

空中運搬を行う場合の 安全な索張りの考え方

キーワード：最大張力、転倒モーメント、破断荷重、安全係数

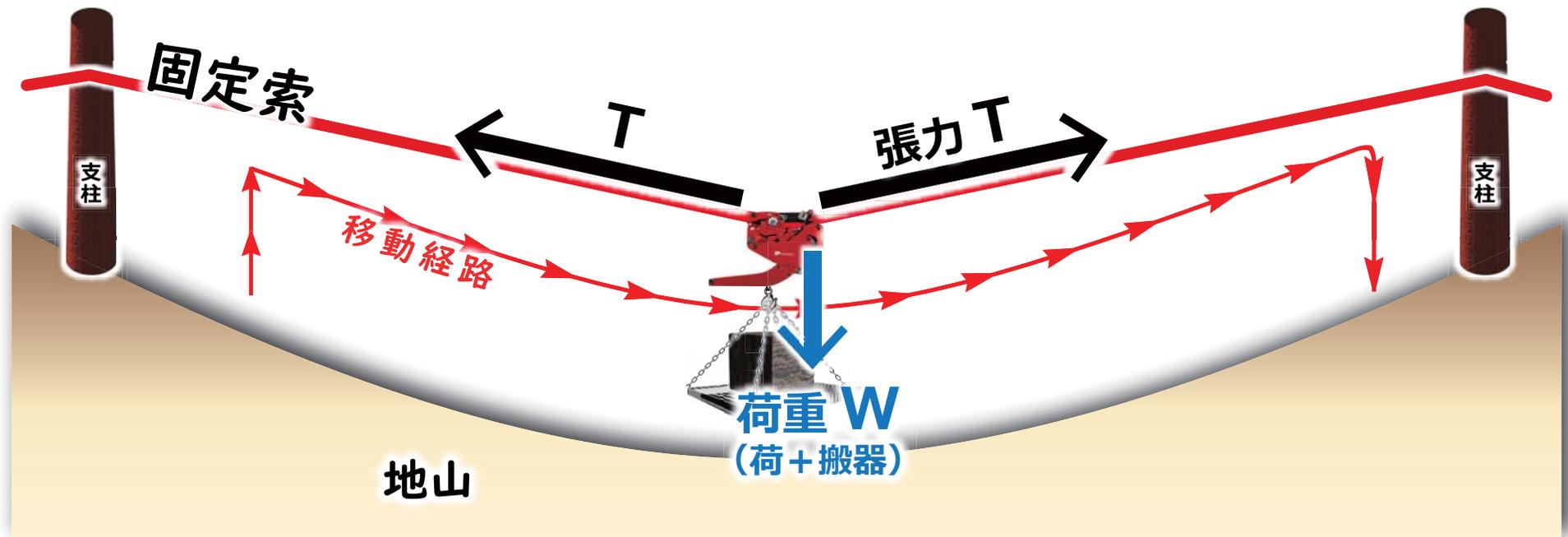
(注) シンプル架線（軽架線）方式を例示して説明しています



←ご参考（弊社ブログ）「支柱の耐力をモーメントで評価する」
<https://www.morinokikai.com/blog-20240421/>

張力 T が最大になるのは？

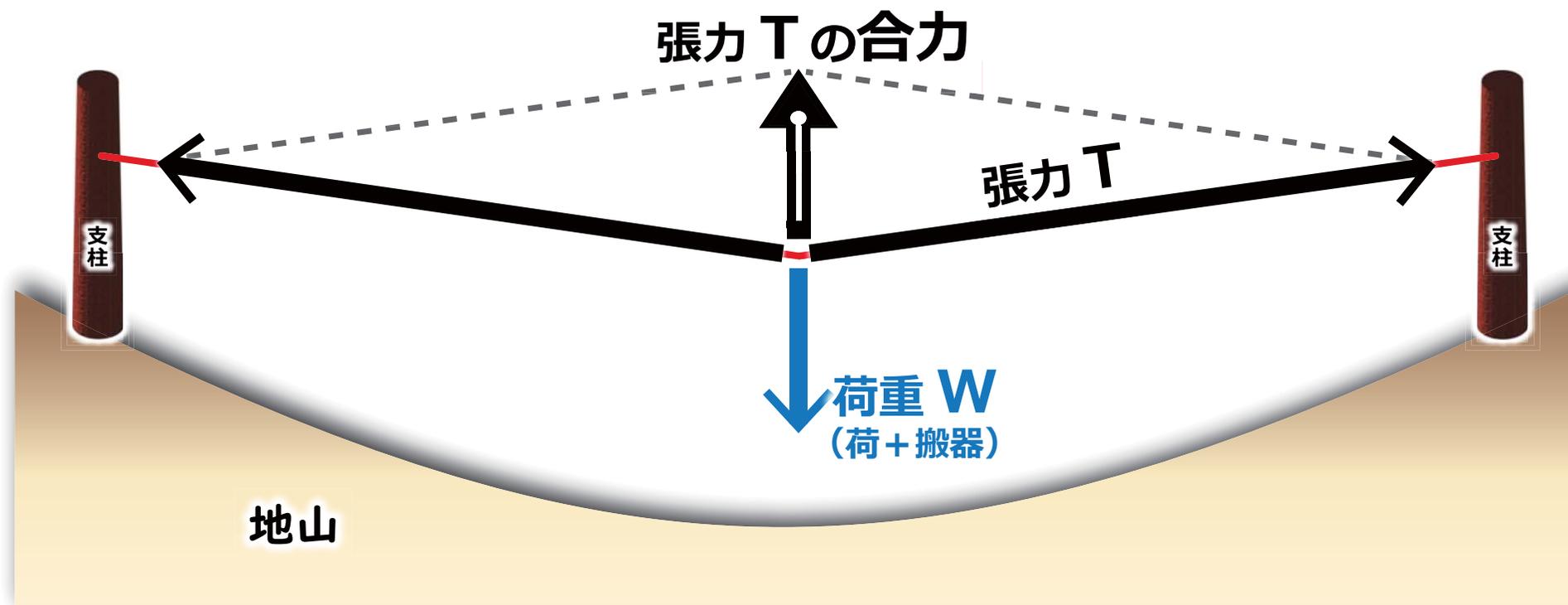
= 荷物が真ん中に来たとき



簡単のため、傾斜ゼロ（水平運搬）で説明していますが、傾斜があるときは割増しが必要

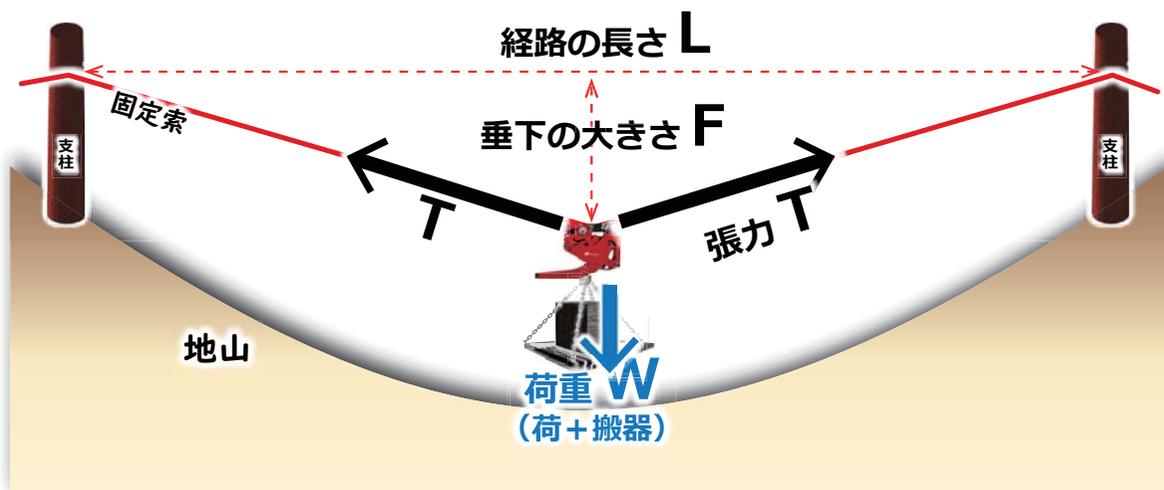
垂下が小さい=固定索を引き締めると、張力 T は大きくなる

張力 T の合力 と 荷重 W は釣り合います



垂下比 F/L を変えると 固定索にかかる張力 T はどう変わるか？

荷重 $W=100$ キロ (kgf) として
張力 T を計算します



垂下比 F/L 張力 T
