

「ガンゼキ」はなぜ水中で崩れないのか？ ～レシピ化と硬化のメカニズム解明に挑む～ Why doesn't "Ganzeki" collapse in water? Challenge to elucidate the mechanism of recipe making and curing

野田 萌々奈 端迫 優和 福山 雪愛 丸山 佳子 小嶋 健斗 野村 健太 舛井 聡真
NODA Momona, HASAKO Yuwa, FUKUYAMA Setsuna, MARUYAMA Kako,
KOJIMA Kento, NOMURA Kenta, MASUI Soma

GANZEKI is a material to repair "Gousen waterworks". GANZEKI is made by red clay, shell ash, salt and pine broth. GANZEKI has the peculiar property of hardening in water and is mainly used for the restoration of Gousen waterworks. In this time, The study focused on the hardness of the white crystals and GANZEKI precipitated from the GANZEKI prepared by the mass ratio of each material clarified in the previous research.

1. はじめに

【轟泉水道の概要】

轟泉水道は、熊本県宇土市宮庄町にある轟水源（図.1）から取水しており、日本で現在も使用されている最古の上水道である。轟泉水道から宇土の城下町まで総延長約4800 m、標高差5 mの区間（図.2）を石管でつなぎ、その結合部や隙間を埋めるためにガンゼキ（図.3）が用いられる。



図.1 轟水源



図.2 轟泉水道の経路図



図.3 ガンゼキの使用例

【ガンゼキの概要】

ガンゼキとは、赤土、貝灰、食塩、松の煮汁で作られる漆喰の一種で、水中で硬化する水硬性を持つ。松の煮汁とは、松の枝と葉をドラム缶に敷き詰め、かぶるくらいの水を入れ、それを3時間煮たものである。

ガンゼキの作り方は、これらの材料を混ぜて、杵で潰すように搗くというシンプルなものである。材料の量、搗く回数は、その日の気温や湿度などで条件が変わるため、作り手の感覚によって決められる。搗き過ぎても、また搗く回数が少なくても駄目であり、ちょうどいい硬さは、宇土市在住の松川紀幸氏にしかわからない。松川氏は、古くから伝わるガンゼキの製法を受け継ぐ唯一の職人である。

これまでの研究では、ガンゼキを誰でも簡単に作成できるようにするために、ガンゼキのレシピ化を目的として研究を行ってきた。今回は、先輩方の先行研究で明らかになったガンゼキを作成する材料比のもとで3つの実験を行った。

<実験 1>

搗く回数とガンゼキの表面や内部の性質に関係はあるのか。また、貝灰と食塩の有無での違いはあるのか。

<実験 2>

搗く回数で硬化する前の硬さに違いはあるのか。

<実験 3>

ガンゼキ硬化後に析出する「白色針状結晶」の正体は何か。

2. 方法

<製作に用いた準備物> (図.4)

赤土 100 g
松の煮汁 40 g
貝灰 (土井貝灰製造所) 20 g
食塩 (伯方の塩) 15 g

<作成方法>

- ① 赤土, 貝灰, 食塩を全て鉄製乳鉢に入れ, 鉄製乳棒で混ぜる.
- ② ①の後, 松の煮汁を少しずつ計4回に分けて加え, その都度軽くかき混ぜる. (図.5) その後, 決められた回数分搗く. (100回ぐらい搗いた後, 葉さじを用いて側面についたガンゼキをかき集めて再度搗く.)
- ③ ガンゼキを容器から取り出し, 平らな面に叩きつけて空気を抜いて立方体の形に形成する.

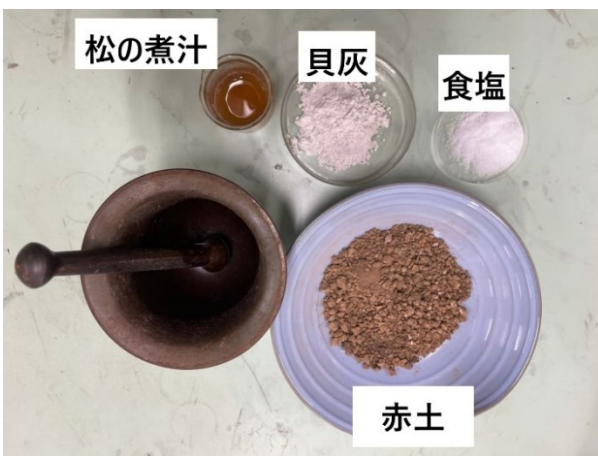


図.4 材料一覧



図.5 製作の様子

<実験1> 搗く回数とガンゼキの性質の調査

ガンゼキの搗く回数を100回及び1000回として, 研究班が作成したガンゼキを水中と空气中に保存した. また, 貝灰なしと食塩なしをそれぞれ作成し空气中に保存した.

