

報告 テストハンマーの個体差および較正法に関する調査

古賀 裕久^{*1}・河野 広隆^{*2}・福田 暁^{*3}・石井 和夫^{*4}

要旨: 硬化コンクリートの簡易強度推定に用いられるテストハンマーについては、試験器具そのものの検定方法が基準化されていないという問題点がある。そこで、製造者や整備状況が異なる41機のテストハンマーを収集し、反発度測定結果を比較した。また、市販のアンビル等を用いた検定の妥当性について検討した。

キーワード: テストハンマー, 反発度法, 強度推定, 非破壊検査

1. はじめに

テストハンマーを用いてコンクリート表面の反発度を測定し、得られた反発度からコンクリート強度を推定する調査手法（以下、反発度法）は、非破壊で簡易に実施できることから、実構造物におけるコンクリートの品質調査等に広く用いられている。また、2001年4月から、国土交通省が発注した新設の重要コンクリート構造物については、反発度法による強度推定調査を行うこととされており、反発度法が用いられる機会は今後も増えていくことが予想される。

一方、既往の研究から、反発度法による強度推定結果はさまざまな要因の影響を受けることも明らかとなっている¹⁾。特に、テストハンマーの個体差から生じる反発度の測定誤差は、測定結果に与える影響が大きいこと、アンビル（検定器）を用いた検定だけでは十分に補正することが難しいことが、坂ら²⁾により指摘されている。

筆者らは、坂らの研究から40年が経過し、テストハンマーの仕様に変更が加えられたこと、テストハンマーの製造者が1社から複数社になったことなどから、テストハンマーの個体差とその補正方法に関する検討の必要性が高まっていると考え、41機のテストハンマーを用いて

比較試験を行ったので、その結果を報告する。

2. 調査方法

2.1 機器の収集

国内で使用されている機器を幅広く調査することを目的とし、表-1に示す41機のテストハンマーを収集した。

また、反発度を測定する対象として、テストハンマーの点検用に製造されたアンビル5種類と、供試体2種類（鋼板、モルタル製品）の計7種類を用意した（表-2）。

2.2 反発度の測定

反発度の測定は、アンビル・供試体を強固なコンクリート床上に設置し、鉛直下向きに打撃することにより行った。測定回数は、アンビルは10回、鋼板は5回とした。テストハンマーの動作を安定させるため、コンクリート床面などで20回の捨て打ちを行った後で本試験を実施した。試験は、室温20℃の恒温室内で行った。なお、打撃方向等に応じて測定結果を補正する機能を内蔵するテストハンマーについては、補正機能を使わない設定にして測定した。

