

第14回 品質管理 (その2)

講師：長谷川 剛*

1. はじめに

最終回となる今回のテーマは、前回に引き続き品質管理です。品質管理 (その2) では、コンクリート構造物が完成したあとの品質確認や耐久性、劣化度などを判断するために測定される構造物の検査について説明します。

2. 非破壊による検査

コンクリートの品質管理には、硬化したあとのコンクリート強度や欠陥の有無を検査し、所定の性能を満足していることを確認することが求められます。完成後の構造物の主な検査手法として非破壊による検査手法があり、その名のおり構造物にほとんど損傷を与えることなく、構造物の健全度や劣化度を数値化した測定値によって客観的に判断することができます。ここでは主にコンクリートの強度や鉄筋かぶりを測定する非破壊検査手法の代表的なものをいくつか示します。

2.1 反発度法

反発度法による強度の推定は、リバウンドハンマー (またはテストハンマーともいう) (写真 - 1) を用いて、コンクリート表面を重錘で打撃し、表層近傍の硬度を測定することによってコンクリート強度を推定するもっともよく知られた検査方法です。ここで得られる測定値の平均を測定反発度といい、コンクリートの乾湿、打撃方向などの影

響による補正値を加えたものを基準反発度といいます。測定反発度は全測定値の平均を計算し、四捨五入して有効数字を3けたに丸めた値を採用します。コンクリート圧縮強度は、基準反発度から実験的に得られた換算式または換算図を用いて推定します。強度推定が可能なコンクリートの設計基準強度は $10 \sim 60 \text{ N/mm}^2$ といわれており、PC 構造物のような高強度コンクリートでは精度が低くなる傾向があります。

(1) 測定規準について

測定規準は、JIS A1155-2012 (コンクリートの反発度の測定方法) に示されるほか、土木学会規準では JSCE-G504-2013 (硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法 (案))、日本建築学会では CTM-16 (反発度法、超音波法及びその複合法による構造体コンクリートの強度推定のための非破壊検査方法 (案)) に示されています。

(2) 測定時の打撃点数

測定に必要な打撃点数は、JIS および日本建築学会では部材の縁部から 50 mm 以上離れた内部から選定し、互いに $25 \sim 50 \text{ mm}$ 間隔をもった9点、土木学会では縁部から 30 mm 以上離れたコンクリート面で互いに 30 mm 以上の間隔をもった20点について行うと規定されています。

(3) 測定箇所の選定

測定箇所の選定にあたっては、次のような基準項目があります。

- ① 厚さが 100 mm 以上の床版または壁部材、一辺の長さが 150 mm 以上の断面を持つ柱または梁部材のコンクリート表面とする。
- ② コンクリートの表面組織が均一で、かつ、平滑な平面部とする。
- ③ 豆板や空隙、露出している砂利などの部分は避ける。

(4) 測定時の注意事項

測定値を安定した結果にするためには、以下のような項目に注意する必要があります。

- ① 反発度は、コンクリート面となす角度の影響を強く受けるため、打撃をする際には測定面に対して直角方向で行う。
- ② バネ式ハンマーは、鋼棒に徐々に力を加えて打撃を起こさせてゆっくりと測定する。

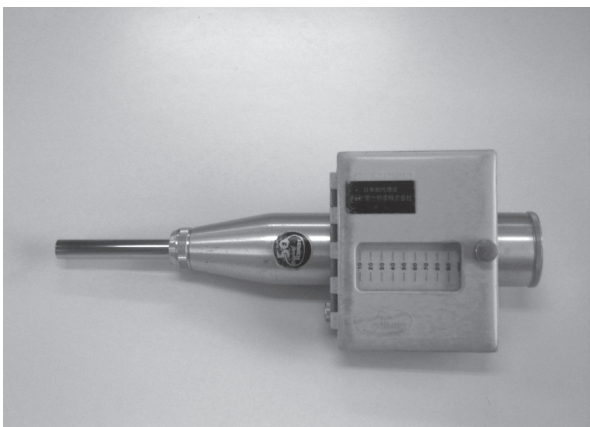


写真 - 1 リバウンドハンマー (NR型)

