

論文 ASRにより劣化したコンクリート構造物の補修補強に関する研究

桐山 和也^{*1}・野村 敬之^{*2}・伊原 俊樹^{*3}・梅原 秀哲^{*4}

要旨：構造物の維持管理を行う上で、地域特性を把握することは重要である。本研究では、愛知県内のアルカリ骨材反応の特徴を把握して維持管理に役立てることを目的に、発生地域や発生年代を中心に調査を行った。また、一部の構造物について鋼材比と目視調査結果を対比して、ASR 膨張の抑制が期待できる拘束鋼材比を検討した。調査結果より、対象を昭和45年から59年に限定すると、西三河地区のASR 発生確率が比較的高い値を示した。また、ASR 膨張の抑制が期待できる鋼材比を算定し、同鋼材量を配置したRC 巻立てによる対策をASR 損傷橋台に施した。

キーワード：アルカリ骨材反応, 拘束鋼材比, RC 巻立て, 維持管理, チャート

1. はじめに

アルカリ骨材反応(ASR)は、水分およびアルカリが供給される条件下で進行する。そのため、ASR に対する補修工法には、コンクリート中への水分の浸入を抑制することが要求される。また、ASR により劣化した構造物の補強工法には、耐荷性能の回復や向上に加えて膨張抑制も期待されることが多い。しかし、現状ではASR は判明していない部分が多く、その対応や補修・補強などの維持管理方法は確立されていない¹⁾。

一方、構造物の維持管理を行う上で、地域特性を把握することは重要である。愛知県のASR は、阪神や北陸地区の火山岩系の安山岩とは異なり、チャートなどの堆積岩が反応性骨材となっている。このチャート骨材の反応は、長期にわたり継続することが最近の研究で分かってきた²⁾。よって、調査や試験を行う場合、チャートによる反応の特徴に配慮して計画を立案することが有効であると考えられる。

そこで本研究では、愛知県内のASR の特徴を把握して維持管理に役立てることを目的に、発生地域や発生年代を中心に調査を行った。また、

一部の構造物について拘束鋼材比と目視調査結果を対比することにより、ASR 膨張の抑制が期待できる拘束鋼材比を算定して、ASR 損傷橋台にRC 巻立てによる対策を施した。

2. 愛知県内のASR 調査³⁾

2.1 調査概要

(1) 発生地域の調査(調査1)

調査を行った構造物の地域別数量を図-1に

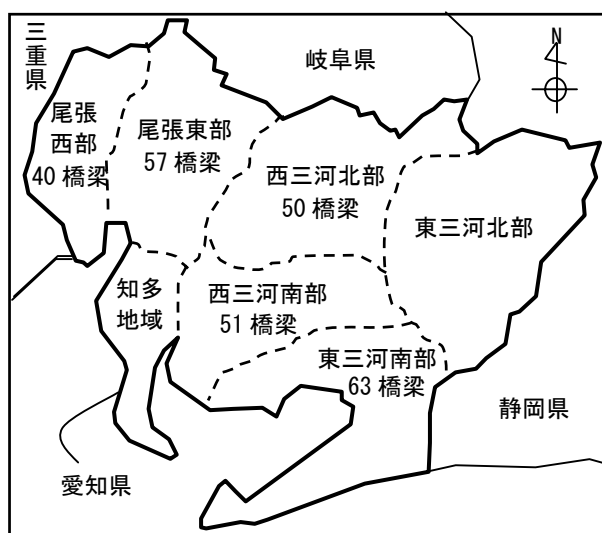


図-1 調査構造物の地域別数量

*1 矢作建設工業(株) 土木技術部調査課 課長 (正会員)

*2 矢作建設工業(株) 土木技術部調査課 係長 (正会員)

*3 矢作建設工業(株) 土木技術部調査課 副主 (正会員)

*4 名古屋工業大学大学院 工学研究科都市循環システム工学専攻教授 Ph.D (正会員)

