



### 3. エコーチップのコンクリートへの適用性の検討

#### 3. 1 エコーチップ硬さ値のばらつきに関する検討

本節では、エコーチップをコンクリートへ適用した場合のエコーチップ硬さ値のばらつきをヒストグラムで示すとともに、標準偏差、変動係数を求めた。

##### 3. 1. 1 実験概要

###### (1) 実験の要因と水準

Table1 に、実験の要因と水準を示す。実験の要因は主に測定回数とし、測定するコンクリートの品質を変化させるために水セメント比および測定材齢を変化させた。

###### (2) コンクリートの使用材料および割合

Table2 に使用材料を、Table3 に使用したコンクリートの割合を示す。コンクリートの水セメント比は、40, 60, 80%の3種類とした。スランブの目標値を  $18 \pm 2.5$ cm, 空気量の目標値を  $4.5 \pm 1.5$ %とした。

###### (3) 供試体および養生

平面供試体の寸法は、Fig. 2 に示す壁を模擬した  $300 \times 300 \times 150$ mm とした。そして、所定の測定材齢まで型枠内

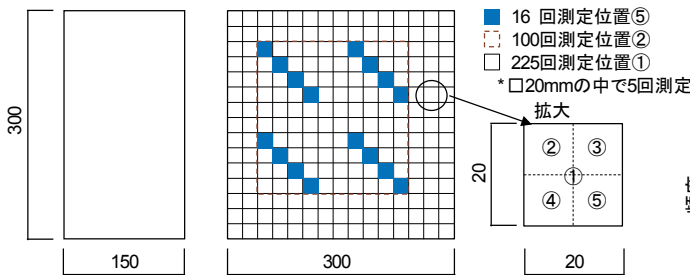


Fig. 2 平面供試体概要図 (単位: mm)

Table 1 実験の要因と水準 (ばらつきの検討)

要因	水準
測定回数	16回, 100回, 225回
水セメント比	40%, 60%, 80%
測定材齢	1日, 3日, 7日, 28日

Table 2 使用材料

水	つくば市水道水
セメント	T社製普通ポルトランドセメント (密度 $3.16 \text{g/cm}^3$ )
細骨材	S1: つくば市産川砂 (表乾密度 $2.50 \text{g/cm}^3$ ) S2: つくば市産砕砂 (表乾密度 $2.59 \text{g/cm}^3$ )
粗骨材	つくば市産碎石 (表乾密度 $2.59 \text{g/cm}^3$ )
混和剤	Ad1: B社製高性能 AE 減水剤 Ad2: F社製増粘剤 1 液型高性能 AE 減水剤 Ad3: 空気量調整剤

Table 3 コンクリートの割合

W/C (%)	s/a (%)	単位量				化学混和剤 ( $\text{g/m}^3$ )		
		水	セメント	細骨材 (S1, S2)	粗骨材	Ad1	Ad2	Ad3
40	42.7	185	463	333, 344	950	3936	—	463
60	47.0	185	308	395, 409	950	2464	—	616
80	48.8	185	231	425, 440	950	—	1848	347

