

アルカリ骨材反応により劣化を生じたプレストレストコンクリート部材の膨張特性

オリエンタル建設㈱	正会員	○小野里 みどり
オリエンタル建設㈱	正会員	小林 俊秋
太平洋セメント㈱	非会員	内田 晃一
太平洋セメント㈱	非会員	花田 達雄

1. はじめに

アルカリ骨材反応による劣化はコンクリート構造物の耐久性に大きな影響をもたらす要因の一つである。アルカリ骨材反応によってコンクリートにひび割れが発生している構造物の耐荷力については、既往の研究からは、構造物としての耐荷力は劣化していないものと比較して増加する、あまり変わらない、低下するといった種々の結果が得られている¹⁾。しかし、プレストレストコンクリート (以下PC) 部材に関しては報告が少なく、外観の変状と耐荷力の関係は未だ明らかになっていない。そこで、アルカリ骨材反応により劣化が生じたPC部材の外観の変状と耐荷力の関係を明らかにするため、反応性骨材を使用した供試体を製作し、促進養生を行った。本論文では劣化途中のPC部材の挙動について検討を行った。実験はPC部材と鉄筋コンクリート (以下RC) 部材について行い、その特性を比較検討した。

2. 実験概要

2.1 配合設計

コンクリートの配合は、次の点に配慮した。①促進養生により膨張を加速させ試験期間の短縮を図ること、②PC部材として耐荷性能が評価できるコンクリート強度レベルを確保すること、③大型試験体の打設に対応できる適当なスランプとスランプ保持性があること、④将来的に補修・補強効果を確認するために実構造物の配合に近いものとする、である。

使用材料として、反応性骨材は安山岩系の粗骨材 (JIS A 1145 化学法 $R_c=130 \text{ mmol/l}$, $Sc=519 \text{ mmol/l}$, 判定結果: 無害でない) であり、非反応性の粗骨材と1:1の割合で用いた。使用する反応性骨材に関わらず、コンクリート中のアルカリ総量が、 4kg/m^3 以上で顕著な膨張²⁾が見られること、アルカリの過添加では、強度発現性や補修効果の確認に影響を及ぼすことが懸念されたため、 5.0kg/m^3 , 6.5kg/m^3 , 8.0kg/m^3 を設定し、この水準から選定することとした。アルカリは、市販のNaOH試薬を練り混ぜ水に溶解して、添加した。なお、アルカリ総量は、NaOH試薬とセメント中の全アルカリ量との合計とした。膨張確認のための $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の供試体は、コンクリート打設から2週間、 20°C で封緘養生したのち、基長を測定し 40°C 、相対湿度98%以上の環境下にて促進養生を行った。強度確認用供試体 ($\phi 10 \times 20\text{cm}$) は、所定材齢まで、 20°C 封緘養生を行った。

配合選定にあたっては、初めに入手した反応性骨材の基本的特性を把握するための実験を行った。アルカリ総量と膨張量との関係を図-1に示す。コンクリートの膨張はいずれのアルカリ総量においても促進養生

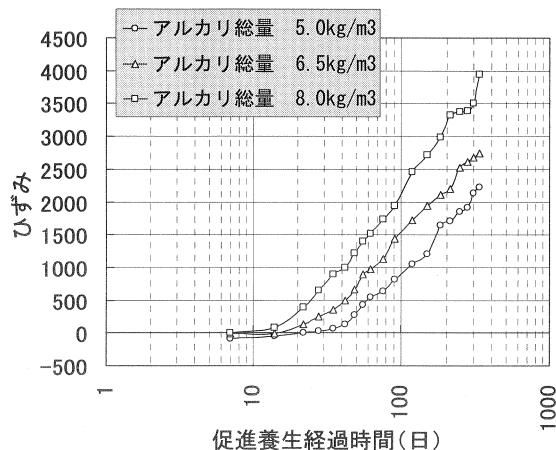


図-1 膨張ひずみ経時変化 (40°C 促進養生)

