

# 地盤材料としてのALC廃材の再利用に関する研究

岐阜工業高等専門学校 環境都市工学科 正会員 吉村優治  
西濃建設株式会社 技術開発課 正会員 和田 智

## 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）が増加しつつあり、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が、再生資源の利用の促進に関する法律が平成3年10月に施行され、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、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が、このリサイクル法で指定されていないほとんどの廃材は再生利用されていないのが現状であり、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。近年、このALCは図-1に示すように需要が高まっており、将来的にその廃棄物発生量の増大が予想されるとともに、現在も製造過程でも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。

本論文では、ALCの軽量さを活かし、その廃材を軟弱地盤上の盛土材あるいは埋戻材として再利用する可能性を検討した結果<sup>2), 3)</sup>を示し、さ

らに一部で既に行われているその施工例を紹介するものである。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。

## 2. 試料の諸性質

### (1) ALCの特性

ALC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。その名のとおり、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°C, 10気圧, 8~10時間処理)したものである。

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



図-1 気泡コンクリート製品出荷高の経年変化



写真-1 ALC廃材

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

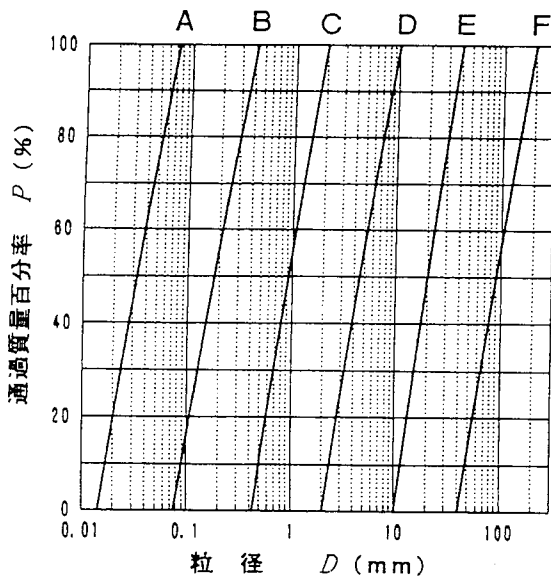


図-2 試料の粒径加積曲線

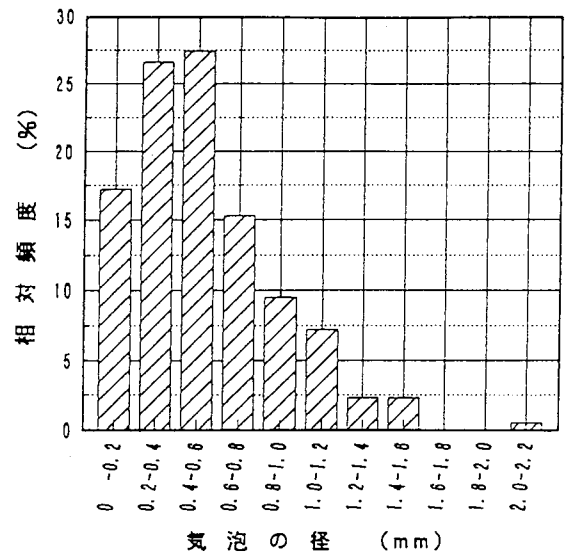


図-3 ALCの気泡径の頻度分布

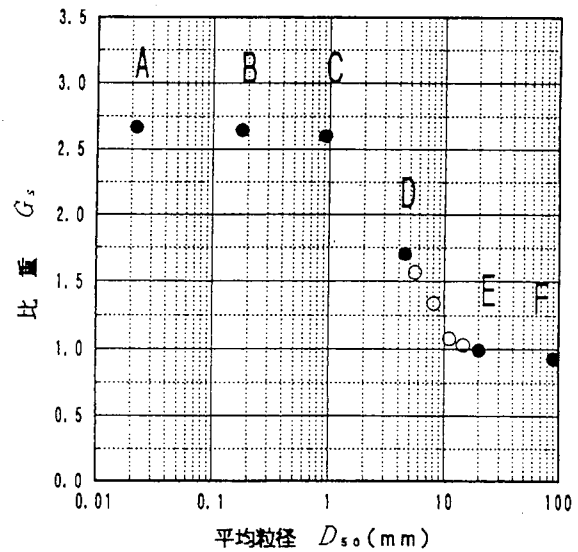


図-4 平均粒径による比重の変化

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200 kgf/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

