

空き缶の軽量盛土材料への適用

後藤惠之輔¹・山中 稔²・持下 輝雄³

¹正会員 工博 長崎大学教授 大学院生産科学研究科システム科学専攻 (〒852-8521 長崎市文教町1-14)

²正会員 修(工) 長崎大学講師 工学部社会開発工学科 (〒852-8521 長崎市文教町1-14)

³長崎大学技官 工学部社会開発工学科 (〒852-8521 長崎市文教町1-14)

空き缶の土木分野への適用, 特に軽量盛土材への有効利用を検討した. この有効利用に際し問題となる, 空き缶単体の圧縮強度を求めるとともに, 実利用を考えて空き缶数本から構成される空き缶ユニットを作成し, 空き缶ユニットの圧縮特性について実験を行った. さらに, 空き缶ユニットで製作した空き缶道路路模型上を, 実際の車両である普通乗用車及びフォークリフトを徐行させる実荷重載荷実験を実施した. さらに, 長期的に放置した空き缶の圧縮強度試験より, 空き缶の腐食による強度低下について検討を行った. その結果, 空き缶の軽量盛土材料としての有用性を確認することができ, 空き缶からなる各種軽量盛土工法を新しく提案した.

Key Words: empty can, waste, recycle, lightweight material, road fill

1. 空き缶のリサイクルと散乱の現状

一般廃棄物の一つとして挙げられる飲料水用金属缶の消費量は, 1996年に384億本に達し, アルミ缶がその約4割を, スチール缶が約6割を占めている¹⁾. 近年では, リサイクル法が制定されるなど, 省資源化が重要な課題となり, 循環型経済社会への意向が強く求められている. アルミ缶は僅かなエネルギーで再生でき, 缶材として何回でもリサイクルできるなど, 他の容器にはない優れたリサイクル性を持っていることから, 近年, 日本における空き缶のリサイクル率は高まってきている.

1年間に発生する缶飲料の空き缶は, 1981年には100億本程度であったものが, 1997年には381億本を越える状況にある. 空き缶のリサイクル率は, アルミ缶で72.9% (1997年実績), スチール缶で82.5% (1998年実績)²⁾とすでに高いレベルに達していると言える. しかし, 道路脇や草むらに散乱する空き缶も未だに多く, 自然環境, 生活環境を悪化させている. 環境庁による1997年度空き缶散乱調査³⁾によると, 国道等幹線道路や一般道路で2.0個 (100m当り), 河川敷で5.2個, 公園・広場等では2.5個 (いずれも1,000m²当り) もの多くの空き缶が散乱し, 環境美化の観点から問題となっている状況が続くとともに, 空き缶の散乱状況は近年悪化の傾向にあるとしている.

各自治体においても空き缶の散乱防止対策は重要視しており, 例えば, 長崎県においては毎年6月のある日曜日を利用した県下統一行動「空き缶回収キャンペーン」を行い, 県民に対し普及啓発の推進を図っている⁴⁾. この空き缶回収キャンペーンでは, 約1,500千個, 重量約65トンもの空き缶がわずか一日で回収されており, 散乱する空き缶の多さがこのことから伺える.

このような背景のもと, これら空き缶が他の用途に有効利用できるすると, これら空き缶の散乱の低減に結びつくと考えられる.

2. 空き缶の利点と本論の目的

空き缶を大量使用する有効利用先としては, 建設素材としての適用がまず考えられるが, 未だほとんどなされていないのが現状である. 空き缶が建設素材として利用された研究としては, 後藤ら^{5), 6), 7), 8), 9)}による軽量盛土材料への適用や, 太田ら^{10), 11)}による橋梁床版材料への活用があるのみであり, 空き缶の建設素材への適用に関する研究はごくわずかであると言える. したがって, 今後はさらに, 省エネルギー面や環境面からも, 空き缶の大量使用が可能となる建設素材としての有効利用の研究を進めていく必要が大いにあると言える.

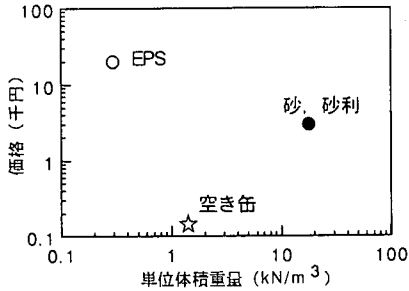


図-1 軽量材料としての空き缶の利点

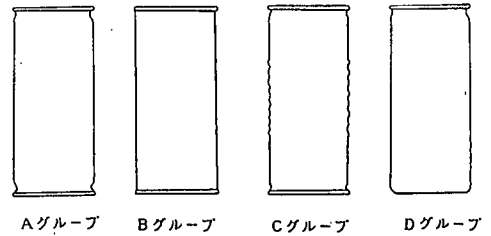


図-2 空き缶(旧タイプ)の形状

表-1 空き缶(旧タイプ)の規格

グループ	缶の材質	規格			溝の位置	仮想単位体積重量 (kN/m ³)
		高さH(cm)	直径D(cm)	質量m(g)		
A	スチール	13.25	5.30	50.00	上下	1.67
B	スチール	13.25	5.30	53.29	無	1.77
C	スチール	13.25	5.30	41.66	中	1.37
D	アルミ	13.30	5.27	30.19	上下	0.98

図-1に、空き缶と他の土木材料との比較を示す。空き缶の利点として、まず価格面の安さが挙げられる。捨てられている空き缶は人件費を考えなければゼロ円である。さらに空き缶は、単位体積重量が砂・砂利よりもはるかに小さく軽量性に優れている。現在、軽量盛土材料としてはEPS材が目目されているが、EPS材は他の土木材料と比較して高価な材料であると言える。したがってEPS材の他に低廉で強度が期待できる軽量盛土材料が実在すれば、その利用価値は大きいと考えられる。

一方、軽量盛土材料としては強度を有することも必要である。低廉で軽量性に優れた空き缶が、高い強度も有することが分かれば、空き缶の軽量盛土材料への期待がさらに増大する。

