

ASR 構造物より採取したコアの膨張特性に関する研究

Applicability of an expansion test to the evaluation of ASR-affected structures

幸左賢二*, 久利良夫**, 川島恭志***, 三浦正嗣****
Kenji Kosa, Yoshio Hisari, Yasushi Kawashima and Masatsugu Miura

*Ph.D. 九州工業大学教授 工学部建設社会工学科 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

**工博 阪神高速道路株式会社 技術管理室 (〒541-0056 大阪市中央区久太郎町4-1-3)

***工修 住友大阪セメント株式会社 セメント・コンクリート研究所 (〒551-0021 大阪市大正区南恩加島 7-1-55)

****九州工業大学大学院 工学研究科 建設社会工学専攻 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1)

Comparing the results of a core test and the data of Alkali-Silica Reaction (ASR)-affected actual piers, applicability of an expansion test (JCI-DD2 Method) was investigated. According to the test results, a good correlation was found between the residual expansion of a core and future crack propagation in the pier. However, no good correlation was found between the initial expansion and existing cracks in the pier.

Key Words: ASR, structure, density of crack, amount of expansion in boring core

キーワード: ASR, 実構造物, ひび割れ密度, コアの促進膨張量

1.はじめに

日本では、アルカリ骨材反応（以下、ASR と表記）が社会的に問題となった 1983 年（S.58）以降より、コアの促進膨張試験が ASR の調査項目のひとつとして多くの調査機関で採用され、現在まで数多くの調査・実験の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-DD2 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¹⁾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）。

2.促進膨張試験概要

本研究で対象とした実構造物におけるコアの促進膨張

試験は、何れも JCI-DD2 法によって実施されている。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一般的な手法として多くの機関で採用されてお

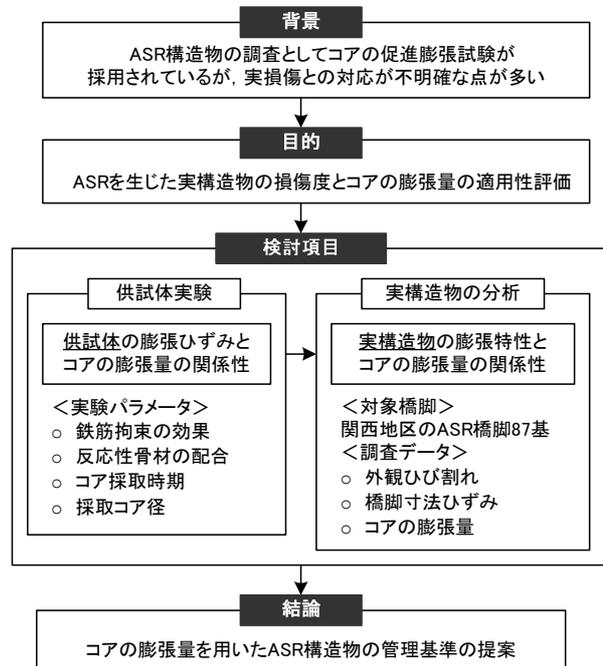


図-1 本稿の検討フロー

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	
阪神高速道路公団	φ 75mm以上	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

り、最も実績の高い試験方法である。試験方法の概要を図-2に示す。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℃，R.H.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℃，R.H.95%以上）した時に生ずる膨張量を残存膨張量と呼ぶ。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定義されている。また、全膨張量は解放膨張量と残存膨張量を加えた値であり、構造物の損傷の最終的規模を表すとされている。しかし、ASR劣化が著しい構造物から採取したコアでこの試験を実施しても膨張しないケースも見受けられ、実構造物レベルでのその適用性について十分な検討は実施されていない。そこで、本研究ではJCI-DD2法の適用性に関して、全膨張量、解放膨張、残存膨張量と構造物の損傷度の関係を検討することとした。検討にあたっては、筆者らが過去に実施した供試体におけるコア試験データを再吟味した上で、実構造物調査で実施したコアの促進膨張試験結果に関して適用性の検討を行った。

3. 供試体実験

3.1 供試体実験概要

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¹⁾。そこで、本章では一様な促進環境（40℃，R.H.95%以上）における供試体の膨張量とコアの解放膨張量および残存膨張量について適用性の評価を行った。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再度詳細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が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、主鉄筋比1.72%、帯鉄筋比0.38%に設定し、同程度の拘束度をもった構造物を模擬している。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）

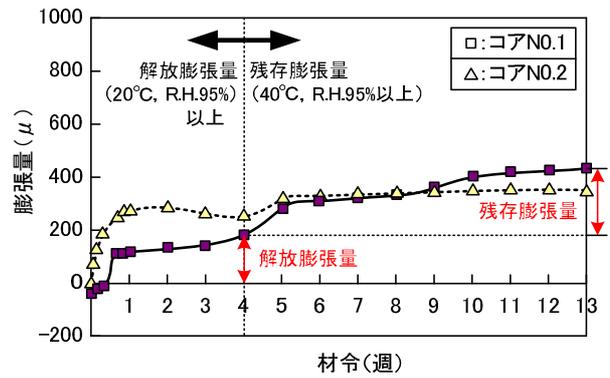


図-2 コアの促進膨張試験結果の例

<コア採取時期>

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

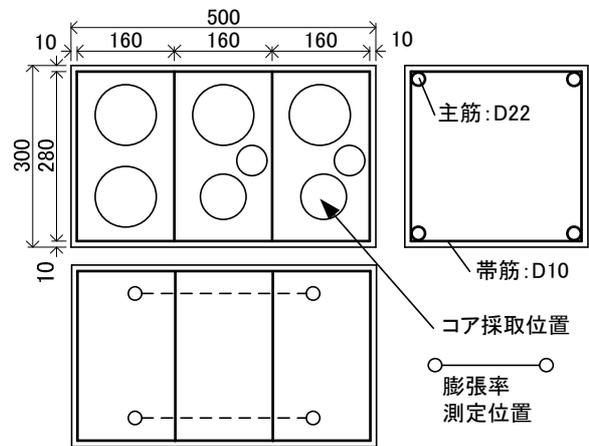


図-3 供試体形状とコア採取位置

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 ²)
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 ₂ Oeq, 8kg/m ³)
養生条件	2週間屋外にて湿布養生後、 40℃、R.H.95%以上で促進養生
採取コア径(mm)	φ100、φ75、φ50

