

骨材最大寸法の規定より小さなコンクリートコアの試験方法

機械・環境建設系技術班 川口 隆

1. はじめに

我が国には橋長2m以上の橋梁が約70万橋あり、建設後50年経過している橋は、2012年時点で約6.4万橋(16%)存在し、10年後は約16万橋(40%)、20年後は約26万橋(65%)を超えると予測されている¹⁾。これにより、高度経済成長期の急速な社会基盤整備によって多数建設された橋梁の劣化が進行し、損傷が目立つようになるインフラの高齢化が、加速して進んでいくことが予見できる。

国民の命と暮らしを守る社会基盤整備において、大切な公共資産である「橋」を今後も継続的に安全に使用するためには、できるだけ早期に劣化状態を把握し、損傷が大きくなるまでに軽微な修復を施す予防保全型の維持管理をおこなうことが重要である。

近年、このような時代背景により、筆者の研究支援業務は、鉄筋コンクリート構造物の劣化事象の評価や検討に関する内容が多くなってきた。本報告では、コンクリート橋梁の健全性評価の診断において、直径が骨材最大寸法の規定より小さなコンクリートコアの各試験項目に関する留意点について、文献調査と試験結果を照らし合わせてまとめたものである。

2. 対象橋と調査概要について

調査対象橋は、愛媛県の南部にある地方都市（年平均気温16.8℃、年平均降水量1649mm、調査期間1981-2010年）にある県管理道路で、沿岸部から内陸0.9km地点で、河川流心方向に斜角交差した形で架けられているS橋である（写真－1）。橋梁台帳より、T14の2等橋、橋長18.9m、幅員15.3mの3径間単純桁橋である。工事履歴より、昭和14年完成、昭和31年補修、平成9年に耐荷性能をT25に引き上げるため、床版下面を増厚する補強工事がされている。新たに平成24年に耐震補強設計が計画されたため、現況調査が必要となった。



写真－1 調査対象のS橋

県から調査を委託されたコンサルタント会社が、建設後70年以上経過している橋梁の調査経験に乏しいため、担当分野の教員へ相談が寄せられた。調査を進めるにあたり、以下の内容を現地調査と室内試験に分業し、おこなうこととした。

現地調査項目は、①鉄筋探査、②はつり調査、③コア採取、④舗装部(アスファルト)切断による橋梁の寸法確認であり、コンサルタント会社が担当した。

室内試験項目は、採取したコアによる、①圧縮強度、②静弾性係数、③中性化深さ、③塩化物量の測定を筆者がおこなった。

3. コア採取方法とその特徴について

コンクリート構造物からコアを採取する方法に関し、強度試験に限定された、JIS A 1107「コンクリートからのコア及びはりの切取り方法並びに強度試験方法」と耐久性診断を目的とし総合的な劣化調査をおこなうJCI-DD1「コンクリート構造物からのコア採取方法」の基準がある。今回の調査は、強度試験のみならず中性化や塩化物イオン含有量の測定をおこなうことから、後者を選択した。同基準は、コアの採取方向(水平・鉛

直), または, 位置によってコンクリートの品質や劣化の程度が異なるため, 調査目的に応じて決めなければならない。

3.1 コア採取位置の決定について

汽水域(感潮区間)にあるS橋の橋脚および橋台は, 潮位変化による乾燥湿潤作用を受けている。写真-2中に図示した満潮時の水位を境界とした場合, 下部側では海水に直接触れるため, コンクリート内部が湿潤状態に保たれ易い。塩分浸透のメカニズムとして, 多くの空隙が水分で満たされている場合は, 細孔内部の水分に溶けた塩化物イオンは, 濃度の高いところから低いところへ移動する「拡散」によって, 表層から内部に浸透する。また, 乾燥したコンクリートに対して, 塩水が作用する場合, コンクリート自体が塩水を吸水し, 水分自体の移動によって, 塩化物イオンが内部へと運ばれる。乾燥湿潤作用を受ける場所では, この「移流」による浸透が卓越してくる²⁾。また, 常に大気に晒されている上部と潮位変化を受けている下部との中性化深さが異なることを考慮し, コアの採取位置を決定するにあたり, 橋脚, 橋台の満潮時水位の上部と下部に分けて採取することとした。図-1の側面図上に橋台および橋脚から採取したコア外観とその位置, 図-2に平面図上に床版から採取したコア外観とその位置を示す。

3.2 鉄筋探査およびコア採取方法

コアの採取作業で最も重要なことは, 鉄筋や配管, 配線類などの位置をできる限り正確に把握することである。特に桁や床版では, 主筋を切断することのないよう留意する。また, 鉄筋間隔の狭い箇所からのコア採取においては, コアドリルの直径を小さくするよう心がけることが必要である³⁾。

