

波返し護岸の構造を利用したこぼれにくい茶碗の作成

群馬県立高崎高等学校
井口真心 細野昊 吉ノ蘭陽向

1. はじめに

日常生活において、液体の入った茶碗を運搬中にこぼしてしまうという経験は多くの人に共通する悩みであろう。特に味噌汁のような液体は、わずかな揺れによって容易に縁からあふれ出してしまう。本研究では、このような「こぼれ」に着目し、波浪を防ぐために海岸に設けられる波返し護岸の構造、特に「波返し工」および「根固め工」に着想を得て、こぼれにくく、かつ飲みやすい茶碗の設計を試みた。

波返し工とは、波が陸地に押し寄せた際に護岸を越えて侵入すること（越波）を防ぐための構造であり、湾曲した返しの部分が特徴的である。一方、根固め工は波のエネルギーを分散・減衰させることで護岸の根元を守る目的で設置されるものである。（図1）これらの構造的特徴が、茶碗の設計に応用可能であれば、日常生活でのこぼれ防止につながると考えられる。

本研究の目的は、波返し工および根固め工の仕組みを理解し、それを容器に応用した際にどのような効果が現れるかを検証し、最適な構造を探ることである。

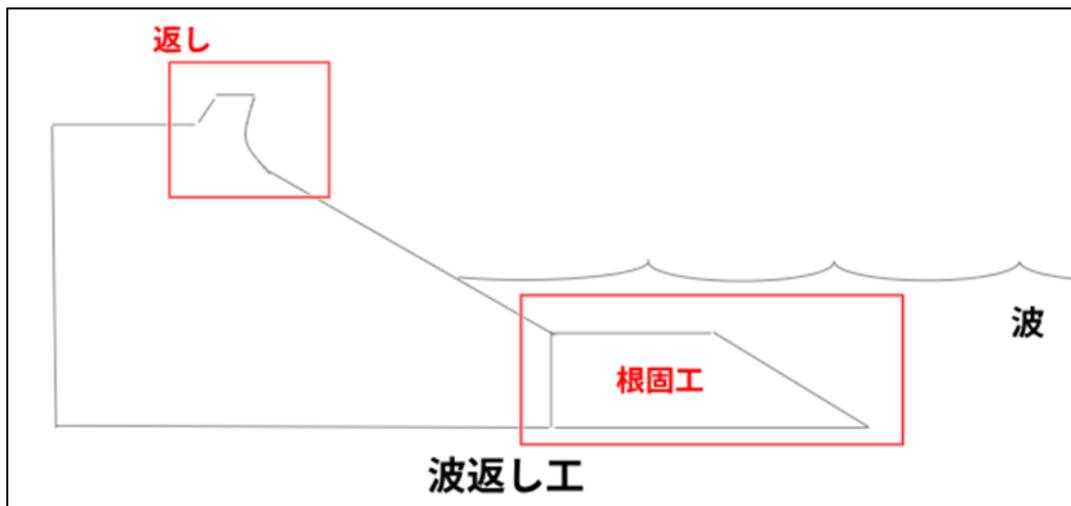


図1 海岸での波返し護岸

2. 理論背景

波返し工は、護岸の上部に設置された曲面状の返し構造であり、波が護岸を乗り越えようとするエネルギーを反射・散乱させ、越波を抑制する。これにより、背後の土地や構造物への被害を最小限にとどめる。

根固め工は、護岸の基部や前面に設置される石やコンクリートブロックで構成された構造である。波

が護岸に到達する前にそのエネルギーを分散・減衰させることが主な役割である。その主な物理的効果には以下がある：

- 反射効果：波が構造物にぶつかり反射される
- 散乱効果：不規則な表面により波が多方向に散乱する
- 摩擦・吸収：構造物内での摩擦によりエネルギーが熱などに変換

このような護岸工学の原理を小型の容器に応用すれば、揺れによる液体の動きを抑制できると考えた。返し構造は茶碗の縁に、根固め工は内部の段差や傾斜構造として再現可能である。

