

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試行要領(案)

平成18年9月

国土交通省大臣官房技術調査課

目 次

| | |
|------------------------|----|
| 1. 適用範囲..... | 1 |
| 2. 測定の対象等..... | 1 |
| (1) 対象構造物に対する測定方法..... | 1 |
| 3. 測定方法..... | 3 |
| (1) 試験法の条件等..... | 3 |
| (2) 試験回数、測定位置..... | 4 |
| 4. 測定者..... | 7 |
| 5. 事前調査..... | 7 |
| 6. 判定基準..... | 8 |
| 7. 報告..... | 11 |
| 8. 検査の実施..... | 11 |

1. 適用範囲

この要領は請負者の施工管理（出来形管理）及び発注者の検査において、コンクリート構造物の強度測定を行う場合に適用する。なお、対象構造物としては、当面、橋梁上・下部工（工場製作のプレキャスト製品は対象外）とする。

また、完成検査、中間技術検査等において、発注者から足場設置等の検査に必要な指示があった場合は検査できるように準備するものとする。

本要領の「2.測定の対象等」～「7.報告」については、請負者の施工管理（出来形管理）に関する記述であり、「8.検査の実施」については、発注者の検査に関する記述となっている。

2. 測定の対象等

（1）対象構造物に対する測定方法

コンクリート構造物の強度測定の実験は、構造物の対象部位毎に表 1 に従い実施する。

強度測定に用いる技術は、「微破壊試験」と「非破壊試験」に大別され、その特徴を表 2 に示す。

本測定の対象構造物である、橋梁上部、橋梁下部工に対して、完成後不可視部分となるフーチング部は、「ボス供試体」による試験を標準とする。これは、供試体による試験精度が、非破壊試験に対して高いことに加え、型枠脱型直後から供試体の採取が可能であり、埋戻しなどの工程への影響が避けられるためである。さらに、ボス供試体の割取り面は、平滑な状態ではないが、埋戻しされる場合、補修の必要性がない。なお、埋戻し等の工程に支障がない場合には、ボス供試体と同じ微破壊試験であり、同等の試験精度が得られる「小径コア」による試験を実施しても良い。

完成後可視部分である、柱部及び桁部は、非破壊試験である「超音波」及び「衝撃弾性波」のいずれかの方法で実施する。これは、非破壊試験は、微破壊試験に比較して比較的簡易に実施できるためコンクリート構造物の初期強度のみならず、継続して試験を行うことにより、維持管理段階においてコンクリート構造物の強度を把握することができ、これにより対象構造物の品質の一層の向上を目指すものである。また、非破壊試験による強度推定値が合否判定基準を満たさない場合には、構造体に与える損傷が小さい、「小径コア」による試験を実施する。

表 1 構造物の対象部位による強度試験法

| 対象 | 対象部位 | 強度試験法 |
|-------|---------|---|
| 橋梁上部工 | 桁部 | 非破壊試験（衝撃弾性波又は、超音波） 非破壊試験において判定基準を満たしていない場合には、小径コア試験を実施（図 2 参照） |
| 橋梁下部工 | 柱部、張出し部 | 非破壊試験（衝撃弾性波又は、超音波） 非破壊試験において判定基準を満たしていない場合には、小径コア試験を実施（図 2 参照） |
| | フーチング部 | ボス供試体による試験 工程等に支障がない場合には、小径コアによる試験を実施しても良い |

表 2 各種強度試験法の特徴

| 試験法 | | 補修の要否 | 試験可能時期 | 試験実施必要条件 | 使用コンクリートの条件 | 備考 |
|-----|-------|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--|---------------------------------|
| 微破壊 | ボス供試体 | 不要 (美観等の問題により必要な場合もあり) | 脱型直後から可能 (注1) | 必要水平幅としてボス型枠寸法 + 100mm 以上 | スランブ 8cm (注3) 粗骨材最大寸法 40mm | ボス型枠を設置する必要があるため事前に発注者との協議が必要 |
| | 小径コア | 必要 | 強度 10N/mm ² 以上より可能 (注2) | 部材厚さとしてコア直径の2倍以上 | 圧縮強度 70N/mm ² 粗骨材最大寸法 40mm | 鉄筋探査により鉄筋がない位置を選定 |
| 非破壊 | 超音波 | 不要 | 脱型直後から可能 (注1) | 必要幅として 1000mm 以上(探触子設置間隔) | 特になし | コンクリートの種類ごとに圧縮強度推定に用いる検量線の作成が必要 |
| | 衝撃弾性波 | | | 必要幅として 450mm 以上(探触子・ハンマー間隔) | 特になし | |

注1) 現場の工程に支障の及ばない範囲において、可能な限りコンクリート材齢 28 日に近い時期

注2) コンクリートの配合によるが目安として打設日から 1 週間以後

注3) スランブ 8cm は購入時に指定する値であり、測定値は許容の下限値である 5.5cm 以上のコンクリートを使用

3. 測定方法

(1) 試験法の条件等

強度測定に用いる各試験法は、表 3 に示す試験法の条件を満たすものとする。具体的な測定方法については、表 3 に示す各試験法による測定要領（（独）土木研究所 HP に掲載予定）を参考として実施するものとする。

