

補強土壁の新たな品質管理と健全性評価手法に関する検討

Examination of new approach for quality control and soundness evaluation of reinforced soil wall

北見工業大学大学院 ○学生員 松本日和 (Hiyori Matsumoto)
 北見工業大学大学院 学生員 岩崎凌子 (Ryoko Iwasaki)
 北見工業大学工学部 正員 川口貴之 (Takayuki Kawaguchi)
 岡三リビック株式会社 非会員 安達謙二 (Kenji Adachi)
 岡三リビック株式会社 正員 林 豪人 (Taketo Hayashi)

1. はじめに

補強土壁とは、垂直もしくは垂直に近い壁面工と補強材から構成され、壁面工に作用する土圧と盛土内に敷設した補強材の引抜き抵抗力和の釣合いによって安定を保つ土留め構造物である¹⁾。この補強土壁は、従来のコンクリート擁壁に比べて経済性、施工性、耐震性に優れており、特に用地・地形の制約を受ける箇所では有効な工法である。しかし、先述のように補強土壁は盛土内に設置した補強材の引抜き抵抗力和によって安定を保つ構造であるため、締固め不足や不適切な盛土材を使用した場合には、壁のはらみ出しや座屈等に直結する場合がある²⁾。現行の品質管理基準は一般に 500 m³ に 1 回の割合で測定する現場密度に基づいているため（規格値は締固め度 95 %以上）、局所的な締固め不足や不適切な盛土材の混入が見過ごされる可能性があり、特に分割型壁面の場合には壁全体の変状につながる恐れもある²⁾。現に、補強土壁は変状時の修復が困難であること、施工時の品質管理が最も重要であること、維持管理が困難であること等が記載された設計要領もある³⁾。

以上の背景から、筆者らは図-1 に示すアンカー補強土壁と呼ばれるタイプの補強土壁を対象とし、施工中に盛土材料の適否を高い頻度で確認・共有できるシステムに関する検討を重ねている⁴⁾。アンカー補強土壁は鉄筋（タイバー）に取り付けられた支圧板（アンカープレー

ト）に作用する支圧アンカー力が引抜き抵抗力和となっており、壁面工とタイバーの間には回転させると壁面工と支圧板との距離が伸縮するターンバックルが標準装備されている⁵⁾。本来、ターンバックルは壁面調整用であるが、回転に伴う抵抗（トルク）はアンカープレートによって発揮される引抜き抵抗力和の大きさに左右される点に着目し、トルクデータによる施工時の品質管理手法の構築を目指している。これまでに、模型試験や供用目的の実大アンカー補強土壁によってターンバックル回転時のトルクから引抜き抵抗力和を把握できる用途は立っているが、確立するには多様な盛土材を用いた更なる検証を重ねる必要がある。

一方、国土交通省の土木工事施工管理基準及び規格値（案）⁵⁾において、補強土壁における壁面鉛直度の出来高管理基準値は壁高の 3 %かつ 300 mm とされており、竣工後に変状した場合にも、この鉛直度を健全性評価の目安として用いる場合が多い⁶⁾。橋本ら⁷⁾はアンカー補強土壁の壁面材を破砕して補強材の引抜き試験を実施しており、得られた最大引抜き抵抗力和が補強材に作用する引張力の設計値に近いと鉛直度も低くなることを示している。しかしながら、壁面材と補強材が壁裏で連結されている従来の補強土壁では、補強材に作用している（設計値ではなく）実際の引張力を把握することは困難であるため、例えば地震や豪雨によって被災した後に、現況の健全性を正確に把握することは難しい。このような問題への対応も見据え、壁面材の表側で補強材と連結することが可能なタイプのアンカー補強土壁が既に開発されており、先述の研究成果を踏まえると、連結部のナット回転時のトルクによって現況の引張力や引抜き抵抗力和を把握し、新たな維持管理手法や健全性評価手法を提案できる可能性がある。

そこで本研究では、意図的に締固め度や含水比を変化させた複数の盛土材、更には壁裏で連結する従来の壁面材に加え、壁表側で補強材と連結できる壁面材も用いた試験用の実大アンカー補強土壁を構築し、先述したようなトルクを用いた新たな施工時の品質管理手法と、竣工後の維持管理及び健全性評価手法について検討した。