表-3 供試体のコンクリートの配合

反応性骨材 (Gr)混入率	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤		
			W	C	S	G	Gr	ヴァインソル (C×%)	NaCl (kg/m ³)
						非反応性	反応性		
0%	50	44	176	352	783	1031	-	C×0.010	12.7
50%						516	487		
100%						-	974		

の混入率を 0%, 50%, 100%と 3 水準で配合しており (表-3 参照), コンクリート中には NaCl を添加し, 総アルカリ量を 8kg/m^3 に調整した. なお, NaCl 添加による鋼材腐食ひび割れは, 最終材令 39 週においても顕著には認められていない.

実験条件は, 2 週間屋外で湿布養生後, 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°C , R.H.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 \times 8 本=112 本, 表-4 参照). また, 採取コア径は $\phi 100, 75, 50\text{mm}$ の 3 種類である. ASR による変状の測定としては, 母材供試体の膨張量を 図-3 に示す位置でホワイトモア変位計 (測定精度: $1/1000\text{mm}$) 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.

3.2 実験結果および考察

(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.

(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 300×10^{-6} 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 の損傷度の指標としての適用性が低いことが明らかとなった.

なお, 第 1 回採取時点 (材令 2 週) の解放膨張量のほ

表-4 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	—

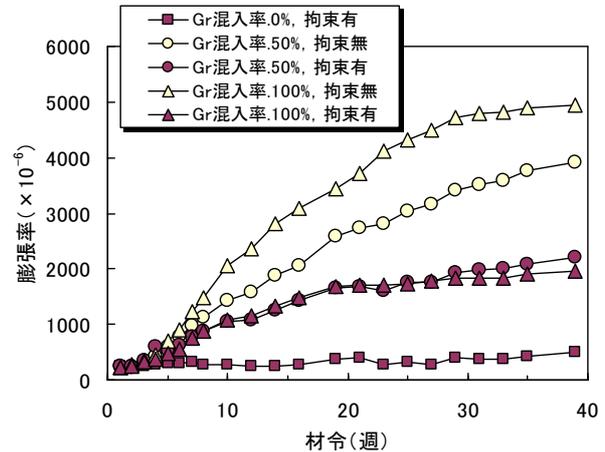


図-4 母材供試体の膨張量の経時変化

とんどが負の値となっているが, 実構造物から採取したコアの試験結果でも解放膨張量が負の値になることがあり, 測定時の試験体温度・含水率・ひび割れの違いによる影響などが一因しているものと考えられる.

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な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 ($\phi 75\text{mm}$ の残存膨張量の測定値は, $\phi 100\text{mm}$ の残存膨張量の 36~88%, 平均で約 60%となるため, $\phi 75\text{mm}$ を $\phi 100\text{mm}$ に換算すると 1.67 倍となる.)

コア径によって残存膨張量が異なる原因としては, 促進環境下でコア表面からアルカリが溶出する影響が一因していると考えられ^{3), 4)}, 成型コアの寸法が小さくなるほど, アルカリの溶出の影響から残存膨張量が小さくなると考えられる.

(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. ただしここに示す母材供試体およびコアの膨張量についても, 傾向を分かりやすく比較するために反応性骨材 (Gr) 混入率 50%のデータのみを対象に考察を加える. 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