ALCの特徴については前述の通りであり、本来、製品としてのALCはパネル状の建築材料であるが、その廃材は粒径の違いにより比重などの物理的性質が変化する。写真-1はそのALC廃材である。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ので、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。

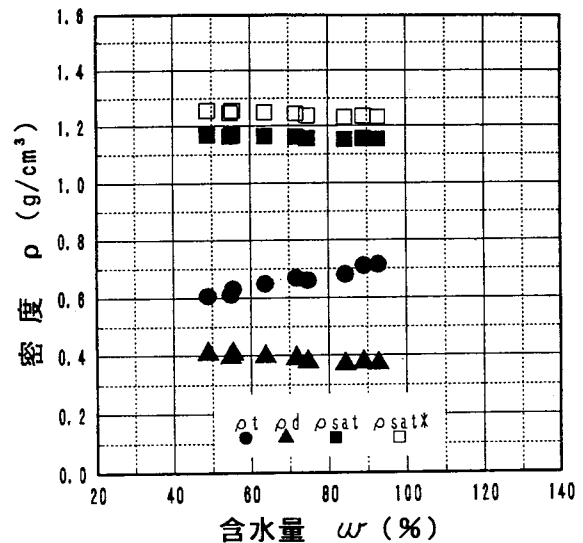
### 3. 締固め特性

ALC廃材を締固めるのに、土質工学会基準(JSF T 711-1990)<sup>4)</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を締固めることにより、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。

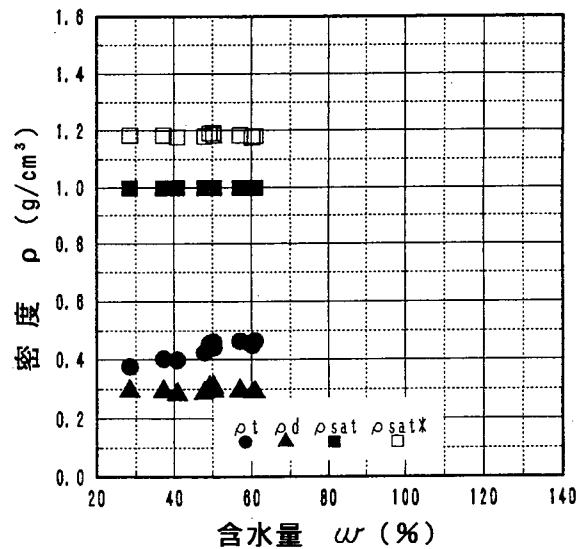
締固め試験は各々の試料について3種類の圧縮応力 $\sigma$  ( $=0.2, 0.4, 1.0\text{kgf/cm}^2$ )について行い、粒子破碎の影響が蓄積しないように試料は一含水比毎に使い捨てとする非繰返し法によった。

試験結果の一例(試料D, E:  $\sigma=0.4\text{kgf/cm}^2$ )を図-5に示すが、明確な最適含水状態は見られず、締め固まりの状態はほとんど含水比 $w$ に依存していない。図から明らかのように、試料Eの飽和時の密度 $\rho_{sat}$ は予定通りほぼ $1.0\text{g/cm}^3$ となっており、軽量の土質材料としてはこの試料Eが最適な粒径であると言える。そこで本研究では試料Eについて強度特性を調べる。

また、圧縮応力が締固めに及ぼす影響を見るために、密度および間隙比と圧縮応力の関係を示したのが図-6(試料D, E:  $w=60\%$ )であり、



(a) 試料D ( $\sigma=0.4\text{kgf/cm}^2$ )