モルタル製品は個体によって品質が異なる可能性があるため、図-1のようにテストハンマーR02で全ての供試体の反発度を測定し、式

*1 独立行政法人土木研究所 技術推進本部構造物マネジメント技術チーム 工修（正会員）

*2 独立行政法人土木研究所 技術推進本部構造物マネジメント技術チーム 工修（正会員）

*3 日本構造物診断技術協会 研究委員

*4 日本構造物診断技術協会 研究委員（正会員）

表-1 使用したテストハンマーと測定結果

記号	製造者	整備状況	整備者	測定結果表示	製造年・型式	測定結果						
						a80	a74	a72	a60	a49	stl	m30
A01	A	1	F	記録紙	2001	80.4	79.0	76.0	64.6	50.4	54.0	29.5
A02	B	1	B	デジタル	2000	80.8	77.0	74.5	62.9	46.0	52.8	29.1
A03	C	1	C	記録紙	2001	81.6	78.2	75.2	64.0	49.9	50.2	27.2
A04	E	1	E	目盛り	2001	76.1	76.0	73.7	62.2	45.4	51.0	27.8
N01	A	3	—	記録紙	1965~70/N*R-5	77.1	73.0	70.3	—	44.0	54.8	28.8
N02	A	3	—	目盛り	1976	66.6	64.1	56.1	49.2	33.9	46.6	20.5
N03	A	3	—	目盛り	1975	71.2	70.6	67.8	57.3	43.5	50.2	26.8
N04	A	3	—	目盛り	1969	78.1	75.7	71.5	61.2	46.5	50.0	28.6
N05	A	3	—	目盛り	1975	67.1	65.1	60.1	51.8	38.6	45.8	23.4
N06	A	3	—	目盛り	1982	80.8	79.9	76.6	66.1	50.6	56.2	32.4
N07	A	3	—	目盛り	2001	80.0	77.6	75.0	64.0	48.6	52.6	28.5
N08	A	3	—	目盛り	1994	77.2	78.0	76.0	62.7	44.8	61.6	28.5
N09	A	3	—	記録紙	1982	77.4	75.5	72.6	62.2	46.8	51.6	27.5
N10	A	3	—	記録紙	1982	78.2	76.0	73.3	61.9	50.1	50.8	27.2
N11	A	3	—	目盛り	1997	80.0	78.0	76.0	64.0	48.2	52.4	26.8
N12	A	3	—	目盛り	1959/N-15	73.8	72.0	70.0	58.5	44.5	50.6	27.2
N13	A	3	—	目盛り	1969	76.5	75.6	73.4	—	45.6	51.8	28.6
N14	A	3	—	目盛り	1977	68.2	66.9	62.4	54.1	36.6	50.0	26.7
N15	A	3	—	目盛り	1982	72.7	73.9	70.3	58.7	42.0	52.0	27.0
N16	A	3	—	目盛り	1994	78.9	77.9	75.8	64.0	49.0	54.6	29.7
R01	A	2	R	目盛り	1993	79.9	79.1	76.6	65.0	50.0	55.0	31.1
R02	A	1	F	目盛り	1997	80.7	78.8	76.2	65.0	50.2	53.2	30.0
R03	A	3	—	デジタル	2001	79.5	77.7	75.1	63.7	49.0	53.0	29.1
R04	B	2	R	デジタル	不明	78.3	75.3	73.0	62.3	45.0	51.4	28.9
R05	A	1	R	記録紙	2000	78.4	79.0	76.3	—	47.4	54.8	32.3
R06	A	1	F	記録紙	2000	79.7	77.9	75.8	64.0	49.0	54.0	29.8
R07	A	1	F	記録紙	2001	76.7	74.7	72.2	61.6	46.0	52.0	28.3
R08	A	3	—	記録紙	1991	81.7	80.5	78.1	67.4	51.9	57.6	32.2
R09	C	1	C	記録紙	2001	82.7	77.4	71.2	62.7	49.4	49.6	25.7
Z01	A	3	—	デジタル	2001	79.3	76.9	74.8	63.4	48.6	54.6	30.0
Z02	A	3	—	目盛り	1992	79.6	76.0	69.9	62.5	47.1	54.4	28.2
Z03	D	2	G	記録紙	1987頃	79.7	74.1	72.9	62.1	51.4	46.0	25.9
Z04	B	2	C	デジタル	不明	81.9	76.8	73.9	63.3	56.0	48.8	29.2
Z05	A	3	—	目盛り	1991	80.1	79.3	77.0	64.5	49.1	56.4	28.7
Z06	A	2	H	記録紙	1977	76.5	75.7	73.0	61.9	48.0	52.8	29.0
Z07	B	3	—	デジタル	不明	76.2	71.1	68.7	59.0	47.0	46.0	25.9
Z08	A	1	F	デジタル	2001	80.9	79.0	76.9	65.7	51.1	55.8	30.4
Z09	B	3	—	デジタル	不明	77.6	74.1	71.6	60.3	45.2	50.4	28.6
Z10	C	3	—	目盛り	1999	79.8	77.4	70.9	62.0	47.6	54.6	24.7
Z11	A	1	F	目盛り	1957/N-10	77.3	76.6	74.1	—	46.4	52.8	27.6
Z12	A	1	F	目盛り	1954/N-6	78.9	78.0	72.4	—	48.5	53.2	29.9

※記号：A01～A04は、筆者らが所有し調査の直前に整備・点検を依頼した新品の状態に近いもの（A04は、購入直後のもの）。N01～N16は、レディーミクストコンクリート工場が所有するもの。R01～R09は、レンタル業を営む企業9社から貸借したもの。Z01～Z12は、上記に含まれない企業や大学が、調査や研究のために所有するもの。

※テストハンマーR02：R02は今回の試験に用いる直前に、整備者Fにより整備・点検され、その整備状況が適切であることが（財）日本品質保証機構にて確認されたテストハンマーである。そこで、本報告では、このR02を用いた反発度結果を基準となる測定結果とした。

※製造者：Aはスイス国の、Eは中華人民共和国の企業である。B～Dは、日本国内の企業である。

※整備状況：1は今回の試験の直前に整備・点検等が行われたことが明かなもの。2は書類等から購入後も整備・点検等が行われていることがうかがえるが、今回の試験までの間に他で使用されたことも考えられるもの。3は整備・点検等の記録がなく管理の状態が不明なもの。