そこで、本論では、軽量盛土材料への適用を考える上で重要となる強度特性の解明を目的として、空き缶単体の圧縮強度を求めるとともに、実利用を考えて空き缶数本から構成される空き缶ユニットを作成し、空き缶ユニットの圧縮特性について実験を行った。さらに、空き缶ユニットで製作した空き缶道路模型上を、実際の車両である普通乗用車及びフォークリフトを徐行させる実荷重実験を実施した。

また、空き缶の利用においては、空き缶の腐食による強度低下が懸念されるために、長期的に放置した空き缶の圧縮強度試験より、空き缶の腐食による強度低下について検討を行った。

本論は、これら空き缶の圧縮強度特性ならびに腐食性試験の各実験結果をもとに、空き缶からなる各種軽量盛土工法を新しく提案しようとするものである。

なお、実験の実施時期により空き缶の形状や材質が変化したために、旧タイプ及び新タイプの空き缶それぞれについて検討を行っている。この空き缶のタイプの変化は、米ドル高を是正するプラザ合意(1985年)から日本経済の「バブル」がはじけ深刻な不況に陥った1990年までの、円高を背景としている。この時期に、国内ではいわゆるアメリカンサイズ(従来よりもひと回り大きいサイズ)が流行し、飲料用空き缶においても大きいサイズが好まれるようになった結果である。したがって、本論では1985年～1990年頃を境として、それ以前の空き缶を旧タイプ、それ以後のひと回り大きな形状の空き缶を新タイプと呼んでいる。

3. 旧タイプ空き缶の圧縮強度特性

(1) 空き缶単体の一軸圧縮試験

a) 実験に供した空き缶

実験に用いた空き缶は、商品別に見ると30種類以上になるが、大別してその材質と形状により4つのグループに分けることができる。空き缶はまず缶の材質によりスチール製とアルミ製に分けられる。さらに、スチール製のものには形状により3つのグループに分けられる。

そこで、図-2に示すように、スチール製で缶の上端と下端に溝があるものをAグループ、溝がないものをBグループ、中央部分が波形になっているものをCグループ、そしてアルミ製のことをDグループと分類した。

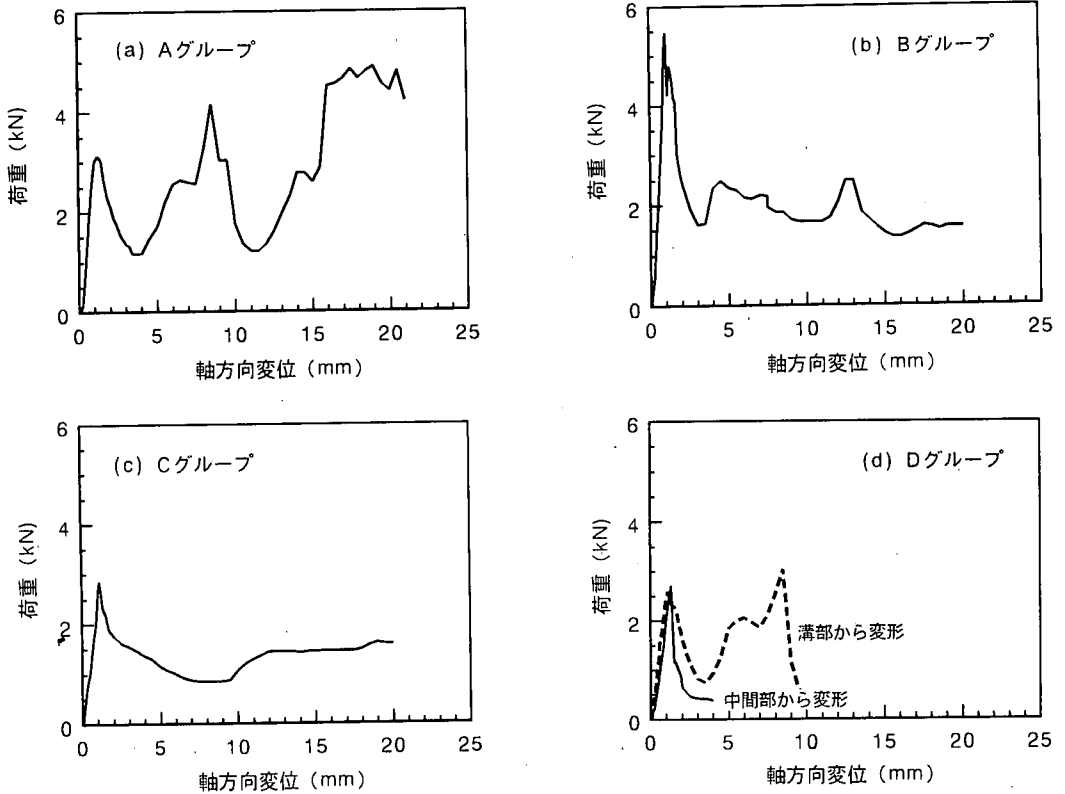


図-3 空き缶単体（旧タイプ）の荷重～変位曲線。

表-1に、これら各グループの缶の規格を示す。これら空き缶は、長崎大学構内とその周辺などで収集したが、各グループが総数に占める割合は、Aグループが82%であり、最も多く流通していることが判明した。

b) 一軸圧縮強度

各空き缶単体に対する一軸圧縮試験は、変位速度1mm/minの変位制御方式で実施した。

図-3(a)～(d)に、A～D各グループの荷重～変位曲線を示す。Aグループに属する缶は、前述のように缶の上端と下端に溝を有することが形状の特徴である。荷重～変位曲線におけるピークの現れ方はこの缶の形状に起因するもので、まず上端または下端の溝が変形することにより第1のピークが現れ、次にもう一方の溝が変形することにより第2のピークが現れる。そして最後に中間部分が変形して第3のピークとなる。Bグループにおいては、Aグループと異なり溝がないため最初から中間部分が変形するため、明らかなピークは1つしか現れない。一方、Cグループに属する缶は、中央部に複数の溝があり、その中の一つが変形することにより第1のピークが現れた後、連続的に溝部が変形していく。Dグループの空き缶は、上部の溝部から変形するものと中央部より変形する両タイプがあり、異なる変形曲線を描いた。これ

