

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

谷口 秀明*1・渡辺 博志*2・鈴木 雅博*3・藤田 学*4

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の早期劣化や剥落事故を契機として、本来耐久性に優れたコンクリートに対する信頼性が問われつつある。一方、これまでに建造されたコンクリート構造物の膨大なストックについては、その耐久性に過信することなく、適切な維持管理を実施し、長寿命化を図ることが求められている。新たに建造されるコンクリート構造物については、その品質の確保を的確に行って早期劣化を防止し、建造後の維持管理の負担を大きくしないように努めなければならない。

国土交通省では、コンクリート構造物の品質確保の一環として、新設の重要構造物については、テストハンマーにより所要のコンクリート強度が達成されているかどうか調査を実施することとしている¹⁾。テストハンマーによるコンクリートの圧縮強度の推定は、1948年にスイスのE.Schmidtがシュミットハンマーを考案して以来、簡便な非破壊検査として世界的に広く利用されてきた。テストハンマーによる圧縮強度の推定は、非常に簡便に行える長所を有しているものの、試験装置自体の規格は定まったものがなく、かつ、反発度による圧縮強度の推定結果には、ある程度の誤差が避けられないといった点があるのも事実である。このため、テストハンマーによるコンクリートの圧縮強度の調査を円滑に実施できるよう、テストハンマーの精度などについて調査・検証が行われている²⁾。

国土交通省で示されたテストハンマーによるコンクリート強度の調査は、とくに耐久性が問題となりやすい比較的強度の小さいRC部材を対象とし、PC部材は調査対象に含まれていない。これは、PC部材に用いられるコンクリートは、そもそも水セメント比が小さく耐久性が高いこと、また、高強度コンクリートに対してテストハンマーによる強度推定の精度が必ずしも検証されていないことが理由に挙げられる。しかし、テストハンマーの適用限界（上限）が明確になっていないことから、一部にはPC部材のコンクリートに対しても調査範囲が拡大されている事例もあるようである。高強度域でのテストハンマーによる品質の判断を行う場合、①反発度と圧縮強度の関係についての試験データを蓄積し、推定精度を把握すること、②反発度に及ぼす配合条件や使用骨材の影響を把握すること、③PC部材特有の問題として、コンクリートに作用する圧縮応力の影

響を把握すること、および④テストハンマーによる圧縮強度の推定原理について検証することを通じて、その推定精度に見合った利用を心がけることが重要であると思われる。

本報告は、上記のうちとくに①～③に主眼をあて、(独)土木研究所と(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会(以下、PC建協)から構成される「PC部材の軽量・高耐久性化に関する共同研究委員会」で実施した調査結果を述べたものである。その内容としては、まず、PC建協の会員会社PC工場で製造されたプレキャストPC桁などの製品に対し、テストハンマー試験の反発度と圧縮強度の関係について実態を把握した。次いで、室内試験によって、テストハンマーの反発度の影響要因について詳細な検討を加えた。

2. 工場調査

PC建協会員会社に対し、テストハンマー試験の調査依頼を行い、14社40工場から試験結果(データ数131)の回答があった。調査票では、工場(会社名、住所)、対象製品(プレキャストPC桁、ポストテンション桁、RC床版など)、使用したコンクリート(使用材料、配合、フレッシュ性、圧縮強度)、製品の養生(蒸気養生、気中養生)、湿潤状態(乾燥、湿潤)、応力状態(PC製品の場合)、テストハンマー(種類、機種)、打撃方法(個所、角度)、試験時の材齢(1日～404日)などを明確にした。

テストハンマー試験の反発度は、前述の打撃方向、湿潤度、材齢などによって補正することになっている。しかし、湿潤度などの評価は定量的でなく、材齢に伴う補正係数も必ずしも明らかではない³⁾。また、今回の調査はPC工場の製品を対象にしたことから、図-1に示すとおり、テストハンマー試験(水平方向の打撃のデータによる)を行ったコンクリートの強度(製品同一養生を施した円柱供試体による)は、50～60 N/mm²のデータが最も多く、平均で53.4 N/mm²であった。このような高強度域のコンクリートに対する反発度において、各要因の影響度は明らかになっていない。また、その影響度を工場調査で判断するには、データ数が少なく、かえって誤解を招く結果を招きかねない。そこで、ここでは、試験器の機械的な要因である打撃方向のみを水平方向に限定するととどめ、図-2に示すように反発度と圧縮強度の関係を総合的に調べることにした。

