

機械インピーダンス法による コンクリート構造物の圧縮強度推定

Concrete **T**est and **S**urveyor Type2



日東建設株式会社 久保 元樹

研究・開発の背景

コンクリートは、戦後の高度経済成長期以降膨大に使用され、現在までに蓄積されたコンクリート総量は100億 m^3 ともいわれている。今後これら膨大な財産は寿命を迎えようとしている。

コンクリート構造物の品質(状態)の確認ツールとして非破壊検査技術への需要が高まっている。

コンクリートの圧縮強度は品質を確認する上で重要なパラメータの一つ。非破壊で簡易的に圧縮強度を推定する技術として、反発硬度法が50年以上前に日本に導入されているが各方面から様々な問題提起がある。日東建設では、反発硬度法に変わる新しい測定技術の研究開発を実施し、2005年にコンクリートテスター(CTS-02)を実用化した。

現在主流な非破壊検査と問題点

現在主流な非破壊検査と問題点

(1)反発度法による圧縮強度の推定

コンクリート表面の品質(表面劣化等)の影響を受ける。
器差が大きい。測定精度

(2)打音検査(点検ハンマー)による浮き・剥離の検知

結果が測定者の主観に左右される。
測定データが残らない。

コンクリートテスター(CTS-02)は
反発硬度法と打音法の問題点を改善した新しい測定技術として
位置付けられる。

反発硬度法の基本原則



反発硬度法の理論

動的なブリネル硬度測定法として開発

$$E_K = \frac{1}{2} MV^2$$

ハンマが衝突するときの
運動エネルギー

$$E_P = \frac{1}{2} F_{\max} x$$

コンクリート表面の塑性変
形によるエネルギー吸収

$$E_R = \frac{1}{2} MV_R^2$$

ハンマが反発するときの
運動エネルギー

$$E_K = E_P + E_R$$

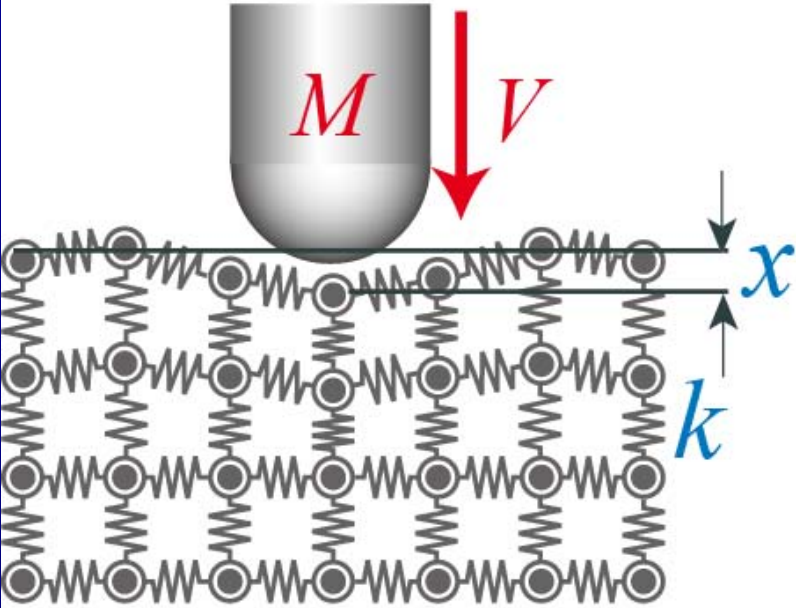
ハンマの衝突エネルギーからコンクリート表面の塑性変形によるエネルギー吸収を引くと、ハンマの反発エネルギーになる。

CTS-02の基本原理



機械インピーダンスについて

コンクリートをバネとしてモデル化



The diagram illustrates a mechanical model of concrete impact. A hammer, represented by a grey semi-circular mass labeled M , is shown moving downwards with a velocity V , indicated by a red arrow. It is about to impact a horizontal surface. This surface is part of a spring-damper model of concrete, consisting of a grid of horizontal and vertical springs. A vertical double-headed arrow labeled k indicates the spring constant. A vertical arrow labeled x indicates the displacement of the surface from its initial position.

