

気泡混合軽量土の一軸圧縮強さに及ぼす温度履歴の影響

亀井健史¹⁾, 堀切保則²⁾

¹⁾島根大学総合理工学部 地球資源環境学科

²⁾榎竹下技術コンサルタント

Effects of temperature histories on unconfined compressive strength of foamed mixture lightweight soil

Takeshi KAMEI and Yasunori HORIKIRI

¹⁾*Department of Geoscience, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University*

²⁾*Takeshita Engineering Consultant Co, Ltd.*

Abstract

This paper describes the effects of temperature increase of fill induced by cement hydration on the unconfined compressive strength of foamed mixture lightweight soils at a construction site. The specimen was cured at curing temperatures based on the temperatures (10 to 95°C) obtained from model and field tests before unconfined compression testing, to investigate the effects of temperature increase due to cement hydration on the unconfined compressive strength of foamed mixture lightweight soils. The unconfined compressive strengths of the specimen subjected to high curing temperature histories were compared with those of the specimen cured at 20°C. Unconfined compressive strength decreases significantly under high temperature histories. The unconfined compressive strength cured for 28 days at high curing temperature (10 to 95°C) is about 70% that of specimens cured at 20°C. Finally, we find that reevaluation of the design strength is necessary and temperature management is important when foamed mixture lightweight soils are constructed.

1. はじめに

最近、軟弱地盤対策工法における軽量盛土工法の一つである気泡セメント盛土工法 (Foamed Cement Banking Method: 以下, FCB 工法とする.) が多用されている¹⁾. FCB 工法は, セメント・砂・水および起泡剤から作製されることから, 混合する起泡剤や添加するセメント量を調整することにより, 使用目的に応じた流動性や軽量化率, 強度を有する盛土材を作製できるという特徴がある. また, 硬化後は自立するため, 鉛直盛土の施工も可能となる. さらに, 水浸, 乾燥の繰り返しに伴いスレーキング現象が発生し, 強度が変化しやすいために扱いにくいという理由から残土として廃棄処分されてきた泥岩に対しても, FCB 工法ではスラリー状にして, 含水比を調整すること等によりその利用が可能とある. このようなことは, 「リサイクル法」および「建設リサイクル法」²⁾

が施行され, 種々の再生資材の建設現場への利用を促進するという社会的なニーズの観点から非常に有用であると考えられる.

FCB 工法の用途としては, 軟弱層の厚い地域や超軟弱地盤上での荷重軽減を目的とした盛土施工や地すべり地・山岳地帯のような急峻な地域での片壁盛土などに用いられている. その他にも橋台や擁壁の土圧軽減のための裏込め材として利用されるほか, 締固め困難な場所への埋め戻しや充填などにも利用されている³⁾.

多種多様の用途に利用され始めている FCB 工法であるが, この工法にも施工上留意しなければならない問題点がいくつかある. 例えば, 気泡混合軽量土が長期間地下水位面下にある場合には, 水の浸透に伴いその軽量性が損なわれる危険性が考えられる⁴⁾. また, FCB 構造物は, 通常のコンクリート構造物に比較して, ひび割れが生じやすいものと考えられており, 応力が集中する箇所

や盛土補強部などにおいて、有害なき裂が発生する可能性がある⁴⁾。さらに、一層当たりの打設高さが1mを超えるような場合には、打設した材料の上部と下部の湿潤密度に差が生じ、その結果、不均一な強度・変形特性を有する製品が作製される可能性がある。また、気泡混合軽量土を大量に打設する場合には、内部に急激な温度上昇が認められ、60~90℃程度にまで達することが報告されている^{3)~6)}。このような多量の熱の発生が、気泡混合軽量土の強度・変形特性に大きな影響を及ぼす可能性も指摘されている⁴⁾。この現象は、ダムサイトなどで一度に大量のコンクリートを打設する場合に、内部で発生した水和熱が外部に放散されずに蓄積され、内部温度が上昇するという現象⁷⁾と同一のものと考えられる。内部温度の上昇と以後の冷却により生じる温度差は、内部応力を発生させ、その結果、温度ひび割れが発生しやすくなる。気泡混合軽量土でもこのような現象は、同様に発生する可能性がある。

