

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 27 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22360183

研究課題名(和文)土構造物の老朽化に伴う地盤損傷評価技術の開発と戦略的維持管理手法の提案

研究課題名(英文)Efficient maintenance technology with a reliable evaluation of earth structure deterioration

研究代表者

桑野 玲子 (KUWANO, Reiko)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：80312974

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円、(間接経費) 4,080,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、盛土や地中構造物の裏込土内に長年の雨水浸透の繰り返し等により生成する水みちや内部侵食による空洞の進展メカニズムを解明することを主な目的とした。地盤に繰返し水が浸透することによっておこる土砂流出を定量的に把握するために、供試体から細粒分の流出を許した特殊な透水試験を実施した。動水勾配がある閾値を超えると細粒分流出が始まる事、流出水の濁度を計測することにより細粒分流出の度合の定量が可能な事、土砂流出量がわずかでも供試体の貫入抵抗は著しく低下する事が確認された。また、三軸試験により、内部侵食は供試体の剛性低下に局所的に影響するが、せん断強度に及ぼす影響は限定的であることがわかった。

研究成果の概要(英文)：The main objective of the study is to investigate the mechanism of formation and extension of internal erosion and water pathway in the backfill of earth structure by water penetration due to repeated rainfall. In order to evaluate effects of soil grains escaping from the specimen, a special permeability test was conducted. When hydraulic gradient exceeded certain value, fine particles started to flow out of the specimen. Turbidity of the drained water can indicate the degree of currently progressing internal erosion. Even small degree of internal erosion caused significant decrease in penetration resistance.

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：地盤 内部侵食 水みち 浸透

1. 研究開始当初の背景

(1) 社会的背景と研究の動機

現在都市部を中心に年間約 5000 件に上る道路陥没が発生している。その大半は下水管などの地中埋設管の老朽化や破損に起因するが、原因や径路不明の地下の水みちに沿った侵食によるものも多いのが現状である。環境保全の観点から近年歩道や駐車場へ透水性舗装の適用が増加しているが、多発するゲリラ豪雨により地下に一時的に過剰に雨水が浸透することにより、水みち形成や地下の浸食が知らず知らずの間に進んでいる可能性もある。近年の気候変動や土地利用の変化などの影響で地下水位の変動幅や浸透条件が変化していることが、長年にわたる繰返し浸透に伴う地盤の内部浸食などの脆弱性を助長していると考えられる。同様の理由で、沢地形に盛土を施した古い造成地などにも内部侵食に起因する陥没の潜在的危険があり、2009 年 4 月に北海道のゴルフ場でプレー中の女性が陥没孔に転落死した事故はその一例であるこのような地盤内浸食や水みちは地中構造物近傍や地層境界に沿って発生しやすいと考えられ、例えば河川堤防を横断する樋門沿いに生じた場合は堤防の構造上の弱点になりうるので早急な対策が必要である。

(2) 本研究に関連する国内・国外の研究動向と位置づけ

パイピングなどの地盤の浸透破壊に関する研究は、主にダムや堤体などの水理構造物の設計に関わる分野において、国内外とも先行している。しかしながら、これらは十分な締固め管理が可能な重要土構造物が主な対象で、多様な土質が混在する自然地盤や地中構造物近傍などのような異種材料との境界面における水みち形成メカニズムの詳細については依然として不明である。

2. 研究の目的

盛土や地中構造物の埋設土内に長年の雨水浸透の繰返しなどにより生成する水みちや内部浸食の形成、およびその進展メカニズムを解明する。ここでは、地中埋設管の破損に起因する地盤内空洞のような顕著な土砂運搬径路を有せず発生する侵食も対象に含める。

3. 研究の方法

(1) 地盤材料の繰返し浸透の影響の検討

透水試験装置、および三軸試験装置を用いて、未固結の地盤材料に繰返し浸透を施した

際の、浸透量・含水比と変形・強度特性の関係、細粒分の流出特性を調べる。

(2) 境界面に発達する水みち形成過程の検討

図 1 に示すような小型土槽を用いて模型地盤内部に不透水境界を設け、形成される水みちや地盤内部の土砂の移動を観察する。地盤条件、浸透条件等をパラメータに取り、水みち形成を促進する支配要因を明らかにした。

