

合脱型前に適用可能なピン貫入試験機による若材齢コンクリートの圧縮強度推定法の開発に関する基礎的研究

ライフサイクル工学分野
高杉文也

コンクリート
非破壊試験

若材齢
貫入試験

圧縮強度
脱型

1. 研究の目的

コンクリートは打ち込みから十分な初期強度を確保できるまでの期間、乾燥など外部から保護することが望ましい。そのため、型枠の存置期間を確保する必要があるが、JASS5ではセメント種類や外気温等に応じた型枠の存置期間が定められている¹⁾が、建築現場では早期脱型の要求が大きい。初期強度が基準を上回り発現したことを確認できた場合にも脱型が可能となる。しかし、一般に脱型時強度の確認は、実際の構造体コンクリートではなく、別途採取したテストピースを用いた強度試験で行う。そのため、差が生じることが懸念され、また、強度試験は手間や経済的なコストも大きい。そのため、構造体コンクリートを対象に、現場で簡易に強度推定を可能とする試験方法の開発が望まれる。

そこで本研究では、脱型前に適用可能な強度推定方法として、型枠に予め試験面を用意した上で、木材の腐朽試験に用いられるピン貫入試験機（商品名：ピロディン）を適用することを提案し、現場で簡易に脱型に必要な強度、特に5 MPaから15 MPaの強度帯について確認する手法の開発を行う、その有効性について検討を行う。

2. 実験概要

2.1. 採用したピン貫入試験機

本研究で用いたピン貫入試験機を図1に示す。この試験機は、先端のピンをある高さまで押し上げ、内部で圧縮されたバネによる一定のエネルギー（6 Nm）でピンを射出し、その貫入深さを計測する機械である。本来の用途は木材に対して射出し、その腐朽具合や劣化の度合いを推定するために用いられる。ここでは、先端形状を尖らせたもの（Sharp）と平坦なもの（Flat）の2種類のピンを用いた。測定原理は、コンクリートを対象に用いられる既往のピン貫入試験機と類似しており、貫入深さと圧縮強度の間には相関があることが示されている²⁾。



図1 ピン貫入試験機(ピロディン)

2.2. 供試体の作製

せき板面に、直径9 mmの孔合計30個を開けた150×150×150 mmの型枠を準備し、コンクリートを打ち込んでキューブ型試験体を得た。既往の研究³⁾から、貫入深さは粗骨材の存在によって阻害されてしまうことが確認されている。そのため、せき板面の穴には外径9 mmのアルミパイプを挿入し、その端部に粗骨材侵入防止の針を予め設置して、試験対象となるアルミパイプ内にはモルタル分のみが充填されるようにした。また、アルミパイプは型枠厚さを上回る長さとして、ピン貫入試験機の位置決め用のガイドとしても用いた。このことにより、ピン貫入試験機の操作性の向上とデータ取得の安定化を図った（図2）。ここでは、幅広い強度での測定結果を得るため、様々な調合を用いた。また、材齢を6, 8, 12, 15, 16, 16.5, 18, 19.5, 21, 22.5, 24, 30, 36時間, 2, 3, 5, 7, 28日とし、特に若材齢での試験は調合から予測される強度を踏まえて試験実施のタイミングを決定した。圧縮強度の確認のため、直径10 cmの円柱供試体を同時に用意した。

2.3. 測定方法

ピン貫入試験機を用いて、試験体の型枠面に設置したアルミパイプ中のモルタルに対してピンを射出し、貫入深さを計測した。SharpとFlatの2種類のピン先端形状に対して、1つの供試体につきそれぞれ15点ずつ測定し、15点の平均値を試験の貫入深さとした。さらに、別途用意した円柱供試体3本と、ピン貫入試験後に脱型したキューブ型供試体それぞれに対して圧縮試験を行い、圧縮強度を測定した。

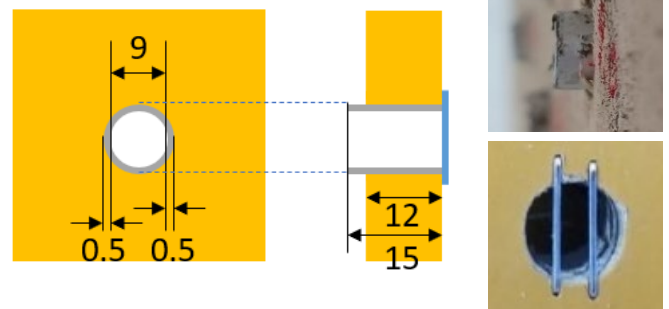


図2 型枠の孔

3. 実験結果と考察

3.1. 貫入深さと圧縮強度の関係

得られた貫入深さと圧縮強度の関係を図3示す。図3から、調査条件によらず、圧縮強度が大きくなるほど貫入深さが小さくなるという傾向が認められた。圧縮強度が30 MPaを超えた範囲では貫入深さの差が小さくなるため、強度推定に適さないと考えられる。また、貫入深さが試験体長さの15 mmを上回ると、モルタル範囲を超えてしまい、粗骨材による影響を考慮する必要が生じる。そのため、貫入深さが15 mmを上回ると考えられる圧縮強度が3 MPaを下回る範囲でもまた強度推定は難しいと考えられる。以上から、圧縮強度が3 ~ 30 MPaの範囲で得られたデータを強度推定式の考案に用いることにした。