表 3 試験法の条件及び関係機関、規格及び関連要領

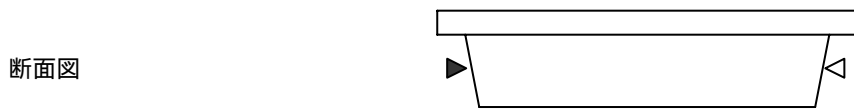
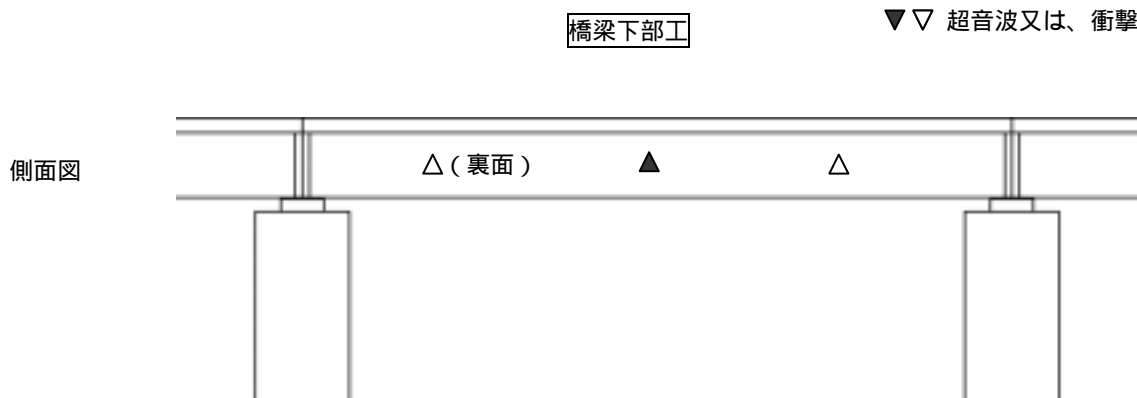
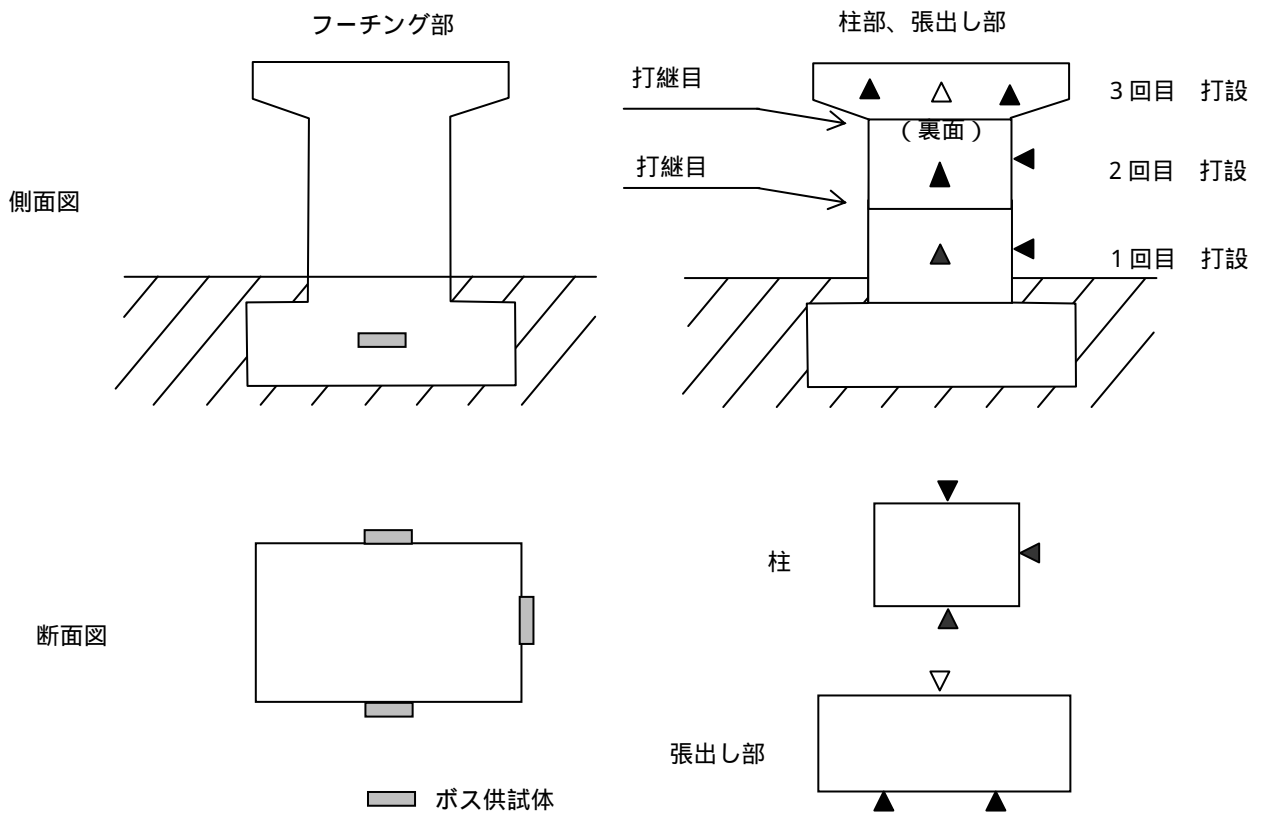
| 試験法 | 試験法の条件 | 関係機関 | 規格 | 各試験法による測定要領 | |
|-----|--------|--|-------------------------------|--|--|
| 微破壊 | ボス供試体 | ・ボス型枠の作成・設置・強度測定・強度補正方法について確立している方法を用いること | (独)土木研究所 等 | 日本非破壊検査協会規格 (NDIS3424) | ・ボス供試体による新設の構造体コンクリート強度測定要領 (案) |
| | 小径コア | ・50mm以下とし通常用いられている 100mmコアに対する強度補正方法が確立していること ・寸法効果が確認されている試験法であること | 15~30mm (ソフトコアリング協会) | ソフトコアリングC+ ((財)土木研究センター「建技審証第0317号」) 等 | ・小径コア試験による新設の構造体コンクリート強度測定要領 (案) |
| | | | 10mm(超小径コア:千葉工業大学・(独)土木研究所) 等 | | |
| 非破壊 | 超音波 | ・コンクリート構造物の音速測定方法、強度推定方法が確立されていること | (独)土木研究所 等 | | ・超音波試験 土研法による新設の構造体コンクリート強度測定要領 (案) |
| | 衝撃弾性波 | ・コンクリート構造物の弾性波速度測定方法、強度推定方法が確立されていること | (独)土木研究所、iTECS 技術協会 等 | | ・衝撃弾性波試験 iTECS 法による新設の構造体コンクリート強度測定要領 (案) ・衝撃弾性波試験 表面 2 点法による新設の構造体コンクリート強度測定要領 (案) |