<実験2> ガンゼキの硬度測定

研究班が製作して3時間が経過したガンゼキ (搗く回数: 200, 500, 1000回) と松川氏が製作して同じく3時間が経過したガンゼキの硬さを精密万能試験機 (図.6) で測定した. 測定では, 1.75 cm²の圧子を1.0 mm/分の速度で10分間押し込み, そのときに圧子にかかる力を計測した. (図.7)

<実験3> 白色結晶の成分分析

製作したガンゼキを空气中に放置したときにガンゼキ表面に析出した白色針状結晶と, 水中に入れたガンゼキからの浮遊物を乾燥させた白色結晶について, 走査電子顕微鏡 (図.8) で, その結晶構造と含有元素を分析した.



図.6 精密万能試験機



図.7 測定の様子



図.8 日立超高分解能電解放出型走査電子顕微鏡 SU8000








3. 結果

<実験 1>

搗く回数が多いほど水中で崩れにくくなり、搗く回数が少ないほど白色針状結晶が析出しやすくなる。

貝灰なしでは白色結晶が析出したが、食塩なしでは白色針状結晶は析出しなかった。(表.1)

表.1 実験 1 の結果

保存状況	叩く回数	
	100 回	1000 回
水中	崩れた 	一部崩れた 
空气中	白色結晶が荒く析出 	白色結晶が均一に析出 
空气中 貝灰なし	白色結晶が粉っぽく析出 	白色結晶が粉っぽく析出 
空气中 食塩なし	結晶の析出なし 	結晶の析出なし 

<実験 2>

へこみ率に対する圧子にかかる単位面積あたりの力 $[N/cm^2]$ を図. 9 に、搗く回数に対する変化点での圧子にかかる単位面積あたりの力 $[N/cm^2]$ を図. 10 に示す。

ここで、へこみ率をガンゼキの厚さに対して押し込んだ圧子の深さと定義した。また変化点とは、圧子にかかる力の挙動が変わる点であり、この点における力がガンゼキ表面にかかる力の最大値を表す。

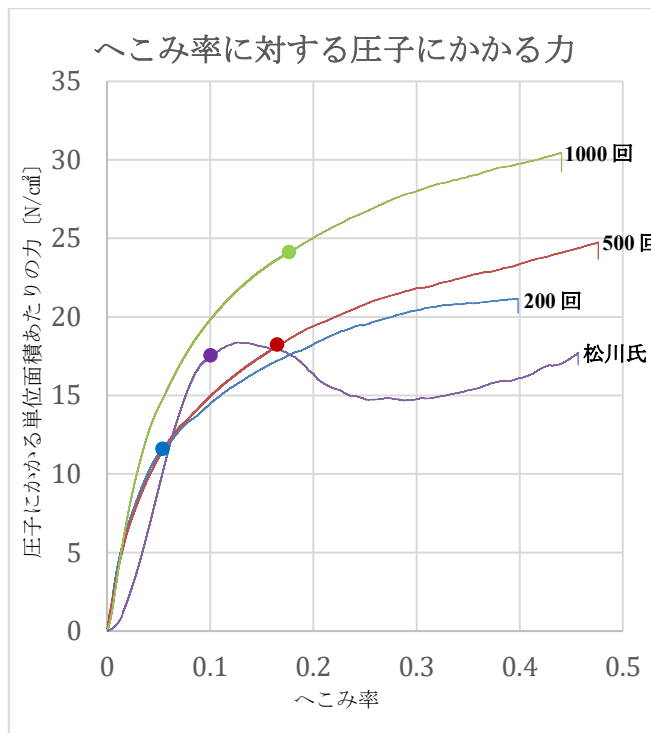


図. 9 へこみ率に対する圧子にかかる単位面積あたりの力 (●は変化点)

