

◆ 報 文 ◆

拡径型アンカーの遠心模型引抜試験

小林悟史* 大下武志** 宇田川義夫***

1. はじめに

従来、高架構造が一般的であった都心部の道路事情は、周辺環境への配慮やオープンスペースの有効利用のため、地下構造化、半地下構造化が進んでいる。一般に、掘削構造物を施工する際、山留め壁を構築し、切梁やグラウンドアンカーなどの支保工を併用する。しかし、切梁工法では仮設の規模が大きくなるという問題が生じ、グラウンドアンカー工法では支持層に定着させる際、アンカー長が極端に長くなり、用地境界内での施工が困難な場合が多い。そのため、従来のアンカーに比べて、短いアンカー長で土砂地盤でも確実に支保できるアンカー工法の必要性は大きい。

拡径型アンカーとは、図-1に示すように、自由長部に比べて定着長部を拡大させたアンカーのことをいう。従来型の摩擦型アンカーに比べて、摩擦面積が増大するとともに、支圧による引抜き抵抗力が期待されることから、先に述べた用途として注目されている。既に実用化されている拡径型アンカーは、地盤内で鋼製のバルーンを拡大させるもの¹⁾や定着長部で拡径削孔を行い、グラウトに置き換える工法²⁾があり、拡大径 $\phi 500 \sim 800\text{mm}$ 程度のアンカー体を造成する。

拡径型アンカーは、摩擦体と支圧体の複合体として引抜き抵抗力を発揮するが、それらの摩擦効果、支圧効果に変形に応じてどのように発揮されるのかという点については、明らかになっておらず、明確な設計法も確立されていない。そこで、本研究では拡径型アンカーの基本特性を把握するため、遠心模型引抜試験を実施した。

なお、本報告は「土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究」として平成18年度から平成20年度にかけて、(独)土木研究所と民間3グループで実施している共同研究の成果の一部である。

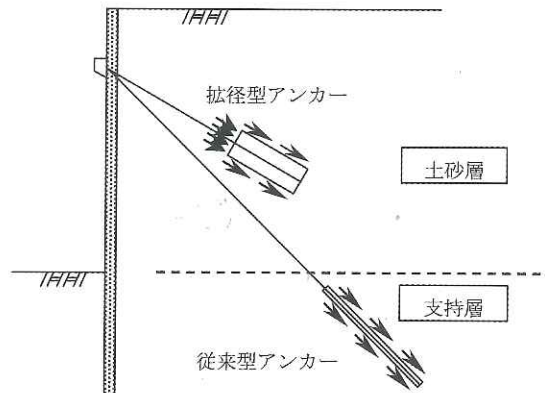


図-1 拡径型アンカーのイメージ

2. 研究目的

設計段階におけるグラウンドアンカーの引抜強度の設定をするため、「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」³⁾(地盤工学会基準)による地盤の種類とN値から摩擦抵抗力を推定する方法が広く使われている。これらの関係式は、過去に蓄積された引抜試験データからとりまとめられたものである。

一方、拡径型アンカーにおいては、十分な引抜試験データがないことから、特に概略設計時の引抜強度の推定が困難である。また、引抜強度試験の結果だけを見ても、それが摩擦と支圧のどちらの効果なのか判別できず、そもそもの強度変形特性の評価も十分にできていない状況である。支圧力、摩擦力のそれぞれの効果を把握することは、今後、さらに性能の優れたアンカー体の開発という観点からも重要である。

著者らはこれまでに、拡径型アンカーの基礎実験として、実大模型の引抜試験を実施してきた^{4), 5)}。実大規模の模型実験は、より現実に近いという意味で有用であるが、一方で次の課題が生じた。

- (1) 実験の準備が大規模となり、1つの実験ケースを行うための労力とコストが大きい。

- (2) 均一な地盤作製が困難であり、そのことが引抜強度に及ぼす影響が大きく、ケーススタディの障害となる。
- (3) 粘土地盤を対象とした場合、圧密による地盤作製に多大な時間を要する。

