

衝撃弾性波試験（仮称）iTECS 法による

新設の構造体コンクリート強度測定要領（案）

目 次

1. 適用範囲	1
2. 強度推定の原理と手順の概要.....	1
(1) 縦弾性波速度の測定方法.....	1
(2) 弾性波速度から圧縮強度の推定方法.....	2
3. 測定装置	3
(1) インパクター	3
(2) 受信センサー	3
(3) 測定器	3
4. 強度推定式の求め方.....	4
(1) 供試体の作製，試験回数等.....	4
(2) 弾性波速度の測定方法.....	4
(3) 強度推定式の設定.....	5
5. 構造体コンクリートの弾性波速度測定方法.....	5
(1) 試験回数および測定位置.....	5
(2) 測定方法	5
6. 強度推定	7
7. 基準材齢（28日）強度の求め方.....	7
8. 判定	9
9. 報告	9
10. 参考	9

2007年4月（H21修正）

リック株
(独)土木研究所

1. 適用範囲

この要領は、新設の構造体コンクリートの圧縮強度を衝撃弾性波法（仮称）iTECS 法により推定する方法に適用する。

2. 強度推定の原理と手順の概要

この要領は、コンクリート中の縦弾性波速度から構造体コンクリートの圧縮強度を推定する方法を示す。

本法は、①コンクリート中を伝搬する縦弾性波速度は、ポアソン比、密度が一定であれば、縦弾性係数の平方根に比例すること(理論)、②縦弾性係数とコンクリートの圧縮強度には、正の相関関係があること(経験)を根拠として、①、②から、論理的に縦弾性波速度と圧縮強度には正の相関関係があることを導出し、縦弾性波速度から圧縮強度を推定しようとするものである。

(1) 縦弾性波速度の測定方法

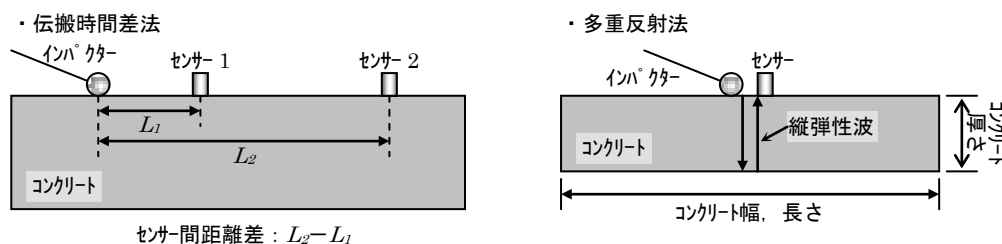


図1 本法での弾性波速度の測定方法

本法での弾性波速度の測定方法には図1に示す、(a) 縦弾性波の伝搬時間差を利用した測定（以下、伝搬時間差法という）、(b)多重反射の周波数特性を利用した測定（以下、多重反射法という）があるが、以下に示す各測定方法での制約条件から、構造体コンクリートについては伝搬時間差法、強度推定式の設定に供する円柱供試体については多重反射法で測定することを標準とする。

(a)伝搬時間差法の制約条件

受信センサー間の距離差が目視で確認でき、さらに、距離差が450mm以上となる測定点が設置できる構造体コンクリートに対して適用される。

(b)多重反射法の制約条件

- ①測定位置での厚さが計測できる。
- ②厚さが100mm以上2500mm以下である。
- ③背面が地盤等に密着していない状態である。

(2) 弾性波速度から圧縮強度の推定方法

構造体コンクリートで縦弾性波速度を測定結果から、圧縮強度を推定するには、コンクリートの試験練りの時などに円柱供試体を作製し、縦弾性波速度と圧縮強度の関係を事前に把握する必要がある。

