

テストハンマーによるコンクリートの強度推定

谷口 秀明*

PC 橋の検査・点検でテストハンマー試験を行い、PC 部材中のコンクリートの強度を推定する場合の課題を取り上げた。日本におけるテストハンマー試験の研究の変遷や最新のコンクリート標準示方書での記述を紹介し、この簡便な試験の位置づけを明確にした。また、テストハンマーの構造および測定方法ならびにコンクリートの変形性状などについて論理的に考察し、これに基づく反発度と圧縮強度の関係を表した理論式を用いれば、PC 部材などに使用される比較的高い強度域のコンクリートの強度推定が可能であることを述べた。しかし、大型試験体や実際の PC 部材に対する強度推定例を示し、実際の構造物中のコンクリートの強度を推定するうえではさまざまな留意すべき事項があり、総合的に判断できる技術者の必要性にも触れた。

キーワード：テストハンマー，反発度，強度，プレストレストコンクリート

1. はじめに

テストハンマー（JISA 1155 では「リバウンドハンマー」と呼ぶ）は、1948 年にスイスの E.Schmidt がシュミットハンマー（製品名）を考案して以来、測定方法の簡便な非破壊試験装置として世界中に広まった。わが国でも、テストハンマー試験（試験法は反発度法、反発硬度法などとも呼ぶ）は、さまざまなコンクリート構造物の検査・点検に活用されてきた。しかし、テストハンマーによる推定強度がコアなどの実強度と一致しないことが多い。

これに対して、これまでに、多くの研究者がさまざまな強度推定式を提案し、その式を用いれば、推定精度が向上するという報告や、テストハンマーの推定精度は低いとし、そのほかの非破壊試験法を提案する報告などが多数存在する。このような大きな課題があっても、このきわめて簡便な試験は、構造物の検査・点検の実務で使用され続けている。

本報では、わが国における研究の変遷、コンクリート標準示方書での記述、筆者が提案する理論式の紹介により、テストハンマーの強度推定の本質部分を明確にするとともに、比較的高い強度域のコンクリートが使用される PC 部材を主な対象とし、構造物中のコンクリートの検査・点検でテストハンマー試験を行う場合の留意点を述べる。

2. テストハンマー試験の研究の変遷

わが国では、1953 年に輸入されたスイスの BBR 社（現在、Proceq 社）よりシュミットハンマー N 型を大学と大手建設会社が購入したのがテストハンマーの研究の始まりである。日本材料試験協会（現在、日本材料学会）の実施コンクリート強度判定法委員会¹⁾では、表面硬度法、打撃波音速法および超音波音速法の研究が行われた。表面硬度法に分類される試験のなかでは、テストハンマー試験は、重錘落下や Frank ハンマーなどの試験に比べて簡便で、かつ推定精度が比較的良好なので重点的に研究が進められた。多くの研究成果をもとに、1958 年に JSMS 指針案¹⁾が作成された。指針案に示された強度推定式（これ以降は、JSMS 式とする）は、その後の構造物の検査・点検に広く活用された。

1960 年代には、建築物、コンクリート製品、PC 部材などで、テストハンマー試験の適用性が検討されている。前述の委員会の委員長であった坂らも、PC 部材に使用する高い強度域のコンクリートには JSMS 式が適用できないとし、これとは異なる式を提案した²⁾。1970 年代にも PC 部材を対象とした研究報告があり、さまざまな強度推定式が提案された（たとえば、沢田ら³⁾）。最近でも、PC 部材や建築物を対象に、低強度域から高強度域までの広い範囲を対象とした曲線回帰式が提案されている（たとえば、斯波ら⁴⁾）。ただし、JSMS 指針案の解説では、一般に富配合のものは貧配合のものよりも同一強度に対する硬度は小さくなると記述しており、当時より高い強度域のコンクリートの強度推定の問題は提示されていた。

1983 年に発行された日本建築学会のマニュアル⁵⁾では、委員会で実施された共通試験の結果に基づく回帰式（これ以降、AIJ 式と呼ぶ）が示された。このマニュアルでは、実験で得られた試験値をもとに回帰式を作成することを原則とし、実験が不可能で、かつ材料や施工の条件が類似した条件であれば、AIJ 式などの既往の回帰式を用いても良いとしている。これに関しても、JSMS 指針案の解説で、