(2) 試験回数、測定位置

試験は、原則として表 4 に示す回数の測定を行うこととし、測定位置は、図 1 を参考として可能な限り対象構造物の異なる側面において打設高さの中間付近を選定する。ただし、コンクリート配合が異なる場合には、その都度表 4 に示す試験回数の測定を実施すること。また、試験回数や測定位置について、対象構造物の形状や構造により上記により難しい場合には、発注者と協議の上変更してもよい。

表 4 対象部位における試験回数

| 対象 | 対象部位 | 試験回数 |
|-------|---------|--|
| 橋梁上部工 | 桁部 | 非破壊（超音波又は、衝撃弾性波）により打設回毎、かつ、150m ³ ごとに1回の試験を行うことを原則とする。 また、試験回数3回以上で判定ロットを構成する。 1回の試験における測定は3測線とする。 小径コア試験を実施する場合は、1回の試験あたりコアを2本採取する。 |
| 橋梁下部工 | 柱部、張出し部 | 非破壊（超音波又は、衝撃弾性波）により打設回毎、かつ、150m ³ ごとに1回の試験を行うことを原則とする。 また、試験回数3回以上で判定ロットを構成する。 1回の試験における測定は3測線とする。 小径コア試験を実施する場合は、1回の試験あたりコアを2本採取する。 |
| | フーチング部 | 1回の試験に用いるボス供試体は1供試体とし、1フーチングにつき3供試体以上（試験回数3回以上）とし、450m ³ 以上の場合は150m ³ ごとに1回の試験を行う。 小径コア試験を実施する場合は、コアを6本以上採取する。 |



橋梁下部工

▼▽ 超音波又は、衝撃弾性波測線

橋梁上部工

▼▽ 超音波又は、衝撃弾性波測線

図 1 測定位置 (例)

【測定位置決定及び測定に際しての留意点】

各測定方法において測定位置を決定する際には、下記の留意事項に配慮し決定するものとし、5. 事前調査における施工計画書に記載するものとする。

表 5 測定位置決定及び測定に際しての留意点

| 試験法 | | 留意点 |
|-----|-------|--|
| 微破壊 | ボス供試体 | 型枠取付け位置は、打設計画から高さの中間層の中央付近とし（詳細は、ボス供試体の測定要領を参照）、仮設物との干渉が生じないように留意する。 |
| | 小径コア | 鉄筋位置を避けて採取することが必要であるため配筋状態を把握する。 |
| 非破壊 | 超音波 | 鉄筋の影響を受けないよう、右図に示す様に鉄筋に対して斜めに測定する。 |
| | 衝撃弾性波 | 1 回当たり 3 測線の測定を行い、平均を 1 回の試験値とする。 |

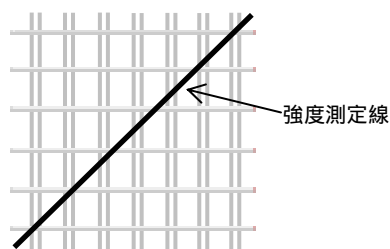


図 鉄筋に対する強度測定線例

4. 測定者

本測定の実施に際しては、各試験に固有の検査技術ならびにその評価法について十分な知識を有することが必要である。このため、表 6 に示す要件を満たす技術者が試験を実施するものとする。