強度推定のフローと、関連する記述部分は図2のとおりである。

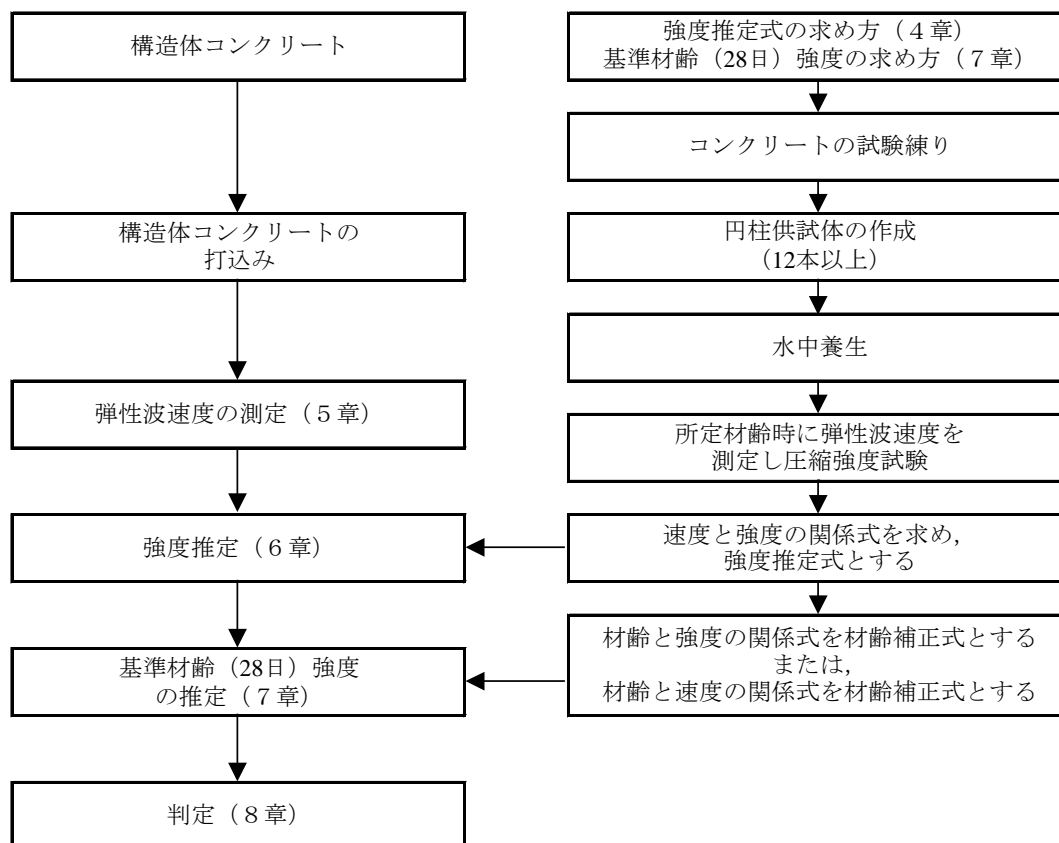


図2 強度推定フロー

3. 測定装置

(1) インパクトター

(a)伝搬時間差法による測定

表面縦弾性波が測定できる範囲で、可能な限り小質量のインパクトターとする。

(b)多重反射法による測定

測定部材の厚さを参考にし、適切な質量のインパクトターとする。

(2) 受信センサー

周波数 160Hz～20kHz 範囲のコンクリート表面振動を精度良く検知できるものとする。

(3) 測定器

(a)伝搬時間差法による測定

2,000,000 サンプル/秒以上で波形記録できる装置とする。データ数は、サンプリングクロックとデータ数の積である記録時間長さが1ミリ秒以上になるようにする。また、2ch以上のデータを同時測定できるものとする。

(b)多重反射法による測定

100,000 サンプル/秒以上で、データ数 1,000 個以上で記録できる装置とする。なお、サンプリングクロックとデータ数の積である記録時間長さは、縦弾性波が測定部材の厚さを10 往復する時間以上になるよう、サンプリングクロック・データ数を設定する。また、縦弾性波速度を適切な分解能で測定できるよう設定する（「4章」参照）。チャンネル数は1ch以上とする。