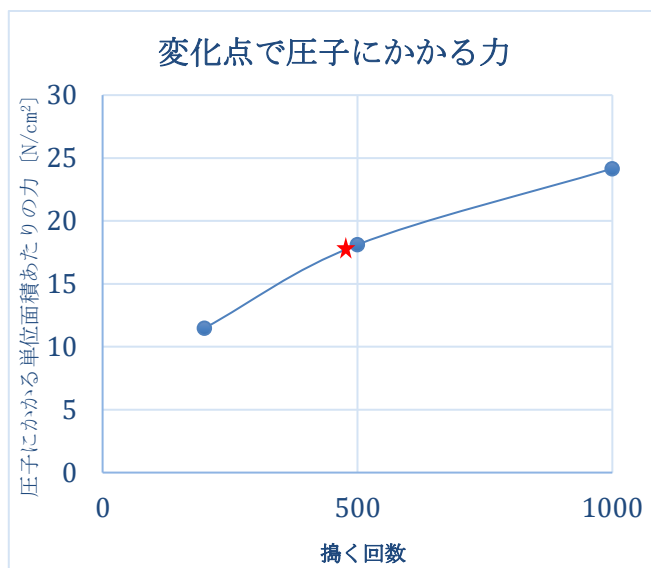


図. 10 変化点での圧子にかかる単位面積あたりの力 (★は松川氏)

<実験 3>

ガンゼキ表面に析出した結晶は針状になっている。浮遊物は針状とは異なる結晶を作っている。

Na と Cl が多く含まれていたことから白色針状結晶の主成分は食塩であると考えられる。(図. 11~16)

空气中に放置したときにガンゼキ表面に析出した白色針状結晶の結晶構造を図.11 と 12 に、元素分析の結果を図.13 に示す。水中に入れたガンゼキからの浮遊物を乾燥させた白色結晶の結晶構造を図.14 と 15 に、元素分析の結果を図.16 に示す。