図-2は、工場が立地する地域を凡例としているものの、

*1 Hideaki TANIGUCHI：(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

*2 Hiroshi WATANABE：(独)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

*3 Masahiro SUZUKI：(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

*4 Manabu FUJITA：(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

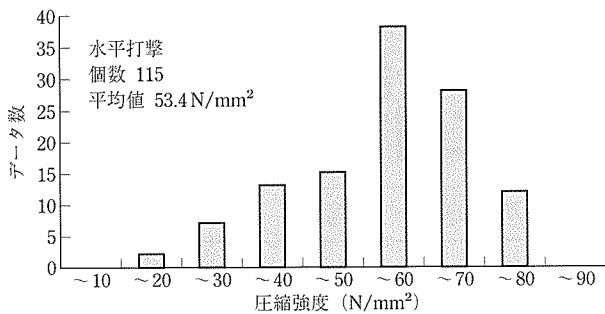


図-1 PC 建協会員会社の工場調査における圧縮強度の分布 (水平打撃に対応したデータに限定)

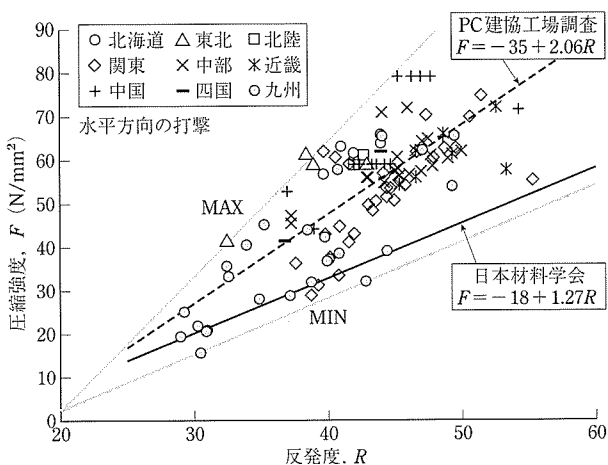


図-2 PC 建協会員会社の工場調査における反発度と圧縮強度の関係 (水平打撃に限定)

反発度と圧縮強度の全体的な傾向において地域性は見られない。図中には、日本材料学会式^{2,3)}、工場調査のデータによる回帰式および目安として最大・最小の値を結んだものの線を付記している。工場調査で得られた結果は、一部のデータを除き、日本材料学会の式には合致しないことが明らかである。また、その回帰式から得られる圧縮強度は、反発度が大きくなるに従い、日本材料学会の式による値よりも大きくなる。さらには、反発度が大きいほど、あるいは圧縮強度が大きいほど、最大と最小の差が大きいことがわかる。たとえば、反発度が40であっても、圧縮強度はおおむね30~60 N/mm²の幅をもつ。このような結果を鑑みれば、既往の推定式、今回の工場調査の回帰式の双方を含め、コンクリートやテストハンマーの諸条件を限定しない、汎用的な強度推定式に精度を要求することは困難であるものと判断される。

3. 要素試験

3.1 試験目的

工場調査によって、反発度と圧縮強度の関係が、高強度域ほど日本材料学会式から外れ、さまざまな要因によってばらつきを生じることを示した。しかし、工場調査の結果では複雑に要因が関係し合うことから、個々の要因の影響度が明らかでなく、今後、テストハンマー試験の実施が必要になった場合に、試験を実施する上で留意すべき事柄や

表-1 コンクリートの配合

配合の種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				絶対容積 (m ³ /m ³)			
			W	C	S	G	V _p	V _m	V _g	
基本配合	70.0	47.0	170	243	868	994	0.247	0.580	0.375	
	65.0	46.6		262	853		0.253			
	60.0	46.0		283	835		0.260			
	55.0	45.4		309	813		0.268			
	50.0	44.6		340	787		0.278			
	45.0	43.6		378	756		0.290			
	40.0	42.3		425	717		0.305			
	35.0	40.5		486	666		0.325			
30.0	38.0	567	599	0.350						
骨材量変化配合	S	53.8	170	425	913	795	0.305	0.655	0.300	
	T	50.4	195	488	795		0.350			
	U	40.0	69.2	170	425	1 174	530	0.305	0.755	0.200
	M		100	272	680	1 139	0	0.489	0.925	0
	P			557	1 393	0		1	0	0
	軽量骨材配合	NL					640	506		
LN		30.0	45.0	160	533		994	0.330	0.575	0.375
LL							506			

