

1. 研究の目的

大深度、大規模地下工事の発展に伴い、地盤凍結工法はますます重要な補助工法として重視されている。そこで、凍土梁の挙動に及ぼす寸法の影響に注目した。特に、梁に及ぼすせん断応力の影響は無視できず、その影響を評価することは、凍土梁の安全かつ経済的な設計を行う上で重要である。本研究において、地盤凍結工法を行った時、凍土梁の設計厚みにおけるせん断応力の影響について検討を行った結果を報告する。

2. 応力分布の検討

本研究に関連する凍土梁は、各方向の同性材料によって構成しているものと仮定する。梁のスパンを ℓ 、高さを t とし、 $\ell/t > 3$ の梁は普通の梁、 $\ell/t < 3$ の梁は深い梁¹⁾と言われている。単純梁の場合、 $\ell/t < 2$ とすれば、深い梁²⁾としている。スパン ℓ が高さ t に対して比較的小さい場合、梁の応力分布は普通の梁の場合と異なる。

1) 普通の梁の応力分布

図1(a)、図1(b)は長方形断面をもつ等分布荷重を受ける普通の単純支持梁である。図1(c)、図1(d)は梁の断面に生じる曲げ応力 σ とせん断応力 τ で、式(1)と式(2)によって計算する。主引張応力 σ_1 と主圧縮応力 σ_2 は式(3)と式(4)によって計算できる³⁾。

$$\sigma = \frac{M}{I} y \quad \cdots \cdots (1) \quad \tau = \frac{QS}{Ib} \quad \cdots \cdots (2)$$

$$\sigma_1 = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad \cdots \cdots (3)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad \cdots \cdots (4)$$

ここに、 M : 梁の断面に作用する曲げモーメント; Q : 梁の断面に作用するせん断力; I : 梁の中立軸に関する断面二次モーメント; y : 梁の中立軸からの距離; S : 計算しようとする位置より上部にある断面の中立軸に関する面積モーメント; b : 長方形断面の幅; とする。

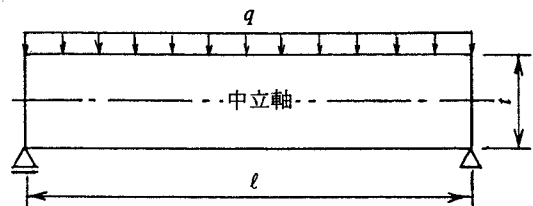
等分布荷重を受ける普通の単純支持梁の主応力分布は、図2に示すようになる。

2) 深い梁の応力分布

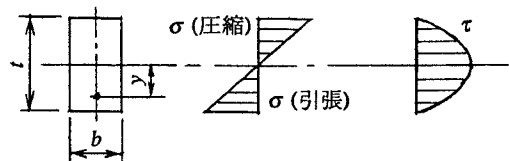
深い梁は二次元応力状態での断面の応力分布が式(5)と式(6)と式(7)で表わされる。主引張応力 σ_1 と主圧縮応力 σ_2 は式(8)と式(9)によって計算できる⁴⁾。

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} [\epsilon_x + \nu \epsilon_y] \quad \cdots \cdots (5)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} [\epsilon_y + \nu \epsilon_x] \quad \cdots \cdots (6)$$



(a) 等分布荷重を受ける単純支持梁



(b) 断面 (c) 曲げ応力 (d) せん断応力

図1 等分布荷重を受ける単純支持梁の断面と応力

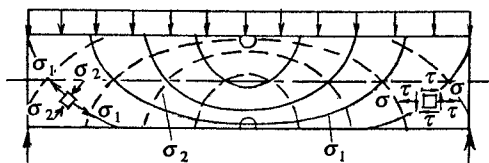


図2 普通の単純支持梁の主応力線分布状況

キーワード: せん断応力、曲げ応力、深い梁、主応力、凍土

連絡先: 東京都文京区小石川 1-12-14 日本生命小石川ビル 7 階、TEL 03-5689-2355 FAX 03-5689-2361

$$\tau_{xy} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{xy} \quad \cdots \cdots (7)$$

