

## ポリプロピレン短繊維を混入したコンクリートの非破壊・微破壊試験に関する検討 その 11 衝撃弾性波法による PP 短繊維の影響の確認

Study on Inspection Method of Concrete containing PP fiber by Non-Destructive Testing  
Part II Study on Influence in The Impact Elastic Wave Method by the PP fiber

○岩野 聡史 リック㈱ 坂本 良憲 リック㈱

Satoshi Iwano RIK Yoshinori Sakamoto RIK

伊藤 順紀 リック㈱ 森濱 和正 独立行政法人土木研究所

Jyunki Ito RIK Kazumasa Morihama Public Works Research Institute

### 概 要

筆者らは、衝撃弾性波法 (iTECS 法) による圧縮強度の試験方法を提案している。今回は、これまで実験をしていないため適用対象外であった高分子短繊維を混入したコンクリートを対象として、本法の適用が可能であるのかを検証した。また、提案している材齢補正方法について、材齢 28 日に採取した標準コアによる圧縮強度を比較して、本法が適用できる条件について検討した。その結果、短繊維を混入したコンクリートであっても本法の適用が可能であること、また、構造体コンクリートでの測定を材齢 7 日とすると誤差が大きく、実際の圧縮強度よりも強めに強度が推定されることが確認された。

キーワード：衝撃弾性波法、圧縮強度、繊維混入コンクリート、材齢補正

### 1. まえがき

筆者らは、衝撃弾性波法 (iTECS 法) による圧縮強度の試験方法を提案している<sup>1)</sup>。本法は、これまでの実験成果に基づき提案された試験方法であるが、高分子短繊維を混入したコンクリートは実験をしていないため、適用対象外であった。これから、今回はポリプロピレン短繊維を混入したコンクリートを対象として、本法の適用が可能であるのかを検証した。また、コンクリート強度の可否は、基準材齢時での結果から判定されるが、構造体コンクリートでは測定する材齢を基準材齢時に設定することが困難な場合が多い。これから、任意の材齢での測定結果から基準材齢時の圧縮強度を推定する材齢補正方法を提案している<sup>2)</sup>。今回は構造体コンクリートを模擬した試験体で任意の材齢で測定し、材齢 28 日時の圧縮強度を推定した。この結果と、材齢 28 日に採取した標準コアでの圧縮試験結果と比較し、本法が適用できる条件等を検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 実験対象試験体

試験体の名称、ポリプロピレン短繊維の混入量を表 1 に、外観状況を写真 1 に示す。試験体を構造体コンクリートと想定し、圧縮強度を推定した。この結果と  $\phi 100\text{mm}$  のコア (標準コア) 採取による圧縮強度の試験結果とを比較した。測定位置は各試験体において標準コアを採取する上段、中段、下段の 3 測線を A、B 両面に設定し、各試験体で計 6 測線とした<sup>3)</sup>。

#### 2.2 圧縮強度推定精度の確認実験

本法での圧縮強度推定手順を図 1 に示す<sup>1)</sup>。本法は試験対象の構造体コン

表 1 試験体の種類

試験体名	計画した繊維混入率 (%)	実際の繊維混入率 (%)
試験体 0	0	0
試験体 1	0.1	0.10
試験体 2	0.2	0.22



写真 1 試験体 0 外観状況



図 1 本法による圧縮強度推定手順

クリートと同一配合の円柱供試体での測定結果から、式(1)に示す強度推定式を設定し、構造体コンクリートで測定した弾性波速度と設定した強度推定式から圧縮強度を推定する方法である。

$$f_c = \beta \times V_p^a \quad (1)$$

ここで、 $f_c$  は圧縮強度、 $V_p$  は弾性波速度、 $a, \beta$  は係数である。今回の実験では、材齢 2 日～91 日での計 6 回円柱供試体で弾性波速度と圧縮強度を測定し、強度推定式を設定した。円柱供試体の養生方法は水中、封緘、気乾の 3 種類である。構造体コンクリートと想定した試験体では、材齢 7 日、28 日、91 日に弾性波速度を測定して、強度推定式から圧縮強度を推定し、標準コアによる圧縮試験結果とを比較した。