(kgf、静荷重)

10% → 250 キロ
5% → 500 キロ
3% → 830 キロ

同じ荷物でこんなに変わる

荷重 W の
2 ~ 8 倍

計算式 張力 $T = \text{荷重 } W / 2 \sin(\tan^{-1}(2F/L))$

安全係数をふまえた = 耐力を備えた 固定索ロープの選び方例

荷重 $W=100$ キロを
垂下比 $F/L = 5\%$ で
空中運搬すると
張力 = 500 キロ (静荷重)

運搬中の振動を考慮し

最大張力 **1** トン発生
繰返し荷重 = 静荷重 $\times 2$ と想定

✓ワイヤーロープを使う場合

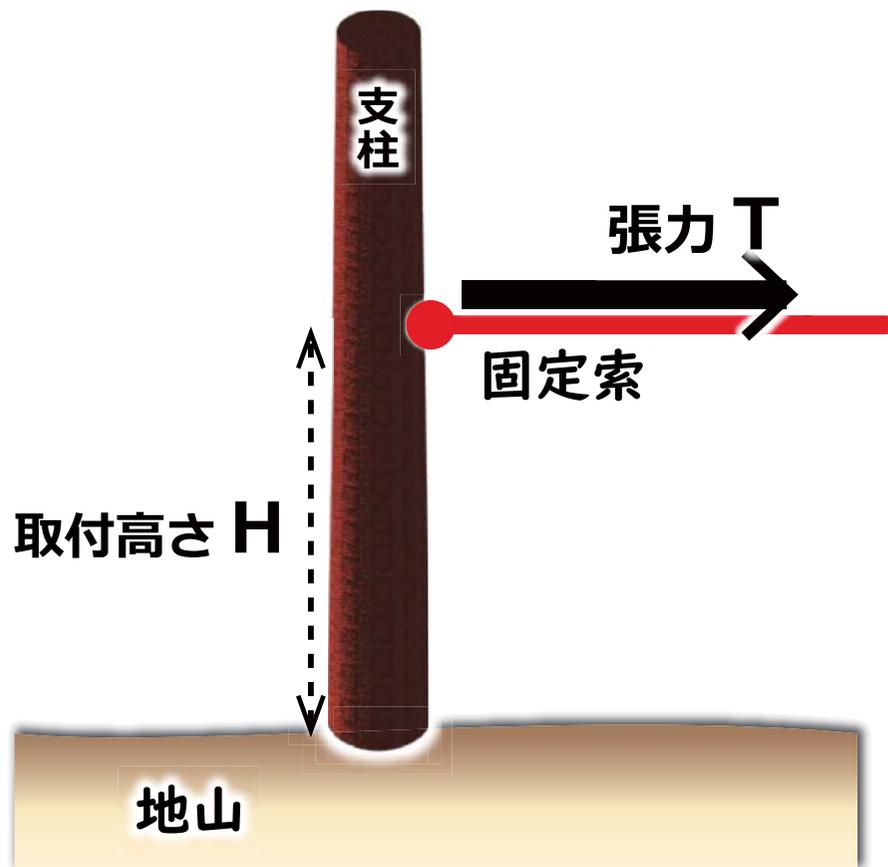
破断荷重 **2.7** トン以上 = 荷重 W の 27 倍
(安全係数 2.7 労働安全規則 151 条)

概ね $\Phi 8$ ミリ以上に相当

✓繊維ロープを使う場合

破断荷重 **10** トン以上 = 荷重 W の 100 倍
(破断前に起きる伸びを防ぐため
余裕を持たせ、安全係数 10 としています)