開始約3週目から膨張した。

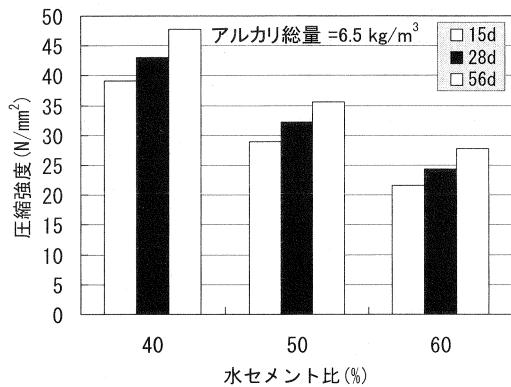


図-2 水セメント比と圧縮強度

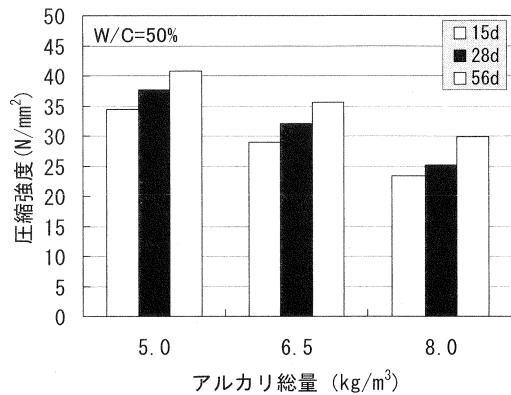


図-3 アルカリ総量と圧縮強度

一方で、アルカリ総量と圧縮強度および水セメント比との関係を図-2, 3に示す。アルカリ総量の増大に伴って膨張量は大きくなったが、逆に強度は低下した。また、「アルカリを添加した場合においてもセメント水比と圧縮強度は比例関係を示した。これらの結果をもとに、」膨張量の観点からアルカリ総量を 8.0kg/m³、プレストレスト導入強度 35N/mm²の観点から、「水セメント比を 45%とすることとした。一方、供試体製作では、打設に十分な流動性と流動保持性が必要となる。図-4 にアルカリ総量と練混ぜ直後のスランプを示す。アルカリ総量の増大に伴ってコンクリートスランプは大きく低下した。混和剤種類を検討したところ(図-5)、ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤の使用でも流動性の確保が難しかったが、ナフタレン系減水剤ではスランプロスが生じたものの偽凝結は認められず、比較的良好な状態を保っていた。データを示していないが、その後の検討で

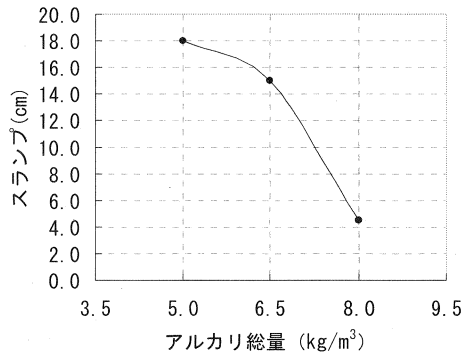


図-4 アルカリ総量とスランプ

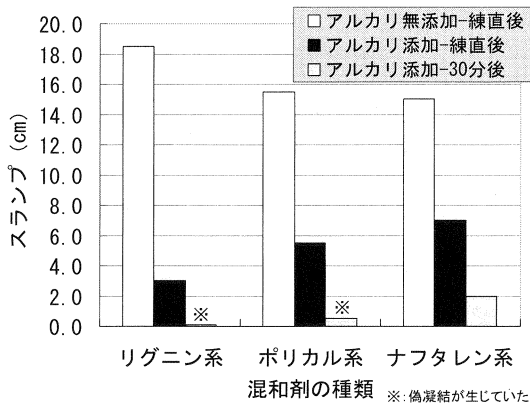


図-5 混和剤の種類とスランプ

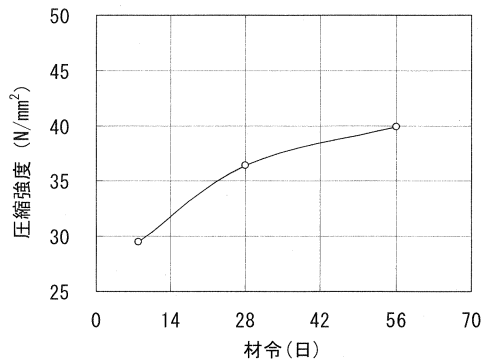


図-6 コンクリートの圧縮強度

表-1 コンクリート配合

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単用量 (kg/m ³)						
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材G		減水剤 ^{※1}	アルカリ ^{※2} R ₂ O
					反応性	非反応性		
45.0	47.0	174	388	841	487	478	6.2	8.0