* Tsuyoshi HASEGAWA : ドービー建設工業 (株) 技術部

さらに、JIS および日本建築学会では、

- ③ 環境温度が 0 ～ 40℃ の範囲内で行う。
- ④ ハンマーの作動を円滑にさせるため、測定に先だって数回試し打撃を行う。
- ⑤ 測定後のリバウンドハンマーの点検によって、リバウンドハンマーの反発度が製造時の反発度から 3% 以上異なっていたら、直前に行った点検以降の測定値は無効とする。
- ⑥ 測定面に浮き水がある場合には、これを取り除き、測定面に凹凸がないことを確認して測定する。

とくに⑥については、濡れているコンクリートや湿っているコンクリートで反発度を測定した場合、気乾状態で測定したものと比較すると反発度が小さくなる傾向があるため、雨中や雨上がりなど、測定面が湿った状態での測定は避ける方がよいです。また、リバウンドハンマーは、多数の打撃を行ったあとや、長期間使用しなかった場合などに正しい測定結果を得られなくなる場合があるため、定期的な点検整備が重要です。また、テストアンビル（検定器）（写真 - 2）を用いて測定値が正しい値を示しているかどうか確認することも重要です。



写真 - 2 テストアンビル（検定器）

2.2 弾性波法

弾性波を用いたコンクリート強度推定方法に衝撃弾性波法があります（写真 - 3）。この測定方法は、打撃するインパクト（鋼球）と受信センサーの距離を変化させながら伝播時間を測定することによって、距離と伝播時間の傾きから弾性波速度を求め、コンクリートの強度推定を行う試験方法です。物理的な打撃を行うため、周波数帯が低くなり、一般的に 20 kHz 以下の低い周波数成分が多い周波数帯を使用します。

弾性波は、コンクリートの弾性率や密度によって伝播する速度が変化するため、この性質を利用して強度推定を行います。また、コンクリート構造物の内部に空洞などが存在した場合には、その空洞部分で反射する性質もあるため、空洞を検出することやひび割れの深さを確認することも可能です。

また、最近では PC 鋼材の両端部にインパクトと受信セ



写真 - 3 衝撃弾性波による測定状況¹⁾

ンサーを設置し、PC 鋼材を伝播する弾性波伝播速度を測定することで PC 鋼材のグラウト充填状況を確認することができます。グラウトが十分に充填されている場合は、グラウトの拘束によって伝播エネルギーが減衰するため、出力された弾性波の振幅が小さくなり、伝播速度は充填されていない場合に比べて遅くなる傾向があり、その特性を利用して

2.3 超音波法

超音波を用いた強度推定（超音波法）には、使用周波数帯は 20 kHz 以上の超音波域を使用します。発振探触子という超音波を発振するセンサーを用い、シリコングリスなどの接触剤を介して発振します。コンクリート表面に設置した受信探触子によって、コンクリート内部を伝播する超音波の伝播時間、波形、周波数、位相などの変化を測定します。その結果から強度推定を行う試験方法です。超音波法には、センサーの配置方法によって表面走査法、透過法、反射法、斜角法などがあります。表面走査法の概念図を図 - 1 に示します。

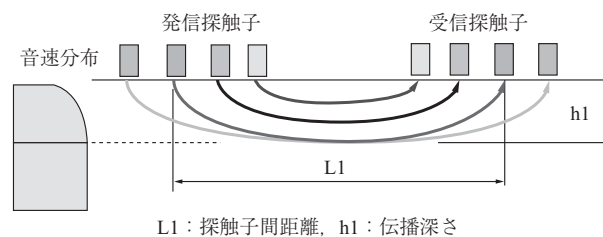


図 - 1 表面走査法による探触子間隔と伝播時間の測定¹⁾

2.4 ボス供試体を用いた微破壊試験法

ボス供試体（BOSS：Broken Off Specimens by Splitting）を用いたコンクリートの強度推定方法は、構造体コンクリート打設前に、構造体型枠にあらかじめボス型枠を取り付け、コンクリート打設後、ボス型枠により成形される凸型の角柱供試体（ボス供試体）を構造物から割り取り、圧縮強度試験を行うことで、コンクリート構造物の強度を直接測定する方法です。ボス供試体の作製方法、圧縮強度試験方法は、日本非破壊検査協会規格 NDIS 3424：2011（「ボ