橋梁台帳に配筋図および配管図の記載が無かったため, 現地調査担当者によって, 電磁探査による配筋状況の確認をおこなった。橋脚から調査を開始したが, 一向に鉄筋を探知できないため, 目を疑った。橋梁台帳には「RC橋」と記載されていたため, 無筋であるはずがないという先入観もあった。しばらく, 周囲を見渡していると答えは眼前にあった。S橋の完成年は日中戦争下の昭和14年である。第二次世界大戦も勃発し, 軍需物資である金属類は国の統制下にあり, 建設時に鉄鋼資源が不足していたことが想像できる。当時の設計者が上部構造のたわみを抑制するため, 径間数を増やし, 支間長を短くすることで対策した答えが, 幅員全体に行き渡らした無筋コンクリートによる壁式アーチ構造の橋脚である(写真-3)。材料の使用制限があるなかで考案された「先人の知恵」に感嘆した。後日, 文献調査により, 当時の土木学会において「無筋コンクリート標準示方書」が策定されていたことがわ



写真-2 橋脚満潮時の水位による境界線

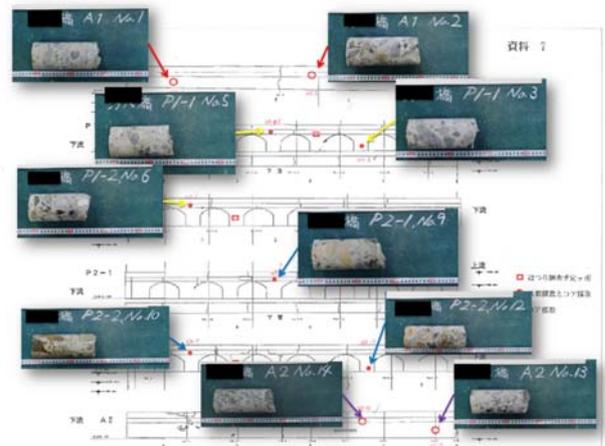


図-1 橋台・橋脚のコア外観 (S橋側面図)

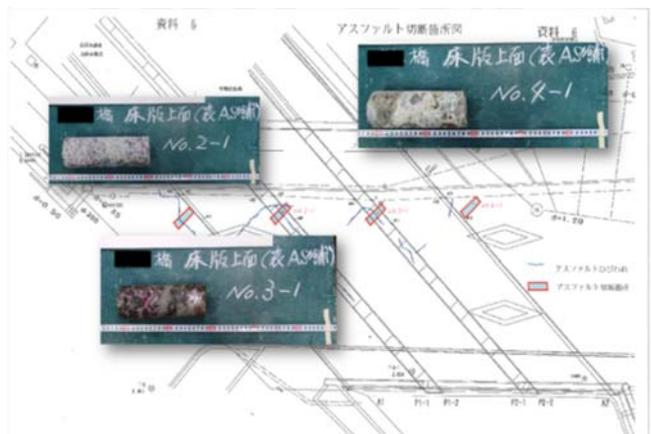


図-2 床版のコア外観 (平面図)



写真-3 壁式アーチ構造の橋脚

かった。以上より、S橋は無筋コンクリート構造物であったことから、下部構造の鉄筋探査およびはつり調査による鉄筋腐食、鉄筋径の確認調査は除外した。前述のコア採取指定位置において、湿式ボーリングマシンを用いて穿孔径 $\phi 70\text{mm}$ 、穿孔深度 160mm 以上で採取した。抜き取ったコアは洗浄し、湿ったウエスで覆い、ポリエチレンフィルムで水分の逸散がないよう被覆した。このような処理を施すのは、中性化深さに与える影響のみならず、コンクリートを試験時に乾燥させると圧縮強度は見かけ上大きくなり、弾性係数は湿潤状態と比べると小さくなるからである⁴⁾。

3.3 コアの外觀観察と特徴について

試験室に搬送後、肉眼によるコアの外觀観察をおこなった。観察内容は、骨材種類の確認（碎石、砂利）、細・粗骨材の含有割合、気泡の存在や分布、ジャンカ、ひびわれなどの欠陥の有無、変色・異物の存在である。記録方法は、観察ノートの記述および外觀の写真撮影である。撮影例を写真-4に示す。