示す。調査は、261 の橋梁（主に下部工）について行った。ASR の判定は、構造物に発生した劣化の兆候を観察することにより行った。

(2) 発生年代の調査（調査 2）

調査した 261 橋梁は、昭和 28 年から平成 14 年に竣工したものである。年代は、現地で確認した名板等に記してある年で分類した。

(3) 鉄筋量の調査（調査 3）

設計・竣工書類を入手できた 59 基の構造物（主に下部工、S49-S54 施工）について、部位ごとに鉄筋量を算定して目視点検結果と対比した。

2.2 調査結果

(1) 発生地域の調査

調査を行った構造物に対し、ASR による変状発生の有無について整理したものを図-2 に示す。調査結果より、愛知県の尾張西部地区など地域的に ASR の発生が確認できなかった地域があった。また、西三河地区では調査対象を昭和 44 年から 59 年に限定すれば、比較的高い ASR 発生確率を示した。

(2) 発生年代の調査

ASR の変状の有無について年代別に分類したものを表-1 に示す。表より、昭和 44 年から昭和 59 年にかけて竣工した構造物に ASR の発生が見られ、昭和 61 年のアルカリ総量規制後の構造物には見られなかった。

(3) 鉄筋量の調査

使用材料の視点から ASR の発生が疑われる 59 基の構造物について、鉄筋比の異なる各部位（たて壁、パラペット、ウイング、柱、梁、他、計 408 部位）について、目視調査結果と鉄筋比（コンクリートの断面積に占める鉄筋の断面積）の関係を整理した。結果を図-3 に示す。図より、鉄筋比の小さい部位に ASR による変状の見られる確率が高かった。これは鉄筋比の大きい部位では ASR の膨張が適切に拘束され、ひび割れの発生や進展が抑制されていたためであると考えられる。ASR の膨張抑制が期待できる鉄筋量の目安を得ることを目的に、変状部位について鉄筋比の標準偏差 σ を算定した。結果より、鉄筋

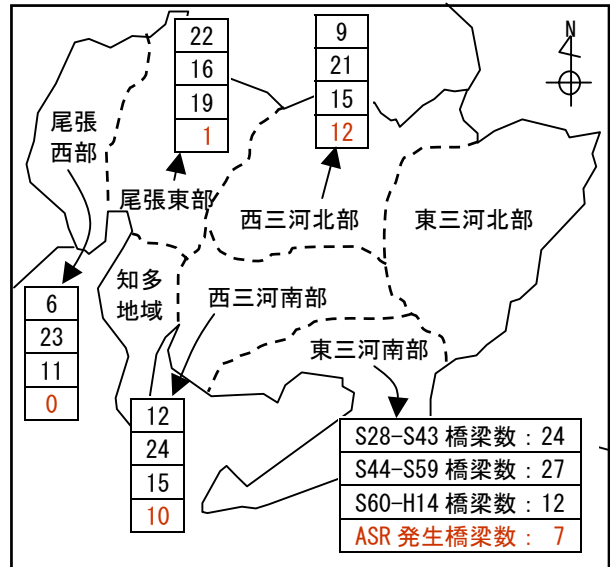


図-2 分布調査結果（調査 1）

表-1 年代別の ASR 発生状況（調査 2）

竣工年	S28-S31	S32-S35	S36-S39	S40-S43
調査数	7	14	19	33
ASR 確認	0	0	0	0
発生率	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
竣工年	S44-S47	S48-S51	S52-S55	S56-S59
調査数	29	28	30	29
ASR 確認	5	10	10	5
発生率	17.2%	35.7%	33.3%	17.2%
竣工年	S60-S63	H1-H4	H5-H8	H9-H14
調査数	18	16	18	20
ASR 確認	0	0	0	0
発生率	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

