ASR 膨張による実構造物の膨張予測解析

名古屋大学　　○大西　貴
名古屋大学大学院　　正会員　上田　尚史，中村　光，国枝　稔

１．はじめに

アルカリ骨材反応（以後 ASR）により RC 構造物に生じる膨張量を予測することは，損傷部位や損傷量を評価するとともに，適切な補修・補強計画を策定する上で非常に重要である．ASR による膨張量は鋼材等からの拘束応力に大きく依存することが知られているため [1]，膨張予測を精度よく行うためには，拘束の影響を適切に評価することが重要になる．著者らは，鋼材等からの拘束効果を考慮できる ASR 膨張予測モデルを提案し，実験的に ASR を模擬した RC 供試体のコンクリートおよび鉄筋に生じる膨張ひずみを概ね評価可能なことを示している [2]．そこで，本研究では ASR により損傷を生じた実構造物を 3 次元有限要素法を用いてモデル化し，配筋が複雑かつ寸法が大きい実構造物への ASR 膨張予測モデルの適用性について検討した．

２．実構造物の諸元ならびに損傷状況 [3]

図-1 に対象とした構造物の寸法ならびに鋼材配置図を示す．対象構造物は昭和 54 年に竣工した都市内高速道路の PC 桁橋脚であり，梁内の鉄筋は主筋 D29 で，スターラップ D16 が 30cm 間隔で配置されている．梁内の総鋼材量（主筋，スターラップ，PC 鋼材）は 0.92%である．**図-2** に対象構造物のひび割れ変状図を示す．梁側面，上面のひび割れ変状の発生位置は，(A)梁付根付近の側面中央，(B)梁側面の上端側，(C)上面の中央ならびに橋脚上部張出部に分類することができる．

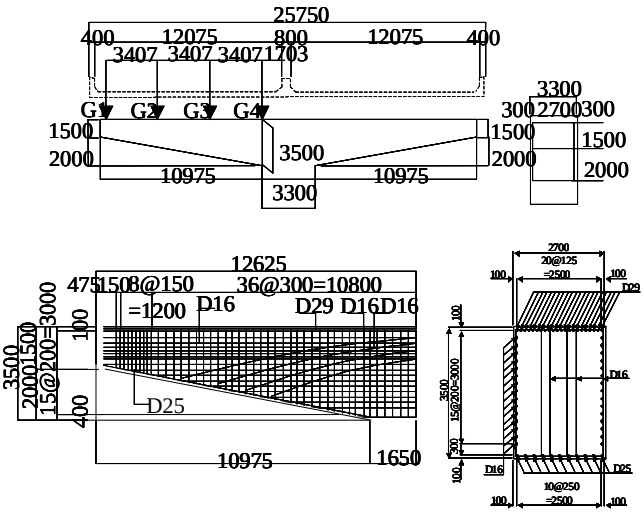

図-1 対象モデルの寸法および鋼材配置図

３．解析方法

３.1．解析モデル

本解析では軸方向，奥行方向の対称性を考慮した**図-3** に示す 1/4 モデルで橋脚をモデル化した．鋼材は中間帯鉄筋を除き全て離散鉄筋によりモデル化し，付着特性を考慮した．中間帯鉄筋は分散鉄筋によりモデル化した．PC 鋼材については，初期緊張応力が 814kN となるように初期ひずみを与えた．ASR による膨張は構造物内に一様に主応力方向の初期ひずみ（自由膨張ひずみ，ε_0）として 4000 μ まで漸増させた．

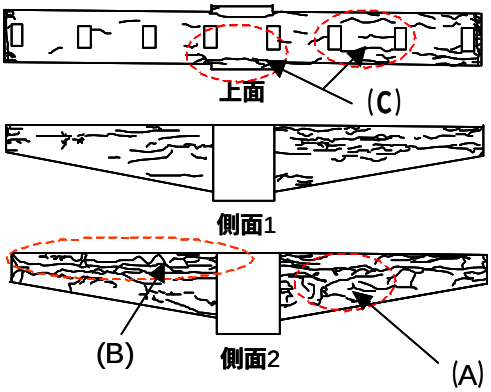

図-2 ひび割れ変状図

３.２．ASR 膨張予測モデル

ASR による膨張においては，コンクリートは膨張ひずみの増加に伴うひび割れの発生とともに，強度特性や剛性が低下する等の損傷を受けることが確認されている．そこで本研究では，膨張ひずみの増加に伴い損傷が蓄積されると仮定し，式(3.1)に示すように損傷理論に基づきコンクリートの応力を計算する損傷モデルを用いた．ここで用いるひずみは，自由膨張ひずみε_0(t)と拘束を受けた膨張ひずみε_c(t)の差として表される．なお，E_{co} はコンクリートの初期剛性である．

$$\sigma_c = (1-\Omega)E_{c0}\cdot(\varepsilon_c(t)-\varepsilon_0(t)) \qquad (3.1)$$