ボス型枠設置状況 取り出した試験体

写真 - 4 ボス供試体による強度測定¹⁾

ス供試体の作製方法及び圧縮強度試験方法」及び「同解説」に規定されています。この試験方法の特徴は、構造物のコンクリートとはほぼ同じ環境や施工状況で供試体が製作されるため、コア採取した圧縮強度試験体と同様な結果が得られ、コア採取のように構造物へ損傷を与えることがないところです。

2.5 小径コアによる微破壊試験法

小径コアによる強度推定方法は、直径 25 ～ 30 mm 程度の小径コアを構造物から採取し、構造物の強度を直接測定する方法です。採取するコア径が小さいため、配筋が密な主要構造部材から採取しても鉄筋破断の危険性が低く、構造物に与える損傷を軽微にできます。また、コア採取跡の補修は容易に行え、圧縮試験機の容量が小さくて済むため、簡易な試験機を用いて現場で強度推定が可能です。一般的な $\phi 100$ mm のコア強度と小径コア強度の関係から強度の推定式が提案されています⁴⁾。しかし、小径コアの場合には、骨材による影響を受けやすいため、十分に検討が必要です。コア試験体の比較を写真 - 5 に示します。

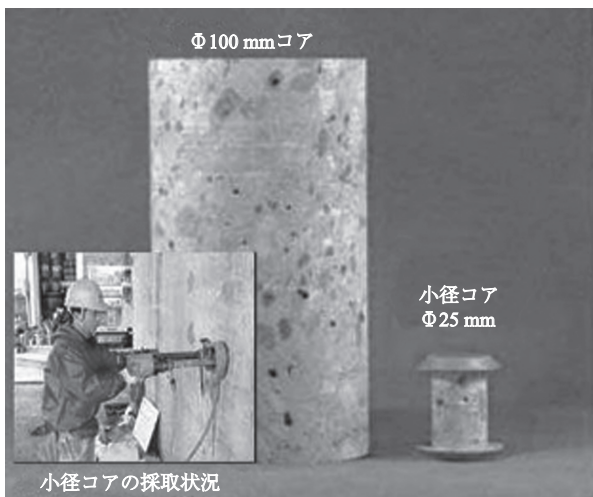


写真 - 5 小径コアによる強度測定試験体¹⁾

2.6 電磁誘導法

電磁誘導法は、コイルを用いて導体である鉄筋に磁場を与え、これにより生じた電磁現象、電位差や位相差などを利用して、コンクリート中の鉄筋のかぶりや径などの情報を得る非破壊検査法です。電磁誘導法の測定機器の例を写真 - 6 に示します。コンクリート中に空洞、豆板などがあっても鉄筋位置の推定が可能です。それら内部欠陥の検出には適しません。適用範囲は、コンクリート深さ方向



写真 - 6 電磁誘導法の測定機器の例

は 100 mm 以内、探査対象の鉄筋は D 13 ～ D 38 とされています。

2.7 電磁波レーダ法

電磁波（マイクロ波）は、コンクリート中に鉄筋などの電気的特性（誘電率）の異なる物質が存在する場合、それらの境界面において反射します。電磁波レーダ法は、この反射して戻ってくるまでの時間から、コンクリート中の埋設物（鉄筋、シースなど）およびコンクリート部材厚、空洞などを調査する非破壊検査法です。測定機器の例を写真 - 7 に示します。コンクリート深さ方向の適用範囲が、電磁誘導法より大きいため、かぶりが大きい場合などに用いられます。また、計測面に対して、格子状に計測して測定機器に付属する解析ソフトでそれらの情報を合成することで、写真 - 8 のような 2 次元の平面図も作成できます。