写真-4 粗骨材の分布状況

ここで粗骨材に着目して頂きたい。色がまばらであることから数種の岩石が混入していることがわかる。さらに、いずれも形状は丸みを帯び、扁平しているものについては、長手方向で 50mm 以上の長さを有するものが散見できる。このことから、コンクリートを製造する際に、施工現場付近の河床から採取した天然骨材を使用していることが伺える。建設当時は現代のようなバッチャープラント（生コン工場）による製造出荷システムが構築されていなかった。そのため、施工現場付近の河床から骨材を調達し、その場でコンクリートを製造する、いわゆる「現場練り」のコンクリートが用いられていた。なお、現在使用されている粗骨材は、岩石をクラッシャーで粉砕して製造された人工骨材である「碎石」が主流である。その特徴は、角張った形状であり、ふるいを用い 20mm ～ 5mm の範囲などに分級・洗浄されることで粒径範囲が整っている。さらに、採石場の地山母岩の種類が同一であることから色合いも、ほぼ同じである。

4. 粗骨材の粒径が大きなコアによる各試験の留意事項

前述の特徴を有するコアを取り扱うにあたり、各試験項目に与える影響について文献調査をおこなった。

4.1 コア供試体の作製方法

一般にコンクリートの強度は圧縮強度を指し、一軸圧縮載荷試験をおこなうことで、圧縮強度と静弾性係数を得ることができる。ボーリングマシンにより採取されたコアは、両端表面に凹凸がある。圧縮試験時に供試体端面（載荷面）と試験機の加圧盤との接触面に凹凸があれば、接触した部分にのみ応力集中が生じ、破壊がこの部分から生ずることがある。つまり、供試体端面の成形の良否が与える影響は無視できない。所定の平面度に仕上げる一般的な方法にキャッピングがあるが、今回は圧縮試験で用いたコア供試体を中性化深さ、塩化物イオン含有量の測定にも併用するため、ダイヤモンドカッター（写真-5）および端面整形機（写真-6）を用いて成形した。カッターによる切断はコアの深部側のみとし、切断作業での冷却水供給を遮断した。これは、流水による塩化物成分の流出を防ぐためである。同様に端面成形においても研磨作業時に冷却水は用いなかった。中性化深さおよび塩化物イオン濃度の測定は、コンクリート表層からの分布を示すものである。よって、端面成形時の研磨作業では、表層領域の損失をできるだけ少なくするよう注意が必要である。



写真-5 コアの切断



写真-6 コア端面の成形

4.2 試験規格とコア供試体の寸法について

写真－7に圧縮強度試験とひずみ計測の状況を示す。

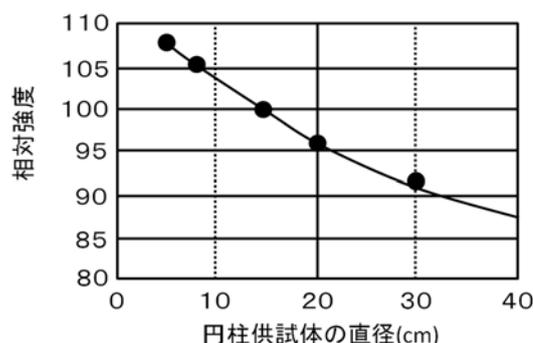
試験方法は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」およびJSCE「コンクリート静弾性係数試験方法」に準拠しておこなった。S橋から採取したコアは、粒径の大きな粗骨材を含んでいる。コアの直径を決定する条件として、粗骨材最大寸法の3倍以上とし2倍以下としてはならないと規定している。採取したコアは、前述の特徴で示したとおり、最大粒子径が50mm以上の粗骨材を多く含んでいる。一般的な構造物は粗骨材最大寸法が、20～25mmであることからφ70mm程度での圧縮試験は可能である。しかし、S橋の場合、直径が粗骨材最大寸法に対し、3倍以上の大きさを有していないことから、その規定を満たしていない。逆を云えば、φ70mmで対応できる粗骨材の最大寸法は23mmまでであり、その規定を満たすためにはφ150mmのコアを採取すべきであった。今回の調査では、S橋が無筋コンクリート構造物と判明した時点で、コアサイズを変更しなけりなかつた。一方で、RC構造物の配筋状況によっては鉄筋間隔などの制約があり、φ150mmなど大きな直径によるコアの採取が困難な場合がある。特に昭和40年代より以前のコンクリート製造・輸送体制が普及するまでは、現場で採取された流用砂利が使用され、最大寸法が40mm以上もある構造物は比較的多くあるだろう。このように対象構造物の状況によっては、寸法規定を満たせないことがあり、これらの供試体を用いた場合の圧縮強度値の変動に与える影響について文献調査をおこなった。



