

定体積条件下で初期高温養生を受けた気泡混合軽量土の一軸圧縮強さ

Unconfined Compressive Strength of Foamed Mixture Lightweight Soil
Subjected to Initial High Temperature Curing under Constant Volume Condition亀井健史 Takeshi KAMEI (島根大学総合理工学部)
高嶋純一 Jun-Ichi TAKASHIMA (島根大学大学院総合理工学研究科)

本研究では、高温条件下の体積膨張が発生しないように工夫した供試体に対して、打設後 24 時間は 20~90℃の異なる 5 種類の温度条件を与え、その後 20℃で 28 日間養生した後、一軸圧縮試験を実施した。その結果、一軸圧縮強さは、養生温度の上昇に伴い、ほぼ直線的に減少し、80℃以上の高温を受けた場合の一軸圧縮強さは、20℃で養生した場合の 2 割程度にまで減少することが明らかになった。このような強度減少の割合は、原位置から得られた供試体に対する実験結果とよく一致している。また、このような高温履歴に伴う強度減少の主要因として、その内部構造の変化(気泡の大きさと形状)の影響が大きいことを双眼実体顕微鏡の観察結果に基づいて指摘している。

キーワード：一軸圧縮強さ、温度効果、クローズドシステム、軽量土、固化材
(IGC : D06, M05)

1. はじめに

気泡混合軽量土(Foamed Mixture Lightweight Soil)は、セメント・地盤材料(砂や粘土、粘性土など)・水および起泡剤からなり、それらの配合を適宜調整することによって、使用目的に応じた流動性や単位体積重量、強度を選択できるという特徴がある。さらに、硬化後は自立するため、用地幅に制限がある場合などには、鉛直盛土の施工も可能となる。このような気泡混合軽量土を用いた工法は FCB 工法(Foamed Cement Banking Method)と呼ばれ、その適用事例としては図-1 に示すものがある。一方、近年、その発生量が年々増加し、有効利用が急務となっている石炭灰¹⁾や再利用分野の不足が懸念されている PET ボトル²⁾を気泡混合軽量土に有効利用した研究がなされており、両者とも地盤工学的に優れた地盤材料となりうる可能性が報告されている。このような FCB 工法の地盤工学的特徴は循環型社会の構築において極めて有意であり、その施工例は近年確実に増加している^{3)~5)}。

気泡混合軽量土は良い点ばかりが目されているが、不明な点も多い。例えば、密度管理やひび割れ、経年変化の問題など^{6)~10)}、今後発生する可能性がある問題についての評価はまだ確立されていない。また施工時において、打設用の型枠から気泡混合軽量土が漏出することや盛土面でのクラックの発生、表層剥離などの問題点が指摘されている¹⁰⁾。さらに、一度に大量の気泡混合軽量土を打設する場合には、水和反応に伴う発熱作用と気泡による断熱効果により、打設直後から 24 時間程度で、気泡混合軽量土内部において急激に温度が上昇し、60~90℃程度に達することが報告されている^{3), 7), 11)}。このような高温の熱の発生が、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徐々に明らかとなってきた⁷⁾。

気泡混合軽量土の一軸圧縮特性に及ぼす養生温度の影響に関する研究としては、80℃以上の高温履歴を受けた供試体の一軸圧縮強さは、通常の養生温度一定条件(20℃)から得られる一軸圧縮強さの 20%程度しか得られず、養生期間の増加に伴う強度増加があまり期待できなくなることが指摘されている¹²⁾。また、気泡混合軽量土に石炭灰を混入させた研究においても、石炭灰混入率 20%において、強度減少に対する最も大きな抑制効果が現れたが、石炭灰の混入の有無に関わらず、初期養生温度 80℃以上を受けた供試体の一軸圧縮強さは 20℃の場合の 20%程度しか得られないことが報告されている¹³⁾。これらの報告例から、室内試験結果を設計強度と用いると過大評価となる可能性があるといえる。

しかしながら、いずれの室内試験においても、供試体は温度上昇によるその体積膨張を許した条件(オープンシステム)で養生されている。例えば、オープンシステムの条件下において供試体の乾燥密度(ρ_d)は、養生温度一定条件(20℃)の場合には 0.56g/cm³程度であるが、初期高温養生を受けた場合には 0.44g/cm³程度まで減少するという報告例がある¹²⁾。これは初期養生温度の上昇に伴い、供試体内の気泡が膨張し、それにより供試体の体積が増加することによって、 ρ_d 値が減少しているものと考えられる。さらに、実際の打設現場での状況を考えると、打設された地盤の上には翌日新たな地盤が打設されることから、先に打設した地盤の体積変化が生じることはほとんどないものと考えられる。したがって、現場により近い状況、すなわち、温度上昇に伴う供試体の体積膨張を抑制した条件(クローズドシステム)を再現する必要性が