ハンマー質量 M
速度 V で衝突するとき
運動エネルギーは

$$\frac{1}{2} MV^2$$

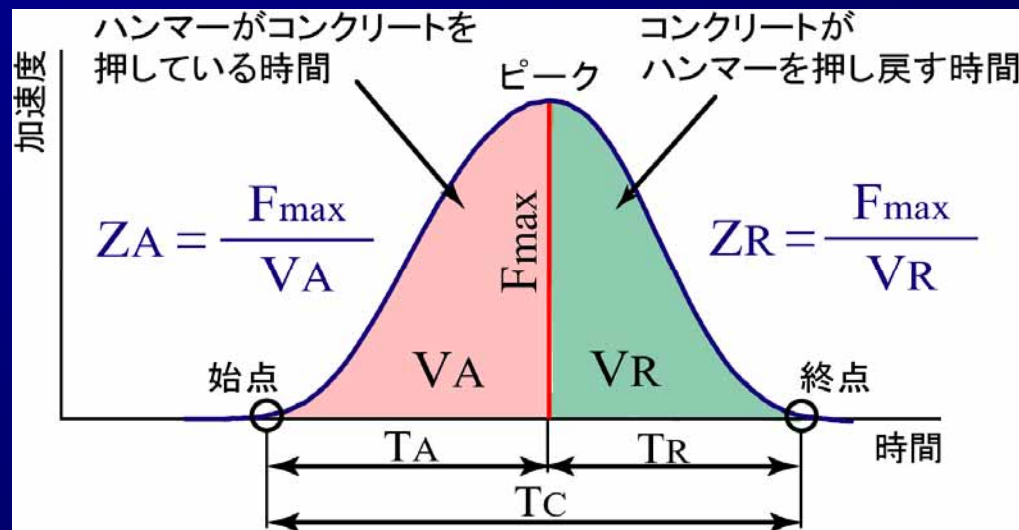
バネ係数 k
衝突による変位を x
ひずみエネルギーは

$$\frac{1}{2} kx^2$$

$$\frac{1}{2} MV^2 = \frac{1}{2} Kx^2 \Rightarrow \sqrt{MK} = \frac{F}{V}$$

打撃力波形の時間分割

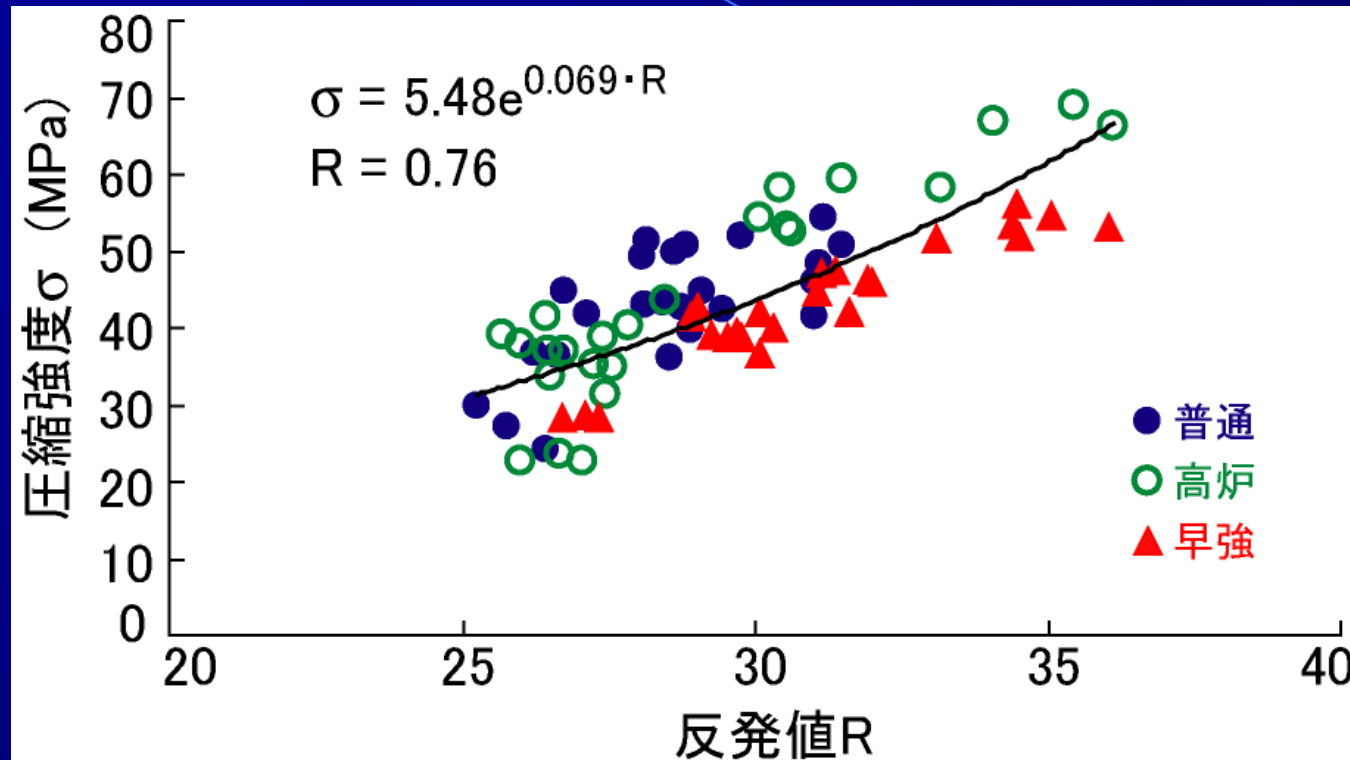
- 前半の波形は、ハンマーの初速度
 - コンクリート表面の塑性化などの情報が含まれる
- 後半の波形は、ハンマーのリバウンド
 - コンクリート自体のバネ係数が反映されている