3. 実験方法

(1) 茶碗モデルの作成

本研究では、直径 117mm、高さ 58.5mm の半球型を基本とする茶碗モデルを設計し（図 2）、3D プリンターにより出力した。返し構造は円周角 $0^\circ \sim 90^\circ$ まで 6 段階、根固め工は角度 $15^\circ \sim 45^\circ$ まで 3 段階で設計し、組み合わせを総当たりした。

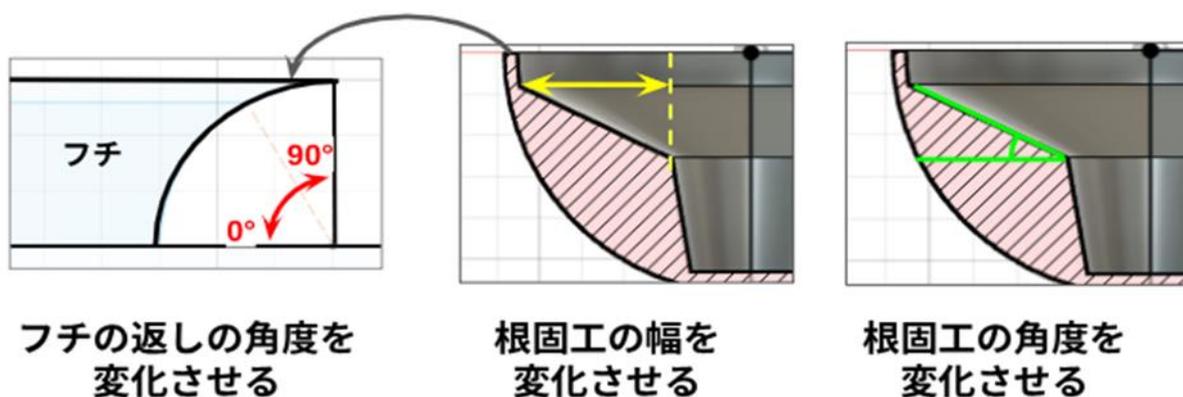


図 2 返しと根固め工の設計図

(2) 振動実験

振動装置「じしん君」(図 3) を用い、振幅 50mm、スピード (1~11) を設定して 5 秒間の振動を与えた。スピードは周波数 (Hz) に対応しており、歩行時の加速度 (最大 0.5G) を再現可能とした。

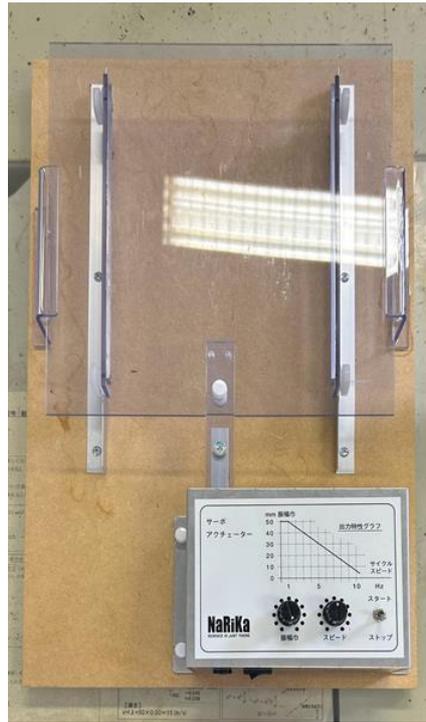


図3 じしん君

(3) 測定方法

各茶碗に 170g の水を入れ、各振動スピードでの 5 秒間の振動後に残存水量を測定した。水と味噌汁でのこぼれ方に大きな差は見られなかったため (図 4)、後の実験では水を使用して評価した。