W/C:水セメント比, s/a 細骨材率, W, C, S, G:水, セメント, 細骨材量, 粗骨材の単位量, V_p, V_m, V_g:ペースト, モルタル, 粗骨材の単位量の絶対容積, 骨材の単位量:普通骨材は表乾密度, 軽量骨材は絶対乾密度で計算

ばらつきを生じた原因の推定が難しい。これまでにも、配合や供試体の湿潤度などの要因に関する研究が行われているが、対象としたPC部材に使用する高強度コンクリートでの影響度は明らかになっていない。そこで、要素試験では、高強度域のコンクリートを中心に、諸要因の影響度を確認することにした。

3.2 コンクリートの条件

セメントにはPC部材の製造で多用される早強ポルトランドセメントを使用した。骨材は、川砂と砕砂の混合砂(容積で1:1)と砕石2005(硬質砂岩)を標準とし、一部、軽量骨材(細骨材:メサライト, 粗骨材:スーパーメサライト)を用いた配合を比較した。スランプと空気量の調整には、高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)とAE剤を使用した。

今回の試験がPC部材に対する検討である一方、テストハンマーのメーカー適用上限が70 N/mm²であることから、コンクリートの配合は、表-1に示すとおり、材齢28日の圧縮強度が50~60 N/mm²となる水セメント比40%を基準とした。比較した使用材料および配合の要因として、以下の3パターンに大別される。なお、スランプは、コンクリートの材料分離の有無や供試体の仕上がりなどを考慮し、8~21cmの範囲で調整した(低水セメント比ほど大きくした)。

(1) 基本配合

基本配合は、単位水量を170 kg/m³、単位粗骨材量の絶対容積を0.375 m³/m³および空気量を4.5%とし、水セメント比30~70%まで5%ごとに変化させた。反発度には骨材量が影響するとする、谷川ら⁴⁾、舟川ら⁵⁾の報告を参考に、粗骨材量を一定にし、その要因を排除したものである。なお、細骨材量も一定にする方法も考えられたが、その場合には構造物に使用されているものと極めて異なる配合になるこ

とから、今回の試験では細骨材量は一定にしていない。なお、基本配合の試験では、基準配合については、反発度に対する空気量の影響も確認するために空気量を2倍の9%に増やしたコンクリートについても確認を行った。

(2) 骨材量変化配合

水セメント比を基準配合と同一の40%とし、それよりも骨材量を減少させた配合(S~P)の反発度を比較した。5種類の配合の中で、配合S, Tは、高流動コンクリートなどを想定したもので、基準配合よりも粗骨材量を減らした。配合Uは配合Sと単位ペースト量を同一とし、単位粗骨材量の絶対容積をさらに0.100 m³/m³減じたものである。配合Mはモルタル、配合Pはペーストである。配合S~Uの空気量は、基準配合と同じ4.5%としたが、モルタルは、圧縮強度が他の配合と著しく変化しないよう、空気量を7.5%まで増やした。ペーストに関しては、AE剤によって10%を超える過大な空気量を安定して確保することができないので、空気量を増加させていない。そのため、後述の図-4に示すように他の配合よりも圧縮強度がかなり大きくなった。

(3) 軽量骨材配合

PC用コンクリートにも軽量骨材が使用される場合があることから、細骨材もしくは粗骨材に軽量骨材を使用した配合の反発度を比較した。PC部材への適用を考慮し、材齢28日圧縮強度が50 N/mm²以上であることを前提とし、細骨材、粗骨材の双方に軽量骨材を使用した配合LLがその強度を満足する水セメント比30%にした。単位粗骨材量の絶対容積は基本配合と同様に0.375 m³/m³としたが、材料分離の観点から単位水量を160 kg/m³、凍結融解抵抗性の観点からJIS A 5308に準じて空気量を5%にした。記号は、普通骨材をN、軽量骨材をLで表し、細骨材、粗骨材の順でNN, NL, LNおよびLLとしたが、NNは水セメント比30%の基本配合であるため、前述のとおり、単位水量などが他の配合とは多少異なる。

