

気泡混合軽量盛土工法の積雪寒冷地への 適応性について～事後調査報告 ～一般道道富良野上川線 東川町 野花南道路新設工事～

旭川開発建設部 旭川道路事務所 第1工事課 ○館山 孝利
和田 芳明
寒地土木研究所 寒地地盤チーム 佐藤 厚子

気泡混合軽量盛土工法（FCB 工法）とは、セメントミルクに発泡剤を混合した、軽量のエアモルタルを道路の路体とする工法であり、軽量盛土としてコスト、施工性で他の工法より優位性があるが、北海道開発局における施工実績は少ない。

とりわけ本工事箇所は旭岳の麓という道内でも有数の積雪寒冷地であることから、本報告は、冬期における凍上などが軽量盛土本体に与える影響が懸念される。そこで、施工から1年間のFCB内部における温度変化の観測・分析と、FCB本体の形状を確認したので、昨年度の施工報告に続き積雪寒冷地への適応について報告する。

キーワード：軽量盛土工法、FCB工法（気泡混合軽量盛土工法）、一軸圧縮強さ、寒冷地

1. まえがき

一般道道富良野上川線は、図-1 に示すように上川町と富良野市を結ぶ延長 87km の一般道道であり、約 38km が開発道路に指定されている。この路線が整備されることにより、旭川市から大雪山系に通じる道道が

有機的に結ばれる。また、上川・富良野地域の連絡道路が形成されるため、旭山動物園や花と丘陵地の美しい美瑛、富良野方面への広域周遊観光や農産品流通の利便性向上など、地域からの期待が寄せられている路線である。

このうち、上川郡東川町から美瑛町に至る施工延長 15.7km の 1 工区(L≒5.4km)の起点から 2.8km の区間を「一般道道富良野上川線 東川町 野花南道路新設工事」として、平成 20 年度に施工した。

この工事において、約 80m 区間を急峻地形のため、擁壁とすることとなった。擁壁工事にあたり、多数アンカー、テールアルメ、EPS、気泡混合軽量土などについて検討した結果、最も経済的であった、気泡混合軽量盛土を施工することとなった。本報告は、気泡混合軽量盛土の施工例をとりまとめたものである。

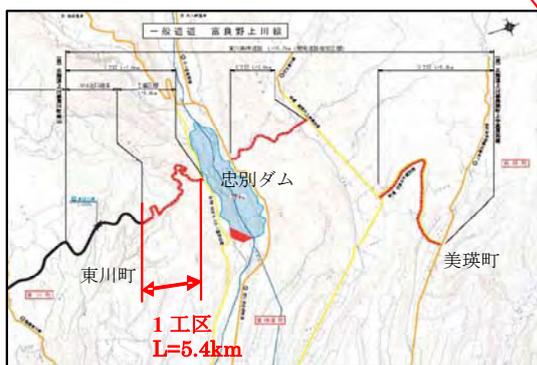
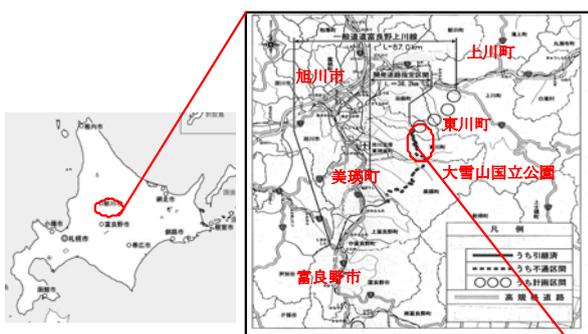


図-1 施工場所

2. 気泡混合軽量盛土¹⁾

気泡混合軽量盛土（以降 FCB と称する）は、原料土（砂質土）とセメント、水および気泡を混合、またはセメント、水および気泡を混合したものである。単位体積重量は 0.5t/m^3 程度であり、一軸圧縮強度を $300\text{kN/m}^2 \sim 5,000\text{kN/m}^2$ までの範囲で設定できる。気泡混合軽量盛土は拡幅盛土のほか、橋台背面盛土、トンネル坑口盛土、シールド中込材などに使用されている。

3. 検討内容

FCB工法は、施工実績において、NETIS登録²⁾されており、全国的に施工実績が多い。しかし、北海道のような積雪寒冷地での施工例は少ない。そこで、寒冷地で施工したFCBについて、内部温度、強度、変状など施工後の状態を確認したので、施工時に実施した室内試験結果も含めてとりまとめた³⁾。