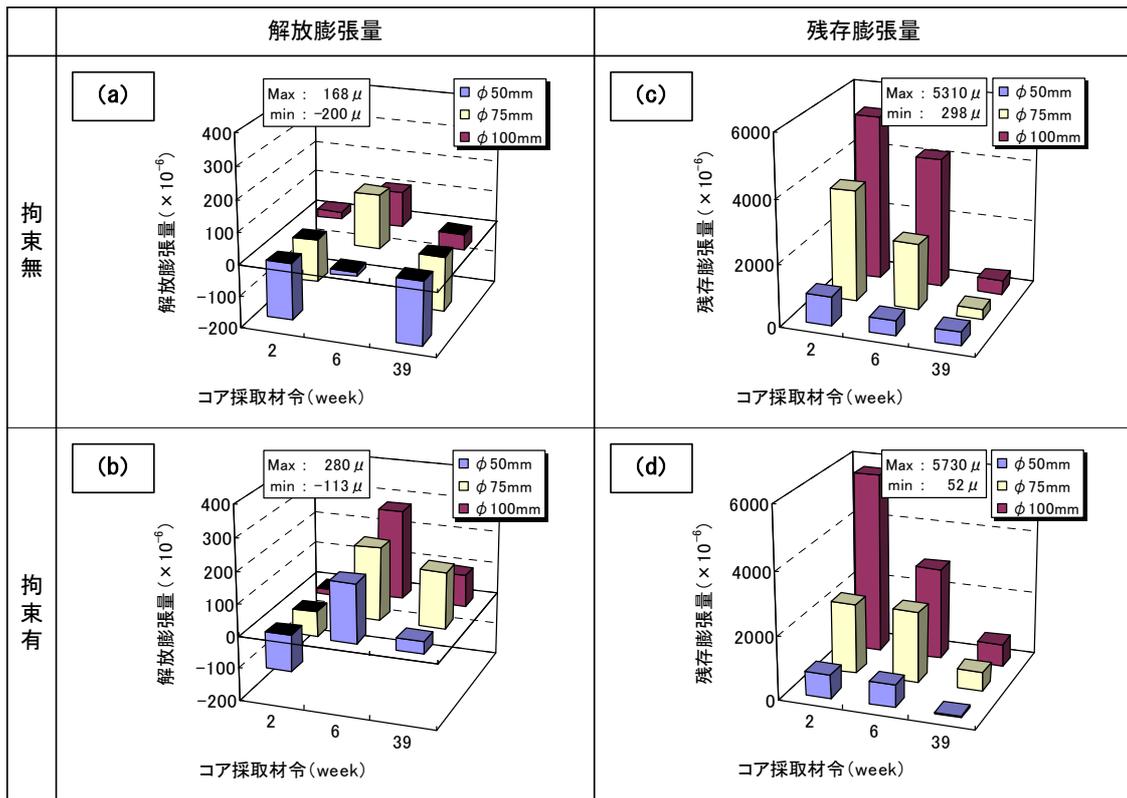


図-5 コアの膨張量試験結果 (反応性骨材 (Gr) 混入率 50%)

(図-4の上下反転図), コアの残存膨張量との対応を比較している. なお, 拘束体が母材供試体では主鉄筋, コアでは帯鉄筋となっていることからコアの拘束による影響は比較的小さくなっている. 図-6より, 母材供試体(拘束無)の残存膨張率は材令2週時に約 4000×10^{-6} 程度あり, その後材令39週時まで線形的に約 250×10^{-6} まで低下する傾向にある. 同様にコア(φ100mm)の残存膨張量も材令2週のコアでは約 5500×10^{-6} あるが, 材令39週時には 500×10^{-6} 程度と小さくなっており, 両者の傾向が一致している. よって, 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φ75mmのデータとφ100mmのデータで膨張の絶対値が異なるため, コア径の大きなφ100mm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.

4.実構造物の分析

4.1 検討対象橋脚および調査概要

図-7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) 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) 計 87 基を対象とした. ASR の判定は, 橋脚外観のひび割れ発生状況やコア採取調査によるゲルの分析等によって判定している²⁾. また, これら対象橋脚 87 基は 1969 年から 1981 年にかけて竣工したものであり, 供用開始から約 26~38

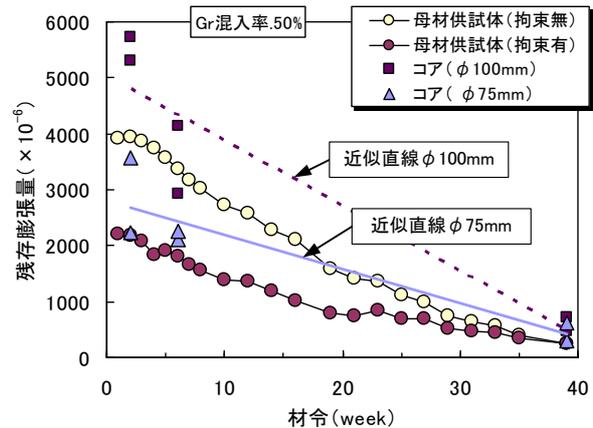


図-6 残存膨張量の適用性評価 (供試体)

年が経過している構造物である.

ASR と判定された橋脚の管理としては, 外観のひび割れ損傷度が顕著な橋脚を優先して, 予防保全の観点から補修・補強の必要性が検討される. ASR 橋脚 87 基のうち劣化が顕著な橋脚 21 基 (RC 橋脚 7 基, PC 梁橋脚 14 基) は調査データが比較的多くとられており, 長期的にひび割れが進展している橋脚である. また, 橋脚 21 基は, 損傷抑制対策 (補修・補強) 後も追跡的に劣化状況の調査やモニタリングが多く実施された橋脚であり, 9 基の橋脚で追跡点検 (橋脚寸法ひずみ) が実施されている.

図-8に対象とした調査項目の分析の流れを示す. 橋脚の ASR 調査は, いずれも ASR が社会的に問題となった昭和 58 年以降より, 継続的に約 20 年間もの間各種調査や補修後のモニタリングが実施されている. そのよう

な膨大な ASR 橋脚 87 基の調査データの中で、本検討では膨張特性の把握が可能である調査項目 1)外観のひび割れ調査、2)橋脚寸法ひずみ、3)コアの膨張量の 3 項目に着目して検討を行った。検討の流れとしては、まず、外観のひび割れおよび橋脚寸法ひずみのデータにより、構造物の ASR による損傷程度を全体・方向・位置に関して分析し、その後、コアの膨張量との適用性の検討を行った。

表-4 に調査が実施された橋脚数を示す。表-4 より、外観のひび割れ調査は ASR 橋脚全 87 基で実施されているが、橋脚寸法ひずみの測定やコアの膨張量試験は外観のひび割れ損傷が大きな橋脚を基本に調査が実施されている（橋脚寸法ひずみは全 87 基中 22 基、コアの膨張量試験は全 87 基中 47 基で調査）。

4.2 対象橋脚の外観変状と損傷度評価

(1) 外観のひび割れ損傷例

図-9 に橋脚 H の外観のひび割れ損傷例を示す。ASR により劣化した橋脚の主なひび割れは、梁天端および側面に主鉄筋方向に沿って発生しており、ASR によるひび割れの特徴が認められる。また、橋脚 H は、竣工後 10 年において予防保全の観点からひび割れ注入および表面保護工による補修が実施されたが、その後も膨張が進展し、竣工後 24 年調査時には表面被覆材の上に再びひび割れの発生が確認されている。このような外観損傷の特徴や再びひび割れの発生は橋脚 21 基すべてに共通していた。