写真 - 7 電磁波レーダ法の測定機器の例

2.8 非破壊検査のまとめ

ここまで説明した非破壊検査手法の用途と適用性を表 - 1 に示します。

3. コア供試体による検査

コンクリート構造物の圧縮強度は、構造物を設計するうえで重要な力学特性値となります。コア供試体を採取してコンクリートの特性を検査することにより、直接的にコンクリートの状態を確認することができます。コア供試体の検査では、圧縮強度のほか、静弾性係数や中性化深さ、塩

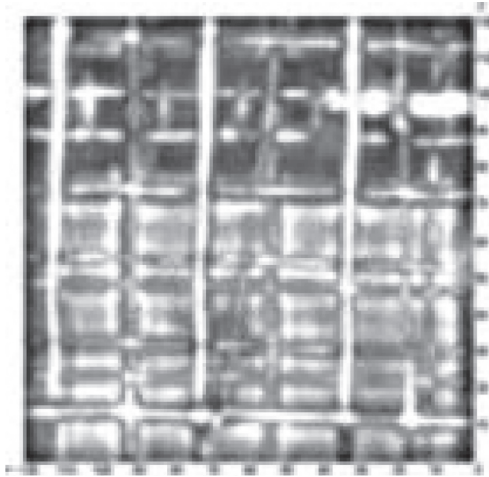


写真 - 8 計測データの解析結果¹⁾

表 - 1 非破壊検査手法の適用性

測定項目		測定方法	反発度法	衝撃弾性波法	超音波法	電磁誘導法	電磁波レーダ法	ボス供試体	小径コア
コンクリート	躯体厚さ			○	△		△		
	内部空隙			○	△		△		
	ひび割れ深さ			○	○				
	コンクリート強度	○	○	○				○	○
鉄筋	位置					○	○		
	かぶり厚					○	○		

○：優れる
△：やや優れる

化物含有量なども同一供試体で検査することができます。
コアの採取は、コンクリートが十分に硬化して粗骨材とモルタルとの付着が採取作業によって害を受けなくなった時期に行います。コアは打継面、型枠際は避け、鉄筋がない箇所から採取し、なるべく採取する供試体の強度への影響が少ない位置を選定します。一般に、コア供試体の形状・寸法は、円柱で直径を粗骨材の最大寸法の3倍以上とし、高さ/直径は1.90～2.10の範囲を原則とします。どのような場合でもその比率が1.00を下回ってはいけません。高さ/直径が1.90以下の場合、試験値が大きくなるので、補正をして強度を推定します。前述の小径コアによる微破壊試験法と比べて、コア削孔によって構造物へ損傷を与えるため、配筋状況やPC鋼材位置などを十分に精査して採取位置を決定する必要があります。そのほか、調査時の留意点としては、以下のようなものがあげられます。

- ① コアの抜き取り後は速やかに補修を行う。
- ② 劣化が進行している位置からコア採取する場合は劣化因子を推定するために、健全な位置からもコアを採取することが望ましい。
- ③ コアを採取する際、コアを完全に抜き取るか、途中で折って取り出すかの判断が必要となる。
コアの強度試験は、JIS A1108-2012（コンクリートの圧

縮強度試験法）や JIS A1113-2012（コンクリートの割裂引張強度試験方法）、JIS A1149-2012（コンクリートの静弾性係数試験方法）に準じて行います。

4. 荷重試験による検査

荷重試験は、コンクリート構造物の安全性を確認するため、必要に応じて行う試験です。荷重試験は、早期に荷重して構造物にひび割れなどが生じることを避けるため、コンクリート強度が十分得られたことを確認したのちに行います。また、設計を十分理解して、荷重の大きさ、種類、荷重方法を定め、過大となるような荷重を荷重してはいけません。一般に荷重試験は、静的かつ荷重速度を緩やかにを行い、振動衝撃などの影響を受けないように荷重します。さらに、試験中および試験前後では、構造物の強度や耐久性に影響するひび割れ、大きな残留変形、その他の欠陥を生じていないかどうかを調べなければなりません。

