

ASR 鉄筋コンクリート供試体と採取コア の膨張・ひび割れ発生に関する研究

A study on Expansion and Cracking due to ASR in Reinforced Concrete Specimen and Drilled Core

福本 剛士* 森野 奎二** 岩月 栄治**
Takeshi FUKUMOTO, Keiji MORINO and Eiji IWATSUKI

Abstract Concrete structures severely deteriorated by alkali silica reaction(ASR), which has reduction of strength in internal concrete and occurrence of yield and/or rupture of steel bar due to excessive ASR expansion, have been reported in 2003. In this study, unreinforced concrete prism (10x10x40cm), reinforced concrete prism (10x10x40cm), reinforced beam (10x20x100cm) and reinforced cubic specimen (40x40x40cm) were made. And the expansion of specimens and strain of steel bars occurred by ASR expansion in the reinforced concrete was measured. As the results, it was recognized that a steel bar yielded by the ASR expansion force in reinforced concrete. In reinforced concrete beams, cracking could not be seen near steel bar. In reinforced concrete cubic specimen containing large amount of pores, the expansive coefficient became small values.

1. はじめに

アルカリシリカ反応(以下ASRと称す)は1940年代にアメリカのStantonにより最初の報告がなされた。ASRはコンクリート打設後1~2年で劣化を生ずることがある。また、コンクリートに劣化が認められるようになった後も反応が長期間にわたって継続的に進行する。ASRがコンクリート内部でASRが進行している場合、長期間経過後に劣化が顕在化することもあり、その反応性は変化に富んでいる。しかし現在、セメント化学や鉱物・岩石学分野の研究も加わり反応性骨材の種類とASRのメカニズムに対する成果が一段と進展するとともに、ASRによる被害を受けた構造物は予想以上に多いことが判明した¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。

ASRによるコンクリートの劣化は1980年頃に阪神高速道路の橋脚に発見され、各地でも劣化事例が多数は発見されたことにより、ある特定の地域に限られたものではないという認識が一般化した⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾。特に2003年4月にはASRによるコンクリート

の膨張によって、コンクリート構造物中の鉄筋が破断している事例が報告¹⁰⁾¹¹⁾され、それまで注目されていなかった鉄筋に対してもその安全性が問題視されるようになった。これを受けて土木学会では、アルカリ骨材反応対策小委員会を設け「鉄筋破断と新たな対応」の報告を2005年8月に行い、今後のASRによる劣化防止・抑制、鉄筋破断に伴って低下した構造物の性能の回復、補修・補強工法の選定などについて提言を行っている¹²⁾。このように最近では、1980年代のASRのメカニズムや防止対策から、劣化構造物の維持管理、補修・補強、モニタリングなどへと移ってきている。

しかし、ASRには種々の要因が複雑かつ複合的に影響を及ぼすため、その反応挙動や劣化進行は一様ではなく、引き続き基礎的研究をすることは重要である。

そこで本論文では、鉄筋を埋設した種々のコンクリート供試体を作製し、ASRによる膨張、ひび割れ発生状況などを調べた。また、貯蔵3年後の鉄筋コンクリート供試体からコアを採取し内部状態を調べるとともにコアの膨張率を測定し、大型供試体とコア供試体の相違についても検討した。

* 愛知工業大学大学院 建設システム工学専攻 (豊田市)

** 愛知工業大学 工学部 都市環境学科 (豊田市)

2. 実験概要

本研究は、以下の実験により構成されている。

- (1) 無筋及び鉄筋コンクリート供試体において、鉄筋の有無により膨張挙動の相違についての検討
- (2) アルカリ量の違いによる膨張挙動及び鉄筋を配置した供試体のひび割れ発生状況についての検討
- (3) 3 年貯蔵した供試体からコアを採取し、採取コアの膨張挙動についての検討

2.1 使用材料の諸性質

セメントは、普通ポルトランドセメントを用いた。粗骨材はチャート砕石 Yo (岐阜産)、チャート砂利 Se (愛知産)、砂岩砕石 SS (愛知産)、細骨材には川砂 Rs (愛知産)、反応生成物の代替として評価できる顕著な膨張を示す水ガラスカレット 3 号 Ka を使用した(表 1)。チャート砂利 Se は、無筋及び鉄筋コンクリート角柱供試体作製に用いた。各骨材の反応性を示すアルカリシリカ反応性試験(化学法)の結果を図 1 に、異形鉄筋(D10)の性質を表 3、表 4 に示す。

2.2 各供試体の概要

作製した供試体は角柱供試体、梁供試体、立方体供試体である。それらのコンクリートの示方配合を表 5 に示す。

2.2.1 角柱供試体

コンクリート長さ方向の膨張を測定するために角柱供試体(100×100×400 mm、両端にビス埋込み)を図 2 の左のように作製した。アルカリには球粒状 NaOH 試薬を用い、総アルカリ量をチャート Yo は 3、9kg/m³、砂岩砕石 SS+Ka は 3、6kg/m³ とした(表 6 参照)。作製後直ちに 40°C の恒温室内に静置し湿潤貯蔵した。

2.2.2 無筋及び鉄筋コンクリート角柱供試体

コンクリートの長さ方向の膨張を測定するために 2.2.2 同様の寸法とし、図 2 のように鉄筋を配置しないものと鉄筋を配置したものを作製した。これらも上記と同様に総アルカリ量をチャート Yo、Se は 3、9kg/m³ とし、砂岩砕石 SS+Ka はセメントからもたらされるアルカリ量 1.44kg/m³ とした。

2.2.3 梁供試体

図 3 のような梁供試体(100×200×1000mm)を作製した。各供試体に鉄筋を 2 本配置し、かぶりを縦、横方向ともに 25mm とした。総アルカリ量はチャート Yo、SS+Ka とともに 3kg/m³、9kg/m³ とした(表 6 参照)。