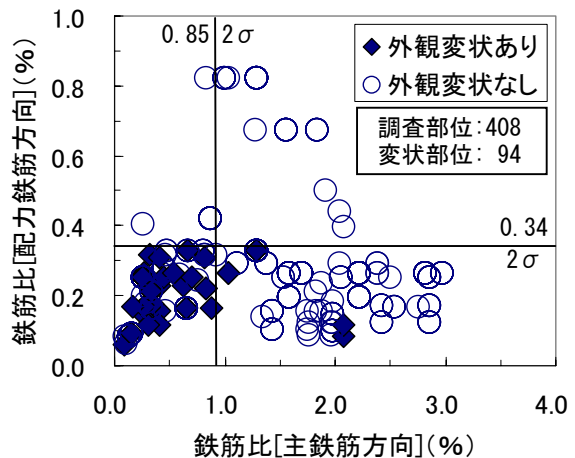


図-3 鉄筋比と外観変状（調査 3）

比の目安として平均値+2 σ （主鉄筋方向:0.85%、配力鉄筋方向:0.34%）を採用した。

3. 対策したASR構造物

3.1 構造物の概要

対象とした構造物は、昭和52年に竣工した鉄筋コンクリート橋台（設計基準強度 24N/mm^2 ）である。この橋台は、月平均気温が $3\sim 26^\circ\text{C}$ 程度の範囲にある内陸地に位置しており、補修履歴はない。

橋台にASRの発生が疑われるひび割れが発見された後、詳細調査を実施してひび割れの発生原因を検討した。調査項目は、外観目視調査、圧縮強度試験（JIS A 1108）、静弾性係数試験（JIS A 1149）、膨張量試験（JCI-DD2）、岩種判定試験（目視および偏光顕微鏡観察）、アルカリ含有量試験（建設省総合技術開発プロジェクト 水溶性アルカリ量分析⁴⁾）である。

3.2 構造物の調査結果

(1) 外観目視調査

外観変状の展開図を図-4に示す。たて壁のコンクリート表面全体に亀甲状のひび割れが多数発生していた。一方、たて壁に比べパラペットにはあまりひび割れが発生していなかった。ひび割れの幅は、 0.1mm 未満から最大 3mm 程度の範囲にあり、 $0.2\text{mm}\sim 1.0\text{mm}$ のものが多く見られた。

(2) 圧縮強度・静弾性係数試験

圧縮強度と静弾性係数試験の結果を図-5に示す。圧縮強度は平均 27.4N/mm^2 となり、設計値である 24N/mm^2 を上回っていた。一方、静弾性係数は平均 13.2kN/mm^2 となり、設計値である 25kN/mm^2 の半分程度の値となった。

(3) 膨張量試験

膨張率の測定結果を図-6に示す。開放膨張率をみると、すべてのコアが貯蔵期間34日で 0.05% を超えた。全膨張率をみると、貯蔵期間3ヶ月で $0.07\sim 0.10\%$ を示したが、それ以後1年経過した時点でも膨張率に大きな変化は見られなかった。

