

木屑を混入した気泡混合軽量土の研究

防災設計工学研究室 小林 正憲
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と考えられる。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要求される物性の評価と適用法の調査が必要となる。本研究では、木屑混入による軽量土の強度特性・品質特性の変化を調べ、実用性を検討する事を目的とする。

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、切り離す際に細かい木屑が発生する。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押し固められているため、本研究では、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. 有機物(フミン酸)に対する比色試験

昨年度の基礎研究において、骨材(粘土)に対して1/6の重量の木屑を混入した軽量土では、一軸圧縮強さが木屑未混入の軽量土の約1/3になった。その原因の一つとして木屑に含まれるフミン酸による影響が考えられた。そこで、有機物に対する試験法として比色試験を行った。その結果、かなりの有機物(フミン酸)の含有が確認された。なお、フミン酸は、セメント中の石灰分と化合してフミン酸石鹸を生成し、セメントの水和反応を妨げる。

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

これまで固化材としてスラグ系セメントであるスミシールドを用いてきたが、フミン酸の影響により水和反応が阻害されることから、有機質土の改良材として用いられているタフロック4型を用いて、木屑を混入することによる軽量土の強度・変形特性を調べた。

表-1に示す配合の供試体(φ50×125)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、粘土と固化材の含有率を同率とし、水セメント比を1.44となるように配合設計した。また、木屑を混入する配合では、事前に行った密度試験から、木屑の密度を0.28として配合設計した。

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°Cの恒温室内で気中養生した後に、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の重量を混入したものと、木屑を混入しないケースにより比較を行った。

表-1 配合表(1m³当り)

Case	使用固化材	粘土(kg)	固化材(kg)	混練水(kg)	気泡量(l)	木屑(kg)
1	スミシールド	240	240	345	487	0
2	スミシールド	210	210	302	426	35
3	タフロック4型	240	240	345	487	0
4	タフロック4型	210	210	302	426	35

(2)品質管理試験結果

表-2に品質管理試験の結果を示す。

表-2 品質管理試験結果

Case	フロー値(cm)	生比重(g/cm ³)	空気量(%)
1	18.6	0.811	47.5
2	12.8	0.751	50.5
3	20.25	0.860	52.5
4	12.8	0.844	47.5

木屑を混入することにより、フロー値はスミシールド、タフロック4型共に約7cm減少し、生比重はスミシールドでは0.06減少したが、タフロ

ック4型では0.016とあまり減少しなかった。スミシールドでは木屑を混入した時、気泡の消泡は見られなかったが、タフロック4型では気泡が消泡しているのが目視や音で確認できた。また、消泡により気泡の連成が見られた。

(3)一軸圧縮試験結果

表-3に一軸圧縮試験結果、図-1に代表的な応力-ひずみ曲線を示す。木屑を混入したタフロック4型の一軸圧縮強さは、木屑を混入しない場合と比べて2/3程度の強度となった。

表-3 一軸圧縮試験結果

材齢28日	Case1	Case2	Case3	Case4
一軸圧縮強さ q_u (kPa)	1563	620	1689	1168
破壊ひずみ ϵ	0.0099	0.0190	0.0075	0.0040
変形係数 E_{50} (Mpa)	342.0	35.4	225.1	294.6

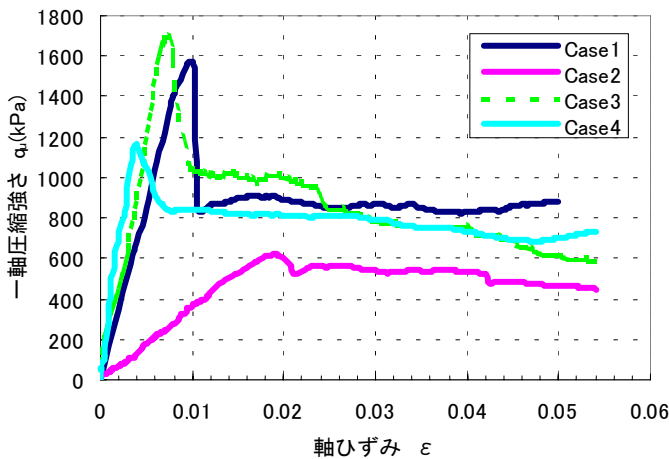


図-1 応力-ひずみ曲線

この結果より、タフロック4型では木屑に含まれるフミン酸の影響が低減されているといえる。しかし、タフロック4型でも木屑を混入することにより一軸圧縮強さは低下している。その原因としてフミン酸による影響の他に、一軸圧縮試験において通常下部の破壊が多いのに対し、木屑を混入した場合はほとんどが上部での破壊であったことから、フミン酸の表面張力低下作用により気泡の泡膜が弱くなり、練混ぜ時に木屑によって消泡・連成した気泡が、供試体上部に上昇したため上部が弱部となり、強度が低下したのではないかと考えられた。そこで木屑による消泡を防ぐために粒径の細かい木屑パウダーを木屑の代わりに軽量土に混入することにした。