そこで、本研究ではこれらの課題を克服し、拡張型アンカーの基本特性を把握するために、遠心模型引抜試験を実施した。

検討内容は以下の3項目である。

- (1) 変形に応じた摩擦力と支圧力の強度発現性についての検討。
- (2) 砂地盤と粘土地盤での挙動の比較。
- (3) 支圧面形状が異なる場合の引抜強度へ及ぼす効果の検証。

3. 遠心模型引抜試験

3.1 実験手順

遠心模型試験とは、 $1/n$ スケールの縮小模型に対し、遠心加速度 nG (G :重力加速度)を与えることで、実地盤の応力状態を再現する試験方法である。地盤と構造物の相互作用において、地盤の拘束圧が及ぼす影響は非常に大きいため、このように土の応力レベルを実地盤に合わせることは、現象を適切に評価するために重要である。

遠心試験装置は、(独)土木研究所が所有する中型遠心試験装置を使用した。本試験装置は、回転半径が3.5mであり、最大140Gまでの遠心加速度を与えることができる。また、土槽上部に設置されるXYZ載荷装置は、モーター制御により、遠心力場で3方向同時載荷が可能である。このような載荷装置を用い、実験は次の手順で行った。

写真-1に示すように、土槽内部にアンカー形状を変えた拡張型アンカーの箱抜き模型を、十分なピッチを設けて、鉛直に配置した。

その後、箱抜き模型の上端まで地盤を盛り立て、箱抜きを行い、地盤内に空洞を設けた。そして、この空洞にセメントミルクを流し込んでアンカー体を造成した。実験後に取り出したアンカー体の出来形を写真-2に示す。

アンカー体作製後、実大換算で5.0m相当の土被り高まで地盤材料を埋め戻した。

遠心加速度は30Gに設定し、アンカー寸法は、実大換算でアンカー拡大径 ϕ 800mm、アンカー定着長 $L=0\sim 3.0$ mに相当するものを作製した。

土槽作製後、遠心装置に設置し、XYZ載荷装置を操作してアンカー頭部と載荷装置を固定した。そして、遠心加速度30Gの遠心場において、一定変位速度0.01mm/secで鉛直引抜試験を行った。

