

合成凍土梁の強度設計における補強材の補強効果について

(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、補強材により造成凍土厚を減らす方法が考えられる。別報で補強鋼管(以下“鋼管”という)の外径と補強効果の関係を調べ、鋼管の外径を増大してもその補強効果に限界があることを報告した¹⁾。本報告では、その問題を解決するため、補強材を有効活用する方法と、凍土と補強材からなる合成梁における造成凍土厚の算定などの、設計を行うための強度解析方法について報告する。

2. 解析方法の概要: 図1に示すように、凍結管、補強材は地盤中の適当な位置で設置し、土の凍結によって一つの完全合成梁になると考える。梁の軸方向に加わる荷重がないものとするれば、梁の弾性曲げ理論により曲げモーメント M に対する変形と応力 σ_i 及び中立軸($V-V$)の位置 Z_0 は、それぞれ式(1)と式(2)及び式(3)で与えられる²⁾。鋼管と凍土との境界面の付着応力 τ_0 は式(4)³⁾より求められる。

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M}{\sum_{i=1}^n E_i I_i} \quad (1); \quad \sigma_i = \frac{E_i Z M}{\sum_{i=1}^n E_i I_i} \quad (2); \quad Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \int_{A_i} Z' dA_i}{\sum_{i=1}^n E_i A_i} \quad (3); \quad \tau_0 = \frac{Q_i W}{J_v b_{ui}} \quad (4);$$

ここに、 $X-X$:合成梁断面の圧縮縁; E_i :第 i 部材の縦弾性係数; $\sum_{i=1}^n E_i I_i$:合成梁の等価曲げ剛性; 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; $S1-S1$:鋼管 $S1$ 断面の図心軸; $S2-S2$:鋼管 $S2$ 断面の図心軸。

3. 結果と考察: 合成凍土梁の設計は、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1列と2列であると想定し、解析を行った。設計の例としては、図1と図2に合成梁の断面仮定及び関連記号を示した。図1は、凍結管が2列の場合であり、圧縮側にコンクリート充填鋼管を設置する。引張側に2重に設置する鋼管部材内に、凍結管を挿入し、さらに中詰めに充填材を注入し、合成構造とすることにする。図2は、凍結管が1列(補助凍結管を含む)の場合である。図2(1)はコンクリートを圧縮側に、図2(2)は鋼管を引張側に、図2(3)はコンクリートと鋼管をそれぞれ圧縮側と引張側に設置する。寸法は図に示すように $(h - Z_{S1}) = Z_c$ とする。図2(4)は圧縮側にコンクリート充填鋼管を設置する。図2(5)は充填材と、2重に設置する鋼管からなる合成構造部材を引張側に設置する。図2(6)は図2(4)と図2(5)の組合構造である。寸法は図に示すように $(h - Z_{S1}) = Z_c$ とする。合成梁の断面状況により凍土等の物性値が変化するが、ここでは、研究をしやすくするため、凍土は -10°C

