

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04354

研究課題名（和文）大規模盛土宅地造成地補強のための拡翼型アンカー工法に関する研究

研究課題名（英文）Development of an open-wing type anchor method for reinforcement of large scale residential land on embankment

研究代表者

深川 良一（Fukagawa, Ryoichi）

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：20127129

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、引抜抵抗の経年劣化の少ない拡翼型アンカーの開発を目指した。まず、ボアホール内で確実に拡翼する機構を提案し、その機構が引抜に対して十分な強度を有することをFEMによって検証した。次に、試作した拡翼アンカーの引き抜き試験を室内モデル地盤および屋外の実地の地盤に対して実施し、十分な引抜抵抗力を発揮することを実証した。一方、拡翼アンカーによる引抜抵抗力を理論的に推定する方法を提案し、実験データとの良好な整合性を確認した。最後に、室内モデル斜面において実物の10分の1のサイズの拡翼アンカーを設置し、斜面安定に対するその有効性を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来型のアンカーでは、中心ロッドと周辺地山をセメント等の固化剤で接着させることが引抜抵抗力の源である。この接着効果は経年的に低下していくことが知られており、社会問題となっている。本研究で提案した拡翼アンカーは、先端の拡翼部で地盤を物理的に把持するため、その効果は減衰しにくい。アンカー工法は斜面安定の中心的な工法の1つであり、したがって拡翼アンカーの開発の社会的意義は大きい。本研究の学術的意義としては、信頼性の高い拡翼メカニズムを提案しその有効性を実証したこと、拡翼アンカーの引き抜き抵抗の推定式を提案したこと、モデル地盤および原位置地盤で拡翼アンカーの有効性を実証したこと等を挙げることができる。

研究成果の概要（英文）：An open-wing type anchor, abbreviated as OW anchor, method was developed in this study. At first, reliable open-wing mechanism in a borehole was proposed and it was demonstrated by FEM that the structure of the open-wing mechanism had enough strength to withstand pulling out. Next, a series of pulling out experiments using model OW anchor was carried out for laboratory model sandy ground and actual some in-situ grounds. As the results, it was made clear that the OW anchor generated enough pulling out resistance. On the other hand, a theoretical estimation method of pulling out resistance by OW anchor was proposed, and showed a good accordance with experimental data. Finally some slope failure tests were conducted in laboratory conditions. The model slope experienced heavy rain and was reinforced by some one-tenth size of actual OW anchors. The results showed that the OW anchor generated effective pulling out resistance to reinforce the model slope.

研究分野：地盤工学

キーワード：拡翼アンカー 鉄筋挿入工 盛土斜面 補強 室内モデル試験 原位置試験

1. 研究開始当初の背景

アースアンカー工はグラウンドアンカー工の一種で、定着地盤が砂礫層、土丹層等である場合に使われる呼称であり、中～大規模の盛土法面や既設擁壁の補強を目的としている。鉄筋挿入工は小規模の盛土法面や既設擁壁の補強、法面の保護を目的としている。いずれも多用されており、各々が国で最も普及した工法の1つである。そのため、アンカー部が発揮する引き抜き抵抗、せん断抵抗の発現メカニズムについては多くの研究がなされ、ほぼ定見といえるものがある。一方で、グラウト材によるアンカー部と周辺斜面との接着効果は、経年的に、あるいは地震動等によって低下していくため、この工法の弱点とされている。

研究代表者らはこの十数年斜面防災に関わる研究に従事しており、この数年はアースアンカー工法の1種であるノンフレーム工法に関わる研究に携わった。その研究の中で、当該アースアンカー工法の弱点を認識し、その結果着想したのが今回提案した「拡張翼型アンカー（以下拡張翼アンカーと略称）」である。

2. 研究の目的

アースアンカー工および鉄筋挿入工におけるグラウト材によるアンカー部と周辺斜面との接着効果は、経年的に、また地震動等によって低下することが知られている。本研究では、これらの工法に代る新しいアンカー工法として拡張翼アンカー工法を提案し、以下の項目に関して検討することを目的とした。

- ① 拡張部の最適構造決定
- ② 拡張アンカーの引き抜き抵抗のモデル化
- ③ 引き抜き抵抗に及ぼす降雨条件および振動条件の影響把握

3. 研究の方法

(1) 拡張部の最適構造決定

拡張アンカーの拡張部は、従来型のアースアンカーと比較して相当大きな引き抜き抵抗を受け持つことになる。構造的には中央のシャフト部と拡張部の結合部の設計が重要である。まず、FEMによる構造解析を実施し、最終的に最適構造を確定させる。合わせて、その最適構造に対応した想定する拡張アンカーと同サイズの拡張アンカーモデルを製作し、高圧載荷装置（現有）を利用して最適構造モデルの妥当性を検証する。拡張部長は30cm程度、拡張角は60°程度、また拡張部先端の刃物角は30°とする。

