

コンクリート構造物と非破壊試験法

小 阪 義 夫*

はじめに

コンクリートの非破壊試験法について筆者等は既に他誌^{1),2)}に発表している。重複を避けるため、当初本誌編集部からの原稿依頼を一たん辞退したが、読者層も異なるので是非にとの重ねての要請があったので、ここに稿を改めてその概要を紹介することとした。ただし、本稿は関連研究の動向を伝えるという主旨のものであるため、筆者等の既発表の論文とある程度の重複はやむをえなかった。ご了承願いたい。また更に、本論に引用させていただいた他研究者の文献・資料については、時間的余裕が無かったので一々ご了解を願うことを省略させていただいた。紙上を借りてお許しを乞う次第である。

1. 非破壊試験法の意義

日本でセメントが生産されるようになって100年と少しというところであるが、コンクリート構造物についての我々の経験と知識は、決してそれほど充実しているとは言えない。かつては耐震・耐火・耐久性に優れた構造として過大な(?)期待を寄せられたRC構造物も、度重なる震害例や、昨今世上を賑わしている欠陥コンクリートの諸問題などのために、耐震、耐久の神話は随所で綻びつつある。しかし、ここでコンクリート構造物の耐震性、耐久性を慌てて否定してしまうのは、あまりにも短絡的であろう。適正な手法で設計し施工されたコンクリート構造物は、やはり十分な耐震性、耐久性を有し、更には鋼構造物や木構造物などには見られない耐火性という大きい特徴も合わせ備えた優れた構造である。

建設構造材料としてのコンクリートの特異な点は、鋼や木材と違って材料製造過程のかなり重要な部分が、建設工事現場の手に委ねられているところにある。プレハブ系コンクリート工事のような場合は別として、多くの場合、コンクリートは構造材料としては未完成の状態です。工事現場に運び込まれ、硬化して所定の性能を発揮するに至るまでの重要な部分は建設工事現場の手に委ねられている。そのため、コンクリート工事には独自の現場管理の手法が必要となる。一般的な現場管理手法の詳細は、実情に応じて細かく決められてはいるが、それでも

なお万全とは言い難い。

構造材料としてのコンクリートに対する要求性能は、力学特性、耐久性、耐火性等々多岐にわたるが、構造材料であるがゆえにとりわけ強度の管理が重視される。コンクリート工事における強度の管理は、施工時に採取した標準試験体の圧縮強度試験により行うのが普通である。しかし、あらかじめ採取できる試験体の数には自ずから限度があり、また採取した試験体の品質と構造体のコンクリートのそれとが一致するかどうかについても甚だ心許ないところがある。たとえ同じバッチのコンクリートであっても、運搬方法、打設方法、養生条件などの違いのために異なった強度特性を示すことも十分にあり得るからである。その意味で、構造体のコンクリートの強度を直接に、しかも構造体を損傷することなく確かめることができれば甚だ都合がよい。コンクリートの非破壊試験法、特に強度の非破壊試験法の確立が望まれる理由の一つがここにある。

上に述べたような建設の時の構造物コンクリートの品質管理のほかに、既設構造物についてのコンクリートの品質検査を必要とする場合もしばしば発生する。例えば老朽建設物、あるいは火害や震害を受けた建設物の場合、改修または廃棄の判断をするのに一連の調査を行う必要が生じる。このような場合の調査法の一例として、例えば佐藤³⁾は表-1のような提案をし、その中の作業の一つとしてコンクリート強度の非破壊試験をあげている。すなわち既設構造物の耐力診断のためには、構造体コンクリートの強度試験も重要な調査項目の一つとなる。コンクリート強度の判定には、構造物から直接抜き取ったコンクリートコアについて強度試験を行うのが最も直裁かつ確実な方法であるが、構造体から採取できるコンクリートコアの数や採取可能場所には自ずから限度がある。その際コンクリート強度に関する情報を得る一つの方法として非破壊試験は有用である。コンクリート強度推定のための非破壊試験法の確立が望まれる今一つの理由がここにある。