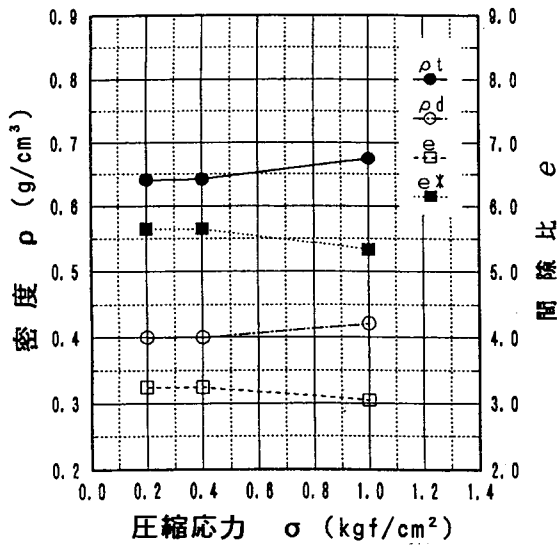
(b) 試料E ( $\sigma=0.4\text{kgf/cm}^2$ )

図-5 締固め試験結果一例

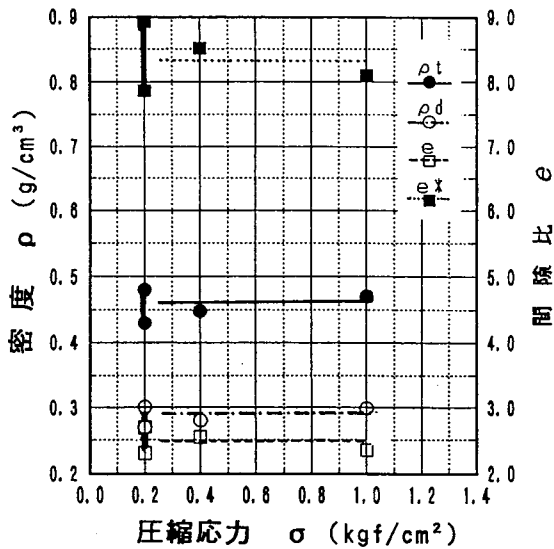
本実験での締固め応力の範囲( $\sigma=0.2\sim1.0\text{kgf/cm}^2$ )では、密度、間隙比ともほとんど差が見られなかった。ただし、試料Eの $\sigma=0.2\text{kgf/cm}^2$ (図-6(b))の場合には、締固め特性はモールド内への試料の充填方法に若干依存し、多少のばらつきが見られる。なお、図中の $e^*$ は粒子の内部に閉じこめられた気泡も含めた間隙比である。

### 4. 強度特性

前述のように試料Eでは、密度、間隙比は締固め応力にほとんど依存しないが、図-6(b)に示すように $\sigma=0.2\text{kgf/cm}^2$ の場合にのみ若干のば



(a) 試料D ( $w=60\%$ )

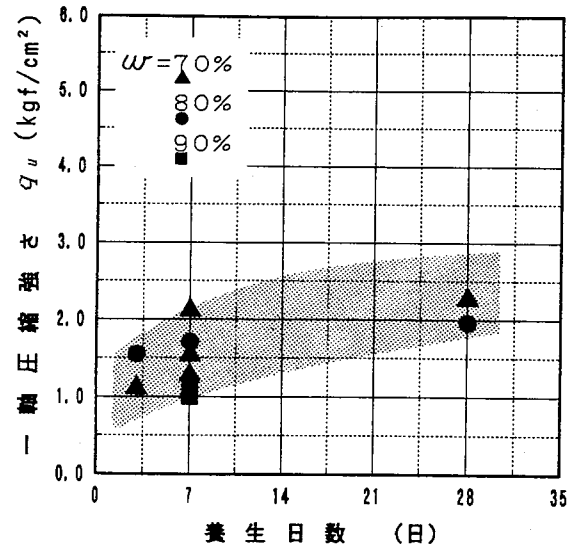


(b) 試料E ( $w=60\%$ )

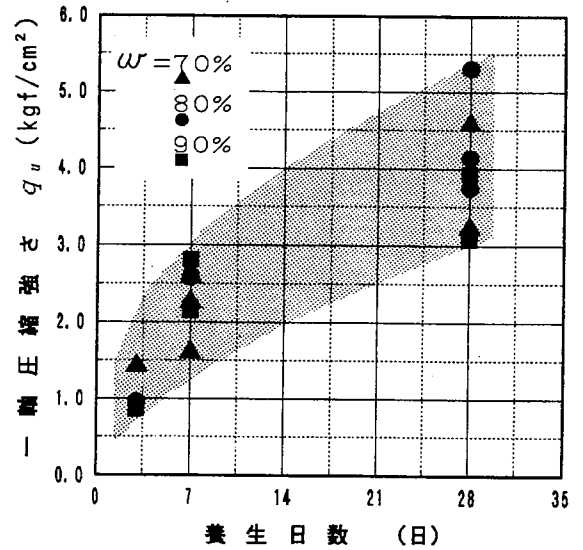
図-6 締固め特性への圧縮応力の影響

らつきが見られる。したがって本研究での締固め応力は、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>5)</sup>も考慮し、 $\sigma=0.4\text{kgf/cm}^2$ とした。

