

平成23年 6月 7日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760429

研究課題名(和文)

圧縮強度の推定精度の向上を目的とした反発度法に及ぼす影響要因の定量化に関する研究  
研究課題名(英文)

Study on quantification of influence factor to rebound hammer method intended to  
Improvement of estimate accuracy of compressive strength

研究代表者：

藤森 繁 (FUJIMORI SHIGERU)

名古屋大学・環境学研究科・助教

研究者番号：60437077

研究成果の概要(和文)：

水セメント比および材齢をパラメータとして、厚みの異なる供試体によって反発度に及ぼす影響範囲について検討した結果、特に若材齢時においては、反発度法の精度向上のためには、測定対象部の物性とその厚みを同時に考慮した検討が必要であることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：

Experimental results on the area of influence of the thickness direction by the parameter of material age and water-cement ratio, at young age, it was revealed that required to evaluate value of Rebound Hammer, considering thickness and characteristics of materials in parallel.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：コンクリート工学・非破壊試験法  
 科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料  
 キーワード：非破壊試験, 反発度法, 硬度

## 1. 研究開始当初の背景

## (1) 学術的背景

反発度法は、バネなどの力によって構造体表面にハンマーを打ちつけ、構造体に当たって戻ってきた量を反発度とし、これを指標としてコンクリートの圧縮強度を推定しようとするものである。図-1に反発度測定メカニズムを示す。(a)初期段階でバネの持つ弾性エネルギーをもったハンマーが解放されることで、(b)プランジャーを通してコンクリート表面に衝突する。コンクリート表面の塑性変形および、コンクリートとプランジャーの摩擦によって当初の弾性エネルギーの一部が失われ、(c)残りのエネルギーによってハンマーが跳ね返り、それが反発度として現れ

る。谷口らは、このメカニズムによって得られる反発度が硬度を表現することを明らかにしており[1]、次の式で表せるとしている。

$$H_B = \frac{\rho^2}{2\pi r \theta' e (\eta - \rho^2)}, \rho = \sqrt{\eta \frac{\theta' e}{\theta' e + \theta' c p}}$$

ここで、 $H_B$ ：ブリネル硬度、 $\rho$ ：反発度(通常反発度の1/100)、 $r$ ：プランジャー先端の曲率半径、 $\theta' e$ ：単位荷重当たりの全弾性変形、 $\theta' c p$ ：単位荷重当たりのコンクリートの塑性変形、 $\eta$ ：機器内の摩擦や弾性波伝播なども含めたエネルギー効率である。本メカニズムによれば、反発度自体は、構造体表面層

の数 cm の硬度を測定していることになる。

反発度法による構造体コンクリートの強度の推定精度はあまり高くないため、多くは詳細な調査をする前の一次診断として利用されているのが現状である。しかしながら、安価な装置、簡易な測定方法ということもあり、コンクリートの非破壊試験法としては、現在最も普及しており、2003年には、その測定方法についてはJISに規定されている。

研究についての歴史は古く【例えば 2, 3】、反発度に及ぼす影響要因についても、非常に多くの研究が実施されている。反発度に影響を及ぼす要因としては、テストハンマー自体の問題、測定方法、試験体表面の凹凸状態・乾湿状況、中性化度、試験体への载荷状況など、非常に多くの要因が挙げられ、それぞれの補正方法が提案されているが、いずれも定性的なものであり、定量化には至っていない。また、これらの影響要因を踏まえた上で、多くの研究者や各学協会から、反発度を用いた構造体の圧縮強度の推定式が提案されているが大きなばらつきがあることを前提としている。

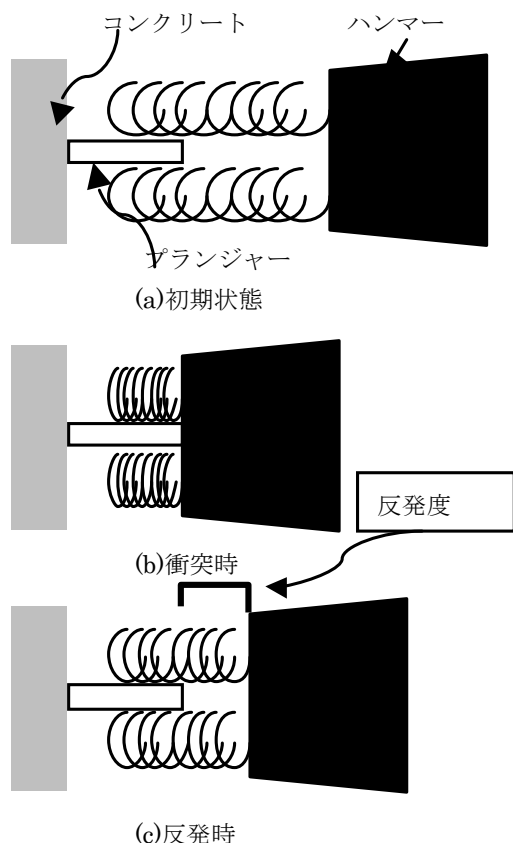


図-1 反発度測定メカニズム[1]