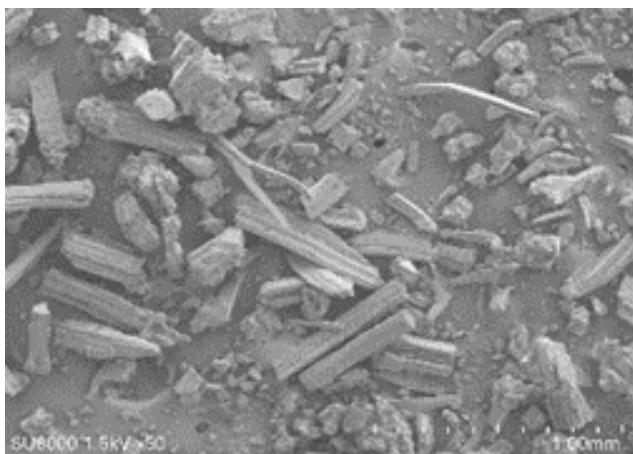


図.11

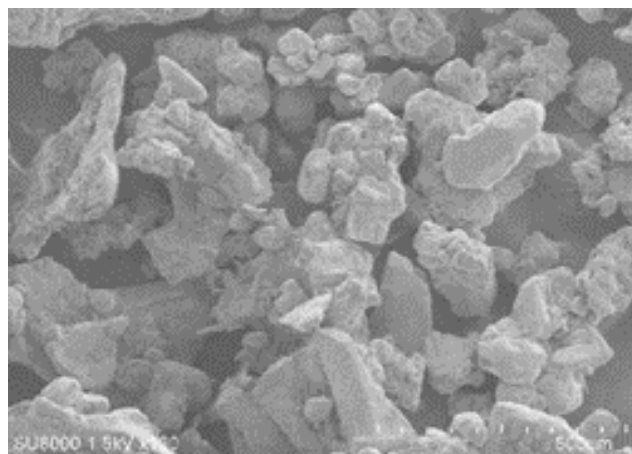


図. 14

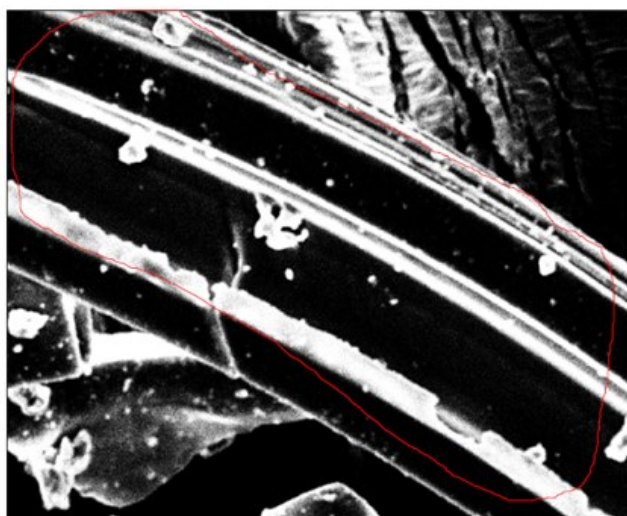


図.12



図.15

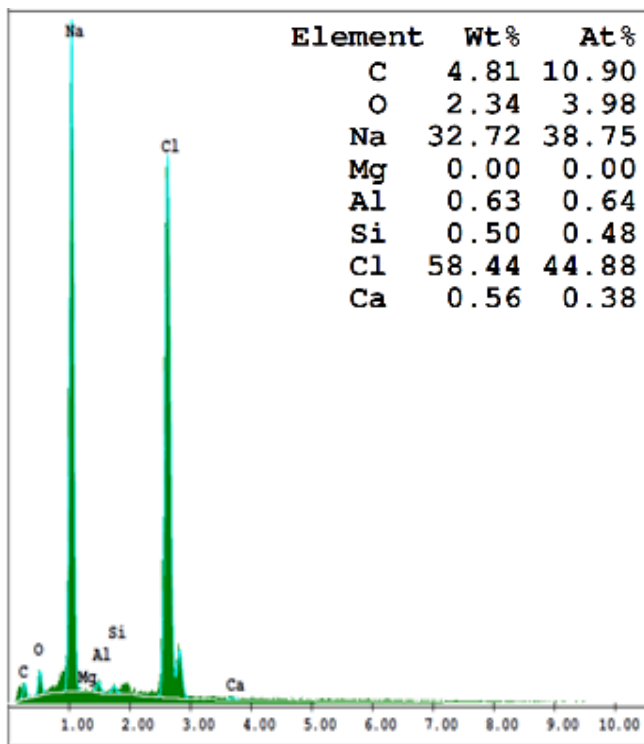


図.13

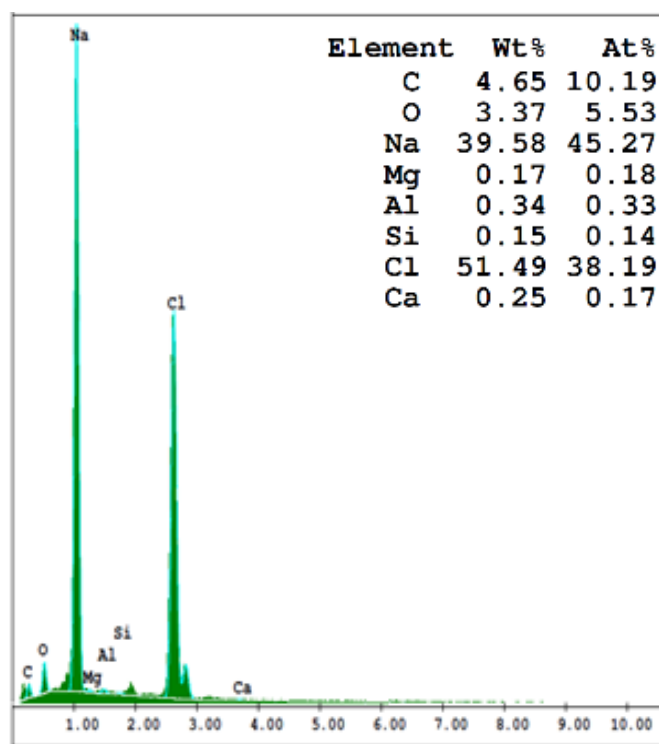


図.16

4. 考察

<実験 1>

搗く回数が多いほど水中で崩れにくくなり、また搗く回数によって白色結晶の析出の仕方に違いが出ることが分かった。

貝灰なしで白色結晶が析出し、食塩なしで白色結晶が析出しなかったことから、結晶と食塩との間に何らかの関係があると考えられる。

<実験 2>

搗く回数が多いガンゼキほど圧子にかかる力が大きく、硬いことがわかった。また、変化点における力（表面にかかる力の最大値）も大きかった。何度も搗くことで赤土中の粒が小さくなり他の材料との隙間が少なくなり、材料どうしの結束を高めていたと考えられる。

