

V-22

超音波振動によるセメント混合物の締固め

竹中技術研究所 正会員 内崎 巖

1. まえがき

コンクリートを締固めて空隙を少なくし緻密性を高めるには、高い流動性と低い含水比との相反する性質を同時にコンクリートに付与する必要がある。ところが、水分が多いと流動性は確保されるものの硬化後のセメント粒子間の密実さは低い。逆に水分を減らしていくと、流動性が低下してコンクリート中に空隙が発生しかえって緻密性が損なわれてしまう。実施工では流動性を確保しつつ水分を極力少なくし、さらに種々の振動機（棒状振動機や振動ローラー等）を用いてコンクリートを加振し、一時的に流動性を増大して締固める方法が採られている。しかし、これらの振動機の振動数は可聴音以下であり、可聴音以上の振動数を有する締固め振動機は使われていない。締固め振動機の振動数を著しく高めれば、極めて低い含水比のセメントも流動化できるのではないかと考え、超音波振動機を用いてセメント混合物の締固め実験を行ったので以下にその内容を述べる。

2. セメントペーストの超音波締固め

流動性を全く示さない低含水セメントが超音波振動を受けると、瞬時に流動化して締固まり緻密な層を形成する。この現象に関与する主な要因の中から、①含水比、②加振時間、③加振圧力（超音波振動体をセメントに押し付ける圧力）の3項目を取り上げ、それらが緻密層の形成に及ぼす影響を次のように調べた。

実験方法は、まず型枠（内径50mm）の中に種

々の含水比のセメントを投入し、次に約3 kg/cm²の圧力で圧縮した後直径49mmの超音波振動体（振動数28.5KHz、振幅5μm）を2分間0.64kg/cm²の圧力で押し付けた（写真1）。硬化後試験体を切断して緻密層の厚さと硬さを測定した結果を図1に示す。緻密層厚は含水比5～10%では観察されず15%から生じはじめ23%まで急増した後突然生じなくなっている。水分が少ないと締固められず、水分が多いと流動化したセメントが型枠と超音波振動体との間から逃げてしまうからである。質の指標とした硬さの変化は、含水比18～23%間ではほぼ一定でありこの範囲では緻密層厚が変化してもその質には大きな変化は起こっていないと理解できる。

次に加振時間及び加振圧力が緻密層厚に及ぼす影響について述べる。

材料はW/C=0.2のセメントペースト（写真2）、実験方法は含水比に関する実験とほぼ同様である。図2に示す加振時間が緻密層厚に及ぼす影響を見ると、加振時間15秒までは緻密層は急激に成長するがその後は徐々に飽和する傾向を示

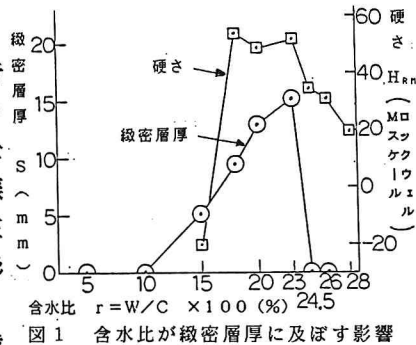


図1 含水比が緻密層厚に及ぼす影響

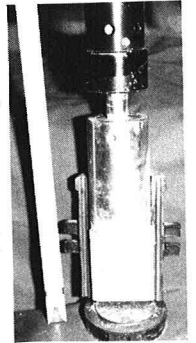


写真1 実験方法



写真2 セメントペーストの団粒状態

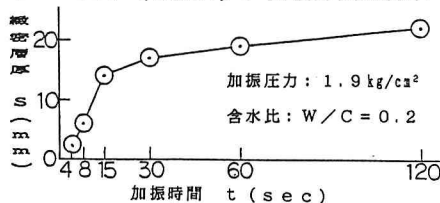


図2 加振時間が緻密層厚に及ぼす影響

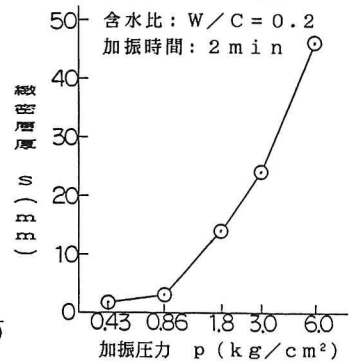


図3 加振圧力が緻密層厚に及ぼす影響

している。図3に示す加振圧力が緻密層厚に及ぼす影響では加振圧力の増大にともない緻密層厚は顕著に増大しており飽和傾向はみられない。

以上述べた実験から、①超音波締固めの対象となるセメントの含水比は比較的狭い範囲に限定されること、②加振時間はある程度以上長くしても緻密層厚は増加しない飽和傾向を示すこと、③加振圧力が緻密層厚に及ぼす影響は大きく、飽和傾向はみられないこと、などが明らかになった。

