

ダウアリング（ラディッシュアンカー）工法の設計と施工

矢崎 澄雄*

1. はじめに

ダウアリング工法とは、地山補強土工法の中で細長比が小さく、剛性の大きい（300～400mm程度）補強材を地盤内に配置することにより、補強材の引張り抵抗のほか、曲げ抵抗、せん断抵抗および圧縮抵抗によって、地盤の安定性を向上させる工法である。地山補強土工法は、ダウアリングのほか、引張り補強効果のみを期待するネーリング工法（40～100mm）と、これらの中間的な曲げ剛性（100～300mm）および機能を有するマイクロパイル工法とに区別されている。

ラディッシュアンカー工法²⁾は、機械攪拌方式の深層混合処理工法の技術を応用することで、地盤条件などに応じて300～500mm（一般には400mm）の大径の補強体を構築することを可能にしたもので、ダウアリングに区分される。大径であるため、直径比に比例して大きな周面摩擦力が得られることから、盛土や沖積地盤など比較的軟弱な地盤においても効率的な補強を可能とした。

2. ラディッシュアンカー工法の施工方法

ラディッシュアンカー体は、図1に示すように中心部から引張り芯材、セメントミルク層、ソイルセメント層の3層構造となっており、図2に示す掘削攪拌ロッドをバックホー等のアタッチメントに取り付けて、図3の手順にて造成を行うもので、ロッド内に引張り芯材をセットした状態で施工を開始することと、共回り防止翼による攪拌効率の良さが特徴となっている。補強芯材には、D35程度のネジ節異形棒鋼のほか、FRPロッドを使用することが可能である。

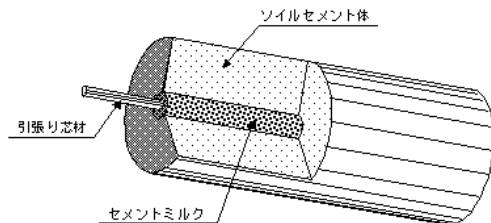


図1 ラディッシュアンカー体の構造概略

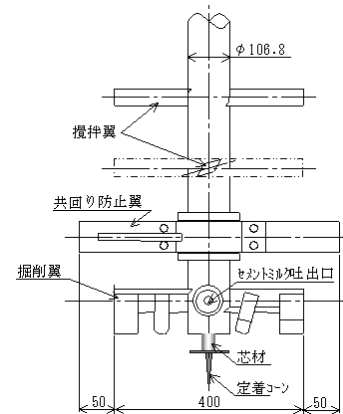


図2 掘削攪拌ロッドの例

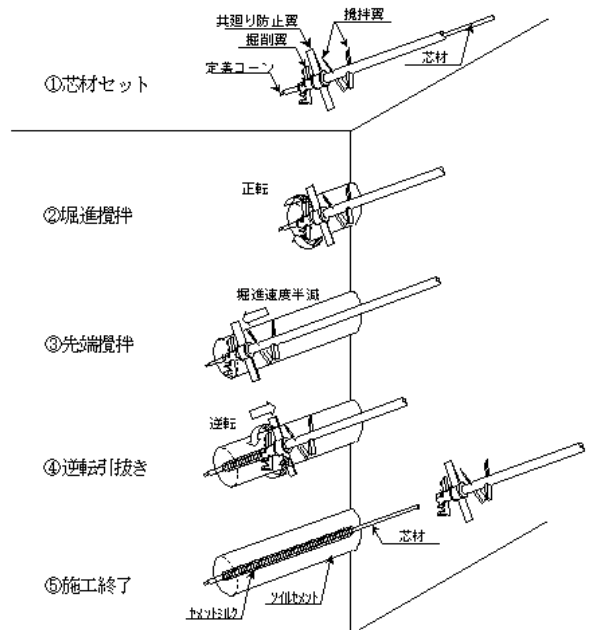


図3 ラディッシュアンカーの施工手順の概略

3. ラディッシュアンカー工法の適用範囲

ラディッシュアンカーは、ネーリング工法と比べ大径であるため、その合理的な補強効果を生かして、既設盛土のり面や地山の急勾配化（図4）、掘削土留工の支保工としての適用（図5）、既設のり面の降雨・耐震補強（図6）への適用のほか、既設擁壁の耐震補強などにも適用

