

建設汚泥の自ら利用に向けた室内実験及び屋外実大混合実験

友 岡 亮太朗

粕 谷 悠 紀

三 浦 俊 彦

諸 富 鉄之助

田 中 薫

(東京本店建築事業部)

Indoor Experiments and Outdoor Large-Scale Mixing Experiments for the Self-Utilization of Construction Sludge

Ryotaro Tomooka

Yuki Kasuya

Toshihiko Miura

Tetsunosuke Morotomi Kaoru Tanaka

Abstract

There is an increasing demand for the self-utilization of construction sludge. Backhoes can be used even in confined sites and can improve various types of sludge; however, ensuring consistent quality remains a challenge owing to variability. To address this drawback, a quality control method using infrared thermography is being developed with a focus on improving the uniformity. This report presents the results of manual laboratory and full-scale mixing using a backhoe. The experiments quantitatively confirmed that longer mixing times led to a more uniform lime distribution, resulting in reduced temperature variation on the sample surfaces.

概 要

建設汚泥を再生利用する手段として「自ら利用」をするニーズが高まっている。建設汚泥の改質方法として、バックホウは狭隘な現場でも使用でき、様々な性状の泥土に対して改質が可能ではあるが、ばらつきが生じやすいなど改質土の品質の確保が課題である。そこで、改質効果の均質性に着目し、赤外線サーモグラフィーを使用した品質管理手法を開発している。本報告では、改質土を手動で混合した室内混合実験結果およびバックホウで混合した実大混合実験結果について述べる。実験結果より、混合時間が長いほど石灰がより均質に混合され、試料表面における温度のばらつきが小さくなることを定量的に確認した。

1. はじめに

建設汚泥を再生利用する手段として「自ら利用」をするニーズが高まっている。「自ら利用」とは、自らが建設汚泥（廃棄物）を処理して、再生利用価値のある性状（有価物）に改質し、現場内で再利用することである。改質した試料は第3種処理土（コーン指数 $q_c=400\text{kN/m}^2$ 以上）となることを目標とし、工作物の埋戻しや構造物の裏込め等による使用を目的としている。建設汚泥の改質方法として、専用の処理プラントや土質改良機などを利用する方法が挙げられる。しかし、狭隘な現場では処理プラントや土質改良機の設置は難しく、土質改良機では高含水の泥土に対しては脱水処理などの作業が発生するという課題がある¹⁾。

一方、バックホウは狭隘な現場でも使用でき、様々な性状の泥土に対して改質が可能である。しかし、改良土の品質にばらつきが生じやすいなど改質土の品質の確保が課題であった。そこで、筆者らは改質効果の均質性に着目し、赤外線サーモグラフィーを使用した品質管理手法を開発している^{2),3)}。本報告では、改質土を手動で混合した室内実験結果およびバックホウで混合した屋外実大実験結果について述べる。

2. 室内混合実験

2.1 泥土試料

本混合実験では、場所打ち杭工法の掘削時に生じる高含水状態の原泥を模擬して、第4種建設発生土の強度区分 ($q_c=200\text{kN/m}^2$ 以上) を下回る泥土試料を使用した。

室内混合実験に先立ち、予備試験として原泥のコーン指数試験を行った。原泥は、有楽町層粘土（自然含水比 $w=36.7\%$ 、塑性限界 $w_p=27.9\%$ 、液性限界 $w_L=52.3\%$ ）を用いた。Fig. 1 に有楽町層粘土の含水比を変化させて行ったコーン指数試験結果を示す。自然含水比 $w=36.7\%$ で行ったコーン指数は $q_c=200\text{kN/m}^2$ を上回るもの、 $w=46.1\%$ 以上はそれを下回っていることがわかる。そこで、室内混合実験を行う有楽町層粘土の含水比は 50%、57.5%、65% の3種類とした。また、室内混合実験で使用する改質材は石灰を用いた。

2.2 実験ケース

Table 1 に実験ケースを示す。室内混合実験は含水比、混合時間および石灰添加量をパラメータとした。含水比の調整には、場所打ち杭の掘削工法であるアースドリル工法の安定液を模擬した比重 1.03（各成分の添加率：ク

Table 1 実験ケース（室内混合実験）
Experimental Case (Indoor Mixing Laboratory)

ケース番号	含水比 w (%)	混合時間 t (sec)	石灰添加量 (kg/m³)	ケース番号	含水比 w (%)	混合時間 t (sec)	石灰添加量 (kg/m³)	ケース番号	含水比 w (%)	混合時間 t (sec)	石灰添加量 (kg/m³)
1-1-50	50	30	50	57.5	3-1-50	30	50	65	3-1-100	30	50
1-1-100			100				100				100
1-1-150			150				150				150
1-2-50		90	50		3-2-50	90	50		3-2-100	90	100
1-2-100			100				100				150
1-2-150			150				150				50
1-3-50	150	150	50	3-3-50	150	150	50		3-3-100	150	100
1-3-100			100				100				150
1-3-150			150				150				50

