

# ALC 廃材の工学的性質と軽量地盤材料としての再利用に関する研究

岐阜工業高等専門学校 正会員 吉村優治  
 西濃建設(株) 正会員 和田智  
 昭和コンクリート工業(株) 額縁友宏

## 1. はじめに

建設業の分野では資源の有効利用，環境保全の問題を考慮することが必須の条件に成りつつある．特に近年の都市開発の活発化，地下利用の増大等から，建設副産物（土砂，コンクリート・アスファルト塊，木材など）が増加しつつある．土地利用の高度化が進むにつれて，その処分場の確保は非常に困難となり，一部には不法投棄等環境保全上の問題も生じており，建設副産物問題は，建設業界の重要な課題となっている．この建設副産物は，ほとんどが安全なものであり，その多くは建設資材等として再利用可能であるにもかかわらず，資源の有効な利用が十分図られていない状況が続いていた．しかし，平成3年10月に再生資源の利用の促進に関する法律が施行され，建設工事においては発注者，建設業者，国および地方公共団体がそれぞれの責務を分担して，建設副産物について再生資源の利用を促進するようになってきた<sup>1)</sup>．

最近では，コンクリート廃材，アスファルト廃材はその利用法がほぼ確立し，廃材が再利用されるようになってきている．しかしながら，まだ再利用法の確立していない建設副産物も多く，軽量気泡コンクリート製品，すなわちALC（Autoclaved Light-weight Concrete）もその一つである．ALC製品は，図-1に示すように近年急激に需要が高まりその生産量も増大しつつある．これに伴ってALC廃材の増加が予想されるとともに，現在も製造過程でかなりの不良品が発生し，その廃棄処分が問題になっている．写真-1は施工代理店に並んでいるALC板製品であり，かなりの不良品（廃材）が見られる．

本研究では，ALC廃材が一般のコンクリート廃材と比較して軽量であるという特徴を考慮し，軟弱地盤上の盛土あるいは埋戻に用いる軽量地盤材料として有効に再利用する可能性について検討している．また，その検討結果に基づき，適当な粒径に破碎したALC廃材を超軟弱なピート地盤上で農道の路盤として利用した一施工事例を紹介する．なお，本研究で用いたALCは旭化成工業(株)のヘーベル（商品名）である．

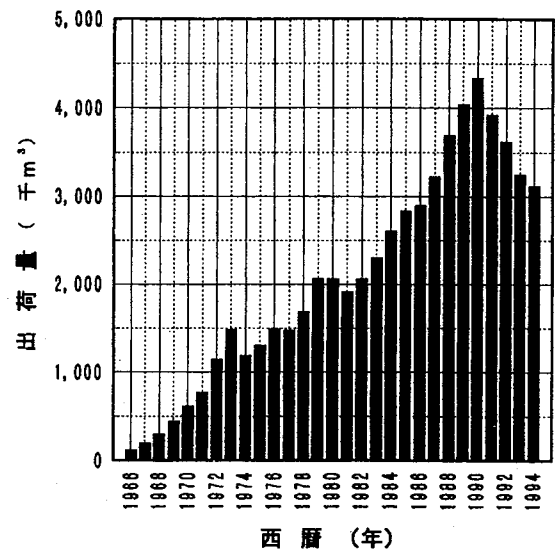


図-1 気泡コンクリート製品出荷高の経年変化



写真-1 ALC板製品とその廃材

Study on Geotechnical Properties of ALC-wasres and Recycled it to Light-weight Geo-material:Yuji Yoshimura(Gifu National College of Technology),Satoshi Wada(Seino Kensetsu Co.Ltd.),Tomohiro kouketsu(Showa Concrete Kogyo Co.Ltd.)

## 2. 試料の物理的諸性質

### (1) ALC の特性

ALCは、その名のとおりに、オートクレープ養生による軽量気泡コンクリート製品であり、ポルトランドセメントに、生石灰、珪石粉等を混ぜ、これに発砲剤（AI粉末など）を添加して得られる軽量PC板を、高温高压養生（180℃、10気圧、8～10時間処理）したものである。これは、スウェーデンで開発され、わが国では1960年代に製造が開始された。

ALCパネルは、高度の品質管理のもとで生産された工場量産品であるため、安定した物性と高い寸法精度を有する建築材量として外壁、間仕切、屋根、床などに広く採用されている。構造的には単独で機能を発揮するが、耐久性を保持し、美しく良質な建築物を実現するためには、それぞれの使用部位に適した表面仕上げを施す必要がある。

製品そのものは、面精度が高い・低収縮であるといった長所をもつ反面、水を吸いやすい・傷つきやすいといった弱点をもっている。また、細かい気泡が無数にあり、気孔率は体積で80%以上、見かけの比重は0.5～0.6程度と極めて軽量であるが、一般のコンクリート（圧縮強度約200kgf/cm<sup>2</sup>）に比べると非常に低強度である（圧縮強度約40kgf/cm<sup>2</sup>）。