3.3 供試体の条件

圧縮強度試験には、φ100×200 mmの円柱供試体を、テストハンマー試験には、200 mm角の供試体(小型供試体)を標準とし、一部、打撃数の影響を確認するために200×400×800 mmのもの(大型供試体)を使用した。テストハンマー用供試体の作製には鋼製型枠を使用した。大型供試体では鋼製型枠と合板型枠の双方の比較を行った。供試体の養生方法は、標準水中養生(養生CN)、3日間湿潤養生以後気中養生(養生CA)、およびプレキャストPC桁製造ラインで蒸気養生を行った後に気中養生(養生CS)である。試験時の供試体の材齢は1日~91日である。

3.4 テストハンマー試験の条件

テストハンマーには、シュミットハンマーのN型とL型(軽量骨材配合のみ)を使用した。テストハンマー試験の測定面は、供試体の凹凸や付着物が無いことを確認した上、砥石などの研磨は行わずに試験に供した。1面あたりの打撃数は、小型供試体には20点、大型供試体に対しては100点とし、異常値を除いて平均値を反発度とした。養生CNおよび養生CAは、水中から供試体を取り出した後、5分

後に試験を開始することを標準としたが、一部の試験では、5分後から12時間後までの反発度と表面含水率の変化を調べた。さらに、今回の試験はPC部材を対象にしているので、供試体を加圧した場合の反発度の変化を調べた。大型供試体は無載荷、小型供試体には日本材料学会の方法²³⁾に準じ、打撃方向に対して直角な圧縮応力を与えるものとし、0.74 N/mm² (7.5 kgf/cm²)を標準、最大9.8 N/mm² (100 kgf/cm²)まで圧縮応力が作用するように載荷した。なお、以降に記載する反発度は、湿度などの一般的な補正を行わない、測定反発度を指す。

3.5 試験結果および考察

(1) 基本配合における反発度と圧縮強度の関係

図-3は、基本配合における反発度と圧縮強度の関係を表したものである。まず、水セメント比30, 40, 50%において養生方法の異なるCN, CA, CSを比較したところ、反発度と圧縮強度の関係において明確な相違は見られない。そこで、前述の3養生を総括し、対象とする水セメント比の範囲を30~70%に広げ、反発度と圧縮強度の関係を調べた。図-3に示すとおり、試験結果を回帰した一次式は、日本材料学会の式よりも傾きが2倍程度大きいことがわかる。一部、水セメント比40%において空気量を増加させた場合についても、通常空気量4.5%の結果と相違ない。試験結果は、反発度が30前後もしくは圧縮強度が30 N/mm²前後よりも小さい範囲においては、日本材料学会式とほぼ一致している。日本材料学会の式は、坂ら⁶⁾が行った実験をも