(2) 累積ひび割れ密度

ここで、橋脚のひび割れ損傷度の評価を行うために、橋脚の点検や調査時に作製されるひび割れ損傷図を用い、累積ひび割れ密度の算出（ひび割れ総延長÷対象面積）を行った⁵⁾。構造物の管理者から入手した検討対象橋脚のひび割れマップによると、柱部のひび割れが少なく、ASR ひび割れは梁部に卓越しており、構造物の管理者は梁部のひび割れマップを長期的に調査している。梁部の面積は 1 橋脚当たり 100m² 程度ではほぼ同形状であり、多くの橋脚では主に梁側面と天端のひび割れを継続的に調査している。よって、本検討ではこの部分を対象面積として設定した。対象ひび割れは、RC 橋脚はひび割れ幅 0.3mm 以上、PC 梁橋脚はひび割れ幅 0.2mm 以上の主鉄筋方向のひび割れに着目している。

図-10 に ASR による劣化が顕著であった橋脚 21 基とその他の代表橋脚 5 基（損傷度がやや小さい橋脚）の累積ひび割れ密度の経年変化を示す。図-10 より、特徴的なのは、劣化が特に顕著で累積ひび割れ密度の突出した 2 基の RC 橋脚があり、竣工直後より急激にひび割れ密度が増加し、竣工後 8 年でひび割れ密度が 7m/m² と大きくなっている。また、累積ひび割れ密度の最終値は大半が 3m/m² 以下に分布しており、橋脚によって膨張速度や

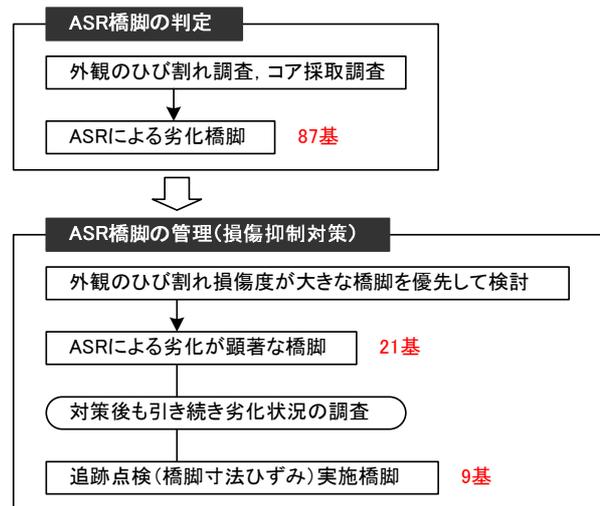


図-7 検討対象橋脚概要

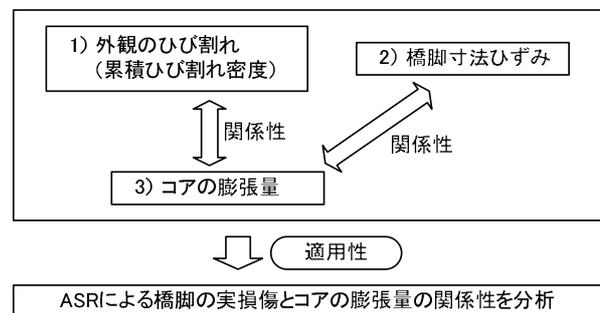
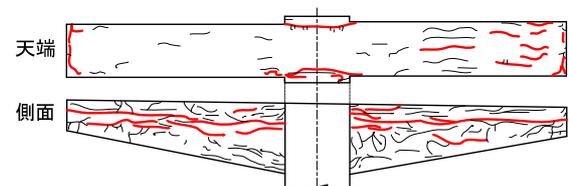


図-8 対象とした調査項目の分析の流れ

表-4 調査が実施された橋脚数

調査項目	対象橋脚数		
	劣化が顕著な橋脚21基	その他の橋脚66基	合計
1) ひび割れ調査	21基	66基	87基
2) 橋脚寸法ひずみ	9基	13基	22基
3) コアの膨張量	21基	26基	47基

・竣工後10年調査時(補修前)



・竣工後24年調査時(補修後)

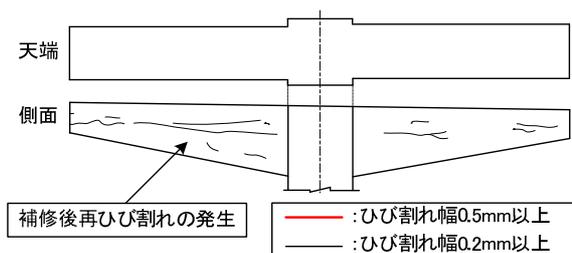


図-9 外観のひび割れ損傷例（橋脚 H）

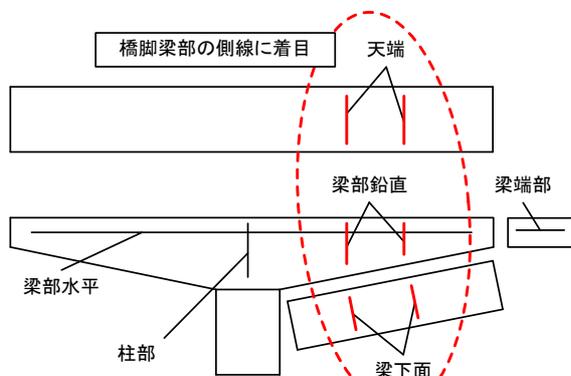
累積ひび割れ密度の進展量に差があることがわかる。

劣化が顕著であった橋脚 21 基の累積ひび割れ密度の平均値は $2.4\text{m}^2/\text{m}^2$ であり、この平均値を超えて劣化が著しく進展する橋脚が 7 基、劣化が比較的大きいと判断される $1\text{m}^2/\text{m}^2$ を超える橋脚が 17 基も存在する。一方、その他 5 基の累積ひび割れ密度の平均値は $1.0\text{m}^2/\text{m}^2$ であり、そのうち 4 基は平均値付近で収束する傾向となっている。したがって、 $1.0\text{m}^2/\text{m}^2$ を越える橋脚は、劣化が著しく、かつ長期的に進展することから、橋脚梁部を管理する場合の指標としてこの値を閾値としてよいと考えられる。

