

# 第11回 ASRによる劣化を受ける構造物の診断

講師：真鍋 英規\*

## 1. はじめに

近年、ASR（アルカリ骨材反応）によるコンクリートの膨張によって、コンクリート中に配置された鉄筋の曲げ加工部や圧接継手箇所の一部で鋼材が破断している事例が複数確認されています<sup>1)</sup>。T型橋脚のRC、PC梁においても、スターラップの曲げ加工部が梁上縁のコーナーで破断（図-1）しており、構造物の安全性を含め重要な問題であると認識されています。橋脚梁部で発生した鉄筋破断を伴うASRによる劣化では、これまで鉄筋拘束により生じているとされているケミカルプレストレス<sup>2)</sup>が期待できなくなり、耐荷性能に影響を与えるものと考えられるからです。

このようなASRによる構造物の劣化問題を受けて、ASRに伴う鉄筋破断のメカニズムの解明、ASRによる鉄筋破断の影響を受けた構造物の耐荷性能および安全性能の照査、その補修・補強方法の検討とともに非破壊検査を含む診断技術の確立が急務な課題となっています。現在、各機関において積極的かつ精力的に研究が行われています。

本講座では、ASRによる劣化を受ける構造物の診断技術、非破壊検査手法を用いてコンクリート内部の劣化状況を診断する技術などを紹介いたします。

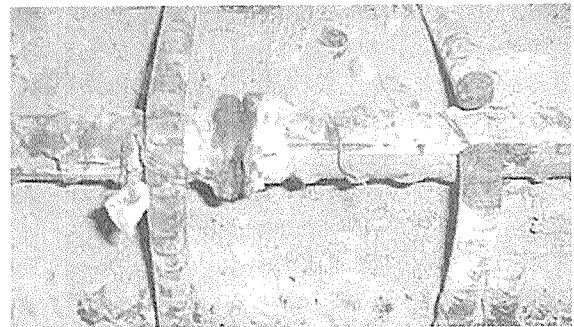


図-1 破断した鉄筋の例

## 2. ASR 構造物の調査

### 2.1 調査項目

コンクリート構造物に発生したひび割れの原因としてASRの疑いがある場合に行う調査項目とその手法を表-1に示します。ASRに関する調査項目は、ひび割れ、変色、ゲルの滲出などの目視観察、現地で構造物を対象として行う各種計測、構造物から採取したコアによる各種室内試験からなっています。ASRによる劣化は、構造物の使用環境に大きく影響を受けます。また、使用されている骨材によってASRを顕在化させるベシマム量が異なることもあるため、ASRの判定や劣化予測はかなり難しいといえます。現

表-1 ASRの疑いがある構造物の調査項目と手法

	調査項目	手法	非破壊検査
構造物の観察	ひび割れ、剥離・剥落、ポップアウト、変形・変位、変色、段差、ゲルの滲出	目視、写真など	◎
構造物の現地計測	ひび割れ幅の進展	コンタクトゲージ法	◎
	膨張量および変位量	コンタクトゲージ法、変位計など	◎
	コンクリートの圧縮強度、弾性係数	反発硬度法	◎
構造物から採取したコアによる各種試験	内部劣化の進行（鉄筋破断含む）	超音波法、電磁誘導法、衝撃弾性波法など	◎
	骨材のアルカリシリカ反応性	化学法、モルタルバー法など	
	残存膨張量	JCI-DD 2法、カナダ法、デンマーク法など	
	骨材の岩種および反応性鉱物の種類	偏光顕微鏡観察、X線回折、SEM-EDXA、赤外線吸収スペクトル分析など	
	アルカリシリカゲルの判定	化学成分分析、SEM-EDXA、酢酸ウラニル蛍光法など	
	アルカリ量	水溶性アルカリ、酸溶性アルカリなど	
	力学的性質	圧縮強度、引張強度、弾性係数、超音波法など	
	塩化物イオン含有量	重量法、容積法など	

\* Hideki MANABE：(株)富士ピー・エス 関西支店 技術部 博士（工学）

状では、ASR のエキスパートによる経験と高度な工学的判断に頼らざるを得ない面も否定できません。

## 2.2 構造物から採取したコアによる各種試験

ASR による劣化の疑いがある構造物の判定に重要な情報を得るためには、構造物の損傷度がもっとも適切に評価できる箇所を選んで、コア採取をする必要があります。現在のところ、非破壊検査では ASR の判定をすることは不可能であるため、構造物からコア採取をする微破壊を伴う手法がもっとも有効となります。