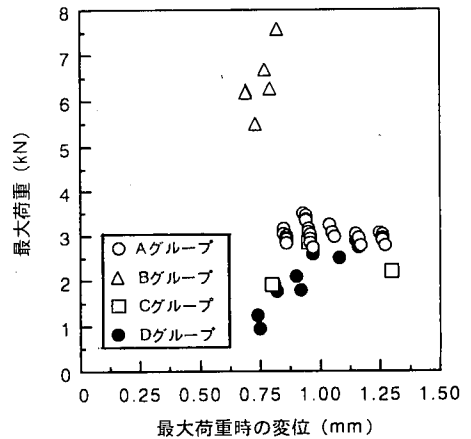


図-4 最大荷重と変位との関係（旧タイプ）

は、このグループの缶がアルミ製であり変形し易いので、実験前に受けたわずかな傷などが影響したものと考えられる。

以上のことから空き缶の変形特性は、その形状に密接に関係していることが分かった。そして実用面から判断して、以後、最初に現れるピーク時の荷重を空き缶の最大荷重とする。

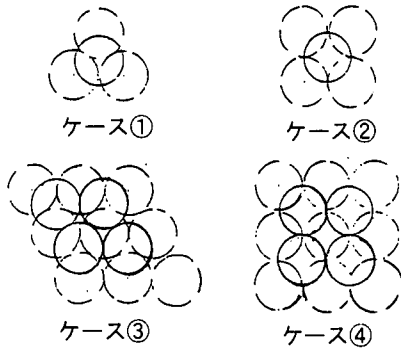


図-5 直接積み重ねた空き缶の配置 (旧タイプ)

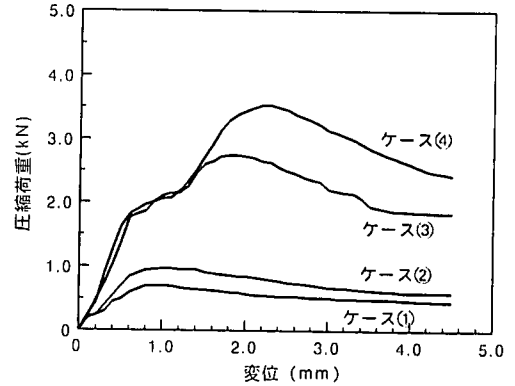


図-6 直接積み重ねた場合の荷重～変位曲線 (旧タイプ)

図-4に、各グループにおける最大荷重とそのときの軸方向変位との関係を示す。Aグループの最大荷重は比較的バラツキが小さく、Bグループは最大荷重の平均値でAグループの2倍、他のグループの3倍前後の値を示している。さらに最大荷重時の変位についてもBグループは他グループに比べて小さく、変形し難いことが分かる。Cグループは、スチール製の中で一番弱い結果となった。Dグループは、最大荷重にバラツキが大きく他のグループに比較して小さなものとなった。これはこのグループがアルミ製であるためであると考えられる。

以上、空き缶単体の一軸圧縮試験より得られた結果から、軽量盛土材の条件である「軽さ」についてはDグループが、また「強さ」という点ではBグループが最も適しているが、材料強度の均一性についてはAグループが優れている。しかし圧縮強度が期待でき数量的に豊富な、換言すると多量に散乱していると思われるAグループの缶を利用することが、環境の保全、資源の再利用に役立つと言える。したがって、旧タイプのなかでは、Aグループの缶が盛土材として最適であると判断される。

(2) 空き缶ユニットの圧縮試験

空き缶を実際に使用する場合には、空き缶を個々に配置することはせず、ある本数を積み重ねた形式や、ある空き缶本数のユニットとして設置する方法を用いることとなる。そこで空き缶を、直接積み重ねた形式の場合と、ユニット型式とした場合の一軸圧縮強度を測定した。

a) 空き缶を直接積み重ねた場合

空き缶を盛土材料として用いる場合には、空き缶を所定の盛土高さまで積み重ねて使用することとなる。この空き缶を直接積み重ねる形式は、構造はより単純であるが、積み重ねた際に缶の上下端部が点で接するために、この部分に応力が集中し、変形量が大きくなることが考えられる。そこで、積み重ね方法の違いによる圧縮強度への影響をみるために、図-5に示すように、缶を重ね

る形式を4ケースに分けて載荷試験を実施した。すなわち、ケース①とケース③が3点支持、ケース②とケース④が4点支持となっている。

図-6には、空き缶を直接積み重ねた場合の圧縮荷重と変位の関係を示している。まず、ケース①とケース②を比較すると、4点支持であるケース②の方が最大圧縮荷重が大きい。また、空き缶4本と9本の2層に積み上げた形式であるケース③とケース④を比較すると、同様に、4点支持であるケース④の方が高い圧縮強度を呈している。このことから、支持する点が多いほうが軸方向の荷重を均等に分散して下部に伝達し、荷重の集中による空き缶の局所破壊を防いでいることが分かる。すなわち、上部からの大きな荷重に耐え得るためには、空き缶の上下面を板などで挟むことにより、荷重伝達を均等にし、空き缶単体の有している圧縮強さを十分に発揮させる必要があると考えられる。

b) 上下面を板で挟む空き缶ユニットの場合

空き缶単体の圧縮強度を有効に発揮させるために、図-7に示すように、旧タイプの空き缶を2本～9本配置しユニットを作成した。用いた空き缶はAグループ及びDグループであり、1つのユニットは空き缶の上下面を厚さ1cmの鉄板で挟む形式とし、載荷試験時の荷重が空き缶に均等に分布するようにしている。

図-8には、Aグループの空き缶を用いた各ユニットの圧縮荷重～変位曲線を示している。曲線の形状はいずれの空き缶本数の場合とも、変位が進むにつれて荷重の伸びが大きくなる下に凸の形状をなしていることから、それぞれの空き缶が荷重を次第に分担している様子が読み取れる。また、空き缶本数が増えるにしたがい最大荷重は大きくなるが、最大荷重を呈した後は、空き缶本数が多いほど、急激な強度低下を示す。しかし、その強度低下量は最大荷重の1/2程度であり、変位がさらに進行するにしたがって、逆に強度が回復する挙動を示している。この強度の回復は、前述の空き缶単体の圧縮強度試

