

アンカーの引抜き抵抗力発生メカニズムの解明と その最適設計法に関する研究

Study on Mechanical Behaviour of Pullout Resistance of Anchor and it's Effective Use for Optimun Design

主任研究員名：玉野 富雄

分担研究員名：金岡 正信

(1) 本研究成果の査読付き論文への公表（①～②）

- ① 論文名：Relationship between the Compressive Strength and the Testing Method for Cemented Soil
著者名：金岡正信・玉野富雄・西形達明・中山義久・松川尚久・Bimal Shrestha
掲載誌名：Proceedings of the 18th International Society of Offshore and Polar Engineering Conference, pp.584-589, 2008. 7
- ② 論文名：PIVによる脆性物体の衝撃破壊挙動の力学解析
著者名：竹原幸生・玉野富雄・金岡正信・水谷夏樹・石川博喜・喜田浩巳・桐山欣之
掲載誌名：第8回地盤改良シンポジウム論文集、日本材料学会、2008. 11（掲載決定）

(2) 共同研究組織全体の総括

地下空間の有効利用時の空洞壁面を保持する手法として、アンカーの利用が求められる場合が多くなってきている。

アンカーの主要な部材であるアンカー体は、円筒形のモルタルおよびソイルセメントにより作製される周辺摩擦型アンカーとアンカー先端部の強固な鋼材の円盤形の支圧板を用いる支圧型式アンカーに大別できる。これらのアンカー体の引抜き時のアンカー体と周辺の地盤および岩盤との相互力学挙動は、「アンカー引抜き抵抗力発生メカニズムの解明とその最適設計法に関する研究」にとり極めて重要な因子である。

近年、アンカーの引抜き抵抗力の発生力学機構に関する研究は、実験および解析による研究により目覚しく発展してきている。しかしながら、円筒形のモルタルおよびソイルセメントにより作製される摩擦型式アンカーであれば、アンカー体強度の力学的評価法、アンカー先端部の強固な鋼材の円盤形の支圧板を用いる支圧型式アンカーであれば衝撃破壊時の力学機構の解明が重要な研究課題として残されている。

そこで、摩擦型式のアンカー体強度の力学的評価法に関する研究（ソイルセメントの試験方法と圧縮強度の関係）については、分担研究者として金岡が担当し、支圧型式アンカーであれば衝撃破壊時の力学機構の解明（PIVによる脆性物体の衝撃破壊挙動の力学解析）の研究については主任研究員の玉野が分担して研究を進めている。現時点の研究成果は2編の査読付の論文として掲載されている。概要を示すと以下のようである。

研究成果の概要（論文①）

地下の深さ方向の原位置で生じているソイルセメントの圧縮強度を正確に把握するには、コアボーリング採取した供試体の圧縮強度および室内の大気圧下で養生した供試体の圧縮強度の差異に関し、力学機構を含めて明確にすることが必要である。本研究では、各種養生条件下での実験によりこれらの力学挙動を考えた。

本研究結果を要約すると次のようである。

- ① “圧力無解放実験”による圧縮強度は、“無加圧実験”および“圧力解放実験”よりも大きい。また、養生圧力を大きくすれば圧縮強度は大きくなる。圧縮強度の増大は、加圧養生により C-S-H が多く生成され、ゲル部が緻密になることによって生じる。
- ② “圧力解放実験”による圧縮強度は、“圧力無解放実験”よりも小さい。また、“無加圧実験”の場合よりも圧縮強度が減少する場合があります、特に、粘土-セメント材料でこの減少傾向は顕著である。
- ③ 地下深い部分における原位置状態でのソイルセメントの圧縮強度を評価するには “圧力無解放実験”を行うことが必要である。

研究成果の概要（論文②）

本研究では、岩石のような脆性物体の衝撃破壊への適用事例として、モルタル供試体を用いた衝撃割裂実験時におけるクラック伝ばの力学解析を取り上げた。すなわち、超高速ビデオカメラを用いたPIV (Particle Image Velocimetryの略) によるクラック伝ば時のクラック近傍におけるひずみ状態の解析結果を行った。