また、ヘーベルの化学成分は、表-1に示すとおりであり、主成分は珪酸カルシウム水和物である。

### (2) ALC 廃材の物理的性質<sup>2)</sup>

写真-2はALC廃材である。前述の通り、製品としてのALCは写真-1に示すようにパネル状の建築材料であるが、その廃材の比重などの性質は粒径の違いにより大きく変化する。そこで、本研究ではヘーベルの廃材を骨材プラントで破碎し、図-2に示す粒度分布に調整した試料を、軽量の粒状地盤材料として有効利用することを考える。図中の試料A、B、C、D、E、Fは各々0.075mm以下、0.075～0.42mm、0.42～2mm、2～10mm、10～40mm、40mm以上の6つの粒度にふるい分けしたものである。

ヘーベルの一つの気泡の大きさは、図-3に示す頻度分布図のとおりであり、そのほとんどが2mm以下である。したがって、この試料A～Fの比重と平均粒径の関係は図-4に示すとおりであり、粒径が大きくなるほど比重が小さくなっているものの、試料A～Cは軽量とは言えず、試料Fは比重が1.0以下であり地下水位の高い所では水に浮く可能性があるため、試料DあるいはEが軽量材料としては適当であると言える。なお、この試料D～E間の粒径についてはさらに詳細に比重と平均粒径の関係を調べ図-4中にプロット（○印）してある。

表-1 ヘーベルの化学成分

成分	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	その他	H <sub>2</sub> O*
比率 (%)	50.0	25.0	2.5	2.0	1.5	4.0	15.0

\* 水和物からの水

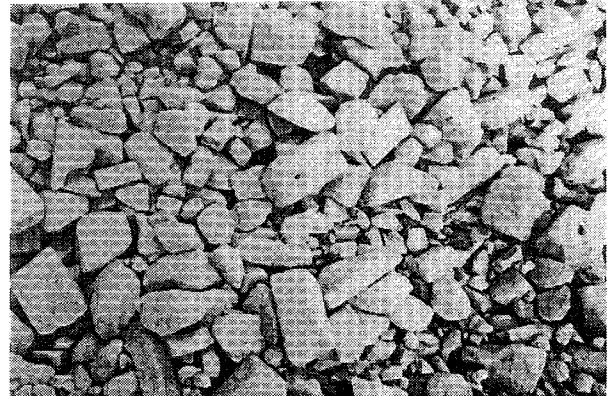


写真-2 ALC 廃材

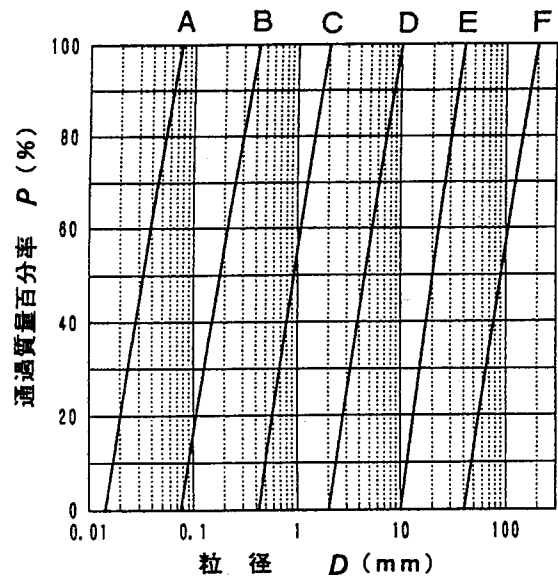


図-2 試料の粒径加積曲線

### 3. 試料の力学的諸性質

#### (1) 締固め特性

ALC廃材を締固めるのに、地盤工学会基準（JGS T 711-1990）<sup>3)</sup>の「突固めによる土の締固め試験方法」に従うとランマーの衝撃で粒子破碎を生ずる恐れがあるため、本研究では大型のペロフラムシリンダーにより静的な圧力を一定時間加圧して試料の締固め特性を把握した。ただし、締固めに用いたモールドは粒径を考慮して試料A～Dでは内径76mm、試料Eでは147mmの円筒であり、市販の塩化ビニールを加工して作成した。締固め試験は各々の試料について3種類の圧縮応力 $\sigma$ （=0.2, 0.4, 1.0kgf/cm<sup>2</sup>）について行い、粒子破碎の影響が蓄積しないように試料は一含水比毎に使い捨てとする非繰返し法によった。