※1：遅延型ナフタレン系高性能減水剤， ※2：NaOHを使用し，アルカリ総量=8kg/m³となるよう添加

遅延型のナフタレン系減水剤を用いることでスランプロスが改善するとともに20℃養生にても遅延型にすることによる初期強度の大幅な低下がなかったことから，用いたコンクリートは表-1に示す配合とした。また，表-1の配合によって製造したコンクリートの圧縮強度を図-6に示す。

2.2 供試体と促進養生

本実験で製作した供試体は図-7に示すように，3本のPC鋼棒を配置したPC供試体と，PC供試体と同形状，同配筋としたRC供試体の2種類とした。供試体打設後，現場でシート養生し，PC供試体につい

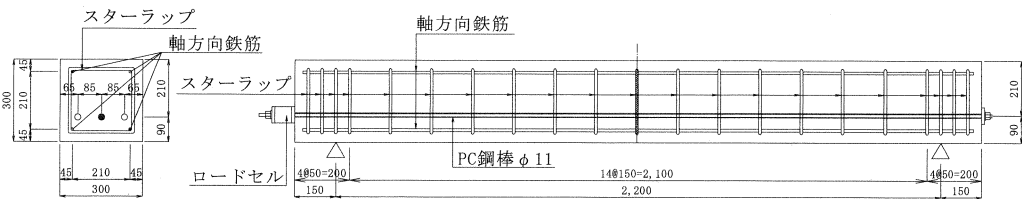


図-7 供試体配筋図

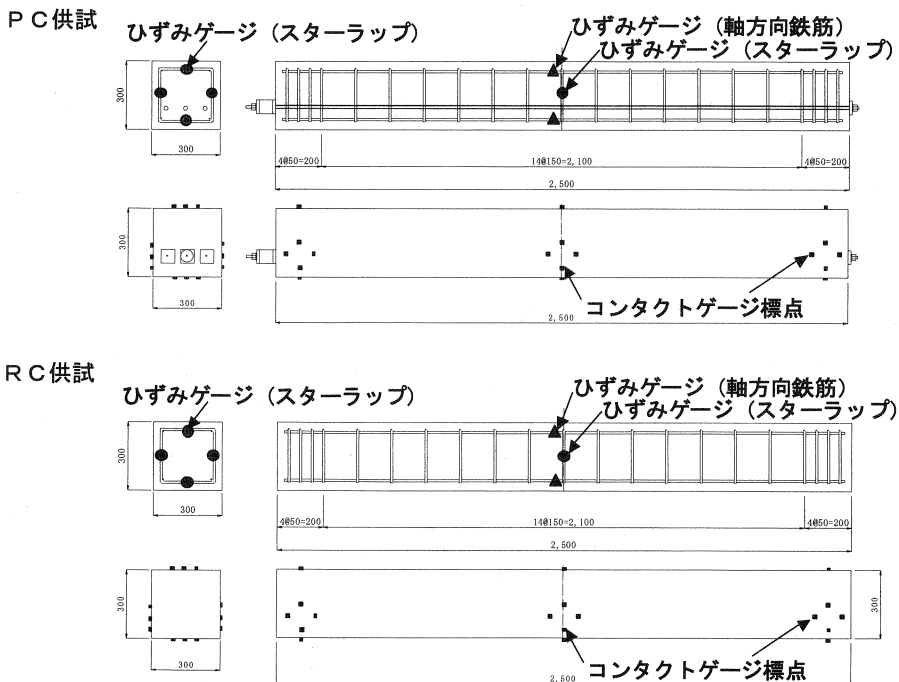


図-8 供試体概要図

ては圧縮強度試験を行い、 $\sigma_c=36.7\text{N/mm}^2$ と、所定の強度に達したのを確認してからプレストレスを導入した。その後、材齢3ヶ月で温度 40°C 、相対湿度98%以上の環境下の養生室にて促進養生を開始した。なお、相対湿度を98%以上に保つため、シャワー噴霧を行った。その際、供試体に直接シャワー水がかかることがないように、供試体の上部に屋根を設置し、また、供試体周囲の湿度をできるだけ一定に保つために、供試体に布を巻きつけて促進養生を行った。

計測は、図-8に示すように、供試体の挙動については、軸方向鉄筋に2箇所、スターラップに4箇所、ひずみゲージを貼付し、測定した。また、コンクリート表面は、それぞれの供試体表面の上縁、下縁および両側面にコンタクトゲージ標点を設置し、測定した。いずれも、促進養生開始時点を実原点とした。