

凍土の膨張変形の利用について

(株)精研 正会員 ○姜 仁超

1. 研究の目的

地盤凍結工法での凍結膨張を軽減する一つの対策として、鉄筋の配置により造成凍土厚を減らす方法が考えられる。前報¹⁾で、工事を行うために必要となる凍土に鉄筋配置の構造解析と設計方法を検討し、得られた結果から鉄筋の耐荷能力が十分に利用されなかったことが分かった。このような問題点を踏まえ、鉄筋あるいはPC鋼材（以下“鋼材”という）で適当に凍土の膨張変形を拘束すれば、凍土部材に凍結膨張プレストレスを導入でき、鋼材の有効利用と凍土部材の耐荷能力の増強が可能だと考えられる。そこで、本研究では、凍土部材に導入した凍結膨張プレストレスの解析方法について検討を行い、得られた結果を報告する。

2. 解析方法の概要

図-1に対称断面をもつ完全合成梁の軸方向に加わる荷重がないものとし、鋼材の拘束により凍結膨張プレストレスを導入したとき（以下、“導入後”と呼ぶ）の梁の断面仮定及び関連記号を示した。梁の軸方向に凍結膨張プレストレスが導入されないとき（以下、“導入前”と呼ぶ）の関連記号と構造解析は、前報¹⁾を参照されたい。

拘束のない時の凍土の膨張ひずみを S_e 、鋼材の凍土断面重心に対する偏心距を e とすれば、平面保持の仮定から、鋼材の拘束によって凍土断面重心位置に生じる軸方向ひずみ δ_f 、回転角 θ_f 、鋼材の引張ひずみ δ_s 、導入プレストレス力 P 、凍土断面重心軸における凍土の圧縮応力 σ_{fp} 、鋼材引張応力 σ_{sp} はそれぞれ式(1)～(6)となる²⁾。

$$\delta_f = S_e - \frac{P}{E_f A_f} \left(1 + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (1), \quad \theta_f = \frac{P \cdot e}{E_f I_f} \left(1 + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (2), \quad \delta_s = \frac{P}{E_s A_s} = \delta_f - \theta_f \cdot e \quad (3),$$

$$P = \frac{E_s A_s}{1 + np(1 + \varphi/2)(1 + e^2/(I_f/A_f))} S_e \quad (4), \quad \sigma_{fp} = \frac{P}{A_f} \quad (5), \quad \sigma_{sp} = \frac{P}{A_s} \quad (6).$$

ここに、 E_f ：凍土のヤング率、 E_s ：鋼材のヤング率、 A_f ：凍土断面積、 A_s ：鋼材断面積、 I_f ：断面重心軸に対する凍土断面二次モーメント、 φ ：凍土のみかけのクリープ係数、 $n = E_s/E_f$ ：鋼材と凍土のヤング率の比、 $p = A_s/A_f$ ：鋼材と凍土の断面積比とする。

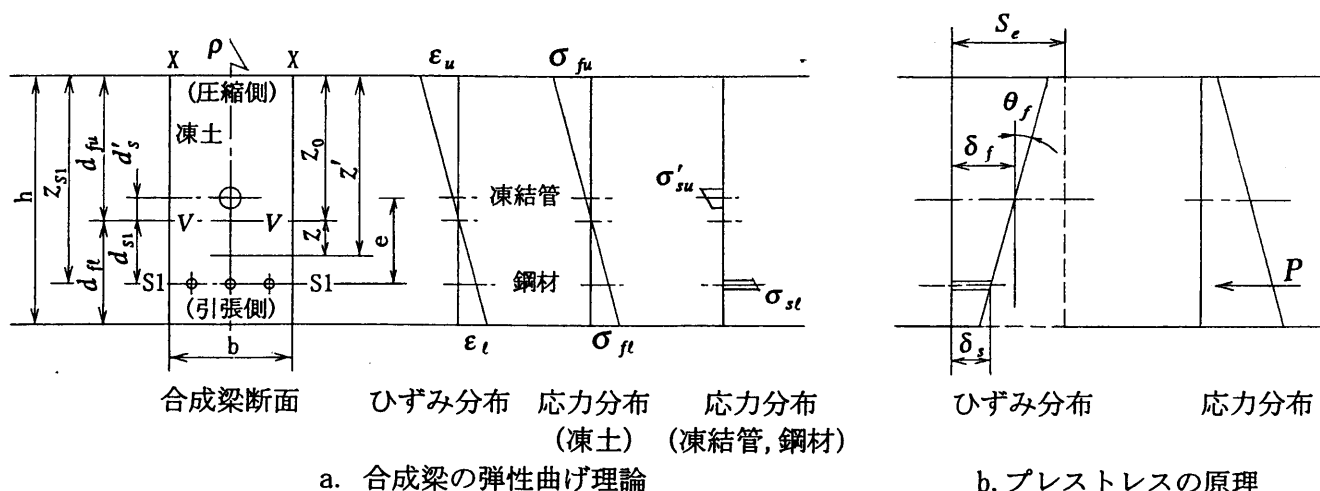


図-1 凍土部材のひずみと応力

キーワード 凍土、膨張、プレストレス、弾性、変形

連絡先 〒112-0002 東京都文京区小石川1-12-14 (株)精研凍結本部 TEL 03-5689-2355

3. 結果と考察

本解析の例では、前報¹⁾の解析条件と結果のもとに行った。図-1は凍結管が1本であり、鋼材3本を梁の引張側に配置した。モデルはスパン $\ell=5.0\text{m}$ 、幅 $b=0.8\text{m}$ の等分布荷重 $p=687\text{ kN/m}^2$ を受ける単純支持梁とする。 -10°C の砂質土凍土（表-1）^{3), 4)}の物性値を使用すると、単体凍土の厚みは 3.130m が必要となる。

