

拡開型地中アンカーの開発に向けた 室内モデル実験

A SERIES OF MODEL EXPERIMENTS FOR DEVELOPMENT OF
UNFOLDING GROUND ANCHOR

檀上 徹¹・寺本 龍生²・宮島 佳之³・福島 信夫⁴・藤本 将光⁵・深川 良一⁶

Toru DANJO, Tatsuki TERAMOTO, Yoshiyuki MIYAJIMA, Nobuo FUKUSHIMA,
Masamitsu FUJIMOTO, Ryoichi FUKAGAWA

¹独立行政法人防災科学技術研究所（〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1）

E-mail: t.danjo@bosai.go.jp

²立命館大学 理工学部（〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1）

E-mail: rd0005pf@ed.ritsumei.ac.jp

³立命館大学大学院 理工学研究科（〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1）

E-mail: rd0009he@ed.ritsumei.ac.jp

⁴株式会社中蔵（〒604-8381 京都府京都市中京区西ノ京職司町67-19）

E-mail: fukushima@th-nakakura.co.jp

⁵立命館大学 理工学部（〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1）

E-mail: m-fuji@fc.ritsumei.ac.jp

⁶立命館大学 理工学部（〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1）

E-mail: fukagawa@se.ritsumei.ac.jp

Key Words: axial tensile load test of pile, pull-out resistance, model experiment

1. はじめに

京都市東山山麓部の古くからの住宅地では、現状として古い石積み等の既存擁壁が多数存在している。南海・東南海地震や直下型地震等が懸念される中、安心安全のための防災・減災の強靭化が喫緊の課題であり、日常生活の根拠地である宅地・建物の耐震補強が重要な課題である。今日、建物の耐震診断や補強工事は一定の進展をみているものの、既存擁壁の耐震化はほとんど進んでいない。既存擁壁の補強として、表面にコンクリートを増し打ちしても効果が少ないとから、既存擁壁の安全が確認できない敷地においては取り壊して再築する方法しかない。このため利用できない宅地が拡大しているほどである。既存擁壁の補強方法としては、背面の過剰間隙

水圧の発生を防止するための水抜き穴を設置する方法が推奨されてきたが、これでは地震時の崩壊に対する対策としての効果が小さい。地震時に耐えるためには、擁壁を地盤に固定する必要があり、これには地中にグラウンドアンカー（以後、アンカーと呼ぶ。）を設置するという工法を採用するのが効果的であると考えられる（図-1）。

山田^①は、アンカー工の技術の変遷について以下のように述べている。我が国の地中アンカーは、ドイツの技術を基礎に発展し、まず掘削時の土留め仮設工法として重宝され定着した。その一方、鋼材の腐食が問題視され仮設工法として留まっていたが、1977年に土質工学会（現、地盤工学会）において基準が制定され、本格的にアンカーとして使用できる基準が定められた。さらに1988年に改定が行われ、