### (1) 骨材のアルカリシリカ反応性

骨材のアルカリシリカ反応性試験方法には、化学法とモルタルバー法によって判定します。

化学法は、使用される骨材について、化学的な方法によって、試験溶液中のアルカリ濃度減少量 (Rc) および溶解シリカ量 (Sc) を測定し、骨材のアルカリシリカ反応性を迅速に判定する試験方法です。モルタルバー法は、モルタルバーの長さ変化を測定することによって、骨材のアルカリシリカ反応性を早いもので3ヶ月、通常は6ヶ月後に判定する試験方法です。しかし、両試験法は、すべての骨材のアルカリシリカ反応性の評価に適しているのではなく、評価することのできない種類の骨材もあります<sup>3) - 5)</sup>。

### (2) 残存膨張量

ASR による劣化が懸念される構造物における ASR の劣化進行予測は、採取したコアの残存膨張量で推定するのが原則とされています。アルカリシリカ反応性があるコンクリートが調査時までどの程度膨張していたか、あるいは今後どのような速度で、最終的にどの程度膨張するかについて把握することはきわめて重要なことですが、確実な測定手法はないのが現状です。

わが国では、コンクリート中のアルカリシリカ反応性の残存膨張性を評価する試験として、温度 40℃、相対湿度 100% の湿気箱にて実施する方法 (JCI - DD2) がよく用いられています。実際の構造物から採取したコアの寸法によっては、膨張量の測定結果がばらつき、誤った評価をする場合があるため留意が必要です。この方法以外にも、温度 80℃ の 1N の NaOH 溶液中で実施するもの (ASTM C 1260, カナダ法) および温度 50℃ の飽和 NaCl 溶液中で実施する

もの (デンマーク法) などがあります。表 - 2 に各促進残存膨張量試験の判定基準を示します。しかし、コアの促進膨張試験における残存膨張性の有無を判定する基準値は、十分な研究調査に基づいたものではないことが指摘されています。実構造物の将来挙動との対応関係も必ずしも明確ではないことに留意が必要となります。

### (3) 骨材の岩種および反応性鉱物の種類

反応性骨材が使用されているか否かを判定する方法として骨材の岩種および鉱物の種類を調査することは重要です。

偏光顕微鏡観察法では、使用された骨材の岩種・鉱物の種類と量、セメント硬化体の様子、反応生成物などが観察できます。粉末 X 線回折試験では、コンクリート中の粗骨材とセメント硬化体を構成する鉱物 (クリストバライトとトリジマイトの同定) の診断が可能となります。また、走査型電子顕微鏡観察 (SEM - EDXA) を用いて、アルカリシリカゲルであるか否かの判定もできます。図 - 2 に SEM によって観察された粗骨材のゲルの例を示します。この観察例では、反応生成物の形態と組成成分の重量%から、典型的なアルカリシリカ型のゲルと判断できます。

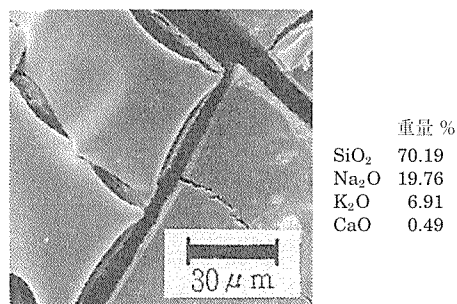


図 - 2 粗骨材ゲルの観察例<sup>1)</sup>

## 3. 非破壊検査

ASR による劣化を受けた構造物の維持管理においては、コンクリート断面内部の劣化進行や鉄筋破断の有無を的確に把握する必要があります。現在、断面内部の状況を調査する場合は、採取したコアを用いる室内試験や構造物を直

