( $d_a$ : アンカー筋の公称径)で削孔した。なお、母材コンクリートの調合条件は、呼び強度9N/mm<sup>2</sup>、スランプ18cm、最大骨材寸法20mm、セメント種別は普通ポルトランドセメントとした。

母材コンクリートを各養生温度と同じ温度になるまで恒温槽内に静置した。また、アンカー定着に用いるCFWは、5℃で養生したものを使用した。アンカー筋は、鋼種SD345、アンカー筋径 $d_a=16$ mm、長さ $L=190$ mmであり、母材コンクリートへの有効埋込み深さ $L_e$ は $4.5d_a$ とした。アンカー筋を垂直に挿入後、すぐに試験体を恒温槽内に移動し、所定の材齢まで恒温槽内で養生を行った。

##### (2) 荷方法

荷方法は、図-1に示すように最終破壊形式を付着破壊とするため、反力板を母材コンクリートの上に設置した。そして、ラムチェア及び球座を設置し、荷はセンターホールジャッキによりアンカー筋に引張力を与えた。

##### (3) 積算温度に用いる温度計測方法

直径50mm、高さ100mmの円柱形の型枠の中心に温度センサーを配置した。そして本実験において積算温度 $M_C$ は、この温度センサーの値を用いて算定した。

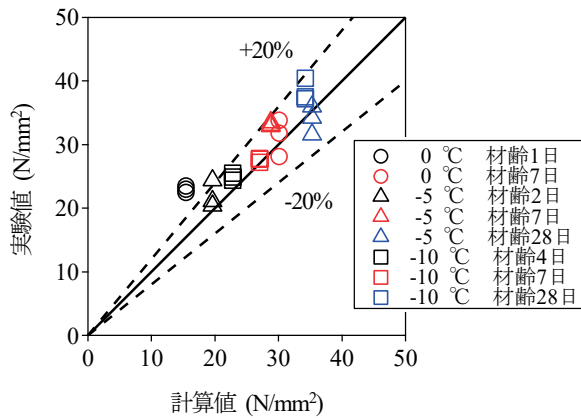


図-2  $\sigma_c$ の実験値と計算値の比較



アンカー筋と「セメフォースアンカー寒冷地仕様」の界面での付着破壊  
写真-3 最終破壊状況

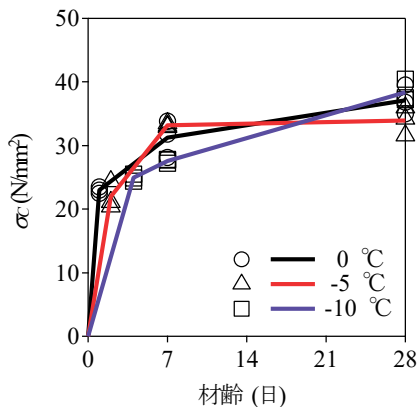


図-3  $\sigma_c$ -材齢関係

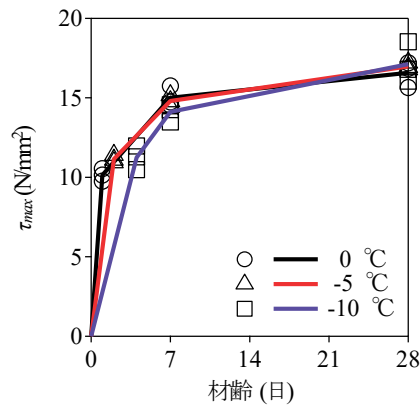


図-4  $\tau_{max}$ -材齢関係

#### 4. 積算温度 $M_C$ を用いた「セメフォースアンカー寒冷地仕様」の圧縮強度 $\sigma_c$ の推定

コンクリート温度  $T_C$  の適用範囲  $-5^\circ\text{C} \leq T_C \leq 20^\circ\text{C}$  における「セメフォースアンカー寒冷地仕様」の圧縮強度  $\sigma_c$  は、積算温度  $M_C$  を用いて次式で算定される。

$$\sigma_c = F_{inf} \cdot e^{a \cdot M_C^b} \quad (1)$$

ここに、 $F_{inf}$  は  $20^\circ\text{C}$  養生における 91 日強度 ( $41.1\text{N/mm}^2$ )、 $a$  及び  $b$  は実験定数でそれぞれ  $a = -7$ 、 $b = -0.6$  であり、 $M_C$  ( $^\circ\text{C} \cdot \text{D} \cdot \text{D}$ ) は次式で与えられる。

$$M_C = \Sigma(T_C + 25)\Delta t \quad (2)$$

ここに、 $T_C$  は  $\Delta t$  のコンクリートの平均温度 ( $^\circ\text{C}$ )、 $\Delta t$  は時間間隔 (日) である。