5. 木屑パウダーを混入した軽量土の品質特性

(1)試験条件

前述の理由により、木屑による消泡を防ぐため

に、木屑の代わりに粒径の小さな木屑パウダーを混入し、木屑の場合と比較した。なお、木屑パウダーを混入したケースをCase6、混入しないケースをCase5とした。Case6はCase4、Case5はCase3と同様の配合を用いた。

(2)品質管理試験結果

表-4に品質管理試験結果を示す。木屑パウダーを混入することにより、気泡がかなり消泡し、それに伴い生比重は増加し、空気量は減少した。

表-4 品質管理試験結果

Case	フロー値(cm)	生比重(g/cm ³)	空気量(%)	備考
4	12.8	0.844	47.5	木屑
5	20.0	0.837	54.0	木屑なし
6	10.0	1.176	25.0	木屑パウダー

気泡が消泡した原因として、過去の実験から混練水が少ないと消泡が起き易いことから、木屑パウダーでは、木屑より比表面積が大きく、木屑より多くの水が吸着され、消泡したのではないかと考えられた。そこで混練水を増加させてみることにした。

6. 水セメント比を増加させた木屑パウダーを混入した軽量土の品質特性

(1)試験条件

表-5に配合表を示す。木屑パウダーを混入した場合において、気泡の消泡の原因は混練水不足であったことが考えられたため、水セメント比を1.55~2.25まで0.1毎増加させてみることにした。

表-5 配合表(1m³当り)

Case	水セメント比	粘土(kg)	固化材(kg)	混練水(kg)	気泡量(l)	木屑パウダー(kg)
7	1.55	210	210	329	523	0
8		187	187	293	465	31
9	1.65	180	180	297	578	0
10		162	162	268	522	27
11	1.75	182	182	318	555	0
12		164	164	287	500	27
13	1.85	176	176	325	552	0
14		159	159	294	500	27
15	1.95	170	170	331	550	0
16		154	154	301	500	26
17	2.05	164	164	337	548	0
18		150	150	307	500	25
19	2.15	159	159	342	547	0
20		145	145	312	500	24
21	2.25	154	154	347	545	0
22		141	141	318	500	24

(2)品質管理試験結果

図-2 に水セメント比と空気量を目標空気量で除した値の関係を示す。水セメント比 1.55 では木屑パウダーを混入することにより気泡が消泡したが、水セメント比 1.65 以上では気泡の消泡は見られなかった。よって、木屑パウダーを混入する場合は水セメント比 1.65 以上であれば気泡の消泡は起こらないことが分かった。この結果を踏まえて、タフロック 4 型を使用し、木屑を混入したケースで気泡が消泡した原因として混練水不足であったことが考えられた。フミン酸の表面張力を低下させる作用には、水分の吸収を容易にする作用もあるため、木屑が多く混練水を吸水することで混練水が不足し、気泡の消泡および連成が起こったと思われる。その検証をするため、木屑の場合においても水セメント比を増加させて調べることにした。その検証は 7 で述べる。また、木屑パウダーを混入することにより、フロー値は平均で 71.8mm 減少し、生比重は平均で 0.063 増加した。

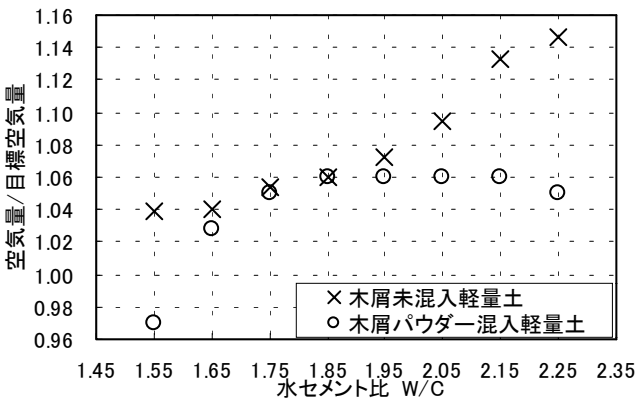


図-2 水セメント比—空気量/目標空気量の関係

(3)強度管理試験結果

図-3 に水セメント比と一軸圧縮強さの関係、図-4 に生比重と一軸圧縮強さの関係を示す。図-3 を見ると木屑パウダーを混入することにより一軸圧縮強さは増加する結果となった。また、図-4 で生比重と一軸圧縮強さを比較すると、同様の一軸圧縮強さにおいて木屑パウダーを混入した場合の生比重は木屑未混入の場合より若干重い（平均で約 3%）ものの十分軽量性に優れ、強度も高い結果となった。このことより、木屑パウダーを混入すると、軽量性は得られないが、補強効果は得られることが分かった。

