

報告 超音波振動による遠心力成形コンクリート管の内面仕上げ

佐久田 昌治*1・内崎 巖*2・杉山 章*3

要旨：遠心力鉄筋コンクリート管の製造工程の省人化・自動化を目的として、超音波振動するコテを利用した内面仕上げ装置を試作し、実大模型で実行可能性を検討した。遠心力成形後のコンクリート面を対象とした仕上げ実験により、超音波振動数19.5kHz、振幅11ミクロン、出力1200wattで有効に機能することを確認した。実際の製造プロセスに導入するにはいくつかの課題が残されているものの原理的には可能と結論された。

キーワード：超音波、仕上げ、遠心力成形、コンクリート二次製品

1. はじめに

遠心力鉄筋コンクリート管（以下ではヒューム管と呼ぶ）の製造工程における重要な課題の一つとして、管の内面仕上げ作業の自動化が挙げられる。ヒューム管の主要製造工程はほぼ自動化されているにもかかわらず、この内面の仕上げ作業は現在全く人力に頼っている。実際、自動化された遠心脱水工程が終わると、作業者は高速で回転する製管機の中にドライモルタルを撒布し、水を撒き、さらにバーを挿入して均すという危険な汚れ作業に従事している。

本研究は、ヒューム管製造工程自動化のネックとなっている上記内面仕上げ工程に超音波振動技術を適用することにより、自動化の実現と製品品質の向上とを試みるものであり、以下では、超音波振動をこの工程に適用するには具体的にどのような内面仕上げプロセスが実行可能かを調べるために行った実験について報告する。

2. コンクリートの仕上げにかかわる超音波振動の性質に関する既往の研究

超音波振動がどのようなセメント混合物に対してどのような効果を発揮するのかについては既に参考文献 [1] に詳しく報告されている。ここでは遠心力成形コンクリートを超音波振動により仕上げの実験の技術的背景として重要な二つの項目を記す。

1) 水セメント比が締固めに及ぼす影響

団粒状の低水セメント比セメントペーストに超音波振動を加えると、瞬時に流動化して締固まり緻密な層を形成する。この超音波締固めに適する水セメント比は20%前後の狭い範囲に限られ、それより少ないと締固めに到らず、多いと流動化せず緻密層が形成されない。

2) セメント混合物に注入される超音波振動エネルギーと締固め深さ

容器内の拘束されたモルタルに超音波振動体を押し付けて締固めると、セメントペーストに比べてかなり厚い緻密層が形成される。この時の緻密層の厚さはセメント混合物に注入される超音波振動のエネルギーにより支配される。

3. 小規模予備実験

* 1 (株) 日本総研 理事、工博 (正会員)

* 2 (株) 竹中工務店 技術研究所 主任研究員 (正会員)

* 3 テイヒュー (株) 技術研究所 次長

3.1 実験目的

ヒューム管の内面仕上げに超音波振動を適用することは初めての試みなので未知の要素が多く、実物大実験の検討に先立ち超音波仕上げにかかわる諸条件の枠組みを大まかに把握する必要があった。そこで、超音波振動コテとコンクリートとの接点にかかわる基本条件を把握することにより実物大実験の具体案のアタリをつけることを主目的に小規模な予備実験を実施した。

3.2 実験装置と実験方法

実験装置は図-3.1、写真-3.1に示すように、円筒形型枠（内径400mm、外径470mm、長さ500mm）を二台のローラーの上に載せ、このローラーを高速回転させることで型枠を回し、内部に打設されたコンクリートに遠心力を作用させる機構である。超音波仕上げ装置は前後に移動するビームの先端にバネを介して取り付けられている。超音波仕上げ装置の仕様を表-3.1に示す。ジュラルミン製超音波コテの寸法は厚さ20mm、幅150mmである。

実験に用いたコンクリートは表-3.2、3.3に示すように通常のヒューム管に用いる配合を基準とした。骨材の最大寸法は15mmである。圧縮強度を計ったところ材令28日で37.5から