その結果はすでに報告<sup>2), 4)</sup>しているとおり、いずれの試料とも明確な最適含水状態は見られず、乾燥密度 $\rho_d$ はほとんど含水比 $w$ に依存しない。図-5はその一例（試料E:  $\sigma = 0.4\text{kgf/cm}^2$ ）であり、含水比 $w$ が変化しても乾燥密度 $\rho_d$ はほとんど変化しておらず、飽和時の密度 $\rho_{sat}$ は予定通りほぼ1.0g/cm<sup>3</sup>となっている。したがって、本研究で検討した試料A～Fの間では、軽量な粒状地盤材料として最も有効に再利用できるのは試料Eである。なお、図中の $\rho_{sat}^*$ は粒子の内部に閉じこめられた気泡も飽和した場合の密度である。別途行った試料Eの吸水試験では、約3時間で粒子内部の気泡は飽和し、その吸水率は約16%であった。

また、本実験での締固め応力の範囲（ $\sigma = 0.2 \sim 1.0\text{kgf/cm}^2$ ）では、応力が密度、間隙比に及ぼす影響はほとんど見られなかった。ただし、粒径が大きくなると図-6（試料E:  $w=60\%$ の例）に示すように $\sigma$ が0.2kgf/cm<sup>2</sup>の場合には、締固め特性はモールド内への試料の充填方法に若干依存し、多少のばらつきが見られる<sup>2), 4), 5)</sup>。したがって、後述する一軸圧縮試験用の供試体作成時の締固め応力は、実際に現場施工で用いるブルドーザーの接地圧（接地圧は普通ブルドーザーで0.5kgf/cm<sup>2</sup>以上、湿地ブルドーザーで0.2～0.3kgf/cm<sup>2</sup>程度である）<sup>6)</sup>も考慮し、 $\sigma = 0.4\text{kgf/cm}^2$ とした。

さらに、粒状体であるALC廃材は自立しないので、施工時に地盤材料としてのALC廃材を安定させるこ

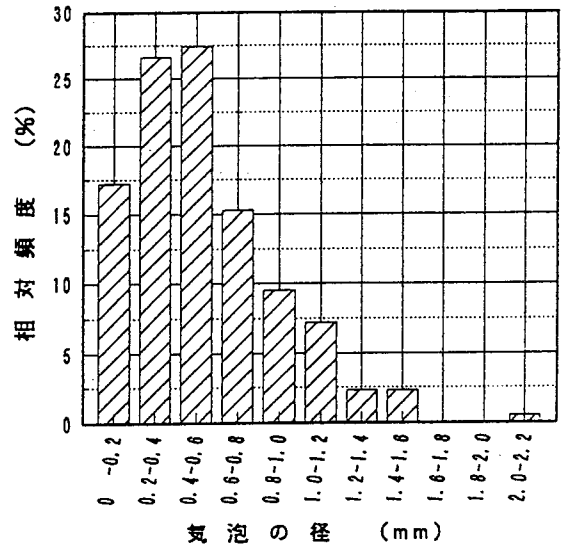


図-3 ALCの気泡径の頻度分布

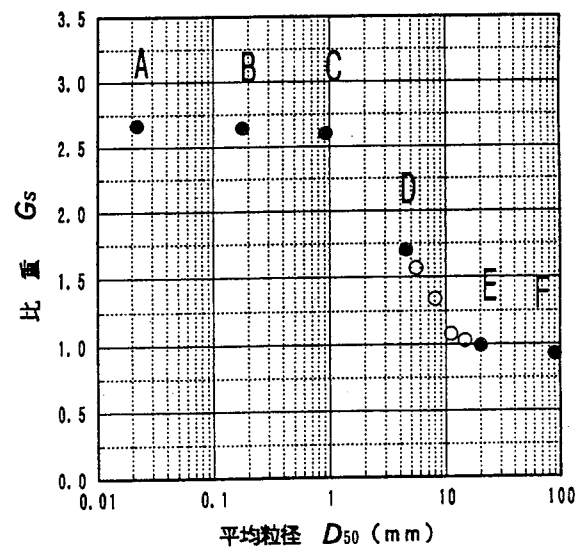


図-4 平均粒径による比重の変化

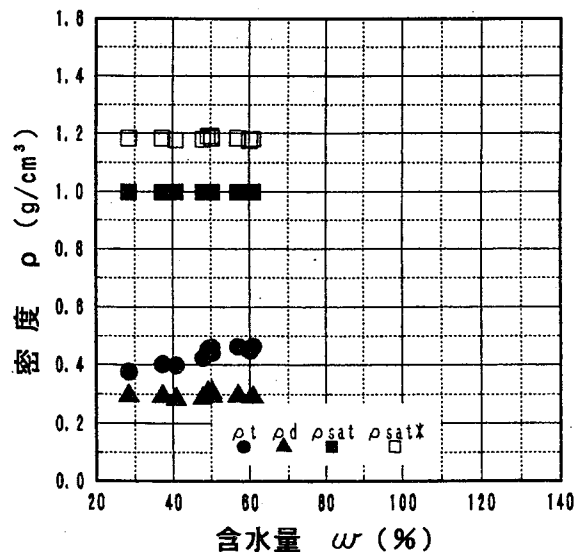


図-5 締固め試験結果一例 (試料E:  $\sigma = 0.4\text{kgf/cm}^2$ )