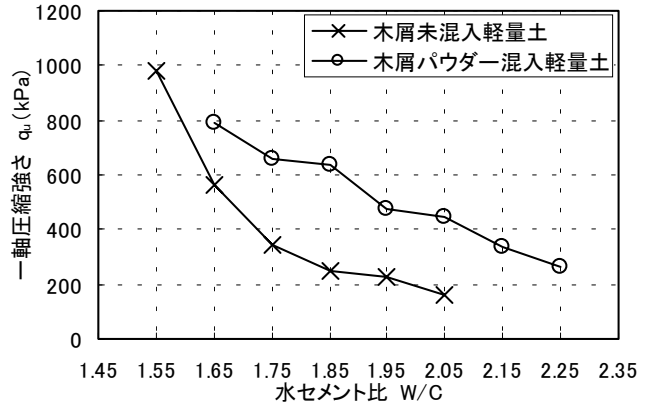


図-3 水セメント比—一軸圧縮強さの関係

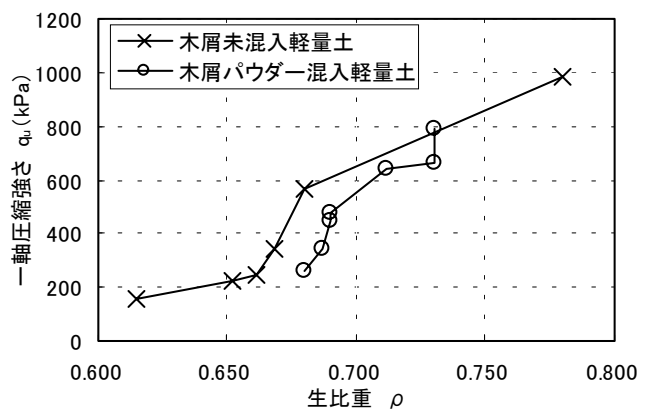


図-4 生比重—一軸圧縮強さの関係

7. 水セメント比を増加させた木屑パウダーを混入した軽量土の品質・強度特性

(1)試験条件

6-(2)の結果より、タフロック 4 型を使用し、木屑を混入して消泡が起きた原因は混練水不足であったことが考えられた。そのため、水セメント比が 1.65、1.75、1.85 の配合の軽量土に木屑を混入し、調べることにした。配合表を表-6 に示す。

表-6 配合表(1m³当り)

Case	水セメント比	粘土(kg)	固化材(kg)	混練水(kg)	気泡量 (l)	木屑(kg)
23	1.65	162	162	268	522	27.0
24	1.75	164	164	287	500	27.3
25	1.85	159	159	294	500	26.5

(2)品質・強度管理試験結果

図-5 に水セメント比とフロー値の関係、図-6 に水セメント比と生比重の関係、図-7 に水セメント比と空気量を目標空気量で除した値の関係を示す。図には木屑未混入および木屑パウダーを混入したケースの結果も載せた。木屑を混入することによりフロー値は減少し、生比重は増加した。空気量を測定した結果、消泡は起きていないのが目

