

鋼製チェーンと鋼製フレームで補強した急勾配高盛土の施工

(株) タジマ工業 田中和雄, 正 ○北村明洋  
 (財) 地域地盤環境研究所 正 福田光治, 早川清, 下野段朋恵

1. はじめに

本研究で対象とする斜面補強工は鋼製チェーンの引張り力と鋼製フレーム枠を用いた壁面工から構成され、スリットウォール工法と呼ばれるものである。補強工のメカニズムは既存のテールアニメやジオグリッドのように補強材と土の摩擦力によって発揮される引張り力を期待する設計思想と同じである。しかし、チェーンは凹凸状の棒材で、かつ引っ張りひずみ小さいので盛土を拘束する効果は大きい。本研究はこの設計法を整理するとともに、急勾配高盛土への適用例を示したものである。

2. 補強工の設計

チェーンと土の相互作用としての引張り力は井上らの砂による室内試験結果を基礎データにして、チェーン1個の抜け出し時の極限支持力から誘導されている<sup>1)</sup>。図-1は井上らが用いたチェーンに作用する極限力の構成因子を示している。式(1)はチェーン引き抜き抵抗力の構成、式(2)はチェーン筋周辺に作用する摩擦力、式(3)はチェーン筋に内包される土砂のせん断抵抗力、式(4)はチェーン筋前面に作用する受働土圧である。設計はチェーン筋の抵抗力に横手方向鉄筋の支圧抵抗力なども加えられるが、本研究ではこの効果には触れない。

$$F_f = F_1 + F_2 + \mu \cdot F_3 \quad (1), \quad F_1 = A_0 \times (\sigma_v + K_0 \cdot \sigma_v) / 2 \times \tan \phi / 2 \times N \quad (2)$$

$$F_2 = 2 \times A_i \times \sigma_v \times \tan \phi \times N \quad (3), \quad F_3 = \sigma_v \times K_p \times (B - D) \times D \times N \quad (4)$$

$F_f$ : チェーンの引き抜き抵抗力,  $F_1$ : チェーン筋の周辺摩擦力,  $F_2$ : チェーン筋に内包される土砂のせん断抵抗力,  $F_3$ : チェーン筋全面の支圧抵抗力,  $A_0$ : チェーン筋の表面積 (1個あたり),  $A_i$ : チェーン筋内の面積,  $B$ : チェーン筋1個当たりの幅,  $D$ : チェーン筋径,  $\sigma_v$ : 垂直力,  $K_0$ : 静止土圧係数 ( $=1 - \sin \phi$ ),  $K_p$ : 受働土圧係数 ( $=(1 + \sin \phi) / (1 - \sin \phi)$ ),  $\phi$ : 内部摩擦角,  $\mu$ : チェーン筋前面に作用する支圧抵抗係数 ( $=1.7 \sim 2.5$ ),  $N$ : チェーン筋の個数である。この式ではチェーンは完全に土で満たされることを前提としており、砂や粘土のような土では満足されるかもしれない。しかし、粒子が大きな土に適用される場合はチェーン内部が土で満たされない条件も生じうる可能性があり、井上らの式の適用条件を狭めてしまう。このためチェーン抜け出し時の極限状態を前提にすると、チェーンの個々の形状ではなく、図-2に示すように筒状の抜け出しになり、その直径は土とチェーン形状および相互作用としてのダイレイタンスーで決まるとする。

式(5)~(6)が本研究における提案式である。本研究ではこの式によって井上らによる提案式を評価することを試みた。

$$F_f = \pi B \times \beta \times \text{長さ} \times \tan \phi' \times (1 + K_0) / 2 \times \sigma_v' \quad (5)$$

$$\alpha = \beta \times (1 + K_0) / 2 \quad (6)$$

ここに  $F_f$ : 基礎成分となる外周の摩擦力,  $K_0$ : チェーン外周に作用する平均的な土圧で、井上らの方法と同じように Jaky 式で算定することにする。  $\beta$ : チェーン外周のすべり面の広がり、井上らのモデルに対する本モデルの違いの2因子を総合的に補正する係数とする。  $\alpha$ : チェーン筋周辺の土圧の補正も含めた全体的な補正係数である。井上らの設計法との関係を調べるために、内部摩擦角を変数として、井上らの引き抜き抵抗力に近似的に等しくなる補正係数  $\alpha$  に関して調べた。図-3はその近似度を示し、対応する補正係数  $\alpha$  を図-4に示した。

