

1. 研究の目的: 鋼管桁は凍土梁の剛性と耐力を増強するための鋼管である。凍結管(あるいは、補強鋼管桁)と凍土の合成効果がよく把握できれば、最少量の造成凍土で十分な耐力が発揮できるため、安全性の確保と資源の有効利用の観点から、その力学的な挙動の解明が必要である。本研究では、凍土と、凍結管、補強鋼管桁から成る合成梁の設計を行うための強度解析方法について考察を行った結果について報告する。

2. 解析方法の概要: 図1に示すように、対称断面をもつ合成梁が曲げられるとひずみの大きさは中立面からの距離に比例する。梁の軸方向に加わる荷重がないものとすれば、中立軸の曲率半径を ρ とすると、中立軸より z の距離にある繊維のひずみ ε は構成材料に関係なく、平面保持の法則により $\varepsilon = z/\rho$ になる¹⁾。このような曲げ部材断面の曲げモーメント M に対する変形(曲率 ϕ)と応力 σ_i は、それぞれ式(1)と式(2)で与えられる。

ここで、 $\sum E_i I_i$ を合成梁の等価曲げ剛性という。図1に示すように中立軸($V-V$)に平行な任意の軸 $X-X$ を取り(ここで、合成梁の上縁をとる)、この軸と中立軸との距離を z_0 とし、断面内における任意の一点の $V-V$ 軸、 $X-X$ 軸を基準とした座標をそれぞれ z 、 z' とすれば、式(3)が得られる。鋼管と凍土との境界面の付着応力 τ_0 は式(4)²⁾、合成梁の中立軸位置のせん断応力 τ' ³⁾は式(5)より求められる。

$$\phi = \frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M}{\sum_{i=1}^n E_i I_i} \quad (1); \quad \sigma_i = \frac{E_i z M}{\sum_{i=1}^n E_i I_i} \quad (2); \quad z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \int_{A_i} z' dA_i}{\sum_{i=1}^n E_i A_i} \quad (3); \quad \tau_0 = \frac{Q_i W}{J_v b_{ui}} \quad (4); \quad \tau' = \frac{W \sum' E_i \int_{A_i} z dA_i}{b \cdot \sum_{i=1}^n E_i I_i} \quad (5)$$

ここに、 E_i :第 i 部材の縦弾性係数; A_i :第 i 部材の断面積; I_i :第 i 部材の梁中立軸に関する断面二次モーメント($I_i = \int_{A_i} z^2 dA_i$); W :梁の断面に作用するせん断力; Q_i :第 i 番目鋼管の横断面積の中立軸($V-V$)に関する断面一次モーメント($Q_i = A_{si} \times d_{si}$); A_{si} :第 i 番目鋼管の横断面積; d_{si} :合成断面の中立軸 $V-V$ と第 i 番目鋼管断面の図心との距離; J_v :鋼に換算した総断面二次モーメント; b_{ui} :第 i 番目鋼管と凍土接着面の長さ($b_{ui} = 2\pi R_i$ (=鋼管外周長)); R_i :第 i 番目鋼管の外半径; $\sum' E_i \int_{A_i} z dA_i$:中立軸断面の上方にある部材の各横断面積の中立軸 $V-V$ に関する断面一次モーメントに、その部材の弾性係数を乗じたものの総和; b : τ' を計算する位置の幅; S_1-S_1 :鋼管 S_1 (1列目凍結管)の図心軸; S_2-S_2 :鋼管 S_2 (2列目凍結管)の図心軸。

3. 結果と考察: 鋼管桁凍土の設計は、許容応力度設計方法によって行う。本解析の例では、凍結管が2列であると想定し、解析を行った。凍結管と鋼管桁が所定位置に設置され、凍結管と鋼管桁の間にセメント系の注入材が充填される。凍結管の設置状況により凍土等の物性値が変化するが、ここでは、研究しやすくするため、物性値は表1のように設定し、不変とする。また、凍土の安全率を2、鋼管の安全率を1.1とする。

ここで、モデルはスパン $\ell=5.0\text{m}$ 、幅 $b=0.8\text{m}$ の等分布荷重 $p=0.687\text{MPa}$ を受ける単純支持梁とする。今までの凍土強度設計法では、単体凍