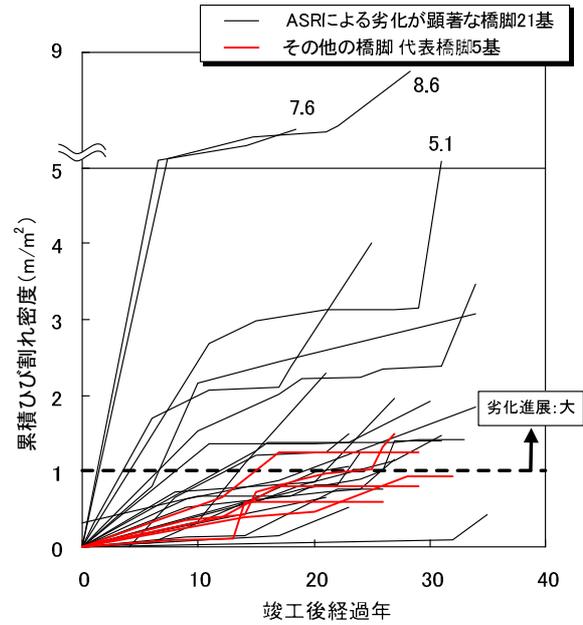
(3) 橋脚寸法ひずみ

次に補修後のモニタリングとして実施されている橋脚寸法ひずみ（側線ひずみ）の調査結果について述べる。側線とは、補修後の構造物の膨張挙動を把握するために設けた長さ変化計測用の基準線であり、計測方法は躯体表面に 30cm 間隔で連続して設置した標点間の距離をコンタクトストレインゲージ（測定精度 $1/1000\text{mm}$ ）を用いて測定している（測定値はコンクリートの表面温度により補正）。橋脚寸法ひずみを測定した側線の位置は、図-11 (a) に示すように、橋脚柱部・梁部における水平および鉛直方向、また、梁下面と天端において測定されており、橋脚 9 基で合計 54 側線の橋脚寸法ひずみが計測されている。橋脚寸法ひずみの調査期間は、昭和 59 年から平成 15 年であり、測定周期はほぼ 1~2 年おきに調査が実施されている。

図-11 (b) に代表例として I 橋脚の梁部の側線に着目した橋脚寸法ひずみの経年変化を示す。図より、梁部水平の橋脚寸法ひずみに関してはほとんど膨張が進展していないが、主鉄筋やプレストレスの影響により膨張が拘束されたことが原因として考えられる。一方、梁部スターラップ方向の橋脚寸法ひずみ（天端、梁部鉛直、梁下面）は補修後も進展しており、さらに側線位置によって膨張の進展量に大きな差が生じていることがわかる。このような橋脚寸法ひずみ進展の特徴は対象橋脚 9 基で同様の傾向が認められており、ひび割れ発生方向と対応す



(a) 橋脚寸法（側線ひずみ）計測位置（I 橋脚）



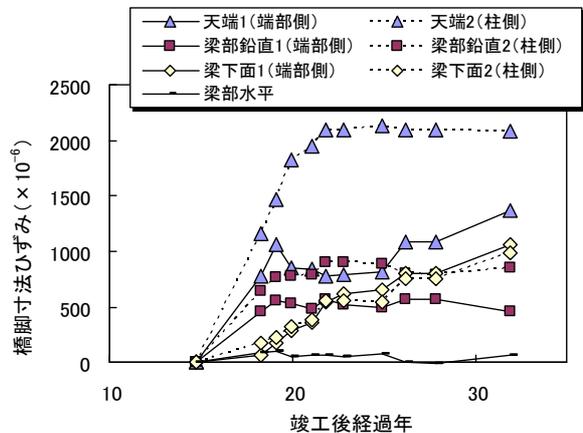
累積ひび割れ密度の最終値 (m^2/m^2)		
橋脚21基	0.4~8.6	平均：2.4
その他 5基	0.6~1.5	平均：1.0

図-10 累積ひび割れ密度の経年変化

ることから、梁部スターラップ方向の 3 側線（天端、梁部鉛直、梁下面）に着目して分析を行うこととした。

(4) 累積ひび割れ密度と橋脚寸法ひずみの関係

図-12 に橋脚寸法ひずみ測定対象橋脚 9 基の累積ひび割れ密度の増加量と橋脚寸法ひずみの関係を示す。橋脚寸法ひずみは梁部スターラップ方向の 3 側線（天端、梁部鉛直、梁下面）における最大値・最小値および平均値をプロットしている。図-12 より、補修後の橋脚寸法ひずみ計測開始以降の累積ひび割れ密度が増加するにしたがって橋脚寸法ひずみも増加する傾向が認められる。図より、累積ひび割れ密度の増加分に対して測線ひずみの最大値や最小値が大きく異なっていることから、橋脚全



(b) 橋脚寸法ひずみの経年変化（I 橋脚）

図-11 側線ひずみの計測結果の代表例（I 橋脚）

体での損傷度と局所的な損傷の程度は大きく相違する場合があります。コア採取位置によっては膨張試験結果が異なることが予想される。

4.3 コアの全膨張量の適用性

ここでは、橋脚全体の膨張量の最終的規模を表す累積ひび割れ密度の最終値とコアの全膨張量最大値の関係性を分析して、その適用性を検討した。

(1) コア採取概要

図-13にコア採取についての概要を示す。コア採取位置は図-13に示すように橋脚梁部の付け根付近や梁端部付近からコア径φ75mmで橋軸方向に採取している（昭和60年以前の一部の橋脚の調査ではφ100mmで採取）。したがって、前章の供試体実験の結果を基にコア径をφ100mmに換算（×1.67）して評価を行うこととした。コアの促進膨張試験が実施された橋脚はASR橋脚87基中47基あり、劣化が顕著な橋脚21基で合計75本、その他の橋脚26基で合計68本の試料で膨張試験が実施されている。本検討では、コアの膨張量と累積ひび割れ密度（劣化度）の関係性を把握するために累積ひび割れ密度の値が大きく、経時的に多くのコア膨張試験が実施されている橋脚21を対象として検討を行うこととした。