(4) 岩種判定試験

偏光顕微鏡写真の一例を写真-1に示す。観察結果より、コアに含まれる反応性骨材は、チ

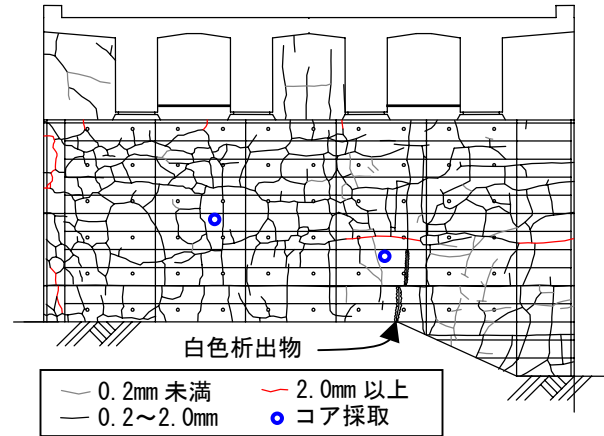


図-4 外観変状展開図

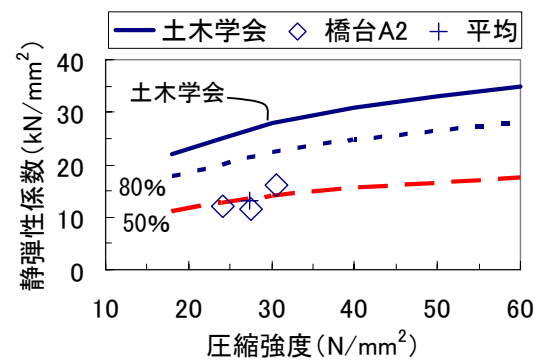


図-5 圧縮強度と静弾性係数の関係

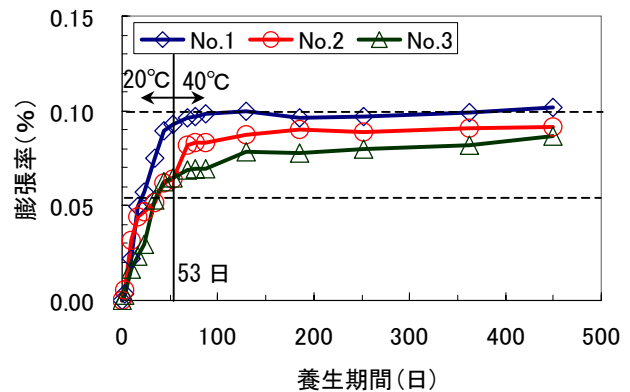


図-6 養生期間と膨張率の関係

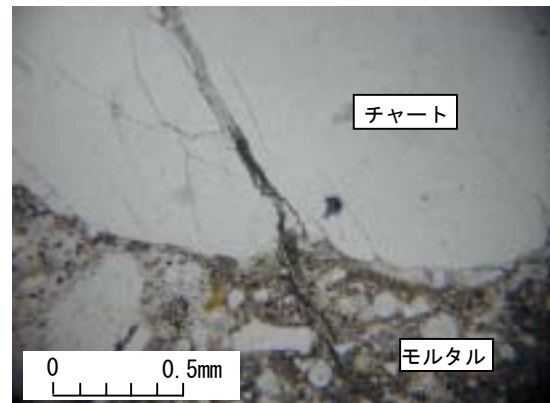


写真-1 偏光顕微鏡写真（単ニコル）

表-2 使用材料

使用材料	種類	記号	物性または成分
セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度:3.16g/cm ³ , 比表面積:3260cm ² /g
細骨材	山砂(土岐産)	S1	密度:2.55g/cm ³ , 吸水率:2.12%, 粗粒率:2.80
	砕砂(藤原産)	S2	密度:2.68g/cm ³ , 吸水率:1.15%, 粗粒率:2.89
粗骨材	砕石(藤原産)	G	密度:2.70g/cm ³ , 吸水率:0.44%, 粗粒率:6.79, 最大寸法 20mm
混和材	低添加型膨張材	E	密度:3.16g/cm ³ , 比表面積:3360cm ² /g, 石灰系
混和剤	高性能 AE 減水剤	SP	主成分:ポリカルボン酸系
	収縮低減剤	H	主成分:ポリエーテル系

表-3 コンクリートの配合

配合 No	W/(C+E) (%)	s/a (%)	単用量 (kg/m ³)							
			W	C	E	S1	S2	G	SP	H
No. 1	50.0	52.9	174	348	0	658	282	872	2.96	0
No. 2				328	20					6.96
No. 3				318	30					