* Hideaki TANIGUCHI

三井住友建設(株)
技術開発センター

JSMS 式を求めた実験の基礎となった諸条件が異なれば、反発度と圧縮強度の関係は異なるとし、既往文献から引用した 13 種類の回帰式を図示している。

土木学会では、1990 年に初めてテストハンマー強度の試験方法案が規準化され、1999 年に試験方法案から試験方法 (JSCE-G504「硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法」) になった (2013 年に見直し)。テストハンマー試験で求めた強度をテストハンマー強度と呼び、コンクリートの圧縮強度とは区別している。強度推定式は解説で JSMS 式を紹介するに留めている。注釈には、精度の高いテストハンマー強度を得たい場合には、試験に使うテストハンマーごとに、円柱供試体の圧縮強度と反発度との関係から求めた換算式または換算図を利用すること、同一のテストハンマーを使用することが記述されている。

検査・点検の実務では、個々の条件ごとに回帰式を作成することを好まず、既存の JSMS 式や AIJ 式などを用いて、試験だけでなく強度推定も簡便に行おうとする傾向がある。しかし、試験時の諸条件がそれらの式を求めた実験と完全に一致することはほとんどなく、その相違の度合いにより、推定強度が実強度と異なる結果になるのは当然である。

最近では、国土交通省の工事における超音波法などの非破壊試験では、強度測定要領⁶⁾に基づき、コンクリートの試し練りで作製した供試体の圧縮強度と超音波速度などの関係から求めた強度推定式を用いて、構造物中のコンクリートの強度を推定することになっている。特定の試験法・試験機に限定するだけでなく、測定者にも土木研究所による講習会の受講証明書を有することを求めている。なお、国土交通省工事の検査で実施されるテストハンマー試験では、PC 橋上部構造は対象から除外されている⁷⁾。

東日本・中日本・西日本高速道路では、コンクリートの試し練り段階でテストハンマー用円柱供試体 (基準供試体) を作製し、材齢と反発度との関係を求め、構造物で測定した反発度が、同一材齢の基準供試体の反発度の 85% 以上であれば合格としている⁸⁾。前述のように圧縮強度の推定には曖昧なところがあるため、反発度で評価する点に特徴がある。この試験は PC 橋上部構造にも適用されている。

なお、2003 年には、JIS A 1155「コンクリートの反発度の測定方法」が制定された (2012 年に改正)。JIS A 1155 では試験装置自体の構造的な仕様の範囲が明記されたが、圧縮強度の推定方法には触れられていない。

3. コンクリート標準示方書での位置づけ

構造物の検査・点検を行うにあたって、発注者や施工者の多くが参考にする、土木学会のコンクリート標準示方書 [施工編] および [維持管理編] におけるテストハンマー試験に関連する記述をとりまとめた。

2012 年制定コンクリート標準示方書 [施工編] では、[施工編：検査標準] 8 章「コンクリート構造物の検査」8.4「構造物中のコンクリートの検査」の解説で、コンクリート表面に対して実施する非破壊試験の一つとして、JSCE-G504 によるテストハンマー試験を紹介している。

そのほかの方法も含め、非破壊試験の測定結果には信頼性に課題が残されたものが多いとしている。

PC 構造物の施工の留意点は、[施工編：特殊コンクリート] 10 章「プレストレストコンクリート」にまとめられている。ただし、検査は、プレストレス導入、PC グラウト注入およびプレキャスト部材接合といった PC に直接関係するものを対象に記述している。このため、PC 部材中のコンクリートの検査は、1 章「総則」1.1「適用の範囲」の解説に記述されるとおり、「施工編：検査標準」に基づき、実施されることになるので、PC 部材に対してもテストハンマー試験が適用される可能性がある。

一方、2013 年制定コンクリート標準示方書 [維持管理編] では、[維持管理編：標準] 3 章「点検」3.7「点検における調査」3.7.3「調査方法」3.7.3.1「一般」の解説表 3.7.1～3.7.3 で反発度に基づく方法 (反発度法) を示している。3.7.3.4「非破壊試験機器を用いる方法」では、反発度に基づく方法は、コンクリートの強度や表層部の劣化、品質を推定する必要がある場合に選定するとし、その解説で反発度法は JIS A 1155 または JSCE-G504 に準拠して行うとよいとしている。ただし、コンクリート表層の反発度は、コンクリートの強度のほかに、コンクリートの含水状態、中性化などの影響を受けるので、一定以上の材齢が経過したコンクリートの圧縮強度を反発度の測定結果のみで精度高く推定することは困難である。このため、既設構造物のコンクリート強度を推定する場合には、コアを採取して行う圧縮強度試験などと併用するのがよいと記述している。

