

第2回 コンクリートの圧縮強度

講師：藤井 和俊*1・鈴木 雅博*2

1. はじめに

コンクリート構造物は、地球環境問題や資源の有効利用から長寿命化が強く望まれています。そのためには、コンクリート構造物の健全性の評価がきわめて重要となり、その評価する指標として、構造体コンクリートの圧縮強度が主要な要素となります。その際、コンクリート構造物の保有強度や劣化・損傷程度を精度よくモニタリングする技術が必要となります。

一般に構造体コンクリートの強度は、構造体から採取した標準径（粗骨材最大寸法の3倍以上）コアの圧縮強度がもっとも信頼性が高いと考えられます。そのため、構造体コンクリートの強度が設計基準強度を満足しているかどうかの確認や既存のコンクリート構造物の耐震診断などに使用されています。

しかし、JISに規定されている標準径のコア採取は、構造体の損傷や配筋の切断によって構造体性能に支障をきたすおそれがあり、その採取位置や本数も限定され、試験方法の容易性やコア採取後の補修などいくつかの問題が指摘されています。

このためコア採取による構造体の損傷を少なくする方法として、直径50mm以下の小径コアによる構造体コンクリートの強度推定方法が提案されています¹⁾。

また、構造体と一体成形された供試体を構造体から採取して直接強度試験を行うボス供試体による構造体コンクリートの強度推定方法が提案されています²⁾。

一方、非破壊検査で構造体コンクリートの強度を推定する方法として、従来からのリバウンドハンマー（テストハンマー）による反発硬度を用いた方法³⁾や超音波伝播速度を用いた方法、それらを併用し強度の推定精度を高めた複合方法⁴⁾も試験の簡易性から使用されています。

本講座では、これらのコンクリートの圧縮強度推定方法としての直接強度試験方法と局部破壊試験を含めた非破壊検査方法について概説します。

2. 構造体から採取したコンクリートの直接強度試験

2.1 JISで規定されている標準径コア強度の測定

1) 概要

本方法は、構造体コンクリートから切り取ったコアの圧縮強度を試験する際に広く適用されており、とくに構造体コンクリートの強度を評価する方法では、もっとも信頼のおかれている方法です。コア供試体の直径は、粗骨材の最大寸法の3倍以上と規定されており、一般に ϕ 100 mmのコアが使われています。

2) 試験方法

試験方法は、JISA 1107:2002「コンクリートからコアの採取方法及び圧縮強度試験方法」、JISA 1108:1999「コンクリートの圧縮試験方法」に準じておこなわれています。なお、JISA 1108:1999の制定に伴い、アンボンドキャッピングが採用され、試験の簡易性が向上しました。

3) 各種補正

・高さ補正

コアの高さは、原則として直径の2倍です。しかし、現実的には、 ϕ 100 mmのコアを壁から抜いた場合には、高さが2倍以下となる場合があります。供試体の直径に対する高さの比が大きくなるほど圧縮強度は小さくなることが知られており⁵⁾、圧縮強度を高く評価してしまいます。このことから高さとの比による補正係数を用いて低減する必要があります。この補正係数はJISA 1107:2002に記載されています。

・鉄筋補正

コアの採取にあたっては、事前に鉄筋探査器などによってその位置を調査することが原則です。やむをえず鉄筋を切断した場合は、鉄筋補正を行います。

2.2 小径コアによる強度の推定

1) 概要

本方法は、標準径のコアでは柱・梁から直接採取が困難なことや高さ補正・鉄筋補正が必要となる問題等を解決するために開発されました。採取および採取後の補修が標準径に比べ容易なことや低荷重で供試体を破壊できるので、現場持ち込み可能な載荷装置により、調査現場での強度の評価が可能となります。

(株) 銭高組・前田建設工業 (株)・日本国土開発 (株) は、名古屋大学大学院工学研究科谷川恭雄教授の指導で直径20 mm程度のコアを用いた本方法で (財) 日本建築センターから

*1 Kazutoshi FUJII (株) ピーエス三菱 技術本部 技術研究所

*2 Masahiro SUZUKI (株) ピーエス三菱 技術本部 技術研究所

「既存構造物のコンクリート調査法（ソフトコアリング）」として技術審査証明を取得しています。

2) 試験方法

試験方法は、既往の研究^{1), 2)}をもとに「構造体コンクリートからの小径コアの切り取り方法（案）」⁷⁾および「小径コアによるコンクリートの圧縮強度試験方法（案）」⁷⁾が提案されています。