この考え方が
CTSの特許

発明の名称 **コンクリート系構造物の健全性診断方法**
特許第3691377号 平成17年6月24日登録

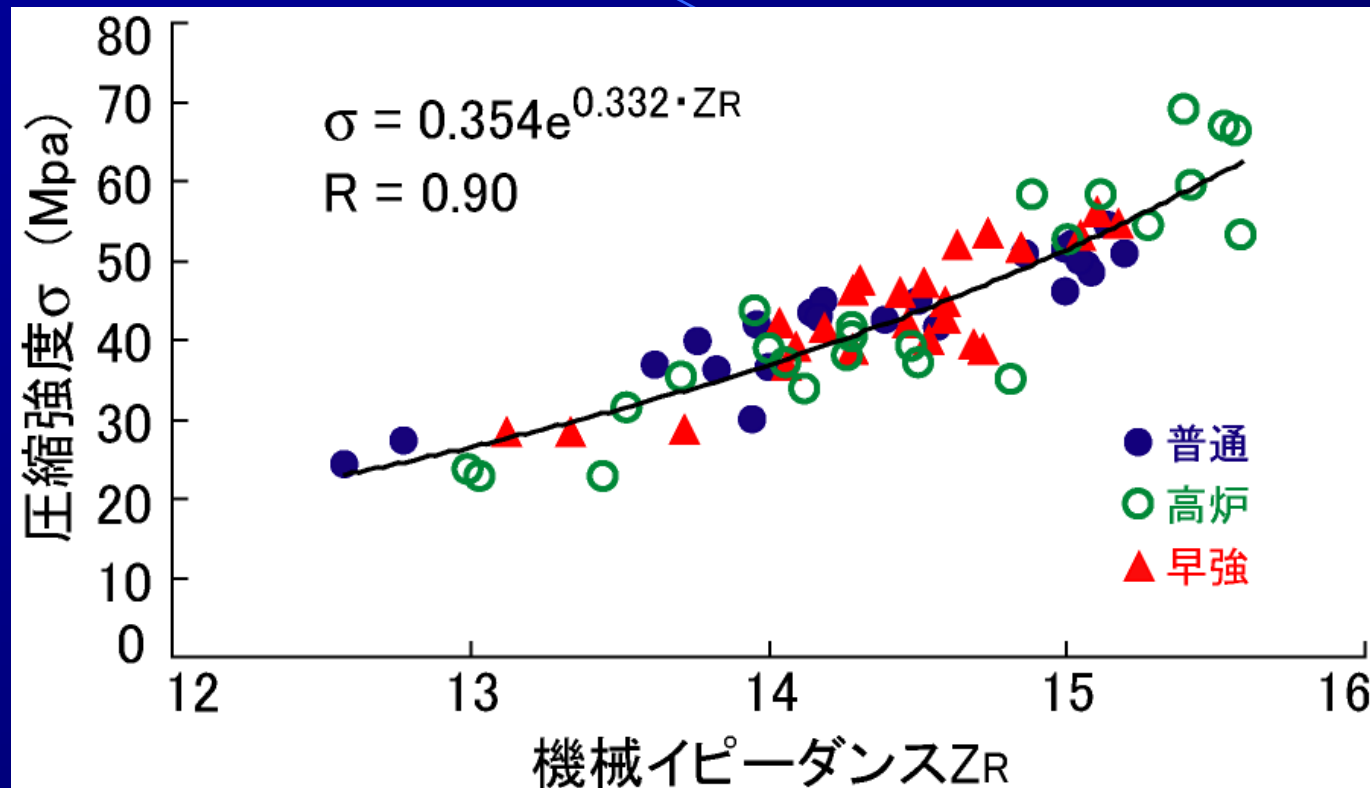
測定精度 -実験結果-



圧縮強度と反発値

反発硬度法は、塑性変形によるエネルギーの吸収量を計測
表面状態の影響を強く受ける。
コンクリートが打撃力によって降伏しないと正しい反発値を得られない。

