

機関番号：17102

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21780231

研究課題名 (和文) 諫早湾干拓大規模環境保全型農地における圃場機械による土壌踏圧メカニズムの解明

研究課題名 (英文) Clarification of soil compaction mechanism by farm machinery in the Isahaya-bay reclamation field

研究代表者

岡安 崇史 (OKAYASU TAKASHI)

九州大学・大学院農学研究院・准教授

研究者番号：70346831

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、諫早湾干拓大規模環境保全型農地における大型作業機械による土壌踏圧の現状把握とそのメカニズムの解明を行うことを目的に、トラクタとロータリー耕うん機から成る実際の圃場作業機械を用いた土壌踏圧実験、現地圃場においてサンプリングした土壌の力学挙動評価実験および非古典塑性モデルに基づく弾塑性有限要素解析プログラムを用いた土壌踏圧シミュレーションの実施とその妥当性評価を行った。

研究成果の概要 (英文)：

To clarify the soil compaction phenomena by heavy agricultural vehicle passes on Isahaya reclamation land, soil compaction test by a tractor with a rotary tiller, soil tests such as the compaction test, oedometer test, triaxial compression test etc., and soil compaction simulations using the finite element analysis program based on the unconventional elastoplastic constitutive model and their evaluations have been investigated in this study.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：農業機械学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：諫早湾干拓大規模環境保全型農地，大型農業機械，土壌踏圧，繰返し負荷，室内土質実験，上/下負荷面モデル，弾塑性有限要素法，土壌踏圧シミュレーター

1. 研究開始当初の背景

土壌踏圧は、土粒子間の間隙の減少ひいては透水性の低下に伴って土壌の強度が増大する現象であり、作物根の活性と伸長、養水分や空気の保持と移送に大きな影響を及ぼす。その過程は、まず、土壌の弾性的・塑性的変形、土壌構造の破壊、間隙水や間隙空気の圧力変化と排除等が複合的に起こり、さら

に土壌の種類や含水量、外力の大きさや作用形態によって、その発生状況は多様に変化する。

我が国では、農業の機械化が急速に拡大した1960年以降、圃場機械による土壌踏圧によって水田・畑地ともに浅耕化が進んでいる(農林水産研究文献解題, 1995)。特に、畑地では、作土層の減少率は水田以上に深刻で

あり、昨今の農業機械の大型化はこの問題をさらに加速させている。我が国は気候的にも多水分状態で土壌が圧縮されることが多く、土壌の物理性の劣化を加速させている(同上, 1995)。

他方、国外では、生産環境への負荷軽減や持続的な農業生産活動の維持・拡大に対する意識の高まりから、作業機械による土壌踏圧の問題は、作土層から耕盤層にわたって幅広い研究(例えば, Grecenko, J. *Terramech.*, 2003; Keller et al., *Soil & Tillage Res.*, 2007; Schaffer et al., *Soil & Tillage Res.*, 2007, 他多数)が展開されているものの、その多くは、実験による土壌踏圧現象の把握や実験結果に基づく経験式を用いた簡易土壌踏圧予測が行われるに留まっている。

2. 研究の目的

本研究では、諫早湾干拓農地における実際のトラクタを用いた土壌踏圧実験と様々な土壌に対応し得る合理的数理モデルの構築とこれに基づく土壌踏圧シミュレーターの開発を行うことにより、土壌踏圧メカニズムを実験・理論両面から解明しようとするものである。

3. 研究の方法

土壌踏圧実験は、諫早湾干拓地の長崎県農業技術開発センター所有の実験圃場において同センター主任研究員・宮寄朋浩氏の協力を得て実施した。繰返し走行実験では、ロータリー耕うん装置を用いた浅層耕うんの繰返しによる耕盤層の形成を詳しく観察するため、まず、実験開始前に深耕プラウで耕盤層を全層破碎して耕盤層のない初期土壌を作製した。次いで、ロータリー耕うんによる碎土・整地を行った後、土壌抵抗測定器(SR-2型)を用いて、トラクタ進行方向および耕幅方向について、土壌硬度(コーン指数)の測定を行った。走行実験終了後、作土層、耕盤層および耕盤下部層において土壌サンプルを採取し、三相分布を測定した。さらに、これらのサンプルについては、長崎大学工学部准教授・杉本知史氏の協力の下、標準締固め実験、標準圧密実験ならびに三軸非排水圧縮せん断実験等の精密土質力学実験を行い、サンプリングした土壌の力学特性を測定した。

他方、降伏面内部を純粋弾性域としない非古典塑性モデルに属する Asaoka 他(*Soils&Found.*, 40(2), 99-100, 2000)により提案された上/下負荷面モデルは、密度の異なる土の変形挙動を同一の材料定数で定量的に予測することが可能である。本研究では、作土層土壌の力学的特徴である見かけの粘着力の発現を考慮するため、Hashiguchi and Mase (*Int. J. Plast.*, 1939-1956, 2007)によって提案された耐負圧