#### 参考文献

[1]谷口英明, 渡辺博志, 河野広隆, 藤田学: テストハンマーによるコンクリートの硬度

測定および強度推定の誤差要因に関する検討, 土木学会論文集, No.767, V-64, pp.199-210, 2004.8[2]坂静雄, 松井敏夫: 表面硬度法による実施コンクリートの強度判定法, セメント技術年報, Vol.9, pp.395-401, 1955[3]伴潔, 木村恵雄: 打撃硬度試験によるコンクリート強度の判定, セメント技術年報, Vol.9, pp.401-407, 1955

#### 2. 研究の目的

本研究は、コンクリートの圧縮強度を簡易に推定する非破壊試験方法として、国内外含めて最も普及していると考えられる反発度法（いわゆるシュミットハンマー法）の推定精度向上を、含水率による表面硬度の評価を並列することで目指すものであり、以下の点を明らかにすることを目的とする。

反発度法のメカニズムに関する検討

- ・セメント硬化体の強度、含水状態と反発量との関係（水セメント比、水和度、混和材の影響）
- ・骨材のヤング率、位置、含有量、骨材径が反発量に及ぼす影響
- ・鉄筋の表層からの位置の影響
- ・表層の微細な形状が反発量に及ぼす影響

#### (2)本研究の特色と意義

姉歯事件、耐震診断、原子力関連構造物の高経年問題等をはじめとして、建築物の性能評価について完全に非破壊で強度をある確度をもって推定する手法は常に求められてきた。本研究はこの問題に正面から取り組むものである。

本研究の特色は、従来からある反発度法の裏にあるメカニズムがコンクリートの円柱供試体強度と相関があるという背景に一定の根拠があると考え、反発度法に及ぼす諸要因の影響度を定量評価した上で、強度との相関性を抽出しようと試みることにある。

また、既存の、あるいは現在研究中の非破壊試験のうち、含水率や表面形状の影響などについて評価できるものを組み合わせることで、実行上可能な形に落とし込み、工学的応用に特化した検討もあわせて行う。

ある確度をもって強度推定が可能であるのであれば、あるいは少なくとも最低値を保障できるような試験の枠組みが構築されれば、耐震診断で過剰な孔を構造物に作る必要がなくなる、あるいは、施工後や改築時、引渡し時など、性能評価が本来的に重要となる場合に簡易に試験ができることで、性能に対する対価という形でコンクリート業界の透明性に貢献することが可能となる。

また、きわめて特殊な例ではあるが、原子炉格納容器等、真に非破壊で評価するより方法のない重要構造物に対して、安全性を評価することが可能となる点でも貢献が可能とな

る。

### 3. 研究の方法

#### (1) 概要

表層部のエネルギー吸収について、どの程度の深さまでが重要となっているか、また、どの範囲まで影響があるかについて、実験的検討を実施する。反発度法実施時のハンマーによって加えられた打撃力の伝達状況について評価を行った。また、表層部でどの程度の塑性変形ができていくかについても同時に確認する。これらの実験は、セメントペーストで行う。厚みおよび水セメント比 W/C を変化させたセメントペースト供試体を作成し、リバウンドハンマーによって打撃、得られた反発度の値を測定して、その深さ方向の影響範囲について検討する。また、並行して圧縮試験用供試体を作成し、打撃時点での圧縮強度を測定する。

#### (2) 供試体の概要

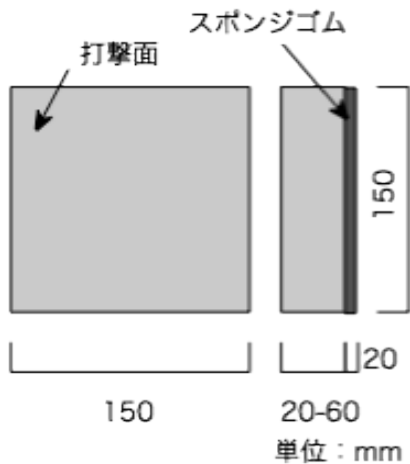
##### ① 調査

セメントペースト供試体  
水セメント比：0.3, 0.4

##### ② 供試体寸法 (図-2)

- ・ 反発度法用  
打撃面寸法：150mm×150mm  
深さ方向厚み：20, 30, 40, 50, 60mm
- ・ 圧縮強度試験用  
φ50×100mm

なお、圧縮試験用供試体については各材齢につき3体作製した。



#### (3) 測定方法

反発度の測定は、図-2 に示す供試体を床面に直接置く、あるいは、背面に天然スポンジゴムを挟んだ上で床面に置き、リバウンドハンマーを垂直に打撃することで得た。いずれの場合にも、床面と供試体に隙間のできないようにした。リバウンドハンマーはF社製シュミットハンマーを用いた。

### 4. 研究成果

水セメント比および材齢をパラメータとして、20mm～60mm までの厚さの異なる供試体を準備し、反発度に及ぼす影響について検討した。予備実験の結果、厚みの薄い供試体では、テストハンマーの衝撃力、また、供試体と供試体背面の物体との衝突によって、供試体が破壊されることが確認されたため、裏側に荷重分散効果を見込むことのできる天然スポンジゴムを貼付けての検討も実施した。