表面温度の測定時間（各測定時間に3回測定）
含水比調整後・改質直後・1分後・3分後・5分後・7分後・30分後・60分後・120分後

ニゲル V2 : 2.0%, DKS280 : 0.2%, トチクレー : 2.6%, ソーダ灰 : 0.2% の泥水を使用した。原泥、安定液および石灰は鋼製のヘラを使用して手動で混合した。混合時間は、「石灰による地盤改良マニュアル⁴⁾」のバックホウの作業歩掛を参考に 90 秒を基準とし、30 秒、90 秒、150 秒の 3 通りとした。石灰添加量は 50, 100, 150 kg/m³ の 3 通りとした。

2.3 実験方法及び計測項目

Fig. 2 に実験状況を示す。石灰と泥水により含水比調整した有楽町層粘土を混合後、幅 400 mm, 長さ 510 mm, 高さ 50 mm のステンレスバット内に敷設した。表面温度の測定は赤外線サーモグラフィー A (測定範囲 : -20 ~ 350°C, 解像度 : 32 × 32) を使用した。本混合実験では、含水比調整後、混合終了時 (改質直後), 1 分後, 3 分後, 5 分後, 7 分後, 30 分後, 60 分後, 120 分後の試料を対象に、各時間の表面温度を 3 回ずつ測定した。赤外線サーモグラフィーの測定範囲の対象は映っている画面全体である。しかし、バット外やバットの温度の影響を受けないようにするために、Fig. 2 のバット縁近傍を除く赤枠内で示した範囲の温度データを評価対象とした。赤枠内は 400 点 (幅 20 点 × 奥行き 20 点) の温度データを測定しており、隣接している 4 点 (紫枠) を平均した合計 100 組 (幅 10 組 × 奥行き 10 組) の温度データに変換し、面的な傾向を評価することとした。アースドリル工法の掘削時の排土間隔を約 10 分と仮定して、混合終了から 7 分後にコーン指数試験を行った。

2.4 実験結果

2.4.1 平均温度と経過時間の関係 Fig. 3 に Case1 の試料表面における平均温度の経時変化を示す。含水比の異なる各ケースでも同様の傾向を示したため Case1 の経時変化のみを示す。グラフの平均温度は前節で示した計測を行った赤枠内の温度である。室温はそれぞれのケースで測定しており、約 21°C であった。グラフを見ると全てのケースで石灰添加量が多くなるにつれて平均温度が高くなっている。また、改質直後から 5 分以内に平均温度が最も高くなり、それ以後は温度が低下する傾

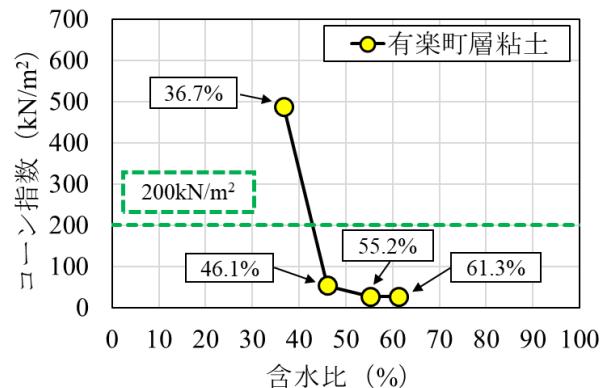


Fig. 1 原泥のコーン指数試験結果

(有楽町層粘土)

Corn Index Test Results of Raw Mud
(Yurakucho Layer Clay)

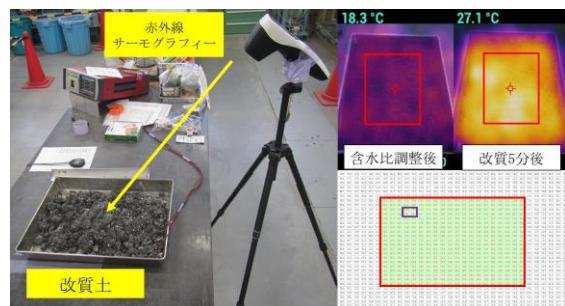


Fig. 2 実験状況 (室内混合実験)
Laboratory Status (Indoor Mixing Experiment)

向がみられた。120 分後の表面温度をみると改質前と同程度の温度まで低下した。混合時間で比較すると、混合時間が長いほど平均温度の最高値が高くなっている。これは、混合時間を長くすることで、石灰がより均質に混合され、消化吸水反応による発熱が改質土全体で促進されたためと考えられる。

2.4.2 表面温度分布及び変動係数の比較 本実験に先立ちばらつきの参考値としてステンレスバットに水を張り、その表面温度をサーモグラフィーで計測した。計測結果を Fig. 4 に示す。水の表面温度のばらつきを表す変動係数は 0.031 であった。次に、Fig. 4(B), (C), (D),