2. 非破壊試験法の種類

コンクリートの非破壊試験法といっても、試験の目的や要領は極めて多様である。表-2に既提案の各種非破壊試験法の概要を示す。表-2に見られるように試験目

* Yoshio KOSAKA
名古屋大学工学部教授

表—1 建物総合診断システム (佐藤⁹⁾ 論文より抜粋)

予備調査	計 画	総 合 診 断			対 策	補 修・補 強
		現 地 調 査	解 析	総 合 評 価		
<ul style="list-style-type: none"> ・診断目的 ・建物概要 ・設計図書 ・建物履歴 ・建物施設 ・使用状況 など 	<ul style="list-style-type: none"> ・診断項目の選定 ・診断計画書, 工程の作成 ・費用, 見積書の作成 など 	<ul style="list-style-type: none"> <日常安全性の調査> <建物・設備状態の調査> <防災性能の調査> ・構造寸法調査 ・配筋調査 ・コンクリート試験 (中性化, シュミットハンマー, コア強度, ひびわれ) ・床スラブ振動 ・常時微動測定試験 ・土の圧密試験 その他 	<ul style="list-style-type: none"> ・耐震性 1次診断 2次診断 3次診断 精密診断 ・耐久性 ・法規との照合他 	<ul style="list-style-type: none"> ・各診断項目 4 段階評価 ・基本的対策の提示 その他 	<ul style="list-style-type: none"> ・補修・補強計画立案 ・改修設計 ・費用見積書作成 その他 	<ul style="list-style-type: none"> ・仕上げ補修 ・設備更新 ・耐震補強 ・スラブ・梁補強 その他

的は強度の推定・探傷・内部鉄筋の探査・寸法測定などと多岐にわたっている。

中には引抜き試験法のように、コンクリートの一部を損傷するために厳密な意味では非破壊試験とはいえないものもあるが、損傷といってもそれはコンクリートの表層部に限られ、構造体の耐力を損なうほどのものではないので、通常は非破壊試験法の中に含まれている。既提案の試験方法がこのように多岐にわたるのは、裏返していえば手法として未だ決定的なものがなく、いわば未だ模索の段階にあるためともいえる。

ここでは表—2 に示したすべてについて述べるゆとりがないので、大方の関心が高いと思われる強度推定のための非破壊試験法だけを取り上げて概説する。

強度推定のための実用非破壊試験法としては、表示の各種試験法のうち打撃法、振動法、複合法、ならびに局部破壊法の四つをあげることができる。

打撃法と局部破壊法は早く、1934 年頃から試みられてきた方法であって、今日広く実用されているシュミットハンマーは 1948 年に出現している。振動法も結構早い時期に試みられているが、この方法はどちらかといえば強度の推定よりもコンクリートの動的特性 (動ヤング係数、動ポアソン比など) の測定などに実用されることの方が多い。組合せ法の中のあるものは 1953 年頃に試みられているが、本格的に取り上げられるようになったのは比較的最近のことである。今のところ、この複合法が強度推定精度の点で最も優れていると考えられている。これらの既往の各種非破壊試験法の詳細については、初めに述べた筆者らの既往論文^{1),2)} ならびに日本建築学会の材料施工委員会コンクリート非破壊試験法研究小委員会資料⁴⁾ にも詳しいのであわせて参照されたい。

強度推定のための非破壊試験法は、安易に適用すると大きな事故に繋がる。そのため各国では適用基準や指針あるいはマニュアルなど^{5)~13)} を策定している。我が国でも古くは日本材料学会の“シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方法・案(1958)”¹⁴⁾ が、最近では日本建築学会の“コンクリート強度推定のため