表 6 各種試験法の測定者要件

| 試験法 | | 測定者要件 |
|-----|-------|--|
| 微破壊 | ボス供試体 | (社)日本非破壊検査協会が実施する講習会を受講した者 |
| | 小径コア | ・寸法効果が確認されている試験法について、豊富な実績を有する者 ・15~30 mmコアについては、ソフトコアリング協会会員で所定の講習を受けた者 |
| 非破壊 | 超音波 | 超音波試験法に関する知識、経験を有し、(独)土木研究所による講習を受けた者 |
| | 衝撃弾性波 | 衝撃弾性波試験法に関する知識、経験を有し、 iTECS 法については、iTECS 技術協会が実施する講習会を受講した者、 表面 2 点法については、(独)土木研究所による講習を受けた者 |

5. 事前調査

測定を開始する前には、測定位置の設計図及び既存資料より、測定対象のコンクリート構造物の設計諸元(コンクリートに関する資料、構造物の形状、配筋状態など)を事前に確認する。事前調査結果に基づき測定方法や測定位置等について、施工計画書に記載(4に示す測定者を含む)し提出するとともに、発注者の承認を受けるものとする。

また、超音波試験、衝撃弾性波試験については、圧縮強度推定において検量線(キャリブレーション)が必要であり、円柱供試体を作製し、強度と推定指標の定量的な関係を求める。検量線の求め方など詳細な方法については、表 3 に示す、各試験法の関連要領を参照すること。

6. 判定基準

測定により得られたコンクリート構造物の強度の適否判定は、試験回数 3 回以上で判定ロットを構成し、表 7 及び図 2 により行う。

表 7 試験回数と判定基準

| 試験回数 | 判定基準 |
|----------|-------------------|
| 3 回の場合 | 強度平均値 SL (設計基準強度) |
| 4 回以上の場合 | 強度平均値 XL (下限値) |

下限値 XL は、以下のとおり算定する。

$$\text{下限値} : XL = m' - T \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 1.11SL - 0.21SL \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

ただし、SL:設計基準強度 n:試験回数である。

上記算定式は、以下の条件により求めている。

$$\text{平均値} : m' = 1.11 \times SL \text{ (設計基準強度)} \quad (\text{変動係数 } 10\%、\text{割り増し係数 } 1.21 \text{ を前提})$$

$$\text{標準偏差} : \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 0.121 \times SL \text{ (設計基準強度)} / \sqrt{\text{試験回数}}$$

$$\text{生産者危険率 } \alpha \text{ の場合の正規偏差} : T = \sqrt{3}$$

【参考】以下に下限値 XL の算定方法と算定例を記す。

(1) XL 算定方法

円柱供試体の強度分布は、JIS に準じると以下のとおり示すことができる。

$$\text{平均値 (呼び強度)} m = SL + \sqrt{3} \sigma$$

ここで、SL:設計基準強度、 σ :標準偏差

コンクリート構造物の強度分布は、円柱供試体と同じ(標準偏差は同じ)とするが、SL に対して 10%低下するものとし、 $SL' = 0.9SL$ とするとコンクリート構造物の平均値(呼び強度) m' は、以下のとおり示すことができる。

$$\text{平均値 (呼び強度)} m' = SL' + \sqrt{3} \sigma$$

コンクリート構造物の強度分布を m' のように仮定すると、平均強度の分布より下限値は次のように示すことができる。

$$\text{下限値} : XL = m' - T \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

平均値: m' 、標準偏差: $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ 、T:生産者危険率 α の場合の正規偏差

(2) XL 算定例

具体的に設計基準強度 $SL = 27.00$ とした場合の円柱供試体とコンクリート構造物の強度分布、強度の平均値の分布は参考表 1、参考表 2 のとおりである。

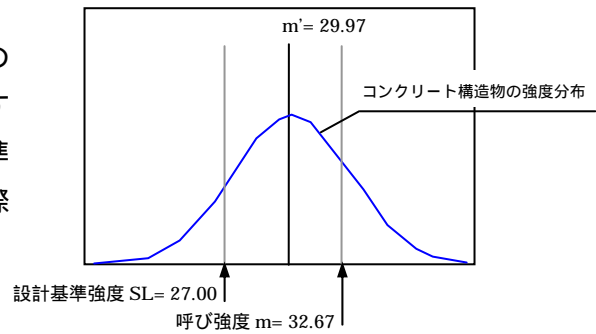
参考表 1 円柱供試体とコンクリート構造物の強度分布 ($SL = 27(\text{MPa})$ とした場合)

| | 円柱の強度分布 | コンクリート構造物の強度分布 |
|--------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 平均値(呼び強度) | $m = 1.21 \times 27.00 = 32.67$ | $m' = 1.11 \times 27.00 = 29.97$ |
| 標準偏差 | $= 0.121 \times 27.00 = 3.267$ | $= 0.121 \times 27.00 = 3.267$ |
| 設計基準強度 (MPa) | $SL = 27.00$ | $SL' = 27.00 \times 0.90 = 24.30$ |