2. 構築した実大補強土壁と計測の概要

実大補強土壁は 2 回に分けて構築しており、図-2 は最初に構築した実大アンカー補強土壁の概略図である。2 種類の盛土材（砂質土と粘性土）を使用しており、図

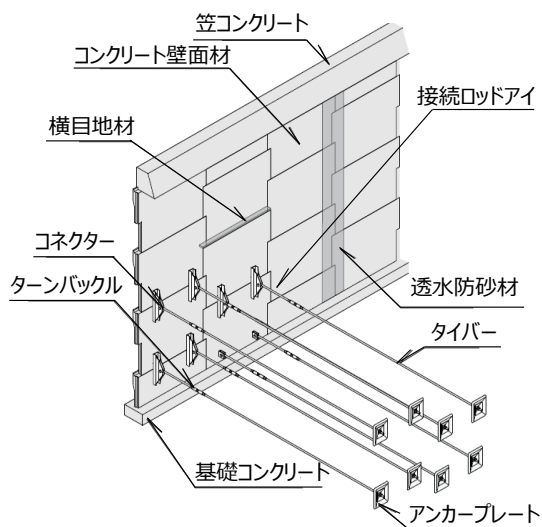


図-1 アンカー補強土壁の概略図

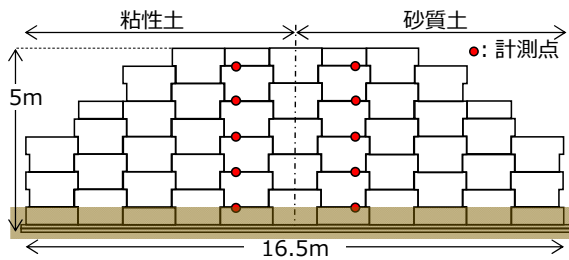


図-2 実大補強土壁の概略図 (1 回目)

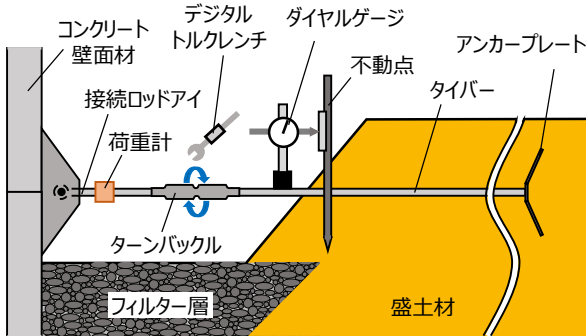


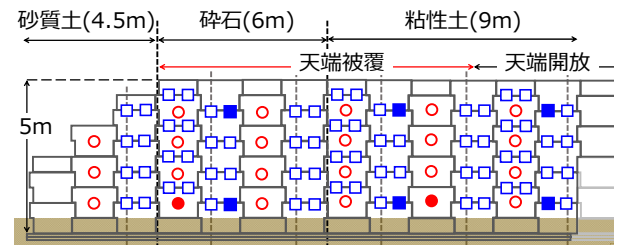
図-3 施工時の計測方法に関する概略図

中に●印で示した位置にある補強材でターンバックル回転時のトルクと補強材抵抗力との関係を計測した。

図-3 は施工時の計測方法を示したものであり、実際の引抜き抵抗力はロードセルを装着した部材（接続ロッドアイ）によって計測し、ターンバックルを 90 度ずつ計 2 回転させる過程で、各区間におけるトルクの最大値と補強材抵抗力の最大値との関係を記録した。また、簡易的な不動点を設置し、ターンバックル回転に伴う壁面材とアンカープレート側の補強材に関する変位についても計測した。

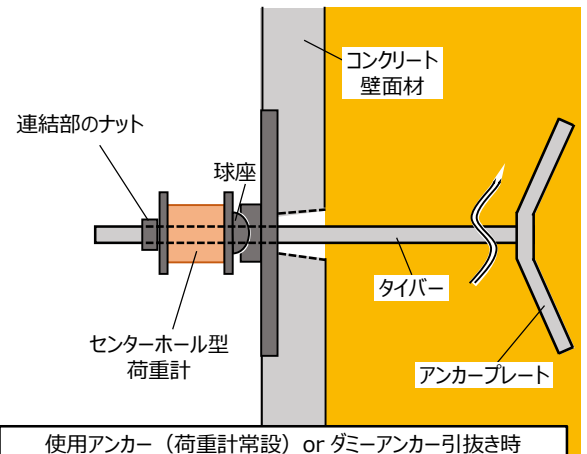
図-4 は 2 回目に構築した実大補強土壁の概略図であり、先の補強土壁の左側に拡張して構築した。先述の 2 種類の盛土材に加えて、碎石(C-40)を盛土材とした範囲も設けた。さらに、粘性土を用いた範囲は 2 つに分け、片方は天端を開放し、雨水や融雪水の浸透を許すようにした。なお、それ以外の領域は天端を遮水シートで覆っている。図中に□印で示した位置では、壁外で壁面材と補強材とが連結されている（以下、この補強材を使用アンカー）。また、○印で示した位置では、壁面材に穴を開け、壁面材と連結していない補強材の端部が壁外に出ている（以下、この補強材をダミーアンカー）。