気泡混合軽量土の一軸圧縮特性に及ぼす温度の影響については、室内実験でも検討されている。例えば、打設から養生日数1日までの間に種々の温度(初期養生温度、以後Ticと呼ぶ。)を供試体に対して与えて、養生日数2日目以降は、常温で養生した試料に対して一軸圧縮試験を行うことで、Ticの違いが一軸圧縮特性の及ぼす影響を検討している⁸⁾。その結果、気泡混合軽量土の一軸圧縮特性はTicの上昇の影響を大きく受け、 q_u 値および E_{50} 値はTicの増加に伴い、ほぼ直線的に減少していくことを報告している。また、80℃以上のTicの履歴を受けた場合には、養生日数の増加に伴う長期強度の増加があまり認められなくなることも明らかにしている。しかしながら、上述の初期養生温度を与えた温度履歴は、打設時に認められる高温の温度履歴との関係は不明である。

そこで、本研究では、打設時の温度変化の原位置計測結果に基づいた温度履歴を与えた供試体を作製し、一軸圧縮試験を行った。その結果、モデル化した温度履歴が気泡混合軽量土の一軸圧縮特性に及ぼす影響を定量的な観点から明らかにすることができた。

2. 気泡混合軽量土の打設に伴う温度計測例⁹⁾

試験施工では、橋台背面に圧縮性に優れた10~20cmの発泡スチロール(EPS)を貼り付け、その背面にFCB材料を盛立てる構造形式が採用されている。しかしながら、このような形式におけるFCB材料の長期的な評価はなされていないのが現状である。そこで、日本道路公団仙台技術事務所では、FCB材料を用いて施工した橋台部分(山形自動車道月岡橋)において動態観測を行っている。その結果、FCB材料内の固化熱は打設後の数日間のうちに100℃近くにまで上昇していることが判明した。さらに動態観測結果を検証するために仙台技術事務所では、土槽実験も行っている。その概要を以下に示す。

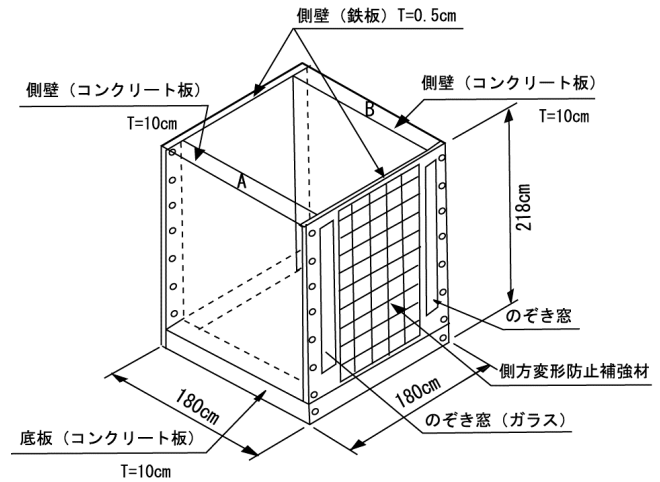


図-1 土槽実験模型⁹⁾

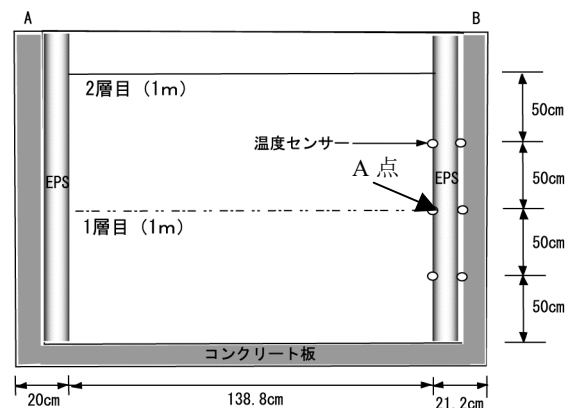


図-2 計測機器配置断面⁹⁾

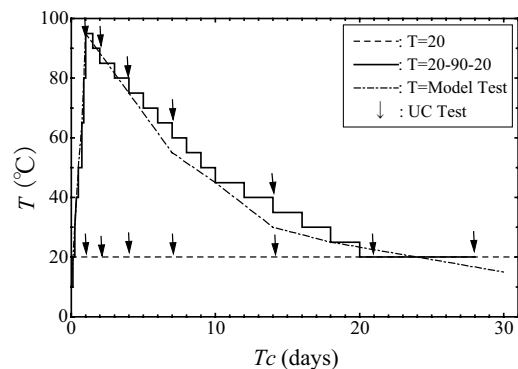


図-3 気泡軽量混合土地盤における温度履歴と本室内実験で用いた温度条件

図-1は、モデル実験に用いた土槽を示している。この実験では、打設後の気泡混合軽量土内部の温度上昇をより精密に測定している。試験に用いた土槽は、幅1.8m、奥行き1.8m、高さ2.18mであり、鉄およびコンクリートの側壁により構成されている。温度センサーは、図-2に示すとおりに配置しており、FCB打設後の土槽内の温度を測定した。なお、温度センサーには、熱電対を用いて