損傷を決定するΩは，時間 t における拘束を受けた膨張ひずみε_c(t)により決定し，(3.2)式を用いた．ここで，ε_{cr}

はひび割れ発生ひずみである．

$$\Omega=\begin{cases}0 & \varepsilon(t)\le\varepsilon_r\\ 1-\left(\dfrac{1}{1+1000\sqrt{\varepsilon(t)-\varepsilon_r}}\right) & \varepsilon(t)>\varepsilon_r\end{cases} \qquad (3.2)$$

本モデルの特徴は，膨張による損傷を直交異方性材料に適用することで，拘束の影響を拘束力と方向性を考慮して評価できることである．

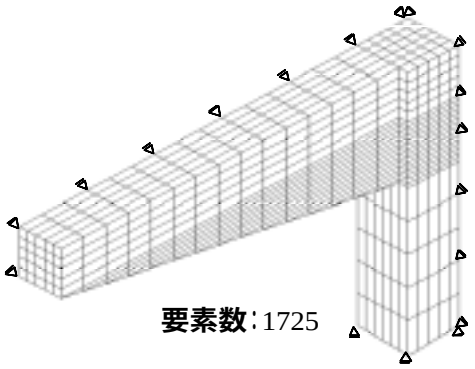

図-3 解析モデル

４．ASR 膨張による損傷評価

自由膨張ひずみが 4000 μの時点における梁側面および上面部の最大主引張ひずみ分布を**図-4** に示す．梁側面および上面のいずれにおいても軸方向に沿って最大主引張ひずみが卓越しており，実験でのひび割れ方向と一致している．梁側面においては，卓越領域は梁付根付近から中央部に分布している．**図-4** より，梁の側面中央と梁接合部上面において軸方向に沿ってひずみが卓越していることが分かる．これは，梁側面の上下両側では鉄筋量が多いため拘束力が強く膨張が抑制され，拘束力の弱い梁側面中央部の膨張ひずみが卓越するためである．一方，梁上面においては橋脚上部張出部のひずみが卓越している．これは，外側の張出部は無筋であるが内側は上部主鉄筋が配置されており，この拘束力の違いによって膨張ひずみが卓越するためである．これらの最大主引張ひずみ卓越部では，実際にひび割れが多数生じており，本解析が膨張挙動を妥当に再現していることがわかる．**図-5** に膨張ひずみ 4000 μ 時点での，梁上側の各スターラップの曲げ加工部におけるひずみ分布を示す．なお，図中の×印は，実橋脚において鉄筋の破断が確認された箇所である [3]．図より解析の結果は，橋脚上部張出部において鉄筋のひずみが卓越する傾向を示しており，実構造物と同様の傾向を捉えているといえる．したがって，本手法によりスターラップ曲げ加工部でのひずみが卓越する傾向を再現することができ，解析結果の妥当性が確認できた．

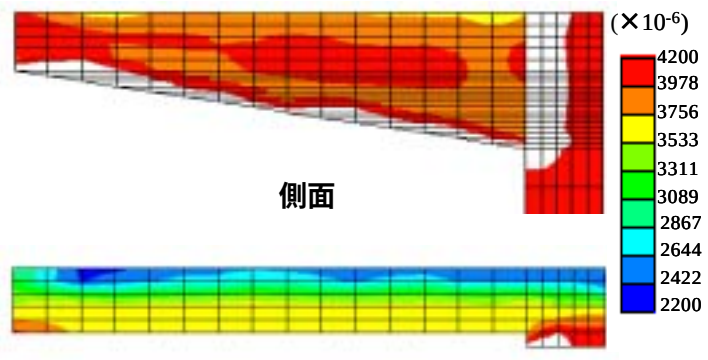

図-4 最大主引張ひずみ分布図

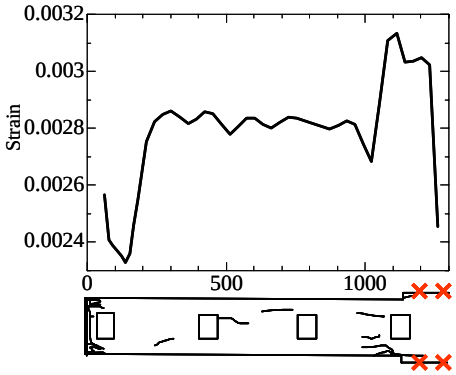

図-5 各スターラップの曲げ加工部でのひずみ分布

５．まとめ

本研究では，ASR 膨張による実構造物の膨張予測を行い，コンクリートならびに鉄筋の損傷状態が概ね評価できることを確認した．なお，本研究で用いた ASR 膨張予測モデルを用いず，材料を弾性とし一様膨張を与える場合には，今回の結果のようなコンクリートならびに鉄筋のひずみの卓越状況を再現できなかったことを付記する．

参考文献

1) 白石文雄他：アルカリ骨材反応に対する鉄筋拘束の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.8，pp169-172，1986.

2) N. Ueda et. al.：The damage evaluation analysis of RC structures due to AAR expansion，10th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction，EM-AU-0806，pp.6-255，2006.

3) 土木学会：コンクリートライブラリー124，アルカリ骨材反応対策小委員会報告書，2005.