2.2.4 立方体供試体

図 5 のような立方体供試体(400×400×400 mm)を作製した。埋設鉄筋の曲げ加工部は曲げ半径 1D(熱せず急激に曲げたもの)、3D(熱しながら徐々に加工したもの)を使用し、各供試体には同じ曲げ半径のものを 2 本配置した。鉄筋のかぶりは、縦、

横方向ともに 30 mm とし、総アルカリ量は上記と同様にした(表 6 参照)。

2.3 供試体の貯蔵方法と膨張率の測定方法

梁及び立方体供試体ともに 40°C に保ったコンテナ内に湿潤貯蔵した。コンクリート表面の膨張率測定用に、梁供試体は 100×1000mm の面と 200×1000mm の面にコンタクトゲージを図 3 のように設置した。

表 1 使用材料の諸性質

| 使用材料 | 記号 | 性質 | 産地 |
|--------------|----|---|-----|
| 普通ポルトランドセメント | C | 密度: 3.15g/cm ³ Na ₂ O 量: 0.47% | |
| チャート Yo | Yo | 密度: 2.63g/cm ³ 吸水率: 0.97% | 岐阜産 |
| チャート Se | Se | 密度: 2.56g/cm ³ 吸水率: 0.86% | 愛知産 |
| 砂岩 | SS | 密度: 2.62g/cm ³ 吸水率: 0.92% | 愛知産 |
| 川砂 | Rs | 密度: 2.59g/cm ³ 吸水率: 1.44% | 愛知産 |
| 水ガラスカレット | Ka | 3号、Na ₂ O・3.2SiO ₂ (アルカリシリカ反応生成物として使用) | |

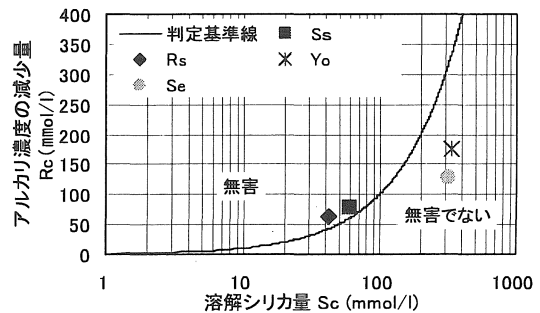


図 1 アルカリ反応性試験結果

表 2 アルカリ反応性試験結果

| 骨材 | 溶解シリカ量 Sc (mmol/l) | アルカリ濃度の減少量 Rc (mmol/l) | Sc/Rc | 判定 |
|----|--------------------|------------------------|-------|-------|
| Yo | 331 | 175 | 1.89 | 無害でない |
| Se | 318 | 128 | 2.47 | 無害でない |
| SS | 42 | 62 | 0.68 | 無害 |
| Rs | 60 | 79 | 0.76 | 無害 |

表 3 使用鉄筋 D10 の性質(立方体供試体作製時に用いたもの)

| 異形鉄筋 | | D10 | | |
|-------------------------|---------|-------|---------------------------|-----|
| 節の高さ | 最小値(mm) | 0.4 | 降伏点(N/mm ²) | 395 |
| | 最大値(mm) | 0.8 | 引張強度(N/mm ²) | 539 |
| 公称直径(mm) | | 9.53 | 伸び率(%) | 30 |
| 公称断面積(mm ²) | | 71.33 | ヤング率(kN/mm ²) | 206 |

表 4 使用鉄筋 D10 の性質(鉄筋コンクリート角柱供試体作製時に用いたもの)

| 異形鉄筋 | | D10 | | |
|-------------------------|---------|-------|---------------------------|-----|
| 節の高さ | 最小値(mm) | 0.4 | 降伏点(N/mm ²) | 337 |
| | 最大値(mm) | 0.8 | 引張強度(N/mm ²) | 461 |
| 公称直径(mm) | | 9.53 | 伸び率(%) | 27 |
| 公称断面積(mm ²) | | 71.33 | ヤング率(kN/mm ²) | 206 |

立方体供試体にはコンタクトゲージを配置した鉄筋と同じ方向に250mm間隔で図6のように設置した。測定にはコンタクトはずみ計(ダイヤルゲージ1/1000mm)を用いた。

2年間40°C湿潤貯蔵した結果を図7に示す。図ではチャートYoの総アルカリ量3kg/m³は膨張が見られないが、チャートYoの9kg/m³とSS+Kaの6kg/m³では0.30%、SS+Kaの3kg/m³では0.45%膨張した。

目視観察から、チャートYoの9kg/m³とSS+Kaの3、6kg/m³にひび割れが見られた。ひび割れはコンクリートの膨張が0.1%を超えた頃から目視で確認できるようになった。

3. ASR 鉄筋コンクリート供試体の膨張及び目視観察結果

3・1 2種類の角柱供試体の膨張及び目視観察結果

3・1・1 角柱供試体の膨張及び目視観察

表5 コンクリート作製に用いた示方配合

| 種類 | 粗骨材の最大寸法(mm) | スランプ (cm) | 空気量 (%) | W/C (%) | s/a (%) | 単位置 (kg/m ³) | | | | AE減水剤 (ml/m ³) | 水ガラスカレット (kg/m ³) |
|-----------|--------------|-----------|---------|---------|---------|--------------------------|-------|------|------|----------------------------|-------------------------------|
| | | | | | | 水 W | セメントC | 細骨材S | 粗骨材G | | |
| Yo | 20 | 8 | 4.5 | 51.3 | 41 | 154 | 300 | 749 | 1095 | 750 | 5.41 |
| SS | | | | | | | | | 1081 | | |
| Se *注1 | | | | | | | | | 1045 | | |