写真1に上記測定装置の例を示す。



写真1 装置本体の例

4. 強度推定式の求め方

圧縮強度を推定するための基準となる強度推定式は、試験対象の構造体コンクリートと同一配合の円柱供試体により、以下に示す手順で設定する。なお、試験対象の構造体コンクリートと同一配合の強度推定式が既に存在する場合は、それを用いることができる。

(1) 供試体の作製，試験回数等

試験対象の構造体コンクリートと同一配合の円柱供試体を試験練りの時などに作製する。試験実施回数は少なくとも材齢の異なる4回，1回の試験に用いる供試体の本数は3本とすることから，作製する円柱供試体の本数は12本以上とする。

円柱供試体の養生方法は水中養生とする。

試験を実施する材齢は，セメントの種類，構造体コンクリートで弾性波速度の測定を実施する材齢等を考慮して，28日強度が精度良く求められるように設定する。普通セメントおよび高炉セメントの場合は，7日，14日，28日，91日，早強セメントの場合は，3日，7日，28日，91日の4材齢を標準とする。

(2) 弾性波速度の測定方法

円柱供試体での弾性波速度の測定方法は図3，写真2に示す多重反射法を標準とする。なお，弾性波速度は分解能1%以上で測定できるよう，解析方法，測定条件（サンプリングクロック・データ数）を適切に設定する。

