

トルクデータを活用したアンカー補強土壁の 品質管理に関する基礎的研究

Fundamental study on quality management system of multi-anchored soil wall using torque data

北見工業大学工学部	○学生員	松本日和 (MATSUMOTO, Hiyori)
北見工業大学工学部	正会員	川口貴之 (KAWAGUCHI, Takayuki)
北見工業大学工学部	正会員	中村 大 (NAKAMURA, Dai)
岡三リビック株式会社	非会員	安達謙二 (ADACHI, Kenji)
岡三リビック株式会社	正会員	小浪岳治 (KONAMI, Takeharu)
株式会社森川組	非会員	村田松一 (MURATA, Shoichi)

1. はじめに

本研究で対象としている補強土壁とは、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との釣合いによって安定を保つ土留め構造物である¹⁾。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、耐震性に優れている等の理由から、現在では広く普及しているが、それと伴って変状する事例も報告されるようになってきた^{2)~5)}。

補強土壁が変状する主な要因としては、地震動、地下水や地表水の浸透・浸食、基礎地盤のすべりや不同沈下の他に、不適切な盛土材料の使用と締固め不足が挙げられている⁵⁾。ここで、特に不適切な盛土材料が使用される状況について推察すると、土取り場の変更等によって盛土材料そのものが変わる場合や、降雨等によって盛土材料の土質が大きく変化する場合が想定される⁶⁾。また、補強土壁の変状は局所的な不良材料の混入でも生じる場合があることや、目視による土質変化の判断は決して容易でないこと、更には一般に補強土壁は500 m³に1回の割合で実施される現場密度試験に基づく締固め度管理であることから、このような盛土材料や土質の変化は案外見過ごされ易い状況にあると考えられる。

よって、この種の変状を防ぎ、品質の高い補強土壁を確実に構築していくためには、高い頻度で盛土材料の適否が確認できるような簡易な品質管理システムの構築が不可欠と考えられる。また、このとき施工者だけでなく、発注者や採用した補強土壁の専門家であるメーカー等が盛土材料の変化をリアルタイムで確認できるシステムであることも望ましい。

一方、補強土壁には壁面工と補強材の種類によって多くの工法が存在し、帯状鋼材や格子状・面状の高分子材を補強材として盛土材料との摩擦抵抗を引抜き抵抗力とするタイプの他に、図-1に示すようなアンカー補強土壁と呼ばれるタイプがある⁷⁾。この補強土壁では、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と呼ばれる部材が装備されている⁷⁾。元来、この部材は壁面調整を目

的としたものであるが、回転に伴う抵抗(トルク値)はアンカープレートによって発揮される引抜き抵抗力の大きさに依存することが容易に想像できる。

そこで本研究では、ターンバックル回転時のトルク値に着目し、無線送信機能を備えた市販のデジタルトルクレンチとクラウドストレージを活用することで、高い頻度での盛土材料の適否確認が可能で、施工地にいない発注者やメーカーもその情報をリアルタイムで確認できる品質管理システムの構築について検討した。また、模型試験や実際の施工現場での検証試験に基づき、トルクデータによる暫定的な品質管理基準についても検討した。

2. 構築を目指す品質管理システムの概要

図-2は本研究で開発を目指している品質管理システムに関する概要図である。アンカー補強土壁の施工では、壁面材と補強材を設置した後、壁面調整やフィルター層の構築、更には大型転圧機械による壁面変位が生じないことを目的として、壁裏から1m程度の範囲には盛土材を入れず、その背後に所定の層厚(0.25m)になるよう盛土材をまき出し、転圧が実施される⁷⁾。一般に、この