表—2 コンクリートの非破壊試験法

種 類	要 領	適用範囲	
打 撃 法	表面硬度法 落下式ハンマー法 パネ式ハンマー法 回転式ハンマー法 など	打撃によるコンクリート表面のくぼみ状況などの測定	強度の推定
	反発硬度法 シュミットハンマー法など	打撃による反発硬度の測定	強度の推定
振 動 法	共振法 タテ共振法 タワミ共振法 ネジレ共振法	特定形状の試験体の共振時の振動数、減衰率などの測定	強度の推定 動的特性 (動ヤング係数など) の測定 耐凍結融解試験
	音速法 超音波法 衝撃波法 位相法 など	音波の伝達速度、反射状況などの測定	強度の推定 厚み測定 探傷
局 部 破 壊 法	貫入法 シンビハンマー法など	貫入深さの測定	強度の推定
	引抜き法	くぎ、ボルトなどの引抜き耐力の測定	強度の推定
	局部圧縮法	局部圧縮時の耐力の測定	強度の推定
複 合 法	音速・シュミットハンマー法 共振振動数・対数減衰率法 など	上記各種手法の組合せ	強度の推定
電 磁 気 法	電気抵抗法 誘電率法 自然電極電位法 など	左記の電磁気諸特性の測定	厚み・含水率などの測定 鉄筋腐食状況の測定
そ の 他	放射線法 中性子法 マイクロウェーブ吸収法 アコースティックエミッション法など	左記の諸特性の測定	探傷 (空隙, 混入異物など) 含水率の推定 載荷履歴の推定 など

の非破壊試験方法マニュアル (1983)¹⁵⁾ が策定されている。

3. 日本建築学会マニュアルの非破壊試験

日本建築学会では材料施工委員会第一分科会 (主査 岸谷孝一) にコンクリート非破壊試験法研究小委員会 (主査 筆者) が組織され、昭和 52 年から昭和 57 年にかけての共同実験を含む一連の調査⁴⁾・研究に基づい

て“コンクリート強度推定のための非破壊試験方法マニュアル”¹³⁾ [以下簡単のために、マニュアルまたは建築学会マニュアルと呼ぶ] が策定された。このマニュアルは前述の RILEM の指針案¹⁴⁾ や我が国での昨今の実験資料をも参考にして取り纏めたもので、文字どおりコンクリート強度推定のための手引になるものである。よってここにその基本的な考え方を紹介しておく。

建築学会のマニュアルには、「反発度法（シュミットハンマー法）」、「超音波伝播速度法（音速法）」ならびに「反発度法と超音波伝播速度法の複合法」の三つのコンクリートの圧縮強度推定法が示されている。

以下便宜上それぞれを、「シュミットハンマー法」、「音速法」、および「複合法」と略称する。

〔シュミットハンマー法〕

シュミットハンマーは 1948 年に Schmidt が考案したコンクリート強度推定のための非破壊試験機で、現在世界中で広く実用されている。市販の機種には表-3 に示すようなものがあるが、これらのうち普通コンクリート用の N 型およびこれに反発度の自記記録装置の付いた NR 型ハンマーが最も多く用いられている。

N 型ハンマーの動作原理は、既にご承知の方も多いと思うが、ケースに納められたバネの作用でハンマーがプランジャーと称する打撃棒を介してコンクリート面を打撃し、その時のハンマーの反発度を読み取るようになっている。測定要領の細目については、建築学会マニュアル¹⁵⁾ に詳しいので、ここでは省略する。

強度の推定は、高強度のコンクリートほど打撃時の反発度が大きくなるという経験則に基づいて行う。一般には、次のような実験式を用いて強度を算定する。

$$F_c = A \cdot R + B \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 F_c : コンクリート圧縮強度
 R : 反発度
 A, B : 実験定数

実験定数はコンクリートの種別（あるいは骨材種別）、乾湿の状況、材令ならびにハンマーの打撃方向（上向き、下向き、水平方向などの別）などによって異なるので状況に応じて選択する必要がある。

