

# 木屑を混入した気泡混合軽量土の基礎的研究

防災設計工学研究室 小林 与基  
指導教官 海野 隆哉

## 1. はじめに

現在、鉛筆の生産過程で発生する木屑は、産業廃棄物となって処分されている。木材が軽量性に優れた材料であることに着目し、高強度を必要としない気泡混合軽量土(以下、軽量土)に混入する事で更なる軽量化と補強効果が期待でき、軽量土の更なる適用性の拡大に繋がると同時に環境問題の解決に寄与できる事になり社会的にも大きく貢献する事が可能である。そこで、木屑混入気泡混合軽量土(以下、木屑混入軽量土)を実務に適用するに当たって必要な物性の評価と適用法の調査が必要となる。本研究では、その基礎的研究として、木屑の混入によるモルタルの密度変化、木屑混入による軽量土の強度特性の変化を調べた。

## 2. 木屑について

一般的に鉛筆に使用されている木材は、アメリカのカリフォルニアで産出されるヒノキの一種である針葉樹のインセンスシダーである。鉛筆生産工程において、スラットと呼ばれる平板2枚で鉛筆芯を挟み込み、そこから任意の鉛筆形状に削り、切り離す際に木屑が発生する。気乾比重は、0.35~0.37であり、強度は木材の中でも比較的弱く、特に衝撃に弱い。本研究で対象とする木屑は運搬し易いようブロック状に加工されているため、本研究では、素手で細かく砕き、4.75mmのふるいを通したものを使用した。

## 3. 木屑の混入によるモルタルの密度変化

### (1) 試験条件

木屑混入による密度の変化を調べるため、軽量土内に木屑を混入する必要がある。しかし、軽量土内に気泡を正確に混入する事は困難である。そこで、木屑混入による密度変化が明確に現れるようにするため、表-1に示した配合に基づいて気泡を混入しないモルタルスラリーに木屑を混入した供試体を作製し、木屑混入量の影響を確認する実験を行った。なお、練り混ぜ直後には、空気量(消泡法)、生比重の品質管理試験を行い、室温

20の恒温室で気中養生後(50×125の供試体)体積と重量を測定して硬化後の密度を求めた。密度は、気中養生後、2日おきに2本ずつ材令28日まで測定した平均値とした。配合は、木屑混入量のみを変化させた6つのケースで行った。

表-1 配合表

Case	粘土(kg)	固化材(kg)	混練水(kg)	木屑(kg)
1	240	240	345	0
2	240	240	345	10
3	240	240	345	20
4	240	240	345	30
5	240	240	345	40
6	240	240	345	50

### (2) 試験結果

#### 空気量測定

図-1に木屑混入量と空気量の関係を示す。図-1より、木屑混入量の増加に伴い空気量がほぼ線形性を保って増加する事が確認された。

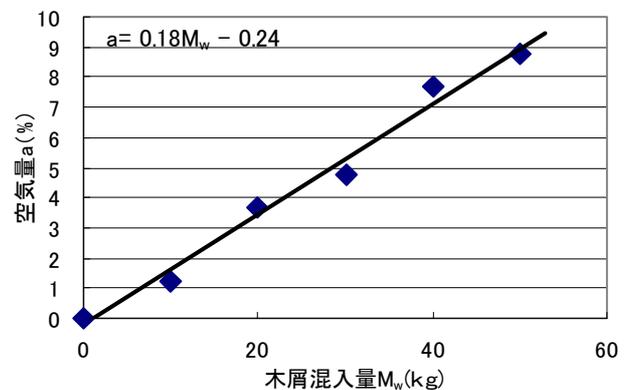


図-1 木屑混入量と空気量

#### 密度および生比重測定

図-2に木屑混入量と密度および生比重の関係を示す。図-2より、木屑を混入したモルタルの密度変化は、木屑混入量の増加に伴い、ほぼ線形性を保って減少する事が確認された。また、品質管理試験で行った生比重の測定結果も同様の傾向を示している事から、信頼性がある結果だと思われる。