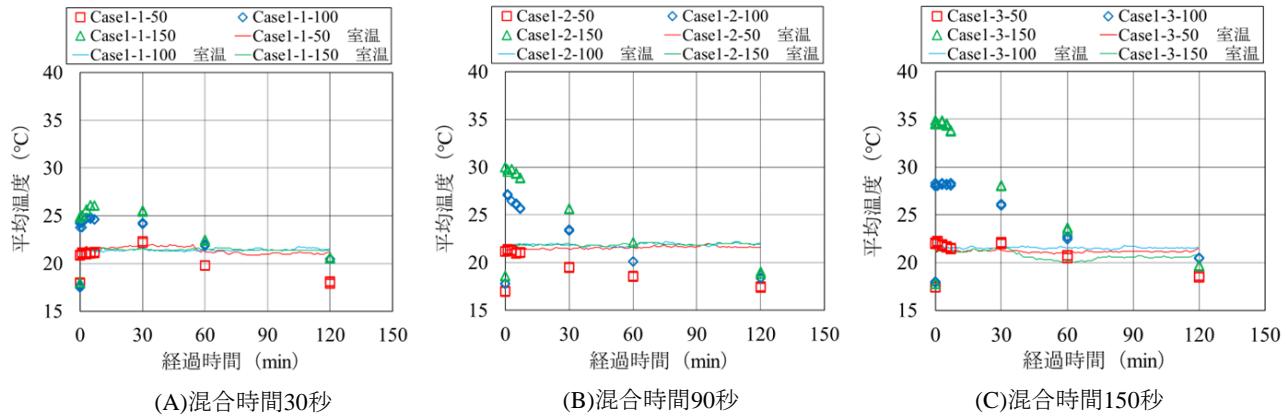


Fig. 3 試料表面の平均温度の経時変化 (Case1)
Time Variation of the Average Temperature of the Sample Surface (Case1)

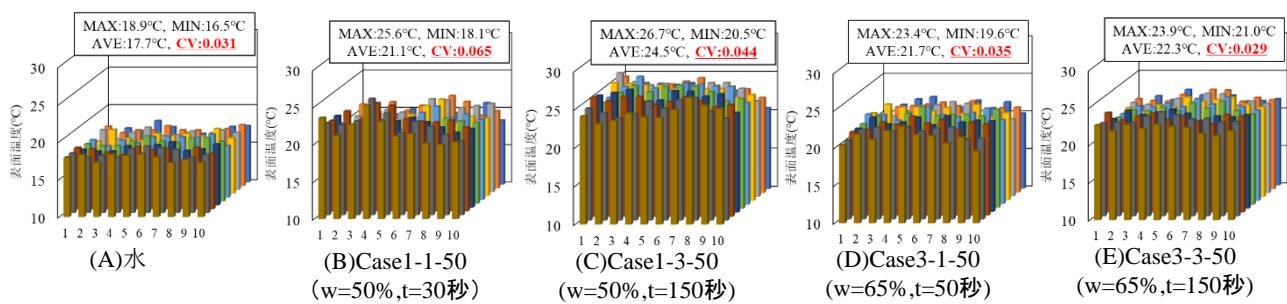


Fig. 4 表面温度分布図 (石灰添加量50kg/m³)
Surface Temperature Distribution Diagram



Photo 1 加水調整後の原泥の性状
Properties of Raw Mud After Hydrogenation

(E)に含水比および混合時間の異なるケースの表面温度分布を示す。グラフを見ると、どちらの含水比でも混合時間を長くすることにより変動係数が小さくなっている。この理由として、混合時間を長くすることで、石灰がより均質に混合され、消化吸水反応による発熱が均質に行われたためと考えられる。また、含水比 65%の混合時間 150 秒の変動係数が 0.029 となっており、水の変動係数と同程度であることから概ね均質に改良できたと評価することができる。(B)と(D)を比較すると、含水比 50%よりも含水比 65%の変動係数の方が低いため、同じ混合時間でも含水比が高いほうが均質に改良できたと評価できる。Photo 1 に各ケースの含水比調整を行った原泥の性状を示す。写真をみると、含水比が高くなると

原泥の流動性が高くなり、より石灰を混合しやすい状態であったため、温度のばらつきが小さくなったものと推察される。(B)と(D)の図の関係においても同様の傾向がみられる。

Fig. 5 に混合時間と改質土の表面温度の変動係数の関係を示す。プロットは改質終了から 7 分後の変動係数を平均して算出したものである。グラフの赤い点線は水の変動係数を示している。これは、温度がほぼ均質だと考えられる水の変動係数と比較することで均質性を確認するためである。グラフをみると、いずれの含水比においても混合時間を長くすることで変動係数が低下することがわかる。この結果より、混合時間を長くすることでばらつきが小さくなり、改質土の均質性を確保でき

ることがわかった。また、ケースごとに比較すると含水比が高くなるほど、原泥の流動性が高くなり、石灰がより均質に混合され、消化吸水反応により、改質土全体で発熱が確認できるようになった。

2.4.3 石灰添加量と平均温度差の関係 Fig. 6 に Case1～Case3 の石灰添加量と試料表面の平均温度差の関係を示す。平均温度差は改質 7 分後までの平均温度から加水調整後の平均温度を差し引くことにより算出した。各グラフでは、改質直後、1 分後、3 分後、5 分後、7 分後のデータをまとめている。黄色の直線は各ケースの全プロットの線形近似線を示している。グラフをみると、すべてのケースで石灰添加量の増大に伴い平均温度差が上昇する傾向がみられる。また、近似線をみると正の相関性がみられ、各ケースで比較すると相関係数に大きな差がない結果となった。

