

報告 A S Rによる劣化を受けたP C部材の長期性状評価に関する研究

井俣 俊也^{*1}・真鍋 英規^{*2}・廣井 幸夫^{*3}・宮川 豊章^{*4}

要旨：本研究では，P C部材のA S R劣化対策を講じる上で解明すべき問題点を明らかにすることを目的とし，大型P C試験梁による長期的な経時計測を行っている。本研究での主な着目事項は，A S R劣化状況下におけるP C構造物の残存プレストレス，長期劣化性状，部材の体積効果，スターラップが破断した場合の耐荷力に及ぼす影響等である。本稿では，屋外暴露開始から材齢 614 日までに行った計測結果の中間報告に加え，A S R ひび割れが生じた試験体の荷重試験についても報告する。

キーワード：A S R，大型試験体，残存プレストレス，長期劣化性状，体積効果

1. はじめに

(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会（以下，P C建協と称す）では「A S R対策検討委員会」（委員長：京都大学大学院 宮川豊章教授）を設置して，A S Rにより劣化するP C部材の基礎的性状を把握する目的から，実構造物を模した大型P C梁等を製作し，現在，(株)富士ピーエス三重工場にて，屋外自然暴露による長期計測を，2005年2月より行っている¹⁾²⁾。本稿では，計測結果に基づく考察および昨年12月に実施した中間荷重試験について報告を行う。

2. シリーズ I 実験概要

シリーズ I では，実橋におけるP C部材の劣化性状の確認を主目的とし，表-1に示す試験体を製作した。また，非反応性骨材による健全試験体，小型試験体と比較・対照することにより探究課題の評価を行えるよう実験を計画した。試験体の寸法を図-1に示す。

表-1 試験体種類¹⁾

試験体No.	試験体サイズ (mm)	使用骨材	試験体名
I-1-a	大型 (1200×1250×7500)	反応性骨材	大型ASR試験体
I-1-b		非反応性骨材	大型健全試験体
I-2-a	小型 (535×560×4000)	反応性骨材	小型ASR試験体
I-2-b		非反応性骨材	小型健全試験体

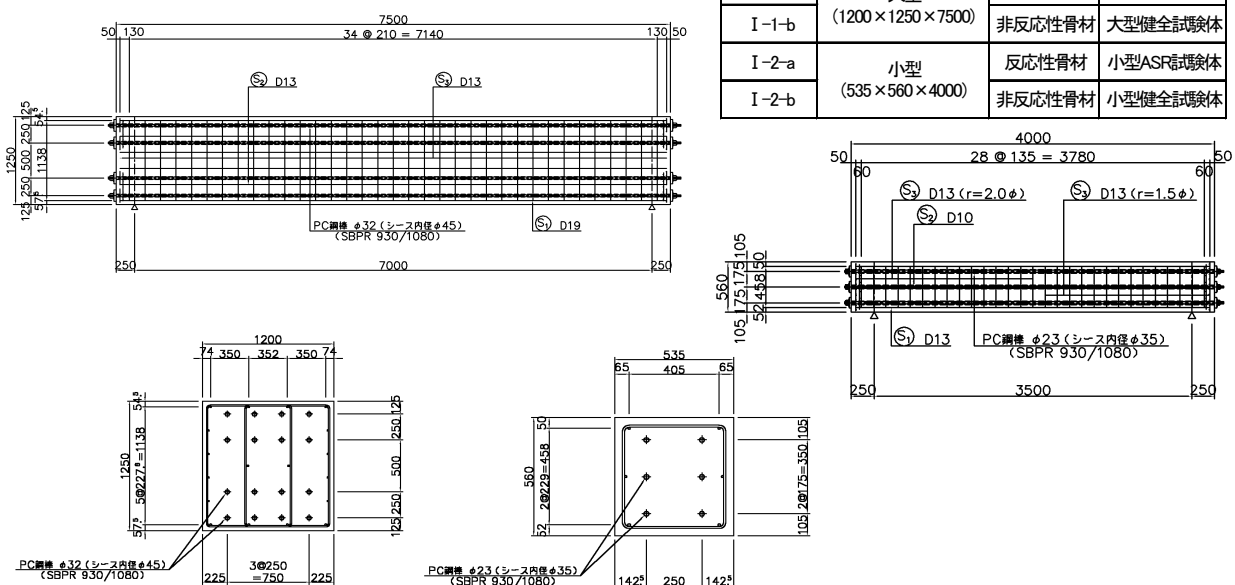


図-1 大型および小型試験体寸法¹⁾

*1 オリエンタル建設 (株) 大阪支店 技術部 課長 (正会員)