S_e と ϕ を設定し、導入後の強度解析を行った。解析の結果から、鉄筋を使用するとしたとき、鉄筋の強度が不足することがわかったので、前報¹⁾のD51鉄筋の有効断面積と同じようなPC鋼材⁵⁾に変え、検討を続けた。なお、PC鋼材の降伏点（または耐力）は 930N/mm^2 以上、ヤング率は 200kN/mm^2 とした。

一例として、 $S_e=0.3\%$ 、 $\phi=17$ 、PC鋼材の配置位置($h-z_{s1}=0.3\sim 1.2\text{m}$)ごとに、合成凍土梁の上縁（前報¹⁾の圧縮側）応力と下縁（前報¹⁾の引張側）応力およびPC鋼材の応力を解析し、必要な凍土厚みを求めた。合成凍土梁の厚みとPC鋼材配置位置の関係の解析結果を図-2に示した。また、プレストレスを導入しない場合の凍土厚みとD51鉄筋配置位置の関係¹⁾を図-2に併記した。さらに、単体凍土と($h-z_{s1})=0.3\text{m}$ 場合の上記の解析結果を表-2にまとめた。応力データの下括弧()中の数値はその応力に対する部材強度の安全率であり、[]中に応力の状態を示した。

解析の結果、PC鋼材に凍結膨張プレストレスを導入した場合の合成凍土梁の強度特性に関する次の基礎情報が得られた。

PC鋼材の場合、凍土断面上縁の圧縮安全率が2.233になった時、下縁の引張安全率は3.505、PC鋼材の引張安全率は5.062となったので、複合凍土構造物の厚みは凍土の曲げ圧縮強度によって決まることがわかった。また、D51鉄筋配置した場合の凍土減量（＝（単体凍土厚－複合凍土厚）/単体凍土厚）は14.95%にと

どまったが、PC鋼材配置した場合は30.67%になった。PC鋼材に凍結膨張プレストレスを導入した場合は凍土減量効果大きい。すなわち、PC鋼材で凍土の凍結膨張を適当に拘束できれば、凍土が薄くでき、鋼材の有効利用、凍結膨張によってもたされる影響の軽減が可能である。

4. まとめ

凍土に凍結膨張プレストレスを導入すれば、以下の効果が期待できる。1. 凍土が薄くでき、凍結膨張によってもたされる影響の軽減が可能である。2. 凍土の圧縮強度の利用と鋼材の有効利用が可能となる。

謝辞 本研究の遂行にあたり、(株)精研の皆様にご助言を頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 姜仁超：鉄筋と凍土からなる複合構造物の設計について，第38回地盤工学研究発表会発表講演集，2003.
- 2) H. Muguruma: On the Expansion-Shrinkage Characteristics of Expansive Cement, Proc. of the 11th Japan Congress on Materials Research (Tokyo, 1967), 1968.
- 3) (財)日本建設機械化協会：地盤凍結工法，pp. 1-56, 1981.
- 4) 上田保司他：圧縮と曲げにおける砂凍土の弾性係数の比較，雪氷学会講演予稿集，2002.
- 5) 日本規格協会：JISハンドブック 鉄鋼，pp. 483-495, 1179-1183, 1992.

表-1 砂質土凍土の物性値（塩分濃度0%）

平均温度 ($^\circ\text{C}$)	設計強度 ³⁾ (N/mm^2)			ヤング率 ⁴⁾ (kN/mm^2)
	圧縮	曲げ	せん断	
-10	4.5	2.7	1.8	3.8

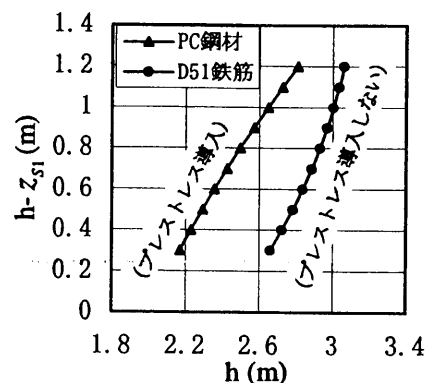


図-2 $h \sim (h - z_{s1})$ 関係

表-2 解析結果 ($h - z_{s1}=0.3\text{m}$, 応力の単位: N/mm^2)

	鉄筋凍土 ¹⁾	PC凍土	単体凍土 ¹⁾
鋼材呼び名 (公称直径 mm)	D51 (50.8)	(左と同じ 断面積)	-
凍土厚 $h(\text{m})$ (凍土減量, m) [凍土減量, %]	2.662 (0.468) [14.95]	2.170 (0.960) [30.67]	3.130 - -
下縁応力 σ_{ft} (安全率) [応力状態]	1.317 (2.050) [引張]	0.786 (3.505) [引張]	1.341 (2.013) [引張]
上縁応力 σ_{fu} (安全率) [応力状態]	1.612 (2.791) [圧縮]	2.055 (2.233) [圧縮]	-
鋼材応力 σ_{st} (安全率) [応力状態]	56.058 (5.262) [引張]	183.69 (5.062) [引張]	-
プレストレス 導入の有無	導入しない	導入した	-