図-3 は、いずれも水セメント比 W/C=0.3 の供試体へのリバウンドハンマーによる打撃によって得られた反発度の値である。材齢 95 日の場合の方が測定された反発度が小さいのは、材齢 7 日については、コンクリート床面に供試体を直接置いて試験をした場合の反発度の値を、また、材齢 95 日については供試体背面に衝撃吸収を期待した天然スポンジゴムを挟んだ上で、同様に床面に置いた場合の反発度の値であるためである。図より、いずれの材齢においてもリバウンドハンマーの打撃によって測定される反発度は、供試体の厚さによって異なることがわかる。また、材齢 7 日の場合について見てみると、供試体厚さが 40mm および 50mm の場合において、供試体厚さの増加にともなった反発度の増加傾向が乱れるのに対して、材齢 95 日の場合を見てみると、供試体厚さの増加にともなって反発度も増加する傾向が見られることがわかる。

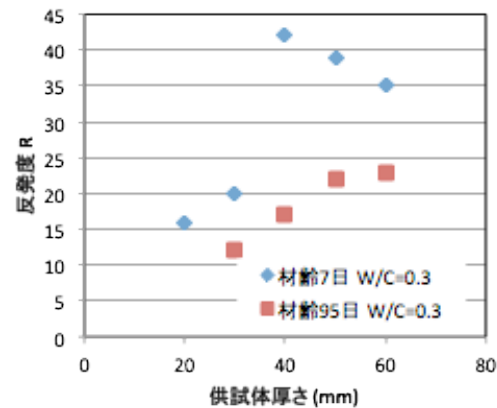


図-3 反発度に及ぼす供試体厚さの影響

図-4 は、材齢 95 日において、供試体背面に天然スポンジゴムを挟んだ上で反発度を測定した場合 (図中 W/C=0.3) と、床面に直接置いた場合 (図中 W/C=0.3D) を比較したものである。図より、直接床に置いて測定した場合には、供試体の厚さによらず、およそ一定の反発度が測定されるのに対し、スポンジゴムを挟んだ場合には、図-3 でも示したように、供試体の厚さの影響を受けることがわかる。本測定結果を見る限りでは、測定される反発度は、供試体の厚さによらず、打撃面の

背面の物体の影響を受けている可能性があるものといえる。

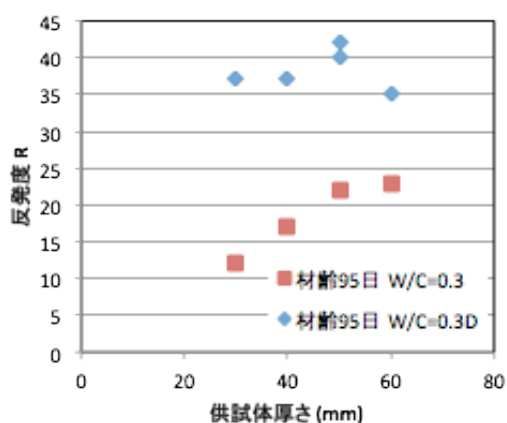


図-4 供試体背面の物体が反発度に及ぼす影響

実験結果より、特に若材齢時において、従来は反発度の値に影響を及ぼさないと考えられる50mm以上の厚みの供試体についても、背面に天然スポンジゴムを挟んだ上で、反発度法による試験を実施することで、測定される反発度が減少する事例が確認された。これは、リバウンドハンマーによる打撃の厚さ方向の影響範囲が、表面近傍から50mm程度のものだけではなく、背面の物体の影響を受ける可能性があることがわかった。そのため、反発度法の精度向上のため反発度への影響要因の定量化のためには、測定対象部の物性とその厚みを同時に考慮した検討が必要である可能性があるといえる。

また、反発度法の試験の性質上、一度、リバウンドハンマーで打撃をすることによって、供試体が微細な部分で破壊している可能性が考えられる。本実験では、従来の研究結果から、面方向に影響のないとされる打撃点間の距離を考慮した上で試験を実施したが、測定された値が、前回打撃の影響を受けている可能性は否定できない。本実験の範囲では、厚さが60mmと従来のリバウンドハンマーの測定値に影響するとされる深さ方向野距離

以上の場合にも、その影響が確認されたが、より信頼性の高い結果を得るために、さらに多くの実験的な検討を実施する必要があるものと考えられる。しかしながら、供試体の作成および測定には、細心の注意を払う必要があるため、今後は、数値解析的なパラメータスタディについても検討の必要がある。

当初計画の中に記述した、リバウンドハンマー打撃時に生じる表面の変形量とエネルギー吸収量の関連付けについては、供試体作成や測定方法の検討などの多くの予備実験に非常に多くの時間を要したため、十分な資料を得ることができなかった。本検討については、骨材の影響、水分量の影響、内部鉄筋配置による影響を含めて、引き続き検討を実施し、その中で明らかにする。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計0件)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○ 出願状況 (計0件)

○ 取得状況 (計0件)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

藤森 繁 (FUJIMORI SHIGERU)

名古屋大学・環境学研究科・助教

研究者番号：60437077

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし