

平成21年3月31日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18360229

研究課題名（和文） トンネル施工時の安定性評価に関する総合的研究

研究課題名（英文） A Comprehensive research on the safety evaluation of Tunnel Construction

研究代表者

田村 武（TAMURA TAKESHI）

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30026330

研究成果の概要：施行時のトンネル構造がどの程度の力学的安定性を有しているかを評価する手法について検討した。そして力学的、実験的かつ実証的にこの安定性の評価の方法を提案した。特に、3年間に於いて2つの大きなテーマである「サイドパイルのトンネル安定性に与える効果」と「海底トンネルの施工時から供用後の安定性」について集中的に研究を実施した。前者については、すべり線のブロック効果、後者については水圧上昇に伴う地盤と覆工の剥離現象が、それぞれを支配する重要な要素であることがわかった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2007年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
年度			
総計	7,100,000	2,130,000	9,230,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：トンネル、安定性、施工、地下水、支保、サイドパイル、注入、剥離

## 1. 研究開始当初の背景

一般にトンネルのような地下構造物は、いったん施工が完了すると、きわめて安定した構造となる。たとえ巨大な地震があったとしても、トンネル本体構造が崩壊した事例はない。すなわちトンネル構造は、トンネル支保と周辺地山からなり、それらの相互作用で十分にしなやかで粘り強い構造となっている。しかし、掘削時にトンネル構造が十分安定した方法で施工されているかという点、必ずしもそうではない。その証拠に、シールドトンネル掘削における切羽の崩壊や、NATMにより施工されているトンネルで地山が不安定な現象を起こすことがしばしば見られる。そこには経験不足といった現場技術者の責任に

帰される原因があるのではなく、施工時のトンネル構造に対する力学的未解明の分野が残されているのが事実である。完成したトンネルが地盤のなかで閉じた曲面として存在することと比べて、施工時のトンネルは開いた曲面構造であることから、地盤との相互作用が十分に機能しない。このことは切羽周辺部および切羽から後方のインバート施工部で特徴的に見られる。では、切羽周辺部やインバート掘削部がどの程度に不安定かという点、いまのトンネル工学ではそれを評価することができない。不安定であることがわかっていても、どのような場合に崩壊することがあるかを予想することができない。これは、至急に解明しなければならない問題であると

ともに、力学的にみるときわめて興味深い問題でもある。ここでは特に、掘削時のトンネル安定性の確保をもたらすサイドパイルと、不安定性をもたらすトンネル周辺の地下水について集中的に検討した。

## 2. 研究の目的

トンネル工学は、わが国が世界に誇る技術の1つである。山岳の多い国土や、人口の集中する都市部の有効利用を図るために先人たちが営々と育ててきた技術の結晶である。特に青函トンネルに代表される長大トンネルや、都市部の未固結地盤に被りの浅いトンネルなど究極に近い条件のもとでトンネルを掘削してきた。しかし一方で技術は確かに大成したが、いまでも大きな問題となっているのは、施行時のトンネルの安定性である。実際、人身事故の至らない範囲ではあるが、近年、トンネル施行現場で地盤の崩壊がしばしば発生している。これほどの技術力の高いわが国で、どうしてこのようなことになるのだろうか。実は、これには1つの明確な事実がある。すなわち、施行時のトンネル構造がどの程度の力学的安定性を有しているかを評価する手法がないのである。この問題を真正面に取り上げ、力学的、実験的かつ実証的にこの安定性の評価の方法を提案しようとするのが本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

(1) 小土被りの未固結地山におけるNATMによるトンネルの掘削について

①切羽の安定・地表面の沈下等の問題がある。その地表面の沈下対策工については、設計・施工にあたり、より効率的で経済的な対策工の選定基準を明確にし、その有効性・メカニズムの検証が重要となってきた。ここでは、小土被り未固結地山トンネルの掘削時の地山挙動や各種沈下対策工の効果について調査・分析を行い、小土被り未固結地山トンネルの地表面沈下対策工の選定基準を提案し、さらに、サイドパイルの沈下抑制効果のメカニズムについて、室内模型実験及び数値解析から明らかにするとともに、その実トンネルへの適用性の検討を行うことを目的とした。

②小土被りの未固結地山における鉄道や道路等のトンネルは、従来、切羽の安定性や地表面の沈下による交差する道路や構造物等への影響から、主に開削工法やシールド工法を用いて建設されてきた。