鉄筋のひずみについては、データロガーで1時間毎に自動計測を行ったが、コンクリートのひずみについては、自動計測ができなため、養生室の温度は 40°C のまま湿度を50%程度に下げ、2週間に1回養生室に入り、計測を行った。その際、温度変化による誤差をできるだけ少なくするため、計測器本体と計測値の基準値となる標準ゲージは計測の約2時間前から養生室内の供試体の近傍に置いておき、雰囲気温度になじませてから計測を行った。

3. 実験結果と考察

促進養生を開始して2ヶ月後に両供試体の下面に滲出物が確認された。そこで、RC供試体から滲出物を採取し、分析を行った。その結果、Naと SiO_2 が確認され、アルカリシリカゲルが生成した可能性があると考えられる。

3.1 コンクリートひずみの変化

コンクリート表面ひずみの経時変化を図-9に示す。促進養生開始から120日間の支間中央の橋軸方向、橋軸直角方向、鉛直方向のひずみの変化である。両供試体ともに促進養生直後から膨張ははじめ、その後ひずみは材齢とともに増大している。RC供試体のひずみについては、養生開始から50日目までは同程度で、120日経過した時点でも、最大値が 3400μ 、最小値は 2300μ であるのに対して、PC供試体のひずみは初期から測定方向によって差が出ており、120日経過した時点で、最大値は 3200μ 、最小値は -100μ となり、RC供試体と比較してばらつきが大きい。これは、PC供試体はプレストレスによって軸方向の膨張を拘束されているため、軸直角方向や鉛直方向のひずみと比較して軸方向のひずみが小さくなると考えられる。軸方向でもプレストレスの影響が小さいと考えられる供試体上縁は下縁や側面と比較してひずみは大きくなっている。また、鉛直方向と軸直角方向のひずみは同程度になるのではないかと

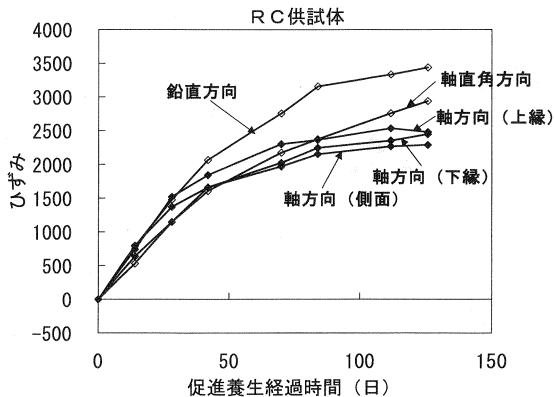
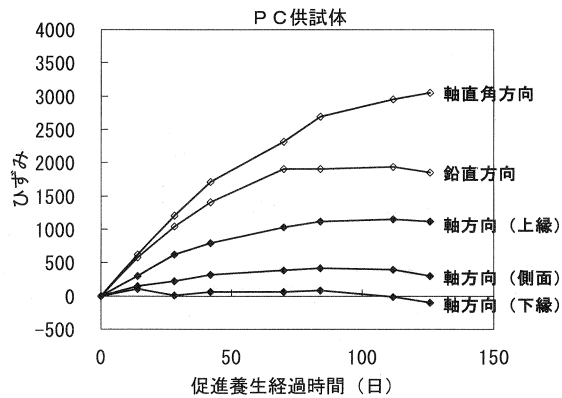