前述の通り式(1)及び式(2)における  $\sigma_c$  の算定式は、 $-5^\circ\text{C} \leq T_C \leq 20^\circ\text{C}$  の範囲であるが、本実験では、CFW 打設前に母材コンクリートを養生温度  $-10^\circ\text{C}$  まで静置した試験体 -10-4-9N、-10-7-9N、-10-28-9N においても、適用可能か検証する。なお、試験体 0-28-9N については、温度計測が採取できなかったため、本検討から除く。

図-2 に  $\sigma_c$  の実験値と計算値の比較を示す。表-1 に示した実験パラメータにおいても、試験体 0-1-9N 以外は概ね実験値の  $\pm 20\%$  以内で  $\sigma_c$  を推定できることが分か

った。つまり、式(1)及び式(2)の  $\sigma_c$  の算定式の適用範囲は、 $-10^\circ\text{C} \leq T_C \leq 20^\circ\text{C}$  として問題ないと言える。

材齢 1 日とした試験体 0-1-9N の実験値は、計算値の 1.46~1.53 倍となり、過小評価となった。この若材齢における詳細な検討については、今後の課題としたい。

#### 5. 付着強度実験結果及び実験による最大付着強度と設計付着強度の比較

##### 5.1 破壊形式

あと施工アンカーの破壊形式は、アンカー筋の降伏、付着破壊、コーン破壊の 3 種類が挙げられるが、付着破壊に焦点を当てると、①母材コンクリートと CFW の界面での付着破壊、②アンカー筋と CFW の界面での付着破壊がある<sup>3)</sup>。①母材コンクリートと CFW の界面での付着破壊時の付着強度は、主として母材コンクリートの圧縮強度  $\sigma_b$  に依存すると考えられる。一方、②アンカー筋と CFW の界面での付着破壊では、 $\sigma_c$  の強度に大きく依存すると思われる。

最終破壊状況を写真-3 に示す。同写真より、最終破壊状況は、②アンカー筋と CFW の界面での付着破壊が顕著であった。つまり、この破壊形式であれば  $\sigma_c$  により付着強度が推定できると判断される。

## 5.2 実験による最大付着強度と設計付着強度の比較

$\sigma_c$ -材齢関係を図-3に、最大付着強度  $\tau_{max}$ -材齢関係を図-4に示す。なお、図-3及び図-4に示す実線は、同じパラメータの試験体3体の平均値を用いた線である。

図-3を見ると0°C、-5°C、-10°Cのいずれの養生温度においても $\sigma_c$ は良好に発現した。このことから、CFWは氷点下においても初期凍害を受けなかったと考えられる。また、図-4より $\tau_{max}$ も $\sigma_c$ 同様、材齢が進むにつれて強度が増進していることがわかる。

ここで、付着実験で得られた $\tau_{max}$ を、次式に示す最も高い接着剤区分の設計式<sup>4)</sup>で求められる設計付着強度 $\tau_{bavg}$ を用いて検証する。

$$\tau_{bavg} = 10\sqrt{\sigma_B/21} \quad (3)$$

ここに、 $\sigma_B$ は母材コンクリートの圧縮強度である。

図-5に $\tau_{max}$ と $\tau_{bavg}$ の比較を示す。0°C、-5°C、-10°Cのいずれの養生温度においても、材齢7日の $\tau_{max}$ は、 $\tau_{bavg}$ の1.5倍以上となり、大きな安全率を有していることがわかる。