### 2. 3 材齢 28 日強度推定方法の検証実験

本法による基準材齢（材齢 28 日）時の圧縮強度の推定手順を図 2 に示す。本法は、任意の材齢の構造体コンクリートで測定した弾性波速度から材齢 28 日時の圧縮強度を推定する方法である。材齢補正方法は、円柱供試体で弾性波速度を継続して測定し、式(2)に示す両者の関係式を求め、式(3)に示す弾性波速度の材齢補正式を設定する方法である。構造体コンクリートでは、任意の材齢で測定した弾性波速度と設定した材齢補正式から材齢 28 日時の弾性波速度を推定し、式(1)により、材齢 28 日時の圧縮強度を推定する。

$$V_p = b \times t^c \quad (2)$$

$$V_{p28} = (28/t)^d \times V_p(t) \quad (3)$$

ここで、 $V_p$  は弾性波速度、 $t$  は材齢、 $a, b$  は係数、 $V_p(t)$  は任意の材齢の構造体コンクリートで測定した弾性波速度、 $V_{p28}$  は材齢 28 日時の弾性波速度である。今回の実験では、同一配合の円柱供試体で、材齢 2 日～91 日での計 8 回弾性波速度を測定し、材齢補正式を設定した。円柱供試体の養生方法は水中、封緘、気乾の 3 種類である。構造体コンクリートと想定した試験体では、材齢 7 日、14 日、21 日、41 日、57 日、91 日に弾性波速度を測定し、材齢補正式、強度推定式から材齢 28 日時の圧縮強度を推定した。この結果と材齢 28 日に採取した標準コアによる圧縮試験結果とを比較した。

## 3. 実験結果

### 3. 1 圧縮強度推定精度の確認実験

#### (1) 強度推定式の設定結果

円柱供試体での弾性波速度と圧縮強度の測定結果の一例として繊維混入率 0%での結果を図 3 に示す。両者の関係を対数表示で示すと、養生方法が水中養生と封緘養生では、両者は同一の直線関係を示す。気乾養生では弾性波速度の増加が 3800m/s 程度で収束し、直線関係は確認されない。これから、強度推定式は水中養生と封緘養生での測定結果から、指数回帰により設定した。各円柱供試体で得られた強度推定式の係数を表 2 に示す。

