

林道建設のための地還型自己崩壊コンクリート ブロックの設計, 製造と載荷

学籍番号:1160091 氏名:高山大輝 指導教員:大内雅博

高知工科大学システム工学群建築都市デザイン専攻

要旨: 木質バイオマス発電により発生した木灰を用いて, 地還型自己崩壊コンクリートのブロック (Self-Degradable Sustainable Concrete block 以下 SDS ブロック)を開発した。載荷による欠けを抑制するために形状を正六角柱にすることで, 締め固めやすくなり型枠内への充填性が向上した。軽トラック輪荷重による圧縮力に耐える強度であることを確認した。即時脱型方式により必要型枠数を少なくすることが出来た。ブロックの拘束条件を変化させて実車両の載荷試験を行い, ひび割れや摩耗, 端部の欠け, そして衝撃による崩壊を確認した。

Key Words : 木灰, 肥料, 地還型自己崩壊コンクリート, T 荷重, 即時脱型, 拘束, ひび割れ, 欠け

1. はじめに

高知県は県土の 84%が森林であり林業が盛んな地域である。この特徴を生かした木質バイオマス発電所から発生した木灰は肥料として用いることが出来る一方, さらに有効な活用が求められている。

本研究では, 「木灰」から「木材」へつなげる技術として, 地還型自己崩壊コンクリートブロックを開発する。木灰を用いて林道(森林作業道レベル)用の舗装ブロックとして地還型自己崩壊コンクリート

(Self-Degradable Sustainable Concrete) ブロック (通称 SDS ブロック) を製造し, 合理的な林道整備により, 樹木間伐・伐採作業と運搬の効率化を図る。さらに, SDS ブロックは, 車両の荷重や雨風による分解・風化によって崩壊し最終的に木灰の肥料成分として自然に散布されて森林の樹木育成促進の肥料とすることを意図している。それにより生育した木材が再び発電に用いられる。資源の循環と林業の活性化が目標である。

2. SDS ブロックの前提条件

SDS ブロック開発にあたり, 以下の条件を設定した。すなわち,

- ①ブロックの材料は, 自然にあるもの, または, 農業用に通常に散布されるもののみを用いる。
- ②作業が単純で, 特別な機械も必要なく, 路盤工事不要, 敷くだけで道になるブロックとする。
- ③林道の中でも末端の小規模な作業道敷設用ブロックとする。

3. 使用材料

主な材料は木質バイオマス発電所から発生した木灰である。木灰は製造過程により, 「主灰」「リドリング灰」「飛灰」の 3 種類に分類される。発生比率は, 順に 7:1.5:1.5 となっている。発電所から木灰が送られてくる際に, 主灰とリドリング灰は同じ袋で届くのでこの 2 種類は届いたままの状態で使用する。しかし, 木灰と水のみでは硬化しないことが分かったので, 畜産農家や農家で土の消毒として使用されている消石灰を用いることとした。

表-1 使用材料

水	水道水	
消石灰	工業用消石灰 密度 2.21 g/cm ³	
木灰	主灰	発生比率 70% 密度 1.97g/cm ³
	リドリング灰	発生比率 15% 密度 2.43g/cm ³
	飛灰	発生比率 15% 密度 2.23g/cm ³



図-1 主灰



図-2 リドリング灰



図-3 飛灰

表-2 木灰に含まれる肥料成分

	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O(%)	CaO(%)	MgO(%)
主灰	2.2	6.0	38.6	6.3
リドリング灰	1.9	5.3	32.5	5.4
飛灰	1.6	30.0	26.2	3.2

4. SDS ブロックの形状・寸法

地還型自己崩壊コンクリートの強度は一般のコンクリートよりも低いことが分かった。正三角柱などの角が鋭角なものほどブロックの角が人の手でも折れるくらいに壊れやすいと予想した。そこで、角が鈍角である正六角柱を選択した。正六角柱にすることにより、角が壊れにくくなるだけでなく、締め固めのし易さが向上した。さらに、隣のブロックと接する辺が多くなり、ブロック同士の密着性が向上し、路面の安定にも寄与できると考えた。寸法は、既存の舗装ブロックであるインターロッキングブロックの大きさを参考にし、人の手で持ち運ぶことが出来る寸法で試作した。同じ厚さであれば寸法が小さいほうが載荷による曲げ応力が小さくなり、ひび割れ抵抗性を大きくすることも意図した。