## 5.3 「セメフォースアンカー寒冷地仕様」の圧縮強度 $\sigma_c$ と最大付着強度 $\tau_{max}$ の関係

図-6に $\tau_{max}$ - $\sigma_c$ 関係を示す。 $\tau_{max}$ は $\sigma_c$ の一次回帰式と

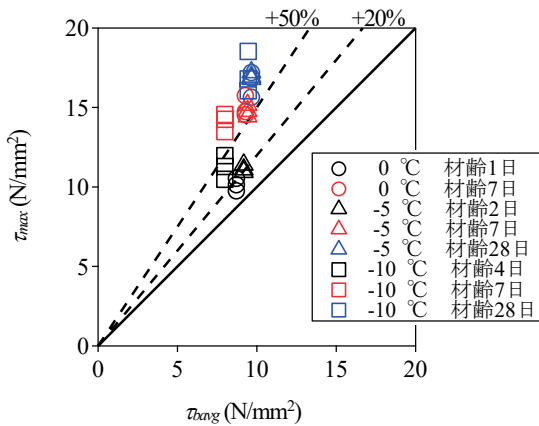


図-5  $\tau_{max}$ と $\tau_{bavg}$ の比較

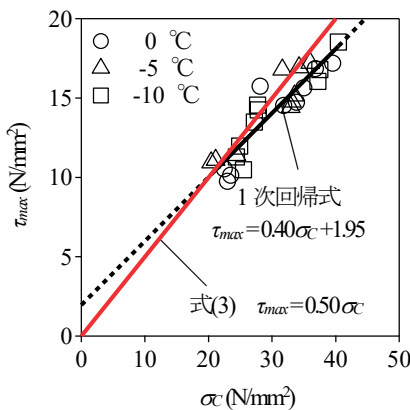


図-6  $\tau_{max}$ - $\sigma_c$ 関係

高い相関関係を有しており、相関係数は0.92であった。また、この回帰式の $\sigma_c$ が0N/mm<sup>2</sup>の時の $\tau_{max}$ は、1.95N/mm<sup>2</sup>であることから、 $\tau_{max}$ は概ね $\sigma_c$ と比例関係にあると思われる。これらを理由に、施工現場で扱いやすいように $\sigma_c$ から $\tau_{max}$ を推定する簡略的な算定式を次式に示す。なお、計算値による付着強度と、実験による最大付着強度 $\tau_{max}$ を明確に区別するため、計算値による付着強度を $\tau_a$ と記載する。

$$\tau_a = 0.5\sigma_c \quad (4)$$

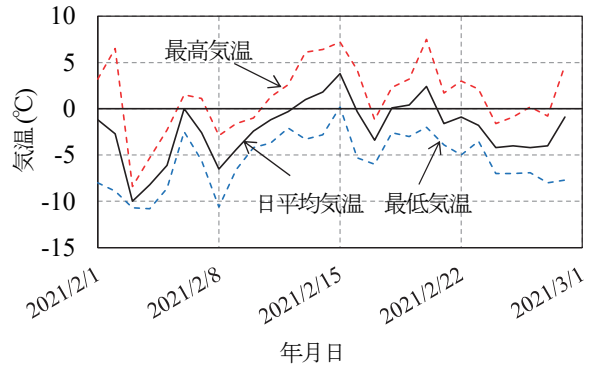
ここに、式(4)の適用は、アンカー筋とCFWの界面での付着破壊時に限定される。

## 6. 積算温度 $M_C$ を用いた付着強度 $\tau_a$ の算定式の活用

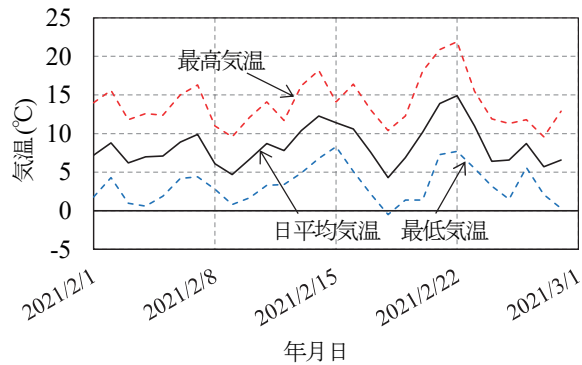
### 6.1 気象庁の観測記録を用いた付着強度 $\tau_a$ の算定例

4章では、積算温度 $M_C$ を用いたCFWの圧縮強度 $\sigma_c$ の算定式を、5章では $\sigma_c$ を用いた付着強度 $\tau_a$ の算定式をそれぞれ提案した。本章では、これらの活用方法について記載する。