表-1 配合条件

水セメント比 W/C	セメント C (kg/m ³)	起泡剤 m ₁ (kg/m ³)	希积水 m ₂ (kg/m ³)	混練水 m ₃ (kg/m ³)	水量 (m ₁ +m ₂ +m ₃) (kg/m ³)	目標湿潤密度 ρ _t (g/cm ³)	目標フロー値 Flow (mm)	目標空気量 V _a (%)
0.71	353.0	1.6	25.0	227.0	253.6	0.6±0.1	180±20	65±5

いる。試験方法は、土層にFCB材料を2層に分けて打設し、打設後から土槽内の温度変化を1ヶ月間測定した。1層当たりの打設厚さは1mとし、実施工と同様に1層目打設の翌日に2層目を打設した。

試験の結果から、FCB材料の躯体内中央部(A点)の温度は、図-3の一点鎖線に示すように打設直後から養生期間1日の間に100℃近くにまで上昇し、その後、養生期間の経過に伴い緩やかに減少し、最終的には養生20日程度で常温となった。モデル試験結果は、原位試験結果と良い対応性が認められた⁹⁾。

3. 試料・供試体作製方法および実験方法

3.1 エアミルクの材料

エアミルクを製造するための材料には、固化材、起泡剤、水(混練水、希积水)が必要である。本研究では、供試体を表-1の配合条件に従い作製した。固化材としては、強度特性と経済性を考慮し、高炉セメントB種を用いた。また、気泡を得るために界面活性剤系の起泡剤(主成分：高級アルコールの硫酸エステル化合物)を使用した。起泡剤の発泡には、希积水の水質が大きな影響を及ぼすことから蒸留水を用いた。

3.2 供試体の作製方法

土槽試験結果から得られた躯体内の温度履歴と原位置動態観測結果から得られた温度履歴の間には、良い対応性が認められたので、本研究では、土槽試験から得られた温度測定結果に基づいて温度履歴のモデル化を行った。モデル化した温度履歴(T=10-95-20(°C))をシミュレートするために、まず、乾燥炉内温度を10℃から3時間ごとに10℃ずつ増加させ、最終的に95℃まで上昇させた。炉内温度が95℃に達した後は、1日ごとに5℃ずつ低下させ、最終的には、20℃まで炉内温度を低下させた(図-3)。

供試体の作製手順は、まず、固化材と混練水を混合してセメントミルクを作製し、つぎに起泡剤と希积水を混ぜ、物理的に攪拌して、気泡を作製した。最後に両者をミキサーで混合することによりエアミルク(気泡混合軽量土)を得た。

試料の品質管理は、フロー値(180±20mm)、空気量(70±5%)、作製時の湿潤密度(0.7±0.1g/cm³)の項目に

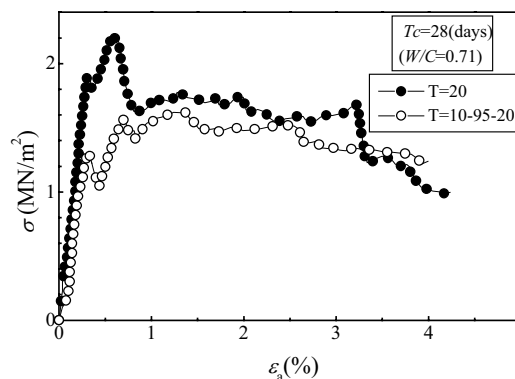


図-4 温度履歴の違いが圧縮応力-ひずみ曲線に及ぼす影響

ついて行った。各項目の試験値が目標の範囲内⁴⁾であることを確認した後に、モールド(φ=50mm, H=100mm)に打設した。なお、モールドからの水分の流出を防ぐためにモールド内部にはシリコングリスを薄く塗布するとともに、試料とモールドの付着を防ぐためにモールド内側にシリコングリスを薄く塗布したOHPシート貼り付けている。

モールドに打設した試料は、全体をビニール袋で覆い、T=20(20℃)およびT=10-95-20のモデル化した高温の温度履歴を与えた。

T=20の供試体では、打設後24時間を経過した時点でモールドから試料を取り出し、端面を成形した後にプラスチック製の円筒容器内で気中養生を行った。また、T=10-95-20の高温の温度履歴を与えた供試体は、一軸圧縮試験開始の約1時間前に乾燥炉から取り出し、常温まで冷却した後に、モールドから取り外し、試料の端面を成形後、実験に用いた。