写真－7 圧縮強度試験とひずみの測定

4.3 コアの直径と圧縮強度の関係

図－3に直径の違いによる円柱供試体の相対強度の関係を示す。この図は供試体の直径150mmの強度値を100としたとき、直径が小さくなるほど強度は高まり、大きくなるほど低下することを示している⁵⁾。この現象は材料内部の欠陥数はサイズが大きくなればなるほど多くなり、破壊が始まる確率が高まり強度が低下するというグリフィス理論に合致する^{6,7)}。ただし、この関係が成り立つ条件として、前述の寸法規定を満たした供試体に限定されると考えられる。よって、寸法規定外にある供試体においては、その適用性を考慮するため、骨材の含有状況など供試体の内部構成に類似点が多い、小径コアの試験法から圧縮強度に与える影響について、さらに調査を進めた。

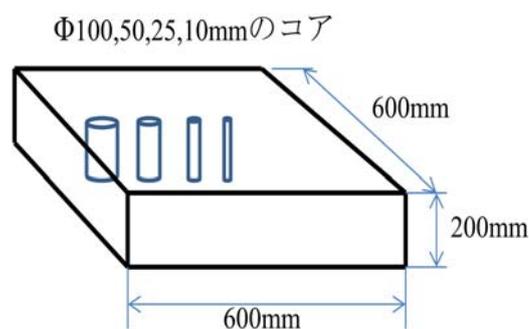


図－3 供試体の直径と相対強度⁵⁾

4.4 小径コアの試験法からS橋コアの圧縮強度に及ぼす影響を探る

近年、微破壊試験の一つである小径コアの試験法が確立され、コアの小径化が圧縮強度に及ぼす影響について研究が進められている。小径コアによる強度値は、既存RC構造物から採取したφ25mmの小径コアと標準サイズであるφ100mmの強度が一致しないため、相関性がある両者の差分から、補正係数を乗じて推定している⁸⁾。しかし、この差は直径の違いなど寸法以外の要因からも影響を受けるため⁹⁾、適切な補正値が定まらないなど研究者によって意見の相違がある¹⁰⁾。

片平らは、コアの小径化が圧縮強度に与える影響について以下の手法で実験をおこなった¹¹⁾。骨材最大寸法20mmのコンクリートまたはコンクリートを5mmと10mmのフレイでウェットスクリーニングしたモルタルを用いて製作した平板試験体(図－4)から、φ100mm、50mm、25mm、10mmのコアを



図－4 平板試験体¹¹⁾

採取して、圧縮強度試験を実施した。骨材最大寸法の違いによる各コアの強度比を図-5に示す。φ100mmコアでは骨材寸法が大きくなるにつれて圧縮強度が低下する傾向を示している。これは骨材寸法が大きくなるとコンクリート中における粗骨材の割合が多くなるが、骨材自体の強度はモルタルよりも高いことから、コンクリート強度に与える影響は小さく、むしろ骨材界面の影響によって低下したものと考えられる。φ50mmとφ25mmについてもφ100mmと同様な傾向であったが、φ10mmコアについては骨材寸法の増加にともなう圧縮強度の減少割合が少なく、骨材界面が強度に与える影響は小さかった。ただし、この試験結果はφ10mmのコアの粗骨材の構成において図-6に示した(1)粗骨材が大部分を占める、(2)ある断面を粗骨材が横断する、(3)高さ方向に粗骨材が連続する場合を棄却したものである。この結果を参考にS橋で採取したφ70mmのコアの強度に与える影響について検討する。骨材最大寸法が大きくなるにつれて強度が低下する関係から、S橋の圧縮強度値は過小評価されるものとする。また、最大寸法が20mm以上の結果が無いことから断定はできないが、最大寸法50mm以上の骨材を複数含んでいるコアは、強度を低く評価しているものと推察される。よって、今後は最大寸法20mm以上の川砂利を用いて、寸法規定を満たす場合と満たさない場合について、より多くの試験データを蓄積し、強度の変動に関する要因について解明できるよう更なる知見を得る必要がある。

圧縮試験では、荷重時の偏心を防ぐために球座を使用している。直径の小さなコアを取り扱う際は、球座径に対し、コア径が小さすぎると荷重中に球座が有効に機能せず、片押しになるため試験値に影響を及ぼす。対策として、コア径に応じた球座(写真-8)を選択し、球座加圧面とコア荷重面が接触する際に手で動かし、接触面の馴染みを良好な状態として、片押しにならないよう注意が必要である。

4.5 静弾性係数の測定 ～ひずみゲージの検長と貼付位置について～

静弾性係数は圧縮荷重時にワイヤーストレインゲージを用いてひずみを計測し、応力-ひずみ線図を得ることで求めた。JIS A 1149「コンクリートの静弾性係数試験方法」では、ひずみゲージの検長を粗骨材最大寸法の3倍以上、かつ、供試体高さの1/2以下としている。取付けは供試体の軸に平行、かつ、対象な二つの線上で供試体高さの1/2の位置を中心に貼付する。写真-9のように全般にわたってS橋のコアは骨材最大寸法が大きく、さらに供試体高さ(約140mm)を考慮すると適切なひずみゲージの検長を選択することが難しい。市販されているコンクリート用ゲージには、60mmと120mmの長さがあり、骨材最大寸法を考慮すると120mmが適切であるが、今回は供試体高さ1/2以下を優先し、60mmのゲージを用いた。ゲージの貼付位置を決定する際は、コア外周をよく目視観察し、写真-9のような大きな粗骨材がある場合は、ひずみゲージの検長に対して占める割合が1/3以下になるような位置を選んだ。