固定索を高さ H に取り付け
水平方向に引っ張る



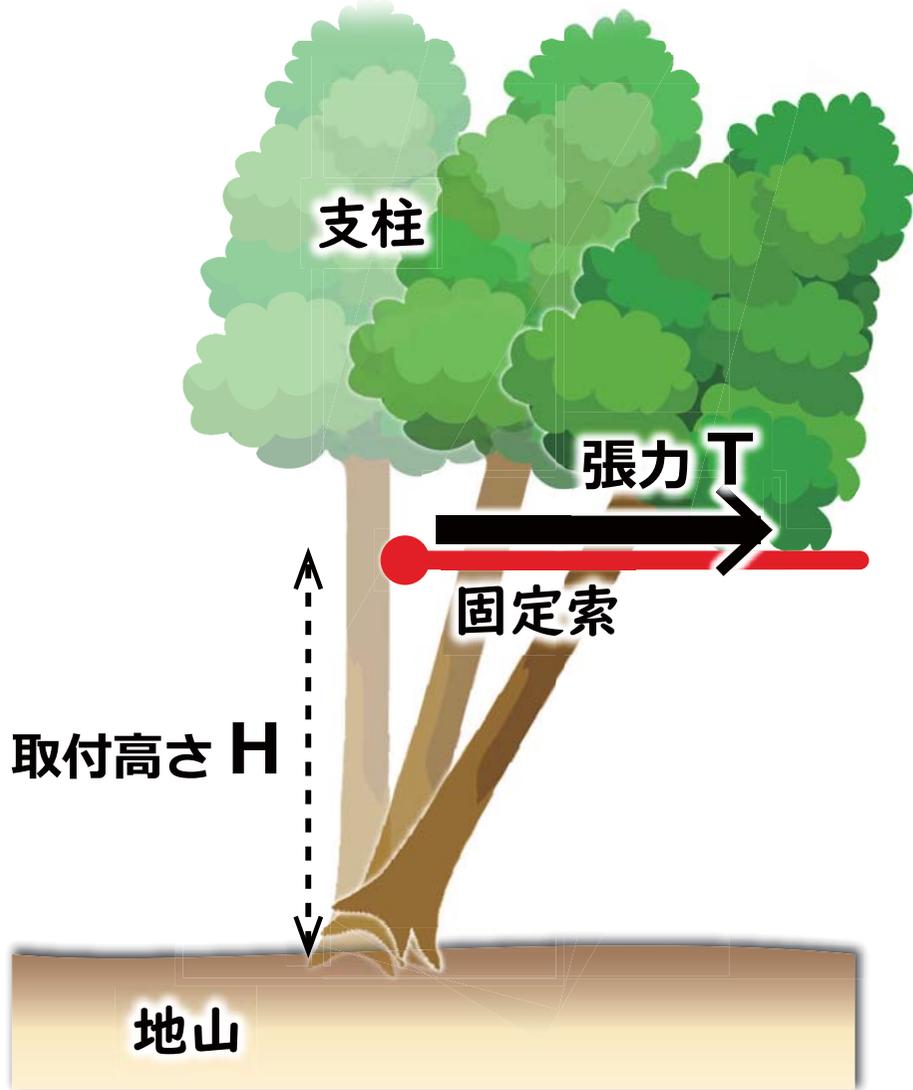
この支柱を**引き倒す力**は
取付高さ H と 張力 T に比例。

モーメント M で表します

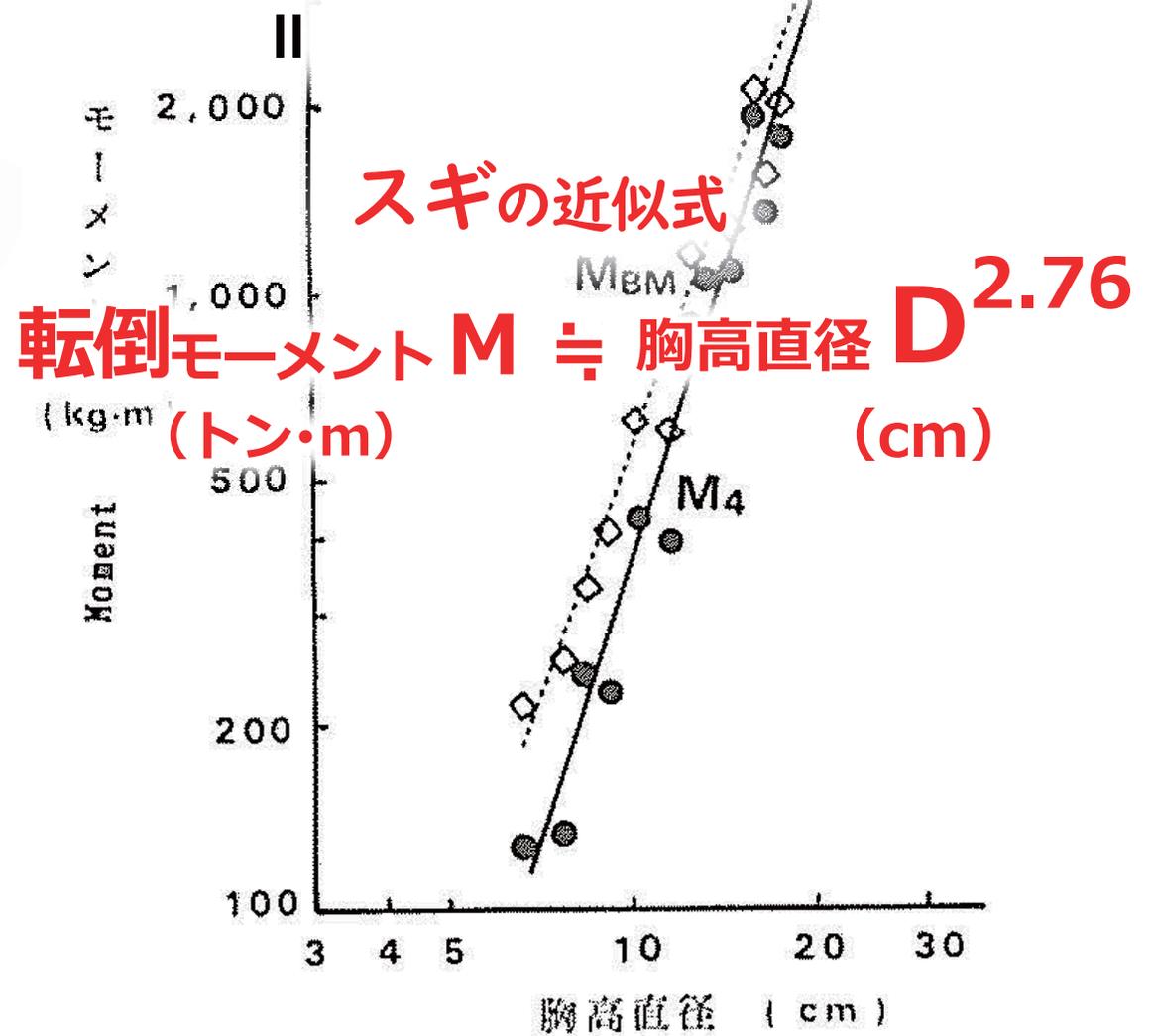
$$\text{モーメント } M = \text{取付高さ } H \times \text{張力 } T$$