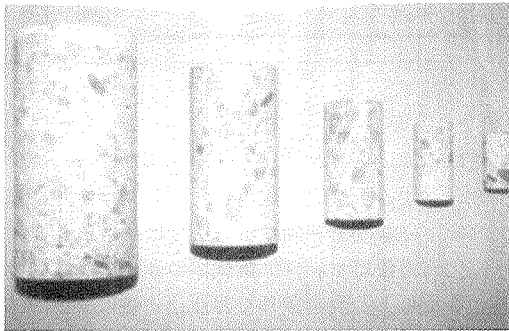


写真-1 標準径コアと小口径コア¹⁾
(日本大学 湯浅昇助教授 写真提供)



写真-2 ボス供試体³⁾

3) 強度推定 (ϕ 100 mm コア圧縮強度に換算)

小径コアによる強度推定は、以下の方法で行います。

- ・対象構造物において同じ位置で測定した小径コアと ϕ 100 mm コアのそれぞれの圧縮強度をもとに、 ϕ 100 mm コア圧縮強度に換算し、推定します。
- ・既往の試験データをもとに小径コアの圧縮強度と ϕ 100 mm コアの圧縮強度の関係から推定します。

4) 適用上の注意点

小径コア強度の ϕ 100 mm コア圧縮強度への換算については、小径コアの直径が小さいほど、 ϕ 100 mm コアに比べて圧縮強度が大きくなるとの研究報告¹⁾と圧縮強度が小さくなるとの研究報告²⁾があり、必ずしも統一された見解があるものでありません。採用した小径コアの調査結果の判断については十分な検討が必要です。

3. 構造体と一体成形された供試体の直接強度試験

3.1 ボス供試体による強度推定

1) 概要

本試験はコンクリート打設時に一体成型された供試体（BOSS 供試体：Broken Off Specimens by Splitting）を所定の試験材齢に躯体表面から、直接供試体を採取して圧縮強度試験を行う方法で主要構造部材の断面欠損を最小限に抑え、かつコア採取による圧縮強度試験と同様な信頼性が得られる評価技術であり、さらに試験方法の容易性や供試体採取後の補修などをする必要のない方法です。写真-2 にボス供試体の取付け状況を、図-1 にボス供試体の形状・寸法と採取方法をそれぞれ示します。

2) 試験方法

試験方法は、既往の研究³⁾に基づいて以下のように提案されています。なお、ボス供試体による試験方法については、現在、日本非破壊検査協会に委員会を設置しその標準

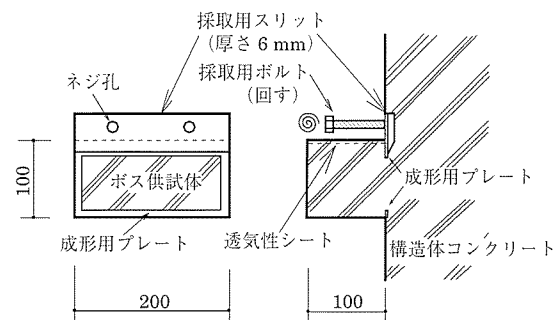


図-1 ボス供試体の形状・寸法と採取方法³⁾

化の検討に着手しています。

■「ボス供試体によるコンクリートの圧縮強度試験方法（案）」（抜粋）

1. ボス供試体

ボス供試体は、構造体コンクリートの躯体面に成形してできた断面寸法 \square 100 mm \times 長さ 200 mm の凸状の供試体をいう。

2. 供試体型枠の取り付け

- ボス供試体型枠の取り付け方法は、予め躯体のせき板に幅 255 mm \times 高さ 135 mm の開口部を設けておき、せき板の建込み終了後、この開口部にボス供試体型枠を外側から横向きに取り付ける。
- ボス供試体型枠の上には、コンクリート打ち込み時に空気泡やブリーディング水を抜いて、コンクリートが型枠内に十分充填されるように直径 5 mm と直径 8 mm の空気抜き孔を 15 個設ける。ボス供試体の両端面は、圧縮強度試験時に加圧面として用いるので 0.02 mm 以内の精度とする。

3. 供試体型枠へのコンクリートの打込み方法

a) ボス供試体は、構造体コンクリートと同時に打ち込まれ、その際には、上面を5回、下面を5回づつ、木づちを用いて型枠の上からたたき締固める。

4. 供試体の養生方法

- a) ボス供試体は構造体コンクリートに比べ外気温の影響を受けやすいので、所定の材齢まで型枠を脱型せずに封緘養生を行う。
- b) 高強度コンクリートに適用し、ボス供試体の温度履歴を構造体コンクリートの中央部と同様とする場合には、厚さ100mmの発泡ポリスチレンを用いた断熱養生を材齢7日まで行う。