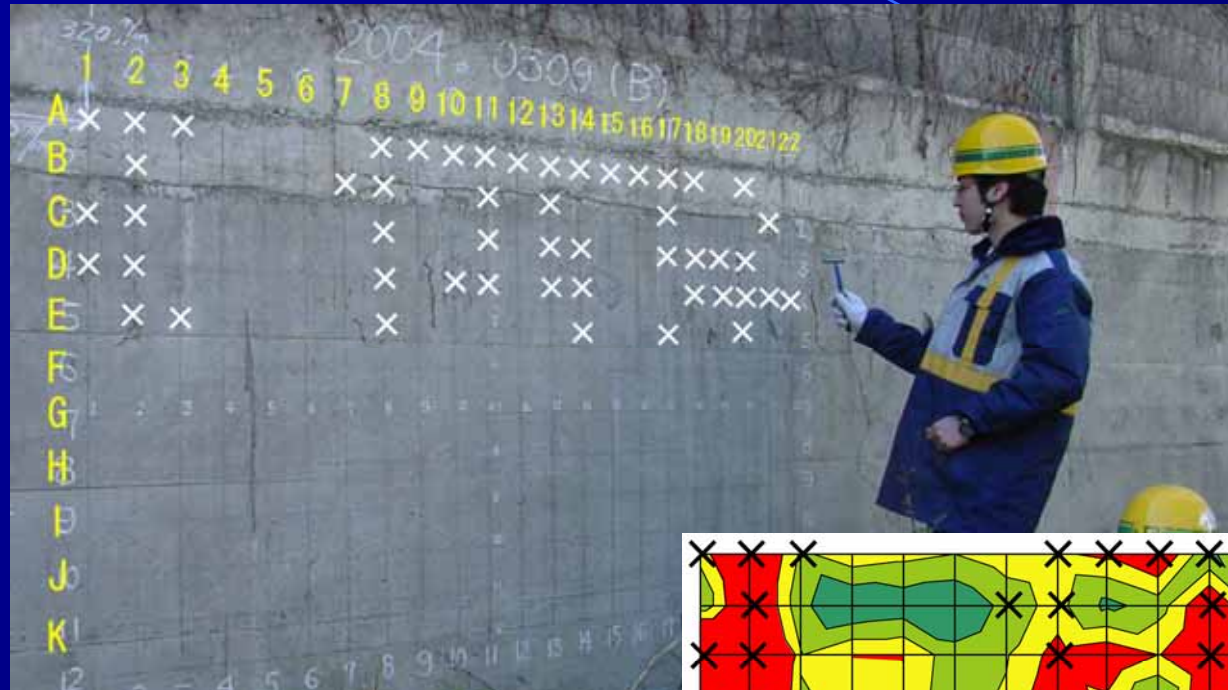
測定精度 —実験結果—



圧縮強度と機械インピーダンス

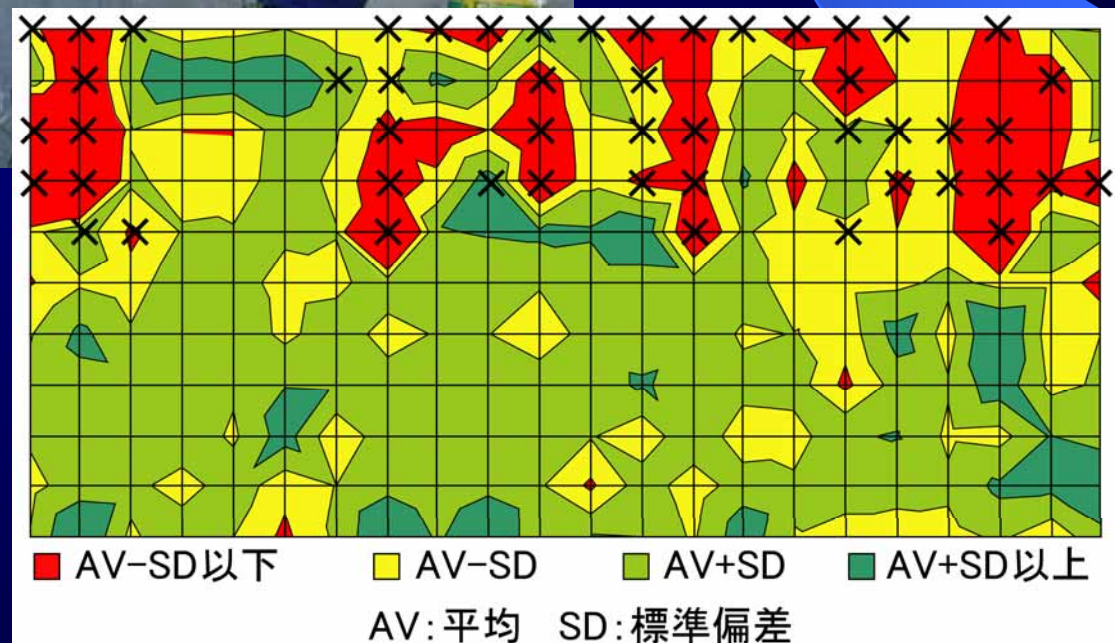
機械インピーダンスは、コンクリートのバネ係数(弾性的性質)を測定。打撃力によってコンクリートが降伏しなくとも測定可能であり、波形を時間分割することで表面状態の影響を軽減。