に存置し、封かん養生とした。

###### (4) エコーチップ硬さ値の測定

エコーチップ硬さ値の測定は、ローディングチューブ

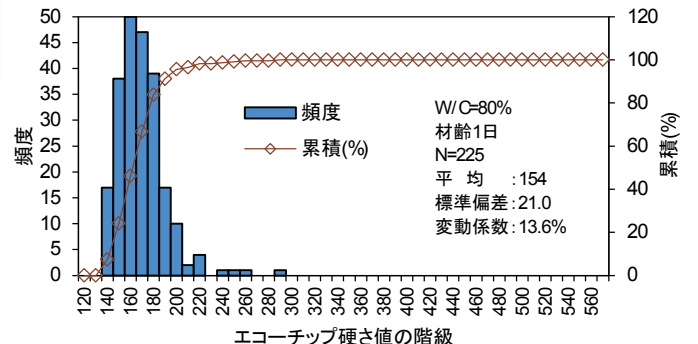
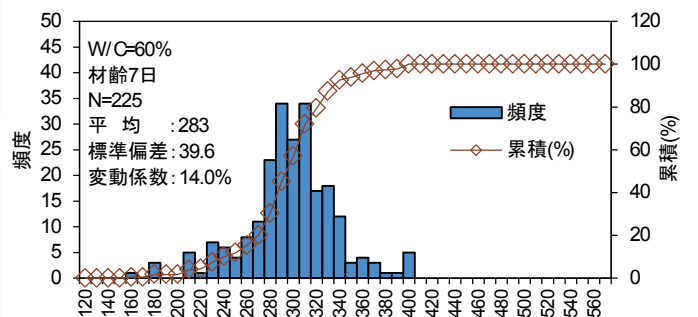
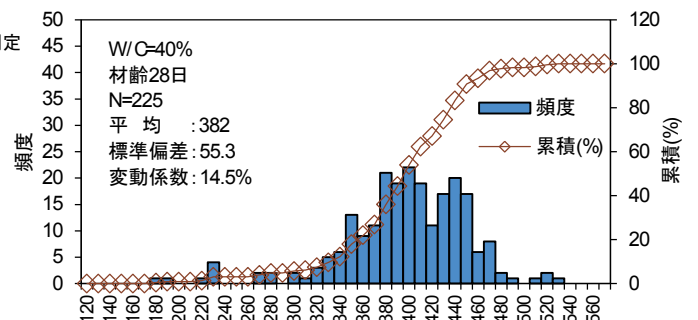
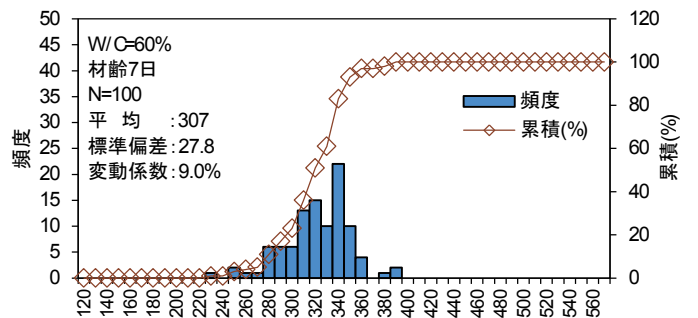
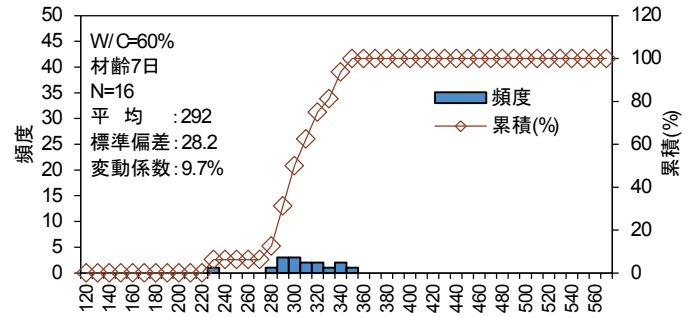


Fig. 3 エコーチップ硬さ値の度数分布

を押し縮め、インパクトボディをチャックし、供試体にセットした後にローディングチューブを押すことにより行った。

エコーチップ測定時には、供試体の載荷重として文献1)に記載されている  $25\text{kgf/cm}^2$  ( $2.5\text{N/mm}^2$ ) を参考に、 $300 \times 150\text{mm}$  の上下面に  $120\text{kN}$  の荷重を加えた。

測定位置は、Fig. 2 に示す  $300 \times 300\text{mm}$  の1面とし、 $20\text{mm}$  間隔で 225 回測定したものの、図中の点線の範囲で 100 回を測定したものの、図中の塗りつぶした上下各 8 回の 16 回測定したものの 3 種類とした。エコーチップの測定は、測定回数の違いにより、Fig. 2 の右に示すような  $5\text{mm}$  以上の間隔とした。また、圧縮強度試験は、JIS A 1108 (2006) に準じて行った。

### 3. 1. 2 実験結果および考察

#### (1) 度数分布

Fig. 3 に、エコーチップ硬さ値の度数分布を示す。図中の横軸は、エコーチップ硬さ値の階級を示している。階級は、10 毎とし、下一桁が 0~9 までを 1 つにまとめて表記した。

度数分布は、測定回数が 225 回の場合では、概ね正規分布に近くなった。測定回数が少なくなるのに従い、分布する範囲が大きいことから取り得る値の範囲も大きくなり、ばらつきが大きかった。