*2 (株) 富士ピー・エス 関西支店 技術部 副部長 (正会員)

*3 ピーシー橋梁 (株) 西日本支社 工務統括部 技術部 技術部長代理 (正会員)

*4 京都大学 大学院工学研究科 社会基盤工学専攻 教授 (正会員)

3. 長期計測結果

3. 1 ひび割れ観測状況

本実験では、従来通りのスケッチングによるひび割れ観測とデジタルカメラによる可視画像データとしての記録を併用して行った。大型ASR試験体の材齢150日と614日におけるひび割れの発生状況を写真-1に示す。健全（非反応性骨材）試験体には目立ったひび割れは発生していないが、ASR（反応性骨材）試験体では、プレストレスが導入されている部材軸方向にひび割れ（幅0.05～1.2mm）が発生している。PC部材のASRひび割れは、プレストレス導入方向に発生することが知られており、本実験でもPC部材特有のASRひび割れが確認できた。

気温および降水量と大型ASR試験体のひび割れ密度についてグラフ化したものを図-2に示す。ASRは、一般的に高温かつ降雨量が多い夏季に著しく進行するとされており、本実験においても材齢150日（2005年7月）から材齢240日（2005年10月）の間で、ひび割れ密度が急激に増加していることから、夏季の反応が顕著であったことが確認できた。その後のひび割れ密度は、材齢365日に至るまで緩やかな増加を示し、材齢614日では再び気温の上昇と降水量の増加を受け、グラフの傾きからも分かるように、ひび割れ密度が増加してきた。