図-4 ブロックの形状

表-3 寸法

1辺の長さ	9cm
厚さ	8cm
平面積	210.4cm ²
体積	1.68ℓ
質量	2.8kg

5. SDS ブロックの強度

既存の舗装ブロック（インターロッキングブロック）の品質規格では、曲げ強度が 5N/mm² 以上と定められており、舗装ブロックの機能性や長期的な使用を考えた強度が定められている。一方、SDS ブロックは、短期的な使用で、舗装ブロックの機能性に加えて、自己崩壊性にも期待するため、最低限、圧縮破壊しない強度とした。ブロックにかかる最大の荷重として、車両の荷重について考える。車両の荷重は、T 荷重で定義される車両総重量 25 ton (250 kN) に相当する荷重「T-25」を想定した。車両の荷重配分は前輪が 10%、後輪が 40% である。これより、以下の値を求めた。

- ① 輪荷重：車輪からの荷重が一点に作用するとした荷重

$$\text{後輪荷重} = 250 \text{ kN} \times 0.4 = 100 \text{ kN}$$

- ② 車輪の接地圧：車輪からの荷重を接地面積（幅 500 mm × 長さ 200mm）で割り、接地圧力とした荷重

$$\text{後輪接地圧} = 100 \text{ kN} / (500 \times 200) = 1 \text{ N/mm}^2$$

以上より、SDS ブロックは圧縮強度 1 N/mm² 以上であれば圧縮破壊はしないと予想した。

③ 引張側縁応力度

引張側縁応力度は、以下の断面のスパン L に等分布荷重 w がかかり、両端に反力がかかると仮定して求めた。

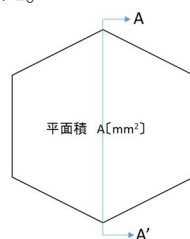


図-5 平面図

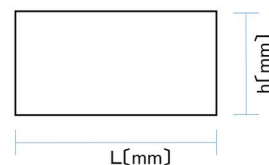


図-6 A-A' 断面図

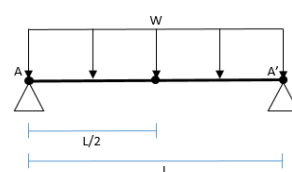


図-7 応力図

引張側縁応力度 σ_t

$$\begin{aligned} \sigma_t &= M_{\max} / Z \\ &= 3A / 4h^2 \text{ (N/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

引張側縁応力度は以上の式から求めた。

表-3 で示したブロックの寸法の引張側縁応力度は、

$$\sigma_t = 2.47 \text{ N/mm}^2 \text{ である。}$$

④ 引張強度 σ_b

コンクリートの引張強度は圧縮強度の 1/10 であることから、現状の SDS コンクリートで最も高い圧縮強度である 2.7 N/mm² の 1/10 を SDS コンクリートの引張強度とする。よって、SDS ブロックに必要なコンクリートの引張強度は、

$$\sigma_b = 2.7 \text{ [N/mm}^2\text{]} \times 1/10 = 0.27 \text{ N/mm}^2 \text{ となった。}$$

現在試作しているブロックの寸法では $\sigma_t > \sigma_b$ となるため、ひび割れが生じると予想した。 $\sigma_t < \sigma_b$ にするためには、平面積を小さくするか、厚さを厚くする必要がある、1 辺の長さに対する厚さが厚くなりすぎて実用性が無くなってしまふ。

最終的にはブロックが崩壊して肥料となることを目的としているため、車両の荷重によるひび割れや欠けは許容しても良いと考えた。ひび割れや欠けた箇所から雨風による風化・分解が進み、肥料成分の散布も期待できる。

しかし、車両走行に支障をきたすようでは問題があるため、設置の際に隙間無く敷き詰めてブロックの拘束を強くするなど、簡単には壊れないようにする工夫が必要であると考えた。

6. SDS ブロックの配合と製造方法

ブロックの製造フローを示す(図-8)。

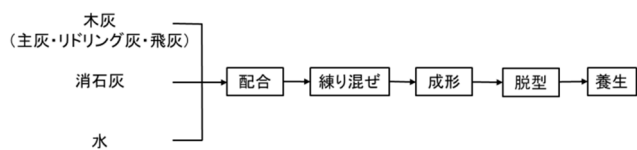


図-8 SDS ブロックの製造フロー

SDS コンクリートの配合を示す(表-4)。木灰中の3種の灰の構成比率を木灰の発生比率と同様にし、即時脱型をするために練り上がりがスランプ0の状態となるように消石灰添加率と水比を決定した。

表-4 配合

水(kg/m ³)	消石灰(kg/m ³)	飛灰(kg/m ³)	主灰(kg/m ³)	リドリング灰(kg/m ³)
343.1	253.7	113.7	808.9	168.8
木灰比率 (主灰+リドリング灰:飛灰)			消石灰添加率(%)	水比(%)
8.5:1.5			18	25

型枠内に充填・締め固め後、ただちに脱型する即時脱型を行った。型枠面内に予めビニール袋を敷くことで、脱型時に型枠を分解する必要がなくなり、型枠使用の効率が上がった。なお、ビニールを被せて充填する際、角までしっかり締め固めをしないと角まで充填できていないときがあったので注意が必要であることが分かった。