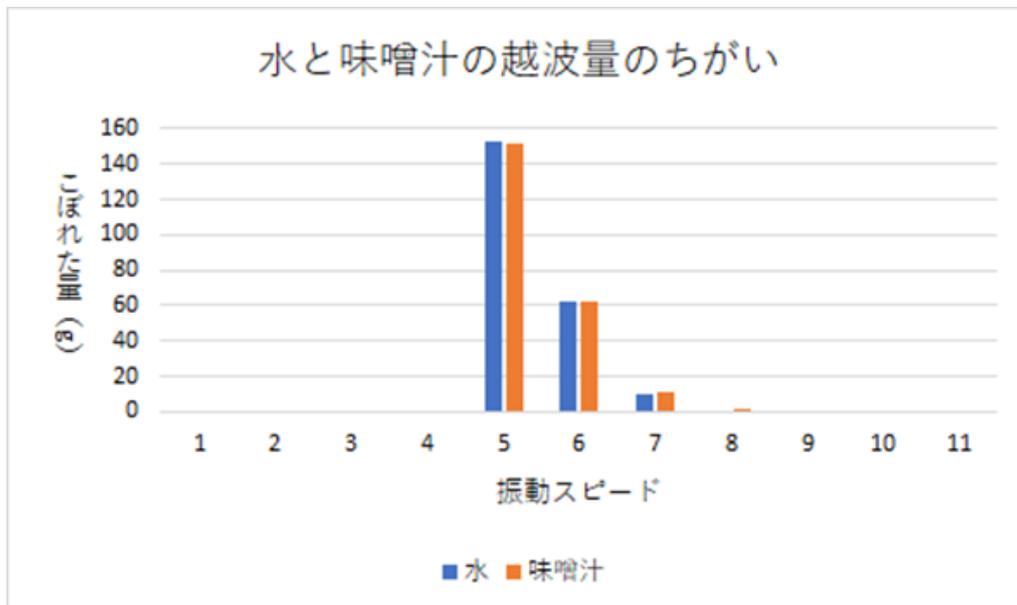


図4 水と味噌汁の越波量の違い

4. 実験①: 返しの効果

(1) 目的①

返し構造が液体の越波をどの程度抑えるかを明らかにするため、返し角度の違いが保持率に与える影響を検証することを目的とした。

(2) 方法①

返し角度を変えた 6 種類の茶碗(0° ,15° ,30° ,45° ,60° ,90°)を作成し、それぞれに 170g の水を入れて、同じ条件下で振動させた。今回から、振動前の茶碗内の水の質量に対する振動後の水の残存量の割合を保持率と定義し、比較した。