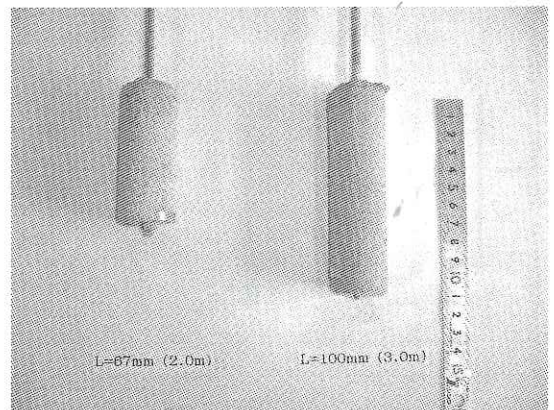


写真-2 アンカー模型体

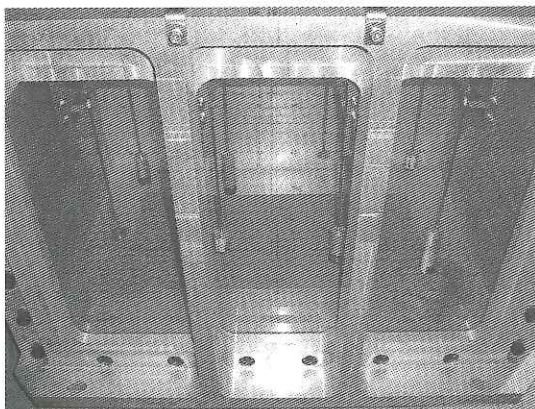


写真-1 実験土槽

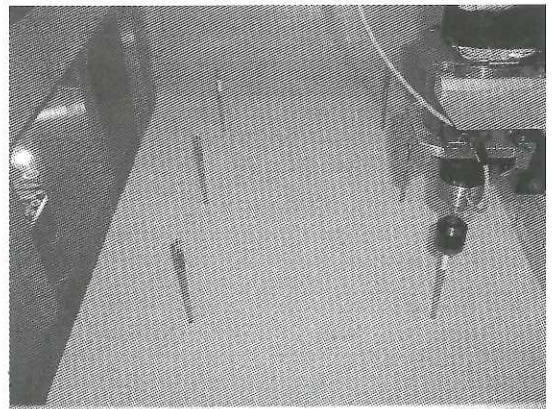


写真-3 引抜試験状況

3.2 砂地盤における引抜試験結果と考察

砂地盤における拡張型アンカーの基本特性を把握するため、図-2の構造図に示すアンカー模型体を作製し、引抜試験を行った。用いた地盤材料は、含水比を10%に調整した豊浦砂であり、相対密度が50%となるよう均一に地盤を作製した。

引抜試験結果の荷重-変位曲線を図-3に示す。図よりアンカー長が長いほど大きな引抜強度が得られているのがわかる。なお、図-3の凡例に示す $L=0\text{m}$ というケースはアンカープレートのみを引き抜いた結果であり、純粋な支圧力である。

ここでは、図-4に模式的に示すように、支圧と摩擦の複合体において、それらの荷重成分が分離できると仮定した。そして、 $L=1\sim 3\text{m}$ の引抜荷重から支圧荷重である $L=0\text{m}$ の引抜荷重を差し引いて摩擦力を逆算したものが図-5である。図-5の摩擦力と変位の関係を見ると、明瞭なピークがあり、その後荷重が減少している。これは、一般

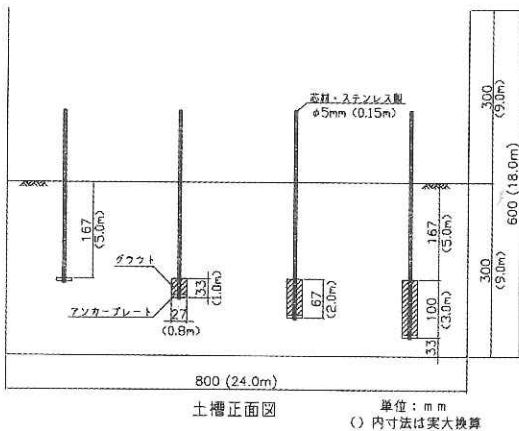


図-2 土槽構造図

に知られている円柱体の摩擦特性と同様な傾向である。したがって、変形に応じて支圧力と摩擦力は独立して強度を発揮しており、それら成分は分離できると判断してよさそうである。

図-5には、支圧荷重も併せて載せている。摩擦力はピーク強度後、脆性的な破壊形態を示すのに対して、支圧力は変形に応じて単調に強度が増加するのが特徴である。摩擦力と支圧力の和として改めて図-3を見ると、拡張型アンカーは支圧効果を併用することで、摩擦のみの構造体と比較し、強度変形特性が大きく改善されることがわかる。

摩擦力が支配的な領域と支圧力が支配的な領域をより明確に示すために、摩擦力を支圧力で除して、荷重の分担比を整理したのが図-6である。変形に応じて支配的な荷重は摩擦力から支圧力へと移行し、その過程で変化点が存在することがわかった。