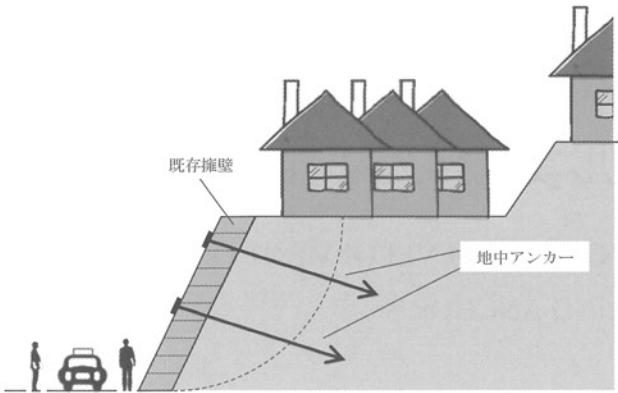


図-1 地中アンカーの設置イメージ

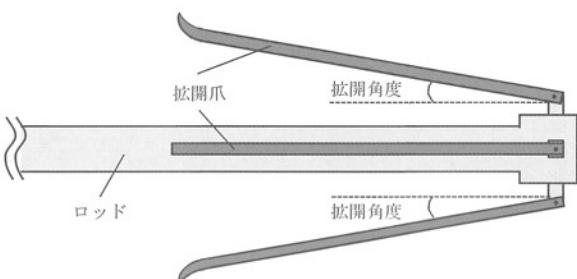


図-2 拡開型地中アンカーの概要

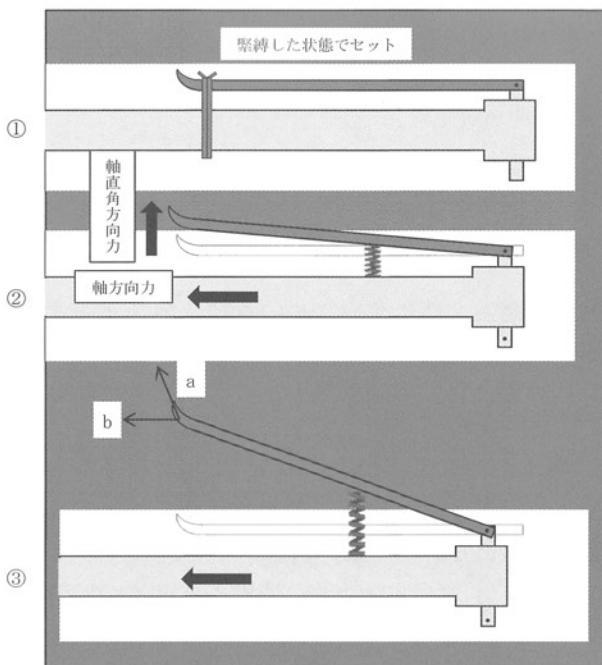


図-3 拡開型地中アンカーの設置イメージ

これをきっかけに優れた防食性能を持ったアンカー（例えば、永久アンカー）の開発が急激に進んだ。

2000年には、多様な型式のアンカーに対応²⁾するため、設計・施工基準の改定が行われ、アンカ一体のグラウトと地盤の摩擦によって支持する方式（摩擦型）や、設置地盤を拡孔することにより定着体を拡径定着させることで支持力を得る支持方式（支圧型）を有するアンカーが開発された。近年では、短い鉄筋を挿入したアンカー工法（鉄筋挿入工）が地盤の強化に寄与することが報告されている。

いずれにしても、これらは掘削孔内に鋼棒等を挿入した後、セメントミルクを注入し、硬化後の孔壁周辺摩擦で引き抜きに抵抗する方法である。そのため、経年変化によるセメントミルクの乾燥収縮や周辺地盤の風化等によりアンカー周辺に空隙が生じる可能性があり、設置初期に比べ引っ張り力が減少する恐れがある。そこに地震時の揺れによって、孔壁周辺との摩擦力がさらに減少し、当初の効果を発現し難くなる可能性が考えられる。

そこで著者らは、地震時においても地盤内で爪（拡開爪）が周辺土塊を掴み取り、引き抜き抵抗力を発現するような拡開型地中アンカー（図-2）の開発を目指す。本論文では、開発に向けた第一段階として、拡開型地中アンカーの引き抜き力を検証するため模型アンカーを作製し、既存アンカーを模擬したモルタル付きアンカー（鋼棒にモルタルを付けたもの）との比較を行った。さらに、拡開型地中アンカーの拡開爪の拡開角度が引き抜き抵抗力へ与える影響について検証するため、拡開角度の異なる模型アンカーを用いた引き抜き実験を行った。

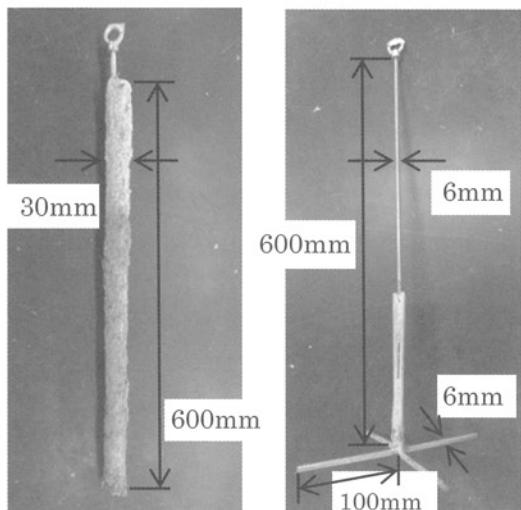
2. 拡開型地中アンカーの拡開機構

図-3に、拡開型地中アンカーの拡開機構のイメージ図を示す。まず、ロッドの先端に取り付けた拡開爪をロッド本体に固定した状態で、所定の深さまで挿入する（図-3①）。次に、緊縛を外し、拡開爪が孔内でバネの反発力をを利用して広げた状態にする。この状態では、拡開爪の先端部が孔壁に接している状態もしくは、少なからず地盤に刺さっている状態である。この状態より、アンカーを引っ張る（引き抜く）ことで軸方向への力、バネの反発力により軸直角方向へと力が拡開爪先端に働く（図-3②）。ここで、拡開爪先端の接する断面が土から受ける抵抗が大きい場合、拡開爪先端の断面における接線方向（a方向）へと突き刺していく。一方、拡開爪先端の抵抗が小さい、または、バネによる軸直角方向の力が十分でない場合、横滑りするように土の中に突き刺さるのではなく、孔壁の弱い部分を突き崩しながら