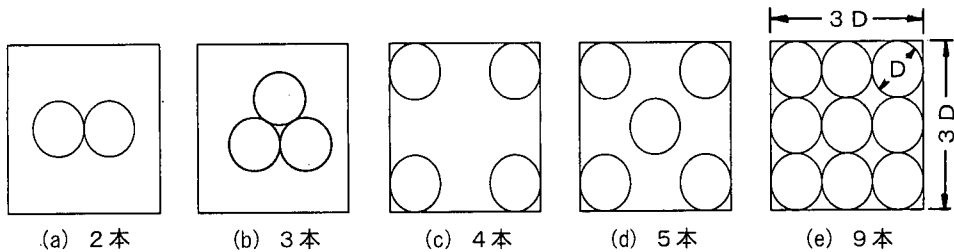


図-7 1ユニットにおける空き缶の配置

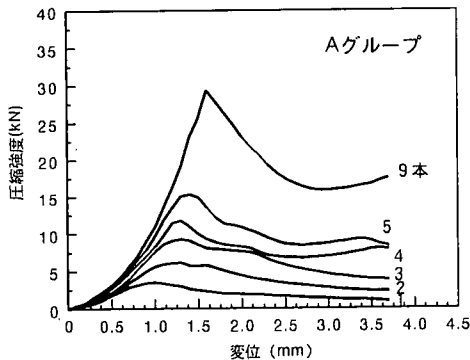


図-8 ユニットの荷重～変位曲線 (旧タイプ)

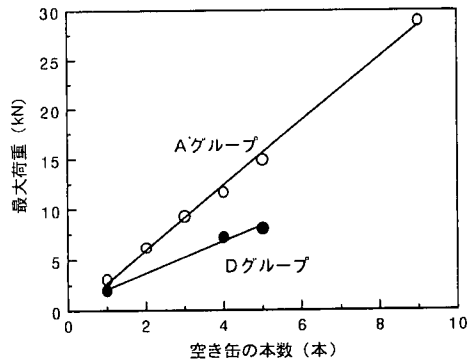


図-9 空き缶本数～最大荷重の関係 (旧タイプ)

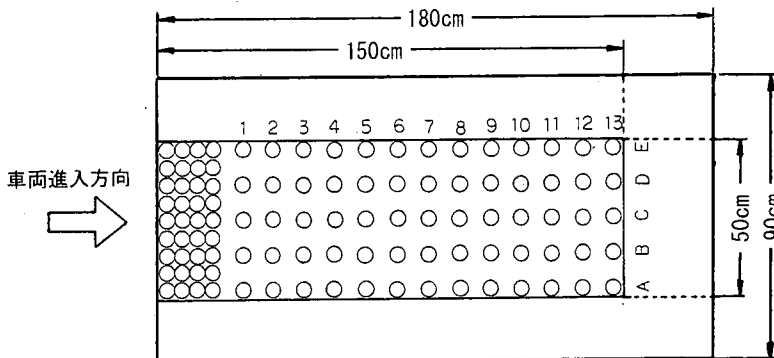


図-10 道路模型での空き缶の配置 (旧タイプ)

験結果から分かるように (図-3 (a) 参照), 空き缶の溝部の存在に起因するものと考えられる。

図-9に、Aグループ及びDグループの空き缶を用いた場合の空き缶本数と最大荷重との関係を示す。Aグループの最大荷重は、空き缶本数にほぼ比例して大きくなっていることが分かる。一方、Dグループの最大荷重は、空き缶単体の圧縮荷重×空き缶本数として計算される値を大きく下回る結果となっているが、これはDグループの空き缶の強度にばらつきが大きく、特に強度の低い空き缶がユニットに含まれていたためと考えられる。

積み重ね形式とユニット形式の相違が圧縮強度に及ぼす影響を調べるために、1層当りの空き缶本数が同じ4本において最大荷重を比較する。直接積み重ね形式が

3.5kN (図-6のケース④)、上下面を板で挟むユニット形式が11.67kN (図-9の4本) であり、明らかにユニット形式とした方が高い荷重に耐え得ることが分かる。

すなわち、空き缶を盛土材料として用いる場合は、局部破壊によって空き缶自体の強度を損なうことなく、また、荷重の均等な分散が可能となる、缶の上下面を板で挟むユニット形式とすることが望ましいと判明した。

(3) 空き缶道路模型での実荷重載荷実験

a) 道路模型と空き缶の配置方法

空き缶ユニットを組み合わせる道路模型を作成し、その模型上を、普通乗用車 (重量約10kN) の片側前輪と、フォークリフト (重量約21kN) の片側前輪・後輪を載荷

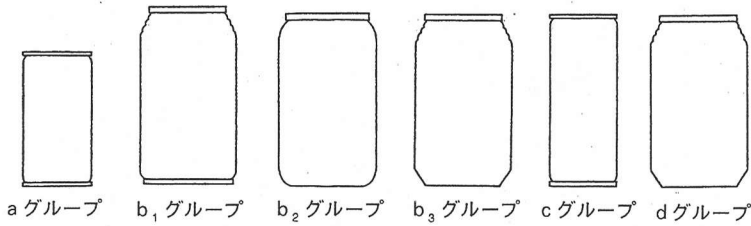


図-11 空き缶（新タイプ）の形状

表-2 空き缶（新タイプ）の規格

グループ	缶の材質	規 格			仮想単位体積
		高さH(cm)	直径D(cm)	質量m(g)	重量 (kN/m ³)
a	スチール	10.40	5.30	35.23	1.47
b ₁	スチール	12.22	6.58	57.02	1.37
b ₂	スチール	12.08	6.58	52.23	1.28
b ₃	スチール	12.22	6.58	32.90	0.78
c	スチール	13.25	5.30	50.15	1.67
d	アルミ	12.22	6.58	16.71	0.39