コンクリートの調合および測定材齢による影響では、水セメント比が小さいほど、測定材齢が長期になるほど分布する範囲が大きくなった。これは後述するが、変動係数の平均値が 12~15% であることから、測定値が大きくなったことにより、分布する範囲も大きくなったと考えられる。

#### (2) 測定回数とエコーチップ硬さ値、標準偏差、変動係数

Table 4 に、測定回数とエコーチップ硬さ値の平均値、標準偏差、変動係数および圧縮強度を示す。

エコーチップ硬さ値は、測定回数による大きな違いは

認められなかった。

標準偏差は、225 回測定した場合に、水セメント比が小さくなるほど、測定材齢が長期になるほど大きくなった。しかし、測定回数が 100 回、16 回と少なくなるにつれて、その傾向は明確ではなくなった。このとき、変動係数の平均値が 12~15% であることから、測定値が大きくなったことにより、標準偏差は大きくなったと考えられる。

リバウンドハンマーによる反発度の測定においては平均値の  $\pm 20\%$  の範囲を外れる値について除却することとなっており、エコーチップ硬さ値の測定においても同様に除却が必要と考えられる。

### 3. 2 エコーチップ硬さ値の測定方向の影響に関する検討

リバウンドハンマーは、文献1)でも述べているように、測定方向を変えた場合に測定値が異なる。そこで、測定方向を変えた場合には、信頼すべき資料に基づいて測定値を修正し、強度の推定を行わなければならないとしている。また、しかるべき資料が得られない場合には、文献に示す補正值を用いて反発度 R の補正を行った後、強度を補正してもよいとしている。

エコーチップでも、鉄などの硬度の測定について、測定方向の違いによる補正值が ASTM A 956 に示されている。しかし、これは鉄を測定した場合の補正值であり、コンクリートを測定した場合の補正值ではない。

本検討では、エコーチップ硬さ値の測定方向の違いによる補正值を検討するため、測定方向として横方向、下方向、上方向の 3 種類の打撃を行い、横方向を基準とした補正值を求めた。

#### 3. 2. 1 実験概要

##### (1) 実験の概要と水準

実験は、エコーチップ硬さ試験機の測定方向を、横方向、下方向、上方向の 3 種類とした。また、使用するコンクリートの品質（強度）を変化させるため、水セメン

Table 4 測定回数毎のエコーチップ硬さ値、標準偏差、変動係数および圧縮強度

W/C (%)	材齢 (日)	エコーチップ硬さ値			標準偏差			変動係数 (%)			圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )
		16 回	100 回	225 回	16 回	100 回	225 回	16 回	100 回	225 回	
40	1	270	295	274	36.0	31.7	39.7	13.3	10.8	14.5	17.9
	3	346	318	325	49.2	61.2	51.7	14.2	19.3	15.9	33.9
	7	380	387	370	37.0	39.9	50.0	9.7	10.3	13.5	41.9
	28	395	388	382	39.4	50.1	55.3	10.0	12.9	14.5	51.4
60	1	184	196	188	27.3	21.4	24.1	14.8	10.9	12.8	6.9
	3	246	257	253	38.0	32.0	37.2	15.4	12.5	14.7	17.1
	7	292	307	283	28.2	27.8	39.6	9.7	9.0	14.0	24.2
	28	333	324	326	44.3	48.3	44.6	13.3	14.9	13.7	30.8
80	1	155	155	154	14.7	18.7	21.0	9.5	21.1	13.6	2.3
	3	178	169	167	30.5	20.3	24.3	17.1	12.0	14.5	7.5
	7	194	205	205	32.5	25.4	33.0	16.8	12.4	16.1	12.0
	28	226	236	236	23.1	30.4	39.4	10.2	12.9	16.7	17.4
平均								12.8	12.5	14.5	

ト比および乾燥開始材齢を変化させた。Table5 に、実験の要因と水準を示す。

(2) コンクリートの使用材料と調査

コンクリートの使用材料および調査は、3.1.1(2)に示すものとした。

(3) 供試体および養生

供試体および養生は、3.1.1(3)と同様のものとした。

(4) エコーチップの測定

エコーチップの測定は、3.1.1(4)と同様に行った。なお、エコーチップの測定は、鋼製の治具を用い、鉄骨のフレームに固定して実施した。測定回数は、1方向あたり100回とし、測定位置は、Fig.2に示す横方向で②、上方向で③、下方向で④とした。