*YAZAKI Sumio、株式会社複合技術研究所 技術部 次長・東京都千代田区飯田橋4 - 6 - 9（ロックフィールドビル6F）

されており、鉄道では設計標準³⁾や手引き⁴⁾等でもラディッシュアンカー工法の設計・施工が標準化されている。

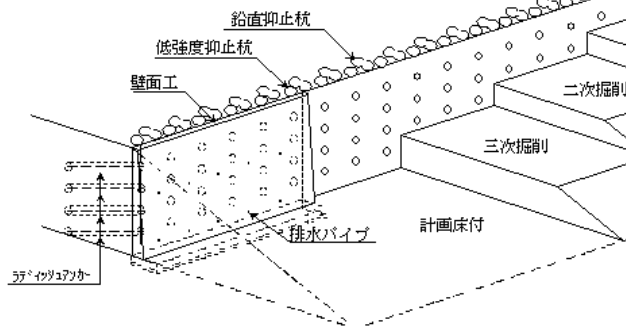


図4 既設盛土のり面や地山斜面の急勾配化

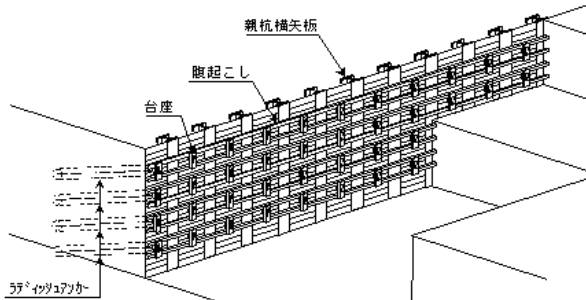


図5 掘削土留工の支保工

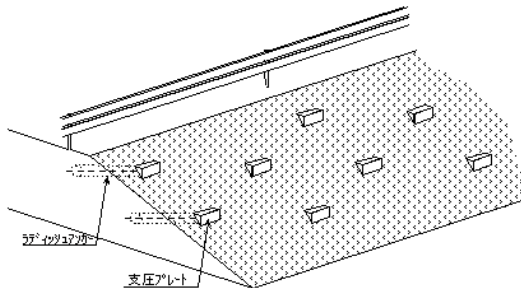


図6 既設のり面の降雨・耐震補強

4. ラディッシュアンカー工法の設計

4.1 ラディッシュアンカー工法の設計の基本

ラディッシュアンカー工法は、他の地山補強土工法と同様に、設計上においては基本的に引抜き抵抗力 T のみを考慮しており、式(1)により算定している。

$$T = \min\{T_a, T_p\} \quad (1)$$

ここに、 T_a : 引張り芯材の許容引張り荷重 (kN/m)
 T_p : 補強体と地盤との引抜き抵抗力 (kN/m)

ラディッシュアンカー体と地盤の引抜き抵抗力 T_p は、式(2)により算定する。

$$T_p = \frac{\beta_G \cdot L \cdot (\pi \cdot d/s) (c + \sigma_n \cdot \tan \phi)}{F_f} \quad (2)$$

ここに、 β_G : 補強体の三次元配置，群効果に対する補正係数（一般には、1.0 としてよい。ただし、 T_p は補強領域の土塊重量を上限值とする）

- c : 土の粘着力 (kN/m²)
- : 土の内部摩擦角 (°)
- σ_n : 補強体に対する垂直方向拘束応力 (kN/m²) (一般には、 $v \cdot \cos$ としてよい)
- v : 補強体の設置位置での鉛直応力 (kN/m²)

: 補強体が水平面となす角度 (°)

d : 補強体の直径 (m)

s : 補強体の奥行き間隔 (m)

L : すべり面より背面側の補強体の定着長 (m)

F_f : 引抜けに対する部分安全率 (表1)

表1 引抜けに対する部分安全率 (F_f)

荷重状態	常時	一時	地震時	施工時
部分安全率	2.0	1.5	1.25	1.25 (1.50)

()内は鉄道構造物における列車など重要構造物が近接する場合

4.2 ラディッシュアンカーを適用した構造物の設計

表2に、ラディッシュアンカー工法の設計における主な検討項目を示す。

ラディッシュアンカー工法を適用した各構造物の主な変形・破壊モードは、壁面を有する構造物（既設盛土のり面や地山斜面の急勾配化，既設擁壁補強，掘削土留工等）では、壁背面土圧による滑動・転倒モードと、壁底面より下部を通る円弧すべりモードであり、壁面を有さない構造物（既設のり面の降雨・耐震補強等）に対する主な変形・破壊モードは、円弧すべりモードとなる。ラディッシュアンカー工法では、これらの変形・破壊モードに対する検討を、2 ウェッジ法および円弧すべり法を基本として行っている。この他、掘削土留工への適用の場合には、グラウンドアンカー式土留工と同様の変形・破壊モードに対しても検討を行うこととしている³⁾。

