

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検査法に関する研究

九州産業大学工学部 学生会員 ○ 久野 宏明
九州産業大学工学部 正会員 豊福 俊泰
九州産業大学工学部 正会員 佐藤 武夫

1. まえがき

構造物中のコンクリートの品質検査法としては、従来からテストハンマー法が用いられているが、ばらつきが大きく高精度の試験法の開発が課題となっている。そこで、本研究は、鋼製品の硬さ試験に使用されているエコーチップ硬さ試験機を用い、コンクリートの圧縮強度の検査法への適用性を検討したものである。

2. 試験概要

本試験では、表-1に示すように、検査対象の構造物を円柱供試体（高さ20×φ10cm）曲げ供試体（高さ15×15×53cm）柱部材（高さ60×20×40cm）、床部材（高さ20×60×40cm）、柱部材（高さ120×20×50cm）、中床部材（高さ20×20×60cm）、小床部材（高さ15×15×60cm）で代表させるものとし、4種類のレディーミクストコンクリートを購入して打ち込み、養生条件を変化させた。

圧縮強度の非破壊検査法としては、テストハンマー法とエコーチップ反発硬度試験法（ASTM規格A956-96、エコーチップ法と呼ぶ）とで試験を行った。エコーチップ反発硬度試験機は、直径3mmまたは5mmのタングステン・カーバイドチップまたはダイヤモンドを先端にもつインパクトボディーの、打撃速度に対する反発速度の比率に1000をかけた値（ $EC0 = \text{反発速度} / \text{打撃速度} \times 1000$ ）、すなわちエコーチップ硬さ値（エコーチップ値と呼ぶ）を測定するものであり、Gタイプインパクト装置を使用した。

測定結果は、圧縮強度試験データとこれを推定する試験データとの関係を、重回帰分析（直線式、変数増減法、 $F_{IN} = F_{OUT} = 2.0$ ）で解析した。この場合、コアの圧縮強度 F_{ck} （ N/mm^2 ）を目的変数として、次に示す6項目を説明変数として採用した。

エコーチップ値 $EC0$ またはテストハンマーの反発度 HAN 、養生条件 $Y0$ （1：空气中、2：養生剤塗布、3：水中）、材齢 ZA （7、14、28、56日）、供試体の種類 DAS （1：曲げ供試体・床部材、2：柱部材・円柱供試体）、測定場所 $S0$ （1：上面、2：側面上部、3：側面中部、4：側面下部、5：下面）

3. エコーチップ反発硬度試験法による試験特性

(1) 打撃方向

テストハンマー法と同様に、鉛直方向のエコーチップ値と水平方向のエコーチップ値との関係を求めると、図-1に示すとおりである。鉛直方向の値は、水平方向の補正値を求めた。

(2) 試験結果

エコーチップ値と圧縮強度の関係（材齢28日）は、図-2、図-3、図-4に示す。エコーチップ値は、圧縮強度との相関係数0.712～0.982であり、水中養生の円柱供試体との試験結果において最も良い相関性を示し、相関係数 $R = 0.982$ （有意水準1%で有意）である。エコーチップ値は、曲げ供試体の場合の方が、円柱供試体の場合より高くなっており、養生条件による

表-1 実験計画

コンクリートの種類	材齢 (日)	供試体の種類	養生方法	圧縮強度
普通15	7日	円柱供試体	水中	円柱供試体
		曲げ供試体		
普通30	14日	柱部材	養生剤塗布	コア
普通45		床部材		
普通60	28日	大柱部材		
モルタル-30	56日	中床部材		
標準-30		小床部材		

注1) 普通15: 材齢7日・16日・28日・57日・40日
普通30: 材齢7日・16日・28日・58日・40日
普通45: 材齢7日・16日・28日・55日・40日
普通60: 材齢7日・15日・28日・57日・39日
標準-30: 材齢7日・28日
モルタル-30: 7日・15日・28日・41日