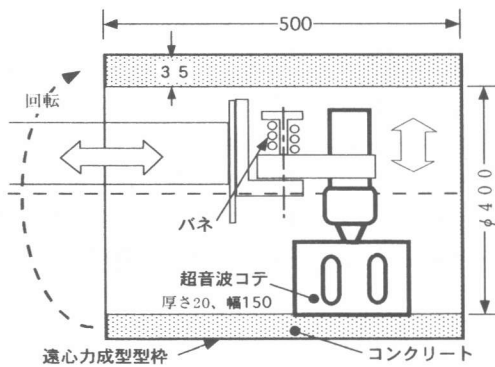


図3.1 実験装置の概要

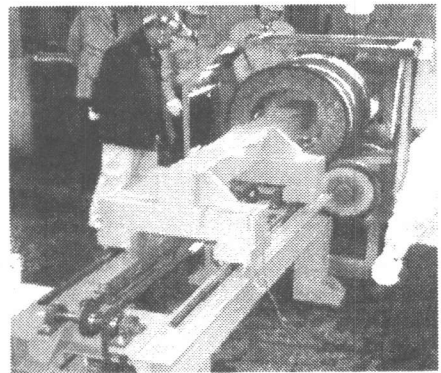


写真-3.1 実験装置

表-3.1 超音波振動の仕様

項目	仕様
出力	150 watt
振動数	28.5 kHz
振幅	5ミクロン

表-3.2 コンクリートの配合 (1) 単位: kg/m³

セメント	水	細骨材	粗骨材	膨張剤	高性能減水剤
415	173	890	900	45	3.2

59.2MPaの範囲内であった。

実験方法は大きく次の三つの工程からなっている。

- 1) 遠心力成形：表-3.4に示す条件で実施した。途中で振動を加えて粗骨材が表面に出ないようにつとめた。
- 2) 前処理：表面に絞り出されたブリーディング水を取り除いて水分を調整する工程であり、布でふき取る方法と水分が減るまで放置する方法の2種類を実施した。
- 3) 超音波仕上げ：型枠を25r.p.m.の回転数で回しながら超音波コテをバネの力でコンクリート表面に押し付け円筒形型枠の軸に平行に一定速度で移動した（写真-3.2）。

表-3.3 コンクリートの配合 (2)

スランプ	W/C	s/a
cm	%	%
5±1	38.3	50.0

表-3.4 遠心力成形条件

工程	遠心加速度	成形時間
材料投入	5 G	4分
中速	20 G	3分
高速	40 G	12分

3.3 実験結果

- (1) 超音波コテの押し付け力と傾斜角度

前処理として、遠心力成形後のコンクリート管内面を布で拭き取ってノロを取り除き水分を調整した。この試験体に対して、超音波コテの押し付け力を5, 13, 24kgfの三段階に変化させて仕上げ状況を観察した。この時のコテ傾斜角度（超音波コテとコンクリート面の垂線とがなす角度）は仮に10度とし、コテの移動速度は17cm/minとした。それぞれの仕上げ状況は次の通りであった。

