

ASR 構造物より採取したコアの残存膨張量の適用性評価

九州工業大学工学部 正会員 ○ 三浦 正嗣  
 九州工業大学工学部 正会員 Ph.D. 幸左 賢二  
 阪神高速道路株式会社 久利 良夫  
 住友大阪セメント 正会員 川島 恭志

1. はじめに

日本では、ASR が社会的に問題となった1983年 (S.58) 以降より、多くの調査機関でコアの促進膨張試験が採用され、現在まで数多くの調査・実験的検討が実施されてきた。しかし、ASR による劣化は、反応性骨材の種類や環境条件、構造形式など多くの不確定な要因が複雑に絡みあい、その影響からか、コアの膨張量と実損傷は必ずしも対応しない傾向となっている。したがって、現在においても、コアの膨張量による適切な管理指標が十分に明らかとなっていないのが現状であり、各調査研究機関によってさまざまな基準が用いられている (表-1 参照)。そこで本検討では、ASR を生じた実構造物の損傷度とコアの膨張量 (JCI 法) の適用性評価を目的として、過去に筆者らが実施した供試体実験<sup>1)</sup>と実構造物の調査データを用いてコアの膨張量に関する検討を行った (図-1 参照)。コアの促進膨張試験は、いずれも JCI-DD2 法によって実施されており、この試験方法は日本で ASR の調査が本格的に実施された当初から最も一般的な試験方法として採用されてきた。図-2 にコアの促進膨張試験結果の一例を示す。図-2 より、JCI-DD2 法では貯蔵条件によって解放膨張量と残存膨張量に区分して表され、標準養生 (20℃, 相対湿度 95%以上) した時に生ずる膨張量を解放膨張量と呼び、その後同一の供試体を促進養生 (40℃, 相対湿度 95%以上) した時に生ずる膨張量を残存膨張量と呼ぶ。また、試験結果の評価としては、解放膨張量はすでに発生している ASR の程度を表し、残存膨張量は構造物が将来膨張する危険度の尺度を表すとされている。しかし、前述したように、既往の研究結果より、コアの解放および残存膨張量と実構造物の過去と未来の損傷程度は必ずしも対応しないという報告があるため、本稿ではこれらコアの膨張量の適用性について評価を行った。

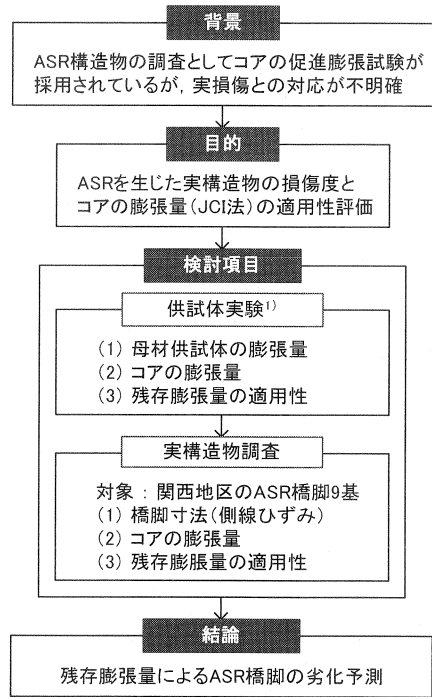


図-1 本稿の検討フロー

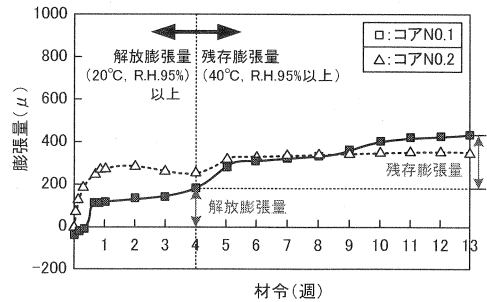


図-2 コアの促進膨張試験結果の例

表-1 主な調査研究機関による判定基準

機関名	コア径	判定基準	
(旧) 阪神高速道路公団	φ 100mm	全膨張量: 0.1%以上	有害
JCI	φ 100mm	なし	
建設省 総プロ	—	膨張量 (13Week): 0.05%以上	有害または潜在的有害