*注1)Seチャートは鉄筋、無筋コンクリート角柱供試体のみ作製した。

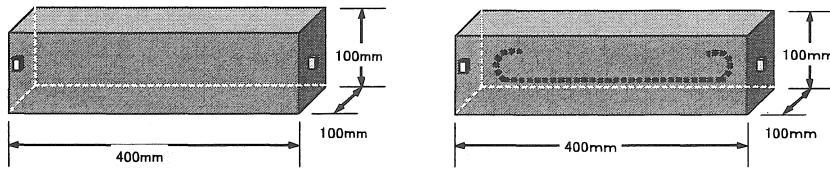


図2 作製した無筋及び鉄筋コンクリート角柱供試体

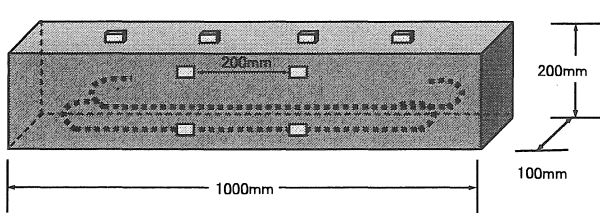


図3 作製した梁供試体

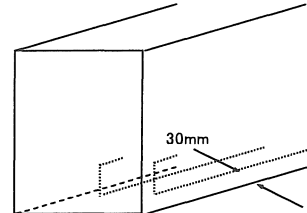


図4 梁供試体の鉄筋かぶり

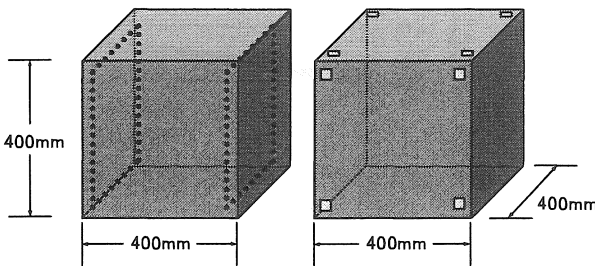


図5 作製した立方体供試体

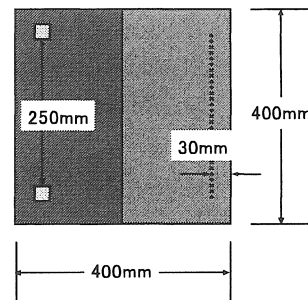


図6 コンタクトゲージ貼付及び鉄筋かぶり

表6 各供試体の総アルカリ量

| 供試体名 | 骨材 | 総アルカリ量(kg/m ³) | 鉄筋の有無 | 供試体名 | 骨材 | 総アルカリ量(kg/m ³) | 曲げ半径 |
|-------|---------|----------------------------|---------|---------|---------|----------------------------|------|
| 角柱供試体 | チャートYo | 3 | x | 梁供試体 | チャートYo | 3 | 1D |
| | チャートYo | 9 | x | | チャートYo | 9 | |
| | チャートYo | 3 | ○ | | 砂岩SS+Ka | 3 | |
| | チャートYo | 9 | x | | 砂岩SS+Ka | 9 | |
| | チャートSe | 3 | ○ | 立方体供試体 | チャートYo | 3 | 3D |
| | チャートSe | 9 | x | | チャートYo | 9 | 1D |
| | 砂岩SS+Ka | 3 | x | | チャートYo | 3 | 3D |
| | 砂岩SS+Ka | 6 | x | | 砂岩SS+Ka | 3 | 1D |
| 砂岩SS | 1.44 | ○ | 砂岩SS+Ka | 砂岩SS+Ka | 6 | 3D | |
| 砂岩SS | 1.44 | x | | 砂岩SS+Ka | 3 | 1D | |
| 砂岩SS | 1.44 | ○ | | 砂岩SS+Ka | 6 | 3D | |

3・1・2 無筋と鉄筋コンクリート角柱供試体の膨張挙動の比較

1 年間 40°C 湿潤貯蔵した結果を図 8 に示す。図では総アルカリ量 9kg/m³ を用いたチャート Yo の無筋コンクリートが 0.285%、鉄筋コンクリート供試体が 0.179% の膨張を示し、鉄筋の有無による膨張の差は 0.106% 生じた。9kg/m³ のチャート Se (図 9) で無筋コンクリートが 0.1%、鉄筋コンクリート供試体が 0.04% 膨張を示し、鉄筋の有無による膨張率の差は 0.06% 生じた。3kg/m³ のチャート Yo とチャート Se は鉄筋の有無にかかわらず膨張を示していない。以上の結果から表 8 に示すように、鉄筋コンクリート角柱供試体の膨張率が貯蔵 443 日で 0.179% となった。この膨張は内部の鉄筋も一体となって歪んでいると考え、鉄筋に加わった応力を求めたところ 369N/mm² となり、この鉄筋の降伏点 337N/mm² を超えていた。このことから ASR による膨張力が鉄筋を降伏させ得ることが立証できた。なお、このときの無筋コンクリートの膨張率は 0.285% であり、鉄筋の拘束による膨張長の減少は 0.106% であった。総アルカリ量 9kg/m³ としたチャート Se の鉄筋コンクリート供試体と無筋コンクリート供試体の膨張率の差は貯蔵期間 450 日たっても 0.04% と低いため、応力が 84N/mm² と降伏点応力の 1/3 という結果になった。このことにより、チャート Yo とチャート Se を比較するとチャート Yo のほうが 3 倍 ASR の膨張力が強いという結果を得た。

3・2 梁供試体の膨張及び目視観察

3・2・1 梁供試体の膨張挙動

図 10 に示すように 9kg/m³ を用いたチャート Yo の膨張率は 0.39% から 0.50% の膨張を示した。測定点①が大きな膨張を示した理由として、ひび割れが多くそこから水が供給され膨張が大きくなったと考えられる。

総アルカリ量 3kg/m³ を用いた SS+Ka の測定結果より 0.30% から 0.50% の膨張を示した。図には示していないが 9kg/m³ を用いた SS+Ka の各測定箇所と同じ膨張挙動を示した。すでに 1000 日を超えた膨張が 0.1% に満たないことより、反応生成物として用いたカレット Ka の SiO₂/Na₂O の比率が変動し流動性の高いほうへ変化したために膨張が少なくなったと推定される。