※整備者：Fは製造者Aの日本国内での総代理店であり、Fによる検定は、製造者Aによるものと同等と考えられる。GとHは、測定機器の販売や整備等を行う企業である。また、Rはレンタル事業者が自ら整備・点検を行っている場合である。

※測定結果表示：目盛りは、自動記録装置をもたず打撃毎に目視で読みとるもの。記録紙は、感熱式の記録紙にアナログで反発度が記録されるもの。デジタルは、測定結果をデジタルで表示するモニタなどが搭載されたもの。

※製造年・型式：すでに製造・販売されていないテストハンマーについては、衝撃エネルギー等が現行のものとは異なる可能性があるため、型式も併せて記載した。

※測定結果：a80～a49は、テストハンマー用に製造されたアンビル、stlは鋼板を、m30はモルタル供試体を用いた測定結果である。なお、アンビルa60では、アンビルとハンマー本体が干渉するため測定ができない場合があった。

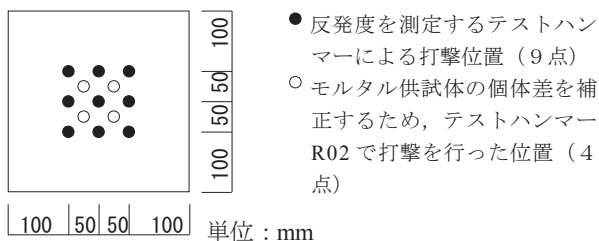
表－2 反発度を測定したアンビル・供試体

記号	種類	製造者	詳細
a80	アンビル	A	高さ215mm×直径130mm, 質量13kg, 公称反発度80
a74	アンビル	B	高さ238mm×直径88mm, 質量6kg, 公称反発度74
a72	アンビル	C	高さ160mm×直径107mm, 質量4.9kg, 公称反発度72
a60	アンビル	C	高さ169mm×直径50mm, 質量2.2kg, 公称反発度60
a49	アンビル	F	高さ226mm×直径146mm, 質量8.7kg, 公称反発度49, 試作品
stl	鋼板	—	220mm×440mm×16mmの鋼板を、300mm×700mm×200mmのコンクリートに埋め込んで固定したもの。鋼板部を打撃した。反発度53前後
m30	モルタル製品	—	300mm×300mm×61mm, 質量約1.2kgのモルタル製品。各テストハンマーごとに一個の製品を使用した。反発度30前後

※アンビルはいずれも新品または数100回使用した程度のものであり、打撃の繰返しによる反発度の変化については、考慮する必要がないものとする。

※モルタル供試体の反発度測定は、供試体とコンクリート床の間に厚さ1cmのゴム板を敷いて行った。

※モルタル供試体の個体差について：テストハンマーR02を用いて全ての供試体の反発度を測定した結果(4点の平均で)、反発度は25.8～32.5の範囲にあり、平均は29.7であった。



図－1 モルタル供試体の打撃位置

(1) を用いて測定結果を補正した。

$$R_{i,m30} = r_{i,m30} \times \frac{30}{R_{R02,m30}} \quad (1)$$

ここで、

$R_{i,m30}$: テストハンマー*i*で、モルタル供試体を打撃したときの反発度(補正後)

$r_{i,m30}$: テストハンマー*i*で、モルタル供試体を打撃したときの反発度(測定値)

$R_{R02,m30}$: テストハンマーR02で、モルタル供試体を打撃したときの反発度

3. 測定結果

反発度の測定結果を表－1に示す。測定結果のうち鋼板を打撃した結果には、信頼性に疑問が残るデータがいくつかあった(例えば、テストハンマーN08はアンビル等の測定では比較的lowな反発度を安定して示すにもかかわらず、鋼板を打撃した結果のみhighな結果を示した)。この原因としては、鋼板背面のコンクリートに空洞がある可能性などが考えられるが明確ではない。このため、鋼板の測定結果は考察の対象から除外した。