(2) コアの全膨張量

図-14に橋脚21基から採取したコアの全膨張量の最大値（φ100mm換算）と累積ひび割れ密度の最終値の関係を示す。

図-14より、コアの全膨張量が 1000×10^{-6} を上回る橋脚は全て累積ひび割れ密度 1 m/m^2 以上となっている。この累積ひび割れ密度の 1 m/m^2 は、4.2(2)の検討結果より劣化の損傷程度が大きいと判断される境界値であり、これと対応していることから、全膨張量 1000×10^{-6} は劣化度の指標として適用性があると考えられる。また、その中でも全膨張量が 2000×10^{-6} を超えて大きな膨張量を示した領域Aの橋脚2基は累積ひび割れ密度も 3 m/m^2 以上進展しており、全膨張量が大きいものほど損傷度が大きくなる傾向にある。

一方、領域Bのようにコアの全膨張量が 1000×10^{-6} 以下にも関わらず、累積ひび割れ密度が 3 m/m^2 以上の橋脚が2基存在する。そこで、この原因がコア採取時期とその後の累積ひび割れ密度の関係にあると考えて検討を行った。その結果、領域Bの橋脚2基は、竣工後約20年以上経過し、累積ひび割れ密度の進展が収束した時期にコアが採取されていることから、残存膨張は 217×10^{-6} と 471×10^{-6} であり、 500×10^{-6} 以下と比較的小さくなっている。さらに、解放膨張量はひび割れ損傷が著しいにも関わらず、 356×10^{-6} と 168×10^{-6} と非常に小さい値であることがわかった。このように劣化が著しく進展し、ひび割れ損傷が収束段階に入った時期にコア膨張試験を実施し

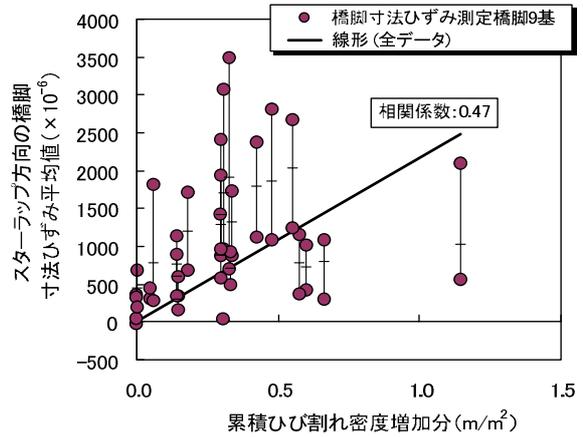


図-12 累積ひび割れ密度増加分—橋脚寸法はずみ

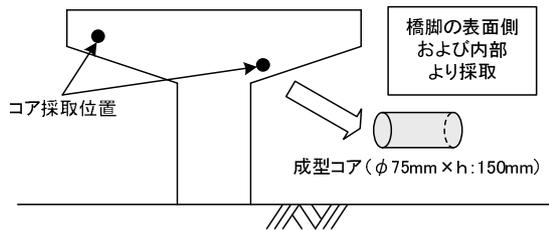


図-13 コア採取概要

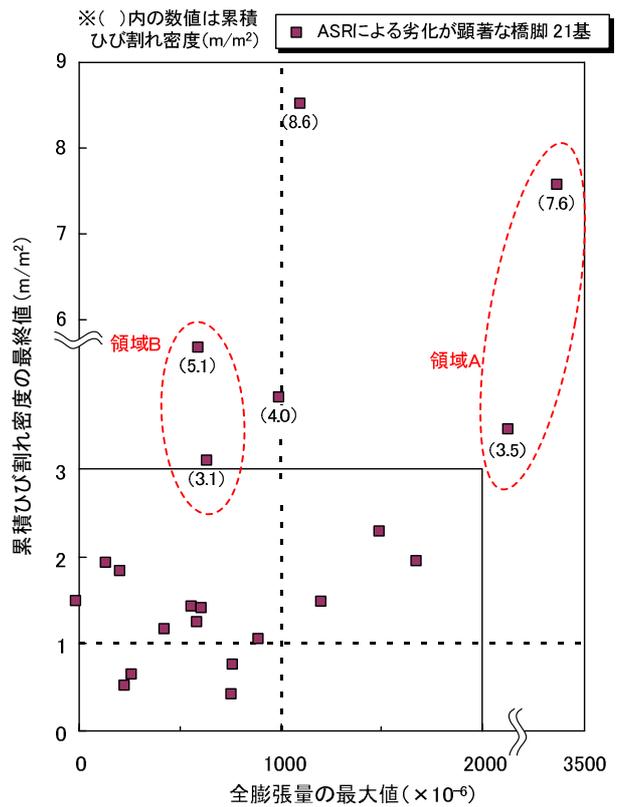


図-14 全膨張量—累積ひび割れ密度

ても解放膨張が小さくなることから、全膨張量が低くなる場合もあると考えられる。

以上より、ASRの劣化進展評価を行う場合は、コア採取時点でのひび割れ密度と全膨張量の2つの指標を組み合わせ管理することが適当であると考えられる。

4.4 コアの解放・残存膨張量の適用性

(1) コアの膨張量による評価手法

図-14より、コアの全膨張量と橋脚の外観損傷度の対応が比較的良好な橋脚と、コアの全膨張量が小さく適用性が不明瞭な橋脚が存在した。その結果を受け、対応を細かく分析してコアの膨張量の適用性を評価するために、コア採取時期に着目して解放膨張量および残存膨張量と橋脚の実損傷の関係性をそれぞれ検討した。コア採取によるASRの調査は実構造物のASRによるひび割れが顕在化した時期に実施されていることから、コア採取した時期前後の累積ひび割れ密度とコアの解放・残存膨張量に対応させて分析を行い、2章の解放膨張と残存膨張の定義の妥当性について検証する。