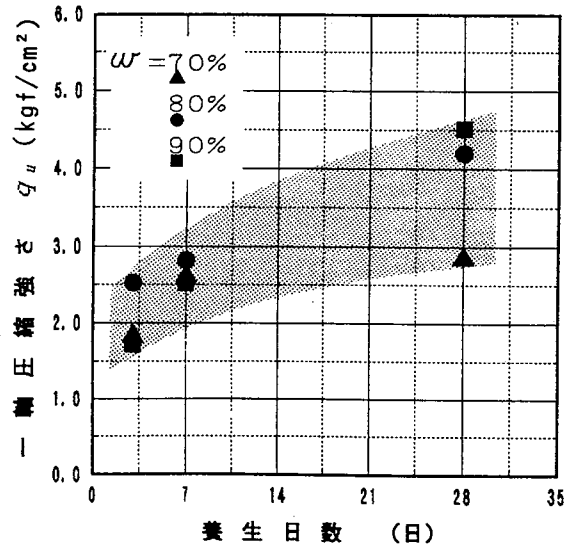
さらに、粒状体であるALC廃材は自立しないので、施工時に地盤材料としてのALC廃材を安定させることも考慮し、セメントを添加して締固めた供試体を一定期間養生した後、一軸圧縮試験を実施して強度特性を検討した。しかしながら、試料Eにセメントを添加しても廃材が粗粒なためセメントとの付着面積が小さく固まらなかったため、若干の密度増加はやむを得ないとし、粒径が



(a) 1:1試料



(b) 1:3試料



(c) 1:5試料

図-7 一軸圧縮強さと養生日数の関係

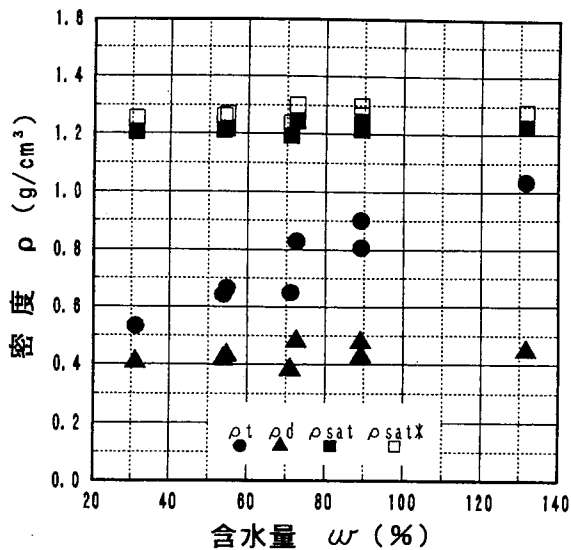


図-8 締固め試験結果 (1:3 試料)

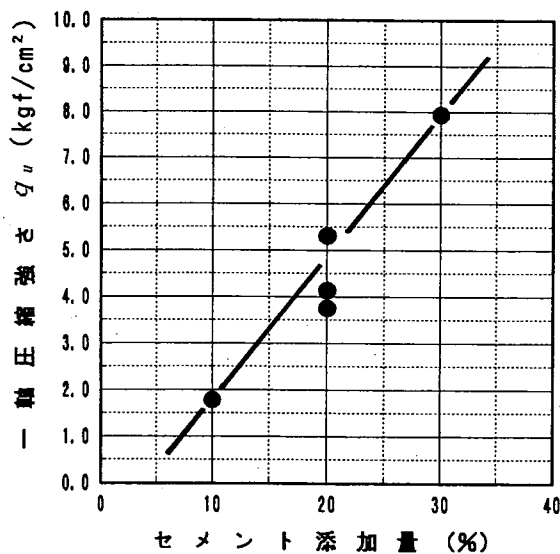


図-9 一軸圧縮強さとセメント添加量の関係  
(1:3 試料,  $w=80\%$ )