単位 [トン・m]

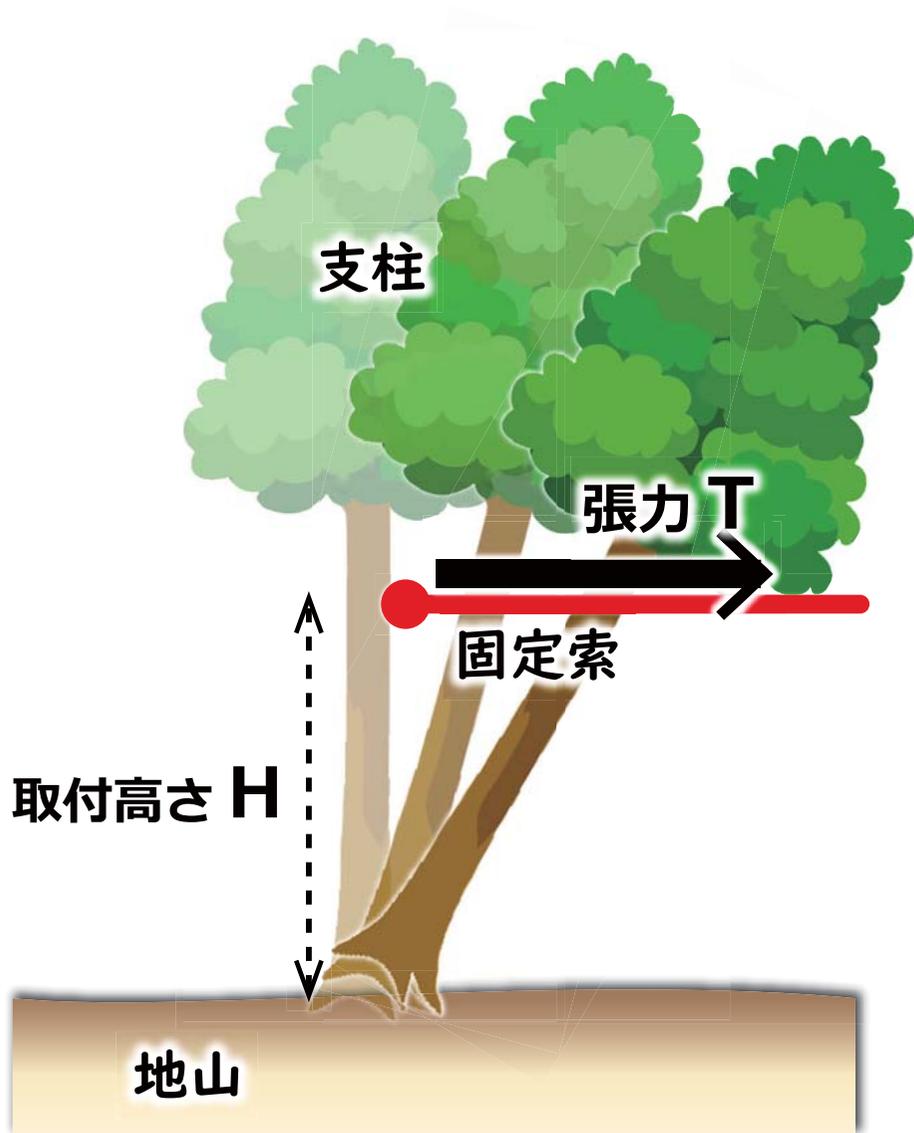
スギを支柱にした場合



根返り・幹折れを起こす限界のモーメント M



「スギ小径木の引き倒し試験の結果」名古屋大学 盛岡昇 北川勝弘 1987年



スギを引き倒す力

これを超えると根返り・幹折れ

胸高直径 D	転倒モーメント M 推定値
15cm	→ 1.8 トン・m
20cm	→ 3.9 トン・m
25cm	→ 7.2 トン・m
30cm	→ 12 トン・m