また、ひび割れ密度（幅0.2mm以上）の大型と小型との比較においては、大型試験体の数値が高くなっている。

以上のことから、ASRは気温や降水量などの環境条件の影響により進展に違いがあること、また、部材体積の影響があることが確認できた。

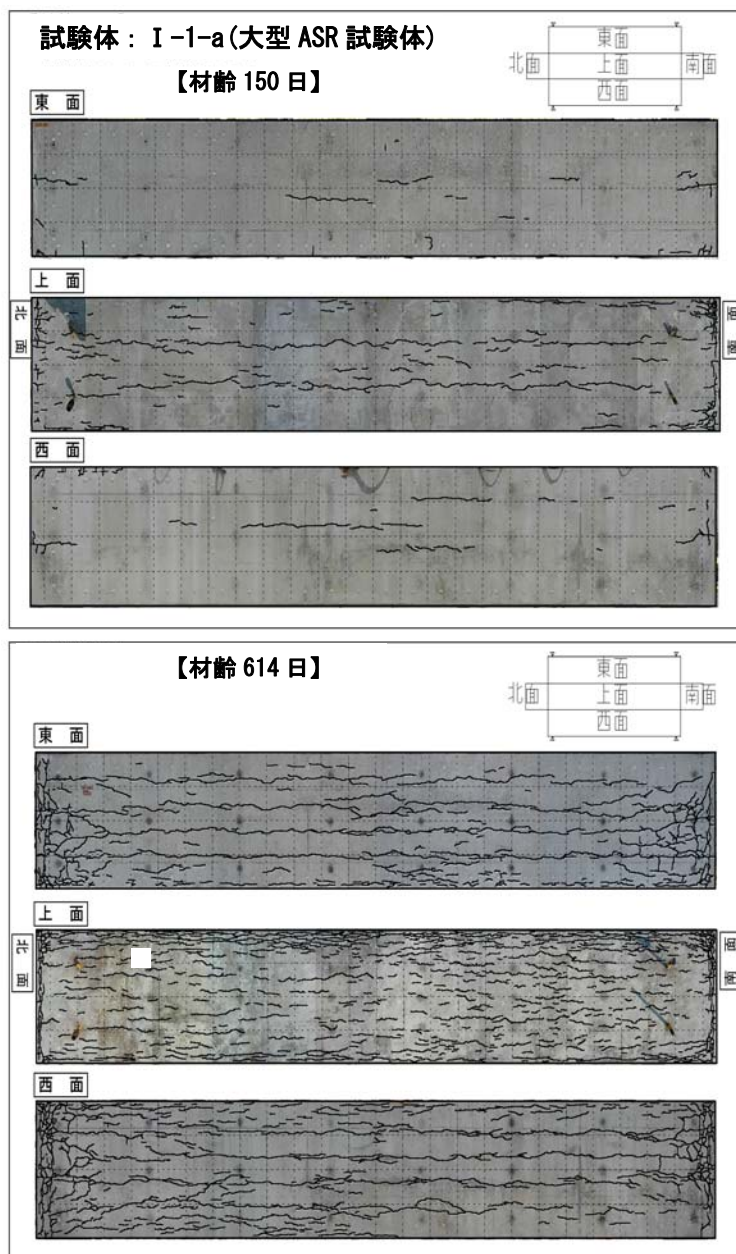


写真-1 大型ASR試験体ひび割れ発生状況

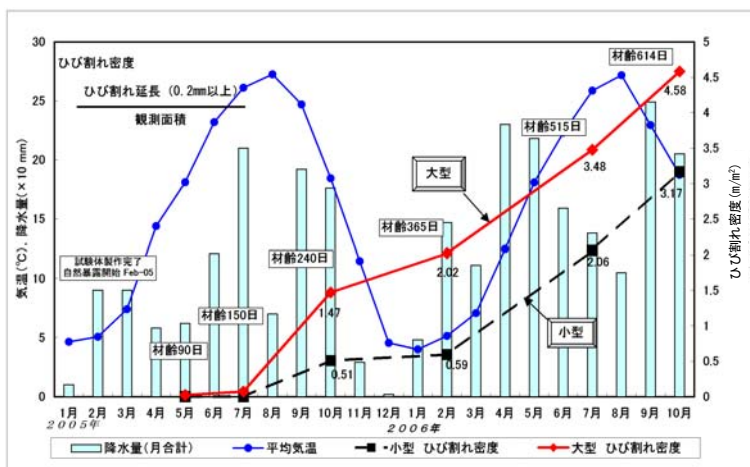


図-2 気温・降水量とひび割れ密度

3. 2 圧縮強度および静弾性係数

試験体コンクリート打設時に採取したシリンダーテストピースによる圧縮強度と静弾性係数の測定結果を図－3および図－4に示す。

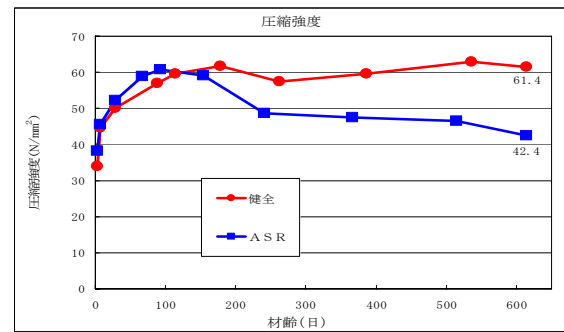
健全試験体に比較しASR試験体の数値は、ひび割れが顕著になってきた材齢 150 日より、圧縮強度および静弾性係数の低下が始まり、一夏を越えた材齢 240 日では、特に、静弾性係数の低下が顕著である。その後、材齢 614 日の段階で、健全の数値に対しASR試験体の数値は、圧縮強度で約 74%, 静弾性係数で約 29%であり、著しい低下が確認されている。しかし、これらの数値はテストピースでの試験によるものである。テストピースはASRによる膨張が拘束されないのに対し、実構造物では鉄筋等により、膨張が拘束されている。したがってこれらの数値は、コンクリート単体での劣化状況を示す指標とはなるが、鉄筋等が配置された実構造物の劣化状況を示す指標とはならないと考えられる。