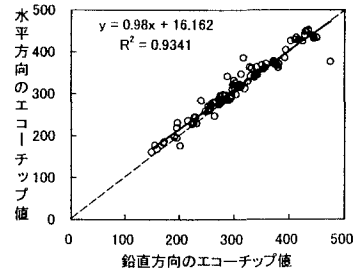


図-1 鉛直方向と水平方向の測定値の関係

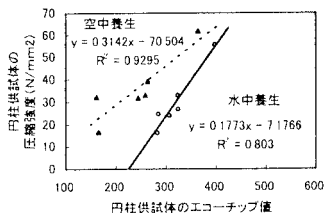


図-2 円柱供試体のエコーチップ値と円柱供試体の圧縮強度

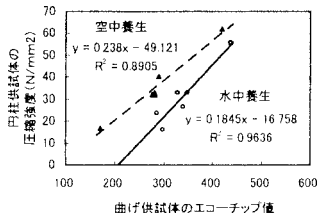


図-3 曲げ供試体のエコーチップ値と円柱供試体の圧縮強度

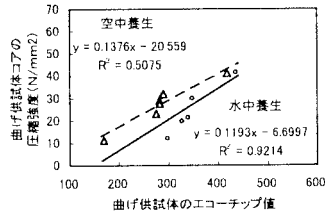


図-4 曲げ供試体のエコーチップ値と曲げ供試体コアの圧縮強度

傾向は、水中養生の方が空中養生よりも高くなっている。

エコーチップ値とコアの圧縮強度の関係(材齢7、14、28、56日)を、部材別に求め図-5に示す。エコーチップ値は、圧縮強度との相関係数0.736~0.910であり、曲げ部材では、空中よりも水中養生の相関係数が、床部材では養生剤無塗布よりも養生剤塗布が、柱部材では中部の方が良い相関性を示している。その中で床部材の養生剤塗布が最も良い相関性を示し、相関係数 $R=0.910$ (有意水準1%で有意)である。

このように、エコーチップ値は、養生条件や部材の種類の影響を受け、関係式が一定とはならないことが示されており、テストハンマーの場合も同様の傾向が認められた。

(3) エコーチップ法によるコンクリートの圧縮強度の推定

コアの圧縮強度 F_{ck} とエコーチップ値 $EC0$ との関係は、重回帰分析によって(1)式および図-6が得られた(下段の()内はT値、データ数 $n=246$ 、重相関係数 $R=0.820$ 、残差 e の標準偏差 $e_s=6.56 \text{ N/mm}^2$)。

$$F_{ck} = -33.536 + 0.16419EC0 + 5.769Y0 - 0.14179ZA + 3.369DAS - 1.215S0 \quad (1)$$

(-10.6) (21.0) (8.5) (-4.9) (3.1) (-2.7)

相関性が強いのは、エコーチップ値 $EC0$ であり、次に養生条件 $Y0$ 、材齢 ZA 、供試体の種類 DAS 、測定場所 $S0$ となっている。

また、同様に圧縮強度とテストハンマーの反発度 HAN との関係は、(2)式および図-7に示すとおりである($n=246$ 、 $R=0.792$ 、 $e_s=6.98 \text{ N/mm}^2$)。

$$F_{ck} = -20.377 + 1.4314HAN + 1.076Y0 - 0.05259ZA - 0.643S0 \quad (2)$$

(-7.4) (19.5) (1.8) (-1.8) (-1.4)

すなわち、エコーチップ法は、コンクリートの圧縮強度の推定法として、テストハンマー法と同等以上の精度であることが判明した。

4. まとめ

構造物中のコンクリートの圧縮強度の非破壊検査法として、エコーチップ法による新しい試験法が、提案された。テストハンマー法と同等以上の精度で、コンクリートの圧縮強度が推定される。

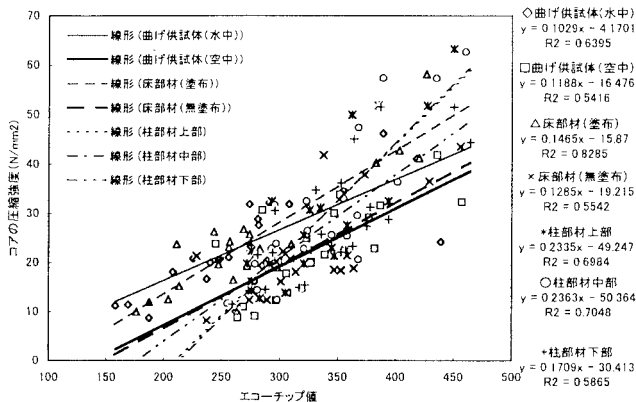


図-5 エコーチップ値とコアの圧縮強度

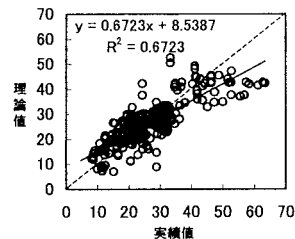


図-6 (1)式の精度

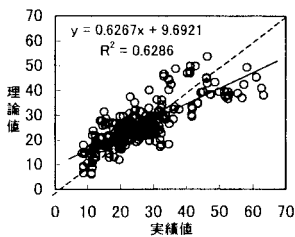


図-7 (2)式の精度