3.3 粘土地盤における引抜試験結果と考察

粘土地盤でのアンカー体の引抜強度特性を調べ

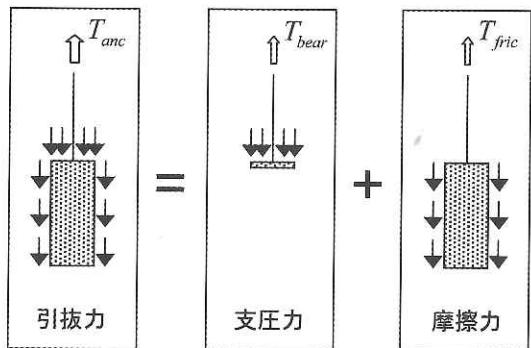


図-4 拡張型アンカーの支持機構

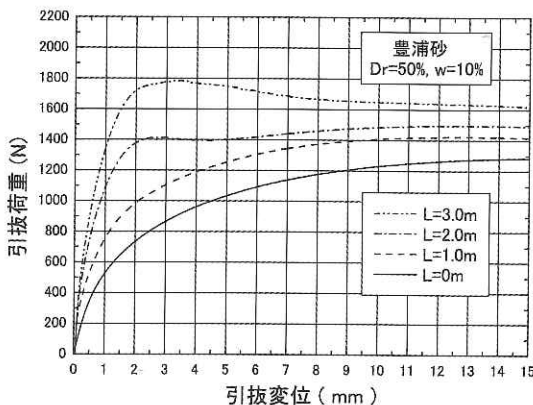


図-3 荷重-変位曲線

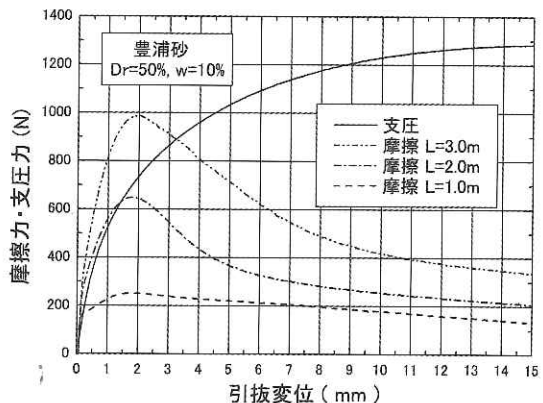


図-5 摩擦力-変位曲線

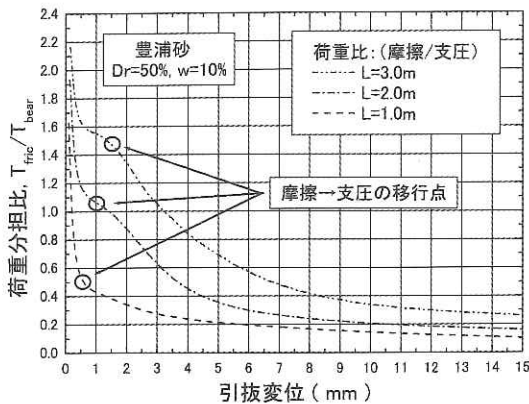


図-6 摩擦と支圧の荷重分担比

るため、前項で述べた砂地盤と同様な実験を実施した。土槽構造図を図-7に示す。

地盤材料は含水比を85%に調整したカオリン粘土を使用した。図-7に示す下層地盤まで粘土を投入し、遠心場で予備圧密を行い、地盤を作製した。その後、箱抜きを行い、グラウトを流し込み、アンカー体を造成した。アンカー体作製後、3日間の養生を行い、上層地盤の埋戻しを行った。

埋戻し後、遠心場で再度予備圧密を行い地盤を作成した。その際、引抜試験時の地盤の過圧密比がOCR=3となるように、地盤に上載荷重を等分布に載荷した。これは、正規圧密粘土の状態では、アンカー体を構築するのには地盤強度が極端に弱すぎると判断したためである。