養生日数は、T=20およびT=10-95-20の履歴を与えたいずれの供試体とも1, 2, 4, 7, 14, 21, 28日の7種類を設定した。なお、T=20およびT=10-95-20とも養生日数とは、打設から強度試験までの期間を示している。

3.3 実験方法

一軸圧縮試験は、ひずみ制御方式で行い、せん断時のひずみ速度は1%/minとした。また、強度・変形特性に及ぼす端面摩擦の影響を軽減するために、一軸圧縮試験装置の上下加圧板の表面にシリコングリスを薄く塗布した。なお、供試体内の含水比の違いを検討するため、試

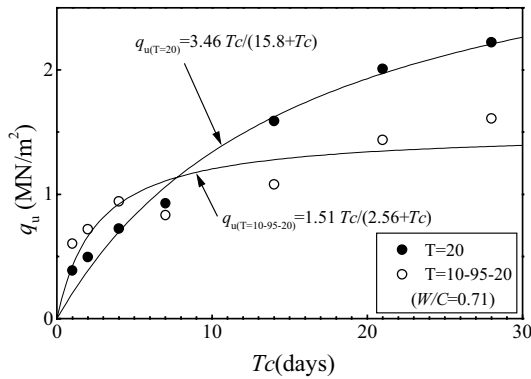


図-5 温度履歴の違いが一軸圧縮強さと養生日数の関係に及ぼす影響

験後の供試体を上部・中部・下部に3分割し、それぞれの含水比を測定した。

4. 実験結果および考察

4. 1 応力-ひずみ曲線

図-4では、温度履歴の違いが応力-ひずみ曲線 ($T_c=28$ 日) に及ぼす影響を検討している。圧縮応力は、温度履歴の違いによらず、ひずみ量の増加に伴い、初期は急激に増大する。また、ピーク後、圧縮応力はひずみの増加に伴い増加と減少を繰り返すひずみ軟化挙動を示した。 $T=10-95-20$ の履歴を与えた供試体の場合には、 $\varepsilon_f=0.58\%$ において $q_u=1.6\text{MN/m}^2$ とピークに達している。一方、 $T=20$ の場合には、 $q_u=2.2\text{MN/m}^2$, $\varepsilon_f=1.24\%$ となる。したがって、 q_u 値は、 $T=10-95-20$ のような高温の温度履歴を受けた場合には、 $T=20$ で養生した供試体と比較して30%程度低下していることがわかる。同様な傾向は E_{50} 値でも認められた。

このように $T=10-95-20$ で示されるような施工現場において発生する高温の温度履歴は、気泡混合軽量土の強度変形特性に大きな影響を及ぼすものと考えられる。

4. 2 一軸圧縮強さ (q_u)

図-5は、温度履歴の違いが一軸圧縮強さ (q_u) と養生日数 (T_c) の関係に及ぼす影響を示している。 q_u 値と T_c の関係は、温度履歴の違いによらず、 T_c の増加に伴い q_u 値が $T_c=14$ 日程度まで急激に増加し、それ以後は緩やかに増加していく双曲線によって近似できる。また、 q_u 値の増加は、 $T_c=7$ 日までは高温の温度履歴を受けた $T=10-95-20$ の場合が $T=20$ より大きくなる。一方、 $T_c=7$ 日以降については、高温の温度履歴を受けていない $T=20$ とした場合の q_u 値が大きくなった。

図-6は、 $q_u(T=10-95-20)/q_u(T=20)$ と養生日数 (T_c) の関係を示している。なお、養生日数は対数表示としている。この図から $q_u(T=10-95-20)/q_u(T=20)$ は T_c の経過に伴って減

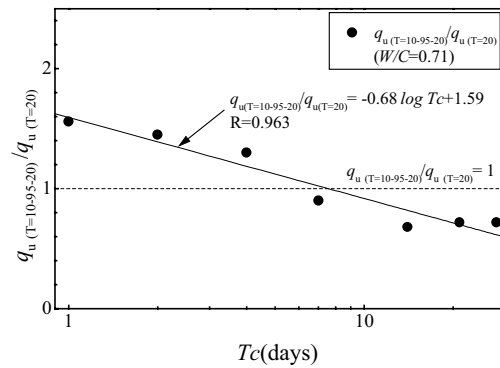


図-6 温度履歴の違いが $q_u(T=10-95-20)/q_u(T=20)$ と養生日数の関係に及ぼす影響

少してゆく結果が認められた。 $T_c=1\sim4$ 日までの $q_u(T=10-95-20)$ 値を $q_u(T=20)$ 値と比較すると、 $T_c=1$ 日の場合には1.6倍、 $T_c=4$ 日の場合は1.3倍を示している。このように T_c の経過とともにその比率は減少しているが、 $q_u(T=10-95-20)$ 値は、 $q_u(T=20)$ 値と比較して増加傾向にあることが明らかとなった。