スギを**引き倒す力**

これを超えると根返り・幹折れ

胸高直径 **D**

転倒モーメント **M**
推定値

15cm → **1.8** トン・m

20cm → **3.9** トン・m

25cm → **7.2** トン・m

30cm → **12** トン・m

高さ何mまでなら倒れないか？
最大張力 $T=1$ トン として判定

取付高さ **H** × 張力 **T**

1m × **1.8** トン ○

2m × **0.9** トン ×

3m × **0.6** トン ×

4m × **0.4** トン ×

5m × **0.3** トン ×

スギを**引き倒す力**

これを超えると根返り・幹折れ

胸高直径 **D** 転倒モーメント **M**
推定値

15cm → 1.8 トン・m

20cm → 3.9 トン・m

25cm → 7.2 トン・m

30cm → 12 トン・m

高さ何mまでなら倒れないか？
最大張力 $T=1$ トン として判定

取付高さ **H** × 張力 **T**

1m × 7.2 トン ○

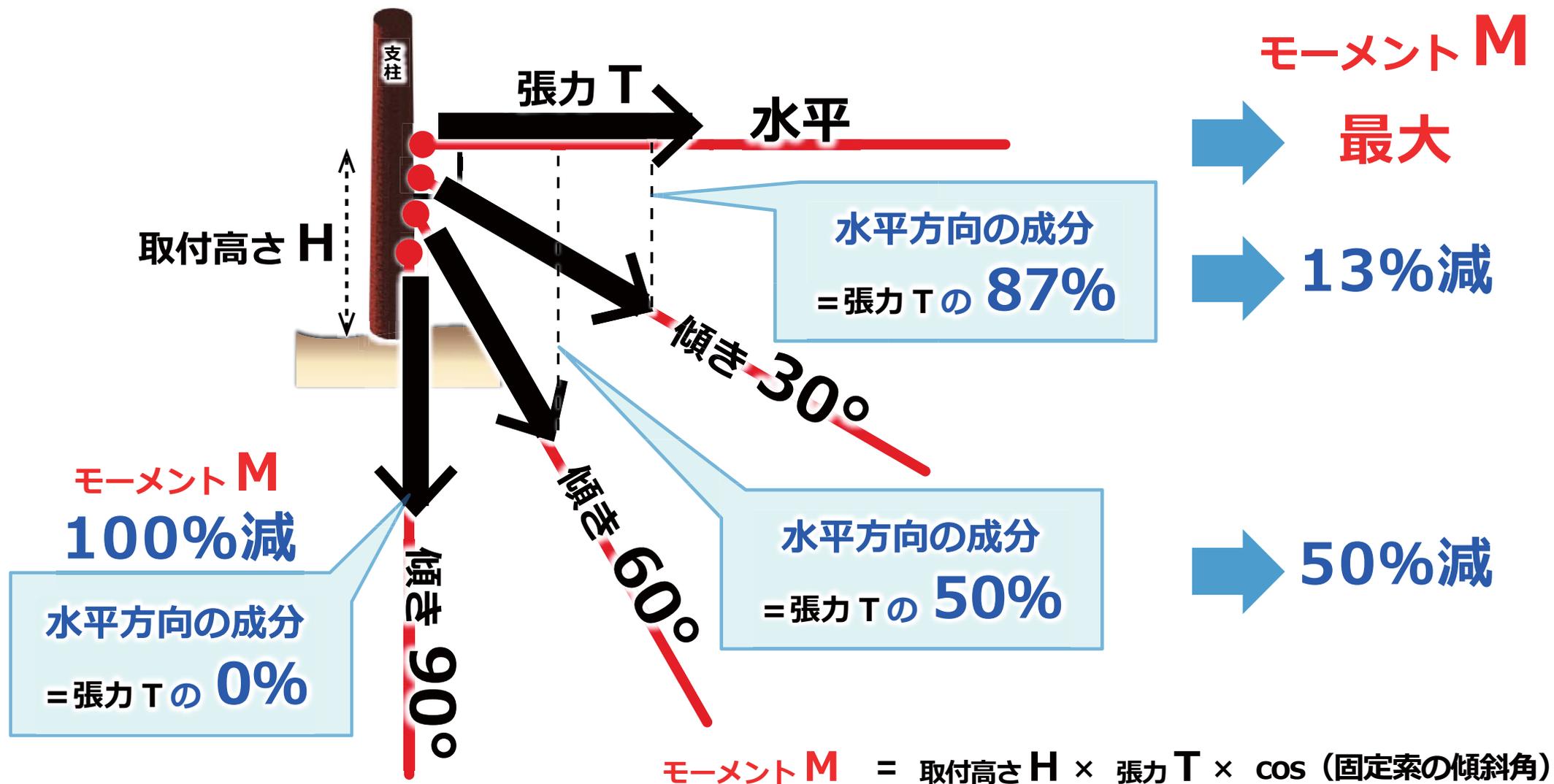
2m × 3.6 トン ○

3m × 2.4 トン ○

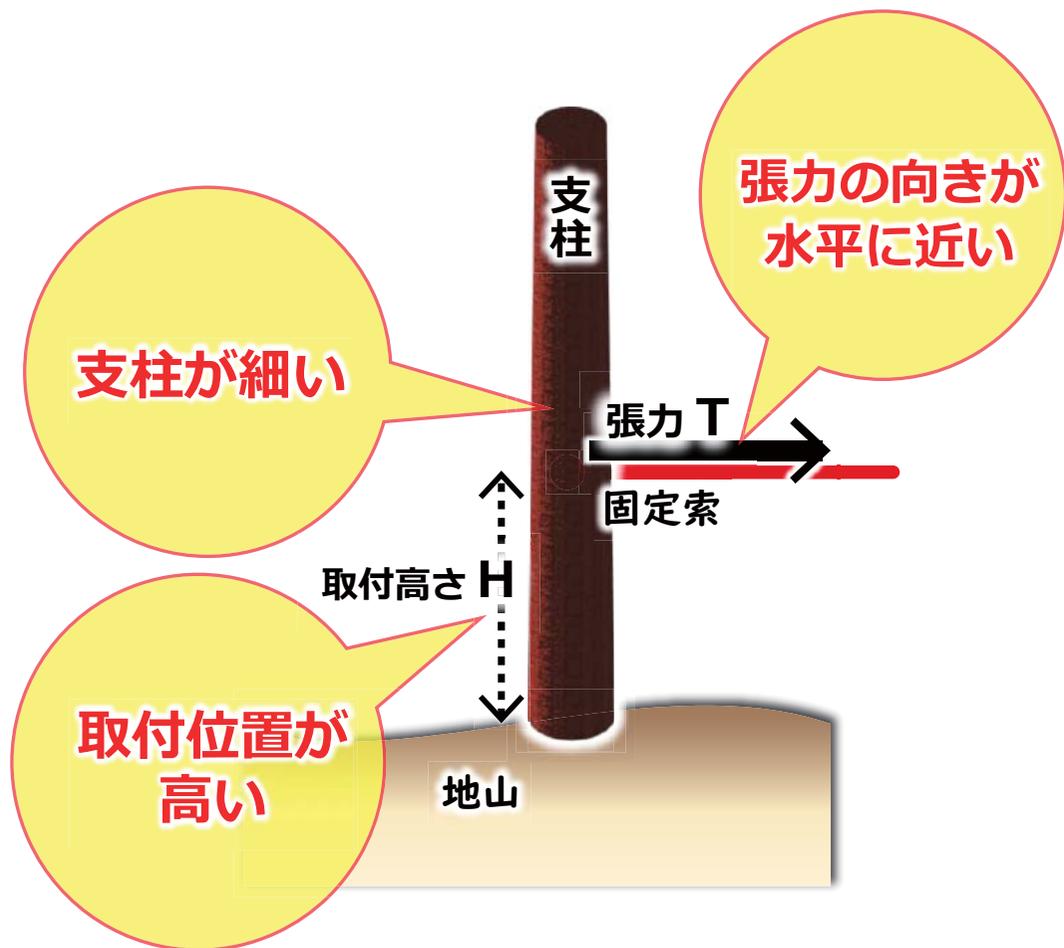
4m × 1.8 トン ○

5m × 1.4 トン ○

(原理) **モーメント M** は固定索の傾きによって増減。水平のときに最大です



支柱が 転倒する不安がある場合

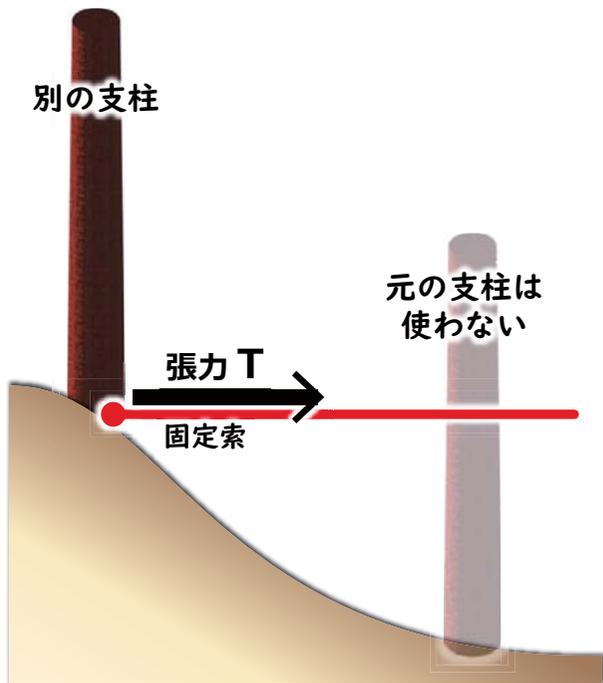


(張り方で対策)

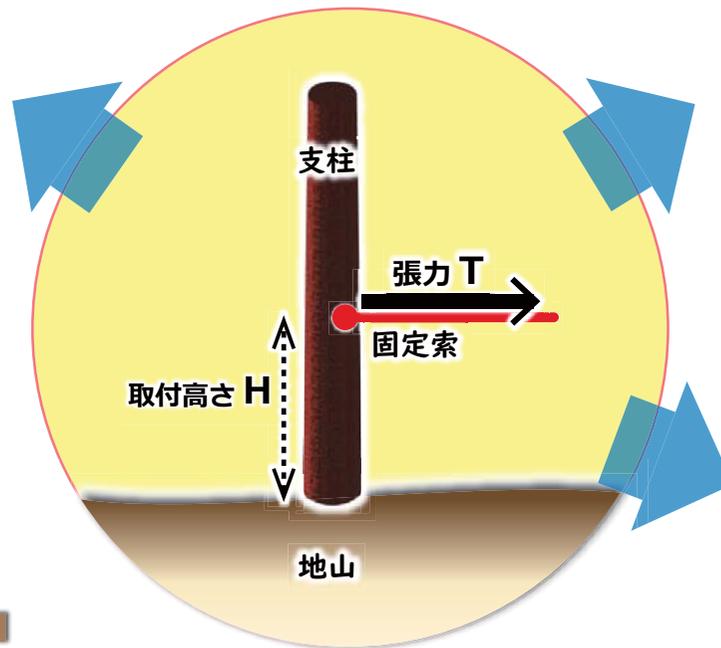
支柱に働く
モーメントを減らし
倒れにくくする

運搬条件 (地上高・荷重)
をキープしたまま!