次に、PIVの検証を行う。PIV精度の検証には、面として把握可能なPIVに対して、点としてのひずみを把握するひずみゲージを用いた。ひずみゲージを用いてクラック伝ば時のクラック先端部における水平方向引張ひずみの計測結果をPIV結果と検証することで、PIVによる脆性物体の衝撃破壊挙動の力学解析への適用性を明らかにした。

本研究をまとめると次のようである。

- ① 衝撃割裂実験時のモルタル供試体端面に生じるクラックの伝ば挙動を正確に可視化する画像解析を行った。その結果、力積が大きくなるほどクラックの伝ば速度は速くなるが、力積を大きくしてもそれ以上に伝ば速度が増大しない限界値があり2.6km/secであった。
- ② クラックの伝ば時の力学挙動を明らかにするため、画像解析結果を用いてPIVを行った。その結果、力積97.0 N・secでクラックの伝ば点の水平方向ひずみは引張りで 370μ であった。
- ③ ひずみゲージによるクラック伝ば点での水平方向ひずみの計測を行った。その結果、クラック伝ば点での水平方向ひずみは引張りで力積97.0 N・secで 320μ 、力積693.0 N・secで $270\sim 375\mu$ であった。
- ④ PIVによる解析値とひずみゲージによる計測値を比較検討した結果、クラックの伝ば点での水平方向ひずみの大きさは両方でよい一致がみられた。PIVは脆性物体の衝撃破壊挙動の力学解析に適用でき、面としての力学現象の把握が可能であることがわかった。

PIVによる脆性物体の衝撃破壊挙動の力学解析

玉野 富雄（工学部）

（1） 分担研究課題の査読付き論文への公表

論文名： PIVによる脆性物体の衝撃破壊挙動の力学解析

著者名： 竹原幸生・玉野富雄・金岡正信・水谷夏樹・石川博喜・喜田浩巳・桐山欣之

掲載誌名： 第8回地盤改良シンポジウム論文集、日本材料学会、2008. 11（掲載決定）

（2） 研究成果概要

岩盤中に設置したアンカー体の破壊は、アンカー先端部の強固な鋼材の円盤形の支圧板が、地震時などにおいて、衝撃的に引抜けることにより生じるものである。衝撃破壊の研究の重要性が指摘できる。すなわち、アンカー体が衝撃力を岩盤に作用し、岩盤を衝撃破壊させる力学機構の解明が必要となる。しかしながら、従来、岩盤の衝撃破壊の研究事例はほとんどなく不明な点として残されている。岩は一般的に脆性物体と呼ばれる。

脆性物体に対する衝撃破壊研究への取り組みとして、先に玉野らは、静的破壊時と衝撃破壊時で脆性物体であるモルタル供試体の破壊状態は大きく異なることを示し、さらに衝撃力（以下、力積と呼ぶ）の大きさにより、また破壊形態が大きく異なることを示している。

本研究課題である「PIVによる脆性物体の衝撃破壊挙動の力学解析」では、これらの研究を展開し、脆性物体の衝撃破壊への適用事例として、モルタル供試体を用いた衝撃割裂実験時におけるクラック伝ば時の力学解析を取り上げた。

まず、世界最速の毎秒100万枚を撮影できる超高速ビデオカメラを用いて、脆性物体であるモルタル供試体に超高速で生じる衝撃クラック（以下、単にクラックと呼ぶ）の伝ば挙動を正確に可視化する画像解析を行った。その結果、力積が大きくなるほどクラックの伝ば速度は速くなるが、力積を大きくしてもそれ以上に伝ば速度が増大しない限界値があり平均値としてみて2.6km/secであることを確認した。

次に、超高速ビデオカメラを用いたPIV（Particle Image Velocimetryの略）によるクラック伝ば時のクラック近傍におけるひずみ状態の解析結果を示した。