③しかし、開削工法は、地表面の交差する道路や構造物等を切り回す、または移設する必要があり、工費や工期の面からも、その採用が難しい場合がある。また、シールド工法は、地表面等の周辺環境に与える影響は小さくてすむものの、シールドマシンやセグメント

に多額の費用がかかることから、トンネルの建設費が割高にならざるを得なく、採用する箇所が限定される。このような状況において、近年のトンネル掘削や補助工法の技術開発が進み、都市部においても、経済的で、かつ地表面に大きな影響を及ぼさず、環境的にも工期の面からも有利なNATMによる施工が可能となり、多数のトンネルがNATMにより施工されるようになってきた。

④一方、小土被りの未固結地山におけるNATMによるトンネル掘削は、切羽の安定性、地表面の沈下、地下水への影響等の問題が全く無くなったわけではなく、それぞれの問題点も抱えている。例えば、地表面の沈下について着目すれば、地表面とトンネル天端と支保工脚部がほぼ同程度沈下するいわゆるとも下がり現象が生じており、その対策として脚部補強工等の補助工法を併用しながら施工している。

⑤また、今後建設する新幹線の場合は、高速走行を確保するため、駅位置、曲線半径、線路縦断勾配等に一定の制約があり、ルート選定上、小土被りの未固結地山のような地形や地質の区間をトンネルで通過しなければならないケースが生じる。

⑥このように、小土被り未固結地山におけるトンネルが今後も施工されることになり、切羽の安定性を図るとともに、地表面に対する影響を極力少なくする対策、つまり地表面沈下対策が重要な要素となってきた。

⑦近年施工された新幹線のトンネル群を対象に、小土被り未固結地山トンネルの掘削時の地山挙動や各種沈下対策工の効果について調査・分析を行い、小土被り未固結地山トンネル掘削時の地表面沈下対策工の選定基準を提案した。さらに、脚部補強工のひとつとして実際に現地で採用しているサイドパイルに着目し、その沈下抑制効果について、室内模型実験および数値解析により、その沈下対策工としてのメカニズムを明らかにするとともに、実トンネルにおけるその設計・施工法の確立を図った。

(2) トンネル安定性に及ぼす水圧の影響について

①現在、代表的な海底トンネルの1つである青函トンネルでは、トンネル内湧水量が減少する傾向にある。この傾向が続くと、トンネル周辺の水圧分布が変化し、トンネルに大きな負荷がかかるおそれがある。そこで、本研究では、数値解析を用いて、トンネル覆工背面に作用する水圧が覆工の応力状態に与える影響について調べ、健全性の評価を試みた。

②一般に海底トンネルの施工および維持管理においては、トンネル周辺に作用する大きな水圧と、膨大な浸透水が1つの重要な問題となる。なかでも、本研究の対象とする青函ト

ンネルは、海面下 240m に位置し、非常に大きな水圧が作用しトンネルが不安定な状態となるため、細心の注意が払われている。現在、青函トンネルは青森県と北海道を結ぶ在来線の唯一の鉄道トンネルとして供用中であり、将来は新青森 - 新函館間を結ぶ北海道新幹線の一部としても使用されることが決定している。また、トンネル内には通信網も敷設されており、その安全性や機能性を維持することは、社会的経済的に非常に重要な課題である。青函トンネルの施工時は大きな圧力と膨大な量の浸透水の対策として、トンネル周辺地山の透水性を低下させるため薬液を注入する方法が取られた。現在は維持管理の一環として湧水量を継続的に測定しており、透水環境の変化によって坑内湧水量が供用開始から 2, 3 割減少しているという報告がなされている。

③海底トンネルに関する研究は過去にも行われているが、剥離まで考慮したモデル化によって健全性の評価を行った研究は見受けられない。そこでここでは、透水性の低下が及ぼす影響について調べ、剥離の可能性まで考慮した数値解析により、トンネル周辺で起こる現象の予測を試みた。解析では、いくつかの間隙水圧分布を想定し、トンネル覆工の応力状態を求め、力学的な健全性評価を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) サイドパイラに関する研究成果

①既往の研究から、地表面沈下の抑制に際しては、グラウンドアーチの形成と脚部沈下を抑制することが重要であることが判明した。対策工の中で坑内から施工が可能で経済的であり、地山条件によってはその効果が確認されているサイドパイラについて、その沈下抑制効果の作用メカニズムについて明らかにすることを目的として室内模型実験を実施した。実験は、降下床実験装置を使用することとし、降下床を降下させることで掘削に伴うトンネルの沈下状態を表現した。