3. 3 超音波伝播速度特性

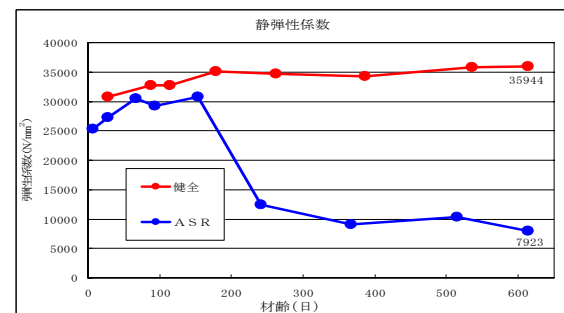
超音波伝播速度の結果を図－5及び図－6に示す。測定結果によると、材齢 90 日までの試験体の伝播速度は、大型および小型とも 4300～4600m/sec の範囲にあり大きな変化は認められなかった。しかし、大型試験体では材齢 150 日より低下傾向が顕著となり、材齢 240 日でASR試験体が健全試験体の約 80%まで低下し、材齢 614 日まで同等の数値を示している。一方、小型試験体では、低下傾向が顕著となったのは材齢 240 日以降であり、その後も緩やかな低下傾向を示し、材齢 614 日で、大型試験体と同程度となっている。これは、体積効果による反応速度の差異を示していると考えられる。

3. 3 ひずみ特性

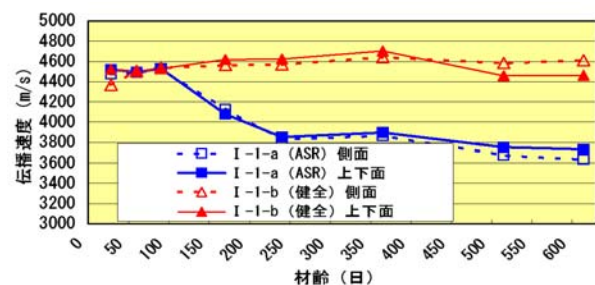
ASR劣化による長期的なひずみ特性の計測を目的とし、試験体には図－7に示す計測機器を設置した。また、コンクリート表面には、コンタクトゲージを設置した。



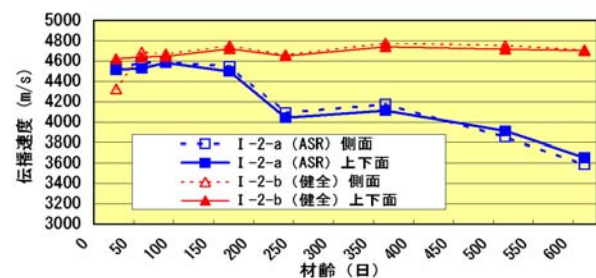
図－3 圧縮強度の推移



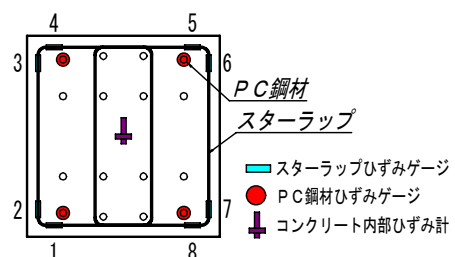
図－4 静弾性係数の推移



図－5 超音波伝播速度（大型）の推移



図－6 超音波伝播速度（小型）の推移



図－7 ひずみ測定箇所

(1) コンクリート内部ひずみ

試験体の支点間中央部におけるコンクリート内部ひずみの推移を図-8に示す。材齢90日の計測までは各試験体とも目立った変化はなく、いわゆる乾燥収縮の様子を呈していたが、大型の150日、小型の240日で、ASR試験体でプレストレスが導入されていない方向である直角方向と鉛直方向に膨張ひずみの傾向が顕れた。その後、緩やかに膨張傾向を示し、材齢515日までは、大型と小型の差異が顕著であった。しかし、材齢614日時点では、その差異が縮小している。この傾向は、前述の超音波伝播速度と近似している。

