

機械インピーダンスのコンクリート構造物非破壊検査技術への応用

久保 元 (日東建設) * 境 友昭 (アプライドリサーチ)
井上 真澄 岡田 包儀 (北見工業大学)

Nondestructive Test Method of Concrete Structures applying Mechanical Impedance
Hajime Kubo(Nitto Construction)*, Tomoaki Sakai, (Applied Research)
Masumi Inoue, Kaneyoshi Okada, (Kitami Institute of Technology)

キーワード：機械インピーダンス，コンクリート，強度推定，非破壊試験
(Mechanical Impedance, Concrete, Strength Estimation, Non Destructive Test)

The huge amount of concrete - more than 100 million m³ - is used for infra structures in Japan and almost 50% of the bridges will reach their service life within this 2 decades. Considering the economical condition of Japan, it is difficult to apply so called scrap and build method for renewal of the infra structures. Therefore it can be said that the rational maintenance and management methods to make the service life longer are required. And rapid, easy and inexpensive examination method for infra structures is expected. We developed the new method to estimate the strength of the concrete and to detect the surface deterioration by applying the mechanical impedance. In this paper, the theoretical background and the results of field tests are discussed.

1. はじめに

我が国における道路や橋などの社会インフラは 1960 年代からの高度経済成長期に集中的に整備されており、今後、急速な老朽化が予想されている。

国土交通省¹⁾によると、橋長 20m 以上で建設から 50 年以上の老朽橋梁は、昨年 3 月に全体の 16% だったのが 20 年後には 65% に、また、50 年以上の老朽トンネルは 18% から 45% に急増するとされている。

一般道のトンネルや橋、治水関連施設などインフラの点検、修繕には自治体管理分も含めて年間 3 兆 5 千億円程度かかっており、2060 年度までの 50 年間に必要な更新費はインフラ全体で約 190 兆円に上ると試算されており、早急のコスト削減対策が求められている。

2. 非破壊検査の必要性

〈2・1〉社会インフラへの社会ニーズの変化

これまで、我が国の経済が豊であった頃には、老朽化した社会インフラ対策はスクラップ&ビルドの時代であった。しかし、近年は資金力不足のため、社会インフラを長寿命化させる時代へ突入している。

社会インフラを長寿命化させるには、現状を把握する調査が必要であり、既存の高額・高精度の調査技術では調査費

が増大し、膨大な老朽化した社会インフラへの対応は難しい。そこで、低額・高精度で調査が可能な一次スクリーニング技術が必要となる。

〈2・2〉非破壊検査の特徴

コンクリート構造物では、これまでコア採取による圧縮強度試験などの破壊検査が主流であった。しかし、高い品質管理のために検体数が多くなると構造物の耐久性などへの影響が懸念される。そこで、破壊検査数を極力抑えるために非破壊検査との併用が必須となる。

非破壊検査の特徴としては、

- (1) 構造物に損傷を与えない。
 - (2) 構造物の全体あるいは広い範囲に適用可能である。
 - (3) 測定値の分布が得られる。
 - (4) 測定精度に限界があり、定性的な判断は可能であるが、定量的な判断は難しい場合がある。
 - (5) 原因推定のため詳細試験（破壊検査等）を併行実施し、相関関係により非破壊試験の試験精度を確認して定量的な判断が可能となる。
- などを挙げることができる。

3. コンクリートテスター(以下 CTS)の開発

〈3・1〉これまでの測定技術の問題点

コンクリート構造物を簡便・安価に測定する在来技術と

しては、リバウンドハンマ²⁾と打音法³⁾(点検ハンマ)とがある。以下に問題点を挙げる。

(1)リバウンドハンマ

- ①コンクリートの表面劣化や器差の影響を受け、測定精度が悪い。
- ②測定データ補正などの簡便性に問題がある。
- ③強度換算式が学会で異なる。

(2)打音法(点検ハンマ)