3・2・2 梁供試体の目視観察

図 11 に示すように 9kg/m³ ではすべての面に ASR 特有の亀甲状のひび割れが生じ、梁供試体全体が膨張しており、劣化が進行していることがわかる。特に①の測定点にひび割れが多く発生していた。また、9kg/m³ を用いたチャート Yo のひび割れマップより、鉄筋の配置されている所にはひび割れの発生が少ないことから、鉄筋の拘束があったと考えられる。SS+Ka の総アルカリ量 3kg/m³ はチャート Yo 9kg/m³ と同様に至るところで亀甲状のひび割れが発生した (図 12)。この図でも、チャート Yo と同様に鉄筋の配置している場所ではひび割れが少ないことや規則性のあるひび割れが発生している。SS+Ka の 9kg/m³ では、膨張が少ないので目視できるほどのひび割れは認められなかった。このことから、鉄筋のある近傍のひび割れは少なく、鉄筋の拘

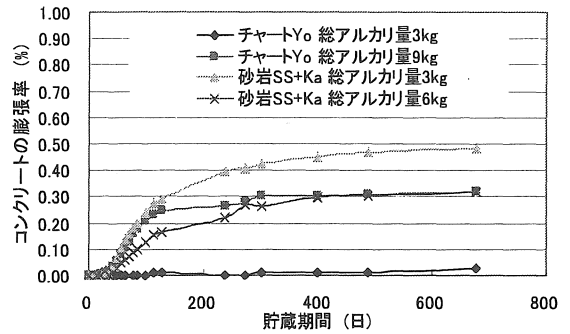


図 7 角柱供試体の膨張挙動

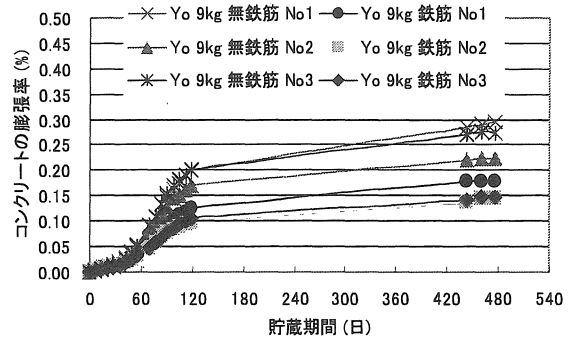


図 8 鉄筋コンクリート角柱供試体の膨張挙動 (チャート Yo)

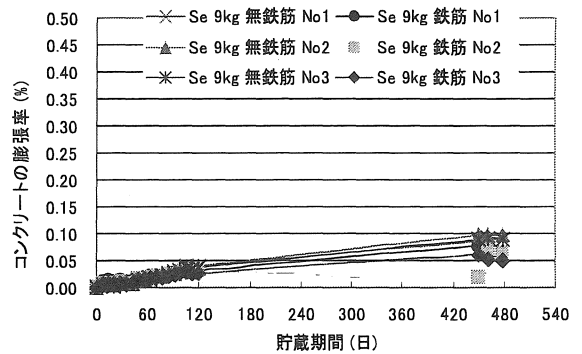


図 9 鉄筋コンクリート角柱供試体の膨張挙動 (チャート Se)

表 8 鉄筋コンクリート角柱供試体の鉄筋に加わった応力

| 骨材 | 貯蔵期間(日) | No | 応力 (N/mm ²) | ひずみ (%) | ひずみ (μ) | 弾性係数 (kN/mm ²) | 無筋コンクリート | 鉄筋コンクリート | | |
|----|---------|-----|-------------------------|---------|---------|----------------------------|----------|----------|--------|--------|
| | | | | | | | 角柱供試体 | 角柱供試体 | | |
| | | | | | | | 膨張率平均(%) | 膨張率平均(%) | | |
| Yo | 119 | No1 | 255 | 0.1240 | 1240 | 206 | 0.1906 | 0.1093 | | |
| | | No2 | 204 | 0.0990 | 990 | 206 | | | | |
| | | No3 | 216 | 0.1050 | 1050 | 206 | | | | |
| | 443 | No1 | 369 | 0.1790 | 1790 | 206 | | | 0.2589 | 0.1530 |
| | | No2 | 284 | 0.1380 | 1380 | 206 | | | | |
| | | No3 | 293 | 0.1420 | 1420 | 206 | | | | |
| | 461 | No1 | 371 | 0.1800 | 1800 | 206 | | | 0.2635 | 0.1577 |
| | | No2 | 299 | 0.1450 | 1450 | 206 | | | | |
| | | No3 | 305 | 0.1480 | 1480 | 206 | | | | |
| Se | 119 | No1 | 2 | 0.0009 | 9 | 206 | 0.0391 | 0.0193 | | |
| | | No2 | 64 | 0.0310 | 310 | 206 | | | | |
| | | No3 | 54 | 0.0261 | 261 | 206 | | | | |
| | 450 | No1 | 92 | 0.0445 | 445 | 206 | | | 0.0916 | 0.0411 |
| | | No2 | 40 | 0.0192 | 192 | 206 | | | | |
| | | No3 | 123 | 0.0597 | 597 | 206 | | | | |
| | 462 | No1 | 122 | 0.0594 | 594 | 206 | | | 0.0933 | 0.0602 |
| | | No2 | 139 | 0.0674 | 674 | 206 | | | | |
| | | No3 | 111 | 0.0537 | 537 | 206 | | | | |