(2) PC鋼材ひずみおよび緊張力

大型試験体支点間中央部における溶接ゲージにより測定したPC鋼材ひずみの推移を図-9に、ロードセルによる緊張力の推移を図-10に示す。ひずみおよび緊張力とも、乾燥収縮およびクリープによると想定される減少は見受けられるものの、材齢614日まではASR試験体と健全試験体との間、および大型と小型の間で顕著な違いは認められていない。また、コンクリート表面のコンタクトゲージの計測による部材軸方向の長さ変化も僅かであった。これらの測定結果より、現時点における残存プレストレスは健全試験体と同等であると言える。

(3) スターラップひずみ

大型、小型試験体の支間中央部におけるスターラップひずみの測定位置を図-11に、ひずみの推移を図-12に示す。

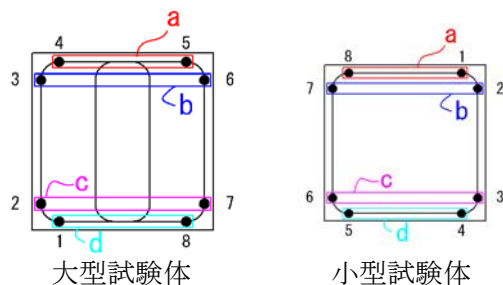


図-11 スターラップ計測位置

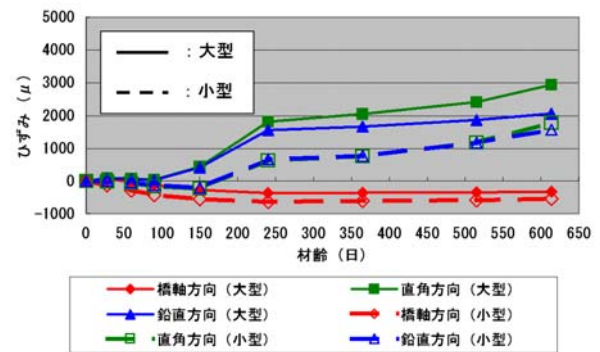


図-8 コンクリート内部ひずみの推移

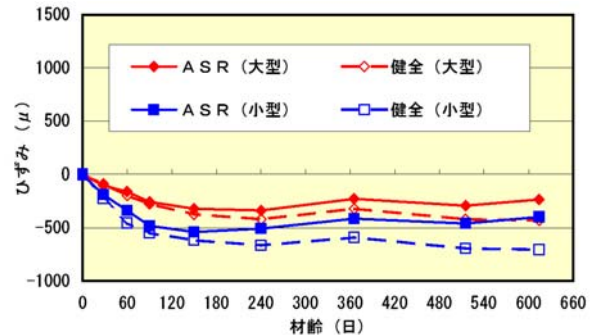


図-9 PC鋼材ひずみの推移

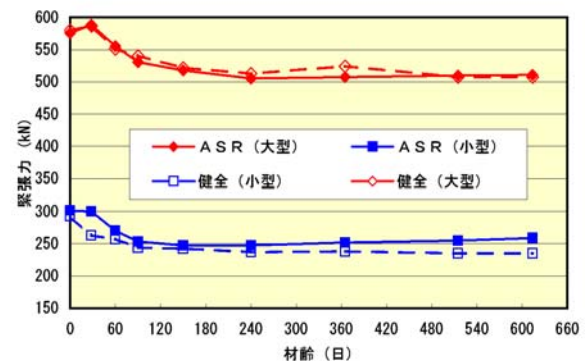


図-10 PC鋼材緊張力の推移

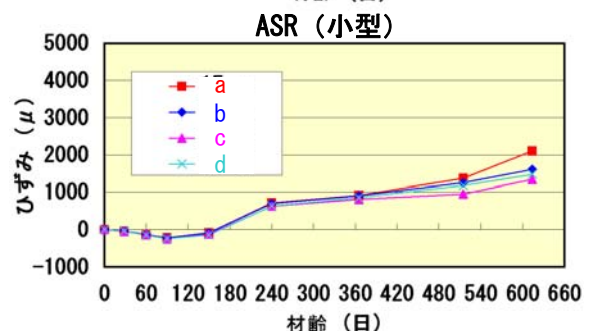
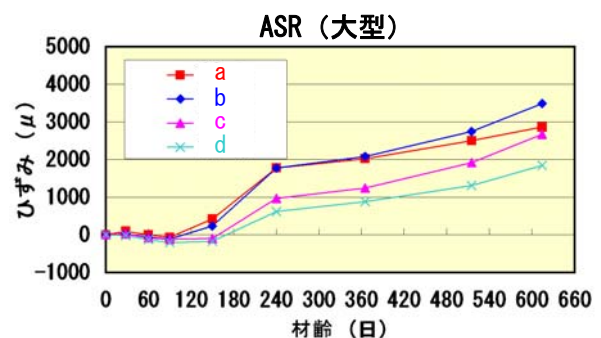