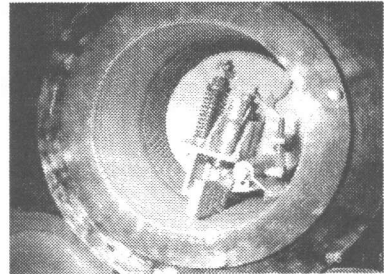


写真-3.2 超音波仕上げ状況

押し付け力5kgf：超音波コテは滑らかに移動したが、削りくずは殆ど発生せずやや光った表面状態と

なった。押し付け力不足で超音波振動の能力が発揮されていないように観察された。

押し付け力13kgf：超音波コテは表面を削りながら滑らかに移動し、移動後の表面水分は前項より少なく、超音波振動の能力がより発揮されていた。

押し付け力24kgf：表面の切削量はさらに増加したが超音波コテの動きが滑らかでなくなり、骨材に引っかかる現象がしばしば観察された。

以上から、振幅5ミクロン、超音波コテ幅150mmの条件の下では、13kgf程度の押し付け力が最も適していると考えられた。

次に、押し付け力を13kgfの一定値に保ちつつ、超音波コテの傾斜角度を5度、10度、15度の三段階に変化させた。それぞれの仕上げ状況は以下の通りであった。

角度5度：超音波コテがコンクリート表面に単に接触しているだけで、超音波振動のエネルギーが内部まで効果的に伝わっていないように観察された。

角度10度：コンクリート表面を削りつつ滑らかに超音波コテが移動し、超音波振動が十分に伝達されているような状況であった。

角度15度：角度5度と同様に超音波振動のエネルギーがコンクリートに効果的に伝達されていない状況であった。

上記結果から以下の実験では押し付け力13kgf、傾斜角度10度を設定することとした。

超音波仕上げ後の試験体表面の状態の一例を写真-3.3に示す。同写真-3.3は押し付け力13kgf、超音波コテ傾斜角度10度の例であるが、表面の色がやや黒ずみ螺旋状の縞模様（ピッチ6.5mm、深さ0.3mm）が形成されていた。

この縞模様を取り除くには以下の方法が考えられる。

- A) 遠心力成形後表面の水分を減らすことによりコンクリートの流動化抵抗を増し切削厚さを薄くする方法、
- B) コンクリート表面に伝達される超音波振動のエネルギーを減らす方法（具体的には、押し付け力を減らす、振幅を下げる、超音波振動コテの送り速度を高めるなどの方法）。

（2）水分調整のための前処理工程の検討

前項で述べた実験を通して、超音波仕上げの前処理として布で拭き取って水分調整するだけではコンクリート中の水分量が少し多すぎるように観察された。そこで、水分が減るまで放置する水分調整方法を試みた。

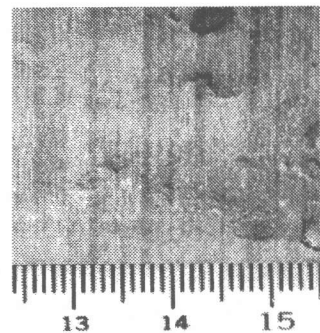


写真-3.3 表面の状況

遠心力成形後3時間放置した試験体を作成し、これに超音波仕上げを試みた。超音波コテはス

ムースに移動し、付着力のない削り屑が少量発生する良好な仕上げ状況であった。しかし、超音波仕上げ後数時間経過すると、仕上げ直後には認められなかった小さな気泡が多数発生した。

以上の実験状況の観察から、超音波仕上げに適するコンクリートの水分は遠心力成形直後の水分と3時間放置した後の水分の中間程度が望ましいと判断された。その具体策としては上記の他にドライモルタルを撒布する方法が考えられる。

4. 実大規模実験

4.1 実験目的

前章で述べた実験により、ヒューム管の内面仕上げに関わるコンクリートと超音波振動との接点をめぐる基本的条件について大きな枠組みが明らかになった。ここでは前記実験を踏まえて、既往のヒューム管製造設備に組み込むには超音波仕上げプロセスをどのようにすべきか、を主目的に実物大規模の定性的実験を実施した。これと合わせて実用化に向けて規模を大きくした場合、既往の超音波技術で果たして有効かどうか、という課題についても検討を加えた。

4.2 実験装置と試験体

(1) 実験装置

遠心力成形のための実験装置は実際に稼働している装置を用いた。型枠寸法は内径900mm、長さ2430mm、コンクリート厚さ90mmである。

超音波コテは図-4.1に示すように、コンクリート内面に平行に移動するビームを型枠の一端から挿入し、その先端に空気圧

ジャッキを介して取り付けられている。超音波振動の仕様は表-4.1の通りである。小規模実験に用いた超音波振動機に比べて出力で8倍、振幅で2.2倍と大きい。超音波コテの材質はステンレスを採用し、寸法は厚さ40mm、幅200mmである。ドライモルタルあるいは乾燥砂は型枠の全長にわたって一様に供給する投入機を型枠の他方の端部から挿入して撒布した。

(2) 試験体の作成

使用したコンクリートの配合を表-4.2、4.3に、遠心力成形条件を表-4.4に示す。これらは基本的には実際のヒューム管の製造に適用されるものと同等であるが、超音波仕上げのために次ぎの二つの前処理を実施した。