(2) 拡張アンカーの引き抜き抵抗のモデル化

直径90cm、高さ1m程度のアクリル製円筒モデル土槽を用いた3次元条件下での拡張アンカー引き抜き抵抗測定実験を実施する。拡張部の形状は(1)の結果を踏まえて設定する。拡張アンカーは実物の1/2大のものを使用し、拡張枚数は4枚を基本とし、2、3、6、8枚のケースについても検討する。比較のために、従来型アンカーおよび円盤（半径は拡張長に等しい、また拡張枚数 ∞ に対応）からなるアンカーを用いた実験も実施し、引き抜き抵抗のモデル化を図る。実験に供する土試料は信楽産真砂土とし、モデル地盤の相対密度は100%を基本とする。

上記の実験と合わせて拡張アンカーの引き抜き抵抗のモデル化を検討する。従来型アースアンカーでは、引き抜き抵抗の発現は単純にグラウト材と周辺地盤との間の摩擦抵

抗に起因する。一方、拡翼アンカーでは地表面に向けて現れる、より広い領域での想定すべり面上での摩擦抵抗(粘着抵抗も期待できる場合が多い)に起因する。したがって、定式化に当たっては、地盤中に水平に置かれた円盤を鉛直上方に引き上げる際の引き抜き抵抗を検討した松尾・田河(土木学会論文集、第149号、1968)や勝見・西原(土木学会論文集、第276号、1978)等の論文が参考になる。

(3) 引き抜き抵抗に及ぼす降雨条件および振動条件の影響把握

ここでは、人工降雨装置(現有;降雨面積1.5m×1.5m)の下、あるいは振動台(現有)上にモデル土槽を設置し、降雨後、あるいは振動後に拡翼アンカーおよび比較のための従来型アンカーによる引き抜き抵抗試験を実施し、さらに両アンカーの盛土全体の安定性向上に対する寄与度を評価する。具体的には、モデル土槽中に幅1m、高さ70cm、斜面傾斜角40度程度のモデル斜面を設置する。モデル斜面では明確な基盤部がある場合とない場合を想定し、前者では相対密度90%で締め固めた基盤部の上に相対密度60%程度の厚さ10cmの表層部を設定する。後者の場合はすべて相対密度60%で斜面を作成する。拡翼アンカーおよび従来型アンカーは実物の1/10サイズの模型を製作し、斜面上にセットする。

4. 研究成果

(1) 拡翼部の最適構造決定

拡翼アンカーの拡翼部の構造を検討する上で、既存の鉄筋挿入工の設計基準を考慮したスケールの構造を提案する必要がある。鉄筋挿入工の設計基準として、補強材に異形鋼棒を用いる場合はD19~D25を使用し、またボアホールの削孔径は $\phi=40\sim90$ mmである。これらを考慮し、シャフトの直径はD19と同様の19mm、翼が閉じた状態で90mmのホールに収納可能なスケールで拡翼アンカーの設計を行なった。設計には3次元CADソフトウェアであるsolid worksを用いた。最終的に選択した拡翼アンカーは、施工時の作業性、製作費等を考慮して土台部に翼部をはめこむ形式とした。

提案した構造を元にして、有限要素法による3次元構造解析ソフトLS-DYNAを用いて強度解析を行った。翼に荷重を設定することで、拡翼部の土台及び翼にかかる応力を確認した。拡翼アンカーは土中で翼を拡翼させるため、引抜き抵抗力の大半を翼が受け持つこととなる。引抜き抵抗力を翼上面への等分布荷重としてモデル化し、荷重に対して高い強度を発揮できる構造になるよう、各部材の寸法を微調整した。

拡翼アンカーの翼部上面に垂直下向きの等分布荷重を設定して解析を行った。荷重の値を変え、主応力度が、モデル化した鋼材の引張強さである 490 N/mm^2 に達した際の荷重を調べた。このときの荷重の値が、本研究で対象としている拡翼アンカーの許容引抜き抵抗力となる。結局、許容引抜き抵抗力は約18kNとなった。