表-3 シュミットハンマーの種類

適用コンクリート	機種型式名	衝撃エネルギー (kgf·cm)	推定強度の範囲 (kgf/cm ²)
普通コンクリート	N 型・NR 型	0.225	150— 600
軽量コンクリート	L 型・LR 型	0.075	100— 600
マスコンクリート	M 型	3.00	600—1000
低強度コンクリート	P 型 ²⁾	0.09	50— 150

注 1) NR 型および LR 型はそれぞれ R 型および L 型に自記記録装置の付いたもの
 2) P 型ハンマーだけは振り式、他はバネ式

強度推定式ならびに実験定数については、表-4 に示すものならびにその他の多くの提案があり、研究者によってそれぞれ微妙に異なる。更に、内外の諸規定による強度推定式を図示してみると図-1 のようになり、これらもまた微妙に相違している。なお、図-1 には筆者らの実験結果も併せて示してある。このような相違は、コンクリートの調合（配合）、使用材料の品種・品質、養生条件、ハンマーによる打撃条件などの違いによるものと考えられる。また最近シュミットハンマーの販売年度によって（つまり新型と旧型とでは）同一コンクリートに対する反発度に差があり、新型の方がやや小さい反発度を示すという報告¹⁶⁾もある。これらのことは、不用意に勝手な提案式を使って強度を推定すると、実態とは異なった強度を推定することになるということの意味している。更にまた、これらの実験式のそれぞれは、図-2 に示すようなかなりのバラツキを持った実験データを集約したものであることも、よく承知しておかなければならない。つまり同じ反発値であっても、実際の圧縮強度は 100 kgf/cm² も違うことがあり得るということである。以上のことを勘案して、RILEM の国際指針案¹³⁾ や日

表-4 各研究者による強度推定式

研究者	実験式 ¹⁾
坂ら、および横道ら	$F_c = 13 \cdot R - 184$
小阪・谷川ら	$F_c = 20.5 \cdot R - 281$ (湿潤) $F_c = 22.9 \cdot R - 432$ (乾燥)
佐治ら	$F_c = \alpha(13 \cdot R - 184)$ $\alpha : 0.63$
木村	$F_c = -57 + 6.95 \cdot R + 0.065 \cdot R^2$
日本材料学会	$F_c = 6.44 \cdot R - 112.5$ (水平面) $F_c = 7.39 \cdot R - 166.7$ (垂直面)
建築学会非破壊試験研究小委	$F_c = 7.3 \cdot R + 100$ (普通コンクリート) $F_c = 10.1 \cdot R + 2$ (軽量コンクリート)