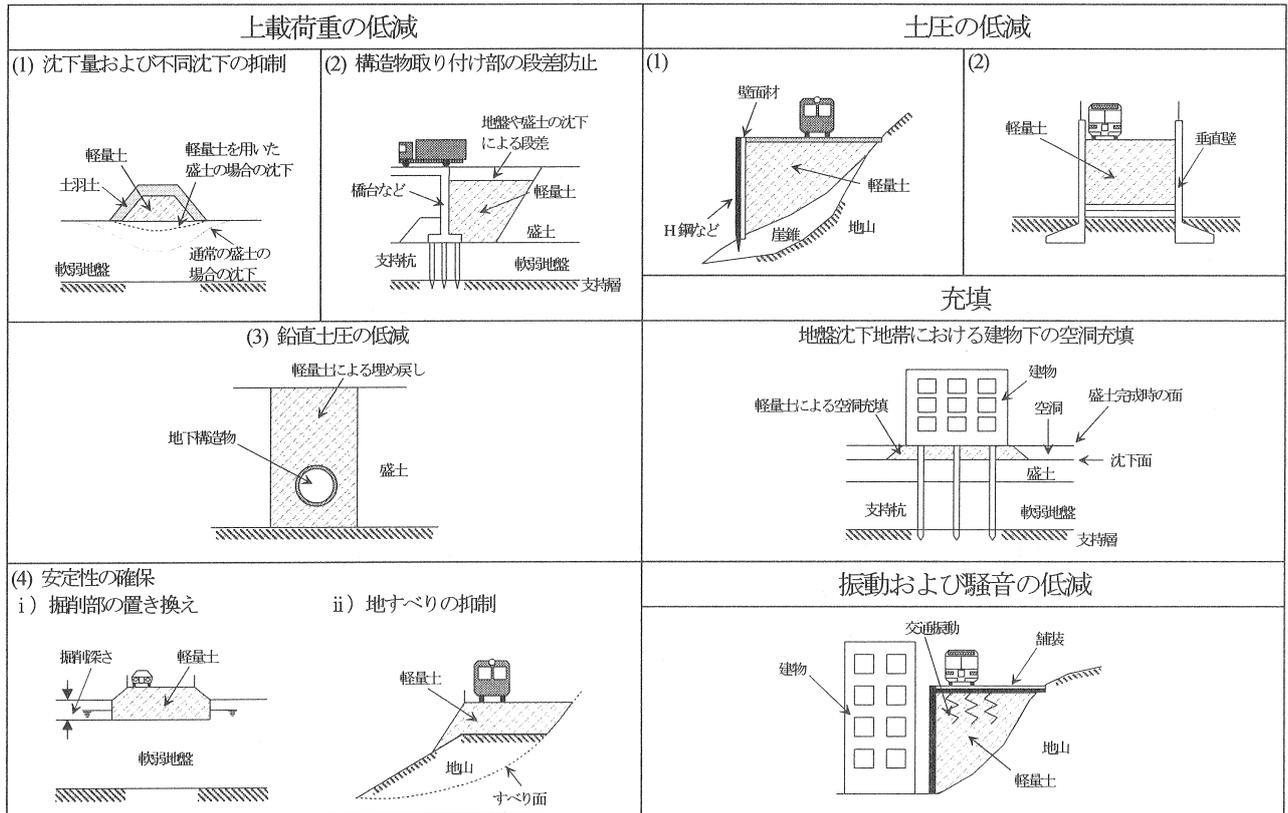


図-1 軽量土の適用事例^{4), 5)}

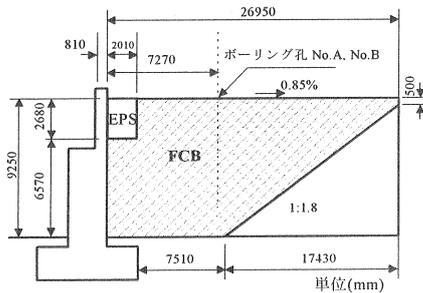


図-2 FCB 打設現場の断面とボーリング孔の位置¹¹⁾

ある。

以上の点に着目して本研究では、現場で計測された高温の熱(90~100℃)が気泡混合軽量土の一軸圧縮強さにどの程度の影響を及ぼすのかを明らかにするため、20~90℃の異なる5種類の初期養生温度を打設後24時間与え、その後20℃の温度条件下で養生し、養生日数28日経過した供試体に対して一軸圧縮試験を実施した。なお、温度上昇に伴う供試体の体積膨張を抑制したクローズドシステム条件で行った。また、初期養生温度の違いが供試体の内部構造(気泡の大きさや形状)に及ぼす影響などを観察し、内部構造と一軸圧縮強さの関係についても検討している。

2. FCB 打設現場におけるボーリング調査例

前川ほか¹¹⁾は、実際のFCB打設現場における気泡混合軽量土の諸性質を調べるために、FCB打設地盤内部の

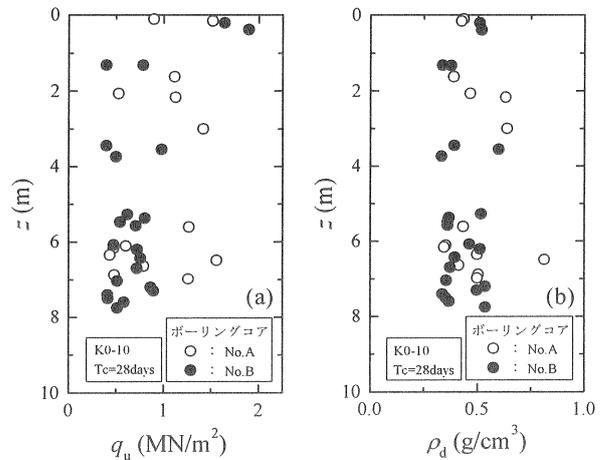


図-3 ボーリングコア試料の一軸圧縮強さおよび乾燥密度の深度分布¹¹⁾

温度計測を実施するとともに、2箇所までボーリング調査を行い(図-2)、得られたボーリングコア試料(養生日数28日以上経過)に対して一軸圧縮試験を行った。その結果、彼らはボーリングコアの一軸圧縮強さ(q_u)は深度(z)に対するバラツキが大きい、 z が深くなるのに伴い、その q_u 値が減少する傾向があることを指摘している(図-3(a))。一方、乾燥密度(ρ_d)は0.32~0.52g/cm³の間に分布しており、バラツキはそれほど大きくないことも報告している(図-3(b))。一般に、土の q_u 値と ρ_d 値は、密接な関係にあることが良く知られている。そこで、図-3(a), (b)から、一軸圧縮強さと乾燥密度の関係を図-4に示す。図より、同程度の ρ_d 値のボーリングコアでも、 q_u 値が4倍程度も異なっていることがわかる。さらに、図-4の試料

1, 試料 2 の内部構造に着目すると(写真-1), 試料 1 は室内で作製された供試体に認められるような細かな気泡が均一に分布しているが, 試料 2 では大きな気泡が存在していることがわかる. このような気泡の大きさの違いは, 先述したように, 内部温度の上昇に起因しているものと考えられる. その結果, 気泡混合軽量土の内部構造を支配しているものと考えられる. したがって, 気泡混合軽量土内の気泡の大きさや形状の違いが強度・変形特性に及ぼす影響についても検討する必要がある.