とも考慮し、後述するようにセメントを添加して締固めた供試体を一定期間養生した後、一軸圧縮試験を実施して強度特性を検討する。しかし、軽量さの点で最も有効な試料 E (10~40mm) にセメントを添加しても廃材が粗粒なためセメントとの付着面積が小さく固まないので、若干の密度増加はやむを得ないとし、粒径 10mm 以下の試料を混入した後にセメントを添加し、供試体を作成した。強度発揮に対して適度な混入量を決定するために、試料 E に対して質量比 1:1, 1:3, 1:5 の 10mm 以下試料を混入し、予備的に強度試験を行った結果<sup>2), 3)</sup>では、1:3 に混合した試料が強度および密度の点で優れていることが確かめられている。また、これは一次的に破砕した ALC 板製品の不良品を最大粒径 40mm 用の骨材プラント (西濃建設 (株)アスコンセンター所有) で破砕したときに産出される粒度に一致している。したがって、後述する一軸圧縮強度特性はこの 1:3 に混合した試料について検討している。図-7 は図-5 と同様にして行った 1:3 混合試料の締固め試験結果であり、試料 E に比べれば若干の密度増加は見られるが、飽和密度が  $1.2\text{g/cm}^3$  程度であり、十分に軽量であると言える。

### (2) 一軸圧縮強度特性

前述のようにここで検討する一軸圧縮強度特性は、40mm 用の骨材プラントから産出される粒径 10mm 以上とそれ以下の ALC 廃材を、質量比で 1:3 に混合した試料に適当なセメント (添加量は ALC との質量百分率で表す) と水 (含水量は ALC との質量百分率で表す) を混合したものを静的圧縮応力  $\sigma = 0.4\text{kgf/cm}^2$  で締め固めて作成した供試体を一定期間養生して得ら

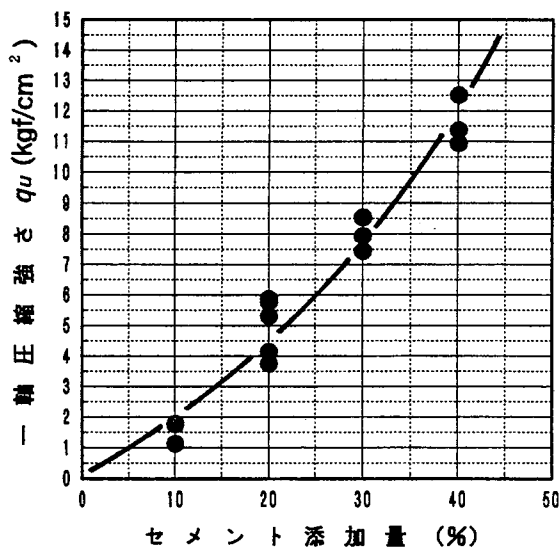


図-8 セメント添加量の違いによる強度変化 ( $w=80\%$ , 養生日数 28 日)

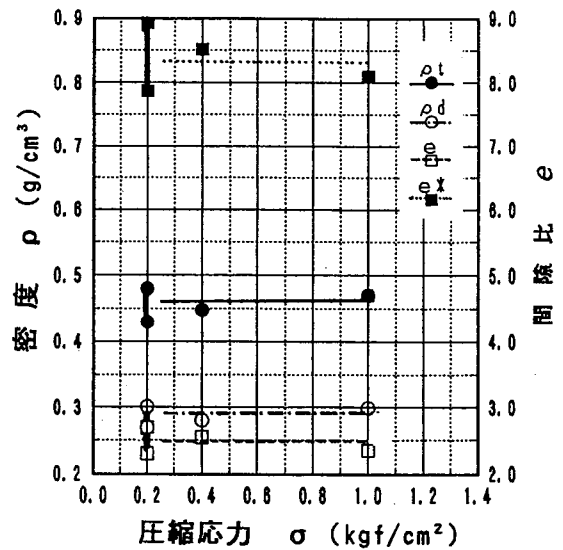


図-6 締固め特性への圧縮応力の影響 (試料 E :  $w=60\%$ )

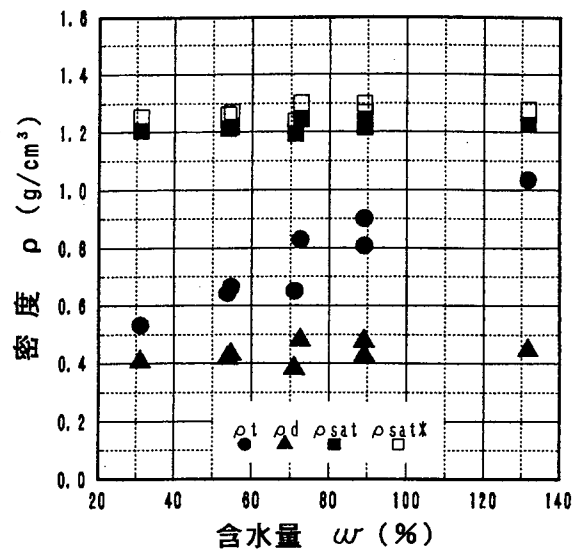


図-7 1:3 混合試料の締固め試験結果 ( $\sigma = 0.4\text{kgf/cm}^2$ )