(3) 結果①

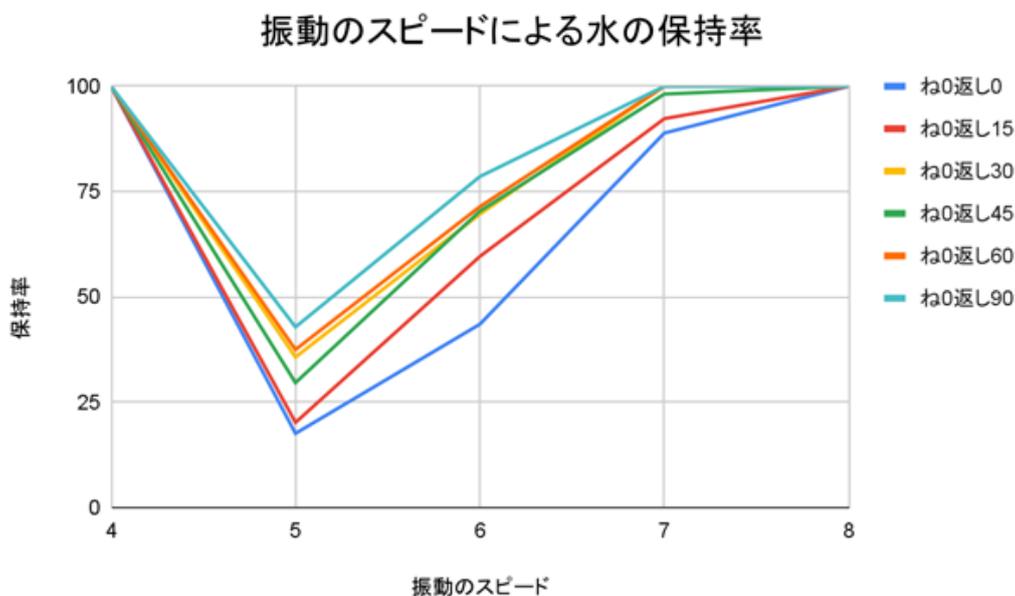


図5 返しによる保持率の変化

返し角度が大きいくほど保持率が高くなる傾向が明確に見られた(図5)。これは、返し構造によって液体が反射されて戻ること、越波(こぼれ)の量が抑えられていると考えられる。返し0°では液体がそのまま外に飛び出すのに対し、60°では液体が内部に戻る様子が観察された