図-9 充填前型枠(ビニール袋)

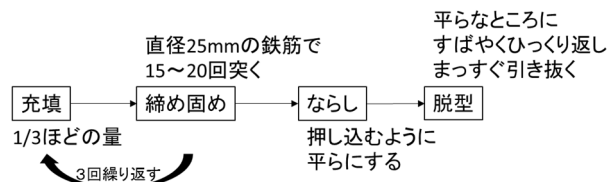


図-10 即時脱型

7. 走行試験

製作した SDS ブロックを屋外に敷設し、実車両の走行試験を行い、ブロックの物理的な破壊の様子を観察した。

表-5 試験に用いたブロックの仕様

1辺の長さ	厚さ	重さ	圧縮強度(4週)	引張強度
90mm	80mm	2.8kg	2.43N/mm ²	0.24N/mm ²

砂利が敷いてある地面に砂を薄く敷き、その上にブロックを設置した。車両が通過したときにブロックが左右へ逃げないように端部拘束をした。ブロックの拘束条件の変化による影響を確認するため、目地砂の有無による比較をした。目地砂は、インターロッキングブロック舗装に用いられており、目地砂によって隣接するブロックの噛み合わせと端部の拘束が一体となり、荷重を伝達・分散させる効果があると言われている。

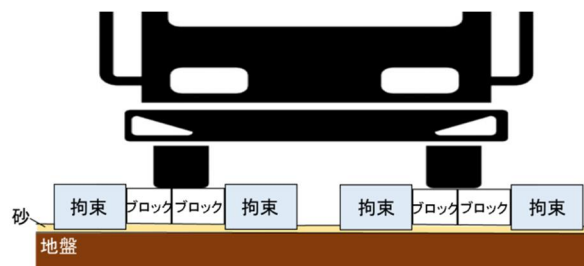


図-11 載荷試験イメージ

車両による載荷試験は、以下の3パターンで行った。

- ① 走行車両：軽トラック(0.8t) 目地砂あり
- ② 走行車両：軽トラック(0.8t) 目地砂なし
- ③ 走行車両：フォークリフト(2.5t) 目地砂なし



図-12 目地砂有り



図-13 目地砂無し

8. 結果予想

タイヤの接地面積 200mm×160mm としてそれぞれの車両によるブロックに生じる圧縮応力を求めると、
軽トラック(0.8t)

車両総重量	8kN
後輪荷重	3.2kN
後輪接地圧	0.1N/mm ²
引張側縁応力度	0.25N/mm ²

フォークリフト(2.5t)

車両総重量	25kN
後輪荷重	10kN
後輪接地圧	0.31N/mm ²
引張側縁応力度	0.77N/mm ²

軽トラックもフォークリフトも引張側縁応力度が引張強度を上回っているのに、拘束が無ければ、どちらも走行時にブロックにひび割れが生じると予想できた。軽トラックでは引張強度と引張側縁応力度の値が近いので、ひび割れするまで時間を要すると予想した。一方、フォークリフトではすぐにひび割れが生じ、崩壊すると予想した。

9. 載荷結果

目地砂を充填することでブロックが拘束され、車両荷重がかかっても曲げ破壊によるひび割れが生じず、ブロックに変化は見られなかった。

一方、目地砂無しでは拘束が小さく、車両荷重によりブロックのグラつきがあった。その際、隣接するブロックとの摩擦により角の欠けが始まり、それを契機に車両荷重によるひび割れや、ブロックの位置移動による隙間に荷重が作用して破損が確認できた。最後に、段差によって生じた衝撃による崩壊を確認した。最終的には図-15のような状態となった。予想とは異なり、ブロックのひび割れは一部にしか見られなかったが、角の欠けが多く確認できた。なお、ひび割れや欠けによる車両走行には問題は認められなかった。



図-14 載荷前



図-15 載荷後



図-16 隣接するブロックの摩耗による欠け



図-17 ひび割れ



図-18 ブロックの隙間への車両荷重による欠け



図-19 衝撃による崩壊

10. 結論

- (1) ブロックの角を欠けにくくすることを意図して形状を正六角柱とし、これが締め固めやすさにつながった。
- (2) 即時脱型を可能にするフレッシュ時の硬さとして、型枠使用の効率化を図った。
- (3) 荷重による圧縮破壊を防ぐ強度を計算で求め、実車両による載荷試験により確認した。重量2.5tの車両走行が可能なブロックを製作できた。
- (4) ブロック間に目地砂を充填することで、荷重によるブロックの損傷を抑制することが出来た。
- (5) 拘束を緩めることにより、車両荷重による端部の欠け、摩耗、ひび割れ、そして衝撃による崩壊を確認した。