2. 供試体実験<sup>1)</sup>

2.1 供試体実験の諸元

筆者らは、コア採取によるASRの劣化診断・予測を  
実用化することを目的として、過年度にコア採取を伴  
う供試体実験を行っている<sup>1)</sup>。実験パラメータは、a)  
鉄筋拘束の有無、b) 反応性骨材の混入率、c) コア採  
取時期、d) 採取コア径の4項目である。本章では、こ  
のような供試体実験の結果を基にコアの膨張量に影響  
する要因を実験パラメータごとに整理することとした。

図-3に供試体形状とコア採取位置を、表-2に供試  
体実験の諸元を示す。図-3および表-2より、供試体  
形状は300×300×500mmであり、鉄筋により拘束を与  
えたRC供試体および拘束無しは無筋供試体を作成した。  
RC供試体の配筋状態は図-3に示すとおりである。  
コンクリートの配合は、水セメント比50%で、反応性  
粗骨材(瀬戸内産 古銅輝石安山岩)の混入率を0%、  
50%、100%と3水準で配合しており、コンクリート中  
にはNaClを添加し、総アルカリ量を8kg/m<sup>3</sup>に調整した。

実験条件は、経年的なコアの膨張量の変動を把握す  
るために、2週間屋外で湿空養生後、第1回目のコア  
採取によって膨張が進展する前の初期値を測定し、そ  
の後40℃、相対湿度100%の促進養生によってひび割れ  
が生じ始めた材令6週で第2回目のコア採取、膨張が  
進展して定常状態となった材令39週で第3回目のコア  
採取を実施している(採取コア=供試体14体×8本=  
112本、表-3参照)。また、採取コア径はφ100、75、  
50mmの3種類である。

ASRによる変状の測定としては、供試体の膨張量を  
図-3に示す位置でホイットモア変位計(測定精度  
1/1000mm)により測定し、コアの膨張量はJCI-DD2法  
によって試験を実施した。

2.2 実験結果

(1) 母材供試体の膨張量

図-4に促進養生開始(材令2週)後の母材供試体  
の膨張率の経時変化を示す。図-4より、反応性骨材  
(Gr)混入率0%の非反応性供試体以外では、いずれの  
場合も促進養生期間の増加とともに膨張が進展してい  
ることが読み取れる。また、反応性骨材混入率が同じ  
であっても鉄筋の拘束のあるものは無拘束のものに比  
べて膨張率がかなり小さくなっており、材令39週の最  
終計測値で比較すると、RC供試体の膨張率は無筋供試  
体の膨張率の39~57%まで低減されている。

<コア採取時期>

- ・第1回コア採取：材令2週(0μ)
  - ・第2回 "：材令6週(約850μ)
  - ・第3回 "：材令39週(約5000μ)
- ※( )内の値はGr混入率100%、無筋供試体の膨張率

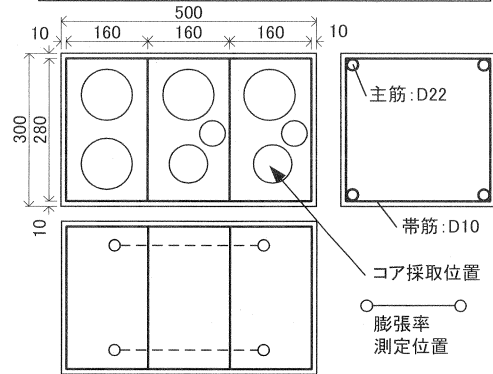


図-3 供試体形状とコア採取位置

表-2 供試体実験の諸元

供試体寸法(mm)	300×300×500
構造種別	RCおよび無筋 (主鉄筋比1.72%, 帯筋比0.38%)
水セメント比(%)	50(設計基準強度: 27 N/mm <sup>2</sup> )
反応性骨材の岩種	古銅輝石安山岩
反応性骨材の混入率	0%, 50%, 100%
添加アルカリの種類	NaCl(Na <sub>2</sub> OHeq. 8kg/m <sup>3</sup> )
養生条件	2週間屋外にて湿空養生後、 40℃, R.H.100%で促進養生
採取コア径(mm)	φ100, φ75, φ50