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。したがって、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、強度試験を行った。

セメント添加量が質量比でALC廃材の20%の場合の、一軸圧縮強さ $q_u$ と養生日数の関係は図-7に示すとおりであり、当然のことながらいずれの試料も養生日数が長くなるほど強度を増している。また、含水比 $w$ により若干の強度差は見られるものの実験自体の精度を考えれば、含水比の影響はほとんど無いと言っても良からう。さらに、これらの図から一軸圧縮強度は10mm以下試料の混

入比が1:1試料の場合には著しく小さくなっているが、1:3, 1:5試料ではほとんど差が見られない。したがって、本研究の目的を考慮すれば10mm以下試料混入量は質量比で1:3程度が適当であり、これは最大粒径40mm用の骨材用クラッシャー機械(西濃建設(株)所有)でALC板を破碎したときに産出される粒度に一致している。なお、この1:3試料の一軸圧縮強さ $q_u$ は、材令28日で3kgf/cm<sup>2</sup>以上を発揮している。

図-8は図-5と同様( $\sigma=0.4\text{kgf/cm}^2$ )にして行った1:3試料の締固め試験結果である。図-5(b)の試料Eに比べれば、若干の密度増加は見られるが、飽和密度が1.2g/cm<sup>3</sup>程度であり、一般の山土などの試料に比べればはるかに軽量である。

また、図-9はセメント添加量を変化させた同じく1:3試料の28日強度を示したものである。セメント添加量が増えるほど強度も増加しており、対象とする改良地盤が必要とする耐力に見合ったセメント量を添加すれば、その改良目的に適合する強度を期待することができるので、ALC廃材を軽量な地盤改良材料として再利用することが十分に可能である。

## 5. 現場施工例

本研究で行った現場施工場所は、岐阜県揖斐郡谷汲村深坂地区で、その代表的な柱状図は図-10に示すとおり、 $N$ 値零のピート層がG.L.-20mまで深く分布している軟弱地盤地帯である。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貫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。なお、本施工に先立ち、西濃建設(株)アスコンセンター(岐阜県揖斐郡大野町字公郷)南側の農道でALC廃材を用いて試験施工を行っており、良好な結果を得ている。また、この谷汲村深坂地区では、従来は図-11の横断面図に示す「丸太枠組ソダ工法」が使われていたが、沈下量が大きく、毎年のように農道に山土を盛る補修を行っており、この山土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。したがって、当地区で「丸太杭打工法」、「矢板工法」、

