

III-813

地山補強土工のひずみエネルギーによる評価

東洋建設(株) 正会員 小竹 望

山村 浩介

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、一般的な設計法は補強材の軸抵抗力あるいはせん断抵抗力を用いて計算されているため、補強材の剛性の違いについては考慮されていない。本文は、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各材料の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

地山補強土工法における補強材として、従来の鉄筋および小口径鋼管とした場合について比較検討を行った。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、円弧すべり計算法による安全率が同等（ $F_s = 1.20$ ）となるよう下式を用いて補強材の配置を決定した。

$$F_s = \frac{\sum (C \cdot l + W \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi) + \sum T \cdot \cos \beta}{\sum W \cdot \sin \theta}$$

同式では、補強材の抵抗力として、すべり面方向の抵抗（ $T \cos \beta$ ）のみを考慮している。勾配1:0.3、のり高10mの切土のり面に関する計算の結果、図-1に示すように、補強材は斜面直角方向に長さ5.0mで設置し、鉄筋の場合では、のり高・奥行き方向とも1m間隔で10段、小口径鋼管の場合では、のり高・奥行き方向とも2m間隔で5段の配置である。表-2に、補強材の配置密度とのり面の単位面積当たりの各剛性を示す。

3. FEM解析

図-2の解析条件に対し、二次元線形弾性FEMにより造成過程（1次～最終掘削）、載荷過程および掘り下げ過程を解析した。図-3に一例として、20tf載荷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得られていることが確認される。

4. ひずみエネルギーによる評価

補強材、地山要素のひずみエネルギーを表-3に示す式により計算した。

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		$E = 5,000 \text{ tf/m}^2$ $\nu = 0.40$ $C = 0.5 \text{ tf/m}^2$ $\phi = 35.0^\circ$ $\gamma = 1.9 \text{ tf/m}^3$

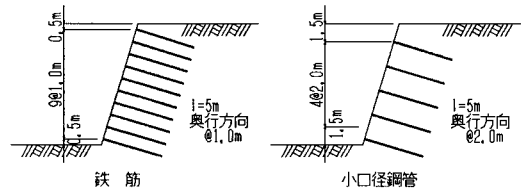


図-1 補強土工配置図

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

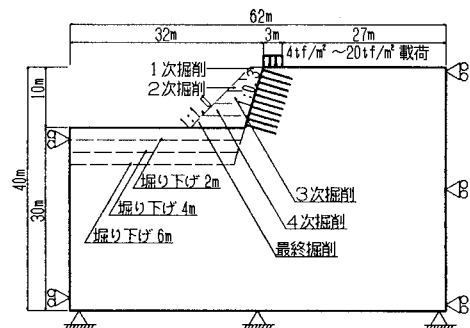


図-2 解析条件図

表-3 各材料のエネルギー

材 料	要 素	エ ネ ル ギ ー	
		体積ひずみエネルギー	せん断ひずみエネルギー
地 山	平面要素	$(-J2'/2G)V$	$(\sigma_m^2/2K)V$
補強材	ビーム要素	$2L/2EA+(Mi^2+MiMj+Mj^2)L/6EI+Q^2L/2GAs$	

ここに、 $-J2'=\sigma_1'\sigma_2'+\sigma_2'\sigma_3'+\sigma_3'\sigma_1'$, $\sigma_i'=\sigma_i-\sigma_m$, $\sigma_m=(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)/3$
 $K=E/3(1-2\nu)$, $G=E/2(1+\nu)$

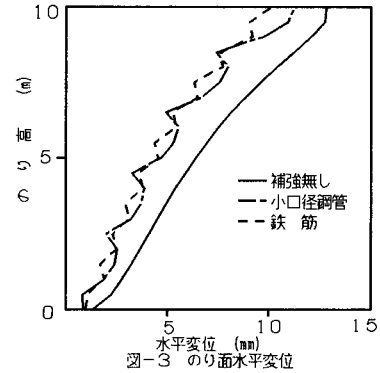


図-3 のり面水平変位

図-4は、造成、載荷過程の補強材1本あ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示したものである。小口径鋼管に比べ鉄筋の場合は、曲げモーメントによるひずみエネルギーの全体に対する比率が、非常に大きくなっている。これは、曲げ剛性が小さく、地山の変形により大きい曲げモーメントが発生した結果であり、鉄筋では造成完了時以降、発生応力度は非常に大きくなり、補強材が有効に作用しないことが考えられる。また、小口径鋼管における軸力によるひずみエネルギーの全体に対する比率は $Fs \geq 1.2$ のとき30%程度で、 $Fs < 1.0$ の時50%以上となり、剛性が高い補強材を使用すると $Fs < 1.0$ の領域でも軸力の負担率が大きく、発生応力度からも補強材は有効に作用していると考えられる。こうした結果は、補強材の剛性の違いによる荷重抵抗機構の差異を現していると考えられ、荷重抵抗機構の差異を考慮した設計法を検討する必要がある。

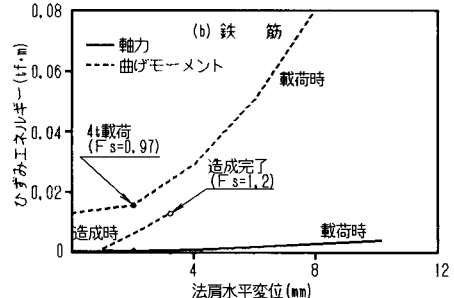
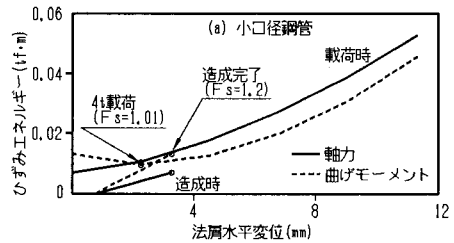


図-4 補強材1本あたりのひずみエネルギー

図-5は、造成、載荷過程の補強材を挿入した領域の地山のひずみエネルギーの合計を示したものである。補強材を入れることにより、この領域の体積ひずみエネルギーは増加し、せん断ひずみエネルギーは減少している。また、この効果における補強材の剛性による差は小さい。一般に等方性物質の降伏は、体積変化によることはなく形状変化によるため、地山が安定性を増していることがわかる。

5. まとめ

剛性の異なる補強材を用いた場合の地山補強効果について解析を行い、各材料のひずみエネルギーによる評価を行った。その結果、本検討の範囲では地山の変位抑制効果はほぼ同等であるが、補強材の剛性の違いにより、補強材の荷重抵抗機能に差異があることが確認された。今後は、地山、補強材の非線形性を考慮し、検討を進める方針である。

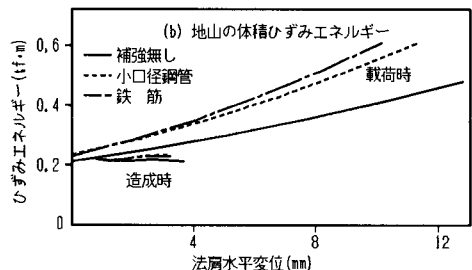
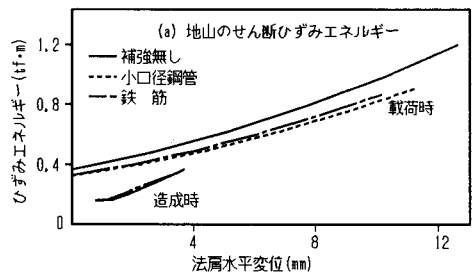


図-5 補強領域の地山のひずみエネルギー