そのひとつは遠心力成形

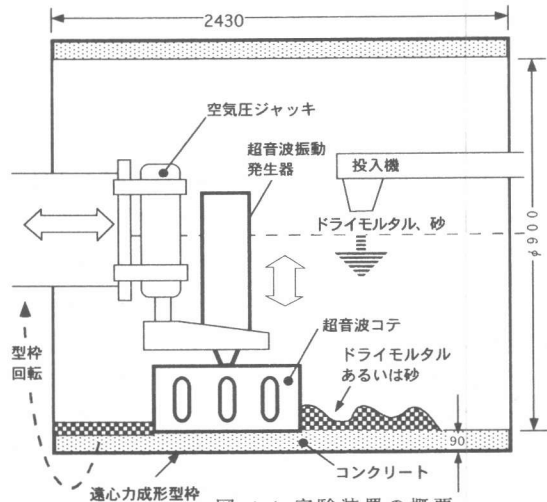


図 4.1 実験装置の概要

表-4.1 超音波振動の仕様

項目	仕様
出力	1200 watt
振動数	19.5 kHz
振幅	5,11ミクロン

表-4.2 コンクリートの配合 (1) 単位: kg/m³

セメント	水	細骨材	粗骨材	減水剤
450	131	700	1098	6.8

表-4.3 コンクリートの配合 (2)

スランプ	W/C	s/a
cm	%	%
2	29.1	38.9

表-4.4 遠心力成形条件

工程	加速度	成形時間
材料投入	4 G	3分
中速	1.5 G	3分
高速	3.5 G	8~10分

の結果表面に露出した粗骨材の除去であり、これを長さ約3メートルの仕上げ鋼棒（ ϕ 240mm）を回転する型枠内面に押し当てる方法で強制的に排除あるいは押し下げた。二つめは余剰水分の排出であり、遠心力成形後管底部に溜まっている水をゴム板で管端から掻き出した。

4. 3 実験方法と実験結果

実験方法は図-4. 1で示したように、低速で回転するコンクリート管内面に超音波コテを押し当てながら一定速度で移動させた（写真-4. 1）。この時ドライモルタルあるいは砂を水分調整のために撒布する点が小規模実験とは異なっている。

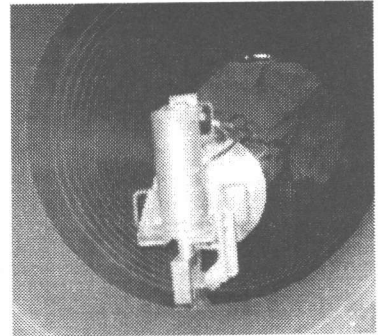


写真-4.1 実験状況

(1) 砂撒布による超音波仕上げ

乾燥砂10kgを内面に撒布し、低速（25R.P.M.）で回転させながら、超音波コテを移動速度2m/minで送り、表面を2回擦った。この時往路では表面を削って平滑に均すことを狙って振幅を11マイクロン、押しつけ力を16kgfとし、復路では往路で形成された縞模様を取り除くことを狙って振幅を5マイクロン、押しつけ力を12kgfと弱くした。

仕上げ状況については超音波コテは滑らかにコンクリート表面を移動し、表面の仕上がり状態は良好であった。超音波振動で表層を締固める目的には水分は幾分多いが平滑化を目的とするならば有効な仕上げ方法のように観察された。

(2) ドライモルタル撒布による超音波仕上げ

ドライモルタル（普通ポルトランドセメント1：6号珪砂2の割合の混合物）10kgを管内面に撒布し、表面に付着させて水分を調整し、余剰ドライモルタルは排出した。前項と同様に低速で型枠を回転させながら超音波仕上げを実施した。ここでは振幅を11マイクロン、押しつけ力を16kgfの条件で2回、振幅を5マイクロン、押しつけ力を12kgfの条件で2回、合計4回擦った。

仕上げ状況については、強く超音波振動を伝えた振幅11マイクロンでは縞模様が目立って残ったが、振幅5マイクロンで仕上げた後ではコンクリート表面の縞模様は僅かであった。コンクリート表面は黒ずんだ色に変わり、ドライモルタルが緻密に締め固まっていることを示した。超音波振動の出力容量としては1200wattで有効に機能することが確認できた。

超音波振動を利用して締固めを狙うにはドライモルタルは必要と考えられる。

(3) 仕上げ表面の性状

超音波で仕上げた表面の性状を定性的に把握するために強酸中への浸漬試験を実施した。方法は上記試験体からコアを採取し、これらと在来方法により仕上げた試験片とをpH1の硫酸中に14日間にわたり漬け、表面の劣化度合いを観察した。