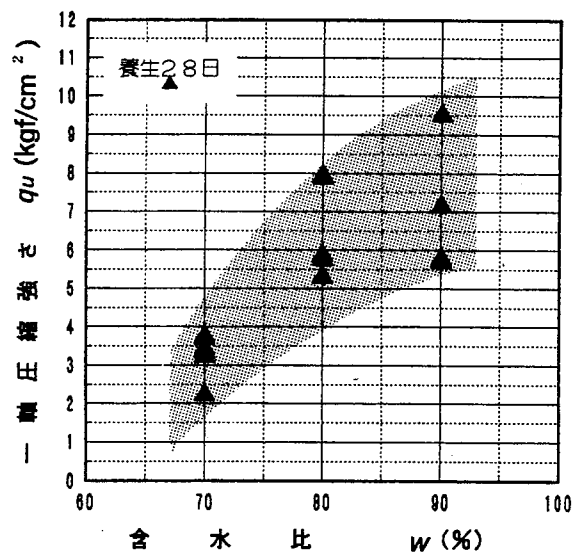


図-9 含水比  $w$  の違いによる強度変化 (セメント添加量 20%, 養生日数 28 日)

れたものである。供試体寸法は直径 $\phi = 150\text{mm}$ 、高さ $H = 300\text{mm}$ である。

図-8はセメント添加量を変化させた含水比 $w$ の場合の28日強度を示したものである。強度はセメント添加量が増えるほど増加しており、ALC廃材を対象とする地盤の必要耐力に見合ったセメント量を添加すれば、その目的に適合する強度を期待することができる。

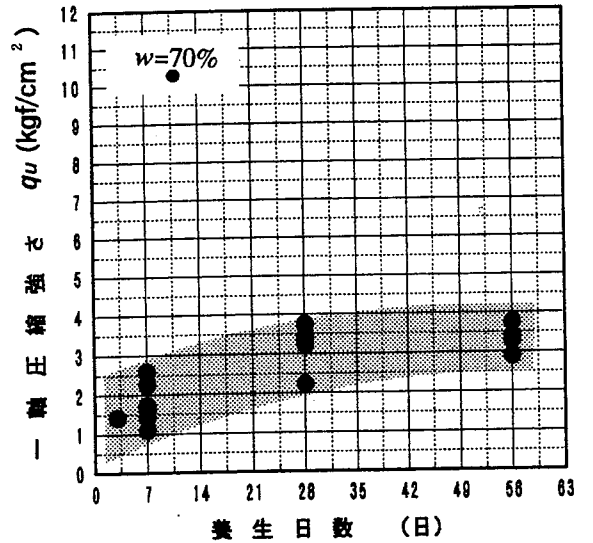
図-9は含水比 $w$ を変化させたセメント添加量20%の場合の28日強度を示したものである。なお、 $w$ が70%以下では供試体の作成が困難であり、90%以上では供試体作成時にモールドから水が流れ出るなどして含水比調整が不可能であった。強度にはばらつきが見られるものの、 $w$ が増えるほど増加しており、調整可能な $w$ の範囲内では、高含水比状態で高強度を発揮すると言える。

図-10はセメント添加量20%で(a)  $w=70\%$ 、(b)  $w=80\%$ 、(c)  $w=90\%$ の場合の一軸圧縮強さと養生日数の関係を示したものであり、いずれも養生日数が長くなるほど強度は増加している。しかし、含水比 $w$ が大きいほど強度は大きく、養生日数に伴う強度の増加割合も著しい。特に、 $w=70\%$ では、強度も小さく、養生期間を長くとも僅かな強度増加が見られるのみである。したがって、養生日数に伴う強度増加を考えても、供試体作成時には高含水比状態であることが望ましいと言える。

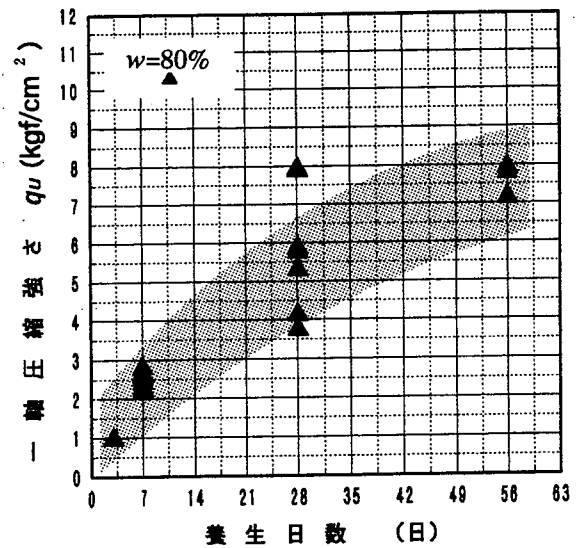
#### 4. 軟弱地盤上の農道としての施工例

前述2、3で検討した物理的、力学的性質を考慮して、ALC廃材を超軟弱なピート地盤上で農道の路盤として利用した一施工事例を紹介する。施工手順等の詳細については別報<sup>7)</sup>を参照されたい。