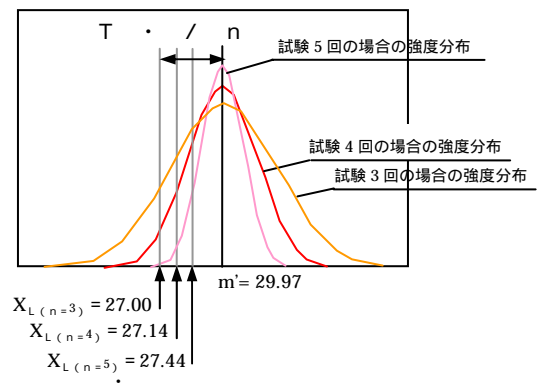
参考表 2 強度分布を考慮した判定基準 ($SL = 27(\text{MPa})$ とした場合)

| | 試験により得られたコンクリート構造物の強度の平均値の判定基準 | | | | | |
|-----------|----------------------------------|--------|--------|--------|---|---|
| | 算定式 | 3 回の場合 | 4 回の場合 | 5 回の場合 | ・ | ・ |
| 平均値(呼び強度) | $m' = 1.11 \times \text{設計基準強度}$ | 29.97 | 29.97 | 29.97 | ・ | ・ |
| 標準偏差 | $/ n$ | 1.886 | 1.634 | 1.461 | ・ | ・ |
| 判定基準 | $XL = m' - T \cdot / n$ | 27.00 | 27.14 | 27.44 | ・ | ・ |

判定値 XL を求めるに当って $T = 3$ とし、3 回の試験の場合、 $XL = 0.989SL$ となるため $XL = SL$ とする。4 回以上の場合、強度分布を考慮し設計基準強度より大きな値となる。なお、判定基準算定に際しては、小数点以下第 3 位で四捨五入する。