一方、 $T_c=7$ 日以降については、 $q_u(T=10-95-20)/q_u(T=20)$ 値は、 $0.7\sim0.9$ となり $q_u(T=20)$ 値と比較して、高温の温度履歴を受けた $q_u(T=10-95-20)$ 値は減少傾向にあることが明らかとなった。とくに施工基準となる $T_c=28$ 日の q_u 値については、 $q_u(T=10-95-20)/q_u(T=20)=0.72$ となることから、 $q_u(T=20)$ に対して $q_u(T=10-95-20)$ は、約30%の強度が低下していることを示している。このことは、気泡混合軽量土の設計強度は原位置において発揮されていると考えられている強度を過大評価している可能性があり、設計の際には気泡軽量混合土打設に伴う温度履歴の影響を考慮する必要があることを示唆している。なお、 $T_c=90$ の場合には、 $T=20$ の場合と比較して、その q_u 値は、2割程度まで低下することが報告されている⁸⁾。

本研究のように、高温の温度履歴を与えた場合の q_u 値が $T=20$ の場合の3割程度しか減少しなかった理由としては、以下のことが考えられる。まず、打設後、温度を徐々に上昇させていることから、 $T_c=90$ の場合と比較して、試料内部の気泡の膨張や移動が少なかったために構造が大きく変化しなかったことが挙げられる。つぎに緩やかな温度低下により、比較的高い 60°C 程度の内部温度が維持され、養生初期に ($T_c=7$ 日程度までの期間) 供試体内の水和反応が急速に進行し、7日目以降の長期の強度発現が妨げられたものと考えられる。

以上のことから、気泡混合軽量土打設に伴う温度上昇がその強度変形特性に及ぼす影響は大きく、その一軸圧縮強さは通常の室内試験条件 ($T=20^\circ\text{C}$:一定) から得られた試験結果の70%程度の強度しか示さないことが明らかとなった。したがって、通常の室内試験条件から得られた試験結果を気泡混合軽量土の設計強度として用いることは、その強度を過大評価している可能性があり、設計の際には温度履歴の影響を考慮する必要があること

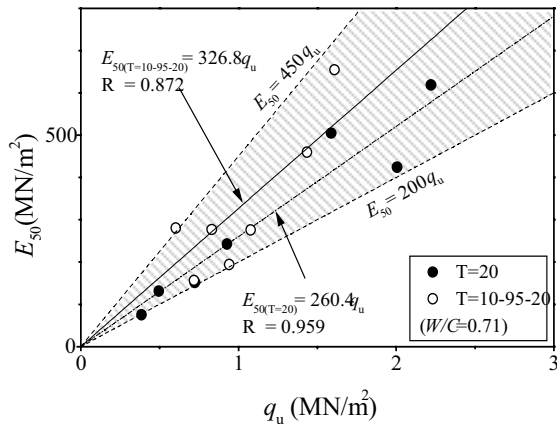


図-7 温度履歴の違いが一軸圧縮強さと変形係数の関係に及ぼす影響

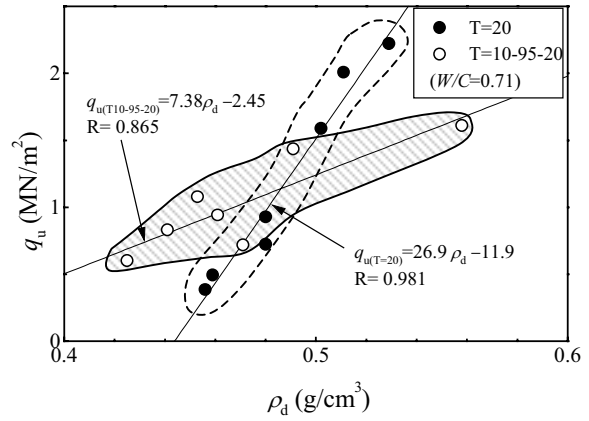


図-8 温度履歴の違いが一軸圧縮強さと乾燥密度の関係に及ぼす影響

を示唆している。また、施工面に着目すると、気泡混合軽量土を施工する際には、定量的な温度管理の必要性が考えられる。例えば、一回当りの打設量を少なくすることや、温度上昇を抑える混和材等を用いることにより、十分な温度管理が可能であることを指摘できる。