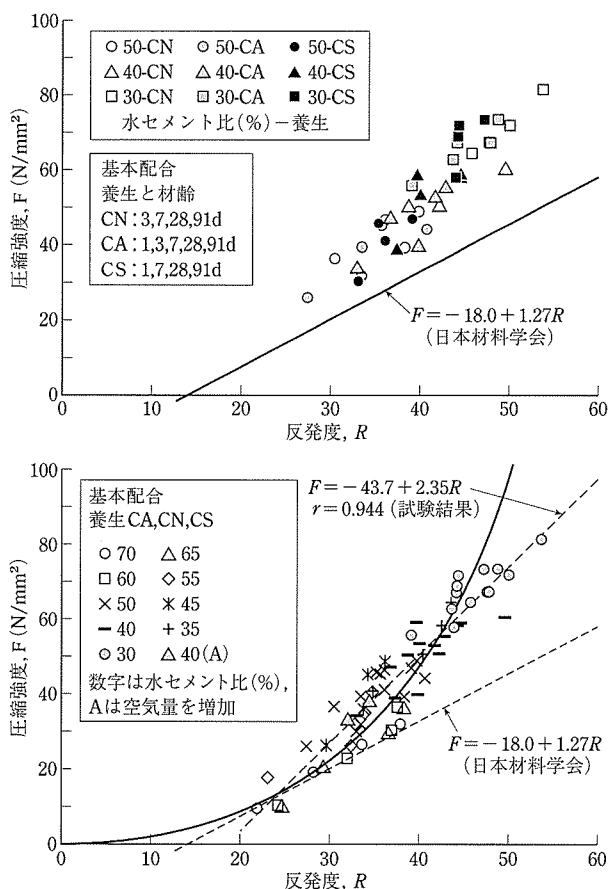


図-3 基本配合における反発度と圧縮強度の関係

とに決められたものである。この実験では、水セメント比42~80%のコンクリートに対する圧縮強度と反発度の関係を調べ、日本材料学会式と同一の回帰式を求めているが、その圧縮強度（円柱供試体）は5~40 N/mm²までの低強度の範囲である。

明石⁷⁾によれば、テストハンマーの動作機構から反発度と強度の関係は直線回帰ではなく曲線回帰が適当であるとしている。日本建築学会のマニュアル⁸⁾においても、これまでに提案された2次式や指数式で表現した回帰式が数多く紹介されている。今回の試験結果は、そのような曲線回帰を実証するものであり、図-3中に示すように、低強度域で日本材料学会式の直線と一致するような曲線が妥当であると思われる。しかし、構造物の検査において、広範囲の強度の推定を対象にしないのであれば、必ずしも曲線回帰は必要でなく、日本材料学会式のような一次式でもよく、データから求める回帰式やその相関係数などの計算も容易である。その場合には、回帰式のもととなる強度データの範囲（データの偏在を含めて）を明確にし、その範囲を超える圧縮強度に対する推定は精度が低下するので確認すべきである。また、そのように回帰式を求めたとしても、試験条件をかなり限定した図-3において、データが多い反発度35に対応する圧縮強度が25~45 N/mm²の範囲を有するように、反発度から推定される圧縮強度は、検査時に期待される圧縮強度の精度よりもばらつきを生じる可能性があることを認識する必要がある。

(2) 骨材量および軽量骨材が反発度と圧縮強度の関係に及ぼす影響

基準配合に対して骨材量を変化（減少）させた場合と、骨材を軽量骨材に変えた場合の反発度と圧縮強度の関係を、それぞれ、図-4、図-5に示す。いずれも、反発度が30~40において日本材料学会の直線に近いところにプロットされるものの、基本配合で用いた曲線と同様に、反発度が大きくなるにしたがい、圧縮強度は日本材料学会式から計算される値よりも大きくなる傾向にある。

今回の試験では、骨材量の影響を報告した文献⁴⁾よりも大幅に骨材量を減少させた。しかし、粗骨材を含まないモルタル（配合M）、骨材を全く含まないペースト（配合P）

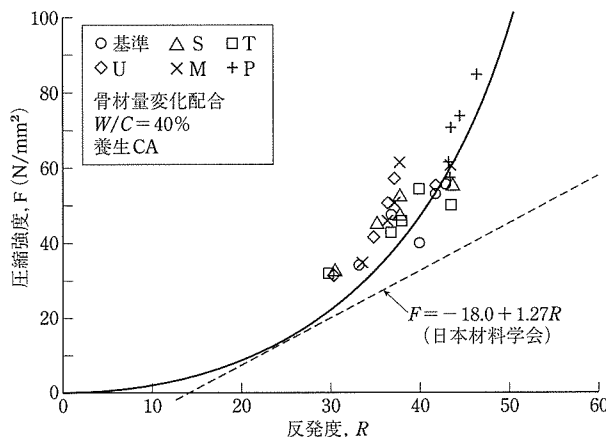


図-4 骨材量の変化が反発度と圧縮強度の関係に及ぼす影響

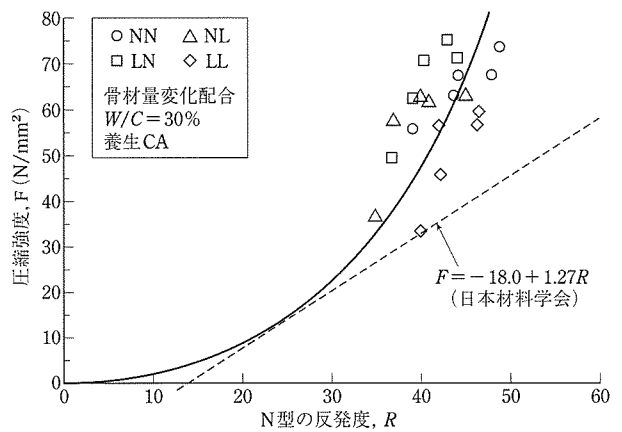


図-5 軽量骨材の使用が反発度と圧縮強度の関係に及ぼす影響

であっても、基本配合と顕著な相違は認められない。あえて言及すれば、任意の反発度に対する圧縮強度が若干大きく、図-3に比べて、図中の曲線よりも上側にプロットされる点が多いように見られる。

一方、軽量骨材を使用した配合においても、図-5に示すとおり、基本配合と同一の曲線がデータの中心を通っており、反発度と圧縮強度の関係に対し、骨材条件が顕著に現れていない。確かに、普通骨材と軽量骨材の細骨材、粗骨材における組合せの違いによって、任意の反発度に対する圧縮強度が曲線よりも大きい場合とそうでない場合があるが、その傾向は一貫していない。

(3) 供試体の湿潤状態が反発度に及ぼす影響

図-6は、基本配合の供試体に対して材齢28日まで養生

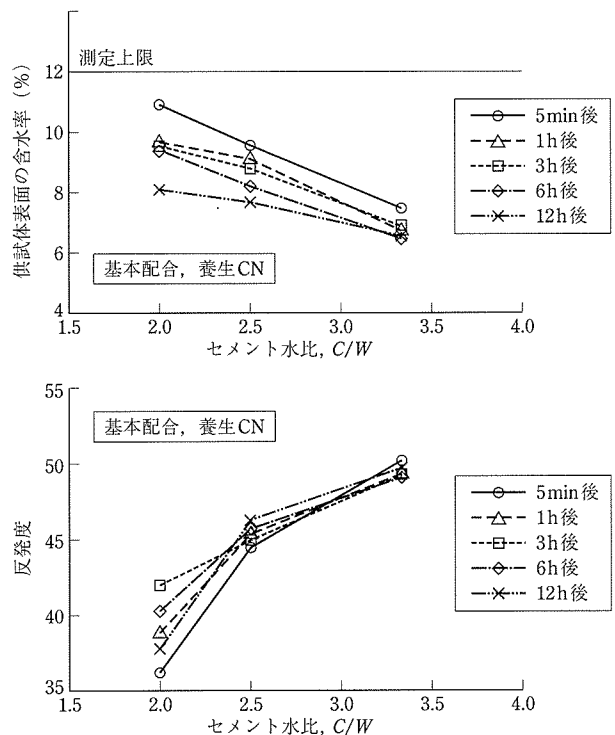


図-6 セメント水比と供試体表面の含水率および反発度の関係（水中から供試体を取り出した後の時間経過の影響）

CNを施した後、水中から供試体を取り出した後の経過時間に着目し、セメント水比と供試体表面の含水率（KETT水分計による）および反発度の関係を示したものである。なお、日本材料学会では、水中養生の供試体を乾かさずに測定した反発度には+5の補正を行うことになっている。図-6によれば、まず、含水率は、水中から取り出した直後（5分後）であっても、セメント水比が大きくなるに従って小さくなり、セメント水比2.00（水セメント比50%）では10.9%であるのに対し、セメント水比3.33（水セメント比30%）では7.5%であった。また、その後の乾燥に伴う含水率の低下は、セメント水比が小さいほど顕著である。

一方、反発後に関しても、セメント水比の増加に伴って大きくなるが、セメント水比2.50（水セメント比40%）を境界に乾燥時間（含水率の変化）の影響が異なる。すなわち、セメント水比2.50および3.33においては時間が経過しても反発度の変化は小さいが、セメント水比2.00では5分後から最大約6の増加が見られる。よって、低強度コンクリートにおいては、湿潤状態の相違によって反発度が変化するが、PC部材を対象とする高強度コンクリートにおいてはその影響は小さいと判断される。