弾性波を利用する方法については、コンクリートの表層や含水状態などに対する留意点の記述はないが、コンクリート構造物の表面近くと内部で、圧縮強度、ヤング係数、含水状態などが異なれば、測定される弾性波速度も異なる可能性がある。たとえば、岩野ら⁹⁾は、測定対象の既設橋台に対する調査において、表面近くと内部の含水率の違いが弾性波速度に影響を与えることを確認しており、圧縮強度の推定精度を高めるため、衝撃弾性波法と微破壊試験 (小径コア法) の併用を提案している。

2013 年の改訂で新たに追加された 10 章「プレストレストコンクリート」には、PC 構造物の維持管理の標準が示されている。10.3「点検」10.3.1「一般」の解説表 10.3.1 では、耐力を把握するため、コンクリート強度をテストハンマー試験およびコア試験で確認することを示している。

以上のように、PC 構造物中のコンクリートの検査・点検では、テストハンマー試験は一般的なものとして扱われ、PC 特有の留意点は特に触れられていない。

4. テストハンマーによる強度推定法の提案

これまで、反発度と圧縮強度の試験値に対して回帰式を行い、一次式、二次式、累乗式など、さまざまな強度推定式が提案されてきた。しかし、それらの回帰式の係数の意味合いは不明確であり、何らかの試験条件が相違するごとに異なる式が示されてきた。これに対し、筆者は、テストハンマーの構造および測定方法ならびにコンクリートの変

形性状などについて論理的に考察し、これに基づく反発度と圧縮強度の関係を表す理論式を導き出し、その妥当性を検証した^{10), 11)}。以下、その概要を紹介する。

図 - 1 (a) に示すとおり、テストハンマーのプランジヤー先端をコンクリート表面に押しつけると、歯止めで固定されていたハンマーが外れ、ハンマーと本体を接続するばねの力でハンマーがプランジヤーに衝突する。この衝撃エネルギーは、試験器には反発エネルギーとして伝わり、最終的に指針の運動(移動)エネルギーに変換される。この指針がスケール内で止まった位置を読みとったものが反発度である。一般に、反発度は指針の移動距離をスケール全長との比で無次元化し、その値を百分率(%では表示していない)で表している。理論式の導出にあたっては、このばねエネルギーと移動距離の関係を利用した。

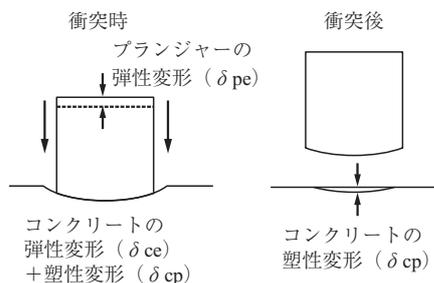
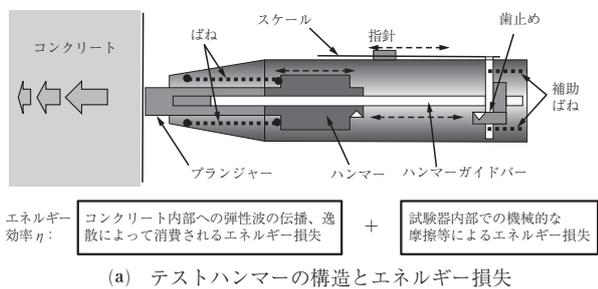


図 - 1 テストハンマーの構造および打撃によるコンクリートの変形

試験器の内部にはさまざまな部品が組み込まれているので、摩擦などの機械的特性に伴うエネルギー損失を生じる。また、コンクリート表面の打撃に伴うコンクリート内部への弾性波の伝播・逸散に消費されるエネルギー損失も考慮する必要がある。これらのエネルギー損失を個々に求めることは難しいので、筆者の研究では両者の影響を合わせてエネルギー効率ηという指標で取り扱った。

試験後のコンクリート表面には、図 - 1 (b) に示すようなくぼみ(塑性変形 δ_{cp})を生じるので、エネルギーの一部はこの塑性変形によって消費される。また、プランジヤー(鋼材)は弾性体であり、コンクリートも塑性域に達するまでは弾性体としての性質を有するため、衝突時には弾性変形 δ_e を生じる。