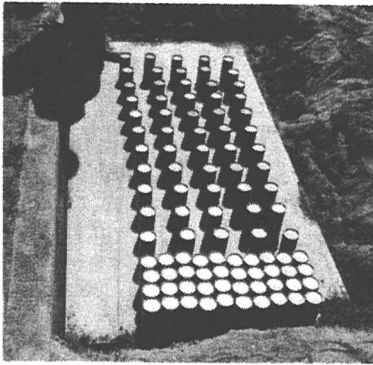


写真-1 道路盛土模型での空き缶の配列

させる実大載荷実験を実施した。

図-10に、空き缶道路模型の平面図を示す。使用した空き缶は、旧タイプで最も高い強度を呈したAグループを用い、1ユニット当りの本数4本に相当する配列とした（図-7(c)参照）。写真-1に示すように砂場を掘り下げた底面にベニヤ板（180cm×90cm×1.5cm）を敷き、その上に空き缶を正方形配列した。なお、車両の進入時に最初に輪荷重を受ける箇所には、偏荷重による変形を防ぐために空き缶を密に配列した。配列が完了した空き缶の上面には、鉄板（150cm×50cm×0.9cm）を被せて車両の走行面とした。

空き缶道路模型上の実車両走行実験後には、使用した空き缶の強度低下の有無を確認するために、ユニット内から空き缶をランダムに抽出し一軸圧縮試験を実施した。

b) 車両走行実験結果

普通乗用車の片側前輪と、フォークリフトの片側前輪・後輪を載荷させた結果、いずれの場合でも、道路模型に目視で分かる程の変形は生じなかった。ここで載荷重の大きさと空き缶ユニットの最大許容荷重の関係をみてみる。載荷重の大きさは、普通乗用車では車両荷重の1/4（片側前輪の輪荷重）である2.50kN、フォークリフトでは同じく5.25kNと計算できる。これに対し、空き缶4本からなるユニットの最大荷重は11.67kNであるため（図-9参照）、道路盛土が車両の載荷に対して変形しなかったのは当然の結果であると言える。

また、走行実験時の道路模型に使用した空き缶に対する一軸圧縮試験の結果からは、袖出した20本の最大荷重の平均値2.91kNに対し、未使用の空き缶では平均値2.97kNと若干の強度低下が生じている。しかし、使用した空き缶の傷の有無については、わずかに傷の付いた空き缶は全20本中で3本と少なく、さらにいずれも強度低下量は2%に過ぎないことから、ユニット全体の強度低下には直結しないと判断できる。

4. 新タイプ空き缶の圧縮強度特性

(1) 空き缶単体の一軸圧縮試験

a) 実験に供した空き缶

今後の空き缶の有効利用を考慮した場合には、旧タイプの空き缶は全体の量が少ないので、新しいタイプの空

表-3 空き缶単体（新タイプ）の平均最大圧縮強度

グループ	平均最大圧縮強度 (N)
a	2999
b ₁	3734
b ₂	3038
b ₃	1019

空き缶を用いて、旧タイプ空き缶と同様の検討を行った。なお、新タイプ空き缶の収集場所は、旧タイプ空き缶と同様に、長崎大学の構内とその周辺などである。

図-11に、新タイプの空き缶の形状を示す。新タイプの空き缶には様々な形状や材質があり、大きくa~dの4つのグループに分類できる。bグループは、形状により、b₁、b₂、b₃の3グループに細分化した。

表-2には、これらの空き缶の規格をまとめている。ここで、b₃及びdグループは、材質は異なるが形状は同じである。一方、cグループの缶は、最近あまり使われていない。また、dグループの缶はアルミ製であり、再利用が進んでいる。したがって、多く利用されているが再利用があまり進んでいないグループである、a、b₁、b₂、b₃のスチール缶を対象に実験を実施した。

b) 一軸圧縮強度

各グループの空き缶単体について一軸圧縮試験を実施した。また実用面から判断して、最初に現れるピーク時の圧縮荷重を最大荷重とし、最初のピークが現れた後、荷重を終了した。

表-3には、各グループの空き缶単体の得られた最大圧縮強度の平均値を示す。各グループの実験結果より、b₁グループの最大圧縮強度が最も大きいことが分かった。したがって、圧縮強度だけを考えた場合、軽量盛土材としてb₁グループが最も適していると考えられる。なお、前述の旧タイプの空き缶と比較すると、形状の違いはあるが、若干強度は新タイプの方が大きい値を示している。

また、道路脇やゴミ箱に多く散乱している空き缶をランダムに収集した結果、その個数はa>b₃>b₁>b₂グループの順になった。空き缶を盛土材として考える場合、aグループの空き缶は、平均最大圧縮強度がb₁グループより小さいが、bグループより直径が約1.3cm短いので、bグループより多く敷き詰めることができる。このことより、aグループは、資源の再利用という面から、盛土材として適していると考えられる。

b₂グループは、b₁グループより個数が少なく、圧縮強度も小さいため、盛土材としてb₁グループより不適當であるといえる。b₃グループは、アルミ製で柔らかく、側方からの外力によって簡単に変形を起こす。今回の実

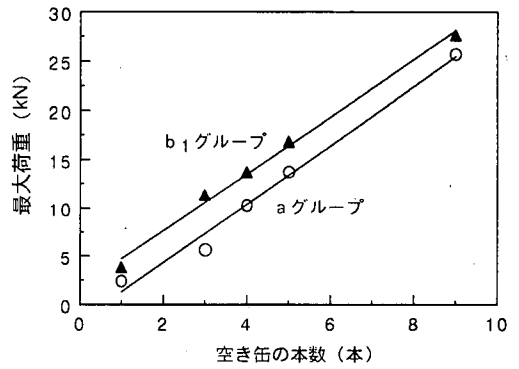


図-12 各ユニットにおける缶の本数と最大荷重との関係

表-4 各ユニットにおける空き缶の本数と載荷応力

空き缶の本数 (本)	aグループ (kPa)	b ₁ グループ (kPa)
3	294	284
4	422	353
5	549	432
9	1030	716

験においても、収集する段階において、既に変形や損傷を受けていたものが多かった。したがって、b₃グループは、軽量盛土材としては不適當であると判断した。

(2) 空き缶ユニットの圧縮試験

a) 空き缶ユニット及び実験方法

大型圧縮試験機を用いて、新タイプの空き缶からなるユニットの載荷実験を行った。ユニットにおける空き缶の配置は、旧タイプ空き缶の場合と同様である(図-7参照)。なお、実験には前述の4.の(1)において盛土材として適當であると判断した新タイプ空き缶のaグループ及びb₁グループを用いた。載荷においては、荷重が均等に空き缶に作用するように、空き缶の上下面と載荷ピストンの間には鉄板を挟んでいる。