①測定点の設置

供試体上面の中心付近に受信センサーを設置し，近傍をインパクトで打撃する（図3，写真2参照）。

②測定波形の記録

測定波形の振幅値が測定範囲内であり，かつ再現性があることを確認し，受信センサーの測定波形を測定器に記録する。

③周波数測定

記録した測定波形に対して周波数スペクトルを求め，弾性波が円柱供試体の長手方向に多重反射することにより生成される周波数 f_0 を測定する。

④弾性波速度の測定

周波数 f_0 と円柱供試体の長手方向の長さ L から式(1)により，弾性波速度 V_p を決定する。

$$V_p = 2 \times L \times f_0 \quad (1)$$

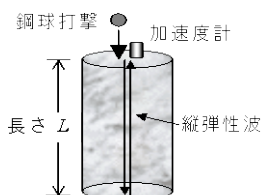


図2 円柱供試体での弾性波速度測定



写真2 円柱供試体での弾性波速度測定状況

図3 円柱供試体での弾性波速度測定

(3) 強度推定式の設定

各供試体で弾性波速度の測定の後、圧縮強度試験を行う。

各材齢の各供試体で得られた弾性波速度 V_p と圧縮強度 f_c から両者の関係式を、式(2)に示す指数関数によって回帰して求め、強度推定式に設定する。

$$f_c = \beta \times V_p^\alpha \quad (\alpha, \beta : \text{係数}) \quad (2)$$

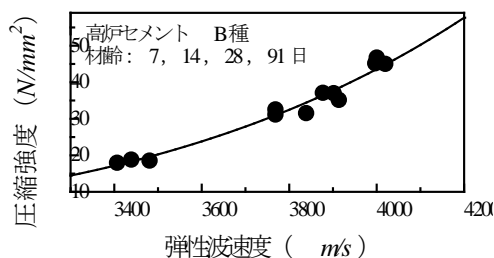


図4 回帰分析例

5. 構造体コンクリートの弾性波速度測定方法

(1) 試験回数および測定位置

試験回数および測定位置については、「微破壊・非破壊試験によるコンクリート構造物の強度測定要領(案)」に示される試験回数、測定位置とする。

1回の試験における測定は3測線とする。

コンクリート表面にジャンカ、コールドジョイント、ひび割れなどがある部分は避ける。

表面縦弾性波の到達時間差による測定での測定線は、鉄筋の影響を避けるため、縦筋、横筋に対して斜め(可能な限り45度)に設ける。

測定結果に何らかの異常が観察される場合、測定波形が安定しない場合などでは、測定箇所を変更する。

(2) 測定方法

(1) 測定表面の処理

測定表面に凹凸がある場合は、ヤスリ・砥石等により測定表面が平滑になるように処理する。

(2) 弾性波速度の測定

構造体コンクリートは伝搬時間差法で測定することを標準とする。伝搬時間差法による手順を以下に示す。

1) 入力波形が記録できるインパルスハンマーをインパクトに使用する場合

① 測定点の設置

コンクリート表面に受信センサー設置点、打撃点を設置し、インパルスハンマーで打撃する。

②測定波形の記録

測定波形に再現性があることを確認し、インパルスハンマーによる入力波形、受信センサーによる到達波形を測定器に記録する。

③表面縦弾性波の到達時間差の測定

入力波形と到達波形の時間差から弾性波の到達時間差 ΔT_p を測定する。

④弾性波速度の測定

受信センサー設置点と打撃点の距離は少なくとも 4 セット以上とする。各距離で ΔT_p を測定し、各測定結果から平均的に弾性波速度 V_p を決定する。

2)インパクトによる入力波形を記録しない場合

①測定点の設置

同一特性を持つ受信センサーを 2 点設置とする。打撃点を 2 つの受信センサー設置点と一直線上の点で、かつ、2 つの受信センサー設置点間の外側に設定し、鋼球等のインパクトで打撃する。

②測定波形の記録

測定波形に再現性があることを確認し、2 つの受信センサーの測定波形を測定器に記録する。

③表面縦弾性波の到達時間差の測定

2 つの受信センサーでの到達波形の時間差から弾性波の到達時間差 ΔT_p を測定する。

④弾性波速度の測定

2 つの受信センサー設置点間の距離は少なくとも 3 セット以上とする。各距離で ΔT_p を測定し、各測定結果から平均的に弾性波速度 V_p を決定する。

測定状況の例を写真 3 に示す。



写真 3 測定状況例

構造体コンクリートは伝搬時間差法を標準とするが、「2 章（1）」の制約条件を満足し、多重反射法で測定する場合は、「4 章（2）」と同様に測定する。

6. 強度推定

「5章」により求めた構造体コンクリートの弾性波速度と、「4章」によって求めた強度推定式から、構造体コンクリートの圧縮強度を求める。

7. 基準材齢（28日）強度の求め方

構造体コンクリートで測定する時のコンクリート材齢は、必ずしも基準材齢（通常は28日）とは限らない。これから、(1)材齢と強度の関係式による補正、または、(2)材齢と弾性波速度の関係式による補正により基準材齢強度 f_{c28} を求める。

(1)材齢と圧縮強度の関係式による補正

「4章」による各材齢での円柱供試体の圧縮試験結果から、式(3)に示す材齢と圧縮強度の関係式を求める。

構造体コンクリートの基準材齢強度 f_{c28} は、材齢 t （日）の構造体コンクリートで「6章」より求めた圧縮強度 $f'_{c(t)}$ と、上記により求めた式(3)から求める。

$$f_{c28} = \left(\frac{a+bt}{t \times d} \right) \times f'_{c(t)} \quad (3)$$

ここに、 t は材齢（日）、 f_{c28} は材齢28日での圧縮強度、 $f'_{c(t)}$ は各材齢 t （日）での圧縮強度、 a, b, d は係数である。

参考

「4章」による各材齢での円柱供試体の圧縮試験結果から、式(3)を求める方法の一例を示す。式(3)を式(3)'に変形すると、基準材齢強度 f_{c28} と各材齢 t （日）の圧縮強度 $f'_{c(t)}$ の商は材齢 t （日）の逆数は直線比例関係となる。

これから、「4章」による各材齢での円柱供試体の圧縮試験結果から、式(3)'に示す直線比例関係を回帰分析により求めることができる。

$$\frac{f_{c28}}{f'_{c(t)}} = \left(\frac{a}{d} \right) \times \frac{1}{t} + \left(\frac{b}{d} \right) \quad (3)'$$