表-4 コンクリートの試験結果

配合	スランブ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)		拘束膨張率			乾燥収縮率 6ヶ月
				7日	28日	2日	7日	14日	
No. 1	20.5	3.5	31.0	29.8	38.0	—	—	—	550×10 ⁻⁶
No. 2	20.5	2.7	32.0	28.9	36.6	200×10 ⁻⁶	230×10 ⁻⁶	260×10 ⁻⁶	420×10 ⁻⁶
No. 3	20.0	2.9	31.0	28.1	36.0	340×10 ⁻⁶	370×10 ⁻⁶	400×10 ⁻⁶	390×10 ⁻⁶

ヤートと珪質粘板岩であった。

(5) アルカリ含有量試験

アルカリ量は、等価アルカリ量で 4.8kg/m³ と
なり目安である 3.0kg/m³ を上回った。

4. RC巻立てによる対策

4.1 巻立てコンクリート

(1) 使用材料と配合

膨張コンクリートはその膨張の効果により乾燥収縮等に起因するひび割れを減少させることができ、ひび割れ耐力を向上させることができる⁵⁾。また、ひび割れ防止のためには、膨張終了時以後の収縮量を少なくすることが重要である。そこで、巻立てコンクリートには、石灰系低添加型膨張材(標準混和量 20kg/m³)とポリエーテル系収縮低減剤を併用したコンクリートを使用した。コンクリートの使用材料を表-2に、配合を表-3に示す。No.1は膨張材、収縮低減剤を使用していない一般的なレディミクストコ

ンクリート(30-21-20N)の配合である。No.2は膨張材を標準混和量である 20kg/m³ 用いた収縮補償用コンクリート⁵⁾の配合、No.3は膨張材を 30kg/m³ 用いたケミカルプレストレス用コンクリート⁵⁾の配合である。なお、No.2、No.3とも収縮低減剤を結合材(セメント+膨張材)質量に対して2%使用した。

(2) 試験項目

試験項目はフレッシュがコンクリート温度の測定、スランブ試験(JIS A 1101)、空気量試験(JIS A 1118)、硬化後が材齢7日、28日における圧縮強度試験(JIS A 1108・6202)、膨張率試験(JIS A 6202, A法)、乾燥収縮試験(JIS A 1129)である。

(3) 試験結果

試験結果一覧を表-4に示す。材齢7日における膨張率をみると、No.2は収縮補償用コンクリートの上限値程度、No.3はNo.2の1.6倍程度の膨張率を示した。

材齢4週における圧縮強度は、No.1に比べて

No.2 で 4%，No.3 で 5%程度低下したが実用上問題ないと考えられる。

乾燥材齢 6 ヶ月における乾燥収縮率をみると、No.1 に比べ No.2 で 24%程度、No.3 で 29%程度小さい収縮率を示した。

したがって、ひび割れ抵抗性に最も優位となる No.3 を巻立てコンクリートに採用した。

4.2 橋台への適用

(1) 補修・補強方法

部材断面が小さく鉄筋比が大きい部位（パラペット等）や支承周りには、一般的な表面被覆工法を採用した。また、部材断面が大きく鉄筋比が小さい部位（たて壁等）には、RC 巻立て工法を採用した。対策の概略を図-7 に示す。

橋台の天端は、既設コンクリートを 10cm はつり取り、新たな鉄筋を配置後コンクリートを打設して排水勾配を設けた。

鉄筋は図-3 を参考に、既設コンクリート断面に対し主鉄筋方向で鉄筋比 0.896%（新設部 D29@100mm，既設部 D16@300mm），配力鉄筋方向で鉄筋比 0.416%（新設部 D19@100mm，既設部 D13@300mm）となるよう配置した。アンカー鉄筋は、継手する鉄筋と同一径のものを 300mm 間隔で設置した。アンカー鉄筋の継手は、フレアー溶接とした。コンクリートの巻立て厚は 200mm とした。