注 1) F_c : 圧縮強度 (kgf/cm²) R : 反発度

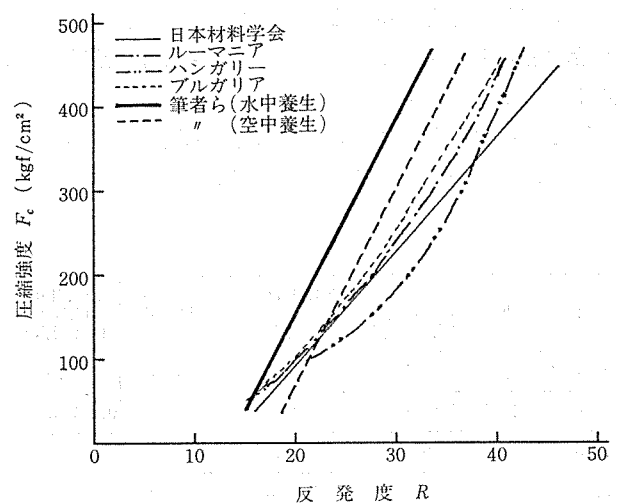


図-1 圧縮強度 (F_c) と反発度 (R) との関係

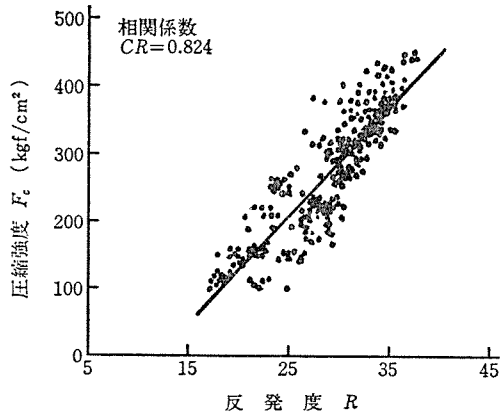


図-2 圧縮強度 (F_c) と反発度 (R) との関係

本建築学会のマニュアル¹⁵⁾では、特定の強度推定式を示さず、その都度実情に応じて策定した強度推定式を用いて強度の推定を行うのを原則とし、その要領を細かく規定している。

[音速法]

音速法とは前掲の表-2に示した振動法の中の一つである。すなわち、振動法には共振法と音速法の二つがあるが、共振法は適用できる試験体の形状・寸法が限定されるため、実構造物のコンクリートの強度推定には向いていない。このため強度の推定には、超音波を用いた音速法が専ら実用されている。現在市販の超音波音速測定機器としては表-5のようなものがある。

音速法による強度推定は、シュミットハンマー法の場合と同じく高強度のコンクリートほど音波の伝播速度が早くなるという実験事実に基づくものである。しかし音速法の場合、図-3に見られるように、強度との相関はシュミットハンマー法の場合ほどは良くはない。コンクリートの調合、材令、使用材料の種類などの別に音速と強度との相関関係が異なるからである。コンクリートの調合や材令を考慮することによって、ある程度強度の推定精度を向上させることも可能ではあるが、音速法は単独で用いるよりも後述の複合法としてシュミットハンマー法と共用する方がよい。なお日本建築学会のマニュアルでは、音速のみによる強度推定は、シュミットハンマ

表-5 主要超音波測定器

機 種	ウルトラソニ スコープ MIX 1105 (マルイ)	KLD-780 (神奈川電気)	ソナー KH-751 (協栄社)	PUNDIT C.N.S Inst. LTD
最小読取り時間	0.1 μ s	0.1 μ s	0.1 μ s	0.1 μ s
時間測定範囲	0.1-1000 μ s	0.1-999 μ s	0.1-10000 μ s	0.1-10000 μ s
標準振動子	50 kHz	50 kHz	50 kHz	50 kHz
透過測定能力	0~8 m	0~8 m	0~8 m	0~15 m
重量 (kg)	約 10	約 10	約 10	3.2

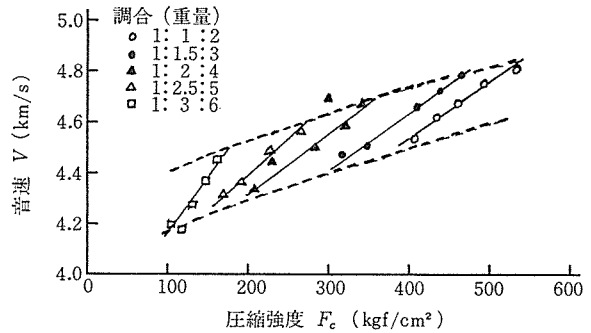


図-3 圧縮強度 (F_c) と音速 (V) との関係

一法の場合と同様、その都度実情に応じて策定した強度推定式によるのを原則としている。

[複合法]

RILEMの指針案¹⁶⁾には複合法として表-6に示すような組合せが示されている。しかし日本建築学会のマニュアル¹⁴⁾では複合法としてシュミットハンマー法と音速法との組合せ法のみが示されている。シュミットハンマーも超音波音速測定装置も共に既に我が国で市販されて入手し易いこと、いずれも取扱いが比較的容易なこと、ならびに強度推定精度が比較的良好なことなどがその理由である。