(凍結管が1列の場合)と -12°C (凍結管が2列の場合)の粘性土凍土⁴⁾、鋼管は一般構造用炭素鋼鋼管⁵⁾、充填材とコンクリートは土木学

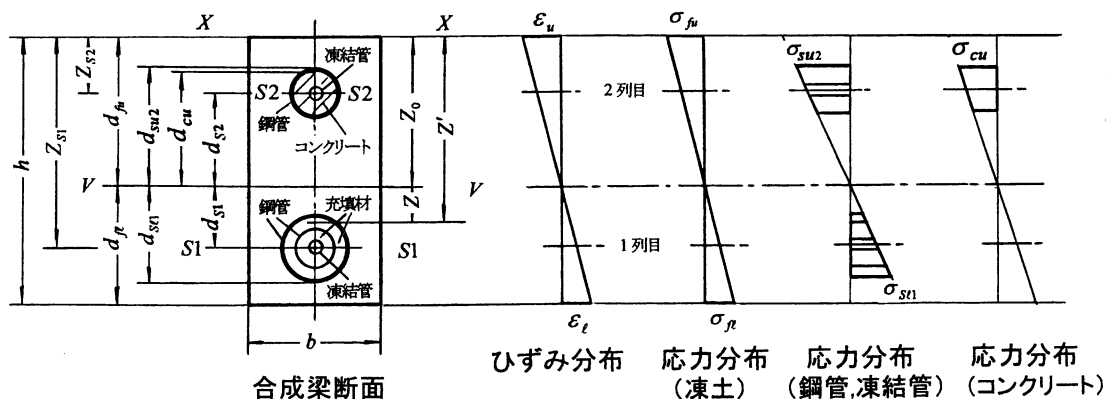


図1 合成梁の弾性曲げ理論

キーワード: 凍結工法、曲げ剛性、付着応力、鋼管、コンクリート

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

会・日本道路協会のコンクリート標準^{6), 7)}などの物性値を使用し、不変とする。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 $p=687\text{KN/m}^2$ を受ける単純支持梁とする。今までの凍土強度設計方法では、凍土の平均温度は -10°C と -12°C に対する単体凍土の厚みはそれぞれ 3.83m と 3.6m を必要とする。合成凍土の設計方法において、以上の設定条件のもとで解析を行った。ここで、各補強材の外径 ϕ (単位は mm)及び設置位置毎に必要な凍土厚み h を求め、それぞれ図3、図4、図5に示した。図3は図2(1)～図2(3)の解析結果で、図4は図2(4)～図2(6)の解析結果である。いずれも補強材は中立軸から離れ、辺縁側に近い程補強効果が高い。また、圧縮側より引張側に設置するほうが補強効果大きい。さらに、両側に同時設置する場合は、それぞれ単独に設置するより効果が大きい。鋼管とコンクリートを単独使用するよりも図2(4)～図2(6)のような合成構造部材を使用するほうが補強効果大きい。図4に、 $(h-Z_{S1})=0.3\sim 0.4\text{m}$ の■記号(実線)と $Z_c (=h-Z_{S1})=0.3\sim 0.5\text{m}$ の▲記号(実線)は、温度が -10°C 時の凍土と鋼管の許容凍着応力によって決まった凍土厚みである。図2(5)と図2(6)の構造に基づいて引張側の鋼管内に補助凍結管を併用すると、引張側鋼管の周囲の凍土温度が -15°C 以下になれば、鋼管の位置と凍土厚み h の関係は図中の破線ようになる。図5の横軸は引張側の補強鋼材の曲げ剛性 $\sum E_s I_s$ であり、曲線部分は表1の設定条件のもとで図1の解析結果である。また、図3と図4に $(h-Z_{S1})=0.8\text{m}$ 時に(G)と(H)に対する凍土厚みと引張側に設置する鋼材の曲げ剛性との関係を求め、図5に(G)と(H)を併記した。図2(3)と図2(6)において、引張側の鋼材の曲げ剛性 $\sum E_s I_s$ は図1において、引張側の鋼材の曲げ剛性 $\sum E_s I_s$ とほぼ同じであるが、図1の場合は補強効果が大きい。