5. 実験②: 根固め工の効果

(1) 目的②

根固め工の構造が茶碗内の水の保持にどの程度寄与するかを検証するため、根固め工の有無による比較を行うことを目的とした。

(2) 方法②

根固め工①、②を作成し（図6）、茶碗4種（根固め工①返しあり、根固め工②返しあり、根固め工なし返しあり、根固め工なし返しなし）を用いて同様に比較実験を行った。

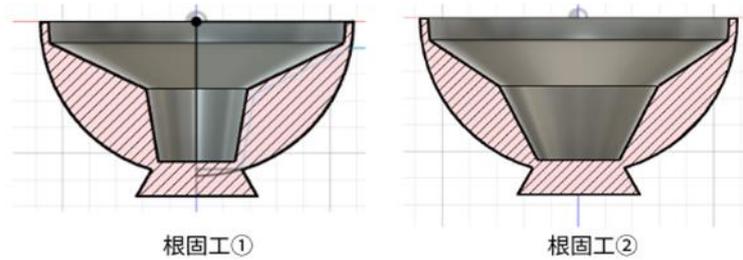


図6 根固め工①と②の設計図

(3) 結果②

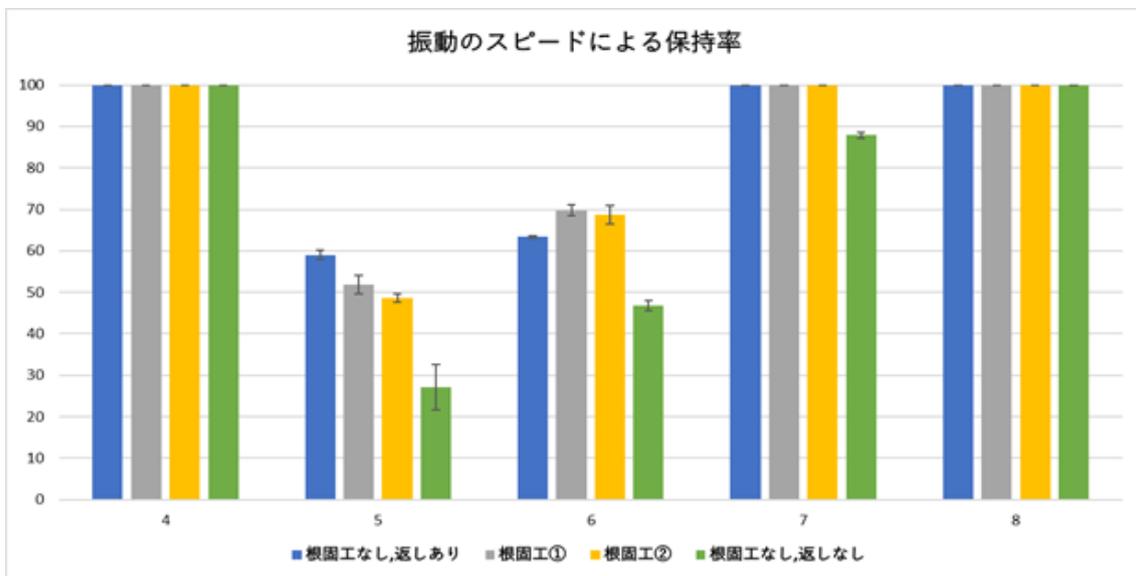


図7 構造による保持率の変化

根固め工は一部の条件下で保持率の向上に寄与する傾向が見られたが、効果は限定的であり、振動の強さや水の運動方向によって逆効果となる場合も確認された（図7）。

スピード5では、水の勢いが小さく、返しのみの茶碗では水が縦方向に小さくかえり、返し付き根固工の茶碗では水の流出角度が小さく流出量が多くなると考えられる（図8）。スピード6では、返しのみの茶碗は返し付き根固工の茶碗より水が縦方向に大きくかえることで、水の流出率が比較的大きくなると考えられる。

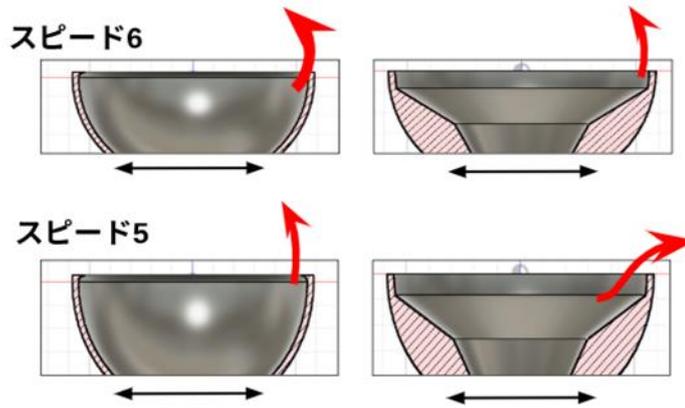


図8 スピードによる越波の模式図

6. 実験③: 返しと根固め工の総当たり実験

(1) 目的③

返し構造と根固め工の組み合わせが保持率に与える相互効果を調べ、最適な構造の組み合わせを明らかにすることを目的とした。

(2) 方法③