図-8に引抜試験結果を示す。砂地盤に比べて引抜強度の絶対量が小さく、また、降伏に至るまでの変形量も小さい。

図-8の結果から、摩擦成分と支圧成分に分離した結果を図-9に示す。定性的には砂地盤と同

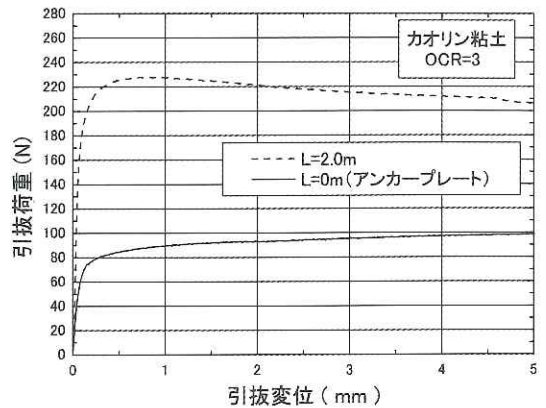


図-8 荷重-変位曲線 (粘土地盤)

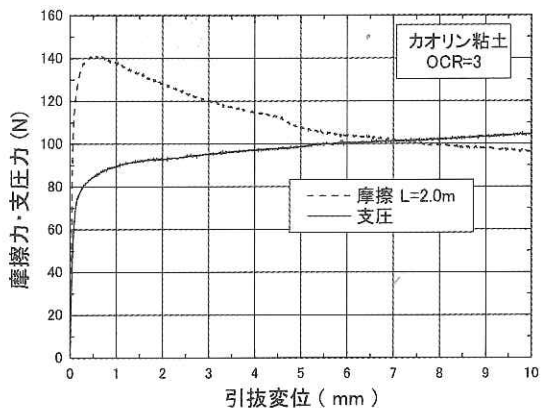


図-9 摩擦成分・支圧成分 (粘土地盤)

様な傾向である。しかし、支圧強度、摩擦強度とも砂地盤の実験ケースと比較すると1割程度であり、このような拡張型アンカーという構造体においても、従来型の摩擦型アンカーと同様に粘土地盤への適用の難しさが伺える。

3.4 支圧面形状の違いが引抜強度に及ぼす影響

これまでの拡張型アンカーの模型体は全て円柱体について行ってきた。また、既往の拡張型アンカーの設計においても、円柱体としての支圧面積および摩擦面積から、支圧強度と摩擦強度を算出している。しかしながら、写真-4に1例を示すように、実際に造成される拡張型アンカーは必ずしも完全な円柱体とは限らない。そこで、図-10に示すような角が取れたアンカー模型を作製し、断面積が同じであれば同様の支圧効果が得られるかの検証実験を行った。

アンカー模型体はアルミ製で、このような模型体を土槽内に埋設し、鉛直引抜試験を行った。

実験は砂地盤で地盤強度を変えたいくつかのケー

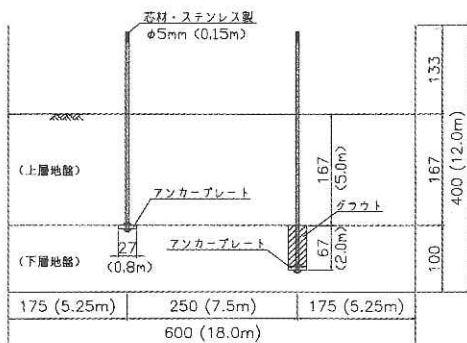

単位: mm
() 内寸法は実大換算

図-7 粘土土槽構造図

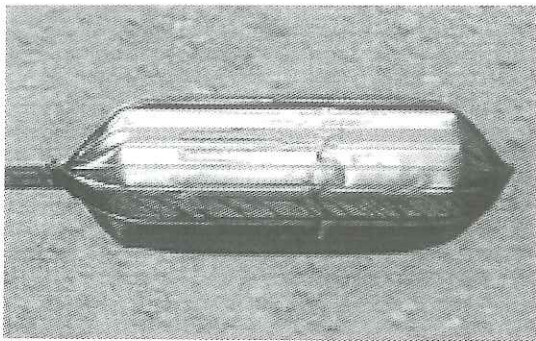


図-4 バルーン型の拡張型アンカー1)