現場への適用

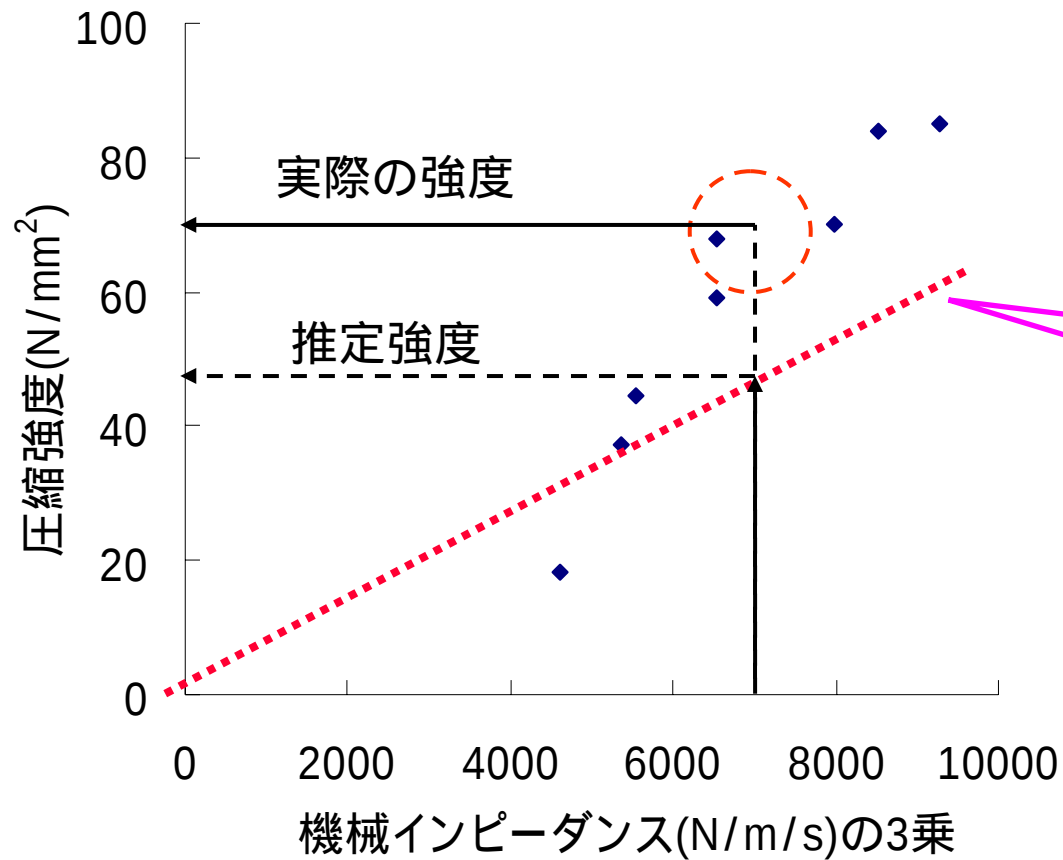


×印は、打音検査で
剥離音を確認

機械インピーダンスを
等高線表示し測定面
の強度分布を把握。



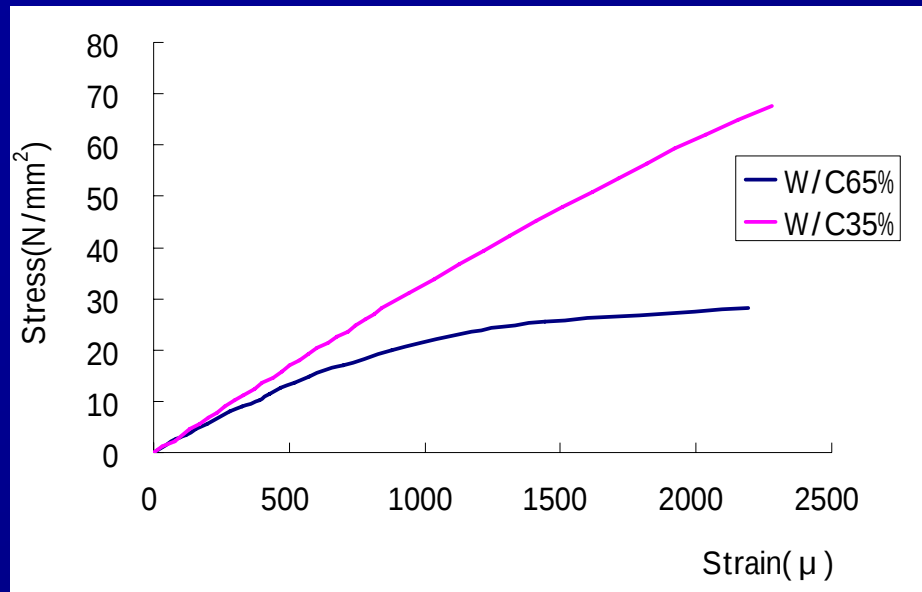
高強度コンクリートへの適用



現在の
校正曲線

現在の校正曲線では、高強度コンクリートの強度を過小評価