(4) 圧縮圧力が反発度に及ぼす影響

図-7は、小型供試体に載荷し、打撃方向に直角な圧縮圧力を与えた場合の反発度の補正率を表したものである。図中には、日本材料学会の補正曲線を併記している。今回の試験結果とその補正曲線を比較した場合、0 N/mm²の状態は大型供試体の値しかないで明らかではないが、標準とした0.74 N/mm²よりも圧縮応力を増加させても、その補正率は日本材料学会の補正曲線よりも小さいものがほとんどであり、各圧力での変化率を平均すると、おおむね2%前後になった。これは、反発度の変化量でいえば、わずか1程度の変化に過ぎない。個別の条件で圧縮応力と反発度の補正率の関係は必ずしも明確ではない。表-2に示すように反発度のばらつきが圧縮応力の補正值よりも大きいほか、高強度域（圧縮強度の範囲：30.6～67.7 N/mm²、平均：47.8 N/mm²）の供試体を使用しているので、図-3に示したとおり、圧縮強度の変化に対する反発度の変化が小さいことから、圧縮応力が加わっても反発度にあまり影響を及ぼさないように思われる。いずれにしろ、圧縮応力が

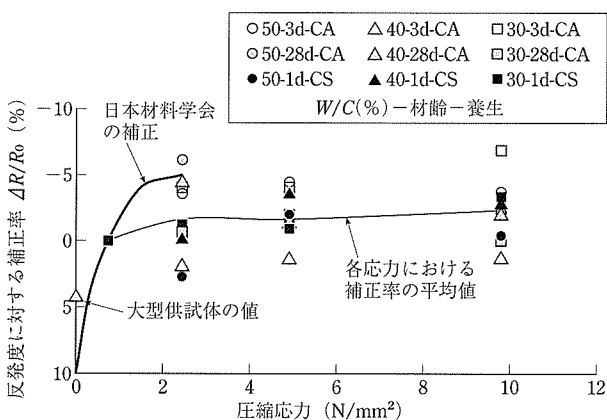


図-7 圧縮圧力と反発度に対する補正率の関係

作用したPC部材であっても、過剰な反発度の補正は必要でないものと判断される。

(5) 供試体の寸法、型枠の種類および測点数が反発度に及ぼす影響

表-2は、大型供試体と小型供試体の反発度およびその変動係数を比較したものである。大型供試体は、400×800 mmの面に対し、100点（1列あたり20点、高さ方向に5列）の測定を行った。小型供試体は、通常は1面20点の測定のみであるが、ここでは、供試体の4側面に対し、20点ずつ、合計80点を測定した。まず、大型供試体には、鋼製型枠と合板型枠（化粧型枠）を使用した。両者の平均反発度に有意な差異は認められない。大型供試体、小型供試体ともに全点の変動係数は7%程度である。全点の平均反発度は、大型供試体よりも小型供試体の方が約2大きく、前述の圧縮圧力の影響という理解もできるが、小型供試体において1面のみが43.4と他面よりも大きな値があり、これを除いた3面の平均は大型供試体との差はわずか1程度である。同一の供試体であっても、20点ごとの平均反発度は、測定した列（大型供試体）もしくは面（小型供試体）によって2～3の平均反発度の相違を生じることから、この程度の測定値の差をもって影響要因の評価を行うのは必ずしも適当とはいえないことになる。

表-2 大型供試体と小型供試体の反発度の比較

圧縮応力 (N/mm ²)	寸法 (mm)	型枠	約20点の平均反発度	約20点の変動係数 (%)	全点の平均反発度	全点の変動係数 (%)
0	200 × 400 × 800	合板	39.0	8.0	39.5	7.5
			38.9	7.5		
			39.2	6.7		
			39.8	8.3		
			40.9	6.4		
0	200 × 400 × 800	鋼板	39.3	4.9	39.1	7.4
			39.6	9.5		
			38.6	7.5		
			39.8	6.6		
			38.3	7.6		
0.74	200角	鋼板	40.5	8.6	40.9	7.6
			39.8	7.0		
			39.8	6.4		
			43.4	5.0		