本報告では、本試験の直前に整備・点検が行われたテストハンマーR02の測定結果を基準として、各テストハンマーの測定結果を比較することにした。

4. 考察

4.1 製造者ごとの比較

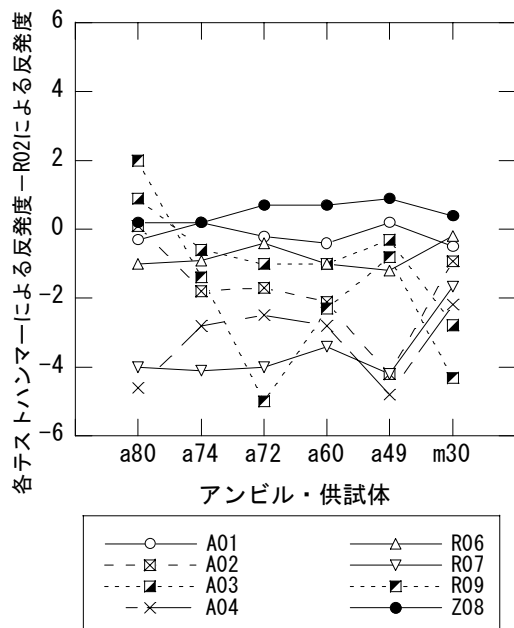
(1) 現行製品

テストハンマーA01～A04, R02, R06, R07, R09, Z08の9機は、現在も販売されている機種で、かつ、製造者らにより整備・点検されていることから、新品として入手できるテストハンマーとほぼ同じ状態と考えられる。これらの測定結果を比較して図－2に示す。

整備者Fが整備・点検を行った4機のうち、A01, R06, Z08の3機は、ほとんどの測定結果がR02と±1程度しか異なっておらず、これらを用いた測定ではほとんど同じ反発度が得られると言える。一方R07は、アンビルを打撃したときの反発度がR02と比較的大きく異なっているが、この原因は不明である。

製造者Bが製造したA02は、アンビルa49の試験結果のみR02の結果から大きく離れている。この原因は、測定時の観察からテストハンマーの形状とアンビルのガイド部の形状が合っていないためと考えられる。その他のアンビル、供試体を打撃した結果は、R02とほぼ同等かやや低い結果であった。

製造者Cが製造したA03とR09は、アンビル



※R02は、比較の基準となっているので、図には示さなかった。

図一 2 製造者に点検されたテストハンマーの反発度測定結果（現行製品）

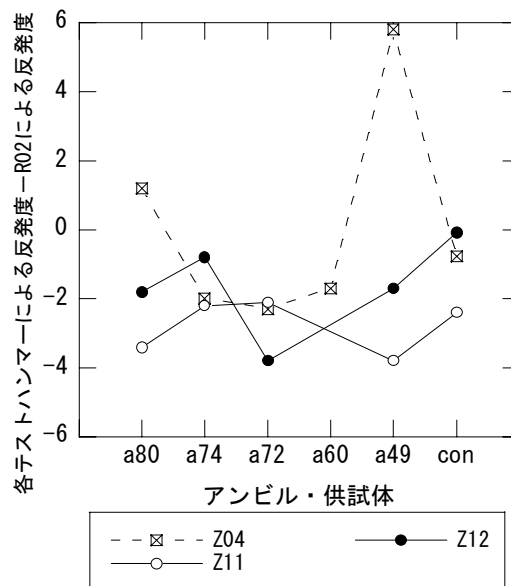
a80 を打撃した場合には反発度が比較的高く測定されたにもかかわらず、モルタル供試体を打撃した場合には反発度が R02 よりも 3 程度小さく測定された。製造者 D が製造した A04 は、いずれの測定結果でも R02 の測定結果を大きく下回っていた。

これらの結果から、製造者ごとにテストハンマーの調整状態が異なっているものと考えられる。

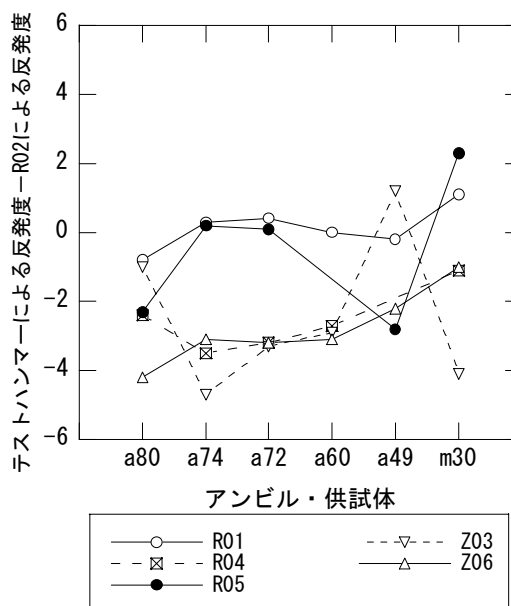
(2) 旧製品など

Z11 および Z12 は、打撃エネルギーが現行のテストハンマーとは異なっている旧機種である。この二機を用いた反発度の測定結果は、現行製品である R02 よりやや低めであった（図一 3）。