表-3 供試体ケースと供試体数の一覧

供試体ケース	供試体数	解体材令
1 Gr.混入率0%, 拘束有	2体	2, 39週
2 Gr.混入率50%, 拘束無	3体	2, 6, 39週
3 Gr.混入率50%, 拘束有	3体	2, 6, 39週
4 Gr.混入率100%, 拘束無	3体	2, 6, 39週
5 Gr.混入率100%, 拘束有	3体	2, 6, 39週
合計	14体	-

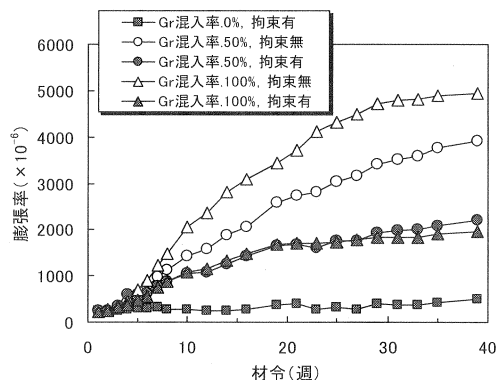


図-4 母材供試体の膨張量の経時変化

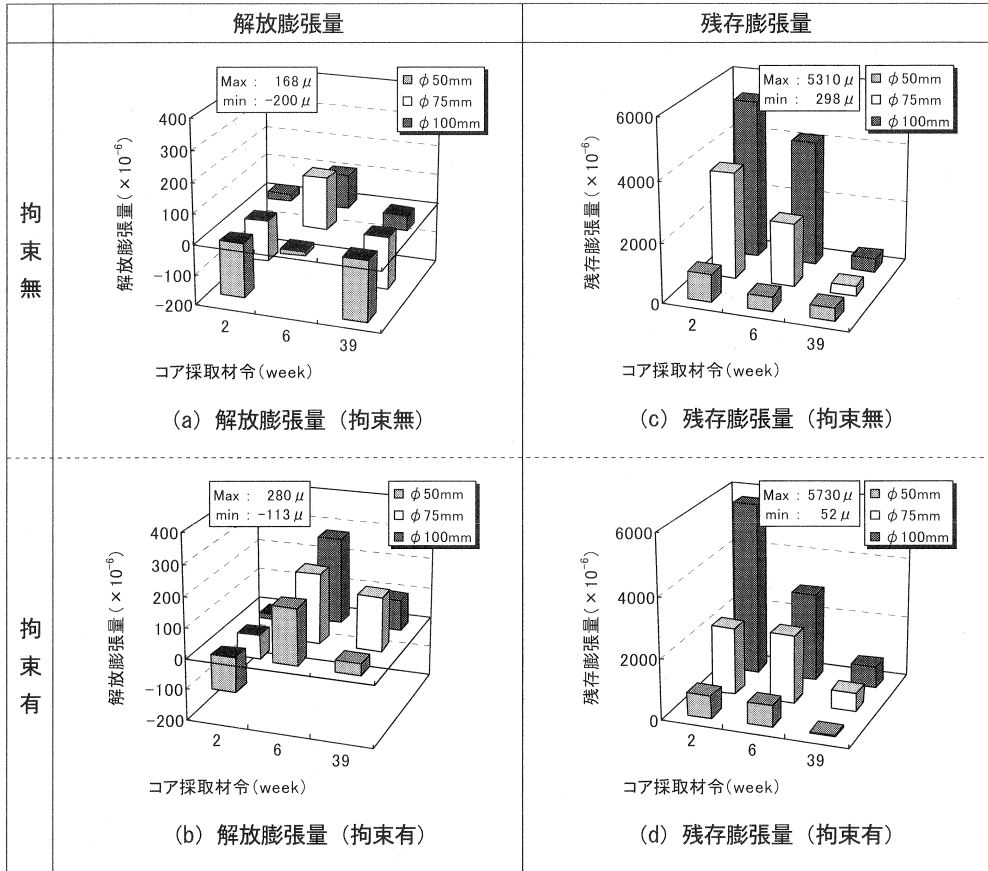


図-5 コアの膨張量試験結果 (反応性骨材 (Gr) 混入率 50%)