表-1 拡開型地中アンカーの有用性に関する引き抜き実験条件

実験	1	2	3	4
試料	信楽産まさ土			
相対密度 (Dr)	%	60	60	100
使用した模型アンカー	拡開型地中アンカー	モルタル付きアンカー	拡開型地中アンカー	モルタル付きアンカー
設定含水比	%		10.0	
乾燥密度	g/cm ³	1.506		1.735
湿潤密度	g/cm ³	1.657		1.909
間隙比	-	0.73		0.50
最大粒径	mm		19.0	
相対密度に対するN値 [※]		18		65

※Gibbs & Holtz の相対密度とN値の関係式³⁾を使用.



(a) モルタル付きアンカー (b) 拡開型地中アンカー

図-4 模型アンカーの概要

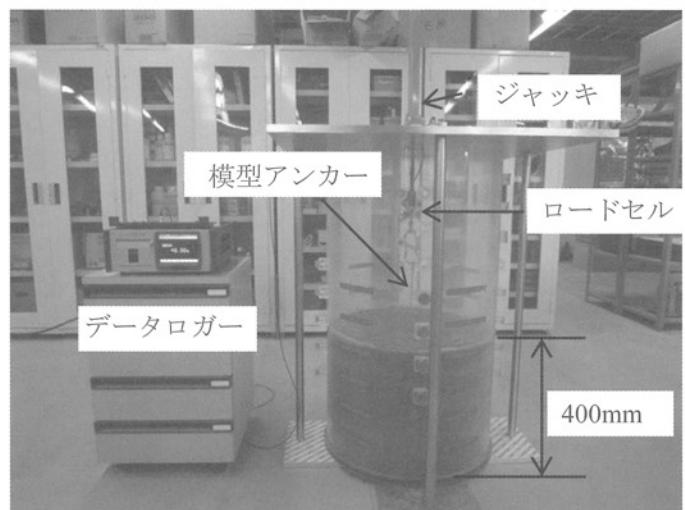


図-5 実験および計測概要

b 方向へと動く可能性が考えられる(図-3③). 本開発においては、a 方向に突き刺さることを想定しており、拡開爪先端の形状およびバネの選定等については現状として検証中であることから、本論では触れないでおく。所定の角度まで拡開爪が開いた後、セメントミルクを注入し空隙を埋めてアンカー全体を地盤内に固定する。

3. 拡開型地中アンカーの有用性の確認

本章では、拡開型地中アンカーの有用性を確認するため、模型アンカーを作成し引き抜き実験を行うことで、既存のアンカーを模擬したモルタル付きアンカーの引き抜き抵抗力と比較検証する。なお、拡開型地中アンカーの拡開爪は一番開いた状態(90 度)を想定して、実験を行った。

(1) 実験方法

本実験の実験条件を表-1に示す。相対密度を2種類(60, 100%)、使用したアンカーを2種類(モルタル付きアンカー(図-4(a))、拡開型地中アンカー(図-4(b)))の計4回、引き抜き実験を実施した。本実験で用いたモルタル付きアンカーは、径6.0mmのアンカーに、水セメント比26%の無収縮・急硬モルタル(リペモルP-500)を用い、数日間養生することで、モルタル径30mm、長さ600mmのモルタル付きアンカーを作製した。拡開型地中アンカーについても同様のアンカー径(Φ6)のものを使用し、拡開爪の長さを100mm、アンカー長さを600mmとした。本実験では、拡開爪の長さ、径、剛性を実際に使用される拡開型地中アンカーの1/3になるように設定し、アンカーの形状による引き抜き力の比較を行った。また、アンカーに接着材(ボンドG17)を塗布して土粒子を付着させ、引き抜き実験時にはア