面概念を上記モデルへ導入した。本モデルを用いて、様々な応力・負荷状態を想定したケーススタディーおよび実測結果との比較・照査を行い、その妥当性について詳細な検討を行った。さらに、同モデルを導入した弾塑性有限要素解析プログラムに基づく土壌踏圧シミュレーターを開発し、これを用いて、圃場機械の繰返し走行を想定した土壌踏圧現象の具体的解析を行うとともに、その妥当性についての検討を行った。

4. 研究成果

図1に走行回数毎の走行横断面の土壌内貫入抵抗の等値線分布を示す。図中には、走行により生じたわだちを実線で示した。土壌中の貫入抵抗の上昇は、トラクタ走行部直下が著しく、走行部以外の場所では、貫入抵抗の上昇は殆ど確認されなかった。また、走行部分において、20回走行後の深さ20~30cmの平均土壌貫入抵抗が0.83MPaから1.09MPaに増加したが、35cm以深の平均土壌貫入抵抗は走行前が0.72MPa、20回走行後も0.74MPaとほとんど増加がなかった。つまり、トラクタ走行時の土壌の踏圧はおおよそ垂直方向に生じ、既に耕盤が形成されている圃場では、踏圧は耕盤以深にはほとんど進行しないことが確認された。通常不飽和状態にある圃場の土壌は、含水比の変化によってもその力学特性が大きく変化する。走行実験終了後、5日間の天日乾燥を行った後、雨水を土壌浸潤させることにより、乾燥と浸潤に伴う土壌貫