5. 供試体の採取方法

- a) ボス供試体の採取は、構造体コンクリート打ち込み後、所定の試験材齢に採取治具を用いて行う。
- b) 躯体とボス供試体との間にスリット材（硬質スポンジ）とスリット材に薄い鋼板（厚さ6mm×幅70mm×長さ220mm）を当て、採取するとき、ネジ孔のスリット部を取り除き、これにボルトを差し込み、そのボルトを回した時の反力で躯体からボス供試体を採取する。

6. 加圧面積の算定

- a) 加圧面積の算定は、原則的に寸法法で行う。
- b) 加圧面寸法の測定：ボス供試体の加圧面の寸法は、供試体の長軸に平行に相対する端面の距離をノギスを用いて測り、その平均値として求める。
- c) 加圧面積の算定：ボス供試体の加圧面積は(1)で求めた寸法の平均値によって算定し、有効数字3桁まで求める。

$$A = \frac{\left[\frac{a_{11} + a_{12}}{2} \times \frac{b_{11} + b_{12}}{2} \right] + \left[\frac{a_{21} + a_{22}}{2} \times \frac{b_{21} + b_{22}}{2} \right]}{2} \quad (1)$$

ここに、A：ボス供試体の加圧面積（mm²）

a₁₁, a₁₂, b₂₁, b₂₂：図-2による加圧面の寸法

6. ボス供試体の圧縮強度の算定

次式で計算し、有効数字3桁まで求める。

$$P_b = \frac{P}{A} \quad (2)$$

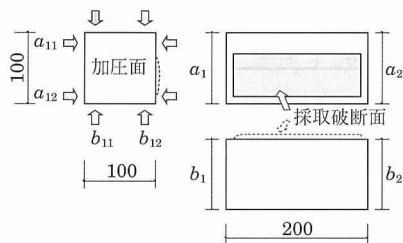


図-2 ボス供試体の加圧断面の算定

ここに、P_b：ボス供試体の圧縮強度（N/mm²）

P：ボス供試体の圧縮強度試験における最大荷重（N）

A：ボス供試体の加圧面積（mm²）

7. 供試体の圧縮強度試験

ボス供試体の圧縮強度試験は、供試体の水中浸漬を行わないことと加圧面の研磨を行わないこと以外は、JISA 1108 に準じて行う。

3) 強度推定（φ100mm コア圧縮強度に換算）

ボス供試体による強度推定は、既存の試験データを基にボス供試体強度とφ100mmのコア強度の関係から推定します。

これまで実施した実大部材における20 N/mm²程度の汎用強度のコンクリートから120 N/mm²級の超高強度コンクリート領域までの研究成果³⁾のとりまとめたデータを図-3に示します。図よりボス供試体強度から構造体強度を式(1)により推定することができます。