(3) 内部浸食から陥没や崩壊への進展過程の検討

内部浸食のごく初期段階である軽微な水みちから、顕著な地盤内空洞・ゆるみ、そして陥没や崩壊への進展過程を図 1 に示すような模型実験にて評価した。

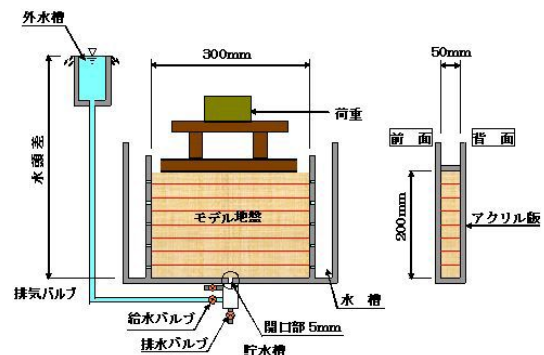


図 1 土砂流出実験用小型土槽

4. 研究成果

(1) 地盤材料の繰返し浸透の影響

人工的にゆるみを導入した供試体の三軸試験および X 線 CT 画像による観察

地盤内への水の浸透に伴う内部浸食部周辺のゆるんだ地盤の力学特性を評価するために、三軸供試体内に人工的に空洞・ゆるみを作製し、剛性や強度を調べた。

- ・グルコース塊を用いて潜在空洞を作製し、水を浸透させて周囲にゆるみを生成させた。空洞上部に生成したゆるんだ部分は貫入試験で顕著な強度低下を示した。ゆるみは潜在空洞高さの 5~6 倍に達した。
- ・三軸供試体内に同様の方法で空洞・ゆるみを生成させた。潜在空洞が大きい場合、供試体が密詰めの場合はピーク強度が下がる傾向が顕著であった。
- ・微小ひずみ剛性はゆるみの生成とともに低下した。ゆるみの範囲は、ゆるみ供試体の場合、X 線 CT 画像から推定すると潜在空洞高さの約 2 倍程度と思われる。ゆるみ部の剛性は健全部の半分程度に低下していると推定される。

底面からの細粒分流出を許した一次元透水試験

動水勾配や浸透時間を変えて底面から細粒分流出を許した一次元透水試験を実施した。

- ・動水勾配を下降させたケースでは上昇させたケースと全体的な傾向に違いはなかった。しかしながら若干低動水勾配下での侵食量が増加した。高動水勾配により細粒分が流され、侵食が起こりやすくなった可能性がある。
- ・ソイルパイプを模擬した穴を開けた事で侵食量、浸透量は共に増加した。
- ・動水勾配の上下を繰り返したケースでは大きな影響はみられなかったが、透水性が他条件に比べ高く安定した結果となった。動水勾配の上下で侵食による目詰まりが解消された可能性が考えられる。
- ・密度やソイルパイプの有無に関わらず、動水勾配を徐々に上昇させたケースでは侵食が発生し始める動水勾配における間隙内流速が一定であった。
- ・排水の濁度を測定したところ、同一地盤条件においては、排水中の土砂濃度と濁度は比例関係にあった。
- ・底面メッシュ径が排水中の土砂量に大きな影響を与えていた。
- ・侵食発生の有無は Kenny et al. (1985) の判断基準にほぼ合致していた。ただし目詰まりや粒子破碎の影響で流出しないと考えられる材料もあった。

(2) 境界面に発達する水みち形成過程

- ・定常的な地下水流では躯体による土砂流出への影響は大局的にはあまり見られなかった。ただし浸透流は躯体を回り込むように上向きに発生しており、躯体周囲で局所的な応力低下が起きている可能性がある。
- ・繰り返し浸透では浸透の度に土砂流出が発生し、空洞が拡大する。土砂流出・空洞形成の様子は躯体の位置により変化する。躯体が浸透流の方向を変える為であると考えられる。
- ・繰り返し浸透により躯体周囲から開口部にかけて帯状に含水比が高い範囲“水みち”が存在する事がわかった。また広範囲の地盤変形が空洞形成前に発生している事が示された。

(3) 内部浸食から陥没や崩壊への進展過程

小型模型土槽の底面にスリットを設け、そこから給排水を繰り返すことにより内部侵食および空洞を形成し陥没まで至る過程を観察したところ、以下のような要因により空洞が拡大・進展することがわかった。

空洞近傍の土砂の崩落

給水を行うことで、もともと拘束の弱い空洞付近の地盤が飽和し、間隙水圧の上昇による有効応力の消失によって空洞部に崩落する。給水中は流入水圧が作用するので飽和しても地盤は崩落しにくく、給水後は流入水圧が消失するために崩落が発生する。サイクルが進むにつれ空洞上部の不安定部分と飽和する地盤の範囲が大きくなるために崩落する部分は増える。

空洞上部地盤の変形

初期サイクルでは地盤の大部分はサクシオンによって安定しているが、給排水を繰り返すと周辺地盤の飽和度が徐々に上がり、サクシオンが低下する。サクシオンの低下は空洞の近傍ほど顕著であり、サクシオンの低下によって有効応力も低下し、自重による下向きの力によって変形を起こすようになる。