(2) コアの膨張量

図-5 に採取コアの解放および残存膨張量の結果を示す。なお、本実験では反応性骨材の混入率が 50%, 100% で膨張量の絶対値や進展程度に差が見られなかったため、代表として混入率 50% のデータのみを示している。

まず、図-5 (a), (b) に採取コアの解放膨張量を示す。図より、コア採取時期およびコア径に関係なく、拘束有の母材供試体から採取したコアの解放膨張量は無拘束のものより大きくなっており、母材供試体の鉄筋拘束の有無の影響が認められる。また、コア採取時期に着目すると、第 2 回採取時点 (材令 6 週) では解放膨張量が増加しているが、第 3 回採取時点 (材令 39 週) ではいずれも解放膨張量が減少する結果が得られている。この原因としては、ASR の進展に伴うひび割れの影響によって内部の膨張が解放されたことが考えられる。以上より、ASR による膨張の進展に伴って解放膨張量は増加しておらず、また解放膨張量の絶対値が全て 300  $\mu$  以下と小さいことから、解放膨張量がすでに発生している ASR の程度を示さない結果となった。

次に、図-5 (c), (d) に採取コアの残存膨張量を示す。図より、鉄筋拘束の有無の影響はほとんど認められず、コア径が同じであると拘束の有無に関係なく残存膨張量はほぼ等しい値となっている。また、図より、コア径が残存膨張量に大きく影響を与えることは明らかであり、コア径が小さくなるほど残存膨張量も小さくなっている ( $\phi 75\text{mm}$  の残存膨張量は、 $\phi 100\text{mm}$  の残存膨張量の 36~88%, 平均で約 60% まで小さくなる)。

(3) 残存膨張量の適用性

以上より、残存膨張量の適用性評価として、図-6 に母材供試体の膨張量とコアの残存膨張量の経年変化の対応を示す。母材供試体およびコアの膨張量は、傾向を分かりやすく比較するために代表して反応性骨材

(Gr) 混入率 50%のデータのみに限定した。また、母材供試体の膨張量は各材令で 39 週時の最終計測値より差し引いた残存膨張率としてプロットし (図-4 の上下反転図)、コアの残存膨張量との対応を比較できるように考慮した。図-6 より、母材供試体の残存膨張率は材令の経過に伴って低下しており、同様にコアの残存膨張量も採取材令が後期ののものになるにしたがって小さくなる傾向が一致している。したがって、供試体実験の結果からは、コアの残存膨張量によって ASR の劣化進展予測が可能であることが示唆された。しかし注意する項目としては、コア径によって膨張の絶対値が異なるため、コア径の大きな  $\phi 100\text{mm}$  で評価を行う方が劣化進展の傾向を把握しやすいと考えられる。

### 3. 実構造物の分析

#### 3.1 検討対象橋脚と主な調査概要

表-4 に検討対象橋脚の概要を示す。検討対象は、関西地区で ASR と判定された橋脚 87 基のうち、損傷度が大きく、経年的にデータが多くとられている橋脚 9 基を対象とした。検討対象橋脚 9 基は、鉄筋コンクリート製の T 型単柱式橋脚 (以下、RC 橋脚と表記) が 4 基と、梁部にプレストレスを導入した橋脚 (以下、PC 梁橋脚と表記) が 5 基あり、いずれも供用年数が約 25 ~ 35 年経過している。これらの橋脚は、いずれも ASR が社会的に問題となった昭和 58 年以降より、継続的に調査・診断が行われている。そのような橋脚の調査の中で、コアの促進膨張試験 (JCI-DD2 法) は竣工後 10 ~ 30 年程度で実施されているものが多く、平均で約 3 回実施されている (表-4 参照)。また、ASR 橋脚 9 基の調査項目のひとつに、橋脚自体の膨張量の進展を把握する目的で、橋脚寸法 (側線ひずみ) の測定が実施されている。橋脚寸法ひずみの調査期間は、S. 59 ~ H. 15 であり、測定周期は 1 ~ 2 年おきに調査されているものが多い。計測方法は、躯体表面に 30cm 間隔で設置した標点間距離をコンタクトストレインゲージを用いて測定している。図-7 に橋脚寸法 (側線ひずみ) の計測位置を示す。図-7 より、側線の計測位置は、橋脚柱部・梁部における水平および鉛直方向、また、梁下面において計測されている。以上より、本章では橋脚寸法が継続的に測定されている橋脚 9 基 (RC 橋脚 4 基、PC 梁橋脚 5 基) を選定し、側線ひずみとコアの膨張量の関係性を検討した。具体的には、まず代表橋脚とし