使用鉄筋の降伏点応力 337N/mm² であり、そのときの膨張率は 0.1636% である。

束のない箇所のひび割れは顕著であり、ASR の膨張・ひび割れ発生が鉄筋により拘束されることが明瞭に現れた。

3・3 立方体供試体の膨張及び目視観察

3・3・1 立方体供試体の膨張挙動

2年間40°C湿潤膨張した結果を図13に示す。図では総アルカリ量3kg/m³を用いたチャートYoの曲げ半径1D、3Dともに膨張挙動は見られなかった。9kg/m³を用いたチャートYoの曲げ半径1Dでは0.3%膨張を示し、曲げ半径3Dでは0.18%膨張した。貯蔵期間650日でいったん収束したがさらに貯蔵を続けると、再び膨張を示した。9kg/m³を用いたチャートYoの曲げ半径1Dでは測定箇所により約0.05%の膨張の差が生じた。梁供試体同様に劣化が進行し、ひび割れから水分が供給され、ゲルの反応が一層起こったと考えられる。図14に示すように、総アルカリ量3kg/m³を用いたSS+Kaの曲げ半径1Dは0.6%膨張をし、曲げ半径3Dでは0.5%膨張を示した。6kg/m³を用いたSS+Kaの曲げ半径1D、3Dではともに0.3%の膨張を示した。貯蔵800日で膨張が収束に向かっているものがあるが、全体的に800日でも膨張傾向を示している。

3・3・2 立方体供試体の目視観察

総アルカリ量3kg/m³を用いたチャートYoの曲げ半径が1D、3Dともに膨張を示していないことから、ひび割れは見られなかった。9kg/m³を用いたチャートYoの曲げ半径1D、3Dでは図15のようなひび割れが発生した。しかし、膨張傾向を示していることから貯蔵期間が長期にわたればさらにひび割れは進展していくと考えられる。

総アルカリ量3、6kg/m³としたSS+Kaの曲げ半径1D、3Dすべてにひび割れが生じていた(図15、図16)。3kg/m³のSS+Kaは劣化が進行しているため、貯蔵期間が経てば梁供試体と同様な亀甲状のひび割れに変化していくと思われる。しかしひび割れが生じている両供試体ともに、鉄筋に拘束されて生じる規則性のあるひび割れはなく、鉄筋のかぶりを30mmにしたことから鉄筋のリブが拘束できる範囲を超えてしまい拘束されていない部分からひび割れが不規則に生じた結果となった。

4. 3年間貯蔵コンクリート供試体から採取したコアの外観と膨張挙動

4・1 採取したコアの概要

3年間貯蔵した梁及び立方体供試体からコアを採取した。梁供試体は8体のうち総アルカリ量9kg/m³を用いたYoと3kg/m³を用いたSS+Kaから2本コアを採取し、その他の供試体では図17のように3本ずつφ75×200mmのコアを採取した。立方体供試体は総アルカリ量9kg/m³を用いたチャートYoの曲げ半径3Dと3kg/m³を用いたカレットSS+Kaの曲げ半径3Dから4本ずつコア(φ75×400mm)を採取した。φ75×400mmのコアを図19のように両端に膨張測定用のプラグを貼付した。

4・2・1 梁供試体から採取したコアの膨張挙動

50日間40°C湿潤貯蔵した結果を図20に示す。図では貯蔵期間50日と短い間に採取コアは最大で0.07%の膨張を示した。梁供試体のコンクリート表面の膨張測定結果と採取コアの膨張測定結果を比較すると、梁供試体のコンクリート表面の膨張率は全く膨張を示さなかったのに対し、コアの測定結果では膨張を示した。

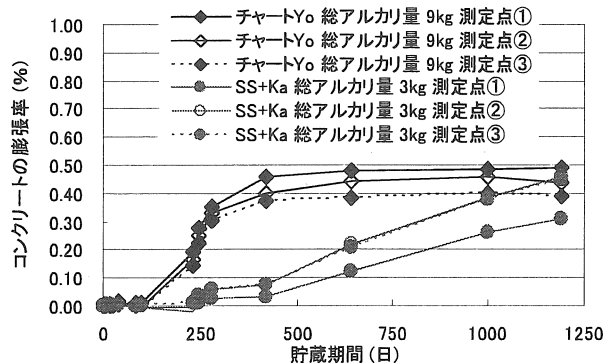


図10 梁供試体のコンクリート表面の膨張挙動

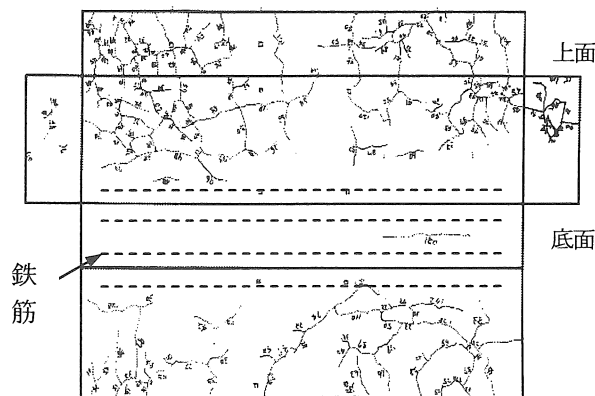


図11 梁供試体のひび割れマップ
(チャートYo: 総アルカリ量9kg/m³)

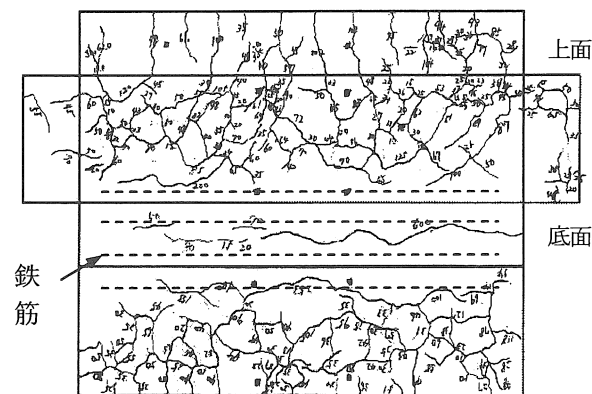


図12 梁供試体のひび割れマップ
(SS+Ka: 総アルカリ量3kg/m³)