b) 実験結果及び考察

図-12に、各ユニットにおける空き缶の本数と最大荷重との関係を示す。ユニットを構成する缶の本数に比例して、最大荷重も増加していることが明らかである。

また、表-4には、各ユニットにおける空き缶の本数と最大圧縮応力(最大荷重を断面積で除した値)を一覧する。

ここで得られた最大圧縮応力を用いて、実際の交通量を仮定して計算する。大型車の交通量が最も多いD交通(3,000台以上/日)を想定すると、輪荷重117.7kNによ

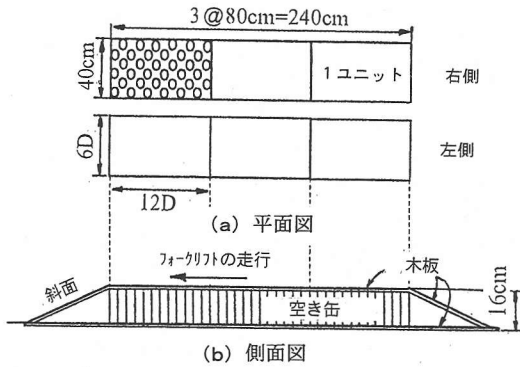


図-13 実大載荷実験における盛土模型

る接地応力は657kPa(接地半径24cm)である。1ユニット(3D×3D, D:缶の直径)の面積をaグループ:253cm², b₁グループ:390cm²とすると、表-4より、缶を9本敷き詰めた場合、aグループでは1030kPa, b₁グループでは716kPaとなり、いずれもD交通の輪荷重以上の値を有することから、大型車の場合であっても圧縮応力の面からは耐え得ることが分かった。

以上のことより、空き缶ユニットは、盛土材として十分な強度を持っていると言える。

(3) 空き缶道路模型での実荷重載荷実験

a) 実験方法

前節の各ユニットにおける載荷実験では、aグループ及びb₁グループの空き缶を用いたが、実大載荷実験は、強度が最も大きく断面積も大きい(1ユニットの面積が大きくなる)b₁グループの缶を用いて行った。

空き缶からなる道路模型は、空き缶の上下面を80cm×40cm×2cmの木板で挟み、それを1ユニット(6D×12D)とし、これを6枚(片輪3枚)制作した。1つのユニットは、空き缶を図-7(d)のように千鳥配置した形状となっている。このユニットにフォークリフト(重量約21kN)を載荷させ、ユニットが実荷重に耐えうるか否かを検討した。なお、実大載荷実験で用いた盛土模型の平面図と断面図を図-13に示す。また写真-2には、実験の状況を示す。

さらに、実大載荷実験後、各ユニットから空き缶をランダムに20本抽出して一軸圧縮試験を行い、載荷前後の圧縮強度の変化を求めた。

b) 実験結果及び考察

実大実験終了後、各ユニット及び空き缶の状況を観察した。その結果、ユニットが破壊したり、空き缶が変形したりしたものはなかった。

図-14に、実大実験終了後に行った一軸圧縮試験の結果を示す。

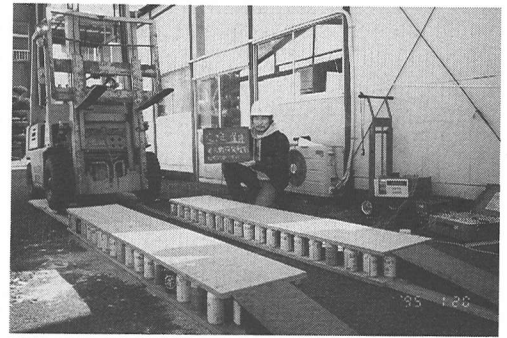


写真-2 フォークリフトによる実大載荷実験の様子

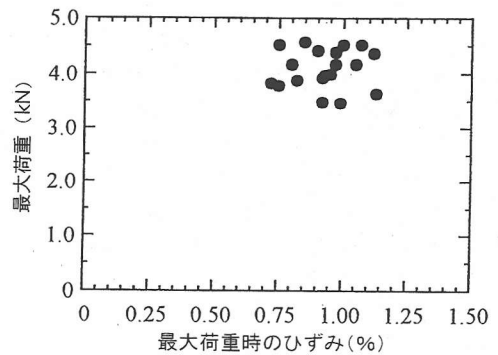


図-14 フォークリフト走行実験後の空き缶の圧縮強さの変化

果を示す。いずれの空き缶も最大荷重は3.5~4.5kNの範囲に分布し、b₁グループの缶の平均最大圧縮強度である3.7kNと同様の値を呈している(表-3参照)。また、最大荷重時のひずみも0.7~1.1%に集中していることから、著しい強度低下や局部的な変形を生じた空き缶はなかったことが分かる。

以上の結果から、今回の実大載荷実験によって、実際に空き缶ユニットがフォークリフトの輪荷重に十分耐えうるということが確認できた。

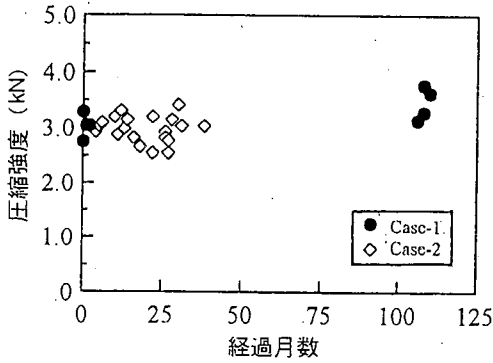
5. 空き缶の腐食性の検討

空き缶を軽量盛土材として利用するためには、その強度特性を把握することが、まず第一に求められる。空き缶単体の強度と空き缶ユニットの強度の両面からの実験の結果、空き缶が盛土材として要求される強度を十分に有することが確認された。