- ①測定データが残らない。
 - ②判断の客観性が保証されない。
- 〈3・2〉CTS 開発にあたっての考え方

コンクリート構造物の健全性試験における一次スクリーニング装置として位置付けを、

- ① 安価であること。
- ② 操作が簡便であること。
- ③装置が小型かつ軽量であり、現場での適用性があること。
- ④測定精度が在来技術を凌駕していること。
- ⑤コンクリートの健全性試験に必要な複数の機能を備えること。

以上を目標に開発を開始した。

〈3・3〉測定原理と測定技術から見たコンクリート

(1)測定技術から見たコンクリート

コンクリートは金属と違い、セメント・砂・骨材・水など(図1参照)の複合材料であるため、コンクリート表面での硬さにバラツキがあるが測定面下の状況を確認することはできない。そのため、測定1点1点のデータで評価するのは危険であり、構造物全体の強度を知るためには、多数点を測定し測定面全体で平均化することが必要である。

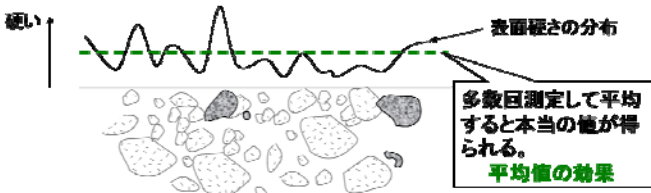


図1 コンクリート内部と測定強度の関係

(2)CTSの基本原理⁴⁾

応力(σ)と弾性係数(E)には、ひずみ量を ϵ とすると、 $\sigma = E\epsilon$ の関係がある。したがって、破壊直前での弾性係数とひずみ量がわかれば、圧縮強度が得られることになる。材料としてのコンクリートの終局歪み量を一定と考えれば、破壊時の弾性係数を求めることで、圧縮強度の推定が可能である。

測定原理を検討するにあたり、弾性係数測定を目標としているところから、まず、コンクリートをバネとしてモデル化する考えを採用した。弾性体の表面がバネ的な挙動を持つことは自明だからである。バネとして挙動するコンクリート表面に質量Mのハンマを衝突させ、その時の機械インピーダンス値を測定する。機械インピーダンス値はバネ

係数を含み、バネ係数は、コンクリートの弾性係数に由来する。

質量Mのハンマが弾性体として挙動するコンクリート表面に初速度Vで衝突した時のハンマの運動エネルギーとコンクリート表面のポテンシャルエネルギーの釣り合いから、機械インピーダンス値($Z: \sqrt{MK}$) (図2参照)が算出される。打撃力の最大値 F_{max} は、ハンマが静止した時のコンクリート表面の最大変位量xとバネ係数kの積であり、結果的に接触点での機械インピーダンス値は、ハンマに発生した最大打撃力をハンマの衝突時初速度Vで除して求められる。

図2中の式から明らかなように、機械インピーダンスの2乗値がバネ係数に比例しており、機械インピーダンス値のべき乗値がコンクリートの圧縮強度と単調増加関係にあることがわかる。

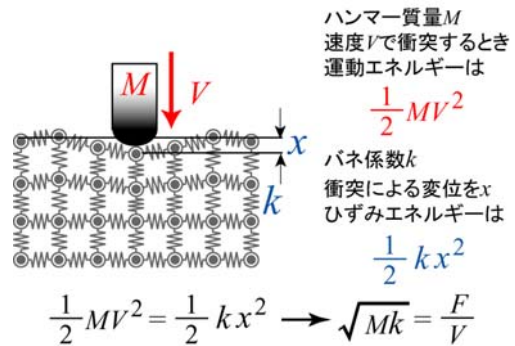


図2 ハンマの衝突モデル

実際の測定では、ハンマ部に加速度計を内蔵させ、打撃力波形(図3参照)を計測する。波形後半部はコンクリートがハンマを押し戻す時間帯であり、ここにコンクリート本来の剛性が反映されている点に着目し、後半部の機械インピーダンス値 Z_R からバネ係数を求め、コンクリートの弾性係数を校正試験により推定し、圧縮強度を算出することとした。この解析方法が特許となっている。