3.2.2 実験結果および考察

(1) 測定方向とエコーチップ硬さ値

Fig.4に、測定方向の違いによる材齢とエコーチップ硬さ値の関係を示す。エコーチップ硬さ値は、いずれの水セメント比および測定材齢でも、測定方向が下、横、上の順で大きくなった。

(2) 角度補正値の検討

コンクリート部材を測定する場合には、鉛直部材が多

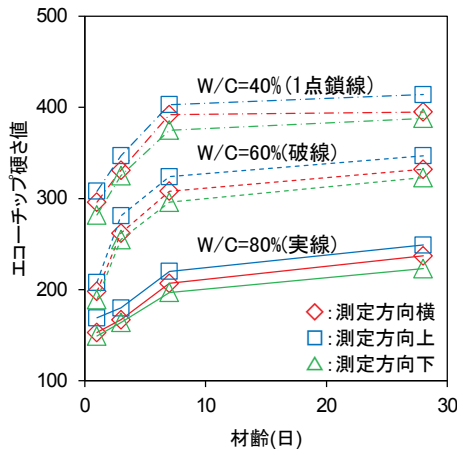


Fig. 4 測定方向の違いによる材齢とエコーチップ硬さ値の関係

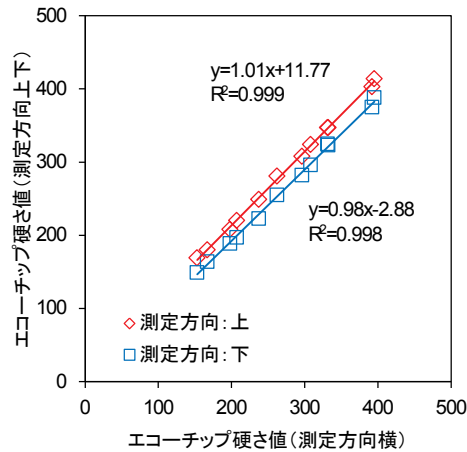


Fig. 5 測定方向横のエコーチップ硬さ値と測定方向上下のエコーチップ硬さ値の関係

く、測定方向は横となることが多く、リバウンドハンマーの角度補正値も横方向が基準となっている。そこで、エコーチップの角度補正値の基準も横方向とすることとした。

Fig.5に、測定方向横のエコーチップ硬さ値と測定方向上下のエコーチップ硬さ値の関係を示す。測定方向横を基準とした測定方向の違いによるエコーチップ硬さ値の関係は、各々1本の近似線で示すことができ、その相関は高かった。

Fig.5の回帰式から測定方向横に対する測定方向上、測定方向下の値を求め、その値から角度補正値を求めた。回帰式から求めた角度補正値は、Table6に示す通りであった。

3.3 エコーチップ硬さ値に及ぼす影響深さの検討

リバウンドハンマーの反発度に及ぼす影響深さは、表層から1~2cm程度であり、それ以上の深さの内部のコンクリート強度は反映されないと言われている<sup>4)</sup>。エコーチップは、リバウンドハンマーに比し、衝突エネルギーが小さいため、影響深さも小さいと考えられる<sup>5)</sup>。ここでは、コンクリートの表面に、セメントペーストの厚さおよび強度を変化させて作製した供試体により測定を行い、エコーチップ硬さ値に及ぼす影響深さを検討した。

3.3.1 実験概要

(1) 実験の要因と水準

実験の要因は、セメントペーストの厚さおよびセメントペースト、コンクリートの圧縮強度とした。セメントペーストの厚さは、1, 2, 3, 5, 7.5, 10mmおよび比較用の100mmとした。また、表面と内部の強度を変化させるため、表層セメントペーストの水セメント比を60, 80, 100%, 内部コンクリートの水セメント比を40, 60, 80%と変化した。

Table 5 実験の要因と水準 (測定方向の違いの検討)