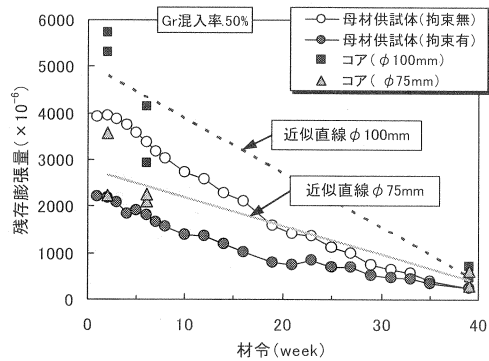


図-6 残存膨張量の適用性評価 (供試体)

表-4 検討対象橋脚 (9 基) の概要

構造	橋脚	竣工	促進膨張試験	
			コア採取年(竣工後経過年)	回数
RC 橋脚	A	S.47	H.2(18), H.11(27), H.13(29)	3
	B	S.51	S.59(8), S.60(9), H.1(13), H.13(25)	4
	C	S.51	S.57(6), H.1(13), H.2(14)	3
	D	S.56	H.3(10), H.14(21)	2
PC 梁橋脚	E	S.54	H.1(10), H.11(20), H.15(24)	3
	F	S.54	S.57(3), S.59(5), H.1(10), H.2(11), H.11(20), H.15(24)	6
	G	S.44	H.11(30), H.15(34)	2
	H	S.44	H.15(34)	1
	I	S.45	S.58(13), S.59(14)	2
合計 9 基			平均:	2.9

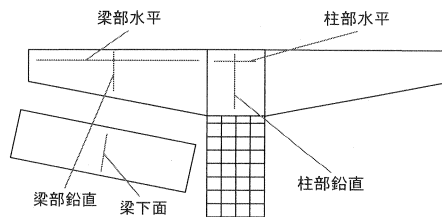


図-7 橋脚寸法 (側線ひずみ) 計測位置

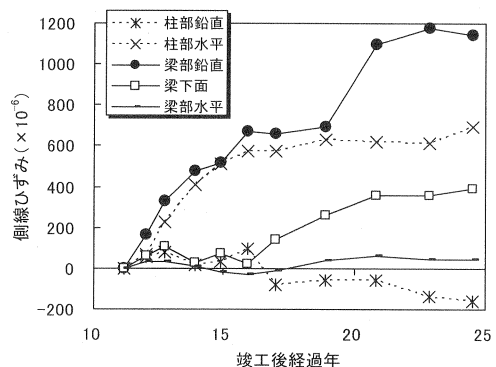


図-8 側線ひずみの経年変化 (E 橋脚)

て、E橋脚(PC梁)に着目した分析結果を示し、その後9基全体の分析結果を示すこととした。

### 3.2 実構造物調査データの分析結果

#### (1) 橋脚寸法(側線ひずみ)

図-8に代表例としてE橋脚の側線ひずみの経年変化を示す。図-8より、側線ひずみは、側線の位置・方向によって膨張の進展が異なる傾向にあり、この原因としては鉄筋やプレストレスによる拘束条件や部材の構造的特徴により、膨張の進展方向が制限されていると考えられる。本検討で対象としたASR橋脚9基の共通の特徴としては、橋脚の梁部鉛直および梁下面の鉄筋拘束が少ない箇所では膨張が卓越する傾向となっており(図-9参照)、したがってこの2側線(梁部鉛直、梁下面)のひずみによって評価を行うこととした。

