

植物性コンクリートの開発

東京大学 ○酒井 雄也 1\*

コンクリート 低炭素 植物性  
熱圧縮成形 砂 木粉

研究の目的

セメントの代わりに植物により砂を接着したコンクリート、すなわち植物性コンクリートの開発と、その強度に影響を与える因子を理解するとともに、耐水性を付与する手法を確立することを目的とした。また強度発現メカニズムを理解するために各種観察や分析を実施した。

研究の内容

1. 使用材料

本研究では基本的に、砂としては砂岩砕砂を、木材としては杉を用いて、いずれも300ミクロンのふるいを通すまでディスクミルにより粉碎して得られた粉末を用いた。木粉は含水率を調整するため、105°Cで恒量となるまで乾燥した後に適宜水分調整を実施した。また比較のために砂の代わりにコンクリートを用いたケースも実施したが、材齢約3年の水セメント比50%のコンクリートを粉碎して得られた粉末を使用した。また粒径の影響を検討するため、一部のケースにおいて、砂については105ミクロンのふるい、木粉については500ミクロンのふるいを用いて粉を用意した。また耐水性の向上を目的として、木粉のオートクレーブ処理と、疎水性材料の混合を実施した。オートクレーブでは反応容器に木粉と水を入れて、温度を140~240°Cの範囲で5~15分間オートクレーブ処理をした。疎水性材料としては製紙工程で発生する副産物であるクラフトリグニンを用いた。

2. 硬化体の製造方法と強度試験

以下に基本条件での製造の手順を示す。木材と砂（コンクリート）を1:1の重量比で混合した後に、水を加えて含水率を10%に調整した。その後、ステンレス製の金型に粉末を充填し、180°Cに設定された熱プレス機を用いて50MPaで5分間成形した。作製した成形体の寸法は6.5×5.0×0.5~1.0cmである。検討では木材と砂（コンクリート）の重量比、砂（コンクリート）と木粉の粒径、含水率、ホットプレスによる成形時間と温度をパラメータとした。製造設備の都合上、作製できる硬化体は板状であることから、硬化体の評価は三転曲げ試験により実施した。耐水性については、製造した硬化体を水に24時間浸せきし、吸水率と膨潤率を測定することで評価した。吸水率は浸せき前後の重量差を浸せき前の重量で除することで算出し、膨潤率は浸せき前後の硬化体の厚さの変化を浸せき前の厚さで除することで算出した。

研究の成果、新知見

1. 原料および成形条件が曲げ強度に与える影響

まず砂の粒径の影響を検討するため、砂の最大粒径を0.1~1.2mmで変化させて検討を実施した。検討の結果を図1に示すが、砂の最大粒径が増加するほど、曲げ強度は減少した。最大粒径が0.1mmの場合に、曲げ強度は約13MPaとなった。一方、コンクリート粉を用いた検討では、粒径が増大するほど曲げ強度が減少するという傾向は同様であるが、砂を用いた場合の方が、全体的に強度が低くなった。木粉の粒径と含水率の影響を検討した結

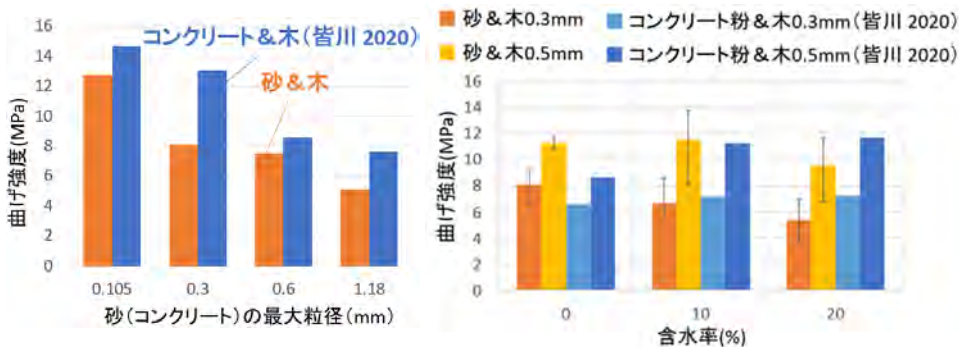


図1 砂（コンクリート）の粒径の影響

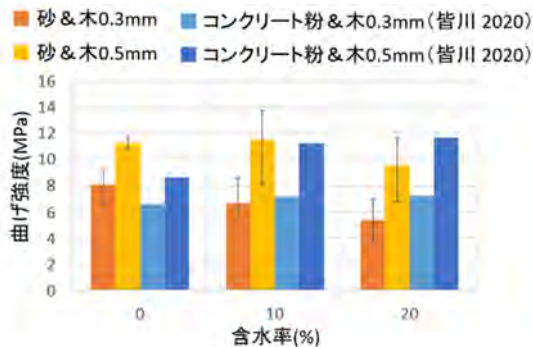


図2 木粉の粒径と含水率の影響

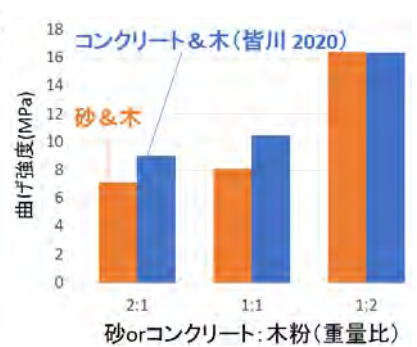


図3 砂（コンクリート）と木粉の割合の影響

果を図 2 に示す。まず木粉の最大粒径が 0.3mm の場合よりも 0.5mm の場合に、より高い強度が得られた。この傾向は砂、コンクリートいずれを用いた場合においても見られた。また砂を用いた場合は、含水比が高くなるほど曲げ強度が低下する傾向が見られた。砂と木の混合割合の影響を検討した結果を図 3 に示す。木粉の割合が増大するほど曲げ強度は増大した。これは、木粉が接着剤として作用しているためであると考えられる。また、砂もしくはコンクリートと木粉との重量比が 1:2 になると、両者の強度はほぼ同一となった。