図-5 は竣工後の計測方法を示したものであり、全ての使用アンカーにおいて連結部のナットを補強材を引き抜く（締め付け）方向に回転させ、ナットがわずかに回



■□：使用アンカー ●○：ダミーアンカー
■：荷重計常設箇所 ●：引抜き試験箇所

図-4 実大補強土壁の概略図 (2 回目)



使用アンカー（荷重計常設）or ダミーアンカー引抜き時



図-5 竣工後の計測方法に関する概略図

転する際、あるいは回転する直前のトルクを計測した。また、一部の使用アンカーには、図中に示すように壁面と連結部の間にセンターホール型の荷重計が設置されており、引張力の常時計測を行っている（図-4 中の■の位置）。さらに、ダミーアンカーを引き抜く際にも図中のように荷重計の設置と壁面材との連結を行い、ナットを 90 度ずつ回転させながら、各区間におけるトルクの最大値と引抜き抵抗力の最大値、更には補強材端部の変

表-1 盛土材に関するまとめ (1回目)

計測点	盛土材	最大乾燥密度 (g/cm^3)	最適含水比 (%)	含水比 (%)	締固め度 (%)
1段目	粘性土	1.41	28.2	35.6	94.4
2段目				32.3	98.0
3段目				34.2	96.2
4段目				36.8	96.4
5段目	碎石置換	2.13	6.2	5.2	90.0
1段目	砂質土	1.36	26.8	26.6	87.3
2段目				21.7	88.2
3段目				20.6	85.4
4段目				29.0	86.1
5段目	碎石置換	2.13	6.2	5.4	92.0

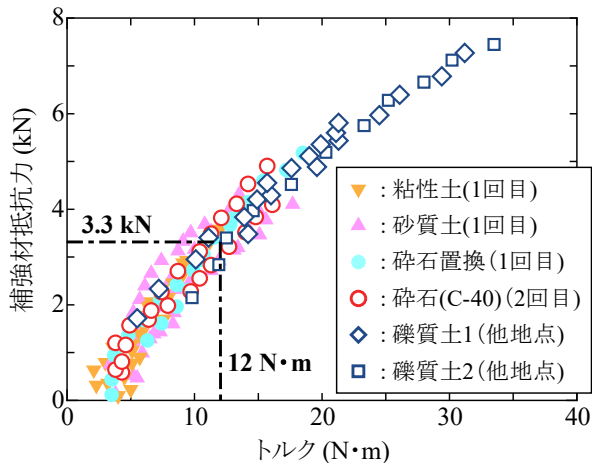


図-6 トルクと補強材抵抗力の関係

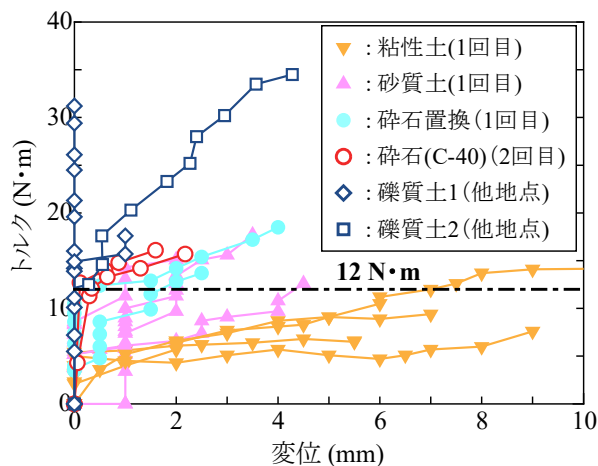


図-7 トルクと補強材変位の関係

位を記録した（図-4中の●の位置）。

3. 施工時の品質管理

表-1 は最初に構築した補強土壁に関して、使用した盛土材やその含水比、締固め度などをまとめたものである。含水比や締固め度については、散水や転圧方法・回数によって意図的に変化させた。また、5 段目についてはアンカープレート周辺のみを碎石（C-40）で置換した。

図-6 は各計測時に得られたターンバックル回転時のトルクと補強材抵抗力との関係を示したものである。図中には上記の補強土壁で計測した結果に加えて、2 回目に構築した補強土壁や他のアンカー補強土壁で計測した