2.4.4 石灰添加量とコーン指数の関係 Fig. 7 に石灰添加量とコーン指数の関係を示す。Fig. 7 に示している緑色の点線は第 4 種建設発生土の強度区分である $q_c=200\text{ kN/m}^2$ を示している。また、各石灰添加量の点線は線形近似線を表している。Photo 2 に Case1 (含水比 50%) の石灰添加量 50 kg/m^3 における各混合時間の改質土の性状を示す。Case1 のグラフをみると、石灰を 50 kg/m^3 添加した時点で $q_c=200\text{ kN/m}^2$ の値を上回っている。その後、石灰添加量の増大に伴いコーン指数が増加している。近似線をみると、正の相関があることがわか

る。また、混合時間が短くなるとコーン指数が大きくなる傾向にある。この理由として、Photo 2 に示すように、混合時間が短い場合は塊状の改質土であるため貝殻や石などの不純物を発見できず、コーン指数試験時に干渉して数値が見かけ上大きくなつた可能性が考えられる。一方、混合時間が長くなると塊状の原泥が攪拌され、団粒化する際に混入していた貝殻や石などを排除できたために数値が小さくなつた可能性が考えられる。一方、Case2 と Case3 のコーン指数 q_c は、ほとんどの石灰添加量で $q_c=200\text{ kN/m}^2$ を下回っている。このことから本試料では液性限界(52.3%)を超えた含水比では、石灰添加量

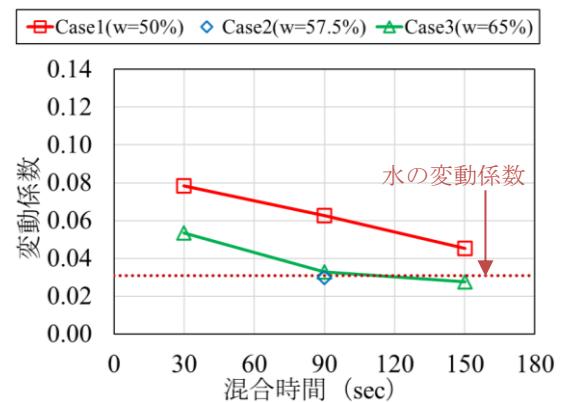


Fig. 5 混合時間と表面温度の変動係数の関係
Relationship between Mixing Time and Coefficient of Variation

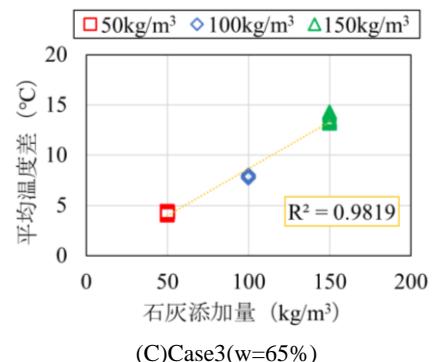
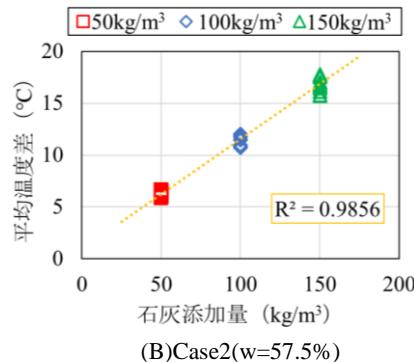
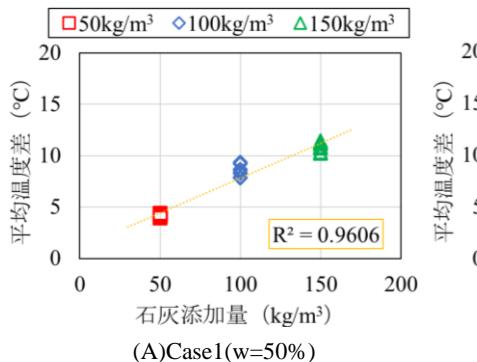


Fig. 6 石灰添加量と平均温度差の関係
Relationship between the Amount of Lime Added and The Average Temperature Difference

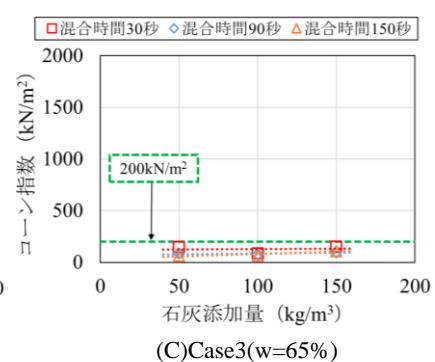
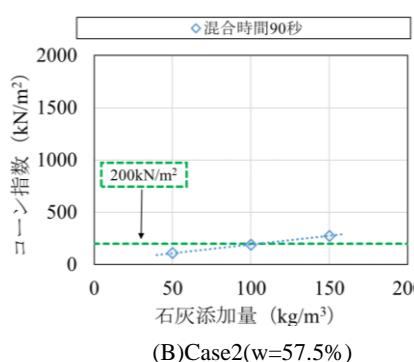
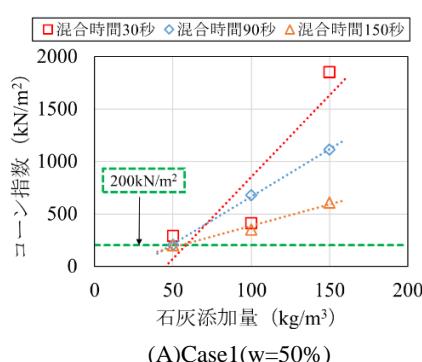