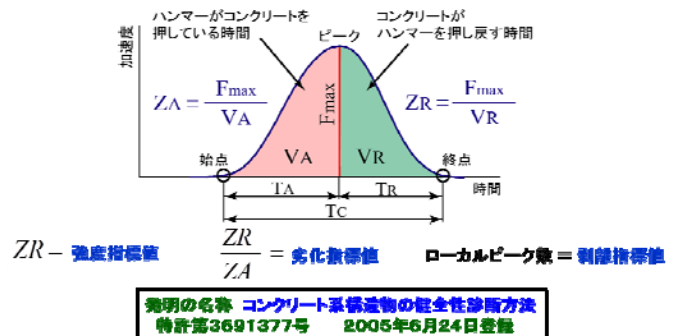


図3 打撃力波形

(3・4) 完成したCTS

ハンマ部に加速度センサーを内蔵し、打撃力及び速度を測定する。ハンマ質量は、劣化コンクリート対策として当初190gであったが、最新型では380gに変更している。(写真1参照)



写真1 完成した CTS

〈3・5〉 CTS の測定方法

CTS の測定モードには、特定点の強度を推定する POINT モードと面的な強度分布を求める AREA モードがある。

(1)POINT モード

POINT モードは、リバウンドハンマの測定方法に準拠し、メッシュ交点を1回ずつ打撃する。(図4参照)

20点データを採取した段階で20点の平均値と平均値±20%のレンジを自動設定し、レンジを外れるデータがある場合には自動的に削除される。

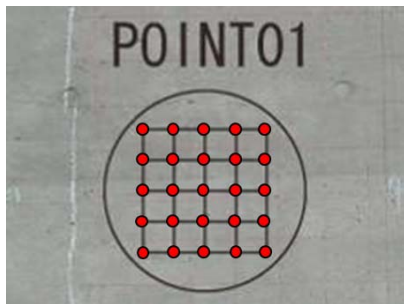


図4 特定点での圧縮強度推定

(2)AREA モード

コンクリート構造物を面的に測定するために、適当な測定用メッシュを設定し、メッシュ交点を測定する。この測定方法により、構造物の強度分布図(図5参照)、劣化分布図、はく離分布図を得ることができる。分布図より、詳細調査範囲または補修範囲を確定することができ、余分な調査費や補修費が削減可能となる。

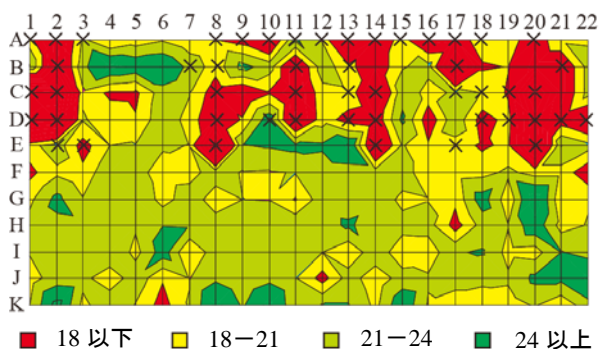


図5 強度分布図

〈3・6〉 CTS の用法

CTS の用法としては、新設コンクリート構造物の完成検査や中間検査、既設コンクリート構造物の健全性診断、詳細調査・補修箇所の絞り込み、補修・補強工事の着工前と完成後の状態確認、災害発生後の一斉緊急点検などに用いることができる。

〈3・7〉 CTS の経済性効果

CTS の経済性効果としては、リバウンドハンマに対して、測定時間では54%、データ整理時間では84%、調査費では59%の経費を削減可能である。(表1参照)

また、この結果については、リバウンドハンマを使用するにあたって、表面劣化した経年コンクリートの表面研磨作業に要する時間は含まれておらず、表面研磨作業時間を含めると、CTS の経済性効果はさらに向上する。

表1 CTS の経済性効果

経済性調査結果(130Point/日=3250打点)

項目	リバウンドハンマ	CTS	経済性効果
測定時間	13.8時間	6.4時間	54%
データ整理時間	20.8時間	3.3時間	84%
調査費	382,500 円	155,300 円	59%