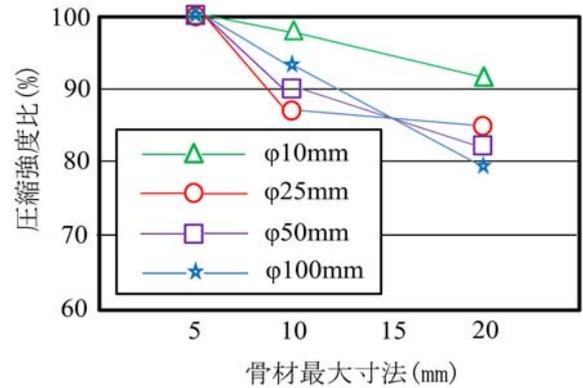
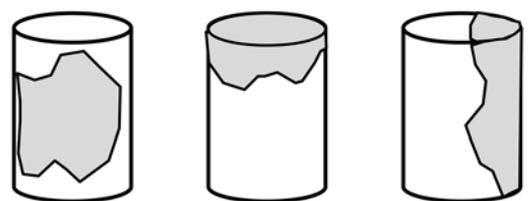


図-5 骨材寸法と圧縮強度の関係¹¹⁾



(1)大部分が骨材 (2)骨材が断面横断 (3)骨材が高さ方向に連続

図-6 φ10mm コアの棄却¹¹⁾



写真-8 サイズの異なる球座



写真-9 コアのゲージ貼付位置

複合材料であるコンクリートのひずみ計測は、ひずみゲージの検長や貼付位置の違いによって計測値が異なってくる。図-7はこれらの違いによる各応力-ひずみ線図である¹²⁾。G1は短検長ゲージを粗骨材上に貼付した結果で、G2は、短検長ゲージの左右半分を粗骨材上と境界モルタル上に貼付した結果である。G3は規定どおり骨材最大寸法3倍以上の検長ゲージを用い結果である。G4は近傍に粗骨材が無い位置のモルタル上に貼付した結果である。それぞれ、G1は粗骨材、G4は粗骨材の影響が少ないモルタルのひずみが計測されている。両者のひずみ比は100kgf/cm²時において、4倍以上ある。G2は粗骨材とモルタルのひずみが計測されているが、粗骨材界面のモルタルのひずみは変形しづらい粗骨材の影響を大きく受けている。コンクリートの構成材料を実験的見地から粗骨材、モルタル、セメントペーストと見なした場合、G3は構成材料とその境界層のひずみを複合的に計測できている。よって、骨材最大寸法が大きなコアのひずみ計測は、ゲージの検長や貼付位置の違いによって、測定値が大きく異なるので、細心の注意が必要である。

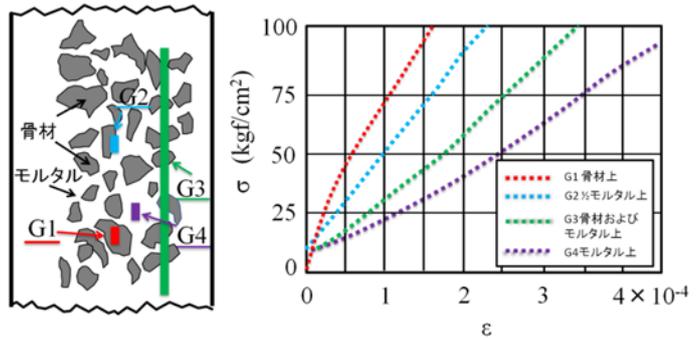


図-7 検長と貼付位置の違いによる応力-ひずみ¹²⁾



写真-10 コア No.6



写真-11 コア No.9

事例として、写真-10、写真-11のコア外観より粗骨材含有状態の違いを示す。両コアはS橋の橋脚部から採取されたものである。建設時の配合は不明であるが、水セメント比等の条件は、ほぼ同じであったと考えられる。同じような条件で打設したコンクリートでも、河川から流用し粒径範囲の定まっていない粗骨材を用いたS橋は、粗骨材の分布状態が大きく異なっていた。No.6はNo.9と比べ、粗骨材の含有割合が多く、大きな寸法の粗骨材も多く見て取れる。コンクリートは多質多層材料で複雑な構成のため、圧縮強度と弾性係数に多様な影響を受けることから、物理的関係は把握し難いと前置きした上で、以下を考察する。