基準配合、養生CA、材齢28日、約20点とは20箇所のうち異常値が存在した場合にはそれを除いた測点を指す

(6) 軽量骨材を用いた供試体におけるテストハンマーの種類が反発度に及ぼす影響

軽量骨材を使用する場合には、テストハンマーN型よりも衝撃エネルギーが小さなテストハンマーL型が使用されている。そこで、今回の試験においても、N型とL型のテストハンマーの反発度を比較することにした。図-8に示すとおり、双方の試験器で得られた反発度に顕著な相違は見られない。高強度域の軽量コンクリートの強度推定に関してはテストハンマーN型でも十分であると思われる。

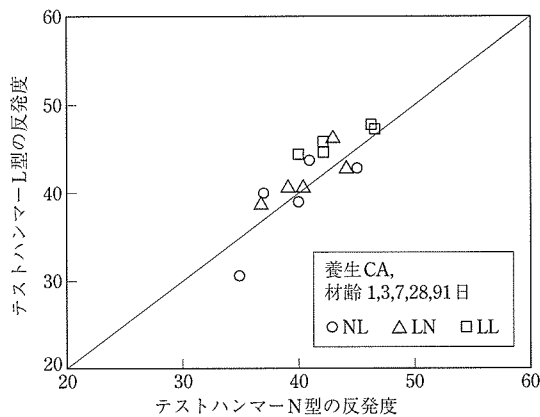


図-8 軽量骨材を使用した供試体に対する2種類のテストハンマーの反発度の関係

4. おわりに

PC部材へのテストハンマーの適用性に関し、まず、PC建協会会員会社に対する工場調査の結果により、日本材料学会式と一致するデータは少なく、高強度域ほど任意の反発度に対する圧縮強度とそのばらつきが大きくなるという全般的な傾向を把握した。次いで、反発度の影響要因を対する室内試験を実施し、以下の結果を得ることができた。

- (1) 反発度と圧縮強度の関係は、低強度域では日本材料学会式と一致するものの、高強度域まで含めて回帰した一次式の傾きは日本材料学会の式よりも大きくなる。反発度と圧縮強度の関係を低強度域から高強度域まで総括的に表すには、直線回帰よりも曲線回帰の方が適当である。
- (2) 強度推定式は、回帰に用いたデータの強度域を明確にした上、その範囲を超える強度の推定には同一の回帰式を用いないことが重要である。
- (3) 今回の試験では、限定された配合条件であっても、任意の反発度に対応する圧縮強度は±10 N/mm²程度の範囲をもつことから、その精度を理解した上でテストハンマーを使用することが望ましい。
- (4) 骨材量を大幅に変化させた配合や、軽量骨材を使用

した配合であっても、反発度と圧縮強度の関係はあまり変化しない。

- (5) 供試体表面の含水率は、低強度域では反発度に影響を及ぼすが、PC部材を対象とする水セメント比40%以下の高強度域ではその影響は小さい。
- (6) 打撃方向に直角な圧縮応力を受けた場合の影響は、これまでの見解よりも小さく、PC部材においても圧縮応力の影響をほとんど加味する必要はない。
- (7) 試験の範囲では、型枠の種類、供試体の寸法、測点数が反発度に及ぼす影響は小さい。
- (8) 高強度域の軽量コンクリートに対しては、テストハンマーの形式による相違は明確でない。

謝 辞

工場調査では、ご多忙の中、PC建協会会員会社の皆様の多大な協力を賜りました。また、PC建協専務理事安井常二氏、同技術次長以後有希夫氏には、本業務を進めるにあたり、会員会社への協力依頼などにご便宜を図っていただきました。ここに、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 古賀裕久, 河野広隆: テストハンマーによるコンクリート強度の推定調査について, コンクリート工学, Vol.40, No.2, pp.3-7, 2002.2.
- 2) 土木学会: 硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法, JSCE G 504-1999.
- 3) 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), 1958.
- 4) 谷川恭雄, 山田和夫: 複合非破壊試験によるコンクリートの強度推定, セメント・コンクリート, No.393, pp.10-17, 1979.11.
- 5) 舟川勲, 谷口秀明, 牛島栄: 高流動コンクリートのテストハンマーによる強度推定に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No.51, pp.322-327, 1997.
- 6) 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, XI, pp.395-401, 1955.
- 7) 明石外世樹: コンクリートの非破壊試験 (I), 材料, Vol.28, No.313, pp.919-927, 1979.10.
- 8) 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.

[2002年7月1日受付]