要因	水準
測定方向	横方向, 上方向, 下方向
水セメント比	40%, 60%, 80%
測定材齢	1日, 3日, 7日, 28日

Table 6 回帰式から求めたエコーチップ硬さ値と角度補正値

回帰式から求めたエコーチップ硬さ値			角度補正値	
測定方向横	測定方向上	測定方向下	測定方向上	測定方向下
100	114	97	-14	3
150	164	146	-14	4
200	215	195	-15	5
250	265	243	-15	7
300	316	292	-16	8
350	367	341	-17	9
400	417	390	-17	10

(2)セメントペーストおよびコンクリートの使用材料  
および調査

Table7 に、セメントペーストの使用材料を、Table8 にセメントペーストの調査を示す。コンクリートの使用材料および調査は、3.1.1(2)に示すものとした。

材齢 28 日（エコーチップ硬さ値測定材齢）の圧縮強度は、表層セメントペーストが W/C=60%で 35.2N/mm<sup>2</sup>、W/C=80%で 19.6N/mm<sup>2</sup>、W/C=100%で 11.0N/mm<sup>2</sup>、内部コンクリートが W/C=40%で 57.9N/mm<sup>2</sup>、W/C=60%で 29.8N/mm<sup>2</sup>、W/C=80%で 17.1N/mm<sup>2</sup>であった。

(3)供試体および養生

Fig.6 に、供試体の概要図を示す。供試体は、寸法を 150×150×150mm とし、セメントペーストの厚さ D1, D2, D3, D4 を 1, 2, 3, 5, 7.5, 10mm と変化させた。供試体は、材齢 28 日まで温度 20℃の恒温室内で封かん養生とした。

(4)エコーチップ硬さ値の測定

エコーチップ硬さ値の測定は、材齢 28 日の脱型直後に、3.1.1(4)と同様の方法で行った。測定回数は 25 回とした。

3. 3. 2 実験結果および考察

Fig.7 に、表層セメントペースト厚さとエコーチップ硬さ値の関係を示す。なお、セメントペースト単体での値を破線で記した。表層セメントペースト厚さを 1, 2, 3, 5, 7.5, 10mm とした場合のエコーチップ硬さ値と、セメントペースト単体との値を比較すると、セメントペースト

の水セメント比が 100%では 1mm より深い内部の影響は受けておらず、水セメント比 60%, 80%では 2mm より深い内部の影響を受けなかった。また、表層セメントペースト厚さ 0mm で表記したコンクリート単体の値との比較では、セメントペースト 1mm を境に変化していることがわかる。このことから本実験の範囲内では、エコーチップ硬さ値は、少なくとも表面から 3mm 以上深い内部のコンクリート強度の影響は受けていないといえる。

4. エコーチップによるコンクリートの強度推定に関する検討

リバウンドハンマーでは、文献 2)において「コンクリートの反発度および反発速度比の求め方」として、①φ100mm 円柱供試体の圧縮強度と 300×300×150mm 平面供試体の反発度および反発速度比の関係、②φ100mm もしくは φ150mm 円柱供試体の反発度および反発速度比を測定した後、同一の供試体で圧縮強度を求めその関係を求める方法が提案されている。②の方法では、湯浅の文献 2)によりコンクリート表面の曲率が大きくなると反発度が小さくなることが示されている。このことは、φ100×200mm 円柱供試体の側面のみで、キャリブレーションを求め、実構造物では平らな面で測定し、それらにより強度を推定する場合、強度は大きく推定され危険側の評価となることを示している。

**Table 7 セメントペーストの使用材料**

水	つくば市上水道水
セメント	T 社製普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm <sup>3</sup> )
混和剤	Ad1 : B 社製高性能 AE 減水剤 Vt : 2 液型増粘剤 (Vt(A), Vt(B))

**Table 8 セメントペーストの調査**

W/C (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )		混和剤 (kg/m <sup>3</sup> )		
	水	セメント	Ad1	Vt(A)	Vt(B)
60	665	1091	2.9	6.9	6.9
80	717	869	4.3	10.0	10.0
100	760	760	5.7	17.1	17.1