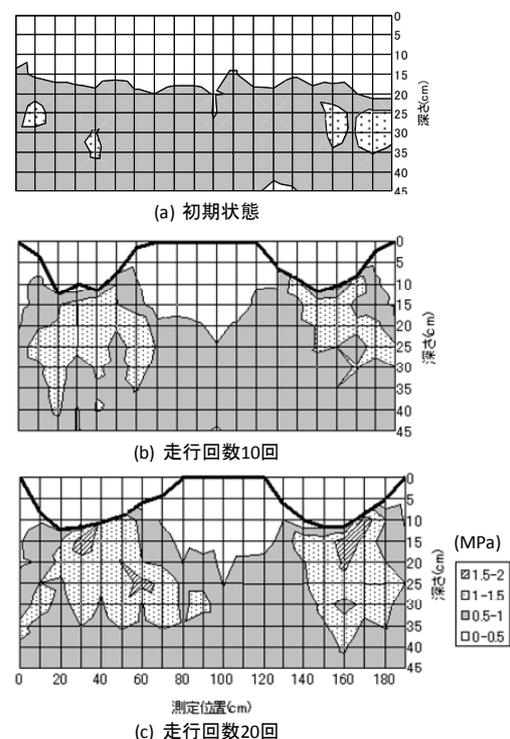


図1 走行回数毎の走行横断面の土壌内貫入抵抗の等値線分布

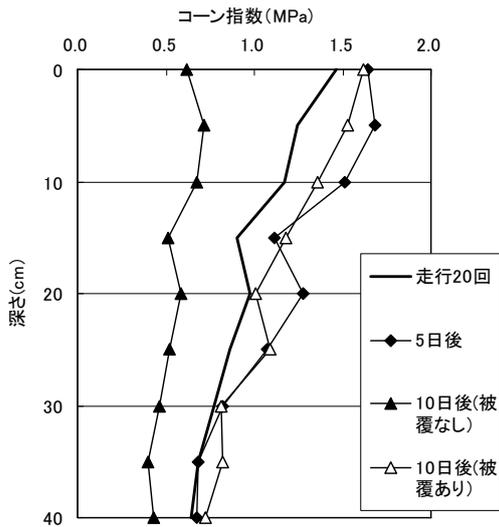


図2 土壌水分の違いが貫入抵抗に与える影響

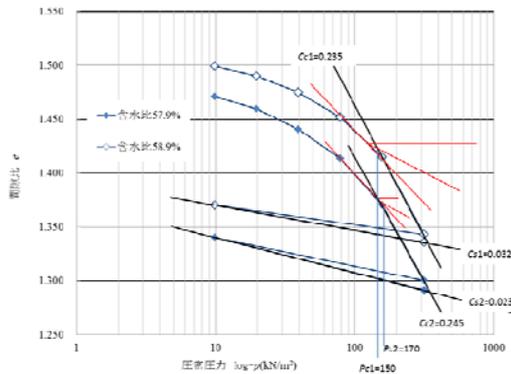


図3 表層土壌の標準圧密試験の結果

入抵抗の変化を調べた。

図2に20回の走行実験終了後の走行路面の貫入抵抗の経時変化を示す。本図から乾燥5日目の貫入抵抗は、走行実験直後の測定値に比べ増加している。これは、乾燥によって、土壌中の間隙水が減少し、土粒子間の見かけの強度(サクシオン)が増大したためである。これに対して、降雨後の土壌に関しては、土壌表面をビニールシートで被覆した場合には、5日後の貫入抵抗とほぼ同程度の貫入抵抗を示したのに対し、被覆しなかった場合には、全深度において貫入抵抗の減少が確認された。つまり、雨水の土壌浸潤による土壌の飽和度の上昇に伴って、サクシオン圧が徐々に低下していくため、土壌の見かけの強度が低下し、貫入抵抗が減少したものと推察される。

図3に表層土壌の標準圧密試験の結果を示す。本結果から、含水比57.9%の場合では圧縮係数 $C_c=0.235$ 、膨潤係数 $C_s=0.032$ 、圧密降伏応力 $P_c=150\text{kN}$ で、含水比58.9%の場合では、 $C_c=0.248$ 、 $C_s=0.023$ 、 $P_c=170\text{kN}$ との結果を得た。両者には大きな差異はないと判

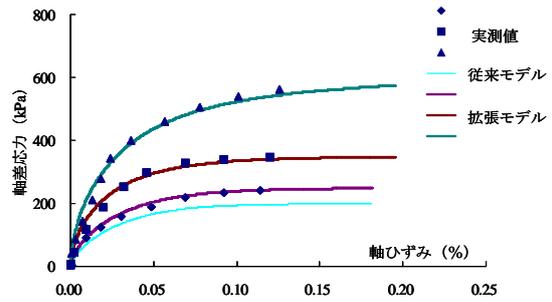


図4 不飽和土壌の三軸圧縮実験結果と構成モデルの予測結果の比較

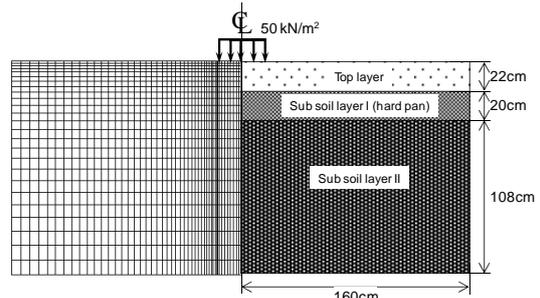


図5 解析に用いた有限要素解析メッシュ

断されることから、干拓土壌の圧縮係数 C_c 、膨潤係数 C_s 、圧密降伏応力 P_c は、両結果の平均値よりそれぞれ 0.245、0.0275、160kN と推定した。

図4に Emir José Macari et al. (Int. J. Plast., 1481-1515, 2002) によるシルト質砂を用いた不飽和排水三軸圧縮実験(側圧=100kPa)の結果と上記弾塑性構成モデルによる予測結果の比較結果を示す。供試体のサクシオン圧は、 $s=50, 100, 200\text{kPa}$ であった。本図から明らかなように、見かけの粘着力の効果を表現できる拡張モデルにおいては、実測値とのよい一致が示されている。特に、拡張モデルでは降伏面の負圧側への移動量の大きさをサクシオン圧の程度によって調整できるので、不飽和土特有の力学挙動を現実的に表現できている。一方、負圧側への降伏面の移動を伴わない従来モデルでは、現実的な土壌の力学挙動を予測できていないことがわかる。

次に、拡張モデルを導入した弾塑性有限要素解析プログラムを用いて、土壌踏圧現象の解析を行った。図5に解析に用いたメッシュを示す。ここでは、トラクタの車輪荷重を、土壌表面への分布荷重としてモデル化している。また、耕盤の有無や表層部の耕うんの有無を再現するため、土壌構造を三層に分けてモデル化した。