上部地盤の崩落

サクシオンの低下により不安定になった空洞上部の地盤は自重や排水時の浸透力の作用により崩落する。空洞の上部にある地盤はサクシオンや地盤のアーチングにより下向きの自重に耐えている不安定な領域である。そのため排水中の下向きの浸透水力によって、脆弱部が水とともに崩落する。崩落した土砂が開口部から流出せずに堆積すると堆積部土砂には上載圧が作用しないため、次サイクルでボイリングを起こしたケースが見られた。

空洞周辺からの細粒分流出

まだ崩落が起きていない空洞周辺地盤からも細粒分を中心として土砂が流出していると考えられる。細粒分の流出は空洞周辺の密度低下を起こし地盤を不安定にし、地盤変形・空洞形成を助長する。給排水の繰り返しにより周辺地盤の飽和度が上昇すると透水性も上昇するため、サイクルを繰り返すほど細粒分流出が起こりやすくなるといえる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計18件)

瀬良良子、中村治人、桑野玲子(2013) 道路路面下空洞の探査事例、基礎工、Vol.41, No.9, pp.51-53、査読無。

桑野玲子、Indiketiya Hewage, S.R.. (2013) 砂の内部浸食に伴う空洞部周辺ゆるみ部分の強度と剛性の評価、生産研究、Vol.65、No.4、通巻 693 号、pp.189-194、査読無。

佐藤真理、桑野玲子 (2013) 地盤の内部侵食と排水の濁度の関係、生産研究、Vol.65、No.4、通巻 693 号、pp.199-204、査読無。

桑野玲子(2011) 頻発する地盤の陥没

現象と社会基盤整備、地盤工学会誌、Vol.59, No.1, 通巻 636 号、pp.10-11、査読無。
桑野二郎、桑野玲子(2011)、土の経年変化と土構造の経年劣化、基礎工、Vol.39, No.5, pp.18-21、査読無。
桑野玲子、Suwal,L.P, Beltran-Galvis,A.L.(2011)、繰返し浸透を受けた砂質供試体の物理特性および力学特性の変化、生産研究、Vol.63、No.4、通巻 681 号、pp.3-6、査読無。
佐藤真理、桑野玲子(2011)、地盤内空洞生成における地中埋設躯体の影響に関する模型実験、生産研究、Vol.63、No.4、通巻 681 号、pp.7-10、査読無。
桑野玲子、佐藤真理、瀬良良子(2010)、地盤陥没未然防止のための地盤内空洞・ゆるみの探知に向けた基礎的検討、地盤工学ジャーナル、Vol.5, No.2, pp.219-229、査読有。
桑野玲子、堀井俊孝、山内慶太、小橋秀俊(2010)、老朽下水管損傷部からの土砂流出に伴う地盤内空洞・ゆるみ形成過程に関する検討、地盤工学ジャーナル、Vol.5, No.2, pp.349-361、査読有。
佐藤真理、桑野玲子(2010)、地中構造物躯体近傍の透水状況の変化に関する基礎的検討、生産研究、Vol.62、No.4、通巻 675 号、pp.67-70、査読無。

[学会発表](計 5 8 件)

佐藤真理、桑野玲子(2013)、内部浸食と地排水濁度の関係に関する基礎的検討、第 48 回地盤工学研究発表会、富山、2013 年 7 月 23 日、pp.1075-1076。
齋藤由紀子、桑野玲子、佐々木哲也(2013)、浸透水の繰返し作用が樋門周辺堤防の透水性に及ぼす影響、第 48 回地盤工学研究発表会、富山、2013 年 7 月 23 日、pp.1173-1174。
Sato,M. and Kuwano,R.(2013)、Effects of buried structures on the formation of underground cavity, Proc. of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, Sept.3 2013, pp.1769-1772。
Sato,M. and Kuwano,R.(2013)、Triaxial test for the evaluation of internal erosion, Proc. 12th International symposium on new technologies for urban safety of mega cities in Asia, USMCA, Hanoi, Oct.10 2013, CD-ROM。
Suwal,L.P., Kuwano,R. and Sato,T.(2013)、Triaxial tests for elastic wave measurement with associated matric suction on unsaturated fine content sandy soil, Proc. 12th International symposium on new technologies for urban safety of mega