#### (2) コアの膨張量

図-10にE橋脚の解放膨張量の経年変化を、図-11に残存膨張量の経年変化を示す。E橋脚はH1, H11, H15の計3回の調査年で膨張量試験が実施されており、各調査年で膨張量試験に供されたコアは1本、4本、2本である。また、コア採取位置は図-9に示すように、橋脚梁部の付け根または梁端部付近からφ75mmのコアを橋軸方向に採取している。図-10より、解放膨張量は、100μ前後の値でほぼ横ばいに推移している傾向が得られ、実構造物においても供試体実験と同様で、すでに発生しているASRの程度を表さない結果となった。一方、図-11より、残存膨張量は経年的に低下していく傾向にあり、H15(竣工後24年)に採取したコアは100μ以下と小さくなっており、膨張が収束して定常状態に移行していることが読み取れる。ここで、実構造物の調査では採取コア径がφ75mmで採取されているため、前章の供試体実験の結果から、コア径をφ100mmに換算し(×約1.67)、以降の残存膨張量の適用性を検討することとした。

#### (3) 残存膨張量の適用性

コアの残存膨張量と側線ひずみの対応を見るために、図-12に両者の経年変化の対応を示す。ここで、図中の側線ひずみの値は、各測定年で最終測定年の値から差し引いた残存する側線ひずみ(以下、残存側線ひずみと表記)としてプロットし(図-8の上下反転図)、コアの残存膨張量と比較できるように考慮した。図-12より、残存膨張量と残存側線ひずみは両者とも経年的に低下していく傾向が一致しており相関性が伺える。

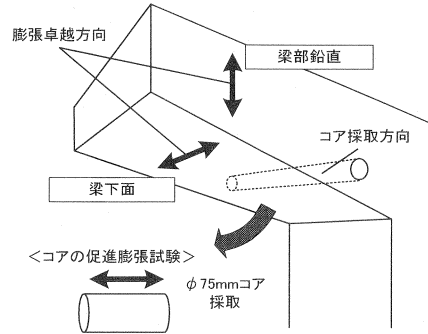


図-9 橋脚の膨張卓越方向

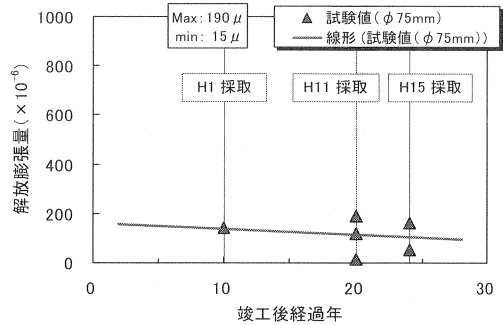


図-10 解放膨張量の経年変化 (E橋脚)

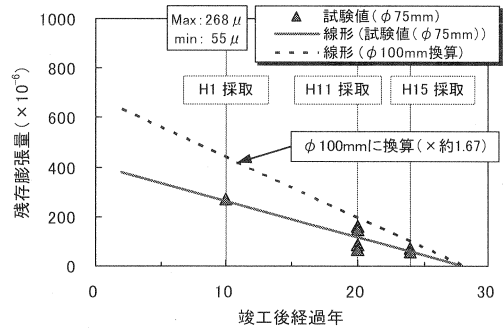


図-11 残存膨張量の経年変化 (E橋脚)

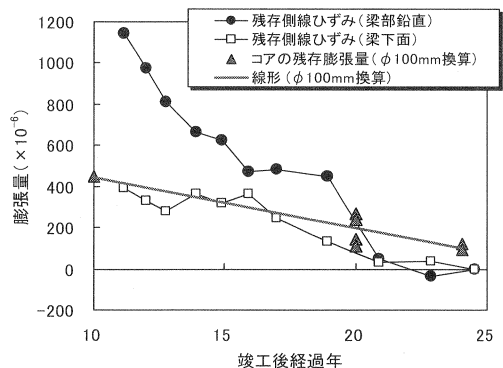


図-12 残存膨張量の適用性評価 (E橋脚)

特にE橋脚の結果においては、鉄筋拘束の影響が少ない梁下面の残存側線ひずみと残存膨張量の低下勾配が一致するような傾向にある。

以上より、同様の分析手法でASR橋脚9基の分析を行い、その結果として、図-13に橋脚9基の残存膨張量と残存側線ひずみの関係を示す。図中の残存膨張量のデータは調査年によって橋脚から複数本採取されているため、平均値として評価を行った。図-13より、残存膨張量が $500\mu$ 以上の橋脚は残存側線ひずみが全て $500\mu$ を超えていることが読み取れる(領域Aに対応)。一方、残存膨張量が $500\mu$ 以下のものでも残存側線ひずみの値が大きい箇所も存在する(領域Bに対応)。