プランジヤーの先端は任意の曲率半径 r (一般には25 mm程度)をもつ球面であるため、衝突で生じるコン

クリートの弾塑性変形は球体を押し当てた場合の変形に相当する。これに類するものとしてブリネル硬度試験がある。この試験では、静的に任意の荷重を球体を与え、その荷重 P を試料に接する球体の表面積 $2\pi r\delta_{cp}$ で除したブリネル硬度 $H_B (=P/2\pi r\delta_{cp})$ を求める。よって、テストハンマー試験は、ばねエネルギーを利用した動的なブリネル硬度試験と見なすことができる。テストハンマーの動的な要素は、前述のエネルギー効率 η に含まれることになる。

ブリネル硬度は、コンクリート表面近くの局所的な品質を評価する指標であり、コンクリートの圧縮強度を直接表すものではない。しかし、金属やセラミックなどの品質評価では、ブリネル硬度と強度が比較的直線関係にあると見なしてこの硬度試験を活用している。そこで、筆者の研究においても、コンクリートの圧縮強度 F とブリネル硬度 H_B が比例関係にあると仮定し、理論式には比例係数 $a (=H_B/F)$ を与えた。

以上より、導入した理論式を、式(1)に示す。

$$F = \frac{(R/100)^2}{2\pi r a \delta'_e [\eta - (R/100)^2]} \quad (1)$$

ここに、

F : 圧縮強度 (N/mm²)

R : 反発度 (試験器の読み値)

r : プランジヤー先端の曲率半径 (mm)

a : 比例係数

δ'_e : 単位荷重あたりの全弾性変形 (mm/kN)

η : エネルギー効率 (理論上の最大値: 0.64)

式(1)に示すとおり、反発度 R が同一であっても、プランジヤー先端の曲率半径 r 、比例係数 a 、単位荷重あたりの全弾性変形 δ'_e およびエネルギー効率 η が相違すれば、圧縮強度は異なる値になる。この理論式を用いてコンクリートの圧縮強度を精度良く推定するには、個々の条件に合致したキャリブレーションにより理論式に含まれる各係数の値を求める必要がある。筆者は、それらの係数の値が、セメントや骨材の種類、水セメント比や骨材量、材齢、養生方法などによって変化することを実験で確認している。筆者が提案する理論式と各係数の値を組み合わせた強度推定式(以下、提案式と呼ぶ)は、従来のように一種類の直線や累乗式で表されるものではない。

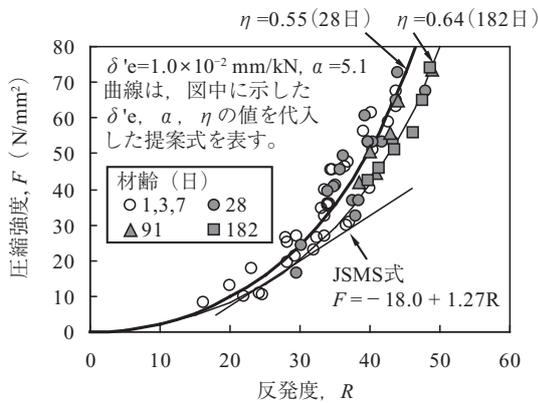
筆者の提案式を用いる場合にも、キャリブレーションによる係数の値を求めることを前提としている。しかし、おおよその傾向や推定強度がわかれば良い場合や諸条件が筆者の実験とほぼ一致する場合には、表 - 1 に示す値を用いて強度推定を行うことが可能である。表中に示す値は、PC部材を対象とし、早強ポルトランドセメントと普通骨材を使用したコンクリートの小型供試体を用いた実験結果に基づくものである。

早強ポルトランドセメントを使用したコンクリートの反発度と圧縮強度の関係を、図 - 2(a)に示す。図中に表す提案式の曲線は、材齢28日および182日で、かつ水セメント比を考慮しない平均的な値を代入したものである。提案式の曲線は、いずれの材齢においても、試験値がJSMS