(1) 室内試験

FCBの寒冷地での適用性を確認する目的で凍結融解を繰り返したときの供試体の変化や強度を求めた。

FCBは表-1に示す3配合を作製した。高炉B種セメントと水を混合したスラリーに、界面活性気泡系起泡剤を24倍に希釈した後、25倍に発泡した気泡を混合して、地盤工学会基準JGS 0821「安定処理土の締固めをしない供試体の作製方法」⁴⁾に準拠して一軸圧縮試験用供試体を作製した。No.1、No.2は室内配合試験で作製したものであり、直径5cm、高さ10cmの鋼製モールドを使用して供試体を作製した。No.3は、実施工で現場混合したもので、直径5cm、高さ12cmの塩ビ製モールドに流し込んで供試体を作製した。いずれの供試体も上下を密封して、温度20°C±3°Cで養生した。

表-1 FCBの配合(1m³あたり)

配合No.	1	2	3
目標密度 $\rho(t/m^3)$	0.49	0.52	0.53
目標強度 $qu_{28}(kN/m^2)$	300	500	500
フロー値(mm)	180±20	180±20	180±20
水セメント比(%)	87.6	79.1	—
空気量(%)	66.5±5%	64.0±5%	66.6±5%
セメント(kg)	268	298	298
水(kg)	207	207	207
気泡剤(kg)	0.282	0.278	0.278
希釈水(kg)	27.92	27.52	27.52

FCBが地下水位以下にある場合には、水の浸透により湿潤密度が増加する場合がある⁵⁾とされていることから、水浸によるFCBへの影響として、No.3について時間経過による供試体の形状および密度の変化を求めた。所定の期間養生した後、水浸して供試体の直径、高さ、質量を測定した。

次に、凍結融解を繰り返したときの一軸圧縮強さを求めた。このとき、水浸後、凍結融解を繰り返したときの一軸圧縮強さも求めた。なお、凍結は-20°C、融解は5°Cとした。-20°Cで養生すると、この期間は安定処理土の一軸圧縮強さに変化がない⁶⁾ことから、凍結融解

の繰り返しは、-20°Cで24時間以上、5°Cで24時間養生することを1サイクルとした。なお、この実験での水浸とは、供試体の密度が小さいため、完全に水浸しないので、水面に浮いた状態である。

(2) 現場試験

現場施工に当たっては、振動、騒音などの施工状況を確認した。また、10月施工であり、FCBの凍結による影響が考えられたことから、気温、FCB内7箇所の温度を測定した。図-2に温度センサーの設置位置を示す。センサーは、舗装(表層3cm+基層4cm+上層5cm+下層35cm=47cm)と流用盛土(0.5m)の下から0.5m、1.5m、2.5m、壁面からの奥行き0.5m、1.0mの位置に設置した。また、流用盛土の下2.5mの深さでは、壁面から0.25mの位置にも温度センサーを設置した。温度は1時間ごとに自動計測した。