表面被覆は、コンクリートの耐久性向上技術の開発⁴⁾ に示されている柔軟形厚膜被覆とした。被覆は下地処理、前処理（エポキシ樹脂系プライマー・パテ）、中塗り（柔軟エポキシ樹脂系塗料、3 層塗り）、上塗り（柔軟アクリルウレタン樹脂系塗料）の順で実施した。表面被覆はパラペット等に施工した。

(2) 対策後のモニタリング

ASR の進行性を把握するため、測点 A, B（図-7 参照）の既設コンクリート部と巻立てコンクリート部の鉄筋に計測機器を設置した。

既設コンクリート部の鉄筋ひずみ

の測定には、溶接型のひずみゲージを使用した。ひずみゲージは既設コンクリートをはつり取り、主鉄筋と配力鉄筋を各 1 本露出させて設置した。なお、長期間にわたり計測を行うため、既設鉄筋に貼付けた溶接型ひずみゲージに、精密固定抵抗を 3 個結線してホイーストブリッジ回路を組立てて出力値の安定を図った。

巻立てコンクリート部は、長期間にわたり安定した測定が可能な鉄筋計を使用した。鉄筋計は、主鉄筋方向と配力鉄筋方向に設置した。

計測値は 1 時間間隔でデータロガーに取り込んだ。なお既設部、巻立て部とも主鉄筋に熱電対を設置して温度も記録した。

計測結果の一例として平成 17 年 8 月 2 日から 12 月 28 日にかけての測点 A のコンクリート温度を図-8 に示す。

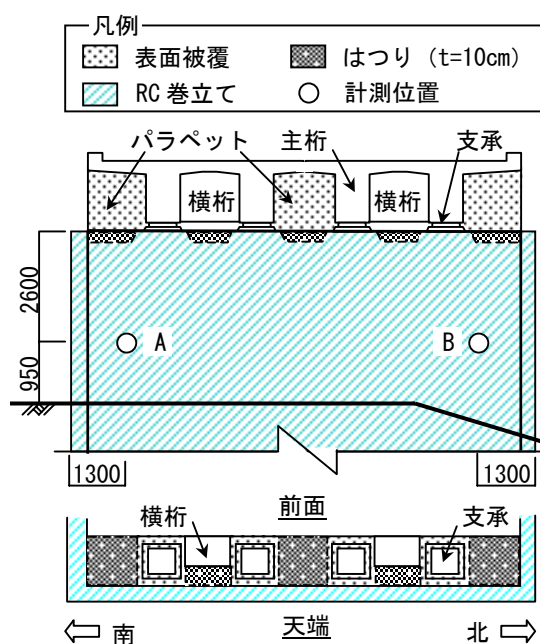


図-7 補修・補強の概略図

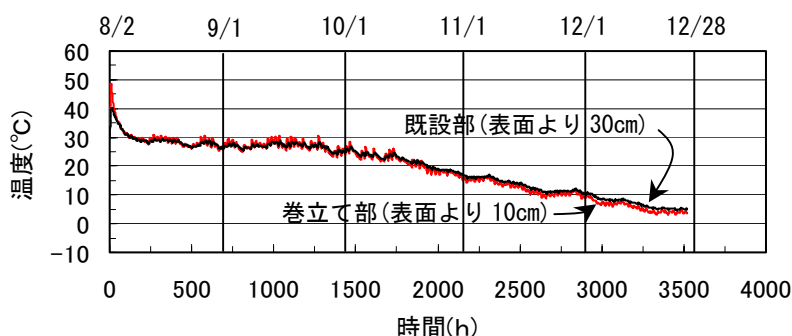


図-8 コンクリート温度（測点 A）

コンクリート温度をみると、巻立て部は打設完了後約 8 時間で約 49℃、既設部は約 10 時間で約 40℃の最高温度を示した。その後約 4～5 日で水和熱の影響が小さくなり、コンクリート温度は外気温の変動を反映したものとなった。