3. 供試体作製方法および試験方法

3.1 供試体作製方法

本研究では, 日本道路公団暫定配合表³⁾に基づき, 2 種類の配合条件(K0-3, K0-10)のエアミルクを作製した. その作製方法は, まず, 固化材と混練水を混合してセメントスラリーを作る. つぎに起泡剤と希釈水を混ぜ, 気泡を作製する. 最終的に, セメントスラリーと発泡させた気泡をミキサーで混合することにより気泡混合軽量土

が得られる. 試料は, 空気量, フロー値, 作製時の湿潤密度の項目について品質管理試験を行い, 各項目の試験値が目標の範囲内であることを確認した. なお, 本研究で用いた配合条件と品質管理試験の基準を表-1 に示す. 試料とモールドの付着, および水分の流出を防ぐため, モールド($\phi=50\text{mm}$, $H=100\text{mm}$)および OHP シートにシリコングリスを薄く塗布し, その OHP シートをモールド内側に貼り付け, 作製した試料をそのモールドに打設した. 写真-2(a)は既往の研究において採用されていたオープンシステム条件下で, 90°C の初期養生温度(T_{ic})を与えた場合の供試体を示している. 実際の打設現場では, 試料が写真のように膨張することはないと考えられる. したがって, 本研究では, 温度上昇による供試体の体積膨張を抑制するために, モールドに蓋をした(写真-2(b)). つぎに, 全体をビニール袋で覆い, 図-5 の養生条件に従って, 乾燥炉内で $20\sim 90^\circ\text{C}$ の T_{ic} を与えた. なお, モールドに蓋をすることによって, 試料がモールドから溢れ出ることがなく, 供試体の体積を一定に保つことができた. 打設後 24 時間($T_c=1\text{day}$)を経過した時点でモールドから供試体を取り出し, 両端面を成形した後に供試体をプラスチック製の円筒型容器に入れた. その後, 恒温室($20\pm 2^\circ\text{C}$)で養生し, 28 日間($T_c=28\text{days}$)気中養生した供試体を実験に用いた.

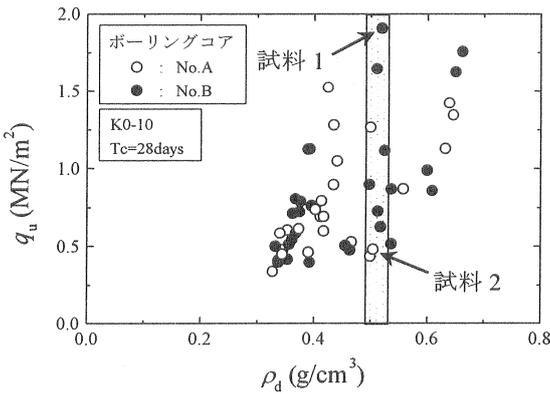
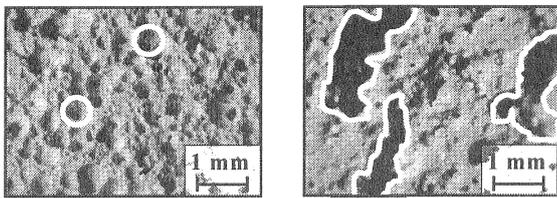


図-4 ポーリングコア試料の一軸圧縮強さと乾燥密度の関係

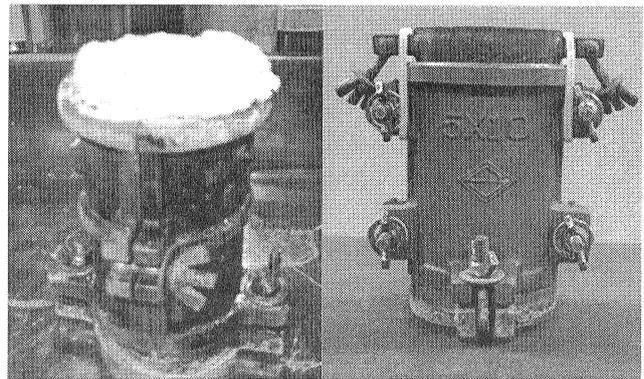


(a) 試料 1 の内部構造 (b) 試料 2 の内部構造

写真-1 ポーリングコア試料の内部構造

3.2 試験方法

本研究では, 初期高温養生が気泡混合軽量土の強度・変形特性に及ぼす影響を評価するために, 一軸圧縮試験を行った. 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 $1\%/\text{min}$ とした. また, 強度・変



(a) オープンシステム (b) クローズドシステム

写真-2 養生中の気泡混合軽量土

表-1 試料の配合条件と品質管理基準

JH 配合 種別	配合条件						品質管理基準		
	水セメント比 (W/C)	セメント C (kg/m^3)	起泡剤 m_1 (kg/m^3)	希釈水 m_2 (kg/m^3)	混練水 m_3 (kg/m^3)	水量 W* (kg/m^3)	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)	フロー値 Flow (mm)	空気量 Va (%)
K0-3	0.92	268	1.15	26.45	219	247	0.52 ± 0.1	180±20	66.5 ± 5
K0-10	0.82	353	1.03	23.69	264	289	0.64 ± 0.1		59.5 ± 5