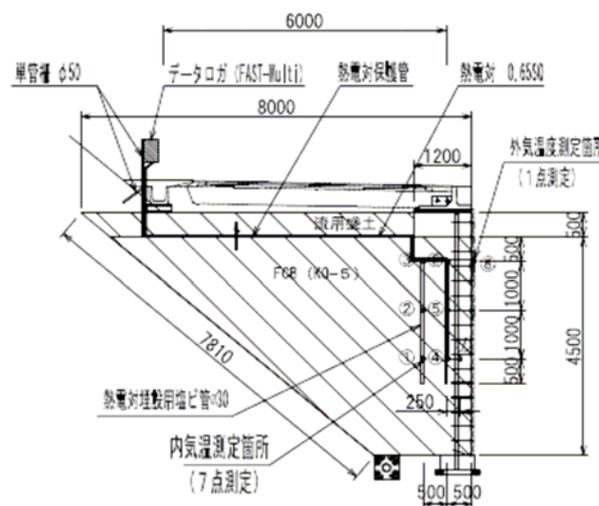


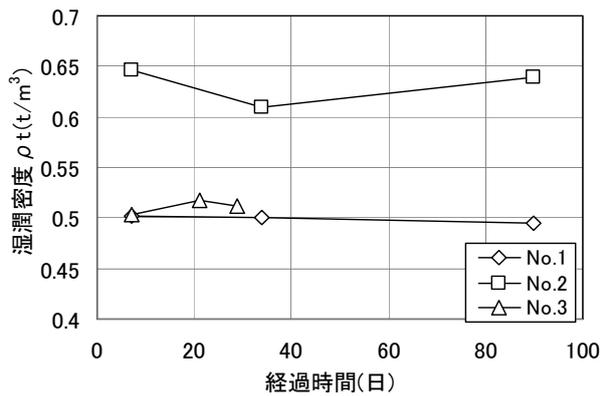
図-2 温度センサー設置位置

4. 結果

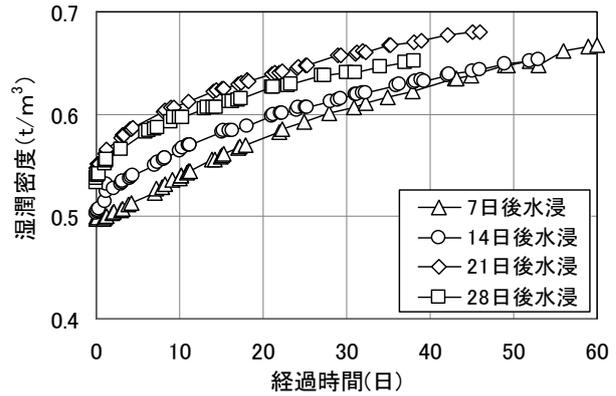
4.1 FCBの物性値

4.1.1 湿潤密度の変化

FCBの時間経過による湿潤密度の変化を図-3に示す。(a)は、水浸しない場合を示す。(b)は、No.3のFCBに対して7、14、21、28日養生後の供試体を水浸させたときの湿潤密度の変化を示す。水浸しない場合は、作成時の湿潤密度にかかわらず、いずれの配合でも時間経過による湿潤密度の変化はほとんどない。これに対し、水浸した場合は、養生時間に関わらず、時間経過とともに湿潤密度は大きくなっている。水浸してから30日後には、どの養生期間であっても水浸前に対して18%程度湿潤密度が大きくなり、水浸から30日以降もさらに密度が大きくなった。このことから



(a)非水浸



(b)水浸

図-3 時間経過とFCBの湿潤密度

FCBは長期間水にさらされると吸水して密度が大きくなるので、防水シートで覆うなど水浸しない状態で使用するか、気泡が完全に飽和されたときの密度として設計する。

なお、水浸状態では、湿潤密度は大きくなったが、供試体の直径や高さは変化がなく、FCBは固化後は水浸しても膨張や収縮のない材料である。

4.1.2 FCBの一軸圧縮強さ

(1) 時間経過と一軸圧縮強さ

時間経過によるFCBの一軸圧縮強さ(q_u)の変化を図-4に示す。No.1、No.2、No.3のいずれも時間の経過とともに一軸圧縮強さは大きくなっている。目標強度の大きいNo.2が目標強度の小さいNo.1よりも時間経過に対する一軸圧縮強さの増加の程度が大きい。

No.1は目標強度が28日養生後の一軸圧縮強さを 300kN/m^2 としたときの室内試験の結果であり、No.2は目標強度が28日養生後の一軸圧縮強さを 500kN/m^2 としたときの室内試験の結果である。No.3はNo.2と同じ配合での現場施工の結果である。時間経過に対する一軸圧縮強

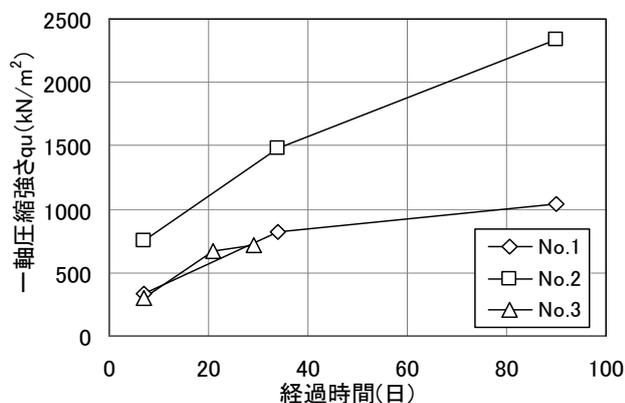


図-4 時間経過と一軸圧縮強さ

さが、No.3とNo.2とはほぼ同じである。目標強度28日養生後の一軸圧縮強さ 500kN/m^2 として現場で作製した気泡混合土(No.3)の一軸圧縮強さは目標強度 300kN/m^2 として室内で作製した気泡混合土(No.1)の一軸圧縮強さとはほぼ等しく、同じ配合の室内と現場では目標一軸圧縮強さに 200kN/m^2 の差があった。現場の施工が室内の混合よりも低い強度発現であったことから、現場に適用する場合は室内配合に対して、セメント量の割り増しを考慮しなければならない。