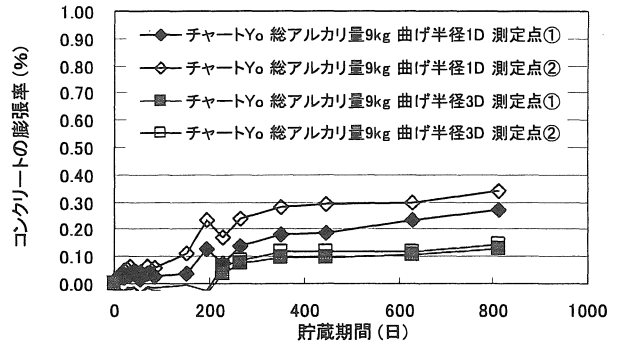
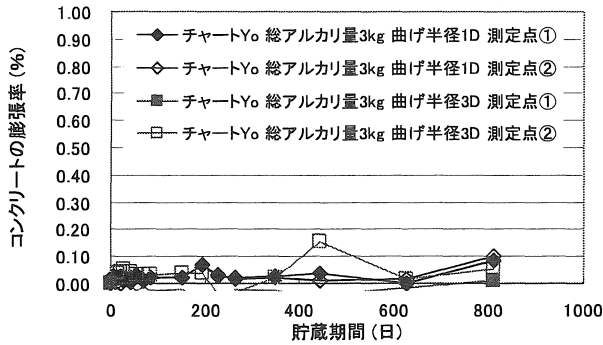


図 13 立方体供試体のコンクリート表面の膨張率 (チャート Yo、左: 総アルカリ量 3kg/m³ 右: 9kg/m³)

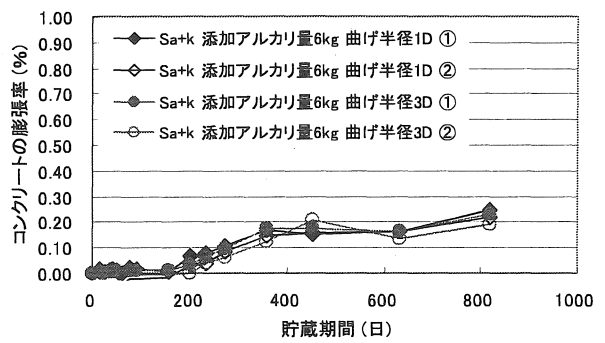
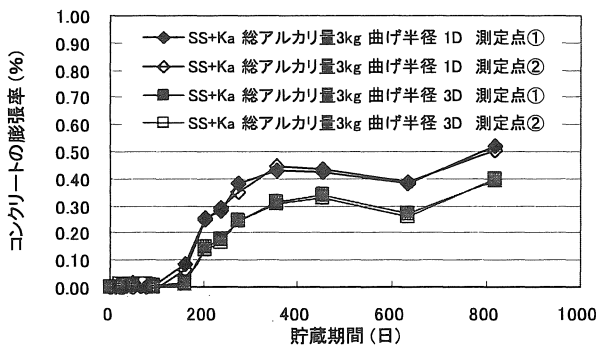


図 14 立方体供試体のコンクリート表面の膨張率 (反応性生物を用いた供試体 SS+Ka、左: 総アルカリ量 3kg/m³ 右: 6kg/m³)

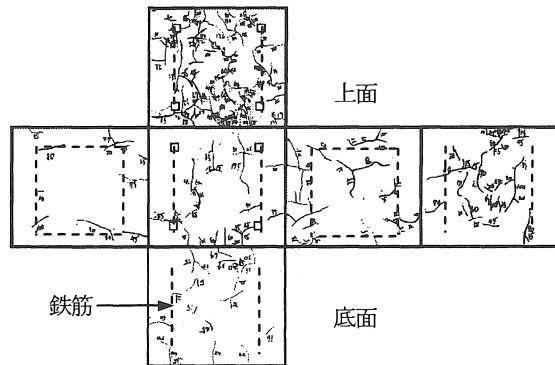
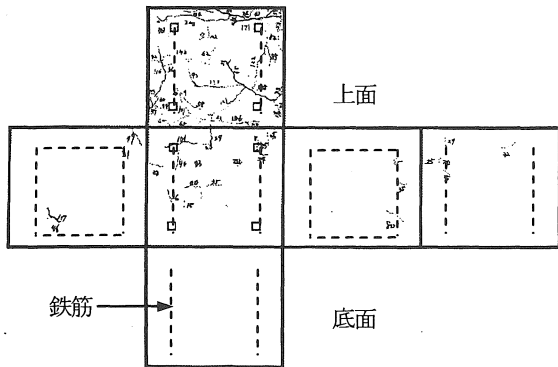


図 15 立方体供試体のひび割れマップ (左: チャート Yo、総アルカリ量 9kg/m³ 右: SS+Ka、3kg/m³)

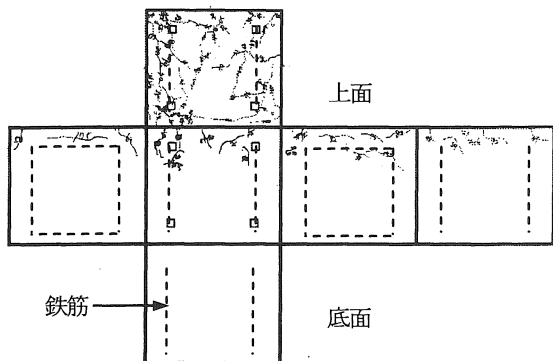


図 16 立方体供試体のひび割れマップ (SS+Ka、6kg/m³)

一方、コンクリート表面で約 0.5% の膨張を示した 3kg/m³ を用いた SS+Ka では、コアの膨張は貯蔵期間 50 日では 0.03% の膨張を示すものもあり、採取コアによって膨張に差が生じた。膨張率の少ないものは、コアの内部にひび割れや空隙が多数みられた。このことからひび割れや空隙の存在が膨張には大きく関与することが明らかであった。

4・2・2 立方体供試体から採取したコアの膨張挙動

46 日間 40°C 湿潤貯蔵した結果を図 21 に示す。図ではチャート Yo、SS+Ka のコアすべてが膨張を示さなかった。この原因を確かめるためにチャート Yo の供試体からコアを採取したところ、コンクリート表面の膨張の少ない箇所は内部に多数の空隙がみられた。