測点 A の鉄筋ひずみを図-9 に示す。コンクリート打設後約 5 ヶ月経過した時点で既設部、巻立て部とも鉄筋ひずみに若干の増加が認められる以外は、大きな変化は現れていない。なお図は割愛するが、測点 B も同様の結果を示していた。また、目視点検の結果より、ひび割れの発生は観察されていない。

5. まとめ

愛知県内のアルカリ骨材反応の調査を実施し、一部構造物に対して RC 巻立てによる対策を実施した。本研究の範囲で得られた結果は以下の通りである。

- (1) 発生地域の調査より、愛知県の尾張西部地区では ASR の発生が確認できなかった。また、西三河地区では比較的高い ASR 発生確率を示した。
- (2) 発生年代の調査より、昭和 44 年から 59 年にかけて竣工した構造物に ASR の発生が見られた。
- (3) 鉄筋比と外観変状の対比より、鉄筋比が主鉄筋方向で 0.85%、配力鉄筋方向で 0.34% 程度となれば、ASR による膨張が抑制される傾向にあった。
- (4) ASR を発生した橋台に対し、膨張の抑制が期待できる鉄筋比を算定して RC 巻立てによる対策を施したが、5 ヶ月経過した時点でひび割れの発生は観察されていない。

今後もモニタリングを継続して行ない、RC 巻立てによる対策の効果について検証していく予定である。

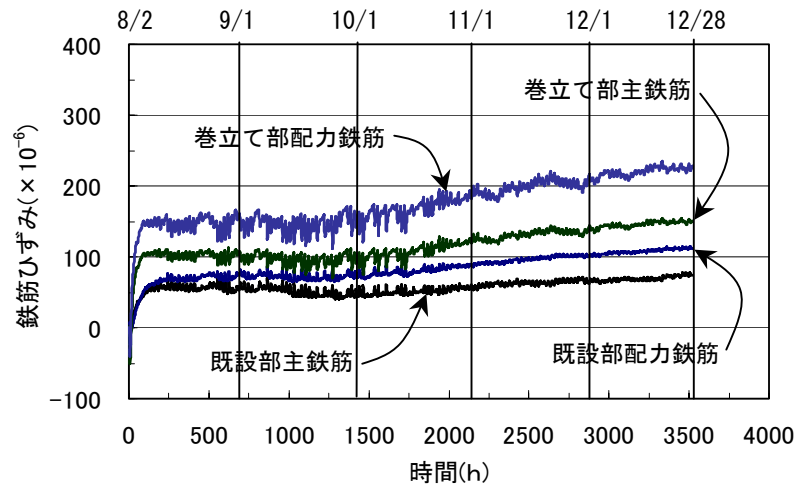


図-9 鉄筋ひずみ (測点 A)

謝辞

本研究の実施にあたり、愛知工業大学の森野奎二教授にご助言を賜り、顕微鏡写真を提供して頂きました。また、収縮低減剤を併用した膨張コンクリートの検討では竹本油脂(株)の三浦豊司氏、松山高之氏に構造物のモニタリングでは(株)東京測器研究所の平岩健一氏に大変お世話になりました。ここに記し謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：アルカリ骨材反応対策小委員会報告書，コンクリートライブラリー124，2005.8
- 2) 岩月栄治，森野奎二：チャート質骨材を使用した ASR 劣化構造物から採取したコアの強度・膨張性状，土木学会中部支部平成 15 年度研究発表会講演概要集，第 V 部門，pp.457-458，2004.3
- 3) 渡邊義規，桐山和也，野村敬之，服部啓二，梅原秀哲：愛知県のアルカリ骨材反応の発生分布調査，土木学会中部支部平成 16 年度研究発表会講演概要集，第 V 部門，pp.519～520，2005.3
- 4) 財団法人土木研究センター：コンクリートの耐久性向上技術の開発（土木構造物に関する研究成果），建設省総合技術開発プロジェクト，pp.159～160，1989.5
- 5) 土木学会：膨張コンクリート設計施工指針，コンクリートライブラリー75，1993.7