(2) 凍結融解繰り返しと一軸圧縮強さ

施工箇所は、積雪寒冷地であることから、凍結融解を繰り返したときの一軸圧縮強さを求めた。

FCBを作製し、7日および28日養生してから、凍結と融解を繰り返して、一軸圧縮強さを求めた。凍結融解繰り返し回数と一軸圧縮強さの関係を図-5に示す。No.1の7日養生とNo.3の7日養生をのぞいて繰り返し回数が4~5回で一軸圧縮強さがいったん低くなる。7日、28日養生のどちらでも同じ傾向が見られNo.2でこの傾向が顕著であった。しかし、その後、

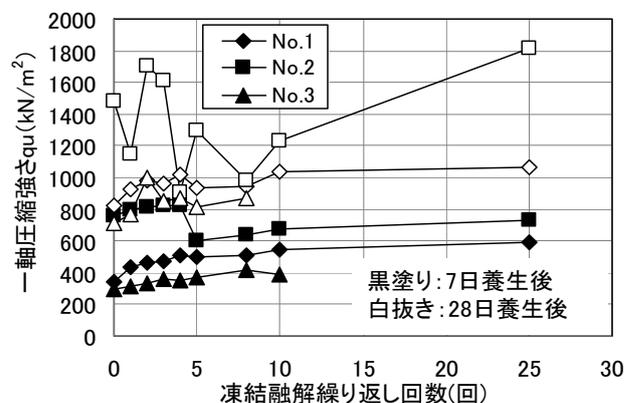


図-5 凍結融解繰り返し回数と一軸圧縮強さ

凍結融解繰り返し回数が増えると一軸圧縮強さも若干大きくなる傾向にあり、No2 の 7 日養生をのぞいて繰り返し回数 0 回よりも大きな一軸圧縮強さとなった。

凍結融解を繰り返さないで養生した場合と比較すると 25 回凍結融解を繰り返した場合の養生日数は、7 日養生で(25+7)日、28 日養生で(25+28)日となる。このときの強度を図-4 より読み取り凍結融解を 25 回繰り返したときの強度と比較して表-2 に示す。7 日養生では凍結融解のない方が大きな一軸圧縮強さを示すが、28 日養生では、凍結融解を繰り返した場合が若干大きくなった。また、いずれも目標の一軸圧縮強さより大きくなった。

以上の結果より、凍結融解繰り返し回数が 25 回までの間であれば、凍結融解による一軸圧縮強さの低下はほとんどない。また、凍結融解を繰り返している間でも、若干の強度の増加がある。

表-2 凍結融解繰り返しと一軸圧縮強さ(kN/m²)

	No.1		No.2	
	7日	28日	7日	28日
凍結融解繰り返しまでの養生日数	7日	28日	7日	28日
凍結融解なし	800	900	1400	1750
25回凍結融解	595	1067	727	1814
目標一軸圧縮強さ	—	300	—	500

(3) 水浸後の凍結融解の繰り返しと一軸圧縮強さ

水浸により気泡中水が浸入し、浸入した水分が凍結することにより強度低下を起す可能性がある。そこで、No.3 について、気泡混合土を水浸させたのちに凍結融解を繰り返すことによる一軸圧縮強さの変化を求めた。供試体を作製してから 7 日および 28 日養生し 24 時間水浸させた後、凍結融解を繰り返したと

きの一軸圧縮強さの変化を求めた。図-6 に、凍結融解を繰り返したときの一軸圧縮強さの変化を非水浸の場合と比較して示す。水浸した後凍結融解を繰り返した場合、いずれの養生期でも 4 回までの間では、非水浸の状態とほぼ同じである。このことから、固化した気泡混合土を 24 時間水浸した後凍結融解させてもほとんど一軸圧縮強さは低下せず、24 時間程度の水浸の影響はほとんどないといえる。