参考図 1 コンクリート構造物の強度分布



参考図 2 試験回数 (n 回) による強度分布

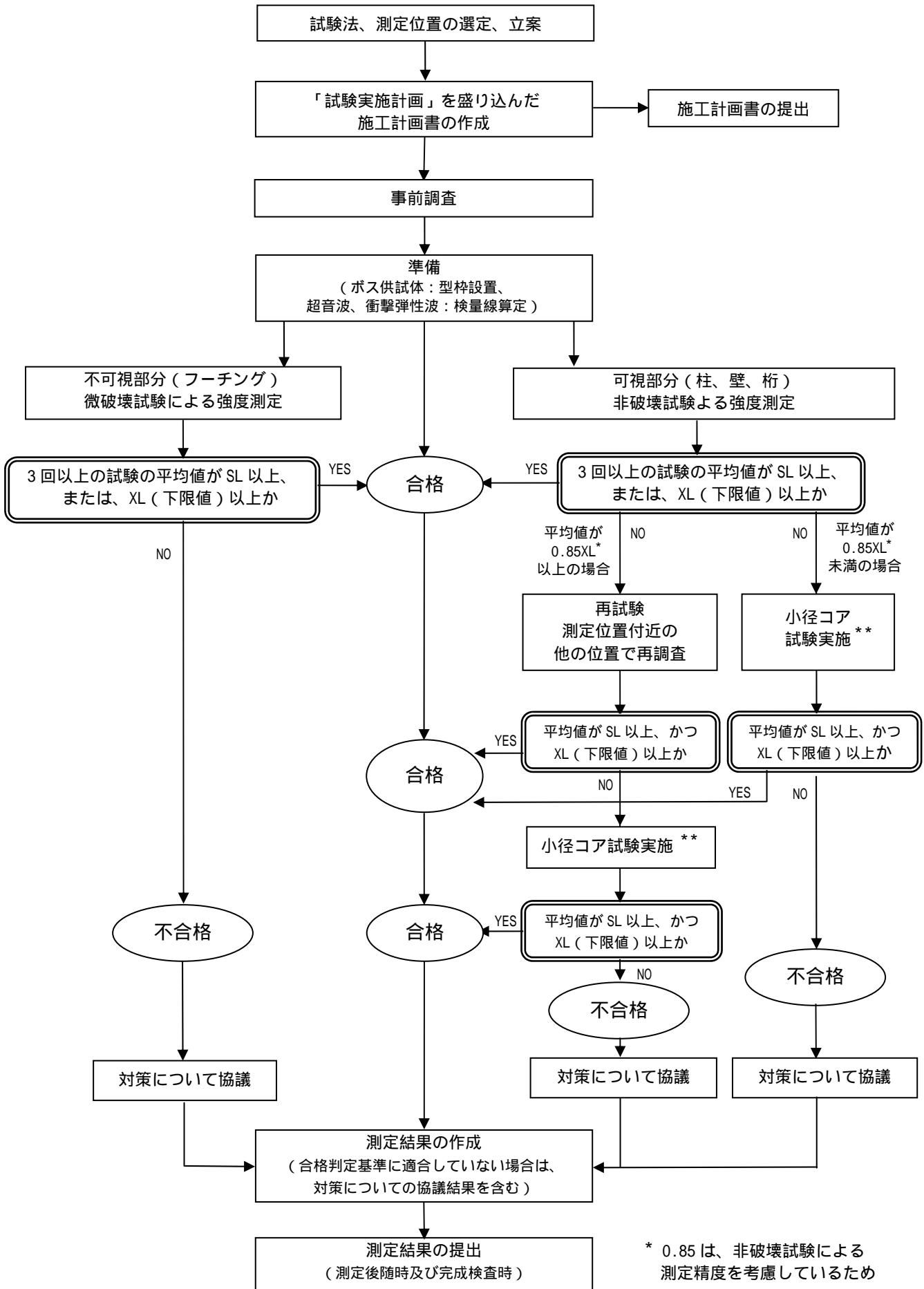


図 2 微破壊・非破壊試験の流れ

* 0.85 は、非破壊試験による測定精度を考慮しているため
 **小径コア試験を実施する際には、1回の試験当たり2本計6本以上採取する。

7. 報告

請負者は、本測定の実施に関する資料を整備、保管し、監督職員の請求があった場合は、遅滞なく提示するとともに検査時に提出しなければならない。

また、測定結果については、表 8 に示す内容を網羅した上で各試験要領（表 3 参照）に従い測定結果報告書を作成し、完成検査時等に提出、報告を行うこと。

表 8 報告書に記載すべき事項

| No. | 記載すべき事項 |
|-----|----------------|
| 1 | 構造物名称 |
| 2 | 測定年月日 |
| 3 | 測定位置の概要（測定位置図） |
| 4 | 測定者名 |
| 5 | 使用コンクリート |
| 6 | 判定結果 |

8. 検査の実施

検査職員は、完成検査時に全ての測定結果報告書を確認する。また、非破壊試験については、測定結果報告書の確認に加え、任意の位置を選定（1箇所以上）し、本要領に基づき非破壊試験を実施し、コンクリート構造物の強度の適否を判断する。足場等が必要となる位置の測定を実施する場合は、あらかじめ、足場等の確保を指示しておくものとする。

なお、中間技術検査においても、出来るだけ測定結果報告書の活用による検査の実施を行うものとする。

1. ボス供試体による強度測定

ボス供試体とは、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付けておき（写真 1.1）、構造体コンクリート打設と同時に、ボス型枠内にもコンクリートが充填されることにより成型される凸型の角柱供試体をいう（写真 1.2、写真 1.4）。型枠脱型後にボス型枠にボルトを回してねじ込み、ボス供試体を構造物から割りとる（写真 1.3）。

強度試験は、キャッピングなどを行うことなく、採取後直ちに行うことができる（写真 1.5）。

強度試験結果は図 1.1 のとおりである。



写真 1.1 ボス型枠の取付け状況



写真 1.2 成型されたボス供試体



写真 1.3 ボス供試体の割取り



写真 1.4 脱型後のボス供試体



写真 1.5 ボス供試体の圧縮試験状況

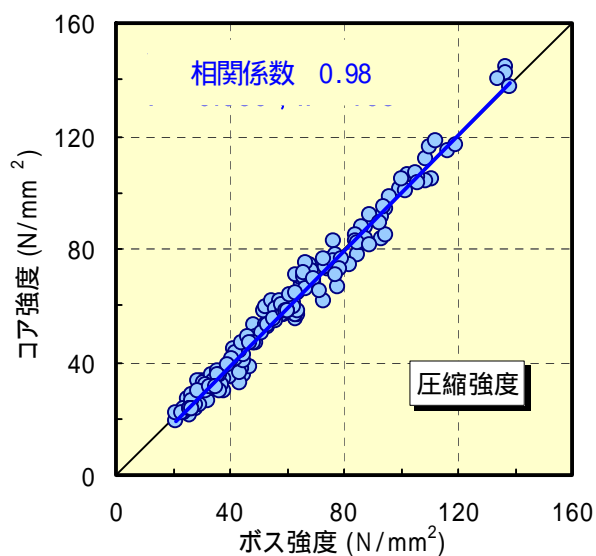


図 1.1 ボス供試体の強度推定結果

2 . 小径コア試験による強度測定

小径コアによるコンクリート強度推定法は、直径 25mm 程度の小径コアをコンクリート構造物から採取し（写真 2.1）、その圧縮強度値を予め定めた補正式で 100mm コア強度に換算して、構造体コンクリート強度を推定する技術である。この技術は、コアを用いる直接法であるために 100mm コアを用いる方法と同等の強度推定精度が期待できるとともに、採取するコア径が小さく、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ない、構造物に与える損傷を軽微にできる、コア採取跡の補修が容易、などの特徴を有している。

