

東洋建設(株) 正会員 小竹 望
 " 正会員 山村 浩介
 " 正会員 〇辻北 智志

1. はじめに

切土のり面に用いられる補強土工法において、補強材の軸剛性、せん断剛性、曲げ剛性の違いによる補強土工の効果の差異を評価することを試みた。ここでは、剛性の異なる補強材を用いた同等の安全率を有する切土のり面に関して非線形FEM解析を行い、補強土工法における補強材の荷重抵抗機構の差異をひずみエネルギーに着目することにより評価した。

2. 検討条件

今回の地山補強土工は、表-1に示す補強材および地山条件に対して、円弧すべり計算法(補強材の引き留め効果のみ考慮)による安全率が同等($F_s=1.20$)となるように補強材の配置(図-1参照)を決定した。また、表-2に補強材の配置密度とりの面の単位面積当たりの各剛性を示す。

表-1 補強材および地山条件

補強材	鉄筋	$E = 2.1 \times 10^7 \text{ tf/m}^2$ $A = 5.067 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ $I = 2.043 \times 10^{-8} \text{ m}^4$
	小口径鋼管	$E = 2.1 \times 10^7 \text{ tf/m}^2$ $A = 1.428 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ $I = 2.008 \times 10^{-6} \text{ m}^4$
地山		$C = 0.5 \text{ tf/m}^2$ $\phi = 35.0^\circ$ $\gamma = 1.9 \text{ tf/m}^3$ Duncan-Changパラメータ $K = 500.0$ $Rf = 0.85$ $n = 0.3$ $F = 0.05$ $G = 0.40$

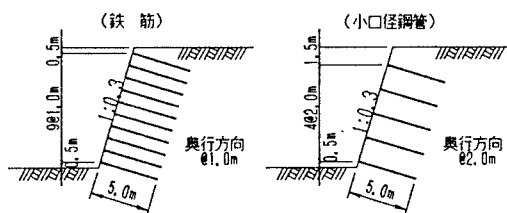


図-1 補強土工配置図

表-2 補強材の配置密度と剛性

	配置密度 (本/m ²)	EA (tf/m ²)	EI (tf・m ² /m ²)	GA_y (tf・m ² /m ²)
鉄筋	0.958	1.019×10^4	4.110×10^{-1}	2.940×10^3
小口径鋼管	0.239	1.436×10^4	2.019×10^1	2.774×10^3

3. FEM解析

図-2の解析条件に対し、Duncan-Changモデルを用いた二次元非線形FEMにより造成過程(1m~10m掘削)~載荷過程(4.0tf~20.0tf載荷)と造成過程~掘り下げ過程(2.0m~6.0m掘削)を解析した。図-3に一例として、造成過程終了時ののり面の水平変位を示すが、補強材によらず同等の変位抑制効果が確認される。

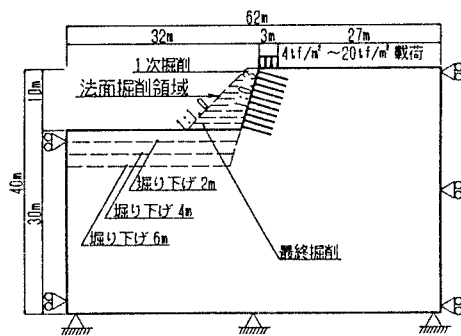


図-2 解析条件図

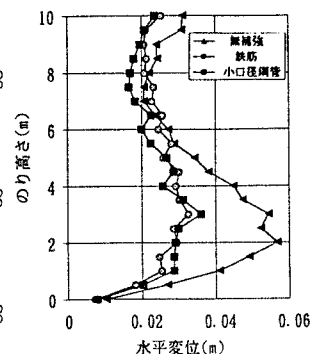


図-3 のり面水平変位

4. ひずみエネルギーによる評価

補強材のひずみエネルギーを表-3に示す式により計算した。ただし、せん断力によるエネルギーは他の断面力によるエネルギーに対して無視できるほど小さいので以後省略する。図-4に鉄筋1本当たりに換算した軸力、曲げモーメントによるひずみエネルギーをそれぞれ造成~掘り下げ過程と載荷過程について示す。

表-3 補強材のエネルギー

断面力	エネルギー
軸力	$N^2 L / 2EA$
曲げモーメント	$(M_i^2 + M_i M_j + M_j^2) L / 6EI$
せん断力	$Q^2 L / 2GA_s$

ここに、E：弾性係数 A：断面積 L：部材長 N：軸力
 A_s ：せん断断面積 I：断面2次モーメント
 M_i, M_j ：曲げモーメント Q：せん断力
 $G = E / 2(1 + \nu)$ ν ：ポアソン比