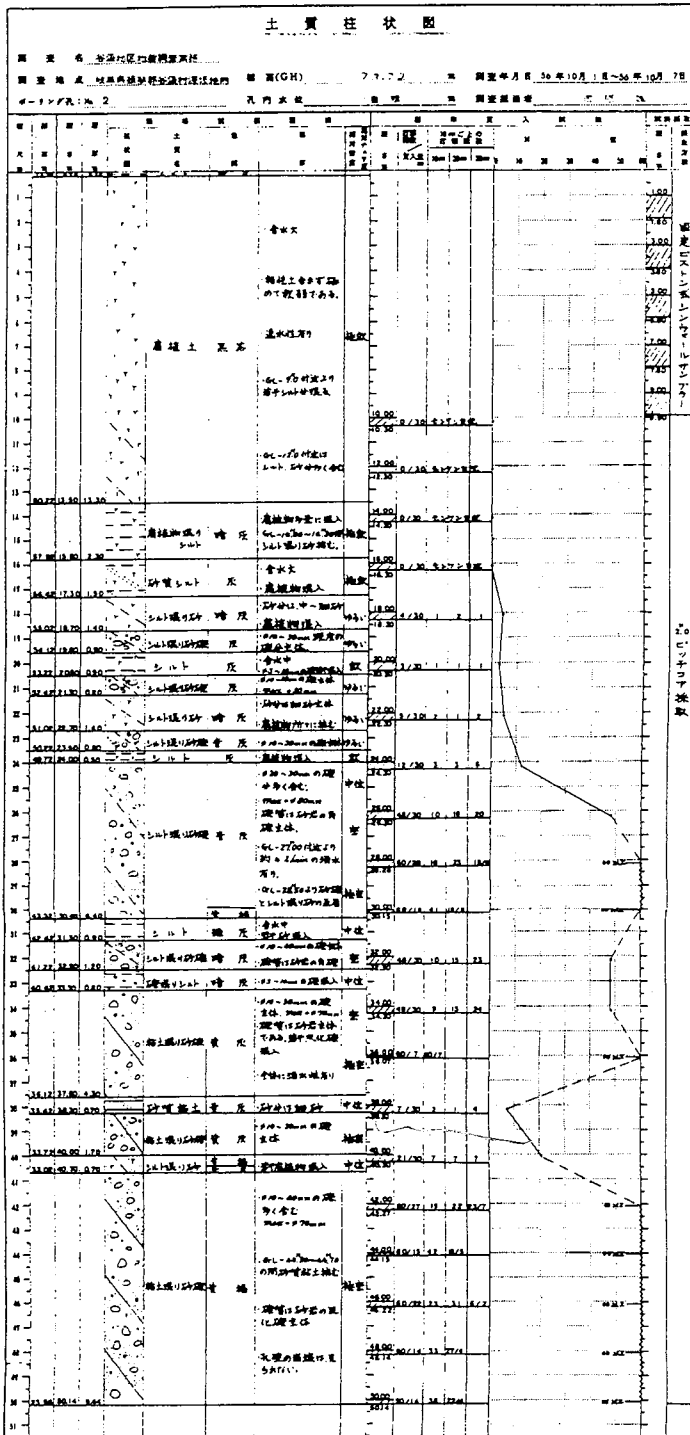


図-10 代表的なボーリング柱状図

「EPS工法」などを含めて試験施工が行われ、地盤の改良効果、工事費等が考慮され、図-12の横断面に示す「丸太枠組ALC工法」が採用された。施工約1年後の沈下量は、従来の丸太枠組ソダ工法の農道が約100mmであったのに対して、この丸太枠組ALC工法の農道は約1/10の10mm前後であった。