観察状況は次のようであった。ドライモルタルを撒布した試験片では表面の劣化は殆ど生じなかったが、砂を撒布した試験片では酸による若干の劣化が認められた。ドライモルタル層の水セメント比が低く保たれているため酸に対する抵抗性が強まったと考えられる。在来方法による仕上げられた試験片では劣化が最も激しく進行し、7日目で表面のモルタル層は消えた。人力仕上げ工程でドライモルタルに水を撒布していることが水セメント比を高くし、酸に対する抵抗性を弱めたものと考えられる。

以上の実験結果に基づき、現状の製造ラインを大幅に変更することなく自動化仕上げ工程を取

り込む、との観点から超音波仕上げプロセスを考えると、図-4.2に示すようになる。同図中のAに示すドライモルタル増し打ち法は仕上げ工程の自動化と緻密なドライモルタル層の形成との両方を狙っている。図-4.3に基本構想を示した。また、Bに示す表面切削法は超音波振動が低水セメント比のモルタルを切削する機能を利用するものであり、仕上げ工程の自動化を狙っている。

5. まとめ

超音波仕上げに関する小規模実験ならびに実大実験を実施して直接分かったことを列記すると次のようになる。

- 1) 超音波出力1200wattの規模で直径900mmの管の仕上げに有効に機能する。
- 2) 表面の平滑化のためには水分調整は必須の要件である。
- 3) ドライモルタルを超音波振動で締めれば極めて緻密な表面が形成される。

また、実験から得られた情報に基づき超

音波振動の機能を有効に利用する自動化内面仕上げプロセスを考え図に例示した。技術的には既存技術の組み合わせで充分実行可能であるが、このプロセスの実用化には、水分の調整、コンクリート投入量の管理、寸法精度の確保等の技術的課題が残されており、実用システムの構築を直接狙った取り組みが必要である。

おわりに、本研究活動は建設会社が保有する基本技術をコンクリート二次製品製造業に活かすべく組織された研究会の活動の一環として営まれたものである。この研究会は、栗本コンクリート工業(株)、(株)小山工作所、大日コンクリート工業(株)、高尾コンクリート(株)、秩父コンクリート工業(株)、テイビュー(株)、中川ヒューム管工業(株)日本ゼニスパイプ(株)、羽田ヒューム管(株)、藤村ヒューム管(株)並びに三次ヒューム管(株)、以上11社のコンクリート二次製品製造会社並びに製造装置メーカーを会員としているが、研究成果の実用化に向けて活動の発展を図るには、残された技術的課題の解決に加えて、企業間技術移転に伴う障壁を取り除く仕組みの構築が欠かせないことを痛感している。

参考文献

- [1] 内崎 巖：超音波振動によるセメント混合物の締め固め、コンクリート工学年次論文報告集 Vol.11, No.1, pp.679-682, 1989
- [2] 内崎 巖：超音波振動締め固めの特性と考えられる応用分野、セメント・コンクリート、No.576. pp.34-41, 1995.2。

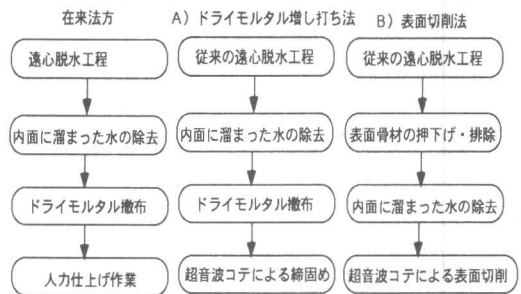


図-4.2 考えられる超音波仕上げプロセス

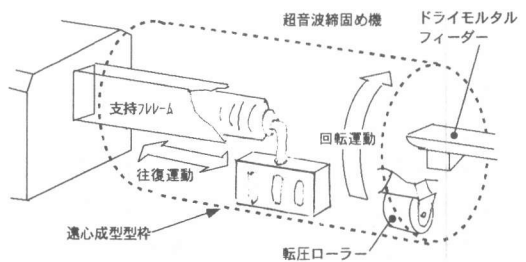


図-4.3 自動内面仕上げ装置の基本構想