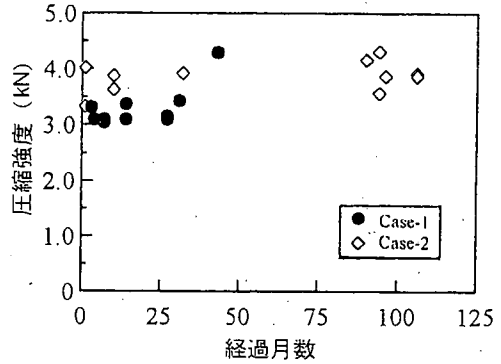
これと同時に、実際の施工に際しては、空き缶の腐食による強度低下に対する問題も非常に重要である。そこ

表-5 空き缶の寸法及び質量 (腐食性試験)

グループ	缶の材質	高さH(cm)	直径D(cm)	質量m(g)	仮想単位体積重量(kN/m ³)
α	スチール	10.40	5.30	35.23	1.47
β	スチール	13.25	5.30	50.15	1.67



(a) αグループ



(b) βグループ

図-15 経過月数と圧縮強度の関係

で、まず空き缶の圧縮強度の経時変化を調べ、時間の経過に伴う腐食の影響を把握した。さらに、その結果を踏まえて、空き缶ユニットの腐食対策についても検討した。

(1) 実験方法

室内で保存された空き缶及び、長崎市内の都市公園である稲佐山公園など、屋外に放置された(捨てられた)空き缶について、それぞれ時間の経過に伴う一軸圧縮強度の変化を測定した。すなわち、室内で保存した場合(風雨にさらされない状態:Case-1)、屋外に放置した場合(風雨にさらされた状態:Case-2)の、2種類の空き缶について圧縮強度の経年変化を求めた。

なお、実験に際しては、空き缶の形状の違いによる2グループ(α,β)を設定し、表-5に、各グループの空き缶の寸法及び質量を示す。すなわち、高さや質量が大きく異なるグループで実験を行った。

(2) 実験結果及び考察

図-15(a),(b)に、所要月数経過後における、α及びβグループの空き缶の一軸圧縮試験結果をそれぞれ示す。α及びβグループにおいて、Case-1, Case-2 いずれのケースともに、圧縮強度の顕著な低下はないことから、腐食による強度低下はほとんど生じていないことが分かる。

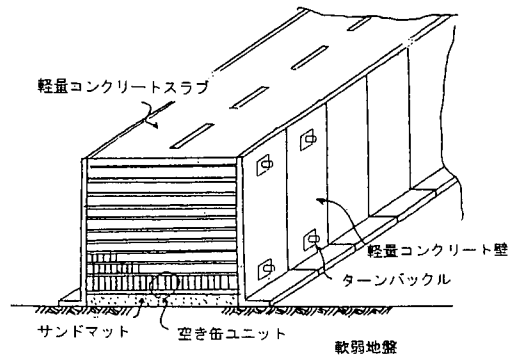
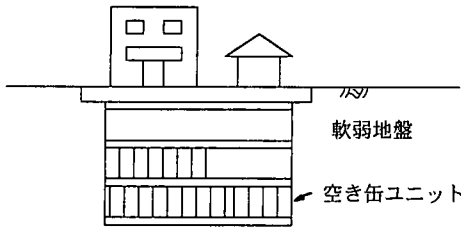


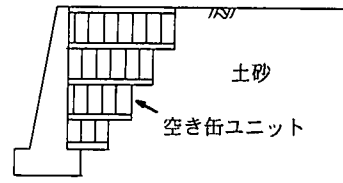
図-16 空き缶を用いたプレファブ道路盛土

(3) 腐食対策の検討

前項より、腐食による空き缶の強度低下は100カ月程度(約8年間)の屋外放置でも、ほとんど見られないことが明らかとなり、腐食対策は必要ないと言える。しかし、空き缶が常に水中にある場合や、塩分を含む海水の影響等を受けるような、より腐食し易い環境に空き缶が長期間さらされる場合には、空き缶の腐食対策を講じる必要がある。この場合の腐食対策としては、例えば、空き缶の亜鉛によるメッキ処理や、空き缶ユニットを不透水性の不織布で包んで水に接しないような方法が考えられる。



(a) 小中規模構造物基礎地盤



(b) 擁壁背面裏込め材

図-17 その他の軽量盛土工法の提案

6. 空き缶軽量盛土工法の提案

本論では、空き缶を軽量盛土材として有効利用する場合に解決されなければならない問題のうち、圧縮強度及び腐食性の問題に関して室内実験及び実荷重載荷実験を実施した。すなわち、まず、空き缶単体の一軸圧縮試験を行い、空き缶の強度特性を明らかにした。また、様々な空き缶ユニットを製作し、大型圧縮試験機を用いて、空き缶ユニットの強度特性を把握した。さらに、空き缶ユニットからなる道路模型に普通乗用車とフォークリフトを載荷する実荷重載荷実験を実施し、空き缶ユニットがその荷重強度に耐えうることを確認した。

実際に軽量盛土材として使用されている発泡スチロールと比較すると、発泡スチロールの圧縮強度はひずみ5%のときに約40~400kPaである¹²⁾のに対し、空き缶をユニットとして敷設した場合には、約350~550kPa(図-7(c), (d)の配置, 新タイプ空き缶で)と1.4~14倍もの大きな強度を有しており、ひずみも1%程度と小さい。軽量性の面では、空き缶(スチール缶の場合で1.47kN/m³)は発泡スチロール(0.20~0.40kN/m³)ほど軽量ではないが、他の軽量化を目的とした流動化材料等と比較すると1/2~1/10程度とかなり軽いと言える。価格面においては、発泡スチロールが他の材料と比して高価であるのに対して、空き缶は非常に低廉である(廃棄されている空き缶そのものはただである)。

一方、空き缶は腐食性の問題があるが、これも室内及び屋外における100ヶ月(約8年)間の放置実験の結果から、強度低下は見られないことが明らかとなった。すなわち、空き缶ユニットを、10年程度の仮設の盛土材として用いることは、十分に可能であると言える。