②その結果、以下のことが判明した。

- ・サイドパイラなしのケースの実験結果から、小土被り未固結地山のトンネルは、地表面・トンネル天端・トンネル脚部が同程度沈下するとともに下がり現象を示すことが明らかになった。

- ・この挙動は、トンネル近傍にすべり線が発生し、それを境にトンネルとその上部の地盤が沈下する現象であることを確認した。

- ・このすべり線と交差するような形でサイドパイラを打設することにより、地表面の沈下抑制効果が得られることが確認された。

- ・サイドパイラの設置条件を変えた実験により、サイドパイラについて、一定の長さ以上確保すること、トンネル支保工に十分固定すること、材質の剛性が高めることによりその

効果が高まることを確認した。

③以上のように、模型実験でサイドパイラの作用メカニズムや沈下抑制効果を検証できた。この結果を検証するために数値解析を実施した。まず、模型実験を再現するため剛塑性有限要素法によりシミュレーション解析を行った。さらに、パラメーター解析を実施し、サイドパイラの作用メカニズム及び沈下抑制効果を発揮する条件について、つまりサイドパイラの長さ、トンネルとの結合、地盤条件について検討を行った。さらに、実際のトンネルを想定した数値解析を行い、サイドパイラの沈下抑制効果の検討を行った。

④以上の解析を行った結果、以下のことが判明した。

- ・まず、シミュレーション解析では、模型実験における挙動が再現できた。

- ・降下床の降下に伴うトンネル模型の回転・移動の挙動及び地表面の一部の盛り上がり

- ・サイドパイラの長さが一定以上になると沈下抑制効果を発揮され、降下床に作用する土圧が減少する傾向があった。

これらの結果から、シミュレーション解析により模型実験の状態を再現できたと判断できる。さらに、塑性ひずみ速度分布図より、サイドパイラが降下床の降下に伴い発生するすべり線と交差するか否かでサイドパイラの沈下抑制効果が決定されることが判明した。

⑤次に、パラメーター解析では、以下のことが判明した。

- ・サイドパイラの作用メカニズムは、トンネルの掘削により生じるすべり線をまたぐように打設することにより、すべり線の位置をトンネルからはなれた場所に移動させ、地盤のすべりを起こしにくくし、地表面の沈下を減少させる

- ・サイドパイラの効果を発揮させる条件として、サイドパイラの長さはある程度の長さが必要である、トンネル本体とサイドパイラの結合方法は、トンネルと十分結合するほど効果が大きい、サイドパイラの効果を発揮するには地盤強度（内部摩擦角）がある程度必要である

⑥また、剛塑性有限要素法を用いた実トンネルを想定した数値解析により、サイドパイラの沈下抑制効果の検討を行った結果、以下のことが判明した。

- ・変位速度分布よりサイドパイラがある場合、さらに沈下領域は広がっており、地表面の沈下をトンネルから離れた領域に散らす効果がある。

- ・パラメーター解析では、内部摩擦角が小さいほどサイドパイラの効果は非常に小さく、大きくなるほど効果が増加する。

- ・東北新幹線のトンネルのデータを用いて小土被り未固結地山トンネルの沈下挙動を

まとめ、サイドパイルの沈下抑制効果およびともさがり現象の沈下発生メカニズムを解明し、小土被り未固結地山トンネルの沈下対策工の選定の考え方を提案した。

⑦サイドパイルの沈下抑制効果のメカニズムの検討は、模型実験と数値解析により行った。サイドパイルの沈下抑制効果については、トンネル横断方向についてその効果を解明したが、トンネルの縦断方向についての効果も考えられる。これを解明するために3次元の数値解析等による沈下抑制効果の検討も今後必要と考える。

⑧さらに、模型実験では、今回はトンネルの脚部と側壁のみをモデル化しており、トンネルのアーチ部の影響が考慮されていない。トンネルのアーチ部まで考慮した模型実験を実施することにより、さらに実際のトンネルに近い状態におけるサイドパイルの沈下抑制効果が確認できると考える。

## (2) 海底トンネルの安定性に関する研究

### ①解析手順

#### Stage1: 掘削時

初期応力のみが作用する地盤の掘削によって有効応力、水圧がそれぞれ $\alpha$ 、 $\beta$ の割合で解放される。この解析で得られた増分有効応力は初期応力と足し合わせる。変位に関しては、初期状態での変位を0とするので、この解析によって得られた変位が掘削直後の変位となる。