4. 3 変形係数 (E_{50}) と一軸圧縮強さ (q_u) の関係

一般的な気泡混合軽量土の変形係数 (E_{50}) と一軸圧縮強さ (q_u) の間には比例関係が認められる。横田・三嶋¹¹⁾によると、常温の場合の E_{50} 値は、 q_u 値の 100 から 200 倍の範囲にあることが報告されている。一方、初期養生温度 (Tic) の影響を考慮した試験結果 (Tic=10~90°C) によると E_{50}/q_u 値は、100 から 500 の範囲にあることが報告されている⁸⁾。図-7 は、温度履歴の違いが E_{50} 値と q_u 値の関係に及ぼす影響を示している。温度履歴の違いによらず E_{50} 値には、 q_u 値の増大に伴い増加する傾向が認められる。 E_{50}/q_u 値は、200 から 450 の範囲にあり、 E_{50} 値と q_u 値は良い相関を示している。しかしながら、図より高温の温度履歴を与えた T=10-95-20 の場合には、T=20 の場合と比較して E_{50}/q_u 値が増加する傾向が認められた。

以上の結果から、気泡混合軽量土の高温の温度履歴を受けた E_{50}/q_u 値は、常温で養生した既往の研究の結果よりも大きい値を示す。

4. 4 一軸圧縮強さ (q_u) と乾燥密度 (ρ_d) の関係

図-8 は、温度履歴の違いが乾燥密度 (ρ_d) と一軸圧縮強さ (q_u) の関係に及ぼす影響を示している。T=20 で養生した供試体と T=10-95-20 の履歴を与えた供試体の比較を試みると、T=20 で養生した場合には、 ρ_d 値は、 $\rho_d=0.45 \text{ g/cm}^3$ から $\rho_d=0.52 \text{ g/cm}^3$ へと増加するのに伴い、 q_u 値も $q_u=0.45 \text{ MN/m}^2$ から $q_u=2.2 \text{ MN/m}^2$ へと増加する直線関係が得られた。同様に、高温の温度履歴を与えた T=10-95-20 の供試体の場合にも ρ_d 値は $\rho_d=0.42 \text{ g/cm}^3$ から $\rho_d=0.56 \text{ g/cm}^3$ へと増加するのに伴い q_u 値も $q_u=0.5 \text{ MN/m}^2$

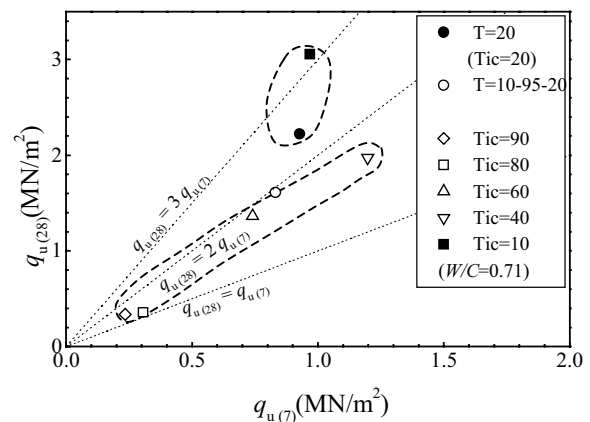


図-9 温度履歴の違いが $q_{u(28)}$ と $q_{u(7)}$ の関係に及ぼす影響

から $q_u=1.6 \text{ MN/m}^2$ へと増加する直線関係が認められた。しかしながら、 ρ_d の増大に伴う q_u の増加の傾向は T=20 で養生した場合と比較してかなり抑制されていることがわかった。

上述のような高温の温度履歴の影響が供試体内部の構造や組成に変化を及ぼしているものと推察される。今後は内部構造に影響を及ぼす気泡の大きさや形状についても比較検討していく必要があるものと考えられる。

4. 5 $q_{u(28)}$ と $q_{u(7)}$ の関係

一般的に、気泡混合軽量土を用いた盛土の設計では、材令 28 日における一軸圧縮強さ ($q_{u(28)}$) を基準として用いている⁴⁾。しかしながら、施工現場においては、早期強度を確認する必要があること、および打設開始から 28 日には、ほとんどの場合、施工が完了していることなどから、材令 7 日の一軸圧縮強さ ($q_{u(7)}$) を用いて強度確認をする場合がある¹²⁾。