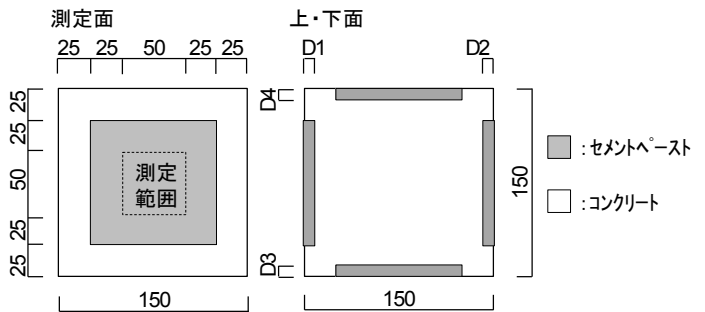


Fig. 6 影響深さ供試体の概要図(単位: mm)

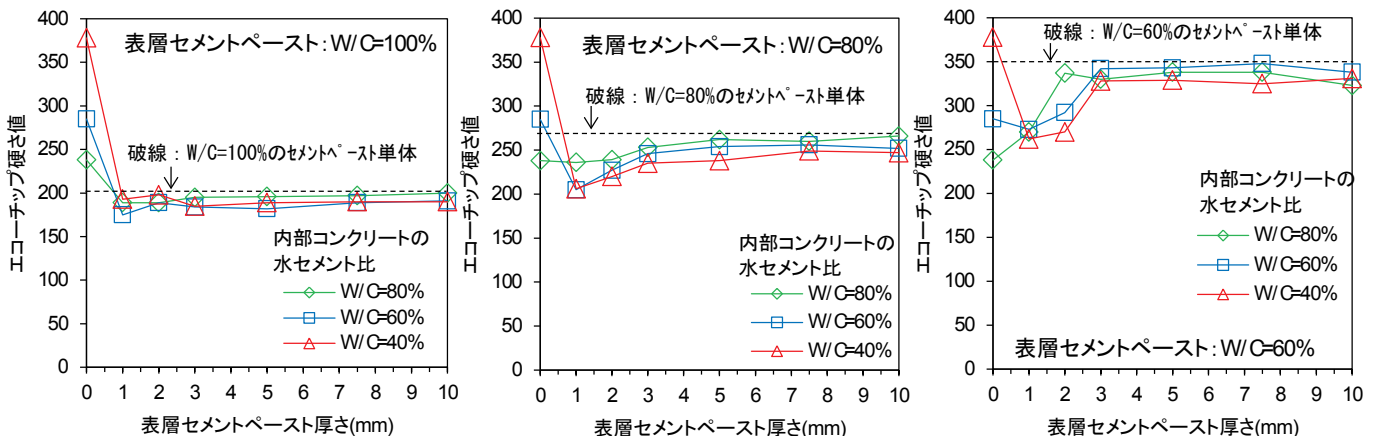


Fig. 7 表層セメントペースト厚さとエコーチップ硬さ値の関係

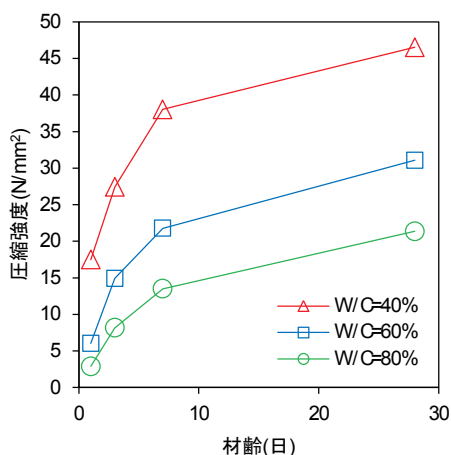


Fig. 8 コンクリートの強度発現

ここでは、文献 2) の考え方に準じて、平面供試体のエコーチップ硬さ値と円柱供試体の圧縮強度の関係を求め、コンクリートの圧縮強度を推定する方法を検討する。また、φ100×200mm 円柱供試体のみにより硬さ値と圧縮強度の関係を構築する場合における曲率に関する補正值について検討した。

#### 4. 1 実験概要

##### 4. 1. 1 実験の要因と水準

Table 9 に、実験の要因と水準を示す。実験の要因は、水セメント比、試験体寸法、および測定材齢とした。

##### 4. 1. 2 コンクリートの使用材料および調合

使用材料を、Table 10 に示す。コンクリートの調合は、Table 11 に示す水セメント比 40、60、80% の 3 種類とした。スランブの目標値を 18±2.5cm、空気量の目標値を 4.5±1.5% とした。