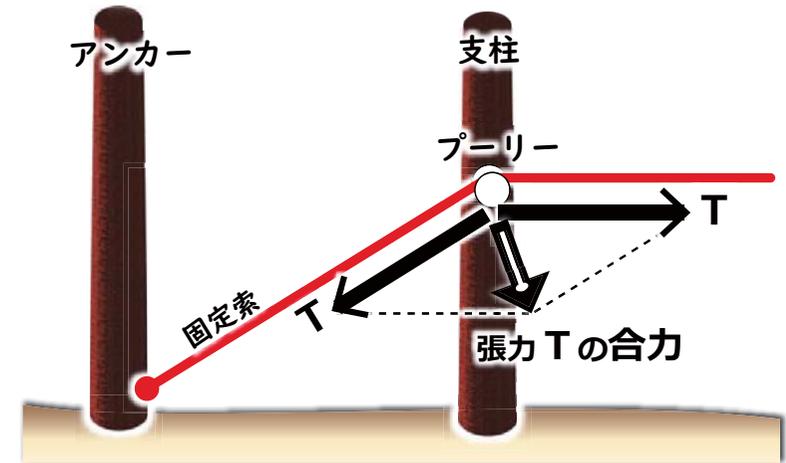
より高い場所の立木を使って
取付高さ H を低くする



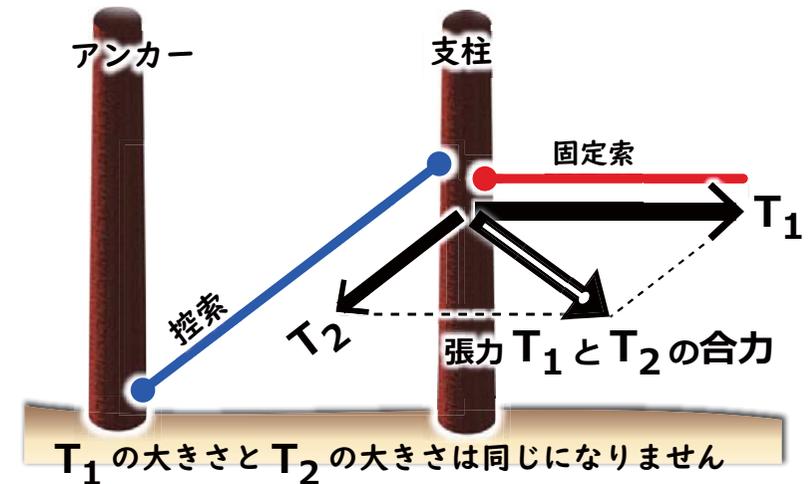
モーメントを減らす 効果的な対策



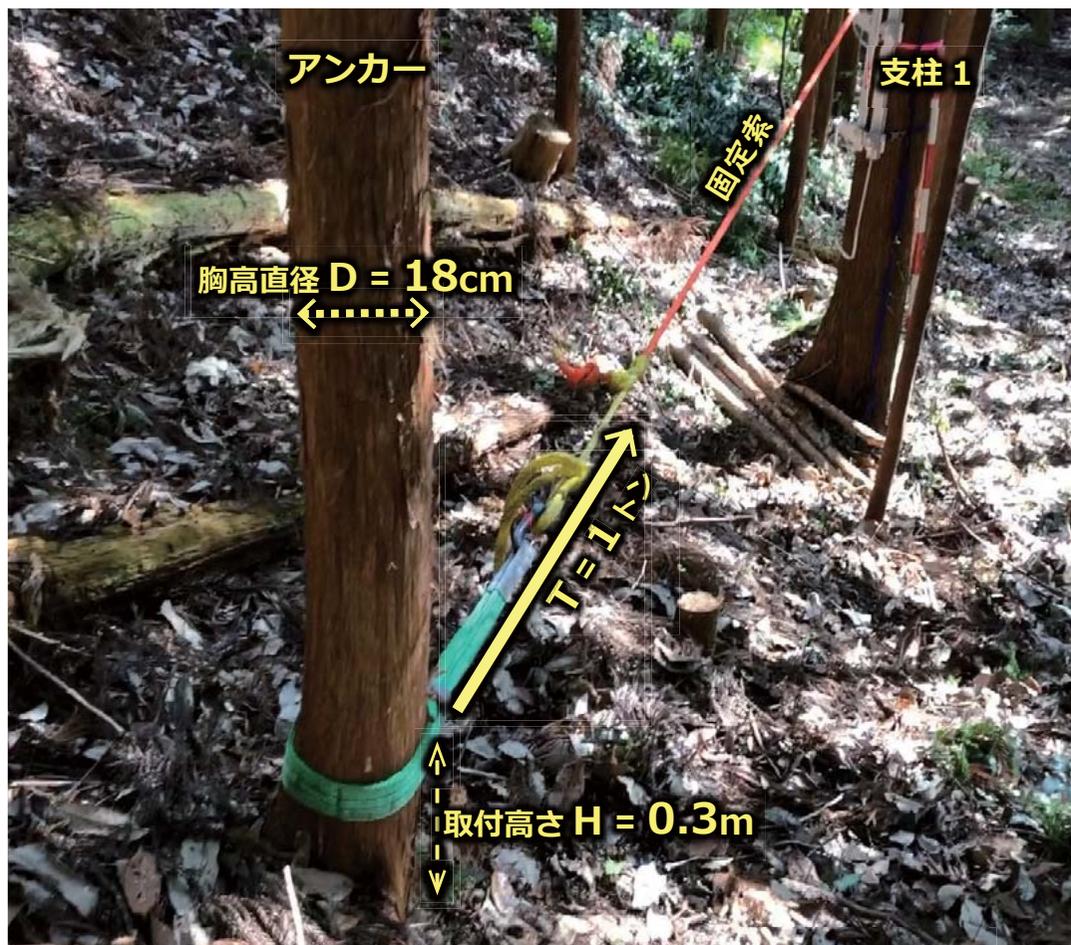
アンカーを使って力を下向きにする



ひかえさく
控索を使って力を下向きにする

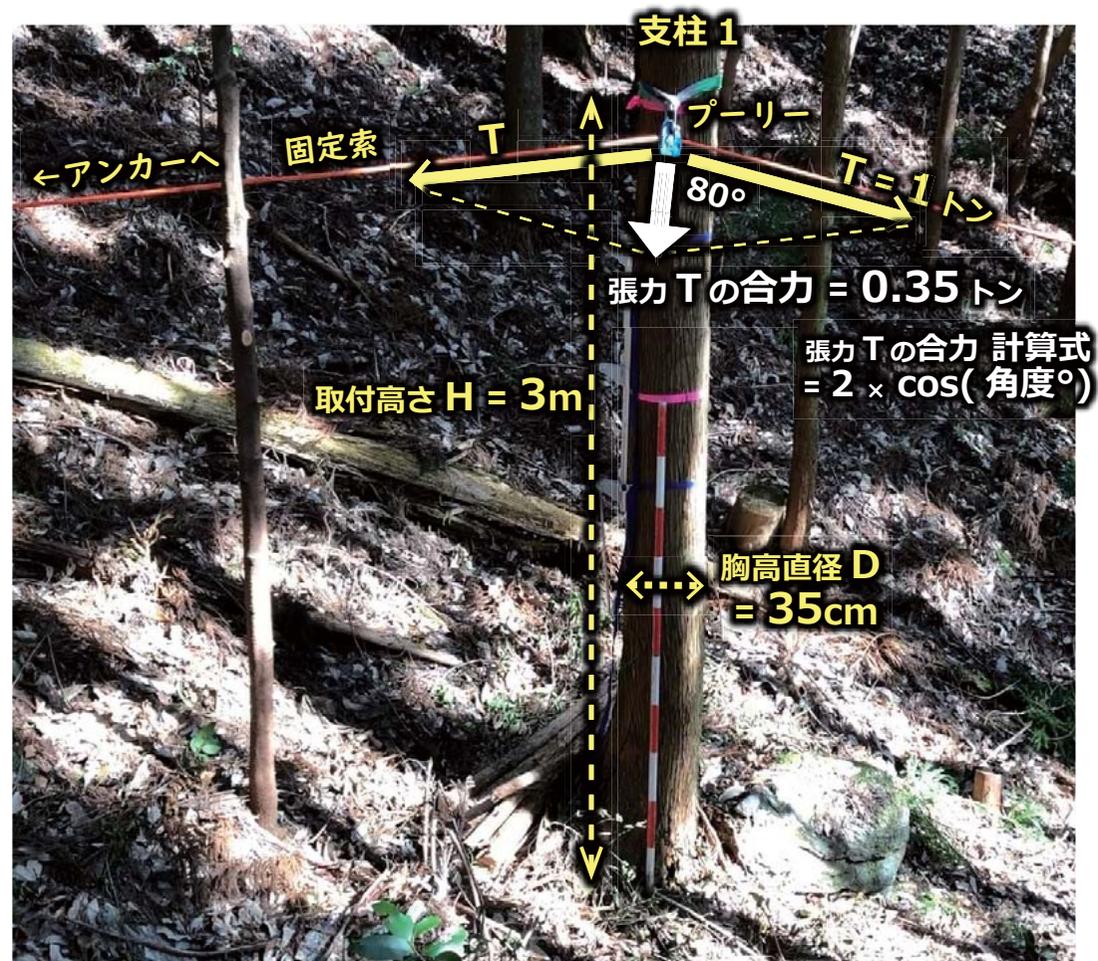


効果的な対策①：アンカーを使った例



このアンカーの耐力：転倒モーメント $M \cong$ 胸高直径 $D^{2.76}$
 $= 2.9\text{トン}\cdot\text{m}$
 実際に働いているモーメント $M = 1\text{トン} \times 0.3\text{m} = 0.3\text{トン}\cdot\text{m}$

固定索の張力 $T = 1\text{トン}$ として計算



この支柱の耐力：転倒モーメント $M = 18\text{トン}\cdot\text{m}$