図-9 は、本研究の結果および種々の初期養生温度の異なる場合の $q_{u(28)}$ と $q_{u(7)}$ の関係を示している⁸⁾。この図から $q_{u(28)}$ と $q_{u(7)}$ の間には初期養生温度の違いや温度履歴の違いによらず、 $q_{u(28)}$ と $q_{u(7)}$ の関係には比例の関係が認められた。また、図から T=10-95-20 の場合にも

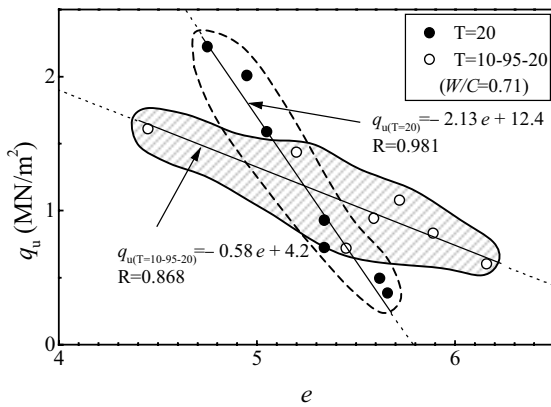


図-10 温度履歴の違いが一軸圧縮強さと間隙比の関数に及ぼす影響

材令7日の一軸圧縮強さから材令28日のそれを推定可能なことが明らかとなった。さらに T=10-95-20 の履歴を与えた供試体の試験結果は、初期養生温度の Tic=90~40℃を与えた供試体の試験結果と近いことが明らかとなった。

なお、既往の研究では、母材として砂を用いた気泡混合軽量土の $q_u(28)$ と $q_u(7)$ の関係は $q_u(28) = 2.19q_u(7)^{11)}$ 、や $q_u(28) = 2.33q_u(7)^{10)}$ 、と報告されている。本研究から得られた結果は、 $q_u(28) = 1.94q_u(7)$ と既往の研究と比較して小さい値となるものの、高温の温度履歴を受けた場合でも $q_u(7)$ から $q_u(28)$ を予測できることが示された。

4.6 一軸圧縮強さと (q_u) と間隙比 (e) の関係

一般的な土では、一軸圧縮強さ (q_u) と間隙比 (e) の関係は、 e 値の減少に伴い q_u 値が増加する傾向にある¹³⁾。図-10は、温度履歴の違いが一軸圧縮強さと (q_u) と間隙比 (e) の関数に及ぼす影響を示している。この図から、T=20で養生した場合の供試体の e 値が $e=5.7$ から $e=4.8$ へと減少するに伴い、 q_u 値には、 $q_u=0.4 \text{ MN/m}^2$ から $q_u=2.2 \text{ MN/m}^2$ へと直線的に増加する傾向が認められる。同様に T=10-95-20 の履歴を与えた供試体の場合においても、 e 値は、 $e=6.1$ から $e=4.5$ へと減少するに伴い、 q_u 値は、 $q_u=0.6 \text{ MN/m}^2$ から $q_u=1.6 \text{ MN/m}^2$ へと直線的に増加している。しかしながら、T=20 の供試体と比較して、 e 値の減少に伴う q_u 値の増加傾向は、緩やかとなることが明らかとなった。