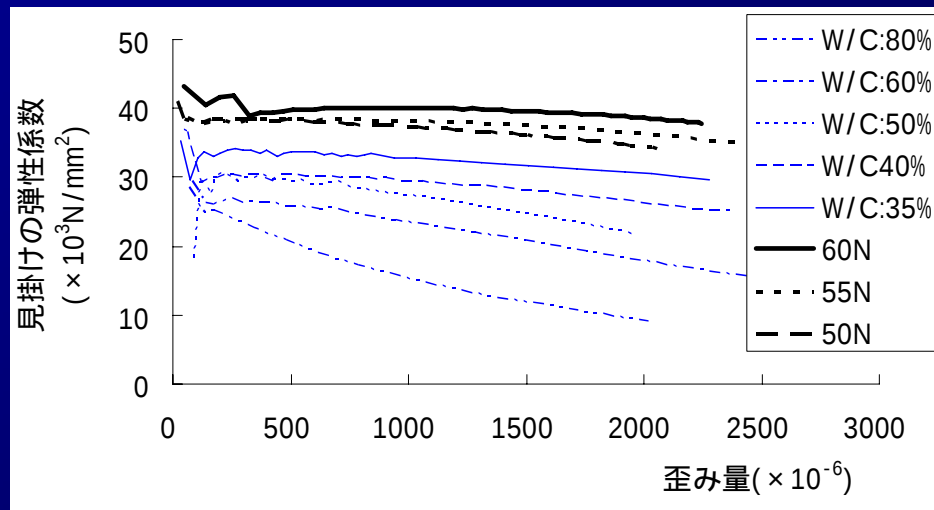
高強度コンクリートは何が違う？



応力歪み曲線

初期勾配は、あまり変わらないが最大許容ひずみ量は同じ。

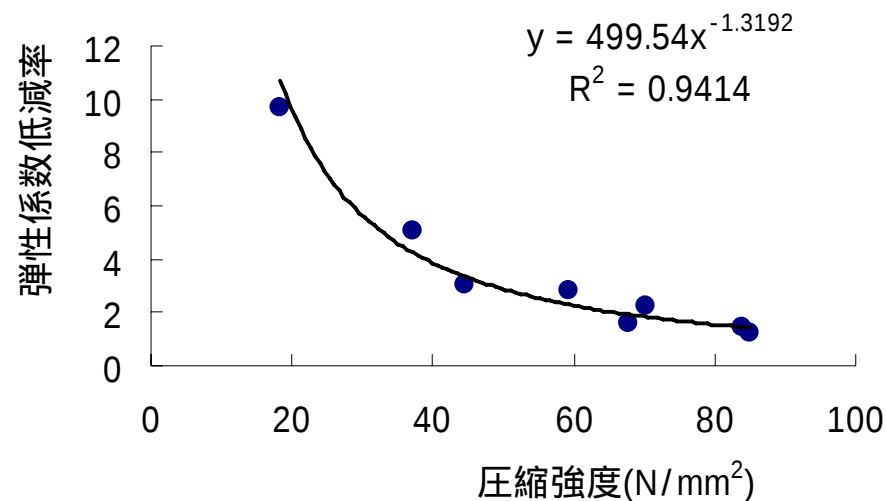
高強度のコンクリートは勾配が直線的なので、弾性係数と許容ひずみ量から圧縮強度を推定する精度が高いと考えられる。