$$F_{cb} = 1.0 P_b - A/P_b \quad (1)$$

ここに、F_{cb}：構造体強度の推定値（N/mm²）

P_b：ボス供試体強度の値（N/mm²）

A：実験から求めた係数（≒40 N/mm²）

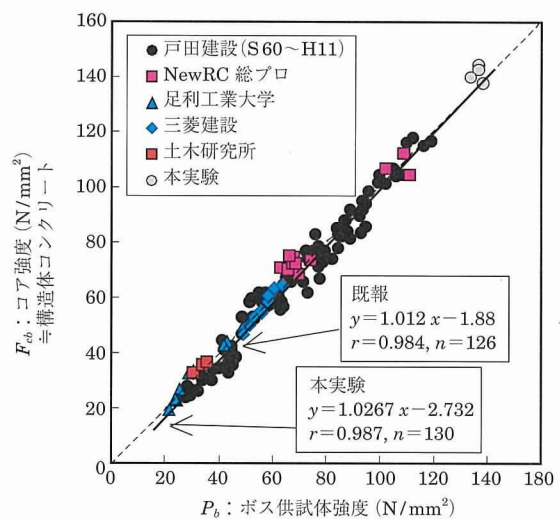


図-3 ボス供試体強度とコア供試体強度との関係³⁾

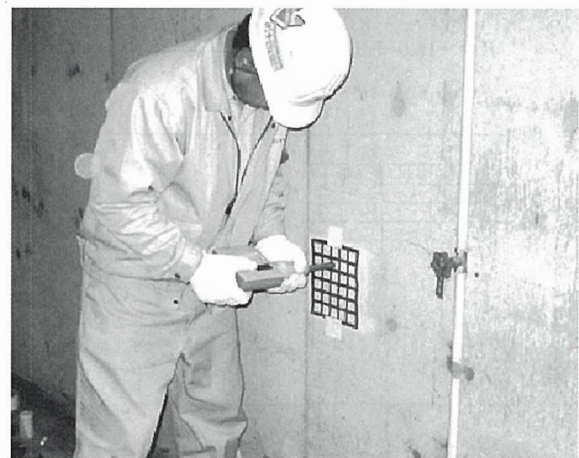


写真-3 リバウンドハンマーによる測定状況

4) 適用上の注意点

ボス供試体はコンクリート打ち込み前に構造体の型枠にボス型枠を取付けなくてはならないことから適用できるのは新築構造物にかぎられます。また、採取位置についてもボス型枠取付け位置にかぎられること以外は、標準径コアよりも取り扱いやすい特徴を有しています。

4. 反発度法による強度推定

4.1 リバウンドハンマーによる強度推定

1) 概要

本方法は、反発度が弾性係数と比例関係にあり、弾性係数と圧縮強度との強い相関関係を利用して、リバウンドハンマーによりコンクリート表面の反発度を求め、その反発度からコンクリートの圧縮強度を推定する方法です⁸⁾。反発度の測定は、比較的熟練を要することなく容易に非破壊で行えることから、既存構造物コンクリートの各種診断の一次調査手法として広く採用されています。

また、土木構造物においては、構造物の品質保証の観点から強度を検査する手法として、竣工検査等に用いられています。

2) 試験方法

平成 15 年に JISA 1155 「コンクリートの反発度測定方法」が JIS として制定されました。

この規格の範囲は反発度の測定方法に限定されています。リバウンドハンマーの規格の統一や反発度の測定結果から強度を推定する方法については、現在のところまだ規格化されていません。

3) 強度推定 (φ 100 mm コア圧縮強度に換算)

原則として、強度を推定しようとするコンクリートと同一の配合を含む 3 種類の強度となる配合にて供試体を作製し、これらの反発度と標準径のコア強度とを測定し、その関係式を用いて強度を推定します。

または、水セメント比などが同様のコンクリートについて、図 - 4 に示すような既往の信頼すべき相関図表または関係式を用いて強度の推定を行います。一般には、以下に示す提案式が提案されています。

日本建築学会式

$$F = 0.71 R + 9.8 \text{-----}(2)$$

日本材料学会式

$$F = -18.0 + 1.27 R \text{-----}(3)$$

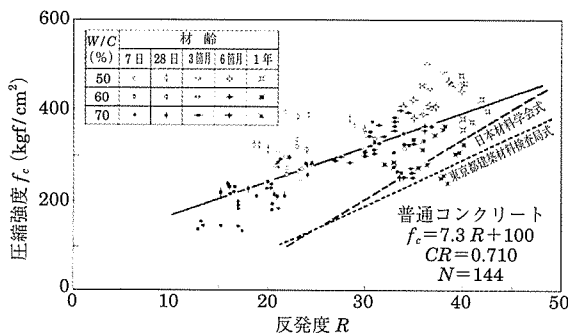


図 - 4 反発度と圧縮強度の関係⁷⁾

東京都建築材料検査局式

$$F = -10.8 + 0.98 R \text{-----}(4)$$

ここに、F：コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

R：反発度

これらの式を用いる場合でも、コア採取による直接試験を併用して推定精度の確認する必要があります。

4) 反発度の各種補正

・打撃角度に応じた補正

反発度は、打撃方向に影響を受けるので、反発度を扱う際には、図 - 5 に示すような打撃角度による補正值⁹⁾が必要となります。

・含水状態に応じた補正

反発度は、測定面のコンクリートの乾湿状態に影響を受け、測定面が湿っている場合には、乾燥状態の場合と比較して測定値が小さくなることから、その際の補正值⁹⁾が提案されています。