図-12 スターラップひずみの推移

スターラップひずみは、材齢 90 日以降から膨張の傾向を示しており、材齢 515 日の段階でもその傾向は継続している。また、断面内の計測位置に着目した場合、上縁側の膨張量が下縁側より増加が顕著であり、降雨や日射の影響を直接受けやすい上面部から、ASR 劣化が進行していると推察される。

4. 中間載荷試験

4. 1 試験目的

ASR により損傷をうけた上部構造物を念頭におき、“残存プレストレス”、“長期劣化性状”、“体積効果”をキーワードとし、その基本的性状の確認を目的とし実物大を想定した大型試験体により検証する。

今回は長期計測モニタリングのなかで材齢 22 ヶ月の試験体を用い、ASR 劣化下で、使用限界状態に相当する荷重を載荷して、その性状を計測し検証するのが目的である。

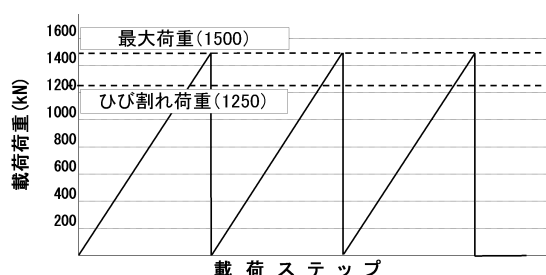
材齢 22 ヶ月を経過した試験体は、ASR 劣化による顕著な水平方向ひび割れが確認されている。また、シリンダーテストピースでの試験および超音波測定の結果より、弾性係数の低下を確認している。本中間試験の具体的な確認項目として、以下に示す。

- ・ 水平ひび割れの平面保持の性能に対する影響
- ・ 弾性係数低下をうけた実構造物での挙動確認
- ・ ASR 劣化構造物の復元性能

4. 2 実験計画

載荷実験の計測には大型試験体の ASR (I-1-a) および健全 (I-1-b) を用い、以降の長期計測に影響を及ぼすことが無いように、支点間中央部でのコンクリート応力が、コンクリートの曲げ引張強度相当 (-1.99 N/mm^2) を目標値として、載荷計画荷重 (1500kN) を決定した。