表2 ラディッシュアンカー工法を適用した構造物の検討項目

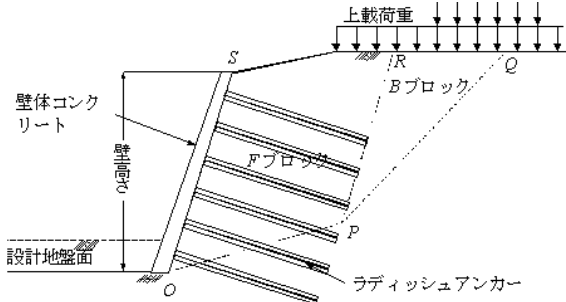
適用構造物	主な検討項目
既設盛土のり面急勾配化	(常時，一時，L1地震時) ・2 ウェッジ法による内的（滑動・転倒）安定
地山斜面急勾配化	・円弧すべり法による外的安定 ・壁面工の照査
既設擁壁の耐震補強	(L2地震時) ・ニューマーク法による滑動・転倒変形照査
既設のり面の降雨・耐震補強	(常時，一時，L1地震時) ・円弧すべり法による内的・外的安定 (L2地震時) ・ニューマーク法による円弧すべり変形照査
掘削土留工	・2 ウェッジ法による内的（滑動・転倒）安定 ・弾塑性法による変形照査 ・その他掘削土留工の設計（根入れ長，掘削底面の安定，土留め壁，支保工断面照査等）

4.3 2 ウェッジ法による内的安定の検討方法

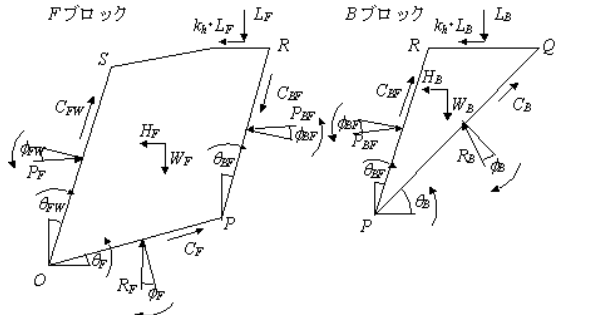
図7に、2 ウェッジ法の概略を示す。2 ウェッジ法は補強体が配置された地盤内でのすべり形態を、補強領域 (F ブロック) と主働すべり領域 (B ブロック) とに区分して、この2つの楔に作用する力の釣合いを解いて、壁背面に作用する土圧を算定する方法である。

内的安定（滑動・転倒）の検討は、2 ウェッジ法による土圧に対して、すべり面より背面側に定着したラディッシュアンカーの引抜き抵抗力を主な抵抗要素として、式(3)、式(4)により安全率を算定して行う。

この場合、安全率が最小となるすべり面を試行的に変化させて検討を行う。



(a)断面概要



(b)Fブロックの力の釣合い (c)Bブロックの力の釣合い

図7 2ウェッジ法の概要

$$F_s = \frac{F_{r,g} + F_{r,b}}{F_{d,s} + F_{d,w} + F_{d,f}} \quad (3)$$

- ここに、 $F_{r,g}$: 棒状補強材の水平抵抗力 (kN/m)
- $F_{d,s}$: 土圧合力の水平成分 (kN/m)
- $F_{d,w}$: 壁体の地震慣性力 (kN/m)
- $F_{d,f}$: 壁体天端水平外力 (kN/m)
- $F_{r,b}$: 壁体底面のせん断抵抗力 (kN/m)

2) 転倒に対する安全率

$$F_o = \frac{M_{r,w} + M_{r,f} + M_{r,s} + M_{r,g}}{M_{d,w} + M_{d,f} + M_{d,s}} \quad (4)$$