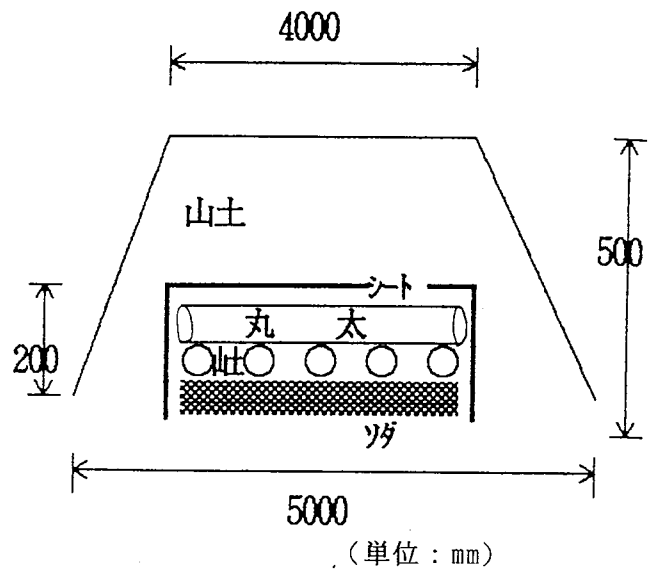


図-11 丸太枠組ソダ工法

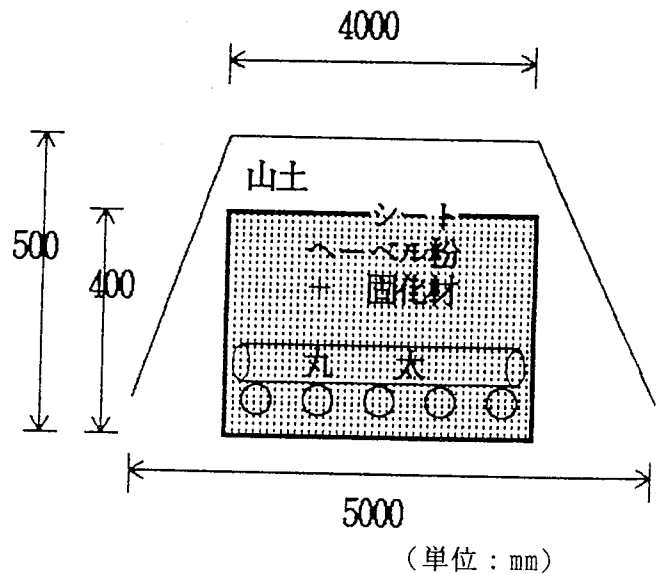
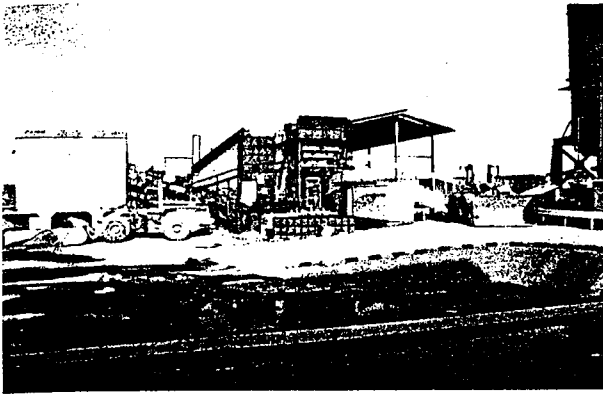


図-12 丸太枠組ALC工法

- 図-13にはその施工の様子を写真で紹介している。その手順は図に示すとおり、
- (a) ALC 廃材を破碎する
  - ↓
  - (b) そのALCはふるい分けられ保管
  - ↓
  - (c) 一時的にストックヤードに山積みされる
  - ↓
  - (d) 水とセメントを混合する



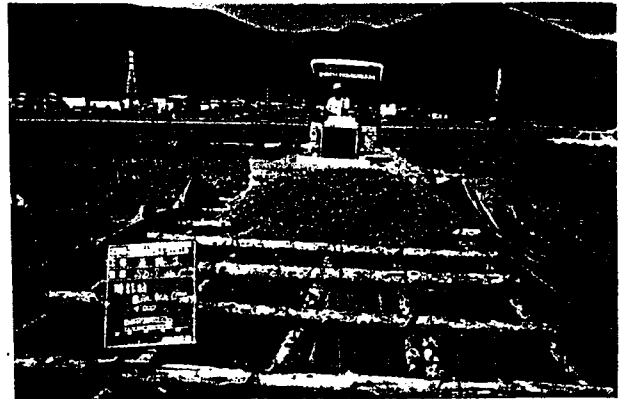
(a) ALC廃材の破碎



(e) 小型トラックで運搬



(b) ふるい分けられたALC



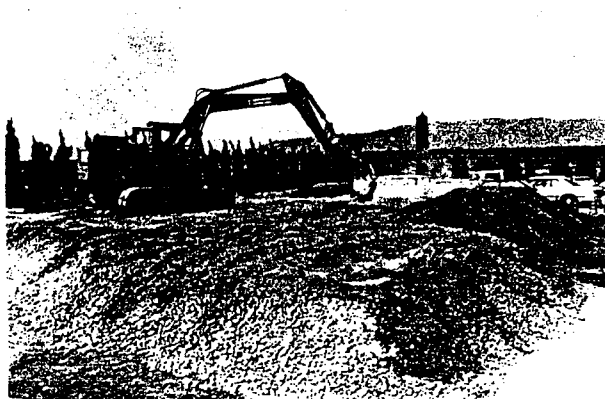
(f) 丸太枠組の中に敷均し、転圧



(c) スtockヤードに山積み



(g) 盛土完了



(d) 水・固化材混合

※この後、約10cmの山土を覆い農道として使用される。

図-13 施 工 順 序

- ↓  
(e) 現場が軟弱なので小型トラックで運搬する  
↓  
(f) 丸太枠組の中に敷均し転圧する  
↓  
(g) 盛土完了

この後、約10cmの山土を覆い農道として使用される。ただし、この現場では想定する最大荷重が、施工時の材料運搬用の4tトラックの接地圧であるため、セメント添加量は質量比でALC廃材の16%であった。

#### 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・酒井貴広・森田佳孝・窪田祐享・

和田 智：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研究発表会講演概要集，pp.359～360，1995.3.

- 3) 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研究発表会講演概要集，pp.361～362，1995.3.
- 4) 土質工学会：土質試験の方法と解説，pp.201～214，1990.3.
- 5) 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