歪み量と見掛けの弾性係数

破壊時の最大歪み量は、2,000から2,400 μ ストレインの範囲で、ほぼ同じ。強度が弱いコンクリート程、弾性係数が低減する傾向にある。歪みが500 μ ストレインを越えないと弾性係数値が安定しない。

高強度コンクリートへの適用

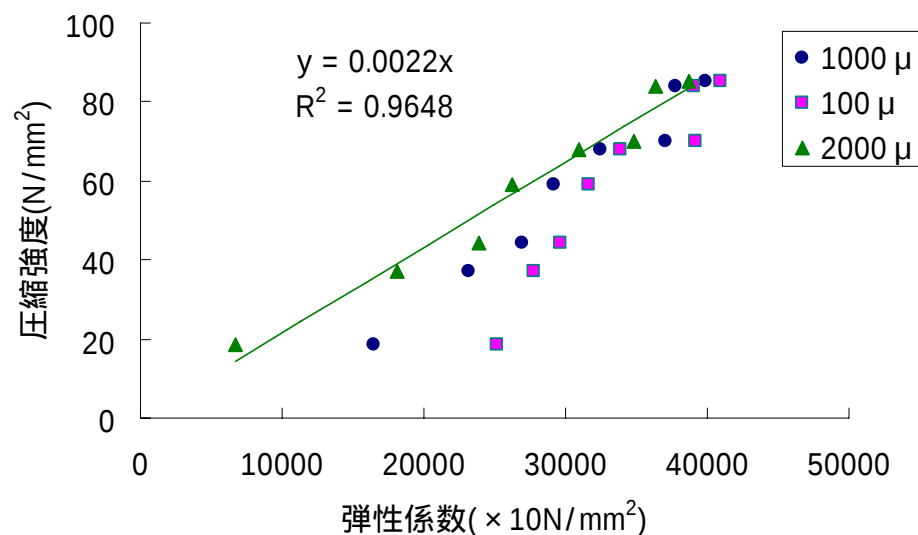


圧縮強度と弾性係数の低減率

低減率は、歪みと弾性係数関係の勾配。

高強度ほど低減率が小さい。

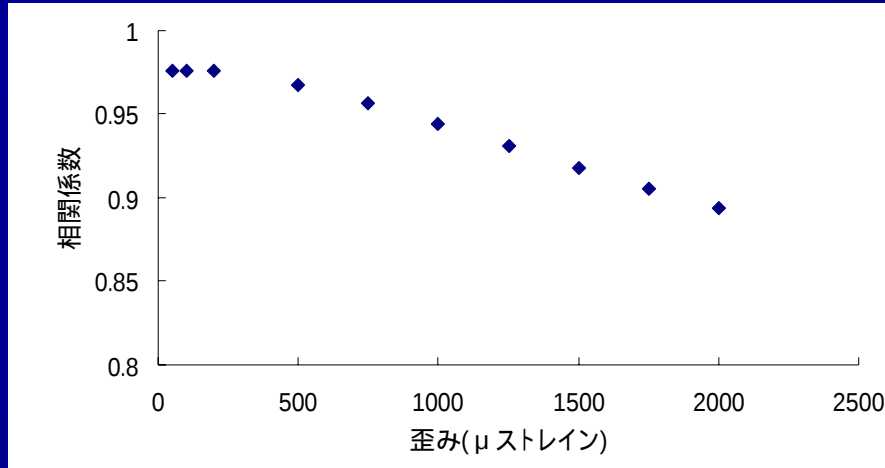
弾性係数の低減率は圧縮強度の4/3乗に逆比例



各歪みレベルでの弾性係数と圧縮強度

歪み量が大きいと相関が高く、歪み量が小さいと推定誤差が大きくなる。

高強度コンクリートへの適用



各歪みレベルでの機械インピーダンスと弾性係数の相関

歪みレベルが小さい時により高い相関を示す。

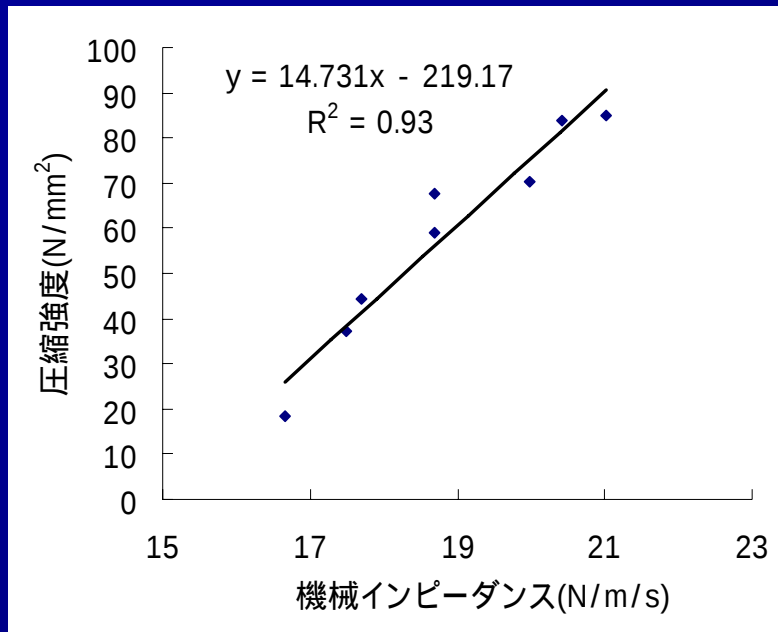
ハンマ打撃で実現化される歪みは微小

高強度コンクリートへ適用するには

測定した機械インピーダンスとコンクリートの圧縮強度データに基づいて校正曲線を求める方法

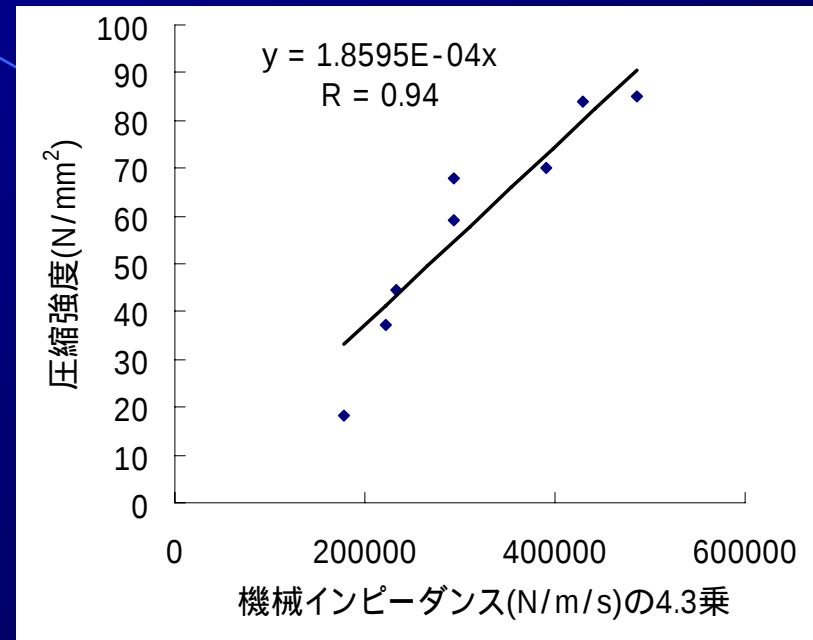
圧縮強度と強い相関関係を持つ弾性係数あるいはその指標値を測定によって求め、圧縮強度を推定する方法

高強度コンクリートへの適用



方法