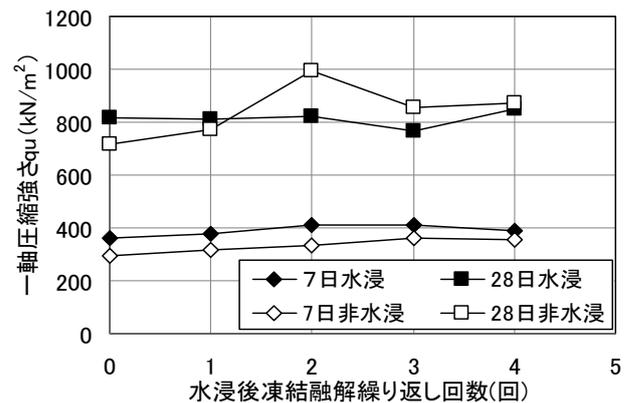


図-6 水浸後の凍結融解繰り返しと一軸圧縮強さ

4.2 現場施工

4.2.1 施工性

FCBの施工状態を写真-1に示す。(a)にプラントの全景を示す。プラント全体の面積は約80m² (4m×20m) で、狭隘な山地地形の施工現場での作業性を十分確保できた。また、打設箇所までは最大約140mであったが、圧送打設に問題はなく、流動性が高いため急傾斜地で複雑な現地形状に追従できた。さらに打設時の騒音や振動はほとんどなく、良好な環境が保たれた。EPSなど他工法では地形や施工条件に合わせた加工、切断が必要であるが、FCB工法は不要であり、制限を受



(a)プラント



(b)打設状況

写真-1 FCBの施工状況

ける範囲への施工性は高い。

打設後の上部施工について、事前に照査計算を行った結果、7日養生時点で上部施工時に必要な強度が得られないため、直接ダンプトラック等を走行させて輪荷重を与えるような施工は避けて、20cm程度の盛土材または路盤材を撒出した上で走行することが絶対条件である。FCB上部の盛土施工状況を写真-2に示す。当区間の縦断勾配は8.6%あり、FCB施工ブロックが階段状になるため、特に段差部はタンパを使用して入念に締め固めを行った。



写真-2 盛土施工

4.2.2 FCBの密度と強度

現場で打設したFCBの湿潤密度と一軸圧縮強さを図-7に示す。湿潤密度の目標値は $0.53 \pm 0.1 t/m^3$ である。打設したすべてのFCBがこの範囲であった。

また、目標強度は7日養生後の一軸圧縮強さで、図中の白丸の場合 $250 kN/m^2$ 、図中の黒丸の場合 $400 kN/m^2$ である。すべてにおいてこの目標値を満足していた。室内試験では、時間とともに強度が増加する材料であることが分かっていることから、完成後の盛土は十分な強度があるといえる。

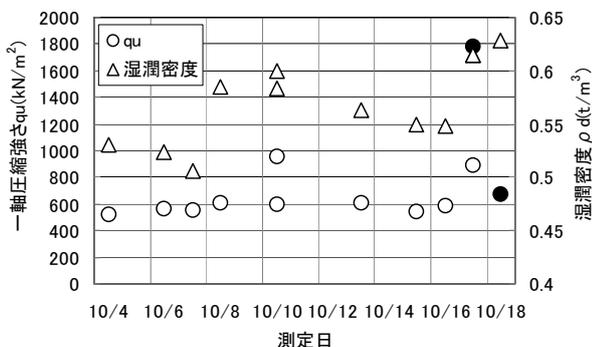


図-7 打設後の密度と一軸圧縮強さ

4.2.3 FCBの温度変化

図-8に施工時から約1年間のFCB内の温度を気温とともに示す。

最終打設日は平成20年10月18日であり、観測開始日の平成20年11月11日までの24日間ではセメントの水和反応のため、FCBの温度は高い。舗装面から深い方が、また壁面からの距離が長い方が、FCBの温度は高くなっている。FCB内部の温度は外気温が $0^\circ C$ になる頃から差が小さくなっているが、全体の傾向としては気温と類似した温度変化を示している。