3.2. 有効標本の検討

予備検討から、試験体内にモルタルが十分に充填されていない、あるいはピンが試験体に対して屈曲して貫入してしまうといった理由で、試験回数の20 %程度の結果が正しく得られないということ確認されている。そこで、次の方法で得られた貫入深さに対して補正を行い比較した。

試験面の状態について、目視で20 %以上欠けていると判断されるものを数える。また、各種ピンを用いて計測した貫入深さについて、その中央値の差分の絶対値をとる。そのため、試験した15点のうち表面が欠けていた試験体の本数と、15点の2割にあたる3点の試験データを取り除く。この際、差分の絶対値の大きいほうから先の数だけデータを除去する。残分のデータの平均値を貫入深さとして新たに採用する。

以上の補正を実施した貫入深さを用いると、圧縮強度との関係は図4のように示された。各種ピンについて圧縮強度と貫入深さは図3に対してより強い相関が見られたため、仮定の妥当性が示された。

3.3. 強度推定式の検討

関係の概形とこれまでの検討から、圧縮強度 σ と貫入深さ d について、以下の式(1)で表されると仮定した。

$$\sigma = \frac{s}{d - t} \quad (1)$$

ただし、 s 、 t ：実験定数

式(1)を実験結果にあてはめ、実験定数を決定すると、Sharpピンについては(2)式、Flatピンについては式(3)が得られた。

$$\sigma = \frac{37.99}{d_{sharp} - 7.61} \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{39.54}{d_{flat} - 6.57} \quad (3)$$

実験結果のばらつきを考慮するため、各式の実験定数 s について、その99%信頼区間を算出した。なお、 s は正規分布に従うものと仮定した。これをあてはめると、強度の推定範囲は図5のようになると考えられる。ただし、それぞれの実

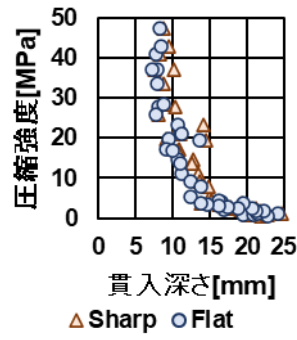


図3 貫入深さと圧縮強度

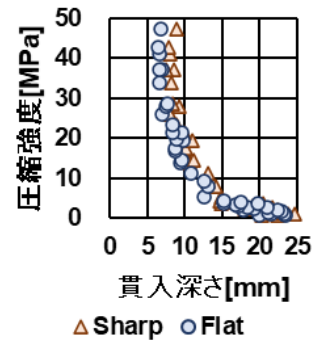


図4 貫入深さと圧縮強度(補正後)

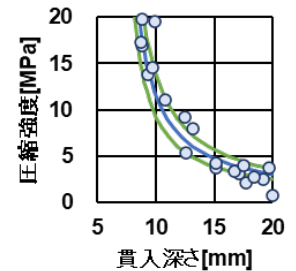
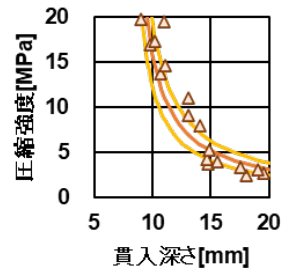


図5 強度推定関数(左:Sharpピン, 右:Flatピン)

験定数 s の標準誤差 SE は、 $SE_{sharp} = 2.82$ 、 $SE_{flat} = 2.60$ であった。図5および標準誤差の結果から、データのばらつきについて、SharpピンよりもFlatピンのほうが小さい。従って、ある貫入深さにおける圧縮強度の推定区間の幅はSharpピンよりもFlatピンのほうが小さく、より正確に強度推定を行うことができると考えられる。

4. まとめ

本研究では、ピン貫入試験機を用いた脱型前における若材齢コンクリートの強度推定に関する実験を行い、様々な調査における若材齢コンクリートの圧縮強度の推定式を求めた。本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 各種ピンについて、若材齢時における脱型前のコンクリート圧縮強度と貫入試験機による貫入深さの関係は式(2)及び式(3)で、推定圧縮強度は図5の区間内でおおよそ示せると考えられる。
- 2) SharpピンよりもFlatピンのほうが圧縮強度の推定区間の幅が狭いため、強度推定により適していると考えられる。

【参考文献】

- 1) 建築工事標準仕様書・同解説JASS 5鉄筋コンクリート工事(2015)
- 2) 宮部喬司他：ウインザーピン法によるモルタルの強度推定に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，2004
- 3) Maisha Maliha：Estimation of compressive strength to identify low-strength concrete with non-destructive test (NDT) methods，東北大学修士論文，2020