(2) 解放膨張量と累積ひび割れ密度の関係

まず、解放膨張量の適用性として、図-15に解放膨張量とコア採取時以前の累積ひび割れ密度の関係を示す。図-15より、解放膨張量とコア採取以前の累積ひび割れ密度の関係は相関が認められず、大多数のコアは 500×10^{-6} 程度かそれ以下の値を示している。解放膨張量が 1000×10^{-6} 以上と大きな値を示すデータは累積ひび割れ密度の進展が特に大きかったD橋脚の竣工後6年と13年に採取されたデータのみとなっている。D橋脚は竣工直後からひび割れ密度が他の橋脚と比較して著しく増加した橋脚であり、しかもコアが採取されたのが膨張初期であり、膨張の活性がかなり高い時期であったと推測される。このような条件が重なった時には、解放膨張量が特に大きくなる場合があると考えられる。3章の供試体の実験から解放膨張量に及ぼす影響因子としては、採取位置での拘束の程度、またはひび割れが多く入ると膨張が解放されて小さな値を示すことが示唆されている。また、既往の研究⁶⁾によれば、反応性でないコアでも 300×10^{-6} 程度の解放膨張がでる場合も報告されており、以上のことから解放膨張量はすでに劣化した程度の指標としての適用性は低いと考えられる。

(3) 残存膨張量と累積ひび割れ密度の関係

次に、残存膨張量の適用性として、図-16に残存膨張量とコア採取時以降の累積ひび割れ密度の関係を示す。図-16より、残存膨張量とコア採取時以降の累積ひび割れ密度の関係は、比較的良好な適用性があると考えられる領域Aと、残存膨張量が 500×10^{-6} 以下でもその後の累積ひび割れ密度が 1 m^2 以上と大きく進展した領域Bに区分される傾向が得られた。また、コア採取時期に着目すると、竣工後21年以上経過したコアでは残存膨張量が 500×10^{-6} 以下と小さな値を示すものが多く、ASRの進行が定常状態に近づいているためと考えられる。

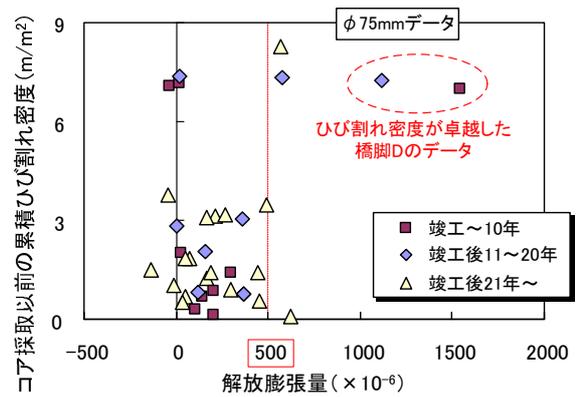


図-15 解放膨張量とすでに劣化した程度

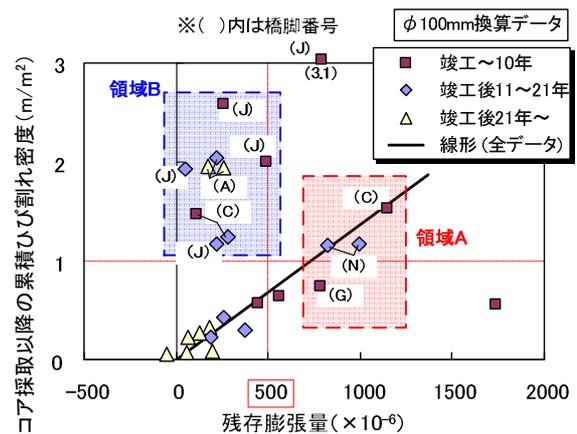


図-16 残存膨張量と将来膨張する危険度

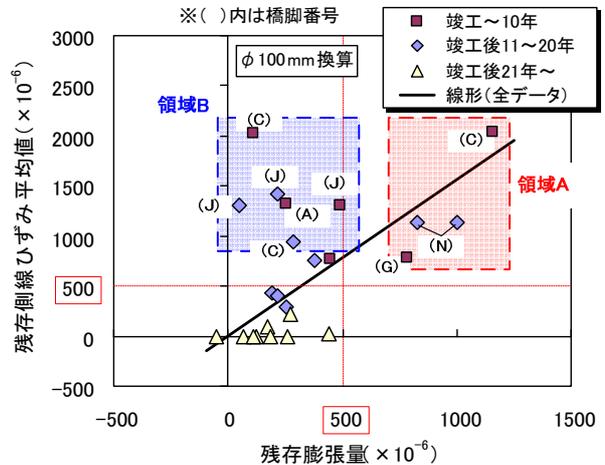


図-17 残存膨張量－側線ひずみ (全9基)

(4) 残存膨張量と橋脚寸法ひずみの関係

残存膨張量の適用性に関しては橋脚寸法ひずみにも対応させ、図-16と同様の考え方で、コアの残存膨張量と橋脚寸法ひずみの関係を検討した。図-17に対象橋脚9基の残存膨張量と測線ひずみの関係を示す。ここで、図中の側線ひずみの値は梁部スターラップ方向の3側線(天端、梁部鉛直、梁下面)の平均値を用い、最終測定値から各測定年の値を差引いて算出した残存する側線ひずみ(以下、残存側線ひずみと表記)としてプロットしている。図-17より、残存膨張量と残存側線ひずみの関