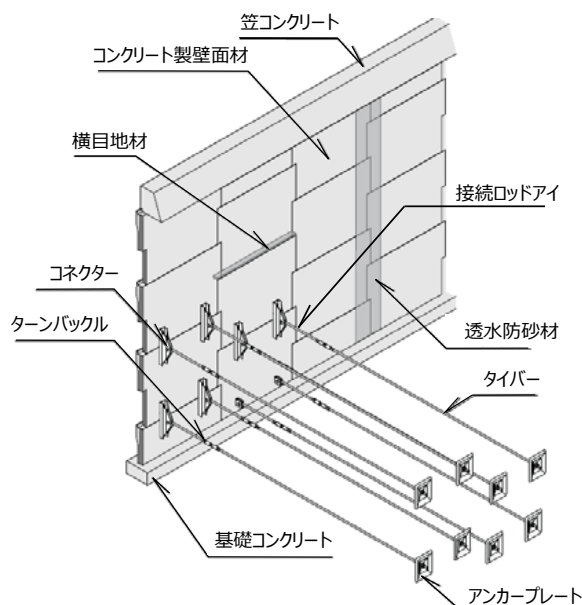


図-1 アンカー補強土壁の概略図⁷⁾

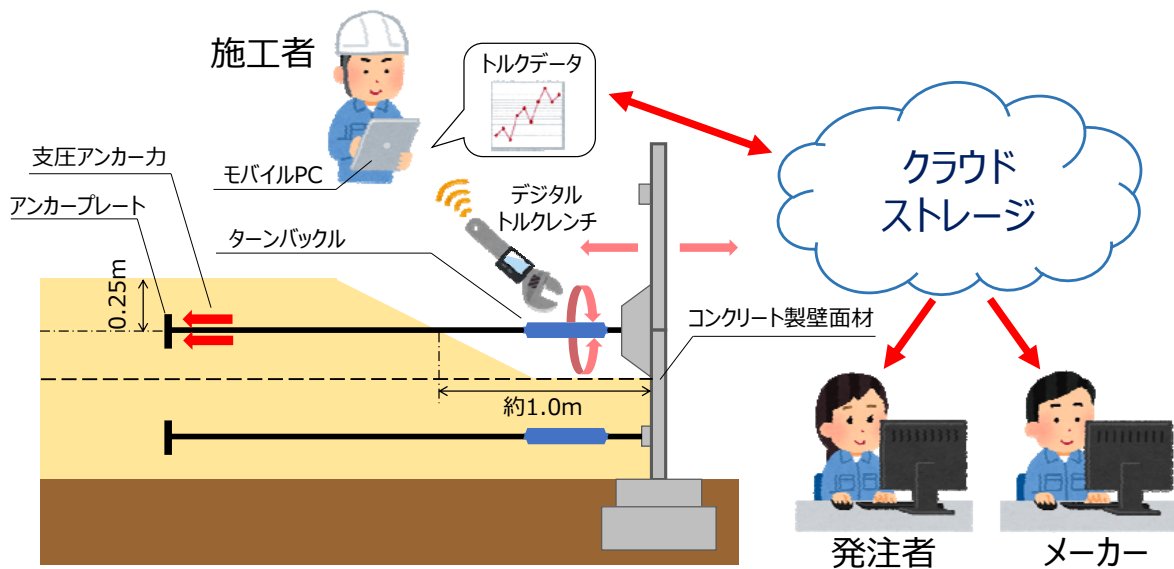
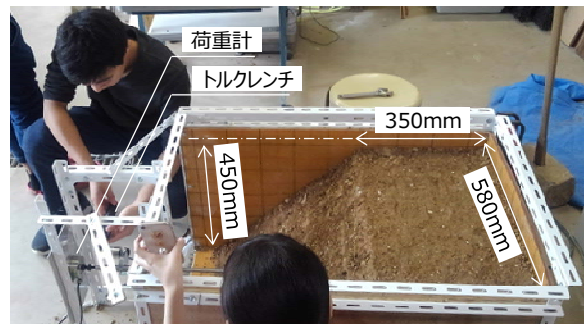


図-2 開発を目指しているアンカー補強土壁の新たな品質管理システムに関する概要図



写真-1 屋内模型試験の様子



状態でターンバックルによる壁面調整が行われるが、回転によって壁面とアンカープレートとの距離を縮めた際には、層厚分の土被り厚によって発揮される支圧アンカー力によって、回転のしやすさ（トルク値）が変化すると考えられる。また、発揮される支圧アンカー力は当然アンカープレート周辺における盛土材の力学的性質（主に剛性）に支配されるはずであるから、（縮める側への）回転時のトルク値を把握することで、アンカープレート周辺の盛土材が壁を支えるのに十分な支圧アンカー力を発揮できるか否かを即座に確認できると考えられる。