(* $W = m_1 + m_2 + m_3$)

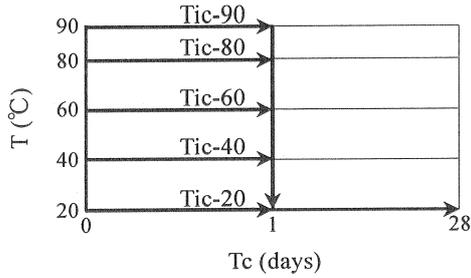


図-5 養生条件

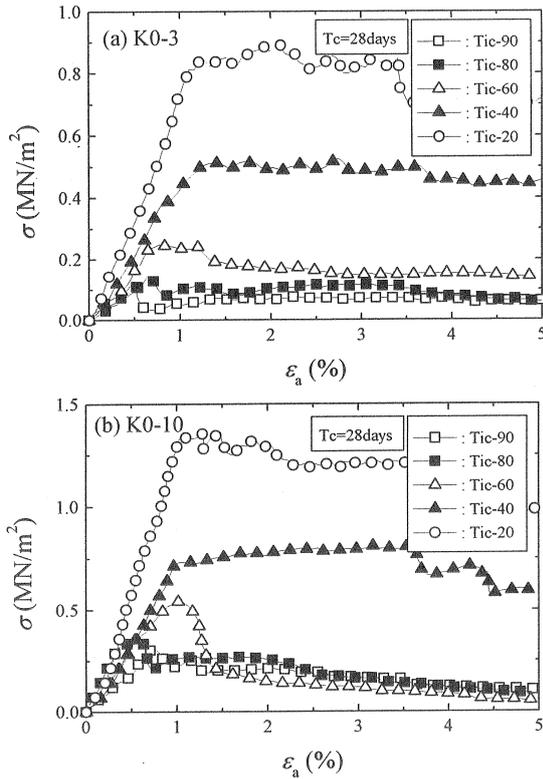


図-6 代表的な応力-ひずみ曲線

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。試験後には、供試体上部、中部および下部の含水比を測定し、結果の整理には、その平均値を用いた。なお、各配合条件と養生条件において、それぞれ4供試体に対して一軸圧縮試験を実施し、得られた値の中から代表的2供試体から得られた実験値を選択した。

4. 実験結果および考察

4.1 応力-ひずみ曲線

図-6は、一軸圧縮試験から得られた代表的な応力-ひずみ曲線を示している。配合条件 K0-3 の場合の応力-ひずみ曲線(図-6(a))は、軸ひずみ(ϵ_a)の増加に伴い、顕著な立ち上がりを示し、0.5~1.5%程度においてピークに達する。応力のピーク値が認められた後、応力値は荷重の継続に伴い、徐々に減少していく傾向が認められた。一軸圧縮強さ(q_u)は、初期養生温度(Tic)の上昇に伴い、

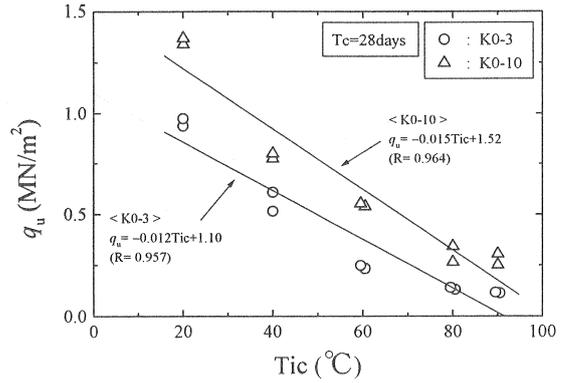


図-7 一軸圧縮強さと初期養生温度の関係

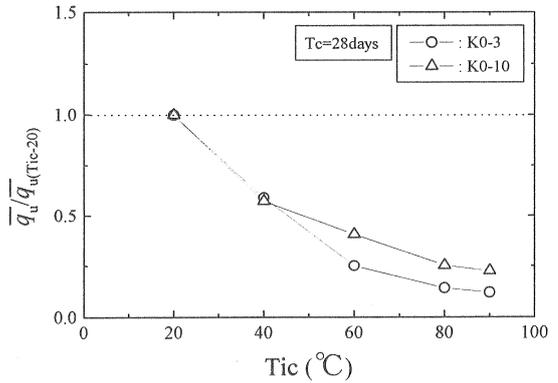


図-8 $\overline{q_u}/\overline{q_u(Tic=20)}$ と初期養生温度の関係

減少する傾向にあり、Tic-20では0.94 MN/m²であったが、Tic-90では0.11 MN/m²まで減少している。また、変形係数(E_{50})も、Ticの上昇に伴い、減少する($E_{50}=26\sim76$ MN/m²)傾向を示している。破壊ひずみ(ϵ_f)とTicの間には、明瞭な関係は認められなかった。

配合条件K0-10の場合の応力-ひずみ曲線(図-6(b))も、応力値は異なるものの、K0-3の場合と同様な変化傾向を示している。K0-3と同様に、 q_u 値、 E_{50} 値ともに、Ticの上昇に伴い、減少する傾向にあるが、 ϵ_f 値とTicの間には明瞭な関係は認められなかった。K0-3と比較すると、K0-10は q_u 値や E_{50} 値の値は大きくなっており、例えばK0-10の q_u 値はTic-20の場合、1.37 MN/m²で、Tic-90では0.31 MN/m²となっている。