#### Stage2: 覆工完成直後

覆工が完成したあとに、残留している有効応力と水圧を除荷する。覆工は不透水性の弾性体とし、覆工内壁で有効応力が0、覆工背面で水圧が0とする。解として得られる有効応力、変位は増分値なので、前段階のものに足し合わせる。

#### Stage3: 覆工完成後長期間経過時(現在)

施工後長期間経過し、その間に目詰まり等の理由により周辺地盤の透水性が低下したため、覆工背面に初期水圧の $\gamma$ 倍( $0 < \gamma < 1$ )の水圧が回復する状況を考える。この解析で求めた変位、有効応力も前段階のものに足し合わせる。

#### Stage4: 覆工と地山の境界面での剥離

ここでは、あらかじめ覆工と地山の境界面での節点を二つ重複して取っておく。Stage3における覆工背面での要素における有効応力からトラクションを計算し、覆工に対して引張りのトラクションが出た場合には剥離が生じるものと仮定し、重なった節点の各節点を離す。覆工に対して圧縮のトラクションが出た場合には二つの節点は結合させておく。剥離が生じた場合には、剥離が生じた節点に水圧を圧力として剥離面の両側に作用させる。この解析で得られた増分変位及び増分応力も前段階のものに足し合わせる。

Stage1~Stage3の段階においては浸透流解析、変形解析の両方を行う。Stage4では、トンネル周辺の水圧分布は変化していないので変形解析のみを行う。浸透流解析及び変形解析は非連成であるが、浸透流解析の結果は変形解析に用いる。本研究では、 $\alpha=0.5$ 、 $\beta=0.5$ の場合及び $\alpha=1.0$ 、 $\beta=1.0$ の場合について考える。また問題を簡単にするため、本研究では透水係数一定の下、覆工を円形に近似し、注入域は設けていない。

②本研究では、問題をなるべく簡易化するため、覆工を円形に近似し、外側に仮想的な境界を設定した。モデルの規模は縦60m、横50m、覆工半径5.7mで覆工の厚さは0.7mである。また節点数1380(2760DOF)、要素数1305で、内側から4層(要素数180)が覆工である。また本研究での物性値を実際の青函トンネルの現場でのデータを装用した。増分形式の解析に用いる境界条件を示している。

③掘削時に初期応力及び初期水圧が50%ずつ解放された場合、覆工完成後長期間経過時において $\gamma=0.7$ 、つまり覆工背面での水圧が静水圧の70%を越えると剥離が生じるおそれがあり、 $\gamma$ の値が大きくなるにつれ、剥離箇所が増えるおそれがあることが明らかとなった。

④その剥離箇所から水圧が覆工に直接作用し、曲げによって大きな引張り応力が生じる。掘削時に初期応力及び初期水圧が完全に解放された場合、覆工完成後長期間経過時において $\gamma=0.1$ のとき、つまり覆工背面での水圧が静水圧の10%ほどで剥離を生じるおそれがあることが判明した。また $\alpha=0.5$ 、 $\beta=0.5$ の場合と同様、 $\gamma$ の値が大きくなるほど、剥離箇所が増加している。 $\alpha=0.5$ 、 $\beta=0.5$ の場合と比して剥離箇所が多く、水圧が直接作用する範囲が広まった分、覆工により大きな引張り応力が生じる。

⑤本研究は応力解放率、水圧解放率及び覆工背面水圧係数を用いて算出した覆工に発生する有効応力から、トンネルの健全性を評価しようと試みたものである。具体的には、覆工に引張り応力が生じるか否かを基準とし、引張りが生じる場合を危険側として判断した。

⑥以下に本研究で得られた結論について記す。

- ・覆工背面での水圧が大きくなるにつれて剥離が起こるおそれが高まる。現在の状況を的確に把握するため、覆工背面での水圧を測定する必要がある。

- ・掘削時に初期応力及び静水圧が解放される割合が大きいかほど覆工に引張り応力が生じやすくなる。

- ・剥離が発生し、その部分に大きな水圧が作用すると、曲げの影響により覆工に大きな引張り応力が生じ、トンネルは不安定な状態に

なる。そのため覆工背面での導水機能の保持が重要であると考えられる。

⑦本研究ではモデルを極力簡易化するために、注入域と地山の区別を設けず透水係数を一定とした。今後は上記の点を踏まえ、覆工と地山の境界での剥離発生過程について、注入域及び地山の透水係数、Young 率を変化させた場合と本研究における場合との相違について研究を進めていく次第である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計30件)