さらに、用いたPIVの精度検証を行った。PIVの精度検証には、面として把握可能なPIVに対して、点としてのひずみを把握するひずみゲージを用いた。ひずみゲージを用いてクラック伝ば時のクラック先端部における水平方向引張りひずみの計測結果をPIV結果と検証することで、PIVによる脆性物体であるモルタルの衝撃破壊挙動の力学解析への適用性を明らかにした。

すなわち、クラック伝ば点での水平方向ひずみは引張で力積97.0 N・secで320 μ 、力積693.0 N・secで270 μ ～375 μ であった。PIVによる解析値とひずみゲージによる計測値を比較検討した結果、クラックの伝ば点での水平方向ひずみの大きさは両方でよい一致がみられた。PIVは脆性物体の衝撃破壊挙動の力学解析に適用でき、面としての力学現象の把握が可能であることがわかった。

ソイルセメントの試験方法と圧縮強度の関係

金岡 正信 (工学部)

(1) 分担研究課題の査読付き論文への公表

論文名 : Relationship between the Compressive Strength and the Testing Method for Cemented Soil
著者名 : 金岡正信・玉野富雄・西形達明・中山義久・松川尚久・Bimal Shrestha
掲載誌名 : Proceedings of the 18th International Society of Offshore and Polar Engineering Conference, pp.584-589, 2008.7

(2) 研究成果概要

一般的に、ソイルセメントは、地下浅い部分での使用がほとんどであり、加圧養生条件はあまり重要視されてこなかった。しかしながら、今後のソイルセメント材料のアンカー体としての利用を考える際、ソイルセメントの加圧養生条件下の深さ方向の利用状態における圧縮強度特性を詳細に把握することが、設計・施工の実務の点から重要な研究事項となる。

地下の深さ方向の原位置で生じている圧縮強度を正確に把握するには、コアボーリング採取した供試体の圧縮強度および室内の大気圧下で養生した供試体の圧縮強度の差異に関し、力学機構を含めて明確にすることが必要といえよう。本研究では、こうした観点から、ソイルセメントの加圧養生条件下での圧縮強度に関し、養生および実験方法と圧縮強度の関係に関する一連の実験を行った。

地下の深さ方向の原位置で生じているソイルセメントの圧縮強度を正確に把握するには、コアボーリング採取した供試体の圧縮強度および室内の大気圧下で養生した供試体の圧縮強度の差異に関し、力学機構を含めて明確にすることが必要である。本研究では、各種養生条件下での実験によりこれらの力学挙動を考えた。

本研究では次の実験計画を立案し基礎的実験研究を行った。今回のすべての実験では、水セメント比を一定に保持するため、供試体の作製時および養生時に水分が供試体の外部に出ることがない配合で実験を行った。実験方法は次のようである。

- ① “無加圧養生実験”：供試体作製後、大気圧養生を行い一軸圧縮強度を調べる。以下、単に“無加圧実験”と呼ぶ。
- ② “加圧養生-圧力解放実験”：供試体作製後、直ちに加圧養生を行い、圧縮強度試験の直前に圧力を解放し一軸圧縮強度を調べる。以下、単に“圧力解放実験”と呼ぶ。
- ③ “加圧養生-圧力無解放実験”：本実験は三軸圧縮強度実験であり、供試体作製後、直ちにセル内で空気圧による加圧養生を行い、加圧状態のままに圧縮強度を調べる。以下、単に“圧力無解放実験”と呼ぶ。

本研究結果を要約すると次のようである。

- ① “圧力無解放実験”による圧縮強度は、“無加圧実験”および“圧力解放実験”よりも大きい。また、養生圧力を大きくすれば圧縮強度は大きくなる。圧縮強度の増大は、加圧養生により C-S-H が多く生成され、ゲル部が緻密になることによって生じる。
- ② “圧力解放実験”による圧縮強度は、“圧力無解放実験”よりも小さい。また、“無加圧実験”の場合よりも圧縮強度が減少する場合があります、特に、粘土-セメント材料でこの減少傾向は顕著である。
- ③ 地下深い部分における原位置状態でのソイルセメントの圧縮強度を評価するには“圧力無解放実験”を行うことが必要である。