図6に耕盤の有無が土壌の踏圧特性に及ぼす影響(繰返し負荷10回載荷後)を示す。耕盤を仮定することにより、全体的に沈下量

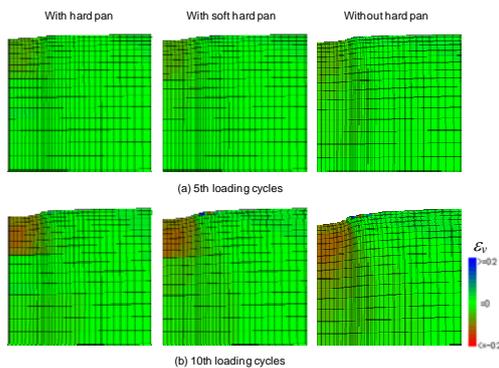


図6 耕盤の有無による土層内の体積ひずみ分布の比較結果

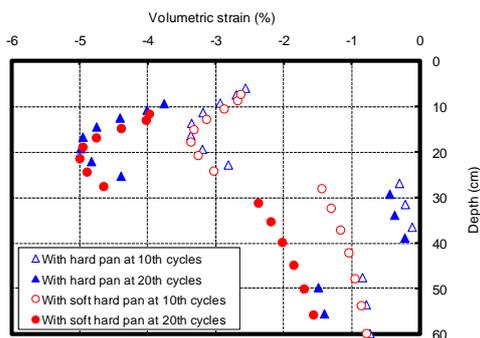


図7 耕盤の有無と剛性が下層域の土壌踏圧現象に及ぼす影響

が抑制されると同時に、圧縮領域も表層部に集中していく様子が確認できる。図7に体積ひずみの深度別分布の比較結果を示す。耕盤の存在により下層土壌の踏圧が抑制されている様子がわかった。

以上の結果より、開発したプログラムにより、土壌踏圧現象を予測できることが確認された。今後は、構成モデルに入力する材料定数の見直しを行い、同プログラムの解析精度の向上を図っていく必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

岡安崇史, 地盤材料の構成モデル最前線 4. 地盤材料の密度や繰返し載荷を考えたモデル化, 地盤工学会誌, 2011. 06 (印刷中).

Okayasu, T., Kamitsuji, N., Murakami, T., Miyazaki, T., Mitsuoka, M., Inoue, E., Fukami, K., Soil Compaction Analysis on Structured Cohesive Soft Ground, Proc. 9th Asia-Pacific Conf. ISTVS, CD-ROM, 2010. 09.

Miyazaki, T., Okayasu, T., Inoue, E., Tractor Running Tests at Isahaya Bay Reclamation, Proc. 5th Int. Symp. Mach. Mech. Agr. Biosys. Engng. (ISMAB), CD-ROM, 2010. 04.

宮寄朋浩・岡安崇史・山田寧直・井上英二,

諫早湾干拓土壌におけるトラクタ走行で生じる踏圧現象, 農作業研究, 45(1), 29-35, 2010. 02.

Okayasu, T., Miyazaki, T., Kamitsuji, N., Mitsuoka, M., Inoue, E., Fukami, K., Numerical Soil Compaction Analysis on Structured Soft Ground, ISTRO2009, Izmir, 2009. 06.

〔学会発表〕(計7件)

Okayasu, T., Kamitsuji, N., Murakami, T., Miyazaki, T., Mitsuoka, M., Inoue, E., Fukami, K., Soil Compaction Analysis on Structured Cohesive Soft Ground, 9th Asia-Pacific Conference of the ISTVS, 2010. 09.

岡安崇史, 上辻直哉, 村上貴志, 宮寄朋浩, 深見公一郎, 光岡宗司, 井上英二, 構造・粘着力を有する土壌の踏圧現象に関する弾塑性有限要素解析, 第69回農業機械学会年次大会, 2010. 09.

岡安崇史, 上辻直哉, 村上貴志, 宮寄朋浩, 光岡宗司, 井上英二, 構造・粘着力を有する土の弾塑性構成モデルの提案, 第69回農業機械学会年次大会, 2010. 06.

Miyazaki, T., Okayasu, T., Inoue, E., Tractor Running Tests at Isahaya Bay Reclamation, ISMAB2010, 2010. 04.

上辻直哉, 岡安崇史, 宮寄朋浩, 井上英二, 光岡宗司, 上野正実, 深見公一郎, 土壌踏圧現象の弾塑性有限要素解析に関する研究, 農業環境工学関連学会 2009 年合同大会, 2009. 09.

宮寄朋浩, 岡安崇史, 山田寧直, 川原洋子, 小林雅昭, 井上英二, 諫早湾干拓地農業における機械作業性の向上のための条件説明と耕うん特性の解析(第1報)干拓土壌におけるトラクタ走行およびロータリ耕うんによる土壌圧縮の解明, 第64回農業機械学会九州支部, 2009. 08.

Okayasu, T., Miyazaki, T., Kamitsuji, N., Mitsuoka, M., Inoue, E., Fukami, K., Numerical Soil Compaction Analysis on Structured Soft Ground, ISTRO2009, 2009. 06.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡安崇史 (OKAYASU TAKASHI)
九州大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号: 70346831

(3) 研究分担者

なし

(2) 連携研究者

宮寄朋浩 (MIYAZAKI TOMOHIRO)

長崎県農業技術開発センター・干拓営農
研究部門・主任研究員
研究者番号：40503701

杉本知史 (SUGIMOTO SATOSHI)
長崎大学・工学部・助教
研究者番号：60404240