強度推定結果は図2.1のとおりである。

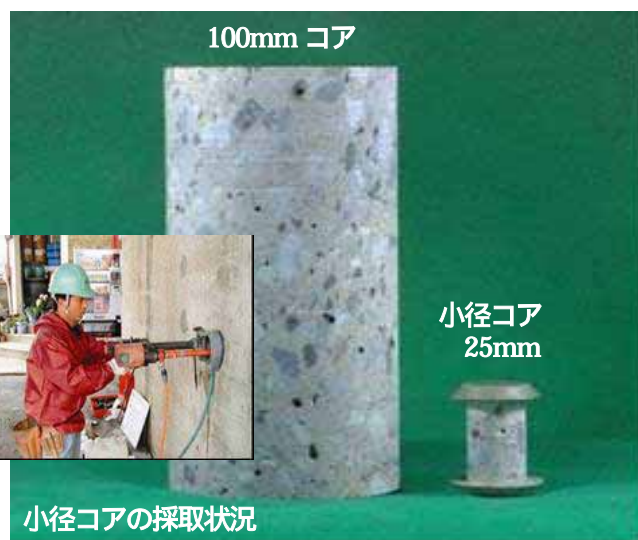


写真 2.1 100mm コアと小径コア

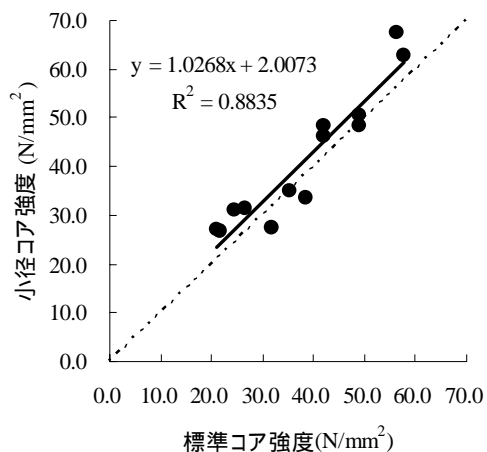


図2.1 小径コアの強度推定結果

非破壊による強度試験

超音波法と、2種類の衝撃弾性波法を紹介する。

いずれの方法も、コンクリート構造物で測定した弾性波速度（超音波の場合、音速と呼ぶ）を圧縮強度推定式に代入して圧縮強度を推定する。

圧縮強度推定式は、試験練りまたは現場実機試験などの機会に、使用するコンクリートの円柱供試体を作製し、その弾性波速度測定および圧縮強度試験を実施することによって作成する。

3方法の比較を表1に示す。

表1 3方法の比較

| 試験法 | | 弾性波速度測定 | 強度評価に用いる弾性波速度 | 簡便性 1箇所測定 所要時間 | 精度 | 備考 |
|-----------|------------|---------|-----------------|----------------------|--|--|
| 超音波 | | 多点 | コンクリート 内部の音速 | 10分 | いずれも ±15%以内 にかなりの 測定結果が 入る | 表層の耐久性評価 |
| 衝撃 弾性波 | iTECS 法 | 多点 | 表面 | 数分 | | ・厚さ既知の場合、反射 法による強度推定 ・別の測定方法によって 耐久性評価も可能 |
| | 表面2 点法 | 2点 | 表面 | 数分(最も 短時間) | | |

3. 超音波試験（土研法）による強度測定

コンクリートの品質は、使用材料、配合、材齢、環境条件などの影響を受ける。また、これらの影響は、コンクリート表面からの距離によって異なっている。そのため、コンクリートの音速は表面からの距離によって異なる。一般には図3.1(a)のように、表面の品質は低いので音速は遅く、内部ほど品質が良くなるため音速は速くなり、しだいに一定値に収束するような分布になる。

このようなコンクリート内部の音速分布は、図3.1(b)のように探触子の間隔を変えて超音波伝搬時間を測定し、計算を行うことによって求めることができる。

強度推定は、図3.2(a)のようにコンクリート内部の一定になった音速（内部一定音速）と、図3.2(b)の事前に求めておいた円柱供試体の音速と強度の関係を用いて行う。