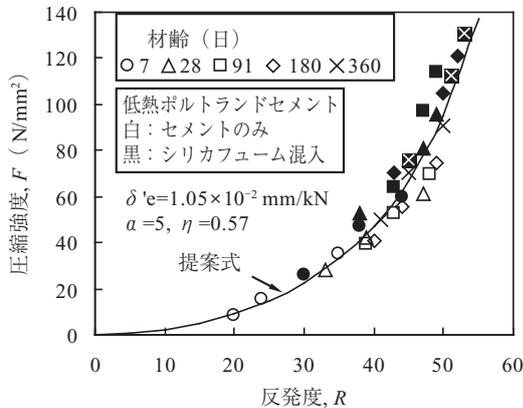
表 - 1 早強ポルトランドセメントを用いたコンクリートに対する理論式に含まれる各係数の目安値

材齢 (日)	単位荷重当たりの全弾性変形 $\delta'e$ ($\times 10^{-2}$ mm/kN)					比例係数 α	エネルギー効率 η
	水セメント比, W/C (%)			圧縮強度, F(N/mm ²)			
	55	40	30	30	60		
1	0.87	0.94	1.03	0.92	1.05	5.1	0.52
3	0.91	0.97	1.04	0.92	1.04		0.54
7	0.94	0.99	1.06	0.92	1.03		0.54
14	0.96	1.01	1.07	0.93	1.03		0.54
28	0.99	1.03	1.08	0.96	1.04		0.55
91	1.03	1.06	1.09	1.01	1.06		0.60
140							0.64
比較*	1.05						5.1

*) W/C=30 ~ 55 %, 材齢 28 ~ 91 日程度の試験で、既往の研究や構造物の測定条件が十分に明確でないものと比較する場合の目安の値。



(a) 早強ポルトランドセメントを使用した場合



(b) 低熱ポルトランドセメントを使用した場合 (シリカフェウムを併用したデータを含む)

図 - 2 反発度と圧縮強度の試験値に対する提案式の適合性

式と低強度域ではほぼ一致し、反発度が大きいほど高くなる傾向をよくとらえている。また、材齢が経過するほど、提案式の曲線は右側に描かれる。この変化量は直線回帰式で用いられてきた材齢補正係数に相当するが、材齢の影響は強度域によって異なることがわかる。

図 - 2 (b) は、低熱ポルトランドセメントを用いたコン

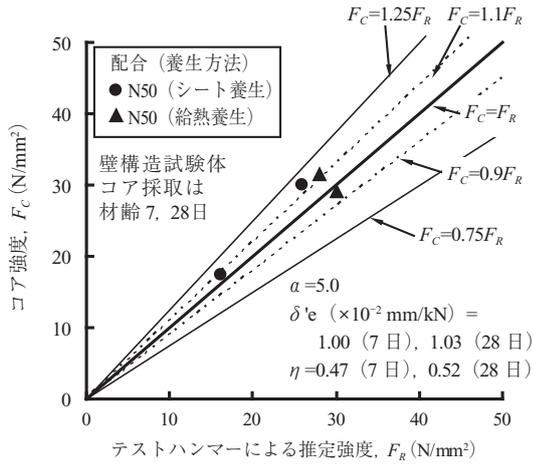
クリートの反発度と圧縮強度の関係を表したものである。筆者の試験値以外に、筆者の実験と同一のテストハンマーを使用したス波ら⁴⁾の試験値をプロットした。図中には全試験値の材齢の平均値 (約 130 日) に相当する提案式の曲線を示した。提案式の曲線は、シリカフェウムの混入の有無および試験者の違いによらず、試験値とほぼ一致しており、130 N/mm² 程度までの高強度域に対して提案式を適用できることがわかる。ただし、強度の推定精度を求めるのであれば、諸条件に合致した各係数の値をキャリブレーションで求めてから適用する必要がある。

5. 構造物中のコンクリートの強度推定

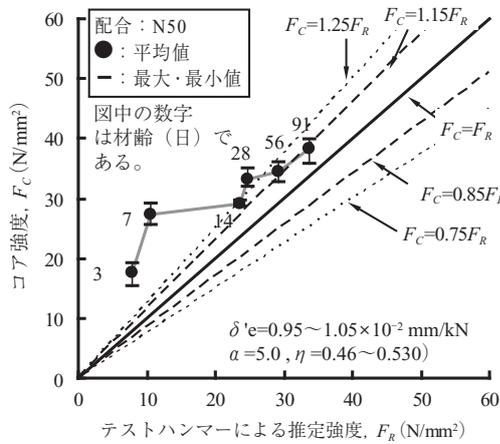
コンクリートのフレッシュ性状、打込み、締固め、養生などの施工段階におけるさまざまな要因により、程度の差はあれ、構造物中のコンクリートは均一な状態ではない。また、高さ方向に強度が変化することは周知の事実であり、テストハンマーでどの位置の強度を推定するのかよく考えて実施すること、コアの圧縮強度と比較するのであれば、テストハンマー試験もその位置に合わせる事が重要である。