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \quad \cdots \cdots (8)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \quad \cdots \cdots (9)$$

ここに、 σ_x : x 方向の垂直応力；
 σ_y : y 方向の垂直応力； τ_{xy} : xy 面内に
 生じるせん断応力； E : 凍土の弾性係
 数； ν : ポアソン比； ϵ_x : x 方向のひず
 み； ϵ_y : y 方向のひずみ； γ_{xy} : xy 面内
 に生じるせん断ひずみ；とする。

図3は単純支持された深い梁に等分布荷重が作用した時の曲げ及びせん断応力の例を示し、梁理論による値と比較している。図4は主応力線を示したものである²⁾。

3. 結果と考察

長方形断面をもつ等分布荷重 q を受ける $\ell/t > 3$ の単純支持梁の最大曲げ応力は： $\sigma_{\max} = 3q\ell^2/(4bt^2)$ 、最大せん断応力は： $\tau_{\max} = 3q\ell/(4bt)$ である。最大曲げ応力と最大せん断応力の比は： $\sigma_{\max} / \tau_{\max} = \ell/t$ となる。曲げ応力計算結果で梁の強度検証を行うことができる。

図3から、深い梁は曲げ応力の分布が非線型となり、 $\ell/t \leq 1$ の場合、普通の梁の最大曲げ引張応力に比して急激に大きくなり、梁の引張側のせん断応力も大きくなる。

図4に示すように、主引張応力線は梁の支点付近の断面に密集している。主引張応力の影響で、梁は支点付近で主圧縮応力線に沿って破壊される可能性がある。よって、深い梁は破壊に至る過程が、複合応力下で、様々な要因に影響され、このような破壊現象を解析するため、曲げ応力 σ_x のみではなく、垂直応力 σ_y とせん断応力 τ_{xy} の影響を考える必要がある。

4. まとめ

- 1) 長方形断面をもつ等分布荷重 q を受ける $\ell/t > 3$ の単純支持凍土梁は、曲げ応力計算結果で梁の強度検証を行うことができる。
- 2) 深い凍土梁は、曲げ応力 σ_x のみではなく、垂直応力 σ_y とせん断応力 τ_{xy} の影響を考える必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会 構造力学公式集, pp209, 1988
- 2) 尾坂芳夫 鉄筋コンクリート・ディープビームの設計方法, 構造物設計資料, No.2, pp43~45, 1965
- 3) 孫訓方 材料力学(下), 人民教育出版社, pp13~45, 1980
- 4) 湯浅亀一 材料力学・上巻, コロナ社, pp56~90, 1954

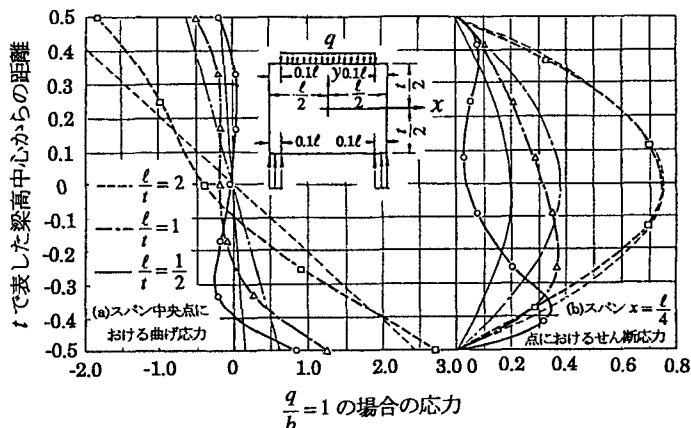


図3 深い梁の曲げ応力及びせん断応力の分布状況

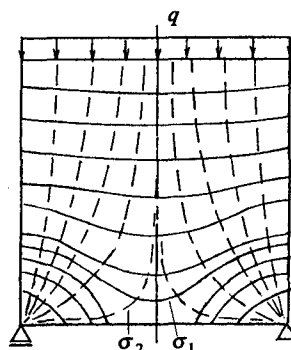


図4 深い梁の主応力線分布状況