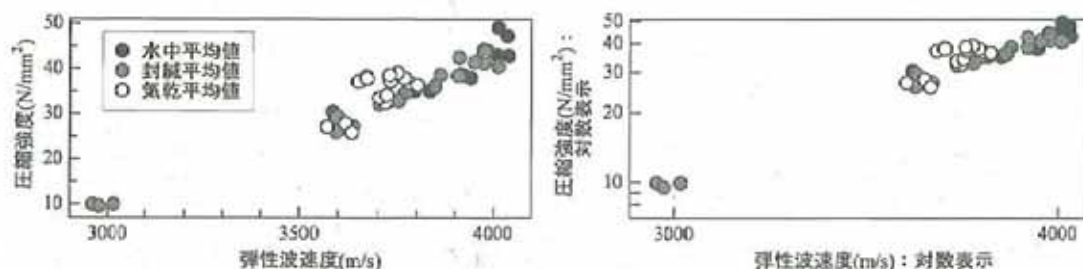


図3 円柱供試体による弾性波速度と圧縮強度の関係調査結果（繊維混入率0%）

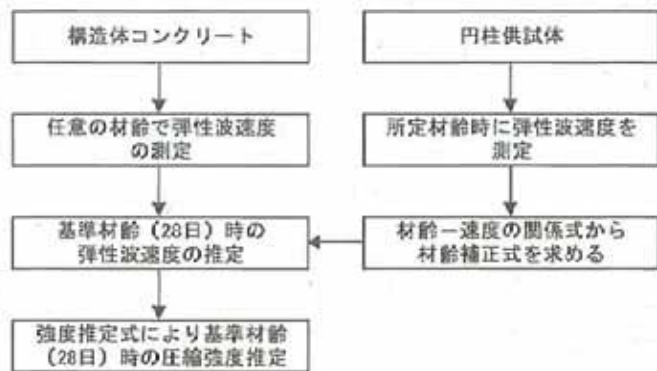


図2 本法による基準材齢時の圧縮強度の推定手順

(2) 試験体での強度推定結果

各試験体において材齢 7 日, 28 日, 91 日に弾性波速度を測定し, 得られた強度推定式から圧縮強度を推定した。この結果と標準コアによる圧縮試験結果との比較結果を図 4 に示す。

図 4 より, 圧縮強度約 25N/mm<sup>2</sup>~約 45N/mm<sup>2</sup>の試験体において, 概ね±15%の精度で圧縮強度を推定できることが確認された。この結果は既往の実験成果と同等の精度であった<sup>4)</sup>。

3. 2 材齢 28 日強度推定方法の検証実験

(1) 円柱供試体による材齢と弾性波速度の関係

円柱供試体での材齢と弾性波速度の関係の一例として, 繊維混入率 0.1%での結果を図 5 に示す。養生方法が水中養生と封緘養生では, 材齢の経過に伴い弾性波速度は増加するが, 気乾養生では材齢 20 日時の弾性波速度で収束する。両者の関係を対数表示で示すと, 水中養生と封緘養生では各々に直線関係が確認されるが, 気乾養生では確認されない。また, この直線関係は材齢 2~7 日, 材齢 7~28 日, 材齢 28~91 日と材齢期間によって異なり, 勾配は若材齢の方が大きい。これから, 材齢補正式に用いる材齢と弾性波速度の関係式は, 養生方法, 材齢期間を分けて求め, 構造体コンクリートで測定する材齢などの条件が一致する関係式を選択することが有効であると考えられる。そこで, 各円柱供試体で養生方法, 材齢期間を分けて求めた関係式の係数を表 3 に示す。

表 3 の係数  $a$  は図 5 に示された直線関係の勾配, 係数  $b$  は材齢 1 日での弾性波速度を示すが, 表 3, 図 5 より, 係数  $a$  は同じ繊維混入率であれば水中養生と封緘養生で相違が無いことが分かる。これから, 係数  $a$  のみを使用する式(3)に示す材齢補正式は, 養生方法を水中養生としても封緘養生としても, 同等の式になると考えられる。

(2) 材齢 28 日強度の推定結果

各試験体において材齢 7 日, 14 日, 21 日, 41 日, 57 日, 91 日に弾性波速度を測定し,

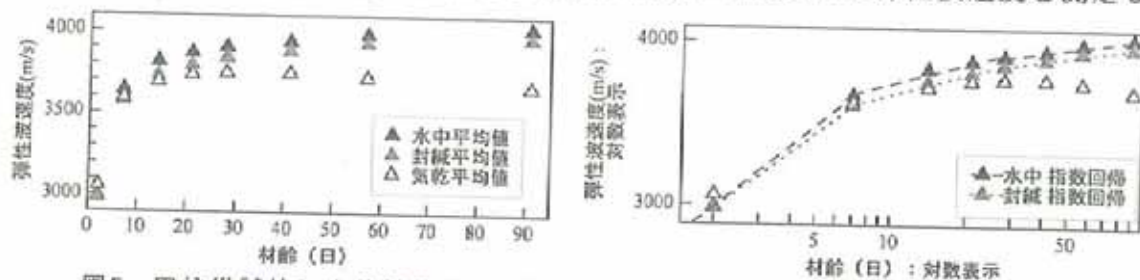


図5 円柱供試体による材齢と弾性波速度の関係調査結果 (繊維混入率 0.1%)