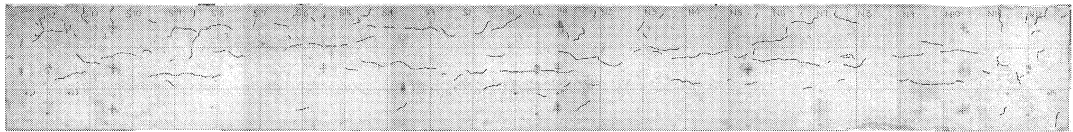
図-9 コンクリート表面ひずみ

予測していたが、今回の実験では軸直角方向のひずみが 1200μ 程度大きくなっている。

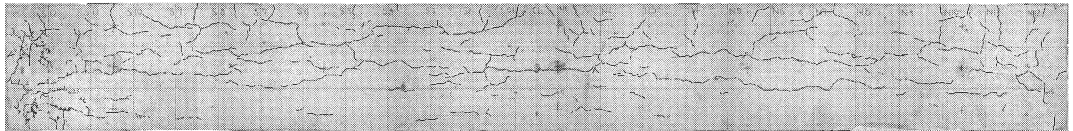
図-10に供試体側面の促進養生開始後1ヶ月と3ヶ月のひび割れ発生状況写真を示す。ひび割れが進展していることがわかる。RC供試体は促進養生後1週間で変色し、ひび割れが確認されたのに対して、PC供試体のひび割れは促進養生1ヶ月後に確認された。ひび割れ幅は大きい箇所では 0.4mm 程度である。PC供試体のひび割れの方向が橋軸方向であるのに対して、RC供試体のひび割れの方向は不規則であり、アルカリ骨材反応特有の亀甲状のひび割れを呈している。また、RC供試体はPC供試体に比べて、滲出物の量も多くなっている。

PC供試体

促進養生開始後1ヶ月

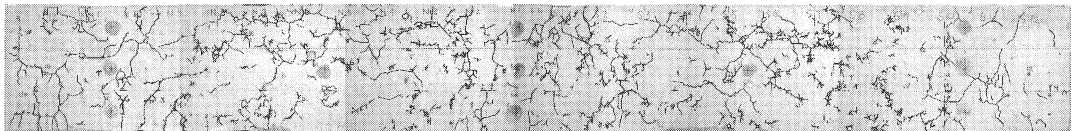


促進養生開始後3ヶ月



RC供試体

促進養生開始後1ヶ月



促進養生開始後3ヶ月

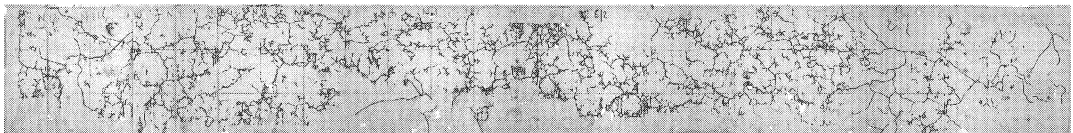


図-10 供試体側面のひび割れ発生状況

3.2 軸方向鉄筋およびスターラップの膨張挙動

軸方向鉄筋のひずみを図-11に示す。RC供試体は上縁の軸方向鉄筋のひずみが 2200μ 、下縁が 2000μ であり、上下縁においてひずみは同程度である。それに対して、PC供試体は上縁の軸方向鉄筋のひずみが 1200μ 、下縁は 100μ にも達しておらず、上下縁でひずみにばらつきがある。これは、プレストレスを偏心させているため、上縁に比べて下縁の軸方向鉄筋位置では軸方向の拘束力が大きくなっている影響であると考えられる。

次に、スターラップのひずみを図-12に示す。PC供試体とRC供試体のひずみは同程度であり、軸方向鉄筋のひずみのように拘束力の違いによる差は認められず、プレストレスによって軸方向の膨張を拘束しても、軸直角方向の膨張には影響が及ばないことを示していると言える。