ンカーに付着した土粒子と周辺土塊との間に摩擦が生じるようにした。

試料は滋賀県信楽真砂土を用い含水比調整した後、円筒カラム（内径：580mm、高さ：1030mm）内へ敷き詰め、所定の密度になるよう木製ランマーを用いて100mmごとに突き固めた。底面より100mmの位置にアンカーの底面がくるよう設置し、さらに300mmの層を作製する（図-5）。ジャッキ、ロードセル、模型アンカーを治具で固定し、この状態の応力（ここでは、引き抜き抵抗力と呼ぶ）のつり合いを「0」として実験を行う。カラム上部のハンドルを手動で回す（0.2mm/1回転）ことでアンカーを鉛直上方向へ引き抜き、ロードセル（東京測器、型番：TCLK-5KNA）で引き抜き抵抗力を計測した。計測は引き抜き量が100mmに達した時点で終了とした。

（2）実験結果・考察

各実験結果に基づくアンカーの引き抜き量と引き

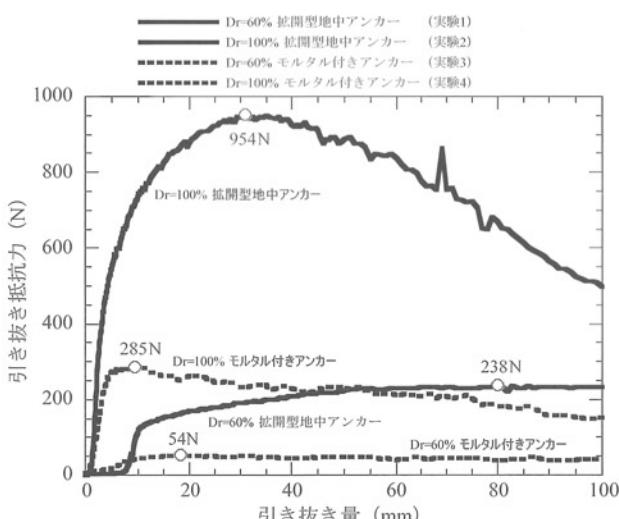


図-6 各実験における引き抜き量と
引き抜き抵抗力の関係

抜き抵抗力の関係を図-6に示す。なお、Dr=100%、拡開型地中アンカー（実験3）のみ最大引き抜き抵抗力後に値が大きく減少しているが、アンカーおよび実験装置に異常はなかった。図より各実験の最大引き抜き抵抗力は、Dr=60%、拡開型地中アンカー（実験1）で238N、Dr=60%、モルタル付きアンカー（実験2）で54N、Dr=100%、拡開型地中アンカー（実験3）で954N、Dr=100%、モルタル付きアンカー（実験4）で285Nであった。Dr=60%時のモルタル付きアンカーと拡開型地中アンカーを比較すると、拡開型地中アンカーは約4倍の引き抜き抵抗力を発現した。また、Dr=100%時のモルタル付きアンカーと拡開型地中アンカーを比較すると、拡開型地中アンカーは約3倍の引き抜き抵抗力を発現し、拡開型地中アンカーが引き抜き抵抗力を十分に発現していることがわかる。拡開型地中アンカーの拡開爪が引き抜き時に周辺地盤に引っかかることで引き抜き抵抗力も増大したことが推測される。

また、引き抜き量と引き抜き抵抗力の最大値が現れる関係を見ると、モルタル付きアンカーではDr=60%のとき18mm、Dr=100%のとき9.6mmであった。拡開型地中アンカーでは、Dr=60%のとき80mm、Dr=100%のとき31mmであった。これらより、モルタル付きアンカーでは比較的早い段階で最大値に達したが、拡開型地中アンカーでは実験開始後から最大値が現れるまで時間を要した。そのため、本実験条件における拡開型地中アンカーはモルタル付きアンカーに比べ、引き抜き量が増加しても抵抗力を發揮したため、周辺土塊に対する拘束効果を発現していたことがわかった。

以上より、拡開型地中アンカーの拡開爪が十分に開いた状態を想定した場合、従来のアンカーアーで用いられるモルタル付きアンカーに比べ、3倍以上の引き抜き抵抗力を発現した。

表-2 拡開角度の影響に関する引き抜き実験条件

実験	A	B	C	D	E	F
試料	信楽産まさ土					
使用した模型アンカー	拡開型地中アンカー				モルタル付きアンカー	
拡開型地中アンカーの爪の角度	deg	0	30	45	60	90
相対密度 (Dr)	%				100	
設定含水比	%				10.0	
乾燥密度	g/cm ³				1.735	
湿潤密度	g/cm ³				1.909	
間隙比	-				0.50	
最大粒径	mm				19.0	
相対密度に対するN値 [※]					65	