図-14に領域A、Bに対応する代表例として2橋脚(I橋脚、B橋脚)のデータを示す。まず、図-14(a)のI橋脚のデータより、残存膨張量が $500\mu$ 以上の値を示した領域Aに該当するものは、残存側線ひずみと残存膨張量の値が対応しており、このような橋脚の場合はコアの残存膨張量によってその後の劣化進展が予測できると考えられる。次に、図-14(b)の橋脚Bのデータに示すように、領域Aと領域Bに該当する両方のデータを含む橋脚も存在する。図より、領域Bに該当する残存膨張量は、竣工後9~13年にすでに膨張が収束している傾向にあり、残存側線ひずみの低下時期と差が生じている。このように必ずしもコアと実構造物の残存膨張率の絶対値は合っていないがいずれ低下していくということでは傾向が一致するものが存在する。以上の結果より、図-13において残存膨張量と残存側線ひずみに比例関係は必ずしも成立しないが、残存膨張量が $500\mu$ 以上生じたA領域においては残存側線ひずみも全て $500\mu$ 以上を示し、特にその後の劣化進展に注意が必要であることから、コアの残存膨張量 $500\mu$ が管理上のひとつの目安になると考えられる。

4. まとめ

- (1) 供試体実験の結果より、母材供試体の残存膨張率とコアの残存膨張量は材令の進展に伴って低下する傾向が一致しており、コアの膨張量の適用性はよい結果となった。また、コア径では $\phi 100\text{mm}$ の膨張量を基準として評価することで劣化進展の傾向を把握できる結果となった。
- (2) ASR橋脚9基の分析結果より、コアの残存膨張量( $\phi 100\text{mm}$ 換算)が $500\mu$ 以上の橋脚はコア採取時以降の側線ひずみの進展が全て $500\mu$ 以上残存しているため、特にその後の劣化進展に注意が必要であり、コアの残存膨張量 $500\mu$ が管理上のひとつの目安になると考えられる。

参考文献

1) 富田穰ら: コア採取法によるASR変状構造物診断の基礎的研究, セメント技術年報 42, pp. 335-338, 1988

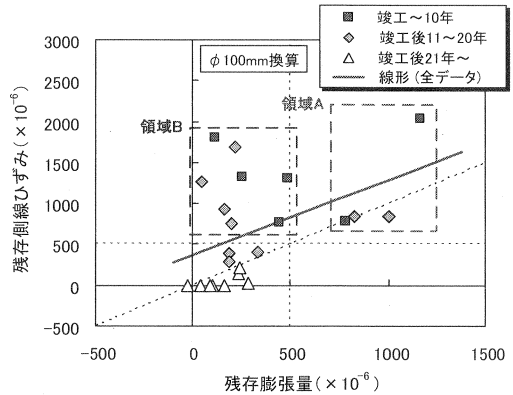
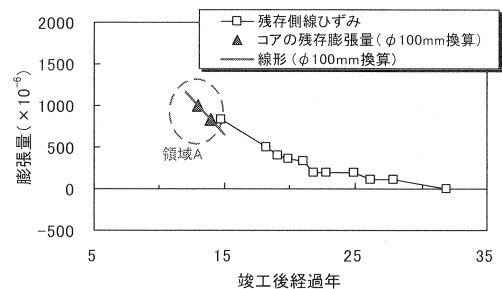
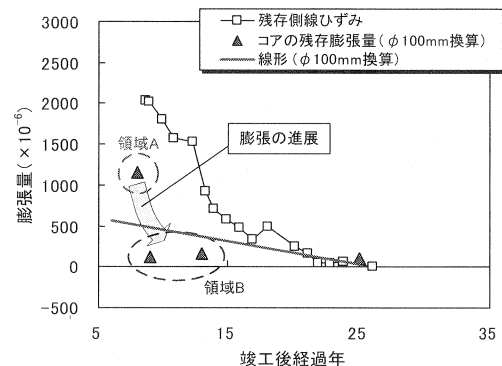


図-13 残存膨張量-側線ひずみ (全9基)



(a) I橋脚



(b) B橋脚

図-14 領域A、Bに対応するデータの例