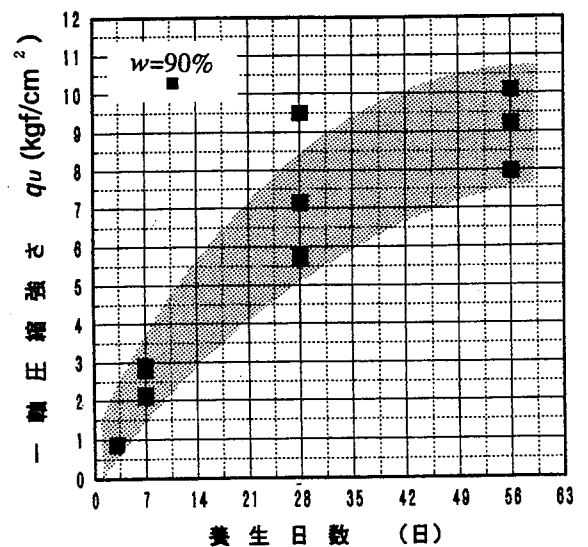
施工現場は岐阜県揖斐郡谷汲村深坂地区で、ピートが厚く堆積する超軟弱地盤であり、代表的な物理的性質は表-2に示すとおりである。この地区は稲作水田地であり、岐阜県営圃場整備事業の一環として行われている整備事業のうち、農道の改良にALC廃材を用いた地盤改良を実施したものである。当地区で、昭和61年度に「丸太杭打工法」、「矢板工法」、「EPS工法」などを含めて試験施工が行われ、工事費、沈下量等が考慮され、図-11の横断面に示す「丸太枠組ソダ工法」が採用された。しかしながら、施工に手間がかかり、沈下量も大きく毎年のように山土を盛る補修を行っており、この山土



(a) 含水比  $w=70\%$



(b) 含水比  $w=80\%$



(c) 含水比  $w=90\%$

図-10 強度と養生日数の関係  
(セメント添加量20%)

の荷重により更に沈下量が増えるという悪循環を繰り返してきた。そこで、平成3年度に図-12の横断面に示す「丸太枠組 ALC 工法」が試験施工を兼ねて実施され、施工性、沈下量、建設副産物再利用の点で優れており、本工法が採用されることになった。

この「丸太枠組 ALC 工法」では、軽量の粒状地盤材料として粒径 10mm 以上とそれ以下の ALC 廃材を質量比で 1:3 に混合した試料を再利用し、当現場での想定最大荷重が施工時の材料運搬用の 4t トラックの接地圧であるため、セメントを質量比で ALC 廃材の 16% 添加し、高含水比状態で攪拌した後に施工した。

平成3年7月から現在（平成7年11月）までの施工実績は、図-13に示すとおり約 6,500m<sup>3</sup>、総延長にして約 4,500m である。SD-16 地点（平成3年施工）での沈下曲線を図-14に示すが、施工後約半年で沈下はほぼ収束し、全沈下量は 100 ~ 200mm 程度である。なお、従来の「丸太枠組ソダ工法」では現在までに図-13の A 点（平成元年施工）で約 600mm、B 点（平成2年施工）で約 400mm の沈下がある。また、この付近の代表的な柱状図は図-15に示すとおりである。

### 5. おわりに

本研究では、ALC 廃材が一般のコンクリート廃材と比較して軽量であるという特徴を考慮し、軟弱地盤上の盛土あるいは埋戻に用いる軽量地盤材料として有効に再利用する可能性について検討した。その結果、40mm 用の骨材プラントから産出される粒径 10mm 以上とそれ以下の ALC 廃材を質量比で 1:3 に混合し、これに期待する強度に見合ったセメントを添加し、高含水比状態で締め固めると高強度が発揮されることが明らかになった。さらに、この ALC 廃材を超軟弱なピート地盤上で農道の路盤として利用した一施工事例を紹介した。このように、ALC 廃材を軽量地盤材料として再利用することが十分に可能であることがわかった。

しかしながら、この「丸太枠組 ALC 工法」は施工性、工事費の面でも優れているが、実際は施工現場（岐阜県揖斐郡谷汲村）近くに西濃建設(株)アスコンセンター（岐阜県揖斐郡大野町）、旭化成工業(株)のヘーベル製作工場（岐阜県本巣郡穂積町）があり、運搬コストやストックヤードの確保など点で地域的にも恵まれていた。今後、本工法が ALC 廃材を軽量地盤材