返し角度 (0° , 30° , 60° , 90°) と根固め工の角度 (15° , 30° , 45° , 無し) を組み合わせた総当たり実験を行った。スピード1~4および8~10では、いずれの組み合わせでも保持率は100%であったため、比較はスピード5~7で行った。

(3) 結果③

内容量の保持率 (色が濃いほどこぼれてる！)

スピード5		返し				深 ↓ 浅
根固め工	0°	30°	60°	90°		
なし	17.6	35.7	42.9	42.9	↓	
45°	31.5	29.5	69.7	57.6		
30°	69.4	54.8	56.3	58.9		
15°	60.0	59.4	78.1	70.3		
スピード6		返し				深 ↓ 浅
根固め工	0°	30°	60°	90°		
なし	43.5	83.9	69.2	76.57	↓	
45°	55.3	61.8	76.3	78.9		
30°	54.8	67.7	70.3	56.9		
15°	65.7	76.6	56.3	84.4		
スピード7		返し				深 ↓ 浅
根固め工	0°	30°	60°	90°		
なし	85.9	100.0	100.0	100.0	↓	
45°	94.7	100.0	100.0	100.0		
30°	100.0	100.0	100.0	100.0		
15°	95.7	100.0	100.0	100.0		

*スピード1~4、8~10はすべて100%であった

図9 保持率の変化の表

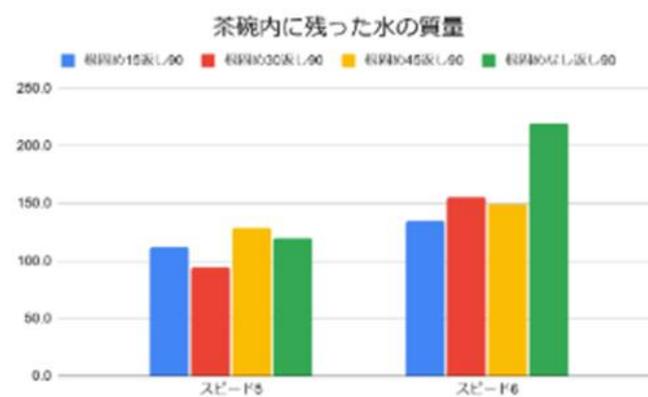


図10 返し 90° のときの根固め工による残存量

返しの角度が大きくなることで水の保持率が向上する傾向は再確認されたが、根固め工の角度による明確な傾向は見られなかった (図9)。また、水の残存量は根固めなしのほうが根固めあり