## 2. 曲げ強度の発現メカニズムについて

以上の検討より、まず、砂と比較してコンクリートの方が高い強度を示す事が確認された。原因としてはアルカリが影響した可能性が考えられる。そこで、砂と木粉に加えて、水の代わりに種々のアルカリ水溶液を用いて検討を実施した。結果を図 4 に示すが、アルカリ水溶液が濃いほど強度が高くなり、砂を用いた場合でも、コンクリートを上回る強度が得られた。このことから、砂よりコンクリートを用いた場合の方が高い強度を示すのは、未水和セメントやアルカリ分が pH の増加に寄与し、木粉のセルロースフィブリルが収縮して変形しやすくなり[1]、圧縮成形による緻密化が促進されたことが挙げられる。

## 3. 耐水性の付与

ここまでの検討の結果に基づき、木粉とコンクリート粉を重量比で 1:1 で混合、成形温度は 220°C に変更して以降の検討を実施した。まず木粉に対するクラフトリグニンの置換割合を変化させた場合の吸水率および膨潤率を図 5 に示す。図より、クラフトリグニンの置換率が増えるほど、吸水率および膨潤率が減少、すなわち耐水性が向上する傾向があることが確認できる。パーティクルボードに関する基準 (JIS A 5908:2015) において吸水による膨潤率は 12% と以下とされているが、クラフトリグニンを 30% 置換することで、この基準をほぼ達成することができている。一方で図 6 には曲げ強度の結果を示すが、置換率が 20% の際にピークを示し、それ以上では置換率が 30% に

なると曲げ強度が低下している。上記のパーティクルボードに関する基準では、構造用パーティクルボードの曲げ強度としては 18MPa が求められており、クラフトリグニンの置換率が 0% の場合にはこの基準をやや下回っているが、置換率が 10~30% であればこの基準を満たしている。

以上の検討に基づいて、オートクレーブ処理を実施した。その結果、吸水率に大きな変化は見られなかったものの、膨潤率については 160-200°C でオートクレーブ処理した場合には 2.6-5.8% 抑制された。曲げ強度についてはオートクレーブ処理の温度が上がるほど増加し、180°C で処理した場合には 7.9MPa 向上し、26.1MPa の曲げ強度が得られた。一方で、200°C でオートクレーブ処理した場合には 16.5MPa に曲げ強度が低下した。以上より、160-180°C 程度でオートクレーブ処理することにより、膨潤率の抑制と曲げ強度の増進に効果があることが確認された。

## 今後の予定

今回の検討により、木材と砂という組み合わせであっても、アルカリ溶液と混合し、一部をクラフトリグニンと置換することで、曲げ強度および耐水性の面で実用的な材料を製造可能なことを確認した。今後は製造条件の最適化によりスケールアップを試みるとともに、長期の耐久性の評価を行う予定である。

## 謝辞

本研究は大成学術財団 2020 年度 研究助成を受けて実施したものである。本研究の一部は、文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業 (東京大学微細構造解析プラットフォーム) の支援を受けて実施された (JPMXP09-A-21-UT-0102)。SEM 観察では、東京大学総合研究機構の福川昌宏氏にご指導いただいた。本研究で用いたクラフトリグニンは日本製紙株式会社から提供いただいた。ここに記して深く謝意を表す。

## 参考文献

[1] 中野隆人：アルカリ処理による木材の可塑性 応力緩和挙動に及ぼすアルカリの種類、濃度の影響、日本レオロジー学会誌、Vol. 16、No. 3、pp. 104-110、1988

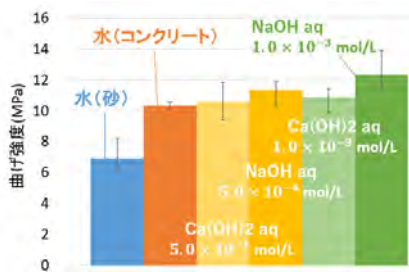


図 4 アルカリ溶液の影響

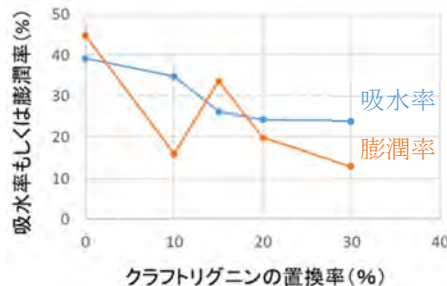


図 5 クラフトリグニンによる耐水性への影響

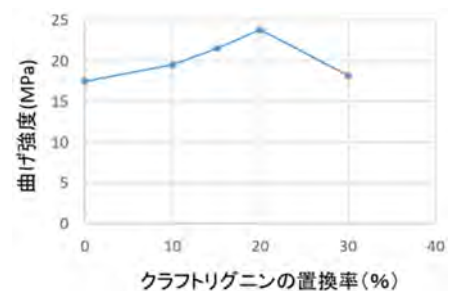


図 6 クラフトリグニンによる曲げ強度への影響