表-2 地盤の物理的性質（図-13のC地点）

深度 (m)	$G_s$	$w_n$ (%)	$\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	$e$	$L_i$ (%)
1.0~1.8	1.661	1021.8	1.016	16.69	68.4
3.0~3.8	1.770	1163.8	0.984	21.76	88.8
5.0~5.8	2.141	391.2	1.132	8.30	26.9
7.0~7.8	2.463	261.2	1.196	6.44	13.5
10.9~11.7	2.397	246.9	1.210	7.71	19.7

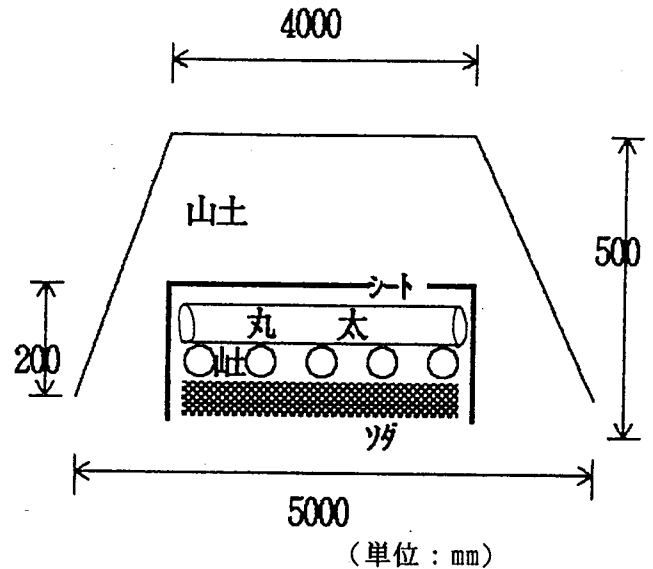


図-11 丸太枠組ソダ工法

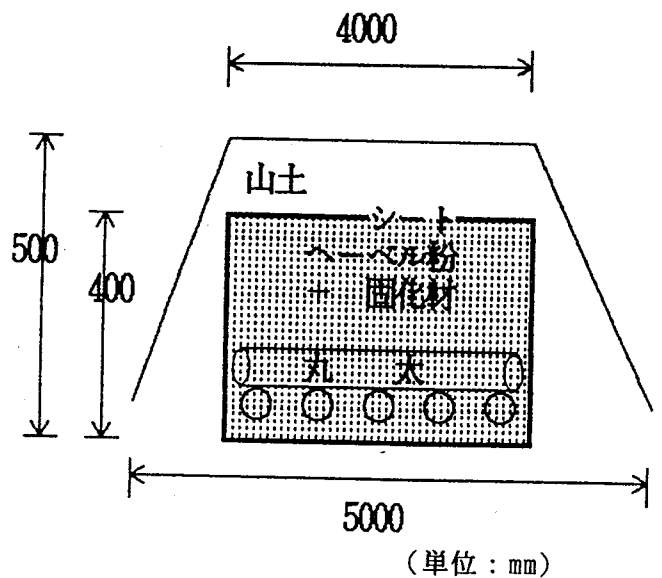


図-12 丸太枠組 ALC 工法

料として有効にリサイクルできる工法として定常的に活用されるためには、技術面の改善はもちろんのこと、地域性やALC廃材の確保などの諸問題を解決していかなければならないと考えている。