一方、このトルク値を施工現場だけではなく、遠隔地でもリアルタイムで確認できるよう、無線送信機能を備えたデジタルトルクレンチとLTE搭載のモバイルPCを使用した。トルク値の変化は付属のアプリケーションソフトによってモバイルPC上にリアルタイムでグラフ描画され、その結果は自動的にクラウドストレージに保存するようにした。

施工中におけるトルクの計測は壁面調整と同時に実施できるため、壁高方向に概ね連続的な情報を得ることが可能である。そして、このデータを施工者だけでなく、発注者や補強土壁メーカーも共有すれば、不良な盛土材が混入する等によってトルク値が急激に変化した際に、速やかな情報交換と対応策の検討を促すことにつながり、たとえ竣工後に変状した場合でも、この記録データは変状要因の特定に貢献すると考えられる。さらに、必要と

なる支圧アンカー力に必要なトルク値が明らかになれば、これを常に上回ることを確認することで、高品質の（例えば、壁面垂直度が高い）補強土壁の構築が期待できるようになると考えている。

以下では、上述した本システムの構築に不可欠な支圧アンカー力とトルク値の関係、計測上の問題点の把握、トルク値を用いた管理基準に関して検討するために実施した屋内外での試験結果についてまとめる。

3. 屋内外で実施した各種試験方法と結果

写真-1は50mm角のアンカープレートを使用した屋内模型試験の様子を示したものである。土槽に設けた反力板に荷重計を設置して支圧アンカー力を計測しながら、ターンバックルのトルクを計測した。実験には2種類の盛土材（粘性土と砂質土）を使用し、締固め度と含水比を変化させて計5回実施した。

図-3はターンバックルを90度ずつ回転させた際に得られた最大トルクと最大支圧アンカー力の関係を示したものである。盛土材や締固め度によらず、概ね同様な関係にあり、ターンバックルのトルク値から概略的に支圧アンカー力を把握することは十分に可能であることが分かる。