図中のFsは円弧すべり計算法でのすべり安全率を示し、%表示している数字は全体のエネルギーに対する各エネルギーの負担率を示す。造成過程では、軸力によるエネルギーが曲げによるエネルギーに対して大きい、変位の増大に伴い全体のエネルギーに対する曲げのエネルギーの分担が増大し、造成終了時(Fs=1.2)には25%になる。また、掘下げ過程(Fs≤1.2)の軸力によるエネルギーは約70%であるが、載荷過程(Fs≤1.2)では軸力によるエネルギーが曲げによるエネルギーに対して大きくなり、その負担率が20tf載荷時(Fs=0.64)では97%まで増大する。

図-5に小口径鋼管1本当たりのひずみエネルギーを示す。造成過程では曲げによるエネルギーが軸力によるエネルギーに対して大きく、造成終了時では負担率が87%にもなる。また、掘下げ過程において曲げによるエネルギーは造成過程に引き続き増加するが、軸力によるエネルギーはほとんど増加しない。一方、載荷過程では軸力によるエネルギー増加割合が大きく、20tf載荷時(Fs=0.65)では曲げと軸力によるエネルギーが同程度になる。

また、鉄筋と小口径鋼管ともに軸力のエネルギーは、掘下げ過程よりも載荷過程の方が増加が安全率の低下(1.2≥Fs≤0.6)に伴い大きい。一方、曲げモーメントによるエネルギーは、載荷過程よりも掘下げ過程の方が増加が大きい傾向がある。

5. まとめ

鉄筋に関しては、軸力によるエネルギーが卓越することから軸力のみ考慮している従来の設計法の妥当性がほぼ確認されたが、造成終了時(Fs=1.2)の曲げのエネルギーの割合が25%もあり無視できないと考えられる。また、小口径鋼管では曲げによる負担が大きいことと、同じ補強材であっても荷重形態によって各断面力によるエネルギーの負担率が異なることから、補強材の剛性と荷重形態の違いが荷重抵抗機構に影響していることが確認された。したがって、それらを考慮した設計法を検討する必要があると考えられる。

参考文献：小竹望、山村浩介：地山補強土工のひずみエネルギーによる評価、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第3部(B), PP. 1616~1617, 1994

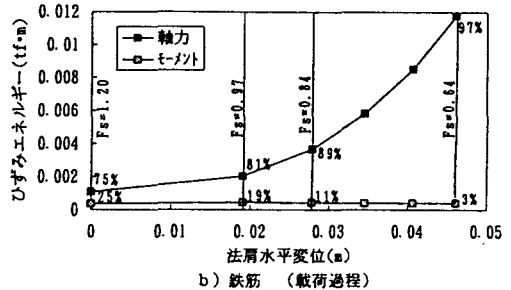
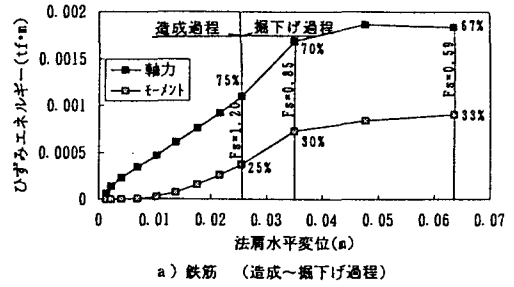


図-4 鉄筋1本当たりのひずみエネルギー

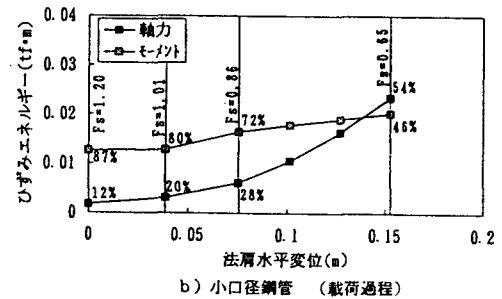
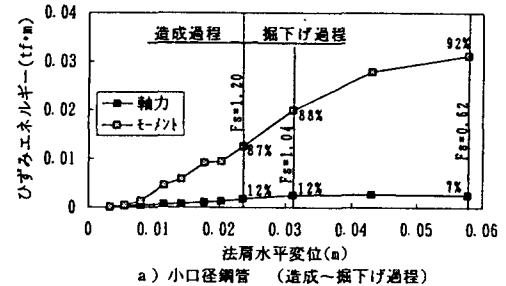


図-5 小口径鋼管1本当たりのひずみエネルギー