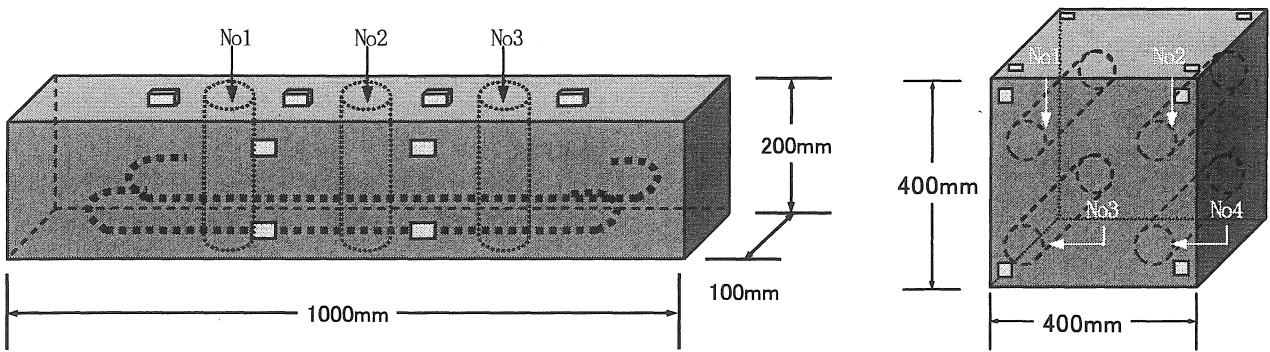


図17 梁供試体から採取したコアの位置と立方体供試体から採取したコアの位置

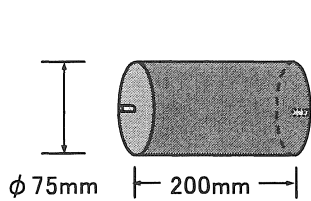


図18 梁供試体から採取したコア

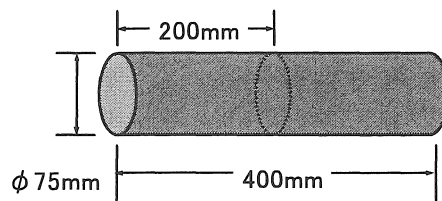


図19 立方体供試体から採取したコア (左: 採取コア 右: コアを加工したもの)

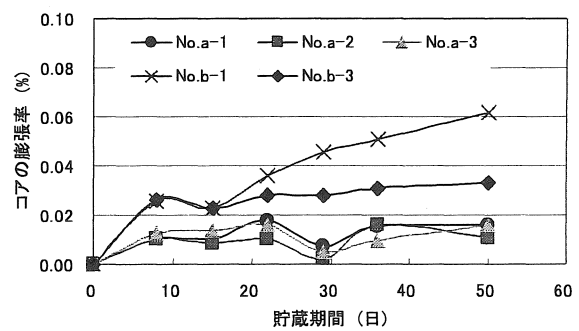
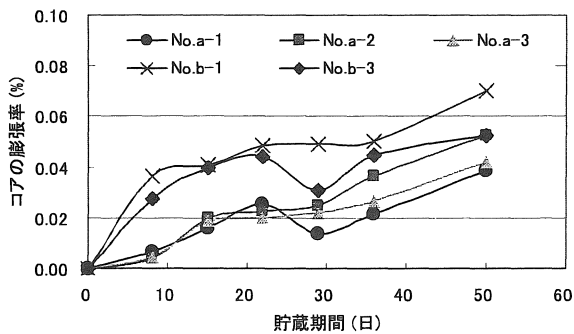
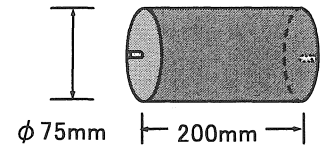


図20 梁供試体から採取したコアの膨張挙動 (左: 総アルカリ量 9kg/m^3 を用いたチャート Yo 右: 3kg/m^3 を用いた SS+Ka)

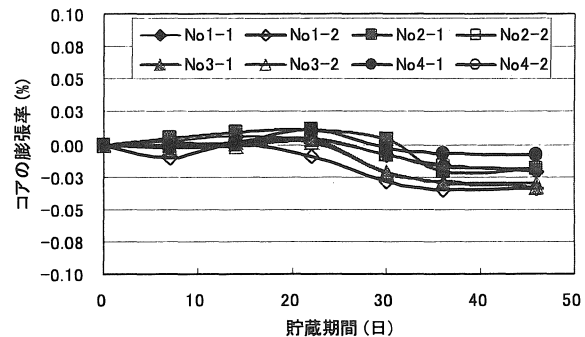
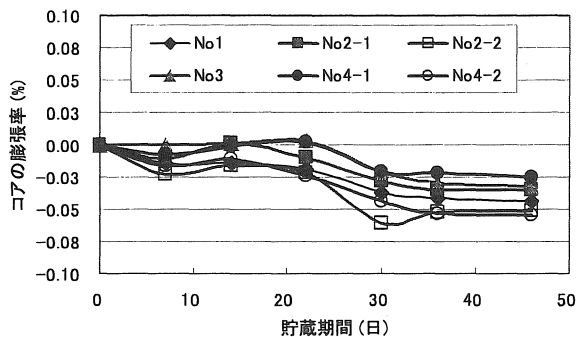


図21 立方体供試体から採取したコアの膨張挙動 (左: 総アルカリ量 9kg/m^3 を用いたチャート Yo 右: 3kg/m^3 を用いた SS+Ka)

膨張のみられなかった箇所は、生成したゲルによる膨張が空隙により解消したからであると思われる。空隙が多量に入った原因は、立方体供試体のような大型供試体では、添加アルカリ量 9kg/m^3 の状態では、コンクリートの凝結時間が短いので、供試体を作製する途中で硬くなり、気泡を十分に取り除くことが出