表 - 2 コア促進養生試験における判定基準<sup>4)</sup>

	JCI-DD 2 法	デンマーク法	カナダ法 (NBRI 法)
促進養生の条件	温度 40℃、湿度 100% の条件下にて養生	温度 50℃ の飽和 NaCl 溶液中に浸漬	温度 80℃ の 1N の NaOH 溶液中に浸漬
判定基準	阪神高速道路 (株)	試験材齢 3 箇月での膨張量で以下のように判定する。	ASTM C 1260-94 の判定基準： 試験開始後 14 日間での膨張量で以下のように判定する。 0.1% 以下の場合：無害 0.10 ~ 0.20% の場合： 有害と無害な骨材が含まれる。 (この場合、14 日以降も更に試験を継続する。) 0.20% 以上の場合： 潜在的に有害な膨張率
	国土交通省 建設省総合プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」では 40℃、100% の R.H. の条件下に 13 週間養生し、0.05% 以上の膨張量を示すものを有害または潜在的有害と判定する。	0.4% 以上：膨張性あり 0.1 ~ 0.4%：不明確 0.1% 未満：膨張性なし	

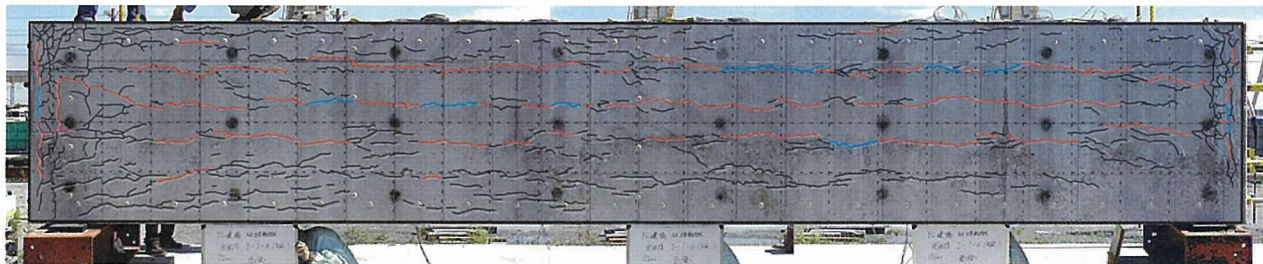


図-3 アルカリシリカ反応性骨材を用いた試験体のひび割れ状況（材齢240日）

接はつりとする調査などの微破壊をとまなう手法を用いるのが一般的です。しかし、供用している構造物を痛める手法は維持管理上は有効でない場合も考えられます。非破壊検査手法を用いた診断技術の確立が強く望まれるところであります。

### 3.1 超音波法

超音波法は、コンクリート断面内部の劣化状況を評価する非破壊点検手法として用いられています。超音波法に関しましては第4回講座（Vol.47, No.4, July 2005）で詳しく述べられていますのでここでは省略いたします。健全なコンクリートにおける超音波伝播速度は4000～4500 m/sec程度ですが、ASR劣化によりひび割れが生じると超音波伝播速度が低下する傾向にあります。超音波伝播速度を測定することにより、コンクリート内部の劣化を定性的ではありますが把握することができます。

図-3にASRによる劣化が生じている試験体のひび割れ状況を示します。ASR長期劣化性を確認するために、試験体（寸法：1.25×1.2×7.5 m）には反応性骨材を用いたアルカリを添加し屋外暴露しました<sup>6)</sup>。図-4にはこのASR試験体と健全な試験体との超音波伝播速度の推移のグラフを示します。アルカリシリカ反応性のある骨材を用いた試験体では材齢の進行に伴いASRによる劣化が顕著となりましたが、その劣化の進行にあわせて超音波伝播速度は低下していることがわかります。また、定量的評価に関する研究として、超音波法を用いることによりASR劣化したコンクリートの物性値（圧縮強度、弾性係数）を予測する研究も進められています<sup>7), 11)</sup>。

### 3.2 非破壊による鉄筋破断の調査

ASRによる劣化を受けたコンクリート構造物における鉄筋破断は、断面内部で生じているため、構造物を一部破壊するはつり調査以外に有効な方法はありませんでした。近年の研究において超音波法および電磁誘導法を応用した鉄筋破断検出技術が開発され、実構造物での検証が行われています<sup>8), 9)</sup>。図-5に試験的に実施した橋脚梁部分での超音波法と電磁誘導法の結果を示します。超音波伝播波形および電磁誘導リサージュ波形により鉄筋破断の有無を判定しています。実用的な手法として確立にはデータの蓄積が望まれるところです。

このほかに、ASRによる劣化が顕在化した場合、コンクリートと鉄筋との付着が不完全になるのではないかという前提に立ち、強力な電磁パルスコンクリート表面から与え、内部の鉄筋を振動させて、付着力を評価しようとする