##### 4. 1. 3 供試体の概要

平面供試体は、寸法を 300×300×150mm とした。測定範囲は、文献 2) を参考に、外周部から 37.5mm 以上離れた内側とした。円柱供試体は、寸法を φ100×200mm とした。

平面供試体および円柱供試体は、所定の測定材齢まで温度 20℃ の恒温室内で封かん養生を行った。

##### 4. 1. 4 試験方法

###### (1) エコーチップ硬さ値の測定

エコーチップ硬さ値の測定は、材齢 1、3、7、28 日において、封かん養生終了直後に、平面供試体の 300×150mm の上下方向に 120kN の荷重を加えて行った。測定面は、300×300mm の 2 面とし、1 面あたりの測定点数は 8 回の計 16 回とした。なお、測定点の間隔は 25mm 以上とした。エコーチップ硬さ値は、2 面 16 回の平均値とし、JIS A 1155(コンクリートの反発度の測定方法)と同様に、その偏差が平均値の±20%の範囲を外れる値については除却した。

###### (2) 圧縮強度の測定

圧縮強度は、材齢 1、3、7、28 日において、JIS A 1108 に準じて測定した。

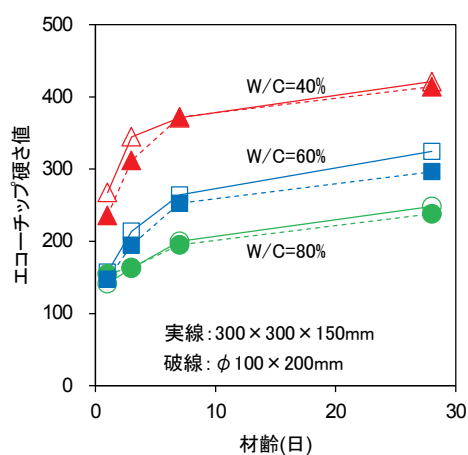


Fig. 9 平面供試体のエコーチップ硬さ値の経時変化

Table 9 実験の要因と水準 (コンクリートの強度推定)

要因	水準
水セメント比	40%, 60%, 80%
試験体寸法	300×300×150mm, φ100×200mm
測定材齢	1日, 3日, 7日, 28日

Table 10 使用材料

水	習志野市上水道水
セメント	研究用普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm³)
細骨材	大井川産川砂(表乾密度 2.62g/cm³)
粗骨材	大井川産川砂利(表乾密度 2.66g/cm³)
混和剤	Ad1: B 社製 AE 減水剤 Ad3: 空気量調整剤

Table 11 コンクリートの調合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)				化学混和剤 (g/m³)	
		水	セメント	細骨材	粗骨材	Ad1	Ad3
40	47.5	185	463	672	977	1852	694
60	46.3	185	308	820	970	771	924
80	47.3	185	231	878	962	578	631

#### 4. 2 実験結果および考察

Fig. 8 に材齢とコンクリートの圧縮強度の関係を示す。

##### 4. 2. 1 エコーチップ硬さ値の経時変化

Fig. 9 に材齢と平面供試体のエコーチップ硬さ値の関係を示す。平面供試体のエコーチップ硬さ値は、いずれの水セメント比においても、材齢の経過に伴い大きくなる傾向がみられ、材齢 7 日までは大きく増加し、それ以降は緩やかに増加した。これは Fig. 8 に示したコンクリートの圧縮強度に対応しているためと考えられる。

円柱供試体側面の曲率のある部分でのエコーチップ硬さ値は、平面供試体と同様の傾向であったが、値は若干小さくなった。

##### 4. 2. 2 エコーチップ硬さ値と圧縮強度の関係

Fig. 10 にエコーチップ硬さ値と圧縮強度の関係を示す。エコーチップ硬さ値と圧縮強度の関係は、一本の近似線で示すことができ、その近似式は  $y=0.14x-16.41$ 、決定係