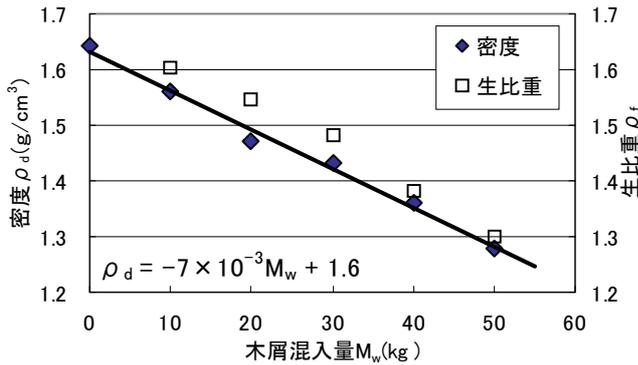


図-2 木屑混入量と密度，生比重の関係

### 生比重の経時変化

図-3 に木屑混入量と密度，生比重の関係を示す。生比重の測定中に気付いた事だが、図-3のように、木屑混入モルタルの生比重は時間経過とともに増加する傾向にあったため、一定間隔で測定を続けた結果、50分程度で値が収束した。そのため、他ケースについても練り混ぜ後と1時間後に分けて測定を行ったところ、同様の傾向を示す事が確認された。

図-4 に木屑混入量と生比重増加比の関係を示す。練り混ぜ直後の生比重を  $\rho_0$ 、練り混ぜ1時間後の生比重を  $\rho_{60}$  とし、 $\rho_{60}$  を  $\rho_0$  で除した値  $\rho_{60}/\rho_0$  を生比重増加比とした。図-4 より、木屑混入量の増加に伴い、生比重増加比が大きくなる事が分かった。この原因として、木屑を混入する際に巻き込んだ空気と木屑の含む空気が時間経過とともに、徐々に抜け出している事が考えられる。また、木屑混入量と生比重増加比の関係は、木屑混入量の増加に伴って増加比が収束している。これは、木屑混入量が増加すると、モルタル内の木屑が多くなり、木屑から抜け出た空気は、密集した木屑に遮られる事によって、空気が抜けにくい状態になっている事が原因の一つとして考えられる。