4.2 一軸圧縮強さ

図-7は、一軸圧縮強さ(q_u)と初期養生温度(Tic)の関係を示している。図より、K0-3、K0-10ともに、Ticの上昇に伴い、 q_u 値は減少していき、Tic-80以上では q_u 値はほぼ一定値を示している。また、 q_u 値とTicの間にはほぼ直線関係が認められた。つぎに、Ticの変化に伴う q_u 値の変化を定量的に評価するために、各Ticの q_u 値の平均値($\overline{q_u}$)をTic-20の q_u 値の平均値($\overline{q_u(Tic=20)}$)を用いて正規化した値とTicの関係を図-8に示す。図より、配合条件の違いによらず、Ticの上昇に伴い、 q_u 値は減少する傾向にある。K0-3、K0-10ともに、Tic-40の場合には、その q_u 値はTic-20の q_u 値の5割程度であるが、さらにTicが

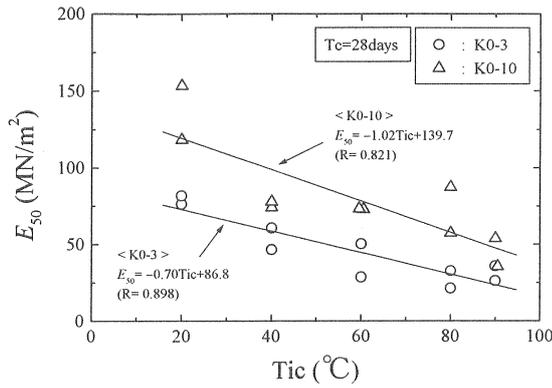


図-9 変形係数と初期養生温度の関係

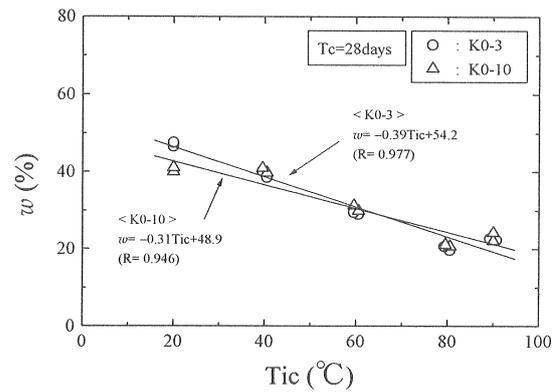


図-11 含水比と初期養生温度の関係

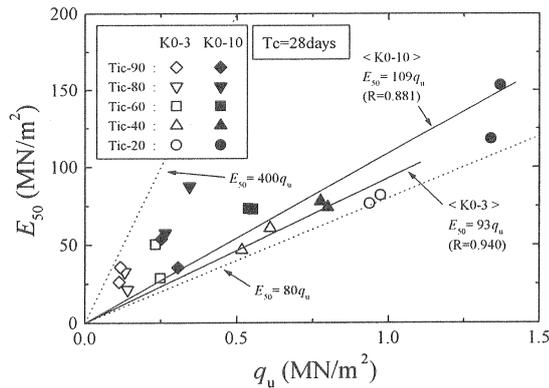


図-10 変形係数と一軸圧縮強さの関係

上昇した Tic-80 以上の場合には、Tic-20 の q_u 値の 2 割程度となっている。したがって、Tic-20 と比較して、Tic-80 以上の供試体から得られた強度減少の割合は、先述したような原位置から得られたポーリングコア試料における強度減少の割合とほぼ同程度であることが明らかとなった。以上のことから、気泡混合軽量土を打設する場合には、打設に伴う地盤内部の高温状態がその強度をかなり減少させることから、打設時には温度管理を慎重に行う必要があることが重要であるといえる。

既往の研究においても Tic が及ぼす気泡混合軽量土の一軸圧縮強さの影響が検討されている。例えば、オープンシステムの条件下において種々の Tic (10~90°C) を与えた供試体から得られた q_u 値と Tic の関係は、80°C 以上の高温履歴を受けた場合には 20°C で養生させた場合の 2 割程度の q_u 値であるという報告例がある¹²⁾。クローズドシステムを採用した本研究においても、オープンシステムの場合と同様 Tic の上昇に伴い、 q_u 値は減少しており、また、Tic-80 以上の q_u 値は Tic-20 の 2 割程度であることから、温度上昇に伴う供試体の体積膨張がその強度減少に及ぼす影響は小さいものと推察される。

4.3 変形係数

図-9 は、変形係数 (E_{50}) と初期養生温度 (Tic) の関係を示している。一軸圧縮強さ (q_u) と Tic の関係と同様に、K0-3、K0-10 とともに、Tic が上昇するにつれ、 E_{50} 値が直線的に減少している。また、K0-3 と比較すると、

K0-10 の E_{50} 値は大きな値を示している。

つぎに、 E_{50} 値と q_u 値の關係に着目する。一般的に、気泡混合軽量土の場合には、 E_{50} 値と q_u 値の間に、高い相関関係があることが報告されている。例えば、横田、三嶋¹⁴⁾ は、砂を母材とする気泡混合軽量土の E_{50}/q_u 値は、100~200 の範囲内となることを報告している。また、オープンシステム条件下において種々の Tic (10~90°C) を与えた供試体から得られた E_{50}/q_u 値は、100~500 の範囲内となることも報告されている¹²⁾。

本研究から得られた E_{50} 値と q_u 値の關係を図-10 に示す。図より、Tic 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た。また、高い Tic を与えた供試体の E_{50}/q_u 値は大きな値となり、低い Tic を与えた場合には小さな値となる傾向が認められた。 E_{50}/q_u 値は、80~400 の範囲にあり、配合条件の違いによらず、 E_{50} 値と q_u 値は良い相関を示している。以上の結果から、気泡混合軽量土が初期高温養生を受けた場合、 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ことが明らかになった。