ジオシンセティック, 補強土, 斜面安定, 引抜き抵抗力, 設計  
 和歌山市船所 11 番地 12 号, Tel 073(452)3571, Fax 0738(453)1743

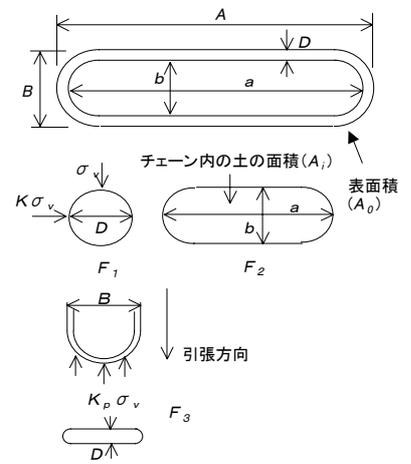


図-1 井上らのチェーン抵抗モデル

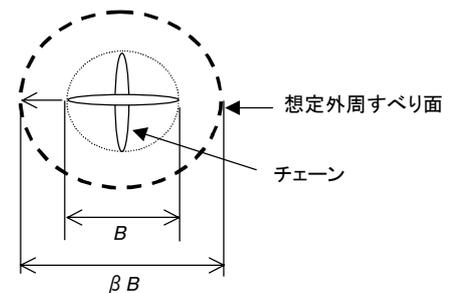


図-2 外周方式モデル

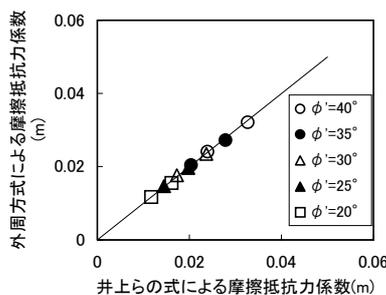


図-3 井上らの式と外周方式

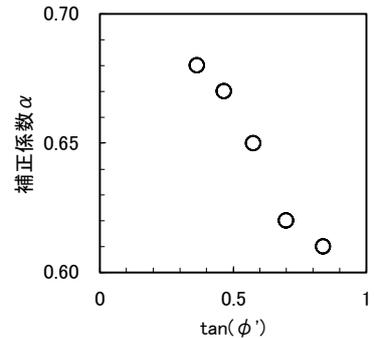


図-4 内部摩擦角と補正係数  $\alpha$

表-1 チェーン筋の主な形状

チェーン筋直径(mm)	6	8
チェーン筋の幅B(cm)	1.5	2.0
チェーン筋長さA(cm)	3.6	4.8
チェーン筋の表面積A <sub>0</sub> (cm <sup>2</sup> )	12.11	22.62
チェーン筋内の面積A <sub>i</sub> (cm <sup>2</sup> )	1.986	3.531

検討したチェーンの概略的な形状を表-1に示した。引き抜き抵抗力を  $F$  とすると、 $(F/\sigma v)/\text{長さ}$  のように正規化している。図より補正係数  $\alpha$  は内部摩擦角の関数になり、内部摩擦角が小さくなれば、補正係数は大きくなることを示している。また図-5は式(6)から土圧係数を考慮して求めた補正係数  $\beta$  から得られる換算円の外周と、チェーン筋の外周長の比を示している。ここにチェーン筋外周長は  $L=4B, 2(B+D)$  で計算し、前者を十字型、後者を平板型として概略的に求めた。図より、内部摩擦角が大きくなれば換算円直径は増加することを示している。実際にはチェーン筋は交差して連鎖しているので十字型と平板型の平均的な値になると考えると補正係数  $\beta$  としては約 0.8 程度が考えられる。また  $\phi 6\text{mm}$  と  $\phi 8\text{mm}$  ではチェーン筋の径によらず補正係数  $\beta$  は内部摩擦角だけで決まることを示している。一般にテールアルメやジオグリッドと土の相互作用としての摩擦力は材料の外周に作用することを仮定している。井上らの提案式も上記の解釈をすれば同様な思想になることを示した。しかしこの外周の評価はダイレイタンシーに依存していることが予想され、チェーン筋の場合はチェーンと周囲の粒径の相互作用としてダイレイタンシーが大きくなり滑り面が拡大することが期待される。しかし、土質～チェーン径～ダイレイタンシー係数の関係は今後の課題である。