強度推定結果の一例を図3.3に示す。

この方法は、コンクリート表層の品質が低い部分の耐久性（中性化抵抗性、塩分浸透抵抗性）の評価も検討されている（図3.2(a)の緻密性の評価）。

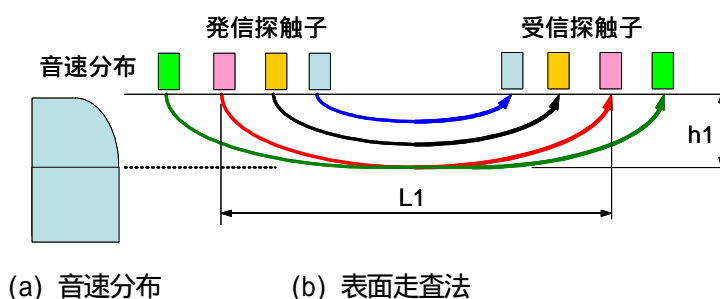


図3.1 表面走査法による探触子間隔と伝搬時間の測定

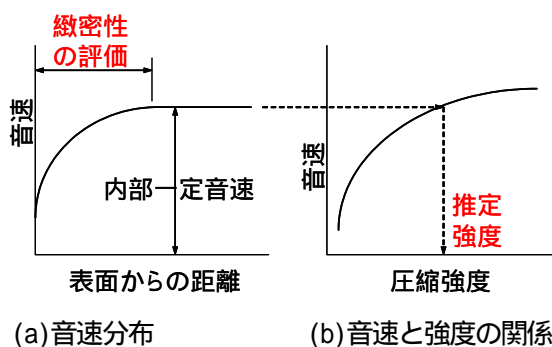


図3.2 コンクリート内部の音速分布、音速と強度の関係、強度推定

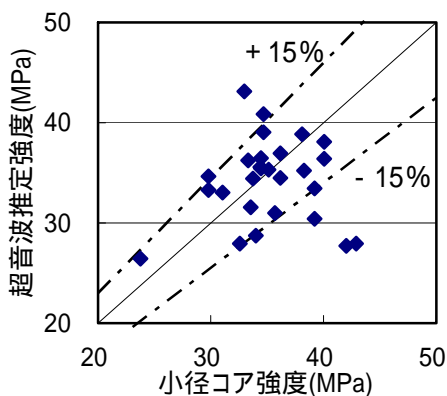


図3.3 超音波法による強度推定結果

4. 衝撃弾性波試験（TECS法）による強度測定

この方法は、超音波法と同じように、打撃するインパクト（鋼球）と受信センサの距離を変化させながら伝搬時間を測定することにより（写真 4.1）、距離と伝搬時間の傾きから弾性波速度を求める。

強度推定結果は図 4.1 のとおりである。



写真 4.1 測定状況例

（左：周波数測定による測定，右：表面縦弾性波の到達時間差による測定）

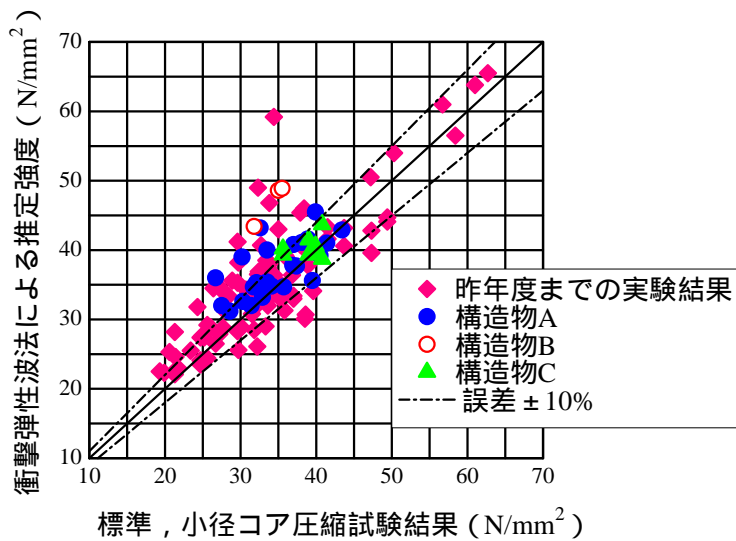


図4.2 衝撃弾性波（iTECS法）による強度推定結果

5. 衝撃弾性波試験（表面2点法）による強度測定

本試験法は、図 5.1 に示すように 2 つのセンサを一定距離（300mm）で固定した検出器を用いてコンクリートの弾性波速度を測定する方法である。

強度推定結果を図 5.2 に示す。

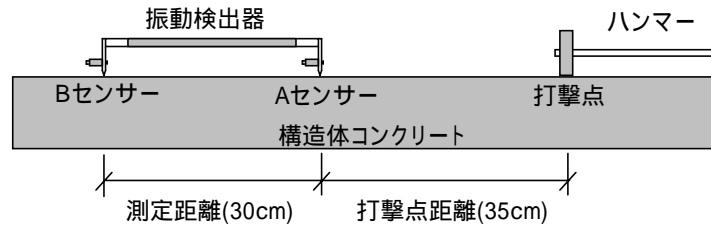


図 5.1 衝撃弾性波（表面2点法）



写真 5.1 振動検出器による壁の圧縮強度測定状況

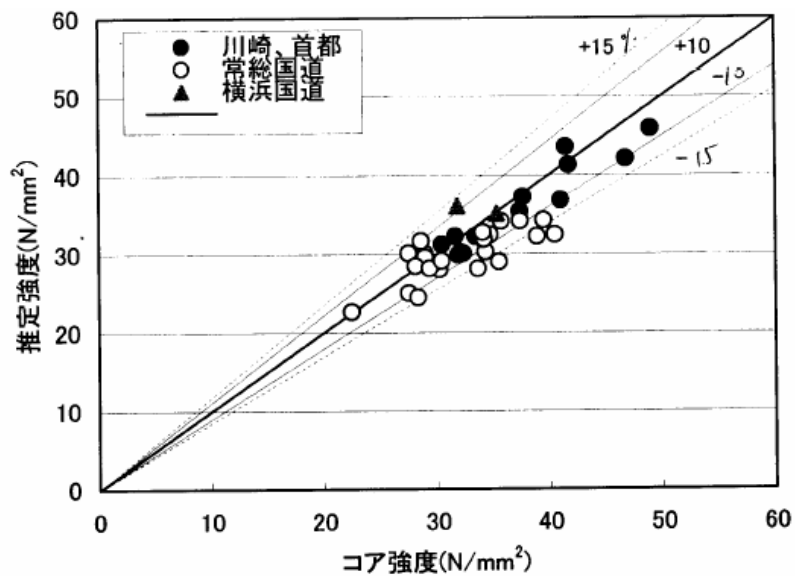


図 5.1 衝撃弾性波（表面2点法）による強度推定結果