4.4 含水比

含水比 (w) と初期養生温度 (Tic) の關係を図-11 に示す。K0-3、K0-10 とともに、 w 値は Tic の上昇に伴い、直線的に減少している。また、K0-3 と K0-10 は、同じ Tic においてほぼ同程度の w 値を示している。図-12 に、一軸圧縮強さ (q_u) と w 値の關係に及ぼす影響を示す。図より、 w 値の減少に伴い、 q_u 値も直線的に減少している。また、K0-3、K0-10 とともに、Tic が上昇するのに伴い、 q_u 値、 w 値はともに減少した。しかしながら、同一の試料における q_u 値と w 値の關係を示した既往の研究では、 w 値が減少するのに伴い、 q_u 値は増加する傾向にあることが報告されている¹⁵⁾。このことから、本研究から得られた w 値の減少に伴う q_u 値の減少は、養生初期の急激な温度上昇により水分が蒸発し、水和反応が進行せず、 q_u 値が低くなったものと考えられる。

4.5 一軸圧縮強さと乾燥密度の關係

オープンシステム条件下で気泡混合軽量土の供試体を

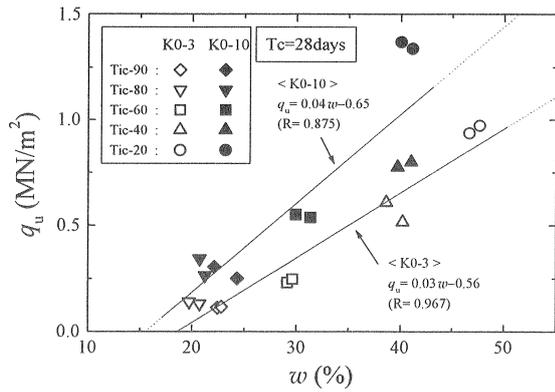


図-12 一軸圧縮強さと含水比の関係

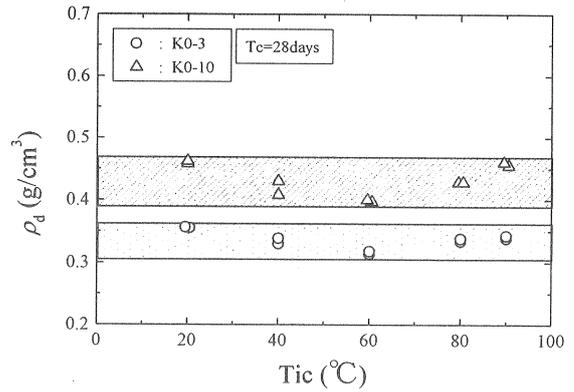


図-13 乾燥密度と初期養生温度の関係

高温養生した場合、初期養生温度(Tic)の上昇に伴い、乾燥密度(ρ_d)は減少し、Tic-80、Tic-90の ρ_d 値は、Tic-20と比較して、最大2割程度減少していることが報告されている¹²⁾。これは、写真-2(a)で示したように、高温養生することにより体積が膨張し、試料がモールドから溢れ出したことが主要因であると考えられる。一方、本研究の場合には、モールドに蓋をして養生させる(写真-2(b))ことにより、供試体の体積を一定に保ち、クローズドシステム条件を満足させている。したがって、供試体の ρ_d 値はTicの上昇によらずほぼ一定値に保たれているものと推察できる。そこで、クローズドシステム条件が ρ_d 値とTicの関係に及ぼす影響を確認する(図-13)。図より、K0-3、K0-10ともに、 ρ_d 値はTic-60において僅かに小さな値を示しているが、高温養生させたTic-80、Tic-90の場合は、Tic-20の ρ_d 値とほぼ同程度であることがわかる。これらの結果から、オープンシステム条件の場合とは異なり、クローズドシステム条件下では、Ticの上昇によらず ρ_d 値はほぼ一定値となることが明らかとなった。なお、Ticの違いによらず、設計強度の大きな配合であるK0-10の ρ_d 値は、K0-3の ρ_d 値と比較して大きな値を示すことがわかる。

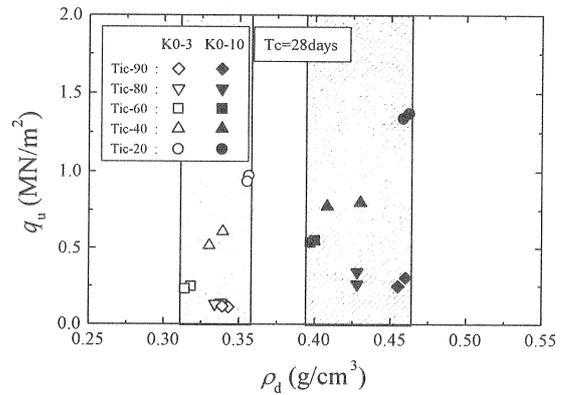


図-14 一軸圧縮強さと乾燥密度の関係

計強度 0.3 MN/m²ではTic-80、Tic-90の場合に設計強度を満足していないことがわかる。また、K0-10(設計強度 1.0 MN/m²)では、Tic-20以外の全てのTicで養生した場合において設計強度を満たしていない。これらの結果は、高温履歴を受けた気泡混合軽量土の q_u 値が設計強度にまで達していない危険性があることを示唆している。