Fig. 7 石灰添加量とコーン指数の関係
Relationship between Lime Addition and Corn Index

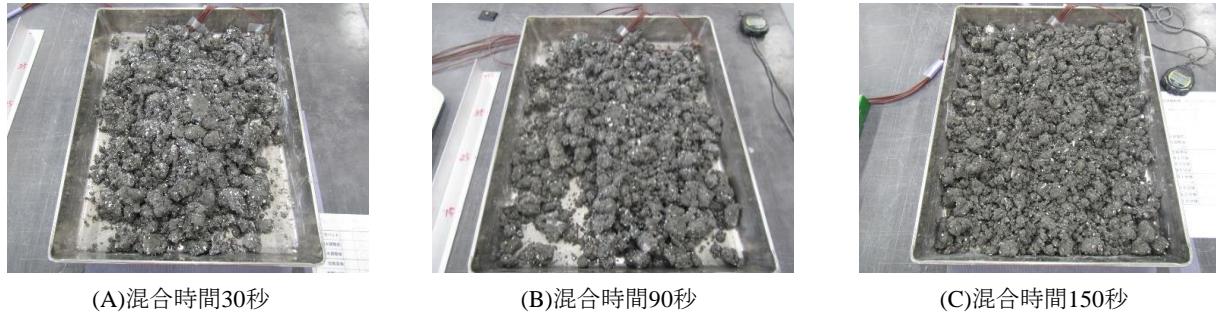


Photo 2 混合時間の違いによる改質土の性状 (Case1 石灰添加量50kg/m³)
Properties of Modified Soil Due to Differences in Mixing Time (Case1: Lime Addition Amount 50kg/m³)

を増やしてもコーン指数が増大しづらいことが確認できた。実際の現場では、液性限界を超えているような試料は放置し、乾燥させた後に改質を行うなどの検討が必要である。

3. 屋外実大混合実験

3.1 実験概要

実大混合実験では、屋外で赤外線サーモグラフィーによる表面温度の測定が可能か、混合時における試料の表面温度分布はどのように変化するかなどを把握することを目的として実施した。本実験では、室内混合実験と同様に有楽町層粘土を対象として行った。改質後の目標強度は、第3種建設発生土の強度区分 ($q_c=400\text{ kN/m}^2$ 以上)とした。試料と改質材の混合は 0.45m³ のバックホウで行った。また、現地計測に適した赤外線サーモグラフィーの選定を行うために、リアルタイムに温度の変動を確認することができるものを追加して 2 台で計測を行った。

3.2 実験ケース

実大混合実験は、泥土を舟型の容器内（上辺 4.8 m × 幅 2.0m × 高さ 1.1m）に 3m³ ほど撒き出し、目標含水比 ($w=50\%$) となるように十分に混合した。含水比調整後、表面から均等に 8 か所の試料を採取し、改良前の初期含水比を測定した。実大混合実験の石灰添加量は、室内混合実験を参考に 100kg/m³ とした。実験は石灰を 100kg/m³ 投入してバックホウを使用して混合した。Table 2 に実験ケースを示す。バケットの種類の違いが混合精度に及ぼす影響を確認するために、通常バケットとミキシングバケットの 2 種類を用いた。

3.3 実験方法および計測項目

Photo 3 に実験状況を示す。赤外線サーモグラフィーの測定は、バックホウによる混合の妨げにならないようにバケットが届かない距離から行った。実大混合実験では、赤外線サーモグラフィー A に加え、赤外線サーモグラフィー B（測定範囲:-20~250 °C, 解像度:382×240）も使用した。赤外線サーモグラフィー B は、リアルタイムの動

Table 2 実験ケース（実大混合実験）
Experimental Case (Field Mixing Experiment)

ケース番号	バケットの種類	目標コーン指数(kN/m ²)	石灰添加量(kg/m ³)	初期含水比(%)	混合時間(min)
Case I	通常	400	100	46.8	7
Case II	ミキシング			44.8	



Photo 3 実験状況
Experimental Status

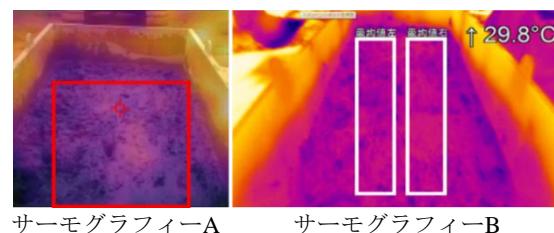
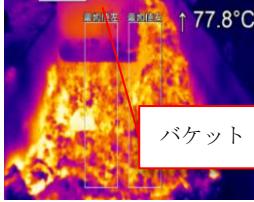
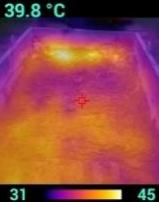
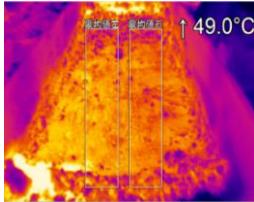
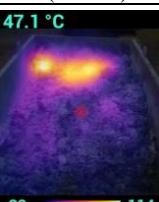
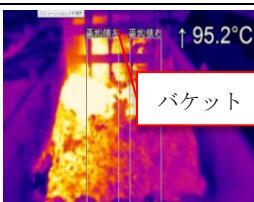
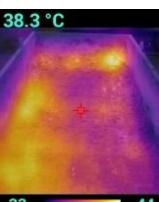
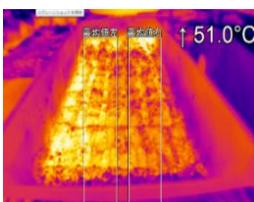