はじめに、図-7に2021年2月の北海道札幌市と東京都千代田区の気象庁における気温の観測記録<sup>5)</sup>を例に挙



(a) 北海道札幌市



(b) 東京都千代田区

図-7 2021年2月における北海道札幌市と東京都千代田区の気温の推移



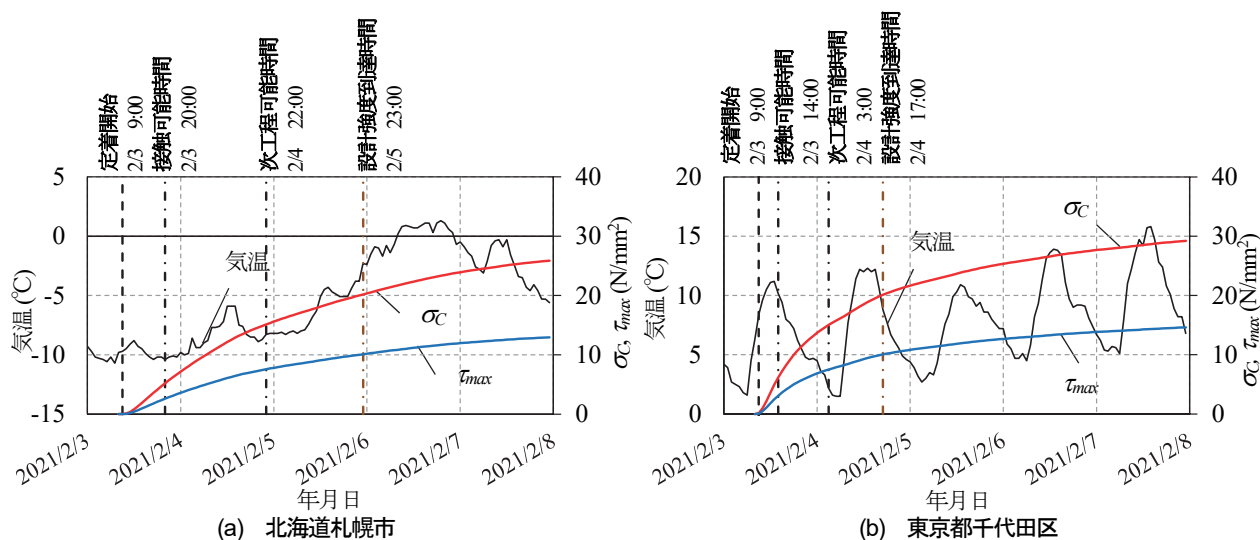


図-8 気温による  $M_C$  を用いて算定した  $\sigma_c$  及び  $\tau_a$  の推移

げ、気温と付着強度  $\tau_a$  の推移を推定する。同図(a)より、札幌市の2月の最低気温はほぼ氷点下であり、2月4日においては最低気温-10.8°Cを記録した。また、同図(b)より東京の2月の最低気温は、概ね0°C~5°Cの間を推移していることがわかる。日平均気温4°C以下では寒中工事と区別される<sup>9)</sup>ため、通常セメント系の無機系接着剤を用いた場合、札幌市では初期凍害を受ける可能性が極めて高いが、東京都においても初期凍害を受ける可能性がある。つまり、通常セメント系の無機系接着剤を用いた場合は、採暖養生を行う必要があるが、CFWを用いることで採暖養生が不要となり、CO<sub>2</sub>の削減にも寄与する。

続いて、札幌市で最低気温-10.8°Cを記録した2月4日の前日である、2月3日午前9時にCFWを用いてあと施工アンカーを打設したと仮定し、式(1)、(2)及び(4)を用いてその後の  $\sigma_c$  と  $\tau_a$  の推移を算定する。ただし、厳密にはCFWを注入するコンクリート温度の変化は、気温より緩やかであるが、ここではコンクリート温度と気温は同じとする。

図-8に気温による  $M_C$  を用いて算定した  $\sigma_c$  と  $\tau_a$  の推移を示す。また、ここでは、養生時間を用途ごとに「接触可能時間」(可塑性を有し、硬化が始まるまでの時間)、「次工程可能時間」(配筋や鋼材を取り付ける等の次の工程に入ることができるまでの時間)及び「設計強度到達時間」(設計付着強度に達するまでの時間)の3つに分け、それぞれの  $\sigma_c$  と  $\tau_a$  の値を仮定する。表-2に用途ごとの養生時間と想定する  $\sigma_c$  及び  $\tau_a$  を示す。

図-8より札幌市では2月3日~6日にかけて、日中においても気温は上昇せず、ほぼ氷点下であった。しかしながら、 $\sigma_c$  と  $\tau_a$  は時間経過と共に上昇していき、「次工程可能時間」は37時間と算定される。つまり、「次工程可能」な日時は、打設日の翌日2月4日22時(午後10時)以降となる。これに対し、千代田区では日中の気温は