より大きかった（図 10）。

これは、返し構造が主に水の跳ね返りを内側に戻す役割を果たしているのに対し、根固め工は空間の制限や流路の短さからその効果が顕在化しにくいと考えられる。また、根固め工を加えることで内容量が減少する場合もあり、実用上の課題ともなりうる。

7. 実験④: 波槽実験による根固め工の縮小効果の検証

(1) 目的④

これまでの茶碗内での根固め工の効果が限定的であったことを受けて、よりスケールの大きい条件下でその有効性を改めて検証した。根固め工の効果がスケールを縮小しても維持されるかを確認し、茶碗モデルに応用可能な条件を把握することを目的とした。

(2) 方法④

根固め工の効果を改めて検証するため、水槽に波返し護岸を模した構造を縮小して設置し（図 11）、根固め工のサイズを 3mm ずつ変化させ、0mm~15mm までの計 6 種の根固め工で波の越波量を比較した（図 12）。

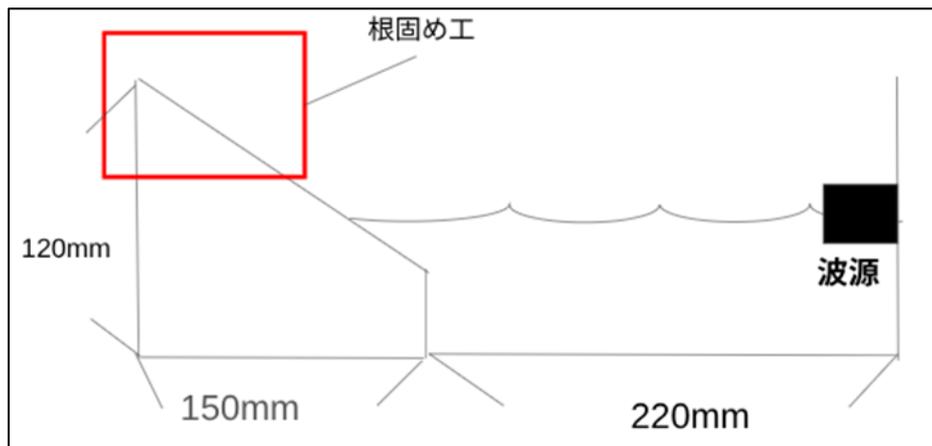


図 11 実験装置

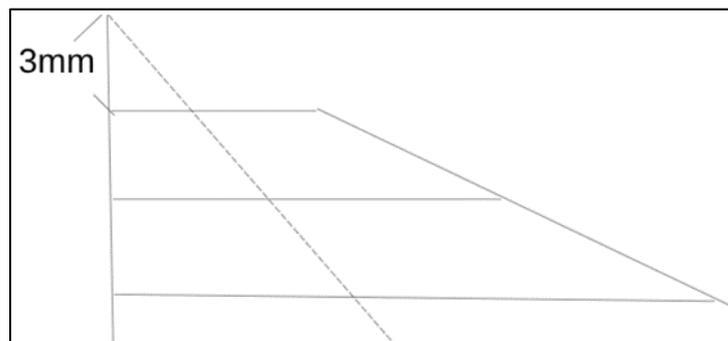


図 12 根固め工の模式図

(3) 結果④

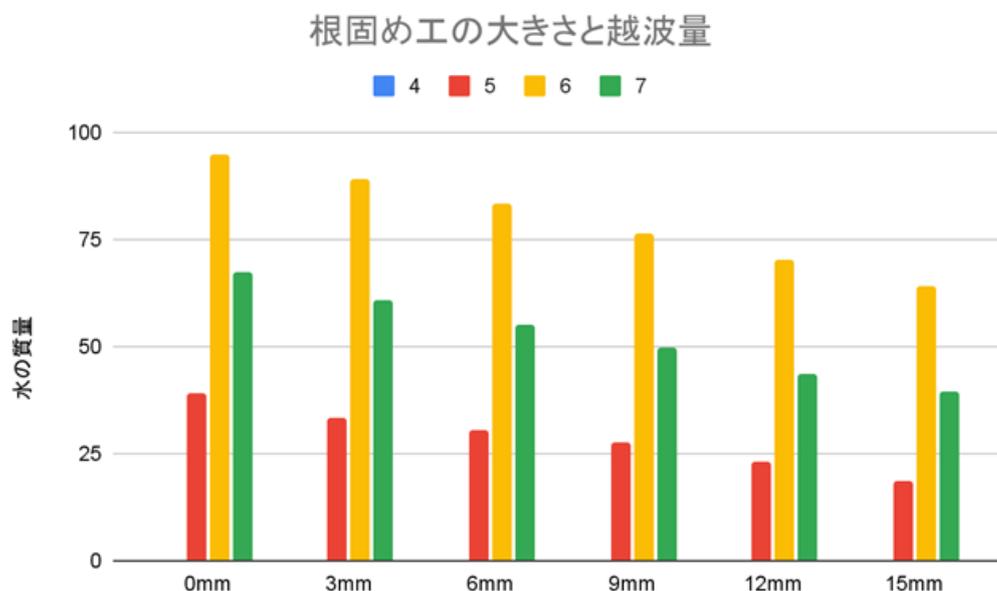


図 13 根固め工と越波量の関係

根固め工が大きくなるほど越波量が減少する傾向が明確に確認された（図 13）。このことから、根固め工は縮小してもその効果を保持することが可能であることがわかった。

したがって、茶碗においても、想定される振動条件に合わせて根固め構造を最適化すれば、効果を発揮する可能性があると考えられる。

8. 総合的な考察と課題

本研究では、波返し工と根固め工の原理を容器に応用するという試みを通じて、特に「返し構造」の有効性が明確に示された。一方で、根固め工の効果は空間的制約や波動のスケールの違いから、茶碗内部では十分に発揮されなかった。

また、根固めによる波のエネルギー軽減が十分に生じるには、より大きな構造や流速が必要であることが考えられる。今後は、容器形状をさらに工夫し、たとえばスープ皿のような開口部の広い形状への展開も検討すべきである。

9. 今後の展望

今後は、根固め工の段数や傾斜角、幅といった構造的パラメータをさらに多様に変更した追加実験を行い、より効果的な形状を検討したい。また、飲みやすさの観点から、流路の長さや角度などを定量的に評価する指標を設け、実用性とのバランスを探る必要がある。さらに、今回得られた結果をもとに、携帯用スープカップや介護用食器といった具体的な製品設計への応用を目指すとともに、流体

解析ソフトウェアを用いた数値シミュレーションによる補完的検証も検討する。

10. まとめ

本研究により、波返し護岸の構造のうち「返し」にあたる部分は茶碗に応用可能であり、こぼれにくさの向上に効果があることが確認された。一方で、根固め工の効果は縮小スケールでは限定的であり、さらなる最適化が必要であることが示唆された。

今後は飲みやすさ・実用性とのバランスを考慮した構造設計を進めていくことで、日常に役立つ新たな容器設計が期待される。

参考文献

内田吉文ら (2012)「波返し付き傾斜護岸の越波特性に関する実験的研究 (その 2)」 土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol. 68, No. 2, 2012, p731-735

小椋一也ら (2005)「通常歩行時の骨盤加速度に注目した歩行分析」 理学療法科学 Vol.20 (2) ,p171-177

大森秀樹 (2012)「水の共振を実験してみる (1)」 暫定知財創造研究センター,
<http://innovates.blog102.fc2.com/blog-entry-1.html>