・材齢に応じた補正

長期材齢のコンクリート強度から、材齢 28 日強度を推定する場合に乘じる係数の一例を表 - 1 に示します。

・コンクリートの応力状態 (圧縮) による補正

コンクリートが打撃方向に直角な圧縮応力を受ける場合は、その圧縮応力に応じて図 - 6 に示すような補正⁹⁾が必要です。

5) 適用上の注意点

反発度法は、使用材料、骨材寸法、配合、施工、環境条件、中性化深さおよびコンクリート表面の粗度や乾湿等の

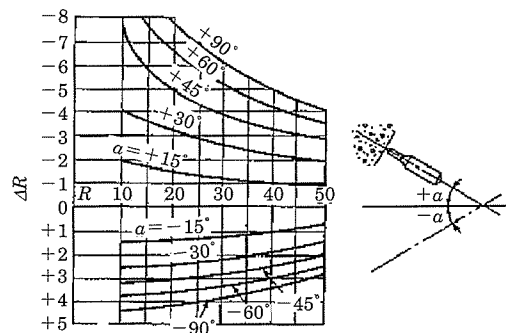


図 - 5 打撃角度による補正⁹⁾

表 - 1 材齢係数⁴⁾

材齢 (日)	28	100	300	500	1 000	3 000
α	1.00	0.78	0.70	0.67	0.65	0.63

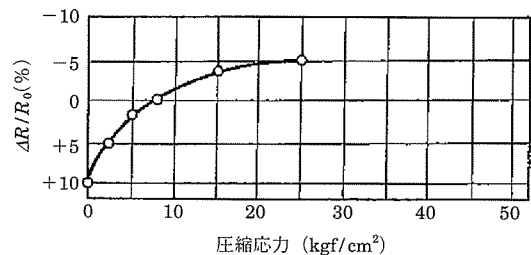


図 - 6 コンクリートの応力状態 (圧縮) による補正⁹⁾

影響を受けるため、より精度の高い推定をするためには多くの課題が残っています。

高強度コンクリートやプレストレストコンクリート構造物を対象としたリバウンドハンマーによる強度推定は、普通コンクリートを対象とした従来の提案式では強度を低く推定されることがあるので、それらについては既往の研究報告^{10), 11)}を参照してください。

6. おわりに

本講座では、直接強度試験および局部破壊試験を含む非破壊試験による構造体コンクリートの強度の推定方法を概説しました。スクラップアンドビルトの時代からストックの時代へと移行し、コンクリート構造物は、必要な時期に適切な方法で診断することが、必要不可欠なこととなります。それには、本講座に示した試験方法についてもそれぞれ長所短所があり、それらを利用者が正しく理解し、試験の目的に応じて適切な方法を選定し、上手に利用していくことが大切なことです。

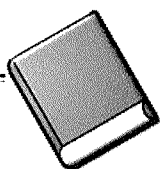
参考文献

- 1) 若林ほか：小径コアによる構造体コンクリート強度の推定方法に関する研究，日本建築学会構造系論文集，No.555，pp.1-8，2002.3，No.561，pp.9-16，2002.11
- 2) 国本ほか：小径コアを用いたコンクリートの圧縮強度試験方法の

検討，コンクリート工学年次論文報告集，第22巻，第1号，pp.427-432，2000.6

- 3) 篠崎ほか：ボス供試体による構造体のコンクリートの圧縮強度試験方法と強度測定，日本非破壊検査協会，シンポジウム「コンクリート構造物の非破壊検査への期待」論文集（Vol.1），pp.89-98，2003.8
- 4) 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，pp.10-28，1983.2
- 5) 十代田ほか：非破壊試験によるコンクリート品質検査法の総合的検討（その3），日本建築学会構造系論文集，No.538，pp.35-41，2000.12
- 6) 日本コンクリート工学協会：コンクリート便覧（第2版），pp.819-820，1996
- 7) (独) 建築研究所：既存マンション躯体劣化調査・診断技術マニュアル，(財) 住宅リフォーム・紛争処理支援センター，平成14年3月
- 8) 谷川ほか：コンクリート構造物の非破壊検査・診断方法，セメントジャーナル社，pp.19-32，2004.9
- 9) 土木学会：硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法（JSCE-G 504-1999）
- 10) 中瀬ほか：高強度コンクリートへのテストハンマーの適用性に関する実験的検討，(財) 日本非破壊検査協会，平成16年度秋季大会講演概要集，pp.59-60，2004.11
- 11) 谷口ほか：プレストレストコンクリート部材へのテストハンマーの適用性に関する検討，プレストレストコンクリート，pp.47-52，Vol.44，No.5，Sep. 2002

【2004年12月8日受付】



● 関連書籍のご案内

● 初期応力を考慮した RC 構造物の非線形解析法とプログラム

平成16年3月発行

田辺忠顕編著／技報堂出版刊

B5判・358頁（本体価格6,000円＋税5%）

技報堂出版

〒102-0075 東京都千代田区三番町8-7 第25興和ビル

TEL03(5215)3165 FAX 03(5215)3233