図.9において松川氏のガンゼキの変化点での値より、図.10のグラフから最適な搗く回数は490回であると求められる。

また、図.9より、研究班と松川氏のガンゼキでは変化点後のグラフの形が異なっている。研究班の製作したガンゼキは、変化点後の圧子がめりこんでから、ガンゼキが崩れず、圧子の側面と底面の双方に力がかかり、圧子にかかる力が増加し続けた。対して松川氏のガンゼキは変化点後の圧子がめりこんでから、ガンゼキが崩れ、圧子の底面だけに力がかかったため、圧子にかかる力が一旦減少したと考える。松川氏のガンゼキは、ある一定の力にまでは耐えることのできる性質があることがわかった。熊本地震時にはほとんどの箇所が崩れたことから、ある一定以上の力がかかるとすぐに崩れてしまうことが言える。修復のことを考えると都合の良い性質なのかもしれない。一方、研究班のつくったガンゼキと崩れ方が異なることから、搗き方の違い（松川氏；巨大な臼を用いて大きな力で少ない回数で搗く、研究班；小さな棒を用いて小さな力で多い回数で搗く）により、ガンゼキ中の材料間の結束の性質が異なっていることも分かった。

<実験 3>

実験1で食塩を入れなかったガンゼキには結晶が見られず、実験3の元素分析においてガンゼキ表面に析出した白色針状結晶と、水中に入れたガンゼキからの浮遊物を乾燥させた白色結晶のどちらにも、NaとClが多く含まれていたことから結晶の主成分は食塩であると考えられる。

食塩は通常、正六面体の形で存在しているが、ガンゼキ作成時に何度も叩いて結晶を細かくすることや、松汁の効果によって結晶の形を変化させていると考えられる。予備実験として松汁と食塩のみをすり潰して混ぜ合わせたものを結晶化させたところ、僅かに針状結晶が見られたことからこのことが言える。針状へ変化したのはガンゼキを接合に用いる際に、接合部との表面積を大きくすることで接着の強度をより高めるためだと考えられる。さらに針状結晶になることで棒状の食塩が重なり合って硬化しているのではないかとも考えられる。

なお、炭酸カルシウムの結晶のうち針状結晶のアラゴナイトは、その結晶形状から、樹脂や製紙等の補強材として用いられ、機械的強度を向上させる役割があるという。今回の針状結晶の塩化ナトリウムも、ガンゼキの強度に関わる重要な補強材としての役割があるのかもしれない。

また、白色針状結晶に含まれていた物質は食塩だけでなく炭素も含まれていた。炭素を含む有機化合物は水に溶けにくい性質があるため水に溶けやすい食塩と混ざり、針状結晶が析出したと考えられる。ガンゼキを水に入れた際に浮遊物が水面に浮くのは有機化合物とも関係していると考えられる。

5. 結論

- 搗く回数が増えるほど崩れにくくなり、搗く回数が少ないほど白色針状結晶が析出しやすいことがわかった。
- 松川氏のガンゼキと近いガンゼキをつくるのに最適な搗く回数は490回であった。搗く回数や力がガンゼキの材料間の結束に影響を与えていることがわかった。
- ガンゼキ表面に析出した白色針状結晶は、食塩が針状へと変化したものであった。

6. 参考文献

- ・ H31年度宇土高校課題研究論文集
- ・ 杉原, 日本接着学会誌「炭酸カルシウムの形態制御」

7. 謝辞

今回の研究にご協力頂きました松川紀幸様、産業技術センター・熊本大学客員教授の永岡様、産業技術センターの齋藤様、宇土高校の先生方に感謝致します。



SUPER SCIENCE HIGH SCHOOL