(2)材齢と縦弾性波速度の関係式による補正

「4章」で材齢約91日に試験する円柱供試体に対して、継続的に縦弾性波速度を測定し、材齢と縦弾性波速度の関係式を求める。

測定回数、材齢は材齢28日までに4回程度、材齢28日～91日で4回程度実施する。

「5章」により求めた材齢 t (日)の構造体コンクリートでの縦弾性波速度 $V_p(t)$ と、上記により求めた材齢と縦弾性波速度の関係式から、基準材齢速度 V_{p28} を求める。

構造体コンクリートでの基準材齢強度 f_{c28} は、上記により求めた基準材齢速度 V_{p28} と、「4章」によって求めた強度推定式から求める。

※この試験を実施する円柱供試体を別途製作する場合は、養生方法は封緘養生としても良い。ただし、封緘養生とした場合は、試験実施毎に質量を測定し、供試体の乾燥が無いことを確認する。

参考

材齢と縦弾性波速度の関係式の求め方、および、構造体コンクリートでの基準材齢強度 f_{c28} の求め方の一例を示す。

「4章」で材齢約91日に試験する円柱供試体に対して、縦弾性波速度を継続的に測定し、式(4)に示す材齢と縦弾性波速度の関係式を求める。

$$V_p = b \times t^a \quad (4)$$

ここに、 t は材齢(日)、 V_p は縦弾性波速度、 a, b は係数である。

「5章」により求めた材齢 t (日)の構造体コンクリートでの縦弾性波速度 $V_p(t)$ と、上記により求めた式(4)の係数 a から、基準材齢速度 V_{p28} を式(5)により求める。

$$V_{p28} = \left(\frac{28}{t} \right)^a \times V_p(t) \quad (5)$$

構造体コンクリートでの基準材齢強度 f_{c28} は、上記により求めた基準材齢縦弾性波速度 V_{p28} と、「4章」によって求めた強度推定式から式(6)により求める。

$$f_{c28} = \beta \times V_{p28}^a \quad (6)$$

8. 判定

判定は「微破壊・非破壊試験によるコンクリート構造物の強度測定要領（案）」の判定基準に基づいて行う。

9. 報告

報告する事項は次のとおりである。

- (a) 試験年月日，試験場所，試験者名
- (b) 構造物とコンクリートに関する記録
- (c) 試験箇所の概要（試験体，構造物の概要，試験箇所位置図，配筋図，コンクリートの強度，試験材齢など）
- (d) 測定装置の型式，製造番号
- (e) 縦弾性波弾性波速度と圧縮強度の関係式の調査結果
- (f) 強度推定結果
- (g) 基準材齢（28日）補正強度，判定結果

10. 参考

iTECS法による推定強度とコア強度との関係を図5に参考として示す。図5は，独立行政法人土木研究所が主催した非破壊・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の一環として行った現場適用実験結果であり，推定強度はコア強度に対してほぼ±15%の範囲内に分布した。

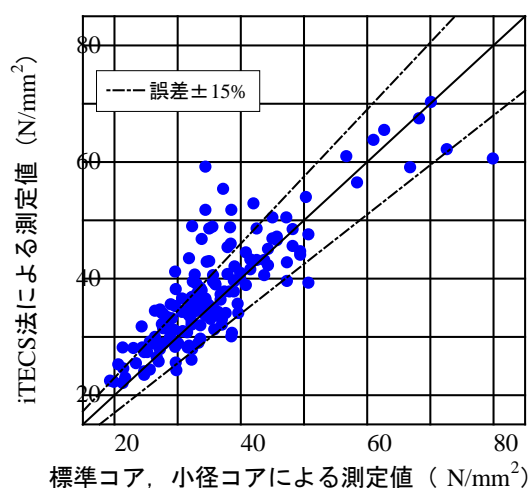


図5 iTECS法による推定強度とコア強度との関係