視等で確認でき、空気量は目標値より大きい値であった。よって、タフロック 4 型を使用し、木屑を混入して消泡した原因は混練水不足であったことが分かった。

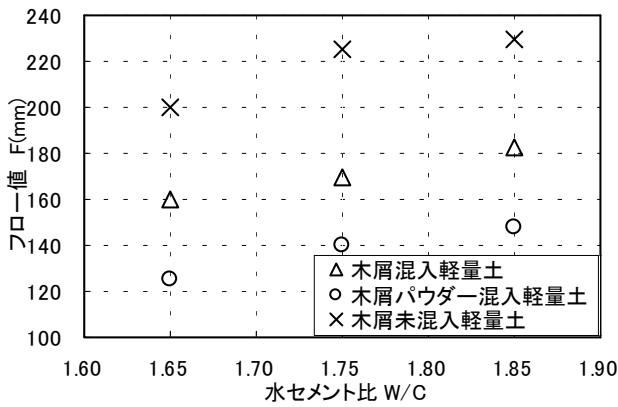


図-5 水セメント比—フロー値の関係

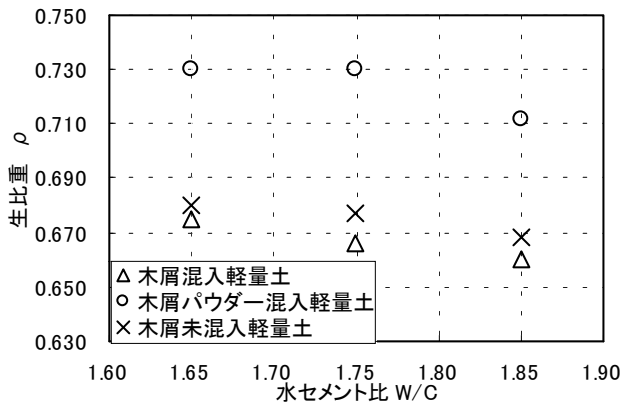


図-6 水セメント比—生比重の関係

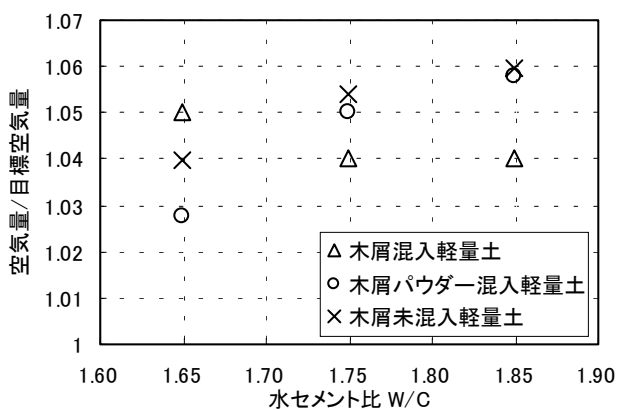


図-7 水セメント比—空気量/目標空気量の関係

(3)強度管理試験結果

図-8 に生比重と一軸圧縮強さの関係、図-9 にフロー値と一軸圧縮強さの関係を示す。図-8 を見ると同様の一軸圧縮強さにおいて木屑を混入したケースの生比重は、木屑未混入のケースより小さ

く、軽量性、強度に優れ、木屑を混入することにより、軽量性および補強効果が得られる結果となった。しかし、気泡混合軽量土は長所として流動性の高さがあり、フロー値は 180mm 以上が望ましいとされているが、図-9 を見ると木屑を混入することにより流動性が失われる結果となり、問題がある。配合次第ではこの問題は解決可能ではないかと思われ、解決できれば実用は可能でないかと思われる。

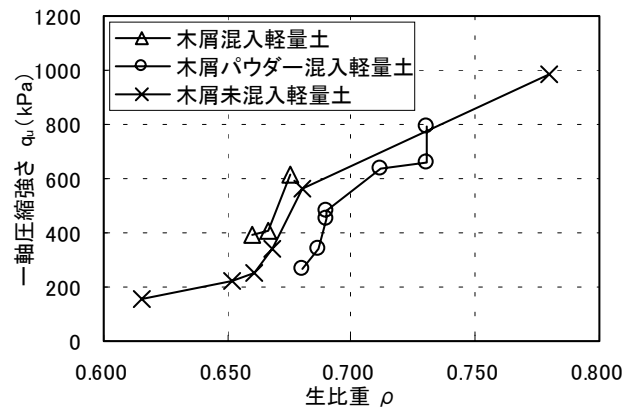


図-8 生比重—一軸圧縮強さの関係

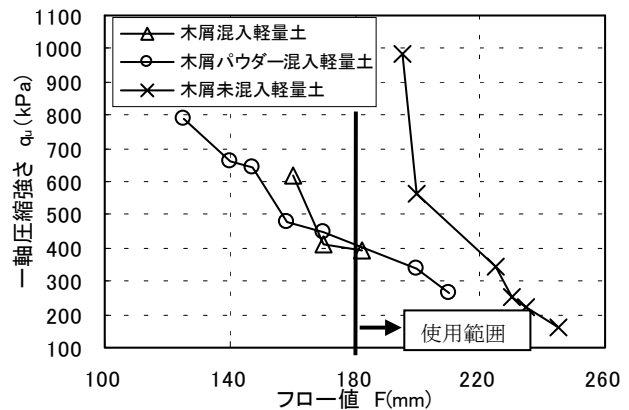


図-9 フロー値—一軸圧縮強さの関係

8.まとめ

- ①有機不純物判定法により木屑は通常のコンクリートにおいては使用できないと判断された。
- ②有機質土の改良材として用いられているタフロック 4 型を固化材に使用した気泡混合軽量土に木屑を混入した結果、有機不純物による影響が低減でき、水セメント比が 1.65 以上であれば木屑を混入することが有効であり、軽量性および補強効果が得られる結果となった。しかし、流動性は低下した。

9.今後の課題

- ①実験ケースが少ないため、更なるケースを行う
- ②流動性を確保しつつ高強度な配合を見つける