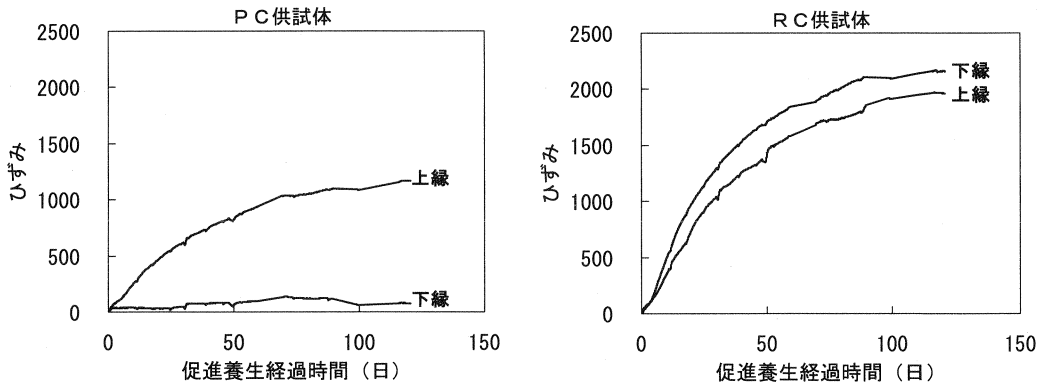


図-1.1 軸方向鉄筋のひずみ

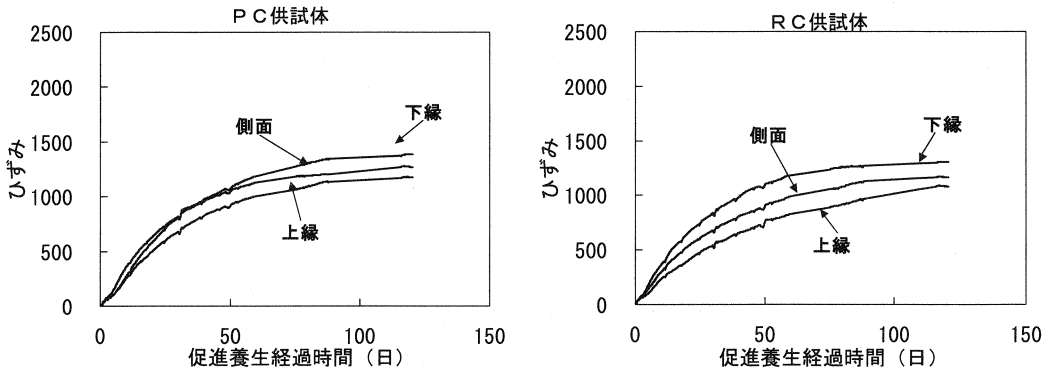


図-1.2 スターラップのひずみ

4. まとめ

本実験におけるこれまでに得られた結論は以下の通りである。

- (1) NaOHを多量に添加したコンクリートは、練混ぜ直後のスランプが低下することに加え、スランプロスも著しいが、本実験では、遅延型のナフタレン系高性能減水剤を使用することにより、打設が可能なコンクリートを製造することができた。
- (2) 本実験で用いた供試体の軸方向のひずみについては、コンクリート表面のひずみおよび軸方向鉄筋のひずみがプレストレスの影響により異なることが確認された。
- (3) 本実験で用いた供試体の軸直角方向のひずみについては、PC供試体もRC供試体も同程度であり、プレストレスによる影響は認められない。

参考文献

- 1) (社)日本コンクリート工学協会 兵庫県南部地震に関する耐震技術特別研究会：兵庫県南部地震に関する耐震技術特別研究会報告書(1997.4), 日本コンクリート工学協会, pp. 28~41, 1997.4
- 2) (社)セメント協会 コンクリート専門委員会報告書(F-42) コンクリートによるアルカリ反応性骨材の膨張特性に関する研究(その1)-40℃湿空条件における試験結果-, pp. 40~44, 1988.1