Z04 は、製造者 B が製造し製造者 C が整備・点検を行った現行の製品である。同じく C が整備・点検した A03 や R09 と同様に、アンビル a80 を打撃した際の反発度が R02 よりもやや高かった。しかし、モルタル供試体を打撃した場合の反発度は R02 とほぼ同等であった（図一 3）。アンビル a49 の反発度が大きく測定されているのは、テストハンマーとアンビルの形状が合っていないためと考えられる。



図一 3 製造者に点検されたテストハンマーの反発度測定結果（旧製品など）



図一 4 製造者以外の企業等に点検されたテストハンマーの反発度測定結果

4.2 製造者以外による整備・点検の影響

テストハンマー R01, R04, R05, Z03, Z06 の試験結果を図一 4 に示す。これら 5 機は、レンタル業や測定機器の販売代理店など製造者以外の企業による整備・点検を受けたものである。

R05 および Z06 の測定結果に着目すると、図中の折れ線が右肩上がりになっており、反発度が比較的高いアンビル a80 等を測定すると R02

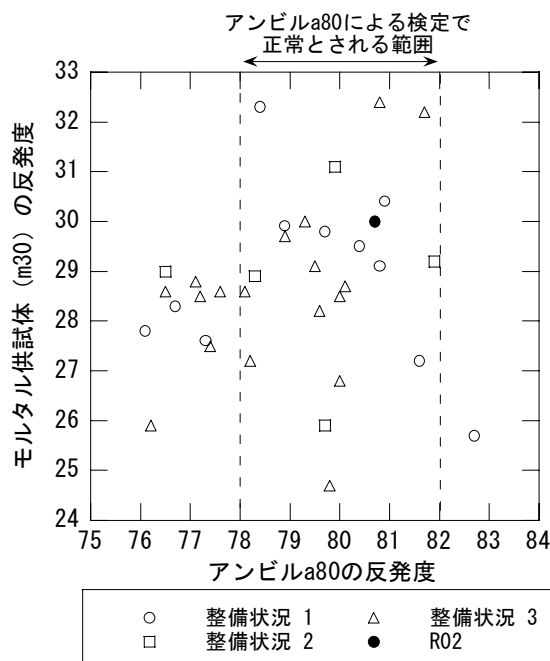
の測定結果より低い反発度となるが、反発度が比較的低いモルタル製品等を測定するとR02の測定結果より高いかほぼ同等の反発度が得られている。このような傾向は、製造者が整備・点検したテストハンマーでは見られなかったものであり、製造者以外の企業等が独自に整備・点検を行ったテストハンマーには、コンクリートの表面硬度の差異に対応する測定反発度の変化が出荷時の状態と異なっているものも含まれていると考えられる。

4.3 テストハンマーの検定方法について

(1) a80による検定結果

テストハンマーの検定方法として一般的なものは、表-2に示したa80とほぼ同様な反発度をもつアンビルを打撃し、測定された反発度がアンビル固有の反発度±2の範囲に入っていることを確認する方法である。そこで、アンビルa80を打撃したときの試験結果に着目して整理すると、次のような結果であった。

- 1) 新品同様の4機（A01～A04）のうち、E製のA04は購入直後の製品であったが反発度が80±2の範囲を外れていた。



※図中には示さなかったが、アンビルa80の反発度が75を下回るテストハンマーが4機あった。

図-5 アンビル a80 とモルタル供試体の反発度測定結果の比較

- 2) 賃借した9機（R01～R09）のうち、2機は今回の試験の前に整備・点検されていたにもかかわらず反発度が80±2の範囲を外れていた。

- 3) 上記以外の28機では、14機が反発度が80±2の範囲を外れていた。原因としては、多数回使用したにもかかわらず整備等を行っていないことや、長期間使用されないまま保管されていたことなどが考えられるが、明確ではない。

(2) a80による検定結果とモルタル供試体の反発度

一般に広く用いられている呼び強度24程度の土木用コンクリートを材齢28日前後に試験すると、反発度は30前後であり、アンビルの反発度80とは大きく異なっている³⁾。そこで、アンビルa80による検定の妥当性を検討するため、a80を打撃した場合に得られた反発度とモルタル供試体を打撃した場合の反発度を比較して図-5に示す。