3. モルタルの超音波締固め

超音波振動による締固めがモルタルの圧縮強度の経時変化に及ぼす影響を調べた。実験方法は、型枠（内径50mm）の中にモルタルを少量投入して前述の超音波振動体押し付けて締固め、5～6mmの緻密層を形成する。これを繰り返して高さ約10cmの積層試験体とした。20℃の水中で養生し、圧縮強度の経時変化を測定した結果を図4に示す。同図4中の普通ポルトランドセメントの圧縮強度は、材令1日で390kg/cm²、7日で970kg/cm²、28日で1100kg/cm²を越える値を示している（写真3）。また、単位体積重量は2.40～2.42g/cm³であった。このように高い強度が得られる本方法はコンクリート床面の表層施工に有効と考える。工場や倉庫の耐摩耗床だけでなく、早期に施工現場を解放する必要のある道路には、初期強度が著しく高い性質は適している。

次に、超音波振動による締固め効果を圧縮による締固めで評価した。評価方法は、種々の圧力でセメントペーストを締固めて圧縮締固め圧力と圧縮強度（養生期間7日）の関係を求めた。その結果を図5に示す。同図5から超音波締固めによる圧縮強度（970kg/cm²）に対応する圧縮締固め圧力を求めると、約800kg/cm²となる。超音波締固めの加振圧力は約2kg/cm²であるので、圧力だけを単純比較すると400倍となる。超音波締固めは低い加振圧力で極めて高い圧縮圧力で締固めたのと同様な圧縮強度増大効果を発揮できる、と言える。なお単位体積重量についてもモルタルを用いて同様に比較すると、超音波締固めの2.41g/cm³に相当する圧縮締固め圧力は約350kg/cm²となった。

4. まとめ

超音波振動による締固め実験を行って、次の基本事項を明らかにした。セメントペーストの実験では、

- 1) 加振時間が長くなると緻密層厚は増大するが次第に横ばいとなる飽和傾向を示す。
- 2) 加振圧力が高くなると緻密層厚は急激に増加する。加振圧力6kg/cm²までは飽和傾向を示さない。

モルタルを対象とした圧縮強度に関する実験では、

- 3) 超音波振動により締固められた緻密層の圧縮強度は4週養生で1100kg/cm²と著しく高くなる。
- 4) 1日養生での圧縮強度は約400kg/cm²が得られ、超音波締固めは初期強度を高める効果がある。

今後は、加振圧力を高めた実験を行い、加振時間の短縮や緻密層の極厚化の可能性を探るとともに、平面での無拘束条件で連続施工が可能な加振方式（たとえばローラー形振動機）を検討し実工事への適用の可能性を模索したいと考えている。

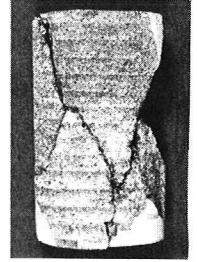


写真3 圧縮試験後の試験体

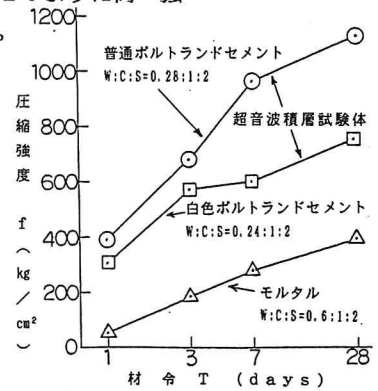


図4 圧縮強度の経時変化

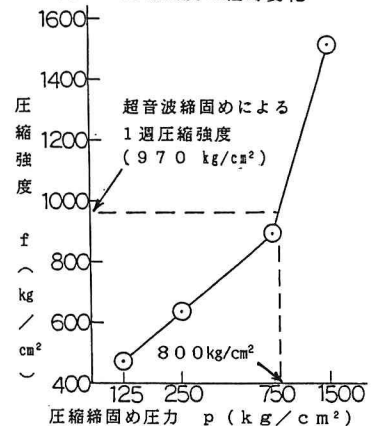


図5 圧縮締固め圧力と圧縮強度の関係