表-2 用途ごとの養生時間と想定する  $\sigma_c$  及び  $\tau_a$

	圧縮強度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	付着強度 $\tau_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	養生時間(時間)	
			北海道 札幌市	東京都 千代田区
接触可能時間	5	2.5	11	5
次工程可能時間	15	7.5	37	18
設計強度到達時間	20	10	62	32

10°C程度まで上昇するが、深夜の気温は2°C~5°C程度まで低下する。同様に、「次工程可能時間」は18時間と算定され、次工程可能な日時は翌日2月4日3時(午前3時)以降となる。つまり、翌日には次工程に着手できることとなる。

## 6.2 施工現場での適用

気象庁の気温の観測記録から  $\sigma_c$  及び  $\tau_a$  を推定し、用途ごとの養生時間を算出したが、実際の現場ではCFWを使用する箇所が屋内である等、気象庁の観測記録と異なることがある。その場合は、温度データの記録が可能なデータロガー等を用いて、その観測記録を用いて算定することで、適切に養生時間を推定することができる。また、現場では施工品質の管理方法として、現地での引張試験を実施してから次工程に着手することから、設計強度到達時間を鑑みて施工計画を立てることになる。

本章では、式(1)、(2)及び(4)を用いて  $\sigma_c$  及び  $\tau_a$  の算定例を示したが、図-2より  $M_C$  から算定される  $\sigma_c$  は、±20%程度のばらつきがあることから、このことを加味して養生時間を設定することが望ましい。

## 7. まとめ

本論文では、耐寒促進剤を混練水に配合し、超速硬セメントを主剤としたあと施工アンカー用の無機系接着剤「セメフォースアンカー寒冷地仕様」(CFW)が、氷点下

を含む低温環境下においても初期凍害を防止し、あと施工アンカーの付着強度 $\tau_a$ を確保できることを示した。また、養生温度と材齢から算定される積算温度 $M_c$ と「セメフォースアンカー寒冷地仕様」の圧縮強度 $\sigma_c$ の評価を行い、 $\sigma_c$ から付着強度 $\tau_a$ を推定できる算定式を提案した。これらの算定式から、北海道札幌市と東京と千代田区の冬期の気温データを例に挙げ、寒中施工を想定し、 $M_c$ から $\tau_a$ を推定する方法を施工工程に活用する例を示した。最後に、「セメフォースアンカー寒冷地仕様」は、寒中施工時においても採暖不要で所定の付着強度を発現するため、採暖時に生じるCO<sub>2</sub>の削減に寄与することに期待する。

#### 【参考文献】

1) 折田現太, 阿部隆英, 高瀬裕也, 兼吉孝征: あと施工アンカーに用いる耐寒剤を配合した無機系接着剤の付着強度と積算

温度による強度増進に関する研究, コンクリート工学会年次論文集, Vol. 42, No. 2, pp.1147-1152, 2020.

- 2) 住友大阪セメント, “製品・サービス・研究開発, 建材事業部, セメフォースアンカー特設サイト開設, セメフォースアンカー” 入手先<[http://cemef.jp/download/pdf/c\\_anchor.pdf](http://cemef.jp/download/pdf/c_anchor.pdf)> (参照 2021.8.31)
- 3) 安藤重裕, 中野克彦, 田沼毅彦, 有木克良: コンクリートのひび割れに対するアンカー筋の種類による引抜き耐力の保持率に関する実験的研究, 日本建築学会技術報告集, Vol. 25, No. 59, pp.51-54, 2019.
- 4) 日本建築学会: 各種合成構造設計指針, 2010
- 5) 国土交通省気象庁, “各種データ, 過去の気象データ検索”, 入手先 <<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>> (参照 2021.8.30)
- 6) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事, 2009.

**Summary** This paper reports results indicating that the Ceme-force Anchor for Cold Weather Regions cement-based adhesive for post-installed anchors, which is formulated by mixing a cold resistance accelerator with kneading water and using ultrafast hardening cement as the main ingredient, can prevent initial frost damage, even in sub-zero temperatures. This adhesive also ensures the adhesion strength of post-installed anchors. We also propose a method for estimating the bond strength of post-installed anchors based on the cumulative temperature obtained from curing temperatures and the number of days elapsed, even in environments at  $-10^{\circ}\text{C}$ . This makes it possible to estimate current bond strength and readiness for the next process based on temperatures recorded at the construction site and on temperature data provided the Japan Meteorological Agency. This in turn makes it possible to formulate detailed plans for work processes related to post-installed anchors.

**Key Words :** Post-installed anchors, Cement-based adhesive, Cold weather construction work, Bond strength, Cumulative temperature