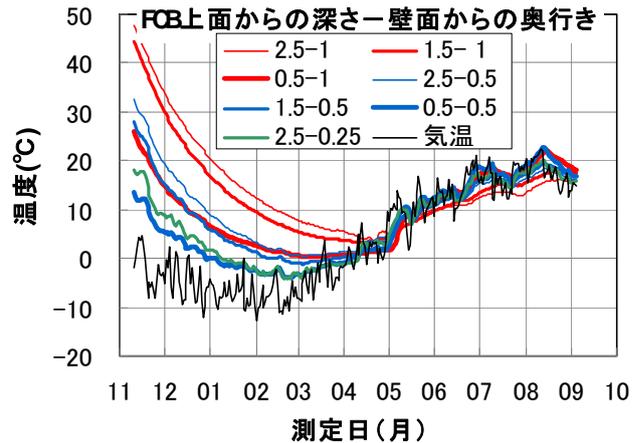


図-8 FCB内部の温度変化

4.2.4 FCBの変形

平成20年11月11日～平成21年11月4日まで現地に設置した温度計で観測した冬期外気温は、平成20年12月下旬～平成21年2月下旬の間で数日 $-10^\circ C$ を下回っており、凍上による変形が懸念された。そこで平成21年5月15日の現地施工前(FCB上部の道路土工、路盤工)に計測した高さと同年度工事の出来形値(計測:平成20年10月21日)を比較した結果、高さの変化は無く、凍上の変形は無い。壁面材の変形については、スランートルールと下げ振りにより確認したが、垂直が保たれていた。また、壁面材天端部と底版部の離隔距離を計測したところ、離隔距離は天端部と底版部では同じであった。また、目視でも凍上による変形などは確認されなかった。

その後、下層路盤工および上層路盤舗装工の施工を行った後に同様の計測を実施したが、変形は認められなかった。壁面材の変状確認状況を写真-3、下層路盤までの完成状況を写真-4に示す。



写真-3 計測状況



写真-4 完成状況（下層路盤まで）

5. まとめ

今回の検討の結果、分かったことをまとめると次のとおりである。

- ① 気泡混合土は水浸しても膨張や収縮がない材料である。しかし、水浸により湿潤密度が大きくなることから、水の影響のある箇所への設置には、水を排除する対策をとるか水が入ったときの密度で設計する。
- ② 気泡混合土は、時間の経過とともに一軸圧縮強さは大きくなる。
- ③ 室内の混合と現場の混合では、強度に差が生じるため、室内試験の結果を現場に反映させる場合は、固化材の割り増しなどを考慮する。
- ④ 凍結融解繰り返し回数が 25 回までの間であれば、凍結融解による一軸圧縮強さの大きな低下はなく、凍結融解を繰り返している間でも、若干の強度増加がある。
- ⑤ 7 日養生で 28 日養生よりも凍結融解による一軸圧縮強さがやや低いため、28 日養生までは凍結融解の無い時期の施工が望ましい。

- ⑥ 24 時間水浸した後、凍結融解を繰り返しても 4 回までは、固化した気泡混合土の一軸圧縮強さは低下しない。
- ⑦ FCB 工法のプラントは、狭小なヤードでも設置が可能であり、騒音、振動の少ない工法である。
- ⑧ 打設後の上部施工について、7 日養生時点で上部施工時に必要な強度が得られないため、運搬車両や施工機械を走行させて輪荷重を与えるような施工は避けて、事前に 20 cm 程度の盛土材または路盤材を撒出した上で走行することが絶対条件である。
- ⑨ 施工 1 年経過後の観測結果では、高さに変化が無いこと、壁面材が垂直を保っていることから、品質は安定しているといえる。

6. あとがき

本検討により、FCB を積雪寒冷地において施工する場合の性質や留意点をまとめることができた。この結果が今後積雪寒冷地での FCB の施工に関して一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) NEXCO : FCB 工法設計・施工要領、2007.1
- 2) <http://www.netis.mlit.go.jp/RenewNetis/Explanation/MainExplanation.asp?TabType=1>
- 3) 城内一大、和田芳明、館山孝利：気泡混合軽量盛土工法の積雪寒冷地への適応性について、第 52 回（平成 20 年度）北海道開発技術研究発表会 2009.2
- 4) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説、2004.6
- 5) 日本道路公団：気泡混合土を用いた軽量盛土工法の設計施工指針、1996.9.
- 6) 佐藤厚子、鈴木輝之、西本 聡：セメントおよび石灰改良土の発現強度に及ぼす養生温度の影響、地盤工学ジャーナル Vol.3(2008)、No.4、2008.12