荷重の載荷は、反力台と油圧ジャッキにより行った。載荷試験時の状況を写真-2に、載荷ステップを図-13に示す。

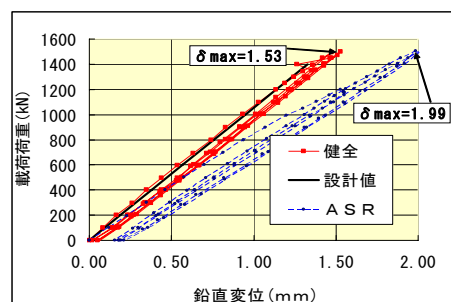


図—13 載荷ステップ図

4. 3 試験結果

(1) 鉛直変位

試験体の剛性評価を目的として支点間中央部および支点部に設置した高感度変位計による鉛直変位の計測結果を図-14に示す。



図—14 荷重—変位曲線

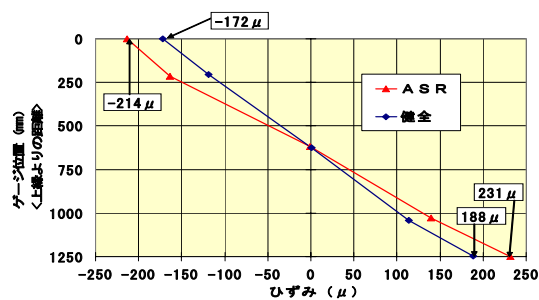


写真—2 公開載荷試験状況

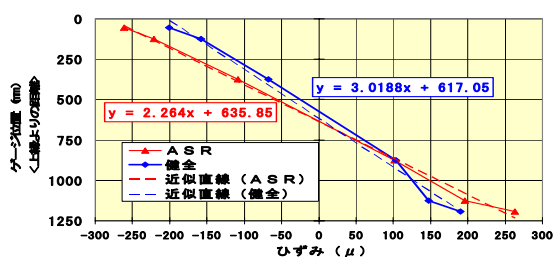
荷重－変位線は、健全およびＡＳＲとも、概ね線形性を有していることが確認できた。また、荷重最大荷重に対する最大鉛直変位は、設計変位 1.42mm に対し、健全で 1.53mm，ＡＳＲで 1.99mm であり，ＡＳＲ試験体で，約 77%の剛性低下の影響が確認された。尚，図－１４に示す設計値とは，健全骨材のテストピースで得られた静弾性係数より算出したものである。

(2) 軸方向（コンクリート・鋼材）ひずみ

ＡＳＲ試験体には，ＰＣ構造物特有の水平ひび割れが発生しており（写真－１），構造物として高さ方向の平面保持性能が，適切に保持されているかが懸念された。その事項を確認することを目的とし，コンクリート表面およびコンクリート内部の軸方向鋼材に設置しているひずみゲージにより検証を行った。最大荷重時における結果を，図－１５，図－１６に示す。



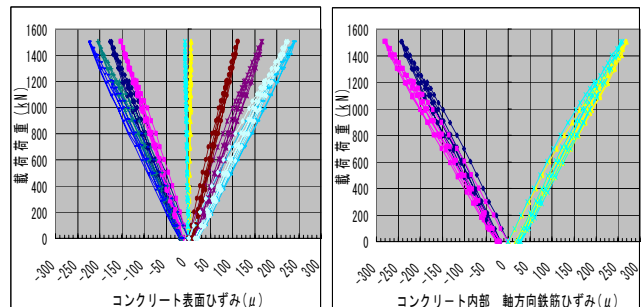
図－１５ コンクリート表面ひずみ



図－１６ コンクリート内部鋼材（鉄筋・ＰＣ鋼材）ひずみ

ひび割れ発生荷重載荷時の結果は，鉛直変位の計測結果同様に，健全試験体に比較しＡＳＲ試験体において，約 80%程度の剛性低下は見受けられた。しかし，全体挙動として大きな差異はなく，ＡＳＲ試験体において，中立軸を複数有する「重ね梁」としての挙動は認められず，断面が一体とした平面保持性能が確認できた。

また，図－１７に示すように，コンクリート表面とコンクリート内部鋼材のひずみが同様の挙動であることよりも，平面保持性能が保持されていることが確認できた。



図－１７ 各荷重ステップ時のひずみ

5. まとめ

以上，ＡＳＲによる劣化を受けたＰＣ部材の長期計測結果および中間載荷試験結果について報告した。以上より得られた知見を以下に示す。

- (1) ＡＳＲ劣化時においても，残存プレストレスは，現時点では，健全と同等程度である。
- (2) 構造物の体積により，劣化の進行速度および程度は異なる。
- (3) 使用限界状態相当の荷重に対しては，ＡＳＲ劣化時でも健全な状態と同様の平面保持性能，鋼材の付着性能の保持が確認できた。

最後に，本研究がＰＣ部材のＡＳＲに関する研究の一助となるべく，今後とも，真摯に取り組む所存である。

参考文献

- 1) 大久保孝,真鍋英規,井俣俊也,宮川豊章：ＡＳＲによる劣化を受けるＰＣ部材の長期性状評価に関する実験的研究，コンクリート構造物の補修,補強,アップグレード論文報告集 Vol.5, pp.179-184, 2005.10
- 2) 城代和行,真鍋英規,廣井幸夫,宮川豊章：ＡＳＲによる劣化を受けるＰＣ部材の長期性状に関する報告，コンクリート構造物の補修,補強,アップグレード論文報告集 Vol.6, pp.117-122, 2006.10