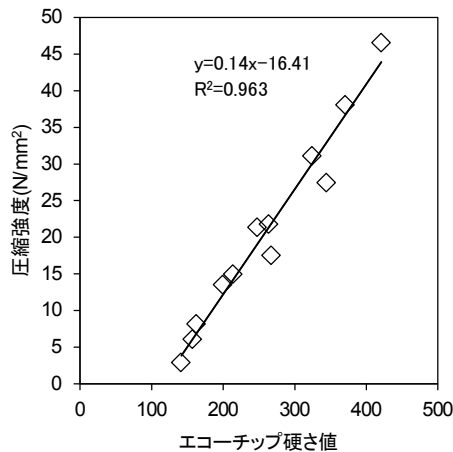


Fig. 10 平面供試体のエコーチップ硬さ値と圧縮強度の関係

数は 0.963 であり高い相関性を示した。このことから、この近似式を用いることにより、エコーチップによる圧縮強度の推定が可能であると考えられる。

#### 4. 2. 3 エコーチップ硬さ値の曲率による相違

Fig. 11 に、円柱供試体と平面供試体のエコーチップ硬さ値の関係を示す。エコーチップ硬さ値は、平面供試体と比し円柱供試体で小さくなった。本実験では、円柱供試体の値に 1.05 倍すると平面供試体のエコーチップ硬さ値に補正された。なお、文献 2)におけるリバウンドハンマーにおける補正值は 1.09 であった。

## 5. まとめ

エコーチップのコンクリートへの適用性を評価するため、ばらつき、測定方向、影響深さの確認を行うとともに、圧縮強度推定方法を検討した。得られた知見は、以下の通りである。

- (1) 標準偏差はエコーチップ硬さ値が大きくなるのに従って大きくなるが、変動係数としては 12~15%であった。
- (2) エコーチップ硬さ値における横方向に対する角度補正值を示した。
- (3) エコーチップの硬さ値は、表層強度が小さい程、mm 単

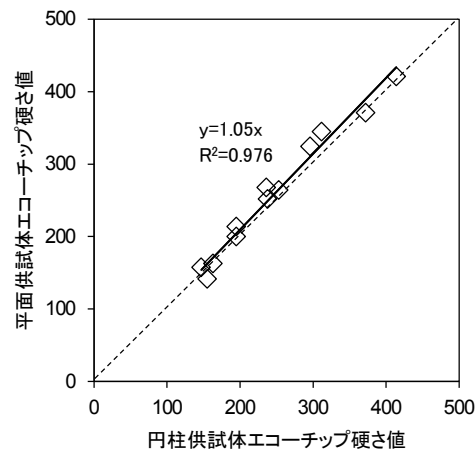


Fig. 11 エコーチップ硬さ値の曲率の影響

位の表層極薄い層に影響を受ける。3mm より深い内部のコンクリート強度は反映していない。

- (4) 平面供試体のエコーチップ硬さ値と圧縮強度の関係を求め、その関係より圧縮強度を推定する方法を示した。また、関係を求める際に使用する供試体の曲率の影響を示し、平面における硬さ値に補正する方法を示した。

#### 【参考文献】

- 1) 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，丸善，pp.10~28，1983.2
- 2) 湯浅昇：リバウンドハンマーによる強度推定に関する話題提供—各種リバウンドハンマーの相互比較，リバウンドハンマーの反発度と圧縮強度との関係を求める方法の提案—，コンクリート工学，Vol.48，No.12，pp.23~30，2010.12
- 3) 重松岳史，豊福俊泰，亀井頼隆：エコーチップ硬さ試験による構造物中のコンクリートの品質兼検査方法に関する研究，土木学会西部支部研究発表会，pp.A-572-573，2002.3
- 4) 建材試験センター：コンクリート構造物の非破壊試験・微破壊試験の研究と実用化，建材試験センター2013，Vol.4，pp.2~8，2013.4
- 5) 湯浅昇，三谷和裕，金森誠治，野中英：コンクリートの圧縮強度推定を目的としたエコーチップ硬さ試験に関する検討その1~その3，日本建築学会大会学術講演梗概集A-1，pp.347-352，2015

## Proposal of a testing method for concrete strength estimate using EQUOTIP

Kazuhiro MITANI, Seiji KANAMORI, and Akira NONAKA

#### Abstract

In this research, the applicability to the concrete of the Equotip was investigated by examining the variation of Equotip hardness value, influence of hitting direction, and influence depth. In addition, the relationship between Equotip hardness value of flat test piece and compressive strength of cylindrical one was investigated. At the same time, the method to estimate the compressive strength from Equotip hardness value was introduced.

Keywords: Equotip, Concrete, Testing method, Compressive strength, Variability, Angle correction, Influence depth