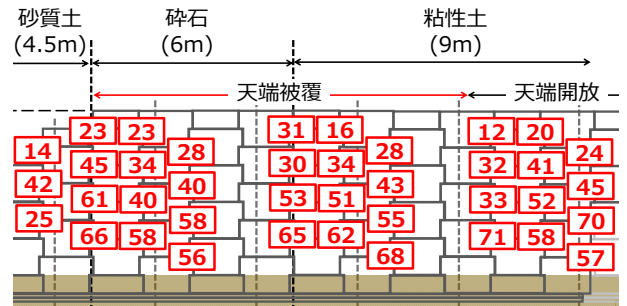


図-8 竣工後に計測したトルクに関するまとめ

結果についてもプロットしているが、盛土材の土質によらず両者の関係は同様であり、多様な盛土材でもターンバックル回転時のトルクから引抜き抵抗力を把握できることが分かる。また、図中には計測時の土被り 0.25 m において、設計上アンカープレートに期待される地震時の許容抵抗力の大きさ（3.3kN）を示しているが、それに相当するトルクは概ね 12 N・m であることが分かる。

図-7 は計測時のトルクとアンカープレート側の補強材変位との関係を示したものである。粘性土の大部分ではアンカープレート側の変位量が大きくなって先述の 12 N・m を発揮できないのに対し、碎石置換や礫質土等の良質な盛土材では、少なくとも 2～3 mm 以内の変位で 12 N・m を超えていることが分かる。以上のことから、ターンバックル回転時のトルクとアンカープレート側の変位を計測することで、盛土材の適否を簡便かつ頻繁に確認しながら施工することが可能となり、新たな品質管理手法になり得ると判断した。

4. 竣工後の維持管理や健全度評価

図-8 は使用アンカーの壁外にある連結部のナットを回転させた際のトルクをまとめたものである。トルクは下段に行くほど大きくなり、同じ高さでは概ね同程度の値を示していることから、これらの値は各補強材に作用する引張力を概ね反映していると考えられる。

図-9 は同じ高さにある 2 箇所のダミーアンカーに対して実施した引抜き試験結果を比較したものである。なお、いずれも被覆された天端直下にあるものとし、それぞれ碎石(C-40)と粘性土を盛土材とした領域である。補強材の変位に伴う引抜き抵抗力の推移と、連結部のナット回転時のトルクの推移は類似しており、トルクから引抜き試験時の抵抗力を把握することは可能と考えられる。一方、図中には同じ高さで隣接している使用アンカーに設置された荷重計の計測値を示している。ここで、トルクレンチの許容値等を考慮し、ある程度の引抜き変位で試験を打ち切っているが、それぞれの引抜き試験で得られた抵抗力の最大値を $P_{\max}$ 、同じ高さにある使用アンカーに作用する引張力を P_n とし、両者の比 ($P_{\max}/P_n$) を計算すると、碎石で 2.8 となるのに対し、粘性土で 1.5 になる。先述した橋本ら⁷⁾の研究成果を参考にすると、この比は引き抜け変位の増大（変状）に対する余裕度のような指標になると考えられる。