図 - 3 (a) および図 - 3 (b) は、いずれも普通ポルトランドセメントを用いた水セメント比 50 % のコンクリート (N50) を使用したもので、それぞれ、厚さが 200 mm の壁構造試験体と 1000 mm のマスコンクリート試験体から、採取したコア強度とテストハンマーの推定強度を比較したものである¹⁾。壁構造試験体の場合には、材齢 7, 28 日ともに、推定強度とコア強度の比は ±0.1 程度の範囲である。一方、マスコンクリート試験体の場合には、初期材齢における推定強度は、コア強度よりもはるかに小さい。推定強度は、材齢 14 日以降にコア強度にかなり近い値となる。図中のコア強度の最小値は、型枠に最も近い位置のコアによるものである。この結果は、テストハンマーがコンクリート表面近くの比較的浅い部分の品質 (強度) を評価していることを示唆するものである。同じマスコンクリート試験体であっても、高炉セメント B 種を用いた水セメント比 35 % のコンクリート (BB35) では、図 - 3 (c) に示すように、推定強度がコア強度に近くなるまでの材齢は相当に長くなる。土木構造物は、建築物に比べて部材が厚い場合が多いので、強度推定を行ううえで注意する必要がある。

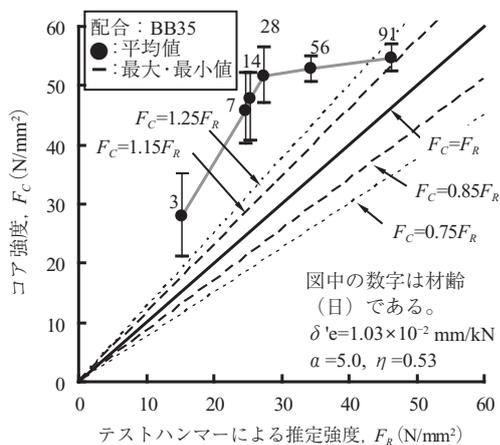
図 - 4 は、プレキャスト PC 床版 (版厚 0.27 ~ 0.37 m) を模擬した試験体を用い、テストハンマーによる推定強度とコア強度を比較したものである¹⁾。これには早強ポルトランドセメントの 50 % を高炉スラグ微粉末 6000 で置換した水結材比 36 % のコンクリート (設計基準強度 50 N/mm²) が使用されている。また、プレストレスを導入する必要があるため、所定の前置き時間を確保した後に蒸気養生が行われている。理論式に含まれる各係数の値を求めていないので、推定強度の誤差は大きくなるが、推定強度は、図 - 3 (c) のマスコンクリート試験体の場合と同様に材齢が 28 日以降、なるべく長くしないとコア強度に近づかないことがわかる。筆者らは、高炉スラグ微粉末を使用しない



(a) 配合N50, 壁構造試験体の場合



(b) 配合N50, マスコンクリート試験体の場合



(c) 配合BB35, マスコンクリート試験体の場合

図 - 3 テストハンマーによる推定強度とコア強度の関係

コンクリートでは積算温度と圧縮強度の関係は養生が異なっても大きくは変化しないが、高炉スラグ微粉末を使用すると、マスコンクリート部材からコア採取したり、蒸気養生を行ったりすると、積算温度が同一であっても標準水中養生よりもかなり高い強度を発現すること、また、湿潤養生を十分に行わないと強度発現に影響することなどを確認している¹²⁾。以上のように、深さ方向の強度発現の違い

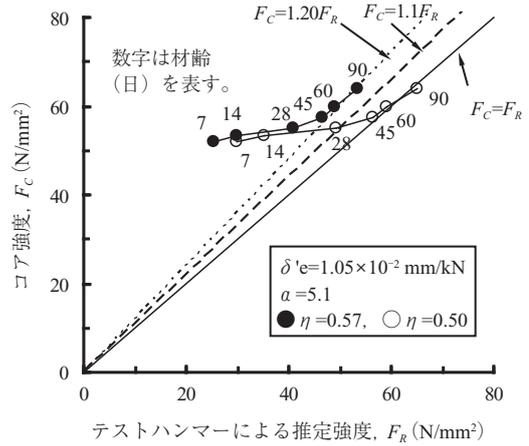


図 - 4 テストハンマーによる推定強度とコア強度の関係 (プレキャストPC床版の事例)