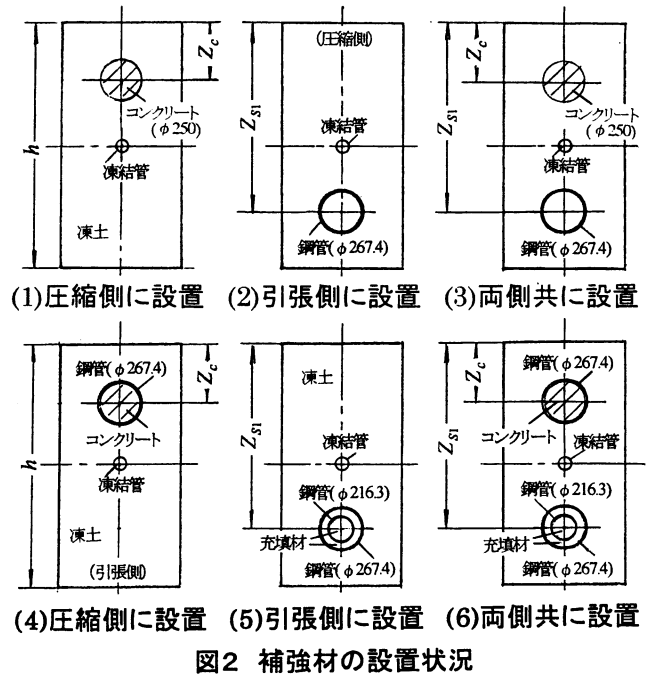


図2 補強材の設置状況

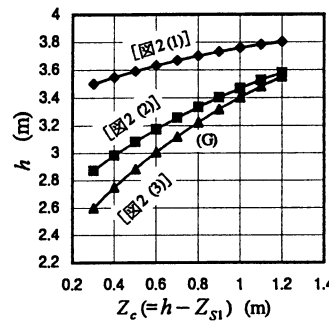


図3 図2(1)～(3)場合の補強効果

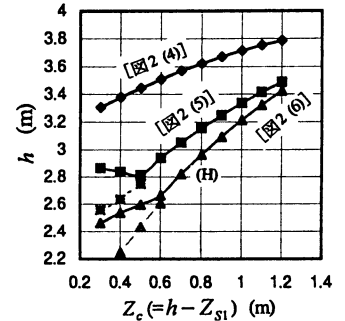


図4 図2(4)～(6)場合の補強効果

表1 図1の解析条件(引張側)

Case	外管 (mm)		内管 (mm)	
	外径 ϕ	肉厚 t	外径 ϕ	肉厚 t
A	267.4	9	190.7	7
B	267.4	9	216.3	7
C	318.5	9	216.3	7
D	318.5	9	267.4	9
E	355.6	12	267.4	9
F	406.4	19	267.4	9
設置位置: $(h-Z_{S1})=Z_{S2}=0.8\text{m}$				
(圧縮側:コンクリート充填鋼管, $\phi 267.4, t=9$)				

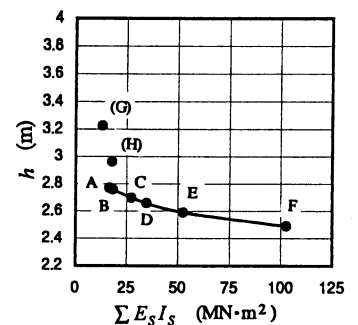


図5 図1場合の補強効果

4. まとめ: 1)補強材は圧縮側より引張側に設置するほうが補強効果大きい。2)鋼管とコンクリートを単独使用するよりも合成構造部材を使用するほうが補強効果大きい。3)凍結管は1列より2列設置するほうが補強材の補強効果大きい。4)補強材は中立軸から離れ、辺縁側に近い程補強効果が高いが、凍結管を1列設置する場合に、補強材が引張側に近すぎると凍土の厚みは引張側の凍土と鋼管との許容凍着応力によって決まることがある。その場合、引張側に補助凍結管を設置することがある。5)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)姜仁超 第36回地盤工学研究発表会投稿文, A-0045, 2001.6 2)関谷壮 谷村眞治 最新材料力学, 朝倉書店, 1990 3)岡田清 コンクリート工学ハンドブック, p407, 朝倉書店, 1981 4)(財)日本建設機械化協会 地盤凍結工法 5)日本規格協会 JIS ハンドブック 鉄鋼, 1992 6)日本道路協会 道路橋示方書IV下部構造編・同解説, 1994 7)土木学会 コンクリート標準示方書, 平成8年