(2) 拡翼アンカーの引き抜き抵抗のモデル化

拡翼アンカーの限界抵抗力算定は、最終的に、勝見・西原(1978)によって提案された円盤基礎の引き抜き抵抗に関する理論式をベースとした。拡翼アンカーは円盤とは異なるため、その影響は、拡翼本数を変化させた一連の実験を通して考慮することとした。結局、拡翼アンカーの限界引抜き抵抗力の算定式は以下の式(1)のように表される。

$$Q = G_1 + a \cdot T_v \quad (1)$$

ここに、 Q : 限界引抜き抵抗力(N)、 a : 拡翼アンカーの拡翼部本数に対する補正係数(4本翼の

場合は0.8)、 G_1 : 抵抗土塊の重量(N)、 T_v :すべり面におけるせん断応力 τ と垂直応力 σ に基づく抵抗(N)である。 G_1 は以下の式(2)で表現される。

$$G_1 = \pi B^2 D \gamma F_1(\phi, \lambda) \quad (2)$$

ここに、 B : 円盤基礎の半径(m)、 D : 根入れ深さ(m)、 γ : 地盤の単位体積重量(N/m³)、 λ : 円盤基礎の根入れ幅比($=\frac{D}{2B}$)、 F_1 : 地盤の内部摩擦角 ϕ と λ の関数である。次に、 T_v はすべり面上に作用するせん断応力 τ とすべり面に垂直な直応力 σ の鉛直分力であり、以下の式(3)で表される。

$$T_v = \tau T_v + \sigma T_v \quad (3)$$

また、式(3)中の τT_v と σT_v はそれぞれ以下の式(4)、(5)で表される。

$$\tau T_v = \pi B^2 D \gamma \left[\frac{c}{D \gamma} F_2(\phi, \lambda) + F_3(\phi, \lambda) \right] \quad (4)$$

$$\sigma T_v = \pi B^2 D \gamma \left[\frac{c}{D \gamma} F_2(\phi, \lambda) + \sigma F_3(\phi, \lambda) \right] \quad (5)$$

ここに、 c : 地盤の粘着力、 F_2 、 F_3 : 地盤の内部摩擦角 ϕ と λ の関数である。

式(1)における係数 a については、【想定した拡翼本数に対する最大引抜抵抗力】／【円盤の場合の最大引抜抵抗力】として実験的に求めることができる。

(3) 引き抜き抵抗に及ぼす降雨条件および振動条件の影響把握

モデル斜面としては、①無対策モデル地盤、②拡翼アンカーで斜面崩壊対策したモデル地盤、③鉄筋挿入工で斜面崩壊対策したモデル地盤の3種類を設定した。降雨装置を用いてこれらのモデル斜面に対して人工的に降雨を与える。鉄筋挿入工においては、シャフト部分にネジ山を切って、土粒子がネジ山に入り込むことでモルタルと土粒子が付着することを再現した。図1にモデル斜面の縦断面を示す。斜面内に土壌水文センサー、傾斜計、水位計を設置し、実験中の変化を調べた。

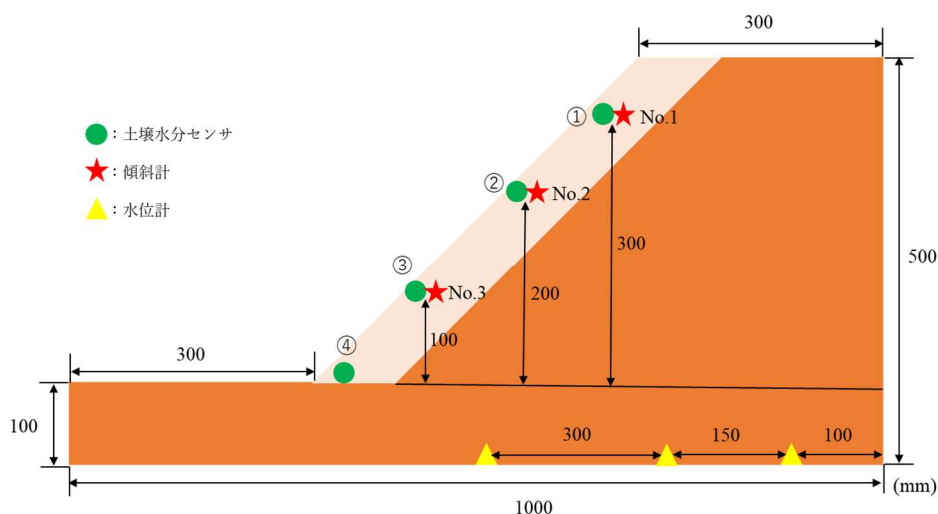


図1 モデル斜面と設置センサー

なお、試料としては真砂土を使用した。基盤層と滑り層の締固め度をそれぞれ 90%、70%と設定し、滑り層（表層部分）が基盤層の上を滑る破壊を想定した。降雨強度は 50 mm/h（一定）とした。