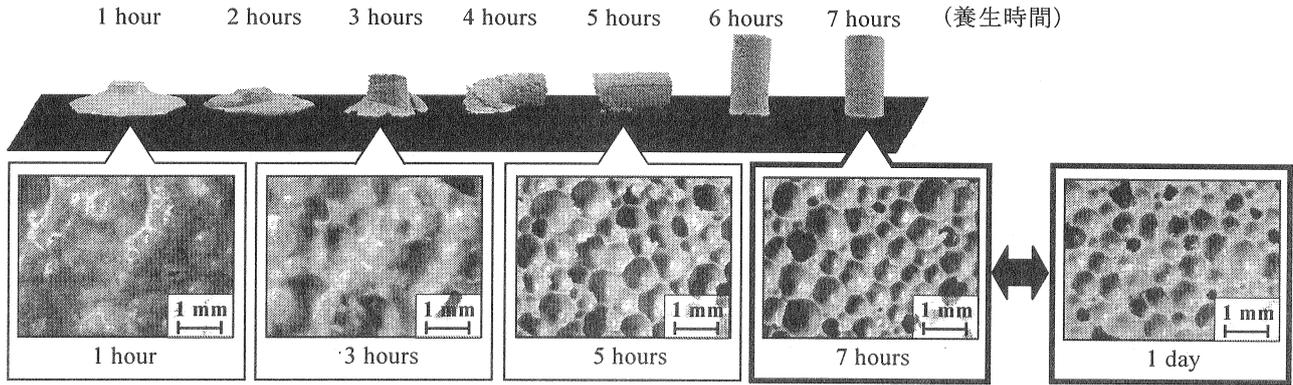
4.6 初期養生温度と供試体の内部構造の関係

つぎに、一軸圧縮強さ(q_u)と ρ_d 値の関係について検討する。一般的に、気泡混合軽量土には、 ρ_d 値の増大に伴って q_u 値も増加する傾向が認められている^{2), 15)}。また、オープンシステム条件下で気泡混合軽量土の供試体を高温養生した場合¹²⁾、Ticの上昇に伴って ρ_d 値が減少するとともに、 q_u 値も減少するという結果が得られている。これらの報告例から、気泡混合軽量土の q_u 値はその ρ_d 値を用いることにより推定可能であると考えられる。一方、クローズドシステム条件下で気泡混合軽量土供試体を高温養生した場合の q_u 値と ρ_d 値の関係に着目する(図-14)。図より、K0-3、K0-10ともに、 ρ_d 値が同程度であるにも関わらず、 q_u 値には大きなバラツキが認められる。したがって、クローズドシステム条件下にあると考えられる施工現場において、水和熱による高温履歴を受けた気泡混合軽量土の q_u 値は、その ρ_d 値から推定できないものと考えられる。また、高温履歴を受けた気泡混合軽量土の q_u 値とその設計強度の関係に着目すると、K0-3(設

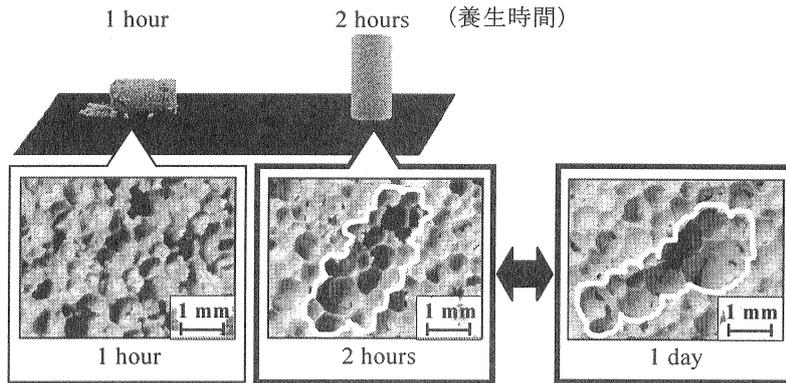
上述したように、初期養生温度(Tic)の上昇によらず乾燥密度(ρ_d)はほぼ一定値となるが、Ticの上昇に伴い、一軸圧縮強さ(q_u)は減少することが明らかとなった。すなわち、その主要因としては、供試体に与えた高温履歴が供試体内部の構造に変化を及ぼすことが考えられる。一方、前述したように、施工現場から得られたFCBボーリングコア試料においても、 ρ_d 値が同程度であるにも関わらず、 q_u 値には大きな差が認められる試料が存在した(図-4)。それらの試料の間には内部構造の違いが認められた(写真-1)。そこで、強度のバラツキの原因をより詳細に検討するために、気泡混合軽量土内の気泡の大きさや形状の違いなどについても考察を行う。そのために、双眼実体顕微鏡を用いて供試体の内部構造を観察した。まず、気泡混合軽量土打設後から、供試体自立するまでの内部構造の変化を示す(写真-3)。なお、写真-3(a)はTic-20、(b)はTic-90の場合である。

気泡混合軽量土の標準養生条件であるTic-20の場合に

定体積条件下で初期高温養生を受けた気泡混合軽量土の一軸圧縮強さ



(a) Tic-20 の場合



(b) Tic-90 の場合

写真-3 養生時間経過に伴う気泡混合軽量土の内部構造の変化(K0-10)

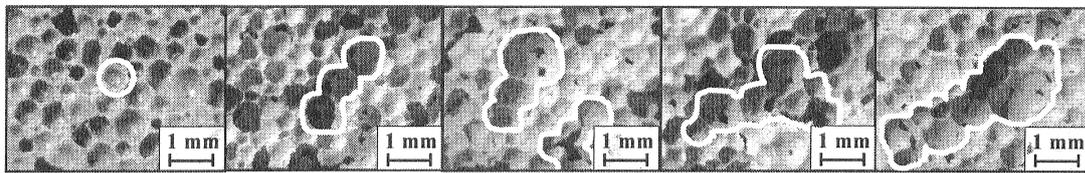


写真-4 養生 1 日における気泡混合軽量土の内部構造に及ぼす初期養生温度の影響(K0-10)

は、打設後 3 時間程度までは供試体内には構造が認められず、3 時間以降にはマトリクス部分(気泡の周囲を埋めるように存在している基質部分)が徐々に固化し個々の気泡を独立させている。6~7 時間後には全体の骨格が形成され、供試体は自立した。このような養生時間経過に伴うマトリクス部分の発達、セメントの水和反応の程度の違いによるものと考えられる。さらに、供試体自立時の内部構造は、打設後 1 日が経過した供試体とほぼ同じ内部構造を有していることが明らかとなった。