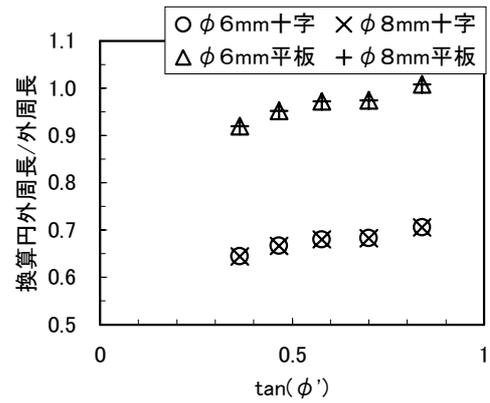


図-5 換算円外周長とチェーン筋外周形状長の比

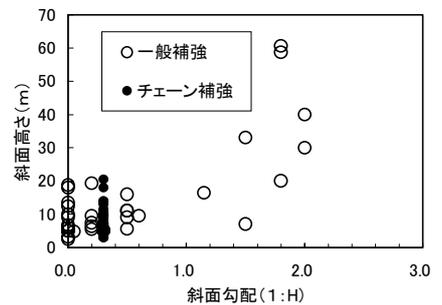


図-6 斜面補強と勾配の実績

3. 斜面補強土の実績

図-6は文献などから整理した補強された斜面高さや勾配の実績及び鋼製チェーンによる補強実績を示している。実績ではいずれも斜面高さ約20m, 斜面勾配 1:0.3~1.1 程度が多く、チェーンによる斜面補強の実績も一般的な傾向にあることを示している。

4. 急勾配高盛土への適用例

図-7は図-6の実績に比べると大規模になる斜面勾配 1:0.3, 斜面高さ約 33.5m の斜面形状と計器の設置位置を示したものである。チェーン張力、鋼製フレーム壁面枠、チェーンに作用する土圧などを測定している。このうちチェーン張力は図-8に示すようにチェーン周囲をできるだけ乱さないように工場で溶接し製作した鉄筋計を設置した。

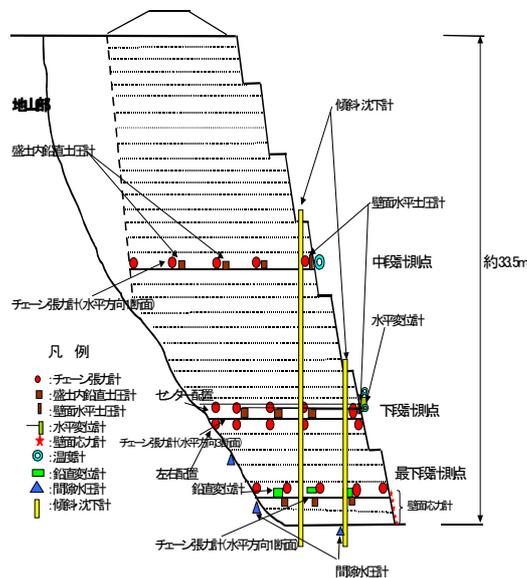


図-7 斜面形状と概略的計器設置図

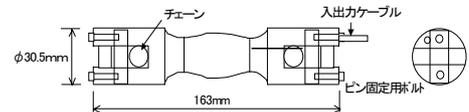


図-8 チェーン張力計

図-9は盛土高さ約 25m の時点までの下段のチェーン張力の経時変化を示したものである。チェーン張力は盛土に伴い増加し、最大約 6kN/本生じていることを示している。

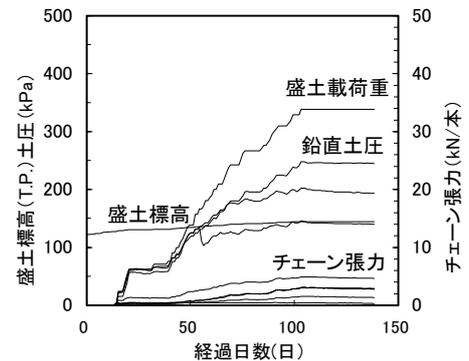


図-9 盛土に伴うチェーン張力

5. おわりに

本論文では鋼製チェーンを使用した斜面補強設計法の整理結果と、斜面高さ約30m, 斜面勾配1:0.3への適用例を示した。しかし土は多様なダイレイタンシー効果を示すので、本論文で示したダイレイタンシー係数の特性や信頼性は確認されていく必要がある。また設計法ではチェーンに作用する摩擦力は土柱重量を基礎にしているため、補強される斜面が大規模化した場合の急勾配高斜面内部の土圧分布にも十分研究していく必要がある。

参考文献 1) 井上治, 小南幸二, 福井崇, 補強土工における砂質土のチェーンの引き抜き抵抗について, 土木学会関西支部年次学術講演会, III-55-1,2, 1998.