以上のことから、本論の結果を踏まえて、空き缶を用いた新しい軽量盛土工法を提案する。

まず、図-16に、提案する空き缶ユニットを用いたプレファブ道路盛土工法の概念図を示す。すなわち、軟弱地盤上であるとしても、軽量の空き缶ユニットを重ね合わせることで、道路盛土(構造物)を構築すること

ができ、かつ側面も垂直壁とすることが可能であるため、狭隘な土地であっても施工が可能となる。さらに、予め空き缶ユニットを製作しておくことにより、災害復旧時の応急工事にも適用できる。

さらに、空き缶の軽量性と高強度の特徴を活用して、図-17(a)に示す小中規模構造物の基礎地盤としての利用や、図-17(b)のように擁壁背面の裏込め材料として用いることにより擁壁への土圧軽減効果が期待できる。ただし、これら2つのケースにおいては、空き缶が水に接しやすい条件にあることから、5.(3)のように腐食対策を検討しておく必要があると言える。

7. 期待される本研究の波及効果

本研究では、空き缶を短期(仮設的)から比較的中期に使える建設材料として有効利用することを提案している。しかし長期的な観点からは、空き缶の腐食に伴う力学的な挙動は未だ未解明な点が多く、本論で提案している空き缶盛土軽量工法を、永久構造物に適用することについては言及していない。また、短期的な観点においても、実用に際しては、舗装部等の死荷重によるクリープに対する安全性、繰り返し荷重に対する耐久性、水平荷重に対する安全性、空き缶と上下版との連結方法、耐震性、騒音性、施工性等、今後検証すべき項目は多く残っていると見える。

また本研究に残された課題として、空き缶を本提案工法により短・中期的に有効利用しても、長期的には、再度、空き缶が廃棄物として排出され、リサイクルの必要が生じてくることが挙げられる。しかし、空き缶に限らず廃棄物のリサイクルにおいては、リサイクル方法の開発とともに、廃棄物に対する市民意識の変化をもたらすことも重要であると言える。すなわち、廃棄物に極力しない工夫、物を大切にしている意識、さらには、廃棄したごみが、その後どのように処分あるいは利用されるかを見届けようとする意識等を、排出側である市民や事業者

もたらすことも重要であると言える。

本研究では、空き缶が軽量盛土材料として十分適用可能であることを述べたが、本研究によって様々な波及効果が生じると考えられる。以下に、期待される本研究の波及効果を示す。

- 1) 廃棄された、もしくは廃棄されようとする空き缶を用いることにより、空き缶のポイ捨てを防止することができ環境保全が進むといえる。
- 2) 空き缶を有効利用することにより、資源のリサイクルに貢献できる。
- 3) 空き缶を潰すことなくそのままの形状で使用することにより、加工するエネルギーを節約できる。
- 4) ごみに対する市民意識の変化をもたらし、空き缶だけでなく、他のごみをも有効利用を進めようとする意識の向上に結び付く。

本研究の成果が、年々深刻化している環境問題の解決策の一つになれば幸いである。

謝辞：本研究の遂行において、実験に協力を頂いた本学卒業生の向井逸平、村田 裕、松村明博、岩永清吾の各氏に深甚の謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) アルミ缶リサイクル協会：アルミ缶リサイクル協会資料，1999。
- 2) 空き缶処理対策協会：空き缶処理対策協会資料，1999。
- 3) 環境庁：環境白書（各論），pp. 151-152，1999。
- 4) 長崎県生活環境部：環境白書（平成10年度版），pp. 106-107，1999。
- 5) 後藤恵之輔，棚橋由彦，持下輝雄，向井逸平：空き缶を利用した軽量盛土工法，第22回土質工学研究発表会発表講演集，pp. 1693-1694，1987。
- 6) 後藤恵之輔，持下輝雄，向井逸平，松村明博：空き缶を用いた道路づくり，地域連合研究発表会，廃棄物学会・資源環境連合部会，pp. 371-378，1994。
- 7) 後藤恵之輔，山中 稔：空缶の軽量盛土材としての有効利用，生活・産業廃棄物の建設材料へのリサイクルに関する研究，平成5・6年度科学研究費補助金（試験研究(B)）研究成果報告書（研究代表者・棚橋由彦），pp. 3-15，1995。
- 8) 後藤恵之輔，杉山和一：空缶ユニットの耐腐食法の開発，同上，pp. 16-23，1995。
- 9) Gotoh, K., Yamanaka, M. and Mochishita, T. : Utilization of Empty Steel and Aluminum Cans as a Light Fill Materials in Roads Construction, *Proc. 4th Int. Symp. on Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development*, Boston, USA, pp. 375-381, 1998.
- 10) 太田俊昭，日野伸一，山田岳史，財津公明，太田貞次：リサイクリング橋（空き缶廃棄物を封入した軽量合成床版橋）の開発に関する基礎的研究，土木学会第48回年次学術講演会講演概要集，VI-143，pp. 306-307，1993。
- 11) 太田俊昭，日野伸一，荒瀬健介，山田岳史，太田貞次，財津公明：廃棄物の土木材料へのリサイクル化に対する一つの試み～空き缶廃棄物を用いた軽量合成床版橋の開発～，土木構造・材料論文集，No. 9，pp. 83-91，1993。
- 12) 地盤工学会：軽量地盤材料の物性と適用の現状，軽量地盤材料の物性評価に関する研究委員会，p. 4，1998。

(2000. 6. 12 受付)

APPLICATION OF EMPTY CANS AS A LIGHT FILL MATERIAL

Keinosuke GOTOH, Minoru YAMANAKA and Teruo MOCHISHITA

In order to utilize empty cans in construction as a lightweight fill material from point of scatter prevention and recycle of empty drink cans views, a feasibility study used these empty cans was carried out. These cans used in this study were ones of old and new types with regard to their shape and material. This paper presents compressive tests of one empty can, a unit composed of several empty cans, real load test running an automobile and a forklift upon the road model combined these empty cans, and unconfined compressive tests were carried out in order to discuss a fall of strength induced by corrosion. Results indicate these empty cans can be considered as one of most recommended alternatives in construction due mainly to their lightweight, high strength and low price.