日本建築学会のマニュアルでは、シュミットハンマー法と音速法との複合法の場合、同一測定箇所についてシュミットハンマーによる反発度 (R) と音速 (V) の双方を測定し、それらの測定値を用いて次式によって強度を推定するようになっている。

$$F_c = k_1 \cdot R + k_2 \cdot V + C \dots\dots\dots (2)$$

または、

$$\log F_c = k_1 \cdot R + k_2 \cdot V + C \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 F_c : コンクリートの圧縮強度

R : シュミットハンマー反発度

V : 音速

k_1, k_2, C : 実験定数

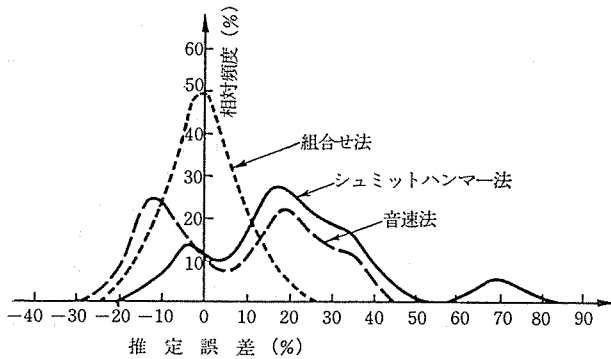
このように二種類あるいはそれ以上の非破壊試験法を併用すると、何ゆえ強度の推定精度が向上するのかは、今のところあまり明らかではない。ただ表-7に見られるように、反発度 (R)、あるいは音速 (V) のみを用い

表-6 複合法の組合せ例 (RILEM 指針案¹⁶⁾による)

2種類の組合せ	3種類の組合せ
縦波速度+反発度	縦波速度+反発度+引抜き力
縦波速度+表面くぼみ度	縦波速度+反発度+音波の減衰
縦波速度+引抜き力	縦波速度+反発度+r線の減衰
縦波速度+共振周波数	縦波速度+初動波の傾き+縦波の反射時間
縦波速度+横波速度	
反発度+表面くぼみ量	
反発度+引抜き力	
反発度+マチュリティー	

表—7 強度推定式の重回帰分析結果 (谷川ら¹⁷⁾)

実験式	係数			重相関係数 CR
	k_1	k_2	C	
$F_c = k_1 \cdot R + C$	15.5	—	-193	0.784
$F_c = k_2 \cdot V + C$	—	173	-500	0.545
$F_c = k_1 \cdot R + k_2 \cdot V + C$	15.0	162	-844	0.936
$\log F_c = k_1 \cdot R + C$	0.035	—	1.39	0.788
$\log F_c = k_1 \cdot R + k_2 \cdot V + C$	0.034	0.358	-0.049	0.938



図—4 音速と反発度の組合せ法によるコンクリートの推定強度のばらつき (Facaoaru¹⁸⁾ による)

強度推定を行うよりも、両者を併用して上記の (2) または (3) 式によって強度を推定の方が、強度推定精度が良くなることは確かである (表—7 における重相関係数が 1.0 に近くなるほど精度が向上することを意味している)。また 図—4 はシュミットハンマー法、音速法、ならびに複合法による強度推定精度の良否を比較したもの¹⁸⁾ で、やはりシュミットハンマー法や音速法の場合よりも複合法の場合の方が曲線のピーク (相対頻度) が高く、強度推定精度が優れていることがわかる。

4. ホールインアンカーによる引抜き法

はじめにも述べたように、引抜き法は局所的とはいえコンクリートを損傷するので、厳密には非破壊試験とはいえない。しかし、損傷がコンクリートの表層部に限られ、また損傷の程度も軽微で、構造物としての機能が大きく損なわれることは無いため、実用非破壊試験法の一つとしてよからう。