No.6は最大応力値までの挙動がほぼ線形であり、降伏時の圧縮ひずみはNo.9と比べ、約1/4であった。一般にコンクリートの応力-ひずみ線は、セメントペーストと骨材界面に発生する微小クラックによって、No.9のように初期段階から曲線を描く。セメント硬化体のような多孔体の圧縮強度は、内部の空隙量に依存することが知られ¹³⁾、強度と最大圧縮ひずみの関係は、強度が大きくなるほどひずみも大きくなる¹⁴⁾。モルタルおよびコンクリートの破壊時の圧縮ひずみは1500~3500×10⁻⁶程度であるが、No.6のひずみは1000×10⁻⁶以下であった。降伏時の圧縮ひずみが小さなNo.6は偏った箇所に粗骨材が集中するなどの粗骨材の配置条件により、局所的な破壊が生じたことで、本来の圧縮強度試験値より小さな圧縮強度になったと推察される¹⁵⁾。これに関しては今後詳細な検討が必要であるが、粗骨材の含有割合からみると、モルタルに川砂利の含有率を増加してゆくと砂利境界層の弱点のため、圧縮強度は低下する傾向を示し、砂利の粒形が大きくなるほど著しくなる報告があり¹⁶⁾、No.6の結果も同様な現象が要因として考えられる。また、No.6はモルタルよりも変形しづらい粗骨材がゲージ検長域に多く配置されていたことも要因のひとつであると考えられる。

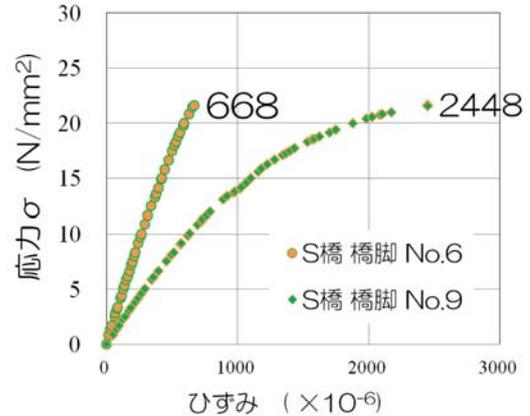


図-8 No.6とNo.9の応力-ひずみ

4.6 中性化深さの測定

中性化深さおよび全塩化物イオン濃度分布測定に用いるコアは、圧縮強度試験で用いた供試体を兼用した。写真-12に示したJIS A 1113「コンクリートの割裂引張強度試験方法」の载荷方法で割裂し、写真-13に示す形状を得ることができる。注意点として、事前の圧縮試験では、圧壊損傷をできるだけ少なくするため、ピーク降伏後、直ちに除荷しなければならない。

中性化深さの測定には、フェノールフタレイン法、示差熱重量分析、X線回折を用いる方法などがあるが、今回はフェノールフタレイン法を採用し、JIS A 1152「コンクリートの中性化深さの測定方法」に準じておこなった。同法は高度な分析機器を必要とせず、試薬噴霧後の呈色反応のみを観察することで測定できるため、その簡便性から広く用いられている。割裂面を用いる場合は、付着したコンクリート小片や粉などをハケや電気掃除機、エアコンプレッサーなどを用いて除去し、フェノールフタレイン溶液を直ちに噴霧する。フェノールフタレインは、pHが7.8以下で無色、10.0以上で鮮やかな紅色を示す。供試体の左端から、無色透明部分は中性領域であり、赤紫色に呈色した部分はアルカリ領域である。中性化深さの測定位置は、図-9に示すように粗骨材粒子がある場合や粒子の抜けたくぼみがある場合、粒子両端の中性化位置を結んだ直線上で測定することを規定している。写真-13の黄色破線で提示した箇所は、粒子両端の中性化位置を断定できず、直線で結ぶことができない。よって、今回の事例では大きな粗骨材粒子区間の測定を棄却して、最大、最小、平均中性化深さを求めた。