表3 各円柱供試体での材齢と弾性波速度の関係式の係数

繊維混入率(%)		0		0.1		0.2	
養生方法		水中	封緘	水中	封緘	水中	封緘
材齢7日~28日	係数 $a$	0.0514	0.0527	0.0515	0.0521	0.0499	0.0526
	係数 $b$	3302	3247	3302	3235	3319	3232
材齢28日~91日	係数 $a$	0.0292	0.0288	0.0271	0.0282	0.0292	0.0267
	係数 $b$	3536	3511	3565	3497	3536	3519

表2 各円柱供試体での強度推定式の係数

繊維混入率(%)	0	0.1	0.2
養生方法	水中, 封緘	水中, 封緘	水中, 封緘
相関係数	0.989	0.989	0.994
係数 $\alpha$	4.996	4.854	4.899
係数 $\beta$	$4.486 \times 10^{-17}$	$1.482 \times 10^{-16}$	$1.087 \times 10^{-16}$

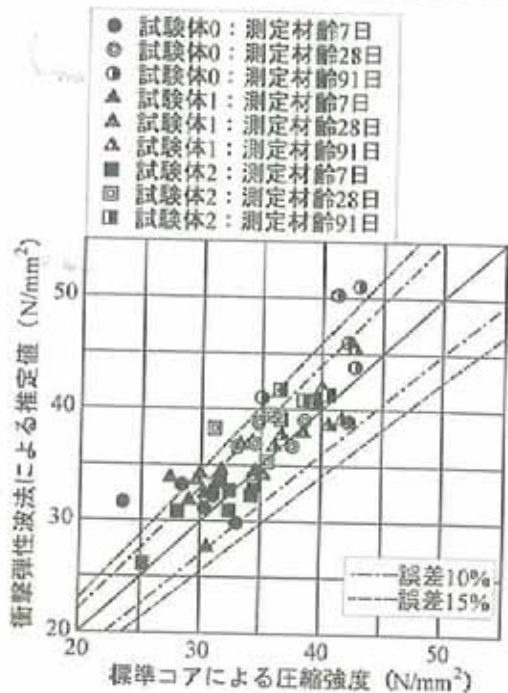


図4 標準コアによる試験結果との比較

得られた材齢補正式，強度推定式から材齢 28 日時の圧縮強度を推定した。ここで，材齢補正式は水中養生により設定した。この推定結果と材齢 28 日に採取した標準コアによる圧縮試験結果との比較結果を図 6 に示す。

図 6 より，既往の実験成果と同等の精度である  $\pm 15\%$  より精度が劣る場合があることが確認された。精度が劣る条件を確認するため，各測定位置での推定精度を測定材齢別に図 7 に示した。図 7 より，材齢 7 日の場合に誤差が大きく，実際の圧縮強度よりも強めに強度が推定されることが確認される。この原因は，図 4 より，材齢 7 日での推定強度は実際の強度よりも若干強くなっていることから，材齢 7 日では構造体コンクリートにおいて測定上の弾性波速度が速く測定されることや，材齢 7 日から材齢 28 日での弾性波速度の変化が，材齢補正式を設定した円柱供試体と構造体コンクリートでは異なることが考えられる。