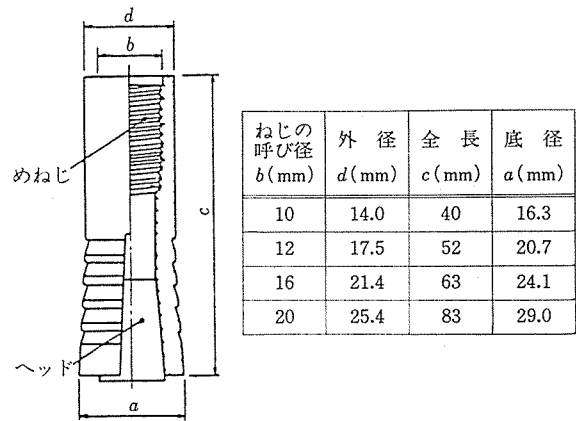
引抜き法の原理は、コンクリート中に埋め込んだボルトや釘の引抜き耐力からコンクリートの圧縮強度を推定しようとするものであって、実は早くから多くの研究者によって試みられている。しかし、それらはいずれもコンクリートの打設時に引抜き金具を埋め込んでおく必要があったため、既設のコンクリート構造物には適用できないという恨みがあった。筆者らが開発したホールインアンカー法¹⁹⁾ は、昨今の建設工事に多用されている 図—5 に示すような市販のホールインアンカー (埋込み金

具) を利用する方法で、既に硬化したコンクリートに随時適用できるという大きい特徴を有している。以下その概要を述べる。

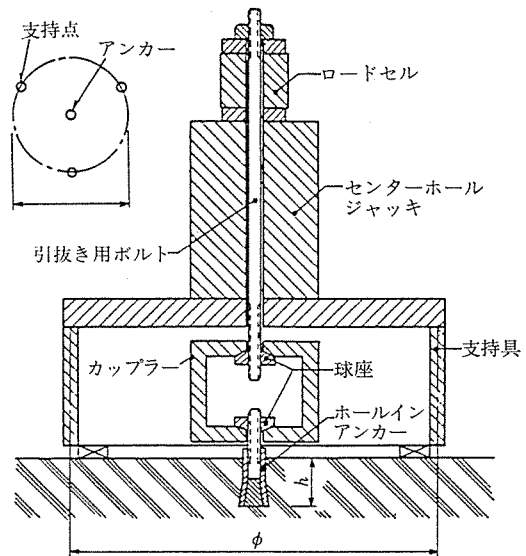
図—6 は測定装置の概要である。測定に際しては、まずコンクリートの所定の箇所にドリルで穴を穿ち、そこに前述のホールインアンカーを打ち込む。次いで前掲の 図—6 に示す要領で、支持具を介してセンターホールジャッキに取り付けた引抜き用ボルトとホールインアンカーをカップラーで連結し、ジャッキを作動させてアンカーを引き抜く。この時の引抜き耐力からコンクリート強度を推定する。

実験の結果は、およそ 図—7 のようであって、引抜き耐力とコンクリートの圧縮強度との間にはかなり良好な相関があり、図中に示した式を用いて引抜き耐力からコンクリート強度を推定することができる。

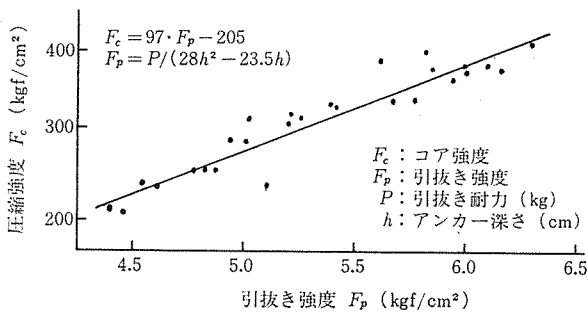
ただし、この方法はコンクリートに対する穿孔やアンカーの埋込み作業の巧拙が強度推定の精度に反映するた



図—5 ホールインアンカーの形状



図—6 ホールインアンカー引抜き装置



図—7 圧縮強度 (F_c) と引抜き強度 (F_p) との関係

め、図示の実験結果はまだ若干のばらつき（図示の場合の相関係数は 0.916）を示しているが、これら一連の作業の精度を上げることによって強度推定精度は更に向上するものと思われる。