Fig. 8 赤外線サーモグラフィー撮影画像
Infrared Thermography Image

画と指定した時間でのスクリーンショットにより計測することができ、USB でパソコンと接続することによりリアルタイムに温度の変動を確認することができる。

Fig. 8 に二つの赤外線サーモグラフィーによる撮影画像を示す。室内混合実験と同様に、舟型の容器の影響を受けないようにするためにデータ抽出の範囲を赤外線サーモグラフィー A は赤枠、赤外線サーモグラフィー B

Table 3 赤外線サーモグラフィーによる撮影画像
Image Taken by Infrared Thermography

混合時間	赤外線サーモグラフィーA (Case I)	赤外線サーモグラフィーB (Case I)
6分		
30分		
混合時間	赤外線サーモグラフィーA (Case II)	赤外線サーモグラフィーB (Case II)
6分		
30分		

は2箇所の白枠で設定した。室内混合実験では改質後から測定を開始したが実大混合実験では混合時の測定状況を確認するために混合しながら測定した。混合開始から2分までは30秒ごと、10分までは1分ごと、20分までは2分ごと、最後に30分後に測定を行った。実験終了後、初期含水比を測定した8ヵ所付近から試料を採取し、CaseIは2~4時間後、CaseIIは12時間後にコーン指數試験を行った。コーン指數試験における実施時間に違いが生じた理由は、意図的なものではなく試験当日の作業状況によるものである。

3.4 実験結果

3.4.1 赤外線サーモグラフィーによる表面温度の計測結果 Table 3 に Case I, II で 2 つの赤外線サーモグラフィーによって撮影を行った画像の例を示す。赤外線サーモグラフィーA と B の画像を比較すると赤外線サーモグラフィーBの方が、解像度が高いため詳細な温度分布が確認できる。Case I, II の画像をみるとバケットの温度を測定していることもわかる。なお、それぞれの画像

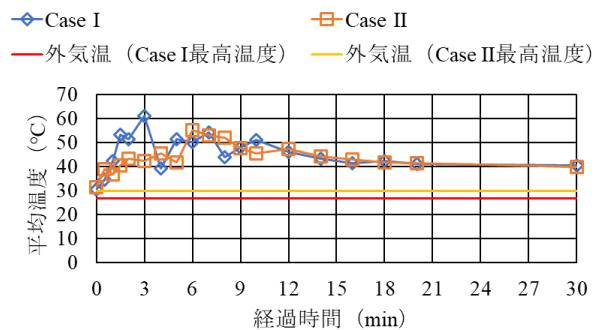


Fig. 9 平均温度の経時変化(サーモグラフィーA)
Average Temperature Change Over Time
(Infrared Thermography A)

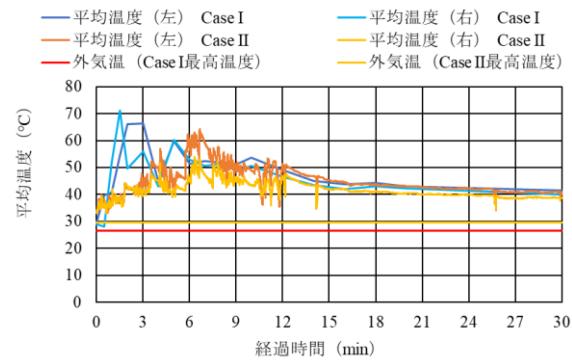


Fig. 10 平均温度の経時変化(サーモグラフィーB)
Average Temperature Change Over Time
(Infrared Thermography B)

で温度の表示範囲が異なること、また、赤外線サーモグラフィーA の左上の数値は画面内全体の測定温度の平均値、赤外線サーモグラフィーB の右上の数値は、左側の白枠内の最大温度を示していることに留意されたい。

3.4.2 平均温度と経過時間の関係 Fig. 9 に赤外線サーモグラフィーA、Fig. 10 に赤外線サーモグラフィーB による各ケースの試料表面の平均温度の経時変化を示す。両グラフに示している赤線と黄色線は、実験当日の最高気温を示している⁵⁾。赤外線サーモグラフィーB ではリアルタイムで表示が可能で、サンプリング数が 4Hz でデータを連続測定できるが、Case I では連続測定を行えなかつたため各時間での測定データを示している。Fig. 9 をみると Case I の方が、3 分経過時までの温度上昇が高い。これは通常バケットでは試料と石灰の混合が十分にできておらず石灰が集中している場所の温度が非常に高いためと考える。その後は、両ケースともに約 55°Cまで上昇し、30 分経過時には約 40°Cまで温度が減少している。Fig. 10 をみると、Case I, Case II いずれのケースにおいても、左右の計測範囲によらず同程度の温度上昇がみられるのがわかる。しかし、Case I の 2 分と 3 分や Case II の 6~8 分間にように差が大きい時間もある。Table 3 の赤外線サーモグラフィーB(Case II)の 6 分経過時の画像をみると、右部分の白枠では温度が上昇していない。以上のことから、リアルタイムで温度分布

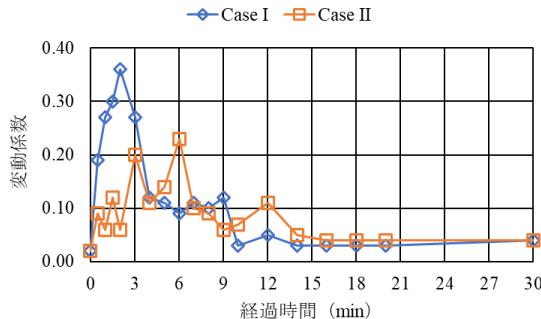


Fig. 11 変動係数の経時変化
Coefficient of Variation Change Over Time

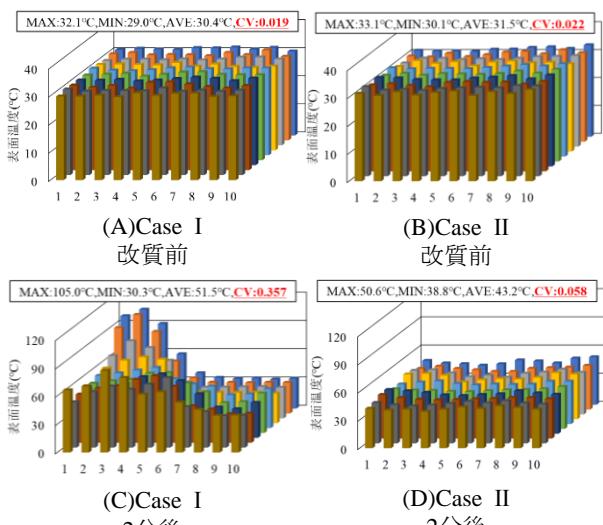


Fig. 12 表面温度分布図 (実大混合実験)
Surface Temperature Distribution Map
(Field Mixing Experiment)

の画像を確認することで試料の改質状況の変化を可視化できることがわかった。すなわち、赤外線サーモグラフィーBは連続測定が可能でリアルタイムにデータを確認できるため、赤外線サーモグラフィーAより現場の品質管理に適していると判断できる。

3.4.3 変動係数と経過時間の関係 Fig. 11 に赤外線サーモグラフィーA の測定結果から求めた各ケースの試料表面温度の変動係数と経過時間の関係を示す。また、Fig. 12 に実大混合実験赤外線サーモグラフィーA によって測定した試料表面温度分布図の一例を示す。横軸はデータ数の列を示している。Fig. 11 をみると、Case I と Case IIの両方で、経過時間が増えると共に変動係数が小さくなっている。これは、バックホウによる混合時間を長くすることで、石灰がより均質に混合され、土砂全体が消化吸水反応により均等に発熱したためと考えられる。Case IIの 6 分経過時の変動係数が大きくなった原因是、バケットで地盤内部の温度が高い試料を搔き上げたタイミングで測定したことによる影響と考えられる。Fig. 12 をみると、改質前は表面温度にはばらつきはみられず 30°C前後となっていることが確認できる。一方、2 分

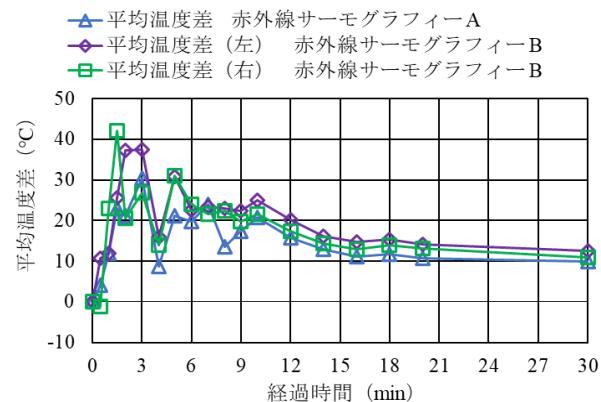


Fig. 13 平均温度差の経時変化の比較(Case I)
Comparison of Temporal Changes in Average Temperature Difference (Case I)

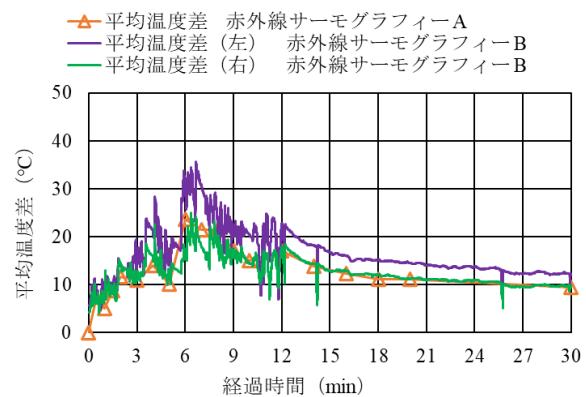


Fig. 14 平均温度差の経時変化の比較(Case II)
Comparison of Temporal Changes in Average Temperature Difference (Case II)

経過時の図をみると、Case Iでは部分的に温度が高い箇所があり変動係数も大きくなっているのに対し、Case IIでは局所的に温度が高い箇所ではなく変動係数も小さい値となっている。また、最低温度は、Case Iが 30.3°Cであるのに対し、Case IIは 38.8°Cであり、Case IIが高くなっている。この結果より、2 分経過時点では、通常バケットよりもミキシングバケットの方が、変動係数が小さく、試料表面の最低温度も高いことから、混合性能が高いと判断することができる。

3.4.4 平均温度差と経過時間の関係 Fig. 13 に Case I, Fig. 14 に Case IIの平均温度差の経時変化を示す。平均温度差は、室内混合実験と同様にそれぞれの時間の平均温度から加水調整後の平均温度を差し引くことにより算出した。赤外線サーモグラフィーの比較を行うと赤外線サーモグラフィーB の平均温度差の方が高い箇所がある。これは、Table 3 の写真をみると、赤外線サーモグラフィーBの方が解像度が高く、赤外線サーモグラフィーAより詳細に地表面の温度差を捉えることができているため、温度差が発生したと考えられる。グラフを比較すると、どちらのグラフも約 10 分経過時から、温度が低下している。また、Case Iの方が初期の温度差

が大きくなっている。15分経過以降は、同程度の温度差となっている。

3.4.5 コーン指数試験結果 Fig. 15 に実験終了後に行ったコーン指数試験結果を示す。赤線は目標強度である $q_c=400 \text{ kN/m}^2$ を示している。いずれのケースおよび採取箇所においても目標強度を大きく上回る結果となっている。Case I と Case II を比較するとすべての点で Case II のコーン指数の方が大きいことがわかる。これは、コーン指数試験を行った時間が遅かったことや、初期の含水比が低かったことが影響したと考えられる。また、通常バケットよりもミキシングバケットの方が混合性能が高く、消化吸水反応が促進されたためと考えられる。

4. おわりに

本報告では、改質土を手動で混合した室内混合実験結果および屋外で実施した実大混合実験結果を示した。以下に、本報で得た知見を示す。

<室内混合実験>

- 1) 混合時間が長いほど石灰がより均質に混合され、消化吸水反応による発熱が改質土全体でみられるため、試料表面における温度のばらつきが小さくなることがわかった。
- 2) 含水比が高いほど原泥の流動性が高くなり、より石灰を混合しやすい状態であったため、試料表面における温度のばらつきが小さくなることがわかった。

<実大混合実験>

- 1) 本実験で使用した二つの赤外線サーモグラフィーを比較すると、赤外線サーモグラフィーA よりも赤外線サーモグラフィーBの方が連続測定かつリアルタイムにデータを確認できるため、現場の品質管理に適していると判断される。
- 2) バケットの種類で比較すると、通常バケットよりもミキシングバケットの方が、試料の表面温度の変動係数が小さく、また、コーン指数が大きいことから、混合能力が高いことが示唆された。

今回の実験結果より、赤外線サーモグラフィーを用いた表面温度の計測手法が、泥土改質時の品質管理に適用できる可能性があることがわかった。

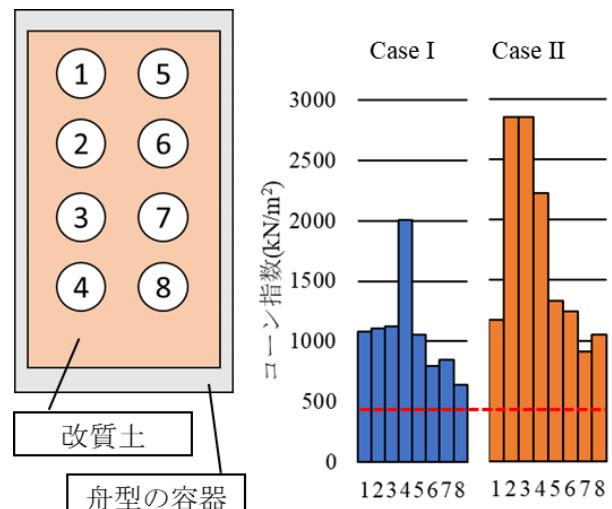


Fig. 15 コーン指数試験結果
Corn Index Test Results

今後は、測定対象内での分割数を増やすことで精度よく地表面の変動係数をリアルタイムで算出し、改質土の均質性に着目した品質管理手法を開発したい。

参考文献

- 1) 一般社団法人泥土リサイクル協会: 1 時間でわかる「建設汚泥処理物の廃棄物該当性の判断指針について」, p.6, 2017.3
- 2) 友岡, 他: 建設汚泥の自ら利用に向けた改質土のばらつきに着目した攪拌実験, 第 78 回土木年次学術講演会, 講演番号 III-79, 2023.9
- 3) 友岡, 他: 建設汚泥の自ら利用に向けた改質土の品質管理手法に関する一考察, 第 58 回地盤工学研究発表会, 講演番号 11-6-5-02, 2023.7
- 4) 日本石灰協会: 石灰による地盤改良マニュアル, p.164, 2010
- 5) 気象庁, “過去の気象データ検索 各種データ 所沢（埼玉県） 2023-07-14（1時間ごとの値）”, 国土交通省, https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/hourly_a1.php?prec_no=43&block_no=1070&year=2023&month=7&day=14&view=, (参照 2025-05-21)