一方、Tic-90 の場合には打設後 2 時間後に供試体は、自立している。Tic-20 の場合と比べ、Tic-90 の場合の供試体が早期に自立した理由として、養生初期における高温履歴が、水和反応が急激に進展させたためと考えられる。ここで、Tic-90 の場合の自立時の内部構造に着目すると、気泡同士が連結している箇所が認められる。また、このような気泡の連結は、Tic-20 の場合と同様、打設後 1 日経過後にも認められた。このような気泡の連結の主

要因としては、後述するように、Tic の上昇に伴う気泡径の増大が考えられる。なお、Tic-40~Tic-80 の場合においても、供試体は 2~7 時間の間に自立し、自立時と打設後 1 日経過後の内部構造にはほとんど変化が認められなかった。したがって、Tic の違いによらず、気泡混合軽量土は供試体の自立後、その内部構造はほとんど変化しないものと考えられる。すなわち、供試体に与えた温度履歴により自立するまでの経過時間はそれぞれ異なるが、供試体の内部構造の評価は、自立時の供試体内部の気泡の大きさや形状を観察することによって評価できるものと推察される。

つぎに、Tic の上昇が気泡混合軽量土の内部構造に及ぼす影響をより明らかにするために、養生 1 日における代表的な供試体の内部構造について比較することとする(写真-4)。Tic-20 の供試体内の気泡の代表的な大きさは 0.5mm 程度であり、それぞれの気泡は独立している。また、供試体のマトリクス部分も発達している。一方、

Tic-40 の場合の気泡の代表的な大きさは 0.7mm 程度であり、Tic-20 の気泡よりも大きくなっていることがわかる。さらに、Tic-90 の場合は 0.9mm 程度にまで増大しており、大きいものでは 1.4mm 程度の気泡も存在している。したがって、Tic の上昇に伴い、供試体内部の気泡の直径は大きくなる傾向が認められた。このような供試体内の気泡径の増大は、初期高温養生により与えられた熱によって、気泡が膨張したためであると考えられる。また、写真より、高い Tic の場合、気泡同士が連結して、さらに、気泡の連結の程度は Tic が上昇するにつれ大きくなっていることがわかる。この原因としては、高温に伴うマトリクス部分の粘性度の上昇により、供試体内の気泡径が増大することによって、気泡間のマトリクス部分が薄くなり、気泡同士が連結しやすくなることが考えられる。以上のことから、打設直後の高温状態は気泡混合軽量土の内部構造を変化させ、さらに、その内部構造の変化は強度の発現に悪影響を及ぼしている可能性があることを示唆した。すなわち、気泡混合軽量土地盤施工に際しては、その構造がほぼできあがる打設後 1 日程度の期間、温度上昇に関する温度管理を行い、その情報を施工に反映することが極めて重要な問題となる。

5. まとめ

本研究では、クローズドシステムの下で、初期高温養生が気泡混合軽量土の一軸圧縮強さに及ぼす影響を検討した。以下に、本研究から得られた主要な結論を列記する。

- (1) 初期養生温度の上昇に伴い、気泡混合軽量土の一軸圧縮強さは、ほぼ直線的に減少し、80℃以上の高温を受けた場合には、20℃で養生した場合の一軸圧縮強さの 2 割程度にまで減少することが明らかとなった。このような強度減少の割合は、原位置で得られた実験結果と一致している。また、この強度減少率は体積変化を許している場合とほぼ一致している。
- (2) 初期高温養生に伴う強度減少の主要因として、温度上昇に伴う内部構造の変化(気泡の大きさと形状)が重要であることを双眼実体顕微鏡の観察結果に基づいて指摘した。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、日本道路公団北陸支社金沢事務所よりポーリングコア試料を提供していただいた。また、本研究の一部は、独立行政法人日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(C)No.17560444(代表者亀井健史)の補助を受けて行われた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 亀井健史, 松尾和俊: 気泡混合軽量土への石炭灰の有効利用, 土木学会論文集, No.764/III-67, pp.257-254, 2004.
- 2) 亀井健史, 松尾和俊: フレーク状の PET ボトルを利用した気泡混合軽量土の一軸圧縮特性, 土木学会論文集, No.764/III-67, pp.359-366, 2004.
- 3) 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.
- 4) 久楽勝行: 軽量盛土工法の特徴とその適用, 基礎工, Vol.22, No.10, pp.2-9, 1994.
- 5) 安原一哉, 土田 孝, 小橋秀俊: 軽量地盤材料の物性評価と適用, 2.地盤の軽量化技術と軽量土の物性, 土と基礎, Vol.49, No.3, pp.56-58, 2001.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 近藤泰夫, 坂静雄: コンクリート工学ハンドブック, 朝倉書店, pp.798-799, 1965.
- 9) 赤井公昭: エアーミルクの道路盛土への利用, 基礎工, Vol.18, No.12, pp.40-49, 1990.
- 10) 都築敏樹: エアーミルクの道路盛土への適用例, 基礎工, Vol.18, No.12, pp.102-108, 1990.
- 11) 前川晴義, 亀井健史, 山崎裕之, 松田哲夫, 北川勝明: 養生温度の違いが気泡混合軽量土の一軸圧縮特性に及ぼす影響, 第 48 回地盤工学シンポジウム平成 15 年度論文集, pp.53-60, 2003.
- 12) 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.
- 13) 亀井健史, 松尾和俊, 前川晴義, 志比利秀: 石炭灰を混入した気泡混合軽量土の一軸圧縮強さに及ぼす初期高温養生の影響, 土木構造・材料論文集, No.20, pp.111-118, 2004.
- 14) 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.
- 15) 亀井健史, 前川晴義, 堀切保則: 気泡作製時間の違いが気泡混合軽量土の一軸圧縮特性に及ぼす影響, 地盤と建設, Vol.20, No.1, pp.27-33, 2002.

(2005.7.29 受付)