係は図-16と同様に、相関が得られる領域Aと適用性が不明瞭な領域Bに区分される傾向が得られた。つまり、残存膨張量が 500×10^{-6} 以上を示すものは残存側線ひずみが全て 500×10^{-6} を超えており（領域Aに対応）、一方残存膨張量が 500×10^{-6} 以下のものでも残存側線ひずみの値が大きい値を示すものが存在した（領域Bに対応）。よって、コアの残存膨張量（ $\phi 100\text{mm}$ 換算）が 500×10^{-6} 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 500×10^{-6} 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 500×10^{-6} が橋脚梁部を管理する上でのひとつの目安になると考えられる。しかし、残存膨張量のみで今後の劣化予測が全て可能となるのではなく、領域Bのような例外もあるため、全膨張量での考え方と同様に、コア採取時点でのひび割れ密度と残存膨張量の2つの指標を組み合わせて管理することが適当であると考えられる。

また、図-16と図-17で領域Aおよび領域Bに該当する橋脚は一致していたため、残存膨張量が小さいにも関わらずその後も膨張が進展した領域Bの橋脚A、C、Jについてその原因を検討した。図-18に、領域Bの橋脚A、C、Jのコアの残存膨張量の経年的な推移を示す。ここで、図中のコアの残存膨張量は同一の調査年で複数本試験されている場合はそれらの平均値としてプロットしている。図-18より、残存膨張量は竣工後10年程度を境に大きく低下する傾向にあり、竣工後10年以降は全て 500×10^{-6} 以下と小さな値を示している。したがって、コアの残存膨張量はASRの反応が収束しているのに対し、実構造物自体の膨張量は低下するものの、寸法が大きいために計測位置によっては劣化進展度に違いが生じており、ひずみの進展が継続する場合がありますと考えられる。

5.まとめ

本研究では、供試体実験およびASRにより劣化した実構造物の調査データを用いてコアの残存膨張試験（JCI-DD2法）の適用性について検討を行った。本検討で対象とした構造物は、帯鉄筋比0.16~0.57%の構造物を対象としたため、同程度の拘束度をもったASR構造物に適用できるものと考えられる。以下に検討の結果から得られた知見を示す。

- (1) 供試体実験の結果より、供試体実験のような様な促進環境条件下では、供試体とコアの膨張量は時間経過に伴って低下し両者の傾向が一致しており、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、解放膨張量は全て 300×10^{-6} 以下と小さくなり、すでに発生しているASRの損傷度の指標としての適用性が低いと考えられる。
- (2) 供試体実験によって採取コア径が膨張量に及ぼす影響を $\phi 100$, 75 , 50mm で検討した結果、 $\phi 100\text{mm}$ のコアと母材供試体（拘束無）の残存膨張量が最も対

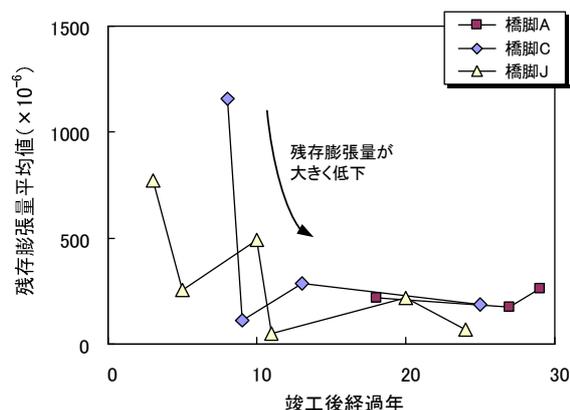


図-18 領域Bの橋脚A、C、Jのコア採取時期と残存膨張量の関係

応していたことから、コア径 $\phi 100\text{mm}$ の残存膨張量によって評価することが望ましいと考えられる。

- (3) 外観の劣化が著しいASR橋脚21基において、コアの全膨張量が 1000×10^{-6} を上回る橋脚は21基中6基存在し、その全てが累積ひび割れ密度 $1\text{m}^2/\text{m}^2$ 以上（ $1.5 \sim 8.6\text{m}^2/\text{m}^2$ 、平均 $4.2\text{m}^2/\text{m}^2$ ）と大きく進展していた。よって、ASRの劣化進展評価を行う場合、累積ひび割れ密度 $1\text{m}^2/\text{m}^2$ と全膨張量 1000×10^{-6} の2つの指標が管理上の目安になると考えられる。
- (4) 実構造物の分析結果より、コアの残存膨張量（ $\phi 100\text{mm}$ 換算）が 500×10^{-6} 以上の値を示す橋脚は、その後の累積ひび割れ密度の進展と比較的によく対応していることが分かった。よって、残存膨張量によって評価を行う場合は、累積ひび割れ密度 $1\text{m}^2/\text{m}^2$ と残存膨張量 500×10^{-6} の2つの指標が管理上の目安になると考えられる。

参考文献

- 1) 富田穰, 幸左賢二, 中野錦一, 中上明久: 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
- 2) 阪神高速道路公団: アルカリ骨材反応に対するコンクリート構造物の管理指針（暫定案）, 1985.6
- 3) 鳥居和之: 凍結防止剤によるコンクリート構造物の損傷と防止対策, セメント・コンクリートNo.635, Jan, pp40-46, 2000
- 4) 掛布真司, 山本満明, 鳥居和之: ASTM C1260による骨材のアルカリシリカ反応性とコアの残存膨張性の評価, コンクリート工学年次論文集Vol.23, No.2, pp601-606, 2001
- 5) 川島恭志, 幸左賢二, 佐々木一則, 眞野裕子: 実構造物におけるASR損傷度の定量的評価, コンクリート工学年次論文集Vol.28, No.1, pp737-742, 2006
- 6) 桑原啓三, 小林茂敏, 平野勇, 河野広隆: 実構造物から採取したASRコンクリートコアの特性, セメント技術年報 41, pp.423-426, 1987

(2007年9月18日受付)