※Gibbs & Holtz の相対密度とN値の関係式³⁾を使用。

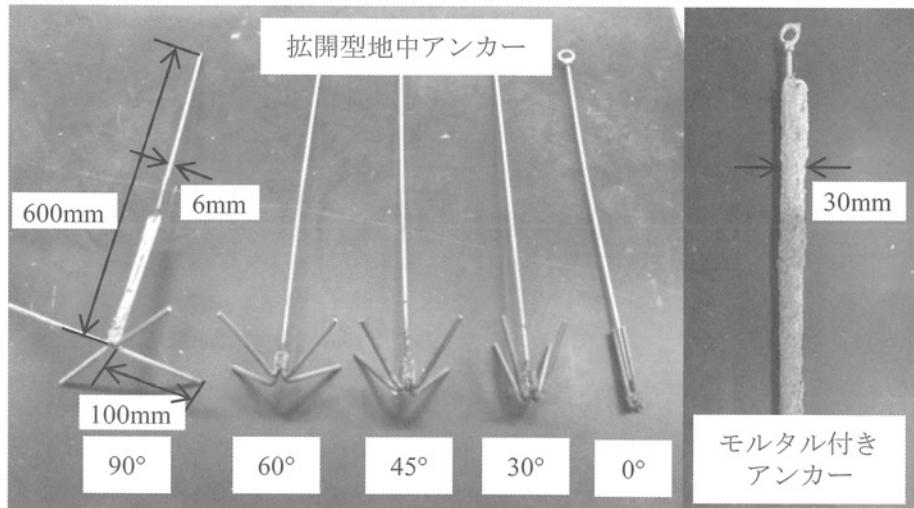


図-7 各拡開型地中アンカーおよびモルタル付きアンカー

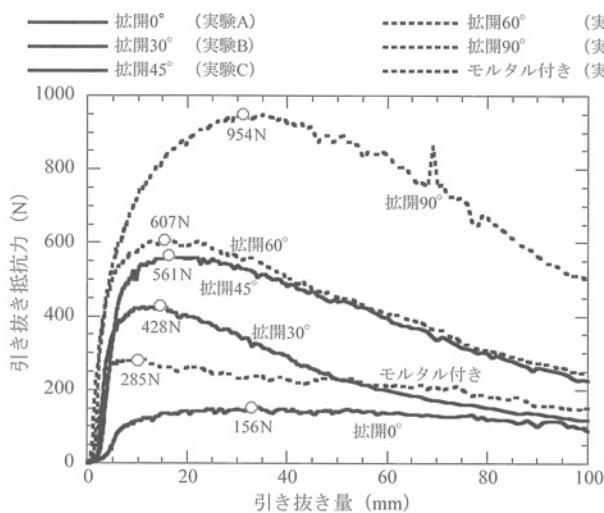


図-8 各拡開型地中アンカーおよびモルタル付きアンカーの引き抜き量と引き抜き抵抗力の関係

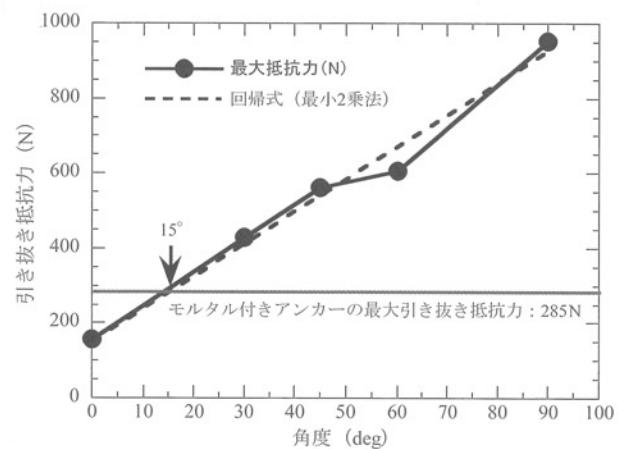


図-9 各拡開型地中アンカーの
拡開角度と最大引き抜き抵抗力の関係

4. 引き抜き抵抗力に及ぼす拡開角度の影響

本章では、前章で拡開型地中アンカーの有用性が確認できたことから、拡開爪の拡開角度が引き抜き抵抗力へ与える影響について検証するため、新たに拡開角度を変えた模型アンカーを4種類作製し、3章と同様の実験機器を用いて引き抜き実験を行った。