写真-2は屋外に構築した試験盛土内に実際の施工で使用する各種部材を設置して実施した試験の様子を示したものである。なお、この試験では壁面材の代わりに

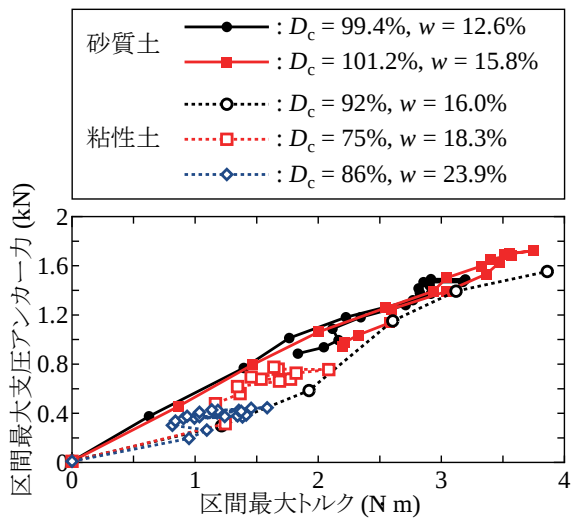


図-3 屋内模型試験で得られた区間最大支圧アンカー力と区間最大トルクの関係

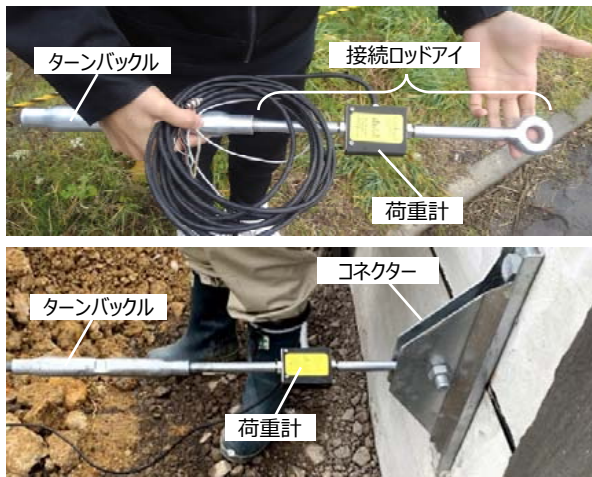


写真-3 製作した荷重計を内蔵した接続ロッドアイ

バックホーのバケットを反力として実施した。必要とするトルクレンチの仕様（最大トルク 100 N·m 程度）や、上述の模型試験と同様にトルクと支圧アンカー力に相関があること、更には支圧アンカー力が十分に大きい場合には、当然ながらアンカープレート側は変位せず、反力板側（実際は壁面材）が変位することが確認された。また、施工に悪影響を与えないことを考慮すると、ターンバックルの回転は 90 度ずつ 2 回転（計測回数 8）程度が望ましいこと、壁面とターンバックルを接続するロッドアイと呼ばれる部材はアンカープレート上に盛土材が転圧された状態でも交換が可能であるため、写真-3 に示すようにこの部材中に荷重計を埋め込むことで、模型試験や試験盛土と同様に実施工でも支圧アンカー力を計測できることが判明した。

写真-4 は以上の検討結果を踏まえ、函館新外環状道路の建設に伴って施工中のアンカー式補強土壁でトルク値等を計測した際の様子を示したものである。なお、ここでは予め壁面材とターンバックルとの間に設置されていたロッドアイを荷重計が内蔵されたものと交換し、先述した試験と同様に支圧アンカー力の計測も行った。また、タイバー近傍に簡易な不動点を設置して、アンカー



写真-2 屋外に構築した試験盛土を用いた試験の様子

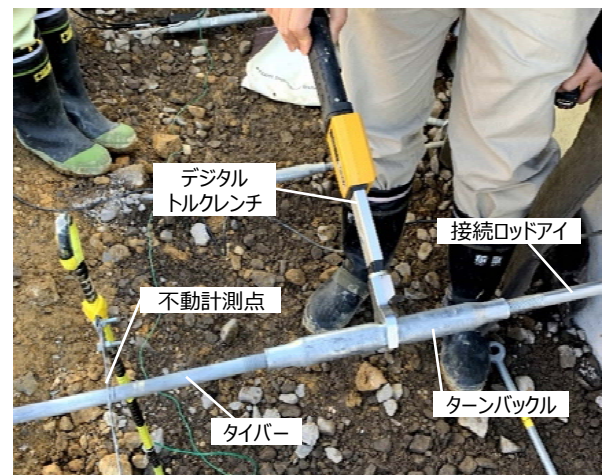


写真-4 施工中の補強土壁で実施した試験の様子

プレート側の変位についても計測した。

図-4 は同じ高さにある 2 か所の補強材において、ターンバックルを 90 度ずつ 2 回転させた際の各区間における最大トルクと最大支圧アンカー力の変化、そのときの壁面やアンカープレートの変位を示したものである。ここで、アンカープレートの変位はタイバーに付けた目印と不動計測点との変位から求めた（写真-4 参照）。計測した 2 か所の補強材において、計測開始時のトルクが異なっているが、いずれもターンバックルの回転に伴って荷重とトルクが上昇していることが分かる。また、