斜面崩壊までの経過時間を比べると、無対策地盤では約 10 分で破壊が生じたのに対し、拡翼アンカーおよび従来アンカー（鉄筋挿入工の模擬）では約 44 分後に破壊が生じた。両者は傾斜計のデータに対応している。以上のことはアンカー工を施すことによって斜面が破壊する時間までの時間が伸びたことを示し、拡翼アンカー工は少なくとも従来型アンカーと同等な斜面崩壊抑止効果があることを意味している。なお、従来型アンカーに比べて斜面安定効果が同等に留まったのは以下のような理由による。

別途実施した室内モデル試験より、地盤の含水比が小さい場合は拡翼アンカーの方が従来型アンカーより大きな引抜抵抗を示すことが分かっている。しかし、含水比の上昇に伴ってその差は縮小し、今回の実験の最終段階で見られたような完全飽和に近い状況では両者の差はほとんどなくなってしまう。このことが崩壊時間が両者でほぼ同じであった理由である。

ただし、従来型アンカーでは、22 分ごろに早めに法尻に近い No.3 の傾斜計が反応してしまっていることが分かった。それに比べると、拡翼アンカーは完全崩壊状況に近くなるまで良く変状を抑えていたことが分かった。これらのことから、拡翼アンカーは従来型アンカーより優れた引抜抵抗性を有していると判断することができる。

なお、本プロジェクトにおいては、最終年度（2020 年度）にモデル斜面に対する振動試験を実施する予定であった。同様に①無対策モデル地盤、②拡翼アンカーで斜面崩壊対策したモデル地盤、③鉄筋挿入工で斜面崩壊対策したモデル地盤の 3 種類の条件下での拡翼アンカーの優位性を検証する予定であったが、残念ながらコロナウィルス感染の拡大に伴って実験を補助してくれる学生（実験には 3 名ほど必要）を確保することが困難になってしまった。振動条件下では従来型アンカーの地山との固着性が薄れやすいのに対して、拡翼アンカーの把持効果は低減しにくいいため、おそらく拡翼アンカーの優位性が顕著になったものと判断している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 部谷遼平, 河野恒太, 灘とも子, 小林泰三, 深川良一	4. 巻 -
2. 論文標題 拡翼アンカー工法の開発に関する基礎的研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Kansai Geo-Symposium2019論文集	6. 最初と最後の頁 全4頁
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kota Kono, Akihisa Nakahashi and Ryoichi Fukagawa	4. 巻 16
2. 論文標題 Calculation formula for pullout resistance exerted by Open-Wing-Type ground anchor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 110-115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21660/2019.58.8181	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Kota Kono, Akihisa Nakahashi, Dong Daicho, Nobuo Fukushima, Ryoichi Fukagawa	4. 巻 14
2. 論文標題 Structural simulation on an OPEN-WING-TYPE Ground Anchor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 89, 94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21660/2018.46.7337	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 河野恒太, 中橋明久, 福島信夫, 藤本将光, 小林泰三, 深川良一	4. 巻 -
2. 論文標題 拡張翼型アンカーの実用化にむけた基礎的研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Kansai Geo-Symposium2018論文集	6. 最初と最後の頁 6頁
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K.Kono, A. Nakahashi and R. Fukagawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Fundamental study on design criterion for open-wing-type ground anchor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of the 2nd Joint Seminar on Landslide, Flood Disasters and the Environmental Issues	6. 最初と最後の頁 7頁
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kota Kono, Akihisa Nakahashi, Ryoichi Fukagawa	4. 巻 16
2. 論文標題 Calculation Formula for pullout resistance exerted by OPEN-WING-TYPE Ground Anchor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 110. 115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21660/2019.58.8181	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計4件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 部谷遼平
2. 発表標題 拡翼アンカー工法の開発に関する基礎的研究
3. 学会等名 地盤工学会, 関西ジオシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kota KONO, Akihisa NAKAHASHI, DONG Daicho, Nobuo FUKUSHIMA and Ryoichi FUKAGAWA
2. 発表標題 Creating Formula for computations of pullout resistance exerted by OPEN-WING-TYPE Ground Anchor
3. 学会等名 8th GEOMATE
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kota KONO, Akihisa NAKAHASHI and Ryoichi FUKAGAWA
2. 発表標題 Fundamental study on design criterion for open-wing-type ground anchor
3. 学会等名 Proc. of the 2nd Joint Seminar on Landslide, Flood Disasters and the Environmental Issues
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河野恒太、中橋明久、福島信夫、藤本将光、小林泰三、深川良一
2. 発表標題 拡張翼型アンカーの実用化にむけた基礎的研究
3. 学会等名 Kansai Geo-symposium 2018
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関