- ① 北川隆、後藤光理、田村武、木村亮、岸田潔、崔瑛、野城一栄、サイドパイプによるトンネル沈下抑制効果に関する実験的研究、土木学会論文集F、65、73-83、2009、査読有り。
- ② Ohtsuka, S., Isobe, K. and Takahara, T. Consideration on fill slope failure in Takamachi developed residential land in 2004 Niigata Chuetsu Earthquake Osaka, Proc. of International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, 2009, 査読あり (掲載予定)。
- ③ Ohtsuka, S., Isobe, K. and Takahara, T., Earthquake damage in Takamachi developed residential land caused by the Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004, Osaka, June 21-26, 2009 Proc. of International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering 査読有り、2009 (掲載予定)。
- ④ 林 宏一、平出 務、磯部 公一、大塚 悟、新潟県中越沖地震被災地における表面波探査による地盤構造調査、地盤工学会誌、Vol. 57, No. 5, 2009 (掲載予定)。査読有り。
- ⑤ Ohtsuka, S., Isobe, K. and Takahara, T. Consideration on fill slope failure in Takamachi developed residential land in 2004 Niigata Chuetsu Earthquake, Osaka, 21-26, Proc. of International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, 2009 (掲載予定)。査読有り。
- ⑥ Ohtsuka, S., Isobe, K. and Takahara, T., Earthquake damage in Takamachi developed residential land caused by the Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004, Proc. of International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, 2009 (掲載予定)。査読有り。
- ⑦ Ohtsuka, S., Isobe, K. and Takahara, T., Fill Slope Failure of the Takamachi Housing Complex in the 2004 Niigata Chuetsu Earthquake, Tsukuba, Proc. of International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, 2009 [掲載予定]、査読有り。
- ⑧ 安原 英明、木下 尚樹、Dae Sung LEE, 中島 伸一郎、岸田 潔、力学-化学連成概念モデルによる花崗岩不連続面の透水・物質輸送経時解析、土木学会論文集C, Vol. 65, 41-52, 2009, 査読有り。
- ⑨ 日下敦、真下英人、水川雅之、山岳トンネル支保工の許容変位に関する一考察、岩盤力学に関するシンポジウム講演集、第38回, pp. 220-224, 2009, 査読無し
- ⑩ 真下英人、日下敦、砂金伸治、木谷努、海瀬忍：トンネル覆工の破壊メカニズムと補強材の効果に関する実験的研究、土木学会論文集F, Vol. 64, pp. 311-326, 2008, 査読有り
- ⑪ 田村 武、西林加織、不安定トラス構造のつりあい形状の探索に関する基礎的研究、応用力学論文集、pp. 361-368、Vol. 11, 2008. 査読有り。
- ⑫ 竹村弥生、建山和由、振動場における粒状体の挙動に関する研究、テラメカニクス、28、183-188、2008、査読無し。
- ⑬ Tateyama, K. Itoh, H. Maehara: Underground Space Construction by Explosive Loading in a Borehole, K. Materials Science Forum, pp.185-190, No. 566, 2008, 査読有り。
- ⑭ 大塚悟、岩部司、磯部公一、堀越俊寛、7・20 水俣市斜面崩壊の数値解析的考察、第4回土砂災害に関するシンポジウム論文集、4、131-136、2008、査読有り。
- ⑮ K. Isobe, S. Ohtsuka, M. Kimura Three-dimensional finite element method analysis on steel pipe sheet piles reinforcement method for existing caisson foundation, The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, pp. 3473-3480, 2008. 査読有り。
- ⑯ 崔瑛, 岸田潔, 木村亮：小土被りトンネル掘削時におけるトンネル脚部および地表面沈下対策工に関する実験的検討、地盤工学ジャーナル、Vol. 3, 261-272, 2008, 査読有り。
- ⑰ 村上 慶晃、岸田 潔、木村 亮、岩崎 喬