4.7 塩化物量の測定

塩化物量測定用のコア採取方法は、JCI-SC8「硬化コンクリート中に含まれる塩分分析用コア試料の採取方法」およびJIS A 1154附属書A「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオン分析用試料の採取方法」に規定されている。いずれもコアの直径は、粗骨材最大寸法の原則3倍以上と規定している。コア切り法によってS橋の分析試料を採取する場合、厚さ10mm、15mm、20mmに切断したとき、切断片の質量は、コンクリート密度 $2.3\text{g}/\text{cm}^3$ から換算すると、それぞれ約88g、約132g、約176gとなる。JIS A 1154附属書Aでは、全塩化物イオンまたは温水抽出塩化物イオンのいずれか一方を分析する場合は約50g、両者を分析する場合には約100gを所要量としている。乾式カッターを用いてコア表面の0mmから20mm間隔で深度80mmまでの区間を切断し、コンクリート片を採取した。しかし、写真-14に示すS橋コアは、直径に対する粗骨材最大寸法（黄色破線）が大きいため、切断時に付着力が弱い粗骨材は剥離してしまい、測定区間が不明確になることがあった。この作業困難性から、採取した試料が実構造物コンクリートにおけるものと異なる恐れがある。さらに、区間によっては切断片の体積に占める骨材分が極端に多い場合があり、剥離した粗骨材を含めない場合は、塩化物イオンを含有するセメントペースト分と骨材の含有比の差異により、測定結果に著しいばらつきが生じると考えられる。よって、剥離した粗骨材は中性化深さ測定時に撮影した割裂面



写真-12 コアの割裂载荷

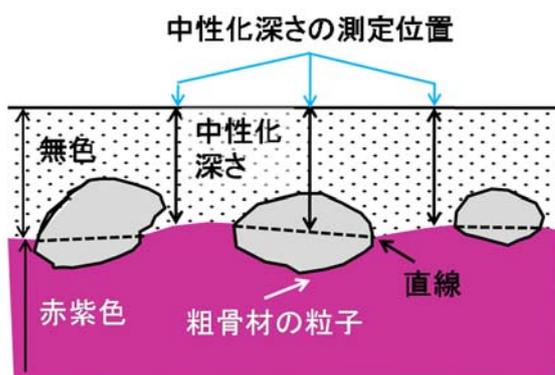


図-9 中性化深さ測定方法¹³⁾



写真-13 コア割裂断面のフェノールフタレイン呈色反応



写真-14 粗骨材の含有状況

の写真を参照しながら区間領域を判別し、切断した骨材分とセメントペースト分を粉砕機に合わせて投入し、0.15mm以下の粉末試料を得た(写真-15)。このような煩雑な作業をともなうことから、骨材最大寸法が規定外コアでのコア切取り法による分析試料の採取方法は推奨しない。圧縮強度試験で用いるコアとは別になることで構造物に与える影響を勘案しなければならないが、簡略化されたドリル法による試料採取が望ましいと考える。ドリル法による粉末試料の採取方法は、JSCE-G 573「実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法(案)」で規定している。ドリル法における塩化物イオン量測定では、採取試料の量が少ないために結果の信頼性に注意を払う必要がある。特に粉末試料中のセメントペーストと骨材の構成比が削孔試料ごとに異なり、測定結果に大きなばらつきを生じさせることも考えられる。また、削孔位置によっては、大きな粗骨材粒子が存在した場合、骨材成分が多くなるため、粗骨材の影響を緩和する必要がある。一般には測定精度の向上を考慮すると1カ所で50g程度の試料が必要とされ、ドリル径φ20mm、削孔深さ20mmで50gの試料を得るためには3カ所程度削孔する必要がある¹⁷。最大寸法が大きなコンクリートでは3カ所以上削孔し、50g以上の試料採取が望ましいと考える。分析結果のばらつきによっては、JSCE-573・附属書「コンクリート中の全塩化物イオン濃度の測定結果に及ぼす骨材量の影響の補正方法」によって全塩化物イオンの分析結果を補正する。



写真-15 コンクリート片の粉砕

日本では塩害環境下に置かれるコンクリート構造物が多く、補修工事にあわせ塩化物量の調査を実施されることが多くなってきた。ドリル法が確立されたことで試料採取の時間短縮が図られたが、分析時間の短縮が望まれている。近年、後藤らによる可溶性塩化物イオン濃度の迅速な分析方法が確立されつつある¹⁸⁾。今後の分析においては、同方法を従来方法と自ら比較した上で導入したいと考えている。

5. まとめ

本報告で、直径が規定である骨材最大寸法の3倍以上に満たないコンクリートコアを用い、圧縮強度、静弾性係数、中性化深さ、塩化物量の測定における問題点を明らかにし、取り扱い方法に関する留意点について以下にまとめる。