や高炉セメント・高炉スラグ微粉末の特性を理解したうえで、テストハンマーによる強度推定を行うことが重要である。

図 - 5 は、設計基準強度 60 N/mm² の高強度コンクリートを使用したプレキャスト主桁セグメントに対するテストハンマーによる推定強度と圧縮強度の関係を表したものである¹¹⁾。一般に新設構造物からコアを採取するのは困難である。圧縮強度は、標準水中養生を行った材齢 28 日の管理用供試体の値を用いた。また、テストハンマー試験の材齢は 54 日 ~ 124 日であり、セグメントと同一養生の圧縮強度試験と実施されていない。提案式に含まれる各係数の値は、表 - 1 の値を用いた。

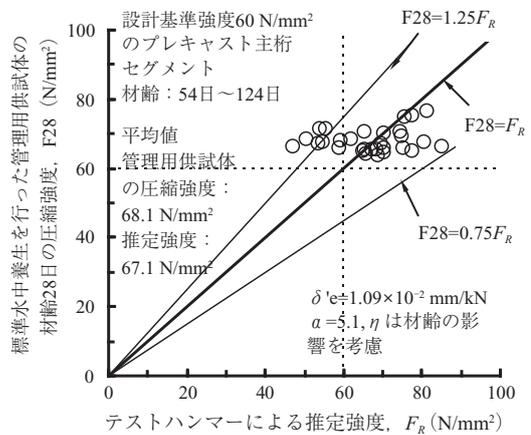


図 - 5 テストハンマーによる推定強度と管理用供試体の圧縮強度の関係 (プレキャスト主桁セグメントの事例)

一部、その範囲を外れ、推定強度が管理用供試体の強度よりもかなり小さいものが存在するが、推定強度は、±25%程度の誤差範囲であるものが多く、室内実験と同程度のばらつきである。ただし、標準水中養生を行った材齢 28 日の圧縮強度は、使用したコンクリートの品質変動を確認することができるものの、構造物中のコンクリートの圧縮強度を直接表すものではない。とくに、推定強度が小

さいものについては、施工・環境要因の乾燥の影響を受けている可能性があるため、よく確認しておく必要がある。

図 - 6 は、(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 (PC 建協) で実施した、全国の製品工場で製作した PC 製品に対するテストハンマー調査結果¹³⁾をもとに、反発度と圧縮強度 (管理用供試体) の関係を示したものである¹¹⁾。対象はプレテンションホロー桁がほとんどであり、コンクリートに使用されたセメントは早強ポルトランドセメント、水セメント比は 30 ~ 40 % の範囲 (平均 36.1 %) であり、表 - 1 に示す諸係数の値を求めた室内試験の結果に近い条件である。ただし、テストハンマーは各工場が所有するもので、さまざまな種類のもので使用され、その整備状況も不明であった。試験時の製品の状態は不明瞭で、試験材齢も 1 ~ 28 日が多かったが、最長 404 日の結果が存在した。

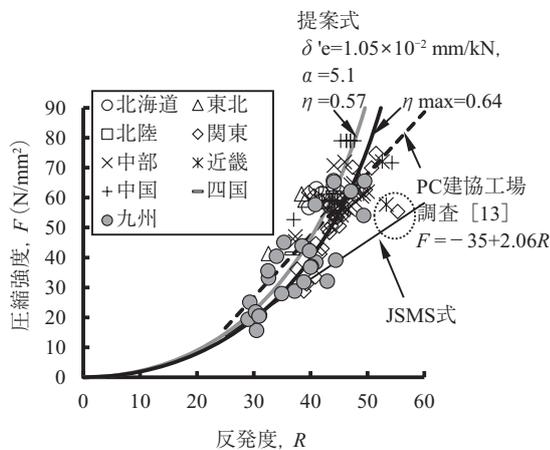


図 - 6 反発度と管理用供試体の圧縮強度の関係 (工場製品の全国調査の事例)