図-10 は使用アンカーに作用する引張力の推移を比較したものである。先述の被覆された天端直下にある 2

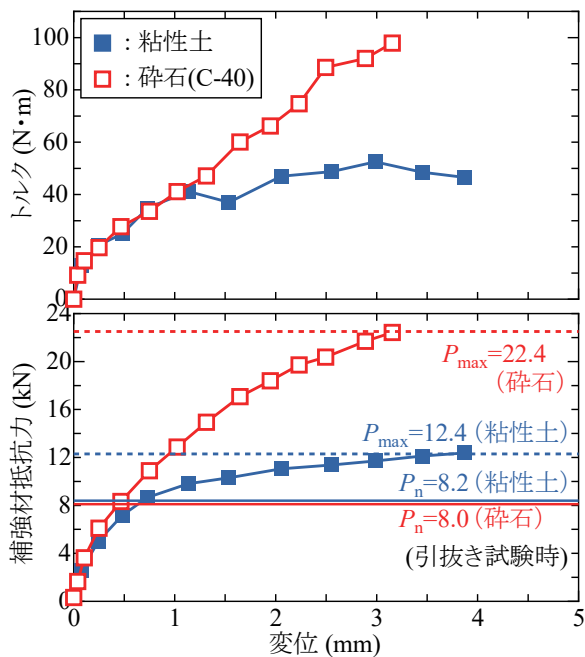


図-9 ダミーアンカーの引抜き試験結果

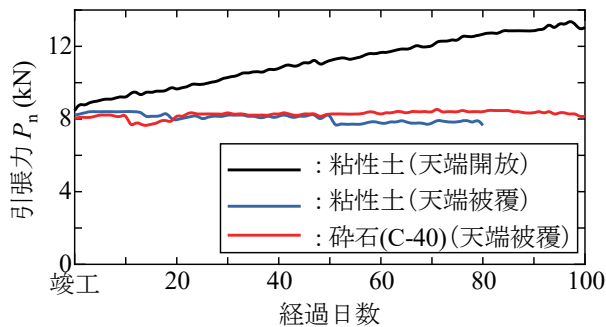


図-10 使用アンカーに作用する引張力の推移

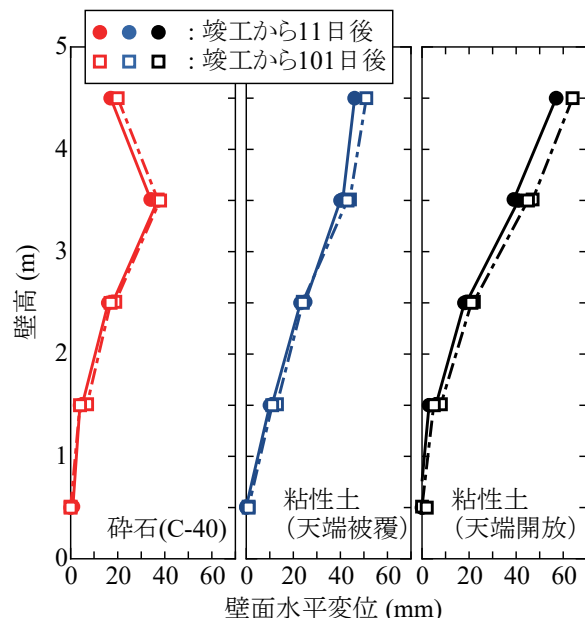


図-11 壁面水平変位の計測結果

箇所の引張力はほとんど変化していないが、粘性土を盛土材とし、開放された天端直下（以下、粘性土（天端開放））にある使用アンカーの引張力は徐々に増加してい

る。これについては、計測不良の可能性も否定できないが、構築時に埋設した水分センサーの計測結果などから、主に盛土材の水分上昇によるものと考えている。

図-11 は竣工から 11 日と 101 日経過した時点で計測した壁面の水平変位を比較したものである。いずれも先述の管理基準値以内であるが、粘性土（天端開放）の領域における壁面形状は他に比べて鉛直度が低いことに加え、幾分鉛直度が低くなる方向に変形している。解放された天端直下にある使用アンカーの引抜き試験は実施していないが、図-9 に示した試験結果から、先述した余裕度はかなり小さいことが十分に予想でき、壁面変位はこれを裏付けた結果と思われる。以上のことから、壁外で連結した使用アンカーや連結していないダミーアンカーのトルクを計測することで、補強材に作用している引張力やその変化、引き抜けに対する余裕度を把握することが可能となり、将来的には新たな維持管理や健全度手法になり得ると判断した。よって、今後も構築した試験用実大補強土壁を対象とした計測を重ねることで、施工時の品質管理や竣工後の維持管理・健全度評価手法の確立を目指していきたいと考えている。

5. まとめ

- ・ターンバックル回転時のトルクとアンカープレート側の変位を計測することで、新たな品質管理手法となり得ることが明らかとなった。
- ・壁外で連結した使用アンカーや連結していないダミーアンカーを対象としたトルクを計測することで、将来的には新たな維持管理や健全度手法になり得ることが明らかとなった。

謝辞：本研究の一部は令和 2 年度 NEXCO 東日本 技術研究助成の支援を受けて実施いたしました。ここに記して、深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤工学用語辞典、2006。
- 2) 川尻峻三、澁谷啓、鳥居宜之：ジオテキスタイル補強土壁の変状メカニズムに関する事例研究、地盤工学ジャーナル Vol.6、No.1、15-25、2011。
- 3) 東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社：設計要領第二集 擁壁保全編・擁壁建設編 カルバート保全編・カルバート建設編、2019。
- 4) 補強材抵抗力の計測に基づくアンカー補強土壁の品質管理システムに関する検討、ジオシンセティックス論文集、Vol. 35、pp. 121-128、2020。
- 5) 国土交通省：土木工事施工管理基準及び規格値(案)、<https://www.mlit.go.jp/common/001283745.pdf> (2021 年 12 月 13 日閲覧可能)。
- 6) 土木研究センター：多数アンカー式補強土壁工法設計・施工マニュアル 第 4 版、2014。
- 7) 橋本聖、山梨高裕、林宏親、山本正彦：既設アンカー補強土壁の健全性評価手法について、第 50 回地盤工学研究発表会発表講演集、pp. 1667-1668、2015。