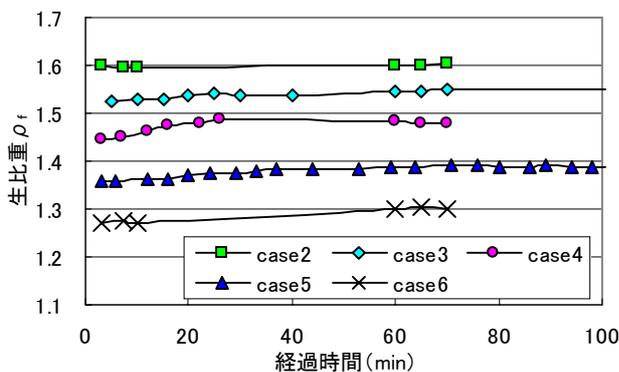


図-3 生比重の経時変化

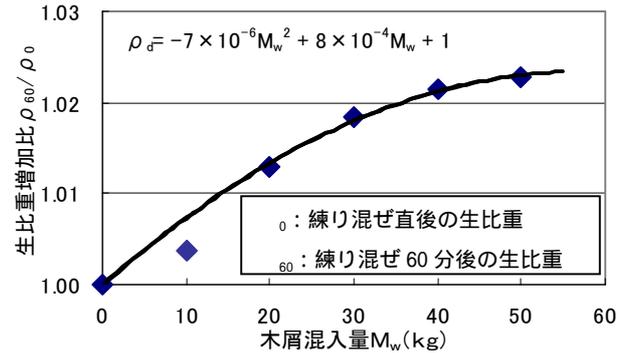


図-4 木屑混入量と生比重増加比の関係

## 4. 木屑の混入による軽量土の強度・変形特性の変化

### (1) 試験条件

木屑を混入する事で軽量土がどのような強度・変形特性を示すか確かめるために、表-2 に示す配合の供試体(50×125)を作製し、一軸圧縮試験を行った。供試体は、事前に発泡させた気泡をモルタルスラリーに混入するプレフォーム方式により作製し、それに木屑を混入した。軽量土は、粘土と固化材の混合率を同率とし、水セメント比を1.44となるように配合設計した。練り混ぜ直後に品質管理試験(生比重、空気量、フロー値)を行い、室温20℃の恒温室で気中養生した後、材令3, 7, 14, 21, 28日で一軸圧縮試験を行った。木屑を粘土に対して1/6の40kg、1/24の10kg混入したものと、木屑を混入しないケースにより比較を行った。

表-2 配合表

Case	粘土(kg)	固化材(kg)	混練水(kg)	気泡量(l)	木屑(kg)
1	240	240	345	487	0
2	240	240	345	487	40
3	240	240	345	487	10

### (2) 品質管理試験結果

図-5 に木屑混入量とフロー値の関係を示す。フロー値は木屑混入量の増加に伴い、流動性が失われていく事が確認できた。

図-6 に木屑混入量と生比重の関係を示す。3-(2)の木屑混入モルタルの生比重測定結果と合わせて考慮すると、軽量土も、木屑混入量の増加に伴い減少する傾向にあると考えられる。図-7 に木屑混入量と空気量の関係を示す。生比重測定結果と同様に木屑混入モルタルと合わせて考慮す