謝辞： ALC廃材を再利用する本工法を採用して頂いた岐阜県揖斐土地改良事業所に厚く感謝致します。

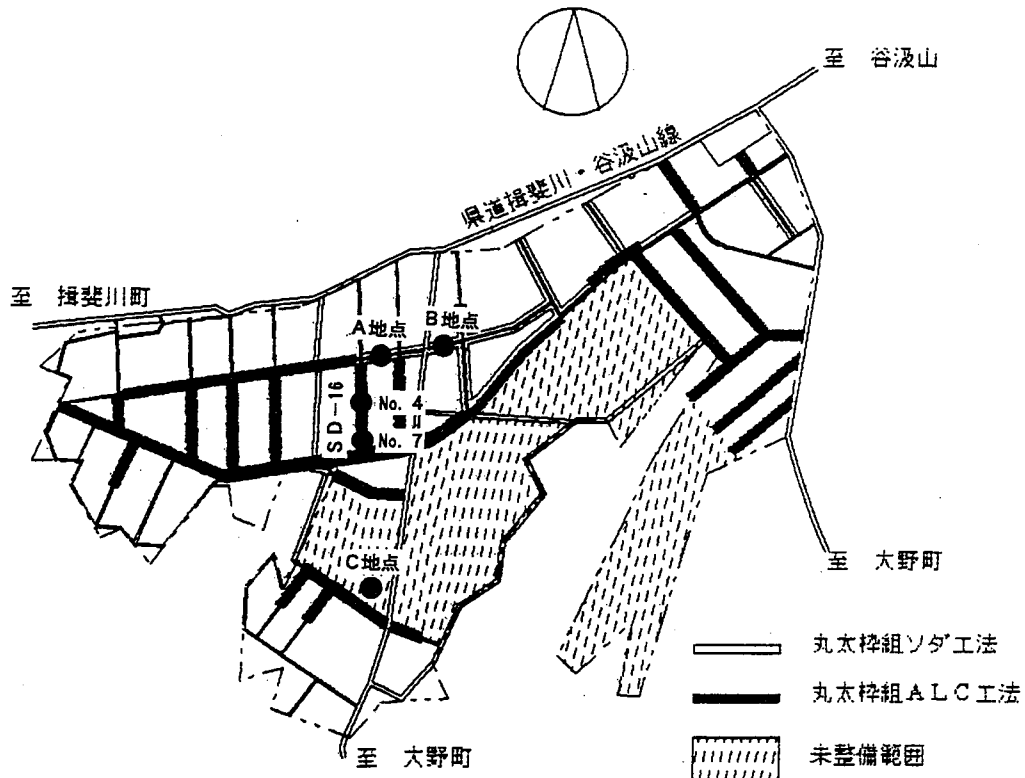


図-13 岐阜県揖斐郡谷汲村深坂地区

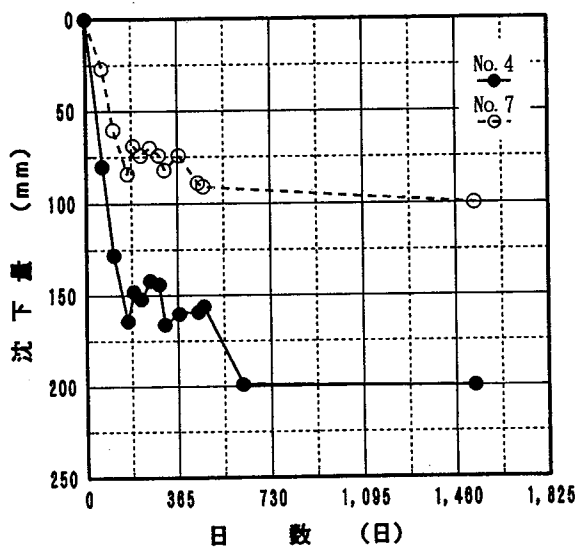


図-14 沈下曲線の一例 (図-13のSD-16地点)

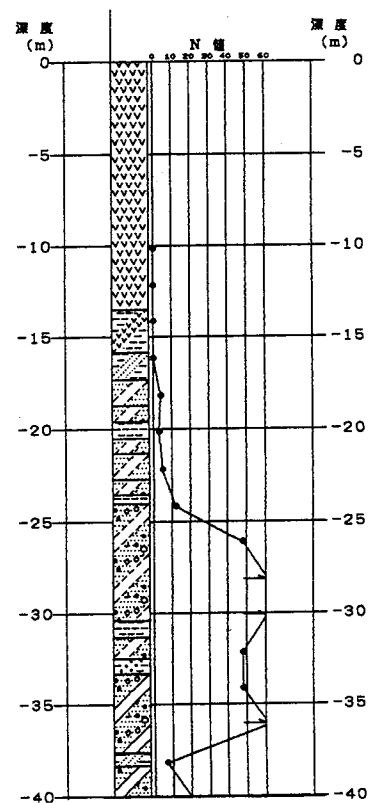


図-15 代表的なボーリング柱状図 (図-13のB地点)

## 参 考 文 献

- 1) 建設省建設経済局建設業課監修：建設業とリサイクル，大成出版社，1992.2.
- 2) 吉村優治・和田智：地盤材料としてのALC廃材の再利用に関する研究，第7回地盤工学シンポジウム論文集，地盤工学会中部支部，pp.75～82，1995.7.
- 3) 地盤工学会：土質試験の方法と解説，pp.201～214，1990.3.
- 4) 吉村優治・酒井貴広・窪田祐享・和田智：ALC廃材の再利用に関する基礎的研究（第二報），平成6年度土木学会中部支部講演概要集，pp.361～362，1995.3.
- 5) 吉村優治・酒井貴広・森田佳孝・和田智・窪田祐享：ALC廃材の再利用に関する基礎的研究（第一報），平成6年度土木学会中部支部講演概要集，pp.359～360，1995.3.
- 6) 最新建設工法・機材ハンドブック編集委員会編集：最新建設工法・機材ハンドブック，建設産業調査会，1985.3
- 7) 和田 智・吉村優治：ALC廃材を利用した軟弱地盤上の農道の地盤改良，第5回調査・設計・施工技術報告会発表論文集，地盤工学会中部支部・中部地質業協会・建設コンサルタント協会中部支部，1996.6.