また、テストハンマーのマニュアル等では、アンビルによる検定結果を利用してコンクリート等を打撃した際の測定結果を補正する方法が

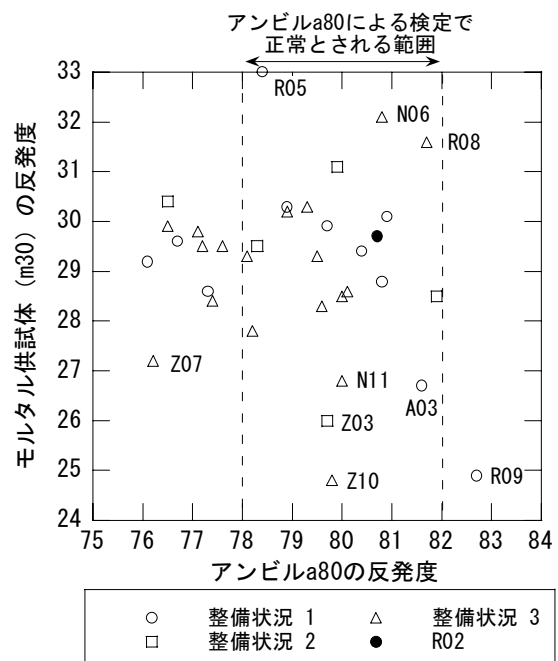


図-6 アンビル a80 とモルタル供試体の反発度測定結果の比較（補正後）

示されている場合がある。そこで、モルタル供試体の測定結果に対して、式(2)による補正を行った結果を図-6に示す。

$$R_{ni,m30} = R_{i,m30} \times \frac{80}{R_{i,a80}} \quad (2)$$

ここで、

$R_{ni,m30}$: アンビルa80による検定結果を利用して補正したモルタル供試体の反発度

$R_{i,a80}$: テストハンマー*i*で、アンビルa80を打撃したときの反発度

図-5と図-6の比較から、以下のことがわかった。

- 1) アンビルa80を打撃したときの反発度が80±2の範囲に入っているテストハンマーでも、モルタル供試体を打撃した場合の反発度には、最大で8の開きがあった。
- 2) アンビルa80を打撃したときの反発度が比較的低いテストハンマーは、モルタル供試体を打撃した場合にも比較的低い反発度を示す傾向があった。これには、式(2)による補正が有効と考えられる。ただし、モルタル供試体を打撃したときの反発度がR02のものから大きく異なっているテストハンマーについては、補正の効果は認められなかった。
- 3) モルタル供試体を打撃したときの反発度が、R02のものとは大きく異なっているテストハンマーには、Cが製造または整備・点検したもの(A03, R09, Z10)や製造者以外が整備・点検したもの(R05, Z03)等が目立った。これらのテストハンマーは、今回比較の基準としたR02とは、調整状態が異なっているものと考えられる。
- 4) 1)～3)から、反発度30程度のコンクリートを試験することを考えると、アンビルa80を用いた検定のみでは不十分で、より低い反発度領域でテストハンマーの調整状態を確認する検定方法が必要である。

5. まとめ

41機のテストハンマーを収集し、各種のアンビル等を打撃して測定された反発度を比較した。その結果、以下のことがわかった。

- 1) テストハンマーの製造者によって、調整状態が異なる。
- 2) 製造者以外の企業等が整備・点検等を行ったテストハンマーには、調整状態が製造時とは異なっているものも含まれている。
- 3) 1)および2)の理由から、アンビルa80を用いて検定したテストハンマーを用いても、測定するコンクリートの反発度によっては、大きく異なった結果が得られる場合がある。
- 4) 1)～3)の理由から、従来から行われているアンビルa80を用いた検定に加え、より低い反発度を示すテストアンビルまたは供試体を併用してテストハンマーの調整状態を確認する検定方法を開発する必要があると考えられる。

謝辞等

テストハンマーの収集にあたっては、全国生コンクリート工業組合連合会のご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

この調査は、土木研究所と日本構造物診断技術協会が共同で実施しました。

参考文献

- 1) 例えば、明石外世樹：コンクリートの非破壊試験に関する研究，土木学会論文集，第390号/V-8，pp.1-22，1988.2
- 2) 坂静雄，明石外世樹：シュミットハンマーの各個誤差および較正法について，セメント技術年報15，pp.260-263，1961
- 3) 野田一弘，河野広隆，古賀裕久：反発度法による新設コンクリート構造物の強度推定結果，第24回日本道路会議一般論文集，A，pp.344-345，2001.10