土の厚みは 3.60m を必要とし、凍結管を2列に設置することが多い。鋼管桁凍土の設計法において、図1に凍結管が2列場合の合成梁の断面仮定及び関

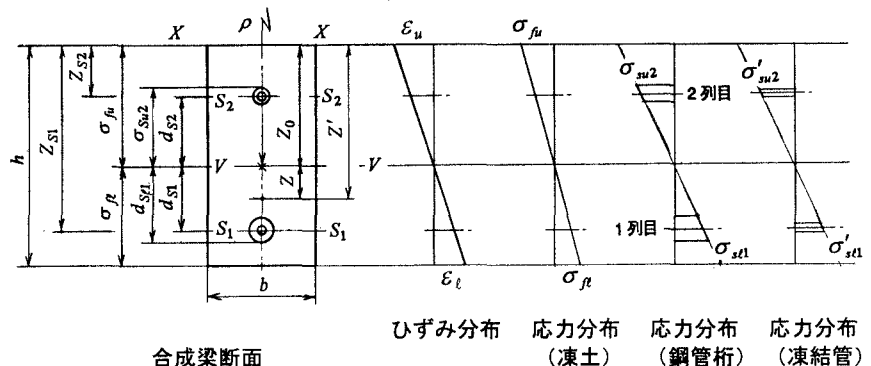


図1 合成梁の弾性曲げ理論

キーワード: 鋼管桁凍土、付着応力、凍着強度、凍土厚、等価曲げ剛性

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

連記号を示した。また、表.2 の条件の下で解析を行った(注:case1 は凍結管の強度を考慮する場合、case2、case3 は合成梁の場合である)。

(1)、曲げ応力 σ_i と付着応力 τ_0 ： 解析の結果により、凍土の引張端に生じる応力が許容曲げ応力を満足する時に、凍土の圧縮側と鋼管の荷重分担能力には余裕があり、凍結管の応力は鋼管桁の応力より小さく、凍土と鋼管桁の間の付着応力は凍土と鋼管との許容凍着応力を下まわることが判った。Case3 の解析結果の一部を表.3 に示す(注:())の中の数値は許容応力に対する安全率であり、合成凍土梁の厚みが2.70mで、単体凍土梁より0.90m 薄い)。他の解析条件を用い、求めた必要凍土厚み h を表.2 に併記した。

表.2 の各 case における梁の厚みが2.70m から3.70m まで0.1m 毎に変化する場合の等価曲げ剛性を表.4 の配置条件(図.1 参照)により計算した。凍土単体に対する曲げ剛性増加率 $(\sum E_i I_i - E_f I_f)/E_f I_f$ を図.2 に示す。厚みが3.60mの凍土単体梁は、凍結管の荷重分担分を考慮することにより、約 10%の曲げ剛性が無視され、表.2 に示すように、この考慮をした場合では厚みが3.40m で充分であることが判った。Case3 の場合は、同じ厚みの凍土単体より60%以上曲げ剛性が增強されたことが判明した。

(2)、中立軸位置のせん断応力 τ' ： 解析の結果、Case1 は合成梁の中立軸位置に生じるせん断応力 τ' は許容せん断応力を満足したが、Case2 とCase3 は満足しなかった。表.3 に示すように、凍土のせん断強度に対する安全率は、僅かに1.6であった。図.3 でまとめた熱解析結果では、冷却温度 θ_c 毎にCase2 とCase3 の設計凍土厚を造成した時点で、中立軸位置の温度は設計平均温度(-12℃)を遥かに下まわる。温度の低下によりせん断耐力は増加するが、設計で用いたい温度変化に対する凍土設計基準強度の妥当性は、実験で検証する必要がある。

4. まとめ： 1) 解析により、凍土引張側に生じる応力が許容曲げ応力を満足する場合、凍土の圧縮側と鋼管桁の荷重分担能力はまだ余裕があり、凍土と鋼管桁の間の付着応力も許容凍着応力を下まわることが判った。 2) 平均温度を用いる凍土の設計基準強度により、せん断応力が安全率を満足されないことがある。

3) 合成凍土梁断面に作用する断面力 $(M+W)$ による主応力の流れなどに対する考察結果は次報で述べたい。

4) 今後、以上の設計方法については現場規模の検証を実施したい。

参考文献： 1)関谷 壮 谷村 眞治 最新材料力学 pp.178~181, 朝倉書店,1990.5
2)岡田 清 コンクリート工学ハンドブック

p407, 朝倉書店,1981.11 3)湯浅 亀一 材料力学・上巻 p199, コロナ社, 1954

表.1 解析に用いた物性値

凍土(-12℃、塩分濃度は0%)		
圧縮強度 σ_{uc}	MPa	3.45
曲げ強度 σ_{ub}	MPa	2.05
せん断強度 σ_{ut}	MPa	1.7
(=凍土と鋼管との凍着強度)		
弾性係数 E_f	Gpa	1.96
鋼管		
圧縮・引張強度 σ_s	MPa	235.37
弾性係数 E_s	GPa	206
注入材		
弾性係数 E_c	GPa	19.61

表.2 凍結管と鋼管桁の配置

	1 列目			2 列目			h (m)
	凍 結 管	鋼 管	Z_{s1} (m)	凍 結 管	鋼 管	Z_{s2} (m)	
凍土単体	100A		3.00	100A		1.05	3.6
Case1	100A		2.80	100A		1.05	3.4
Case2	100A	150A	2.50	100A	150A	0.90	3.1
Case3	100A	250A	2.20	100A	150A	0.80	2.7

表.3 Case3 の解析結果

凍土応力		鋼管桁応力		付着応力		τ' MPa	h (m)
σ_{ft} MPa	σ_{fu} MPa	σ_{st1} MPa	σ_{st2} MPa	τ_{01} MPa	τ_{02} MPa		
0.946 (引張) (2.17)	1.224 (圧縮) (2.78)	68.39 (引張) (3.44)	68.01 (圧縮) (3.46)	0.588 (2.89)	0.46 (3.69)	1.044 (1.6)	2.7

表.4 凍結管、鋼管桁の配置と凍土厚み h (m)

	Z_{s1} (m)	$h-Z_{s1}$ (m)	Z_{s2} (m)	h (m)
凍土単体				2.7
Case1	2.1~3.1	0.6	1.05	~
Case2	2.1~3.1	0.6	0.9	3.7
Case3	2.2~3.2	0.5	0.8	

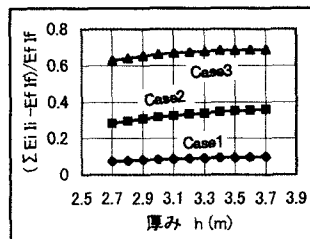


図.2 厚み h (m)と剛性増加率の関係

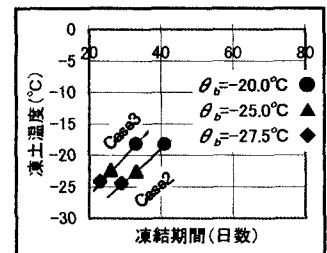


図.3 中立軸位置の凍土温度