- (1) 小径コアにおいて骨材最大寸法が大きくなるほど強度が低下する研究報告から、規定より直径が小さなS橋コアの強度は実際の圧縮強度値より低く評価しているものと考えられる。
- (2) 強度低下の要因は、モルタルに川砂利の含有率を増加させると砂利境界層の弱点のため、圧縮強度が低下し、砂利の粒形が大きくなるほど顕著になる研究事例から同様であると推察される。
- (3) 圧縮試験時に使用する球座は、コア径に応じた適切な大きさを選択し、載荷時において片押しにならないようにしなければならない。
- (4) ワイヤーストレインゲージによるひずみ測定は、同一コアでも検長や貼付位置の違いで測定値が大きく異なることから、コア外周をよく観察し、長さや貼付位置を選定しなければならない。特に大きな粗骨材がある場合は、検長域に対し1/3以下となるよう貼付しなければならない。
- (5) 降伏時の圧縮ひずみが 1000×10^{-6} 以下のコアは、偏った箇所粗骨材が集中するなど配置条件によって局所的な破壊が生じ、一般的なコンクリートの圧縮破壊ひずみよりも低下したと考えられる。
- (6) 粗骨材粒子が大きく両端の中性化位置が判別できない場合は、その区間を棄却して、最大、最小、平均中性化深さを測定した。
- (7) コア切取り法による塩化物量分析試料の採取は、付着力の弱い大きな粗骨材が剥離するなど測定区間が不明確になりやすく、作業も困難をともなうことから推奨しない。
- (8) ドリル法による採取が望ましいが、削孔位置に大きな粒子の粗骨材がある場合骨材成分が多くなるため、3カ所以上削孔し、50g以上の分析試料を得ることで粗骨材の影響を緩和しなければならない。分析結果がばらつく場合は、JSCE-573・附属書による補正をおこなう必要がある。

6. おわりに

我が国の高齢化する社会基盤ストックを維持する際に、限りある国家予算の中でライフサイクルコストの縮減を図ることは重要な課題のひとつである。政府は「予防保全」の観点から大規模な修繕に至るまでに定期的な診断をおこない、補修や補強によって構造物の長寿命化を図ることを推進している。このような背景から、研究動向も構造物の劣化診断技術の開発やメンテナンス手法の確立する方向性に移行してきた。筆者の業務においてもそれらの動向に応じた研究支援に携わることが多くなってきた。

国民の命と暮らしを守るインフラの維持管理に関する実験や分析に携わる者として、指導書や示方書などを定期的に読み返し、論文集などから関連する研究成果を学ぶことは重要である。さらに得られた知識をより堅固するために、「実験でその知識を応用するルーティーンワークの積み重ね」が最も大切である。今回、調査対象としたS橋との出会いは筆者の浅学さをあらためて認識し、この基本に立ち返ることができた貴重な経験であった。

参考文献

- 1) 国土交通省；日本の橋梁の現況(橋長 2m 以上), http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1_1.pdf.
- 2) 石田哲也；マンガでわかるコンクリート, オーム社, 2011.
- 3) 小林一輔 編；コア採取によるコンクリート構造物の劣化診断法 POD 版, 森北出版, 2011.
- 4) 小林一輔 編；図解コンクリート構造物の総合診断法, オーム社, 2007.
- 5) 日経コンストラクション 編；コンクリート診断士試験重要キーワード 100, 日経 BP 社, 2012.
- 6) A. A. Griffith ; The phenomena of rupture and flow in solids, Philosophical Transactions of Royal Society 221, pp.163-198, 1920.
- 7) A. A. Griffith ; The theory of rupture, Int. Congress of Applied Mechanics, pp.55-63. 1924.
- 8) 篠崎公彦ら；小径コアによる構造体コンクリートの強度の推定法に関する研究(その 3；構造体コンクリートの強度推定式の設定), 日本建築学会大会学術講演梗概集,A-1, PP.389-390.2006.
- 9) 若林信太郎ら；小径コアによる構造体コンクリートの強度の推定法に関する研究(その 8；試験方法が強度に及ぼす影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集,A-1, PP.173-174.2006.
- 10) 清水厚年ら；コアの寸法の違いによる試験値の差に対する各種要因の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.2, pp805-810, 2008.
- 11) 片平 博ら；コア試験体の小径化が圧縮強度に与える影響に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp399-404, 2004.
- 12) 國分正胤；土木材料実験, 技報堂, 1969.
- 13) 近藤連一 編；多孔材料－性質と利用－, 技報堂, 1973.
- 14) Popovics, S ; A Numerical Approach to the complete Stress – Strain curve of concrete research, Vol.3, No.5, Sept., pp.583-599, 1973.
- 15) 山本大介ら；小径コアの圧縮強度の変動に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp403-408, 2013.
- 16) 川上英男；粗骨材とコンクリート強度に関する基礎的研究, 日本建築学会論文報告集, Vol.166, pp.19-27, 1969, Vol.167, pp.7-11, 1970.
- 17) 日経コンストラクション 編；コンクリート診断士試験重要キーワード100, 日経BP社, 2012.
- 18) 後藤利芳ら；硬化コンクリート中の全塩化物イオン濃度迅速測定法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, 2010.