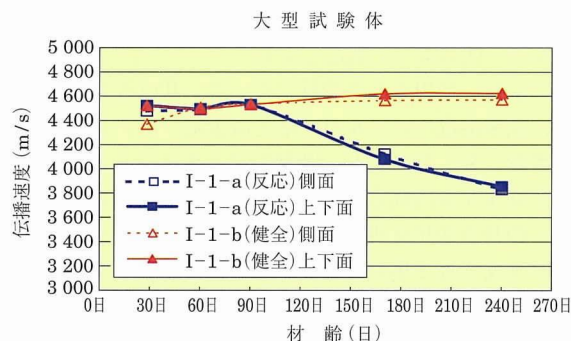


図-4 ASR劣化した試験体の超音波伝播速度の推移

試みもなされています<sup>10)</sup>。

### 3.3 AE法

AE法は、コンクリートのひび割れ発生に伴って発生し伝播する弾性波を検出する検査法です。供用中の過剰な交通荷重や地震時などの異常な荷重の負荷あるいは鉄筋腐食により、コンクリート内部ひび割れが発生すれば弾性波として検出できるものです。したがって、コンクリート表面にAEセンサーを設置して計測すれば、ひび割れに伴うコンクリート構造物の劣化評価ができます。ASRにより劣化したコンクリートの一軸圧縮下のAE発生挙動については、低い荷重レベルからAEが発生し、AE発生総数も健全なものより増加することが知られています。これらの現象を劣化評価に利用した手法として、レートプロセス理論を用いた方法やイベントレートピーク時の荷重レベルを用いる手法が検討されています。現在、実験室レベルではAE法によるイベントレートピーク時の荷重レベルは、ASR構造物の膨張量推定および劣化指標として有効であることが明らかとなってきています<sup>11), 12)</sup>。実構造物への適用が望まれるところです。

## 4. おわりに

今回は、ASRによる劣化を受けるコンクリート構造物の診断として、調査項目とその検査手法について解説しました。ASRの診断に関しては、構造物から採取したコアによる各種試験から重要なデータを得ることができますが、現在のところ非破壊検査では有効な診断技術は確立されていません。ASRによる鉄筋破断といった重要な問題も新たに加わり適切な対応が望まれています。