来なかったためと思われる。総アルカリ量 3kg/m^3 としたカレット SS+Ka はチャート Yo の 9kg/m^3 と比べると、コンクリート表面に空隙が見られなかったため、時間が経過すれば膨張すると考えられる。

4・3 実構造物から採取したコアと供試体から採取したコアの膨張挙動の比較

前述の図20では、コアを採取した位置で膨張率が異なるという結果を示してはいるが、貯蔵期間が短いのであまり明瞭な差とはなっていない。しかし、貯蔵期間が長期にわたれば、図22に示すような実構造物で起きている膨張挙動と同じ状態を示すのではないかとと思われる。

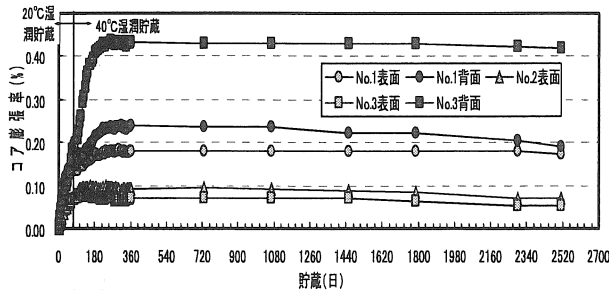


図22 実構造物から採取したコアの膨張挙動³⁾

5. 結論

形状・寸法の異なる各種供試体を作製し、ASRによって発生する膨張とひび割れ状態が、鉄筋の有無によってどのように異なるかを調べ、また、膨張の相違が生じた供試体では、その内部状態を調査し原因を考察した結果をまとめると以下のようである。

(1) 鉄筋コンクリート角柱供試体の膨張率が貯蔵443日で0.179%となった。この膨張は内部の鉄筋も一体となって歪んでいると考え、鉄筋に加わった応力を求めたところ369N/mm²となり、この鉄筋の降伏点337N/mm²を超えていた。このことからASRによる膨張力が鉄筋を降伏させ得ることが立証できた。なお、このときの無筋コンクリートの膨張率は0.285%であり、鉄筋の拘束による膨張率の減少は0.106%であった。

(2) 梁供試体のひび割れ状態の観察から、鉄筋のある近傍のひび割れは少なく、鉄筋の拘束のない箇所のひび割れは顕著であり、ASRの膨張・ひび割れ発生が鉄筋により拘束されることが明瞭に現れた。

(3) 梁及び立方体供試体の膨張率は測定箇所によって著しく変化した。この原因を把握するためにコアを採取したところ、膨張の少ない箇所は内部に多数の空隙がみられた。膨張のみられなかった箇所は、生成したゲルによる膨張が空隙により解消したからであると思われる。空隙が多量に出来た原因は、梁及び立方体供試体のような大型供試体では、添加アルカリ量9kg/m³の状態では、コンクリートの凝結時間が短いので、作製する途中で硬くなり、気泡を十分に取り除くことが出来なかったためと思われる。

(4) 梁及び立方体供試体から採取したコアの膨張率は、空隙の

少ないコアでは貯蔵1ヶ月で0.05%の膨張が現れたが、空隙の多いコアでは0.01%以下の膨張であり、まったく膨張がみられなかった。この結果から立方体供試体に膨張が現れなかった原因が明瞭となった。

参考文献

- 1) 森野奎二、柴田国久、岩月栄治：チャート質岩のアルカリ反応性、粘土科学（日本粘土学会誌）、Vol. 27、pp. 199-210、1987
- 2) 森野奎二：アルカリ反応性骨材の岩石学的考察 コンクリート工学年次講演会論文集、pp. 241-244、1984
- 3) 岩月栄治、森野奎二：チャート骨材使用劣化コンクリート構造から採取したコアのアルカリシリカ反応性 コンクリート工学年次論文集、pp. 957-962、2004
- 4) 西山孝、佐藤秀、楠田啓、日下部吉彦、中野錦一：チャート質骨材のアルカリシリカ反応について 土木学会年次学術講演会講演概要集第5部 Vol. 43、pp. 240-241、1988
- 5) 岩月栄治、森野奎二、後藤弘蔵：チャート質骨材のアルカリシリカ反応性と実構造物の劣化について 土木学会年次学術講演会講演概要集第5部 Vol. 42、pp. 426-427、1987
- 6) 岩月栄治、皿井剛典、森野奎二：長期間貯蔵したASRモルタルバーの膨張挙動と実構造物の劣化について、土木学会第53回年次学術講演会講演概要集、第5部、pp. 202-203、1998
- 7) 岩月栄治、森野奎二、不破昭、皿井剛典：各種溶液に浸漬したASRコンクリート角柱の膨張挙動、土木学会中部支部平成10年度研究発表会講演概要集、pp. 561-562、1999.3
- 8) 釣田修宏、米倉亜州夫、伊藤秀敏、万治孝二：アルカリ骨材反応を生じた鉄筋コンクリート橋台の劣化性状、土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol. 55、pp. 616-617、2000
- 9) 野村昌弘、平俊勝、片山哲哉、鳥居和之：カナダ法によるコンクリートコアの残留膨張性の評価 土木学会年次学術講演会講演概要集第5部 Vol. 55、pp. 606-607、2000
- 10) Yoshimori KUBO, Tatsuki YAMASITA, Kazuyuki TORII, Takuji YAMADA: STUDY ON REPAIR METHOD WITH FRP SHEET FOR SPALLED CONCRETE STRUCTURE CAUSED BY ALKALI-SILICA REACTION、Proceeding of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete Volume II Beijing, China, October 15-19, pp. 1254-1269, 2004
- 11) コンクリート委員会：アルカリ反応骨材の今-鉄筋破断の重み-、土木学会平成16年度全国大会研究討論会研-8資料、2005
- 12) 土木学会コンクリート委員会アルカリ骨材反応対策小委員会、編集 土木学会：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

(受理 平成18年3月18日)