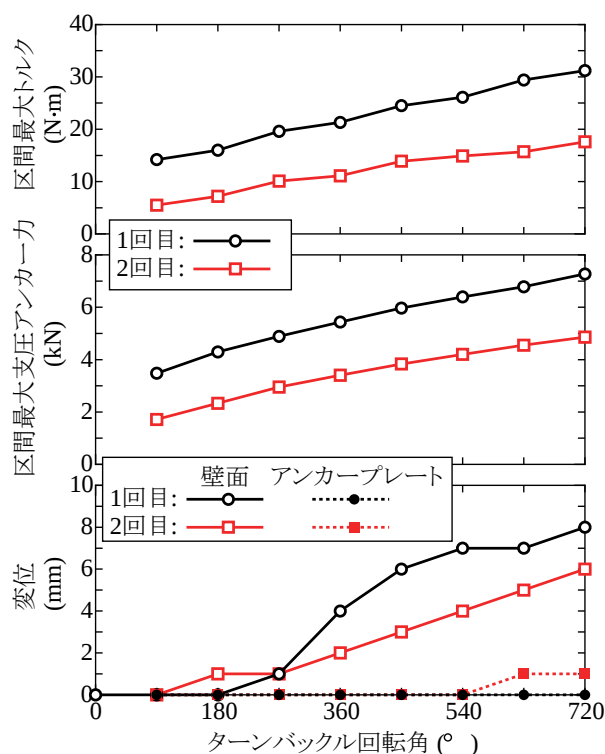


図-4 施工中のアンカー式補強土壁での試験結果

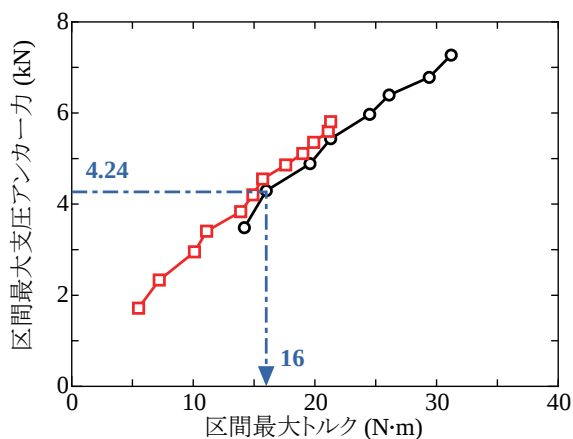


図-5 区間最大支圧アンカー力と区間最大トルクとの関係

支圧アンカー力が増加してもアンカープレートはほぼ動いていないことが分かる。

図-5 は得られた区間最大支圧アンカー力と区間最大トルクの関係を示したものである。試験開始時のトルクと支圧アンカー力の大きさが異なるにもかかわらず、両試験結果は同様な関係にあることが分かる。ここで、タイバー上の土被り圧が 0.25 m (1 層分) の際に、設計上でアンカープレートに期待する許容抵抗力は地震時であっても 4.24 kN/本であり、図中に示す関係から、このときのトルク値はおおよそ 16 N·m であることが分かる。よって、16 N·m のトルクが計測された際にアンカープレートの変位が十分に小さければ、壁を支えるのに十分な支圧アンカー力を発揮できる状態にあると解釈できる。

そこで、本施工においては、鉛直方向の補強材間隔である 1m (4 層) ごとに計測を実施し、90 度ずつ 2 回転

までターンバックルを回転させる中で 16 N·m 以上のトルクが発揮されることと、その際のアンカープレートの変位が十分に小さいこと（ここでは 3mm 以下）を暫定的な品質管理基準とした。

今後はこの管理基準の汎用性を確認するため、多様な盛土材を用いた数多くのアンカー補強土壁の施工地において支圧アンカー力とトルク値の関係を収集したいと考えている。また、変状に至るような不良な盛土材を用いて補強土壁を構築した際のトルク値や変位を把握することも不可欠であり、これらを踏まえて、最終的には先述したようなトルク値のみによって品質管理が可能なシステムを構築したいと考えている。

4. まとめ

本研究で得られた成果を以下にまとめる。

- ・無線送信機能を備えたデジタルトルクレンチとクラウドストレージを活用することで、アンカー補強土壁におけるターンバックル回転時のトルクデータを遠隔地でもリアルタイムで共有するシステムを構築した。
- ・屋内外で実施した実験により、アンカー補強土壁におけるターンバックル回転時のトルク値と支圧アンカー力には相関があることを確認した。
- ・トルク計測時の土被り圧に応じてアンカープレートに期待される設計上の許容抵抗力から、暫定的なトルク値による品質管理基準を設定した。

謝辞：本文は国土交通省「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」（データを活用して土木工事における品質管理の高度化等を図る技術）に基づき、函館開発建設部発注の工事内で実施した研究成果の一部をまとめたものである。関係各位に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，鳥居宣之：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) 許晋碩，澁谷啓，鄭珉守：ジオテキスタイル補強土壁における施工中の変状トラブルの原因と対策工に関する数値解析的研究，ジオシンセティックス論文集，Vol.26, pp.19-26, 2011。
- 4) 橋本聖，川尻峻三，川口貴之，林憲裕，林宏親：変状したジオテキスタイル補強土壁に関する調査事例，地盤工学会北海道支部技術報告集，Vol.57, pp.347-352, 2017。
- 5) 中根淳：補強土工法の設計・施工マニュアルの改訂概要（その1），土木技術資料，Vol.55, No.12, pp.58-61, 2013。
- 6) 日経コンストラクション 2019 年 7 月 22 日号，pp.16-17, 2019。
- 7) 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。