 実際に働いているモーメント $M = 0.35\text{トン} \times 3\text{m} = 1\text{トン}\cdot\text{m}$ 未満※
 ※合力は下向きのためゼロに近い

効果的な対策②: アンカーを使った例

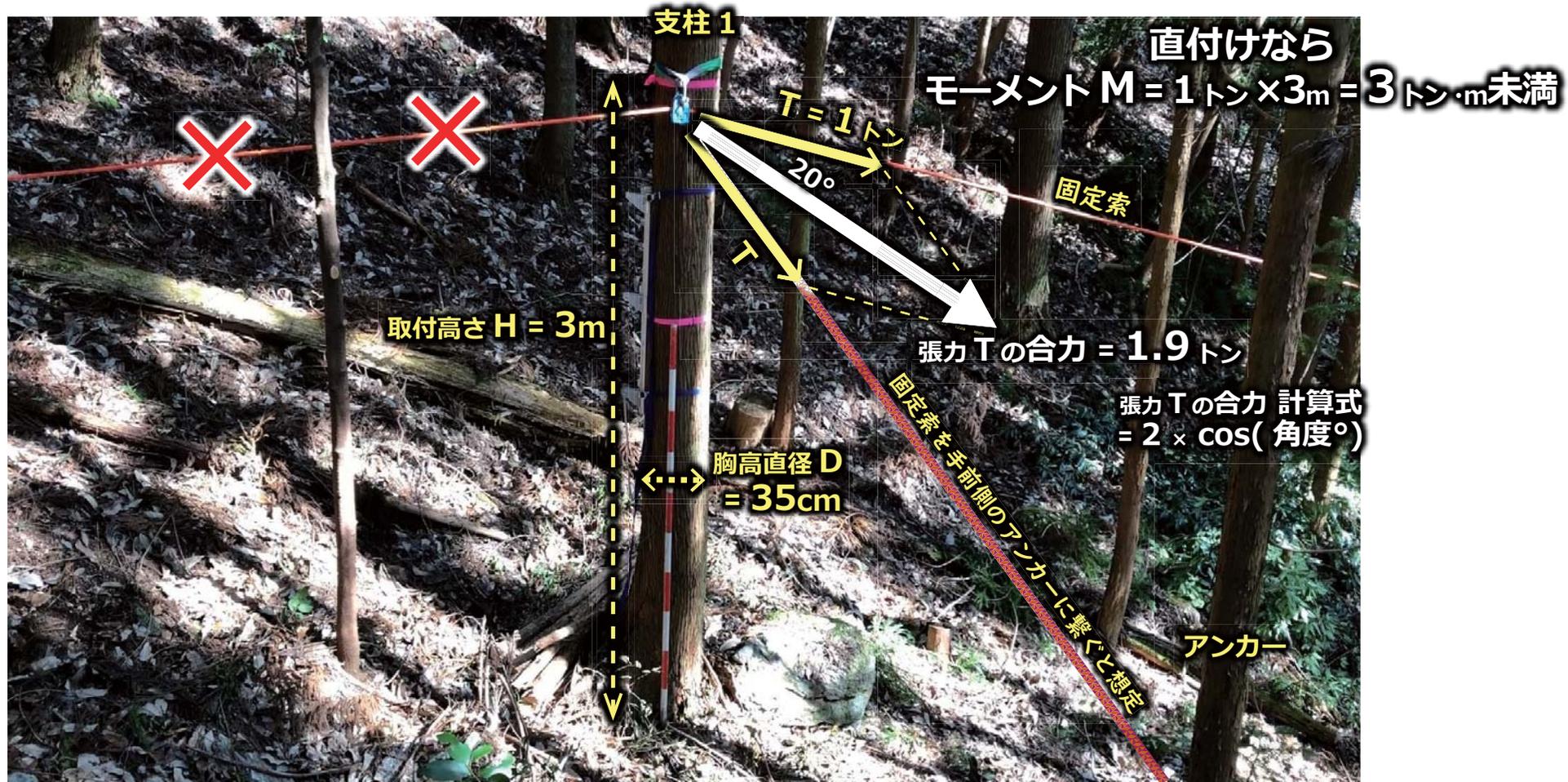
固定索の張力 $T = 1$ トンとして計算



この支柱の耐力: 転倒モーメント $M = 23$ トン・m \cong 胸高直径 $D^{2.76}$

実際に働いているモーメント $M = 0.35$ トン $\times 4\text{m} = 1.4$ トン・m 未満 (合力は下向きのためこれより小さい)

NG 対策例： アンカーを延長方向ではなく、手前方向にとると合力が増大し、転倒リスクが大きくなる



この支柱の耐力：転倒モーメント $M = 18\text{トン}\cdot\text{m}$

実際に働いているモーメント $M = 1.9\text{トン} \times 3\text{m} = 5.7\text{トン}\cdot\text{m}$ 未満 (合力は下向きのためこれより小さい)

索張り例① 支柱の高さを使って地上高を作る



索張り例② 谷地形を使って地上高を作る