ると、軽量土も、木屑混入量の増加に伴い、空気量が増加すると考えられる。

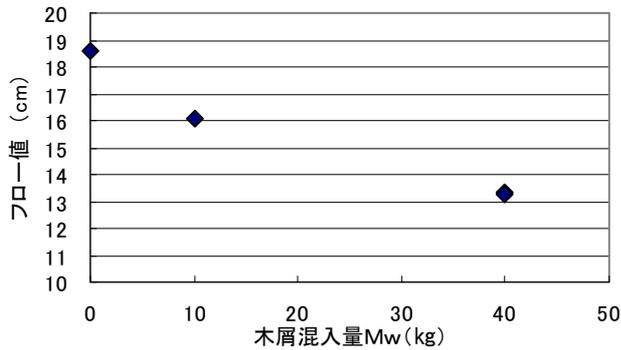


図-5 木屑混入量とフロー値の関係

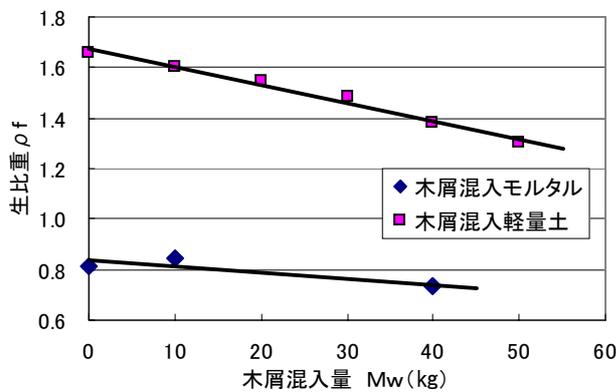


図-6 木屑混入量と生比重の関係

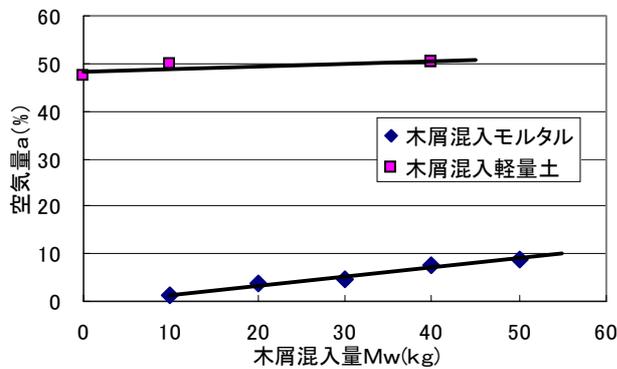


図-7 木屑混入量と空気量の関係

### (3) 一軸圧縮試験結果

表-3 に一軸圧縮試験結果を示す。また、図-8 に木屑混入量と一軸圧縮強さの関係を示す。一軸圧縮強さは、木屑を混入しない供試体と比べて、木屑を粘土に対して 1/24(10 kg)混入した供試体は 2/3 程度、木屑を粘土に対して 1/6(40 kg)混入した供試体は 1/3 程度となった。この結果より、木屑の混入量の増加に伴い、一軸圧縮強さは低下

する事が分かった。

図-9 に代表的な応力 - ひずみ曲線を示す。各ケースともにピーク強度を迎えるまでは弾性的挙動を示すが、木屑未混入の Case1 および木屑 10kg 混入した Case2 の応力 - ひずみ曲線を見ると、ピーク強度達成時に明確な最大応力が存在しているのに対し、木屑を 40 kg 混入した Case3 の応力 - ひずみ曲線は、ピーク時以降でも圧縮応力がほとんど減少せずに、ピーク強度付近で圧縮応力を保って変形しているのが分かる。また、木屑混入量が多いほど破壊ひずみは小さくなる傾向を示している事が分かった。

表-3 一軸圧縮試験結果

材令 28 日	Case1	Case2	Case3
一軸圧縮強さ $q_u$ (kPa)	1855	664	1311
破壊ひずみ	0.0060	0.0159	0.0113

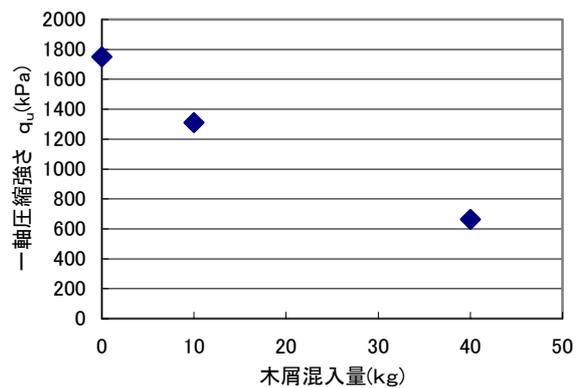


図-8 木屑混入量と一軸圧縮強さの関係

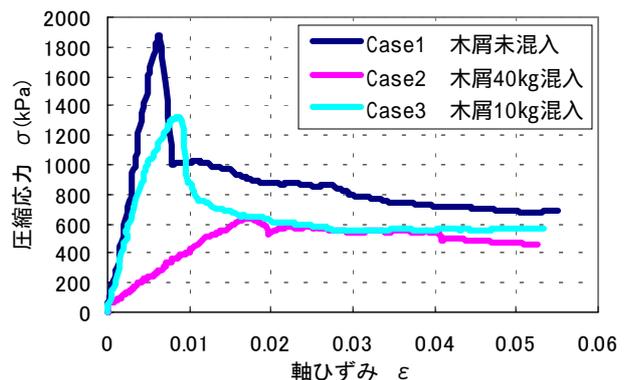


図-9 応力 - ひずみ曲線

木屑混入量の増加に伴い、一軸圧縮強さが低下した原因として次の事が考えられる。

木屑表面とモルタルの付着強度が弱かった事  
木屑表面の付着強度を調べる事は困難なため

に、これを確かめる事は今後の課題とする。

木屑が混練水を吸水し、木屑の強度が低下した事

木材は吸水すると強度が低下する性質を持つために木屑が軽量土内で混練水を吸水した事で木屑の強度が低下し、それに伴って供試体全体の強度が低下した事が考えられる。今後、この現象を特定するためには、木屑の含水状態を正確に把握する事が必要となる。