ほとんどの試験値は、JSMS 式とは一致しない。また、試験値に対して直線で回帰した場合には、試験値の偏りの影響を受け、反発度が 30 ~ 40 の範囲ではやや過大評価となる。これに対し、筆者の提案式を表す曲線は、室内実験で得られた各係数の値を使用しても、試験値の全体的な傾向とよく一致している。しかし、推定強度と圧縮強度 (管理用供試体) の関係には相当のばらつきが存在するため、精度良く強度を求める場合には、個々の条件に応じた係数の値を求める必要がある。

既設構造物の場合には、コンクリートの劣化が進行し、コンクリート表面の脆弱化、スケーリング、ひび割れ、はく離・はく落、鉄筋の腐食などが発生している可能性がある。前述のとおり、表面近くの品質が変化した構造物に対して、テストハンマー試験を実施すると、その品質変化が反発度に影響するので、構造物中のコンクリートの強度をとらえるのは難しい。このため、テストハンマー試験を実施する目的を明確にしておく必要がある。表面の劣化が進行した構造物に対しては、その部分を除去し、テストハンマー試験を行うことを推奨した資料も存在するが、同じ供試体であっても供試体表面と切断面では反発度が異なり、

大径の粗骨材が存在する箇所ほど、反発度は大きくなる傾向がある¹¹⁾。切断面や表層剥離で粗骨材が露出した面で反発度を測定すると、反発度、推定強度が高くなるおそれがある。

6. おわりに

テストハンマーは、誰でもすぐに使用できるようになり、一次式に反発度を入力すれば圧縮強度が求まるという簡便さが実務者に受け入れられ、広く普及してきた。しかし、テストハンマー試験にかぎらず、簡便に推定しようとするのと精度よく推定することは相反するものである。構造物の検査・実務では、その双方を求めがちであるが、テストハンマーで精度良く強度推定をしようすれば、各試験条件に合わせた試験 (キャリブレーション) を実施したうえで構造物の検査・点検に適用すべきである。また、反発度と圧縮強度の関係は複雑である。本報で述べた留意点もごく一部である。構造物中のコンクリートの検査・点検では、総合的に判断できる能力を持った技術者が、適切に使用し、強度推定を行っていただきたい。

参考文献

- 1) 日本材料試験協会: 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指針 (案), 材料試験, 第 7 巻, 第 59 号, pp.427-430, 1958
- 2) 坂 静雄, 六車 照, 安井久三: シュミットハンマーによるかた練りコンクリートの強度判定, セメント技術年報, Vol.15, pp.263-268, 1961
- 3) 沢田守雄, 兼子政志, 沢田兼二: シュミットハンマーの単打および連打によるコンクリートの強度判定について, プレストレストコンクリート, Vol.18, No.3, pp.22-28, 1976
- 4) 斯波明宏, 石川伸介, 渡邊 聡, 河上浩司: リバウンドハンマーによる強度推定式の提案とその評価, コンクリート工学, Vol.43, No.2, pp.35-40, 2005
- 5) 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
- 6) 国土交通省大臣官房技術調査課: 微破壊・非破壊試験によるコンクリート構造物の強度測定要領, 2012
- 7) 国官技第 61 号, 国コ企第 2 号: 土木コンクリート構造物の品質確保について, およびその運用, 2001
- 8) 東日本高速道路 (株), 中日本高速道路 (株), 西日本高速道路 (株): コンクリートの施工管理要領, 2014
- 9) 若野聡史, 森濱和正, 渡部 正: 衝撃弾性波法と微破壊試験の併用による構造体コンクリートの圧縮強度推定方法の提案, 土木学会論文集, 土木学会論文集 E2, Vol.69, No.2, pp.138-153, 2013
- 10) 谷口秀明, 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
- 11) 谷口秀明: テストハンマーによる構造体コンクリートの強度推定法に関する研究, 筑波大学学位論文, 2007
- 12) 谷口秀明, 渡辺博志, 田中良樹, 藤田 学: 高炉スラグ微粉末を用いた PC 用コンクリートの特性, コンクリート工学年次論文集, Vo.24, No.1, pp.531-536, 2002
- 13) 谷口秀明, 渡辺博志, 鈴木雅博, 藤田 学: プレストレストコンクリート部材へのテストハンマーの適用性に関する検討, プレストレストコンクリート, Vol.44, No.5, pp.47-52, 2002

【2014 年 8 月 30 日受付】