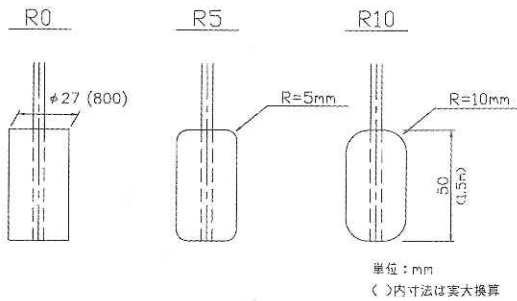


図-10 角の取れたアンカー模型体

スを行った。図-11、12は、各ケースにおいて、横軸に円柱体 (R0) の極限引拔力を、縦軸に角の取れた模型体 (R5、R10) の極限引拔力をプロットし、比較したものである。円柱体に比べて、角がとれたアンカー体の方が1割程度、強度が増加する傾向が見られた。これは、図-13に示すように支圧力を発揮するせん断抵抗線がより深い位置から入るためと考えられる。しかし、実験結果はばらつきが大きく、定量的な評価ができていないため、結果の解釈には注意が必要だと考えている。

図-14は、支圧面の投影面積が同じで、さらに

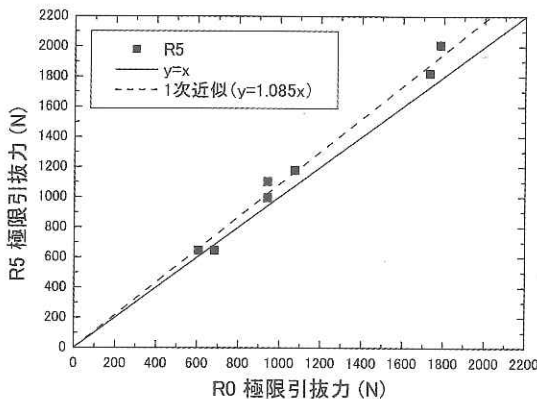


図-11 極限引拔力の比較 (R5)

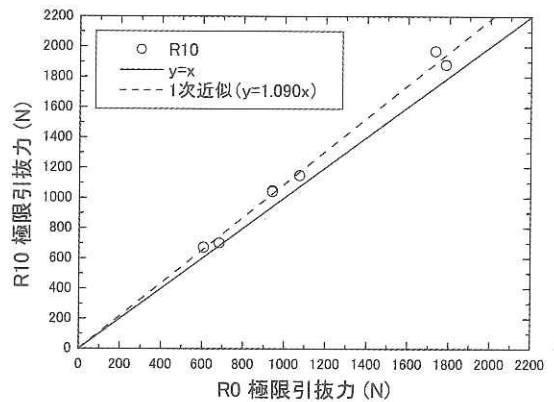


図-12 極限引拔力の比較 (R10)

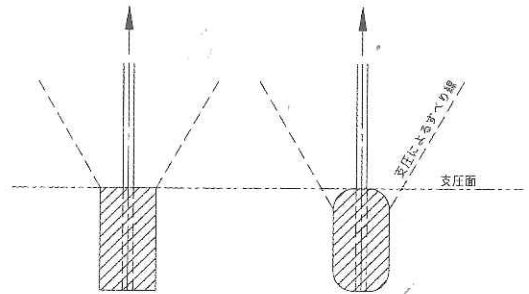


図-13 支圧体に発生するすべり線

深い位置からすべり線が入るケースとして作製したテーパ模型体の構造図である。先程と同様に予めこのような形状に加工したアルミ模型であり、円柱体との引抜強度の比較を行った。

図-15に密詰めめの砂地盤で行った引抜試験結果を示す。変形に応じて、テーパ模型体の方がより大きな引抜強度が得られている。これは、先程と同様に支圧面の投影面積が同じであっても、すべり線の位置がより深い深度から入っていること、そして、変形により支圧面であるテーパ部近傍の地盤の拘束圧が大きくなっていることが要因だ