(1) 実験方法

本実験の実験条件を表-2に示す。ここで実験Eと実験Fは、3章の実験3と実験4と同様のものである。本実験では、3章の実験結果を基に、実験結果が明瞭に表れた相対密度を100%に設定し、新たに4種類の拡開角度(0°, 30°, 45°, 60°)の模型アンカー(図-7)の引き抜き実験を実施した。実験方法は3章に示すとおりである。

(2) 実験結果・考察

各実験におけるアンカーの引き抜き量と引き抜き抵抗力の関係を図-8に示す。各実験の最大引き抜き抵抗力は、拡開型地中アンカー0°(実験A)で156N、30°(実験B)で428N、45°(実験C)で561N、60°(実験D)で607N、90°(実験E)で954N、モルタル付きアンカー(実験F)で285Nであった。拡開爪が開くことで周辺土塊を捕捉できる面積が増大することから、引き抜き抵抗力が上昇している。また、従来工法を模擬したモルタル付きアンカーと比較すると、本実験においては角度0°以外は引き抜き抵抗力が上回っている。図-9に各実験の拡開角度と引き抜き抵抗力の関係を示す。拡開角度0°と30°を繋いた線および各結果の回帰線(最小2乗法)とモルタル付きアンカーの結果(285N)の交点は、拡開角度がおよそ15°という結果を示した。これより、

模型アンカーを用いた本実験において、拡開型地中アンカーの拡開爪が 15° 開くことで、モルタル付きアンカーと同等の引き抜き抵抗力が発揮できると想定できる。

以上より、模型アンカーに接着剤を塗布し土粒子を付着させ、引き抜き時にアンカーに付着した土粒子と周辺土塊との摩擦が働く実験条件下において、拡開型地中アンカーが 15° 開くことで、モルタル付きアンカーと同等の抵抗力を発揮することがわかった。

5. まとめ

拡開型地中アンカーを模擬したアンカーを用いて引き抜き実験を行った結果、以下の知見を得た。

- 1) 既存のアンカーを模擬したモルタル付きアンカーと、今回提案する拡開型地中アンカーの模型アンカー（拡開角度 90 度）を用いて、同条件下での引き抜き実験を行った結果、拡開型地中アンカーの引き抜き抵抗力が 3 倍以上発現した。さらに、引き抜き抵抗力の最大値がモルタル付きアンカーに比べて遅れて達したことから、引き抜き量が増大しても周辺土塊に対する拘束効果が発現していたことがわかった。これらのことから、拡開型地中アンカーの有用性が確認できた。
- 2) 拡開型地中アンカーの拡開爪の角度が引き抜き抵抗力へ与える影響を確認するため、5 種類の角度の模型アンカーを作製し引き抜き実験を行った。その結果、拡開爪が約 15° 開くことでモルタル付きアンカーと同程度の引き抜き抵抗力が得られたことから、拡開爪が少なくとも

15° 以上開く必要があることがわかった。

6. おわりに

本研究では、拡開型地中アンカーの模型アンカーを用いて引き抜き実験を行った結果、その有効性は示されたものの、模型アンカーでの引き抜き実験という限定された条件下での結果である。そのため筆者らは現在、実斜面での検証を行うための準備を行っている。また本研究では、拡開爪が開いたことを前提に引き抜き抵抗力を評価しているが、拡開爪が実際に拡開する構造の確立および拡開度合いを把握する手法の提案も同時に行う必要がある。そのため、今後、これらの検証も合わせて室内実験を行い、実斜面への適応に向けた開発を進めていく予定である。

謝辞：本研究は、公益財団法人京都産業 21 の平成 25 年度連携型イノベーション研究開発事業＜产学連携プロジェクト形成・シーズ育成促進事業＞の援助を得た。また、(株)吉川組の鬼武氏には、模型アンカーを作製頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 山田浩：グラウンドアンカー工法の技術の変遷、土と基礎、Vol.54, pp.18-20, 2006.
- 2) 星野和彦：グラウンドアンカー設計・施工基準の改定について、基礎工、Vol.28, No.10, pp.2-4, 2000.
- 3) Gibbs, H.J. and Holtz, W.H. : Research on Determining the Density of Sands by Spoon Penetration Testing, 4th ICSMFE, London, Vol.1, p.35, 1957.

(2014. 5. 9 受付)