機械インピーダンス値から推定が可能で、普通コンクリートと高強度コンクリートに区別は無く、同じ較正式で説明可。しかし、回帰式に切片があり、また機械インピーダンス値のわずかな違いが推定強度では大きな差になる。



方法

コンクリート表面の持つバネ係数度を指標値とする場合、機械インピーダンス値の3乗を用いればよいと提案していたが、圧縮強度と弾性係数の低減率を考慮して4.3乗とすることで切片を0としても高い相関を得られる。

弾性係数と圧縮強度の関係は切片0の回帰式で説明できるので、弾性係数の指標値の一つである機械インピーダンスでも切片は0であることが望ましい

まとめ

- 機械インピーダンス法と反発硬度法は、両者共にハンマ打撃という測定手法を採用しているが、測定原理は相反するもので、まったく別の新しい測定技術である。
- 機械インピーダンス法は、コンクリートの弾性的性質を反映したものであり、実際の実験結果においても測定精度が高いと言える。なお、国交省で実施している新設橋梁の強度推定において衝撃弾性波法等が採用されているが、本法でも測定精度は同程度と報告されている。
- 測定が簡便であることから、特定点での測定より広範囲に亘っての測定を実施し、構造物の強度分布を知ることが有効と考えられる。
- 高強度コンクリートへの適用について、機械インピーダンス値の4.3乗値を用いると、普通、高強度コンクリートに共通した圧縮強度推定尺度が得られることがわかった。
- 今後は高強度コンクリートのデータ蓄積を進め、早い段階での実用化を進めていく。