超音波法、電磁誘導法、AE法など非破壊検査によるアプローチも各方面で行われています。とくに、鉄筋破断の

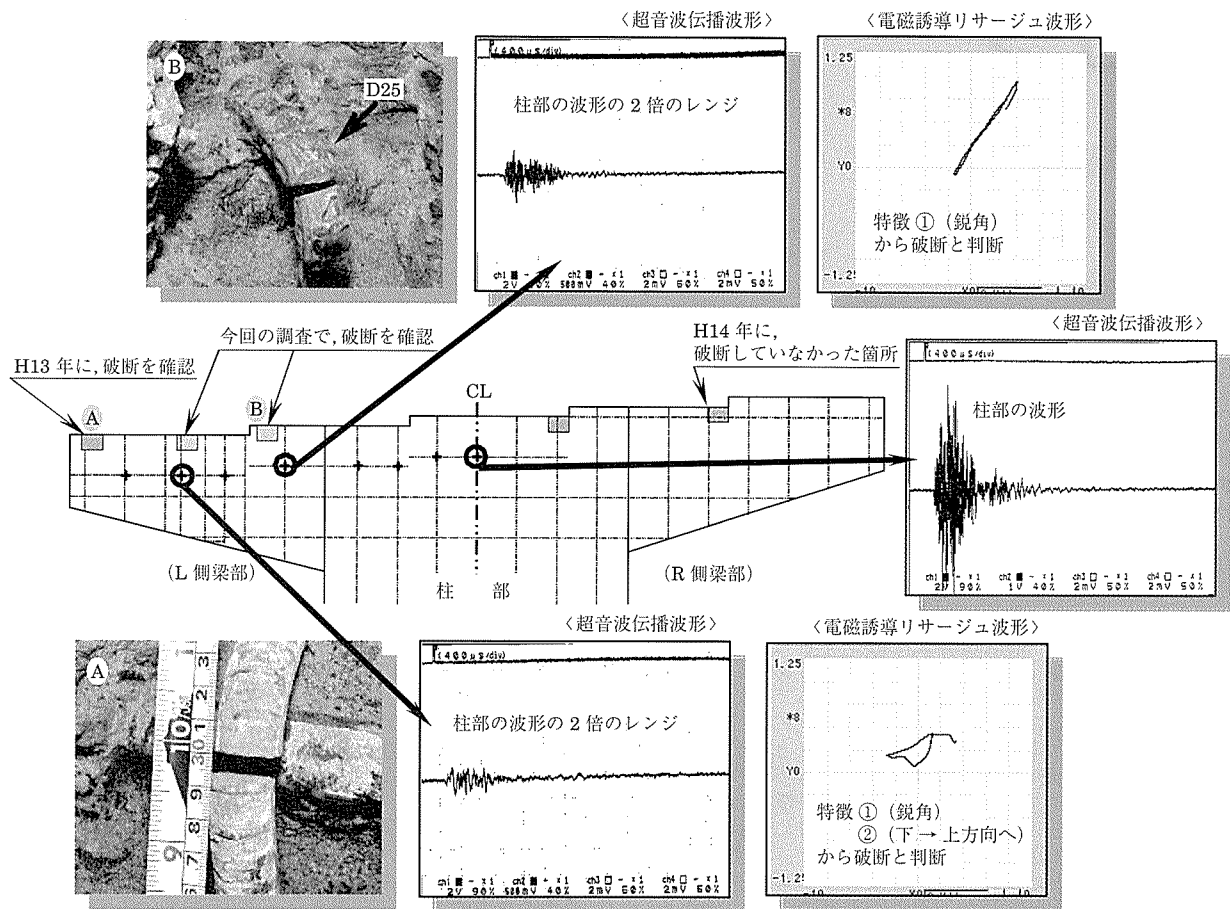


図 - 5 非破壊検査としての超音波法、電磁誘導法の適用例<sup>1)</sup>

有無を簡便に判定できる非破壊検査手法の確立が望まれるところです。

ASR に関しては未だ解明されていない項目もあり、今後の研究に依るところは大きいと思われます。今後、ASR に関するデータの蓄積を行うとともに実構造物へ適用するうえでの問題の解決を図り、維持管理に適切に反映できる診断システムを構築することが重要と考えます。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートライブラリー 124, アルカリ骨材反応対策小委員会報告書—鉄筋破断と新たな対応—, (2005)
- 2) 例えば, 小林和夫：アルカリ骨材反応を生じた部材や構造物の耐荷重性能—はり部材—, コンクリート工学 Vol.24, No.11, pp.70-78, 1986.
- 3) 土木学会：2001 年制定 コンクリート標準示方書 [維持管理編]
- 4) 日本コンクリート工学協会：コンクリートの診断技術 '06 [基礎編]
- 5) 鳥居和之, 野村昌弘, 本田貴子：北陸地方の反応性骨材の岩石学的特徴と骨材のアルカリシリカ反応性試験の適合性, 土木学会論文集, No767, pp.185-197, 2004.
- 6) 真鍋英規, 廣井幸夫, 大久保孝, 宮川豊章：アルカリ骨材反応に

よる劣化を受ける PC 部材の長期劣化性状評価に関する実験的研究, 建設用原材料, Vol.15, No.1, pp18-25, 2006.

- 7) 中川裕之, 横田優, 松田耕作：超音波法によるコンクリート物性予測手法に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1889-1894, 2006.
- 8) 葛目和宏, 森雅司, 松本茂：アルカリ骨材反応を生じた構造物に適用する非破壊検査, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム論文報告集 第 2 巻, pp.171-177, 2002.
- 9) 野村倫一, 葛目和宏, 藤原規雄：ASR による鉄筋破断に関する非破壊調査, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.2013-2018, 2004.
- 10) 真鍋雅則, 橋本光男：パルス電磁力法による鉄筋コンクリート診断技術の開発と RC 擁壁への適用事例, 日本非破壊検査協会, 表面探傷分科会資料, 2002.10.
- 11) 久保善司, 山梨竜揮, 森寛晃, 佐藤彰：ASR 劣化コンクリートの AE 発生挙動に基づく劣化評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.951-956, 2004.
- 12) 久保善司, 服部篤史, 宮川豊章：ASR コンクリートの力学的特性と劣化度評価についてコンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.1799-1804, 2003.

[2006 年 8 月 25 日受付]