4. CTS での測定事例

〈4・1〉 CTS での測定状況

CTS を使用して実構造物を測定する場合は、測定する構造物の厚さの1/2程度のメッシュを設定し、分布図が作成できるように、メッシュの交点を横ライン毎に測定していく。

この時に、厚さ5cm以下の構造物では誤差が発生する可能性があるため注意が必要である。

実際の測定状況を写真に示す。(写真2参照)



写真2 実構造物の測定状況

〈4・2〉 初期凍害診断

ケーソン新設現場でコンクリートの初期凍害が発生した。コンクリート表面から深さ50cmのコアを採取し、CTSにより円周4箇所ラインに1cmピッチで強度測定を行った。(図6参照)

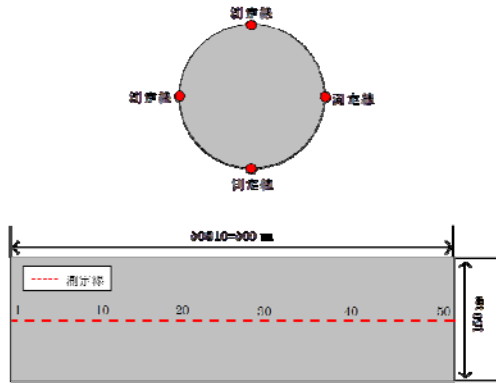


図6 採取コア測定図

測定結果は、コンクリート表面から28cmまで強度低下が確認された。(図7参照)

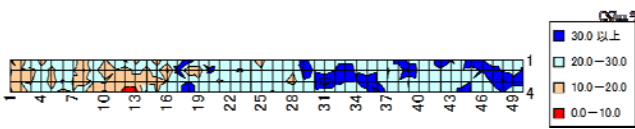


図7 CTSによる強度測定結果

〈4.3〉消波ブロック診断

施工不良による消波ブロックのコンクリート未充填箇所(写真3、4、5、6参照)の豆板部をハツリ取り、早強コンクリートにて補修を行った。



写真3 コンクリート未充填箇所



写真4 CTSによる未充填箇所の測定状況

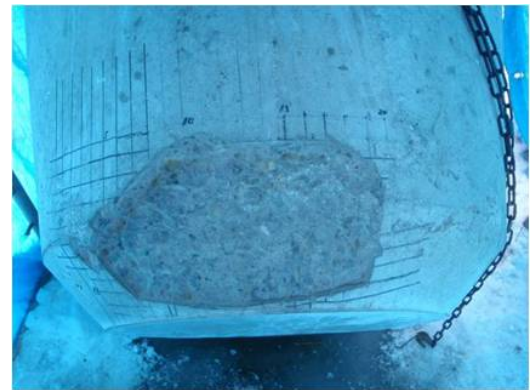


写真5 豆板部ハツリ後の品質確認



写真6 補修後の品質確認

5. まとめ

非破壊検査は、調査時間が短いため、工事工程上の制約を比較的受けないという利点があるが、一方では、検査結果が不合格の場合、構造物そのものの手直し作業が大掛かりとなり費用が増大となるため、診断結果には高い説明性が求められる。このためには、非破壊検査技術の測定精度向上に向けてさらなる研究開発が必要である。

また、コンクリート打設前の検査とのバランスを考慮した品質管理体制の構築や新設コンクリート構造物の初期データを取り込み、データベース化し、今後の維持管理に活用することが望まれる。

文 献

- (1) 国土交通省:日本の橋梁の現況、国土交通省 Web 公開資料
- (2) JIS A 1122 コンクリートの反発度の測定方法、日本工業標準調査会 信義、日本企画協会(2012)
- (3) 金森正樹、他:コンクリートの打音による健全性の評価について、コンクリート工学年次論文集、Vol.23, No.1, pp.601-606, 2001
- (4) 境友昭、他、接触抵抗によるコンクリート強度の推定、日本非破壊検査協会シンポジウム コンクリート構造物の非破壊検査への期待論文集(Vol.1), 2003