5. む す び

結論として、現段階ではコンクリートの強度推定のための非破壊試験法として十分に満足しうるものは未だ無いと言えよう。一般に、あらかじめ入手しうるコンクリートに関する諸情報、つまりコンクリートの調合（配合）、使用材料の種類・品質、養生条件、材令など、対象コンクリートについての情報が多いほど、強度推定精度をある程度向上させることはできる。しかし、既設構造物の場合にはこれらの情報は不明のことが多い。ここに紹介した強度判定のための非破壊試験法は、あくまでもコンクリート強度判定のための補助的手段として利用するよう心掛けるべきである。つまりコンクリート強度の判定に際しては、別に採取した供試体、あるいは構造物から抜き取ったコアによる圧縮試験に依るのを基本とすべきである。そして、非破壊試験による強度推定の際には、安易に既提案の強度推定式を用いて行うことなく、コア試験の結果に基づいて校正した数式や図表を用いて行うことを原則とし、コア試験のみによってはどうしても不足する強度実測資料の充実を図るための補助手段とするのがよい。

参 考 文 献

1) 谷川, 小阪: コンクリートの非破壊試験法に関する研究

の動向, コンクリート工学, Vol. 18, No. 1, 1980

2) 小阪: コンクリート強度推定のための非破壊試験, セメント・コンクリート, No. 418, 1981

3) 佐藤: ゼネコンからみた診断・改修, 建築雑誌, Vol. 99, No. 1222, 1984

4) 日本建築学会: コンクリートの非破壊試験法に関する研究の現状と問題点, 1981

5) ASTM C-215: Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete

6) ASTM C-597: Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete

7) BS-4408: British Standard Recommendations for Non-Destructive Methods of Test for Concrete, Part 4. Surface Hardness Methods, Part 5. Measurement of the Velocity of Ultrasonic Pulse in Concrete

8) DIN-1048: Prüfverfahren für Beton. Teil 2, Bestimmung der Druckfestigkeit von Festbeton in Bauwerken und Bauteilen Allgemeines Verfahren. Teil 4. Bestimmung der Druckfestigkeit von Festbeton in Bauwerken und Bauteilen Anwendung von Bezugsgeraden und Auswertung mit besonderem Verfahren

9) Romanian Standard C 30-67 (Technical instructions for concrete testing by using Schmidt Hammer Type-N)

10) Polish Standard PN-74 B 06262 (Non-destructive testing of concrete using the Schmidt hammer in the non-destructive control of concrete quality in building)

11) Bulgarian Standard BDS 3816-72 Concrete (Determination of probable compressive strength by mechanical non-destructive method)

12) RILEM Recommendation NDT 1: Testing of Concrete by the Ultrasonic Pulse Method

13) RILEM Tentative Recommendations for It-situ Concrete: Strength Determination by Non-Destructive Combined Method, 1st. Draft, 1980

14) 日本材料試験協会 実施コンクリート強度判定委員会: シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方法(案), 材料試験, Vol. 7, No. 59, 昭和 33 年

15) 日本建築学会: コンクリート強度推定のための非破壊試験方法マニュアル, 1983

16) 谷川, 森: シュミットハンマーによるコンクリート強度推定式に関する一考察, 日本建築学会, 昭和 59 年度大会 学術講演梗概集, 構造系

17) 谷川, 山田: 複合非破壊試験法によるコンクリート強度の推定, セメント・コンクリート, No. 393, 昭和 59 年 11 月

18) Facaoaru, I.: Non-Destructive Testing of Concrete in Romania, ICE Sympo. on Non-Destructive Testing of Concrete and Timber, London, June, 1969

19) 小阪, 山田, 金: ホールインアンカーの引抜き耐力に及ぼす各種要因の影響, セメント技術年報, 1982