cities in Asia, USMCA, Hanoi, Oct.10 2013, CD-ROM。
佐々木哲也・齋藤由紀子・桑野玲子(2013)、浸透水の繰返し作用が樋門周辺堤防の透水性および強度に及ぼす影響、第 58 回地盤工学シンポジウム発表論文集、東京、2013 年 11 月 22 日、pp.151-158。
Kuwano,R., Kohata,Y. and Sato,M.(2012)、A Case Study of Ground Cave-in due to Large Scale Subsurface Erosion in Old Land Fill, Proc. of the 6th International Conference on Scour and Erosion, Paris, Sept.3 2012, pp.56-62。
Sato,M and Kuwano,R.(2012)、Influence of underground structures on cavity formation due to various conditions of water flow, Proc. of the 2nd International Conference on Transportation Geotechnics, IS-Hokkaido 2012, Miura et al. (eds), Sept.11 2012, pp.617-622。
Indiketiya Hewage, S.R., R. Kuwano & T. Sato (2012)、Analysis of ground loosening behaviour in expansion of underground cavities: Laboratory experiments in sandy soil, Proc. of the 2nd International Conference on Transportation Geotechnics, IS-Hokkaido 2012, Miura et al. (eds), Sept.11 2012, pp.938-943。
Sato,M and Kuwano,R.(2012)、Model Test to Simulate Formation of Underground Cavity in Backfill Soils, Proc. of the International Conference on Ground Improvement and Ground Control, Indraratna, Rujikiatkamjorn & Vinod (eds.), Oct.31 2012, pp.1431-1436。
Suwal, L.P., Kuwano,R. & Sato,T.(2012)、Variation in Mechanical Properties due to Water Infiltration Observed in Sand with Fines, Proc. of the International Conference on Ground Improvement and Ground Control, Indraratna, Rujikiatkamjorn & Vinod (eds.), Oct.31 2012, pp.353-359。
佐藤真理、桑野玲子(2012)、降雨浸透に伴う埋設管周りの地盤変形に関する模型実験、第 47 回地盤工学研究発表会、八戸、2012 年 7 月 16 日、pp.1305-1306。
齋藤由紀子、桑野玲子、佐々木哲也(2012)、浸透水の繰返し作用による地盤の浸透特性に関する模型実験、第 47 回地盤工学研究発表会、八戸、2012 年 7 月 15 日、pp.903-904。
Kuwano,R., Suwal,P.L. and Beltran-Galvis,A.L.(2011)、Change of Physical and Mechanical Properties

of Sandy Soil due to Repeated Water Infiltration, Proc. of 5th International Symposium on Deformation Characteristics of Geomaterials, IS-Seoul, Korea, Sept.1 2011, pp.829-833.

桑野 玲子、Beltran-Galvis, A.L.. (2011)、"細粒分混じり砂の繰返し浸水時の体積変化特性"、第46回地盤工学研究発表会、神戸、2011年7月5日、pp407-408.

佐藤真理、桑野玲子(2011) "繰返し浸透時の土砂流出・空洞形成に埋設躯体が及ぼす影響"、第46回地盤工学研究発表会、神戸、2011年7月7日、pp1443-1444. Indiketiya Hewage, S.R. and Kuwano,R. (2011), Inspection and Evaluation of Loosened Soil above Underground Cavity, Proc. of 13th International Summer Symposium, International Activities Committee, JSCE, Kyoto, Aug.26 2011, pp211-214.

佐藤真理、堤千佳、桑野玲子(2010) "土砂流出に伴う空洞形成模型実験におけるひずみ分布の解析"、第45回地盤工学研究発表会、松山、2010年8月18日、pp.463-464.

佐藤真理、桑野玲子(2010) 定水位透水試験による地下構造物と地盤の境界面における透水性の検討、土木学会第65回年次学術講演会、札幌、2010年9月2日、論文No. -109, pp.217-218.

Tsutsumi,Y., Kuwano,R. and Sato,M (2010), Local Deformation Characteristics of Model Ground with Cavity and Loosening, Proc. of 7th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics, June 29 2010, Switzerland, pp.587-592.

6. 研究組織

(1)研究代表者

桑野 玲子 (KUWANO Reiko)
東京大学生産技術研究所・教授
研究者番号：80312974

(2)研究分担者

齋藤 由紀子 (SAITO Yukiko)
独立行政法人土木研究所・主任研究員
研究者番号：50414991
(平成24年度まで研究分担者)

(3)連携研究者

古関 潤一 (KOSEKI Junnichi)
東京大学生産技術研究所・教授
研究者番号：30272511

桑野 二郎 (KUWANO Jiro)
埼玉大学理工学研究科・教授

研究者番号：30178149

橘 伸也 (TACHIBANA Shinya)
埼玉大学理工学研究科・助教
研究者番号：90432567

森啓年 (MORI Hirotoshi)
独立行政法人土木研究所・主任研究員
研究者番号：20355803
(平成22年度まで連携研究者)

松宮 洋介 (MATSUMIYA Yosuke)
国土技術政策総合研究所
研究者番号：90442904
(平成22年度まで連携研究者)

菊池喜昭 (KIKUCHI Yoshiaki)
独立行政法人港湾空港技術研究所・部長
研究者番号：40371760

久野春彦 (KUNO Haruhiko)
(財)電力中央研究所・上席研究員
研究者番号：50371399