4.7 本研究から得られた一軸圧縮特性と異なる初期養生温度から得られる試験結果との比較

図-11では、本研究から得られた一軸圧縮強さ (q_u) と養生日数 (T_c) の関係と異なる初期養生温度から得られた試験結果⁸⁾ との比較を試みている。

図より、温度履歴の違いによらず q_u と T_c の関係は双曲線で近似できる関係が認められる。また、本研究から

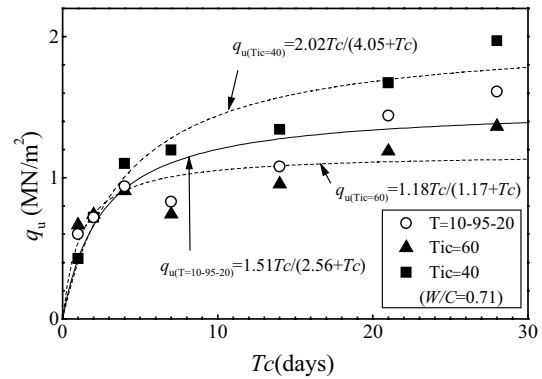


図-11 本研究から得られた一軸圧縮特性と異なる初期養生温度から得られた試験結果との比較

得られた高温履歴によって、 q_u と T_c の関係は、T=10-95-20 の場合では、 $q_u(T=10-95-20) = 1.51Tc / (2.56 + Tc)$ の関係が得られた。一方、初期養生温度の影響に関する研究から得られた近似式は、Tic=40 の場合には、 $q_u(Tic=40) = 2.02Tc / (4.05 + Tc)$ となり、Tic=60 の場合は、 $q_u(Tic=60) = 1.18Tc / (1.17 + Tc)$ を示した。このように T=10-95-20 の場合の q_u 値と T_c の関係は Tic=60 と Tic=40 の中間的な値を示すことが明らかとなった。このような関係から、気泡混合軽量土の高温の温度履歴の影響に伴う一軸圧縮強さの低下は、初期養生温度の影響を考慮することにより、ある程度その強度減少量が予測できる可能性があるものと推察される。このような傾向は、その他の試験結果でも認められている。

今後は、種々の温度履歴と初期養生温度との関係を見出すことによって、種々の温度履歴が気泡混合軽量土の一軸圧縮強さに及ぼす影響を簡便に評価することができるものが考えられる。これにより、より安全で経済的な気泡混合軽量土の地盤の施工が可能となろう。

5. まとめ

本研究では、気泡混合軽量土地盤打設に伴う温度変化を対象としたモデル試験結果を基に、その温度履歴と同様の温度履歴を供試体に作用させることによって、打設に伴う温度変化が気泡混合軽量土の一軸圧縮特性に及ぼす影響を定量的に明らかにすることを試みた。その結果、気泡混合軽量土打設に伴う温度上昇がその強度変形特性に及ぼす影響は大きく、その一軸圧縮強さは通常の室内試験条件 (T=20℃:一定) から得られた試験結果の70%程度の強度しか示さないことが明らかとなった。このことは、気泡混合軽量土地盤を建設する際、その設計強度の再評価の必要性和打設時の温度管理の重要性を示唆している。

今後は、内部温度の上昇が気泡混合軽量土の内部構造に影響し、それによって、気泡混合軽量土の一軸圧縮特性に大きな影響を与えている可能性があると考えられ、

気泡の大きさの違いなどについても定量的に検討する必要がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、日本道路公団東北支社仙台技術事務所より気泡混合軽量土地盤の打設に伴う温度変化の原位置計測データを提供していただいた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 三嶋信雄, 長尾和之: 気泡セメント盛土工法 (FCB 工法) の研究, 土木学会誌, Vol.79, No.1, pp.18-21, 1994.
- 2) 岩松幸雄: 急増する建設副産物の処理の現状と今後の展望, 土と基礎, Vol.77, No.6, pp.39-41, 1992.
- 3) 久楽勝行: 軽量盛土工法の特徴とその適用, 基礎工, Vol.18, No.12, pp.2-9, 1990.
- 4) 日本道路公団: 気泡混合軽量土を用いた軽量盛土工法の設計・施工指針, pp.1-58, 1996.
- 5) 新井恵一, 渡辺将之, 山科敏章, 石田誠幸: FCB を用いた橋台部の背面土圧の軽減について, 軽量地盤材料の開発と適用に関するシンポジウム発表論文集, pp.199-202, 2000.
- 6) 大久保元正, 菊池信夫, 小浪岳治: 気泡混合土と一体化する壁面材の安定性について, 軽量地盤材料の開発と適用に関するシンポジウム発表論文集, pp.203-206, 2000.
- 7) 例えば, 近藤奉夫, 坂静雄: コンクリート工学ハンドブック, pp.798-799, 1965.
- 8) 亀井健史, 前川晴義, 堀切保則: 気泡混合軽量土の一軸圧縮特性に及ぼす初期養生温度の影響, 地盤と建設, Vol.20, No.1, pp.35-42, 2002.
- 9) 日本道路公団東北支社仙台技術事務所: 橋台背面土圧軽減に関する追跡調査報告書, 144p., 1999.
- 10) 亀井健史, 前川晴義, 堀切保則: 気泡混合軽量土の一軸圧縮特性に及ぼす水セメント比と養生日数の影響, 土木構造・材料論文集, Vol.18, pp.169-176, 2002.
- 11) 横田聖哉, 三嶋信雄: 気泡混合軽量土を用いた人工地盤, 土と基礎, Vol.44, No.5, pp.5-8, 1996.
- 12) 例えば, 三嶋信雄, 益村公人: FCB 工法, 理工図書, pp. 23-65, 2000.
- 13) 古谷俊明: 軽量盛土材としての気泡モルタル, 土と基礎, Vol.37, No.2, pp.73-77, 1989.