- 夫, 小高 武: プレキャストアーチカルバートンネルにおける基礎の極限支持力算定手法, 土木学会論文集 C, 査読有, Vol. 64, 282-293, 2008, 査読有り.
- ⑱ 真下英人, 森本智, 木谷 努, 角湯克典, 損傷を受けたトンネル覆工の内面補強対策の効果に関する実験的研究, トンネル工学論文集, 第 18 巻, pp. 21-32, 2008, 査読有り.
- ⑲ 石村利明, 真下英人, 硬質地盤中のシールドトンネルの作用荷重に関する一考察, トンネル工学報告集, 第 18 巻, pp. 235-242, 2008, 査読無し.
- ⑳ K. Tateyama, S. Itoh, H. Maehara, Underground Space Construction by Explosive Loading in a Borehole, Materials Science Forum, Vol. 566, 185-190, 2008, 査読有り.
- ㉑ 日下敦, 真下英人, 水川雅之, 地震による山岳トンネルの被害発生メカニズムに関する基礎的研究, トンネル工学報告集, 第 18 巻, pp. 15-21, 2008, 査読無し.
- ㉒ 上田保司, 田村武, 生頼孝博, 土の凍結線膨張率を取り込んだ 3 次元地盤変形解析, 土木学会論文集 C, Vol. 63, 835-837, 2007, 査読有り.
- ㉓ 上田保司, 田村武, 生頼孝博, 凍土の変形係数に関する実験的研究, 土木学会論文集 C, Vol. 63, 577-589, 2007, 査読有り.
- ㉔ 中尾努, 古川衛, 田村武, 砂礫地盤を対象とした泥土圧シールド工法の地盤変状計測結果に関する一考察, 土木学会論文集 C, Vol. 63, 263-276, 2007, 査読有り.
- ㉕ 橋本真典, 建山和由, 辻八郎, 山岳地における鉄塔基礎用縦坑構築技術の開発, 建設施工と建設機械シンポジウム論文集, 1-6, 2007, 査読有り.
- ㉖ Kishida, K. and Sakurai, Y., Improvement of the mechanical shear model for rock joints considering the bearing effect, Soils and Foundations, Vol. 47, No. 3, 613-628, 2007, 査読有り.
- ㉗ 富田敦紀, 蛭名孝仁, 戸井田 克, 白鷺卓, 岸田 潔, 足立紀尚, 低拘束圧下における堆積軟岩空洞の破壊現象の考察, 土木学会論文集, Vol. 63, 1054-1064, 2007, 査読有り.
- ㉘ Ohtsuka, S., Inoue, Y. & Tanaka, T., Rigid plasticity based stability analysis of reinforced slope, 5th International Symposium on Earth Reinforcement, 447-450, 2007, 査読有り.
- ㉙ 小島義孝, 大熊俊明, 川島正樹, 大塚悟, スプライン関数を用いた長体状態量計測法, 地すべり, Vol. 44, 11-19, 2007, 査読有り.
- ㉚ 安原英明, 木下尚樹, 操上広志, 中島伸一郎, 岸田 潔, 温度・応力に依存する化学溶解沈殿現象を考慮した珪質岩石の透水性経時評価, 土木学会論文集, Vol. 63, 1091-1100, 2007, 査読有り.

[学会発表] (計 2 件)

① 田中友宏, 大塚 悟, 磯部公一, 谷山慎吾, 佐藤裕司, 剛塑性有限要素法による補強土斜面の安定解析, 地盤工学会全国大会, 広島市, 2008 年 7 月 9 日.

② 坂本和仁, 堀越俊寛, 大塚悟, 磯部公一, 岩部司, 河川高水位時の堤体安定性評価に関する事例解析地盤工学会全国大会, 広島市, 2008 年 7 月 9 日.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田村 武 (TAMURA TAKESHI)  
京都大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 30026330

### (2) 研究分担者

建山 和由 (TATEYAMA KAZUYOSHI)  
立命館大学・理工学部・教授  
研究者番号: 10179731

大塚 悟 (OHTSUKA SATORU)  
長岡技術科学大学・工学部・教授  
研究者番号: 40194203

木村 亮 (KIMURA MAKOTO)  
京都大学・産官学連携センター・教授  
研究者番号: 30177927

岸田 潔 (KISHIDA KIYOSHI)  
京都大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 20243066

小林 俊一 (KOBAYASHI SYUNICHI)  
京都大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 10243065

真下 英人 (MASHIMO HIDETO)  
独立行政法人土木研究所・基礎道路技術研究グループ・グループ長  
研究者番号: 80355875

### (3) 連携研究者

なし