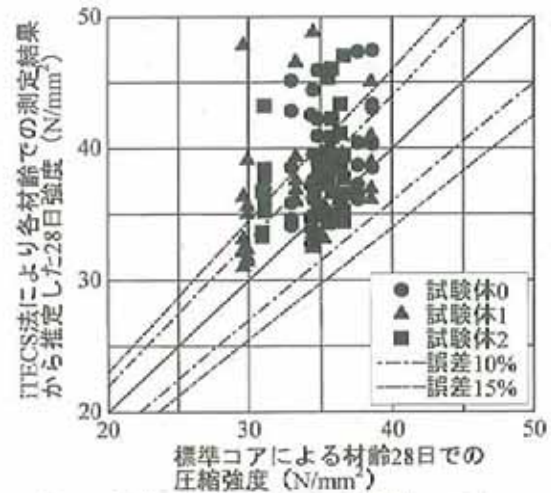


図6 材齢28日に採取した標準コアによる試験結果との比較

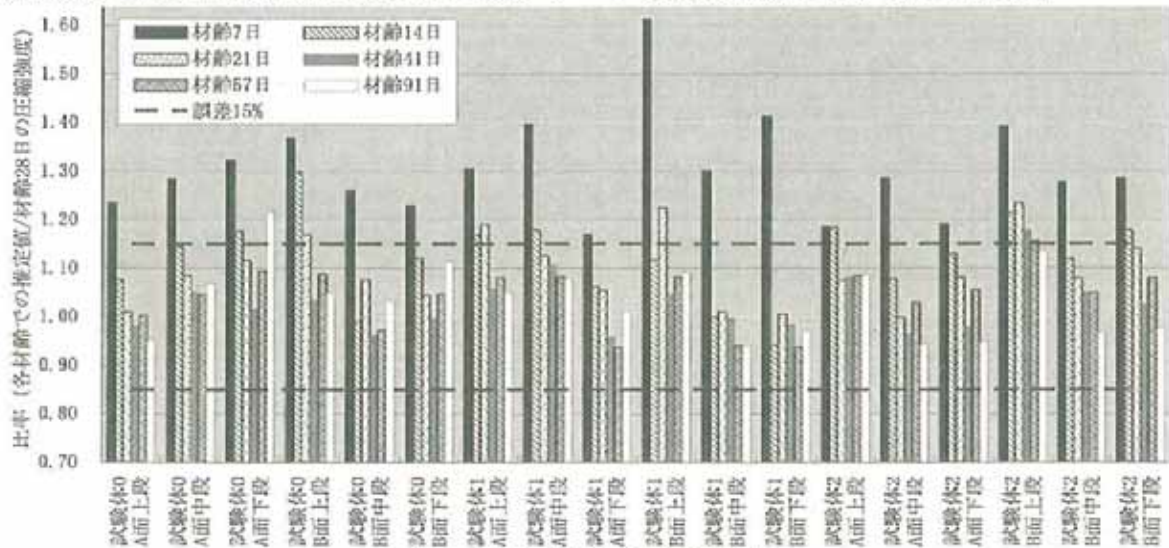


図7 測定材齢と誤差の関係

#### 4. まとめ

提案している衝撃弾性波法による圧縮強度試験方法および材齢補正方法について，高分子短繊維を混入したコンクリートを対象として，適用条件等を確認した。その結果，短繊維を混入したコンクリートであっても既往の実験成果と同等に，概ね  $\pm 15\%$  の精度で圧縮強度を推定できることが確認された。また，円柱供試体による材齢補正式の設定では，養生方法を水中としても封緘としても同等の補正式が得られること，材齢の期間を構造体コンクリートで測定する材齢と一致させて求める必要があることが確認された。さらに，構造体コンクリートでの測定を材齢 7 日とすると強度が強めに推定される誤差が生じることが確認された。

参考文献：1) 独立行政法人土木研究所，社団法人日本非破壊検査協会：非破壊・微破壊試験によるコンクリート構造物の検査・点検マニュアル，pp.132-141，大成出版社，2010 2) 岩野聡史，森濱和正：衝撃弾性波法による新設構造物の圧縮強度推定における材齢補正方法の検討，土木学会第 65 回年次学術講演会論文報告集，V227，pp.453-454，2010.9 3) 森濱和正：'リブ' の短繊維を混入したコンクリートの非破壊・微破壊試験に関する検討 その 1 実験概要，日本非破壊検査協会平成 22 年度秋季大会講演概要集，2010.10 4) 岩野聡史ほか：非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究 衝撃弾性波 その 9 衝撃弾性波法 (ITECS 法) によるコンクリート構造物の圧縮強度推定精度，日本非破壊検査協会平成 20 年度春季大会講演概要集，pp.51-54，2008.5