木屑が含む空気により、供試体内の空気量が増加した事

軽量土に木屑を混入する際、木屑と一緒に巻き込んだと考えられる空気や、気乾状態の木屑自体が含む空気が過剰に加わる事により、木屑を混入した量が多いケースほど、設計した空気量より多くの空気を含む事により強度が低下したと考えられる。

#### (5) 空気量調整を行った供試体による一軸圧縮試験

本研究では、4-(3)- を確かめるために、空気量を調整した供試体と調整しない供試体を作製し、一軸圧縮試験を行って比較した。配合表を表-6に示す。空気量の調整方法として、3-(2)の試験結果より、木屑を40kg混入した場合に含まれる空気量が7.7%であった事から、空気量を調整しない供試体よりも空気量を7.7%少なくなるように配合した。

表-6 配合表

Case	粘土 (kg)	固化材 (kg)	混練水 (kg)	気泡量 (l)	木屑 (kg)	総空気量 (l)
1	240	240	345	487	0	487
2	240	240	345	487	40	564
5	240	240	345	410	40	487

図-10に一軸圧縮試験により得られた代表的な応力-ひずみ曲線を示す。また、表-7に一軸圧縮試験結果を示す。図-10より、空気量を調整したCase5は、空気量を調整しなかったCase2よりも弾性域の勾配が急であり、また、明確なピーク強度を示している。しかし、Case5とCase2では一軸圧縮強さに大きな変化は見られなかった。これより、木屑混入による強度低下の原因として、空気量の増加は主たる原因ではなかったと考えられる。

表-7 一軸圧縮試験結果

材令 28 日	Case1	Case2	Case5
一軸圧縮強さ $\sigma_{ij}$ (kPa)	1855	664	533
破壊ひずみ	0.0060	0.0159	0.0149

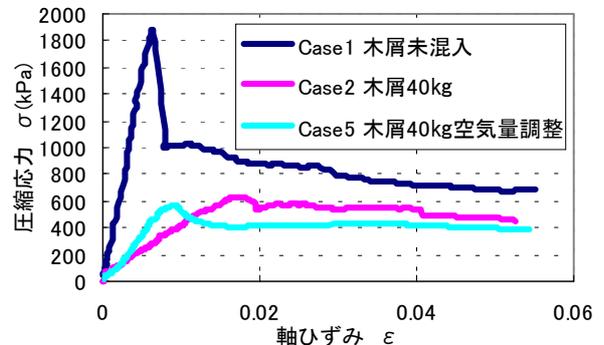


図-10 応力 - ひずみ曲線

## 5. 結論

木屑混入量が増加するに伴い、モルタルに木屑を混入した状態では密度がほぼ線形的な関係で減少する。これは、気泡混合軽量土に木屑を混入した場合においても同様であると思われる。

木屑を混入したモルタルの生比重は時間経過とともに増加し、木屑混入量が多いほど増加量が大きくなる傾向にある。

本研究の試験範囲では、木屑を混入した気泡混合軽量土の一軸圧縮強さは木屑混入量の増加に伴い低く推移する傾向にある。

一軸圧縮強さの低下の原因の一つとして空気量の増加が考えられたが、空気量を調整した供試体で一軸圧縮試験を行った結果、これは主たる原因ではないと考えられる。

## 6. 今後の課題

一軸圧縮強さの低下の原因として木屑の付着強度等が関係していると思われるので、これを明確にする必要がある。

木屑混入量の増加とともに流動性が失われるため、施工性を保ちつつ軽量化を図るための適度な木屑混入量を確認する必要がある。

本研究では、木屑混入の影響を全て解明するには十分な実験回数を行っていないため、より多くのデータ収集が必要である。