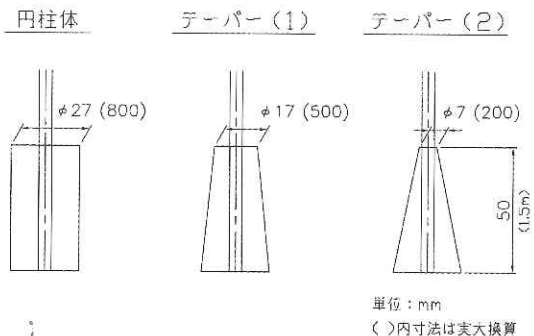


図-14 テーパー模型体

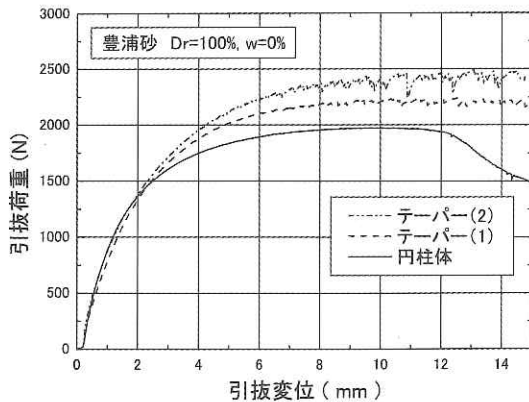


図-15 荷重-変位曲線 (テーバー模型)

と考えられる。

4. まとめ

本研究では、拡径型アンカーの基本特性を検証するため、遠心模型引抜試験を実施した。その結果、得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 拡径型アンカーの強度変形特性は、摩擦特性と支圧特性の和として表現できる。支圧特性は、変形に応じて荷重が単調に増加するのに対し、摩擦特性はピーク強度が存在し、その後の変形で荷重が低下する。
- (2) 拡径型アンカーの引抜強度における支配的な荷重は、変形に応じて摩擦力から支圧力へ移行する。
- (3) 粘土地盤においては、アンカー体と地盤との間の降伏荷重が砂地盤に比べて極端に小さく、支持層としての適用が困難である。
- (4) 角が取れた形状のアンカー体においても支圧面の投影面積が同じであれば、円柱体と同様の支圧強度が得られる。

アンカー引抜き時にどのようなすべり線が発達し、周辺地盤がどのように流動するかということ把握することは、モデルを構築するに当たっても、また、現場で地盤改良などの補助工法との併用を考える上でも重要だと考える。

本実験では、地表面付近での引抜きにおいては、コーン状にすべり線が発達することが観察された。しかし、土被りが大きな地盤内での挙動は十分に把握できなかった。

今後の課題として、土槽ガラス面から地盤とアンカー体の破壊形態を観察するために、半割りのアンカー模型体を作製し、土槽ガラス面に軸対称応力場を再現した引抜試験の実施を考えている。

参考文献

- 1) 日本エキスパンダ・ボディ協会：Expander Body Anchor技術資料, 29p, 2002
- 2) 日特建設(株)：スプリッツアンカー工法 技術・積算資料, 34p, 2003
- 3) 地盤工学会：グラウンドアンカーの設計・施工基準、同解説, p.117, 2000
- 4) 小林悟史、波田光敬、大下武志：拡径型アンカーの大型土槽引抜実験、第61回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp.91-92, 2006
- 5) 小林悟史、大下武志、宇田川義夫、波田光敬：複数の支圧板を有するアンカーの引抜実験、第62回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp.899-900, 2007

小林悟史*



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所技術推進本部施工技
術チーム交流研究員
Satoshi KOBAYASHI

大下武志**



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所技術推進本部施工技
術チーム主席研究員
Takeshi OSHITA

宇田川義夫***



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所技術推進本部施工技
術チーム主任研究員、博士(理
学)
Dr. Yoshio UDAGAWA