橋梁などの構造物では、耐荷力やたわみ量を調査するために、10t ダンプトラックに碎石などを積載し、輪荷重を調整したうえで設計した位置に荷重します。たわみを計測して計算値との差異を確認する方法、ひずみゲージなどを設置してひずみ値の計測を行い、どの程度のひずみが発生しているのかを確認する方法などが挙げられます。荷重試験の状況を写真 - 9 に示します。



写真 - 9 荷重試験実施状況

5. 演習問題

今回の講座のまとめとして、○×形式の演習問題を用意しましたので、チャレンジしてみてください（PC 技士試験における過去問題を一部アレンジしています）。

- ① テストハンマーによる測定反発度は、1箇所あたり10点の測定値を平均して有効数字1桁に丸める。
- ② 反発度法は、コンクリートの内部欠陥や鉄筋かぶりを確認するのに用いられている。
- ③ 弾性波法はコンクリートの強度を推定するのに用いられる。
- ④ 超音波法の使用周波数帯は20 kHz以下の超音波域を使用する。
- ⑤ ボス供試体の推定コンクリート強度は、コア採取した

圧縮強度試験体と同様な結果を得ることができる。

- ⑥ 小径コアによる微破壊検査法は、コア採取の際に鉄筋などに損傷を与える危険性は低いが、骨材による影響を受けやすい。
- ⑦ 電磁誘導法は、コンクリートの空洞を調査するのに用いることができる。
- ⑧ 電磁波レーダ法は電磁誘導法に比べて適用範囲が小さい。
- ⑨ 構造物からコア採取して強度試験を行う場合、コアの直径は最大粗骨材寸法程度とし、高さは直径の2倍程度あればよい。
- ⑩ 強度検査には、非破壊検査、構造物より採取した試料による検査、載荷試験がある。

【演習問題の解答】

① × ② × ③ ○ ④ × ⑤ ○ ⑥ ○ ⑦ × ⑧ × ⑨ × ⑩ ○

6. おわりに

今回の講座では、非破壊検査手法をはじめ、微破壊検査、載荷試験などについて解説しました。非破壊検査は、本特集号でも取り上げられているように、日々新しい検査機器や方法が提案されています。つね日頃の情報収集が必要です。本講座をきっかけとして、コンクリートの専門技術者としての知識を深めてください。

7. むすびに

54巻5号から連載をはじめた「わかりやすいPC技術」は、全14回の講座をお届けいたしました。本講座も今回で最終回となりました。以下に全14回の掲載一覧を記し、むすびといたします。次回からは「PC技術者のための構造解析入門」と題して構造解析の基礎知識から骨組解

析、耐震解析、FEM解析、温度応力解析について解析の専門家にご執筆いただく予定です。次期講座にご期待ください。

「わかりやすいPC技術」

54巻5号	第1回	設計（その1）
54巻6号	第2回	設計（その2）
55巻1号	第3回	PC構造物の材料（その1）
55巻2号	第4回	PC構造物の材料（その2）
55巻3号	第5回	コンクリートの施工（その1）
55巻4号	第6回	コンクリートの施工（その2）
55巻5号	第7回	PC鋼材およびプレストレッシング
55巻6号	第8回	PCグラウト（その1）
56巻1号	第9回	PCグラウト（その2）
56巻2号	第10回	PC橋の架設工法（その1）
56巻3号	第11回	PC橋の架設工法（その2）
56巻4号	第12回	PC橋の架設工法（その3）
56巻5号	第13回	品質管理（その1）
56巻6号	第14回	品質管理（その2）

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート工学会、プレストレストコンクリート技術、2014.7
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書【規準編】、2013年制定
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の品質管理および維持管理のための試験方法、2007.3
- 4) 日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術'14、2014.2

【2014年10月14日受付】



刊行物案内

プレストレストコンクリート技術

2013年7月

（PC技士試験講習会テキスト）

別冊として、過去5年間のPC技士試験問題、正解および解説を掲載しています。

現金書留または郵便普通為替にてお申込みください。

（平成25年改訂）

定 価 6,000円／送料300円

会員特価 5,000円／送料300円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会