- ここに、 $M_{r,w}$: 壁体自重による抵抗モーメント (kN・m/m)
- $M_{r,f}$: 壁体天端外力による抵抗モーメント (kN・m/m)
- $M_{r,s}$: 壁体、Fブロック背面の土圧合力の壁体背面平行成分による抵抗モーメント (kN・m/m)
- $M_{r,g}$: 補強体抵抗力による抵抗モーメント (kN・m/m)
- $M_{d,w}$: 壁体の地震慣性力による転倒モーメント (kN・m/m)
- $M_{d,f}$: 壁体天端外力による転倒モーメント (kN・m/m)
- $M_{d,s}$: 土圧合力の壁体背面直角成分による転倒モーメント (kN・m/m)

式(3)、式(4)による安定性の検討は、鉄道では常時、一時、L1地震時に対して実施しており、L2地震時に対しては、ジオテキスタイルによる補強土壁工法の变形照査法⁵⁾を適用して、式(3)、(4)による安全率が1.0となる地震加速度を降伏震度として、降伏震度より大きな加速度に対して变形が発生するものとして、ニューマーク法により滑動変位、転倒変位を算定する方法を適用している。

4.4 円弧すべり法による外的安定の検討方法

図8に、円弧すべり法による外的安定の検討方法の概略を示す。ラディッシュアンカー体を配置した外的安定

の検討では、ラディッシュアンカーによる抵抗力を式(5)のように加味して安全率を算定し、常時、一時、L1地震時に対して安定性を照査する。また、円弧すべり計算法としては、修正フェレニウス法を基本としているが、対象地盤が砂質土の場合には、過少評価となることからビショップ法を適用してよいこととしている。

L2地震時に対しては、滑動・転倒変形量の算定方法と同様の考え方を、円弧すべり法に適用し、式(5)による安全率が1.0となる降伏震度を求め、これよりも大きな加速度に対してニューマーク法により変形量を算定する。

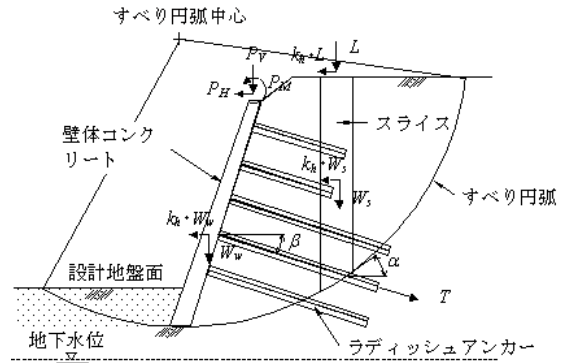


図7 円弧すべり法の概要

$$F_s = \left(\frac{M_{r,s} + M_{r,g}}{M_{d,s} + M_{d,w} + M_{d,f}} \right)_{\min} \quad (5)$$

- ここに、 $M_{r,s}$: 土塊の抵抗モーメント (kN・m/m)
- $M_{r,g}$: 補強体の抵抗モーメント (kN・m/m)
- $M_{d,s}$: 土塊の起動モーメント (kN・m/m)
- $M_{d,w}$: 壁体自重の起動モーメント (kN・m/m)
- $M_{d,f}$: 壁体天端外力による起動モーメント (kN・m/m)

5. おわりに

ラディッシュアンカー工法は、従来の地山補強土工法とは全く異なった補強体の施工方法を採用したことで、これまでにない大径の補強体を効率的に造成することを可能としたものであり、その補強効果が大いことから、ネイリングが適用外できない軟弱な地盤や盛土の補強を可能とした。また、グラウンドアンカーの代替工法として掘削土留工への適用も可能とした。

これらの各構造物に適用した際の設計方法は、鉄道においては既に設計標準等^{2)・3)}でその手法が採用されており、今後は、鉄道基準が性能照査型設計に移行してきていることに伴い、ラディッシュアンカー工法の設計についても性能照査型設計を適用させていく予定である。

【参考文献】

- 1) 地盤工学会：地山補強土工法に関する研究委員会報告、地山補強土工法に関するシンポジウム論文集、1996.3
- 2) 館山勝，谷口善則：攪拌混合工法による大径補強体の開発、鉄道総研報告、Vol.7, No.4, 1993.4
- 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（開削トンネル），付属資料「掘削土留め工の設計」，丸善，pp.233-240，2001.3
- 4) 鉄道運輸機構：補強土留め壁設計・施工の手引き，2001.8
- 5) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），丸善，pp.453-457，2001.3