

論文の内容の要旨

論文題目「機械インピーダンス法によるコンクリートの圧縮強度評価に関する研究」

学位申請者 久保 元樹

キーワード：圧縮強度，機械インピーダンス，反発硬度法，非破壊検査，ハンマ打撃

コンクリート構造物は，現代の社会インフラを支える重要な役割を担っている。我が国の社会インフラは，戦後の高度経済成長を背景に急ピッチで整備された。コンクリート構造物はかつて半永久構造物でメンテナンスフリーであると認識されてきた。しかし，1980年頃に「コンクリート・クライシス」として早期に劣化するコンクリート構造物の現状が報道され，1999年には，山陽新幹線トンネル覆工コンクリート剥落事故などが発生した。また，建築の耐震偽装問題など人為的に欠陥を持ったコンクリート構造物の問題や，老朽化の問題も絡みあい，現在ではコンクリートの品質に関しての意識が大きく変化している。特に，老朽化は大きな問題になっており，2033年までに約半数の社会インフラが建設後50年以上を迎えることとなる。

このような中，構造物を効率よくメンテナンスし，より長く使用する事を目指したインフラ長寿命化基本計画が2013年に取りまとめられ，これを基に，各種構造物の定期点検が実施されることとなった。しかし，この定期点検は目視点検が基本となっており，コンクリートの物理的性質を定量的に把握できるわけではない。構造物を効率よくメンテナンスするには，目視点検で得られる構造的な状態把握とともに材料としての状態も併せて把握する必要がある。コンクリートの物理的性質を定量的に把握するには，構造体からコア供試体を採取し圧縮強度試験を実施する部分的な破壊試験が主に用いられている。この試験は，コンクリートの局所的な情報を反映するものである。一方，コンクリートは，鉄やプラスチック等と比較して強度などの品質の面で大きなバラつきを持った材料であることに疑いの余地はない。このため，コア供試体から得られる局所的な情報を，構造物を代表する情報として取り扱うことには疑問が残る。そもそも，長寿命化を目的とした試験であるにも関わらず，試験のために局所的ではあるが構造物を損傷させる行為は，試験本来の目的と矛盾する。また，長寿命化に関しては，適切なメンテナンスの他，新設時に高品質なコンクリート構造物を施工することが経済的な面からも効果が高い。新設時のコンクリートの品質管理は，一部非破壊検査を用いて行われているが，コンクリート構造物の施工の際に同時に採取したテストピースによって品質管理を行うのが一般的である。しかしながら，コンクリートは施工条件と養生条件が品質に大きな影響を与える材料である。構造体コンクリートとテストピースでは，製造時の条件が大きく異なるため，テストピースの結果から構造体コンクリートの品質を確認する方法では，その品質を評価することは難しいと考えられる。このため，近年では，非破壊検査に対する期待が大きくなっている。

本研究では，コンクリートの破壊を伴わずハンマ打撃によってコンクリートの圧縮強度の推定を行う方法について検討を行った。この方法は，加速度計を内蔵したハンマによってコンクリートを打撃して得られる加速度または打撃力の時間波形の情報から機械インピーダンスを算出しコンクリートの圧縮強度を推定する方法である。

本論文は、全6章で構成されている。

第1章では、本研究の背景、圧縮強度推定に関する既存の非破壊検査技術の概要、研究の目的を述べ、本論文の構成を示した。

第2章では、コンクリートの非破壊試験方法として、最も一般的に用いられている反発硬度法による圧縮強度推定について、その基本原理を波動理論の立場から検証をおこなった。反発硬度法の打撃機構は、1940年代の開発当時は重錘で直接コンクリートを打撃する方式であったものの、現在ではプランジャーを介して打撃する間接打撃方式となっている。この場合、打撃力はハンマとプランジャーの質量や形状など測定装置の諸元のみ支配され、コンクリート表面の力学的特性の影響を受けない。しかし、反発硬度法の基本原理では、発生する打撃力がコンクリート表面の力学的特性を反映した値であることを前提としており、理論と実際では矛盾した方法であることを新たに論理的に明らかにした。また、反発硬度法は、従来からの原理とは異なり、塑性変形に伴うエネルギー吸収量を示した指標ではなく、弾性的な指標であることを明らかにするとともに、ばね定数の小さい範囲では反発度の測定が難しく、ばね定数が大きい範囲ではその感度が低下すること等の問題点も明らかにした。

第3章では、機械インピーダンス法の基本原理に関し、その妥当性をシミュレーションによって検討した。機械インピーダンス法は、重錘で直接コンクリートを打撃する形態であることから、ハンマの持つ運動エネルギーとコンクリート表面の弾性変形エネルギーの関係が単純・明瞭で、エネルギー収支を基本に理論展開できる。その結果、機械インピーダンスは、コンクリートのばね定数（弾性係数に相当）に比例する弾性的な指標を示した値であることを明らかにした。また、シミュレーションによってその妥当性を確認した。実際の測定においては、重錘に加速度計を設置して加速度を測定することで機械インピーダンスの算出が可能であるものの、機械インピーダンスは打撃速度によって変動することを明らかにし、これを考慮した推定値の算出方法を新たに提案した。

第4章では、打撃によって得られた機械インピーダンスから圧縮強度推定に至る理論的枠組みについて検討した。機械インピーダンスから圧縮強度を推定するには、①機械インピーダンスの測定、②測定上のひずみ領域での弾性係数の推定、③終局状態の弾性係数の推定、④終局ひずみの乗算のプロセスが必要となることを明らかとした。非破壊検査による圧縮強度推定には必ず誤差が生じるが、その誤差は、上記4つのプロセスでそれぞれ発生し、結果的に本実験の範囲内では±15～20%程度の誤差が生じることが論理的に明らかとなった。

第5章では、機械インピーダンス法による圧縮強度の推定精度向上への取り組みについて示した。対象とするコンクリートの配合において、細骨材率 s/a を変えた供試体で検討した結果、終局ひずみ量をどのように特定するかが推定精度向上の要因となり、 W/C および s/a から高い精度で終局ひずみ量の推定が可能であることを実験的に明らかにした。また、誤差要因の一つであるコンクリートの湿潤状態について検討した結果、機械インピーダンス法は、反発硬度法に比べコンクリートの湿潤状態の影響を受け難いことも明らかとした。

第6章は、結論であり、各章で得られた知見をまとめた。

以上のように、本研究は、従来からの圧縮強度推定方法である反発硬度法の問題点を指摘するとともに、ハンマ打撃による新しい圧縮強度推定方法を提案するものであり、その測定原理の妥当性や弾性領域で得られた指標から、塑性領域の値である圧縮強度を推定するに至るプロセス、誤差の発生要因を明らかにしたものである。弾性領域から塑性領域の圧縮強度推定を工学的視点から考察しており、今後の非破壊試験の精度向上に貢献できる。